高等学校毕业设计(论文)指导手册

理学卷

地质学地理学分卷

教育部高等教育司
北京市教育委员会 编



高等教育出版社
经济日报出版社

2.477
a

G 642.477
G582

高等学校毕业设计(论文)指导手册

理学卷

地质学地理学分卷

教育部高等教育司
北京市教育委员会 编

建大工程电子书制作中心
建大小郭制作

A0955444

高等教育出版社
经济日报出版社

内容简介

理学卷是《高等学校毕业设计(论文)指导手册》(丛书)中的一卷。理学卷分为数学物理学化学生物学分卷和地质学地理学分卷两册。地质学地理学分卷包括理学卷总论和地质学科篇、地理学科篇三部分,共九章。理学卷总论概述了理科本科毕业论文的性质及其在学生培养中的地位与作用,理科毕业论文的选题、课题研究和文献检索,以及毕业论文的基本要求、论文审核与成绩评定;地质学科篇和地理学科篇分别就地质学科、地理学科所涵盖的内容及其发展作了概括的介绍,就本科毕业论文选题、课题研究以及论文写作的特点作了较详细的阐述,并分别遴选了不同类型的本科毕业论文进行点评。本书可作为指导地学类本科学生进行本科学习阶段的科学研究训练、撰写毕业论文必备的教学参考用书,对于指导本科毕业论文的教师和其他同地质学地理学相关的工程学科,以及其他理科类的学生进行科学实践和毕业论文写作也有很好的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

高等学校毕业设计(论文)指导手册.理学卷.地质学地理学分卷/教育部高等教育司,北京市教育委员会编.—北京:高等教育出版社,2000
ISBN 7-04-008564-X

Ⅰ.高… Ⅱ.①教育… ②北… Ⅲ.①高等学校-毕业论文-手册②高等学校-地质学-专业-毕业论文-手册③高等学校-地理学-专业-毕业论文-手册
Ⅳ.G642.477

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 18131 号

高等学校毕业设计(论文)指导手册 理学卷 地质学地理学分卷
教育部高等教育司 北京市教育委员会 编

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号 邮政编码 100009
电 话 010-64054588 传 真 010-64014048
网 址 http://www.hep.edu.cn

经 销 新华书店北京发行所
排 版 高等教育出版社照排中心
印 刷 国防工业出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16 版 次 2000 年 8 月第 1 版
印 张 14.5 印 次 2000 年 8 月第 1 次印刷
字 数 340 000 定 价 20.00 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

《高等学校毕业设计（论文）指导手册》
（丛书）

编辑委员会名单

主　编：朱传礼　林浦生
副主编：刘志鹏　刘春生
编　委：胡恩明　葛道凯
　　李志宏　王培欣
　　杨志坚　阎志坚
　　宋　毅　关仲和
　　刘尔铎　袁德宁
　　纪克敏　江兴国
　　梁于升　计志孝
　　刘士奇　江树人
　　杨式毅　睢行严
　　宋长义　李同铮

《高等学校毕业设计(论文)指导手册》

理学卷编委会成员名单

主　编：高崇寿

副主编：睢行严

编　委：王世光　许保良　朱圣庚　何元康
高崇寿　莫多闻　惠昌常　睢行严
(以姓氏笔画排序)

序

我们正处于世纪之交。我国高等教育面临着世界范围的科学技术革命浪潮和社会主义市场经济体制建立所带来的巨大冲击与挑战，也适逢党中央确定和实施“科教兴国”与“可持续发展战略”的难得机遇。我们正在努力探索把一个什么样的高等教育带入21世纪这个事关我国经济和社会发展前景的重大课题。

在研究和探索实践中，我们认识到，推进我国高等教育事业的改革和发展，体制改革是关键，教学改革是核心，教育思想和教育观念的改革是先导。在教育体制改革中，管理体制的改革是重点和难点；在教学改革中，教学内容和课程体系的改革是重点和难点；在教育思想和观念的改革中，要特别强调加强质量意识和加强素质教育，注重培养学生的创造意识和能力。

在教育改革实践中，大家都深刻认识到，树立起适应21世纪经济、社会和科技发展需要的新的教育质量观念，并通过各项改革措施全面提高人才培养质量，是高等学校面临的一项重大课题，也是高等教育要完成的重要任务之一。正是在上述思想指导下，国家教委高教司和北京市教委的有关同志选择了当前影响高等学校人才培养质量的突出环节——毕业设计（论文），组织了上百名教授、专家和教学管理人员对高等学校毕业设计（论文）的现状做了大量的调查，对毕业设计（论文）的作用、内容、形式，以至于选题、工作组织等方面进行了两年多的研究，在高等教育出版社和经济日报出版社的大力支持下，编著出版了这套《高等学校毕业设计（论文）指导手册》（丛书），用以指导高等学校的毕业设计（论文）工作。这是一件非常有意义和值得提倡的工作。

希望丛书出版后，编委会和出版社的有关同志广泛听取各方面的反映和意见，再接再厉，不断完善丛书的内容，提高丛书的学术水平和编辑质量，更好地满足高等学校广大学生和教师的需要。

周远清

一九九七年七月

前　言

教育部(原国家教委)和北京市教委主持编写的《高等学校毕业设计(论文)指导手册》(丛书)共十一卷,理学卷是其中的一卷。1998年教育部颁布的《高等学校本科专业目录》中,理学门类包括数学、物理学、化学、生物科学、天文学、地质学、地理科学、地球物理学、大气科学、海洋科学、力学、电子信息科学、材料科学、环境科学、心理学、统计学等十六大类。但理学卷只涵盖数学、物理学、化学、生物科学、地质学和地理科学等六个理学基础学科的材料,并将理学卷分为数学物理学化学生物学分卷和地质学地理学分卷独立分册出版。这是因为,编写这样的"手册"是第一次,我们还缺乏经验,同时也为了集中篇幅,取典型示范的作用。理学卷基本内容包括:①毕业论文的性质和在学生培养中的地位与作用;②相应学科的学科简介和毕业论文的选题、题型举例;③课题研究和毕业论文撰写的基本要求;④相应学科本科毕业论文点评。这些内容的论述,饱含了撰写文稿的诸位教授多年从事科学研究和指导毕业论文的经验,论述精辟,见解独到,富有教益。

本科学习在毕业前集中较多的时间进行科学研究、写作毕业论文的实践与训练,是本科学习阶段所学知识综合应用和扩展、深化的过程,也是学生学习如何从生产活动、社会实践、科学研究和技术应用开发活动中提炼问题、调查研究、综合分析问题和解决问题,培养科学素养、创新意识、锻炼创造性能力的主要阶段。要较好地完成毕业前的科研训练、课题研究,撰写出一篇好的毕业论文,一要靠自己苦心钻研,二要获得老师的悉心指导,三是向前人学习。理学卷各学科篇都遴选了若干篇不同专业方向的本科学生的毕业论文,提供给进行毕业论文写作的学生。认真阅读几篇好论文,会给予阅读者以意想不到的启迪,激发灵感,理清思路,开拓视野,为作好课题研究、撰写论文打好基础。这正是我们全文刊登这些毕业论文并作点评的初衷。我们可以从这些论文中看出作者们在导师的指导下体现出的恰当选题、刻苦钻研、严谨求实的学风,确有值得借鉴之处。当然,所选论文终归是本科学生的习作,这些论文在结构、布局、规范化、语言的表述等方面,也都有各种缺点和不当之处,这也是需要我们注意的。

理学卷的编委会是由北京大学、北京师范大学相关院系的教师和北京大学教务处的管理工作者组成。理学卷总论由高崇寿撰写;数学学科篇由惠昌常组织、撰写;物理学科篇由王世光、高崇寿组织、撰写;化学学科篇由何元廉组织、撰写;生物科学与技术篇由朱圣庚组织、撰写;地质学科篇由许保良组织、撰写;地理学科篇由莫多闻组织、撰写;睢行严承担了全卷的统稿工作。北京大学王祖铨教授、杨承运教授分别审阅了数学物理学化学生物学分卷和地质学地理学分卷,提出了很好的修改意见,并在许多地方亲自作了修改,编委会对两位教授表示衷心的感谢。参加本卷相关学科篇撰稿和论文审阅点评的还有崔海亭、王缉慈等多位同志,编委会对他们表示衷心的感谢。所选论文的作者和指导教师给我们以极大的支持,在此对他们表示衷心的感谢,他们的姓名已在论文中登载,这里就不一一列出了。教育部(原国家教委)高教司、高等教育出版社、北京市教委高教处、北京大学教务处、北京师范大学教务处是丛书的主持者和支持者,没有他们的指导与支持,理学卷也不可能成书出版,编委会对他们表示衷心的感谢。

由于我们的水平所限，加之缺乏编写毕业论文指导手册的经验，在内容选择、文体结构等方面会有很多不足和漏误，诚请诸位专家和读者批评指正。

理学卷编委会

1999年6月

目　录

Ⅰ. 理学卷总论

第 1 章　毕业论文的性质、地位与作用和基本要求 …… 1
1.1　毕业论文的性质、地位与作用 …… 1
1.1.1　毕业论文的性质 …… 1
1.1.2　毕业论文在本科学生培养中的地位与作用 …… 1
1.2　理科本科毕业论文的主要类型和基本要求 …… 2
1.2.1　理科本科毕业论文的主要类型 …… 2
1.2.2　理科本科毕业论文的基本要求 …… 2

第 2 章　理科本科毕业论文的选题与课题调研 …… 4
2.1　理科本科毕业论文的选题 …… 4
2.1.1　毕业论文选题的基本原则 …… 4
2.1.2　毕业论文选题的确定 …… 4
2.1.3　毕业论文选题中常遇到的几个问题 …… 4
2.1.4　课题研究的合作分工和独立作业问题 …… 5
2.2　课题调研与文献检索 …… 5
2.2.1　课题调研的目的 …… 5
2.2.2　文献资料的分类 …… 5
2.2.3　文献资料检索的方法与途径 …… 8

第 3 章　理科本科毕业论文的撰写与成绩评定 …… 11
3.1　毕业论文的撰写 …… 11
3.1.1　毕业论文的构成 …… 11
3.1.2　毕业论文中的图表、度量单位 …… 13
3.2　理科本科毕业论文的审核与成绩评定 …… 13

Ⅱ. 地质学科篇

第 4 章　地质学学科简介 …… 14
4.1　学科简介 …… 14
4.1.1　矿物学、岩石学、矿床学和地球化学 …… 14
4.1.2　构造地质学 …… 15
4.1.3　古生物学及地层学 …… 15
4.2　地质学科发展趋势和研究课题的特点 …… 15
4.2.1　地质学科发展趋势和研究课题的特点 …… 15
4.2.2　地质学科未来发展趋势和研究课题 …… 16

第 5 章　地质学科本科毕业论文的基本形式、选题和论文写作要求 …… 20
5.1　地质学科毕业论文的基本形式和要求 …… 20
5.1.1　基本形式 …… 20
5.1.2　基本要求 …… 20
5.2　地质学科毕业论文的选题 …… 21
5.2.1　选题要求 …… 21
5.2.2　选题范围 …… 22
5.2.3　题型举例 …… 22
5.3　地质学科毕业论文的基本格式与内容 …… 23
5.4　毕业论文的检查与修改 …… 25

第 6 章　地质学科本科毕业论文范文点评 …… 27
6.1　《大麻坪地幔岩包体形成的物理化学条件》点评 …… 27
6.2　《辽宁岫岩河磨玉的初步研究》点评 …… 52
6.3　《辽宁青城子小佟家堡子金矿床地质及煌斑岩研究》点评 …… 78
6.4　《丰宁东部古元古代造山带构造特征及其构造演化》点评 …… 104

Ⅲ. 地理学科篇

第 7 章　地理学学科简介及选题 …… 121
7.1　自然地理学 …… 121
7.1.1　学科简介 …… 121
7.1.2　自然地理学毕业论文的选题及题型举例 …… 123

7.2 环境生态学 …… 124
7.2.1 学科简介 …… 124
7.2.2 环境生态学毕业论文选题 …… 124
7.3 地貌第四纪学 …… 125
7.3.1 学科简介 …… 125
7.3.2 地貌第四纪学毕业论文的选题及题型举例 …… 128
7.4 人文地理学 …… 129
7.4.1 学科简介 …… 129
7.4.2 人文地理学毕业论文的选题及题型举例 …… 131
7.5 城市规划 …… 132
7.5.1 学科简介 …… 132
7.5.2 城市规划学科毕业论文的选题及题型举例 …… 134
7.6 地图学与地理信息系统 …… 135
7.6.1 学科简介 …… 135
7.6.2 地图与地理信息系统学科题型举例 …… 136
第8章 地理学课题研究及论文写作要求 …… 138
8.1 课题研究 …… 138
8.1.1 课题研究和论文写作设计 …… 138
8.1.2 室内学习 …… 138
8.1.3 野外实习、观测 …… 138
8.1.4 人文地理调查 …… 139
8.1.5 软件使用和编程 …… 140
8.2 论文写作要求和论文的评阅 …… 141
8.2.1 论文的格式 …… 141
8.2.2 论文的评阅和评分标准 …… 142
第9章 地理学科本科毕业论文范文点评 …… 143
9.1 《北京市土地资源的遥感综合调查及研究》点评 …… 143
9.2 《高技术产业与区域创新发展初探——对北京市新技术产业开发试验区的实证研究》点评 …… 156
9.3 《围场—好鲁库生态过渡带植被空间分布规律研究》点评 …… 182
附录一 数学类、物理学类、化学类、生物学类、地质学类、地理学类及综合性科学技术中文部分核心期刊 …… 200
附录二 国内外数学类、物理学类、化学类、生物学类、地质学类、地理学类部分重要外文学术期刊 …… 206

Ⅰ.理学卷总论

《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》第二条规定:"学位按下列学科的门类授予:哲学、经济学、法学、教育学、文学、历史学、理学、工学、农学、医学。"第三条规定:"高等学校本科学生完成教学计划的各项要求,经审核准予毕业,其课程学习和毕业论文(毕业设计或其他毕业实践环节)的成绩,表明确已较好地掌握本门学科的基础理论、专门知识和基本技能,并具有从事科学研究工作或担负专门技术工作的初步能力的,授予学士学位。"理学学科门类包括数学类、物理学类、化学类、生物科学类、天文学类、地质学类、地理科学类、地球物理学类、大气科学类、海洋科学类、力学类、信息与电子科学类、材料科学类、环境科学类、心理学类、科技信息与管理类等16个学科类。本卷的适用对象是理学学科门类的各二级类学科的大学本科生。

第1章 毕业论文的性质、地位与作用和基本要求

1.1 毕业论文的性质、地位与作用

1.1.1 毕业论文的性质

国家标准局1987年颁布的《科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式》明确规定:"学术论文是某一学术课题在实验性、理论性或观测性上具有新的研究成果或创新见解和知识的科学记录;或是某种已知原理应用于实际取得新进展的科学总结,用以提供学术会议上宣读、交流或讨论;或学术刊物上发表;或作其他用途的书面文件。"这个定义适用于自然科学、技术科学和人文社会科学的各学科门类。学术论文是探讨、总结科学研究中的问题,进行学术交流,记载、发表科学研究成果的一种文章。从表现手法上看,学术论文是以议论和说明作为主要表现手法的议论文体。

毕业论文(或学位论文)是学术论文的一种,是授予学位的重要依据。学位论文不合格者,不能授予学位。国家标准局的文件指出:"学位论文是表明作者从事科学研究取得创造性结果或有了新的见解,并以此为内容撰写而成,作为提出申请授予相应的学位时评审用的学术论文。"我国的学位论文分为学士学位论文、硕士学位论文、博士学位论文三种。高等学校本科生撰写的本科毕业论文称为学士学位论文。

1.1.2 毕业论文在本科学生培养中的地位与作用

本科毕业论文是本科生教育的一个综合性科学实践教学环节,是本科学生培养计划中的一

个重要组成部分。本科毕业论文是在导师指导下大学本科高年级学生运用大学期间所学的基础理论、专门知识和基本技能，来探讨、分析、研究和解决本学科的某一具体科学问题的科学实践的总结性报告。参加科学实践，进行科学研究，撰写毕业论文是大学生提高科学素质，学习提出问题、分析问题、解决问题的科学研究方法，培养初步的科学研究能力、从事专门技术工作能力和写作能力，为毕业后运用所学知识，从事科学研究和专门技术工作打下良好基础的一次综合训练。对本科学生毕业论文的评审，是对本科学生毕业时学术水平和科学研究能力的一次综合考核。

《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》第三条规定："高等学校本科生完成教学计划的各项要求，经审核准予毕业，其课程学习和毕业论文(毕业设计或其他毕业实践环节)的成绩，表明确已较好地掌握本门学科的基础理论、专门知识和基本技能，并具有从事科学研究工作或担负专门技术工作的初步能力的，授予学士学位。"因此本科毕业论文作为学士学位论文的通过是授予本科毕业生学士学位的必要条件。

1.2 理科本科毕业论文的主要类型和基本要求

1.2.1 理科本科毕业论文的主要类型

理科本科毕业论文的主要类型有：科学课题研究论文、科学考察报告论文、模拟实验研究报告论文、专项研制报告论文、专题调研评述论文等。

1.2.2 理科本科毕业论文的基本要求

理科本科毕业论文的内容是对某一自然科学学术课题通过科学实验、理论研究、科学考察或观测研究所取得的研究成果的科学记录，或是就自然科学某方面专题新进展的科学总结评述论文，涉及的是自然科学的科学问题。理科本科毕业论文必须达到的基本要求为：

第一，科学性

理科本科毕业论文对内容的表述上必须保证科学性，保持严格的客观性，科学的论断必须有可靠的实验依据或理论论据，科学内容的表述必须明确、清楚、确切，不能采用含混、模糊的语言来表述科学内容，不能用含主观评价和情绪的描述语言来表述科学内容，不能采用口头讲话的语言或讲演稿的形式来撰写理科本科毕业论文，不能用专访报道或新闻报道的形式，或各种文学作品形式表述理科本科毕业论文，也不能用一般科学普及读物的形式来撰写理科本科毕业论文。

第二，开拓性和创新性

理科本科毕业论文应该有一定的开拓创新性。

科学课题研究论文，无论是基础理论研究还是基础科学实验研究，都应该有前人尚未得到的新成果，简单重复和复述前人已经得到的研究结果不能作为理科本科毕业论文。"前人尚未得到过的新成果"是指国内外前人在科学研究中尚未得到的新成果，在教科书中没有记载或科学专著中没有记载的内容并不能作为判断新成果的依据。只有在所有有关的科学著作和科学文献资料中均无记载的成果才可以作为"前人尚未得到过的新成果"。

科学考察报告论文应该系统报告科学考察的内容，应有本项考察所得到的特有的新进展和获得切实具体的新成果。

模拟实验研究报告应记载本项模拟实验研究的课题内容和方法，论文应有本项模拟实验所得到的特有的新进展和切实的新具体成果。

专项研制报告论文应记载本项专项研究课题的内容和目标、研制工作方法，应包含有本专项研制工作在技术、方法上特有的创新或取得的新成果。

专题调研评述论文应有对所调研的专题范围国内外科学研究工作发展和成果的系统总结分析综述，简单的文献阅读笔记或读书报告都不能作为毕业论文。

第三，系统性和完整性

理科本科学生参加的科学实践可以有各种不同的类型，其毕业论文可以有各种不同的课题，题目涉及的范围可以大小不同，但毕业论文对本课题题目所包含科学内容的表述，必须具有系统性和完整性。

科学课题研究论文应包括问题的提出、前人对本课题研究进展概述、本课题所进行的研究工作内容、所取得的成果的描述、总结和讨论、参考文献等内容。

科学考察报告论文包括问题的提出、前人对本课题相关科学考察进展概述、本课题所进行的科学考察工作情况、考察所取得的成果的描述、总结和讨论、参考文献等内容。

模拟实验研究报告论文包括问题的提出、前人对本课题研究进展概述、本课题所采用的模拟实验方法、模拟实验所取得的成果的描述、总结和讨论、参考文献等内容。

专项研制报告论文包括专项研制问题的提出、前人对本课题研究进展概述、本课题所采用的专项研制方法、专项研制所取得的成果的描述、总结和讨论、参考文献等内容。

专题调研评述论文包括专题调研课题的提出、前人对本专题范围研究工作进展和成果系统综述、对本专题领域研究发展的总结评述和讨论、参考文献等内容。

第2章　理科本科毕业论文的选题与课题调研

2.1　理科本科毕业论文的选题

2.1.1　毕业论文选题的基本原则

理科类本科毕业论文是学生在导师指导下，参加科学及技术实践，进行科学探索、研究的总结性的文字。本科毕业论文选题的确定不仅是确定了这阶段科学实践的范围和目标，实际上还确定了这阶段科学实践工作的内容和方法。因此，本科毕业论文的选题规定了整个毕业科学实践的内容和类型，也就在一定程度上确定了毕业科学实践的成果和最后撰写本科毕业论文的类型。

毕业论文的课题的选择与确定应该考虑以下原则：

第一，毕业论文课题必须符合本专业的培养目标和教学基本要求，体现本专业科学研究和科学实践的基本训练，使学生受到一次完整的科学实践的学习和锻炼。

第二，毕业论文课题可以有多种多样，体现了不同方面不同类型的科学实践的训练。但每一个毕业论文课题本身题目和内容必须明确，可以体现毕业论文的科学性、开拓性和创新性。

第三，毕业论文课题的分量和难易程度要适当，在保证达到教学基本要求的前提下，因材施教，要使学生能够在导师的指导下在规定的时间内完成，使学生可以得到很好的科学实践的培养和锻炼。

2.1.2　毕业论文选题的确定

在自然科学研究工作中，提出和确定课题本身就是科学工作的一个重要组成部分，需要有相当的科学积累和理论知识基础。确定理科本科毕业论文的课题时，除了要考虑这课题的工作在科学上要有意义外，还要考虑到这课题是本科学生在导师指导下在所规定的时间内确实可以独立地全部完成的。因此，毕业论文的选题一般由教师提出，在教师指导下由学生认定；也可以由学生自行提出，经教师审核确定。但最好经教研室或教学指导小组讨论确定。选题确定后需报所在系院领导备案。题目初步确定后，由学生进行开题报告可能不失为一个好办法——可以集思广益，又可得到支持、帮助、监督。

2.1.3　毕业论文选题中常遇到的几个问题

第一，课题研究工作包含的内容不够清楚，这主要发生于科学课题研究类型的论文。课题确定了，但题目比较“虚”、“概括”、“一般化”，而究竟要做哪些工作和怎样做都不够清楚。这样学生做毕业论文工作开始得比较慢，进展也会比较慢，也比较困难。

第二，开展课题研究所需的仪器、设备、材料、经费的限制，使毕业论文工作难以按计划的规模、时间进行和完成。发现这种情况时，常常需要及时调整工作计划，缩减工作内容，调整工作进度。

第三，课题题目覆盖内容过大、过多，难于在本科毕业论文规定的期限内完成。遇到这种情

况，导师需要研究考虑修改调整课题题目，把题目的覆盖面减小并进一步加以具体、明确，使学生能在本科毕业论文规定的期限内完成。

第四，理科科学课题研究类型的毕业论文还可能遇到一个特殊的问题，研究重复或相似的问题。科学课题研究类型的题目，在进行研究的文献调研中，或通过别的渠道，发现本课题拟研究解决的问题，别人已经研究解决了，成果已经发表、公布了。这时这个题目就不能再按原来的计划继续做下去了，因为如果做出来，也只是重复前人已经得到的结果，只相当于做了一个“大习题”，没有“前人尚未得到过的新成果”的文章不能作为研究成果论文。遇到这种情况，可以有两种办法处理：一种办法是更换毕业论文题目，换一个新的题目重新开始；另一种方法是，经过研究，把原来的题目稍微加以修改，使其覆盖的内容扩大一些，在前人已经得到的成果的基础上，进一步开展研究，再做出一些前进一步的新成果，就成为一篇毕业论文。一般来说，在确定选题前应通过认真“查重”（避免重复的必要工作）来减少这方面的失误。

各专业组织教师提出和拟订本科毕业论文的题目时，就要考虑避免发生上述四方面的问题，其中前三方面的问题一般都可以在提出毕业论文的选题时考虑清楚而尽量予以避免。第四方面的问题，是理科科学课题研究类型的毕业论文所特有的一类问题，有时候不能完全在提出选题时避免。

2.1.4 课题研究的合作分工和独立作业问题

毕业论文课题分配原则上每一位学生独立完成一个课题，一般情况下不同学生的毕业论文课题不同。有些课题需要多人合作，可以由几位学生合作，但每一位学生应有完整的本人独立完成的部分，不能把几人合作的课题撰写成一篇论文又同时作为几位学生的毕业论文。

2.2 课题调研与文献检索

2.2.1 课题调研的目的

无论做哪种类型的毕业论文，在确定了课题后，都首先要进行文献调研，了解国内外前人在自己所要进行的课题研究工作方面已经做了些什么研究工作？是怎样做的？做到什么程度？取得了哪些成果？留下了哪些有待解决而尚未解决的问题？了解国内外现在还有哪些学者也正在开展与自己课题相近的或相关的研究工作？然后在此基础上制定出在前人工作基础上自己的切实可行的科学研究方案。

在科学实践的过程中和在撰写毕业论文过程中都需要进行文献检索和查阅参考资料。毕业论文中都必须包含“参考文献”部分，而文献调研和检索为毕业论文中列出参考文献提供基础。

2.2.2 文献资料的分类

在自然科学的研究工作中使用和检索的文献资料主要有七类：

第一，科学学术期刊

科学学术期刊是一种具有固定名称的、按一定出版周期出版的连续出版物，一般有统一的版式，用连续的卷号、期号和年号标志时序，每期刊登多篇学术论文，页码按期统编。科学学术期刊不同于科学普及期刊，它只刊登原始的科学成果论文，不刊登科学普及文章。

科学成果论文一般有三种类型：通讯类论文、系统研究性论文、综述性论文。

通讯类论文集中扼要地报道最新的重要研究成果。文章篇幅短、内容集中，着重反映对某一

问题理论和实验研究的新观点、新方法和新成果。通讯类论文发表比较快。有些重要问题的研究工作,已经取得了系统的研究成果,作者将这项研究工作的最主要内容,包括观点、方法和结果以通讯类论文的形式写出来先发表。

系统研究性论文一般不限篇幅,对于所研究的问题涉及的基本原理、实验方法和装备的描述比较详细,系统、完整地报道该项研究的新成果。系统研究性论文发表一般比通讯类论文慢得多。

综述性论文对某个科学方向或课题的研究的国际研究工作的发展成果进行比较系统、完整的介绍、总结和评述。综述性论文的内容不局限于作者本人的工作,而集中概括国际范围内在该方向的发展、动向和结论。

有的科学学术期刊只刊登通讯类论文,这类科学学术期刊的刊名中常有"Bulletin"(快报)、"Letters"(信函)字样。有的科学学术期刊只刊登综述性论文,这类科学学术期刊的刊名中常有"Developments or Progress"(进展)、"Reports"(报告)、"Review"(评述)等字样,但也不完全按这样来划分。多数科学学术期刊同时刊登通讯类论文和系统研究性论文,只有少数科学学术期刊同时刊登通讯类论文、系统研究性论文和综述性论文。

一些著名的科学学术期刊由科学界有影响的学术团体编辑出版,推选著名的学者组成编辑委员会,规定了一套严格的审稿制度,其中包括请同行学者对论文进行背对背的严格审查。因此在科学学术期刊上所刊登的文章,大多反映了有意义的科学成果。

第二,会议文集

在学术会议上学者报告和交流这学科领域最新的重要的研究进展和成果,报告的学术论文有研究进展的专题综述报告和研究成果论文,会后经主办单位把这两类在学术会议上报告和交流的学术论文汇集、整理、编辑、正式出版的论文集称为会议文集。在会议文集中报道了该学科领域最新的重要的研究成果。在自然科学的基础研究中,许多重要的研究成果往往首先在学术会议上报告和交流,然后才提交科学学术期刊刊出。因此通过会议文集得到的科学研究新成果的信息可能会早于从科学学术期刊上得到的信息。

会议文集一般以一本书的形式出版,一般在会议结束后半年到一年中出版。有一些重要的、每一年或两年开一届的专题国际学术会议,其会议文集固定由某一国际学术期刊集中在某一卷中作为专集出版。这样的会议文集出版较快,并且可以从相应科学学术期刊上查找到。

第三,学术论文预印本

世界各国的许多大学和研究所把本单位所撰写的自然科学的研究成果论文在完成后立即印刷成单行本直接分寄各同学科的大学和研究所进行交流,这种资料称为学术论文预印本。预印本是最快的研究成果论文交流途径。因为同一篇研究成果论文完成后要在科学学术期刊上发表,至少要在投稿后过3个月到半年才能刊出。但各单位所出的预印本寄给哪些单位是由寄出单位所确定的,因此各单位只能收到过去已经有的经常联系的大学和研究所印发的预印本。各单位常常对自己印发的预印本给以统一的编号,如果需要某一份已知编号的预印本,可以直接写信给该单位索要。

对于自然科学的许多学科中国际上已经有一些大研究单位建立了科学家文献资料库,其中包括预印本资料库,把每天通过网络或电子邮件收到的预印本按学科分类编号存储。任何大学、研究所或学者个人都可以通过网络或电子邮件与之联系、登记,该资料库就把每天收到的本学科

的各预印本的编号、题目、作者、内容提要等一起通过电子邮件传送过来。如果看到某一篇预印本需要参考全文，立即可以通过网络按照编号直接调取全文。预印本资料库的出现，使预印本的发送和索取都大大简化了，学者撰写的研究成果论文，只要通过电子邮件发给预印本资料库，立即就被编号并转发给国际上有关的同行；学者从预印本资料库可以每天及时得到全世界同行最新研究成果预印本的信息。

第四，专题科学报告

专题科学报告是研究单位就某一方面问题开展研究的进展和成果的系统总结报告。专题科学报告内容对成果的报道一般比科学学术期刊上报道的要更集中、具体、细致，有时也比科学学术期刊上报道得更早。但专题科学报告只在一定范围内交流，要通过适当的途径才能检索和利用。

第五，学位论文

学位论文是学生为获得学位，在导师指导下开展研究撰写的学术研究论文。学位论文被通过是授予学位的重要依据。已通过的学位论文一般不公开出版发行，可以向保存学位论文的单位查找。有的学位论文随后整理成科学成果论文在学术期刊上发表，则可以直接在科学学术期刊上查找。

第六，科学著作

在开展科学研究时需要参阅的科学著作有四类：教科书、学术专著、专题综述报告、技术资料手册。

学术专著是系统地总结介绍某一学科特定领域研究成果的学术著作，作者一般都是在该学科领域多年从事研究的学者。

专题综述报告是系统地全面总结介绍某一特定研究方向最新研究成果的学术报告，专题综述报告覆盖的研究方向比一般的学术专著要窄、集中，并且一般都是选重要的、国际上研究工作开展比较快的方向。许多专题综述报告的作者是当前在这方向前沿活跃地开展研究工作的学者，因此参阅综述报告可以很快了解到国际上在该方向的研究方面进展的情况。许多专题综述报告以学术专著的形式出版发行。

自然科学的一些大学科中出现一些专门只刊登专题综述报告的科学学术期刊，每期只刊登一篇或两篇专题综述报告，这实际上是以科学学术期刊的形式出版发行的专题综述报告的系列丛书。例如在物理学中国外的“Review of Modern Physics”和“Physics Reports”，国内的“自然科学进展”和“物理学进展”都是属于这类期刊。

第七，文摘索引

文摘索引是把某一学科在各科学学术期刊上刊出的各科学论文的作者、题目、内容提要汇集起来，按一定办法编辑定期出版的一类期刊。它集中报道了各学科最新发表的科学论文的重要信息，是开展科学研究、进行文献检索的重要工具。

国外的主要检索工具有：

(1)科学引文索引，Science Citation Index (SCI)，美国。

(2)工程索引，Engineering Index (EI)，美国。

(3)科学文摘，Science Abstracts (SA)，英国。

(4)文摘通报，Bulletin Signalelique (BS)，法国。

(5)国际科学期刊论文目录,Internationale Bibliographie der Zeitschriftenliteratur ausallen Gebieten des Wissens (IBZ),德国。

对于自然科学的许多学科国际上已经建立的预印本资料库,是一个重要的检索途径。

2.2.3 文献资料检索的方法与途径

文献资料检索可以通过三种方法进行:

第一,通过检索工具进行文献检索

文献检索的一种有效的途径是利用检索工具。根据需要可以从多种途径利用检索工具进行检索,主要的途径有:书名(篇名)途径、作者途径、文献序号途径、学科分类途径、主题词途径、关键词途径等。

第二,通过科学学术期刊进行文献检索

各学科都有几种重要的科学学术期刊,该学科的许多重要的研究成果集中在这几种科学学术期刊发表,可以着重对这几种科学学术期刊上发表的论文进行检索。科学学术期刊在每一卷的最后都有该卷中发表的所有的论文的总目录,一般常给出按篇名的总目录或按学科分类的总目录和按作者的总目录。因此,通过科学学术期刊进行文献检索时可以通过篇名途径、学科分类途径和作者途径进行文献检索。

第三,通过科学文献资料库进行文献检索

可以通过网络或电子邮件和科学文献资料库联系,通过科学文献资料库进行文献检索。检索时根据需要可以分别通过作者途径、文献序号途径、学科分类途径、发表时序途径等进行文献检索。

美国 Los Alamos 国家实验室等单位的科学文献资料库拥有物理学以及相关的几个自然科学学科的文献资料,其文献按以下的学科分类:

物理学

物理学:包括加速器物理,大气和海洋物理,原子物理,原子和分子集团,生物物理,化学物理,经典物理,计算物理,数据分析,统计学和概率论,流体力学,普通物理,地球物理,物理学史,仪器和探测器,医学物理,光学,物理学教育,物理学与社会,等离子体物理,普及物理学,空间物理

凝聚态物理:包括无序系统和神经网络,材料科学,介观系统和量子霍尔效应,软凝聚态物质,统计力学,强关联电子,超导

天体物理

广义相对论和量子宇宙学,高能物理—实验,高能物理—格点,高能物理—唯象学,高能物理—理论,数学物理,核物理实验,核物理理论,量子物理

数学

数学:包括代数几何学,代数拓扑学,偏微分方程分析,畴数理论,经典分析,组合学,复变数,微分几何,动力学系统,泛函分析,普通拓扑学,几何拓扑学,群论,历史和纵览,无限群理论,K-理论和同调,线性代数,逻辑,数学物理,度规几何,数论,数值分析,算子代数,优化和控制,概率论,量子代数,表示论,环和代数,科学计算,谱理论辛几何

非线性科学

动力学系统,混沌,量子混沌,拓扑动力学,循环展开,湍流,传播

图形形成,相干结构,孤子

适应性,自组织系统,统计物理,涨落系统,随机过程,相互作用粒子系统,机器知识

计算方法,时序分析,信号处理,子波,格点气体

严格可解系统,可积偏微分方程,可积常微分方程,Painleve 分析,可积分立映射,可解格点模型,可积量子系统

原胞自动机和格点

计算机科学

计算机研究库

如果要通过网络进行文献检索,可以通过网络进入:

http://xxx.lanl.gov/

其中有说明书,可以根据需要,按照说明书上介绍的方法,进行文献检索。

如果要通过电子邮件进行文献检索,可以按照所需要的学科向相应的科学文献资料库地址发一封订阅的电子邮件。这电子邮件只需在 Subject:处写上

subscribe

在电子邮件的正文处不要写任何字句,然后发出去。这样很快就会收到回信的电子邮件,通知你已列入订阅者名单,并告诉你一些有关事项。从这时起,科学文献资料库就将该学科每个工作日所收到的科学文献资料预印本的题目、作者、摘要按编号顺序通过电子邮件发来。你可以向同一科学文献资料库地址再发一封电子邮件。这封电子邮件只在 Subject:处写上

help

在电子邮件的正文处不要写任何字句,然后发出去。这样很快就会收到通过电子邮件发来的帮助文件,即说明书。就可以按照这个帮助文件介绍的方法,进行文献检索。

下面举例列表给出部分学科科学文献资料库储存资料的起始时间和科学文献资料库的电子邮件地址:

物理学	1996 年 10 月	physics@xxx.lanl.gov
大气和海洋物理	普通物理	物理学教育
原子和分子簇团	地球物理	物理学与社会
生物物理	物理学史	普及物理学(覆盖"科学美
经典物理	仪器和探测器	国人"杂志水平的文章)
计算物理	物理学中的数学方法	空间物理
数据分析、统计学和概率论	医学物理	
流体动力学	光学	
高能物理—理论	1991 年 8 月	hep-th@xxx.lanl.gov
高能物理—格点	1992 年 2 月	hep-lat@xxx.lanl.gov
高能物理—唯象	1992 年 3 月	hep-ph@xxx.lanl.gov
天体物理	1992 年 4 月	astro-ph@xxx.lanl.gov
凝聚态物质	1992 年 4 月	cond-mat@xxx.lanl.gov
广义相对论和量子宇宙学	1992 年 7 月	gr-qc@xxx.lanl.gov
核物理理论	1992 年 10 月	mucl-th@xxx.lanl.gov

化学物理	1994 年 3 月	chem-ph@xxx.lanl.gov
高能物理—实验	1994 年 4 月	hep-ex@xxx.lanl.gov
材料理论	1994 年 11 月	mtrl-th@xxx.lanl.gov
加速器物理	1994 年 11 月	acc-phys@xxx.lanl.gov
超导	1994 年 11 月	supr-con@xxx.lanl.gov
核物理实验	1994 年 12 月	nucl-ex@xxx.lanl.gov
量子物理	1994 年 12 月	quant-ph@xxx.lanl.gov
原子、分子和光物理学	1995 年 9 月	atom-ph@xxx.lanl.gov
原子物理	1995 年 9 月	atom-ph@xxx.lanl.gov
等离子体物理	1995 年 9 月	plasm-ph@xxx.lanl.gov
数学		
代数几何	1992 年 2 月	alg-geom@eprints.math.duke.edu
泛函分析	1992 年 4 月	funct-an@xxx.lanl.gov
微分几何	1994 年 6 月	dg-ga@msri.org
量子代数和拓扑学	1994 年 12 月	q-alg@eprints.math.duke.edu
非线性科学	1993 年 1 月	nlin-sys@xyz.lanl.gov
动力学系统、混沌、量子混沌、拓扑动力学、循环展开、湍流、传播		chao-dyn@xyz.lanl.gov
图形形成、相干结构、孤子		patt-sol@xyz.lanl.gov
适应性、自组织系统、统计物理、涨落系统、随机过程、相互作用粒子系统、机器知识		adap-org@xyz.lanl.gov
计算方法、时序分析、信号处理、子波、格点气体		comp-gas@xyz.lanl.gov
严格可解系统、可积偏微分方程、可积常微分方程、Painleve 分析、可积分立映射、可解格点模型、可积量子系统		solv-int@xyz.lanl.gov
其他		
计算和语言	1994 年 4 月	cmp-lg@xxx.lanl.gov
大气和海洋科学	1995 年 2 月	ao-sci@xxx.lanl.gov
电子邮件地址资料库		e-mail@xxx.lanl.gov

物理学的 18 个分科没有各自的科学文献资料库电子邮件地址，它们共同归入同一个物理学的科学文献资料库，电子邮件地址是 physics@xxx.lanl.gov。

第3章　理科本科毕业论文的撰写与成绩评定

3.1　毕业论文的撰写

3.1.1　毕业论文的构成

理科本科学生参加科学实践，进行科学探索、研究工作的整个过程是撰写毕业论文的基础，从科学实践的一开始就要为撰写毕业论文不断做准备，但正式着手撰写论文必须在整个科学实践的后期。在做科学研究实践的计划时要在后期安排一定的时间在导师指导下进行论文的起草、修改和最后给论文定稿的整个撰写工作。

理科本科毕业论文的结构一般由以下几部分组成：

第一，题目。毕业论文的题目应该能够精练、明确、准确地直接概括描述该项科学研究实践的主要内容和结果，毕业论文的题目所概括的问题范围应和科学实践所覆盖的范围相一致。

第二，内容提要。在论文主体之前，用200到500字扼要介绍本论文的内容、采用的方法和得到的主要结果。论文提要本身应该是一个对科学实践内容、方法和结果的完整的概括说明，论文提要中不应引用正文中的结果，也不应有所引用参考文献出现。除科学考察报告外，论文提要中一般不应有第一人称的语句出现。

第三，关键词。依次列出2～5个与本论文内容关系最紧密的关键词，各关键词的顺序按与本论文内容紧密的程度排列。关键词并要求和毕业论文的题目有直接的联系，关键词可以不是题目中出现的词。关键词应另行列于内容提要之后。

中文的题目、内容提要、关键词应该翻译成英文，供读者参考。英文的题目、内容提要、关键词一般置于整个毕业论文的最后，即置于参考文献之后。

第四，主体内容。理科本科毕业论文的主体内容一般由引言、正文、总结和讨论三大部分组成。引言一般包括本课题问题的提出、前人在该问题有关领域已经做过的工作和成果的概述、本课题的内容和采用的方法、本论文的结构说明等。正文是科学实践工作和成果的系统总结报道，是论文的最重要的部分，在整个论文中占的篇幅也最大。根据论文的实际需要，可以分成几节来撰写，每一节都有自己的标题。总结和讨论是对科学实践的成果进行概括总结，并在此基础上进行分析讨论，这部分要精练、明确、扼要、集中，篇幅不一定很长。

本科毕业论文的总篇幅（附录除外），包括图表在内，一般以1～1.5万字为宜，某些学科有特殊性，也不要超过2万字。

第五，附录。科学实践的某些方面的内容需要在本科毕业论文中反映出来，但又不宜于在论文主体中详述，可以放在附录中讲述。在论文主体中谈到有关内容时注明参看附录。附录的内容应有独立的完整性，并应有题目，以概括附录的内容。毕业论文可以有多个附录，按顺序予以编号，每个附录分别有各自的题目。

第六，参考文献。科学实践中参考了前人的研究工作和成果，在毕业论文中应该反映出来，

在论文中按行文涉及时的先后排列参考文献。在毕业论文主体或附录中涉及有关内容处,用上标形式列出参考文献的序号,在论文主体部分和附录部分之后的参考文献部分按序号顺序把参考文献逐个列出。自然科学科学论文的参考文献一般来自正式出版的学术期刊、学术会议文集、图书,特殊情况下科学论文的预印本和内部专题科学报告也可以列为参考文献。这些参考文献的注释格式分别为:

学术期刊:作者.论文题目.期刊名称,卷号(出版年份):页次。

例如:

[1]苏肇冰,高崇寿,周光召.$\pi + p \to \Lambda + \pi + K$ 反应共振 - 近阈效应关联的研究.物理学报,1963(19):672

[2]Chong-Shou Gao and Kuang-Chao Chou. A possible $SU(4)_c \times SU(3)_f \times U(1)$ model. Phys. Rev. 1981, D23:2 690.

如果作者的人数多于3人,则只写第一位作者的名字后面加"等"即可。例如:

[3]何祚庥等.云南宇宙射线站奇特事例的再分析.中国科学,1995,A25:596.

[4]Hesheng Chen *et al*. Search for new massive particles in cosmic rays. Phys. Rep., 1997, 1:282

学术会议文集:作者.论文题目.学术会议文集名称.编者.出版者,出版年份:页次。

例如:

[5]司宗国,谢去病,王群.重子湮没快度关联的研究.第五届高能多粒子产生和重离子碰撞理论研讨会文集.赵维勤,高崇寿编.北京:中国高等科学技术中心,1996:105.

[6]Xin-Nian Wang. Jets and high energy heavy ion collisions. Particle Production in Highly Excited Matter. eds H. H. Gutbrod and J. Rafelski. New York: Pelnum Press, 1993:387

图书:著者.书名.出版地:出版者,出版年月(版次):页次

如果该图书是第一版则可以略去版次。

例如:

[7]韩其智,孙洪洲.群论.北京:北京大学出版社,1987:101

[8]J. D. Bjorken and S. D. Drell. Relativistic quantum fields. New York: McGraw-Hill Book Company, 1965:130

预印本:作者.论文题目.预印本编号(出版年份)

例如:

[9]Xiaofeng Guo and Jianwei Qiu. The leading power corrections to the structure functions. hepph/9810548(1998)

专题科学报告:作者.专题科学报告题目.出版者(出版年份):页次

例如:

[10]G. Alexander *et al*.. Polarizationat LEP. European Organization for Nuclear Research, 1998, Vol. 2:129

第七,根据需要可以在理科本科毕业论文中加入目录或致谢部分。

当本科毕业论文篇幅较长、论文主体部分分节较多时,可以增加目录。按毕业论文的结构顺序和层次编目,并注上页码。目录可以放在毕业论文的主体部分之前。

致谢部分应以简洁的字句,对毕业论文工作过程中曾给予指导、帮助的导师、教师和其他人

员表示谢意。如果这项课题研究的经费来自某科学研究基金资助，亦应加以说明。致谢部分可以放在全文最后、参考文献部分之前。

3.1.2 毕业论文中的图表、度量单位

为了形象直观地说明自己的观点、意图，理科毕业论文课题研究中，会形成许多显示仪器设备使用、研究对象的特征，出现的可视现象或数据处理的图片、照片、曲线图或数据表等。凡用图或表格说明问题的，一定要在行文中对图（包括曲线图、照片）或表给予解释，图或表在文中分别统一编号，凡行文中直接引用的，一般图或表应排于相应地方。若同类图或表数量多，也可作为附录列于论文后边。

根据国家的规定，论文中出现的度量单位，都应用国际单位制。在引文中出现非国际单位制时，应予换算后加注。

3.2 理科本科毕业论文的审核与成绩评定

理科本科毕业论文成绩的评定包括两部分：是否通过和评语。

理科本科毕业论文的审核与成绩评定可以有两种方式：

第一种，由指导教师审核毕业论文，判定其是否通过并给出评语。

第二种，由答辩委员会组织毕业论文答辩，判定其是否通过并给出评语。

学校可以根据实际需要和具体情况决定采取哪一种方式进行毕业论文的审核和成绩评定。

理科本科毕业论文答辩委员会由包括该毕业论文的指导教师在内的3至5位教师组成，由其中一位不是该毕业论文指导教师的教师任答辩委员会主席。论文答辩会由答辩委员会主席主持，并有专人做记录。毕业论文答辩会程序如下：

(1)答辩委员会主席宣布开会，宣布答辩委员会组成名单。

(2)答辩人报告毕业论文主要内容。

(3)答辩委员会提问，答辩人就所提问题进行回答。

(4)休会，答辩人退场。指导教师介绍学生进行科学实践的情况，答辩委员会讨论并通过对毕业论文的评语，以无记名投票方式表决是否通过毕业论文。

(5)复会，答辩人返回。答辩委员会主席宣布对论文的评语和表决结果。

(6)答辩人表述意见或致谢词。

(7)宣布答辩会结束。

Ⅱ.地质学科篇

第4章　地质学学科简介

4.1 学科简介

地质科学是自然科学基础学科之一。它研究的时间跨度约45亿年,空间范围主要涉及地球的固体部分,即地核、地幔和地壳。它的基本任务有三个方面:一是研究地球物质的构成、分布、运动、形成、演化等方面的特征、过程、规律、机理和原因等,以获取有关的知识,建立科学的地球观,由此显示出理学性质;二是为自然科学、人文科学、社会科学以及其他领域的研究提供基础性的数据、资料和认识等,以推动科学的整体发展,从而表明它的基础学科特点;三是要满足人类不断增长的矿产、资源和能源的需求,为改善和优化人类的生存环境、协调人与自然的关系、确保人类社会可持续发展服务,从中展示出它巨大的应用价值。

近现代地质科学大体形成于18世纪晚期。自那时起到现在近二百年间,它以数学、物理学、化学、生物学和天文学为基础,与地球物理学、大地测量学、地理学等地球科学以及哲学、经济学、法律学等人文科学相交叉,同时在内部不断分化出一系列的基础性、应用性、交叉性分支学科,形成一个完整的学科体系。其中,基础性的理学分支学科可以被归并为三种主要学科大类:以研究物质的化学组成、作用和过程为主要内容的岩石学、矿物学、矿床学、地球化学,十分关注地球物质的物理学,特别是力学作用及其构造地质学,重点研究地质历史时期中的生物作用、生物纪录及其过程的古生物学和地层学,由此构成了6个相对独立的二级学科。按照1998年教育部公布的学科设置方案,它们被归并为地质学和地球化学两个本科专业。

4.1.1 矿物学、岩石学、矿床学和地球化学

地球化学、矿物学、岩石学和矿床学重点关注地球物质的化学作用与过程,显示出与化学学科关系紧密的共同特征。它们之间的区别在于研究对象和研究侧重点有所不同。地球化学、矿物学和岩石学的研究对象分别是元素与同位素、矿物、岩石,依次对应于化学中的元素与同位素、固体化合物、固体化合物集合体;矿床学的研究重点则是具有开采价值的元素、矿物、岩石以及石油、天然气等天然有机化合物质。研究侧重点的不同主要表现在:地球化学的研究重点包括固体物质中化学元素和同位素的赋存状态、分布规律和迁移机制;近年来,有关气体、流体的工作正在加强;其代表性分支学科有痕量元素地球化学、稀土元素地球化学、稳定同位素地球化学、放射性同位素年代学与地质学、气体—流体地球化学、环境地球化学、实验地球化学等。矿物学的基本内容包括矿物的结构、成分、物理性质、结晶学特点和形成条件等,主要分支学科包括结晶矿物学、矿物化学、矿物物理学、应用矿物学、成因矿物学、标型矿物学等。岩石学的研究内容主要为

岩石的产况、产状、结构、构造、化学组成、物质来源、形成过程、定位条件等，基本分支学科包括岩浆岩石学、沉积岩石学、变质岩石学、岩石物理化学、岩石地球化学和试验岩石学等。矿床学关注矿床的特征、成矿过程、形成机理、流体作用、交代作用等，主要分支学科包括岩浆矿床学、热液矿床学、沉积矿床学、变质矿床学，或金属矿床学、非金属矿床学、石油地质学、天然气地质学、煤田地质学。

4.1.2 构造地质学

构造地质学是研究地球物质在固体以及塑性体状态下发生的物理、特别是力学作用和过程的学科。在其内部通常依据研究尺度的不同可进一步划分为若干分支学科，如显微构造地质学、中小构造地质学、区域构造地质学和大地构造地质学等。显微和中小构造地质学的研究对象主要为断裂、褶皱、揉皱、面理、劈理、滑脱等各种构造形迹，在更大一级的构造中还包括地体、板块、槽台等大型和巨型构造体；内容包括几何学、形态学、运动学和动力学诸方面。

4.1.3 古生物学及地层学

古生物学是以研究地质历史中的生命现象、过程及其地质意义的分支学科，主要研究古生物的形态、种群、分布、演变、分类等，同时应用生物进化原理研究地层的层序，形成地层学方向，与生物学密切相关。不同之处有两点，一是在于研究的时代，它通常更加关心人类出现前的生命；其二是它更加关注古生物的地质意义。例如，应用生物进化理论来确定地层的时代、依据生物种属的特征探讨古气候、古环境问题等。代表性分支学科是微体古生物学、古脊椎生物学、古无脊椎生物学、古分子生物学、古生态学、古生物地理学、生物地层学等。

4.2 地质学科发展趋势和研究课题的特点

4.2.1 地质学科发展趋势和研究课题的特点

当代地质科学发展的基本态势可以用24个字来概括，即学科分立、纵向深入；课题交叉、横向延伸；相互融合、共同发展。

学科分立、纵向深入是指地质科学内不同分支学科都有自己特定的研究对象、内容、手段和主题，呈现出向纵深发展的趋势。与此相关的研究课题具有专业性质，通常表现出以下几个方面的特点：

(1)通常选择与学科发展关系密切的课题开展工作，以发现新事实，获取新资料，提出新认识，建立新观念，促进学科知识的不断完善与发展。

(2)研究目标通常可以在分支学科内部运用自身的研究技术和方法加以实现。

(3)研究技术和方法相对独立，专有性强。

(4)研究思路和技术路线相对成熟，主体的研究思路和技术路线已经进行过多次实践。

(5)命题灵活，题目可大可小，内容可多可少，便于灵活掌握。专业期刊中的大部分论文内容都与此类课题有关。

课题交叉、横向延伸是指各个分支学科不仅注重本学科的发展，还十分关注科学的整体发展，往往选择一些共同关注或制约地质科学、地球科学发展的重要、重大问题作为结合点，开展共同的研究。其结果是在推动学科整体进步的同时，拓宽了原有的专业领域，形成了一些新的前沿性和/或交叉性研究课题或方向。

与此相关的一些代表性课题或领域包括:地球化学中的同位素地质学、有机地球化学、环境地球化学、理论地球化学、化学动力学。矿物学中的矿物物理学、晶体微结构分析、生物矿物学、宇宙矿物学、矿物变形及其构造效应。岩石学中的岩石地球化学、岩石大地构造学、岩体侵位机制、高压与超高压变质作用研究、PTt 轨迹。矿床学中的生物成矿作用、矿床地球化学、矿产经济学、海洋矿床学、构造成矿作用、流体成矿作用、超大型矿床等。构造地质中的构造运动学过程和动力学机制、中小构造定量化研究、显微构造与超显微构造形迹与形成机制、造山带形成与演化、灾害地质学、遥感地质学、前寒武纪地质学。古生物与地层学中的化学地层学、事件地层学、层序地层学、分子古生物学、微体和超微体古生物学、前寒武纪古生物学、古生态与古环境学、古生物化学、生物地层学等。

相互融合、共同发展是指各个分支学科的衔接日趋紧密。它们往往围绕一些重大的科学命题采取联合行动,融合各家方法与手段之特长,开展跨学科的综合研究工作,共同推动了地质学、地球科学的整体发展。这种融合导致了一系列跨学科和/或重大、优选课题的出现,使一些研究课题的学科界限变得越来越模糊不清。

4.2.2 地质学科未来发展趋势和研究课题

下面列出的 13 项研究目录即属于跨学科和/或重大、优选研究课题[①],并从一个侧面反映了我国地质科学家们对未来学科发展趋势和研究课题的认识。

1.大陆动力学领域

(1)青藏高原隆升、深部过程与多圈层相互作用;

(2)造山带、大陆伸展与盆地动力学,盆地——山脉系统动力学;

(3)碰撞作用、超高压变质及其动力学过程;

(4)陆下地幔及其与大陆的相互作用;

(5)巨型花岗岩类的成因与动力学;

(6)大陆断裂作用过程与大地震旋回;

(7)中国岩石圈四维填图;

(8)早期地壳演化及其动力学;

(9)大地测量的反演、现代地壳运动及其动力学。

2.矿产资源勘察与综合利用

(1)大型和超大型矿床的基础问题与找矿方向;.

(2)矿化集中区内寻找隐伏难识别矿的技术方法;

(3)新型矿产资源、矿床类型的预测与发展;

(4)非金属矿物资源与深加工;

(5)共生、伴生矿的综合开发利用和微细粒金的选冶技术。

3.油气勘探开发的新理论与关键技术

(1)油气储层的结构、流体特征与定量描述;

(2)含油气盆地的整体分析、油气藏分布与油气形成;

---

① "走向 21 世纪的中国地质科学"研究组.走向二十一世纪的中国地质科学.郑州:河南科学技术出版社,1995(个别文字略有改动)

(3)天然气的形成与分布规律；
(4)油气开发快速评价系统技术；
(5)古生代、中生代海相地层找油理论；
(6)深部油气成因与聚集规律；
(7)煤层气与非烃资源形成、转化及其评价与技术开发；
(8)复杂地质条件下的油气勘探技术；
(9)非生物成因天然气。
4.全球变化研究
(1)地球内部脱气过程及其在全球变化中的作用；
(2)全球变化的地质记录与古季风变迁；
(3)区域和全球环境变化模式的发展与全球变化的模拟和预测。
5.自然灾害与减灾
(1)地球系统各分量的相互作用与自然灾害的形成机理；
(2)现代减灾理论与综合区域减灾技术；
(3)灾害评估与我国主要灾种的危害性与风险评价；
(4)地震前兆场的非均匀结构与非线性过程研究和中期地震预报；
(5)地质灾害的预测和防御。
6.地球物质与地球化学循环
(1)固体地球各圈层物质、能量交换及其动力学过程；
(2)超临界流体与壳幔物质的性质、状态及其演化；
(3)高温高压下地球物质的状态、固液反应和相间动力学；
(4)壳幔相互作用与地球化学循环；
(5)元素、同位素示踪体系；
(6)地幔物质的不均一性及其成因；
(7)深部物质状态的岩石证据。
7.地球内部流体与成矿
(1)地壳内部流体的来源及其对地质作用的控制作用；
(2)热、流体、化学与成矿作用；
(3)壳、幔岩浆成矿系统；
(4)盆地中热流体系统与复合成烃机制；
(5)生物—流体—成矿系统。
8.边缘海的地质过程及其动力学
(1)边缘海的形成、演化和成矿作用；
(2)洋陆壳相互作用和大陆架资源。
9.地球深部(内部)结构与动力学
(1)地球内部精细结构的探测；
(2)地球内部物质单元的物理性质、热结构和均衡作用；
(3)地球内部低速层的流变过程及其动力学意义；

(4)地核与地幔的动力学过程,地球内部各圈层能量、质量、动量传输过程及其界面效应;

(5)地球磁场变化与核幔偶合;

(6)大地水准面起伏与地幔对流。

10.地球历史中的环境变化与高分辨率地层学

(1)重大地质事件的全球等时性;

(2)古生态系统的演替(地质历史中环境与生物的相互作用);

(3)超大陆形成与地球环境变化和生物圈演化;

(4)高分辨综合地层学及新一代地质年代表。

11.古生物与古人类

(1)隐生宙生物的起源与早期演化;

(2)地质时期生物与环境协调演化;

(3)分子古生物学;

(4)人类的起源、古人类与环境协调发展与古文化。

12.日地系统整体行为与地球的动态变化

(1)地球的动态变化及地球动力学参考坐标系;

(2)地球自转、极移及其内部物理机制。

13.南极大陆的构造演化与环境变迁。

美国学者在1993年提交的《固体地球科学与社会》研究报告中提出,包括地质科学在内的地球科学应当优先发展以下五个研究领域(见表1):Ⅰ全球古环境和生物的演化;Ⅱ.全球地球化学和生物地球化学循环;Ⅲ.地球内部和表面的流体;Ⅳ.大洋和大陆的地壳动力学;Ⅴ.地核和地幔动力学。

表4-1 美国固体地球科学的研究机会

研究目的 / 领域	*A* 了解过程	*B* 保证供给	*C* 减轻灾害	*D* 调节环境
Ⅰ.全球古环境和生物的演化	·近代全球变化 ·古地理与古气候学 ·古海洋学 ·环境变化的驱动力 ·生命史 ·化石的发现与复原 ·灾害和灾变 ·有机地球化学	·各时代矿床		·过去的全球变化 ·过去的灾变 ·全球变化中的固体地球过程 ·现今测量的全球数据库 ·火山喷发物与气候改变
Ⅱ.全球地球化学和生物地球化学循环	·大气圈和大洋的地球化学循环 ·来自地幔的地壳演化 ·大洋扩张中心和大陆裂谷系的通量 ·汇聚板块边缘的通量 ·地球化学的数学模拟	·有机地球化学和石油成因 ·微生物学与土壤	·水库的防震安全 ·火山前兆现象与喷发 ·正在变化的土壤体积	·地球科学/材料/医学研究 ·有机化学反应的生物学控制 ·废料处理地球化学

续表

研究目的 / 领域	A 了解过程	B 保证供给	C 减轻灾害	D 调节环境
Ⅲ. 地球内部和表面的流体	·汇水盆地分析 ·矿物～水界面地球化学 ·孔隙流体与活动构造 ·岩浆产生与运移	·水－岩作用的运动学 ·汇水盆地分析 ·沉积环境数值模拟 ·矿产资源的原地开采 ·地壳中的流体		·放射性废物隔离 ·地下水保护 ·废物处理 ·有害废物的原地净化 ·采矿新技术 ·采矿活动的废物处理
Ⅳ. 大洋和大陆的地壳动力学	·地貌变化的数学模拟 ·层序地层学 ·大洋岩石圈的产生与增生 ·大陆裂谷 ·沉积盆地与大陆边缘 ·大陆规模的模拟 ·岩石圈交代与变质作用 ·地壳的状态：热、应变、应力 ·汇聚板块边缘的岩石圈 ·造山带的历史：深度、温度、时间 ·地壳破裂的定量化研究 ·近代地质过程的速率 ·实时板块运动和近地表变形 ·地质预测 ·现代地质图	·沉积盆地分析 ·矿产资源赋存预测 ·隐伏矿体 ·矿体的中等规模探测 ·新油气藏的勘探 ·提高产量和回采率的方法 ·隐伏地热学	·地震预测 ·古地震学 ·火山地质制图 ·火山遥感探测 ·滑坡危险性图 ·滑坡预防 ·测年技术 ·实时地质学 ·改造地貌的极端事件 ·地理信息系统 ·灾害干扰问题 ·新构造特征的探测	
Ⅴ. 地核和地幔动力学	·地磁场的成因 ·核—幔边界 ·地球内部成像 ·高温高压实验 ·地球化学动力学 ·地球动力学模拟			

注：美国国家研究委员会的《固体地球科学与社会》研究报告，转引自中国地质矿产研究院 1993 年译文，略有删改

第5章　地质学科本科毕业论文的基本形式、选题和论文写作要求

5.1　地质学科毕业论文的基本形式和要求

5.1.1　基本形式

地质学科(理学)本科毕业论文首先应当是一种学术论文。它的基本作用是描述自然现象，表述地质事实，论述学术观点，探讨科学规律。为此，可以根据研究目的以及侧重点的不同将毕业论文的题型大致划分为论证性、实验性和描述性三种基本类型。

论证性题型是一种被广泛采用和十分常见的毕业论文类型。它通常围绕地质科学中的某一命题，开展野外地质调查、室内研究、实验测试工作，获取以地质现象、事实、测试结果、实验数据等为主体形式的论据，经过分析、类比、解释、推理等论证过程，阐述其论点。其最终结果是确立某种新事实、新现象；或提出新的概念、定义、定理、公式；或阐述它的意义、作用、影响、认识；或是建立新的理论、学说、猜想、模型、模式；或是对已有的成果进行修正、补充、完善工作。总之，这类论文的内容是多种多样的，但是它们都具有一个共同的特征：实际工作则围绕某一科学论点，通过资料搜集、证据描述、分析归纳、解释推理，撰写成文，继而提出、表述作者的科学观点、学术认识等。论文通常包括“论点、论据、论证”三种要素，构成论文的主体。

描述性题型也是一种常见的毕业论文形式，特别是在以形态、形迹、特点、特征描述为主的某些领域和研究课题中应用的更为广泛。其基本作用是客观地描述和报道新事实、新现象、新证据和新资料。从方法上讲，这类文章通常采用详细描述、系统比较的方法，对发现物的产地、产出状态、产出环境和主要特征进行客观详实的描述。如果必要，还要对其发现和采证过程，以及它与类似物的区别进行对比和/或描述。在一些以这种文体形式撰写的论文中，有时也有相关问题的论述与探讨，但它们一般不构成论文的主体。

实验性论文是报道实验研究的条件、过程、资料、成采，或报道新的研究技术、研究方法、研究手段，并进行理论分析、实际意义讨论的论文体裁。它们多数出现于与实验研究和技术方法应用等关系密切的学科、研究领域中，如实验岩石学、实验地球化学、岩石物理化学、矿物谱学研究等。论文的基本内容是阐述课题构思，指明实验条件，叙述实验过程，记录实验结果，论证实验的合理性、客观性和可靠性，并进行理论和意义等问题的讨论等。一般讲，这类论文的专业性很强，内容也较专一。

5.1.2　基本要求

地质科学学科(理科)本科生毕业论文属于综合性的学习和训练课程。这种特点决定了它与一般科技论文的不同。即它不仅要遵从科技论文写作的一般规律和符合格式化的要求，同时还有着自身的特点和要求。这些特点和要求可以被归纳为以下7个方面。

1.适宜性:本科学生毕业论文是为融会贯通、巩固提高本科学生的基础知识,培养学生的初步科学研究能力而设置的实践课程。这种特点要求论文选题、制定技术路线、考虑工作内容以及实施过程中既要充分发挥作者的创造性和创新精神,又要考虑学生现有的知识层次、知识结构和把握程度,尽可能不要超过教学大纲的要求。

2.学术性:地质科学理学人才培养的主要目标是为本学科的发展培养后备人才,毕业生中的大多数人也将直接或间接地从事于学术研究工作,为此而设置了毕业论文的教学环节。这种特点要求毕业论文工作应当以学生学术能力的培养为主,应该在分支学科或专业内开展具有实际意义的学术活动,以使学生认识学术研究的特点,了解学术研究的步骤与方法,初步掌握若干方法,满足学术人才培养的要求。

3.实践性:实践性是地质科学研究的基本特征之一。与之相关的研究成果也不例外,无论是描述性成果,还是理论构想,本质上都是建立于客观事实的观察和认识的基础之上的。因此,亲自参加野外科学考察,学习观察与认识的方法,提高认识自然的能力就显得十分重要。毕业论文中应该强调实践性的特点,并应该反映在相关的成果中。

4.综合性:是区别于一般科学研究论文、各类实习报告和学年论文的基本特征之一。毕业论文是学生各类基础知识的融会贯通、巩固提高的过程。为了达到这一目标,选题时应该注意选择综合性强的命题,尽可能避开内容过专、方法单一的课题。

5.系统性:作为科学研究的学习和训练过程,论文工作中要倡导系统性原则;注重参加从选题、野外考察、实验测试、文献搜集、资料整理、推理论证到文字表述等各个方面的系统实践活动,以完整了解学术研究的基本步骤与过程;注意系统资料的收集、整理、分析,以获取尽可能多的论据;注意论文内容的系统性,以获得完整的认识。

6.独立性:毕业论文不仅是学生自身的学习成绩、科学态度、研究能力和学术水平的综合体现,而且也是学生学习成绩评定的主要标志。为此,有关毕业论文的主要工作应当由学生独立完成,导师应该仅仅是论文工作的指导者而不应该是论文的实际完成人。同时,毕业论文应该严格禁止他人代做代写、变相代做代写和抄袭、剽窃等不良情况的出现。

7.科学性:毕业论文科学性的具体体现是:技术路线要适宜,研究方法要得当,立论要有据,论据要充分,论证要严谨,结论要合理等。此外,应该特别提及的是论文中所表述的内容和作为论据材料的事实、现象、数据、资料必须要真实、客观、可靠;有关实验结果应该具有可重复性,应该能够经得起时间和实践的检验,而决不允许任何胡编乱造、弄虚作假等行为的出现。

5.2 地质学科毕业论文的选题

题目选择是毕业论文活动的重要环节之一,也是确保教学效果、论文质量和如期完成论文工作的前提。下面拟就论文的选题要求、选题范围和基本题型问题进行论述。

5.2.1 选题要求

选题时应考虑的几个基本因素包括论文的创新性、适宜性、适度性、可行性和经费保证。

1.创新性:创新性是一切学术活动的基本特征。因而,在毕业论文工作中也要贯彻执行这一原则,在努力开展创新精神和意识培养的同时,也要注意论文内容与成果的创新,即①在内容方面,是否发现有新的事实、现象,获得新的证据、资料;要特别关注在确立某种科学现象、某种科学

观点方面具有至关重要作用的现象、事实、证据等。②在成果方面，是否能够提出新的看法、认识、理念乃至理论，或修正已有的认识，或进一步确立存在争议的事实、现象、结论等成果。③在技术路线或研究方法上，是否能够采用新技术、新方法、新手段等，是否有所创新乃至创造。

2.适宜性：选题要充分考虑学生的学习兴趣、知识构成、掌握程度、实际能力，以及未来的专业方向。如果该学生的知识结构与其研究课题一致，又有较为坚实的基础知识，较强的科学悟性，加上勤奋，他就可以很快进入论文工作中的角色，及时获得必要的资料、数据并加以分析整理，撰写出高质量的毕业论文。否则，他即使再努力也难以达到毕业论文的要求。

3.适度性：意指题目的大小要适中，不要过大或过小。题目太大，往往会使作者在尚未掌握足够的研究资料的情况下为赶时间而草率从笔，致使文章因论据不足而显得空洞无物；或论证过程侃侃而谈而言之无物；或蜻蜓点水，虽然论述得面面俱到但皆不深入，或论述多为自己的主观猜测、臆想，难以使人信服。反之，题目过小，达不到综合训练和系统学习的目的。

4.可行性：论文能否如期完成以及质量高低在很大的程度上取决于野外工作条件，地质现象的发育、出露程度，是否具备室内研究条件，以及各种设备的工作状态和精度等，应该在课题设计时给予充分的考虑，以避免出现虽然所选择的课题意义重大，但由于难以开展工作、不能获得足够的证据而使论文不能按时完成，甚至不能通过的情况。

5.2.2 选题范围

原则上讲，毕业论文的选题范围没有什么特定的和严格的限制，只要它们体现出特点、符合选题要求即可。不过，在实际工作中也常出现一些问题，特别是在课题类型的选择和主要研究内容上出现的问题较多。一些人刻意追求前沿、热点课题而忽视学生的学习特点，过分强调新技术的应用而轻视基础方法的训练，等等。为此，有必要对此问题加以阐述。

从本科生人才培养目标、知识构成、研究能力等实际情况综合考虑，选择专业性的基础课题作为毕业论文的首选题目是适宜的、可取的。原因在于：①这类课题通常需要综合性的专业基础知识，工作以及论文撰写过程经常要涉及基本概念和原理，符合本科生现有的知识结构和水平，也有利于教师了解他们专业知识的掌握程度及其水平；②它们通常采用最基本的专业研究手段和方法进行工作，因而可以使学生在工作过程中受到良好的基本技能、基本方法的训练；③这类课题可大可小，比较灵活，便于指导教师根据学生的具体情况确定和调整课题，确保论文如期完成；④这类题目或课题的研究内容往往较为具体，容易被学生理解。例如，对于一个准备选做岩石学题目的学生，他首先想到的是要研究岩石的产况产状、规模大小、形态特点、结构构造、矿物组成等方面的问题，因为他们已经从书本和课堂上了解和掌握了这方面的知识。

5.2.3 题型举例

本节列出了一些论文题目以使读者能够直观具体地了解本科毕业论文的题型特点：

1.燕山地区雾灵山碱性正长岩体的岩石学特征及其形成条件探讨。

2.冀东迁西群麻粒岩的岩石学特征及其变质条件研究。

3.河北小寺沟铜钼矿床的矿床学特征及其成因机理探讨。

4.河北武安矿山村铁矿的夕卡岩矿物学研究及其成因探讨。

5.河北浮图峪铜矿床的金属硫化物矿物学及其成矿条件。

6.河北小营盘金矿的矿物学研究及其找矿意义。

7.汉诺坝玄武岩岩石包体的矿物学特征及其形成的温压条件。

8.北京西山南大岭组玄武岩的地球化学特征及其构造环境分析。

9.冀北张家口组流纹岩的 Rb～Sr 同位素年代学及岩石物质来源。

10.郯庐断裂中段的显微构造特征及其断裂性质探讨。

11.北京西山山前断裂的构造形迹及其力学性质研究。

12.大兴安岭中段中生代的化石种群及其地层时代。

13.华北及其邻区牙形石的特征。

14.辽东晚寒武统长山阶生物地层分带与对比。

5.3 地质学科毕业论文的基本格式与内容

毕业论文是学生专业知识掌握程度和各种能力的综合反映,也是进行成绩评定,衡量毕业生是否达到学位论文要求的主要依据。为此,每一个毕业生在研究工作完成后,应该尽快转入到论文撰写工作中,独立撰写出毕业论文。

论文写作时,学生应该按照一定规格和有关范例开展工作,做到文体结构的格式化、学术用语的规范化、图表符号的统一化等。其中文体结构,特别是格式的规范化是科学论文的一个重要特点,在以学术讨论为主的毕业论文中也应该如此。目前,一些学校已经制定出论文写作的格式要求,对论文的章节设置、书写格式、图表制作、参考文献列法等都有统一的要求,为论文的规范化工作提供了基本的依据和有益的经验,十分值得提倡。这部分内容请参阅有关规定,在此不再赘述。

就地质学科论文的篇幅而言,包括图表在内的全文文字一般不要超过 2 万字为宜。目前论文普遍存在文字过多、篇幅过长的情况。原因在于无关资料引用过多,选择和归纳不够。另一个重要原因是没有注意运用引文注释的方法。论文写作中应当加强这方面的训练,在文章中要重点阐述引文中与本项研究关系密切的结论性成果,对于引文中结论的论证过程尽量压缩到最低限度,只要注明出处即可。论文章节划分可以根据实际需要而定,但总体上应该保持各章节的字数大体相近,尽可能避免有的章节很长,有的章节很短的情况出现。一般讲,一个完整的毕业论文应该包括以下几个方面的内容。

第一部分 序言

亦可被称为前言、引言、绪言等,是毕业论文的开首篇,具有开宗明义、点绘研究背景、论文主题及其主要工作成果的作用。序言的基本内容应该包括以下几个方面:①课题的由来和研究意义、历史、现状以及发展趋势等——它可以反映学生的文献阅读情况和能力,问题的归纳和总结能力等。②工作区位置、范围、交通、自然地理状况、生活和工作条件等。③前人工作程度和已经取得的主要成就等。④本人工作情况,包括研究目的,工作的时间、内容、成果及其所取得的主要认识等。同样,该部分应该附有必要的交通位置图件,以弥补文字叙述的不足。

作为开首篇,此部分内容的叙述要求语言要精炼、概括,避免繁琐、累赘,篇幅也不要过长,一般文字控制在 1200 字左右为宜。否则,文字过多、段落太长,就会给人以喧宾夺主的感觉。

第二部分 区域地质概况

目前,在大多数学术期刊刊载的研究论文中,有关区域地质概况的论述常常十分简练,多数只有若干行文字,不单独成章。与此不同,我们在此提出毕业论文中要有区域地质问题的论述,

并要求用一定篇幅单独成章，其目的有三：一是试图强调本科学生应当进行这方面的学习和训练，以得到完整的科学研究方法的训练；二是这部分内容对于培养学生的资料搜集、分析、归纳、整理能力具有重要意义，也是这些情况的最直接反映；三是开展这方面的工作有利于提高学生提出、分析和解决问题的能力。

毕业论文中有关区域地质问题的论述一般应该包括区域地质发展简史及其地层、构造、岩类分布等方面内容。其篇幅的长短和论证的详细程度可以根据论文题目的总体情况而定，一般不要超过论文总篇幅的1/5为宜。作为资料搜集、分析、概括和整理能力的体现，作者要将有关的材料转化为与论文主题密切相关的论证材料，特别是要突出与论点相关的资料和事实的论述，而不要只是把它作为一种八股文式的文体要求看待，随意照搬，乃至原封不动地照抄他人的研究成果。倘若如此，它不仅会失去论文的意义，还会养成不良的抄袭习惯——这种情况应该在论文工作中严格杜绝。

第三部分　正文

正文部分的内容通常包括不同尺度、级别、类型的地质现象的描述，实验方法、条件的简述及其所取得的测试资料、数据等主要论据材料的叙述。它是作者论文工作的方式、方法、途径和所获得的基本材料等的文字表述，是论证材料的最主要、最集中的体现。

正文部分的章节划分通常依据作者的实际材料的多少，工作的性质、内容等实际情况而定，没有统一的、固定的格式。只要层次结构清楚，内容完整充实，便于阅读理解，并保持不同章节间文字数量的相对平衡即可。

第四部分　问题讨论与主要结论

本部分的基本内容是紧密围绕作者的学术观点，即论点，依据正文部分提供的论据材料进行理论分析、推理和论证，并阐述作者的意见、看法、观点，或提出新的理论，新的模式、模型等。

就方法而言，有关的问题讨论、理论分析、推论通常可采用事实论证、事理论证、比较论证、因果论证等方法。

事实论证就是运用客观事实材料为论据而展开的探讨、论证。它通常运用人们通晓的工作方法、普遍原理来探讨、解释客观事实的实际意义，以明确提出和表述自己的意见、观点和看法等。例如，依据穿插关系确定岩浆岩形成的相对时间顺序，利用破碎带的特点探讨断裂构造的力学特征等，都是运用事实论证方法进行科学论证的实例。由于这种方法具有简便、直接、准确的特点而成为论文工作中最为常用的论证方式。在此需要提及的是运用此方法时，一定要选择人们普遍接受的原理、方法来进行论证，同时要力求论据新颖、清楚、准确，论证材料真实可靠，只有这样才有说服力。

事理论证是指利用经典著作中提出的原理、哲理、认识、结论等作为依据，进行论点的论证工作。它运用一般的事理论证（讲清道理）和引证（引用经典著作中的论述、认识、结论等）两种方法。采用事理论证时应当注意做到思路敏捷、说理透辟，引证的内容准确、典型、恰当，能点石成金。

比较论证是地质科学中十分普遍的论证方法之一。所谓比较论证意指通过甲乙两种事物的比较，如将研究对象与典型现象进行比较，进行论证并提出自己的认识、观点、看法、意见等。按照类比物间性质的不同可以将比较论证方法进一步划分为类比论证、对比论证、差比论证等三种基本形式，即在同类事物间比较的类比论证法，不同事物间比较的异（差）比论证法等，它们可以

通过相同事物间的相似性比较论证它们的同一性，或通过不同事物间的差异性的论述证明它们的不同，用排除法论证研究对象的非此即彼的特点，从而表明作者的意见。进行类比论证时要特别注意抓住事物本质和主流进行类比，切不可将非本质、非主流的东西放在一起相比较，以致难于得出与类比物一致的结论。

因果论证是根据客观事物的基本发展规律，从发生发展序次和因果关系的角度来分析、探讨论据的内在含义，解释和说明它们在论点中的意义的方法。在地质科学中，这种方法常以某一种已有的理论、模型或模式为参照物，对所掌握的基本事实进行理论分析和解释，并将这些现象作为某种作用的结果或产物对待。例如，人们依据板块构造学说理论来解释花岗岩的成因和形成作用，并将它们作为板块分离、俯冲、碰撞等方面的证据考虑就体现有这种论证的思路与方法。

除了以上方法外，应用逻辑演绎和归纳综合两种方法进行有关问题的论证也是地质科学论文中经常用到的方法。一般认为，逻辑演绎是从一般到特殊的推论过程，而归纳方法则是从特殊到一般的推理过程。

第五部分　结束语

本部分在毕业论文中通常不作为正式章节看待，而被标为结束语、后记、致谢或其他名称。它的主要内容包括致谢，即对整个工作中给予过自己帮助、提供过忠告等的教师、同学、实验人员以及其他有关人员表示感谢。同样，一些与论文主题关系不大，但作者想要说明的其他问题、事项也可放在此段中说明。总之，这部分写些什么，应该根据需要而定，不必强求一致。

第六部分　参考文献

参考文献是学术论文的重要而不可缺少的部分。它的基本内容应该包括自己参阅过的能够反映国内外相关研究情况的综述文章；重要而有代表性的文献；与论文区域地质背景有关的文献资料、专题报告等；能够反映论文中曾经引用、引证过的资料、观点的出处的资料、文献、文章；反映有关新的工作方式、方法以及其他与论文内容相关的参考材料等。

在列举文献资料中应该给予特别注意的是：目前参考文献的排列顺序、内容要求和列出格式通常依不同学术刊物而异。如果有关方面对毕业论文中参考文献的格式有明确要求，学生应该按照有关规定去做。否则，可以参照某一杂志上的格式要求去做，同时应该特别注意自己论文内部的所有参考文献的格式保持一致。

5.4　毕业论文的检查与修改

论文初稿完成以后，下一个环节就是进入论文的检查和修改阶段。该阶段的主要目的是对毕业论文进行全面和系统的检查，从中发现问题并及时加以修正，以确保论文内容的真实性、论述的合理性和写作的质量。古人云：行百里者半九十，足见论文检查修改工作的重要性。论文检查可以根据先整体、后局部，先内容、后形式的原则进行，它们大体上可以划归为学术内容和写作技巧检查两个方面。

1.学术内容检查

(1)论文的整体构思：论点、论据和论证是毕业论文写作的基本形式，对此应该给予特别的关注。检查时应该着重注意论文的论点是否明确、清晰；论据是否充分、完整；论证是否合理、符合逻辑；论据、论证是否与其结论相符等。如果论文的论据材料不充分，或论证结果与拟订论点不

一致，则应该考虑对论点的修改、更正。

(2)论文题目：要审查论文题目是否贴切，是否运用了最精炼的语言来完整、准确、恰当地反映论文的整体内容，在此基础上要注意论文题目是否新颖，是否具有吸引力。

(3)论据资料的检查：重点是数据是否准确，处理方法是否合理；有无计算错误、取舍错误和笔误现象；有无其他表述方面的错误等。

(4)学术用语及其辅助表达形式的检查：主要是检查学术用语是否规范；概念的运用是否严格、准确；图件、表格、公式、符号等的形式是否符合要求，内容是否完整，有无遗漏等。值得单独一提的是文中使用的度量单位应该一律采用国家颁布实施的标准，避免使用已经被废弃的度量单位。如果在必要面被允许的情况下使用，则应该加以特别说明。

(5)引文引证的检查：对于引用他人的资料、数据、图件和观点之处，应该给予重点检查和精确的标示，以避掠美之嫌。

2.写作技巧检查

(1)论文格式：主要是检查论文的书写格式是否符合统一的要求；必要章节、内容，特别是论文摘要、关键词等有无缺失；参考文献的排列顺序及其列出方式是否正确，基本的书写格式是否规范等。

(2)论文的整体结构：论文的布局是否合理，有无章节过长或过短、内容过重或过轻的情况。如果出现这种情况，则要考虑在不影响论述效果的前提下重新调整论文的布局，以保证结构的合理性。

(3)语言表述以及语法修辞方面的检查：主要检查语句是否通顺，文笔是否流畅，词语是否精练、达意，论述是否客观、准确，以及文中是否有笔误、错别字等。

如果在检查中发现有上述问题，则应该考虑通过增补、删除、改换等方式进行论文的修改工作，个别情况下甚至需要部分改写。

论文检查修改工作主要由学生承担。在必要的情况下可以请指导教师协助进行，重点工作应该放在对论文的结构、文字、图件、论点、论据和结论等部分进行全面、系统的审查，提出原则性修改意见，同时责成撰写人进行修改、补充。论文修改定稿，需征得指导教师同意后方可进行誊写、打印装订和送审等项工作。

第6章　地质学科本科毕业论文范文点评

6.1 《大麻坪地幔岩包体形成的物理化学条件》点评

王海华同学的文章属于岩石学学科本科毕业论文。

论文紧密围绕冀西北汉诺坝玄武岩中地幔岩石包体的岩石学特征及其所代表的地幔物理化学状态问题开展研究，重点选择大麻坪地幔岩石包体进行工作。工作内容涉及国内外文献资料阅读、野外科学考察与样品采集、室内岩相学观察与主要矿物成分测定，特别突出了岩石形成的温度、压力、氧逸度等物理化学状态及其地质意义、方法评述相关问题的探讨。

论文选题的起点较高，主题鲜明，方法得当，具有写作规范、结构合理、语言流畅的特点；内容涉及野外科学考察和岩类学、岩相学、造岩矿物学特征观察和描述，岩石形成的物理化学条件、地质温度－压力－氧逸度及适用性等理论性问题探讨，具有一定的综合性。它从一个侧面反映出岩石学研究论文的特点。

题目：大麻坪地幔岩包体形成的物理化学条件

作　　者　北京大学地质学系93级　王海华
指导教师　朱永峰

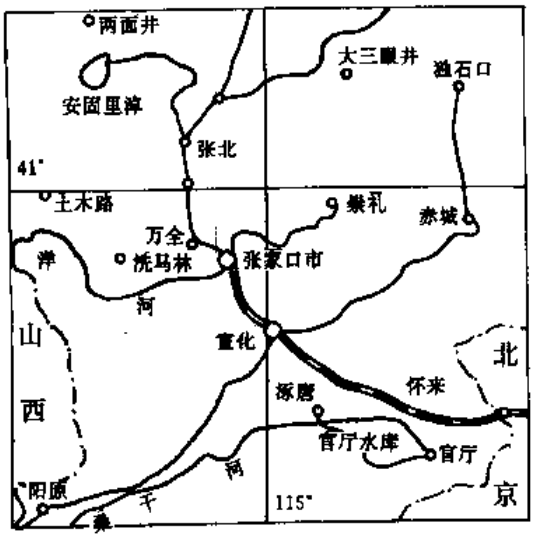
摘要：汉诺坝玄武岩是我国华北地区新生代玄武岩的典型代表，内含丰富的幔源橄榄岩包体，是研究大陆上地幔最直接的样品之一。本文对包体产出的地质背景、岩石、矿物及矿物化学等方面做了较为详细的描述，通过对包体与玄武岩接触部位及其内部的反应边结构的观察和分析工作，认为包体中矿物的局部熔融顺序是：斜方辉石＞单斜辉石＞橄榄石，并且单斜辉石局部熔融强烈时，可以形成新生单斜辉石和橄榄石。本文采用了最新的二辉石地质温度计和单斜辉石－橄榄石地质压力计，计算出本区岩石圈地幔尖晶石相部分温度为1 028～1 342℃，压力为7.65～11.79 kb(1kb＝0.1GPa，下同)。本文还通过对包体的氧逸度计算，得出尖晶石二辉橄榄岩包体中矿物形成时，从中心到边缘，氧逸度增大的规律。

本论文研究结果为此区的进一步工作提供了关于上地幔的物质组成、物理化学环境等方面的重要信息，因而具有重要意义。

前言

汉诺坝玄武岩位于河北省张家口市西北部(图1)，是我国华北地区新生代玄武岩的典型代表，内含丰富的幔源橄榄岩包体。通过对它们的研究，可以为人们认识下地壳及上地幔的物质组成、物理化学环境及演变历史等提供重要的证据，因而选择该区进行研究具有很现实的意义。

笔者于1996年7月和夏成同学一起随朱永峰老师赴汉诺坝地区的大麻坪进行了毕业实习的野外工作。踏勘了大麻坪、张北、张家口市区附近等地的6个火山岩出露点，积累了丰富的资料，系统采集岩石标本近50块，野外岩石素描图15幅。室内磨制薄片21片，重点观察薄片5块，做电子探针分析130余个点。



1:2330 000

图1 交通位置图

基于岩石的各种特征总是与其形成时的物理化学条件密切相关，而迄今为止文献所记载的前人计算的温度压力均采用的是六七十年代的温压计，其准确度不高，且不能同时得出温度和压力。本文采用了最新的二辉石温度计和橄榄石—单斜辉石压力计对超镁铁岩包体形成的温度、压力进行了计算，采用了最新的橄榄石—尖晶石氧压计计算了包体形成环境的氧逸度值。由于本文所处理的数据有量大而且要求精度较高的特点，原始数据的处理、分析、计算以及绘图等工作，主要依靠计算机来完成，因此我还编制了一套较完整的矿物形成的温度、压力、氧逸度的计算和绘图程序(程序清单略)。

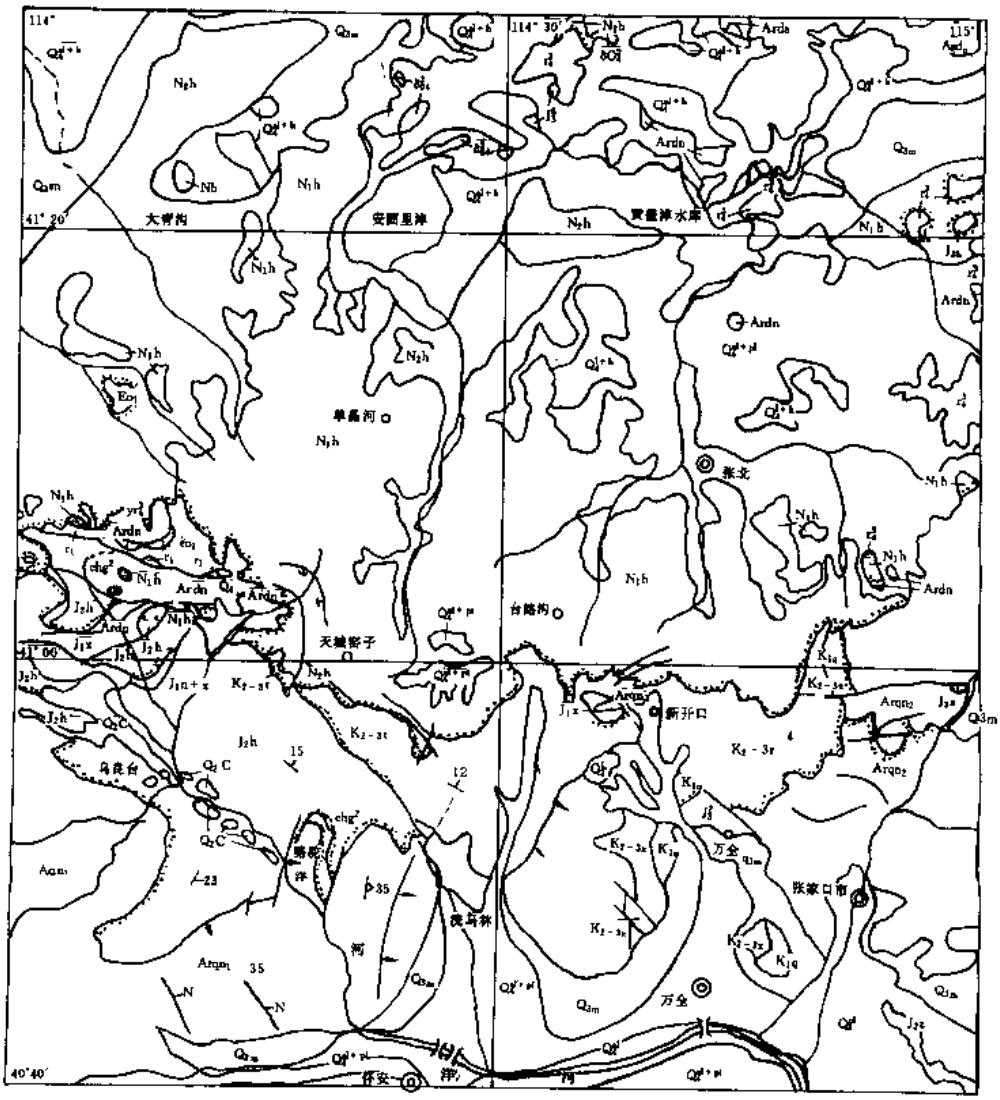
在论文的撰写过程中，无论是野外实习还是室内标本的处理和鉴定及参考文献的查阅甚至论文撰写等方面，都得到了朱永峰副教授的悉心指导；在野外工作期间，夏成同学曾给予许多帮助；系摄影室的周春元老师代为摄制、冲洗本文的照片；北京科技大学材料科学国家重点实验室协助完成了本文的电子探针分析；矿床教研室的艾永富教授、臧启家教授及矿物教研室的曹正民教授在我鉴定矿物时给予了热情的帮助，在此一并表示诚挚的谢意。

第一章 区域地质概况

张家口地区位于阴山东西复杂构造带南部，中朝准地台燕山沉降带与内蒙地轴分界处，大致以汉诺坝为界，其北属于内蒙地轴，其南属燕山沉降带。构造以断裂为主，褶皱较为薄弱。岩浆活动比较强烈，喷发岩占绝对优势(图1-1)。

一、地层

区内太古界地层出露面积较小，孤立的分布于马市口、范家窝西沟及黄土窑等四个地区。变质岩为一套经受深—中级区域变质作用的辉石麻粒岩、富铝浅粒岩、黑云变粒岩、斜长角闪岩、不纯大理岩及磁铁石英岩，它们遭受了不同程度的混合岩化作用。区内元古界地层出露面积也很小，仅零星分布于骆驼山、拌疙瘩山等地，岩性主要为石英岩、石英砂岩、页岩及白云岩、白云质砂岩。区内古生界地层及中生界的三叠系地层均没有出露。侏罗系地层在张家口市区附近分布较多，坝上高原也有零星分布，它们不整合于太古界变质岩和震旦系之上，侏罗系地层底部主要为后城组的河流相红色沙砾岩，间河流相砂泥岩及中酸性火山岩夹层，中部为白旗组的火山碎屑岩、沉积火山碎屑岩、沉积碎屑岩及中性火山岩，上部为张家口组，以酸性—亚碱性火山熔岩及其火山碎屑岩为主，间有河流相粗粒碎屑岩沉积，化石贫乏，堆积厚度大，火山岩喷发韵律结构显著。区



比例尺　1:500000

图 1－1　张家口区域地质图

内白垩系沉积分布于万全、尚义及崇礼、张家口一带，以平行或角度不整合于侏罗系不同层位之上，局部不整合于太古界之上，岩性主要为砂砾岩，含砂质黏土岩以及一些灰白色、紫红色砂岩，灰绿色砂岩及含砾粗砂岩。区内新生界地层广泛发育。第三系主要分布在坝上地区，其次分布在阳原、蔚县等地。岩性均为玄武岩类，岩石以橄榄玄武岩、气孔杏仁状玄武岩、辉石玄武岩为主，夹有少量安山质玄武岩。第四系地层层序齐全，主要分布于山间盆地、山麓边缘以及河谷地带，岩性主要为未胶结或半胶结的砾石、砂砾石、砂、粉砂、亚砂土及亚黏土组成。

二、岩浆岩

张家口地区岩浆活动时代可划分为元—太古代、海西、燕山及喜马拉雅四个旋回，岩体生成条件从中深—浅成—超浅成侵入，到大规模岩浆喷发均有。岩浆活动以喷发占绝对优势，其喷发活动始于侏罗系止于第四纪。侵入岩规模相对较小，呈零星分布。

元古—太古代旋回：主要为超基性岩（蛇纹岩、二辉岩）、变质基性岩以及侵入交代的闪长正长岩等，它们均分布在变质岩区，岩体普遍遭受区域变质作用的影响，形成与围岩相一致的片麻理。

海西旋回：仅见于张北县东北部大三眼井一带，为侵入交代的斑状黑云花岗岩。

燕山旋回：本旋回自中深成侵入岩到喷发岩均有，侵入岩主要为一些花岗岩、斑状花岗岩及石英斑岩等。喷发岩以张家口市区周围的流纹岩、石英粗面岩、安山岩、玄武质流纹岩以及火山碎屑岩为典型。

喜马拉雅旋回：本旋回全部为喷发岩并且均属玄武岩类，区内汉诺坝玄武岩为主要类型。

三、区域构造

该区构造以断裂非常发育、褶皱较为薄弱为特点。区内主要断裂有：内蒙地轴北缘的约东西向的康保—围场深断裂；内蒙地轴南缘近东西向的尚义—平泉深断裂；北北东向的张北—沽源大断裂。另外在该区深大断裂周围平行分布着许多一般的断裂。它们具有和深大断裂类似的发展过程。该区东西向复杂的构造带控制了火山喷发裂隙、火山口和火山角砾岩及集块岩的分布。

四、矿产

区域内矿产比较丰富，内生、沉积和变质成因的均有。矿种主要为煤、金、铁、多金属、大理岩、耐火黏土及膨润土等；另外，区内含有大面积的浮岩矿，可供建筑应用。

第二章　汉诺坝玄武岩及其深源包体

第一节　汉诺坝玄武岩

我国东部地区新生代火山岩普遍发育，并且均属玄武岩类。根据新生代火山岩系内部的主要间断和地层不整合关系，可划分为早第三纪、晚第三纪和第四纪三个火山旋回，其中以晚第三纪火山活动最为强烈。

早第三纪旋回的火山岩隐伏于平原及渤海湾一带。根据华北石油钻井揭露，火山岩系由始新世、渐新世的砂岩、泥岩夹玄武岩组成。早期（始新世）的火山岩分布面积较广，但不连续，多集中于京广和京沪铁路之间，为玄武岩多次间歇性溢流，晚期（渐新世）火山岩分布局限，除玄武岩外，还出现层火山角砾岩、层泥灰岩与粘土岩互层。火山活动方式从熔岩溢流演化到末期的喷发而告终。

晚第三纪是新生代火山活动的高峰期，平原、山区到处都有火山喷发。在河北、内蒙古接壤

地带形成一片广阔无垠的 $1.8\times10^4km^2$ 的玄武岩台地。旋回早期表现为大规模玄武岩的裂隙式溢流，晚期局部出现中心式爆发。玄武岩产出层位主要属中新统汉诺坝组，在平原区上新统内也夹有少数火山岩。

第四纪旋回火山活动大为减弱，仅见于尚义乌良台及海兴小山等地。

上述每个旋回都表现为由强而弱，由溢流而爆发的演化规律。三个旋回体现了本区新生代火山活动发生、发展和衰亡的全过程，它们共同构成了一个更高级的新生代火山喷发的大旋回。

晚第三纪旋回中，汉诺坝玄武岩分布于张家口以北的尚义、张北等县，向西可延伸到内蒙古、山西，形成大面积的岩被，不整合在白垩纪土井子组、侏罗系以及其他老地层之上，区内出露面积约 $1700km^2$，组成宏伟壮观的熔岩台地。汉诺坝玄武岩的一个显著特点是：碱性系列和拉斑系列玄武岩密切伴生并相间成层(图 2-1)。

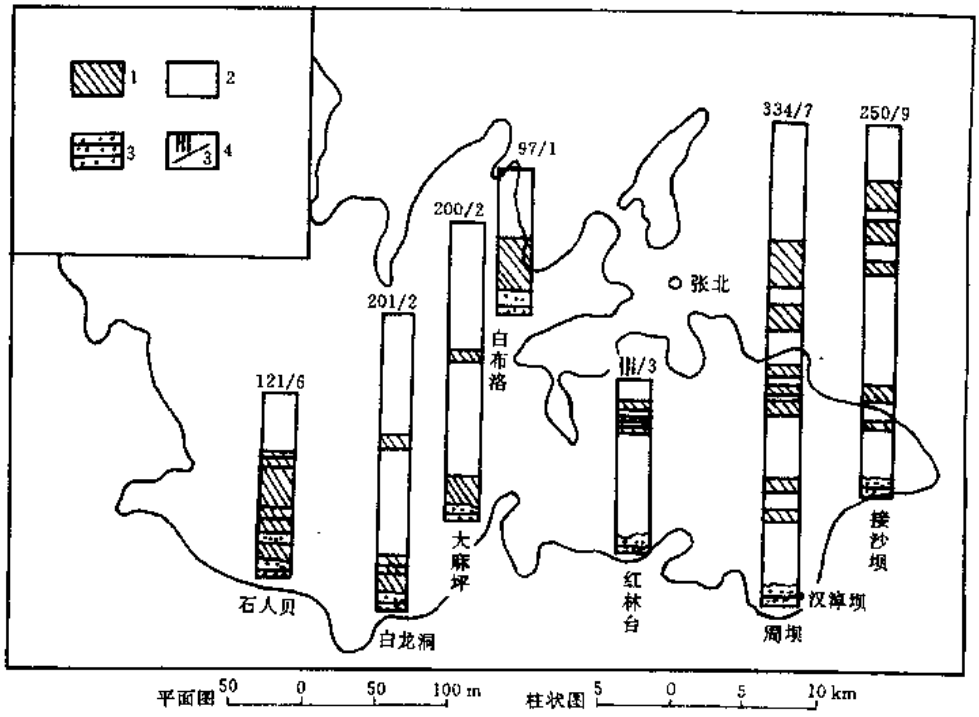


图 2-1 汉诺坝玄武岩柱状对比图

(引自河北省北京市天津市区域地质志，1989)

根据汉诺坝地区西山底村剖面，可以看出火山岩系中，玄武岩总厚占 90% 以上，全部为溢流相，组成了 7 个小的喷发旋回，每个小旋回由 1～7 个喷发韵律构成，在每个小旋回的喷发间歇期沉积了湖相黏土和砂岩。火山活动由早而晚有碱质增加的趋势，即拉斑玄武岩的比例减少，碧玄岩和碱性玄武岩增多。火山岩层具有陆相火山岩的带状构造，下部为灰黑色致密玄武岩，上部为黄褐色—紫红色的气孔玄武岩，使岩层显示了韵律结构。玄武岩沿东西向断裂呈裂隙式喷发，晚期有中心式火山爆发活动沿原来的裂隙式通道附近，即坝沿地区，它由黑色浮岩、紫红色熔岩碎块和火山角砾等组成，呈浑圆小山，近东西向线状排列。古地形南高北低，岩层向高原内部缓倾斜，玄武岩厚度变化较大，南部坝沿一带最厚，东部、西部较薄，向北逐渐变薄。

第二节　超镁铁岩包体

在晚第三纪旋回，汉诺坝玄武岩中含有大量的超镁铁岩包体，包体长为几厘米至十余厘米，最大可达数米，形状多为浑圆状、椭球状和边界较圆滑的不规则状，少数具有棱角状的外形，它们与玄武岩之间界线十分清晰，部分发育有反应边。包体种类繁多，以尖晶石二辉橄榄岩为主，其次为辉石岩、方辉橄榄岩。另外，此地区还出现了较为罕见的含石榴石和金云母的包体，它们主要赋存于碱性玄武岩中。本文所讨论的大麻坪地幔岩包体采自碱性玄武岩中，包体为尖晶石二辉橄榄岩及橄榄二辉岩。下面将从岩石、矿物学和矿物化学这两方面描述它们的特点。

一、岩石、矿物学特征

1.标本描述

二辉橄榄岩：新鲜包体一般为浅绿色夹烟褐色，风化后变为浅黄绿色黑褐色，主要由橄榄石、斜方辉石、单斜辉石构成。橄榄石，含量45%～80%，新鲜者为浅绿色，风化后泛黄，透明到半透明，它形粒状，直径0.5～3mm，大者可达4～5mm。斜方辉石，含量20%～42%，烟褐色，玻璃光泽，它形粒状，直径0.5～4mm。单斜辉石，含量7%～15%，翠绿色，玻璃光泽，它形粒状，直径0.5～2mm。岩石为块状构造，等粒结构。

橄榄二辉岩：岩石为灰绿色，主要矿物为斜方辉石50%、单斜辉石40%和橄榄石10%。该岩石风化较为严重，表面有次生方解石细脉充填。岩石为块状构造、等粒结构。

2.镜下特征

尖晶石二辉橄榄岩包体由橄榄石、斜方辉石、单斜辉石和尖晶石及一些蚀变矿物组成。岩石主要为粗粒状结构、残碎斑状结构，另外，包体中还发育有熔融结构、出熔结构。矿物含量，橄榄石45%～81%，斜方辉石10%～41%，单斜辉石7%～18%，尖晶石1%～3%，蚀变矿物1%～4%。

橄榄石(OL)：单偏光下无色透明，它形粒状，高正突起，裂理发育，解理不发育。正交偏光下，平行消光，干涉色可达2级。橄榄石可分为两个世代，第一个世代的橄榄石粒度较大，由于高温塑性变形，扭折带发育，波状消光常见。第二世代的橄榄石粒度小，自形程度相对较高，扭折带不发育，它们是再结晶产生的新变晶。矿物颗粒周边常绿泥石，滑石化，颗粒内部常含有粒状、纺锤状、网格状气液两相包裹体。

斜方辉石(OPX)：单偏光下无色透明，柱状，高正突起。有的薄片内，矿物颗粒糙面发育，横断面上发育有两组完全解理，交角近乎垂直，纵切面上有一组解理。正交光下，平行消光，发育有扭折带，也见有波状消光和生长双晶。

单斜辉石(CPX)：单偏光下无色透明，高正突起，发育有辉石式解理，糙面发育，常见有麻点状物质。正交偏光下，斜消光，很少发育有扭折带和波状消光。在单斜辉石内部及辉石和橄榄石矿物颗粒之间常发育有囊状体，它为一种无光性的玻璃质物质。

在某些片子中，发现有两种辉石出熔结构(图2－2)，出熔结构在薄片中主要表现为单斜辉石和斜方辉石出熔，此处出熔现象与常规的顽火辉石中出现透辉石或普通辉石出熔条带及单斜辉石中出现顽火辉石条带截然不同，这里是单斜辉石中出现单斜辉石条带，而斜方辉石中出现斜方辉石条带，条带往往沿辉石的边缘和裂隙呈楔形发育，条带宽窄不一。具有出熔结构的辉石的化学成分列于表2－1。从表2－1可以看出，单斜辉石与出熔单斜辉石相比，明显富SiO_2、Al_2O_3及MgO，贫FeO、CaO；斜方辉石与出熔斜方辉石之间相比，富Al_2O_3、MgO、TiO_2，贫SiO_2、FeO及

CaO。出熔结构矿物的这种成分的差别必然代表了矿物结晶条件的变化。与常规具有出熔结构的矿物相比，这种差别是细小的，但它很可能是常规出熔结构早期夭折的结果。

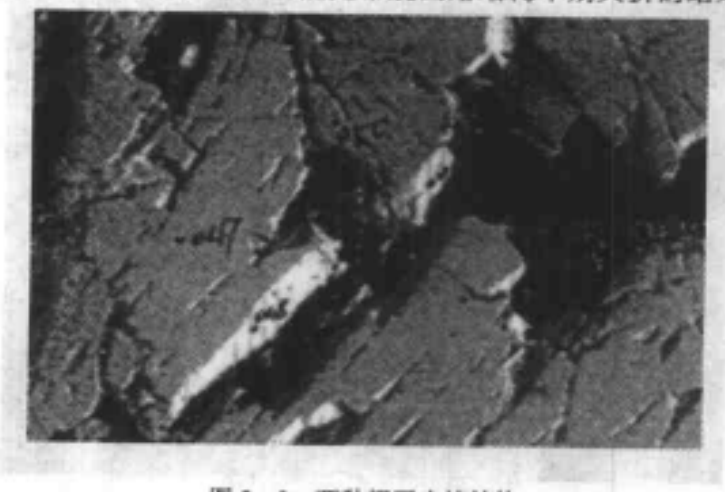


图 2-2　两种辉石出熔结构

表 2-1　出熔矿物中氧化物的质量分数对比表

氧化物	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	FeO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Total	描述
047	56.00	0.80	7.65	1.06	2.22	13.63	16.07	2.34	0.24	100	单斜辉石
048	53.62	0.92	6.81	1.27	3.30	12.53	19.15	2.17	0.24	100	出熔单斜辉石
050	56.64	0.02	6.91	0.00	5.21	28.62	0.90	1.64	0.05	100	斜方辉石
051	57.45	1.04	4.14	0.87	8.62	25.33	1.41	1.43	0.51	100	出熔斜方辉石

在与玄武岩接触边界，常见两种辉石熔融结构(详见第三节)。两种辉石中发育有气液包裹体。沿矿物颗

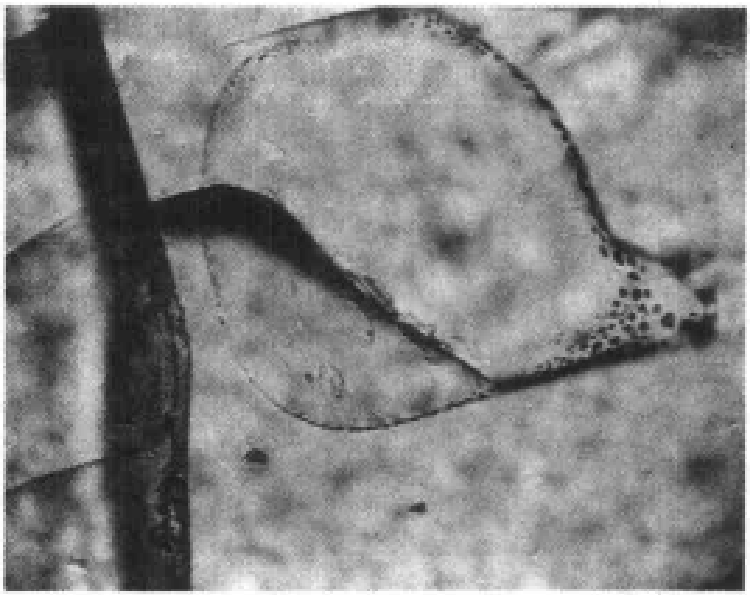


图 2-3　尖晶石的环边　25×　正交偏光

包体为次生的，它与橄榄石中的包体同时形成。根据镜下观察，该岩石薄片的四种主要矿物的生成顺序如下：橄榄石、单斜辉石和斜方辉石基本属于同时生成，它们的接触边界比较平直或呈圆滑曲线状，没有互相包裹的现象。尖晶石与这几种矿物的接触关系比较复杂，既有与它们同时生成的，又有早于它们生成的。如图 2-5，尖晶石可以分为两个世代，第一世代的尖晶石一般呈粒状或小棒状，颗粒边界清楚，颜色为茶褐色或深褐色，不透明；第二世代的尖晶石一般呈不规则片状，围绕在第一世代尖晶石周围，颜色略比第一世代的浅且不均匀，在正交偏光下，表现出非均质性，而且图内的第二世代尖晶石具有一致的消光性；图内大部分单斜辉石呈港湾状或不规则它形，根据它与尖晶石的接触关系，可以确定它属于晚期贯入。

表 2-2　尖晶石与其环边氧化物的质量分数对比表

氧化物	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	FeO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Total	描述
120	0.11	0.04	60.96	6.65	13.06	18.26	0.19	0.65	0.07	100	尖晶石中心
121	0.00	0.65	60.53	6.53	12.04	18.79	0.15	1.31	0.00	100	尖晶石边缘
128	39.87	0.16	23.98	0.68	10.29	21.01	1.99	0.59	1.42	100	尖晶石环边
146	45.43	0.22	20.11	0.59	9.42	21.73	1.46	0.93	0.11	100	尖晶石环边
123	53.84	0.91	8.35	0.82	4.13	12.52	15.78	3.61	0.04	100	尖晶石与环边间单斜辉石
124	54.60	0.83	8.51	0.68	3.90	12.63	17.00	1.75	0.09	100	
149	53.18	0.32	11.09	0.28	6.08	25.67	0.58	2.76	0.03	100	环边近旁斜方辉石
150	57.40	0.11	4.74	0.08	6.02	28.25	0.47	2.93	0.00	100	

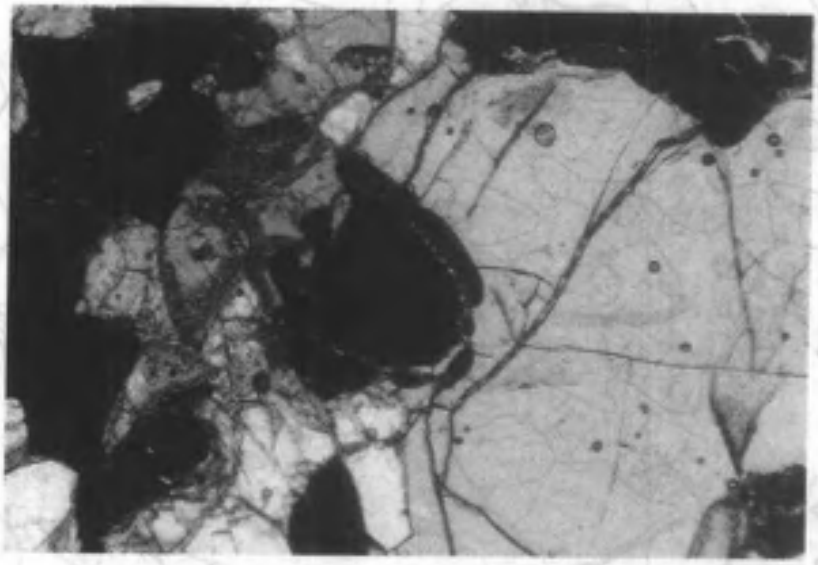


图 2－4a　尖晶石中包裹体　10×　单偏光



图 2－4b　尖晶石中包裹体　40×　单偏光

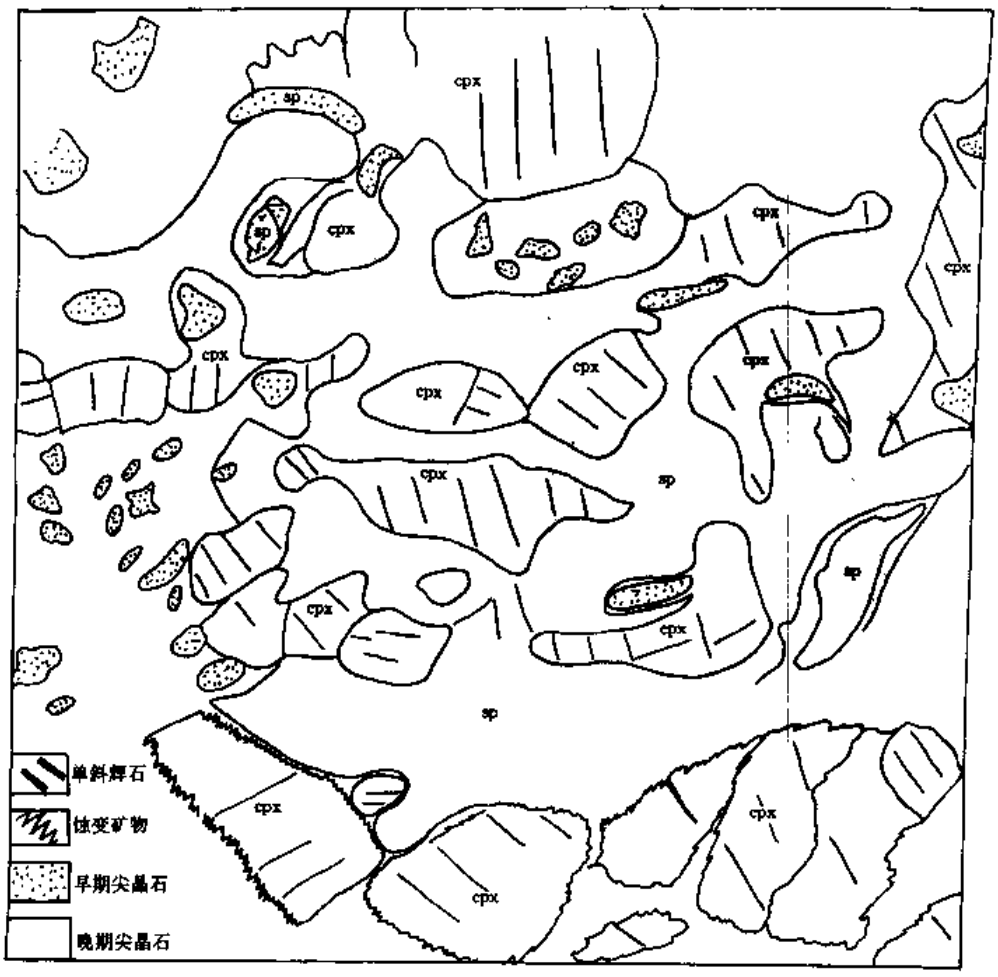


图 2-5　两期尖晶石与单斜辉石接触关系素描图

二、矿物化学特征

本文从尖晶石二辉橄榄岩包体的薄片中挑选了一些有代表意义的矿物，做了探针分析。下面将分别描述橄榄石、斜方辉石、单斜辉石和尖晶石的化学特征。

橄榄石：超镁铁岩包体的主要造岩矿物之一。表 2-3 列出了橄榄岩包体中橄榄石与接触边界橄榄石的部分化学成分的变化范围。可以看出，在同一类岩石中，橄榄石的主要元素的变化范围比较小，而在不同类的岩石中，橄榄石的化学成分几乎截然不同，包体中橄榄石相对于接触带上的橄榄石明显富 SiO_2、MgO、Cr_2O_3，贫 FeO 和 CaO。根据橄榄石 CaO-MgO-FeO 三角图解，包体内橄榄石主要为富镁橄榄石，接触带上的橄榄石为略富铁的橄榄石(图 2-6)。

表 2-3　橄榄石的部分化学成分的质量分数变化范围

氧化物 / 矿物	SiO_2 变化范围	Cr_2O_3 变化范围	CaO 变化范围	MgO 变化范围	FeO 变化范围
包体中 ol	42.23 ~ 47.53	0.00 ~ 0.71	0.00 ~ 0.25	42.39 ~ 46.39	6.92 ~ 9.17
接触带 ol	38.67 ~ 41.89	0.00 ~ 0.29	0.27 ~ 0.65	29.62 ~ 32.99	26.62 ~ 26.83

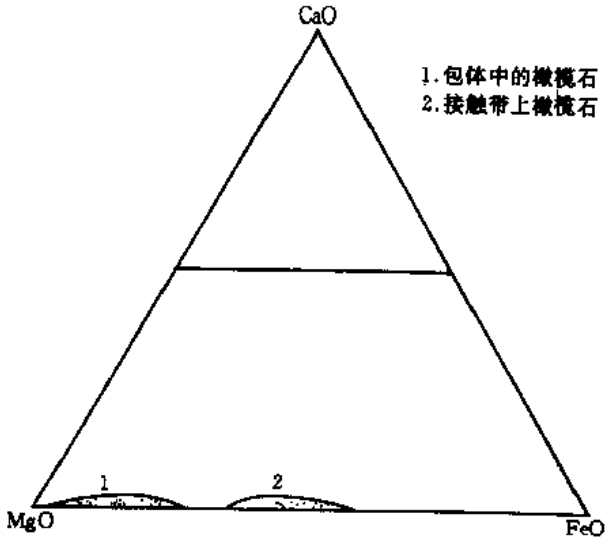


图 2-6 橄榄石成分三角图

斜方辉石:超镁铁岩包体的主要造岩矿物之一。表 2-4 列出了斜方辉石的主要元素的氧化物百分含量的变化范围,可以看出斜方辉石的 SiO_2、Al_2O_3 和 MgO 含量变化范围比较大,Al_2O_3 的含量从 1.28 到 11.49,含铝高的斜方辉石往往是靠近尖晶石不透明环边的,而 MgO 含量较低的斜方辉石与其出熔现象有关,这些说明斜方辉石遭受了后期变化。根据斜方辉石 CaO-MgO-FeO 三角图解,包体中斜方辉石为顽火辉石(图 2-7)。

表 2-4 斜方辉石的部分化学成分的质量分数变化范围

氧化物 / 矿物	SiO_2 变化范围	Al_2O_3 变化范围	Cr_2O_3 变化范围	CaO 变化范围	MgO 变化范围	FeO 变化范围
包体中斜方辉石	53.18~59.47	1.28~11.49	0.00~1.17	0.20~1.41	24.31~30.08	4.57~9.93

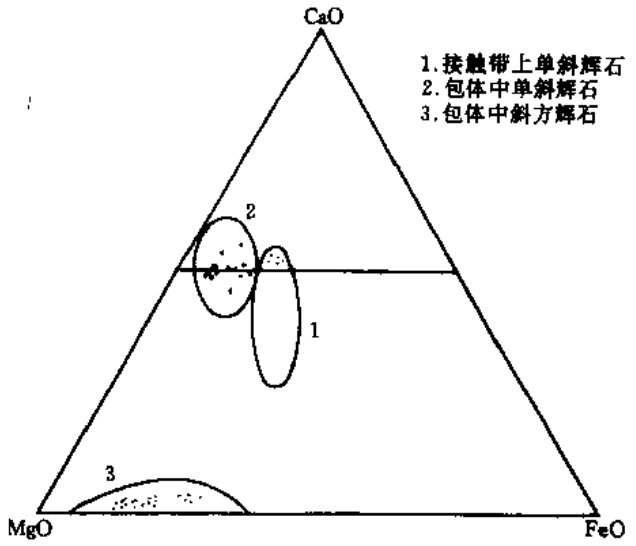


图 2-7 辉石成分三角图

单斜辉石:超镁铁岩包体中主要造岩矿物之一。表 2-5 列出了包体中单斜辉石和玄武岩与包体的接触带上的单斜辉石部分主要元素的氧化物百分含量的变化范围。表 2-5 说明,在同一类岩石中,单斜辉石主要元素的变化范围比较小,而在不同类的岩石中,单斜辉石的化学成分变化较大,包体中单斜辉石相对于接触带上的单斜辉石明显富 SiO_2、MgO,贫 FeO、CaO,Al_2O_3 含量变化不大。根据单斜辉石 CaO-MgO-FeO 三角图解,包体内单斜辉石主要为透辉石,接触带上为略富铁的单斜辉石(图 2-7)。另外,单斜辉石局部熔融产生 036 号单斜辉石,其化学成分有些特殊,含 MgO、FeO 偏高,分别达 19.19wt%和 11.53wt%,含 CaO 偏低,为 12.38wt%。

表 2-5 单斜辉石的部分化学成分的质量分数变化范围

氧化物 / 矿物	SiO_2 变化范围	Al_2O_3 变化范围	Cr_2O_2 变化范围	CaO 变化范围	MgO 变化范围	FeO 变化范围
包体中单斜辉石	50.66~56.39	4.83~11.23	0.16~1.39	14.82~19.15	12.52~16.34	1.96~5.09
接触带单斜辉石	46.92~51.30	7.17~10.38	0.15~0.46	18.06~19.96	11.52~13.08	6.16~6.85

注:接触带上单斜辉石部分氧化物含量不包括 036。

尖晶石:尖晶石是超镁铁岩包体中的副矿物。表 2-6 列出了包体中尖晶石的部分化学成分的变化范围,可以看出尖晶石中 Al_2O_3、Cr_2O_3 的变化范围比较大,MgO、FeO 的变化相对较小,而且尖晶石中 FeO 和 MgO 有明显的负增长关系(图 2-8)。尖晶石可以明显分为两类,一为高 Cr 低 Al 类,Cr_2O_3 为 14.02~18.99wt%,Al_2O_3 为 51.50~56.21wt%;另一为低 Cr 高 Al 类;Cr_2O_2 为 5.53~8.71wt%,Al_2O_3 为 60.53~63.73wt%(图 2-9)。

表 2-6 尖晶石的部分化学成分的质量分数变化范围

氧化物 / 矿物	Al_2O_3 变化范围	Cr_2O_3 变化范围	MgO 变化范围	FeO 变化范围
包体中尖晶石	51.50~63.73	5.53~18.99	17.56~20.45	7.33~13.06

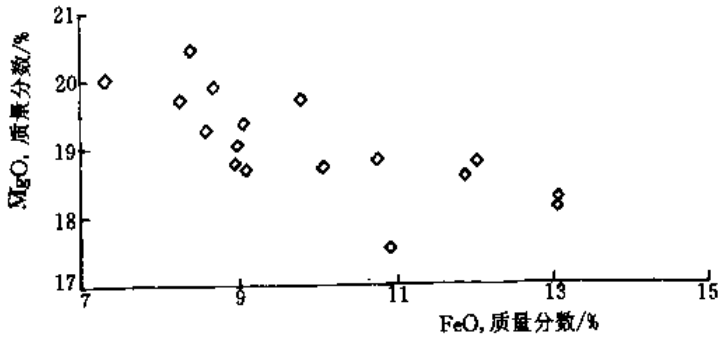


图 2-8 尖晶石中 FeO 与 MgO 之间的变异关系

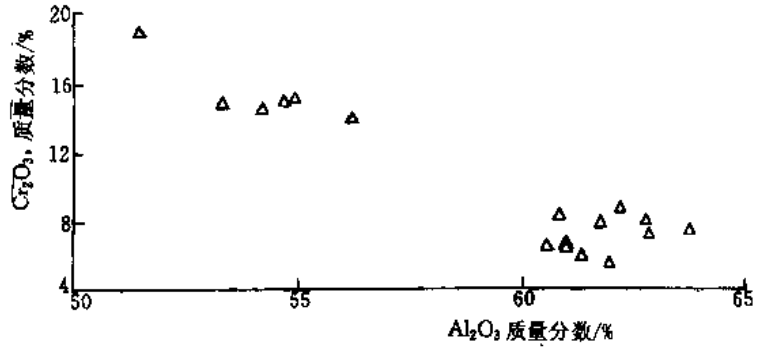


图 2－9　尖晶石中 Cr_2O_3 与 Al_2O_3 之间的变异关系图

第三节　反应边结构

在超镁铁岩包体与碱性玄武岩接触部位，常常发现单斜辉石、斜方辉石及少量橄榄石出现局部熔融现象，并且逐步扩展到包体内部辉石周边及不规则裂隙内。

斜方辉石出现的局部熔融现象被称为 GOD 化现象（戎嘉树、杜乐天，1995），即在局部的熔融范围内形成富碱的硅酸盐玻璃（Glass）、新生橄榄石（Olivine）和新生单斜辉石（Dipside）以及少量的新生铬铁矿。斜方辉石 GOD 化，首先出现在斜方辉石晶体与玄武岩浆的接触边界上，既可沿斜方辉石晶粒周边，也可沿颗粒内部出现过的裂缝发生 GOD 化，且这类裂缝与辉石明显的解理总是不规则斜交的。当 GOD 化发育极弱时，仅在包体边部的斜方辉石晶体与玄武岩的交界边上出现似海绵状的反应边，反应边上矿物颗粒极细，在岩石显微镜下难以分辨，经电子探针测定，实际上也是 GOD 化（戎嘉树，杜乐天，1995）。

单斜辉石出现局部熔融现象时，常表现为沿矿物周边或某些裂隙出现海绵化现象，很少出现强烈 GOD 化。显微镜下，海绵边与原生单斜辉石的界线比较清楚，海绵边上单斜辉石与原生单斜辉石在薄片中光性特征是一致的，但成分已发生细小变化（图 2－10a，图 2－11a，表 2－7），表现为 SiO_2、MgO、Na_2O 减少，Al_2O_3 和 K_2O 增多；海绵边上玻璃与玄武岩中玻璃大体相同。单斜辉石出现强烈局部熔融现象时，产物是由一些极细微的辉石、橄榄石、铁矿物及玻璃组成（图 2－10b，图 2－11b，表 2－7）。

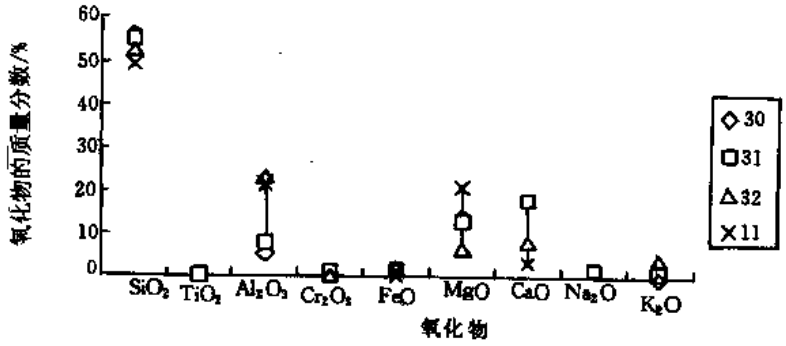


图 2－10a　化学成分变化图

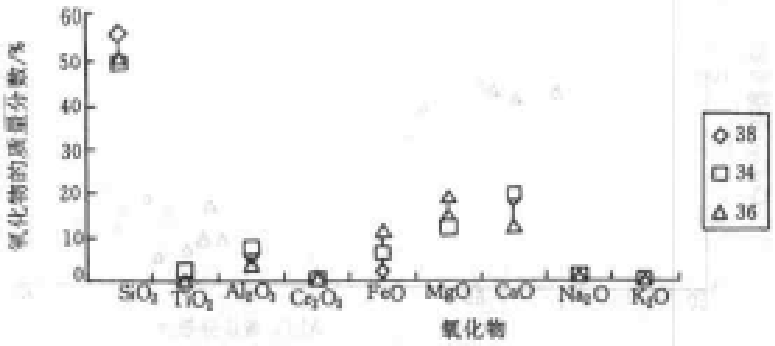


图 2－10b　化学成分变化图



图 2－11a　单斜辉石的海绵边 39×正交偏光

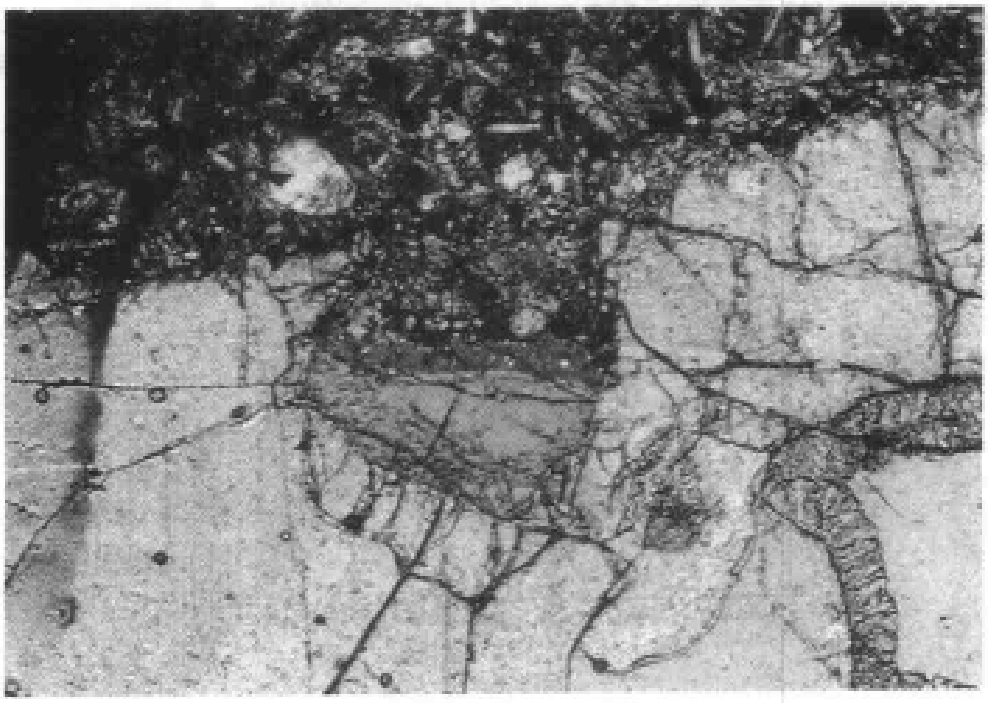


图 2－11b　单斜辉石强烈局部熔融结构 39×正交偏光

表 2-7 局部熔融矿物(与原生矿物对照)化学成分

氧化物	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	FeO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Total	描述
030	56.08	0.08	5.61	1.39	2.20	13.99	18.61	1.91	0.13	100	原生单斜辉石
031	55.22	0.17	7.86	1.34	1.80	13.08	18.06	1.65	0.83	100	海绵状单斜辉石
032	52.31	0.03	23.57	0.38	2.08	6.73	8.45	1.79	4.66	100	海绵边上玻璃
011	49.15	0.00	21.89	0.25	0.39	21.63	3.62	1.57	1.49	100	玄武岩中玻璃
038	56.15	0.06	5.63	1.04	2.31	14.25	18.65	1.84	0.07	100	原生单斜辉石
034	49.55	2.51	7.55	0.46	6.44	12.02	19.69	1.60	0.19	100	海绵状单斜辉石
036	51.07	0.02	3.69	0.42	11.53	19.19	12.38	1.30	0.40	100	新生单斜辉石
033	44.39	0.00	0.36	0.58	8.03	45.06	0.16	1.42	0.00	100	原生橄榄石
037	41.89	0.00	0.13	0.29	22.87	32.99	0.27	1.28	0.28	100	新生橄榄石

其中 036 单斜辉石与 038 单斜辉石相比，SiO_2、CaO、Na_2O 含量明显减少，FeO、MgO、K_2O 含量显著增加；037 橄榄石与 033 橄榄石相比，MgO 含量明显偏低，而 FeO 含量显著增高，这一特点与玄武岩和包体接触带附近的橄榄石成分极为相似，因此确定 036 单斜辉石和 037 橄榄石为新生的而不是残余的。另外，根据上述图表，还可以看出，包体发生熔融的过程伴随着物质的交换，即总有 SiO_2、Na_2O 的带出，K_2O 的带入。

从所观察的薄片来看，斜方辉石出现局部熔融现象远多于单斜辉石，而橄榄石出现此现象就更加少见。对干体系天然橄榄岩的熔融实验(Ito and Kennedy, 1967)表明，在低压下，起始熔融温度约为 1150℃，随温度增高矿物陆续发生熔融，熔融顺序为 Di→En→OL，当压力大于 5×10^8Pa 时，此顺序不变。在含水体系中(Mysen, 1975)，起始熔融温度可下降 50～600℃，尤其是当压力大于 5×10^8Pa 的情况下，矿物先后熔融顺序为 Di→En→OL。在含 CO_2 的体系中(Wendland, Mysen, 1980)矿物熔融顺序也是如此。以上种种实验结果均表明相对单斜辉石而言，斜方辉石是难熔融的，而橄榄石更是不易变化。本文观察所得的结果与上述实验结果不同。原因可能为来自地幔的富含由 H_2、CH_4、CO、NH_3 和富碱组成的流体，既可降低斜方辉石的不一致熔融的温度，又可扩大压力条件，使斜方辉石不一致熔融现象更为明显(戎嘉树，1995)。

第三章 大麻坪地幔岩形成的温度压力条件

大陆碱性玄武岩中幔源橄榄岩包体，是研究大陆上地幔最直接的样品之一。包体的全岩及矿物相的化学成分，为研究上地幔的物理—化学特征及它们的演化过程提供了重要的依据。新生代玄武岩中橄榄岩包体的共生矿物对所记录的平衡温度和压力，近似的反映了包体样品在岩石圈地幔中空间位置。因此，对大麻坪地区的橄榄岩包体进行温度和压力计算，是分析该地区上地幔及上地幔岩形成的温压条件的重要手段。

本项研究采用了 Brey & Kohler 1990 年推出的最新的温度计和压力计，计算大麻坪地区尖晶石相橄榄岩包体中共生矿物对的平衡温度和压力。

第一节　二辉石地质温度计原理(略)

第二节　地质压力计原理(略)

第三节　温度和压力的计算及其结果

一、样品和数据

汉诺坝玄武岩中含有丰富的幔源橄榄岩包体,它们是研究该区大陆岩石圈地幔最直接的样品。本文样品就采自该区的大麻坪,用于计算的样品全部为尖晶石二辉橄榄岩包体。在薄片中,经过反复观察,挑选了干净的和较规整的矿物颗粒,从中心到边缘选取若干点,用电子探针测定了矿物的化学成分。

二、计算过程

本节采用前面介绍的二辉石温度计和橄榄石—单斜辉石地质压力计计算了大麻坪地幔岩的形成温度和压力,下面详细介绍温度和压力的计算过程及结果。

首先,将矿物相的化学成分用常规方法计算他们的阳离子数,对于橄榄石,将氧原子数标准化为 4,来计算其他阳离子;对于两种辉石,将氧原于数标准化为 6,计算其他阳离子数。以橄榄石为例如表 3-1:

表 3-1　橄榄石中阳离子的计算

组分	氧化物的质量分数	分子数	阳离子数	氧离子数	以氧离子数为 4 标准化的阳离子数
SiO_2	43.73	0.72786	0.72786	1.45572	1.06407
TiO_2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al_2O_3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr_2O_3	0.33	0.00217	0.00434	0.00651	0.00634
FeO	7.66	0.10661	0.10661	0.10661	0.15585
MgO	44.82	1.11216	1.11216	1.11216	1.62588
CaO	0.25	0.00446	0.00446	0.00446	0.00652
Na_2O	3.01	0.04856	0.09712	0.04856	0.14198
K_2O	0.20	0.00212	0.00424	0.00212	0.00620
总和	100.00			2.73614	
公约数				2.73614/4 =0.68404	

注:本章第一节、第二节介绍的温度计、压力计的计算公式为:

$$T_{BKN} = ((23664 + (24.9 + 126.3X_{Fe}^{px})P)/(13.38 + (\ln K_D^{*})^2 + 11.59X_{Fe}^{px})) - 273.15 \quad [1]$$

$$P[Kb] = (-(T + 273.15) * \ln Dca - 11982 + 361(T + 273.15))/56.2 \quad [2]$$

$$T[℃] \geqslant (1275.25 + 2.827 * P) - 273.15 \quad [3]$$

$$P[Kb] = (-(-T + 273.15) * \ln Dca - 5792 - 1.25(T + 273.15))/42.5 \quad [4]$$

$$T[℃] \leqslant (1275.25 + 2.827 * P) - 273.15 \quad [5]$$

类似的计算斜方辉石和单斜辉石的阳离子数。再根据二辉石温度计和橄榄石—单斜辉石压力计公式的需要，分别求出所需参数。在 BKN90 中，$Ca^{*}_{CPX,OPX} = (Ca^{M2}/(1 - Na^{M2}))_{CPX,OPX}$ 的计算时，把数据中所有的钙和钠阳离子数均当成 M2 位置上的，这是由于在辉石结构中，具有两种阳离子位置 M_1 和 M_2，M_1 周围氧原子构成近于规则的八面体，而 M_2 位置的配位却随着占位的阳离子的不同而变化，钙和钠优先进入 M_2 位置。然后把这些变量的值代入【1】式计算。由于此公式是一个关于 P 和 T 的二元一次方程，必须先假设压力 P，才能求出温度 T，从而得到表示 P 和 T 函数的曲线。

在 KB90 的计算中，Dca = Caol/Cacpx，橄榄石和单斜辉石中，钙的摩尔分数可以直接应用，不需要钠的校正，然后代入公式进行计算。同样，KB90 压力计也存在着这样一个问题，是一个关于 T 和 P 的二元一次方程，而且还要首先选定应用方程【2】和【4】中的哪一个，而做到这一点的前提就是要知道压力的近似值，这就给应用带来了一个问题。本文是这样来解决的，先由式【2】和【3】联立求得分界温度，然后假设一系列不同的压力 P(10kb ~ 30kb)，先后代入【3】式右端，求出的 T 大于分界温度时，采用式【2】；小于分界温度时，采用式【4】。这样对于每一个样品可以得到表示 T—P 函数的一条折线，在分界温度处发生转折。由式【1】分别与式【2】或式【4】联立，便可以解出平衡温度和压力。或者采用图解法获得合理结果，即分别以压力和温度作为横、纵坐标，根据上边的温度和压力计算结果分别作出两条直线，在图上求出两条直线的交点坐标即可。

三、计算结果

表 3 - 2 列出了 KB90 压力计和 BKN90 温度计的计算结果，表 3 - 3 和图 3 - 1 列出了由 KB90 和 BKN90 联合计算的平衡 T—P 结果。原作者们曾指出联合使用 KB90 和 BKN90 重现实验条件时，T、P 的误差分别为 ± 23℃和 ± 4.4kb(1δ)(Kohler and Brey 1990; Brey and Kohler 1990)。所做样品中只有 5 组得到合理的结果，但相对于尖晶石相地幔样品的稳定压力范围(8kb ~ 25kb)(Kohler and Brey 1990)是偏低的。从本文结果来看，KB90 对尖晶石相橄榄岩的压力计算误差较大，引起此误差的原因是多方面的。从热力学方面看，由于 Ca 在橄榄石和单斜辉石之间分配的体积变化太小，仅为 Al 在斜方辉石和石榴石之间分配的体积变化的一半，后者是用于石榴石相橄榄岩的最佳地质压力计(Caswell and Gibb 1987)；其次，根据野外及镜下观察，尖晶石二辉橄榄岩包体大多具有熔融结构，即包体形成直至喷出多经过了热扰动，反映到矿物结构及化学成分上均发生了变化。由于橄榄石中的 Ca 的扩散系数比单斜辉石的高 3 ~ 4 个数量级，这使其对冷热事件反应非常敏感，因而样品的热历史影响着压力计的有效性；再者，由于 Ca 在橄榄石中含量非常低，因此样品的成分分析精度也是影响压力计有效性的重要因素。

到目前为止，BKN90 温度计对压力依赖性已经减小到极限，也就是它们对压力预选值的敏感性较差。根据本文计算结果，在 10 ~ 30 kb 范围内，样品的温度变化范围的平均值为 45 ± 5℃(除 DATA4)，仅比该方法在已知压力值重现实验条件时的误差 ± 30℃稍大(Brey and Kohler 1990)，且图 3 - 1 中样品的 T—P 曲线斜率很缓也说明了这一点。因而对尖晶石相橄榄岩在无准确的压力值时，假设它为 15kb，大体可以获得平衡温度，大体反映尖晶石相幔源包体的部分温度状况。本文由 BKN90 算得的温度范围为 1 028 ~ 1 342℃，比前人由 Wood and Banno(1973)温度计计算出的结果(977 ~ 1 198℃)明显偏高。DATA5 项数据所用的橄榄石和单斜辉石均为反应边内新生矿物，因此所求的温度和压力很可能反映了幔源包体局部熔融的温压条件。以下图 3 - 1 为样品的平衡温度压力计算结果。

表3-2 温压计计算结果

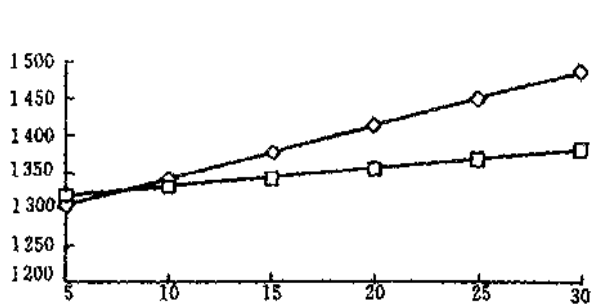
P / T℃	10kb	15kb	20kb	25kb	30kb
DATA1	904.62	944.88	985.13	1025.39	1065.65
	1114.06	1124.20	1134.35	1144.50	1154.65
DATA2	904.33	944.58	984.83	1025.07	1065.32
	1119.52	1129.79	1140.07	1150.34	1160.61
DATA3	1159.70	1191.80	1223.90	1256.00	1288.09
	1114.06	1124.20	1134.35	1144.50	1154.65
DATA4	1247.06	1281.11	1315.17	1349.22	1383.28
	1014.04	1028.43	1042.81	1057.19	1071.57
DATA5	1340.94	1377.10	1413.26	1449.42	1485.57
	1329.80	1342.29	1354.77	1367.25	1379.73
DATA6	1164.87	1197.09	1229.30	1261.51	1293.73
	1167.86	1178.05	1188.24	1198.43	1208.62
DATA7	1198.43	1231.40	1264.36	1297.33	1330.29
	1114.06	1124.20	1134.35	1144.501	154.65
DATA8	1035.07	1064.37	1093.68	1122.99	1152.29
	1217.87	1228.41	1238.95	1249.49	1260.03
DATA9	1024.26	1055.61	1084.73	1113.84	1142.95
	1226.89	1237.16	1247.43	1257.70	1267.98
DATA10	1024.26	1055.61	1084.73	1113.84	1142.95
	1225.12	1235.38	1245.64	1255.90	1266.16
DATA11	674.65	707.04	739.44	771.84	804.23
	1199.83	1210.69	1221.55	1232.41	1243.27
DATA12	674.87	707.27	739.67	772.08	804.48
	1152.91	1163.08	1173.25	1183.43	1193.60
DATA13	1035.32	1064.63	1093.94	1123.25	1152.56
	1224.41	1235.57	1246.73	1257.89	1269.05
DATA14	1035.32	1064.63	1093.94	1123.25	1152.56
	1208.37	1219.41	1230.45	1241.49	1252.53
DATA15	1259.09	1293.41	1327.73	1362.06	1396.38
	1224.62	1237.12	1249.62	1262.13	1274.63
DATA16	1217.14	1250.52	1283.91	1317.29	1350.68
	1224.62	1237.12	1249.62	1262.13	1274.63

续表

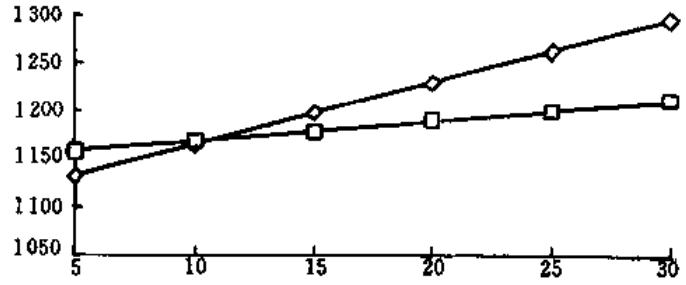
P / T℃	10kb	15kb	20kb	25kb	30kb
DATA17	1230.98	1264.68	1298.37	1332.06	1365.76
	1238.46	1249.50	1260.54	1271.58	1282.62
DATA18	1220.71	1254.17	1287.63	1321.10	1354.56
	1228.88	1239.36	1249.84	1260.33	1270.81
DATA19	1236.86	1270.68	1304.51	1338.34	1372.16
	1135.96	1147.13	1158.30	1169.47	1180.64
DATA20	1238.28	1272.13	1305.99	1339.85	1373.71
	1145.70	1156.13	1166.56	1176.99	1187.42
DATA21	1231.52	1265.23	1298.94	1332.64	1366.35
	1106.48	1116.34	1126.20	1136.06	1145.92
DATA22	1218.02	1251.43	1284.83	1318.24	1351.64
	1135.96	1147.13	1158.30	1169.47	1180.64
DATA23	1219.41	1252.84	1286.28	1319.71	1353.15
	1145.70	1156.13	1166.56	1176.99	1187.42
DATA24	1212.82	1246.11	1279.40	1312.68	1345.97
	1106.48	1116.34	1126.20	1136.06	1145.92

表 3-3　由 KB90 和 BKN90 联合求得的温度和压力

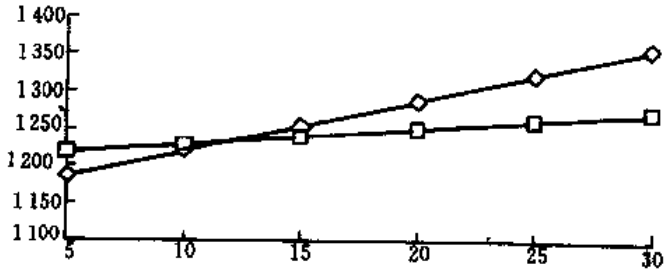
	DATA16	DATA17	DATA18	DATA5	DATA6
压力(kb)	11.79	11.65	11.78	7.65	10.68
温度(℃)	1229	1242	1232	1323	1169



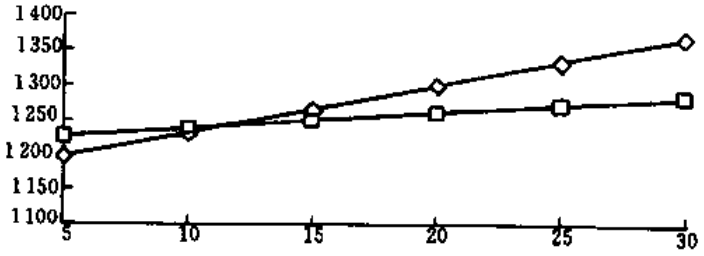
DATA6



DATA16



DATA17



DATA18

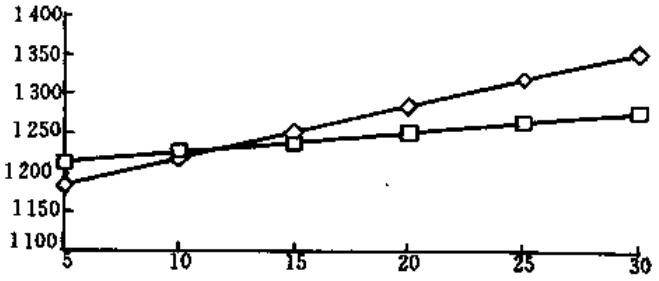


图 3－1　样品的平衡温度压力计算结果

图中横坐标为压力，单位：kb；纵坐标为温度，单位：℃；菱形为压力计计算结果；正方形为温度计计算结果，图中数据与表 3－3 一致

第四章　地幔岩形成的氧化还原环境

氧逸度在地幔地质作用过程中，是一个最基本的强度变量，它影响着地幔固相线的温度压力位置及地幔派生的熔体和流体的组分，并且限制着地幔地核的平衡状况以及地幔的一些地球物理性质(Arculus 1985；Haggerty 1986；Green et al 1987；Taylor & Green 1987)。关于地幔氧化状态的一个重要信息来源是地幔岩尖晶石和钛铁矿中 Fe^{3+}/Fe^{2+} 的离子比例。以热力学参数已知、活度与组分的关系能够被估测出为条件，氧逸度可以通过下面的多相氧化还原平衡关系式计算：

$$6Fe_2SiO_4(OL) + O_2(fluid) = 3Fe_2Si_2O_6(OPX) + 2Fe_3O_4(sp)$$

(以铁橄榄石—铁辉石—磁铁矿作为缓冲剂，以下计作 FFM 缓冲剂；Mattioli & Wood 1988)。氧逸度还可以通过一个与钛铁矿中赤铁矿固熔体体系有关的类似反应计算出(Eggler 1983)。

Mattioli & Wood(1987)依照着 $MgAl_2O_4$—Fe_3O_4 体系，在 800～1 000 ℃范围内，通过使人工合成的 $MgAl_2O_4$—Fe_3O_4 固熔体和在固体电解单元中的赤铁矿达到平衡，测量出与 MH 缓冲剂相关的氧化学势的位移是 Xmt^{SP}(尖晶石中磁铁矿的组分)的函数，从而校正磁铁矿的活度。然后，假设一个标准阳离子分配情况(O'neill & Narrotsky 1984)，用他们的活度数据代入到常规的溶解模式中，导出了一个氧压计。O'neill & Wood(1987)通过纯热力学计算，导出了另一氧压计，他们根据(O'neill & Narrotsky 1984)阳离子分配模式，计算理想状态下的磁铁矿的活度，但实际中却有许多非理想状态的影响，由于对于每一独立的尖晶石分析时，所有的参数均是同时计算完成的，因此，O'neill & Wood(1987)比 Mattioli & Wood(1988)应用范围相对大些。

然面，在实际应用中，根据前面所述平衡求出来的氧逸度受到尖晶石中磁铁矿组分的活度与组分关系的不稳定性限制。由于在地幔尖晶石中，磁铁矿的固溶体含量很低，那么典型的分析误差便会转化为氧逸度的不可靠性。尖晶石在低于 800 ℃时，会变得高度有序，对于非理想的混合，三价阳离子大小之间的差异需要考虑校正问题。

认识到前期实验的不足，Ballhaus，Berry & Green (1990)便在地球上地幔的 P—T—fo_2 条件范围内人工合成了幔源的尖晶石橄榄岩集合体。由于实验的组分及条件覆盖了尖晶石固熔体在地幔中可能存在的氧化状态的全部范围，所以，有关尖晶石中磁铁矿活度与组分之间的关系的问题便不会出现。他们通过对橄榄石和尖晶石采用常规离子溶解模式，对斜方辉石采用理想两种位置混合的模式，公式化了一个部分以实验经验为依据的氧压计，这个氧压计可以应用到多种地幔岩派生的岩石中，以及那些能够产生尖晶石的原始熔体内。

本文即采用了 Ballhaus & Berry & Green(1991)氧压计，计算了大麻坪地区幔源橄榄岩包体的氧逸度，以反映此地区地幔岩形成的氧化还原状态。

第一节　氧逸度的计算原理(略)

第二节　氧逸度的计算过程及结果

一、数据和计算过程

采用前面介绍的氧逸度计算方程，根据大麻坪地区幔源橄榄岩包体的探针数据，以及第二章求出的关于幔源包体的形成的温度和压力，本文计算了幔源包体形成的氧逸度。

由于氧逸度中涉及到了橄榄石和尖晶石中 Fe^{3+} 和 Fe^{2+} 的含量，面电子探针分析不能区分 Fe^{3+} 和 Fe^{2+}，所以计算氧逸度时首先要校正 Fe^{3+}。本文采用的是电价差值法(郑巧荣，1983)，其原理及计算步骤如下：由于矿物中的阳离子正电价总数与阴离子负电价总数应平衡，而电子探针

得出的 FeO^* 值把 Fe^{3+} 也当成 Fe^{2+}，因此，分子式中阳离子总电价必然低于理论电价。据此差值则可以求出 Fe^{3+} 的含量，即：

$$Fe^{3+} = |\text{理论电价}| - \text{计算电价} \quad 【1】$$

$$Fe^{2+} = Fe_{总} - Fe^{2+} \quad 【2】$$

计算步骤为：①按阳离子法计算出矿物各阳离子系数；②算出阳离子总电价，该电价与理论电价之差即为 Fe^{3+} 的阳离子系数；③根据分子式求出 Fe_2O_3 含量（重量百分比，下同）；④由式【2】求出 Fe^{2+} 的阳离子系数，并求出 FeO 含量。根据橄榄石和尖晶石的理论结构式，校正过程中它们的理论阳离子总数均采用 3，理论阴离子负电价采用 8。

以橄榄石为例，计算程序详见表 4－1。采用相同的方法，校正尖晶石中的 Fe^{3+}。另外，在计算过程中，当公式【1】的值小于等于零时，表明矿物中并不存在 Fe^{3+}，我们便假设探针精度的最小值为 Fe_2O_3 的百分含量。

表 4－1　橄榄石中 Fe^{3+} 和 Fe^{2+} 的电子探针分析值及计算方法

组分	氧化物 wt%	分子数	阳离子数	以阳离子数为 3 计算的阳离子系数	计算正电价	理论负价
SiO_2	43.73	0.72786	0.72786	1.06164	*4 = 4.24656	8.00
TiO_2	0.00	0.00	0.00	0.00	*4 = 0.00	
Al_2O_3	0.00	0.00	0.00	0.00	*3 = 0.00	
Cr_2O_3	0.33	0.00217	0.00434	0.00634	*3 = 0.01902	
FeO	7.66	0.10661	0.10661	0.15550	*2 = 0.31100	
MgO	44.82	1.11216	1.11216	1.62217	*2 = 3.24434	
CaO	0.25	0.00446	0.00446	0.00651	*2 = 0.01302	
Na_2O	3.01	0.04856	0.09712	0.14166	*1 = 0.14166	
K_2O	0.20	0.00212	0.00424	0.00618	*1 = 0.00618	
总和	100.00		2.05679		7.98178	
公约数			2.05679/3 = −0.68560			

$Fe^{3+} = |\text{理论电价}| - \text{计算电价} = 8.00 - 7.98178 = 0.01822$

$Fe^{2+} = Fe_{总} - Fe^{3+} = 0.15550 - 0.01822 = 0.13728$

$Fe_2O_3 = 0.01822 * 0.68560 * 159.70 * 1/2 = 1.00\%$ $FeO = 0.13728 * 0.68560 * 71.85 = 6.76\%$

探针数据经过 Fe^{3+} 的校正之后便可以根据氧逸度的公式分别求出各参数。它们的计算方法与第二章温压计的参数相同。最后，把这些参数代入氧逸度计算公式，即可求出 $\Delta\log(fo_2)^{FMQ}$。缓冲计 FMQ 的氧逸度公式：

$$\log fo_2(FMQ) = -25738/T + 9.00 + 0.092 \times (P-1)/T$$

式中压力的单位为 atm，温度的单位为 K。经过单位换算可计算出包体的 $\log fo_2$。

二、计算结果

表4-2列出了尖晶石和橄榄石矿物中 Fe^{3+} 的校正结果及氧逸度的计算结果。根据表4-2可以得到如下规律性变化：第一，从矿物中心到边缘，氧逸度值是明显升高的，$\Delta\log(fo_2)^{FMQ}$ 变化范围 -5.67 ~ +6.24，相应 $\log fo_2$ 的变化范围 -12.9487 ~ -1.1669；第二，凡是含有 Fe^{3+} 的矿物都有从中心向边缘 Fe_2O_3 增加的趋势；第三，在 ZJK11 号薄片中，由于尖晶石是包裹在橄榄石中的，矿物明显不共生，所以计算结果也明显无上述规律性。由此，可以得出，超镁铁岩包体中矿物结晶时是由还原环境逐渐变化为氧化环境的。尽管第三章计算的温度压力不一定正确表示出地幔的环境条件，但这只会改变氧逸度的相对大小，而改变不了氧化还原环境的这种变化趋势。

ZJK11

表4-2 氧逸度计算结果

项目	描述	氧逸度	氧逸度	尖晶石的质量分数		橄榄石的质量分数	
数据		$\log fo_2$	$\Delta\log fo_2$	Fe_2O_3	FeO	Fe_2O_3	FeO
DATA1	尖晶石被包裹在橄榄石中	-2.3795	4.2937	6.0303	4.3938	0.010	8.3600
DATA2		-12.9336	-6.2604	0.0101	0.9200	0.010	8.3600
DATA3		-3.0369	3.6363	2.9800	6.2785	0.010	8.3600
DATA4		-3.7878	2.8854	1.9639	8.3229	0.010	8.3400
DATA5		-4.7926	1.8806	0.9852	8.1035	0.010	8.3400
DATA6		-2.7554	3.9178	8.8913	1.0695	0.010	8.3400
DATA7		-3.8709	4.2920	6.0303	4.3938	0.010	8.3600
DATA8		-14.4230	-6.2601	0.0101	0.9200	0.010	8.3600
DATA9		-4.5174	3.6455	2.9800	6.2785	0.010	8.3600
DATA10		-5.2690	2.8934	1.9639	8.3229	0.010	8.3400
DATA11		-6.2717	1.8912	0.9852	8.1035	0.010	8.3400
DATA12		-4.2512	3.9117	8.8913	1.0695	0.010	8.3400

ZJK09

项目	描述	氧逸度	氧逸度	尖晶石的质量分数		橄榄石的质量分数	
数据		$\log fo_2$	$\Delta\log fo_2$	Fe_2O_3	FeO	Fe_2O_3	FeO
DATA1	中心	-13.0755	-5.6644	0.010	8.2800	0.010	8.0100
DATA2	边缘	-3.0785	4.3326	3.8923	4.9176	0.010	7.3100
DATA3	中心	-12.9487	-5.6701	0.010	8.2800	0.010	8.0100
DATA4	边缘	-2.9504	4.3282	3.8923	4.9176	0.010	7.3100
DATA5	中心	-13.0400	-5.6667	0.010	8.2800	0.010	8.0100
DATA6	边缘	-3.0426	4.3307	3.8923	4.9176	0.010	7.3100
DATA7	中心	-12.2993	-5.6261	0.010	8.2800	0.010	8.0100

续表

项目	描　述	氧逸度	氧逸度	尖晶石的质量分数		橄榄石的质量分数	
数据		$\log fo_2$	$\Delta\log fo_2$	Fe_2O_3	FeO	Fe_2O_3	FeO
DATA8	边　缘	-2.2930	4.3802	3.8923	4.9176	0.010	7.3100
DATA9	中　心	-13.7508	-5.5879	0.010	8.2800	0.010	8.0100
DATA10	边　缘	-3.7604	4.4025	3.8923	4.9176	0.010	7.3100

注：原文氧逸度计算结果表 4-2 中 ZJK18、ZJK10 略。

第五章　讨论与结论

前几章分别从包体产出的地质背景、岩石、矿物及矿物化学等方面进行了描述，并且计算了包体的温度、压力及氧逸度等物化参数，综合以上内容，提出本人对大麻坪尖晶二辉橄榄岩包体的一些看法。

本文由 BKN90 和 KB90 联合计算的平衡温度压力范围 T：1 169～1 323℃，P：7.65～11.79 kb；在假设尖晶石相包体的压力为 15 kb 时，由 BKN90 计算的平衡温度范围 T：1 028～1 342℃；以前学者由 Wood and Banno(1973)温度计计算出的结果(977～1 198 ℃)；应用 Mercier(1976)温压计的计算结果 T：861～1 073℃，P：10.25～24.3kb。显然本文的计算数值与以前差别很大，造成这一差别的原因在第三章中已从 KB90 压力计自身特点及样品分析精度方面讨论过；其次，温度的偏高与不同温度计之间的系统误差有关，由于早期的温度计没有压力校正项，因此，对高压下的样品温度常常会导致低估；从构造上看，本区中新世之后玄武岩与大陆深断裂有关，这样，大陆地壳可能减薄也将会导致压力的降低。根据压力与深度的换算公式：$z(km)=4.2+3.03\times P(kb)$，表 5-1 列出了本文计算的压力及相当的深度，因原作者们曾指出联合使用 BKN90 和 KB90 重现实验条件时，压力的误差为 4.4kb(Kohler and Brey 1990；Brey and Kohler 1990)，所以本文压力换算深度范围可达 14.05～53.26 km。它们部分处于地幔橄榄岩发生局部熔融区，基本可以反映上地幔局部温压状态。

表 5-1　压力与深度对照表

数　据	DATA16	DATA17	DATA18	DATA5	DATA6
压力(kb)	11.79	11.65	11.78	7.65	10.68
深度(km)	39.92	39.50	39.89	27.38	36.56

上述结果中 DATA5 数据项应用了新生的橄榄石和单斜辉石，但斜方辉石不是新生的，因此，计算出的平衡温度、压力并不能正确反映地幔岩形成时的温压状况，不过，由于样品的熔融结构发育，此结果可能在某种程度上反映了玄武岩浆与地幔岩包体发生作用的温压状况。

本文第四章对计算出的氧逸度结果总结了三点规律，根据氧逸度公式可以看出，温度、压力对结果的影响很小，而 Fe^{3+} 在矿物中的含量对其影响很大，事实上，本文的计算结果也证明了这一点。因此，第二章计算的温度和压力对氧逸度的规律性变化不会有很大影响，甚至对其值的影响也很小，所以，第四章得出的氧逸度变化规律基本反映了尖晶石二辉橄榄岩矿物结晶时的氧化

还原环境的变化。

综合前几章内容,可以得出以下结论:

1.本区的超镁铁岩包体赋存于碱性玄武岩内,以尖晶石二辉橄榄岩为主,另有橄榄二辉岩包体。

2.本区的尖晶石中发育有粒状气液包裹体,根据其分布特征及与相邻橄榄石的关系,推断为次生包裹体。

3.包体中矿物的局部熔融顺序:斜方辉石 > 单斜辉石 > 橄榄石,单斜辉石局部熔融强烈时,可形成新生单斜辉石和橄榄石。

4.本区岩石圈地幔尖晶石相部分温度为 1 028 ~ 1 342℃,基于 Ca 在橄榄石和单斜辉石之间分配的地质压力计 KB90 自身误差很大,尚难精确确定尖晶石相橄榄岩样品的压力。

5.尖晶石二辉橄榄岩包体中矿物形成时从中心到边缘,氧逸度增大,含 Fe^{3+} 的矿物,边缘 Fe^{3+} 的含量增加。

结束语

本文分别从大麻坪地幔岩包体的岩石、矿物、矿物化学等方面进行了描述,并且计算了包体的温度、压力及氧逸度等物化参数。提出了本人对大麻坪尖晶二辉橄榄岩包体的一些不成熟的看法。由于本人能力有限,成文时间紧迫等原因,疏漏之处在所难免,希望诸位老师、同学指教。

论文撰写过程中,得到了朱永峰副教授的悉心指导和矿床教研室诸位老师的热情帮助,在此表示衷心感谢。

参考文献

1. 支霞臣等.扬子地块东段若干橄榄岩包体的压力计算.岩石学报,1996,12(3):446 ~ 454

2. 冯家麟,谢漫泽,张红,李文宣.汉诺坝玄武岩及其深源包体.河北地质学院学报,1982,1 ~ 2:45 ~ 63

3. 戎嘉树,杜乐天.地幔岩包体中斜方辉石 GOD 化现象.岩石学报,1995,11(1):28 ~ 42

4. 张儒瑗,丛柏林.矿物温度计和矿物压力计.北京:地质出版社,1983

5. Zaltai Tibor and Stout James,H.著.施倪承等译.矿物学原理.北京:地质出版社,1992

6. 郑巧荣.由电子探针分析值计算 Fe^{3+} 和 Fe^{2+}.矿物学报,1983,(1):1 ~ 5

7. 郑伯让.河北省大麻坪幔源包体橄榄石位错特征的透射电子显微镜研究.矿物学岩石学论丛,1988,(4):1 ~ 9

8. 徐义刚.适用于幔源包体的地质温度计.岩石学报,1993,9(2):167 ~ 179

9. 鄂莫岚,赵大升主编.中国东部新生代玄武岩及深源岩石包体.北京:科学出版社,1987

10. 曾贻善.实验地球化学.北京:北京大学出版社,1987

11. 张家口地质志.地质部河北省地质局,1967

12. 河北省北京市天津市区域地质志.地质部河北省地质局,1989

13. Ballhaus C,Brey R F and Green D H. High pressure experimental calibration of the olivine – orthopyroxene – spinel oxygen geobarometer:implications for the oxidation state of the upper mantle. Contributions to Mineralogy & Petrology,1991, Vol.107:27 ~ 40

14. Brey G P,Kohler T and Nickel K G Geothermobarometry in four – phase lherzolites 1. experimental results from 10 to 60kb. Journal of Petrology,1990,Vol.31:1 313 ~ 1 352

15. Brey G P,Kohler T Geothermobarometry in four – phase lherzolites 2. New thermobarometers, and practical assessment

of existing thermobarometers. Journal of Petrology, 1990, Vol. 31: 1 353 ~ 1 378

16. Dixon J R, Stolper E M and Holloway J R. An experimental study of water and carbon dioxide solubilities in mid - ocean ridge basaltic liquids. Journal of petrology, 1995, Vol. 36: 1 607 ~ 1 631

17. Köhler T P and Brey G P. Calcium exchange between olivine and clinopyroxene calibrated as a geothermobarometer for natural peridotites from 2 to 60kb with applications. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1990, Vol. 54: 2 375 ~ 2 388

Physico-chemical Characteristics of peridotite xenoliths in Damaping basalt

Wang haihua, Directed by Zhu YongFeng

(Department of Geology, Peking University; Beijing 100871)

Abstract: Hannuoba basalt is a typical representation of Cenozoic basalts in North China. There are plenty of peridotite xenoliths in this basalt. We made a detailed description of the geology setting, petrology, mineralogy about the xenoliths and studied the reaction texture between xenoliths and basalts. We concluded that the partial melting of minerals in the xenoliths is as following: orthopyroxene, clinopyroxene, olivine. When clinopyroxene was intensely melted, new clinopyroxene and olivine formed. In this paper, we calculated the temperature and pressure of the lithosphere mantle, using a new two - pyroxene thermometer and oivine-clinopyroxene barometer, with the result showing: T = 1028℃ ~ 1342℃, P = 7.65kb ~ 11.79kb. By calculating the oxygen fugacity of the xenoliths, we concluded that when spinel and clinopyroxene form, the oxygen fugacity increases from the center to the border of them.

This study provides the important information about the chemical composition, physical and chemical characteristics, which may provides key constrains for the environment of the mantle, North China.

6.2 《辽宁岫岩河磨玉的初步研究》点评

段体玉同学的论文题目具有矿物学与矿床学学科相结合的特点。

作者紧密围绕辽宁岫岩县河磨玉的矿床地质和矿物学特征，在文献阅读、地质考察的基础上，重点开展了玉石结构构造和矿物化学性质、物理特征方面的研究工作，进行了矿物生成顺序、矿化过程等矿床成因学问题讨论，并阐述了河磨玉研究的理论与实际意义。

论文涉及区域地质学、矿床学、矿物学内容，数据丰富，资料详实，论点明确，章节有序，从一个侧面反映出矿床、矿物学学科论文的特点。值得指出的是，文中有关河磨玉与老玉、新疆和田玉性质的对比，有关经济意义和考古意义问题的思考突破以矿床、矿物学偏重理论的传统研究思路，将矿床学、矿物学与考古学、宝石经济学研究结合起来，由此构成本论文的特色。

题目：辽宁岫岩河磨玉的初步研究

作　　者　北京大学地质学系 93 级　段体玉

指导教师　王时麒

摘要：河磨玉是近年来在辽宁岫岩新发现的软玉品种，对它的系统研究还一直是个空白。通

过详细的观察分析，本文首先把河磨玉划分为四种基本类型，并划分出十二种基本的显微结构。应用电子探针、X光衍射分析、红外光谱分析等手段，确定了河磨玉的主要矿物成分是透闪石，在这一点上，它和新疆和田玉是相同的，所以它们的性质应该有一定的类比性。对它的各种物理性质进行了详细的测量和总结。利用各种河磨玉的主要化学元素和微量化学元素的差异，对它们的化学特征进行了对比和总结，并和世界上其他地区的软玉进行了对比研究，得出了一定的规律。通过研究发现，随着河磨玉的种类的不同，它们的物理化学性质都按一定的规律变化，并总结了一系列的变化规律。把河磨玉和它的原生矿——老玉及新疆和田玉进行了对比研究。在以上工作的基础上，科学地分析了河磨玉的形成过程。

论文最后阐述了研究河磨玉对推动地区经济和完善软玉成矿的意义；并提出了新石器时代古玉料来源的新观点，即就近取材。

关键词：河磨玉　软玉　特征　意义

第一章　概述

在辽东半岛的西部，有一颗璀璨的明珠闪烁于中国的历史文化长河之中，那就是素称为“玉石之乡”的辽宁省岫岩满族自治县。岫岩以我国四大玉石产地之一而闻名于世，它是我国玉石和玉雕工艺品的主要生产基地，国内玉雕原料十之六七出于岫岩。

一般说来，岫岩境内所产玉石叫做岫岩玉，简称岫玉。宝玉石界通常所说的岫玉，系指蛇纹石质玉石而言，目前各种宝玉石书籍也都是这样写的。这种玉石质地细腻，颜色多样，半透明，蜡状光泽，常可见到不透明的“白脑”及“黑脏”等，硬度 4.8～5.5，密度 2.57 g/cm^3 左右。

通过到岫岩县实地考察，我们发现岫岩县不仅产出蛇纹石质玉石，即通常所说的岫玉，另外还产出透闪石质玉石，即通常所说的软玉，在这里命名为岫岩软玉。根据产状不同，岫岩软玉可分为原生矿和砂矿两类。

原生矿床产于县城西北的偏岭乡细玉沟的山顶上，和产蛇纹石玉的北瓦沟仅一岭之隔，软玉矿呈脉状产出，其围岩是花岗质片麻岩和菱镁矿岩，当地的老乡称之为“老玉”。它不是本文讨论的主要内容，只研究一些性质和砂矿作对比研究。

砂矿床产于细玉沟东侧附近的河床及两岸的泥砂砾岩层中，软玉呈大小不一的砾石产出，大的可达三四吨，小的只有几公斤，甚至几十克。砾石的磨圆度中等，一般呈次圆状或次菱角状。具有带色的外皮，皮的厚度不一，厚者可达 1 厘米，也有的部位没有皮，称为“露肉”。当地老乡称这种软玉为“河磨玉”。

河磨玉具有很多优于岫玉的性质。河磨玉的硬度、密度、折光率都比岫玉大，故它的光泽、抛光性、韧性都比岫玉要好得多，况且它更易于保存。所以它的质量更好，价格更高。目前河磨玉多在当地进行加工，并且主要用来制作以佛像和观音为主的人物雕件。

第二章　区域地质概况

一、地层

本区位置见图一（略），区内出露的地层，除河谷中分布第四纪松散堆积物外，均为下辽河群浪子山组和大石桥组。基本上近东西向延伸。见表一（略）。

（一）浪子山组（$P_tL_1L_2$）

该组地层分布在本区的东南部,区内仅见其上部的混合质浅粒岩和混合岩,暂定为浪子山组的上部。本组上部是灰白色、白色中细粒混合质浅粒岩,夹混合质黑云片岩、石英黑云片岩、糖粒状大理岩及斜长角闪片麻岩透镜体;下部是灰白色中细粒混合岩,夹大理岩及斜长石墨片岩残体。未见底界。

(二)大石桥组

在本区出露的大石桥组地层厚2 000m,分两个亚组,七层,自下而上分述如下。

1.大理岩片岩亚组

(1)混合质黑云石英片岩层($P_tL_1d_1^1$):该层主要为灰绿色混合质黑云石英片岩,夹斜长角闪岩及大理岩透镜体,下部有时夹白色中细粒混合质浅粒岩透镜体。

(2)大理岩层($P_tL_1d_1^2$):该层主要由白色中厚层、薄层大理岩组成,有时夹有石英黑云片岩透镜体。

(3)含透闪白云石大理岩层($P_tL_1d_1^3$):该层分布在细玉沟、西细玉沟、恒山里及北瓦沟一带。吴家堡子厚度最大,半截碑厚度最小。主要为白色灰白色含透闪白云石大理岩。上、下部是巨厚层、巨层,中部为薄到厚层。

(4)混合质矽线斜长黑云片岩层($P_tL_1d_1^4$):该层主要为灰色、灰绿色混合质矽线斜长黑云片岩,有时相变为混合质矽线石英黑云片岩,具疙瘩状构造。

2.白云石大理岩混合质粒岩亚组

(5)混合质浅粒岩变粒岩层($P_tL_1d_2^1$):该层分布在本区中部及西南部。底部一般均发育一层灰白色、白色混合质更长浅粒岩;上部在恒山里北为浅肉红色混合质条带状电气微斜变粒岩及灰色混合质条带状角闪更长变粒岩。

(6)石榴黑云斜长片麻岩层($P_tL_1d_2^2$):此层只在恒山里北山出露,向东尖灭。黑云片岩有时具有疙瘩状构造。疙瘩是石英、矽线石等矿物的集合体。

(7)含透闪白云石大理岩层($P_tL_1d_2^3$):该层分布在中部,构成细玉沟~王家堡子向斜的轴部。下部为巨、巨厚层构造,上部则为中厚、厚层。

(三)第四纪(Q)

第四纪松散沉积物主要分布在沟谷中,以冲积、洪积物为主,由黄土、砂及各种岩石的卵石组成。

二、构造

本区所在的大地构造位置是营口台凸(四级)的东部,次级构造是细玉沟-王家堡子复向斜和北瓦沟-大魏屯倾没背斜。构造线基本成东西向。断裂构造也较发育。

(一)褶皱构造

1.细玉沟-王家堡子复向斜

此向斜轴位于本区中部,呈东西向延伸。区内只见其中一部分。

复向斜南翼次级褶皱发育,较大的是恒山里背斜和恒山里南向斜。褶皱轴向11°~295°。长2.5km左右,均向北西西倾没。

2.北瓦沟-大魏屯倾没背斜

此背斜与细玉沟-王家堡子复向斜相连。背斜轴在半截碑一带呈弧形弯曲,北西段呈345度延伸到刘家堡子一带,东南段110°方向延伸到大魏屯一带被花岗岩所截,背斜轴长7 km。

(二)断裂构造

本区内大的断层较少,仅在北瓦沟一带比较发育。断裂构造可以分为东－西向、北西－南东向、北东－南西向三组。

三、岩浆活动

本区南、北各发育一个花岗岩体。北部分布在三间房一带,称南天门岭花岗岩;南部分布在大魏屯一带,称大魏屯花岗岩。脉岩除闪长岩外,其余规模都很小。

(一)南天门岭花岗岩(γ_1)

从区域地质资料看,此花岗岩面积分布很大。岩体中心部分是褐灰色中粗粒黑云母花岗岩。该岩体与大石桥组地层呈侵入接触,界线不规则。在岩体内赋存大理岩的俘虏体。由此可知,该花岗岩体形成在元古代以后。

(二)大魏屯花岗岩(γ_2)

从区域地质资料看,此花岗岩体向南延伸很远。岩性是灰白色中粗粒斑状黑云母花岗岩。似斑状结构,微斜长石形成巨大的斑晶。

(三)闪长岩脉(δ)

此岩脉分布在荒沟北,呈南北向延伸,侵入到混合质浅粒岩变粒岩中。本区内变质岩都遭受了区域轻微混合岩化作用,不同岩石类型混合程度不一,局部地段混合程度较高。

该地区的地质图见图二(略)。

第三章　河磨玉的矿物成分和结构构造

第一节　河磨玉的分类

对于玉石的分类,我们的祖先曾经作过一些探索并形成一定的认识。一般来说,人们都是根据产状和颜色对玉石进行分类。河磨玉是软玉的原生矿床在各种地质营力作用下,经过破碎、搬运、沉积、演化而形成的一种玉石。在搬运过程中河流起到了决定性的作用,故而得名。它的名称中已经包含了产状,所以对它我们只能根据颜色进行分类。河磨玉的颜色多种多样,且自成体系。主要有黄白、青色、绿色、黑色等四种,据此河磨玉可分为黄白玉、青玉、碧玉、墨玉四种,其他颜色的河磨玉可归入这四类之中。

(1)黄白玉:黄白玉以白色为基调,同时闪黄、闪绿等。其中色越白越好。它在河磨玉中最为名贵,产出较少,质量最佳。

(2)青玉:青玉以青色为基调,由淡青色到深青色,同时带有灰、绿色调等。颜色的深浅变化很大,以此表现为淡青、深青、碧青、灰青、青白等颜色。青玉在河磨玉中档次较低。

(3)碧玉:碧玉以绿色为基调,可以带黑、灰等色调,有暗绿色、深绿色、墨绿色等。颜色纯正者质量较好,深绿色比暗绿色好,闪灰者质量最差。有的碧玉中带黑星、黑点、黑斑,这都会降低碧玉的质量。

(4)墨玉:墨玉为黑色到淡黑色,其黑色或为斑点状、或为云雾状、或为纯黑色。在整块料中黑色有强有弱,深浅分布不均。经研究而知,墨玉中的黑色是由于微鳞片状的石墨而引起的。

另外,也可以对河磨玉制定工艺等级标准,并以此对河磨玉进行工艺分类。这个问题目前还不能进行讨论,等待以后进一步研究。

第二节　河磨玉的矿物成分

一、主要矿物成分

经过在偏光显微镜下对薄片进行细致的观察而知，河磨玉的矿物成分主要是透闪石，属角闪石族。随着河磨玉的种类不同透闪石的含量也有所变化，黄白玉中的含量最高时可达99%以上，一般在98%～99%之间；青玉、碧玉中一般在97%～98%之间，并且碧玉一般稍高于青玉；墨玉中的含量最低，一般在96%～98%之间。所以河磨玉与其他软玉一样，也是一种由微晶透闪石集合体构成的单矿物岩，只含有极少的杂质矿物。

透闪石可分为三个期次：第一期透闪石是粒、柱状，第二期透闪石是纤维柱状，第三期透闪石是毛毡状。它们之间的交代关系在显微镜下清楚可见，有时可见到三期透闪石从内向外依次排列，形成交代环边结构。第一期透闪石常被后期透闪石交代形成残留、港湾、环边等各种交代结构。有时第二期又可见到不同光性的两组纤维状透闪石连续出现，这时第二期又可分为两个亚期。

透闪石的形态以毛毡状和显微纤维柱状为主，另外还有放射状、帚状、叶片状、似螃蟹状等，也有柱状斑晶出现。河磨玉中毛毡状、纤维状透闪石的含量决定着它的硬度、密度、韧性等各种性质。毛毡状透闪石是由显微纤维交织在一起构成的晶簇，界限轮廓不清楚。纤维柱状透闪石是由显微纤维近平行排列而形成的，可见到斜消光，其纤维长度小于0.1mm。

实验室测得的探针结果表明，河磨玉中主要矿物为透闪石。对透闪石矿物共测10个点，其中有4个点是老玉中的透闪石。结果见表二。

表二、河磨玉中透闪石的探针数据(%)

点号	HM－B2	HM－C1	HM－E1	HM－E2	HM－H1	HM－I1	LY－2	LY－5	LY－10.1	LY－10.3
SiO_2	58.94	61.47	61.28	61.27	60.60	60.11	57.64	60.14	59.21	54.99
TiO_2	0.06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.18	0.0	0.0
Al_2O_3	0.75	0.59	0.86	0.58	0.24	0.59	0.0	0.43	1.02	4.22
FeO	5.04	0.43	0.39	0.28	0.11	1.01	0.0	1.24	6.20	7.54
MnO	0.10	0.0	0.0	0.21	0.02	0.11	0.0	0.26	0.0	0.0
MgO	21.01	24.41	24.25	24.49	24.92	24.61	19.28	23.40	20.12	18.67
CaO	11.06	10.64	11.56	10.94	11.46	10.72	21.60	12.05	11.54	11.16
Na_2O	0.35	0.42	0.16	0.46	0.30	0.35	0.25	0.29	0.33	0.67
K_2O	0.0	0.0	0.0	0.08	0.09	0.02	0.0	0.0	0.0	0.11
P_2O_5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

注：北京大学地质学系电子探针实验室测定

根据表中的数据，应用Minpet 2.0软件，计算出它们的分子式分别为：

HM－B2：

$(Na_{0.094}, Ca_{1.633}, Fe^{2+}_{0.018})_{1.744}(Mg_{4.315}, Fe^{2+}_{0.563}, A_{10.122})_{5.00}[Si_{8.121}O_{22}](OH)_2$

HM－C1：

$(Na_{0.109},Ca_{1.511})_{1.620}(Mg_{4.851},Fe^{2+}_{0.048},Ca_{0.009})_{5.00}[Si_{8.194}O_{22}](OH)_2$

HM－E1：

$Ca_{1.633}(Mg_{4.808},Fe^{2+}_{0.043},A_{10.135})_{5.00}[Si_{8.150}O_{22}](OH)_2$

HM－I1：

$(Na_{0.119},Mn_{0.009},Ca_{1.561})_{1.690}(Mg_{4.864},Fe^{2+}_{0.031},Mn_{0.014},Al_{0.091})_{5.00}[Si_{8.162}O_{22}](OH)_2$

HM－H1：

$K_{0.015}(Na_{0.078},Ca_{1.648},Mg_{0.023})_{1.749}(Mg_{4.962},Al_{0.038})_{5.00}[Si_{8.132}O_{22}](OH)_2$

HM－I1：

$(Na_{0.091},Ca_{1.548},Mg_{0.039},Fe^{2+}_{0.114})_{1.793}(Mg_{4.906},Al_{0.094})_{5.00}[Si_{8.013}O_{22}](OH)_2$

LY－2：

$(Na_{0.007},Ca_{0.138})_{0.145}(Ca_{2.000},Mg_{3.954},Ca_{1.046})_{5.00}[Si_{7.929}O_{22}](OH)_2$

LY－5：

$(Na_{0.076},Ca_{1.698})_{1.774}(Mg_{4.702},Ca_{0.042},Fe^{2+}_{0.140},Mn_{0.030},Ti_{0.018})_{5.00}[Si_{8.108}O_{22}](OH)_2$

LY－10.1：

$(Na_{0.088},Ca_{1.670})_{1.758}(Mg_{4.104},Fe^{2+}_{0.709},Ca_{0.022},Al_{0.164})_{5.00}[Si_{8.102}O_{22}](OH)_2$

LY－10.3：

$(Na_{0.032},K_{0.020})_{0.052}(Ca_{1.674},Fe^{2+}_{0.176},Na_{0.150})_{2.00}(Mg_{3.897},Fe^{2+}_{0.707},Al_{0.396})_{5.00}[Si_{7.700}O_{22}](OH)_2$

二、杂质矿物

河磨玉中的杂质矿物含量很少，且粒度较小，一般小于0.2mm，有的可达0.5mm。其含量也随河磨玉的品种不同而有所变化，与河磨玉中透闪石的含量呈反相关。一般在1%～2%之间，个别可达到4%。主要有碳酸盐矿物、磷灰石、粒硅镁石、绿帘石、白云母、蛇纹石、滑石、黄铁矿、磁铁矿、褐铁矿、石墨等。

1.碳酸盐矿物：碳酸盐矿物是河磨玉中最常见的杂质矿物，明显地可分为两个期次：早期的碳酸盐矿物是由于交代作用进行的不彻底而形成的，粒状，多浑圆，呈交代残余结构，粒度一般0.1～0.3mm，有的可达0.5mm，有聚片双晶颗粒出现，闪突起，高级白干涉色。晚期碳酸盐矿物是热液交代的蚀变产物，呈显微粒状集合体产出，多生成于柱状透闪石斑晶的解理缝中，也有的沿裂缝交代透闪石，它出现于各种河磨玉中，但其含量较低，个别可达1%左右。通过电子探针分析可知为方解石。分析数据如下：早期方解石 Na_2O1.17、MgO0.50、$SiO_2$0.55、K_2O0.19、CaO51.91；晚期方解石 Na_2O0.33、MgO0.45、$SiO_2$1.02、CaO48.52。它们的分子式分别为：

$Na_{0.0390}K_{0.0042}Mg_{0.0128}Ca_{2.9568}(C_{0.9905},Si_{0.0095})_{1.00}O_2$

$Na_{0.0060}Mg_{0.1260}Mn_{0.0033}Ca_{0.9764}(C_{0.8083},Si_{0.1917})_{1.00}O_3$

2.磷灰石：磷灰石也是河磨玉中较普遍的杂质矿物，一般呈它形粒状结构，在青玉中有自形的正六边形颗粒。粒度一般0.05～0.2mm，有的可达0.4～0.6mm。磷灰石多发生交代作用，有的内部生成星点状产物，从而形成筛状结构，也有的呈交代港湾、交代残余结构。有的沿裂缝被交代生成纤维状透闪石而被分割破坏。其含量也较低，有的也可达1%左右。电子探针分析的数据为：MgO0.31、$SiO_2$0.61、CaO52.42、MnO0.21、$P_2O_5$44.22。另一点 MgO0.22、$SiO_2$0.19、

CaO52.96、$P_2O_5$44.54。分子式分别为：

$Mn_{0.014}Mg_{0.037}Ca_{4.445}(P_{2.963},Si_{0.048})O_{12.000}$

$Mg_{0.026}Ca_{4.488}(P_{2.982},Si_{0.015})O_{12.000}$

3.粒硅镁石：含量很少，它形粒状结构，被纤维柱状透闪石所交代，呈交代残余结构。

4.金云母：金云母的含量非常少，针状，颗粒细小，中正突起，几近平行消光。

5.蛇纹石：含量很少，呈纤维放射状结构，并有波状消光现象，另外也有毛毡状结构，系后期蚀变产物。

6.滑石：滑石的出现较为普遍，含量也非常少，纤维状集合体，无色，中等突起，最高干涉色为Ⅱ级红，平行消光，系后期蚀变产物。

7.帘石：帘石在河磨玉出现比较普遍，有绿帘石、褐帘石等。它形粒状，粒度一般0.02mm左右，无色到黄色，多色性较弱，最高干涉色Ⅱ级红，解理不发育，边缘被纤维柱状透闪石所交代。

8.黄铁矿：黄铁矿仅出现于碧玉和墨玉中，其含量比较少。在墨玉中有时可达到0.5%，它形粒状，粒度0.1 mm，有时可达0.3 mm，不透明，反射色为黄色。在墨玉的X衍射图谱中可以看到黄铁矿的特征谱线，其X衍射数据见表三(略)。

9.磁铁矿：磁铁矿的含量非常低，在青玉中可见到它的细小自形晶，多呈细小粒状，不透明。

10.石墨：石墨的含量很低，主要分布于碧玉和墨玉中，在墨玉中含量可达0.5%以上。它形多呈不规则鳞片状集合体产于柱状透闪石的解理缝之中，可能是富镁碳酸盐在交代过程中放出的C富集而成。

11.褐铁矿：褐铁矿的含量非常低，多存在于裂缝中，是外生作用的产物。

另外，据推测河磨玉中应该含有透辉石、镁橄榄石、绿泥石等矿物成分，但在薄片中并没有发现它们，可能是由于选样不全面的缘故。

第三节　河磨玉的红外光谱及X射线衍射分析

一、河磨玉的红外光谱特征

化合物的红外光谱被称为它们的“指纹”，主要反映物质与红外辐射相互作用时振动能级的变化，而各种化合物的分子都有它们自己的特征能级，因而存在各自的特征光谱。由矿物中阴、阳离子的替代形成的系列矿物，如磷灰石、辉石、闪石、蛇纹石等，他们的红外光谱灵敏地显示了其成分及结构的变化。据报道，目前已经发表的大约800种矿物的红外光谱图，没有发现任何两种矿物的红外光谱是完全一样的。

我们以红外光谱为分析手段，分别对四种基本类型的河磨玉及带绿黄白玉进行了分析研究，它们的谱带数目、谱带位置、谱带形状等特征和标准透闪石的非常类似，这说明了河磨玉的主要矿物成分是透闪石，并可以把河磨玉近似看做透闪石的单矿物岩。但各种颜色的河磨玉的红外光谱也有些差异，它们的主要谱带位置见表四。

表四、河磨玉的红外光谱主要谱带位置对比(cm^{-1})

样品号	HM－H	HM－F	HM－D	HM－J	HM－B
品种类型	黄白玉	黄白玉$_{绿}$	青玉	碧玉	墨玉
分析编号	97032	97031	97030	97033	97029

续表

样品号	HM－H	HM－F	HM－D	HM－J	HM－B
(OH)的反对称伸缩振动	3670	3670	3670	3670	3670 (3657)
(O－Si－O)和(Si－O－Si)的反对称伸缩振动及(O－Si－O)的对称伸缩振动	1104	1104	1103	1102	1103
	1063	1062	1062	1062	1061
	1018	----	1019	1018	----
	1000	999	999	1000	998
	951	952	950	950	950
	923	922	922	922	922
(Si－O－Si)的对称伸缩振动	757	757	757	757	756
	725	724	725	726	723
	686	685	685	686	686
	664	663	663	663	660
	644	644	643	644	642
(Si－O)的弯曲振动	507	508	508	508	507
	462	462	460	459	463
	419	419	420	419	419
	390	390	389	389	388
(M－O)的晶格振动	360	359	358	357	356
	318	318	318	317	316
	300	300	300	301	300
	239	238	239	237	237

注:北京大学地质学系红外光谱实验室测定

从表四中可以看到:按照黄白玉、带绿黄白玉、青玉、碧玉、墨玉的顺序,河磨玉的红外光谱的各峰值明显的向低波数移动。图三(略)。从它们的化学分析结果(见表十一)可以看到,按照上述顺序它们中的 Fe、Mn 含量依次升高,而 Mg 的含量依次降低,Ca 的含量变化不大,其他的含量都很低。分子中阳离子 Fe、Mn 的原子量高,而 Mg 的原子量低,今把它们中的 Mg、Fe、Mn 的含量及原子量列入表五(略)。

从表五中可以看到:从黄白玉一直到墨玉,它们中分子的阳离子 Fe 的含量明显升高,根据质量作用定律,随着化合物中原子量大的阳离子的替代,物质的红外光谱的谱带向低波数移动。各种河磨玉的红外光谱反映了从黄白玉、带绿黄白玉、青玉、碧玉,一直到墨玉,Mg 的含量逐渐降低,铁逐渐替代镁的特征。

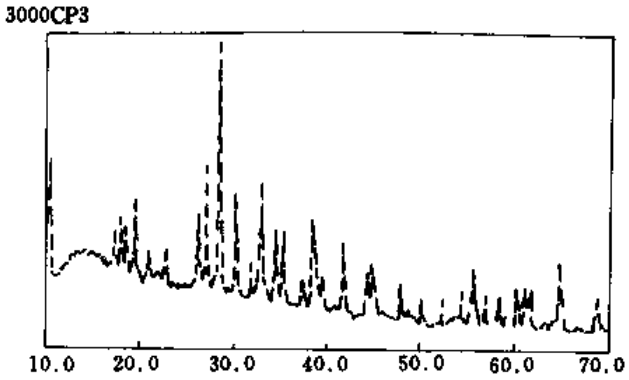
从河磨玉的红外光谱图上还可以看到:随着铁离子的增加,按黄白玉、带绿黄白玉、青玉、碧

玉、墨玉的次序，在 419 cm^{-1}峰值和 388 cm^{-1}峰值之间，以及 388 cm^{-1}峰值和 356 cm^{-1}峰值之间，各增加一个峰。另外在墨玉的红外光谱图中出现了波数较低的 3 657cm^{-1}的波峰。这是由于原子量大的 Fe 离子和$(OH)^-$形成的。

二、河磨玉的 X 射线衍射分析

X 射线衍射分析是根据晶体的 X 射线衍射谱线图的特征，来确定其矿物组成的分析方法，它是晶体分析的重要手段之一。我们分别对四种基本的河磨玉和带绿的黄白玉进行了 X 射线衍射分析，实验是在北京大学地质学系 X 射线衍射实验室中进行的。实验条件为：Cu 靶，Ni 滤波片，靶电压 30kV，靶电流 30mA，发散狭缝 1，接收狭缝 0.04，防散射狭缝 2，步进宽度 0.02 度。测得的河磨玉的 X 射线衍射数据见表六、七。

河磨玉的 X 粉晶谱线图见图四及图五、六、七、八(略)。



图四　黄白玉(HM－H)的 X 粉晶谱线图

注：图五至图八带绿黄白玉(HM－F)、青玉(HM－D)、墨玉(HM－B)、碧玉(HM－J)的粉晶谱线图略

我们可以看到：不论是河磨玉的 X 粉晶谱线图，还是它们的 X 射线衍射数据，都基本上相互一致，并且和透闪石的也相接近。这又说明了河磨玉主要是由透闪石组成的。

另外，在墨玉的 X 射线衍射谱线图上还可以检出黄铁矿和石墨的衍射峰，说明在墨玉中含有较多的黄铁矿和石墨。它们的衍射数据见表三(略)。

表六、墨玉、碧玉、青玉的 X 衍射数据对比表

d				I/I_0			
标准	墨玉	碧玉	青玉	标准	墨玉	碧玉	青玉
8.38	8.855	8.483	8.453	100	73.5	36.1	46.2
5.07	5.113	5.078	5.101	16	21.3	15.1	11.1
4.87	4.900	4.897	4.895	10	25.2	16.6	12.5
4.76	4.765	4.767	4.766	20	9.6	15.4	12.2
4.51	4.525	4.524	4.526	20	29.2	40.4	25.9
4.20	4.227	4.218	4.221	35	12.2	9.4	10.2
3.870	3.887	3.891	3.891	16	16.2	11.4	7.3

续表

d				I/I_0			
标准	墨玉	碧玉	青玉	标准	墨玉	碧玉	青玉
3.376	3.391	3.394	3.391	40	39.7	24.3	22.1
3.268	3.284	3.283	3.283	75	47.7	64.7	46.4
3.121	3.129	3.129	3.127	100	100.0	100.0	100.0
3.082	3.034	– –	2.998	10	3.3	– –	3.3
2.938	2.945	2.946	2.945	40	37.1	34.0	29.5
2.805	2.810	2.808	2.808	45	10.0	7.3	11.0
2.730	2.737	– –	– –	16	24.3	– –	– –
2.705	2.712	2.707	2.709	90	82.0	44.4	37.5
2.592	2.596	2.595	2.595	30	28.7	26.9	20.1
2.529	2.539	2.536	2.538	40	39.3	29.4	22.8
2.407	2.409	– –	2.412	8	6.0	– –	5.2
2.380	2.384	– –	2.382	30	6.8	– –	5.2
2.335	2.341	2.342	2.341	30	47.3	2.87	24.1
2.321	– –	– –	2.326	40	– –	– –	17.0
2.298	2.302	– –	2.306	12	12.3	– –	8.1
2.273	2.278	2.278	2.276	16	15.3	11.5	9.1
2.206	2.221	2.212	– –	6	5.6	3.9	– –
2.181	2.185	– –	– –	6	5.0	– –	– –
2.163	2.165	2.164	2.164	35	28.5	29.6	21.8
2.042	2.045	2.045	2.048	18	12.6	12.0	8.4
2.015	2.027	2.027	2.017	45	22.5	20.5	13.1
2.002	2.007	– –	– –	16	8.4	– –	– –
1.963	1.968	– –	– –	6	5.2	– –	– –
1.929	1.936	– –	– –	6	3.5	– –	– –
1.892	1.897	1.894	1.895	50	9.8	10.3	10.9
1.684	1.866	– –	1.863	16	8.5	– –	4.7
1.814	1.813	– –	1.816	16	5.6	– –	5.5
1.764	1.747	– –	1.749	6	4.3	– –	3.1
1.686	1.688	1.685	1.688	10	8.8	6.9	5.9

续表

d				I/I_0			
标准	墨玉	碧玉	青玉	标准	墨玉	碧玉	青玉
1.649	1.652	1.651	1.650	40	20.2	21.9	17.5
1.639	1.641	1.648	1.641	10	6.4	10.0	6.6

表七、黄白玉的X衍射数据对比表

d			I/I_0		
标准	黄白玉绿	黄白玉	标准	黄白玉绿	黄白玉
8.38	8.483	8.542	100	39.2	34.4
5.07	5.100	5.112	16	18.9	12.0
4.87	4.892	4.904	10	24.4	16.8
4.76	4.765	4.780	20	16.5	13.2
4.51	4.530	4.535	20	35.4	28.1
4.20	4.220	4.231	35	10.4	8.0
3.870	3.896	3.896	16	14.8	9.9
3.376	3.391	3.399	40	37.7	24.2
3.268	3.284	3.288	75	56.7	50.6
3.121	3.128	3.133	100	100.0	100.0
2.938	2.945	2.949	40	54.2	38.8
2.805	2.807	2.809	45	8.9	9.8
2.730	2.735	– –	16	25.0	– –
2.705	2.709	2.712	90	71.0	45.0
2.592	2.595	2.598	30	35.4	25.8
2.529	2.539	2.540	40	53.2	27.6
2.407	– –	2.419	8	– –	6.8
2.335	2.342	2.343	30	49.5	31.1
2.321	– –	2.325	40	– –	24.0
2.273	2.278	2.281	16	18.1	10.2
2.163	2.164	2.165	35	32.9	24.5
2.042	2.046	2.048	18	15.7	10.3
2.015	2.027	2.028	45	33.8	17.8
1.892	1.895	1.897	50	10.3	10.6

续表

d			I/I_0		
标准	黄白玉绿	黄白玉	标准	黄白玉绿	黄白玉
1.864	1.864	- -	16	8.9	- -
1.814	- -	1.819	16	- -	4.0
1.746	1.745	1.750	6	4.1	4.1
1.686	1.686	1.688	10	12.0	6.2
1.649	1.650	1.651	40	23.9	20.9

第四节　河磨玉的结构构造

一、河磨玉的结构

结构是指矿物颗粒的形状、大小及其相互关系。河磨玉的矿物颗粒非常细小，一般在0.01 mm以下，粗粒透闪石极少。矿物的形状多以隐晶质和显微纤维柱状为主。矿物颗粒的组合排列多以毛毡状结构为主，正是由于这种结构，河磨玉才如此地致密细腻。

河磨玉中透闪石微晶在偏光显微镜下观察为纤维状、针状、放射状、蒿束状、似螃蟹状、花瓣状等。它们是干涉色较低的集合体。透闪石的柱状斑晶含量很少，有的薄片中呈聚片双晶假象出现，也有的呈变余花岗变晶结构。

优质的河磨玉的粒度大小一般在0.01 mm以下。在偏光显微镜下利用高倍镜对河磨玉的薄片进行观察，按其颗粒大小可以把河磨玉的结构分为以下三种基本类型：

1.显微粗晶质：透闪石的颗粒大小比较粗，一般为0.5×0.01 mm、0.1×0.02 mm或更粗一些。这种河磨玉比较少见，它的外观较粗糙，光泽和透明度都较差，表面缺乏滋润感。

2.显微细晶质：在偏光显微镜下可以分辨出透闪石颗粒的大小和形态，其颗粒大小比显微粗晶质的小，一般大于0.01 mm，这种结构较常见。

3.显微隐晶质：在偏光显微镜下无法分清透闪石颗粒的大小和形态，其颗粒一般小于0.01 mm。这种结构在河磨玉中很常见，它常常和显微细晶质叠加出现，构成河磨玉的最基本的结构。

河磨玉的显微结构非常复杂多样。在偏光显微镜下又可以根据透闪石颗粒的形状及其相互之间的关系，把它划分为以下类型：

1.毛毡状结构：毛毡状结构是河磨玉中最普遍最重要的一种结构。透闪石的颗粒都非常细小，粒度比较均匀。在偏光显微镜下无法分清楚其界限，好像绒毛相互交织而成的毡毯一样，它是显微纤维透闪石均匀地无定向密集分布。该结构决定了河磨玉具有一些较好的玉石特征。

2.显微纤维变晶结构：在偏光显微镜下可以看到，透闪石成纤维状聚集。颗粒长度小于0.1 mm，并且大致沿长轴定向排列，可以看到斜消光现象。

3.放射花瓣状结构：这种结构较常见，有时可以作为主要结构出现。它是柱状透闪石从一个中心向四周呈放射状分布，颗粒长度也小于0.1 mm，可见到波状消光现象。

4.帚状结构：这种结构在河磨玉中不经常出现，不是主要结构。它是柱状透闪石局部定向排列形成的，一端收敛，一端发散，似扫帚状。颗粒长度小于0.1 mm，可见到波状消光。有时出现

挠性,并有波状消光现象。

5.似螃蟹状结构:是纤维柱状透闪石围在残留矿物的两端,并且向外散开而形成的。这种结构在河磨玉中偶尔出现。

6.交代残余结构:它是由于交代作用进行的不彻底而残留下来的各种结构,有以下几种。

(1)筛状结构:透闪石在磷灰石或碳酸盐矿物内部呈星点状交代分布,残留矿物整体上呈网筛状。

(2)交代环边结构:晚期的纤维柱状透闪石围绕在残留早期矿物的周围,并向四周呈放射状分布所形成的一种交代残余结构。残留矿物是磷灰石、绿帘石或早期柱晶透闪石。

(3)交代港湾结构:早期的磷灰石、粗晶透闪石颗粒的一侧被后期的透闪石交代而形成的类似港湾状的结构。

(4)交代残蚀结构:早期的粗晶透闪石、粒硅镁石颗粒被后期的透闪石交代而形成的锯齿状不规则残蚀边。这种结构比较常见。

(5)交代残余双晶结构:早期的碳酸盐矿物颗粒被透闪石完全交代,但仍然保留有聚片双晶的一种结构。

(6)交代残余花岗变晶结构:早期碳酸盐矿物、粗粒透闪石所形成的花岗变晶结构,由于交代作用进行的不彻底而残留下来形成的结构。

二、河磨玉的构造

构造是指组成岩石的矿物集合体在总体上的形状、大小、空间上相互关系及其配合方式。河磨玉的构造可以分为两类:

1.致密块状构造:这是河磨玉中最常见和最重要的构造,几乎所有的河磨玉都具有这种构造。块度大的可达长 2m、重 3~4t,小的只有拳头、鸡蛋般大小。

2.片状构造:这种构造在河磨玉中非常少见,因为具有该构造的原生矿石在搬运过程中将受到严重的破坏,很难形成河磨玉。而在老玉中这种构造偶尔出现,具有该构造的矿石质量很低,一般不能作玉石。

第五节　矿物的生成顺序和矿化阶段

同一矿化阶段内可以形成一组矿物,而这些矿物又不都是在同一时间内形成的,我们把各种矿物形成的时间关系叫做生成顺序。而同一种矿物的形成也有先后顺序,它们每形成一次即为该矿物的一个世代。在河磨玉的形成过程中,矿化阶段可分为变质阶段、热液阶段 1、热液阶段 2、热液阶段 3、表生阶段。

在变质阶段中,主要形成粒硅镁石、金云母、方解石、磷灰石、绿帘石、粗晶透闪石。仅有金云母为鳞片状结构,其余都是粒、柱状结构。矿石结构为花岗变晶结构、鳞片粒状柱状变晶结构。

热液阶段是河磨玉形成的重要阶段,尤其是第三阶段的软玉化则是形成玉石的决定阶段。在第一期中有短柱状透闪石生长于变质期的粗粒柱晶透闪石中,同时变质期的粗粒柱晶透闪石的解理缝中有石墨生成,在后半期有第二世代的方解石生成,它呈显微状变晶集合体出现。另外黄铁矿和磁铁矿也是在该期内生成;在第二期中柱状透闪石被晚期纤维状透闪石交代,同时晚期纤维状透闪石也交代粒硅镁石、磷灰石、绿帘石等,从而形成放射花瓣状、似螃蟹状、帚状、交代残余等各种结构;第三期即软玉化期,在该期中毛毡状透闪石交代了晚期纤维状透闪石,从而形成了河磨玉中最重要的结构——毛毡状结构,同时也生成了少量蛇纹石和滑石,蛇纹石多以放射状

结构产出，而滑石出现纤维变晶结构。

表生阶段也就是外生作用阶段，在该阶段中生成了表生矿物——褐铁矿。

详细情况列于表八(略)。

第四章　河磨玉的物理化学性质

第一节　河磨玉的物理性质

一、颜色

各种玉石都以自己独特的自然色彩引人喜爱，而登上世界珍宝之位。玉石行家对颜色非常重视。颜色不仅是评价河磨玉质量优劣的重要标准，而且是划分河磨玉种类的主要依据。

河磨玉的颜色色调较多，并且自成体系。它有四种基本色调：白色、青色、绿色、黑色，另外还有一些过渡色调，从而使它的颜色范围更宽。但是纯白色的河磨玉至今还没有发现，只有一些过渡色调的黄白玉。另外三种颜色分别对应于青玉、碧玉和墨玉。

和新疆和田玉相比，河磨玉中没有发现纯白色的羊脂玉，也没有发现以黄色为基调的黄玉。但是河磨玉中的碧玉则是和田玉所没有的。在河磨玉中黄白玉最为名贵，并且其白色越多越名贵。

河磨玉的颜色在工艺鉴定中非常重要。在工艺鉴定中河磨玉的颜色要求，一是色调，即是什么颜色；二是色纯，即颜色要纯正，没有其他颜色；三是色浓，即颜色的深浅。

二、密度

密度是指单位体积河磨玉的质量。经过实验室认真测定而知，河磨玉的密度范围是2.91～3.02g/cm^3(水中测量)，或者2.98～3.13g/cm^3(室温条件下CC_{14}中测量)。各标本的测量结果见表九。

表九、河磨玉的密度(g/cm^3)(水中测量)

标本号	类　型	密　度	标本号	类　型	密　度
HM－A	黄白玉	2.94	HM－I	黄白玉	2.91
HM－BP	墨　玉	3.02	HM－1	黄白玉	2.93
HM－C	黄白玉	2.95	HM－2	黄白玉	2.93
HM－D	青　玉	2.98	HM－3	青　玉	3.00
HM－E	黄白玉	2.93	HM－4	碧　玉	2.98
HM－F	黄白玉	2.95	HM－5	墨　玉	2.99
HM－G	碧　玉	2.98	HM－6	黄白玉	2.95
HM－H	黄白玉	2.93	－－	－－	－－

从表九可以看出，河磨玉的密度随其品种的不同而变化。一般来说，黄白玉的密度最低，并且其中白色调越多密度越小；然后是碧玉、青玉；密度最大的是墨玉。在墨玉中含有石墨，其密度本应降低，但是由于墨玉中还含有密度较大的黄铁矿，最终使墨玉的密度变得最大。

三、硬度

硬度是玉石的一种重要物理性质，它对玉石的工艺加工非常重要。硬度越大，抛光性越好，雕出的玉件就更加光亮，硬度越大也越易于保存。

经实验测定：河磨玉的硬度比较大，第一次在本系矿床教研室测量6个样品(HM－1…6)，硬度为6.36～6.46，其中青玉最高为6.46，黄白玉最低为6.36。第二次在地科院矿床所测量9个样品(HM－A…I)，硬度为6.00～6.50，其中青玉也是最高，变化规律类似。具体测量结果见表十。

表十、河磨玉的硬度(维氏硬度：kg/mm^2)

标本号	类　型	维氏硬度	摩氏硬度	标本号	类　型	维氏硬度	摩氏硬度
HM－A	黄白玉	853.3	6.36	HM－I	黄白玉	801.1	6.27
HM－B	墨　玉	702.2	6.00	HM－1	黄白玉	835.3	6.36
HM－C	黄白玉	730.5	6.08	HM－2	黄白玉	835.3	6.36
HM－D	青　玉	892.5	6.50	HM－3	青　玉	847.7	6.46
HM－E	黄白玉	782.1	6.22	HM－4	碧　玉	842.9	6.38
HM－F	黄白玉	847.7	6.46	HM－5	墨　玉	850.6	6.40
HM－G	碧　玉	797.3	6.26	HM－6	黄白玉	835.3	6.36
HM－H	黄白玉	835.3	6.36	－－	－－	－－	－－

四、折光率

光在空气中的传播速度和在透明宝玉石中的传播速度之比值，称为该透明宝玉石的折光率。每种宝玉石都有固定的折光率，它是宝玉石的重要物理性质之一，也是鉴定宝玉石的重要参数之一。在实验室中用折光仪测得河磨玉的折光率为1.60～1.62。具体为：黄白玉1.60～1.61，青玉1.60～1.61，碧玉1.61，墨玉1.62，其中墨玉折光率最大。

五、光泽

光泽是指玉石对光的反射能力，它与矿物的折射率、吸收系数和反射率有关。反射率越大，光泽就越强。河磨玉的光泽属于油脂光泽。也就是说，它的光泽带有很强的油脂性，给人以滋润的感觉。一般说来，河磨玉的质地越纯，光泽就越好；杂质越多，光泽就越差。

六、透明度

透明度是指玉石允许可见光透过的程度，这主要与玉石对光的吸收强弱有关。矿物学上一般分为透明、半透明、不透明三种。玉石行业中对透明度看得比较重要，有专门用语，透明度好的叫“水头足”、“地子灵”、“坑灵”；透明度差的叫“没水头”、“地子闷”、“坑闷”。鉴定透明度要把玉石磨光，在一般厚度下看透视其他物体的情况，可以分为透明体、半透明体、微透明体、不透明体等四个级别。河磨玉属于微透明体，在一般厚度下，能透过光，但是看不清透过的物象。

第二节　河磨玉的化学性质

闪石类矿物化学组成复杂，类质同象代替普遍。闪石族矿物化学成分通式为：

$A_{0-1}B_2C_5T_8O_{22}(OH,F,Cl)_2$，其中

A:Na^+,Ca^{2+},K^+,$(H_2O)^+$　　B:Na^+,Li^+,K^+,Ca^{2+},Mg^{2+},Fe^{2+},Mn^{2+}

C:Mg^{2+},Fe^{2+},Mn^{2+},Al^{3+},Fe^{3+},Ti^{4+}　　T:Si^{4+},Al^{3+},Fe^{3+},Ti^{4+}

同时:$(OH)^-$也常被F^-,Cl^-,O^{2-}代替。

透闪石——铁阳起石系列的化学成分通式为:$Ca_2(Mg,Fe)_5[Si_8O_{22}](OH)_2$,其中镁~铁间可呈完全类质同象代替,置换程度不同,矿物也不同。透闪石分子式为$Ca_2Mg_5[Si_8O_{22}](OH)_2$;当Mg被Fe置换时,可变为阳起石,其分子式为$Ca(Mg,Fe)_5[Si_8O_{22}](OH)_2$;当Mg被Fe全部置换后,就成为铁阳起石,其分子式为$Ca_2Fe_5[Si_8O_{22}](OH)_2$。由于Mg和Fe的置换是一连续系列,因此矿物种的划分有一定范围,当$Mg/(Mg+Fe^{2+})\geqslant 0.90$时,称为透闪石;当$Mg/(Mg+Fe^{2+})<0.90$至$\geqslant 0.50$时,称为阳起石;当$Mg/(Mg+Fe^{2+})<0.50$时,称为铁阳起石。另外,还可根据成分中含$Ca_2Fe_5[Si_8O_{22}](OH)_{22}$的分子数来划分,当其含量为0~20%时,称之为透闪石;当其含量为80%以上者,称为铁阳起石;其含量在20%~80%之间者,称为阳起石。

一、河磨玉的化学成分特征

1.河磨玉的主要化学成分

化学分析结果表明,河磨玉的化学成分属于透闪石成分,其主要成分是SiO_2、MgO、CaO,其中SiO_2含量55.54%~57.39%、MgO含量20.88%~24.51%、CaO含量11.34%~11.99%,与透闪石$Ca_2Mg_5[Si_8O_{22}](OH)_2$理论成分$SiO_2$:56.17%、MgO:24.88%、CaO:13.81%相接近。次要组分为FeO:2.00%~7.70%、Na_2O:0.11%~0.21%、K_2O:0.04%~0.06%、Al_2O_3:0.58%~0.89%、Fe_2O_2<0.01%。这说明次要组分的含量都很低。水含量(H_2O^+)0.60%~1.77%,低于透闪石的理论成分2.22%。附加阴离子未作研究。另外还有MnO、TiO_2、P_2O_5、Cr_2O_3。MnO的含量0.07%~0.13%,只有在墨玉中>0.10%。TiO_2的含量0.02%,只有在黄白玉中为0.01%。P_2O_5的含量0.01%~0.05%,碧玉中<0.01%。Cr_2O_3的含量为0.14%~0.38%。

河磨玉的化学成分有一个显著的特点是,不同颜色的种类、化学成分有一定的变化,而且有一定的规律。河磨玉的化学成分见表十一,其变化曲线如图九。

表十一、河磨玉的主要化学成分(%)

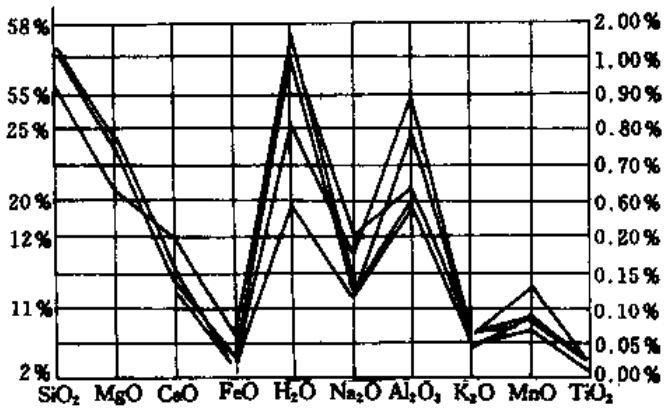
样品号	HM-B	HM-F	HM-J	HM-D	HM-H	透闪石
种　类	墨　玉	黄白玉绿	碧　玉	青　玉	黄白玉	理论值
SiO_2	55.54	56.85	56.87	57.34	57.39	59.17
TiO_2	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	– –
Al_2O_2	0.64	0.58	0.60	0.79	0.89	– –
Fe_2O_3	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	– –
FeO	7.70	4.15	4.03	2.98	2.00	– –
MnO	0.13	0.09	0.09	0.08	0.07	– –
MgO	20.88	23.79	23.97	24.24	24.51	24.81
CaO	11.99	11.50	11.44	11.34	11.55	13.81
Na_2O	0.21	0.17	0.12	0.11	0.11	– –
K_2O	0.06	0.06	0.04	0.06	0.05	– –
P_2O_5	0.05	0.03	<0.01	0.01	0.05	– –

续表

样品号	HM－B	HM－F	HM－J	HM－D	HM－H	透闪石理论值
种　类	墨　玉	黄白玉绿	碧　玉	青　玉	黄白玉	
Cr_2O_3	0.24	0.38	0.28	0.14	0.15	－－
LOI	2.08	2.01	2.81	2.65	3.00	－－
H_2O^+	1.03	0.83	1.77	0.60	1.10	2.22

注：国家地质实验测试中心测定

从表中可以看出，从黄白玉、青玉、碧玉、墨玉依次排列，河磨玉的化学成分有如下规律：①SiO_2、MgO 的含量依次降低；②CaO 的含量也依次降低，但墨玉较碧玉又有升高的趋势；③FeO 的含量依次升高；④Al_2O_3 的含量依次降低，但墨玉较碧玉又有升高的趋势；⑤MnO 的含量依次升高；⑥Cr_2O_3、TiO_2 在黄白玉中的含量最低，并在黄白玉、青玉中较低，而在碧玉、墨玉中较高，是前者的两倍以上；⑦Na_2O 的含量依次升高，K_2O 的含量都低于 Na_2O，并且 $Na_2O/K_2O=2\sim4$；⑧Fe_2O_3 的含量都很低，全部 $<0.01\%$；⑨发绿的黄白玉的化学成分更接近碧玉，这说明绿色的形成和化学成分有关，可能是 FeO、Cr_2O_3、MnO 等共同作用的结果。



图九　河磨玉的主要化学成分变化折线图

图中 Si、Mg、Ca、Fe 的氧化物纵坐标为 2%～58%的左边的那一条；H、Na、Al、K、Mn、Ti 的氧化物纵坐标为 0～2.00%的右边的那一条。

B：墨玉　D：青玉　F：带绿黄白玉　H：黄白玉　J：碧玉

按照上述的化学成分数据计算，河磨玉的主要种类的近似的化学结构式为：

HM－B：$(Na_{0.059},K_{0.011})_{0.070}Ca_{1.849}(Mg_{4.480},Fe^{2+}_{0.926},Mn_{0.016},Al_{0.109},Cr_{0.027},Ti_{0.002},)_{5.560}[Si_8O_{22}](OH_{0.866},O_{1.114})_2$

HM－D：$(Na_{0.030},K_{0.010})_{0.040}Ca_{1.694}(Mg_{5.038},Fe^{2+}_{0.347},Mn_{0.010},Al_{0.130},Cr_{0.016},Ti_{0.002})_{5.561}[Si_8O_{22}](OH_{0.558},O_{1.442})_2$

HM－F：$(Na_{0.046},K_{0.010})_{0.056}Ca_{1.733}(Mg_{4.998},Fe^{2+}_{0.488},Mn_{0.011},Al_{0.096},Cr_{0.042},Ti_{0.002})_{5.627}[Si_8O_{22}](OH_{0.790},O_{1.210})_2$

HM－H：$(Na_{0.030},K_{0.004})_{0.034}Ca_{1.724}(Mg_{5.090},Fe^{2+}_{0.0232},Mn_{0.008},Al_{0.146},Cr_{0.017},Ti_{0.001})_{5.494}[Si_8O_{22}](OH_{1.022},O_{0.978})_2$

HM－J：$(Na_{0.033}, K_{0.007})_{0.040}Ca_{1.724}(Mg_{5.032}, Fe^{2+}_{0.473}, Mn_{0.011}, Al_{0.100}, Cr_{0.031}, Ti_{0.002})_{5.640}[Si_8O_{22}](OH_{1.097}, O_{0.903})_2$

河磨玉的化学结构式表明：它们都具有$(Ca+Na)_B \geqslant 1.34$，$Na_B \leqslant 0.67$，$(Na+K)_A < 0.5$，$Si \geqslant 7.50$，$Ca_B > 1.34$，$Mg/(Mg+Fe^{2+}) \geqslant 0.90$等特征，总体上符合国际矿物学会角闪石委员会分类命名方案中透闪石结构式的规定。

从河磨玉的结构式还可以看出：在结构式中A位离子为Na^+、K^+，含量非常低，接近于0；B位离子为Ca^{2+}，其含量随河磨玉的品种不同而不同；C位离子主要为Mg^{2+}，并且Mg^{2+}和Fe^{2+}呈互为消长的关系，如黄白玉中Mg^{2+}为5.090、Fe^{2+}为0.232，青玉中Mg^{2+}为5.038、Fe^{2+}为0.347，碧玉中Mg^{2+}为5.023、Fe^{2+}为0.473，带绿的黄白玉中Mg^{2+}为4.988、Fe^{2+}为0.488，墨玉中Mg^{2+}为4.488、Fe^{2+}为0.926；T位离子是Si^{4+}，没有Al^{3+}代替，Al^{3+}全是六次配位。

2.河磨玉中的微量元素特征

河磨玉中含有丰富的微量元素，并且微量元素在其中的赋存情况依品种不同而有差异。具体情况见表十二，其折线图如图十。

表十二、河磨玉中的微量元素含量(μg/g)

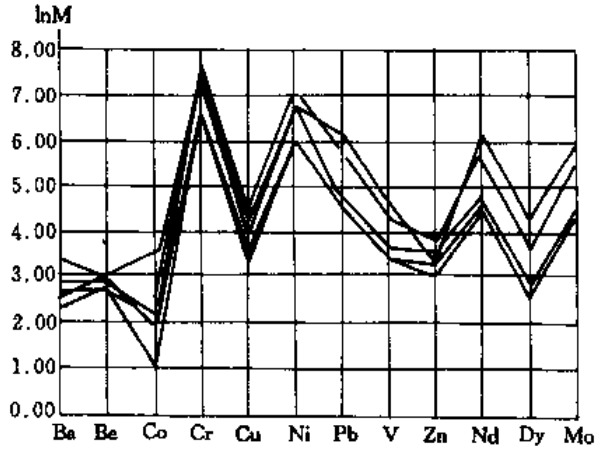
样品号	HM－B	HM－D	HM－F	HM－H	HM－J
种　类	墨　玉	青　玉	黄白玉绿	黄白玉	碧　玉
Ba	28.07	12.46	14.21	9.91	16.85
Be	19.22	19.18	13.97	15.16	17.63
Co	30.97	6.44	8.91	2.64	6.32
Cr	1559.00	789.00	2444.00	850.00	1654.00
Cu	65.25	25.68	75.71	34.12	46.54
Ni	871.30	431.00	1254.00	466.30	879.60
Pb	513.50	111.60	333.10	89.60	95.30
Sr	17.49	12.42	18.12	18.05	10.58
V	98.93	37.86	66.87	29.33	31.07
Zn	26.44	35.69	44.73	24.94	19.38
Nd	487.40	110.90	318.70	95.59	84.63
Dy	66.47	15.51	42.85	13.23	12.41
Y	8.58	5.66	4.40	3.01	6.07
Yb	1.11	0.35	0.41	<0.30	0.46
Sc	2.70	1.53	1.96	1.35	1.62
Mo	367.50	84.34	249.90	72.42	77.14

注：国家地质实验测试中心测定

从表中我们可以看到:①河磨玉中 Ni、Cr 的含量非常高,并且按青玉、黄白玉、墨玉、碧玉、带绿黄白玉的顺序,依次升高;②河磨玉中普遍含有 Pb、V、Be、Co、Mo、Nd 等,并且它们按黄白玉、碧玉、青玉、墨玉的顺序,依次升高;③河磨玉中 Cu、Ba 的含量依黄白玉、青玉、碧玉、墨玉的顺序升高;④河磨玉中 Zn 的含量依碧玉、黄白玉、墨玉、青玉、带绿黄白玉的顺序升高。变化趋势不同于其他微量元素;⑤带绿黄白玉和墨玉中的微量元素含量非常高;⑥河磨玉中含量大于 100μg/g 的有 Cr、Ni、Pb、Nd、Mo,含量大于 10μg/g 的有 Cu、V、Zn、Dy、Be、Ba。

二、河磨玉与其他地区软玉化学成分的对比

其他地区软玉的主要化学成分情况见表十三(略)。



图十:河磨玉的微量元素折线图

B:墨玉 D:青玉 F:带绿黄白玉 H:黄白玉 J:碧玉

其他地区软玉的微量元素特征见表十四(略)。

河磨玉和其他地区软玉的化学成分基本相近,但也有稍许的差别:①河磨玉中的 SiO_2 和加拿大软玉、新疆和田玉的相接近,而俄罗斯产的软玉中 SiO_2 变化幅度较大;②河磨玉中 MgO 的含量和新疆和田玉的相接近,而俄罗斯和加拿大的则低些;③河磨玉中 CaO 的含量最高,而新疆和田玉的较其他的为高;④河磨玉中 Al_2O_3 的含量与澳大利亚软玉的相接近,而低于俄罗斯、加拿大、新疆和田玉的 Al_2O_3 含量,可能是因为含有较少或不含有绿泥石的缘故;⑤河磨玉中 Fe_2O_3 的含量非常低,小于 0.01%,而新疆和田玉、加拿大软玉则较高,可高达 2.16%;⑥河磨玉中 FeO 的含量为 2.00%~7.70%,变化幅度比其他软玉的都大;⑦河磨玉中 MnO 的含量最低,一般低于 0.1%,而加拿大软玉则偏高;⑧河磨玉中 Na_2O 的含量高于加拿大和澳大利亚所产软玉的含量,而低于俄罗斯软玉及新疆和田玉的含量;⑨河磨玉中 K_2O 的含量和加拿大、澳大利亚所产软玉相接近,而其他软玉则较高;⑩河磨玉中 Cr、Ni、Ti 含量较高,并和加拿大、新疆碧玉相接近,它们在成因上可能有相似之处;⑪河磨玉中 Be 的含量和新疆和田玉的相近,而较加拿大的为高;⑫河磨玉中 Cu、Zn 的含量和加拿大的相近,而较新疆和田玉的则为高;⑬河磨玉中 Pb 的含量较高;⑭河磨玉中 Ba、Co、Sc 的含量较加拿大软玉的偏低。

第三节 河磨玉与老玉、和田玉的性质对比

一、与老玉的性质对比

老玉是河磨玉的原生矿床,为山料。它产于细玉沟的山顶上,开发应用历史很久。它与河磨

玉有明显的联系和一定的区别,现简述如下:

1.河磨玉与老玉的联系

(1)主要矿物成分都是透闪石,并且透闪石含量都在96%以上。利用电子探针测定了它的主要矿物成分为透闪石,其电子探针数据见第二节的表二。

(2)次要矿物基本一样,粒硅镁石、磷灰石、蛇纹石、滑石、碳酸盐矿物、绿帘石、磁铁矿、黄铁矿、石墨等在它们中都有出现。

(3)颜色一致,都是以黄白、青、绿、黑为基本颜色,并且都可据此进行分类。

(4)结构构造相同,毛毡状结构和致密块状构造为主。

(5)密度基本相等,都是3g/cm^{3}左右。测得河磨玉的密度为2.92~3.02g/cm^3,老玉的密度为2.92~3.06g/cm^3。老玉的密度见表十五。

表十五、老玉的密度值(g/cm^3)

标本号	LY-2	LY-3	LY-4	LY-5	LY-6
密　度	2.99	2.96	2.95	2.92	2.96
标本号	LY-7	LY-8	LY-9	LY-10	---
密　度	2.94	2.93	2.96	3.06	---

2.河磨玉与老玉的区别

(1)次要矿物有所不同。老玉中出现了阳起石,而河磨玉中则出现了外生矿物——褐铁矿。

(2)老玉的硬度不均匀,而且稍低于河磨玉。河磨玉的硬度均匀且较高,但是其中外皮的硬度很低,一般为5.0~5.5之间。

(3)河磨玉的结构更细腻,斑晶较少。而老玉的结构相对较粗,质地较次。

(4)老玉偶有片状构造出现,它是纤维柱状透闪石定向排列所形成的,这种构造大大降低了玉石的质量,而河磨玉中出现这种构造的可能性则非常小。

(5)老玉中一般裂纹较多,从而决定了老玉的韧性较低。

二、与新疆和田玉的性质对比

1.与新疆和田玉的相同性

(1)主要矿物都是透闪石,并且都是白色调越多透闪石含量越高。

(2)结构都是以毛毡状结构为主,构造都是以致密块状构造为主。

(3)化学成分也基本一致,都是以Si、Ca、Mg为主,同时含有Na、K、Al,并且它们的含量都低于0.5%。

(4)都含有绿帘石、磷灰石、碳酸盐矿物、磁铁矿、黄铁矿等杂质矿物。

(5)光泽都是油脂光泽,折光率都是1.60~1.62。透明度都是微透明。

2.与新疆和田玉的区别

(1)和田玉中非常名贵的羊脂白玉、黄玉在河磨玉中没有发现。河磨玉中的碧玉是和田玉中所没有的。

(2)和田玉的密度要小于河磨玉,据资料记载,和田玉的密度为2.66~2.976g/cm^3,而河磨玉

的密度则是2.92~3.02g/cm^3。

(3)和田玉的硬度大于河磨玉,据资料记载,和田玉的硬度为6.5~6.9,而河磨玉的硬度则低于6.5。

(4)和田玉的化学成分中Fe_2O_3的含量大大高于河磨玉。和田玉中的Fe_2O_3在0.11%~0.61%之间,而河磨玉的则小于0.01%。和田玉中的FeO含量一般在1%~2.5%之间,而河磨玉中则大于2.0%。

(5)河磨玉中微量元素Cr、Ni的含量大大高于和田玉。河磨玉中Cr的含量为789~2 444μg/g,Ni的含量为431~1 254μg/g;而据记载和田玉中Cr、Ni的含量非常低,一般小于0.01%。

(6)和田玉的皮一般很薄,而河磨玉的皮往往较厚,并且有时可见到明显的分层现象。这是由于不同的地理气候条件造成的。

第五章　河磨玉的形成过程

河磨玉形成过程中的物质,主要来自于白云石大理岩和中酸性侵入岩。这些物质在一定的物理化学条件下进行化学反应,从而形成一系列的蚀变矿物,进而形成原生的软玉矿石。白云石大理岩主要化学成分是MgO、CaO、CO_2,化学性质活泼、易溶、渗透性强,有利于交代作用的进行。中酸性岩浆岩主要为闪长岩、花岗闪长岩、花岗岩,化学成分主要是SiO_2、AL_2O_3,其次是CaO、K_2O、MgO、Fe_2O_3。这些岩体或岩脉侵入时,伴随的岩浆热液中富含Si、Fe、H_2O等成分,当它与白云石大理岩接触时,就会发生一系列的化学反应,生成蚀变矿物。

河磨玉的成矿有一个演化过程,从原岩的沉积到河磨玉的形成,主要经历了四个阶段。

1.白云岩沉积阶段

在早元古代(距今约18~25亿年)时,在我国东北南部的大部分浅海地区,有大量的碳酸盐岩沉积,其中含有镁质的碳酸盐——白云岩为以后成玉的主要物质之一。

2.白云岩区域变质阶段

在早元古代末期(距今约18亿年左右),吕梁运动使该区域内的地层发生褶皱、变质,并伴有岩浆活动,后来区域地层抬升隆起,最终形成了华北地台。在广泛的区域变质作用中,发生了重结晶作用,白云岩变成了白云石大理岩,原有的矿物成分和结构受到改造。同时也发生了重组合作用,粘土质等杂质和白云石发生重新组合,形成了粒硅镁石、金云母、磷灰石、帘石、早期粗粒透闪石、方解石等。它们主要呈镶嵌结构和花岗变晶结构。这些早期矿物和白云石大理岩为河磨玉的形成提供了物质条件。

当温度较高时,主要生成透辉石、镁橄榄石、硅镁石、阳起石等。主要化学反应式为:

$$CaMg(CO_3)_2(\text{白云石}) + 2SiO_2 \longrightarrow CaMgSi_2O_6(\text{透辉石}) + 2CO_3\uparrow$$

$$2CaMg(CO_3)_2(\text{白云石}) + SiO_2 \longrightarrow Mg_2SiO_4(\text{镁橄榄石}) + 2CaCO_3 + CO_2\uparrow$$

以上主要是中酸性岩浆岩中的SiO_2与白云石大理岩中的CO_2进行交换。在生成透辉石或镁橄榄石时,伴随有CO_2逸出或方解石生成。

随着温度的降低,在有流体作用的情况下,可以生成早期粗粒透闪石。化学反应式为:

$5CaMg(CO_3)_2$(白云石) $+ 8SiO_2 + H_2O \longrightarrow$

$Ca_2Mg_5[Si_8O_{22}](OH)_2$(透闪石) $+ 3CaCO_3 + 7CO_2\uparrow$

在反应过程中有 CO_2 逸出,并且有方解石生成。

早期生成的铁镁矿物,在水和硅、钾、铝的参与下,又可以发生交代,形成金云母。化学反应式为:

$3(Fe,Mg)_2[SiO_4]$(橄榄石) $+ 2KAlO_2 + 2H_2O + 3SiO_2 \longrightarrow$

$2(Mg,Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH)_2$(金云母)

3.成玉阶段

在中生代的三叠纪前后(距今约 2~2.5 亿年),在华北地台上有强烈的断裂活动和岩浆活动,沿大断裂有中酸性侵入岩侵入,在侵入过程中伴随有大量的岩浆热液。在白云石大理岩和中酸性侵入岩的接触带上,发生了热液蚀变作用。变质期形成的早期矿物和白云石大理岩再次遭受了强烈蚀变,形成蚀变岩。后来侵入体又派生出许多岩脉,其中浅成的中酸性岩脉侵入到蚀变的白云石大理岩时,引起热液蚀变作用。在适当的地质条件下,形成了原生的透闪石质软玉。在这个阶段中也形成了蛇纹石、滑石等蚀变矿物。

在这个阶段中,早期粗粒透闪石被热液蚀变成更加细小的柱状透闪石,并且进一步被蚀变成纤维状、毛毡状透闪石,这个过程即通常所说的软玉化作用。它是成玉阶段中的主要作用。另外,变质期形成的镁铁矿物也被纤维状、毛毡状透闪石交代,就是磷灰石也可以被它们交代形成交代环边和交代残余结构。

在热液作用下,白云石大理岩和原来生成的铁镁矿物又进一步被交代,形成了蛇纹石、滑石等。化学反应式为:

$6CaMg(CO_3)_2$(白云石) $+ 4H_2O + 4SiO_3 \longrightarrow Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$(蛇纹石) $+ 6CaCO_3 + 6CO_2\uparrow$

Mg_2SiO_4(镁橄榄石) $+ 4H_2O + SiO_2 \longrightarrow Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$(蛇纹石)

$4Mg_2SiO_4$(镁橄榄石) $+ H_2O + 5CO_2 \longrightarrow Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$(滑石) $+ 5MgCO_3$

$Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$(蛇纹石) $+ 3CO_2 \longrightarrow Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$(滑石) $+ 3MgCO_3 + 3H_2O$

在这个阶段中也有少量的磁铁矿、黄铁矿等形成。同时在后期有可能受到基性岩脉的侵入,所以在河磨玉中 Cr、Ni 的含量很高。具体成因有待于进一步探讨。

以上的化学反应式中,交换的物质主要是 CaO、MgO、SiO_2、H_2O,其次还有 Al_2O_3、FeO、K_2O、Na_2O 等。除了 CaO、MgO 主要来自白云石大理岩外,其他成分来自于中酸性岩浆侵入体和热水溶液。当然,每一个反应都是在一定的物理化学条件下进行的。

4.风化沉积阶段

已经形成的透闪石质软玉在各种地质营力的作用下风化崩落,并由河水搬运到河流中,在适当的条件下沉积、埋藏、演化而形成河磨玉。它分布于河床及两侧的阶地中,玉石裸露地表或埋藏于地下。

其实,物质的交换是一个非常复杂的过程。不论中酸性岩浆侵入体和热液,还是白云石大理岩,它们的化学成分都是复杂的,并且有多变性,同时还受到多种条件的制约,所以河磨玉的形成过程中成分的交换并不是一个简单的过程。可以随各种环境条件的不同而会产生一些不同。但是,它还是有规律可循的,它的形成模式见表十六。

表十六、河磨玉的形成过程模式简表

形成阶段	沉积阶段	区域变质阶段	成玉阶段	风化阶段
形成时代	早元古代（距今约18~25亿年）	早元古代末期（距今约18亿年左右）	三叠纪前后（据今约2~2.5亿年）	新生代的第四纪
地质和成矿作用	浅海沉积形成大量的白云岩	广泛的区域变质作用改造了原岩的矿物成分和结构构造，并使原岩发生了变质和变形作用。白云石重结晶形成了白云石大理岩，粘土质等杂质和白云岩发生了重组合作用。	强烈的断裂活动和岩浆作用，并有大量的岩浆热液作用。变质期的矿物和白云石大理岩遭受了强烈的热液蚀变作用。发生软玉化作用，形成纤维状、毛毡状透闪石，形成了软玉的原生矿床。同时发生了蛇纹石化、金云母化、阳起石、滑石化。	现代地质作用。经过风化、破碎、搬运以及沉积、埋藏、演化等，最终形成软玉的砂矿床——河磨玉。
矿物组合	白云石及粘土质等杂质。	透辉石、镁橄榄石、柱晶透闪石及少量的镁铁闪石、粒硅镁石、阳起石、帘石、磷灰石、方解石、磁铁矿、石英等。	透闪石、蛇纹石、滑石以及少量的金云母、方解石、石墨、磁铁矿、黄铁矿、石英等。	褐铁矿
组构类型	碎屑 球粒 团块 微晶	花岗变晶结构 镶嵌结构 粒状变晶结构 柱状变晶结构	毛毡状结构 包含变晶结构 纤维变晶结构 花瓣变晶结构 似螃蟹状结构 各种交代结构	表生脉状和网状结构

第六章　河磨玉的研究意义

第一节　河磨玉研究的经济和理论意义

一、经济意义

古人云："黄金有价玉无价"，足可见人们对玉石的喜爱和重视。玉石的开发和利用，将会促进地区经济的发展，活跃区域市场，提高人们的生活水平。自70年代以来，世界范围内出现了宝玉石热，宝玉石的价格成倍甚至几十倍上涨，因此作为工艺品原料的玉石已成为各国非常重视的矿产资源。世界上已有不少国家依靠宝玉石的开采、加工、出口而赚取了大量的外汇，比如哥伦比亚、澳大利亚等。我国被称为"玉石之国"，玉石文化也是我国优秀的历史文化，玉石资源也曾经对我国的经济发展起过重要的作用。新疆的和田、福建的寿山、浙江的昌化、河南的南阳、辽宁的岫岩等地都以玉石的开发和加工带动了当地的经济发展。

河磨玉与新疆和田玉一样，都是透闪石质的玉石，所以它具有许多与新疆和田玉类似的特征。虽然它的产量不如岫岩玉那样大，但由于它在硬度、韧性、光泽、密度等方面具有非常优越的

特性，故它将具有良好的市场远景。目前市场上不论是原料还是成品，河磨玉的价格都几倍甚至几十倍高于岫岩玉。所以我们对河磨玉进行研究开发具有非常重要的经济意义。

目前河磨玉的产量很小，数量不多，这是一个亟待解决的问题。为了开发其市场潜力，发挥其最大经济效益，应该对已知矿床进行深入的研究，认真总结它的成矿规律，并且以此来指导我们对新矿床的探索。当然发现新矿床也是一件非常艰巨的工作，但是在找矿前景上还是十分乐观的。辽西大部分地区都具有和细玉沟类似的地质条件，大石桥组地层在该地区内广泛分布，所以在这些地区有找到软玉矿床的可能。并且原生矿床往往和砂矿床相伴产出，可以相互提供找矿信息。我们应该相信，随着找矿工作的不断开展和深入，将会有更多的软玉矿床被发现，河磨玉也将发挥越来越大的经济效益。

二、理论意义

世界上透闪石软玉矿床的产出地质背景主要有两种：一种是产于蛇纹石化的超镁铁质岩石中，如台湾的软玉矿床，世界上的大多数软玉矿床都属于这种；另一种是产于白云岩化的大理岩中，如新疆的软玉矿床，这种矿床比较少。河磨玉的原生矿床就是产于大石桥组中的白云岩化大理岩中。它不论是成因机制、矿物组合，还是产出状态都与第一种软玉矿床有明显的区别。对河磨玉的成因机制、物质演化、矿物组合、围岩蚀变、成矿阶段等问题进行研究，将有利于进一步完善软玉的成矿理论，同时也会促进对软玉矿床的探索和开发。

中国作为玉石大国，而玉石的成矿理论的研究却很差，这和玉石大国的地位很不相称，所以我们必须进一步加强对各玉石矿床的成因、演化等问题的研究，并以此来促进对玉石的开发和利用。河磨玉的成因还有很多问题有待于进一步深入。比如，它的成矿期是在元古代的变质期，还是在中生代的热液期；它的成矿物化条件是什么样的；成矿物质是怎样演化的等等。对这些问题的研究将是对软玉成矿理论的一个大大的促进。

第二节　河磨玉研究的考古学意义

玉是中华民族的瑰宝，它像一颗明珠，在中国历史文化长河中放射出灿烂的光辉。玉石文化是中华民族的文化特色之一，在世界上独树一帜，誉满天下。中国是世界上用玉最早且最著名的国家，古代将玉当作宝石之首，并将它作为人的品德、礼仪、权力的标志，因而玉是中国文化的标志。玉在中国历史上久负盛名，流传久远，为人们所喜爱，被奉为宝物，不仅因为玉的质地优良，为世人所罕见，而且它在政治、文化、道德、宗教等各方面起着特殊作用。因此，在中国人的心目中，玉有着民族传统的内涵，它是物质的概念，又是社会的、文化的综合概念。

中华民族开发和利用宝石和玉石，历史悠久，源远流长。特别是用玉爱玉，已有 7 000 年以上的历史，在世界上有“玉石之国”的声誉，独特的宝石和玉石制品，被称为“东方艺术”。1976 年，中国考古工作者在浙江余姚县河姆渡村一处文化遗址中，挖掘出世界上迄今为止最早的一批玉器，玉器相伴地层中的有机物经碳 14 测定的绝对年龄，距今约 7 000 年，是新石器早期的产物。在同一时期的还有中国北部的辽宁阜新查海遗址及沈阳新乐遗址等也出土有玉器。在新石器时代中晚期，以红山文化、崧泽文化、良渚文化为代表的各遗址中，出土有大量的玉器，并且比新石器时代早期已有较大进步，用玉也有了较明显等级差别。到了殷商时代，玉石文化又进入了一个新的高潮，现已有大量的此时期的石器出土。

中国人爱玉用玉历史如此之久，玉石文化对中华民族的历史文化曾起到了如此之大的作用，而中国古玉料的产地却一直是一个历史之谜。

明代宋应星在《天工开物》中称:"凡玉入中国者贵重者,尽出于阗(和田)。"中国殷商时代以前,特别是新石器时代玉料的来源地,是否为新疆和田,又有各种各样的议论。

1874年,外国学者斯托兹卡(F.Stoliczka)认为:中国从新石器时代直到汉代的玉料——软玉,并非来自新疆,新疆软玉是在汉武帝(139－126BC)时张骞经过西域后才传入内地的。

1938年萨尔莫尼(A.Salmony)说:软玉来自苏联西伯利亚的贝加尔湖地区。

1950年韩斯福(SH,Hansford)不同意萨尔莫尼的说法,因为贝加尔湖产的软玉有黑点,但又不能肯定来自新疆。

1981年,殷晴在《和田古今谈》中指出,和田玉或新疆软玉"在春秋战国前已传入内地,不仅有文字记载,而且近年来考古工作也发现了越来越多的文物资料可以作证。"

究竟古玉料源地何处?众说纷纭。根据前人的资料和自己近来所作的一些工作结果,本着实事求是的科学态度,本人认为:新疆和田玉在汉代以前就已传入内地,但是这并不是说所有新石器时代的软玉都来自新疆,比如红山文化、良渚文化、崧泽文化中的软玉物品,就应该是就地或就近取材,而不是来自新疆。我们应该认真研究各地软玉的特征,并找出它们的区别,从而为判断古玉料的产地提供科学的依据。

据历史记载,自从丝绸之路在公元前三世纪开通以后,新疆和内地的联系开始方便起来。就有人认为新疆和田玉传入内地应在丝绸之路开通以后,即在距今2 000年以后。这种看法也是不对的,因为在河南殷墟文化的妇好墓中出土有白玉,而且至今只在新疆有白玉产出,国内别的地方仍没有发现有白玉产出。所以我们应该认为妇好墓中的白玉来自新疆。故新疆和田玉应该在殷商之前传入内地。

殷商之前的古玉料来自哪里?我认为那时经济文化还非常落后,交通运输还很不发达,所以那时的玉料应该是就地或就近取材,比如说红山文化中的古玉料应该来自辽宁岫岩,而不是新疆。在岫岩发现的古玉坑中遗留有古代的工具、开采玉石所留下的凿坑等,这说明在很早以前岫岩软玉已经被开采利用。这为我的观点提供了有力的证据。

据报道在江苏溧阳小梅岭发现了透闪石质的软玉,这就为当地新石器时代的古玉料源地的研究开拓了道路。所以我国南部古玉料就有可能来自当地,只不过软玉矿床现在有的还没有被发现。这也为我们寻找软玉矿床提供了新的思路。

简言之,岫岩软玉的发现和研究,为我们研究古玉料的来源开拓了新的思路,在其他地区的古玉料源地的研究中,也可以借鉴这种思路。这对考古学的发展将起一定的推动作用。

结束语

本文以河磨玉为研究对象,进行了较为系统的研究工作。在工作过程中取得了一些第一手的资料和研究成果,这些资料和成果对以后的工作将有一定的参考价值和意义。但是本文的研究还是很初步的,并且其中有些地方也还不够完善。还有很多问题需要进一步地深入研究,如河磨玉的工艺分类;河磨玉的评价原则;河磨玉的综合鉴定;河磨玉的矿区地质特征的研究;河磨玉的控矿因素;河磨玉的具体成矿年代;河磨玉成矿的物理化学条件;河磨玉的形成过程中水的来源等。由于本人水平的限制以及某些原因,以上问题这一次没有进行研究,在以后的工作中我们将进一步解决这些问题。

从野外实习一直到成文的整个过程中,都得到了王时麒老师的大力帮助和精心指导,在此表

示衷心地感谢。同时也得到了本专业其他老师的帮助和指导,另外还得到了我系矿相实验室、硬度实验室、比重实验室、电子探针实验室、X 光实验室、红外光谱实验室、磨片室中各位老师提供的方便和帮助。在此向曾给我关心和帮助的每一位老师表示诚挚的谢意。在野外实习和室内工作阶段,一直得到了林颖、闫欣同学的帮助与协作,在此也表示感谢。

这篇论文结束了,但它使我在动手能力、理论联系实际的能力、分析问题判断问题的能力等方面都得到了很大的锻炼和提高。另外身边各位老师渊博的知识和高尚的人格,也给了我很大的鞭策和熏陶。这些都会给我以后的工作和学习带来很大的帮助,也将使我终生受益。

在此基础上,我将继续努力。

参考文献

1. 唐延龄,陈葆章,蒋壬华.新疆和田玉.乌鲁木齐:新疆人民出版社;台湾地球出版社,1994
2. 杨富绪主编.珠宝首饰.北京:气象出版社,1994
3. 张树业等.变质岩结构构造图册.北京:地质出版社,1985
4. 王濮,潘兆橹,翁玲宝等.系统矿物学(中).北京:地质出版社,1984
5. 陈毓川,朱裕生等.中国矿床成矿模式.北京:地质出版社,1993
6. 杨汉臣等.新疆宝石和玉石.乌鲁木齐:新疆人民出版社,1985
7. 岫岩县志(第六章).沈阳:辽宁大学出版社,1989
8. 傅英祺、杨季楷.地史学简明教程.北京:地质出版社,1985
9. 邱柱国.矿相学.北京:成都地质出版社,1982
10. 北京大学地质学系岩矿教研室.光性矿物学.北京:地质出版社,1979
11. 陶正章.台湾的软玉.矿物岩石,1992,4:21~27
12. 闻广.江苏省溧阳县透闪石岩研究,岩石矿物学杂志,1990,2:131~136
13. 金尚刚.小箕山透闪石矿床的地质特征及成因探讨.湖北地质,1991,1:64~73
14. 权正钰.透辉石、透闪石矿床成矿条件及找矿方向.湖南地质,1990,2:46~53
15. 黄国纪.宁国透闪石石棉的成矿作用与找矿远景.矿山地质,1991,4:265~271
16. 黄国纪.宁国透闪石石棉矿床的地质特征,建材地质,1994,5:6~11
17. 王春云.龙溪软玉的矿物学研究(摘要).地质地球化学,1989,3:18~22
18. 权正钰.透辉石、透闪石地质特征及应用简介.湖南地质科技情报,1987,1:20~25
19. Learing, S.F. Jade in Canada. Paper - Geological Survey of Canada, 78, 1978
20. Beck, R.J. Jade and gemstones from southenNew zealand. Lapidary J., 1979, 33:186~190

原文附一、附二、附三皆略。包括:

附一、照片

1.河磨玉的毛毡状结构　　薄片×153
2.河磨玉的放射花瓣结构　　薄片×153
3.河磨玉的帚状结构　　薄片×39
4.河磨玉的似螃蟹状结构　　薄片×153
5.磷灰石(Ap)被毛毡状透闪石交代环边结构　　薄片×153
6.初期粗粒透闪石(Tr1)被毛毡状透闪石交代呈交代港湾结构　　薄片×153
7.早期粗晶透闪石　　薄片×19

8.早期粗晶透闪石被纤维状、毛毡状透闪石交代可见其三个期次(Tr1,Tr2,Tr3)。 薄片 x 139

附二、河磨玉的红外光谱图

1.黄白玉的红外光谱图
2.带绿黄白玉的红外光谱图
3.青玉的红外光谱图
4.碧玉的红外光谱图
5.墨玉的红外光谱图

附三、透闪石、黄铁矿、石墨的 JCPDS 标准卡片

6.3 《辽宁青城子小佟家堡子金矿床地质及煌斑岩研究》点评

冼伟胜同学的毕业论文属于矿床学学科范围。作者围绕煌斑岩与金矿化关系问题,阅读了国内外相关的文献资料,认真开展了野外地质观察、典型现象素描、样品采集和室内鉴定、测试、数据处理工作。在此基础上从时空关系、岩石学和岩石地球化学角度探讨了煌斑岩在金矿化中的作用,提出煌斑岩在金迁移、富集过程中提供了部分矿源和具有地球化学障作用的认识。

论文论述的问题为煌斑岩与金矿化关系,主题突出;工作内容涉及区域与矿区地质学、矿物学、岩石学、矿床学、稀土元素地球化学等,具有一定的综合性;资料较为丰富、详实,论述条理清楚。它从一个侧面反映出矿床学本科毕业论文的特点。

题目:辽宁青城子小佟家堡子金矿床地质及煌斑岩研究

作　　者　北京大学地质学系　92级　冼伟胜
指导教师　艾永富

摘要:青城子矿田小佟家堡子大型金矿床赋存于辽河群大石桥组三段五层的条带状大理岩中,主要控矿构造为两个走向不同的背斜横跨叠加形成的缓倾斜"穹窿"状圈闭构造,矿体形态以层状为主,矿石类型主要有硅化大理岩、硅化变粒岩、硅质岩、硅化石榴石云母片岩、蚀变煌斑岩五种类型,成矿作用复杂。

矿区广泛出露的煌斑岩与金矿床在时间和空间展布上关系密切,属碱性系列的钾质云煌岩,主要矿物组合为钾长石 + 云母 + 辉石 + 斜长石;根据蚀变强弱和矿化程度,可把煌斑岩分为新鲜煌斑岩、蚀变煌斑岩、矿化煌斑岩(矿石)三种类型,稀土和微量元素分配模式显示这些煌斑岩具有同源(深源)关系。近矿蚀变类型为碳酸盐化、硅化、绢云母化、绿泥石化、硫化物化(黄铁矿化、毒砂化)。其中碳酸盐化、硅化、硫化物化与金矿化关系密切,硫化物化是矿化煌斑岩的主要特征。三种煌斑岩的酸碱度研究表明,从新鲜煌斑岩、蚀变煌斑岩到矿化煌斑岩的演化过程是一个酸淋滤过程,煌斑岩与金矿化的关系主要表现为提供部分金源,在金迁移、富集过程中起地球化学障作用。

关键词:金矿床　煌斑岩　小佟家堡子

前言

青城子位于我国东北的辽宁东部，位置见图1(略)，交通便利，风景优美，是我国重要的大型有色(贵)金属矿区之一。该矿区有着悠久的历史，早在明嘉靖年间(1522—1566年)就已被发现，清崇德—乾隆时期(1636—1795年)有大阳沟、麻泡沟等铅锌矿床被发现和开采。清末时期(同治—宣统，1862—1911年)榛子沟等铅锌矿床开始被开采，同时清朝也已有开采金银矿床(点)的记载。民国初期开采铅锌矿床的规模逐渐加大。中华人民共和国成立后，地质工作者对该区开展了系统的地质勘查和科研工作。辽宁地质勘查局、辽宁矿产地质研究所、中国地质大学、桂林矿产地质研究院、北京大学地质学系等单位先后在该区开展了详细的地质工作，取得了很大的成就，青城子矿田也从一个原有的铅锌多金属矿床拓宽为贵金属(金银)多金属矿床。本次学士论文选取了该矿区新发现但工作较弱的小佟家堡子金矿床为研究对象，较系统地研究了该矿床的地质特征。在大量查阅前人研究资料的基础上，结合该矿区煌斑岩产状、岩石、矿物、地球化学等特征，初步探讨了矿区的煌斑岩与金矿床的成因联系。

本次论文工作分为两个阶段：

(1)1996年7月10日—1996年7月25日于辽宁青城子野外工作阶段，主要进行矿床的现场踏勘、标本采集与资料收集，具体工作量及内容见表1。

表1　室外工作项目表

项　目	内　容	备　注
现场踏勘	区域地层剖面　3条	约50 000 m
坑道观察	坑道剖面观察　2条	约7 000 m
钻孔观察	盖县组及小佟家堡子金矿地层	约340m
素描	探矿构造、岩石构造及产状素描	13幅
照相	野外地质体、矿体形态、断裂构造	15幅
标本采集	采集围岩、矿石及煌斑岩样品	94个

(2)1996年10月10日—1997年5月30日室内工作阶段，主要进行标本处理、岩石和矿石的显微镜鉴定、岩石化学分析、数据处理、论文编写等工作，具体工作量及内容见表2。

表2　室内工作项目表

项　目		数量	内　容	备　注
磨片	薄片	30	小佟家堡子金矿床及煌斑岩岩相特征	北京大学地质系磨片室
	光片	15	矿石结构构造及含矿矿物特征研究	
	电子探针片	4	矿物微区成分电子探针分析	
光薄片观察与鉴定		40	岩相观察与鉴定	本人

续表

项目		数量	内容	备注
金岩分析	常量元素	22	岩石常量元素含量分析	北京大学地质系ICP分析实验室
	痕量元素	46	岩石痕量元素含量分析	
	稀土元素	46	岩石稀土元素含量分析	
	成矿元素	46	岩石成矿元素含量分析	
显微镜照相		15	显微结构及特征	系照相室
电子探针分析		10	单矿物成分电子探针分析	系探针室
资料搜集		22	为论文准备资料	本人
资料翻译		2篇	国外煌斑岩及脉岩与金矿关系研究	本人
数据及图表处理		20	为论文准备资料	本人
论文编写			学士论文	本人

第一章　小佟家堡子金矿矿床地质

小佟家堡子金矿床位于青城子县城东约7.5 km,是近年来在青城子多金属矿田东部边缘(图1-1)新发现的大型似层状金(银)多金属盲矿床,矿床均被第四纪河谷冲积物所掩盖,埋深80~240m,地表未见矿化显示,仅在小佟家堡子南石门沟见有一条含金硅质岩出露。

一、区域地质

1.赋矿地层

主要赋矿层为辽河群大石桥组三段五层的条带状、角砾状白云石大理岩(表1-1)。赋矿层以富镁碳酸盐为主,夹多层不稳定的透闪透辉变粒岩、角闪岩和硅质岩的互层条带,碳酸盐的层纹构造和同生角砾岩十分发育,CaO/MgO值为0.2~1.6;硅质岩与Au、Ag矿化关系密切,其本身或上、下盘常有Au、Ag矿分布,其中著名的"大花脸"矿化大理岩即为硅化大理岩矿石,硅质岩是裂谷收缩产生的北西向张裂构成的海相火山气液活动的产物,呈线状沿北西向断裂分布,其分布区同时也是金、银矿化最有利的地区。

2.控矿构造

该矿床控矿构造主要以喜鹊沟—榛子沟背斜东翼,并被北东向晚期平缓背斜叠加横跨形成的"穹窿"圈闭构造为主,也可以是大石桥二段上、下切层断裂或沿层形成的圈闭构造;而盖县组片岩的屏蔽作用,使活化的有用组分在有利的构造部位沉淀富集,得以保存下来。

3.岩浆岩

矿田岩浆活动强烈,主要有辽河、印支和燕山三期岩群,其中以印支和燕山期岩浆活动最为强烈。

(1)辽河期

该期出露岩体为大顶子斜长花岗岩,呈岩株状产出,面积约10平方公里,出露于矿田东侧,

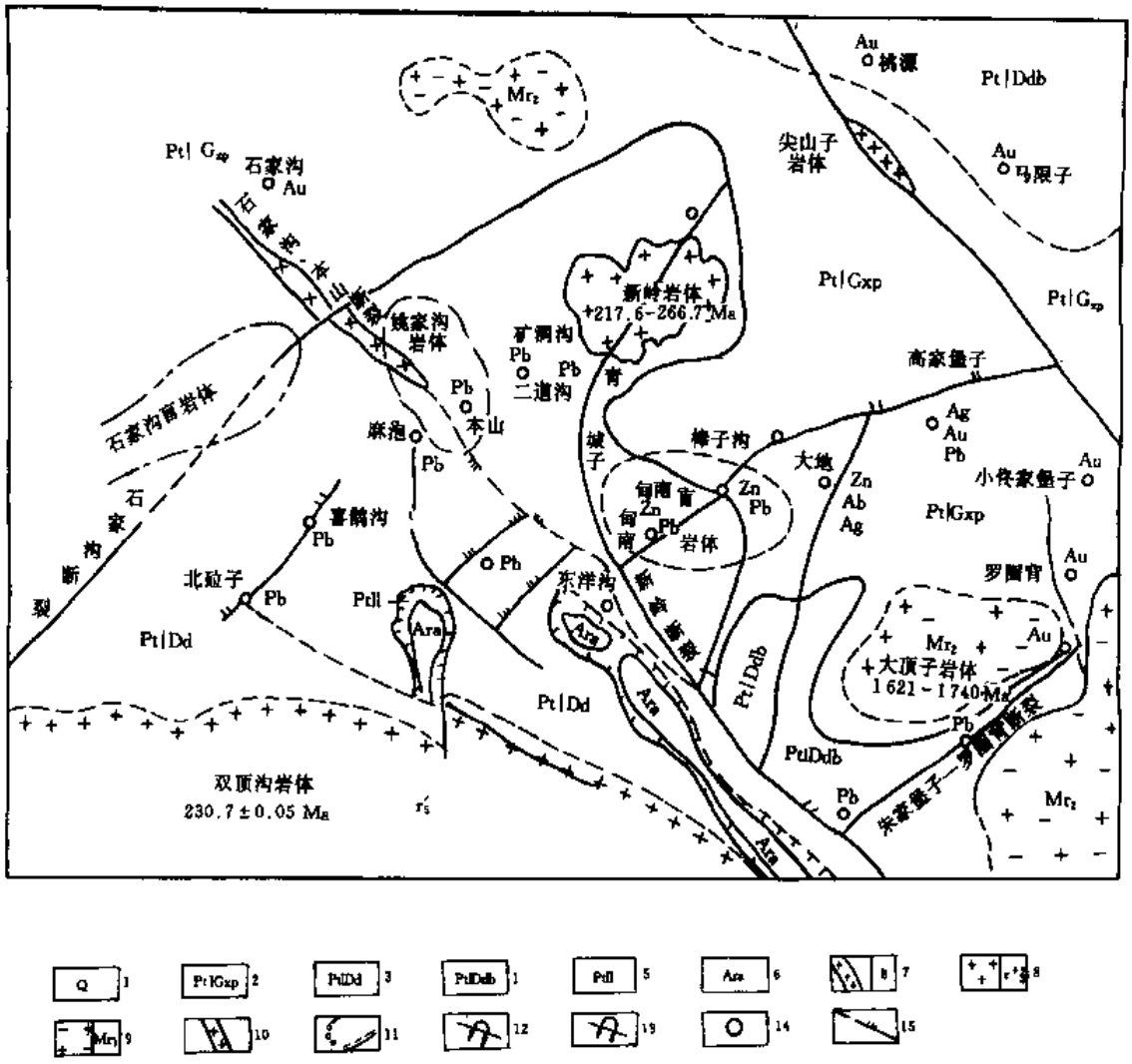

Au
桃源
Pt|Ddb
Mr₂
Pt|Gxp 石家沟
Au
尖山子岩体
Au
马限子
新岭岩体
+217.6~266.7 Ma
Pt|Gxp
Pt|Gxp
矿洞沟
Pb
二道沟
Pb
Pb
青
高家堡子
Ag
Au
Pb
小佟家堡子
Au
Pt|Gxp
Zn
Ab
Ag
Zn
Pb
岩体
罗圈背
Au
Mr₂
Au
+大顶子岩体
1 621~1 740 Ma
Pb
PtlDdb
Pb
Mr₂
双顶沟岩体
230.7±0.05 Ma
Ara
Ara
Ara
Ptll
Pt|Dd
Pt|Dd
Pt|Ddb
Pb
Pb
P

表 1-1　青城子矿田区域地层柱状图

时代	群	组	段	层	柱状图	岩性组合	变相	厚度/m	成矿元素平均含量				备注
									Au	Ag	Pb	Zn	
早元古宙	辽河群	盖县组			(略)	云母片岩、砂线石云线片岩、二云母片岩互层夹伟晶岩及薄层大理岩	绿片岩相-低解闪岩相	500	0.003	0.08	38	107.0	
		大石桥组	三段	5层		角砾状条带状白云石大理岩夹角闪岩硅质岩	绿片岩相-低解闪岩相	20-140	0.002	0.42	86	49.0	Au、Ag、Pb、Zn 赋矿层
				4层		石榴石云母片岩夹浅粒岩		20-120					
				3层		透闪石云母质大理岩夹浅粒岩层		40-180					
				2层		含砂线石、石榴石云母片岩		20~400					
				⑤		云母质条带状大理岩		80					
				④		大理岩夹变粒岩		50					
				③		上部砂线石云母片岩，下部绿帘石条痕大理岩		20					
				②		大理岩夹薄层变粒岩上部有角砾岩		60					
				①		厚层状大理岩		220					
			二段			砂线石片岩、石榴石片岩夹薄层大理岩		10~150	0.006	0.05	39	29.0	Au 赋矿层位
			一段			石墨方解石大理岩夹含碳酸盐条带(条纹)状变粒岩浅粒岩互层		60~100	0.004	0.07	57	57.0	
		浪子山组				上部为角闪片岩，下部为含碳酸盐条带(条纹)状变粒岩浅粒岩互层	绿片岩相	10~70	0.006	0.05	83	41.0	
		于家堡组				混合岩化变粒岩	铁铝榴石角闪岩相						
涂费值						页岩			0.00n	0.07	20	95	
						碳酸盐岩			0.00n	0.0n	9	20	

新岭岩体呈极不规则的似椭圆状,沿新岭背斜形成于辽河群地层中,呈岩株状,面积约2平方公里,岩相变化较大,主体相为似斑状黑云母二长花岗岩,形成年龄为217.6～+226.7Ma。

两个岩体在成矿中的作用,一是提供一部分成矿物质,二是促使围岩中的成矿物质活化转移,在圈闭构造空间充填(或交代)定位成矿,而后者对青城子矿田成矿更加重要。

(3)燕山晚期花岗斑岩和各种中基性脉岩

燕山晚期侵入的花岗斑岩较大的岩体为姚家沟岩体,呈大小不规则脉状,出露面积不足0.1km^2,而小的脉体则成群、成带的围绕新岭岩体及其周边分布,在空间分布上形成了矿液活动热封闭圈,为成矿创造了良好的环境。

岩脉主要为煌斑岩和闪长玢岩,呈脉状侵入各个地层,常与金矿相伴产出,甚至其本身就是矿体,如桃源金矿煌斑岩矿脉、小佟家堡子330中段煌斑岩矿脉,尖山子断裂中也有煌斑岩矿脉产出。因此煌斑岩往往是一个找矿的直接标志。

二、矿床基本特征

1.矿床产状与形态

小佟家堡子金矿床现查明金矿体四条,即Ⅰ、Ⅰ－1、Ⅱ、Ⅲ矿体(见附小佟家堡子金矿床104中段地质图),走向290°～310°,倾向东北,倾角30°～40°,实测4(Ⅲ)号矿体产状为倾向12°,倾角47°,延长尚未全部查清,矿体厚度1～17.9 m;矿体形态呈似层状或扁豆状,在剖面上呈平行状排列,除独立的金矿化外,金矿体一般分布于银矿体下盘,呈平行脉状出现,且金矿体主要集中在西南即赋矿地层下盘较多,这与金银络合物迁移特性差异有关。

2.矿床物质成分

小佟家堡子金矿床矿石类型主要有五种。

(1)硅化大理岩型:分布子大石桥组三段五层白云质大理岩中,一般呈条带状、网脉状、透镜体状、薄层状或同生角砾状,顺层产出,矿体与围岩界线不清晰,需要用样品界定;矿石外观一般呈灰白－灰黑色,视矿石硅化程度而定,条带(纹)状、薄层状、网脉状、同生角砾状构造(俗称"花脸"富矿体,石英多呈脉状、网脉状、团块状充填在大理岩的裂隙中);另外,矿化大理岩除硅化大理岩,还有富含炭质条带的矿化大理岩,灰黑－黑色,条带状或透镜状构造,炭质条带主要是石墨,硅质较少,俗称"黑色猫脸"富矿体。矿石矿物主要是毒砂和黄铁矿,黄铁矿多呈自形、它形粒状和立方体晶形,五角十二面体少见,粒径变化较大,为0.01～2 mm,呈浸染状、或脉状分布于矿化大理岩矿物时机粒之间,或直接分布于石英中,毒砂则多呈自形粒状,柱状晶形,粒径变化较大,为0.01～1 mm,呈星点浸染状分布。脉石矿物为方解石、白云石和石英。据测定样品矿石金含量为1.97×10^{-6}。

(2)硅化变粒岩型:主要分布在大石桥组三段五层白云质大理岩内的变粒岩夹层中,似层状或扁豆体状,矿体与围岩界线不清晰,产状多与围岩一致,矿石一般为灰白色－浅灰色,星散或浸染状块状构造,矿石矿物以黄铁矿为主,少量毒砂,黄铁矿多呈自形、它形粒状和立方体晶形,五角十二面体少见,粒径较小,为0.01～0.5 mm,呈星点浸染状分布于变粒岩矿物颗粒之间,或呈斑点状、团块状充填于构造裂隙(晶洞)里的石英中,毒砂则多呈自形粒状、柱状晶形。粒径变化较小,为0.01～0.5 mm,呈星点浸染状分布。脉石矿物主要是石英。变粒岩矿品位较高,可达6.9×10^{-6}。

(3)硅质岩型:分布在大石桥组三段五层白云质大理岩中,形态一般呈扁豆状、分枝脉状或角

砾状(硅化破碎带矿石),矿体与围岩界线清楚,产状多与围岩一致(破碎带矿石除外);矿石外观一般呈浅灰白色-白色,星散或浸染状构造,矿石矿物以黄铁矿为主,少量毒砂;黄铁矿多呈自形、它形粒状和立方体晶形,五角十二面体少见,粒径变化较大,为0.01~2 mm,矿体中可见少量草莓状黄铁矿,呈星点浸染状分布于矿物颗粒之间或直接分布于石英中,毒砂则多呈自形粒状,柱状晶形,粒径变化较大,为0.01~1 mm,呈星点浸染状分布。脉石矿物主要是石英。金品位可达3.8×10^{-6}。

(4)硅化石榴石云母片岩型:主要分布在大石桥组二段五层白云质大理岩内云母片岩夹层中,似层状或扁豆体状,矿体与围岩界线不清晰,产状多与围岩一致。矿石一般为灰白色-浅灰色,条纹状构造,因受构造应力作用,变形形成波纹状构造。矿石矿物呈浸染状、条纹状充填于构造裂隙中,矿石矿物以黄铁矿为主,少量毒砂。黄铁矿多呈自形-它形粒状和立方体晶形,五角十二面体少见,粒径较小,为0.01~1 mm,呈浸染状分布于云母片岩矿物颗粒之间或呈斑状或团块状充填于构造裂隙(晶洞)中;毒砂则多呈自形粒状,柱状晶形,粒径变化较小,为0.01~0.5 mm,呈星点浸染状分布。脉石矿物主要是石英及片岩中矿物。金品位较低。

(5)蚀变煌斑岩型:矿石品位较高,可达2.39×10^{-6},分布较集中,矿体形态较为复杂,多呈脉状、囊状和不规则透镜体;靠近硅质岩的煌斑岩含金较富,但硅质岩中金含量明显下降,矿体与围岩界线较清楚,一般切层产出;矿石外观多呈灰白色,块状和浸染状构造,常有碳酸盐化、硅化、绢云母化、绿泥石化、高岭石化等蚀变现象,较难分辨原生岩浆结构,多见有后期碳酸盐和石英细脉贯入。矿石矿物除金银矿物(多富集在斜长石、白云母、高岭石及蚀变矿物中)外,主要有黄铁矿、毒砂等。黄铁矿多呈自形、它形粒状和立方体晶形,五角十二面体少见,粒径变化较大,为0.01~2 mm,呈星点浸染状分布于蚀变煌斑岩矿物颗粒之间或直接取代蚀变矿物的位置,极少分布于后期碳酸盐和石英细脉中。毒砂则多呈自形粒状,柱状晶形,粒径变化较大,为0.01~1 mm,呈星点浸染状分布。另外,在矿区含金蚀变煌斑岩矿石(矿化煌斑岩)中见浅绿色、灰绿色斑点,直径变化较大,一般粒度在0.05~2 mm之间,其中的矿物粒径较小,肉眼难辨,且与围矿物界线不清晰,在镜下观察,主要是暗色矿物(云母、辉石)蚀变形成的微细粒、鳞片状绿泥石团块状,见照片96-8。

3.矿物成分:小佟家堡子金矿床矿石矿物特征列于表1-2。

表1-2 小佟家堡子金矿床金(银)矿石矿物特征表(引自文献1)

成矿阶段	矿石类型	矿石的矿物成分	矿石结构	矿石构造	共生组合
多金属硫化物阶段	铅镜银矿石	黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、石英;黄铜矿、毒砂、银黝铜矿、金银石、白云石、深红银矿、自然银;辉锑银矿、辉银矿、方解石等	半自形-它形晶体结构、包含结构、侵蚀结构、固溶体分离结构、溶蚀结构	块状构造、浸染构造、条带状构造、网脉状构造	黄铁矿+闪锌矿+方铅矿+银矿物
石英毒砂金阶段	金矿石	毒砂、黄铁矿、石英;白云石、方解石;闪锌矿、黄铜矿、黝铜矿、绢云母等	自形结构、半自形-它形结构	星散状构造、浸染状结构、条带状构造、同生角砾状构造、网脉状构造	毒砂+黄铁矿+石英+金矿物

续表

成矿阶段	矿石类型	矿石的矿物成分	矿石结构	矿石构造	共生组合
石英银矿物阶段	银矿石	银黝铜矿、深红银矿、自然银、石英;黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、白云石;毒砂、黄铜矿、辉铜矿、方银石	它形结构、包含结构	星散状构造、浸染状构造、条带状构造、晶洞状构造、脉状构造、角砾状构造	石英+白云石+银矿物
石英碳酸盐阶段	无矿阶段	白云母;石英;绢云母			

注:矿石的矿物成分包括主要矿物、次要矿物、微量矿物,以分号分隔。

从表1-2可以看出:矿石矿物有黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂、金(银)矿物,其中金(银)矿物主要是金银矿、银黝铜矿、深红银矿、自然银、辉锑银矿、辉银矿等;脉石矿物主要是方解石、白云石、石英。矿石主要结构有它形粒状结构、交代残余结构、乳浊状结构、碎裂结构等,主要构造为稀疏浸染状构造、晶洞状、细脉及网脉状构造等。

金的赋存状态:矿石中的金粒度都很小,属于微细粒级,在显微镜下也难以见到,据103队提供的资料表明,金矿物以银金矿为主,呈浑圆状、勾状、串珠状,主要嵌布于闪锌矿、黄铁矿、方铅矿、石英、含Fe白云石中或颗粒之间,其中以嵌布于脉石间和石英中为主,黄铁矿、闪锌矿、方铅矿中次之。粒度最大0.002~0.005 mm,最小0.0001 mm。

4.金矿石化学成分

据103队资料,矿石有用组分含量 Au:最高 29.0×10^{-6},平均 5.0×10^{-6};Ag:最高 989.4×10^{-6},一般 $40\sim101\times10^{-6}$;Pb:最高 17.8×10^{-2},一般从零点几至 1.5×10^{-2};Zn:最高 18.04×10^{-2},一般从零点几至 3.72×10^{-2}。本文选择了不同类型的矿石进行了稀土元素、微量元素及成矿元素分析,结果列于表1-3(略),作稀土分配模式图1-2。从中可以看出,各种矿石的分配模式相似,表明它们遭受相似的矿化过程。

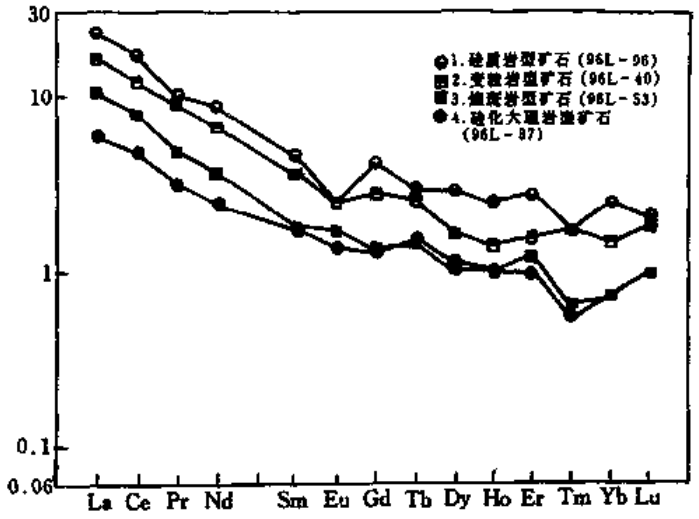


图1-2 不同类型金矿石稀土元素分配模式图

5.主要组成矿物特征

本文主要研究了小佟家堡子含金蚀变煌斑岩型矿石的主要组成矿物黄铁矿、闪锌矿、碳酸盐组成及特征,并将其与矿田中其他矿床的主要矿物对比。

(1)闪锌矿

颜色为棕褐色－黑褐色,多为它形粒状,偶见四面体晶形,粒径变化较大,为0.05～2 mm,主要分布在叠加有石英脉的煌斑岩中,与黄铁矿共生,但数量极少,其组成的电子探针分析结果列于表1－4。

表1－4 闪锌矿元素的质量分数分析表

元素	Zn	S	Fe	Au	As	Cu	Zn/S	(Fe+Zn)/S
小佟家堡子	65.0	32.3	2.4	0.04	0.2	0.2	0.985	1.03
榛子沟*	58.82	30.47	9.60	0.05	0.005	0.4	0.947	1.13
二道沟*	61.32	30.47	7.52	0.01	0.008	0.04	0.996	1.11

注:*代表数据引自文献[1],下同。

从表1－4可以看出:①各个矿床铁、硫含量较理论值都要低(闪锌矿成分理论值:Zn67.10%,S32.90%)。但位于两大断裂处的二道沟和小佟家堡子矿床锌、硫含量比榛子沟矿床的闪锌矿都高,而铁含量则都低于后者;②从二道沟－榛子沟－小佟家堡子,Zn/S比值显示出明显的高－低－高的波浪式变化趋势,而(Fe+Zn)/S比值显示出明显的低－高－低的波浪式变化趋势,结合青城子矿田矿床位置及构造图(图1－1),(Fe+Zn)/S比值高的矿床正好位于新岭断裂和尖山子断裂上,其他矿床则位于两条断裂之间的断陷地块上,因此S作为同生或后期流体成分之一沿断裂上侵形成硫化物矿床可能是Zn/S比值在空间上呈波浪式变化的原因,也暗示硫是该区成矿的重要因素;③金银含量与闪锌矿中硫的含量关系的相关性不是很明显。

(2)黄铁矿

研究矿区及相邻矿区黄铁矿组成的电子探针分析结果列于表1－5。

表1－5 黄铁矿元素含量分析表(单位:10^{-6})

矿床	南山*	大东沟*	榛子沟*	甸南沟*	二道沟*	小佟家堡[1]	小佟家堡[2]
Fe	49.26	48.06	48.28	48.89	48.71	45.80	45.90
S	50.54	51.66	50.02	50.30	50.54	53.20	52.90
Au	0.65	0.90	1.20	0.65	1.20	0.1	0.9
As	0.04	0.45	1.25	0.425	0.675	0.70	0.10
Cu	0.04	0.16	0.03	0.10	0.006	<0.10	<0.10
Fe/S	0.5596	0.5345	0.5538	0.5577	0.5533	0.4950	0.4951

从表1－5可以看出:①各个矿床硫含量较理论值都要低(黄铁矿成分理论值:Fe46.55%,S53.45%),但位于两大断裂处的大东沟和小佟家堡矿床铁含量比其他矿床的黄铁矿都低,小佟家堡子矿床的铁含量甚至低于理论值,其他矿床则都高于理论值,而硫含量则高于其他矿床;②从南山－大东沟－榛子沟－甸南沟－二道沟－小佟家堡,Fe/S比值显示出明显的高－低－高－低的波浪式变化趋势,结合青城子矿田各个矿床的位置及构造图(图1－1),Fe/S比值低的矿床正好位于新岭断裂和尖山子断裂上,其他矿床则位于两条断裂之间的断陷地块上,因此S作为同

生或后期流体成分之一沿断裂上侵形成硫化物矿床可能是 Fe/S 比值在空间上呈波浪式变化的原因，也暗示硫是该区成矿的重要因素；③金银含量与硫的含量关系具有一定的相关性，显示它们之间有成因关系。

(3)碳酸盐矿物

碳酸盐矿物在含金蚀变煌斑岩型矿石中主要为含铁白云石，可分为两种：①与成矿有关，呈团块装或星点状散布于蚀变的矿石中，无色～白色，半自形粒状，菱面体为主，颗粒大小不等，一般在 0.1～1.5 mm；②呈细脉穿切矿体或附近围岩的期后含铁白云石，呈细脉或胶结物状，无色透明或微粉色，颗粒大小不等，多呈菱面体或板状单晶，一般在 0.5～5 mm，与矿化关系不明显。

(4)石英：

小佟家堡子金矿床石英分布广泛，与成矿关系密切的石英有两期：①成矿期石英呈脉状、网脉状或团块状充填于矿石中，多为蚀变产物，呈它形粒状，颗粒大小不等，一般在 0.5～2 mm 之间，局部可见三方双锥状石英晶体；②成矿期后石英多呈灰色～灰白色，它形粒状，颗粒较细，粒径一般小于 2 mm，多呈细脉状、微细网脉状产出。两期石英在矿体内分布不均，以切层矿体中含量较多。

6.成矿温度

据资料[1]，该矿床用均一法测定的成矿温度表现有四期：①130～150 ℃；②210～230 ℃；③300 ℃；④400 ℃。其中 130～150 ℃出现的频数最大，为该矿床最佳温度，后三期温度频数极低。

7.与矿化有关的蚀变

近矿蚀变主要为硅化，其次为碳酸盐化和绢云母化。硅化与金银矿极为密切，贯穿了成矿作用始终，在四个成矿阶段均有出现尤其在多金属硫化物阶段。

8.小佟家堡子金矿床稀土含量及分配模式

为查明金矿围岩与金矿体二者的内在联系，我们分别对盖县组云母片岩、大石桥组三段五层的变粒岩及变粒岩矿石、硅化大理岩矿石四种地质体取样，其稀土分析结果列于表 1－6(表略)并作图 1－3。它们表明：①围岩与矿体分配模式基本一致；②轻稀土大于重稀土，分配曲线均表

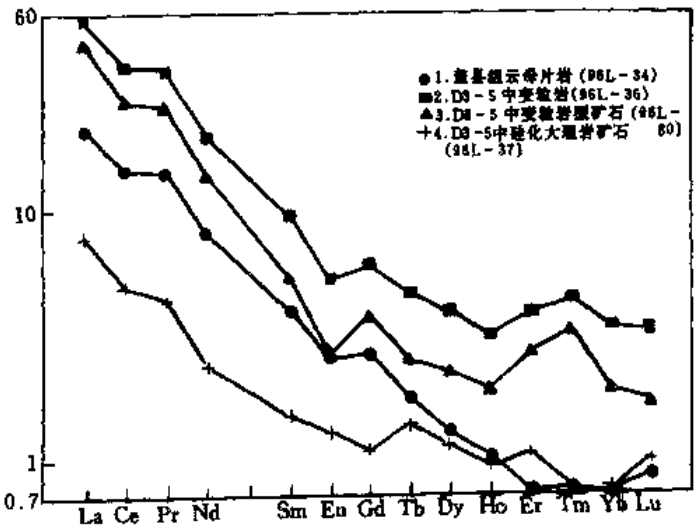


图 1－3　小佟家堡子金矿稀土元素分配模式图

现为向右倾斜的轻稀土富集型;③硅化大理岩和围岩云母片岩的 Eu 显较弱的亏损,而变粒岩及其矿石略显较强的铕负异常;④从围岩到矿石,轻、重稀土分异程度降低,这可能与岩石类型和矿化时重稀土相对富集有关。

第二章　矿区煌斑岩地质地球化学特征

煌斑岩是成分和成因比较复杂的一组中－暗色的中基性脉岩。近年来,煌斑岩与金矿床空间展布和时间上有密切关系,许多金矿床及附近围岩中均发现有大量煌斑岩脉出现,有的甚至其本身就是金矿体的现象引起了地质工作者们的注意。不少作者对此作了大量的工作,并提出了不同的观点。目前,关于煌斑岩与金矿床的关系,主要集中在二者在空间、时间和成因三个方面之间的关系的争论上,尤其是成因方面,存在的争议较大,主要有两种观点:一种是煌斑岩仅在空间上与金矿床有关系,面在时间和成因上没有联系;第二种观点则认为煌斑岩与金矿床在空间、时间和成因三个方面都有密切联系。作者在青城子矿田进行野外工作过程中发现矿区内有大量煌斑岩分布,并与金矿床有密切的空间关系,在小佟家堡子金矿、桃源金矿、新岭金矿、马限子金矿、高家堡子银(金)矿均有煌斑岩呈脉状顺层或切层与金矿体密切共生,小李家沟西侧尖山子断裂带中沿断裂侵入的煌斑岩脉(矿化)本身就是金矿体(见照片 96－1)。煌斑岩与金矿床的这种空间上的密切关系启示它们之间可能有成因上的联系。作者在查阅了大量前人关于煌斑岩与金矿床的关系研究资料的基础上,对该矿区煌斑岩进行了较系统的地质学、岩石学、矿物学和岩石地球化学特征研究,总结了该矿区煌斑岩的地质地球化学特征,初步探讨了煌斑岩与金矿床的关系。

一、矿区煌斑岩地质特征

煌斑岩在区内各个金银多金属矿床中均有出现,空间展布上两者关系密切,主要沿北西、南西向两组断裂及次级断裂呈脉状产出,以北西－南东向为主,与印支－燕山侵入岩体密切共生,区内地层、脉岩和矿体,呈平行带状成群展布。

矿区煌斑岩具有典型的煌斑结构,块状构造,少数岩脉中出现球粒结构,颗粒直径一般在 1～3 mm,大体分为长英质(以石英为主)、碳酸盐球粒两种,其边缘均有不同程度的熔蚀边,可能为侵位时所带上来的矿物。由于煌斑岩是易受蚀变的岩石,矿区煌斑岩均受到不同程度的蚀变,常见碳酸盐化、绢云母化、硅化,少见滑石化、绿泥石化,也有相当部分煌斑岩经历了矿化作用,煌斑岩型金矿体是本矿区金矿床主要矿体类型之一,其平均品位可达 $3\times10^{-6}\sim5\times10^{-6}$,其明显特征是具有黄铁矿化。

二、矿区煌斑岩岩石和矿物特征

1.岩石特征

矿区煌斑岩原生矿物组合主要是辉石＋云母＋钾长石,据国际地科联 1979 年推荐的煌斑岩分类方案,矿区煌斑岩定名为云煌岩。

矿区云煌斑岩新鲜岩石呈灰绿－灰黑色,典型煌斑岩结构,斑晶(10%～15%),以辉石、黑云母为主,基质主要为它形的钾长石(50%～55%),其次是半自形－自形的黑云母(25%),斜长石(<5%),以及少量的碳酸盐矿物(<1%),副矿物常见磁铁矿、钛铁矿、磷灰石等。

矿区广泛分布的煌斑岩遭受不同程度的蚀变,岩石主要暗色矿物(辉石和云母)全部或部分被滑石、绿泥石、绢云母以及碳酸盐和石英等次生矿物替代,其颜色从灰绿－灰黑色变为浅灰－

灰白色。根据蚀变矿物组合、蚀变大致可分为三个组合:①滑石+绿泥石+碳酸盐矿物+石英组合;②绢云母+碳酸盐矿物+高岭土+石英组合;③黄铁矿+碳酸盐矿物+石英组合;其中第③组合与成矿关系密切。可见到更晚期的碳酸盐矿物和石英呈细脉状侵入,但与成矿关系不大。

2.主要矿物特征

本次工作在光学显微镜研究基础上,对矿区煌斑岩组成矿物进行了电子探针分析。

(1)辉石

据镜下观察和电子探针分析表明,该矿区云煌岩中的辉石为单斜辉石,主要以斑晶形式出现,基质中较少;粒度为0.5~2 mm,含量为5%~10%,辉石斑晶晶体不同程度地被绿泥石、滑石、碳酸盐矿物、石英和磁铁矿等矿物取代,残余辉石斑晶的电子探针分析结果为:$(k_{0.006}Na_{0.037}Ca_{0.760}Mg_{0.001})(Mg_{0.875}Mn_{0.008}Fe_{0.117}Al_{0.144})(Al_{0.095}Ti_{0.018}Si_{1.887})O_6$。

该辉石在单斜辉石 Mg-Ca-Fe 分类命名图上(图2-1),投在顽透辉石区域,按国际矿物学会辉石小组推荐的命名方案(Morimoto,1988),上述辉石属于透辉石类,相对富镁。

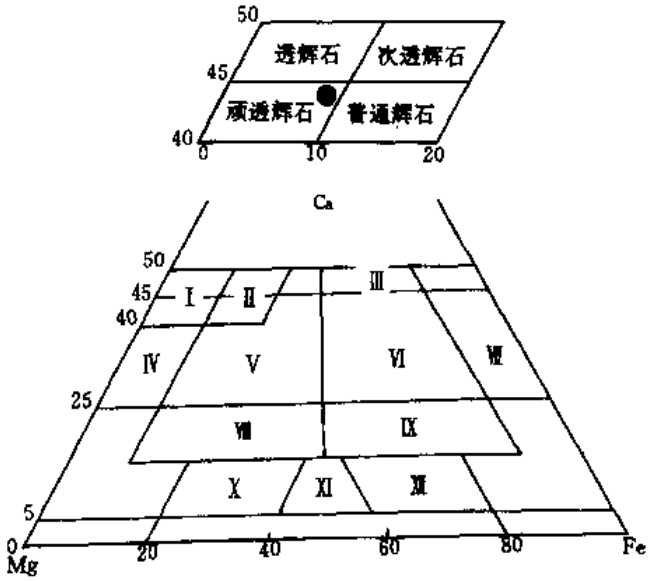


图2-1 单斜辉石 Mg-Ca-Fe 分类图(据王方正,1986)

Ⅰ透辉石 Ⅱ次透辉石 Ⅲ铁次透辉石 Ⅳ顽透辉石 Ⅴ普通辉石 Ⅵ铁普通辉石 Ⅶ钙铁辉石 Ⅷ次钙普通辉石 Ⅸ次铁钙普通辉石 Ⅹ镁易变辉石 Ⅺ过渡易变辉石 Ⅻ铁易变辉石 ●辉石斑晶

(2)云母

据镜下观察和电子探针分析表明,该矿区云煌岩中的云母主要是镁铁黑云母,含量25%~30%,有三种产出形式,即斑晶、基质及辉石边缘和解理缝中的次生云母。斑晶含量较少,半自形-自形,含量在3%~5%,大部分为基质,多为半自形,解理较发育,鳞片状,边缘普遍有蚀变,常被绢云母、绿泥石和碳酸盐取代;次生云母数量较少,形状不规则,常与磁铁矿、绢云母、碳酸盐等矿物共生。基质中的云母的电子探针分析结果为:$(K_{1.061}Na_{0.119}Ca_{0.259})(Mg_{2.679}Mn_{0.051}Fe_{1.676}Al_{1.147})(Al_{0.879}Ti_{0.574}Si_{6.279}O_{22})(OH)_2$。

其化学成分在 $Mg^{2+} - Al^{VI} + Fe^{2+} + Ti^{4+} - Fe^{3+} + Mn^{2+}$ 分类图(图 2-2)上投在富镁黑云母区。

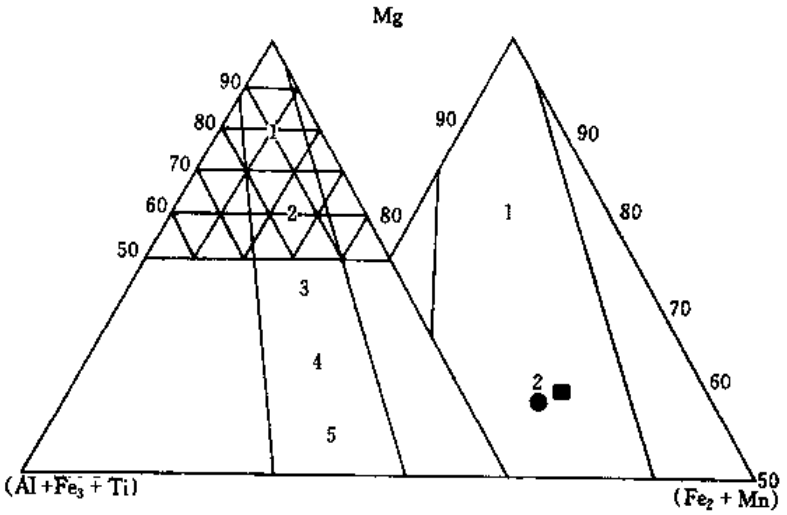


图 2-2 云母的 $Mg-(Al+Fe^3+Ti)+(Fe^2+Mn)$ 分类图(据 Foster,1960)

1.金云母 2.富镁黑云母 3.镁黑云母 4.富铁黑云母 5.铁叶云母

●新鲜煌斑岩中的黑云母 ■老王寨煌斑岩中的黑云母

(3)长石

长石是煌斑岩中主要的浅色矿物,主要呈基质状态出现,它形-半自形充填于其他暗色矿物之间,其含量分别为基质 30%~35%和斑晶 5%~10%,斑晶矿物主要为钾长石,少量斜长石。矿物普遍遭受蚀变作用,钾长石以水绢云母化为主,斜长石则多存在于基质中,主要是绢云母化和钠长石化。钾长石斑晶的电子探针分析结果为:$(K_{0.286}Na_{0.644})(Ca_{0.041}Fe_{0.010}Al_{0.993})(Al_{0.008}Si_{2.992})O_8$。

在 Or-Ab-An 分类图(图 2-3)上落在了 K-高钠长石区。

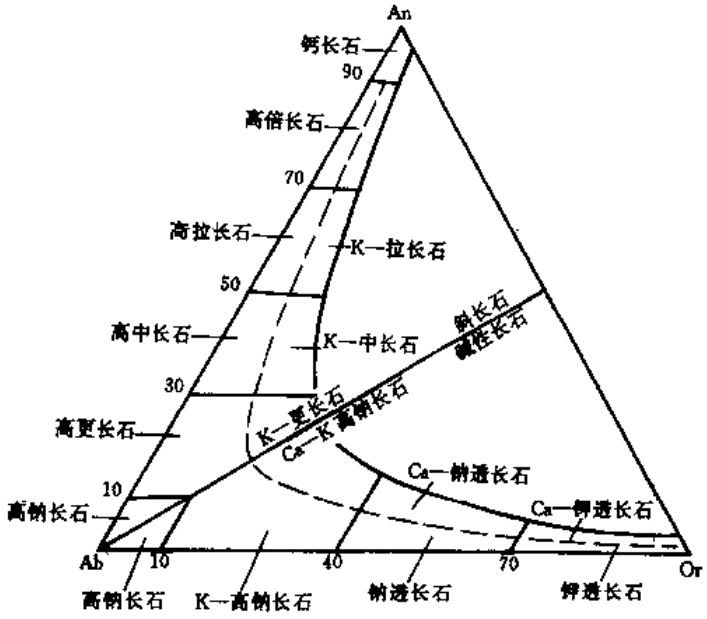


图 2-3 Or-An-Ab 分类图

(4)碳酸盐矿物

碳酸盐矿物在煌斑岩中主要产出形式和分类有四种:①原生矿物辉石和黑云母等暗色矿物的蚀变产物,以白云石-含铁白云石为主,少量为方解石;②呈细脉的形式出现,以方解石和白云石为主,少量含铁白云石;③呈基质形式产出的碳酸盐,主要为方解石、白云石;④以球粒形式出现的碳酸盐矿物。四种产状的碳酸盐的相对数量为①>②≫③=④。其中蚀变形成的碳酸盐比细脉状产出的碳酸盐对成矿更有利一些,其成分电子探针分析结果列于表2-1(略)。产在围岩和后期岩脉中的碳酸盐电子探针成分分析结果分别为:$Ca_{0.99}Mg_{0.8576}(Fe_{0.1352}Mn_{0.0082})(CO_3)_2$、$Ca_{0.9846}Mg_{0.8432}(Fe_{0.1758}Mn_{0.06})(CO_3)_2$。

可以看出,围岩中蚀变形成的碳酸盐矿物比脉状产出的碳酸盐矿物相对富Mg+Fe,但总体上差别较小。根据煌斑岩矿物组合、蚀变特征、侵位地层以及与围岩大理岩化学成分对比可知本矿区煌斑岩中广泛出现的碳酸盐主要为次生矿物,而只有少量呈基质或球粒状产出的碳酸盐有可能是原生碳酸盐(捕虏体),其含量<1%。

(5)石英

石英在煌斑岩中的产状可分为四种:①煌斑岩成岩过程捕虏的石英晶体;②暗色矿物(辉石、云母)硅化蚀变组合的产物;③呈早期细脉状产出的石英;④呈后期细脉状产出的石英。四种产状的石英以②、③较多,且与矿化关系比较密切。

三、岩石化学特征

1.样品一般特征

根据蚀变强弱和矿化与否,将煌斑岩分为新鲜(亦见弱蚀变)、蚀变、矿化煌斑岩三种:①新鲜煌斑岩:蚀变相对较弱,岩石呈新鲜的灰绿-灰黑色,具原生岩浆结构,矿物组合中除辉石被次生绿泥石、滑石、碳酸盐等矿物交代外,其他矿物蚀变较弱,尤其是黑云母具有原生光性特征,部分样品中还见少量的辉石蚀变残余,见照片96-5;②蚀变煌斑岩:蚀变相对较强,岩石呈浅灰色-灰色,有弱的变形,但能看出原生岩浆结构,矿物组合中暗色矿物大部分被次生的碳酸盐、绢云母、石英等矿物替代,钾长石也有相当部分被水云母交代;③矿化煌斑岩:岩石遭强烈蚀变,灰白色,原生结构难以辨认,原生矿物几乎都被次生的碳酸盐、绢云母、石英、水云母等矿物替代,与蚀变煌斑岩的最大差别是出现黄铁矿化、毒砂化及多期碳酸盐脉相互穿插。

2.三种煌斑岩的岩石化学特征

本文选择了矿区各类煌斑岩样品(新鲜1个、蚀变2个、矿化2个),在ICAP-9000分析仪上进行分析,其常量元素分析结果和巴尔特岩石化学计算数据列于表2-2(略)。

煌斑岩是易受蚀变的岩石之一,因而讨论岩石化学过程中一般都要对全岩分析结果进行调整,力求尽可能接近蚀变前煌斑岩化学成分。调整的前提是假定新鲜煌斑岩岩石体系是封闭的,主要氧化物成分并没有带入带出,仅由后期带入的CO_2、H_2O引起蚀变。结合矿区煌斑岩野外地质、镜下观察和化学成分特征,本文对新鲜煌斑岩样品的化学成分进行了调整,调整方法只扣除CO_2,保留原始数据中的H_2O含量,其他氧化物含量再换算成$(100-H_2O)\%$。从调整结果看矿区煌斑岩有以下的岩石化学特征:①本区煌斑岩调整后SiO_2为50.21%,K_2O+Na_2O8.79%,$Al_2O_3>Na_2O+K_2O$,$K_2O>Na_2O$,里特曼组合指数为9.71,结合$1.5Na_2O+K_2O-(SiO_2-CaO-1.5MgO)$、$Na_2O+K_2O-SiO_2$、$K_2O-SiO_2$(图2-4)分析,可知该区煌斑岩为碱性系列,属于钾质云煌岩;②煌

斑岩分异程度较差,反映在调整后它的化学成分 M 值和固结指数 SI(SI = 100 × MgO/(MgO + FeO + Fe_2O_3 + Na_2O + K_2O))相对较大,分别为 76.45 和 33.67,其中 M = (Mg^{2+}/Mg^2 + Fe^{2+}) × 100。虽然本区煌斑岩常与花岗斑岩伴生,但后者规模较大,被前者切穿,故不是后者分异的演化产物。

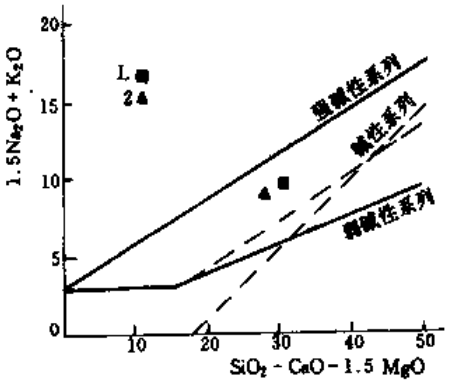


图 2-4A 煌斑岩的 $1.5Na_2O + K_2O - SiO_2 - CaO - 1.5MgO$ 图(据王希渠,1986)

1.新鲜煌斑岩

2.云南老王寨金矿云煌岩

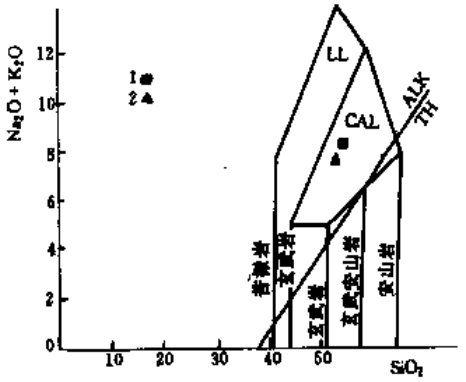


图 2-4B 煌斑岩的 $Na_2O + K_2O - SiO_2$ 图(据 IUGS,1984)

1.新鲜煌斑岩

2.云南老王寨金矿云煌岩 wt%

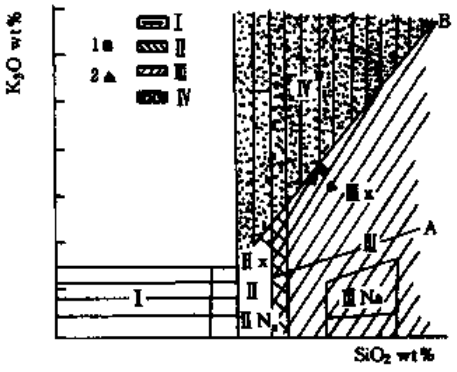


图 2-4C 煌斑岩的 $K_2O - SiO_2$ 图

(A.据王希渠,1986;B.据 IUGS,1984;C.据路凤香,1991)

Ⅰ超镁铁煌斑岩(UML) Ⅱ钾质碱性煌斑岩

Ⅲ钠质碱性煌斑岩 Ⅳ钾质钙碱性煌斑岩

Ⅴ钠质碱性煌斑岩 Ⅵ超钾过钾质及钾镁煌斑岩

A 为钠-钾煌斑岩分界 B 为钾煌斑岩上界

1.新鲜煌斑岩 2.云南老王寨金矿云煌岩

煌斑岩在蚀变和矿化过程中出现两种蚀变类型:一种以硅化蚀变为主,而碳酸盐化较弱,从新鲜→蚀变→矿化,SiO_2 增加,CaO、MgO 和 CO_2 都减少(图 2-5A),另一种以碳酸盐化为主,而硅化较弱,CaO 和 CO_2 明显的增高,SiO_2 减少(图 2-5B)。

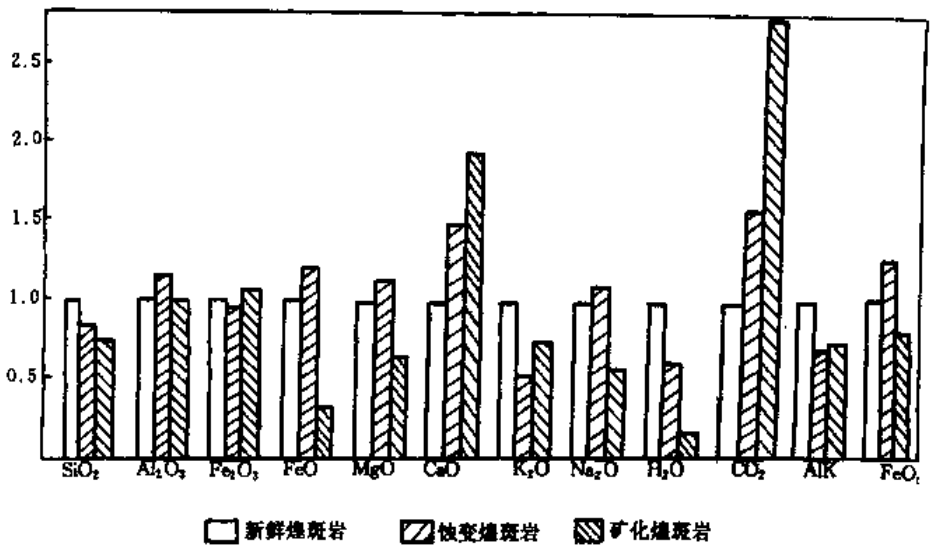


图 2－5A　矿区新鲜－蚀变－矿化煌斑岩平均化学成分对比直方图

（以新鲜煌斑岩平均化学成分为准）

SiO_2 减少(5－1－3)　$FeO_t = 0.9Fe_2O_3 + FeO$　$ALK = K_2O + Na_2O$

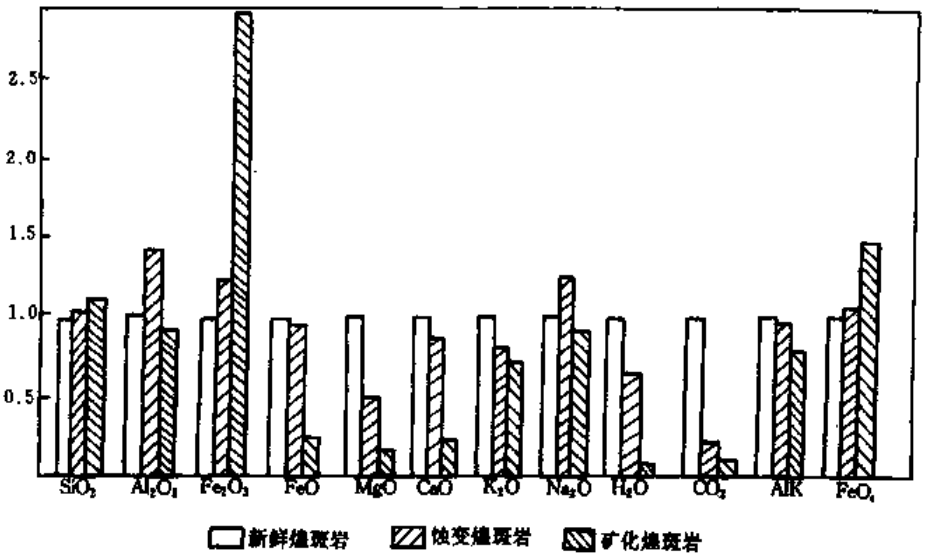


图 2－5B　矿区新鲜－蚀变－矿化煌斑岩平均化学成分对比直方图

（以新鲜煌斑岩平均化学成分为准）

SiO_2 带入(5－2－4)　$FeO_t = 0.9Fe_2O_3 + FeO$　$ALK = K_2O + Na_2O$

从图 2－5 还可以看出：①煌斑岩在蚀变、矿化过程中主要元素都或多或少地存在变化，尤其是 CaO、MgO、Fe_2O_3、FeO、K_2O、Na_2O、H_2O、S 和 CO_2 等变化明显；②ALK($K_2O + Na_2O$)从新鲜→蚀变→矿化，总体上呈下降趋势，K_2O 降低较多，表明 K_2O 的明显带出；③从新鲜→蚀变→矿化，S 增加，在薄片中表现为黄铁矿的增多。

3.三种煌斑岩酸碱度变化及其与蚀变、矿化关系

1)煌斑岩岩石的酸－碱度

煌斑岩岩石的酸－碱度是研究煌斑岩从新鲜→蚀变→矿化转变过程中非常重要的地球化学参数之一，它可以较好的反映煌斑岩成矿过程中的酸淋滤过程，并较好地解析了煌斑岩从新鲜→蚀变→矿变过程中成分的带入带出。

据殷纯嘏、艾永富教授在1985年发表的《矿物和岩石酸－碱度的新计算方法》一文认为，组成岩石的氧化物的相对羟基结合能可以表征岩石的酸度的相对大小，其计算公式为：

$$\triangle G^{\circ}r = \frac{\sum \triangle G^{\circ}m(\text{氧化物}) \times N(\text{氧化物}) + \sum \triangle G^{\circ}m \times N(\text{盐类})}{\sum N(\text{氧化物}) + \sum N(\text{盐类})}$$

式中$\triangle G^{\circ}m$(氧化物)、$\triangle G^{\circ}m$(盐类)和N(氧化物)、N(盐类)分别为岩石中含有的氧化物和盐类的相对羟基亲合能和岩石中按百分含量换算得来的氧化物和盐类的克分子数。岩石的相对羟基结合能$\triangle G^{\circ}r$值越大，表示其酸性越强，碱性越弱。

本文根据上述公式计算了新鲜→蚀变→矿化煌斑岩的酸－碱度，结果如表2－3(略)、表2－4(略)并作图2－6。

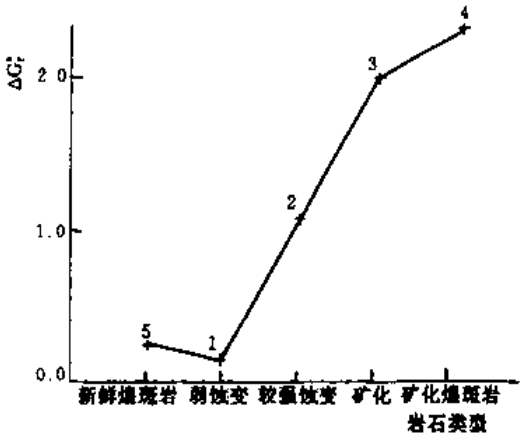


图2－6 新鲜→蚀变→矿化煌斑岩酸碱度变化图

从图2－6可以看出，从新鲜煌斑岩→蚀变煌斑岩→矿化煌斑岩煌斑岩的酸－碱度(焦耳)总体上由0.2524增加到2.4686，矿化煌斑岩的酸度范围落在中性岩范围内，而据毛德宝等认为煌斑岩为广义的一类碱性岩脉，即煌斑岩由新鲜→蚀变→矿化，总体上是一个酸增的过程，这与CO_2、S等流体成分的带入和K_2O、Na_2O、CaO等碱土金属的带出现象相吻合。

2)煌斑岩在酸淋滤过程中的蚀变与矿化

煌斑岩从新鲜→蚀变→矿化的酸淋滤过程中，酸度增加，可以从岩石蚀变特征得到较好的解析：

(a)从新鲜的煌斑岩(5)→蚀变的煌斑岩(1)，酸度由0.2524稍降到0.1668，其化学成分变化主要是SiO_2、K_2O、H_2O减少及Na_2O、CaO、MgO、CO_2的增加，其岩石主要蚀变为透辉石的滑石化、斜长石的钠长石化、绢云母化和少量的外界碳酸盐脉进入，导致酸度稍为减少。

(b)从新鲜的煌斑岩(5)→蚀变的煌斑岩(2)，酸度由0.2524增加到1.2344，其化学成分变化主要是CaO、MgO、H_2O减少和Na_2O、Al_2O_3及CO_2、S的增加，其岩石发生较强的蚀变，主要是斜长石钠长石化和绢云母化、黑云母的绿泥石化和硅化及叠加了少量的黄铁矿化。

(c)从蚀变煌斑岩(1)→矿化的煌斑岩(3)，酸度由0.1668增加到2.0273，其化学成分变化主要是Na_2O、K_2O、H_2O的减少及CaO、MgO、CO_2、S的增加，其岩石除发生更强硅化、绿泥石化、白云母化外，还叠加了较强的碳酸盐化和黄铁矿化。

(d)从蚀变煌斑岩(2)→矿化的煌斑岩(4)，酸度由1.2373增加到2.4686，其化学成分变化主要是CaO、MgO、H_2O的减少及Na_2O、S、SiO_2的增加，其岩石主要蚀变为硅化、白云母化及碳酸盐化(较弱)，并叠加了较强的黄铁矿化。

煌斑岩主要的蚀变反应方程式有：

(1)透辉石滑石化 $3CaMgSi_2O_6 + H_2O = Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2 + 2SiO_2 + 3CaO$

(2)斜长石绢云母化 $3CaAl_2Si_2O_8 + 2H_2O + K_2O = 2KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2 + 3CaO$

(3)黑云母绿泥石化 $2K(Mg,Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH)_2 + 3H_2O = (Mg,Fe)_5Al[AlSi_3O_{10}](OH)_6H_2O + K_2O + (Fe,Mg)O + 3SiO_2$

(4)黑云母白云母化 $2K(Mg,Fe,Al)_3[AlSi_3O_{10}](OH)_2 + H_2O + 2Al_2O_3 = 2KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2 + 3(Mg,Fe)O$

(5)钠长石钾长石化 $2NaAlSi_3O_8 + K_2O = 2KAlSi_3O_8 + Na_2O$

(6)钾长石白云母化 $3KAlSi_3O_8 + H_2O = KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2 + 6SiO_2 + K_2O$

(7)碳酸盐化 $(Fe,Mg)O + CaO + 2CO_2 = Ca(Fe,Mg)(CO_3)_2$(含铁白云石)

从上面的分析可以看出:

(1)与矿化有关的蚀变主要为黄铁矿化、碳酸盐化和硅化,而且碳酸盐化和硅化蚀变并不同时存在于同一种矿化类型的矿石中,但黄铁矿化是它们共同的特点,暗示 S 的带入是金矿化重要的因素。

(2)酸淋滤过程中煌斑岩原生矿物逐渐减少,次生矿物增多,这是由于在蚀变过程中,CaO、MgO、FeO、Al_2O_3、K_2O、Na_2O 先后被活化,惰性组分转为活性组分迁移,最后硫化物的形式与碳酸盐、石英等矿物一起作为补偿体系体积变化的矿物充填于残余的原生矿物的空隙中。

(3)煌斑岩从新鲜→蚀变→矿化,酸度增加,但酸度变化到什么程度时开始矿化,即判断蚀变煌斑岩与矿化煌斑岩的酸度标准是多少,是能否利用酸度这种新方法寻找煌斑岩型矿床首先需要解决的问题。根据本文的计算结果,对于该地区煌斑岩来说,酸度值 > 2.00 可能作为矿化的标志之一,但需要更进一步的工作来证实酸度与矿化煌斑岩的关系。

四、地球化学特征

为探明矿区三种煌斑岩的地球化学特征、物质来源、相互关系,本文对三种煌斑岩的过渡元素、亲石元素、稀土元素分别进行了分析。

1.过渡元素

这类元素包括 Sc、Ti、V、Mn、Fe、Co、Ni、Cu 和 Zn,因其在地幔部分熔融过程中固相与液相(熔体)间分配系数较大,也可称之为相容元素。

为研究煌斑岩的物质来源,本文对三种煌斑岩进行了过渡元素分析,其结果列于表 2-5。

表 2-5 煌斑岩过渡元素含量对比图(单位:10^{-6})

元素	地幔	地壳	新鲜	蚀变 1	蚀变 2	矿化 3	矿化 4
Sc	13.00	18.00	13.30	27.680	7.6330	1.5280	4.3060
Ti	960.0	6400	6400	7408.0	7241.0	90.360	4415.4
V	128.0	140.0	131.0	168.20	125.00	10.440	163.86
Cr	3000	110.0	408.6	360.90	78.460	12.934	562.74
Mn	–	1300	802.9	1221.0	592.40	1256.5	364.12
Fe	–	58000	–	–	–	–	–
Co	160.0	25.00	36.29	46.970	28.131	5.3129	48.355

续表

元素	地幔	地壳	新鲜	蚀变 1	蚀变 2	矿化 3	矿化 4
Ni	2000	89.00	184.0	222.4	58.385	19.258	257.53
Cu	28.00	63.00	48.23	49.410	35.675	86.004	59.654
Zn	50.00	94.00	250.7	117.10	154.78	31853	69.654

注:1.地幔值取 Jagoutz,1979 的原始地幔值　2.地壳值取黎彤,1976 的地壳平均值

从表 2-5 可以看出,新鲜煌斑岩各元素值,除 Ti、Zn 超过地幔、地壳外,其他元素均介于地幔和地壳之间,而 Sc、V 与地幔相近,暗示煌斑岩的深源来源,Cr、Ni、Co 与地壳相近,Cu 则介于两者之间,因此,推测煌斑岩来自地幔的可能性较大,Ti、Cu、Zn、Ni 等元素含量超过或接近地壳值的原因可能与煌斑岩在成岩上升过程中被地壳物质混染有关;而蚀变和矿化煌斑岩过渡元素变化特征表明,煌斑岩在碳酸盐化和硅化等蚀变及矿化过程中受到地壳物质的强烈混染。

2.亲石元素

三种煌斑岩的亲石元素的分配模式如图 2-7 所示:①三种煌斑岩的分配模式大体相似,反映了三种煌斑岩来源相同,从新鲜→蚀变→矿化是同一个演化阶段的不同产物;②矿化煌斑岩与新鲜、蚀变煌斑岩差别较大,主要是矿化煌斑岩元素总量均偏小,Ba、Nb、Ta、Th 出现负异常,Pb、U、Zn 为正异常,且异常相对较大,这可能与碳酸盐化和硅化蚀变及后期矿化过程中这些元素(及赋存它们的副矿物)被交代后流失的缘故,Pb、Zn 的增高,与后期矿化叠加有关,同时也受到地壳物质的混染;③碳酸盐化的矿化煌斑岩与硅化的矿化煌斑岩之间也稍有差别,表现在前者总量更少,异常更大(Cs、Ba、rb、Th、Nb、Ce、Tb、Y、Cr、Ni、Ta 更少,U、Pb、Zn 更大,只有 Sr 相当),其原因可

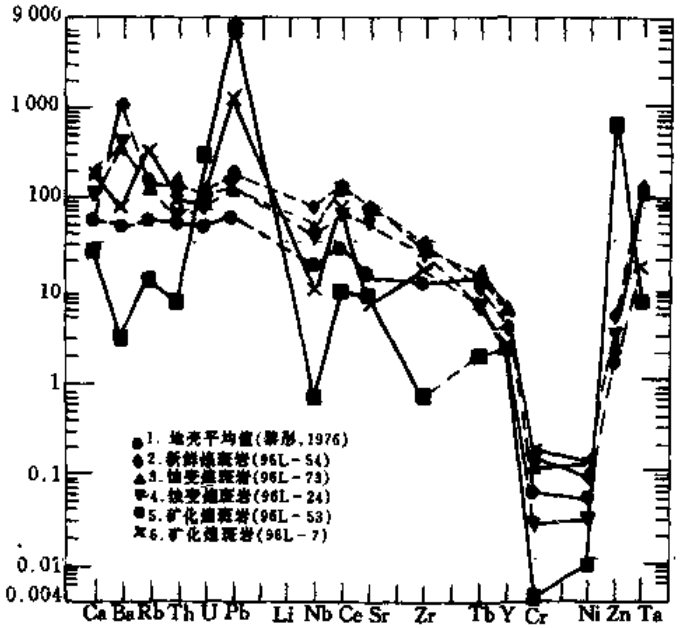


图 2-7　煌斑岩亲石元素原始地幔地球化学标准化图谱
(标准化值引自 Jagoutz,1979)

能是碳酸盐(主要是钙、镁、铁、碳酸盐矿物,其本身所含的亲石元素总量少)化蚀变、矿化过程中,主要赋存这些亲石元素的榍石、磷灰石等副矿物被强烈交代有关[21],而硅化的矿化煌斑岩变化不大(副矿物较多);另外,两者 Zr 异常不一样,前者为负异常,后者为正异常,但都低于新鲜的煌斑岩,这也与碳酸盐化在蚀变、矿化过程中,主要赋存 Zr 元素的锆石、榍石、磷灰石等副矿物被强烈交代后被带出有关,而硅化的煌斑岩 Zr 正异常与残留较多副矿物有关;④矿化煌斑岩中亲石元素普遍降低,接近于地壳模式中的相应元素值,反映出从新鲜→蚀变→矿化,地壳物质有参与蚀变和矿化作用,尤其是矿化作用。

3.稀土元素

本文按岩石化学分析的选样标准,对三种煌斑岩的稀土元素进行分析,其分析结果列入表 2-4(表略)。

其结果表明,煌斑岩稀土总量∑REE(包括 Y)在 $39.657\times10^{-6}\sim457.78\times10^{-6}$之间,其中,LREE 为 $28.750\times10^{-6}\sim428.74\times10^{-6}$,HREE 为 $9.135\times10^{-6}\sim39.238\times10^{-6}$,LREE/HREE 比值在 2.621~21.261 之间,三种煌斑岩的区别主要在于新鲜煌斑岩三项值均比蚀变和矿化煌斑岩相对要高,而蚀变与矿化则不易区分。

为研究煌斑岩与地幔、地壳的关系,本文把三种煌斑岩和黎彤(1976)报导的地壳平均值用 Jagoutz(1979)报导的原始地幔标准化,其分配模式见图 2-8。从该图可以看出:①三种煌斑岩均表现为右倾的轻稀土富集型,(La/Yb)n = 19.789 - 103.82;②轻稀土和重稀土也有较好的分馏,但也有差别,(La/Sm)n = 7.6223~8.9841,轻稀土元素分馏变化不大,较为稳定,(Gd/Yb)n = 1.1927 - 5.5312,重稀土元素从新鲜→蚀变→矿化,分馏程度减少,尤其是矿化煌斑岩,分馏程度最小,可能与矿化时地壳物质混染有关;③新鲜、蚀变煌斑岩、碳酸盐化矿化煌斑岩 δCe 均显弱的负异常;④三种煌斑岩的分配模式非常相近,说明三种煌斑岩来源相同,从新鲜→蚀变→矿化是相似的演化过程中不同阶段的产物;⑤新鲜煌斑岩与蚀变、矿化煌斑岩相比,稀土元素总量和轻

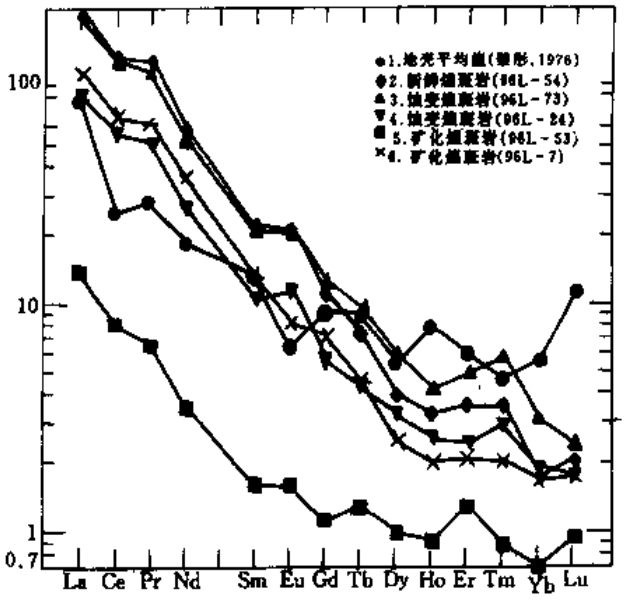


图 2-8 煌斑岩稀土元素原始地幔标准化图谱

(标准化值引自 Jagoutz,1979)

稀土含量较高，重稀土含量则相对较少，但总体上均高于后两者，可能与蚀变和矿化过程中含稀土的矿物被蚀变带出和发生稀土元素分馏有关；⑥与地壳稀土元素相比，三种煌斑岩轻稀土元素明显高于地壳（除碳酸盐矿化的煌斑岩外），分配模式均表现出斜率较大的相对富集轻稀土模式，而地壳重稀土元素相对较高，具有明显的 δEu 负异常的近似“V”字形的分配模式，煌斑岩的 δEu 均为正异常，故煌斑岩不可能来源于地壳；相反，煌斑岩从新鲜→蚀变→矿化，轻稀土减少较多，重稀土元素减少较少，尤其是碳酸盐化的蚀变和矿化煌斑岩，重稀土减少量比硅增加的蚀变和矿化要少得多，这种现象一方面可能与蚀变和矿化过程中含轻稀土的矿物被蚀变淋滤带出较多有关，另一方面也可能是同时受到地壳物质的混染的缘故；⑦碳酸盐化和硅化蚀变的矿化化煌斑岩的稀土分配模式稍有不同，主要是前者总量均偏少，δEu 显弱负异常，后者则 δEu 显弱正异常，可能与碳酸盐（其本身稀土元素含量少）化蚀变过程中赋存稀土元素的云母、榍石等副矿物被强烈交代后稀土元素被带走有关，但两者模式依然相似，因此推测两者是有相似的演化过程。

第三章　煌斑岩与金矿关系

小佟家堡子金矿为沉积变质热液再造型金银矿床，成矿物质来源于上地壳（围岩）。矿区煌斑岩与金矿床在空间和时间（因标本资料有限，本论文并没有测煌斑岩的年龄，但煌斑岩有的穿切矿体，有的与矿体平行产出，有的甚至为矿体，故推测其与成矿期相距不远）上密切共生，与国内外报道的两者关系十分相似，对两者关系是国内外学者十分关注的课题，也是该矿区亟待解决而至今尚未解决的问题。本文系统对比了新鲜、蚀变、矿化煌斑岩地质地球化学特征，初步探讨了该矿区煌斑岩与金矿关系。

1. 新鲜、蚀变、矿化煌斑岩特征对比

本区煌斑岩按蚀变强弱和矿化分为新鲜、蚀变、矿化三种类型，表 3-1 列出了三种煌斑岩在分布、产状、伴生岩类、蚀变类型、矿物组合，以及主要元素、过渡元素、亲石元素，稀土元素、成矿元素等方面的部分特征。从表中可以看出：

（1）新鲜、蚀变煌斑岩与矿化煌斑岩的分布、产状和伴生岩类略有一些差别，前两者除沿主干断裂、北西－南东走向、与花岗斑岩伴生外，在次级断裂也有分布，走向还有呈北东－南西向。

从新鲜→蚀变→矿化，煌斑岩颜色由灰绿、灰黑→灰色→浅灰白色，变形程度由较弱→强烈，蚀变类型由相对简单的滑石化、绿泥石化、碳酸盐化、硅化等变为相对复杂的滑石化、绿泥石化、碳酸岩化、硅化以及绢云母化、高岭石化、硫化物化等，矿化煌斑岩与蚀变煌斑岩的区别在于后者具有硫化物化，相应的矿物组合也由以原生矿物为主→以蚀变矿物为主→以蚀变矿物＋金矿物＋硫化物为主。

表 3-1　新鲜、蚀变、矿化煌斑岩地质地球化学特征对比

地质特征	新鲜煌斑岩	蚀变煌斑岩	矿化煌斑岩
分布	主干及次级断裂	主干及次级断裂	主干断裂
产状	北西－南东、北东－南西	北西－南东、北东－南西	北西－南东
伴生岩类	花岗斑岩	花岗斑岩	花岗斑岩
岩相特征	灰绿－灰黑色，具原生岩浆结构，变形较弱	浅灰－浅灰白色，可辨原生岩浆结构，变形较强	灰白色，难辨原生岩浆结构，遭受强烈变形

续表

地质特征	新鲜煌斑岩	蚀变煌斑岩		矿化煌斑岩	
蚀变类型	滑石化、绿泥石化、碳酸盐化、硅化、绢云母化等	滑石化、绿泥石化、碳酸盐化、硅化、绢云母化、高岭石化等		滑石化、绿泥石化、碳酸盐化、硅化、绢云母化、高岭石化、硫化物化(黄铁矿化、毒砂化)等	
特征矿物组合	云母 + 辉石 + 钾长石 + 斜长石	钾长石 + 碳酸盐 + 石英 + 绢云母 + 高岭石等		碳酸盐 + 钠长石 + 黄铁矿 + 毒砂 + 绢云母 + 石英	
样品编号	⑤	①	②	③	④
SiO_2	50.21	42.90	51.52	39.42	57.42
TiO_2	1.45	1.18	1.38	1.15	1.34
Al_2O_3	11.42	13.35	15.87	11.36	10.63
Fe_2O_2	2.53	2.41	3.09	4.38	13.52
FeO	4.38	5.30	4.08	1.50	0.85
MnO	0.11	0.14	0.10	0.17	0.05
MgO	2.97	8.97	3.93	5.19	1.01
CaO	6.69	9.98	5.79	13.12	1.55
K_2O	6.11	3.26	5.13	4.70	4.70
Na_2O	2.68	2.96	3.38	1.58	2.33
P_2O_2	0.93	0.86	0.93	1.76	0.81
H_2O	5.55	3.32	3.27	0.74	0.40
CO_2	–	4.25	1.01	9.84	0.18
S^{2-}	–	1.03	0.52	5.09	5.32
	0.578	0.455	0.755	2.92	16.25
Fe_2O_3/FeO	0.439	0.908	0.659	0.336	0.496
Na_2O/K_2O	408.46	360.84	38.406	12.934	562.74
Dr	36.295	46.969	18.131	5.3129	48.355
Co	184.00	222.36	58.385	19.258	257.53
Ni	1457.4	1480.7	954.74	153.23	123.99
Sr	5682.0	2035.4	2177.6	16.056	421.19
Ba	1.8525	1.6073	1.4872	0.1002	0.2332
Ta	47.700	293489	22.410	0.3982	5.8784
Nb	457.78	456.11	203.34	39.659	257.67
∑REE	428.74	416.87	194.21	28.705	239.30

续表

地质特征	新鲜煌斑岩	蚀变煌斑岩		矿化煌斑岩	
样品编号	⑤	①	②	③	④
LREE	29.023	39.238	9.1350	10.952	18.373
HREE	14.768	10.626	21.261	2.6210	13.025
LREE/HREE	1..3529	1.2667	1.4802	1.1801	0.8509
△Eu	0.281	0.8189	0.8595	0.8508	0.8139
△Ce	103.82	61.756	43.149	19.789	62.153
(La/Yb)n	7.9707	8.9841	7.7131	8.7247	7.6223
(La/Sm)n	5.5312	5.1888	3.3149	1.1927	4.2284
Te	2.2466	0.5794	0.7953	6.7740	1.6180
Sb	0.8656	0.6030	0.5412	4.2850	5.7020
Au	0.0400	0.0600	0.0620	1.32	2.3900

注:主要元素单位为 wt%,微量元素、成矿元素单位为 10^{-6}

(2)主要元素:从新鲜→蚀变→矿化,矿区煌斑岩表现出两种类型的蚀变和矿化,故其主要元素的变化特征也稍有不同,一种表现为 SiO_2 减少,CO_2 增高(碳酸盐化类型),如表 3-1 中岩石类型⑤→①→③,主要成分变化时 SiO_2、Na_2O、H_2O 逐渐减少,CaO、CO_2 逐渐增加,而 Al_2O_3、MgO、MnO、FeO 由增加到减少,Fe_2O_3 则由减少到增加;另一种表现为 SiO_2 增高,CO_2 减少(硅化类型),如表 3-1 中岩石类型⑤→②→④,其主要成分变化是 CaO、MgO、MnO、FeO、K_2O、H_2O 逐渐减少,SiO_2、Fe_2O_3 逐渐增加,而 Al_2O_3 由增加到减少,而两种类型的矿化煌斑岩有共同的硫化物化(黄铁矿、毒砂化)特点。

值得一提的是三种煌斑岩的 Fe_2O_3/FeO 值从 0.26~0.20~1.32 和 0.26~0.34~7.32 变化,表明本区煌斑岩蚀变作用为相对还原环境,矿化煌斑岩为相对氧化环境,而三种煌斑岩金含量,矿化时共同的硫化物特点以及同野外采于同一主干断裂(尖山子断裂)中的样品特征(96L-53 矿化,96L-54 产于它的次级断裂中,弱蚀变,相对新鲜)说明新鲜、蚀变、矿化三种类型的煌斑岩是相似演化过程中的不同产物。

结合表 2-2 中阳离子数对比结果,还可看出,从煌斑岩新鲜→蚀变,在碳酸盐化过程中,带入元素有 CaO、CO_2,带出元素有 SiO_2、FeO、MgO 和 Na_2O、K_2O、H_2O,在硅化过程中,带入的元素有 SiO_2、Fe_2O_3,带出的元素有 CaO、MgO、FeO、Na_2O、K_2O、H_2O;从蚀变→矿化,在碳酸盐化过程中,带入元素有 K_2O、CaO、CO_2,带出元素有 SiO_2、Al_2O_3、FeO、MgO、Na_2O、P_2O_3、H_2O,在硅化矿化过程中,带入的元素有 SiO_2、Fe_2O_3,带出的元素有 CaO、MgO、FeO 及 Na_2O、K_2O、H_2O。从这一点看,从新鲜→蚀变→矿化煌斑岩,带入带出的元素不尽相同,可能与煌斑岩蚀变、矿化过程中氧逸度和酸淋滤程度不同有关;同时还可以看出,矿化过程中伴随着大部分主要矿物的带出和 S 的带入。

(3)过渡元素:新鲜煌斑岩 Cr、Co、Ni 的含量范围与蚀变、矿化煌斑岩重叠,后者平均值相对较低,矿化更低,但蚀变煌斑岩除 Cr 含量都降低外,Co、Ni 都出现碳酸盐化蚀变的升高,硅化蚀变的减少的现象,而矿化煌斑岩恰好都相反,这可能与煌斑岩蚀变过程为相对还原环境不利于 Cr、

Co、Ni 等的络合物迁移和矿化过程为相对氧化环境有利于这些元素的络合物迁移有关[3]。

(4)亲石元素:三种煌斑岩亲石元素 Sr、Ba、Ta、Nb 含量变化明显,从表 3-1 可以看出,新鲜-蚀变-矿化,Sr、Ba 大幅度降低,这与赋存它们的矿物(云母、钾长石等)在蚀变、矿化过程中逐渐减少有关,Nb、Ta 亦表现为降低过程,但两者增减不同步,即两种元素发生分离,可能与煌斑岩蚀变和矿化过程中 CO_2 等挥发份参与有关(王玉荣等,1992)。

(5)稀土元素:蚀变、矿化煌斑岩稀土含量和有关参数变化较大,与新鲜煌斑岩相比,REE、LREE、HREE 值均减少,表示本区煌斑岩稀土元素主要存在于云母、磷灰石中,在蚀变、矿化过程中云母被绢云母等矿物替代,而磷灰石变化较少;LREE/HREE、Eu|(La/Yb)n 均有较大幅度减少,可能与碳酸盐化、高岭石化、绢云母化等多种蚀变有关。

(6)成矿元素:从新鲜→蚀变→矿化,Au、Te、Sb 等元素含量明显增加,表明矿化过程中 Au、Te、Sb 主要为热液带入。

2.煌斑岩与金矿的关系

煌斑岩,尤其是钙碱性煌斑岩与金矿时空上密切共生,这在国外许多大型-超大型金矿都有例证,如加拿大苏必利尔、不列颠加里东造山带大量金矿床(点)产出地均是煌斑岩密集区,我国胶东半岛、太行山北段、冀北地区、云南老王寨、辽东地区等地的金矿床也多产于煌斑岩密集区,离开这些地区金矿床(点)很少或没有,金矿脉产于煌斑岩内部、边部、尖灭处或与煌斑岩交叉的破碎带中;而从时间上看,煌斑岩的产出时代较广,从前寒武纪-第四纪都有,而以燕山中-晚期,印支晚期,海西中-晚期的煌斑岩与金矿床关系最密切,且从全球及地史情况看,煌斑岩的活动具有周期性和脉动性,恰好与全球金矿化的周期性基本一致,矿区金矿床与煌斑岩脉产出时间主要集中在印支-燕山(中生代)。金矿化与矿区煌斑岩形成时间关系主要有三种:①煌斑岩形成于金矿化后并切穿金矿体,起到破坏金矿体的作用,或起矿化叠加作用;②碱性煌斑岩与金矿化"同时"形成,它在从地幔向地表运移过程中,混染了部分地壳物质,并在有利位置成矿;③金矿化形成于煌斑岩后,后期构造活动或变质作用使煌斑岩中的金活化,并在有利位置沉淀成矿,后两者比较主要。

与金矿床有时空上密切联系的煌斑岩在金矿化过程中的作用,即金矿与煌斑岩成因关系,认识分歧较大,主要有两种观点:

1)提供金源

"煌斑岩原生金富集,是地球上含金最高的火成岩,可提供金矿化的'金源'",这是 rock et al.(1988)建立的"中温热液金矿成因"模式的重要基础之一,季海章也认为胶东金矿煌斑岩在金矿化过程中起"提供部分金源"的作用,笔者认为矿区煌斑岩提供大量金源的可能性不大,但可提供部分金源,原因是:

(1)本次工作获得矿区新鲜煌斑岩样品的金含量为 40×10^{-9},蚀变煌斑岩金含量也仅在 60×10^{-9},而矿化煌斑岩高达 $1\ 320\times10^{-9}\sim2\ 390\times10^{-9}$,可见煌斑岩金含量高与蚀变和(或)后期矿化有关;因此,本区煌斑岩可能不会提供大量的金源。

(2)矿区几种主要矿化类型矿石的稀土分配模式相似(图 1-2),说明后期金矿化是它们的共同特征,进一步证实了金来源的非单一性。

那么,矿区金矿中的金从何而来,综合前人资料,本文认为本区金的来源可能是:

①区域变质地层:从表 1-1 可看到,区域变质岩石的金背景值(涂费值)明显低于地壳的平

均丰度(0.0035×10^{-6}),而主要赋矿地层的金含量明显增高,因此地层中金的低背景值为金元素有大量带出的结果。矿石铅同位素组成:$Pb^{206}/Pb^{204} = 17.35 \sim 18.37$, $Pb^{207}/Pb^{204} = 15.17 \sim 15.90$, $Pb^{208}/Pb^{204} = 37.24 \sim 38.94$,多数投在 $Pb^{207}/Pb^{208} \sim Pb^{206}/Pb^{204}$图解上地壳演化区域,表明其来源多数来自壳源。

②深部地幔:虽然本区煌斑岩在矿化过程中不会提供大量的金,也不排除提供少量金的可能性,联系到矿化过程中部分 H_2O、CO_2、S 等可能来自深部地幔,结合铅同位素、硫同位素、氢氧同位素特征均表现有深部物质的参与[1],表明该区金矿可能部分来自地幔。

2)地球化学障

地球化学障是指成矿流体在运移过程中遇到性质不同的岩层溶液或断裂、岩脉等时,由于物理化学条件如 P、T、PH、氧逸度等发生变化,使得流体中原来稳定的含矿化合物、络合离子发生分解,在有利的控矿部位沉淀下来形成矿体,这些岩层、岩脉或断裂构造在地球化学中称为"地球化学障"。本区煌斑岩对金矿化学障的作用,表现为:煌斑岩矿化过程为相对氧化环境,本身起还原剂作用,表现在矿化煌斑岩比新鲜、蚀变煌斑岩 Fe_2O_3 明显增高,FeO 明显减少,相应的 Fe_2O_3/FeO 比值大幅度增加,因此有还原金的作用,使之富集,其反应方程为:$Fe^{2+} + Au^{+} = Fe^{3+} + Au^{0}$,即起地球化学障的作用。

主要结论

1.小佟家堡子金矿床主要受北西 - 南东向断裂 - 尖山子断裂控制,其控矿构造主要是"穹隆状"构造,以层状矿体为主;主要的矿石类型有硅化大理岩型、硅化变粒岩型、硅质岩型、硅化石榴石云母片岩型、煌斑岩型五种类型;与矿化有关的蚀变主要是硅化,其次为碳酸盐化和绢云母化。

2.矿区煌斑岩地质地球化学:矿区煌斑岩为碱性系列,钾质云煌岩;煌斑岩从新鲜→蚀变→矿化是一个酸增过程;与金矿有关的蚀变主要是硫化物化(主要是黄铁矿化、毒砂化)、碳酸盐化和硅化。

3.煌斑岩与金矿床在空间展布和时间上紧密伴生,且煌斑岩本身具有明显的矿化;新鲜煌斑岩、蚀变煌斑岩、矿化煌斑岩的稀土和稀有元素的分配模式具有相似性,说明它们具有相同的来源和相似的演化过程;在矿化过程中煌斑岩主要起提供部分金源和"地球化学障"的作用。

结束语

经过一年的努力,我的学士论文终于完成了,首先我想感谢我的导师艾永富教授悉心指导,使我在四年专业学习的基础上较为系统地了解和掌握了开展实际地质工作和研究的方法,并最终顺利地完成了本科学习阶段最后的也是最重要的一门课,她严格的治学态度和崇高的人格魅力使我终生受益;也非常感谢矿床教研室的朱永峰、陈衍景、高秀丽等老师,刘国平博士、常兆山博士,矿物教研室的武新逢硕士在论文写作过程中给予的无私的帮助和指导;同时,本系碎样室李健老师、照相室薛佳老师、电子探针分析室舒桂明老师、ICP 分析室的邵宏翔老师、古丽冰老师为本论文的数据分析工作付出了辛勤的劳动;在野外工作中还得到了青城子铅锌矿床、小佟家堡金矿领导、辽宁地勘局 103 队的各位领导和工程人员的大力支持和帮助,在此一并表示感谢;另外,在野外工作过程中也得到了刘国平博士、构造教研室的刘瑞珣老师及王大明同学、翟惟民同学的热情帮助,在此亦表示衷心感谢。

限于作者水平与知识面，本次论文工作深度非常有限，难免有不足之处，希望老师和同学多多指教，并希望后来者把工作能进一步深入下去，为该地区矿产资源尤其是含金矿化煌斑岩型矿床的开发和经济发展做出更多的贡献。

参考文献

1.邓功全等.辽吉东部有色(贵)金属重点成矿区带(辽东段)金银多金属综合勘查及研究总结报告.辽宁地质勘查局,1992

2.黄智龙.云南老王寨金矿区煌斑岩地球化学及成因.博士论文,1995

3.R W Boyle.金的地球化学与金矿床.北京:地质出版社,1984

4.韦永福,吕英杰等.中国金矿床.北京:地震出版社,1994

5.殷纯嘏,艾永富.矿物和岩石酸－碱度的新的计算方法.国际交流地质学术论文集3－为27届国际地质大会撰写,1985

6.姚凤良,邹祖荣等.辽南中生代花岗岩演化及其与金矿成因关系.中国金矿主要类型区域成矿条件文集－辽南地区,北京:地质出版社,1988

7.檀国平.煌斑岩可用来找金.地质勘探信息之窗,1989

8.刘连登、姚凤良等.岩脉在热液矿床成因研究中的意义.长春地质学院院报,1984

9.季海章、赵懿英等.胶东地区煌斑岩与金矿关系初探.矿床地质,1987

10.毛德宝等.与碱性岩有关的金矿床,地质与勘探,1992,28:13～14

11.王联魁,张绍立等.华南金矿二元混合成矿模式.矿床地质,1995,14(1)

12.宋坤玉.加热对金矿石中自然金的影响.长春地质学院院报,1984

13.Rock,N.M.S and Groves.D.I..Nature,1988,Vol.332,No.6161:253～255

14.徐开礼,朱志澄.构造地质学,北京:地质出版社,1987

15.乐昌硕,岩石学.北京:地质出版社,1984

16.张晓辉.内蒙古大井银铜矿岩浆岩与成矿.硕士论文,1995

17.孙鼎,彭亚鸣.火成岩石学.北京:地质出版社,1985

18.芮宗瑶,施林道.华北陆块北缘及邻区有色金属矿床地质.地质出版社,1994

19.艾永富.辽宁兴城王家沟钼(铜)矿床的近交代岩.岩石圈地球科学,北京:北京大学出版社,1989

20.王仁民等.变质岩石学.北京:地质出版社,1988

21.王中刚等,地球化学.北京:地质出版社,1985

22.袁见齐等,矿床学.北京:地质出版社,1985

23.金素琴等.岩矿鉴定图表及成分计算方法.冶金工业部情报标准研究所,1980

24.魏菊英.同位素地球化学.北京:地质出版社,1988

The study on Xiaotongjiapuzi gold deposit and its relationship with lamprophyres in Qingchengzi area, Liaoning province

Xian Weisheng Directed by professor Ai Yongfu

(Department of Geology, Peking University; Beijing 100871)

Abstract: The Xiaotongjiapuzi large gold deposit was found in the banded marbles of the third part of Dashiqiao formation of Proterozoic Liaohe groups in Qingchengzi area, The major ore-control struture is characterized by slightly dipping quaquaversal trap struture formed by an anticline cross-superimposed by the other one with different strike, There are five types of bedded gold

ores, silicated-marble, silicated-lyptinite, silicalite, silicated-garnet-mica-schist-and mineralized-lamprophyre-ore. Silication, carbonation, sulfurization, chloritization and serivitization are major alternation types in the gold deposit, The origin of the gold deposit is still controverial but fluid compositions such as S and CO_2 are considered important.

The lamprophyres are wildly occured in the study area and spatio-temprally associated with gold ore deposits. They are potasium minette which belong to alkali series. Major mineral assemblage is diop-side + mica + plagioclase + K-feldspar + quart. They can be divided into three groups according to the degree of alternization and mineralization: fresh, alternated and mineralized lamprophyre. The patterns of REE and trace elements indicate that they are affinity. Silication, carbonation, sulfurization are associated with gold mineralization, espectially sulfurization is the major characteristic of mineralizated-lamprophyre-ores. A study on the acidity of lamprophyres shows an increasing trend from fresh lampro-phyre to mineralizated lamprophyre. Lamprophyres provided some gold and acted as a geochemical bar-rier in gold mineralization.

Key words: Xiaotongjiapuzi; gold deposit; lamprophyre

6.4 《丰宁东部古元古代造山带构造特征及其构造演化》点评

黄雄南同学的毕业论文属于构造地质学学科范围。作者紧密围绕丰宁东部古元古代造山带构造特征及其演化的命题，阅读了有关的参考文献和前人研究成果，进行了河北丰宁地区古元古代变质岩岩石学的褶皱、韧性剪切带、中小断层、线面理等野外构造现象的实际考察，在室内综合分析和整理了有关资料，探讨了区域变质条件。在上述工作的基础上探讨了大地构造环境和区域地质演化问题，提出了丰宁地区古元古代造山带演化模式。

作者能够结合论文内容收集和分析前人资料，重点开展野外科学考察和室内显微镜研究、资料分析整理工作，进行古造山带地质演化等理论问题的探讨。其主题鲜明，章节有序，条理清楚，内容涉及区域地质学、变质岩石学、构造地质学等不同领域，是一篇实际资料较为丰富、具有一定综合性的构造地质学学科毕业论文。

题目：丰宁东部古元古代造山带构造特征及其构造演化

作　　者　北京大学地质学系92级　黄雄南
指导教师　李江海

摘要：丰宁地处华北地台的北侧，内蒙地轴的南缘，原环境是岛弧和弧后盆地的环境，在前寒武纪是华北地台的活动陆缘，也是华北地台的第一代增生带。在丰宁褶皱和断层以及岩浆活动广泛发育，深大断裂区有超镁铁岩构造出露，同时有岩浆岩广泛分布。丰宁地区的韧性剪切带反映出一种深部形变的特点，向断层方向糜棱岩化的减弱与消失反映了一种韧脆性形变的过渡，而远离断层糜棱岩化也减弱则表明，韧性剪切带是应力集中和强烈构造运动的结果。区域动力热流变质作用形成了低角闪岩相为主的变质岩，同时由于伴随着岩浆作用的韧性剪切作用，在局部也出现了绿片岩相和高角闪岩相的不均匀变质。岩浆的产生是具有多期性的，除了同构造期的TTG之外，许多侵入岩的产出都受到深大断裂的控制，包括黑山咀北的闪长岩体和长阁以北的碰撞型花岗岩。构造运动也具有多期性，除了终结丰宁洋盆的五台和吕梁运动之外，海西晚期、燕山期的构造运动的叠加使得丰宁的构造现象十分丰富也异常复杂。

第一章　引言

丰宁是河北省北部的一个满族自治县，北与内蒙古自治区的多伦接壤，南与北京交界，东面是河北省的隆化和滦平，西面是赤城。

丰宁南属燕山山脉，向北是阴山山系。最高的山峰是云雾山，海拔 2 047m。

走向北北西的潮河贯穿丰宁，而其支流分布全境。

这次野外考察的重点在丰宁的东部，从窄岭的黑山咀沿公路向北，经东苇子、东梨树沟、南关、古房至长阁，以及城北的大窝铺至二道窝铺，这一线有比较完整的红旗营子表壳岩系（火山—沉积组合）和同构造期及期后的花岗岩系出露，对丰宁的地质全貌有典型的代表性，面以东还补充了胡麻（末）营子的北稻池前营子、后营和沟门四条路线，因为这几条路线上分别有超镁铁岩、杂岩体、韧性剪切带和后期花岗岩等重要的地质现象出露，对全面认识丰宁的地质特征有重要甚至关键意义。

这次考察中，我们共采集了 50 块岩石标本，拍摄了 40 张照片。信手剖面图总长度为 28 km。见图 1－1、1－2。

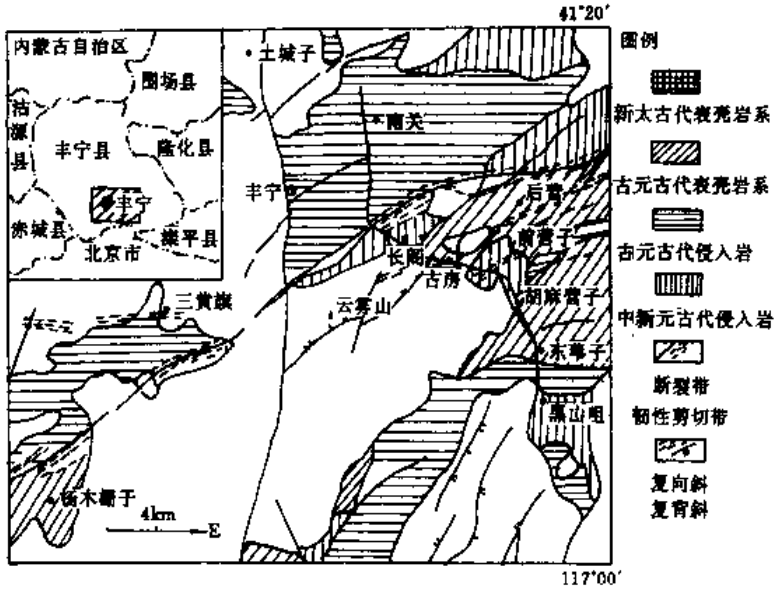


图 1－1　丰宁地质图

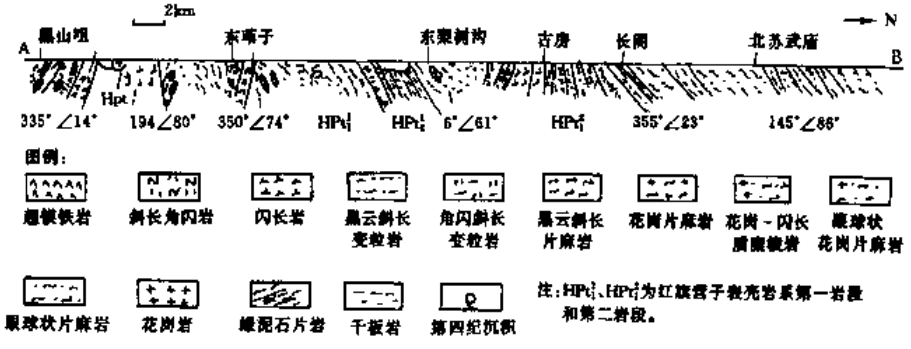


图 1－2　丰宁黑山咀（窄岭）－北苏武庙（长阁北）公路沿线剖面

第二章　区域地质特征

第一节　区域位置

丰宁处于Ⅰ级构造单元中朝准地台的北缘，北部另一个Ⅰ级构造单元为内蒙－大兴安岭褶皱系，是晚古生代(奥陶系)才封闭的古亚洲洋，而前者在寒武纪前已经形成大型陆块。从Ⅱ级构造单元看，以丰宁－隆化深断裂为界，以北是吕梁期末就开始隆升的内蒙地轴，而以南为燕山褶皱造山带。

在华北地台(或者说中朝准地台)的北缘从辽宁的清原、鞍山，冀东的曹庄、滦县、迁西，冀北的承德、滦平、密云，冀西北的赤城、崇礼到内蒙古的集宁、大青山、乌拉山地区都发育着麻粒岩带，时间在2500Ma以上，代表着晚太古宙华北北缘一次广泛的克拉通化。在这条麻粒岩带的外侧发育着以红旗营子表壳岩系为代表的古元古代活动带，代表了华北地台的第一代增生带，而丰宁正位于这条活动带上(图2－1)。

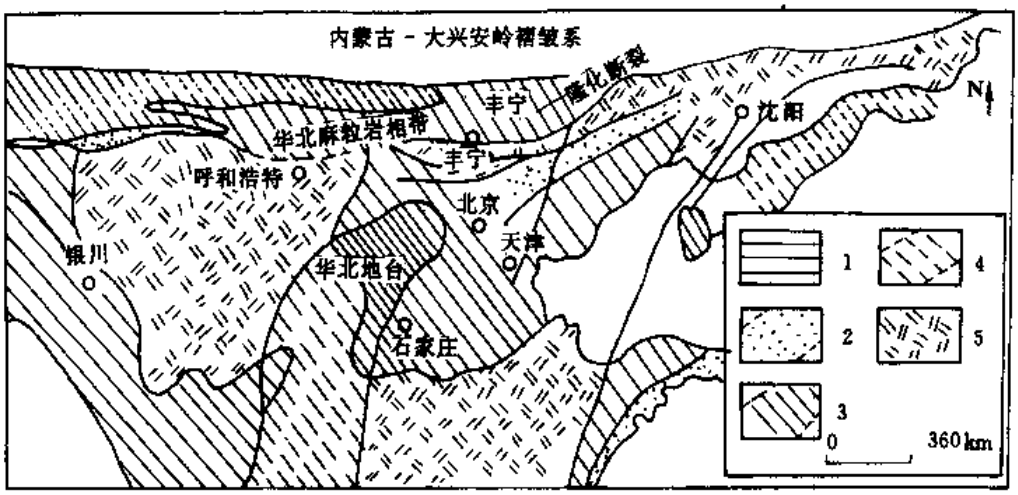


图2－1　华北陆台北部前寒武纪构造示意图[白瑾(原绘)，1993]

1.古生代沉降带　2.中－新元古代活动带　3.中－新元古代盖层沉积区

4.古元古代活动带　5.太古代克拉通

第二节　变质岩系地层

丰宁地区的结晶基底主要由两套变质的表壳岩系和侵入其间的深成岩组成。

上太古界单塔子表壳岩(DAr_3^1)：主要出露于招兵沟、姜营、邓厂及后安岭－下营(河北地矿局，1993)一带，以混合岩化角闪斜长片麻岩、斜长角闪岩、斜长角闪片麻岩、黑云角闪斜片麻岩、变粒岩为主，夹磁铁石英岩、磁铁角闪石英岩等，厚1 045－1 218m。

下元古界的红旗营子表壳岩根据岩石组合划分为两个岩段：

第一岩段(Hpt_1^1)：主要出露于后营子、茨儿营子、三道营子、喇叭沟门及石洞沟等地，以混合岩化黑云角闪斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩、斜长角闪片麻岩为主，夹黑云角闪斜长变粒岩、大理岩等，局部岩石含石墨。丰宁－隆化深断裂带以北地区该岩段中出现中厚层石英岩及少量片岩。厚约656m。

第二岩段(Hpt_1^2)：出露局限，仅后营子有分布。以黑云斜长变粒岩、黑云角闪(角闪黑云)斜

长变粒岩为主,夹斜长角闪岩及少量黑云角闪斜长片麻岩。本岩段厚约 602 m。

红旗营子表壳岩与下伏单塔子表壳岩为不整合接触。

在下元古界还有一段岩性特殊的六间房硅质岩($LSiPt_1^3$):主要出露于六间房东、三道河南、下庙子村北及五道营子乡南五道沟一带。主要为细粒硅质岩、夹变粒岩等,局部为灰白色中细粒石英岩夹含夕线石石英岩与含红柱石黑云斜长变粒岩,厚约 386 m。

根据年龄资料结合区域地质情况分析,单塔子表壳岩大约形成于 2 700 ~ 2 500Ma 之间;而红旗营子表壳岩似应形成于 2 500 ~ 2 000Ma 之间,而六间房硅质岩可能形成于 2 000 ~ 1 800Ma 之间。

第三节　变质深成岩和侵入岩

新太古宙的变质深成岩有:橄榄辉石岩、辉石角闪岩、八间房斜长角闪岩、化鱼沟闪长质片麻岩、上王营子斜长花岗质片麻岩、高家窝铺二长花岗质片麻岩、南白旗钾长花岗质片麻岩。

区内古元古代侵入岩广布于尚义 - 平泉深断裂以北地区,侵入单塔子与红旗营子表壳岩及六间房硅质岩,可分七次侵入,出露面积 701 km^2,占侵入岩总面积 31.2%,主要岩石有:变质钾长花岗岩、变斑状二长花岗岩、变质石英闪长岩、变斑状花岗闪长岩、变质闪长岩、变质辉长岩、辉石角闪石岩、辉石岩、超基性岩(未分)。

中元古代以后,丰宁地区岩浆岩多期多次侵入,岩类以花岗岩类及闪长岩类为主,另外有斑岩类、辉绿岩等,受断裂控制的脉岩广泛分布。

第四节　区域变质作用

本区发生了四期区域变质作用:

(一)单塔子表壳岩的主期区域变质作用,为高角闪岩相,时间大致为 2 500Ma;

(二)红旗营子表壳岩的主期区域变质作用,为低角闪岩相,发生时间大约为 2 000Ma;

(三)六间房硅质岩主期区域变质作用,为高绿片岩相,时间为 1 800Ma 左右;

(四)区域退变质作用,为低绿片岩相,发生时间大致为晚元古代末,600Ma 前。

伴随各期区域变质作用,有韧性剪切变形发生。

第五节　构造特征

丰宁地区中生代以前所形成的古构造形迹展布方向多为近 EW 或 NEE 向,表现为沿着这些方向发育着褶皱和断裂构造;而侏罗纪以来,构造形迹变成 NE 向或 NNE 向展布,并且断裂为主,褶皱构造不发育。

(-)褶皱构造

基底褶皱构造,发育于上太古界与下元古界变质表壳岩中,为轴迹呈 50° - 80°方向延伸的一系列紧闭线型褶皱组成的大型复式褶皱。背斜为"M"型,总体向西或西南方向倾伏;而向斜呈"W"型,总体向西或西南方向仰起。叠加褶皱发育,早期为同斜平卧,晚期为直立或斜歪倾伏褶皱,这表明本区经历了不少于两次的褶皱变形。

盖层(中上元古界)褶皱构造,总的特征是斜歪不对称。褶皱轴呈近东西向 - 北东向延伸。

(二)一般断裂构造

以 NE 或 NNE 为主,伴有 NW 或近 SN 向断裂。绝大多数涉及了侏罗纪火山沉积地层,部分继承了基底形成以来的构造变形,在中生代以来又得到加强,表现为多期活动的性质,部分为中生代以来的新生构造。

(三)断裂带与韧性剪切带

1.尚义－平泉深断裂带(脆韧性变形带)

该断裂呈近东西向经万泉寺－长哨营线横穿本区,前寒武纪以韧性剪切变形为主,伴有差异性运动;而寒武纪后则以脆性断裂活动为特征。

2.丰宁－隆化深断裂(脆韧性变形带)

该断裂是内蒙地轴南缘深断裂带的北支,从南支断裂中段的赤城城东向北东方向出发,在丰宁城南走向变为东西向,然后经过隆化、平泉的烟筒山延入辽宁。断面向南倾,倾角 70°~80°,带宽一般为 30~50m,在花岗岩区达数百米,带内可见糜棱岩、片理化和柔皱等挤压特征的构造现象,同时还有大量的镜(擦)面、破劈理带等右行扭动迹象。

该断裂在本区长约 89km,总体走向为 60°,经茨儿营子－丰宁长阁一线斜穿本区,糜梭岩的眼球指向及变粒岩中的褶皱,均指示由北向南逆冲。

3.上黄旗－乌龙沟深断裂带

总体 50°左右斜穿本区,长约 50km,北东段位于三道沟－北九道沟一带,表现为一系列 NE 向断裂组成的断裂带。断裂面倾向 SE,倾角 60°－70°。沿断裂岩石强烈破碎,发育断层角砾岩、擦面、擦痕。局部挤压线理十分发育,具有糜棱岩、断层泥及构造透镜体。南西段从于家营－桃阳一带通过。主要为沟谷呈线状分布。在本区波及的地质体主要为燕山期岩体与张家口组火山岩。

第六节　成因环境

丰宁地区古元古代活动带的成因环境大体为:大陆边缘弧或岛弧,其中东部地区的红旗营子岩层中火山物质较多,表现为活动陆缘;而西部古元古代沉积中则有断堑盆地环境的大陆沉积,表现为稳定陆缘。

第三章　丰宁东部古元古代变质岩区的地质特征分述

第一节　岩石的组合与分区

在丰宁东部出露层状岩石主要是红旗营子表壳岩系和单塔子表壳岩系,另外还有侏罗纪的火山岩及火山碎屑岩和白垩纪的陆相沉积岩系出露,第四纪的黄土和松散沉积物主要出现在河流水系的漫滩结构上。火成岩出露是很广泛的,面且跨时很大,最老的有太古代的花岗岩、闪长岩、辉长岩,新的有早白垩纪的花岗岩,燕山期还有大量花岗质岩脉产出。以下各节的分述是以所考察的路线作为中心而展开的(地质图和剖面见图 1－2 和图 1－3)。

一、岩石学特征

本地区变质的岩石主要有:黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩、黑云斜长变粒岩等。而闪长岩、花岗岩、花岗闪长岩等以岩体、岩脉的形式侵入上述层状岩石中。显然是由于侵位的时间与机制不一样,各种侵入岩的产状和变形变质程度相差很大,既有顺层侵位的也有切割层理的;既有均质的,也有糜棱岩化的;变质相也从绿片岩相至低角闪岩相之间变化

本地区的片麻岩类以黑云斜长片麻岩为主,此外还有角闪斜长片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩。矿物组合为:黑云母＋角闪石＋斜长石＋石英。黑云母和角闪石通常呈线性排列;斜长石常有聚片双晶;石英细粒化。有些片麻岩由于糜梭岩化出现眼球构造、流动结构、膝折、石英条带等韧性形变特征。

变粒岩类主要有两种:黑云斜长变粒岩、角闪斜长变粒岩,另外还有少量的黑云角闪斜长变

粒岩。矿物组合为:角闪石 + 黑云母 + 斜长石 + 石英。在角闪斜长变粒岩中石英含量很少。通常有磁铁矿等副矿物。变粒岩中浅色和暗色矿物分层排布(如图 3 - 1)是一个重要特征,暗色矿物的长轴指向基本一致。斜长石有聚片双晶、卡氏双晶或机械双晶发育。

斜长角闪岩类的矿物组合与以上两个岩类是相似的,但是以角闪石含量高、石英含量少为特点。角闪石排列没有定向,通常为棕黄色(镜下)。斜长石蚀变强烈,除有聚片双晶发育外,有些岩石有条纹长石和蠕英构造出现。副矿物有石榴子石、磁铁矿、锆石(呈圆柱状)、红柱石等。

闪长岩类主要有两种:浅色闪长岩和暗色闪长岩。暗色闪长岩的矿物组合为:角闪石 + 斜长石 + 少量石英。角闪石晶形较好,也有的岩石由于弱应变,角闪石边缘破碎与斜长石成港湾状咬合。斜长石在糜棱岩化或弱变质的岩石里以发育聚片双晶为特征,在均质岩石中蚀变强烈。浅色闪长岩中有黑云母出现,甚至占暗色矿物主体,而角闪石由于破碎、蚀变等原因趋近消失。该类岩石以蚀变程度高、斜长石发育聚片双晶(有的岩石同时出现卡氏双晶)为特点。在黑云母中可以看到角闪石残斑(见图 3 - 2),推论该类岩石经历了绿片岩相变质而角闪石蚀变为黑云母、绿泥石等。副矿物有榍石、磁铁矿。

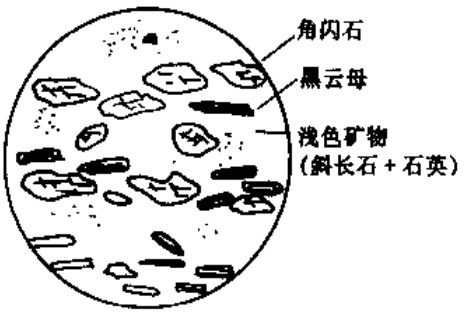


图 3 - 1　变粒岩(镜下薄片 10 × 10)

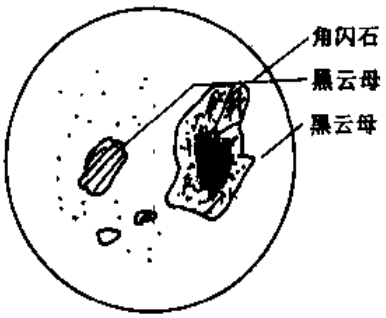


图 3 - 2　闪长岩(镜下薄片 10 × 10)

花岗质岩石以长石不同主要有两类:斜长花岗质岩石和钾长花岗质岩石。另外还有花岗闪长质岩石、英云闪长质岩石、正长斑岩、黑云二长花岗岩和混合岩。它们的产出形态、变形和变质很复杂,多种多样,既有细粒的硅质岩,也有粒径达 3 cm 的伟晶岩;既有均质的花岗岩,也有糜棱岩化、绿泥石化的花岗岩,由于种类较多,镜下特点不再逐一详述。

本地区最值得注意的岩石并不是以上五种岩类,而是零星出露、产状直立、成分各异的超镁铁质(或超基性岩)岩体。在黑山咀北,出露于斜长角闪岩之北的岩体以角闪石(90%)为主,含少量橄榄石(浅粉红色,等轴),包含在角闪石中,角闪石蚀变强烈,蚀变产物有绿泥石、阳起石等。而在北稻池的超基性透镜体上,没有橄榄石,而为等轴粒状它形的角闪石。在东菌子出露的超镁铁质岩体含有 50% 的橄榄石、20% 的辉石,而其余部分皆为蚀变产物:绿泥石、蛇纹石、磁铁矿(呈浸染状)。前营子的超镁铁岩矿物组成为:橄榄石(80%) + 辉石(15%) + 角闪石(5%),蚀变较弱,含有榍石。而在后营子出露的超基性岩体蚀变极为剧烈,除了长石,暗色的原矿物均不可辨认,蚀变为绿泥石、蛇纹石和磁铁矿。

本地区的铁矿为磁铁石英矿和角闪磁铁石英矿,围岩为角闪斜长变粒岩和黑云斜长变粒岩。

二、岩石组合

构成火山 - 沉积旋回的岩类可以分为两类组合,一类为厚层黑云斜长片麻岩 + 较薄层的斜长角闪岩,另一类为斜长片麻岩类 + 斜长角闪岩类 + 变粒岩类。后者每种岩石厚度不大,成韵律

叠置，并含有 BIF。原岩恢复(李龙等，1996)：片麻岩类主要为硬砂质或长石质碎屑泥质岩和凝灰质泥质岩或中性火山碎屑岩，斜长角闪岩类岩石在化学变异图解中，大部分属拉斑玄武岩，为基性凝灰尘岩或部分基性熔岩。变粒岩以中酸性凝灰尘岩、凝在质杂砂岩为主，其次为中酸性熔岩。显然，这两类岩石组合。前者火山成分少，较为稳定，而从分布来看，“稳定”的表壳岩组合分布在东苇子以南，而后者从东苇子北至长阁都有出露。表壳岩组合的韵律层从东苇子北至长阁并非是连续的，其中被闪长岩(浅色和暗色两种)、TTG 花岗岩系、后期花岗岩系和岩脉侵位而断断续续地出露，在长阁由子花岗质岩石的大规模侵位，表壳岩系只是在长阁北零星出露，其中的黑云角闪片麻岩中，从镜下可以观察到含有椭圆形锆石的原岩残片(图 3－3)，明显可以确定表壳岩系中火山喷出岩的组分的存在。

TTG 花岗岩系由英云闪长岩、奥长花岗岩和花岗闪长岩组成，主要分布在东梨树沟和长阁，围岩为斜长角闪岩、黑云斜长变粒岩和黑云斜长(或二长)片麻岩。花岗岩切割围岩层理。在花岗闪长－英云闪长质眼球状片麻岩里有斜长角闪岩透镜体，而斜长角闪岩内有花岗质变形条带。由于韧性剪切带的影响，TTG 花岗岩系形成糜棱岩带，由中心至两侧，眼球增大，而变形变质减弱。在镜下，这些岩石不但有石英条带(图 3－4)、核幔构造，甚至有斜长石聚片双晶纹弯曲(图 3－5)、斜长石发育亚颗粒和核幔构造(图 3－6)。在岩系北部分布的眼球片麻岩可见后期倾竖褶皱，这些褶皱与围岩中花岗质条带的褶皱是相似的。



图 3－3　黑云角的片岩(镜下薄片 10×10)

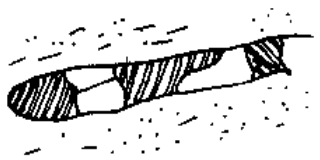


图 3－4　英云闪长糜棱岩中石英条带(镜下薄片 10×10)

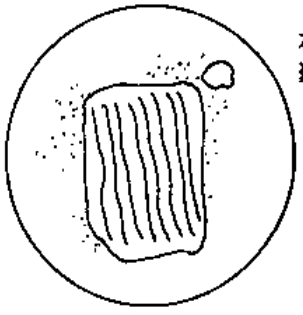


图 3－5　聚片双晶长石(镜下薄片 10×10)

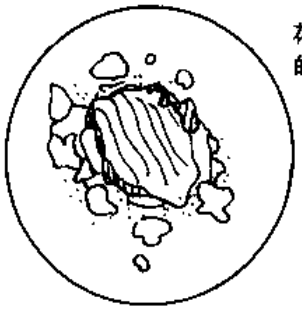


图 3－6　核幔构造(镜下薄片 10×10)

闪长岩体的分布主要在两个地区：黑山咀至东苇子之间的大型闪长岩体；东梨树沟到古房间隔出现的几个闪长岩体。另外，在后营子有闪长岩出现在杂岩体中，而在城北的二道窝铺也有小规模的闪长质片麻岩出现。闪长岩体可以按黑云母的含量的多和少分成两类：浅色的和暗色的，通过显微镜下的观察可以明显看到黑山咀北东苇子之间的闪长岩体是含有较多黑云母的，与东梨树沟浅色闪长岩的组分构成是相似的，但前者黑云母有波状消光现象，颜色浅，为黄色，而且矿物组分中有微量辉石(图 3－7)。从宏观来看，该岩体里有超镁铁透镜体，有片理化。而暗色闪长岩体主要分布在东梨树沟以北至古房一带，同时也随浅色闪长岩体出现。这类岩体除以角闪

石为主的特点外，蚀变也较弱，在宏观上表现为均质。无论浅色还是暗色岩体都是切割围岩层理，在围岩褶皱稳定之后侵位，是在拉伸环境下产出的。而浅色闪长岩体是早期的(特别是黑山咀－东苇子之间的闪长岩体，侵位过程中将早期的超镁铁质岩成包裹体带出，既说明了它本身的构造位置，也说明了它的形成时间，因为超镁铁岩是深成的，是洋壳仰冲出露的，闪长岩体形成时间显然在这个构造运动之后)，暗色闪长岩体生成时间相对稍晚。后营子的闪长岩体具有特殊性，该地的杂岩体岩石组合复杂，构造运动关系混乱，变形变质的规律性不强，应该是有别于其他地区的，但是该岩体一样体现了拉伸环境的特点。而城北二道窝铺的闪长质片麻岩矿物组成也很有特点：40%的斜长石、50%的石英、10%的黑云母、含有微量环带结构的中长石，明显有别于其他地区的闪长岩体，并且有与围岩(花岗岩)一致的片面理、眼球指向，应该看做是该地区花岗岩系组合中的一部分。



图 3－7　闪长岩

在东梨树沟至长阁之间，还有许多后期的花岗岩岩系，以花岗岩＋正长斑岩＋黑云二长花岗岩＋花岗斑岩为特点。在东梨树沟和沟门这套组合为未变质、均质的岩石，围岩为表壳岩系，在长阁这套岩石受韧性剪切带的影响，糜棱岩化，围岩为花岗片麻岩和黑云二长片麻岩。此外还有许多侵入表壳岩系的脉岩，以含有钾长石斑晶或石英斑晶为特点，均质未变形，有可能是由于后期的花岗岩系或其他类型岩石侵位造成热变质，热液运移并在围岩裂隙中形成。这种机制与出现在表壳岩中的白色长英质条带显然是不同的，后者褶皱变形，并在一些变粒岩中以无根褶皱或逆掩断层的标志层出现，明显是由于混合岩化，在高温的区域变质条件下，表壳岩的斜长石和石英在应力集中地带重结晶形成的。

在长阁以北至城北广泛出露的花岗岩，在《河北省地质志》中被划分为太古界地层，实地考察后，显然可知这套岩石组合不能作为地层。这个地区岩石组合为花岗岩＋花岗闪长岩＋闪长岩。以富含钾长石为特征，宏观上表现为陡直面理稍向北倾，具有都城秋穗(1984)所描述的深成带的花岗岩的特征：多生成平行深成岩体全体的面构造，对周围岩石的构造一般为整合关系。所以被误认为地层也是有可能的，但是这种构造现象显然是由岩浆上升拽引的结果。在城北二道窝铺所考察的岩石有越朝北，眼球越大(或者说晶粒越大)的特点，这是与韧性剪切带糜棱岩化分带特点有关的。这一套岩石组合由所处的位置及矿物组合特征(黑云母＋钾长石＋斜长石＋石英)和产出特点，可定名为碰撞型花岗岩，是与碰撞造山带伴生的。

后营子的杂岩体的岩石类型有：辉长岩，闪长岩、长英质闪长岩，闪长岩是多期的，不但粒度相差明显，而且相互切割侵位，变形变质也明显由均质至弱变质直至糜棱岩化变化，可以辨认出其原来主体为闪长岩体，被后期辉长岩、闪长岩、长英质闪长岩侵入切割，其中又经历了挤压、褶皱、剪张等构造过程。

1.黑山咀－东苇子北，按照以上岩石组合的特征分述，可以将岩石组合分成三带；黑云斜长片麻岩＋斜长角闪岩为主，沉积层较厚，侵入岩较少，主要为闪长岩体，有深变质岩、超镁铁质岩石出露。

2.东苇子北－北苏武庙的表壳岩带，表壳岩以黑云斜长片麻岩＋变粒岩类＋斜长角闪岩为主，岩层较薄而且成韵律叠置，大量深成岩侵入，包括 TTG、后期花岗岩系和闪长岩体及脉岩、北苏武庙以北的碰撞型花岗岩带。

3.地质事件序列为:

①表壳岩系沉积;②构造期前和同构造期的混合岩化及 TTG 花岗岩系形成;③闪长岩体和碰撞型花岗岩侵位;④后期花岗岩体及岩脉形成。

所考察范围的变质沉积岩应该定为红旗营子表壳岩系,从下部的斜长片麻岩到上部频繁喷发火山形成的韵律层正构成一个大的火山-沉积旋回,而从位置上来看,这与王启超(1995)胡学文(1996)等将黑山咀(窄岭)定为"红旗营子群"与"单塔子群"分界是相一致的。

第二节　构造特征

由于强烈的多期次的构造运动的作用,本地区的岩石强烈变形,出现了大量的褶皱及构造状的线、面理,并且发育包括大型的韧(韧脆)性剪切带在内的大量的各级断裂。考察这构造地质现象的特征,将它们分期并找出成因联系是恢复本地区构造演化的基础。

一、褶皱(见图 3-8,3-9)

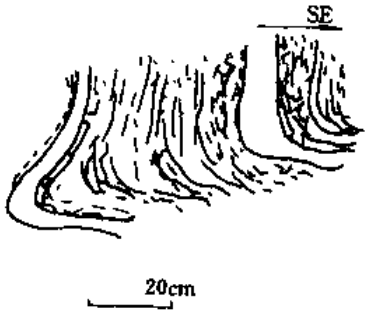


图 3-8　开阔褶皱

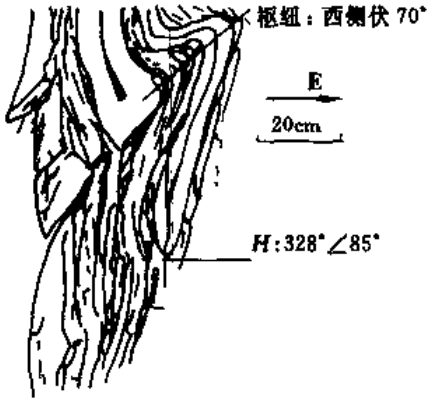


图 3-9　紧密多期褶皱

1.微型褶皱

本地区的微型褶皱大多是等密紧闭褶皱,反映一种强烈挤压的形成环境。其中测量了两个褶皱,几何要素分别为:枢纽 278°∠63°,轴迹 69°∠20°;枢纽 300°∠13°,轴迹 125°∠41°。

也有个别地方有开阔的微型褶皱产出,如在南关的斜长角闪岩中成分条带发育,可局部富 Hb 层或富 Bi 层,并形成开阔翼间角(100°)的倾向褶皱,枢纽 280°∠48°,轴迹 200°∠20°。

微型褶皱中还有指示剪切运动的不对称褶皱。如黑山咀北的黑云斜长片麻岩中,片麻理形成不对称褶皱,指示向南俯冲。

2.小型褶皱

小型褶皱多为变粒岩岩层或薄层火成岩墙形成,以轴面向南倒为特征。角闪斜长变粒岩夹白色伟晶岩脉形成褶皱,左翼产状为 155°∠75°;右翼产状为 0°∠40°,轴迹是 60°∠43°。附近黑云斜长变粒岩的产状为 320°∠20°。

3.大型褶皱

大型的褶皱是造成红旗营子表壳岩系产状变化以及一些岩体面理方向变化的主要原因(见图 1-3)。总的来说南部丰宁的大型褶皱翼间角要开阔一些,而北部的则小一些。轴面向南倾倒,表现出一种向北向南的推挤作用。

二、韧性剪切带

1.黑山咀北和东苇子南的脆韧性剪切带(图 3－10)

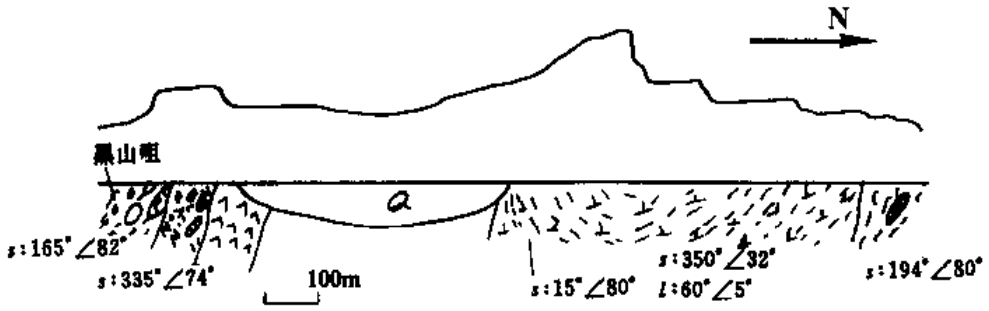


图 3－10　丰宁黑山咀以北剖面

(注:图例同图 1－2,s:面理;l:线理)

这两个剪切带的结构组成很相似,均表现为由黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩到超镁铁岩,下伏的岩石在上覆的岩层中以透镜体出现由少至多到均一岩性的边界情况,由强烈糜棱岩化的黑云斜长片麻岩到弱变形的超镁铁岩。在黑山咀北,超镁铁岩为橄榄角闪岩,向北由于第四纪覆盖物没有追踪到其边界,北部的闪长岩体中有超镁铁透镜体出现。在东苇子南的韧性剪切带中,超镁铁岩为辉石橄榄岩,明显比前者小(15 m),而向北的边界平直,在北侧的黑云斜长片麻岩中,也有零星的超镁铁质透镜体及斜长角闪岩透镜体出现。透镜体的指向均为向南俯冲。而且在黑山咀与斜长角闪岩交界的黑云斜长片麻岩中还有花岗岩脉侵入,该岩脉糜棱岩化程度很高,为细粒眼球糜棱岩,宏观上为较均匀的灰白色,几乎观察不到眼球。

黑山咀脆—韧性剪切带面理产状以东西走向、高倾角为特征(165°∠82°,165°∠89°)。其北部闪长岩体南缘面理为 15°∠80°,与该剪切带基本一致,向北,闪长岩体片麻理增强,面理变缓,线理较发育(s:350°∠32°,l:60°∠5°)。闪长岩体以北的黑云斜长片麻岩与剪切带的面理基本一致(194°∠80°)。分析:该剪切带是由于高角度逆冲(向北)造成的,代表一次强烈的南北向挤压;闪长岩体边缘面理受边界控制。

2.东梨树沟的韧性剪切带(图 3－11)

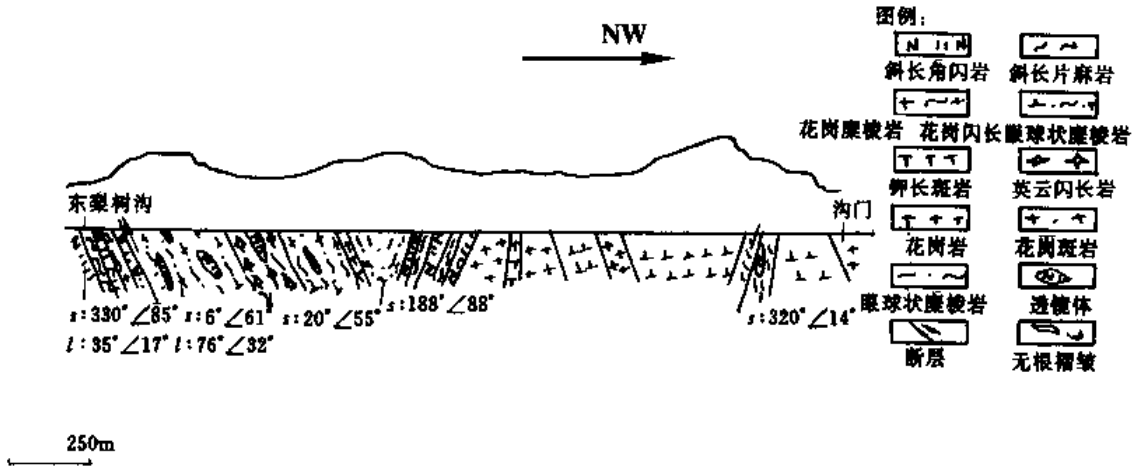


图 3－11　东梨树沟－沟门剖面

该韧性剪切带是由内长质岩石和 TTG 片麻岩组成的。分带性十分明显,两侧为弱应变眼球

片麻岩,中央为细粒糜棱岩。由南至北该剖面描述如下:糜棱岩化的花岗质岩石侵入以斜长角闪岩为主,夹黑云斜长片麻岩(或变粒岩)的围岩,与其北面的花岗闪长－英云闪长质眼球状片麻岩构成较弱应变的南带。中央强应变带为英云闪长岩,岩石细粒暗色。无根状褶皱及构造透镜体指示左旋剪切。在镜下观察,该岩石中的石英大部分细粒化,部分形成带状构造,平行剪切方向。斜长石强烈蚀变,80%蚀变成黝帘石和绢云母,有残斑遗留。没有黑云母或角闪石,暗色矿物为绿泥石和磁铁矿。磁铁矿大多具有角闪石假象,部分为云母假象或成浸染状。北带为中－粗粒眼球状糜棱岩化 TTG,眼球残斑向北增大。在镜下观察:岩石中暗色矿物组分为黑云母、水云母、绿泥石铁矿,其中水云母构成流动构造,磁铁矿具有黑云母假象。长石主要为卡氏双晶和条纹长石,蚀变较强烈。石英形成不连续条带,波状消光,有 σ 眼球结构(图 3－12),眼球为亚颗粒或重结晶的长石和石英集合体。北带的围岩是黑云斜长片麻岩和黑云斜长变粒岩及斜长角闪岩。围岩产状为东西走向,陡直倾角。



图 3－12 σ眼球构造
(镜下正交偏光 10×10)

东梨树沟韧性剪切带的面理(层理)仍以东西走向、高倾角为特征。线理为 NE 向或近东西向,倾角低缓(35°∠17°,76°∠32°)。剪切带北有许多弱变质或均质的后期岩体出露,而黑云斜长片麻岩的倾角也变缓了(320°∠44°)。又根据糜棱岩中眼球指向,分析如下:此剪切带形成在一个向南逆冲断层的上盘,该断层可能有近东西方向上的走滑分量,糜棱岩线理较为一致,表现出 NE 方向和低角度。

3.长阁韧性剪切带(图 3－13)

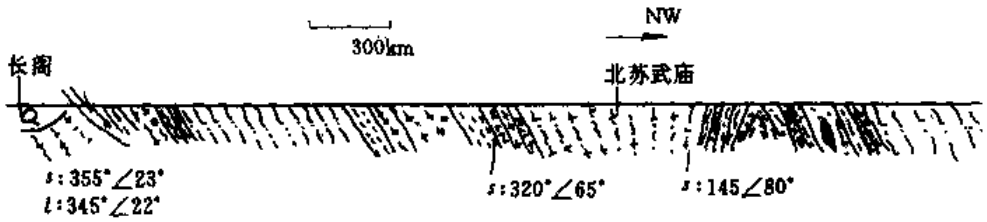


图 3－13 长阁镇－北苏武庙剖面(注:图例同图 1－2)

该韧性剪切带的特征是强烈的绿泥石化,出现了典型的动力退变质的特征。总体上也具有一般韧性剪切带的分带性,中央向两侧应变减弱,眼球增大。但该剪切带似乎是多中心的,由南部的粗粒眼球状绿泥花岗片麻岩到北部的花岗闪长质黑云二长片麻岩,眼球由粗到细再变粗的过程重复了三次,面且两者之间还有绿泥片岩和千枚岩等低级变质岩出现。第一个强应变中心为绿泥片岩,两侧为眼球状片麻岩。往北眼球在一定距离上增大(1～2 cm,钾长石)之后,变细,千枚岩两次出现,中间夹着闪长－辉长质片麻岩体和似斑状花岗岩。镜下千枚岩由斜长石＋石英＋绿泥石＋绿帘石＋少量黑云母和磁铁矿及赤铁矿组成,副矿物为榍石(较多解理及平行解理的裂隙)。在北边的千枚岩中,出现了紧闭褶皱岩石,产状为 320°∠65°,褶皱轴迹为 255°∠16°。千枚岩上覆的斜长角闪岩,绿泥石化明显。在苏武庙北面的花岗片麻岩中,韧性剪切带又出现了一个强应变中心:为钾长石化强烈的黑云二长片麻岩,两侧为花岗片麻岩以及变粒岩类围岩,没有明显的绿泥石化。

长阁韧性剪切带南部绿泥石化眼球状花岗糜棱岩中发育了一个低角度正断层,而面线理也

以角度低缓为特征(s:325°∠23°, l:345°∠22°)。向北,千枚岩产状趋向直立(346°∠65°, 320°∠65°)。北部的岩体面理、线理基本上以陡直为特征,而夹在其中的围岩的面理倾角较小(340°∠20°)。北侧出露的花岗闪长质黑云二长片麻岩产状与其南部的不一致(250°∠30°),并有变质岩的岩片与之构造叠置。分析:本带由于位于丰宁－隆化大断裂上,受其影响,从线理看表现出东西向走滑的特性,同时反映了南北向的挤压运动。

4.其他的韧性剪切带

本次野外考察在胡麻营子的北稻池和城北的二道窝铺也观察到了韧性剪切带(图 3－14)。

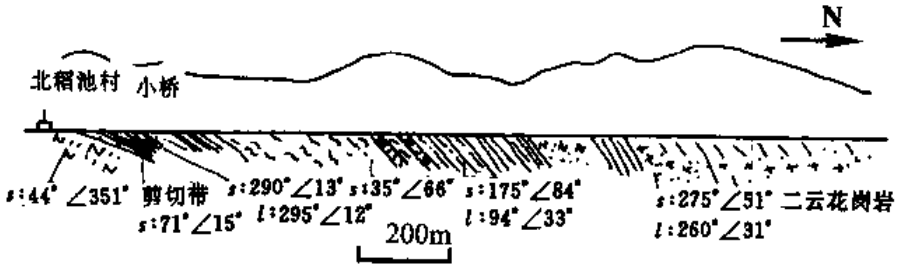


图 3－14　胡麻营子北稻池村东剖面(注:图例图 1－2)

北稻池的剪切带约 1m 宽,分布在块状基性岩边缘,基性岩呈透镜体见于剪切带内,指示正运动。该剪切带宽度狭小,围岩产状较乱。剪切带近南北走向,角度低平(71°∠15°)。附近围岩产状与该带基本一致。线理与面理倾向平行,角度变平缓(295°∠12°)。在该带的东北部有二云母花岗岩大面积出露,其围岩产状与剪切带明显差异,面理为东西走向,高倾角,线理倾向有变化(向东或倾向西),倾角较大(18°∠56°,94°∠53°,260°∠31°)。分析:此剪切带可能代表一个小型的向东的逆冲推覆,控制范围很小。

二道窝铺的韧性剪切带表现为花岗糜棱岩化,面理倾陡,眼球发育,指示右旋剪切。面理多为东西走向,高倾角(0°∠72°,0°∠80°),有正断层产出,上盘在北,这可视为与大断裂(丰宁－隆化)北盘前缘向南逆冲、后缘张性断裂一致。

三、中小型断层

张性断层的广泛发育,是致使大量岩体上升侵位的一个重要原因,丰宁地区的地层显然在褶皱挤压之后又经历了一个拉伸的过程,形成了许多张性断裂,大量的闪长岩体和花岗岩体则沿着断裂上升。这种拉伸构造对区域地质的改造,似乎是中小型断层中压性的逆冲断层相对较少出现的原因。以下主要是对逆断层加以推述。

在此次野外考察中,在南关(胡麻营子)至古房的公路沿线观察到了一个小型的逆掩断层及逆冲型剪切带(图 3－15)。该逆断层上盘是暗灰色的闪长岩体,下部以长英质糜棱岩与花岗片麻岩分隔。下盘即为花岗片麻岩。该断层面平缓,上、下盘之间的剪切带为强糜棱岩化的长英质岩石,表现出韧性特征,但与下盘花岗岩的界面却是截然的。断层界面附近出现紫红条带,可能是接触变质。说明该逆冲断层的形成过程可能是一个断面高速摩擦的过程,大量热量产生,使界面附近被氧化,而糜棱岩的出现说明该断层断裂之前经历了韧性剪切。

在该断层的东南的细粒黑云斜长变粒岩层内发育着一些小型的逆掩断层。这些逆掩断层截切并错动白色长英质条带与周围的黑云斜长麻岩中的斜长角闪岩的透镜体,紧闭褶皱及 S－C 面理指示相同运动方向,向 SE 推覆。

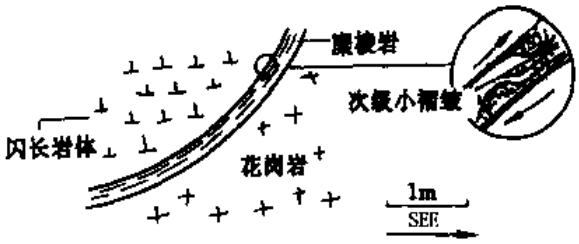


图 3－15　古房逆冲断层及韧性剪切带

这两处逆断层，产出位置较浅，错动了一些较后期的岩石或岩脉，是燕山期的表层次脆性逆冲断层。

四、线、面理的主方向

1.全区线理吴氏网投影（如图 3－16）：线理为东西向和向南倾倒的两部分组成，指示主体的南北向的挤压运动，和部分区域（如东梨树沟）的东西向走滑分量。

2.全区面理分析：将全区表壳岩系的面理产状（倾向∠角）作吴氏网投影（如图 3－17），可以发现面理分为三组：一组为向南倾的高角度面理，一组为向北倾的高角度面理，另外一组表现为倾角平缓的面理。这与全区普遍发育褶皱的构造特征是一致的，也反应了一种近南北向的挤压而且挤压成因的褶皱的枢纽总体走向为东偏北 20°左右。

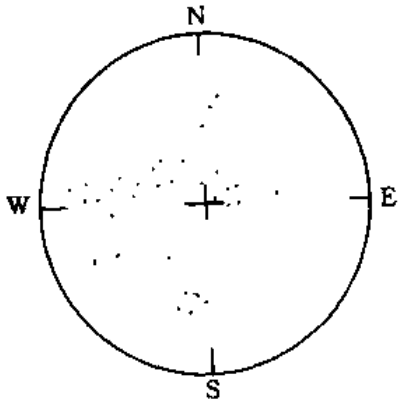


图 3－16　丰宁东部岩石线理吴氏网投影

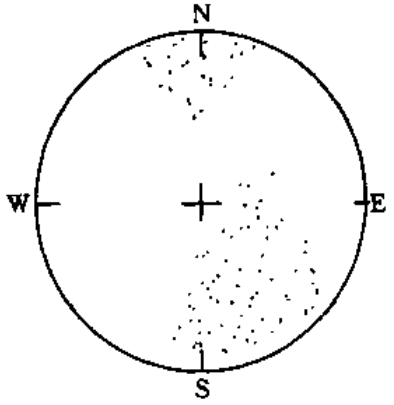


图 3－17　表壳岩系岩石面理吴氏网投影

第三节　变质作用与变质相

一、变质相的划分

本地区产出的岩石由于经历年代久远，而且又处在构造、岩浆活跃的地台边缘，所以大都已经发生变质。此变质地带基本上属于低角闪岩相。其矿物组合：

1.变质泥质岩（黑云斜长片麻岩和变粒岩类）：q + bi + ms + alm + st + ky，pl + bi + sil + alm + q，bi + ms + alm + q + pl，pl + kg + ms + q；

2.变质基性岩：pl + hb + bi + q，pl + hb + bi + alm + q，pl + hb + bi + di + q；

3.变质超镁铁岩（或超基性岩）：gt + py + ol + chl，chl + ol + pl(kf)，hb + ol + py + sph，hb + ol + chl + di + ms；

4.花岗岩系的矿物组合：bi + ms + pl + q(+ sph)，hb + pl + q，ms + bi + hb + pl + q，bi + pl + kf +

q + chi + ep + phl。

在变质泥质岩中白云母基本消失,而成为 Sil + kf 带,即第二夕线石带。

二、P - T 条件的估算

此变质地带的 P - T 条件应为 $4\times10^8\sim10\times10^8$Pa,540 ~ 730℃,地热梯度大致为21 ~ 28℃/km(张春华、王启超等,1990)。而韧性剪切带的岩石磨片中几乎都在镜下观察到了斜长石颗粒发生了显著的塑性变形,表现为双晶纹扭曲和边缘细粒化的同构造重结晶现象,形成"核幔"结构,该类塑性形变至少要在450℃以上才能发生。

三、变质作用类型和相系

此变质地带实际上出现了高绿片岩相 - 低角闪岩相(为主) - 高角闪岩相不均衡递增变质,体现了区域热流或地热梯度的不均衡性。根据 Hpt_1^2 中蓝晶石和铁铝榴石的出现以及上述的 P - T 条件,可判定热流来自地壳深部或地幔。又由它所处的强烈活动的构造环境,岛弧 - 大陆类型的原岩建造,我们可以作出结论:本地区的区域变质作用为:区域动力热流变质作用,中压相系。

区域热流不均衡性是变质作用不均匀性的根本原因,可能是区域深变质作用,也可能存在着不同原因的局部叠加的影响。在丰宁,由于深大断裂带的影响,一方面由于韧性剪切作用造成动力退变质以及再生交代作用,另一方面由于虚弱带导致热流上升,使得离断裂一定距离变质程度有所增高。

本地区的变质地带具有不均匀性,在南部局部出现高角闪岩相组合,例如变质基性岩中为 pl + hb + di + gt,斜长石(An)号为 42 号左右,而在中部则出现高绿片岩相组合:hb + pl + tr + bi,角闪石在显微镜的单偏光下为蓝绿色,斜长石为 16 号左右。在北部韧性剪切带中的花岗岩系中则出现绿片岩甚至低绿片岩相的矿物组合,如 hb + bi + chi + ep + pl + kf + q。

此变质地带的低角闪岩相 ACF 和 A'KF 图解如(图 3 - 18):

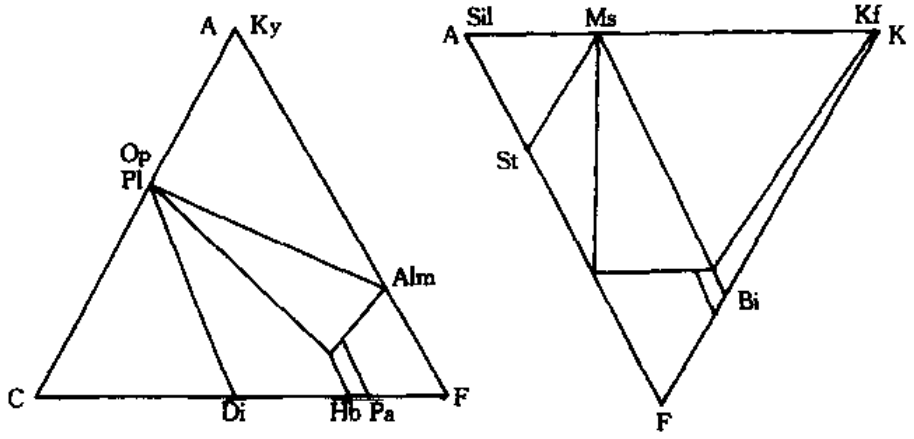


图 3 - 18　丰宁变质岩区低角闪岩相 ACF,A'KF 图解

矿物符号说明:q 石英,bi 黑云母,ms 白云母,alm 铁铝榴石,st 十字石,ky 蓝晶石,pl 斜长石,sil 夕线石,kf 钾长石,hb 角闪石,di 阳起石,gt 石榴石,chr 绿泥石,py 辉石,ohl 蛇纹石,ol 橄榄石,sph 榍石,ep 绿帘石,tr 透闪石

第四章　地质演化

根据野外实习的观察和对前人有关论著的学习，通过对丰宁的岩石和构造特征以及区域上的特点的总结，下面对丰宁的地质演化作一个简单的描述(如图 4－1)。

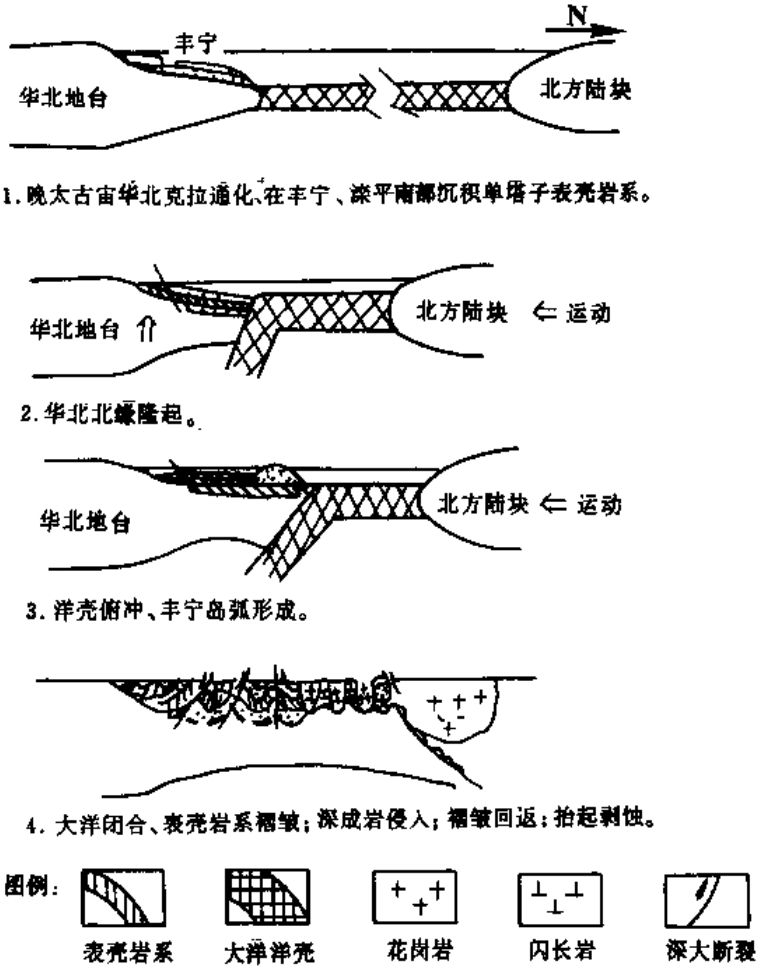


图 4－1　丰宁前寒武纪地质演化

新太古宙(2 500Ma 左右)的克拉通化使华北陆台形成了一个整体，在地质上表现为从冀东至内蒙古乌拉山区一系列麻粒岩相带和超基性－基性岩墙群的形成。丰宁正处于这个克拉通化后的地台的北缘，太古宙晚期形成的单塔子表壳岩系在丰宁、滦平的南部沉积，主要为类复理石建造的杂砂岩及中基性的火山岩建造。

在克拉通化稍晚些时候，华北地台在冀北的部分边缘隆起，“单塔子群”被抬升剥蚀，而在北侧形成断堑盆地，继续沉积红旗营子表壳岩系，而在丰宁－滦平－承德一线形成古元古代与新太古宙之间的不整合面。

在早元古代，一个北方陆块相对向南移动，此时它与丰宁之间的大洋洋壳向华北地台边缘下俯冲，岛弧及弧后盆地形成。此时由于活跃的火山活动，在丰宁的北部形成了以火山岩(各种凝灰岩，火山碎屑岩等)为主的红旗营子表壳岩系的第二岩段(韵律层发育)，覆盖在相对较为稳定的第一岩段上。

早元古代末期，北方陆块与华北地台碰撞，大洋闭合。红旗营子表壳岩系强烈褶皱，出现众

多的断层、断裂、深成岩(花岗岩系和闪长岩体等)侵位。由于北方陆块与华北地台的拼合,华北地台的基底阶段结束,此后,稳定的盖层演化阶段开始。

致谢

我的这篇毕业论文的完成,首先应当归功于指导老师李江海副教授。他无论是在野外考察、室内资料整理还是在论文的撰写等各个方面都给予了大量的指导和帮助,令我不但完成了论文,也学到了许多书本上学不到的知识,受益匪浅,特致以深深的感谢。同时也要感谢田建国同学的帮助,我们共同完成野外的考察和部分室内整理工作。另外还要感谢显微镜室、系资料室及复印室的各位工作人员的帮助与合作。

参考文献

1.白瑾主编,华北陆台北缘前寒武纪地质及铅锌成矿作用.北京:地质出版社,1993

2.白瑾,黄学光,戴凤严,吴昌华.中国前寒武纪变质作用.北京:地质出版社,1993

3.都城秋穗,久城育夫著.常子文、马世珍等译.岩石学.北京:科学出版社,1984

4.胡学文,张满江等.燕辽地区太古宙与下太古界间不整合面的发现及其意义.地质论评,1996,42(3)

5.胡学文,张满江等.冀北红旗营子群同位素年龄及其时代归属.中国区域地质,1996,2

6.胡学文,朱英西.关于冀北"单塔子群"解体的商榷.中国区域地质,1989,4

7.李龙,朱云海等.冀西北单塔子群的解体.现代地质,1996,10(1)

8.李继亮主编.东南大陆岩石圈结构与地质演化.北京:冶金工业出版社,1993,12

9.李树勋,徐学纯,刘喜山等.内蒙古乌拉尔山区早前寒武纪地质.北京:地质出版社,1994

10.钱祥麟,王仁民主编.华北北部麻粒岩带地质演化.北京:地震出版社,1994

11.R.G.Coleman,鲍佩声译.蛇绿岩.北京:地质出版社,1982

12.王启超,张少卿.再论红旗营子群的时代问题.中国区域地质,1995,2

13.王国灿,谭应佳,王方正、冀北崇礼-赤城大断裂的多相逆冲-兼论内蒙地轴隆升的构造制约因素.地球科学-地质大学学报,1992,17(6)

14.伍家善等.华北陆台早前寒武纪重大地质事件.北京:地质出版社,1991

15.张家声、索书田.华北北部结晶基底中的大型韧性剪切带.中国区域地质,1988,4

16.张春华、王启超等编著.河北前寒武纪变质作用.北京:地质出版社,1990

17.赵宗溥等.中朝准地台前寒武纪地壳演化.北京:冶金工业出版社,1993

18.中华人民共和国地质说明书(比例尺1:200 000)丰宁幅.河北省地质矿产局,1993

The tectonic character and evolution of the Early Proterozoic orogenic belt in east Fengning

Huang Xiongnan, Directed by Li Jianghai

(Department of Geology, Peking University; Beijing 100871)

Abstract: In paleo-proterozoic, located on the north edge of the North China craton, Fengning was a part of the active contionental margin and the first accretional belt of the North China Platform. There're large amount of folds and faults of all kinds setting around and lots of magmatism characteriz-ing Fengning orogenic belt. Around the large deep fracture zone, there are ultramafic rocks tectionically cropped out and large amount of igneous rocks distributted. Ductile shear zone in Fenging show the

characters of the deformation deep in crust. The closer to the fault, the wicker mylonization is , but far away from the fault mylonization is also wicker . The first phenomenon shows transformation from ductile deformation to fractile deformation and the second shows accunlation of stress and strong structural movement causing ductile shear zone happening . Metamorphism in most parts of Fengning is lowamphibolite facies caused by dynamothermal regional metamorphism, there are also inhomogeneous metamorphism as greeschist facies and high-amphibolite facies somewhere caused by ductile shearing followed by magmation. The magmatism in Fengning is multiphase. Except the syntectonic TTG, the out-crop of many intrusive rocks including diorite in northern Hershanzu and collisional granite that sited north to Changge. The tectonic movements is also characterized by multiphase. Besides the Wutai and Luliang movements which closed the Fengning sea basin, there are late-Hercynian movement and Yanshan movement which complicated the tectonic and structure in Fengning.

Ⅲ.地理学科篇

第7章　地理学学科简介及选题

地理学是一门研究地球表层人类活动和环境相互关系的科学。地理学的研究对象是大气圈、水圈、岩石圈、生物圈和人类智慧圈相互作用的界面，即人类生存环境。地球表层是一个包括非生物、生物和人的相互关联、相互制约、相互作用的巨系统，它由自然地理系统、生态系统和人类社会系统共同构成。地理学的任务是研究这一巨系统的形成过程、内在结构和发展规律。地理学是以地球为一个整体系统、以地域为单元、集自然科学与社会科学为一体进行综合研究的科学。

地理学是一门经过漫长发展历程的古老的科学。古代地理学起源于我国的春秋战国或欧洲古希腊时代，基本上处于积累知识的阶段。在19世纪上半叶，诞生了近代地理学，内部还分化出许多二级学科，原来统一的地理学分化为自然地理学和人文地理学两大学科领域。二次大战之后。随着科学技术的进步和社会经济的不断增长，人口、资源、环境与发展问题日益突出，促进地理学进入了现代地理学发展阶段。现代地理学有以下发展趋势：①与相邻科学交叉、渗透、汇合的趋势更加广泛、深入；②地理科学内部分支学科的发展更趋合理、协调、统一；③微观机制的地理过程研究将进一步深入发展；④结合解决全球性或区域性实际问题，不断拓宽应用领域；⑤研究方法和手段不断革新，促进了地理科学理论思维的转变。

参考世界地理学的发展趋势，结合我国的实际情况，我国地理学近期发展的重点领域是：①环境演变及其效应的研究；②区域发展的综合研究；③地理学的基础理论研究；④地理信息技术的研究。

目前我国地理学的专业设置分为三个，即地理科学专业，资源环境与城乡规划管理专业和地理信息系统专业。地理科学专业侧重于理论基础，资源环境与城乡规划管理专业则侧重于地理学的应用方面，地理信息系统专业侧重于地理学的技术方面。由于地理学类专业的各理论方向与各应用方向紧密联系在一起，因而很难将地理科学各分支学科截然分开。现就地理学几个主要学科方向予以介绍。

7.1　自然地理学

7.1.1　学科简介

自然地理学的研究对象是自然地理环境，包括只受人类间接或轻微影响、原来面貌没有发生

明显变化的天然环境，和长期受到人类直接影响，使原有自然面貌发生了重大变化的人为环境。自然地理学是研究自然地理环境的组成、结构、功能和变化；人类活动与自然地理环境的关系；自然资源的综合开发和可持续利用；区域可持续发展；环境的评价、规划、管理（经营）、保护和预测等的学科，是地理学的一个重要分支学科。

自然地理环境是指地球表面具有一定厚度的圈层，即岩石圈、水圈、大气圈、生物圈相互作用，互相渗透的区间内的一个特殊圈层。它是太阳辐射能、地球内能和生物能作用下形成的，比地球的其他圈层的特征要复杂得多。在这里各种固体、液体、气体状态的物质同时稳定地存在，并且相互渗透。太阳辐射能吸收、转化和贮存，并且出现了太阳辐射能与地球内能激发作用的相互影响。只有在地球的这一部分才具有生物产生和繁衍的条件，并成为生物圈进一步发展的强大因素，人类出现后，又成为人类生活和生产活动的环境。①

人类的地理知识起源于远古时代，但自然地理这一术语始用于17世纪，至18世纪后半期已广为流行。自然地理学作为地理学中的一门学科，出现在近代地理学形成时期。自然地理学的发展大致可分为三个时期。①

19世纪中期以前为知识积累时期。此时期的地理学以地理知识的描述性记载为主，自然地理知识作为地理学的一个重要方面，主要是了解地球表面的自然现象，记录山川形势、游历探索四方奇胜，进行探险、发现活动等。

从19世纪初期到20世纪50年代后期是近代时期。19世纪初期德国A·洪堡和C·李特尔创建近代地理学，自然地理学开始成为一门独立的分支学科。从这时起，自然地理学由单一的、表象的、静态的自然地理成分和现象的研究走向把自然地理环境作为一个整体进行综合的、内在的和动态的研究。随着自然地理学研究的深入，许多分支学科如地貌学、气候学、水文地理学、土壤地理学、植物地理学、动物地理学、冰川学、冻土学等迅速发展。

从20世纪60年代开始是自然地理学的现代时期。从此时起，地理学出现了重大变革，建立了地理系统学说，从学科分化走向新的综合，在综合研究的基础上又发展了新的分支学科。在研究方法上，引进了电子计算机和遥感技术，加强了定量分析研究。这时期，自然地理学取得了以下突出进展：①加强了定量分析，并且把定量分析与定性分析紧密结合。主要是通过建立综合性实验站和使用遥感技术，观测自然地理系统内的能量和物质的转移形式、动态过程，获取范围广而且连续的各种自然地理信息，应用数学方法和计算机处理分析各种信息，通过模拟实验建立系统结构模式和动态变化的数学模式等，深入研究自然地理系统的结构特征，预测变化趋势；②运用生态学的观点对自然地理系统进行研究，注重人类对环境作用的后果，由此而发展了生态地理学、景观生态学等；③加强应用研究。运用自然地理学的研究成果，参与解决农业生产、工程建设、资源开发利用、地理环境污染和治理等问题，由此发展了应用气候学、应用地貌学、资源地理学、环境地理学、旅游地理学等应用性分支学科。在中国，20世纪70年代以来自然地理学的研究重点移向环境保护和国土规划与整治等方面。近几年来，又加强了土地利用、土地类型和自然资源评价①、全球变化和可持续发展等的研究。

自然地理学研究的内容随着学科的发展而扩展。概括起来主要有以下几个方面：①研究各自然地理成分（气候、地貌、水文、土壤、植物和动物界等）的特征、结构、成因、动态和发展规律；②

① 中国大百科全书，地理卷.北京：中国大百科全书出版社，1990.9；P.P.526～528

研究各自然地理成分之间的相互关系，彼此之间的物质和能量的循环与转化的动态过程；③研究自然地理环境的地域分异规律，进行部门和综合自然区划以及各种实用区划；④研究各个区域的部门自然地理和综合自然地理特征，并进行自然条件和自然资源的评价，为区域开发提供科学依据；⑤研究受人类干扰、控制的人为环境的变化特点、发展趋势、存在的问题，寻求合理利用的途径和整治措施[①]。⑥全球变化、区域对全球变化的响应及其对策；⑦土地资源的分类、评价、利用及其保护；⑧区域可持续发展的理论和调控机理等。

当前及今后一段时期的主要研究内容有：①自然环境的结构、功能及其演变规律；②人类与自然环境的关系；③自然资源的科学理论与应用；④全球变化及其对区域的影响和对策；⑤荒漠化及其对策；⑥土地评价、规划与管理(经营)；⑦区域可持续发展战略及其操作手段；⑧旅游开发与管理(经营)；⑨自然灾害及其防治和预测；⑩其他"热点"和学科前沿。

随着科学技术和生产力的飞速发展，自然地理学也将随之发展，现代自然地理学更要加强定量分析、生态化和应用研究，十分注重吸收其他学科的新成就和研究方法，发展边缘学科，进行地理预测研究，更加重视全球环境问题研究。同时，自然地理学要重视研究人地关系，将自然地理学研究与人文地理学研究紧密结合起来[①]，将认识自然与改造自然有机地结合起来。

7.1.2 自然地理学毕业论文的选题及题型举例

从理论上看，只要是自然地理学领域的问题都可以是本学科论文选题的材料，但要注意以下几点：

首先，选题应有一定的学术意义，对某些现象、规律、区域应该去探索、开拓，在前人工作的基础上有所提高、创新。

第二，要结合专业特长、个人能力和爱好，同时考虑到指导老师的经费、仪器、设备等条件，最好与导师的研究课题挂上钩，经费和资料有保障，工作才比较顺利。

第三，题目大小要适中，太大了不易完成而草率收兵。乃至论文，空洞无物，或论据不足，无说服力。题目太小了则达不到综合训练的目的。

选题可以是基础研究性的课题，如纬度地带性、干湿度地带性、垂直地带性规律和非地带性分异规律等；国民经济建设和生产中的重要课题，如大江大河的水土保持、防护林带、大的水利工程的前期论证、工程环境效应的预测、大小流域的规划、建设及荒漠化等；学科前沿性和当前的"热点"问题，如人地关系、全球变化及其对区域的影响和对策、区域可持续发展战略及其操作手段等。此外本学科与自然、社会、经济、人文等相交叉的问题也都可以研究。从以往学生的论文选题和今后学科的发展看，论文可侧重以下几个方面。一是自然地理学的理论探索；二是水、土、气、生物和土地等资源及其评价、利用和保护；三是农业及可持续发展；四是遥感及计算机技术手段在自然地理学中的应用；五是全球变化及其对区域的影响和调控研究等。以下题型可供参考：

(1)北京市土地资源的遥感综合调查及研究；

(2)东灵山土壤垂直带谱及其黑土的初步研究；

(3)赤城树木年轮分析与气候重建；

(4)我国平均径流深度和年平均降水、年平均气温及气候类型的关系；

(5)永定河上游水系形态特征定量分析的试验研究；

---

① 中国大百科全书，地理卷。北京：中国大百科全书出版社，1990.9，P.P.526～528

(6)西南岩溶地区消除贫困与持续农业——以贵州罗甸县为例;

(7)黄河三角洲自然保护区的现状与管理规划研究——自然保护区研究中相关理论和方法的应用——以黄河三角洲自然保护区为例;

(8)土地利用计算机分类的可行性研究——以北京市海淀区为例;

(9)利用大比例尺 TM 影像编制土地利用图的尝试——以赤峰市红山区为例;

(10)王屋山风景资源考察与评价;

(11)土地信息图的编制;

(12)合理利用自然资源,促进海南经济与环境协调发展。

7.2 环境生态学

7.2.1 学科简介

地理环境演变过程的研究是地理学基础理论研究的核心。环境变化主要受自然地理过程和人类活动所制约,自然地理过程是环境变化的基础,人类活动则是叠加其上的一种影响。因此,深入研究人地系统协同演化的过程、发展趋势与演变规律,研究全球变化对我国区域环境的影响,对于协调人地关系、合理开发利用自然资源、制订减灾、防灾对策,以及国土开发整治的宏观调控,不仅具有重要的理论意义,而且具有广泛的应用价值。

鉴于地理系统的复杂性和地理科学的综合性,必需进行跨学科的横断研究,不断吸收相邻学科的理论和方法,进行学科交叉、发展边缘学科。未来地理科学将在加强基础理论和定量化的基础上,进一步综合化、生态化和社会化,人文地理和自然地理将进一步融合,应用理论和应用技术将得到进一步发展,地理学将成为一门有效地解决实际问题、促进人类生存环境可持续发展的综合性科学。

人类活动对全球环境的影响不断增强,变化量级之大、范围之广,已经和自然地理过程不相上下。出现了诸如全球气候变化、生物多样性锐减、土地退化、水土流失、荒漠化和生态破坏等问题。生态学的整体论思维范式和地理学的区域理论,对于解决当前出现的许多全球性或区域性的生态环境问题,具有重要的指导意义。近年来出现的地理学生态化的趋势正是这一背景的反映。生态学和自然地理学是环境科学的理论基础。生态学的生态系统理论、生物圈的等级层次理论、生物之间、生物与环境之间相互作用机理的研究,对于解决当前人类面临的挑战性生态环境问题,具有理论指导意义。不仅如此,生态学对于提高人民的生态意识负有重要的使命。只有全民的生态意识提高了,人类社会的经济发展和维持地球生命支持系统的持续性才能协调统一。自然地理学关于环境演变过程的研究,关于各种自然要素、人地(环境)相互作用机制的深入分析,关于环境变化区域响应的评估,以及关于极端环境地理过程的研究,对于预测人类生存环境的演变趋势,评估当前生态环境的安全,保障社会经济的持续发展具有重要的理论和实践意义。

7.2.2 环境生态学毕业论文选题

环境学专业应当培养学生具有扎实的地学基础,掌握宏观生态学(主要是景观学、植被生态学和生态风险评估)的理论和方法,具备环境评价和环境规划的能力。培养能够从事生态环境评价和环境管理、生物多样性保护、景观规划设计的基础研究和应用人才。

环境和生态方向涉及许多学科,如自然地理学、环境地球化学、植物地理学、环境生物学、环

境毒理学、环境经济学等等。论文选题的范围很广，就生态方向来说，主要有以下一些内容：

(1)生态环境背景调查：包括区域或典型地区各景观要素的现状，人类活动对环境的影响，景观结构、动态和功能的变化等。

(2)植物生态学和植物地理学研究：包括种群、群落水平的取样方法，数量分析，植被与环境关系，植被分类与植被制图等。

(3)景观生态学的理论与方法研究：包括景观格局与景观动态分析，尺度转换研究等。

(4)生态破坏与生态恢复：如生物多样性锐减、荒漠化和水土流失的生态机制、生态过程分析，生态破坏的恢复整治计划和生态工程措施等。

(5)生物多样性与自然保护：如不同时空尺度生物多样性的形成的地理条件、空间格局、演化规律等；自然保护区规划设计的原则和方法。

(6)生态风险和生态安全格局研究：景观或区域尺度的生态风险评估的原则、方法，景观保护与景观规划设计等。

(7)全球环境变化中的生态监测：如利用遥感方法进行植被动态监测；运用古今生态学结合的方法分析景观变化的生态学机制。

7.3 地貌第四纪学

7.3.1 学科简介

地貌第四纪学是自然地理学的一个主要分支，而本身又是一个庞大而复杂的学科体系。更确切地说，地貌第四纪学是介于地理学、地质学、古人类学、环境学等许多学科之间的边缘学科或交叉学科。地貌第四纪学本身又可分为地貌学和第四纪学两大学科。它们既有各自的研究领域、发展历史、研究特点和应用范围，又有许多方面互相交织，紧密地联系在一起。

1.地貌学发展史与主要研究方向

地貌学，按传统的说法，是研究地表形态、结构、形成、演化及其分布规律的科学。近年来，随着宇航技术的发展，星体地貌学已发展起来，地貌学的研究对象已扩展到某些星体的表面。随着人们认识水平的提高和社会经济建设的需求，地貌学与资源环境和灾害等重大问题的关系正日益受到人们的重视，应用地貌学也随之发展起来。

地貌学作为一门学科的创立，是19世纪末至20世纪初的事。但在这之前的漫长历史时期中，有许多地貌学知识和关于地貌研究的精辟论述的积累。因此，可以将地貌学的发展历史分为三个时期：从公元前至19世纪末的古代萌芽时期，19世纪末至20世纪中叶(二次大战)的近代创立时期和20世纪中叶以来的现代发展时期。

古代时期主要是资料和知识的积累，尽管有许多论述具有巨大的科学价值，但尚无系统的科学理论。

古希腊的泰勒斯(公元前7世纪至6世纪)想象地球好似一只漂在水上的圆盘。古希腊的亚里士多德通过月食的观察，也认为地球是圆的。古希腊的埃拉托色尼猜想地球是球形，并第一个作了测量地球周长的工作。古埃及的希里多德(公元前5世纪至4世纪)论述了尼罗河谷地是由埃塞俄比亚带来的泥沙沉积形成的，沉积到地中海的泥沙造成了三角洲。他还恢复了古海岸线，标明了现已深居内地的许多古海港。中世纪时期的阿拉伯学者比鲁尼指出了喜马拉雅山麓冲积

物中的磨圆砾石是急湍的山溪里滚动磨圆的，并指出堆积在山地附近的冲积物颗粒较粗，离山越远冲积物颗粒越细。同时期的另一个阿拉伯学者阿维森纳指出了山地被抬升，遭受水流侵蚀，这个过程虽很慢，但很稳定，这是较早提出的侵蚀过程学说。

中国古代在地貌学方面的贡献尤为突出。可能成书于公元前5世纪的《禹贡》，将中国划分为九州，描述了各地的地形起伏及部分河流。《汉书·地理志》中已有对流水冲刷和淤积所作的科学记述。北宋时期的沈括（公元1031—1095年）就详尽地论述过流水的侵蚀、搬运、堆积过程及海陆变迁过程。明末的《徐霞客游记》在岩溶地貌的论述方面已达到了相当高的水平。清初的孙兰在关于地貌演化方面提出了“变盈流谦”说，他把侵蚀和堆积看做是地貌发育过程中统一的两个方面，注意到地貌演化过程中的渐变过程和突变过程，并重视人类活动对地貌发育的影响。可见，中国古代地貌学方面的成就一直位居世界前列。

19世纪末，德国地貌学家A·彭克第一次采用地貌学（Geomorphology）一词来论述地表形态的形成和演化，他对阿尔卑斯山冰川的研究成果，对现今的地貌第四纪学仍有很大影响。美国地貌学家W·戴维斯是近代地貌学理论的主要创始人，他创立了著名的地理循环理论，指出一切不同的地形是构造、营力、时间这三个可变因素的函数。后来W·彭克提出，一切地形都是由内力与外力共同作用的结果，进一步完善了地貌学理论，《地貌分析》是他的代表作。

20世纪中叶以来，地貌学又获得了很大的发展和提高。主要表现在三方面：①现测手段和信息处理技术的提高。航天技术的发展，使得大区域的地貌情况，甚至整个地球的地貌都可以直接地把握住，并能监视其动态过程。观测范围还扩展到地球以外的一些星体。电子显微镜、光谱、化学等分析手段，使得人们可以了解矿物的晶格及物质的元素组成。计算机技术的发展，使信息处理技术得到了大幅度的提高；②数学方法、模型方法、动力学方法等引入地貌学，导致了地貌学理论及许多分支学科的发展；③地貌学与社会经济的关系日益被人们重视，属于应用地貌学的许多新的分支学科应运而生，如资源地貌学、环境地貌学、灾害地貌学、城市地貌学等。

由于地貌学研究的领域和应用范围都十分广泛，所以地貌学的分支学科组成一个庞大的体系。不同的地貌学分支在研究对象、研究方法上都分别有所侧重，不同分支间还或多或少有互相交叉和联系。

依据起主导作用的地貌形成过程的差异，划分出一系列的地貌学分支。构造地貌学是研究由地壳构造运动直接形成的地貌（活动构造地貌）和地质构造受外力剥蚀形成的地貌（静态构造地貌）。重力地貌学研究坡地上的风化碎屑或不稳定的岩体、土体由于重力作用所形成的各种地貌。流水地貌学（或河流地貌学）研究地表流水作用（包括侵蚀搬运和堆积）塑造的各种地貌。岩溶地貌学研究以岩溶过程为主形成的各种地貌。冰川地貌学研究冰川的运动过程及所形成的各种地貌。冻土地貌学研究主要由于寒冷而形成的冻融过程所产生的各种地貌。风沙地貌学研究主要由于风的作用产生的侵蚀、搬运、堆积过程所形成的各种地貌。黄土地貌学研究黄土这种特殊沉积物在堆积过程中和堆积以后所经历的各种塑造作用形成的地貌。海岸地貌学研究主要由海洋水动力作用形成的各种地貌。火山和熔岩流地貌学研究岩浆喷发或溢出地表所形成的各种地貌。

将河流动力学、海洋动力学、冰川动力学、风沙动力学等动力学原理应用于地貌学研究，产生了动力地貌学。将模拟实验运用于地貌学的研究则促进了实验地貌学的发展。

研究气候对于地貌形成过程所起的作用和地球上不同气候区地貌形成、演变规律和地貌组

合特征的地貌学分支被称为气候地貌学。气候地貌学和构造地貌学是传统地貌学中的两大分支,现在仍然是地貌学两个主要的领域。

区域地貌学研究某一区域内地貌营力组合系统下形成的地貌及其组合特征以及地貌特征与形成过程的区域分布规律。沉积地貌学主要研究各种现代沉积过程、沉积环境、沉积物、沉积相和所形成的各种沉积地貌。

与地貌研究技术手段有关的分支有诸如遥感地貌学、地貌年代学和地貌制图学等。

近几十年来,应用地貌学有很大发展。应用地貌学还可划分出许多分支。例如,属于资源地貌学领域的有砂矿地貌、石油天然气地貌、农业地貌、风景旅游地貌等研究方向;属于工程与环境地貌学领域的有水利工程地貌、港口工程地貌、道路工程地貌、城市地貌等研究方向;属于灾害地貌学领域的有滑坡、泥石流、火山、水土流失、沙漠化、活动构造与地震等研究方向。

地貌学未来的发展主要在理论、技术和应用三方面。地貌学理论的发展主要是将动力学、数学模型、系统科学原理等引入地貌学研究,推动地貌学理论的现代化。技术方面主要是将新观测技术(包括新型遥感技术和野外定位观测技术)、数据处理和可视化表达技术、实验和动态模拟等技术应用于地貌学研究。应用方面主要是将地貌学研究与资源开发、工程建设、环境保护、减灾防灾等结合,解决国民经济建设中的重大实际问题。动力地貌学和环境与灾害地貌学是当前和未来的主要热点领域。

2.第四纪学发展史与主要研究方向

第四纪是指大约 250 万年以来的这一段地球历史,是地球发展史中最新的一章。第四纪学是研究第四纪地层和第四纪期间各种地质、环境和人类文明进化等各种事件的科学。

1829 年法国学者德努瓦耶(J. Desnoyers)首先提出了第四纪(Quaternary)一词。1839 年英国著名地质学家赖尔(C. Lyell)提出了更新世(Pleistocene)和全新世(Holocene)两个名称。目前把第四纪分为更新世和全新世,更新世又分为早更新世、中更新世和晚更新世。

19 世纪末至本世纪初,欧洲学者关于阿尔卑斯山冰期的划分,奠定了第四纪冰川和第四纪地质研究的基础。1920 年,米兰科维奇提出气候变化与冰期成因的天文学说,几十年来,引起了广泛的争论,但有许多证据证明其正确性。北欧的斯堪地那维亚学派,对大陆冰川和冰后期气候研究的重要成果,至今被世界各国所采用。1955 年,伊米利安尼发表洋底岩芯的氧同位素分析结果,提出了新的气候变化的冷暖旋回模式,被称为第四纪研究的里程碑。之后的大量关于洋底岩芯的氧同位素分析结果得出的气温变化曲线,动摇了阿尔卑斯冰期模式的气候变化理论,支持了米兰科维奇的天文学说。

中国第四纪学的研究开始于 19 世纪末和 20 世纪初,一些外国学者如李希霍芬、奥布鲁契夫、维理示、巴尔博、安特生、德日进等人对中国的黄土古生物地层、地质地文期等作过较多的研究。一个世纪以来,中国学者对第四纪研究作出了重大贡献。在第四纪冰川、古生物地层、古人类的考古、古地理、中国黄土、中国海面变迁、古气候演变、新构造活动与火山活动、第四纪年代学等许多领域都取得了卓越的成就,使中国的第四纪学研究进入世界前列。

第四纪学的主要研究领域有第四纪沉积学,第四纪地层学,第四纪古地理,第四纪生物学,第四纪古气候,第四纪古环境,第四纪新构造运动与第四纪火山活动,第四纪冰川学,第四纪海面变迁,第四纪黄土与环境,第四纪人类进化与古文化,第四纪年代学,第四纪古环境分析技术和应用第四纪等。

当前和今后第四纪学的主要热点问题是:第四纪地层的划分与对比;高分辨率的第四纪气候变化序列、变化原因和未来变化趋势预测;第四纪环境变迁及其对人类文明兴衰的影响;温室效应、海面变化及其影响;未来环境演化趋势预测及其对人类社会的影响;高精度测年技术和环境分析技术;应用第四纪研究等。

7.3.2 地貌第四纪学毕业论文的选题及题型举例

选题选择的好坏,对于毕业论文的质量或水平的高低至关重要。一般讲,论题选择要注意以下四个方面:

(1)科学意义:即论文所解决的问题,要么对某个地区地貌第四纪方面的研究和认识有所提高,要么对某个地貌第四纪理论问题有新的见解,要么有助于其他学科某个问题的解决。如对第四纪环境演化及其对人类活动影响的认识,有助于人类起源与进化、古文化兴衰演替等重大理论问题的解决。对过去气候变化规律的认识,有助于对今后气候变化趋势的预测。对某地区地形和第四纪沉积物特征的认识,有助于认识该地区的成土过程和植物群落形成过程。对某地区第四纪沉积物地球化学特征的认识,有助于认识该地区地方病的分布规律等。

(2)实用意义:地貌第四纪学是与社会实际密切相关的学科。地貌第四纪所涉及的内容都与一些社会经济实际问题有不同的联系。如地形与第四纪沉积与水土流失的关系,活动构造与地震成因的关系,海平面变化对沿海地区经济发展的影响,环境演化趋势与社会可持续发展的关系,埋藏的古河道砂体与地下水分布规律的关系,滑坡泥石流灾害与道路和城市建设工程安全性的关系等。如果选择有应用价值的课题作毕业论文,则应选择那些实用意义尽可能大一些的课题。

(3)新颖性:选题和毕业论文写作都要突出一个新字。如提出新的理论、新的观点、新的结论,或者至少要对某个地区某个地貌第四纪问题的解决提供一些新的资料。

(4)可行性:本科生进行毕业论文选题时,除考虑学术和实用意义外,还要考虑其他许多具体的可行性条件。如作者本人的研究水平,可资利用的时间和经费、野外工作条件(包括交通、食宿、气象气候等)、有关观测设备条件、实验分析条件、已有工作基础、所必需资料获取的可能性、课题难易程度和问题能否解决的可能性大小等。哪方面条件不满足,都有可能导致论文工作的失败。所以,选题时一般选择那些论题大小、难易程度适当,符合本科毕业生研究水平、时间和经费允许、对问题的解决有较大把握的题目。一般较大的理论性题目不适合作本科毕业论文。因为本科生理论知识和感性知识的积累都还不够。本科毕业论文宜结合一个不太大的地区解决一个或两个前人尚未解决的理论问题或应用问题。即使前人已在其他地区解决过同类问题,但在该地区尚未解决也很有意义。这是地理学本科毕业论文的一般特点,是由地理学的地域性所决定的。

地貌第四纪的论文一般可分为三类:基础理论型、应用型和技术型。以往的本科论文以基础理论型为主,应用型次之,技术型论文较少。今后应用型和技术型论文的比例应有所增加。但技术型论文比例总不会超过前二者。技术型论文一般指野外观测技术、环境分析技术、年代测定技术、遥感应用技术、GIS 技术应用等。文献综述型论文一般不宜作为本科毕业论文,因为不利于学生的全面科学研究能力的培养,这是与地貌第四纪学的强实践特点相联系的。

毕业论文题目的形式一般是地区(地段或地点)名称加研究问题构成。地区即指研究所涉及的地区,可大可小,但一般不宜太大。研究问题可大可小,但也不宜太大。大一些的问题论述时

势必宽泛一些,小一些的问题可以论述得专深一些。

这里可以举出几个论文题目作为范例。如晋东南黄土地貌研究;山西太原盆地地貌研究;广西桂林岩溶地貌研究;山西五台山冰缘地貌研究;汾河下游河流阶地研究;吕梁山东麓断层活动性研究;贺兰山东麓洪积扇研究;山西太原盆地第四纪地层划分与对比;晋南地区第四纪底界的确定;北京地区全新世环境演变;河北石家庄地区古河道砂体与地下水分布规律;北京山区泥石流暴发周期的初步探讨。这些是一般的题目类型。当然也可以采用一些其他的命题形式。

7.4 人文地理学

7.4.1 学科简介

人文地理学是地理学的主要分支学科,是研究各种人文现象的空间差异、组织结构以及人类与地理环境互动过程的学科。人文地理学在促进人口、社会、经济、资源的协调发展及可持续发展中具有重要作用。

由于世界人口日增,环境急剧恶化,资源匮乏和自然灾害频繁,如何协调自然环境和人类生活的关系成为人文地理学界的主要任务。经济全球化与跨国公司的发展促成了企业地理学、城市社会地理学、国际城市与世界城市体系的理论、人口流动与空间扩散理论、行为与时间地理学、交通运输邮电及信息地理学等方面研究的发展。

人文地理学与自然地理学、经济学、社会学等学科关系密切,地图遥感为其主要研究工具之一。由于计量与模型等人文地理学方法并不能完全解释当代社会问题,因此出现了向社会学渗透的趋势。与人文地理学有关的学科有自然地理学、数量地理学、数量经济学、区域经济学、发展经济学、人类生态学、历史学、心理学、社会学、人口学、文化学、政治学、系统论、控制论等。

作为研究各种人文现象的分布、变化、扩散及人类社会活动的空间结构的一门科学,人文地理学具有三大观点:即空间观点、人地关系观点、区域观点。一些其他学科的若干分支领域里都包括有现象的空间表现,明显地和地理学的某些专题分支相重合。人文地理学者可以最终面向三个观点中的任何一个,即充分理解一般的空间结构,充分理解一般的人地关系,或者充分理解地方、城市、区域或国家。

1.人文地理学的分支学科:

(1)经济地理学:包括工业地理学、农业地理学、交通运输地理学、商业地理学、服务业地理学等;

(2)部门人文地理学:包括人口地理学、社会地理学、文化地理学、行为地理学、旅游地理学、政治地理学、历史地理学、乡村地理学、城市地理学;

(3)城市与区域规划:包括人口、资源、环境与发展研究,城市、区域与国土规划,景观与旅游规划,土地利用与房地产开发,区域政策与可持续发展等人文地理学的主要应用研究领域;

(4)区域人文地理学:包括世界地理研究、中国地理研究、省(市、区)及乡土地理研究、区域管理研究等。

我国的人文地理学在解放后到20世纪70年代末一直处于片面的畸形发展之中,70年代末提出人文地理学复兴之后,在人口地理、城市地理及旅游地理等方面得到很大发展。行为地理、企业地理、社会地理、时间地理等新兴学科也相继填补了空白。但是,无论是研究内容的广度或

深度上，还是从研究方法的创新上，都与世界人文地理学的总体发展存在着很大的差距。我国人文地理学研究一直侧重经济地理学方面，对社会、行为、文化、生活、环境方面重视不足，并且，研究对象多限定在中国，缺乏全球观点。特别是对西方理论模型以及新兴学科没有全面系统的介绍和研究，有的介绍还存在着相当的错误。

我国有着独特和复杂的社会及人文环境，需要建设具有中国特色的人文地理学理论体系。为此，在理论上需要大胆创新，在方法上可以积极借鉴西方人文地理学各种学派与方法，并谋求在实践领域中的应用。

2.人文地理学研究的新发展：

(1)经济地理学：

①区位论的新发展：重新考虑距离因素，加进行为因素和资本因素，形成新地域结构学派

②马克思主义经济地理学的兴起

③空间分析方法的广泛应用

④经济全球化与跨国公司研究——企业地理学

⑤乡村景观及乡村社会地理学

(2)城市地理学：

①城市体系结构形式的再认识与改造(规划)

②城市社会空间结构的研究——城市社会地理学

③城市问题及对策研究

④世界城市与世界城市体系研究

⑤大都市圈的扩展与城市连绵区及郊区化研究

⑥城市化理论的再探讨

(3)其他人文地理学分支：

①人口流动与空间扩散理论

②商业中心地结构与消费者行为结构研究

③交通通讯流动结构研究——交通运输邮电及信息地理学

④人文地理学的工程化——地理科学建设问题，即地理研究成果的量化和可操作性化，为建设服务

⑤城市与区域规划的理论及应用——社会规划、时空规划(四维规划)、社区规划、人居环境研究

3.人文地理学主要分支的研究热点：

(1)人文地理学理论研究：

①理论演变与研究领域的拓展

②研究方法论的进展和研究内容的深化

③中国人文地理学的传统与特征研究

(2)经济地理学：

①区位论的新发展

②空间分析方法的广泛应用

③技术创新与区域环境

④经济全球化与跨国公司研究——企业地理学
⑤城市与区域经济
⑥乡村景观及乡村社会地理学
(3)城市地理学：
①城市体系结构与规划
②城市社会地理学
③城市问题及对策
④世界城市与世界城市体系
⑤大都市圈扩展与城市连绵区
⑥城市内部空间结构与郊区化
⑦城市化理论的再探讨
(4)其他人文地理学分支：
①人口流动与空间扩散
②新文化地理与文化景观
③教育与人才地理学
④商业中心地结构与消费者行为
⑤交通运输邮电及信息地理学
⑥旅游与游憩地理学
⑦环境感知与行为地理学
⑧马克思主义地理学(不平等地理学)
⑨女权主义地理学(性别地理学)
⑩人文地理学的工程化——地理学研究成果量化和可操作性
⑪城市与国土规划——包括社会规划、区域规划、国土规划和人居环境研究
4.人文地理学研究的主要方向：
(1)社会(科学)化——社会地理学
(2)国际化——企业地理学、全球化研究
(3)行为化——行为地理学、时间地理学
(4)人文化(人本化)——人本主义地理学、生活地理学
(5)综合化(整体化)——区域地理学、地段地理学
(6)GIS 化(地理信息化)——地理信息科学
(7)工程化(可操作化)——地理科学建设
(8)政策化——政策与福利地理学、城市与国土规划

在本科学习期间，学生接触到区位理论等人文地理学的基本理论，以及包括工业地理学、农业地理学、交通运输地理学、文化地理学、旅游地理学、城市地理学等人文地理学的主要分支学科，并学习人文地理学的主要应用研究领域——城市与国土规划的相关课程。

7.4.2 人文地理学毕业论文的选题及题型举例

人文地理学的毕业论文不应等同于一般的学期论文和课堂练习，不应成为单一的文献综述，而应是在实际调查研究基础上独立分析后写作而成。每篇毕业论文都应该具有鲜明的主题，因

此选题是写好毕业论文的关键。

在选题中需要注意论文的价值和可行性两个主要方面：

1.论文的价值：人文地理学毕业论文应尽可能贴近我国人文地理的实际，探讨具有创新意义的学术问题。根据历年经验，人文地理学的毕业论文是结合指导教师的科研课题进行选题的。论文应该既具有科学意义，又具有实践价值。

2.论文的可行性：由于本科生的知识背景、论文经费、写作时间、搜集资料的能力和资料本身的限制，毕业论文选题所涵盖的内容要适度，题目不要太大，重点应突出，不能包罗万象，否则难以在规定时间内完成，或者难以保证应有的深度。人文地理学本科生毕业论文的选题一般不要过于抽象，而要落实到具体内容，例如分析某区域或城市的问题。论文调研与写作时间一般不少于3个月。论文酝酿和准备的时间至少需要半年，有些优秀的毕业论文往往与中、高年级的学期论文和教学实习紧密联系，在毕业论文正式写作一年多以前就已打下了坚实的基础。

标题指导：好的题目给读者留下深刻的印象，人文地理学毕业论文是一类学术论文，它不同于中学作文和文学作品，因此必须十分重视对学生进行论文标题的指导，对于大学期间没有进行过论文习作的学生来说，标题指导尤为重要。

论文标题要求简明和准确，必要时可以有副标题加以补充，即在副标题前加破折号，写在正标题的下面。由于地理学科的特点，本科毕业论文的篇幅，包括图表在内，一般不要超过2万字为宜，因此必须把文章明显地分成几部分，每部分加小标题，眉目清晰。

题型举例：

(1)新技术企业集团的空间组织探讨

——以四通公司为例

(2)时间地理学及其在城市居民日常活动研究中的应用

——以大连市为例

(3)北京市近郊区自选商场布局问题初探

(4)关于北京市绿化隔离地区规划与建设的思考

(5)北京市崇文区副食网点现状分析

(6)中国边境口岸城镇景观特色研究

(7)资源型城镇发展的比较研究

(8)城市吸引范围划分的理论和方法

(9)我国西部开发借鉴苏联经验的质疑

(10)浅谈我国传统工业地理学面临的问题

论文题目一般包括以下内容的界定：研究的性质(如关于某具体问题的探讨、浅谈、初探、质疑、商榷、思考、论述、综述、理论的研究或应用等)；研究的对象(如某城市或城区、某省区、我国、某企业、某产业等的地理问题，以及地理及其有关学科的发展等)。如以上题型所示。

7.5 城市规划

7.5.1 学科简介

城市规划是一门综合性很强的应用学科，只有将科研与生产任务密切结合在一起，才能提高

自己的理论水平。经过多年的探索，人文地理专业本科在城市领域逐渐形成了两个应用方向：①城市规划；②房地产业开发经营与管理。

1.城市规划

城市是生产力和社会经济发展到一定阶段的产物，是人口和第二第三产业高度集中的场所。“工业革命之后”，由于城市的数量和人口迅速增加，城市功能日趋复杂，城市问题如环境、交通、住房等也越来越突出。为了保证城市有序地发展，为居民创造良好的生产、生活环境，城市规划作为一门科学，于19世纪末首先在西方工业国家发展起来了。新中国成立后，在工业化和城市化的推动下，城市规划学科也获得迅速地发展，20世纪50年代我国首先在同济大学设立这一专业，其后重庆建筑大学、武汉城建学院、清华大学、东南大学等院校也相继建立了城市规划专业和专门化方向。1978年以后，我国一些院校的地理系通过探索，发现其基本理论和方法在城市规划许多领域都可发挥重要的作用，70年代末，北京大学、南京大学、中山大学等高校的地理学系经济地理专业中亦将城市规划作为一个重要的专业方向，1999年经教育部批准正式在北大成立5年制的城市规划专业。为国家培养这方面的专门人才。

根据中华人民共和国城市规划法，城市规划的任务和基本内容是：依据国民经济和社会发展规划以及当地的自然环境、资源条件、历史情况、现状特点，确定城市的性质、发展目标和发展规模，制定城市主要建设标准和定额指标，统筹安排城市各项用地的布局、功能分区和各项建设的总体部署，城市综合交通体系和河湖、绿地系统，各项专业规划，近期建设规划。

从空间层次划分，城市规划又可分为城镇体系规划、城市总体规划和详细规划。城镇体系规划将一定区域范围的城镇群体视为有机的整体，侧重研究城镇的发展条件、一定时期城市化的水平和主要途径。根据城市化的特点和严格控制大城市规模、合理发展中小城市的方针，确定城镇规模等级结构；根据城镇在区域劳动地域分工的地位作用，以中心城市为核心，组织城镇的职能分工，充分发挥每个城市的优势；同时以交通干线为发展轴，建立城镇空间网络系统，使城镇之间有密切的社会经济联系，促进城镇的合理布局。区域基础设施——交通、能源、供水的建设是保证城镇体系规划实施的重要一环，也是这项规划不可缺少的内容。由此可见，城镇体系规划是区域性的城镇发展战略规划，它对于确定每个城镇的性质、规模和发展方针具有重要的指导作用，是城市总体规划的依据。由于城镇体系规划涉及大量地理学的理论方法，目前已成为地理学在城市规划应用最广泛的领域。如果说，城镇体系规划的空间范围是一个面，作为区域的组成部分的城市则类似于一个点。因此，城市总体规划侧重解决一个“点”的合理发展与布局问题，其基本内容已如前述，属于第二个空间层次的规划。再将城市这个点放大，城市又是由不同的功能要素——工业、交通道路、居住、公园绿地等组合在一起的有机整体。对城市各部分和局部地段进一步深入细致的规划，便成为第三个空间层次详细规划的内容了。

2.房地产开发经营与管理

中国是一个人多地少、土地资源十分紧缺的国家，节约宝贵的耕地资源，合理利用城乡每一寸土地是我国的基本国策。作为研究人地关系的地理学，土地利用是其重要的研究内容。同样，城市规划的核心亦是土地利用问题。

房地产业涉及开发、流通、消费和管理等领域，内容广泛，政策性强，该方向的教学和研究主要侧重于土地开发利用、房地产评估、房地产项目投资决策、土地和住房政策等方面。配合国家土地使用制度的改革，80年代中后期，北京大学首先应用区位论和地租理论在厦门、天津、济南

等地探索城市土地的分等定级,这些研究为城市土地的有偿使用、为各级政府制定基准地价政策提供了重要的理论依据。此后,又参与了北海、深圳、永安等市的土地利用总体规划的编制工作,这些内容实际上与城市规划与区域规划都有十分密切的联系。房地产开发同样具有强烈的地域性和政策性,投资房地产项目,首先要考虑在什么地区开发?究竟开发什么?这些问题显然涉及到区域的经济发展条件和投资环境,关系到国家的产业政策,这也是传统经济地理学研究的内容之一。其次,房地产项目应如何开发?在获取丰厚利润的同时,如何为城市创造良好的社会效益和环境效益?要正确处理这三者的关系,必须掌握城市规划的基本原理和相关知识。由此可见,上述两个应用方向不仅有密切的内在联系,而且都是经济地理学在应用领域的进一步延伸。

7.5.2 城市规划学科毕业论文的选题及题型举例

初次写论文,最好在老师的指导下选择论文题目。选题通常要考虑以下几个方面的问题:①选题的范围不要脱离专业学习的基本内容,最好理论联系实际,应用所学的理论方法解决城市规划、房地产开发过程中面临的问题。例如,可以联系生产实习遇到的问题为题,或现实生活中与本专业有关的"热点"问题为题,甚至一篇好的调查报告经过加工之后也可以成为一篇毕业论文;②论文题目切忌过大、过于空泛,对初次写作的本科学生来说,题目过大不仅难以把握论文的内容和深度,以至于内容空洞,抓不住问题的要领,面且还会加重学生的学习负担。反之,内容比较具体的小题目既容易掌握,还能写得深入;③论文选题要考虑资料、数据获取的难易。有时题目再好,若找不到资料,"巧媳妇也难做无米之炊",例如某学生选择"合理利用北京市地下空间"的题目,就遇到资料问题;④在符合上述三个选题基本原则的条件下,学生若能结合自己的兴趣选题,可以提高论文写作的主动性和创造性,老师应给予支持和鼓励。

题型举例:

(1)土地使用制度改革对北京空间结构和布局的影响

影响城市空间结构和布局的因素十分复杂,该文密切联系我国土地使用制度改革的实践,应用地理学和城市规划的理论,侧重探讨土地有偿使用改革对布局的影响,选题有新意,针对性强,对进一步完善北京的城市布局具有重要的现实意义。由于题目的范围十分明确,学生写作时易于掌握。

(2)北京市住宅区位的选择

区位论是地理、房地产、城市规划的重要理论基础。该文选题不是泛泛讨论住宅区位,面是通过对北京一些居住小区居民的问卷调查入手,总结居民对住宅区位选择的意向,最后上升到理论。选题既有理论意义,又结合现实问题,学生写作论文可以得到较全而的训练。

(3)北海市超常规和超前发展战略剖析

城市社会经济发展战略是规划的重要依据。作者利用参加北海市土地利用总体规划实践的机会,从地理学的角度对当地政府制定的超常规和超前发展战略进行分析,指出这一战略理论上的缺陷和给北海市土地利用带来的不利影响。论文选题不仅理论联系实际,同时可以培养学生独立思考的能力。

(4)从国外的经验看北京市中心商务区(CBD)的规划布局

中心商务区是市场经济的产物。在计划经济时期我国的城市没有这类功能区域。该文应用城市地理的理论,借鉴国外的经验,结合北京市城市规划修订遇到的问题:首都要不要搞 CBD?在何处规划 CBD?提出了新的看法。选题具有重要的现实意义和很强的针对性。

7.6 地图学与地理信息系统

7.6.1 学科简介

本专业涉及三个方向:地图学、地理信息系统和遥感。虽然遥感没有直接出现在专业名称上,但不论从学科的发展历史和趋势看,还是从学科的实践看,遥感作为重要的空间信息获取手段,与地图学与地理信息系统是密不可分的,是相互支持、共同发展的。

1.地图学

地图学是以地图信息传输为中心,探讨地图的理论实质、制作的方法和技术,以及使用方法的综合性科学,地图是人们认识和研究空间环境的有效工具,同时又是对环境认识的一种表达方式。

有文献典籍可考的地图历史可追溯到数千年前,其发展几乎和人类的文化史环境的认识史是同步的。在漫长的发展过程中,广泛的科学技术进步对地图学的发展具有重要的意义。地图制作经历过手工、光学机械、光化学和电子技术四个阶段,自 20 世纪以来,地图学所取得的技术进步,是以往任何历史时期不可比拟的,该时期生产的地图数量,比以前所有历史时期生产的地图数量总和还要多得多。突出的事例是平版印刷术、遥感制图、计算机制图、GIS 等技术加速了制图进程。认识和实践的深化丰富了地图的种类和内容,技术的进步大大加快了地图制作的进程,尤其是电子技术,对地图学的理论和制图方法都产生了深刻的影响。

地图学的发展和重点主要体现在:

(1)专题制图进一步向纵深方向发展。除了地质、地貌、气候、水文、植被、农业、人口等传统专题制图外,还继续开发环境、海洋、医疗、保险以及人文等领域的专题制图,以使专题制图向深度、广度、综合、系统、动态方向发展。

(2)加强数据库的建设。改变传统模拟地图存贮信息的形式,加强基础地理数据库和专题数据库的建设,研究最有效地用于制图目的数据结构,如何保持数据库数据的现势性,数据库比例尺无级变化等都是地图学面临的主要研究课题。

(3)扩大地图应用领域和范围,增加更多地图新品种。包括由二维到多维、由单媒体到多媒体、由静态到动态、由分析型到综合型地图等方向发展。

(4)加强加快地图学理论的技术方法和应用原理的研究。GIS 脱胎于地图,二者都是空间信息的载体,而遥感为二者提供了丰富的数据源。RS 和 GIS 中许多涉及地图学的问题,促使地图学的理论方法和应用技术的研究必须加快加强。包括各种空间信息的传输、视觉感受、信息提取、自动制图综合、模型分析,图形图像与数字的相互转换机制,以及地图应用中的抽象思维能力的提高,地图潜在信息分析利用等。

2.地理信息系统

地理信息系统(Geographical Information System,简称 GIS)是在计算机硬件和软件支持下,运用地理信息科学和系统工程理论,科学管理和综合分析各种地理数据,提供管理、模拟、决策、规划、预测和预报等任务所需要的各种地理信息的技术系统。地理信息系统具有地理数据采集、管理、查询、计算、分析与可视表现的功能。

计算机技术的发展和数字地图思想对 GIS 发展起到有力的推动作用。从 1963—1971 年,加

拿大开发出世界上第一套地理信息系统。在这期间,1965 年 W.L.Garrson 提出地理信息系统术语。

20 世纪 70 年代是地理信息系统发展时期,数据库和图形交互技术的发展推动了地理信息系统技术的进步。

80 年代是地理信息系统成熟时期,国际上先后出现比较成熟的商业化地理信息系统,并在许多领域得到应用。

90 年代,地理信息系统得到广泛的工程应用,WebGIS 对地理信息的共享起到巨大促进作用。

地理信息系统研究的前沿问题:

(1)地理空间的认知模型

(2)融汇地理栅格数据与矢量数据优点的数据结构

(3)多比例尺数字地图的制图综合

(4)超媒体地理信息可视化表现的理论与方法

(5)地理信息编码的理论与方法

(6)地形图和专题图输入的自动化

(7)从遥感图像获取地学专题信息,实现地理数据库自动更新

(8)地学模型库的建模与管理

(9)地理信息系统的智能化(基于知识的 GIS)

(10)空间数据库的研究

(11)三维地理信息系统、时空(四维)地理信息系统

(12)WebGIS 的开发

(13)因特网环境下的地理信息共享与数据安全

(14)GIS 用户界面的友好化技术

(15)遥感、地理信息系统和全球定位系统一体化

3.遥感

遥感的历史可以追溯到 19 世纪末的高空摄影,航空技术的发展使遥感有了稳定可靠的平台,20 世纪 60 年代航天技术的发展开辟了遥感的新时代。遥感目前向着多卫星、多传感器、多波段、多时相、多角度、多极化方向发展,这将使地面获得"海量"的影像数据,因此,需要高速率、大容量的计算机硬、软件的处理功能,需要高素质结构的人才,灵巧的处理数据。

在 80 年代中期以前,遥感主要是依靠可见光、红外为主,遥感应用主要是定性分类,依靠光学图像处理、目视解译和计算机图像处理分类,为资源环境研究提供专题信息。80 年代后期发展的微波遥感(尤其是合成孔径雷达)和高光谱分辨率遥感,定量分析技术与方法迅速发展,并逐步形成了自己的理论体系。当前遥感技术的前沿以建立传感器可测的电学参数与地学物理参数、几何参数、生物学参数、化学参数等参数间的定量函数关系为目标(正问题),实现目标参数反演与重建(反问题),为研究地——气相互作用、人类生存环境的变迁,监测与评估自然灾害,为农业生产、自然资源管理、可持续发展提供定量数据。

7.6.2 地图与地理信息系统学科题型举例

地图学、遥感信息科学与地理信息科学的本科毕业论文选择课题,同样有理论、方法和应用三种类型。

理论题、方法题、应用题可有所侧重，不必面面俱到，但是一般都要使用或编写软件。

选题题型范例如下：

(1)遥感数据中水稻田的识别与提取

(2)花岗岩地区地形高程模型的内插方法

(3)“绿度”与植被覆盖度的关系

(4)遥感影像中山体阴影的消除

(5)丘陵盆地中的坡向、坡度与坡长

(6)某区的土地利用分类

(7)某地的土壤侵蚀量计算

(8)某区冰川面积的计算

(9)海涂面积的量算

(10)某城市市区扩张的速率

(11)某地旅游景点的影像图制作

(12)交通影像图制作

(13)城市交通图制作

无论是理论、技术和应用，都离不开软件，一方面要熟练掌握现有的软件，做到融会贯通，充分发挥各家软件的长处；另一方面在必要的时候能够自己编写部分软件，在编程过程中要按照软件工程的要求来编写，养成编程的良好习惯，并尽可能地请通晓计算机程序设计的教师指导。

第8章　地理学课题研究及论文写作要求

8.1　课题研究

8.1.1　课题研究和论文写作设计

地理学论文一般可分为三类:基础理论型、应用型和技术型。文献综述型论文一般不宜作为毕业论文,因为不利于学生的全面科学研究能力的培养。技术型论文一般指野外观测技术、环境分析技术、年代测定技术、遥感应用技术、GIS 技术应用等。无论是以理论或技术,或应用为主的研究,还是三者结合的研究,在查阅文献的基础上要作论文的总体设计。总体设计包括研究题目的由来,前人的成果,存在的问题,能够解决的目标,如何解决的方法,已有的和需要收集(包括野外实习、观测和人文地理实例考察和调查)的资料与数据,数据的可获得性,工作量的大小与可行性论证,工作量包括编写软件的工作量、输人数据的工作量、数据分析与野外调查工作量,预期的结论,需要的经费,完成的时间等方面的设计。

8.1.2　室内学习

选定题目和论文主题之后,就开始制定明确的研究方案,确定需要重点解决的问题。对于所研究的区域如果不够熟悉,或者对于论文需要应用的理论了解得比较肤浅,必须在计划中安排足够的室内学习时间,在图书馆查阅有关文献资料,或利用国际互联网查取最新信息。大学已学的课程,在一个具体的研究目标面前,往往已知的知识不够深入,因此必须要补充必要的、深人的基础理论、知识、技术等。这是有针对性的学习,要学会在实践中快速学习,以弥补知识结构的不足,注意向专家和师长请教,是完成一项工作和做好一篇好论文的关键。文献目录一般是由导师指定和学生自己寻找结合面定。为毕业论文面进行的室内专门学习至少 2~3 天之后,才能开始对所研究的对象进行调查。室内学习包括对野外实习、观测的一些受访地(单位)的地图、已有的研究文献等资料作预先的了解,在缺少资料时,可以找有关的专家和老师询问有关情况,以便减少实地调查的压力,提高效率。

8.1.3　野外实习、观测

本科生进行毕业论文选题时,除考虑学术和实用意义外,还要考虑其他许多具体的可行性条件。如作者本人的研究水平、可资利用的时间和经费、野外工作条件(包括交通、食宿、气象气候等)、有关观测设备条件、实验分析条件、已有工作基础等。

野外调查、观测和样品采集十分重要,野外调查和观测一定要认真仔细,并作详细记录。对有些典型的地理现象景观要拍照,这些照片不仅是研究者进行分析研究的材料,同时也是作为支持作者观点和所得结论的重要证据。只有扎实的实地的观察资料,才能有充分的、可靠的论据。因此,要不怕受累,不放过细小问题,不耻下问,多问,多记,有了立论,有了设计框架,有的放矢地收集资料与数据,有的放矢地进行野外工作,能够起到事半功倍的效果。充分利用遥感资料进行野外工作是很重要的,影像上不能完全确定的地物必须要靠地面实况的检查确定;影像上已经确

定的地物，应该有适当比例的抽查，确保其可靠性。遥感的野外工作速度快、强度高，应请有经验的导师指导。

8.1.4 人文地理调查

人文地理是属于中观层次的交叉学科，所以调查中摸清细节的微观的数据固然重要，但更重要的是弄清人文地理事物（主体）间的联系，以及有关的政策环境、体制变化等。调查是人文地理毕业论文必不可少的基础性工作，调查过程是丰富思想、明晰研究思路的关键过程，翔实的调查成果辅以恰当的分析，可以实现毕业论文的价值，避免论文束之高阁。调查中要尽量取得各方面的数据，摸清各方面的情况，为以后综合运用各种分析方法提供基础。

调查思路：概括地讲，是“是什么→为什么→怎么办”。

“是什么”，是要弄清调查对象的基础情况，例如，应用工业地理学的知识，从企业入手研究区域时，需要对企业基本情况进行调查：企业成立时间、职工人数与结构、发展简况、产品市场情况、隶属关系和管理体制等。一般从该单位的现成宣传资料可得到基本数据，同时，与负责人访谈可以取得最新的基本数据和情况补充。

“为什么”，是要弄清调查对象在近几年发展中所得成效、所遇到问题的状况及浅层次和深层次的原因。对于调查中取得的有关数据要敏锐地对待，一方面核对无误，另一方面迅速分析，同调查得到的其他情况一起，向受访者问个究竟。许多敏感问题不宜直问，更不宜逼问，而应绕个弯。比如问他是否了解其他同类企业的类似问题，以及他们是怎么看、怎么办的。把“谈自己”变为“评论他人”，往往能获得许多敏感而珍贵的调查结果。

“怎么办”，是要受访人谈谈主观看法和对有关政策、管理体制改革的建议与意见。由于他们长年在基层工作，实践经验与直觉完全可以将所谓的深奥理论用平实的话表达出来，这对于研究思考有很大借鉴意义。但由于业务范围和所处岗位的局限，他们意见可能片面，甚至是牢骚，要注意辨别和认真听取。

调查问题准备：好的调查准备，意味着调查成功了一半。首先，需要拟定调查内容，与组内工作伙伴讨论，针对性地准备一些问题。注意这些问题的期望回答往往不应是“是”或“否”，也不应是对某些数据的修正，而应该是主观性较强的“问答题”，或涉及深层次的调查问题。拟好的问题，要事先记在本子上，以免临场遗忘。

外出调查前，要积极主动地与调查对象联系，例如约好访谈时间、受访人；请求对方准备好有关资料；受访单位或部门的详细地址。然后制定一份具体的调查工作日程表，并预先以电话联系等方式通知受访单位，以取得良好的支持和配合。

调查联系时，不要怕吃闭门羹，根据国情可以直接与单位负责人联系，很客气地向他说明来意，征得对该单位的调查许可，然后经他介绍去下属相关部门调查。这样往往会受到下属部门的热情接待，取得的资料也完备得多。

工作伙伴：一个调查小组以2～3人为宜，人太少不便于详细记下访谈情况，人太多对方接待不便。组内同学即是工作伙伴，调查准备及调查联系等均以调查小组的形式展开。调查形式主要是访谈、发放问卷和索取资料等。组内要分好工，尤其在外出调查前，要将琐事安排妥当。默契合作是调查轻松愉快的必要保证。

物品准备：首先，硬皮本、两支笔是必不可少的；其次，整洁的衣服会给受访人以良好的第一印象。外出调查时，要带上学生证、课题说明及介绍信。

受访单位提供的资料往往是内部资料性质,所以也在相当程度上取决于对学生的信任程度和其他因素。为加强信任,首先要说明来意,包括自己身份、课题性质、如何处理调研成果等。出去调查就是求人办事,一定要谦恭客气,并要讲究章法。

在接受资料时,一定要核实一下是否有错、漏或装订错误,若有则及时更换,并适当地注意资料的系统性。资料越多越好,没用的回来再处理也不迟。

调查回来后,要及时归总资料,以免遗失,同时尽快通阅一遍,因为这是下一步深入调查的预调查,即使该单位调查结束了,阅读基层资料也可以使我们在下一个单位的调查中获得一些有益的启发。调查不是一件简单的工作,更不是一件轻松的工作,但翔实深入的调查是高质量研究成果的基石,对于一个严肃的学者而言,调查既有意义又乐趣无穷。

访谈记录:这是一项辛苦又极其重要的工作,访谈时要尽可能地记下每一句话,不要以为这无关紧要。若漏了数据等,一定要及时补上,重要的总结内容也应一点不漏。回来后,访谈内容要及时整理,这是宝贵的第一手资料。

下面是一般访谈记录的格式:

时间:　　地点:

受访单位:　　受访人:(姓名、部门、职务)

谈话内容:

赵:……

钱:……

孙:……

李:……

⋮

⋮

访谈小结:

内容纲要:……

调查启发:……

访谈记录最好能在计算机上录入,若来不及,至少也应整理成以上格式的清晰文字。形成访谈的阶段性报告和问卷分析。

调查资料汇总与处理:对回收的问卷调查要及时汇总,并进行图表化等处理,以便深入分析。现在大多用计算机的一些软件包如 excel,spss,citystar 等来建立数据库并进行各种处理。

首先要对问卷编号,其次为每一个提问编码,以便输入。数据库的结构与大小可根据研究的具体需要而灵活掌握。利用软件包可作些分布图、线状图及立体图。有时需要将数据落实到各种地图上,这时可用数字化仪作出研究地域的底图,然后手工或用 photoshop 等软件做专题图。

另外,调查中获得的影像资料可直接在论文中引用,也可用扫描仪扫入计算机后编排于文章中。

8.1.5 软件使用和编程

当代地理学研究发展很突出的一个特点是地理信息化,无论是理论研究,还是应用研究和技术研究,都要用计算机对资料与数据进行统计分析与处理,要善于使用图表等形象可视的工具。特别是信息系统专业,无论是理论、技术和应用,都离不开软件,一方面要熟练掌握现有的软件,

做到融会贯通,充分发挥各家软件的长处,另一方面在必要的时候能够自己编写部分软件。在编程过程中要注意按照软件工程的要求来编写,养成编程的良好习惯。尽可能地请通晓计算机程序设计的教师指导。

软件编写要精炼,操作稳定可靠,屏幕显示合理美观;或者熟练灵活地使用多种软件,应用目的明确,具有实用价值,资料、数据经过实践检验,定量数据有精度与误差分析,有用户的验证证明。

8.2 论文写作要求和论文的评阅

8.2.1 论文的格式

关于本科毕业论文写作一般格式,包括题目、论文摘要(含英文摘要)、关键词、主体内容、附录、后记和参考文献等,在理学卷总论中已有论述,这里只就地理学论文的一些特殊要求作若干补充。

1.论文写作。写作前应编写较详细的大纲,包括:论文的结构,基本观点,主要依据,以及各部分大体的字数。初稿完成后,应在导师的指导下进行反复修改,直至最后定稿。对于初学者来说,一篇好的论文不是写出来的,而是"改"出来的。

2.区域地质地理情况或工作区的自然、经济、人文概况和前人工作成果,本人工作情况等简介。本部分是培养学生资料搜集、分析、归纳、整理的能力,提高学生分析问题和解决问题的能力。这部分内容要特别注意详略得当。与所研究问题关系不大的地质地理背景情况尽可能简单扼要地介绍,而与所研究问题关系较大的内容可以较为详细地介绍。如研究构造地貌的论文,可对区域构造地质情况介绍较详;研究第四纪气候变化的论文可对区域的气候状况作较多介绍;研究流水地貌的论文可对区内降水和水文情况作较详细介绍。

3.研究工作结果表述。这部分是论文的主体,占最大篇幅。其内容是将所有研究工作所获得的第一手资料,通过文字、图表、照片等形式系统地加以表述。一般包括野外调查结果、测量或定位观测结果、实验室分析结果等。有些数据可通过计算机处理,统计分析后制成一定的图表形式加以表述。根据研究工作和所获取资料数据的类型等情况,以确定本部分内容写成一章还是写成若干章。如研究第四纪环境变迁的文章,可将地层划分、古地形、古水文演变、古气候演变、古土壤演变、动物群和植被面貌的演变以及考古文化特征演变等问题的研究工作情况和结果分章写出。如内容较少就可以写成一章或一章的若干节。这部分内容对文章质量的影响很大。如研究工作深入细致,获取数据资料多,所得结论就可靠,论据也显得充分。否则,就会显得研究不够深入,论据不够充分,结论也就不太可靠,论文质量就大受影响。这一部分要显得比较厚重,不能靠文字堆砌,没有必要的文字堆砌,只能损害论文质量。所以关键在于研究工作的深入细致,获取资料数据尽可能多,面文章写作表述时则须尽可能精练才行。

4.研究结果讨论与结论。这部分内容主要是依据本次工作研究结果,结合国内外关于同类问题的已有论述,得出明确的结论。结论或者是证明国内外其他地区关于同类问题研究所得出的结论,或者否定其他地区已有的结论,或者部分修正已有结论,或者所提出的结论是从来没有人涉及过的。无论何种情况,都是十分有意义的。论文不可以没有结论或结论含糊不清。这部分内容可以写成一章。可同上一部分研究工作表述一起写,即介绍研究结果的同时加以讨论并

作出结论,即使在这种情况下也还可以单列一部分将本文的主要结论一一列出。

8.2.2 论文的评阅和评分标准

本科论文的成绩评定可以采取通过论文答辩的方式或者由几位教师共同评阅的方式,一般以答辩的方式较好,因为让学生报告论文的要点并回答教师的提问,也是一种重要的科学研究能力训练。包括学生的口头表达能力、对提问的快速反应能力、有关内容的提炼组织能力、幻灯、投影等学术内容的辅助表达手段的运用和制作能力等的训练。有些学校在毕业论文成绩评定时,结合答辩情况、论文评阅、野外工作记录、实验分析结果原始记录等进行综合评定,实际上是对学生围绕毕业论文所进行的科研实践全过程的评定,值得提倡。

论文的评分标准,各学校会有所差异。以下几方面标准可供参考:

(1)论题和结论的科学意义。主要考查毕业论文选题及所解决的问题和结论的科学意义,有无理论意义、实用意义或技术创新意义,有没有提出新观点、新结论,或为某一问题的解决提供新资料等。

(2)研究工作的深入细致程度。包括野外工作、实验分析工作的质和量的水平,资料、文献的分析整理工作等的深入细致程度。要求资料、数据可靠,论证充分,结论准确。这方面不仅是作者论据的充分翔实程度的反映,面且是作者工作能力和工作态度的反映,因而也是论文评分所考虑的重要方面。

(3)论文中所体现的作者理论水平,本科专业知识掌握的程度和综合运用能力。

(4)论文文理是否通顺,层次是否清楚。图件、表格是否美观并且符合科学要求,论文写作格式是否规范。

(5)文献检索和综合分析能力。

(6)整个论文工作中所表现出的各方面工作能力,分析解决问题的能力。即考查学生是否已具备初步的科学研究能力。

(7)论文答辩的表现,是否正确地回答了问题。

毕业论文包括了学术与素质两方面的考核,分优、良、中、及格、不及格五级分制比较合理。两头小,中间大。优与不及格是少数,大多数人可得良、中、及格。

优:论文基本上可达到各级公开出版的学术刊物发表的水平。

良:论文已达到了科学研究的基本训练的目的,可在各种学术会议上交流,经修改补充后可达到公开发表的水平。

中:论文基本上达到了科学研究基本训练的要求,有一些可以修改的错误与不足。

及格:论文基本上达到了科学研究基本训练的要求,有少数不可修改的错误与不足。

不及格:论文没有完成科学研究基本训练的要求,有重大错误或论文未完成。

第9章　地理学科本科毕业论文范文点评

9.1 《北京市土地资源的遥感综合调查及研究》点评

崔宏国的毕业论文"北京市土地资源的遥感综合调查及研究"(论文附后)是一篇合格的论文。

首先,论文是在导师承担的《三北防护林遥感综合调查及研究》的生产科研任务基础上选定的,该项研究是国家重大自然环境整治、保护任务,同时结合自然地理学重要研究领域土地资源,因此,有科学和生产意义。

第二,作者在查阅文献资料的基础上,参加了半个月的野外工作,在教师带领下为TM影像判读建立解译标志进行工作,通过野外考察,学生的工作能力得到提高。

第三,进行北京地区的TM片解译,完成北京市土地资源评价图基本可靠。

第四,作者在综合分析的基础上提出的"关于北京建设和发展的几个问题"可供有关部门参考。

该文思路清晰,论据可靠,文字流畅,有自己的观点和见解。

论文叙述中也有不足之处:如北京气候"秋季凉爽湿润,但冬夏长,春秋短……"欠准确。又如地理位置"E115°25′~117°30′"准确写法为"东经115°25′~117°30′"或"115°25′~117°30′E";走向"东北东-西南西"准确写法为"东东北-西西南"或"ENE-WSW"。所参考的文献在正文中没有标注号码,文献书写的顺序也不规范。另论文抄写中有错字、遗漏,无论文英文摘要和关键词。

题目:北京市土地资源的遥感综合调查及研究

作　　者　北京大学城市与环境学系86级　崔宏国
指导教师　吴月照

前言

1989年10月本人和同学胡华、史新伟在吴月照老师和分校张妙弟老师的带领下,参加了由中国林业科学院遥感所领衔承担的"三北"防护林遥感综合调查华北片(北京地区)的外业工作。"三北"即我国西北、华北和东北的简称。"三北"防护林体系是目前世界上十大生物工程之一,该体系的建立对于改善"三北"地区的生态环境,及合理开发"三北"地区的经济意义远大。

"三北"防护林遥感综合调查是国家"七·五"重点科技攻关课题,其目标是根据国家经济管理部门的要求,在"三北"的重点造林区应用遥感技术调查防护林(重点是成林)的类型、分布和保存率;草场的数量、质量和分布;土地资源的类型、分布、数量、质量和利用现状,在这个基础上,建立"三北防护林区资源与环境信息系统,实现对防护林的动态监测,并对防护林的生态效益和经济

效益以及不同地区造林适宜性作出分析评价，为“三北”地区综合治理提供连续可靠的数据、分析资料和图件。

我们这次野外考察是1989年10月7日开始的，历时半个月。考察范围概括起来是“北四县、南三县”，即北部的延庆县、怀柔县、密云县、昌平县，南部的大兴县、房山县和丰台区。具体的野外工作方法是路线考察、定点观察记录。我们自然地理组每到一点都要记录该点的土壤、植被、地貌及岩石成土母质等自然因子，并对照遥感卫星影像，以期建立遥感影像的室内解译标志。遥感影像的室内解译标志的建立是野外考察的主要目的。兹根据实地考察收集到的第一手资料，考察中收集到的各区县自然和经济方面的资料，前人的研究资料并结合1:50万北京市TM遥感卫星影像完成此文。

一、北京市自然条件和社会经济条件

1.自然条件

北京市位于华北大平原的西北隅，四周被河北省包围，仅东南一部分与天津接壤。北京是我国的首都，全国政治、经济、文化和交通中心。北京市地理位置为115°25′E～117°30′E，39°28′N～41°5′N，总的地势轮廓是西北高，东南低。东南部为冲积平原，习称“北京湾”，是华北平原的组成部分，海拔高程10～50 m。西部和西北部为连绵不断的山体。西部山脉统称为西山，属太行山北翼，由一系列北东—西南向的褶皱山地组成，主要山峰有东灵山（海拔2 303 m）、笔架山（1 448 m）、百花山（1 991 m）、白草畔（1 980 m）、老龙窝（1 646.5 m）、青水尖（1 528 m）和猫耳山（1 307 m）上寺岭（1 307 m）等。岩性组成主要为石炭岩、沙页岩和中性火山岩。北部山地统称燕山，为镶嵌着若干山间盆地的断块山地，走向为东北东—西南西向，燕山山脉分南北二支，北支为海坨山，南支为军都岭。两山斜交至延庆东部汇合，两山之间形成一个东北—西南向的盆地—延庆盆地。主要山峰有海坨山（2 334 m）、南猴顶（1 690 m）、龙台山（1 573 m）、清水顶（1 528 m）、黑坨山（1 534 m），云蒙山（1 414 m）向东连续至东部边界的雾灵山（2 116.2 m），岩性组成有花岗岩、片麻岩、沙砾岩及石灰岩。延庆盆地为一断陷盆地，海拔高度475～510 m。燕山和西山山前均分布着相对高度几十米的岗台地和相对高度100～200 m的丘陵。地势由岗台地向山体逐渐升高，最后向西投入山西高原和向北投入内蒙古高原。总之，北京地形可以概括为一个冲积平原、两个山体和盆地。在每个大地貌单元内，由于内外营力的差异，使光热和水分在地表产生再分配，从而使不同地段的物质与能量的组合转变形式产生差异，构成地表不同的水热类型，并由此产生不同的植被和土壤，从面分异出不同属性的土地。可见，地貌因素在北京土地类型的划分中起着主导作用。

北京属于暖温带半湿润季风气候，表现为冬季寒冷干燥，夏季温暖多雨，春季干旱多风沙，秋季凉爽湿润，但冬夏长，春秋短。

在土地的形成分异过程中温度和水分的空间差异起着关键的作用。气温的分布，平原地区年均温11.2～12.3℃。在山区随海拔不同温度亦发生变化，丘陵和低山年均温一般在9～11℃，中山气温最低，气温＜8℃，海坨山、东灵山年均温仅约2℃，延庆盆地由于处于军都山岭北，地势较高，又处西北风汇侵通道，气温亦低，年均温8～9℃。北京的降雨，大致可以以军都山和西山笔架山—东灵山脊线为界，山脊线以南和以东，由于西向夏季海洋季风，雨量丰沛，年降雨量大于600 mm，多数地区超过650 mm，最大雨量区为怀柔八道河和门头沟大石河一带，为北京多雨量带。由此带向东南平原区，雨量又逐渐减少，大兴通县一带降雨不足600 mm；由此带往西，雨量

减少尤甚，至延庆盆地，年雨量大部分地区不足 550 mm，延庆盆地的康庄，年雨量仅 416.9 mm，为北京市降雨最少的地区。温度和降雨的上述分布规律，决定了本市区域内的水热特征差异并由此组合成不同的水热类型，反映了不同的生态条件。本市东部地区大约海拔 800 m，西部地区约 900～1 000 m，此线以上山地温度较低，蒸发较弱，气候较为湿润，反映了凉湿类型，适宜于森林的生态环境，此线以下，东部地区降至海拔 350 m，西部地区大约降至 350～400 m，温度较高，蒸发增强，湿润程度不及前者，是凉湿和温暖半湿润过渡类型，属疏林灌丛生态环境。海拔 350 m 以下，热量条件高，蒸发强烈，旱象明显，属温暖半湿润类型，是旱中生灌草丛生态环境，至于平原地区，地下水位较高，水分条件好，非地带性因素明显，原生环境属中生杂类草草甸生态环境。

植被和土壤与水热关系最为密切，土地类型研究往往通过植被和土壤的不同反映它们彼此间质的差异性和相互关连性，是反映地理环境差异的两面镜子。因此，土地的分类指标是通过这两个要素作为其分类依据的。北京市植被和土壤具有如下分布规律和组合形式：山前岗台地及丘陵地，在东部大约 350 m 以下，西部 400 m 以下，延庆盆地北部大约 510～700 m，植物群系反映了半旱生生活型，主要建群种灌丛有酸枣、草本白草、黄草、洽草等；土壤为碳酸盐褐土。往上植被为旱中生灌丛，主要植被为蚂蚱腿子、达乌里胡枝子、三桠绣线菊、溲疏等，草本有苔草、野青茅、大油芒等。土壤为淋溶褐土，但其分布上限东西不一，南北有别，东部山地为海拔 800 m 左右，西部山地和延庆盆缘山地可上升到 900～1 000 m。再往上，大约直至海拔 1 600 m 以下，为落叶阔叶林地带，主要建群树种在阴坡有杨、桦；半阳半阴坡有杨、桦、椴等组成的杂木林；阳坡主要为蒙古栎和辽东栎林，当森林破坏后，退化为中生灌丛，主要有二色胡枝子、平榛、毛榛、兰荆子、锦带毛、野古草等。土壤为典型棕壤和生草棕壤。再往上大约海拔 1 600～1 900 m，植被除了落叶阔叶树种外，亦适宜华北落叶松和云杉等针叶树种生长，不少山区由人工播种的落叶松和云杉长势均很好，通常称为针阔混交林带。土壤多为典型棕壤。本区超过 1 900 m 的山峰有东灵山、海坨山和百花山等，阴坡大约海拔 1 800 m、阳坡海拔 1 900 m 以上除局部地段有灌丛杂类草外，为次生草甸植被，土壤发育成为生草棕壤，大约在海拔 2 100 m 以上为原生草甸，发育有山地草甸土。

下面是一组实地考察记录情况。（表 1、图 1）

表 1　1:50 万北京市土地资源评价

编号	地点	海拔/m	坡度	坡向	成土母质	土壤	植被		
							名称	总盖度	多度(或百分比)
No.1	大灰厂北丰台门头沟交界分水岭坡顶	250	20°	西坡	绢云母、石英片岩、坡积物	淋溶褐土	苔草＋白草群落	90%	苔草 COP_2 60% 白草 COP_1 25% 紫花野菊 SOL 2% 顺坡溜 SOL 3% 荆条 SOL 酸枣 SOL

续表

编号	地点	海拔/m	坡度	坡向	成土母质	土壤	植被		
							名称	总盖度	多度(或百分比)
No.2	霞云岭北凉水泉村西南500m	400	40°	西坡	石英岩、坡积物	粗骨性褐土	野瑞香白草+顺坡溜群落	75%	枣榆 SOL 5% 野瑞香 SP 20% 荆条 SP 10% 鼠李 SOL 铁杆蒿 SOL 白草 COP1 30% 顺坡溜 SP 15% 多花胡枝子 SOL
No.3	昌平黄土梁北分水岭公路东侧	640	20°	西坡	花岗岩、坡积物	淋溶褐土	辽东栎萌生丛群落	90%	孙东栎萌丛 COP1 红丁香 SP 虎榛子 SP 三亚绣球 SP 荆条 SOL 顺坡溜 COP1 野青毛 SP
No.4	房山堂上村与仆洼之间分水岭上	1 240	15°	北坡	砂泥叶岩类残积	山地棕壤	造山白+绣线菊+野谷草顺坡溜群落	40%	造山白 8% 绣线菊 12% 野谷草 10% 顺坡溜 10%

2.社会经济情况

作为我国首都的北京土地总面积 16 427 km^2,其中山地、丘陵约占 61%,平原占 39%。全市共有 19 个区县。地区有东城区、西城区、崇文区、宣武区,面积 87.1 km^2,占全市面积的 0.5%,近郊区有朝阳区、海淀区、丰台区、石景山区,占全市面积的 7.6%,远郊区有门头沟、燕山、房山、大兴,及平原县通县、顺义,其他为半山区或山区县。

全北京市现有人口 1 001.20 万,市区 679.37 万。全市非农业人口 614.25 万,占全部人口的比重为 61.35%。

全市耕地面积 42.58×10^4 hm^2,占全市总土地面积的 25.92%,其中近郊耕地约 5.06×10^4 hm^2,占总耕地面积的 12%,远郊耕地占 88%。粮食产量 1989 年 18.6×10^8 kg,91%产于远郊区;蔬菜 17.6×10^8 kg,63.6%产于近郊区。

全市 1989 年全部工业总产值 293.6 亿元,农业总产值 52.2 亿元。其中种植业 30.1 亿元,林业 0.8 亿元,牧业 18.5 亿元,副业 1.2 亿元,渔业 1.6 亿元。

二、北京市土地资源形成的土地类型分异影响因素

土地是由具有相互作用的各种自然地理成分(地质、地貌、气候、水文、土壤、植被等)组成的自然地域综合体,是地表自然界漫长历史发展的产物。因此,我们进行某一区域的土地类型划分

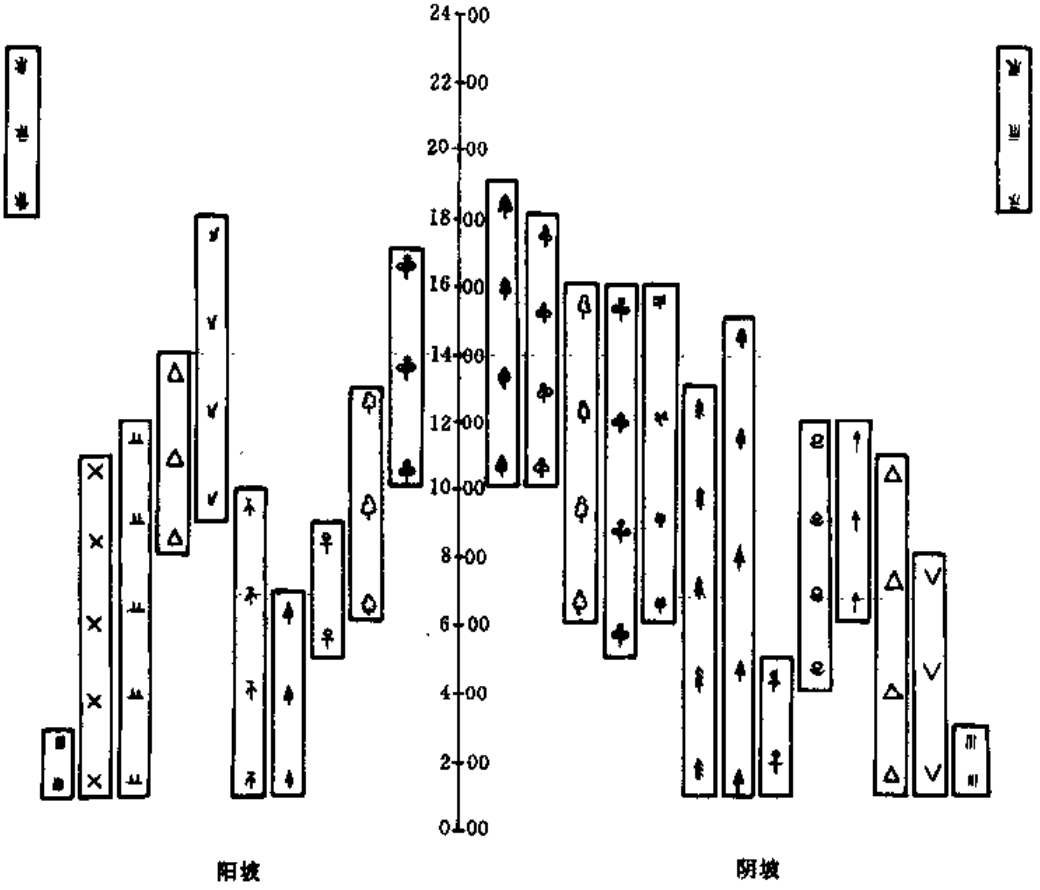


图 例

油松林
辽东栎林
桦树林
山杨林
北鹅耳枥灌丛
华北落叶松林
山楂灌丛
荆条灌丛
栓皮栎林
鹅耳枥、三桠绣线菊混杂灌丛
侧柏林
平榛灌丛
沟谷杂木林
槲树林
绣线菊灌丛
栎树林
三桠绣线菊灌丛
灌草丛
山地草甸

图 1　北京山区主要植被类型垂直分布图

时,必须先弄清影响该区域土地分异的各自然因子。下面分区进行说明。

(一)山区

北京山区土地分异的主要因素有以下几方面。

1.地势起伏引起诸自然地理成分的垂直变化

北京山区地处我国三级地势阶梯的第二级的前缘，与地势低平的属第三阶地的华北平原相连，是地势明显转折的区域。北京山区地势的巨大起伏重新分配了大尺度地域分异所决定的该区的水热条件，使水热状况随高度的增加面发生有规律的变化，并引起各自然地理成分发生相应的垂直变化。以植被和土壤为例，百花山的土壤和植被与高度有以下关系：1 000 m 以下为褐土和旱中生、中生灌丛；1 000～1 850 m 为棕壤，生长落叶阔叶和针阔混交林及中生灌丛；1 850 m 以上是生草棕壤，植被为林间草地。这种垂直带性是本区土地分异的主导因素，也是土地分类和分等的主要标志，同时影响着土地的结构。

2.山地结构和大气环流的形势对水热分布的影响

由于地质构造的关系，北京山地的轮廓是由一系列平行的东北向的山脉和间于其间的谷地组成。这种岭谷相间的行列式组合方式，不仅对土地结构有明显的影响，而且山脉的排列正好与大气环流正交，这种山脉与大气环流的构式对水热分布有较大的影响。夏季在夏季风影响下，从海洋来的湿润气团，到山地上升和很容易降雨，从面导致同一条山脉的迎风坡的降水量远大于背风坡和山后的谷地。例如怀柔县云蒙山—黑陀山，海拔 1 400～1 500 m，地处迎风坡的椴石岭的年降水量达 700 mm，而位于背风坡的河谷的汤河口还不足 400 mm。此外随着水分来源距离的增加，降水量也逐渐递减。例如北京山前地带年均降水量达 700～800 mm，而西北部和北部仅有 400～500 mm，地处最西北的延庆，年均降水量只有 400 多毫米。

冬季在冬季风的影响下，从西北来的寒流受山脉的阻挡，降温也显著减少。背风的前山地带一月平均温度要比西北部高五度多。这除因地势低以外，还因地处背风地带，故降温减少。

上述情况势必影响到土壤和植被的分布，从面影响到土地类型的性质和分布。

3.地表物质(岩性、土质)所引起的分异

地表物质的不同，不仅强烈地影响地貌形态，也影响到水分状态、植被和土壤的发育。因此地表物质也是引起土地分异的重要因子。

(二)平原地区

平原地区、土地类型的分异就没有山区那样复杂了。整个平原区，大的自然条件，如光热、降水、气温基本一致，所以影响土地分异的因子只是微地貌和地下水位的变化。

1.微地貌因子　从地貌形态类型方面看，北京平原除了较大的河流冲积平原外，还有高低不一的山前残丘、山前台地，大小不一的山麓洪积扇以及扇缘洼地。在平原内部也还有自然堤、河漫滩、滨河洼地、河间洼地、古河床等多种类型嵌入，这种微地貌的不同制约着地表径流分布和地下水位，从而决定土地类型。

2.地下水位

北京是严重缺水的地区，目前地下水大量开采，地下水位迅速下降，这也影响着土地类型的分异。如目前北京地区脱潮土面积增大，就是由于地下水位下降，潮土向脱潮土转化的结果。

三、北京市土地资源的遥感分析及评价

1.遥感图像的解译

遥感技术在地学方面的应用，使地学研究在理论上和方法上发生了一次重大突破，使地学研究的广度和结果的精确性都达到了前所未有的境地，这是地学方法论上的一次革命。

遥感技术地学应用的原理就是利用传感器对地物反射和发射的电磁波谱所负载的地物特征性质(如形态、光泽、颜色、亮度等)的吸收、合成处理,转化成影像信息,然后通过对遥感影像的分析解译,得出地物各方面的特征性质,达到认识目标地物某方面性质的目的。

这次论文所使用的1:50万TM假彩色合成国土资源卫星遥感影像,成像时间是1987年9月26日,与我们野外考察时间(10月7日~10月20日)在时令上基本吻合,所以时令误差较小,比较合理。

TM陆地卫星影像采用的是多波段的扫描仪,影像上记录了地物四个光谱段的光谱信息(0.5~0.6 μm,0.6~0.7 μm,0.7~0.8 μm,0.8~11 μm),较为全面,是对地物原貌较为真实地再现。但作为遥感解译,1:50万比例尺显然太小,要想对地物细微特征进行分析解译显然不太准确,在这种情况下,要完成此土地资源的评价,还须借助于北京地区的地形图、土壤图、植被图等已有资料作为参考。

遥感影像解译标志的建立是解译影像的前提。土地资源遥感影像解译标志有以下几方面:

(1)形态分析:以图像上的形态特征为传递信息的"媒介",图像上的影像形态反映有关要素的顶视几何投影,以形态大小及纹理揭示它的外形及建成规律,是遥感解译中直接标志的依据。在1:50万北京市遥感图中京密引水渠(丘陵)、永定河、拒马河、潮白河等以形态相区分,而平地、丘陵坡地、低山坡地等则以纹理相区别。

(2)色调分析:以色调作为传递信息的"媒介"。它反映有关要素的表面波谱反射特征,揭示其组成结构及与环境的相互关系。色调虽因受多种因素的影响而发生变化,但是它鲜明显眼,分辨率高。植物类群、水体状态、阴阳坡向都以色调相区别。如影像中菜地呈鲜红色,河漫滩呈灰白色,水体呈蓝色。

(3)空间结构图式分析:是形态和色调分析的复合。它反映不同土地单元或要素之间的相对位置、聚散趋势、数量关系和质量对比,以排列顺序、疏密变化、频度高低和优劣程度体现出来,是土地资源评价中最常见的信息传递"媒介"。不同地貌类型、土壤类别和植物类群在空间上都是有一定排列顺序的,落叶阔叶林和疏林灌草丛等以数量对比为主要差别依据。在TM北京市遥感图中,从平原开始依次分布着河床、河滩地、低平地(稻田)、平地(水浇地)、平缓地(旱地)、坡地(梯田)、灌草丛、陡坡、山地(林地)等。

在进行影像解译时,还需在地学、生物学规律指导下,进行相关分析,以期借助于各因子之间的自然关系,反映出地物的特征。

1:50万TM影像由于比例尺较小,只能宏观解译区域的山川大势,如中山、低山、丘陵、台地、河谷及平地等,山地阴坡和阳坡的乔木长势差异亦大体可辨,可确定针叶树林还是阔叶树林及某些树种,但不易确定是桦杨林还是(阔叶树林)栎树林。灌丛草地类型由于丛状分布,覆盖度较低,图像呈蓝灰间灰白色,但灌丛与草地间的具体类就不太易区别。

2.土地分类原则

土地资源评价的目的,是以土地的生物生产潜力为中心,对不同土地单元进行质量评价,查清土地资源的质量、数量和分布,以根据土地的适宜性确定土地的最佳利用方向;根据土地的限制性因素类型及其强度,因地制宜地制定治理和改造措施;根据土地的区域组合,确定相应的区域的合理用地结构,为提高土地的生产效益、经济效益和生态效益服务。为此在对土地资源进行农、林、牧综合评价时,应采取以下基本原则:

(1)综合分析和主导因素相结合的原则　在全面研究土地综合特征的基础上,突出对土地自然属性和生产潜力起决定性影响的因素。

(2)生产性原则　主要考虑土地的适宜性和限制性状况,为土地的合理开发、治理及"三北"防护林体系的建设提供科学依据。

(3)生产效益、经济效益、社会效益、生态效益综合考虑相结合的原则　突出考虑其生态效益和经济效益,体现出"三北"防护林宏大的生物工程的精神意义。

(4)技术上的先进性原则　在土地单元的划分上,以遥感图像的可显示性为重要前提,同时重视应用生物学、地学规律进行相关分析。

3.土地分类、评价系统

(1)限制性因素的选取和其限制强度的评级

土地资源评价的核心是评定土地的质量。土地质量的优劣,取决于地理综合体中生产因子的组合特点和它对植物生长的协调能力。不同生产性因子对土地质量影响的强弱,则视它们各自所起作用的性质而定。在不同地区和不同场合,同一因子所起作用的性质是互有差异的。土地评价系统采用土地适宜性、土地质量等限制性因素类型,土地资源评价单元为评价序列的组合分类系统。所以在具体确定分类系统时,针对区域具体情况,选取恰当的评价指标,是进行土地资源评价的首要环节。在北京市的具体条件下,地貌类型对物质和能量的再分配作用,控制着区内的水热条件的区域差异和垂直差异是土地质量差异的主导性影响因素。同一地貌单元中,土地质量的差异,则由次一级的地貌因素所决定,如海拔、坡向、坡形、坡度以及地貌部位等。所以地貌形态和类型又是本区土地资源评价的主导性影响因素。表2是本区地貌分类。

表2　地貌类型表

地貌形态类型	划分的主要依据
亚高山	海拔大于2 000 m的山地
中山	燕山海拔高于700 m,西山海拔高于800 m,相对高度大于200 m的山地
低山	燕山海拔低于700 m,西山海拔低于800 m,相对高度小于200 m的山地
丘陵	起伏小、相对高度70~200 m的山地
台地	具有台面的堆积或剥蚀地形、相对高度50~70 m
平缓地	相对高度7~15 m的坡积裙、洪积扇
平地	地面平坦的冲洪积平原
低平地	平原内面积较大的凹地
沟谷地	无明显阶地发育的漫滩、阶地和坡积洪积裙的复合体
河滩地	无土壤发育的河滩地

区内不同地貌类型和不同地貌部位上生长着相应的植被类群,形成了相应的土壤类型。植被和土壤是决定土地类型的重要因子,根据1:50万比例尺,我们将植被分到群系组,土壤划分到亚类。

土地质量等级以限制性因素的限制强度为主要划分指标,不同地区限制性因素是不同的,不

同的景观类型,其限制强度也不相同。表3是本区土地资源评价限制性因素分级情况。一个土地评价单元,往往受多个限制性因素的制约,这时就要采用突出主导限制性因素的办法,找出限制性最强的因素,作为评价的因子,也可以采用复合因子方法。

表3 限制性因素表

指标/限制因素 / 等级	坡度 (P)	水源保证率 (W)	积水程度 (t)	细土层厚度 (d)(m)	土壤质地 (m)	盐渍化程度 (s)	土地侵蚀 (e)	温度状况 (c)
0	平地 <3°	水源充足灌溉方便	不积水	>50	中壤	无	无	温暖
1	平缓地 5°~7°	水源有保证	偶有积水	30~50	轻壤	轻	微	温积
2	缓坡 7°~15°	水源基本有保证	短期积水	15~30	沙壤重壤	中	轻	温凉
3	斜坡 15°~25°	水源保证率差	季节积水	<15	细沙土粘土	重	中	凉
4	陡坡 25°~35°	水源无保证	长年积水	<5	细沙重粘土	盐土	强	冷凉
5	急陡坡 >35°			裸岩	沙砾		特强	冷

(2)土地资源评价系统

土地资源分类系统是土地资源评价图所表现的基本内容,土地资源评价属农、林、牧综合评价,依据区域各自然因子的特点及其组合方式和水热条件制约下的生态特征和生产潜力,依据地貌、土壤、植被类型,参考限制因素得出北京市土地资源分类系统。系统由4类8等36种土地评价单元分层构成,见表4。

表4 北京市土地资源分类系统

类型	等级	代号	名称	限制因素
(一)宜农宜林宜牧类	一等地(A)	A_1	水稻土低湿地	无
		A_2	潮土平地	
		A_3	脱潮土平地	
		A_4	潮褐土平地	
		A_5	碳酸盐褐土平地	
	二等地(B)	B_1	盐化潮土低湿地	S1
		B_2	砂姜黑土平地	S1
		B_3	碳酸盐褐土平缓地	W1
		B_4	淋溶褐土平缓地	W1
		B_5	碳酸盐褐土沟谷地	M1
		B_6	淋溶褐土沟谷地	M1

续表

类型	等级	代号	名　　称	限制因素
(一)宜农宜林宜牧类	三等地(C)	C_1	中生灌草丛碳酸盐褐土平缓地	d2
		C_2	中生灌草丛淋溶褐土平缓地	d2
		C_3	中生灌草丛碳酸盐褐土岗台地	W2
		C_4	中生灌草丛淋溶褐土岗台地	W2
	四等地(D)	D_1	旱中生灌丛杂草碳酸盐褐土丘陵地	P_2M_2
		D_2	旱中生灌丛杂草碳酸盐褐土低山地	P_2E_2
		D_3	中生灌丛淋溶褐土低山地	P_{2-3}
		D_4	典型落叶阔叶林棕壤中山地	P_{2-3}
		D_5	河滩沙土地	M_{3-4}
(二)宜林宜牧类	五等地(E)	E_1	灌草丛碳酸盐褐土丘陵地	P_2E_2
		E_2	疏林灌草丛碳酸盐褐土低山地	P_2E_2
		E_3	疏林灌丛淋溶褐土低山地	P_3E_2
		E_4	落叶阔叶灌丛棕壤中山地	$d_{2-3}C_2$
		E_5	落叶阔叶林棕壤中山地	P_3C_2
		E_6	杨桦林棕壤中山地	P_3C_2
	六等地(F)	F_1	半旱生杂草粗骨性褐土丘陵地	E_3d_4
		F_2	半旱生杂草粗骨性褐土低山地	E_3d_4
		F_3	旱中生灌草丛淋溶褐土低山地	$P_{3-4}d_3$
		F_4	中生灌草丛粗骨性棕壤中山地	E_4d_4
		F_5	中生杂类草棕壤中山地	$P_{3-4}C_2$
(三)宜牧类	七等地(G)	G_1	河滩沙地	M_{4-5}
		G_2	杂类草草甸土亚高山	C_4P_{3-4}
(四)不宜农林牧及不作评价类	八等地(H)	H_1	裸岩	暂不能利用和不作评价
		H_2	水库或湖泊	
		H_2	城镇用地	

4.各等级土地的适宜性

I.宜农林牧土地类

土地的生态条件适宜于农业、林业和牧业生产,可依其对农作物、林木和草地的适宜广度和限制性因素强度,分四个等级。

一等地(A):土地质量好,地面平坦,土层深厚,土壤肥力高,一般措施下,农林牧都能获得高产,且不致引起土地退化。此类土地广泛地分布在北京平原地区。

二等地(B):林业和牧业上仍属好地。自然状态下能天然更新,生长效率高(但较一等地略低),是营造农田防护林、苗圃的主要对象。农业利用上受某些限制,其限制强度小于一级,只要采取一定措施,也可获得较高的产量和防止土壤退化。

三等地(C):较差的农业用地,对林草生产仍属好地。农业上只有采取较大改良措施,才能稳产高产。其限制强度可达二级。此类多分布在山前冲洪积平缓地上和岗台地上。

四等地(D):虽仍适宜于农林牧多种利用,但农业利用上受到很大限制,只能勉强从事农业。是退耕还林还牧的主要对象。林业利用上是较好的土地。此等地其限制因素强度一般超过二级,但最大只能达到三级。

Ⅱ. 双宜(宜林牧)类

土地的生态条件仅适宜进行林业和牧业生产,质量较差,需把利用和保护放在同等重要的位置,才能遏制土地的退化。根据土地的限制性因素强度,可分为两个等级。

五等地(E):生态条件适于林牧生产,但又有明显的限制。林业效益较高,在自然条件下,林木能天然更新。限制强度可达三至四级,通常坡度大,土层较薄,易遭侵蚀。

六等地(F):土地的生态环境适于林牧生产,但又有明显的限制,只有采取人工抚育措施,乔木林才能更新,其限制性因素强度一般达到四级,土层薄且遭一定侵蚀。利用时,要把治理放在重要地位。

Ⅲ. 宜牧类

土地的生态条件仅适于牧业生产,乔木林不易生长,土地的水热状况差,且生物土壤条件已遭一定破坏,或遭侵蚀,或较冷凉。限制性因素可达四级,且常常不止一个。它只有一个等级——七等地(G)。开发时要把保护和治理放在首位。

Ⅳ. 不宜农林牧和不作评价类

土地生态条件不具有直接生物生产能力(通常没有土层发育)或城镇用地、水体等,为八等地(H)。

附 1:50 万北京市土地资源评价图。(略)

四、关于北京建设和发展的几个问题

1.北京市林业发展现状及宜林地的布局与保持问题

北京市林区主要分布在西部和北部山区,在平原区只有少量木林和农田防护林分布。

林业的发展在北京市的经济中占有一定的地位。森林覆盖率的大小是衡量北京市林业发展现状的一个重要参数。北京市原始森林现已荡然无存,现存的主要是次生林和人工林。受垂直带规律的制约,北京市森林分布有其明显的带段性。北京市森林分布的下限阳坡海拔 800 ~ 1 000 m,阴坡海拔 600 ~ 800 m。阳坡从林地下限到海拔 1 800 m,阴坡到 1 600 m,以辽东栎林、油松林分布为主,破坏后演生为次生山杨林、桦树林;从海拔 1 600 m(阳坡) ~ 1 800 m(阴坡)至海拔 1 900 ~ 2 000 m,以桦属的几个种组成的次生林占优势,其原生植被应是山地寒温性针叶林,以华北落叶松、云杉为优势种,目前仅在局部地区有个别植株存在。

目前,北京市林业发展有以下几个特点:

(1)没有原始森林,存在的全都是次生林和人工林。

(2)森林覆盖率低:根据有关资料统计,全市林业用地 39.8×10^4 hm^2,占全市总土地面积的 24.25%,其中实有林 254.2×10^4 hm^2,森林覆盖率为 10.32%(不包括灌丛、农田四旁林和城市绿

地),而且森林质量大大下降了。

(3)分布不均:森林主要分布在北京山区,北京山区森林覆盖率仅 13.17%,略高于全国平均森林覆盖率水平。在山区也存在分布不均的问题。西部山区森林覆盖率为 10.19%,北部山区森林覆盖率为 14.54%,无论是北部山区,还是西部山区,中山地带的森林覆盖率 > 低山地带的森林覆盖率 > 丘陵区的森林覆盖率。

从以上分析可以看出北京市林业发展中的不足,一是森林面积少,二是还有很多宜林地未发展起来。北京山区地处暖温带半湿润地区落叶林与森林草原褐土地带,具有发展林业的优势条件,因此必须大力发展林业。宜林地的分布与保护按宜林土地的水热差异和适生程度状况,可划分为两大类:

(1)水源涵养林与用材林地的选择与保护问题:落叶阔叶林棕壤中山和灌丛及次生林淋溶褐土低山,除裸岩山地目前难以利用外,其余均适宜于林木生长,天然更新能力强,是北京市建立用材林和水源涵养林的理想类型,应从建立本区林业基地的高度加以布局和建设。这宜林类型共有面积约 536 162.7 hm^2,占全市土地面积的 32.63%,实际现有森林面积 122 616 hm^2,仅占全部宜水源涵养林地面积的 22.87%,尚有 469 294.6 hm^2 可以造林。目前这类土地的主要问题是:第一,对现有林地保护不力,抚育更新差,林被面积逐年减少;第二,造林速度慢,成活率低。改造意见:第一,加强现有林地的管理和抚育更新;第二,加快造林速度,选择适当树种如杨、桦、栎及落叶松,成活率高,成林快;第三,采取封山育林;第四,适当发展林区副业和多种经营,积累资金,以副养林,以副促林。

(2)水土保持林与薪炭林的土地布局问题:在旱中生栎林萌生丛灌丛淋溶褐土低山,半旱生灌丛褐土丘陵地区及一些人工松柏林和人工阔杂林丘陵地带,原先生态环境是灌丛和森林,虽然成林立地条件较差,但只要注意管理和抚育,树木一般可以成活,其中较适宜的树种为蒙古栎和辽东栎,油松、槐和栓皮栎亦生长,可以作为本区水土保持和薪炭林基地。本类土地共有面积 21 254 hm^2,占全市土地总面积的 12.94%。北京市有 171 653 hm^2 土地适宜造林,而目前森林面积仅 40 887 hm^2,发展潜力很大。目前这类土地存在的主要问题是植被破坏严重、水土流失明显、土地潜力下降、生态环境恶化,为了提高地力和改善环境,目前急需采取:第一,封山育林,保护现有林木和灌丛;第二,在加强造林的同时,需切实加强管理,把造与管并重;第三,选择适宜树种,一般可选喜阳耐旱的栎类和洋槐类等;第四,在林被恢复和地力提高后,要合理采伐和重视保持生态的平衡与稳定,防止滥伐和过渡放牧,要防止群众从山上挖出畸形的树根,以根雕出售,而这些根雕取自荆条、酸枣、枣槐、黄栌的根。它们的根都在低山丘陵区有耐旱、生命力很强的特点,一旦被连根挖去,必然对封山育林、保持水土带来严重的破坏。

2.北京山区林业发展对改善北京市生态环境的重要意义

据历史记载,在距今一千多年左右的辽金时代以前,北京北部和西部都覆盖着完好的原始森林。那时山青水秀,物种繁盛,几条主要的河如永定河、潮白河的水流都比现在清澈,水量大,河床稳定,可见当时山区生态是协调的,环境质量是好的。而今原始森林荡然无存,生存环境遭到严重破坏,环境日益恶化。目前北京市水源枯竭,风沙漫卷日益威胁着首都北京。北京市地表水网总长为 900 km,其中城区近郊河渠总长 450 km。据测算,城市每天排放含有各种有害物质而又未经很好处理的污水多达 200×10^4 t,其中工业废水 140×10^4 t。目前北京市已有 46 条河流和渠道受到不同程度的污染,总长度已达 410 km。由于河水渗漏和缺乏科学管理的污水灌溉,使

地表水资源受到严重污染面积达 42 km^2。另外，小气候也发生变化，城市热岛效应加剧，降水量减少。这一切水源危机、生态环境的改变，除了受全球气候变化、北京市工业布局不合理等因素影响外，北京市森林的破坏是一个重要因素。

首先森林破坏引起严重的水土流失，是环境恶化的根源。森林是保水能力最强的植物群落，据测定一公顷林地可贮水 300～2 000 t，当森林破坏后，地面径流增加，便引起水土的大量流失；其次，森林破坏引起植被退化，是环境质量降低的关键。按照生态学的观点，一个较发达的群落（物种多，结构复杂），其抵抗外界机械破坏和生物渗透的自我调节的能力是很强的。反之，则群落的调节能力较弱，因而不能抵御外来自然突袭，从而引起植被的更进一步退化，环境越加恶劣。

目前，北京市现有林地 16.9×10^4 hm^2，以每公顷林地贮水量最低值 300 t 计，现有林地只能贮水 0.508×10^8 t，如果把目前北京市山区 54×10^4 hm^2 宜林区（包括现有森林面积）全部改成林，其森林贮水量可达 1.62×10^8 t。这是相当可观的水量。这么多的植被固水量与北京市中等区域环境相协调，可使目前北京市环境大为改观。使空气净化，水土得到保持，生态环境得到恢复。同时大而积森林的形成，可防风固沙，免除风沙对北京的威胁；另外，大规模森林产生的社会效益更是可观。美国有学者计算森林的生态、社会效益与经济效益之比为 9:1。可以想见，如果北京市大而积森林果真能出现，会使很多目前困扰北京市的因素自然地减免。

3.北京郊区蔬菜基地的选择与保护问题

北京的蔬菜供应问题，历来成为人们关注的焦点，解决得好，有利于首都建设和人民生活的提高。依据土地类型分析，蔬菜的生长周期短，养分的供应要求高，它除了要求有较高的土壤肥力外，还特别要求土地要有适合的氧化还原条件。土壤水分多了，氧化能力低，养分不能及时释放供应；土壤水分不足，氧化作用强烈，则土壤养分过分消耗，肥力下降，影响产量。因此，菜地要选择不湿不干，氧化还原条件适中的土地。在北京诸类土地中，壤质褐潮土和潮褐土类型是最为理想的类型，应作为发展蔬菜基地的主要类型。可在城市近郊选择这类土地，做好规划并加以保护。另外，对现有老菜地也要注意保护，因为高度熟化的老菜地，产量要比新菜地高出 1/3 至 1/2，而且，高度熟化的菜地一般需要几十年的培育时间。

再者，因北京缺水，要控制水稻面积的扩大，在缺水的地方，要及时把水稻地变成蔬菜地，以防止对地下水的过度开发。

此外，为了解决北京蔬菜供应旺淡季和品种问题，可以利用远郊延庆时令比北京平原晚的条件，开辟延庆菜区，以调节北京市的蔬菜供应。

结束语

通过对北京市土地资源的综合调查研究，我认识到以下几点：

(1)北京宜林面积大，造林远景可观。

(2)遥感技术的应用在土地资源调查中的优越性。它省时、省力而且精度和广度都是超前的。

(3)北京市水源危机日益严重，生态环境受到很大破坏，但大面积的造林可使环境向良性转化。

(4)通过这番工作，我对地学工作的一般方法有了进一步的了解和认识，野外工作能力和室内总结、分析能力都有了很大提高。

这一切很大程度上要归功于我的导师吴月照老师的悉心指导。在此文的写作过程中，吴老师提供了大量参考资料，并在论文的具体写作上给予了计划性的指导，从而使本人克服了不少困难，按时完成了此文。此外，分校张妙弟老师也给予了很多物质上的帮助和精神上的鼓励，在此深表谢意。

参考文献

1.霍亚贞主编．北京自然地理.北京：北京师范大学出版社，1989
2.徐冠华，徐吉昌主编.再生资源遥感.林业科学研究院，1987
3.林超，李昌文.北京山区土地类型研究的初步总结.北京大学地理系报，1979
4.任崇梧.北京平原土地类型及自然区划.北京大学地理系毕业论文，1963
5.徐志芳.北京地区的地貌.论文，1965
6.许鹭谟，陈章琛主编.土地利用工程.北京：农业出版社，1987
7.李昌文.北京市门头沟区土地类型及其区域开发.武汉：湖北教育出版社，1990

9.2 《高技术产业与区域创新发展初探——对北京市新技术产业开发试验区的实证研究》点评

《高技术产业与区域创新发展初探——对北京市新技术产业开发试验区的实证研究》是一篇较优秀的毕业论文，完成于1997年6月。论文是结合指导教师所参加的北京市科委“中关村区域创新能力”的课题而作的。选题有重要的实践意义和理论价值。学生邓鸥在该年初对中关村一些企业和科研院所进行了认真的调查，同时查阅了很多有关书籍和参考资料。

从论文内容来看，该文认为区域创新的主体是企业，而强调了政府在培育区域创新能力中的重要作用。论文中有一些难能可贵的创见。如：“不少研究认为中关村的启动发展是硅谷模式。从技术衍生的角度看，二者的确很相似。……但二者在创业上存在相当的差别。硅谷是全过程创新模式，中关村则基本是线性创新模式。中关村的起步，既遵循高技术衍生的一般规律，又有自己的特色，或者中国的特色。在民族高技术发展进程中，中关村的起点模式及创业环境是典型的，这在一定程度上决定了中关村今后继续发展的道路，也为渐次出现的一些焦点问题打下了伏笔”，等等。

论文包括摘要、关键词、目录、前言、正文、参考文献和后语，结构完整，条理清晰。正文的个别章节还含有“本章附录”（附加说明）。全文共有6幅图，10个表，表9等一些统计表完全是学生根据自己搜集的数据进行统计分析的。可谓图文并茂。其不足之处，作为本科毕业论文篇幅过长，如能更精练些，则更好；还有些参考文献未列出书名或论文名。

题目:高技术产业与区域创新发展初探

——对北京市新技术产业开发试验区的实证研究

作　　者　北京大学城市与环境学系92级　邓　鸥
指导教师　王缉慈

摘要:高技术是知识密集的新技术群,它总是和特定的产品或产业相联系,并与其作为"技术—社会"系统而存在。高技术的产业化发展,对于国民经济和国家竞争力有重大意义。北京新技术产业开发试验区位于中关村智密区,是我国第一个也是最主要的国家级科技园区,它的发展是我国高技术发展的缩影,以"一次创业"的形式产生了民营企业和技工贸一体化经营方式;近年来区域动力机制发生了转化,初具规模的高技术企业也面临内外的发展压力,提出"二次创业"战略调整思路。

本文以技术创新理论和现代网络理论为基础,结合北京新技术产业开发试验区的发展,从创新与网络培育角度探讨区域发展的动因,着重考察了企业和政府作为区域创新主体的地理行为特征。本文认为,区域高技术企业群是区域创新发展的动力源,也是区域创新网络中最重要的主体,而政府则在创新网络培育中担负最重要的作用。本文对二者作了若干实证分析,并尝试提出全球化背景中高技术企业群的"本地化"发展及政府的行为创新。

关键词:高技术产业　创新　区域发展　网络　北京市新技术产业开发试验区

前言

我国高技术产业起步的时间并不长,但发展过程是激动人心的。

1986年,中央开始进行科技体制改革,同时明确提出了高技术产业开发区的政策思路。1986年,"863"计划启动;1988年,我国第一个高新技术产业开发区——北京新技术产业开发试验区被批准成立了,同年国家"火炬计划"启动,全国开始了高技术产业的发展热潮。而在这之前,北京中关村地区的"电子一条街"已经发展得如火如荼,不但使大量高技术成果走出实验室,以其商品化、产业化激发出了巨大的社会生产力,同时诞生了民营企业这种新型的企业组织,对我国的企业改革和经济转型发展面言,是有益的尝试和推动。

近年来,面临高技术产业发展的全球竞争,以及随自身规模的扩大面出现的种种问题,中关村高技术企业日益感到内外压力的加大,和实施全方位战略调整的必要,它们提出了"二次创业"的战略调整构想;同时,从政府角度讲,也日益意识到提高区域竞争优势的重要,希望构建新型政企关系,为本地企业创造良好环境,共同促进区域发展。这就是本文的研究背景,它使我们在本文中,主要思考以下问题:

(1)区域创新发展的过程与目标;

(2)培育区域创新环境与构建新型政企关系;

(3)全球化中的民族高技术产业发展。

在国内外同类研究中，一般是将高技术发展主体解构为政府、企业和研究机构(包括高校)，所谓"官产研三段弦"结构来考察分析。本文也基本采用这一思路，只不过着重于前二者，因为它们具有鲜明的地理行为特征，而且在区域创新发展中具有更大的能动性。

第一章　高技术产业与区域新的概念及研究背景

1.1　民族高技术与产业化

高技术(High Technology 或 Hi－Tech)一词最早出现在美国。有学者认为，1942 年 12 月 2 日世界上第一座核反应堆在美国芝加哥大学开始运行，是高技术诞生的标志，也从此有了"高技术"这一说法。

国外对其涵义的理解不尽一致(见附录 1)。美国学者 Dimancescu 在《高技术》杂志上指出：对高技术产业的定义主要依据两大特点，一是专业技术人员比例高，二是销售收人中用于研究和开发(R&D)的投资比例高，其实这两个特点反映着同一个内容，即：知识密集。

我国国防科技成果办公室 1989 年在征询众多专家意见上，将"高技术"的涵义界定为："是建立在综合科学研究基础上、处于当代科学技术前沿的，对发展生产力、促进社会文明、增强国防实力起先导作用的新技术群。它的基本特征是具有明显的战略性、风险性、增殖性，是知识、人才和投资密集的新技术群。"

国家科委 1991 年在《国家高新技术产业开发区高新技术企业认定条件和办法》中，划定了微电子科学和电子信息产业等 11 项技术作为高新技术。严格从概念上讲，"高技术"和"新技术"是不完全相同的，前者特指当代新兴技术，后者范围更广，不仅包括前者，还包括一般新兴技术，以及传统技术部门的新工艺等。在政府文件、新闻报道和一般的讨论中，常常将"高技术"、"新技术"和"高新技术"概念不加严格区别(见附录 2)。

我们认为，"高技术"首先属于技术范畴。其"高"是指技术的物质手段和方法体系中凝结有量较多、质较高的现代知识因素，由此转化为产品的附加值高；更具决定意义的是，劳动者的素质高。进一步讲，这类技术转化为现实生产力的潜力，对社会各方面的影响，要比传统技术高。由此而论，高技术又属"技术—社会"系统范畴。近半个世纪的历史表明，高技术不仅自身产业化发展迅速，而且以空前的速度、广度和深度渗透到其他各个产业领域，改造传统产业、变革产业结构、更新思想观念，使世界工业经济与地理格局发生了深刻的变化，带动了新技术革命(见附录 3)。同时，高技术作为技术群，总是和某种特定的产品或产业相联系，这也是由高技术的特点所决定的——产品的高附加值刺激产业化，高风险高投入需要产业化来支持。二战后，以信息产业为核心的高技术产业蓬勃发展，出现了苹果公司(APPLE)、国际商用机器公司(IBM)、英特尔公司(INTEL)、微软公司(MICROSOFT)、东芝公司(TOSHIBA)等产业巨子。

"民族高技术"是指主要依靠国内科技力量发展的高技术。从国民经济发展和国家竞争力角度看，发展民族高科技势在必行。我国经济增长快，有着广阔的以信息产品为中心的高技术市场；同时，科技积累雄厚、智力资源丰富且集中，有大力发展民族高技术产业的条件。改革开放以来，民族高技术发展很快，追赶世界先进潮流，已经有了不少的拳头产品，联想板卡、方正轻印刷系统、时代逆变焊机等产品是其中的优秀代表，在民族高技术产业化进程中，民营高技术企业是主力军，也是本文的主要研究对象。

一般认为，产业化是工业化的概念延伸，基本特点有三个(克拉克森、米勒，1988)：一是生产

上高度分工;二是机械化、自动化普遍使用;三是市场范围不断扩大。民营高技术企业的产业化,主要内容是从贸易型向生产型转变,推动生产的规模化发展。在近年提出的"二次创业"战略思路中,"产业规模化"被作为高技术企业的发展方向。

1.2 高新技术产业开发区

高技术产业开发区是国家为重点发展高技术产业而划出的一定地域,是科研、技术开发、生产和高科技商贸等相对集中的区域。不少国家都把发展高技术产业开发区作为科技政策的重点(白克明等,1993)。

改革开放以来,我国高新技术产业发展迅速,初步形成了规模与特色。目前,已有国家级高技术产业开发区52个,主要分布在沿海发达地区及大中城市,它们是高技术产业发展的增长极。

从政策角度看,高技术开发区有以下五大战略作用(王思红,1995):

第一,高技术开发区是中国民族高科技产业新的生长点。

开发区的主要机制是在国家优惠政策支持下,充分调动科技人员的创造性,活化和重组生产要素,促进科研成果产业化,形成有利于技术创新和高新产业发展的区域环境。中国的民族高科技产业刚刚起步,在区域上集中于52个国家级开发区。可以讲,这些区域创新环境与动力的好坏,直接影响到我国民族高技术产业进程。

第二,高技术开发区是辐射源,促进我国传统产业的调整改造。

国有大中型企业是我国国民经济支柱,但技术更新慢,设备老化率普遍达25%,加之管理体制原因,效率较低。而技术、设备、管理等方面恰恰是高技术企业的长处,因此发挥区内企业的辐射作用和渗透作用,可以促进国企优化资源、转变观念、提高竞争力。

第三,高技术开发区是吸收外资和引进技术,促进对外贸易,加速我国与国际市场接轨,缩短我国和工业发达国家间差距的有效渠道。

我国目前的产业结构仍以劳动密集型和资金密集型为主,国家缺乏在较短时间内赶超发达水平所必需的财力与技术积累,所以,民族高技术要走自主创新和引进消化吸收并举的发展道路。目前,我国高新区内集聚了一批具实力和创新能力的企业,它们或在海外设立分支机构,或与国际知名大企业合作,以经济利益牵动共同发展。

第四,高技术开发区是带动地区经济发展、缩小沿海和内陆地区间经济差距的缓冲带。

我国中部和内地有技术相对密集、工业基础较好的区域,52个国家级开发区中不少分布在这些区域,它们对于地区产业结构转型和资金积累都有举足轻重的意义。1995年,国家级开发区各项经济指标综合排名中,前18位有一半以上在内陆省区,其中包括西安、武汉、成都、哈尔滨等开发区。中西部的开发区,既是区域的主要技术创新源,又在引进和吸收区外先进技术中充当最活跃最有成效的角色。

第五,高技术开发区是深化经济与科技体制改革,推行现代企业制度及综合配套改革的试验田。

我国高技术开发区是经济与科技体制改革的产物。区内企业的持续蓬勃发展,至少依赖以下两方面的根本改革。

首先,企业与市场关系的改革。区内企业一开始就在市场竞争中求发展,在国家政策引导下,形成独立自主的决策机制、面向市场的经营机制、优胜劣汰的人才机制、工资与效益挂钩的分配机制、以法律为准绳的约束机制。这样成长起来的企业是顺应市场经济的,是健康而有生命力

的;

其次,企业与政府关系的改革。区内企业的投资主体是多元化的,且很少有政府预算内的直接投资,以及计划形式的物质调拨,所以产业区的企业基本没有"婆婆",政府主要依据市场经济规则,一方面行使企业资格认证、工商税务管理、财务监督职能,另一方面提供公共服务,维护与培育区域的创新环境。所以开发区基本打破了传统的条块分割,实现了政企分开,这既利于企业的发展,也利于政府职能的转换。

1.3 北京市新技术产业开发试验区基本情况

北京市新技术产业开发试验区(以下简称试验区)是第一个国家级高新技术开发区。1988年5月由国务院正式批准成立,至今,已发展成为我国规模最大、发展最成熟、潜力最大的高新技术试验区,在我国民族高技术产业发展中,有着举足轻重的地位(表1)。"八五"期间,主要经济指标实现40%的年递增,R&D总投入达45.13亿,区内新技术企业达4 400余家,其中21家工业产值超亿元,120家超千万,10家进入"北京市经济百强",4家得到国家重点支持,中关村已成为一个初具规模并有持续创新能力的高技术产业园区。1996年12月的北京市经济工作会议上,高新技术产业被作为北京五个新经济增长的首选产业,这使试验区在北京市跨世纪发展中具有了突出的战略地位。

表1 北京试验区与全国开发区总体主要产业发展指标的阶段比较

类　项 (单位:亿元)	全国各层次220个开发区 1992年	北京新技术产业试验区 1992年	 1995年
技工贸总收入	423.3	60.0	200.0
工业总产值	338.5	21.0	80.8
利税总额	62.1	7.33	20.17
创汇(亿美元)	1.07	0.72	1.50

(引自参考文献8,P42;参考文献38,P63。数据整理和部分修正)

1.3.1 试验区地理状况

试验区是指"以海淀区中关村为中心,东至德清路前屯东路,西至农大路、万泉河路、京密引水渠、玉泉路,北至西三旗路、东北旺路,南至新开渠以北的区域。另在海淀区永丰乡划定试验区新技术产业中间试验基地,属试验区范围。"[①]该区域南北长约10 km,东西宽约8 km,总面积约80 km^2,占海淀区的六分之一;人口约50万,占海淀区总人口的一半(附图1)。

试验区内拥有国家级科研机构40多个,高等院校27所,教师和科研人员45 000多人,其中高级科研人员7 000多人,博士点202个,硕士点435个。这一智力高密区每年科技成果千余项,在全国科技发展中有举足轻重的地位。

在发展中,试验区内逐步形成了一定规模的高技术综合体(Hi-Tech Complex),俗称"电子一条街",即从海淀白石桥到中关村302路汽车终点的南北大街为干,海淀路、海淀大街、土城路等东西大街为支线的F型地区,其边界并不十分明确,但具有鲜明的城市景观特征(王缉慈等,1995)。

1.3.2 试验区的基本历程

① 北京市人民政府.北京市新技术产业开发试验区暂行条例实施办法(第一章第二条).1988年6月15日

"中关村电子一条街"的出现,已有十余年了。它是我国科技、经济改革同中关村智力密集的区域特点相结合的产物,其发展大体可分为四个阶段(王晓龙等,1993;笔者有增改)。

第一阶段,"初步形成期"。从1980年10月陈春先创办"先进技术发展服务部",至1984年10月中央经济体制改革的决定公布。这一阶段的特点是国家步入正轨,政策环境稍宽松,科技人员的他业冲动和地方政府发掘地区优势资源的策略(北京大办"三产"服务业)相结合,自发地创办了一批科技企业,其形式以"民办"、科技人员与街道、农工商总公司等区属单位联营方式为主(余年生,1993)。

第二阶段,"启动发展期"。从1984年10月,至1988年5月国务院批准建立"北京市新技术产业开发试验区"。这一阶段特点主要是在中央经济体制改革的推动下,中科院、各部委和市、区人民政府陆续制定颁布了有关政策,创造新技术产业发展环境,各大科研院所也结合自身改革,开始有计划有步骤地扩散项目、创办企业,这一潮流中,以中科院为主力,民办企业为先锋,区域经济发展迅速;"新技术试验区"的建立,标志着"电子一条街"的事业纳入了国家科技改革和经济发展的总战略格局中。

第三阶段,"快速发展期"。从1988年5月至1992年10月中共十四大召开。这一阶段特点主要是中央及地方经济体制改革深入进行,发展几经起伏波折,中关村出现了四通、联想、方正等龙头企业及相关的拳头产品和品牌,标志着民族高技术产业快速发展。从区域发展角度看,试验区成为区域高技术发展的总辐射源:通过建立分公司、子公司、联营公司等形式拓展市场领域;通过技术转让、咨询服务等形式扩散技术,同时,企业的发展也孵化出了一批高素质的企业家。

第四阶段,"深入发展期"。从1992年10月中共十四大至今。此阶段政通人和,国家发展以经济建设为中心,改革开放力度更大。试验区企业不但规模在增大,而且内涵逐渐成熟(表2)。

表2 试验区高技术企业发展状况及主要经济指标 (单位:亿元)

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	年均增%
技工贸总收入	25.0	37.0	60.0	100.0	142.8	200.0	51.6
工业产值	8.7	12.0	21.0	33.3	60.2	80.8	56.1
利　润	1.70	3.50	5.03	8.69	7.96	12.67	49.4
税　费	1.20	1.50	2.30	3.60	4.80	7.50	44.3
创汇(亿美元)	0.42	0.45	0.715	1.12	1.32	2.23	39.6

(引自参考文献8,P42)

以四通集团首倡,提出"二次创业"的企业战略发展思路,力图在现有企业积累上,引入现代管理与经营意识,提高民族高技术企业的国际竞争力。中关村从初步形成期到快速发展期,都属于"第一次创业",其特点是"四自",即自愿组合、自筹资金、自主经营、自负盈亏。而"二次创业"的目标是"六化",即资本股份化、技术创新化、管理科学化、产业规模化、融资多元化和经济国际化。这是民族高技术产业深入发展的必由之路。1994年6月,在庆祝试验区成立6周年时,王思红主任宣布:从1994年到本世纪末,是中关村"二次创业"的新阶段,这一阶段试验区的建设目标是成为向传统产业扩散的高新技术辐射中心,北京市的高新技术产业基地和出口创汇基地,全国最大、国际上有影响的高新技术信息和产品的集散地。

1.4 "区域创新发展"的提出

"创新"是把一种从未有过的关于生产要素的"新组合"引入生产体系,这可以是一项技术发明或改进,也可以是生产管理的变革,总之其目的都是为了提高资源配置效率。自从经济学家熊

彼特(Schumpeter,J.A)1912年在著作《经济发展理论》中首提创新理论,这一概念马上被经济学、科学哲学接受,以后社会学、地理学等学科在各自的领域内围绕它开展了深入研究,尤其是新技术浪潮的到来,使"创新"成为了日常词汇。实际上,创新就是变革传统、寻求新发展的过程。创新理念对技术和产业发展尤有意义。江泽民总书记在1995年5月全国科技大会的讲话中指出:"创新是一个民族的灵魂,是国家兴旺发达的不竭动力。"

"区域发展"是发展经济学的一个主要分支,它的社会基础是:由于经济资源、经济区位等差异,导致了不同的经济地域具有不同的发展状况,从而需要不同的发展战略(周起业等,1989)。Friedmann认为,发展是个会导致社会体制发生结构性变化的创新过程;赫曼森认为,发展是一浪接一浪的、使创新在职能空间与地理空间上引进和传播的过程。经济的发展总是与一定地理空间发生联系,新技术开发区本身就是一种新的地域现象,一般可以理解为:为了促进区域新技术发展、孵化新技术企业而建立的产业经济特区。

"区域创新发展"是我国科技政策研究领域近年来的新提法,主要是针对高新技术产业发展的。区域高新产业的发展推动力主要来自于三类主体:政府、企业和科研机构。在创新活动中,这三者起着支撑性的作用。国际研究一直比较重视"官、产、研"三段弦结构对于科技和社会经济的作用(樊洪业,1996)。随着我国经济转型的开放度的加大,民族高新技术的未来发展越来越受到关注。作为其代表的北京市新技术试验区,这十几年来的发展有成就有波折,也暴露了一些深层次的问题,这些问题多与传统经济体制科技体制有密切的联系,是亟待改革的。这也是研究区域创新发展的现实意义。

【本章附录】(略)

第二章　高技术产业化与区域创新研究的理论基础

2.1　技术创新理论

2.1.1　技术创新的概念

对于技术创新(Technology Innovation),美国学者Mansfield认为是"一项发明的首次商业应用"。英国学者Stoneman认为"技术创新是首次将科学发明输入生产系统,并通过研究开发努力,形成商品交易的完整过程"。我国学者傅家骥认为,狭义技术创新指"企业家对生产要素、生产条件、生产组织进行重新组合,以建立效能更好的生产体系,并获得更大的商业利润";广义的技术创新则在此含义基础上,增加前向的R&D和后向的创新扩散。

我们认为,可以用如下关系来概括技术创新概念(图1)。

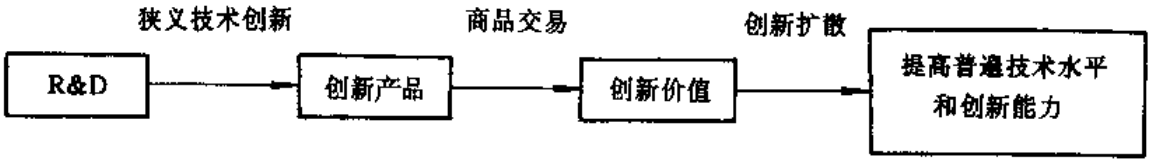


图1　技术创新的概念表达

技术创新的内容包括产品创新、设备工艺创新、原材料创新、生产组织与管理创新等。在概念上,我们突出三点:①技术创新既包括技术要素,更包括商业要素。片面强调技术先进而忽视

商业成功，会将技术创新引入歧途；②技术创新不一定伴随重大的技术突破。一方面，大量的成功创新是渐进积累式的；另一方面，商业上的成功创新，不一定非要依托于高技术含量；③技术创新不是完全线性的。现代市场中速度经济的影响，往往要求并行的创新活动，以保证持续的产品优势领先。所以在上图的表达中，我们舍弃了纯粹从技术和单一时序角度的技术创新观，而将技术创新理解为渐进、并行、持续的技术经济行为。

熊彼特提出创新理论后，其主要追随者曼斯菲尔德、卡曼、施丽茨等所谓新熊彼特学派，将熊氏理论与新古典经济理论结合，形成了技术创新理论，并成为创新理论中一个重要的分支（张金琐，1993）。

2.1.2 技术创新模型

1.线性模型

该模型是传统意义上的技术创新，它基于这样一种思想：基础研究和技术发展，会自然而然地转化为现实生产力。模型表达如图2。

基础科学——→应用科学 ——→产品创新 ——→生产销售

图2 技术创新的线性模型

（引自参考文献9，P4）

在这一思想指导下，R&D投入的重要性被强调，使政府科技政策的着眼点放在此，也使企业注重技术开发。在新技术革命初期，该模型及指导思想是有积极意义的，但随着发展，局限性逐步显现。首先，该模型过分简化了创新过程；其次，该模型认为科研在先，创新与销售在后，这种单一的科学推动观忽略了现实中它们的双向作用。线性模型不利于R&D的高效产出，不利于带动产业化。

从我国国情看，传统科技体制中科研与生产企业是脱离的，在制度与创业环境约束下，这一线性推进亦难通顺，于是科研成果积压，形成巨大势能，一旦体制调整和约束放松，势能可能迅速转化为产品创新与生产销售的动能，这符合中关村启动发展时的情况，所以该模型对高技术产业初创有一定的解释能力，但对于以后的产业发展调整和指导有关的战略政策制定，该模型就无能为力了。

2.需求引导模型

同线性模型恰相反，该类模型以市场需求和销售作为创新的起点，认为需求拉动对技术创新的激励作用大于技术推动。英国学者Schmookler提出了具有代表性的Schmookler模型。其表达如图3。

这一模型由Arrow等依据80年代英美技术创新来源的数据，进行了实证检验（如表3），结果表明，需求拉动确实在技术创新中占据主导地位。

表3 技术创新的来源

	美国	英国
科技推动型创新	22%	27%
需求拉动型创新	47%	48%
生产拉动型创新	31%	25%

（引自参考文献25，P5）

此模型认为市场需求是比技术潜力更重要的因素，将创新过程也当成一个现实的经济过程，这比线性模型更符合实际。尽管它过分强调了市场作用，但它对我们仍有特殊意义，因为我国科技领域缺少的不是钻研精神而是市场意识和创业意识。

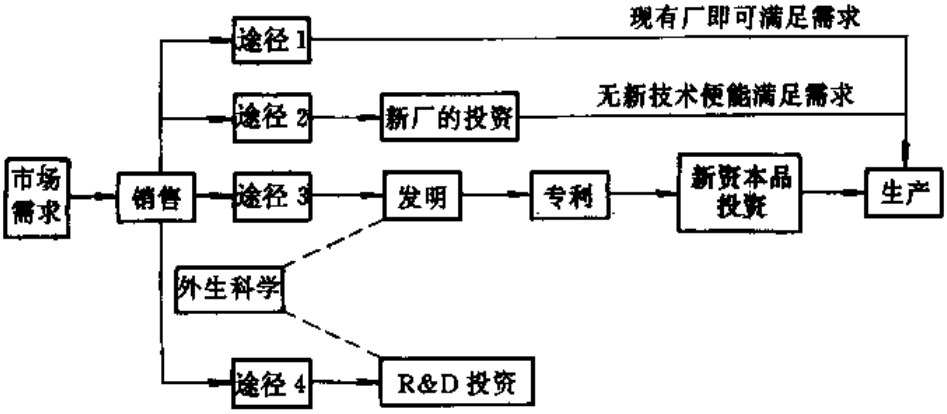


图 3　Schmookler 需求引导的技术创新过程模型

（引自参考文献 9，P5）

3. 全面创新模型

本文在高技术产业化方面的分析主要基于此模型。

该类模型否定了科学与创新的线性推动，引入它们复杂的双向作用与循环作用，同时客观地评价了市场的作用。它强调：科研是创新过程各阶段的基础，面不像人们通常理解的那样，仅仅处于创新的开始阶段。具有代表性的是由 Kline 和 Rosenberg 提出的 Chain-Linked 模型。模型表达如图 4。

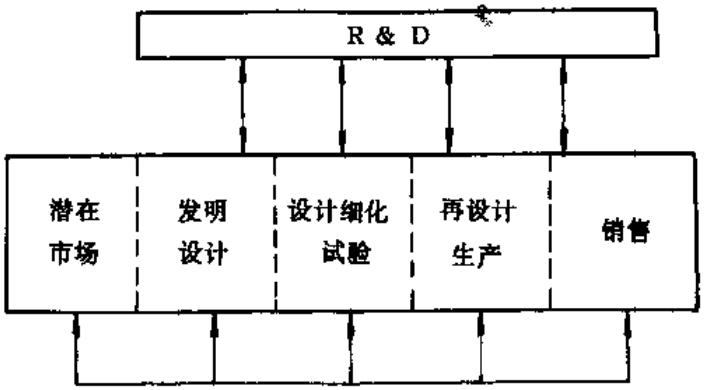


图 4　Chain – Linked 模型

（参考文献 10，总第 62 期第 4 页）

该模型的简要表达是：创新是从潜在生产到产品生产并实现生产价值的循环过程，在个个主要阶段，都体现着 R&D 的行为。

Rosenberg 认为："创新活动由需求和技术共同决定：需求决定创新的报酬，技术决定创新成功的可能性和成本。"

该模型给我们以丰富启示：在技术创新过程中，科研和市场都不可或缺，不可偏废，巨大的科研投入如果脱离产业化方向，则可能带来巨大的浪费（例如欧共体 80 年代不太成功的高技术赶超发展），这为我们科技政策的调整提供了参考思路；同时，模型指出科研贯穿于创新的全过程，实践中，一些有实力的高新技术企业应该内化 R&D 行为，这样有利于节约企业在科研成果购买

上的交易费用,从而有利于产品持续创新和保证市场优势领先。

2.2 现代网络理论

2.2.1 网络的概念

"网络"在社会科学研究中,很早就被提了出来,但囿于现实中信息流通和企业发展,对这一概念的实践应用和深入探讨,直到近十年来才充分展开,从不同的研究层面,构造出了不同的网络,如产业网络、社会网络、创新网络和区域网络等。Mitchell(1969)定义"网络"为"确定范围内的一群人和事物之间关系上的一种特定形式。构成网络的这群人和事物,被称为参与者(actors)或结点(nods)"。Easton(1992)定义"网络"为"经济与社会发展中的一种模式和隐喻,用来描述大量的相互联系着的实体"。从这两个概念的差异也大致可以看出网络理论在发展,但网络的核心思想——"网络联结"却始终没有被改变。

表 4 等级组织与网络组织的对比

	等级组织	网络组织
主要任务	物质性的	精神性的
内部关系	等级制的	平等的
内部结构	专业性的	多学科的
组织边界	固定的	渗透的
竞争方式	垂直一体化	外寻与联盟
管理风格	独裁的	参与的
组织人员	同质化	多样化
组织目标	效率	创新

(引自参考文献 21,有简化、修改)

"网络"是一种组织创新,是相对于传统等级组织而言的(Savage,1990)。表 4 基本反映了这一点。

网络组织是介于市场和等级组织之间的形式,它比等级组织更灵活,又比市场更有序,且部分解决了市场的外部性(王缉慈,1996);网络是在市场秩序中建立和发展的,是竞争者在一定的发达市场中,为了尽量减少不必要的竞争损失而采取了相互让步的方法,但这是一种积极的让步,即以部分资源共享的形式联合,从对利润的片面追求走向对彼此和谐持续发展的追求。

"网络"也是一种区域发展理论。网络观点认为,经济行为是植根在社会构筑的和有文化意义的网络与制度中,这种观点强调社会文化对经济活动的重要性,强调企业间非贸易的相互依赖,提倡通过平等交流来促进创新。网络理念在区域的形成,有利于使人与人之间相互信赖的增长而促进区域文化。区域文化的发展,从某种意义上讲是区域经济发展的最终归宿(佩鲁,1988)。

"网络"还是一种分析方法。Knoke 和 Kuklinski(1982)概括了网络方法的主要假设:①众多参与者组合成社会系统,它们互为行动的参照;②参与者的相互关系往往形成相对固定的某种结构。第一个假设,实际上是基于"事物普遍联系"的理性判断,将所考察的社会对象规范为互动的单位要素(或参与者),并以此作为解构社会关系的基础;第二个假设引发出网络存在的客观必然性,将考察的重点规范于参与者的外部环境。网络分析方法的一个特点是将所有的考察对象置于平等地位,强调它们的联系及其在功能上的相互补充。

2.2.2 网络模型

瑞典学派是网络理论重要的一支,以 Hakansso(1987)为代表提出了一个网络模型。本文采用该模型主要基于如下考虑:①模型的地理与经济背景是区域中小企业;②模型抛弃了抽象的图示而代之以定性说明。这样方便于结合我国国情进行实证分析。模型表达如图 5。

在该模型中,网络元素——参与者、资源和活动——是彼此依存的。参与者通过行为及行为所控制的资源与其他参与者实现联结。每个参与者都有使资源和活动相结合的独特方式,因面

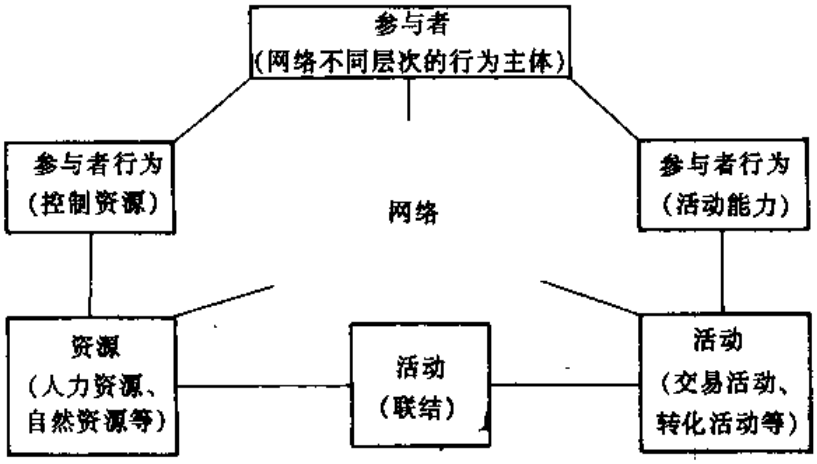


图 5　Hakkanson 网络模型

形成自己的特征。参与者之间的相互关系成为有价值的桥梁,通过这座桥梁,使得每个参与者都有可能活化资源。同时参与者自身就是资源,但参与者与一般资源是有区别的:前者控制资源转化和交易,而后者仅仅是被转化和交易的对象。

这个模型给我们建构了一种区域关系的分析框架,启发我们:

首先,人(及企业)、区域资源和经济地理活动不能割裂考察。它们的相互关系结成了网络,但它们在网络中的地位却不是等同的,参与者(人及企业)始终是处于核心地位——这实际上是一种新型人地观。在区域高技术产业发展中也是如此,创业者居于区域创新网络的核心,但它也依存于区域智力资源、政策资源和资本金资源等,它们的相互关系就构成了区域创新环境。

其次,模型认为,参与者自身也是资源。这使我们认识到,高技术企业与企业家也是区域发展的重要资源,它们是区域创新的主体。同时,我们也关心参与者的相互关系,进而认识到在网络中的企业联系是活化区域资源的基础。

全面创新作为科技、经济和社会的综合活动,也必然存在于网络环境之中。本文以区域创新的初步分析,主要就是吸收全面创新模型和网络模型的思想,用网络的观点考察区域高技术产业的社会推动因素。

第三章　区域创新启动

3.1　硅谷模式

硅谷位于美国加利福尼亚州,从空间上看,只是一块 48.27km 长 16.09km 宽的地带,但它却是世界微电子工业的中心,也是高技术产业的启动发展的里程碑。硅谷的形成和成功发展,有多方面的因素。

从内因上看,主要有以下几点:

第一,科技性大学的推动。硅谷中的斯坦福大学,一直鼓励学校应用型学科与工业加强协作,1951 年就成立工业园促进科技产业化,这是硅谷的前身。

第二,竞争与创新的企业家精神。硅谷的名言是"为什么他们能成功,我就不能?"。这种精神不断地吸引那些想当企业家的人来创业,使得企业精神在本地集中,成为社区文化的灵魂。

第三，企业衍生。一方面实现了技术溢出(Spin Off)，推动产业创新发展，另一方面，促进了人才流转，构成既竞争又合作的区域创新网络的基础(曾晓萱，1995)。

从外因来看，主要有以下几点：

第一，集中了大量的风险资本。美国现有风险资本，大约 1/3 集中在硅谷，它们可以说是微电子产业发展的一个关键要素。

第二，成熟的经济环境。硅谷有良好的区域基础设施，市场经济发达，信息网络发达。

第三，丰富的人力资本。硅谷集中了大批高水平的企业管理人员和技术开发人员，灵活的人才流转机制和广阔的发展空间促进人力资源凝聚。

第四，宜人的气候和合适的生活条件。硅谷位于美国“阳光地带”，优良的自然条件不仅宜于发展低污染的工业，更有利于吸引向往高素质生活的高技术人才(袁路阳、赵曦林，1985)。

硅谷的发展，是技术创新的必然，但硅谷也有它的特殊优势。美国有很多地方模仿硅谷建立高技术综合体，但成功的不多。可见，决定事物的主要还是内因，同时有时间、机遇问题。所以我们要辩证地看待硅谷模式，寻找深层次的动因，促进本区域的创新发展。

3.2 中关村的启动发展

不少研究认为中关村的启动发展是硅谷模式(赵慕兰等，1995)。从技术衍生(Spin - off)的角度看，二者的确很相似。比如都积极推进高技术产业化、创业者以科技人员为主等等。但二者在创业上也存在相当的差别，硅谷是全过程创新模式，中关村则基本是线性创新模式。中关村的起步，既遵循高技术衍生的一般规律，又有自己的特色，或者说是中国特色。在民族高技术发展进程中，中关村的“起点模式”及创业环境是典型的，这在一定程度上决定了中关村今后继续发展的道路，也为渐次出现的一些焦点问题埋下了伏笔。

中关村的创业区别于硅谷，主要表现在以下方面：

(1)不具备成熟的市场环境：中关村的发展虽然从 1980 年就开始了，但当时刚刚拨乱反正，恢复经济，处于经济体制过渡的初期，商品不丰富，市场不健全，中介机构缺乏，中关村的创业企业既缺乏原始积累，也很难从市场上寻到风险资金。

(2)不具备成熟的企业环境：我国国有大中型企业，对技术创新的吸纳能力长期滞后，经营机制不灵活，企业发展的包袱重，它们不可能成为高技术创业的主力军。中关村创业环境的营建，主要是基于民营机制，创业的资本，可以讲，除了雄心勃勃又具社会责任感的创业者外，几乎一无所有，而且最早创业的一批科技人员还是顶着重重社会压力艰难起步的(郭为，1991；肖汉，1994)。

(3)不具备政府的军需刺激和产业参与：西方主要的高技术区(尤其是硅谷等)，在启动发展时往往直接得益于政府的军需订单，以后才逐步走上民用发展，而中关村的起步，完全与军方需求无关，始终存在的是强大的技术推动和民间需求拉动，而且，初创过程中，政府缺乏市场经济运作和高科技产业引导的成熟经验，缺少系统的规划引导，基本停留于普通管理者层次，在主动培育区域创新环境方面能力不足。

我们简单回顾一下中关村的“一次创业”启动过程。

1980 年，以中科院物理所研究员陈春先生为首的一批科技人员，创办了“北京等离子学会先进技术发展服务部”，是高技术企业的雏形，迈出了面向市场、把科技转化为生产力的第一步。至 1986 年底，中关村地区集聚各类开发型公司近 100 家，同年 12 月，《人民日报》以“北京中关村—

场悄悄变革,中国硅谷正在这里孕育"为题,向社会宣传报导了"中关村电子一条街"的成长与发展。

1987至1988年,国务院发布进一步推进科技体制改革的决定,提出"双放"政策,即放活科研机构、放宽科技人员;同时,从中央、国家科委到北京市政府、中科院和海淀区政府都开始关注中关村。1980年初,中共中央办公厅组织对电子一条街的全面调查,肯定了中关村的发展,并提出兴办新技术产业开发区的建议。同年5月,国务院正式批准发布《北京市新技术产业开发试验区暂行条例》。

回顾这段历史,我们可以看出:

第一,中关村的兴起发展,改革开放政策和有关的政治意识起了重大作用,在市场意识与经济尚不发达情况下,政治是第一推动力。

第二,中关村电子一条街的启动发展,是对传统经济与科技体制的突破——以创业的形式打破了科研和产业间的长期体制壁垒(王德禄等,1996)。所以,中关村的创业过程既是以高技术为核心的技术创新的实现,又是以民营机制为核心的组织创新的实现;即把相对封闭条件下积累的科研势能,转化为"一次创业"的动能,闯出了一条高技术企业发展之路。

中关村,是中国宏观经济转型发展时期的必然产物;中关村之路,对高技术产业发展乃至我国企业机制变革都影响深远(于维栋,1988;王晓龙,1993;肖汉,1994)。

第四章　区域创新过程

4.1　技术创新与组织创新的结合

技术创新是区域创新首先的推动力,持续的技术创新是区域竞争力提高的基础,所以高技术产业的区位选择总是智力密集区,智力人才与智力机构是最重要的技术创新源。

组织创新包括组建高技术公司、资本股份化等,实现技术与产业的良好结合,它与产业发展的阶段相联系,是产业转折调整向更高层次发展的必然要求(王西麟,1996)。

首先,我们从北大方正的发展中实证分析技术创新的作用。北大方正的技术特长是汉字激光照排,早在70年代末,国家就开始了重点研究。当时印刷工业普遍采用的是机械照排,一般技术研究机构的研究重点是光电照排,国际上也如此。而北大汉字信息处理国家重点实验室,在王选教授的主持下,果断越过国际先进技术潮流,直接研究开发激光照排。1977年结束系统的实验室模拟阶段;1981年原理性样机通过国家部级鉴定,其核心技术取得欧洲专利,产品开始进入国内印刷出版业。不久,美国HTS公司和日本写研公司的同类产品进入中国市场,竞争态势咄咄逼人。1988年北大新技术公司(北大方正前身)改进推出"方正"系统,与国外产品展开竞争。国外产品在汉字信息处理方面技术积累弱,创新逐渐落后,北大新技术公司果断开始"技术吞并",承揽HTS工程设备改造成功,并改进了国外设备的核心控制器,使设备效率提高近二十倍,从面迫使HTS公司等国外公司退出中国市场;1990年北大方正推出远程通讯传版系统,方正产品开始风靡东南亚;1992年,方正推出世界上第一套彩色排版系统,实现了计算机技术与艺术创作的较好结合;1993年,"方正93"系统开发成熟,使方正在西文排版方面实现技术突破,为把中文报业排版系统推向多文种系统作准备,开始瞄准国际电子出版市场。

我们总结方正技术创新成功的原因,至少有:

(1)技术基础雄厚,创新目标定位准。

(2)技术创新成果及其产业化。

(3)技术创新和产业发展始终结合。

由于我国脱胎于计划经济体制,中关村的技术创新发展基本符合线性模式,而传统的科技体制是国家统管科技,科技人员"安分守己",所以技术创新要实现持续,只有依托于组织创新。中国的改革进程有利于民营高技术的组织创新(附录1),在"四自"原则推动下,涌现以四通集团为代表的大批民营科技型企业;同时,国营高技术企业也纷纷采用民营机制,比如联想集团,中科院和计算所在联想的成长中,始终是"开明的婆婆",可以讲,民营的经营机制是中关村高技术发展的特色和基本保障。

组织创新是高技术企业成长的必然要求,Galbraith 和 Nathanson 提出了以下类型的企业组织结构(表5):

表5 各类型企业组织结构

类型特点	组织结构
简单型	单一职能,直线式管理
职能型	集中职能,直线职能式管理
控股型	分散经营的盈利中心,事业部制管理
多区域型	按产品和区域划分的分散盈利中心,集体化管理
全球跨国公司	分散盈利中心,经营国际化,众多区域分公司

(引自参考文献5,P118)

表5既概括了企业组织结构,又反映了企业的基本成长过程,高技术企业亦是如此,所不同的是:高技术企业组织创新不仅仅是为了盈利增长,更是为了保障技术持续和优势领先。北大方正的成长过程就反映了这一点。

方正系统的前身是华光系统,国家曾指定其技术由山东潍坊计算机公司独家生产,这不利于技术开发和产业发展。1989年,在王选教授建议下,有关部门改变态度,允许专利转让给北大新技术公司,使产品开发真正走入市场,迅速改良换代。北大方正的诞生是组织创新的结果,它也保证了激光照排技术由计划安排的被动型创新走向产业化的主动型创新。1989年,北大方正与香港金山公司合资,带动企业组织结构优化,中文信息处理的两强携手使技术合作优势充分发挥;接下来,方正的校办企业的身份已不适应企业成长,需要引入现代企业制度,北京大学作为一个"开明的婆婆"全力支持方正的企业组织创新,1993年,以北大新技术公司、北大计算机研究所和新组建的北大方正为核心的北大方正集团公司成立,拥有核心层企业2家,紧密层企业(全资子公司)25家,合资经营企业4家,国内联营企业3家,成为知名高技术产业集团。接下来,方正集团将信息产业股份在香港上市成功,迈出了国际化的重要一步。

我们总结方正组织创新成功的原因,至少有:

(1)以现代企业制度指导组织创新。

(2)组织创新始终有利于强化技术优势,为技术创新抵抗风险。

对于中关村高技术产业,技术创新与组织创新的始终结合是发展特色之一。没有技术创新,区域高科技特征会弱化,从而影响产业竞争力;没有组织创新,技术创新成果不能顺利商品化、市场化和产业化,四通、联想等公司也不可能通过上市方式筹得企业发展的巨额资金(陈惠湘,

1996)。我们认为,技术创新和组织创新构成了区域创新在企业层面上的主要内容。

4.2 创新精神与企业家的孵化

创新精神与企业家的孵化是区域创新的重要内因。

有关研究表明,高技术区域的活力,往往取决于本地创新精神的集聚与发展。创新精神作为社区文化的核心,使区域形成明显的创新主体,并为创新行为营造了良好的环境。对创新主体内部而言,企业创新精神推动了技术创新和组织创新,政府的创新精神推动了政策思路的调整改革,科研机构的创新精神推动了成果的商品化,同时,创新精神是创新主体的重要联接纽带,进一步讲,它是区域创新网络得以形成发展的最重要条件,使得网络具有了一个鲜明的特征——"创新孕育于空气中(Innovation in the air)"(王缉慈,1997)。

实证表明,在改革开放前后,创新精神是有显著变化的。改革开放前,创新精神主要是在研究机构中存在,受计划的科技与经济体制影响,其能动性也仅限于科学研究方面;改革开放后,体制的转型解开了创新精神的缰绳,研究机构长期受限的创新精神和较高的科技势能,以创业的形式表现出巨大的动能,同时创新精神以高技术风险企业为主要载体开始扩散到社会的方方面面。在80年代末,终于促动了政府行为的创新——以北京试验区为代表形成了众多的高技术科技园区,并形成较规范的科技政策。

中关村的实践表明:创新精神的扩散过程中从研到产到官,这是符合各创新主体的行为特征的。研究机构(以及大企业R&D部门)是技术创新精神的主要母体,高技术企业是组织创新的主要母体,政府的创新行为滞后,但具有持效性和基础性。

创新精神在区域集聚发展的主要结果之一,就是孕育出风险企业和风险企业家(特指企业的管理者,附录2)。

我们在后面的一项调查中,将发现"重奖有关人员"是推动成果商品化的最重要因素之一,实际上,这是对科技人员创业的肯定,政府也通过这样的措施及舆论来培育本地的创新与创业精神。技术创新是高科技成果的物化过程,这其中不可忽视的因素是企业家,中关村的创业者就是以学者型企业家为主。在企业发展中,产品技术的重大突破固然重要,但更重要的是良好的管理机制、激励机制和稳打稳扎的市场推动战略。这其中,企业家的因素往往是决定性的。中关村企业在二次创业中纷纷实施"人才战略",就应证了这一点。

企业家是为高技术企业引入现代企业制度和国际化的必要保障。随企业经营范围的扩大和规模的增长,企业运行条件和操作方式日益复杂,需要专门化的管理人才;在国际经营中,对国际商业、法律、金融、会计等更需要精明强干的专业人才。所以,他们不一定是资产所有者,也不一定是技术发明人,但他们需与资产所有者形成契约关系,取得企业管理权,实现企业资产的保值增值。企业间的竞争,归根到底是它们之间的企业家与组织的竞争(虞有澄,1995)。

风险企业家还有另一个作用,那就是促动高技术企业的衍生。衍生是高技术企业的一个重要的地理行为特征,实际上也是创新的扩散或转型(魏心镇,1993)。衍生是创业的形式之一,它使企业家能自由流动,促进了人力资源效率的提高,同时也使区域具有了竞争动力。近年我们注意到,中关村高技术企业群中,一个职业经理层正在形成,这批具有高素质的企业经营管理者,他们的形成与流动标志着区域进入了深度发展(王德禄,1996)。

另外,创新精神孵化出的企业家,具有"植根"本区域的天然优势,在5.1节中,我们将作更深入的探讨。

4.3 风险资本与企业的孵化

风险资本指“为形成和建立专门从事某种新思想或新技术生产的小型企业而以持有一定的股份额形式承诺的资本”(参考文献 37)。风险资本是区域创新的重要外部推动力,同时它还直接推动了企业的衍生。

从各国高技术产业发展的过程来看,风险资本作用很大,不仅能注入“救命资金”,而且能提供经营管理上的指导与咨询,帮助真正有潜力的风险企业渡过难关。风险资本的性质不是获得股利,而是获得资本收益(附录 3)。在硅谷兴起之初,起主要作用的是政府采购资金;60 年代末,政府削减了对半导体工业的投资,私人风险资本一下子占据了主导地位;70 年代后出现的风险企业,有 30%把风险资本作为主要来源,15%则明确表示:企业发展的头 5 年中,风险资本是他们最主要的资金支持(金碧辉,1993)。

从北京试验区高技术企业的资金情况来看,主要问题是融资渠道少,影响了资金周转和资产结构的优化。如表 6 所示,多数资金来自于金融机构的贷款,融资方式单一、渠道狭窄,加剧了资金短缺,同时造成企业急需资金时的盲目融资。随着企业规模的扩大,其经营概念就不囿于实物经营了,而转变为资产经营,优化资本结构,努力提高企业的市场价值(王德禄,赵慕兰,1996)。同时,对于高技术企业的衍生而言,启动资金是必不可少的。一直到“二次创业”近期,融资多元化问题的重要性才提上了议事日程。

表 6 试验区企业融资方式选择

融资方式	企业比例(%)
金融机构贷款	65.0
吸收外资	12.7
股份制募资	7.6
风险投资	5.6
企业联营	4.1
其他	5.0

(引自参考文献 9,P10)

高技术企业是风险企业,特征之一是高风险与高收益并存,这有利于吸引风险资本。国外有许多发展风险资本的办法,值得我们借鉴。

(1)政策性补助:政府投入少量种子资金,为其他风险资本导向;或者政府以高风险投资领域进行补助。比如新加坡政府对企业在高技术领域连续亏损三年者,给予 50%的投资津贴;日本则实行“中小企业新技术开发补助金制度”,企业在政府确定的高技术领域内开发,由国家补助 1/3;有时也用政府直接贷款的形式,从财政预算中提出风险资金。

(2)政府参与担保的银行贷款:政府通过高技术计划,委托银行发放风险资金。如日本政府制定财政投资金融计划,将大笔风险资金通过“中小企业金融公库”贷出。

政府对风险企业提供债务保证,也已成为一种常用的政策。美国、英国、德国等为中小企业贷款提供的担保比率从 75%到 90%不等。美国国会近年通过法案,保证银行对小企业的某些大风险项目发放贷款,额度占项目总投资的 90%,如果小企业破产,政府负责赔偿 90%,并拍卖小企业。

(3)税收优惠:政府的低税率鼓动风险投资。比如新加坡政府规定,风险投资最初 5 ~ 10 年,完全免税,同时允许投资公司从所得税中扣除风险投资的股票损失。

(4)为风险企业设立专门的证券市场:使风险资金的筹措方式从间接金融为主转向直接金融为主。这类证券市场的发行标准低于一般的证券市场。日本政府于1983年分别在大阪、东京和名古屋设立了场外证券交易市场,高技术公司的上市标准很低。

关于风险资本在区域创新中的具体运作,超出了本文的讨论范围。从本文角度讲,区域风险资本的集聚,有利于企业衍生,有利于创造一个宽松的网络环境,这是政府义不容辞的责任。以上的四项,对我国政府有很大的借鉴意义,也将构成政府行为创新的主要方向之一。

4.4 区域高技术发展的动力机制

区域创新初期,是高科技势能积累转化为创业动能,在高技术发展的动力机制上表现为以自发的技术推动为主。英国学者 Walsh 等人认为,发展的早期以技术推动为主,而成熟期需求拉动则上升到主要地位。

实证考察表明这一判断是适应中关村发展的。近年来,中关村高技术发展的动力机制确实发生了转换:

(1)形成了"两头在内、中间在外"的企业横向协作格局(王思红,1994);

(2)形成了技工贸一体化的企业内部经营方式(鄢祖林,1991;魏心镇,1993)。

"两头在内、中间在外",是指开发与销售在内,生产加工在外,区内企业与区外企业横向协作明显。截至1995年底,区内新技术企业在全国各地建立分公司、子公司、联营公司近400家,另外有其他协作的企业近600家。联想公司外协了15家电子产品生产企业,形成年产500万块板卡的生产能力;不少区内企业也联合外协,四通和方正合作开发的医疗公司承包了蚌埠制药厂,承包初期就使企业产量增长了十几倍。这一生产格局的形成主要是由于巨大的市场需求拉动,其中既有本地市场的需求,也有外地市场的需求。高技术产品的生产不是遍在的,所以中关村能利用天时地利发展成为全国性的电子市场,吸引各地的需求,同时,大部分生产转移至当地,既是交易成本的节约,又避开了本地较高的房租地价以及劳动力成本,外地分厂的建设,也构成企业空间市场战略的一部分。同时,我们还注意到,区内企业与区外企业的协作,并不局限于高技术产品的生产,还说明随着区内高技术企业规模的增长,它们已经开始了多角化的经营,以规避一部分高技术发展的风险。

"技工贸一体化"的科技型企业,是改革中出现的新生事物。它们主要有两个来源,一是技术开发型研究院所。它们原属于独立的研究开发机构,在科技体制改革(主要是拨款制度改革)下,改变了运行机制,由过去封闭的单纯科研型向科研经营型转变,逐步成为研究开发、生产销售和服务一体化的经济实体,实际上已经转变成了科技型企业。二是科研人员离岗办企业,大多数民办科技实体属于这一类。技工贸企业的领导人出身于科技人员,有的就是为了推广自己的成果而"下海",使企业保持了较高的技术水平,在原有的科技优势的基础上,又增加了技术开发和生产销售能力。这两类主要的技工贸企业都没有什么原始积累,而且贷款困难,市场上又难得到风险资本,企业的启动资金数量都不大,无法完全承担高技术风险,所以只能走技工贸一体化的发展道路,有的时候甚至以贸为主,"以贸养技",过分依靠市场求得生存,没有巨大的市场需求拉动,企业不能实现滚动积累。

综上所述,我们认为,中关村的区域高技术发展的动力机制,已经由最初的半自发技术推动为主转变为现在的市场需求拉动为主,这也是区域创新的现实背景。它启示我们,科研机构为推进成果商品化产业化,需要仔细分析市场需求;政府也要在宏观体制转型中,把握市场规律,减少

"拍脑瓜"的技术投入,切实支持科研机构出有市场效率的成果,同时以创新的行为适当扶持有能力有潜力的企业,推动区域高技术企业在市场中实现技术创新和组织创新。

4.5 高科技成果产业化的分析

1993年,国务院国民经济和社会发展总体研究协调小组办公室对我国高技术成果转化问题作了一个较全面的调查,但在公开的资料中(参考文献34),该办公室仅仅提供了有关调查结果。下面,我们以此为基础,结合前述的有关内容和笔者在中关村作的有关调查,适当地作分析。

调查采用问卷形式,有效回答数为396份,占40%。这396项近几年的高技术成果覆盖全国,从成果结构看,应用研究占80%,试验发展成果占11%,基础研究占9%;从成果档次来看,获国家奖的占10%,获得省部级奖励的占60%;所有成果中,实现了商品化和产业化的占60%。

4.5.1 高技术成果商品化的推动因素分析

问卷中所列的各种影响因素是根据国内一般看法事先列举的,我们以全体认为"重要"对各影响因素进行排序(表7)。在样本组中,我们重点考察研究所和企业的回答,因为它们是高技术成果的主要产生者和承受者,在区域网络中也都是创新主体。

表7 对高技术成果商品化、产业化成功作出贡献的因素

(回答"重要"的频数占回答总数的百分比)

影响因素	研究所	高校	企业	产研学联合	全体
科技体制改革	53	60	50	42	53
减免税	41	36	61	62	42
经济体制改革	38	38	50	46	40
重奖有关人员	38	40	33	38	38
国家拨款	34	33	50	39	36
信息咨询服务	26	24	39	42	29
原材料供应	26	24	61	19	28
知识产权保护	22	33	33	27	27
人才培训	22	21	33	42	25
低息贷款	23	17	22	31	22
政府购买	16	17	22	23	18
风险投资	17	21	6	19	18

(引自参考文献,34,P69)

根据调查结果,我们分析如下:

(1)从整体来看,科技经济体制、减免税和重奖有关人员是成果产业化的最重要的激励因素。

体制改革是区域发展的根本,减免税是初期孵化企业的必要,重奖有关人员是对本地创新精神的培育。从研究机构看,科技体制改革是影响最大的因素,这也侧面反应我国科技发展与产业发展长期脱节的现实;从企业看,减免税和原材料供应是影响最大的因素,这是企业生产发展的实际要求。

(2)风险投资在产业化中起的作用很小,而国家拨款的作用却相当高。

这说明我们的发展机制还没有彻底实现转型,也难怪同国外高技术相比,我们的开发区总体数量虽多,但个体规模都太小,有的开发区名为"国家级",但产业的高技术含量不足,R&D投入低,实际上只不过是"政策区",甚至只是一片政府完成了"几通一平"却无人问津的地皮。

(3)统计检验表明,研究所和企业在对成果产业化影响因素认识上,有显著性差异。

我们使用的是"成对数据t检验"方法,在排除"原材料"一项后,仍有80%的置信度显示二者

的显著差异。这一结果说明研究所和企业对产业推动因素的认识有明显不同，研究所的各值普遍偏低，它们对成果产业化的热情显然不如企业那么高，进一步也说明了它们虽然在市场规则中开始合作，但有关的渠道并没有完全理顺。

4.5.2 高技术产品持续优势的因素分析

在完成了对创新主体的考察后，我们再看一下对创新环境的调查结果(表 8)。

表 8 高技术产品持续优势的影响因素

(回答"重要"的频数占回答总数的百分比)

影响因素	不很重要	重要	很重要	非常重要	重要以上之和
研究开发能力	5	16	32	33	81
市场需求	3	25	29	24	78
领导和管理方式	2	18	27	20	65
研究、开发、生产销售之间的联系					
市场大小	5	15	23	20	58
与国内研究机构合作	5	20	19	11	50
外部信息交流	15	16	20	11	47
政策法规	7	19	11	15	45
技术服务	11	24	9	3	36
内部信息交流	22	17	13	6	36
销售力量	21	12	18	5	35
技术引进	12	12	13	6	31
与国外的合作	9	12	7	7	26
与国内企业的合作	18	18	8	0	26

(引自参考文献 34，P73)

此结果表明：

(1)在高技术产品优势的保持中，研究开发能力、市场需求、领导和管理方式、生产环节联系和市场大小是最重要的影响因素。

结果显示，市场需求的重要性仅次于研究开发能力，说明全国高技术发展已经达到了一定的阶段，动力机制上正由技术推动型为主向需求拉动型为主发展，但我们仍注意到在"很重要"和"非常重要"的回答中，"市场需求"仍比"研究开发能力"低较多的比例，这说明全国水平的高技术动力机制转换还刚刚开始，而中关村的发展显然是超过了这一水平。

(2)认为"与国内研究机构的合作"达"重要"以上的占 50%，这个结果是不高的，说明研究机构在优势方而还欠缺充分重视。这一结果也支持了上而调查分析的统计分析结果。为了促进高技术产业化，我们还需要在科技体制上作深人改革，同时做好配套改革。这一结果，结合"与国内企业的合作"的最低重要性值，我们不难看出，国内高技术创新发展的网络建设是何等薄弱。只竞争不合作，迟早会丧失区域竞争优势，而成为全球化的牺牲品。

(3)"销售力量"和"技术服务"也呈现出偏低值，这与现代市场经济的要求是不符的。

它一方面说明我们的高技术企业还没有完备的市场意识，只是搞好自己产品的技术开发，然后等客户上门。随着市场经济的深人发展和竞争的强化，这一状态肯定会扭转的。近期，中关村

几大家纷纷筹建“大客户部”，就应证了这一点，它们从大客户入手，开始全面理顺高技术产品服务体系。这是顺应发展的企业行为创新。

【本章附录】(略)

第五章　区域创新目标

5.1　企业群在“全球化”中“本地化”

本文从区域创新网络的角度来考察中关村高技术企业群的“二次创业”，认为区域持久创新力来源于企业群在本区域的“本地化”，尤其在当今高技术的全球化浪潮中，我们应强调民族企业本地化的重要。

5.1.1　中关村的全球化发展

“全球化”在本文主要指高技术跨国企业，通过发展海外销售代理商等方式进行的市场占领，并进一步输出资本与技术。

中关村作为中国最重要的信息产品集散地，很早就被国外高技术公司所重视，这是全球化的拉动力，同时本地企业技工贸一体化的发展模式构成全球化的推动力，随着市场壁垒的降低，全球化在中关村表现出明显的特征，实证表现它尤其符合 Hakanson 的多级扩张模式(附录 1)。这一过程，有经济发展与企业成长的内在规律，中关村的企业走入全球化网络，可以搭跨国企业占中国市场的便车，以代理机会维持和扩大自己的市场网络，同时在一定程度上“以智引资(技)”，以联合研究开发的方式获得风险资金，其技术人才也得到培训与提高(谭左亭，1996)。

从数目上看，外商投资企业在试验区增加很快，如表 9。从有关经济指标看，外商投资企业也有较大的增长，如表 10。经过几年发展，试验区外商投资企业在区内企业总数和技工贸总收入中占到了 2 成，同时工业销售占了一半，出口创汇占了 7 成多，已经形成了相当的规模，中关村主要的高技术企业均有外资进入。

表 9　试验区外商投资企业数量统计

年　份	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
外商投资企业数	36	70	140	300	700	780	806
占区内企业总数比例(%)	4.2	7.2	10.4	12.3	18.6	18.4	18.2

(引自参考文献 8，P13，作者结合有关数据整理)

表 10　试验区外商投资企业综合经济指标与比重统计

年度	技工贸总收入		工业销售产值		出口创汇	
	千万元	比重%	千万元	比重%	万美元	比重%
1993	180	18	96	28	7142	65
1994	224	20	176	35.5	7800	67.7
1995	480	24	357	44.3	1100	73.3

(引自参考文献 25，P13，其中比重为占试验区该类项总量的比重)

外商投资企业也逐步形成鲜明特色(赵鼎玉，1996)：

(1)投资项目均为高技术项目,尤其是以电子信息技术与光机电一体化技术与产品为主(约占58%)。

(2)中外双方以知识产权和技术人股特征显著。

(3)外方带入先进管理经验,与本地高技术企业运行机制相结合。

(4)外商投资企业具高人资率(达90%以上)、高开业率(达90%以上)和高创汇率(达70%以上)。

5.1.2 本地化的必要性

"本地化"是指本地企业与其他创新主体在结成区域创新网络的基础上,充分利用网络资源,形成竞争优势,"本地化"体现高技术企业在区域的植根(王缉慈,1996)。

首先,国际资本的流动是以经济利益最大化为原则的。通常,如果一项技术是标准化的通用技术,跨国公司倾向于采用技术贸易的形式向发展中国家通过技术转让获利;如果一项技术是该公司的核心技术,它不太可能转让,而常常会选择海外直接投资的形式。这就使得对全球化中起决定作用的因素是本地市场需求或生产条件,国际资本一旦在本地不能实现利益最大化,它就可能转移,换言之,国际资本在本地不具植根性。

其次,本地化与全球化是矛盾的统一体,过度的全球化已经使中关村本地企业出现了"销售多开发少,贸易多生产少,成果多推广少,竞争多合作少"的不利格局,在一定程度上破坏了区域创新网络。

有关研究表明,判断创新性区域的主要依据是本地企业的植根性与创新网络能力(王缉慈,1996)。而过度的全球化恰恰是对区域创新性特征的削弱。外商投资企业的确促进了本地企业的发展,而且中关村企业积极寻求国际合作,主动将自己纳入全球化网络,已经避开了"引进——落后——再引进——再落后"的全球化陷阱,实力也得到了相当的积累,在下一步的区域创新发展中,应该加强本地化。

5.1.3 本地化的途径

从企业层面上讲,主要有三种途径推动本地化。

1. 鼓励本地企业在某些领域中资合或技合

全球化过程使本地企业与国外企业发生资合与技合,但国外企业对于这种合作的要求是苛刻的,选择也很挑剔,只有实力雄厚的企业和接近世界先进水平的技术,才有可能被纳入全球化网络,而区内大量存在的中小企业及一般性技术创新,则得不到全球化的惠泽,相反,它们是全球化弊病的主要承受者。所以,本地企业合作意识弱,会在全球化经济中始终处于被动地位。

实质性推动本地企业的合作是个长期的过程。首先依赖于区域网络环境的完善;网络大大节约交易费用,这符合中小企业的实际,日本近年发展了技术大厦(Technoplaza),作为基础设施实现了大量中小高技术企业集聚和广泛平等交流,实践证明这大大推进了企业本地化,同时网络的形成有利于合作精神的培育,合作精神在相当程度上比法律约束更有意义;其次是完善有关政策法规,为中小企业营造健康的约束。

同时,本地大企业也有资合技合的必要。因为本地的大企业,在国际竞争中也只是小企业,不充分合作,则在国际竞争中仍处于被动地位;本地大企业的合作,有利于多角化战略经营,四通和方正合作开发医疗公司,顺利承包了蚌埠制药厂,既把该企业从破产的边缘挽回,也使自身获得丰厚收益。调查表明,本地企业的合作空间非常广阔。

2. 实力积累后，鼓励本地企业回购合资股份

日本在经济起飞中，考虑到本地市场容量和企业成长，引进外资的不多，即使有合资，也在实力积累后逐步购回股份。如 NEC，早期是日美合资，后来美方投资份额逐渐被日方购回，NEC 成为日本独资企业，在国际竞争中能动性大大提高。中关村目前的合资企业还处于发展初期，实力积累尚需过程，在中方技术、资金和品牌不占优势的阶段，大量引资合资是有益的，但随着发展成熟，尤其是可以独立参与国际竞争时，NEC 的策略值得借鉴。

3. 促进本地 R&D 成果转化

中关村高智力密集、高技术成果密集，有利于企业本地化。北大方正是本地 R&D 成果转化的典范，王选教授将方正的发展模式归纳为“顶天立地”，“顶天”是指技术含量高，“立地”是指立足于北大和方正本身的雄厚技术基础。这种发展思路实际上就是高技术企业的本地化。

由于这一发展是跨创新主体的(从研究机构到企业)，所以转化渠道的流畅非常重要。我们的调查中发现，由于本地创新网络薄弱和科技体制原因，很多很好的 R&D 成果被阻塞了，比如北京理工大学开发出某高效无氟灭火剂，技术水平是世界领先的，但因为管理体制、资金筹措等原因使商品化产业化进程很不顺利。这些都是区域创新环境不佳的表现。

总之，我们认为，对于推动本地企业的“本地化”的关键环节是创新网络的完善。全球化浪潮使我们有收益，但也提醒我们居安思危。现阶段我们仍处于被动型全球化，还存在很多风险与不确定因素；而区域竞争力的最终体现之一是本地高技术企业的主动型全球化，所以我们需要以本地化为基础，本地企业的植根才是区域竞争力的本源。

5.2 网络培育与政府行为创新

5.2.1 现行政策与政府行为能力不足

从 1985 年 3 月《中共中央关于科技体制改革的决定》明确提出高技术产业开发区的政策思路至今，逐步建立了以“18 条优惠政策”和“12 号文件”为核心的一套高技术开发区宏观政策(附录 2)。

回顾开发区历程，国家宏观政策起了积极的决定性的作用，但随着发展，现行政策已不能完全适应形势发展的要求。主要表现在以下几个方面(陈兆莹，1993)：

(1)不同时期发布的相关政策不尽统一。当前，我国开发区实行两套政策，一套是 1988 年国务院批准的北京新技术产业开发区政策，另一套是国发(1991)12 号文件。两套政策在税收等方面存在一定的差异，这对于跨开发区的企业联合或机构分设带来不便。

(2)开发区政策同某些相关政策的关系需要进一步理顺，比如，某些部门给校办企业、军工企业、民政企业的优惠政策同 12 号文件有差别，这给已享受优惠政策的这类企业进入开发区带来一定的困难。

(3)现行政策未充分体现高新技术特色，与一般的经济技术开发区区别不大，在调动广大科技人才的积极性，以及促进高新技术向传统产业扩散方面显得调控力不足。

(4)最主要的缺陷是，现行政策偏重优惠、扶持的功能，而在培育区域创新环境方面缺少力度，这使政策的整体效应和区域层面的能动性未得到充分发挥。

从政府行为能力方面看，也存在很多不足。主要表现在：

(1)现行的科技园区管理机制不灵活：试验区办公室虽然是试验区的管理部门，但作为海淀区政府的派出机构，尤其缺乏经济方面的协调能力，而高技术企业需要解决的大多数问题都在经济领域，这就使得试验区能动性较低，往往只能一事一议或层层上报。其他高新区管委会也存在

类似的问题(王西麟,1996)。

(2)政府行为具短期性:调查表明,企业获得竞争优势的时间周期大大长于政府政绩的考核时间周期。高技术产业一般要十年以上才可能获得竞争优势,而地方政府为了突出政绩,往往采用"性急"的政策,比如补贴、保护以及有行政色彩的企业合并等。从长远看,减免税和补贴实际上使企业对政府更依赖。现代企业不面对竞争是得不到持续发展的。法国布尔计算机公司被政府保护了 10 多年,最终还是巨额亏损宣告破产。

(3)政府对高新技术成长需要的环境缺乏足够的认识:有关研究表明,这是中关村最主要问题之一(王缉慈,1996)。现行的政策在放手企业自由竞争发展的同时,对企业的规划引导不足,使创新环境片面化、简单化。现行的科技园建设政策思路是"筑巢引凤",希望通过强化区域基础设施吸引企业集聚。但现实往往与政府初衷相悖。北京上地信息产业基础虽然投巨资建设了好几年,但规模与发展一直不理想(附录 5)。

5.2.2 政府行为创新

针对以上问题,我们认为政府作为区域创新主体之一,其行为创新是区域创新的重要保障。政府行为创新有以下内容:

(1)行为角色转换,在创新环境培育中形成新型的政企关系:政府的行为角色转换是指政府从计划体制下的指导监督者角色,转换到市场体制下创新网络的平等参与者和协调维护者。行为角色的转换,是政府培育创新的前提,是建立适应市场机制的新型政企关系的基础。

这里所指的区域创新环境是一种网络系统,是建立在区域内企业间,以及企业与科研机构和行政机构间长期合作基础上的稳定关系(王缉慈,1996)。

市场经济的内在要求是政府要少干预,中国的宏观体制处于战略转型阶段中,从以往的等级组织中脱胎,由于政策与政府行为的惯性,政府不可能从经济领域中完全撤出,而且从区域竞争力角度讲,政府也不应该完全撤出(曾晓萱,1995)。企业首先是利润的追逐者,竞争不达到一定程度不会成为网络的主动创建者;而网络作为等级组织到市场组织的过渡组织形式,恰恰适应政府行为角色转换的要求,其公益性也符合政府的行为职能。所以,在区域创新中,要求政府逐步淡化计划管理者角色,既是创新网络的培育者,又是创新网络的平等参与者,以区域创新主体的身份出现。

试验区创新环境的不佳,使各高技术企业一直缺乏联系,近年来纷纷南飞,这使政府行为角色转换更加紧迫。

(2)改进高技术政策目标:最近有学者对"筑巢引凤",提出新的科技园区政策思路——"作窝养鸡",强调注重区域发展的软环境建设。这个思路放弃了"宏伟"的区域发展目标,面代之以埋头培育本地网络环境(王缉慈,1996)。

中关村高技术市场高度集中,企业间相似的产品结构加剧了本地竞争,很难直接形成业内联合。另外,中国的企业运作机制也不健全,企业间缺乏充分的依赖。这些原因,都是单纯企业行为难以解决的,必须让政府以理性中介的身份来联系企业。在加拿大 Sheridan 科技园,政府积极地推进企业,"使他们在一起(Put them together)",开座谈会,组织讲座,也邀请大学的人参加。这样的软环境建设产生了很好的效果。当然,政府在推动时,硬环境和软环境可以同时推进。比如,北京理工大学与试验区成功地开发了理工大厦,带动周边技工贸发展。可见,"高校与地方政府的合作,不仅仅是要钱要地。"(苏青,1996)

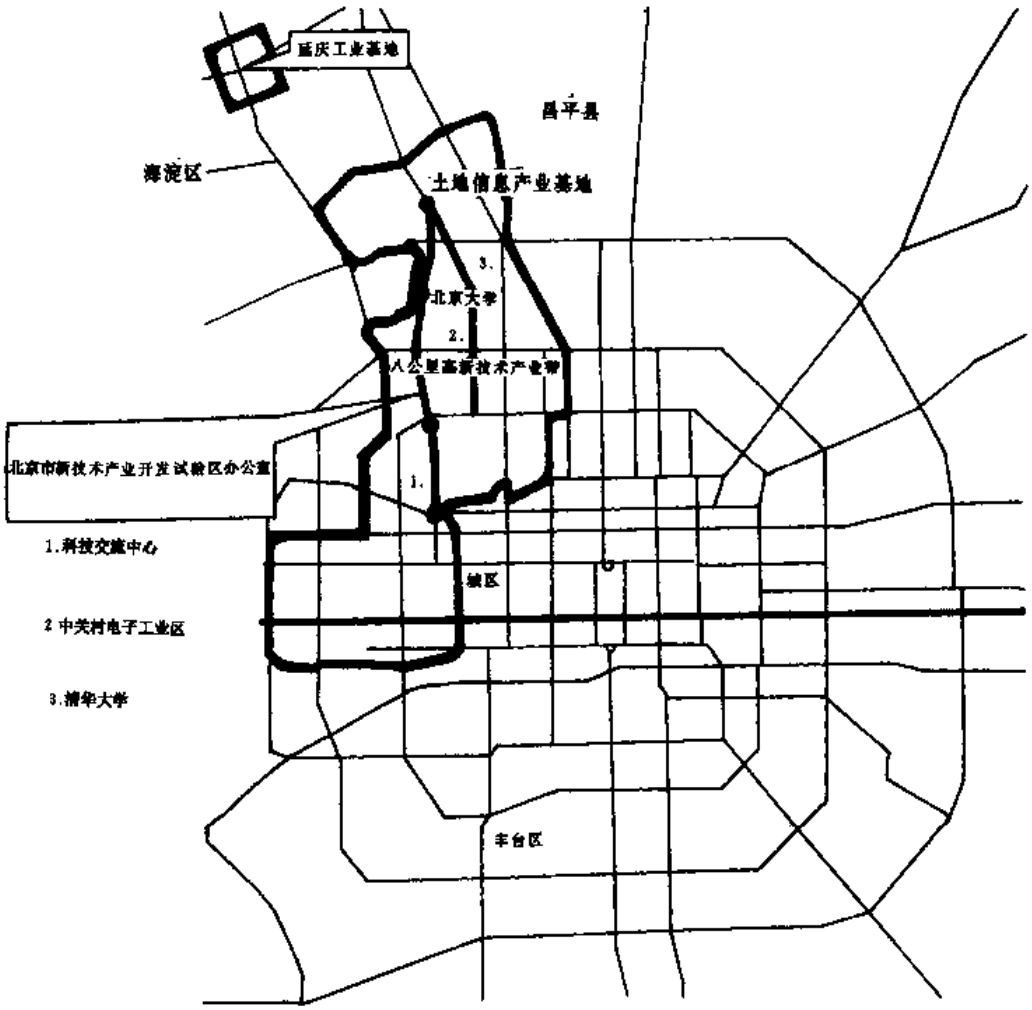
(3)以配套改革,清除要素市场壁垒:高技术产业发展的一个重要条件是对要素市场的要求

更高,包括原材料、人才等传统意义上的要素市场,还包括信息、产权交易、风险投资等市场。适应产业的这一内在要求的要素市场,近年在我国正逐步得到完善(白克明,1993)。调查表明,我们的高技术要素市场体系基本建构完成,只是还没有充分发挥出市场高效益,主要原因是市场壁垒还没有完全消除,存在信息沟通与交易发生的种种障碍。往往形成这样的情况:研究机构有好的成果不愿意拿到市场上去;企业想寻找成果却找不到市场在哪。要素市场的运作与维护是政府行政职能的一部分,这一状况需要改变。

归根结底,这还是区域创新环境不佳的表现。它的彻底转变必然要求有关配套改革的进行,以及新政策思路与前述政府行为创新的良好结合。

【本章附录】

(1)哈坎逊(Hakanson)多级扩张模式(1979),主要说明企业为占领市场而实现空间扩张和资本技术转移。首先是公司在其初始区位以外设立销售机构或生产厂家,进行市场渗透;然后通过销售代理商进行市场扩张;随着销售量的上升,公司在主要市场上建立自己的销售机构;以后随着运输成本增加及贸易摩擦加大,公司可能会进行本国生产向国外主要市场的转移。



附图 1　北京市新技术产业开发试验区示意图

(2)我国高技术开发区宏观政策的形成和建立大致可以分成以下三个阶段:1988 年以前为第一个阶段,当时国家虽然没有制定直接针对开发区的政策,但已经把高新技术产业发展提上了议事日程,1985 年 3 月《中共中央关于科技体制改革的决定》明确提出了高技术产业开发区的政策思路;1988 至 1991 年为第二阶段。1988 年 5 月,国务院批准了成立北京新技术产业开发试验区,并给予 18 条优惠政策。各地政府纷纷仿效。同年国家火炬计划开始实施,并将开发区工作作为火炬计划的一个重要组成部分;1991 年至今为第三阶段,国务院又批准成立了一批新技术产业开发试验区,并发布了第一个全国性的高新技术产业开发区的政策文件(简称 12 号文件),它体现了国家发展高技术产业开发区的决心。

(3)根据试验区 1996 年研究报告,北京上地信息产业基地在改善投资环境和入驻一批外资企业后,发展情况有好转。1995 年出现第二次投资建设升温,新增开工项目 17 个,进驻企业总数达 82 家,正式开工投产的达 37 家,1995 年基地内工业产值达 20 亿元,实现税收 5 500 万元。

结束语

我们在区域创新的考察中,将企业、政府和科研机构(包括高校)作为创新主体,它们相互间广泛而平等的联系构成区域创新网络;对于网络中创新主体行为的优化,我们重点考察了企业与政府,这并不是研究机构的行为优化不重要,而是因为研究机构的职能更加复杂,包括基础研究、高等教育等等,很多考察层面已经超出了本文的范围。

实证考察使我们感受到了中关村十年发展中的根本性变革是:①高技术产业发展的动力机制发生了转换,即由半自发的技术推动转换成了市场需求的拉动;②高技术产业发展的经营机制创新,区域孵化出大批创新型民营企业与企业家。

综上所述,我们在区域创新方而,形成以下基本结论:

(1)适应区域高技术发展动力机制转变和在全球化中发展民族高技术产业,是区域创新的现实必要。

(2)创新精神与企业家的孵化是区域创新的重要内因。

(3)风险资本是区域创新的重要外部推动力,它也直接推动本地企业的衍生。

(4)政府行为创新是区域的重要保障。

(5)区域持续创新与区域竞争力增长来自于本地企业的植根发展。

(6)区域创新将促使本地企业由被动型全球化最终走向主动型全球化。

参考文献

1. 王缉慈 . 现代工业地理学 . 北京:科学技术出版社,1994
2. 魏心镇,王缉慈等 . 新的产业空间 . 北京:北京大学出版社,1993
3. 王晓龙等 . 中关村电子一条街大事记(1980—1988). 内部资料,1993
4. 肖汉等 . 中关村巨变 . 北京:文化艺术出版社,1994
5. 王西麟 . 高技术企业成长论 . 济南:暨南大学出版社,1996
6. 郭为等 . 联想之路 . 北京:人民日报出版社,1991
7. 王缉慈等 . 北京高技术企业集聚与扩散的调查 . 科学中国人,1996,1
8. 北京试验区写作小组,王思红等.北京市新技术产业开发区研究报告,1996. 内部资料,1996
9. 北京试验区发展战略研究中心,长城企业战略研究所,赵慕兰等 . 北京试验区高技术企业"二次创业"战

略研究报告．内部资料,1995

10. 长城企业战略研究所,王德禄等．企业研究,第52～70期合订．内部资料,1996

11. 卢有澄．我看英特尔．上海:上海三联书店,1995

12.(美)汤姆·福里斯特著,吴士嘉、洪允息译.硅海武士.北京:新华出版社,1996

13.(美)麦克尔·科索马罗、理查德·塞尔比著,程化等译．微软的秘密.北京:北京大学出版社,1996

14. 刘明胜．高科技:北京的最佳增长点．北京青年报,1997年5月17日第一版

15. 曾晓萱．追赶型国家发展高技术产业的政府行为．科学中国人,1996,

16. 曾晓萱．科技产业政策研究．内部资料,1995

17. 王缉慈,邓鸿．从企业地理角度构建我国区域发展的一个分析构架．地域开发与研究,1996,Vol.16,No.4

18. 余年生．全国高新技术产业及经济技术开发区政策指南．昆明:云南大学出版社,1993

19. 国务院研究室教科文卫局,白克明等．加速高新技术产业开发区改革和建设．北京:北京师范大学出版社,1993

20. 于维栋．希望的火光:中关村电子一条街调查．北京:中国人民大学出版社,1988

21.(英)C·M·哈兰德著,王缉慈等译．网络与全球化．内部资料,1997

22. 王缉慈．关于区域创新网络的理论与实践研究．内部资料,1996

23. Manuel Castells. Peter Hall. Technopoles of the World,1995

24. Mette Monsted. Process and Structures of Networks: reflections on methodology. Entrepreneurship and Regional Development, Vol.7, No.3, July – Sept,1995

25. 张金顼主编．技术经济学．北京:中国经济出版社 1993

26. Pierre – Andre Julien. Globalization: Different Types of Small Business Behavior. Entrepreneurship and Regional Development, Vol.7, No.3, July – Sept,1995

27. 长城企业战略硬件研究所,王德禄等．企业研究(Ⅴ),内部资料,1996,71

28. M·波特·竞争优势．北京:中国财政经济出版社,1988

29. M·波特·竞争战略．北京:中国财政经济出版社,1989

30. K·W·克拉克森,R·M·米勒．产业组织:理论、证据与公共政策．上海:上海三联书店,1993

31. 陈惠湘．联想为什么．北京:北京大学出版社,1996

32. 周起业等．区域经济学．北京:中国人民大学出版社,1989

33. 傅家骥等．技术创新．北京:企业管理出版社,1992

34. 国家科委课题组,李绪鄂等．科技成果转化的问题与对策．北京:中国财政经济出版社,1994

35. 袁路阳,赵曦林,硅谷探奇．北京:科学普及出版社,1985

36. 鄢祖林．新技术开发区与科技企业孵化器．北京:科学出版社,1991

37. 欧洲投资银行编,段永宽译．创新、技术和金融．北京:中国审计出版社,1993

38. 雷德森等．高技术产业化道路探索．北京:人民出版社,1993

后记

对于"高技术产业与区域创新"问题的思考大约从1996年暑期开始,笔者有幸先后参与了北京新技术试验区和北京长城企业战略研究所"二次创业"课题和"区域创新"课题的有关调查研究,积累了很多感性认识。在这一过程中,笔者从周一星、杨开忠老师的课上获得了许多有益的理论和思考方法。同时,最主要的是始终得到了王缉慈老师的关心与指导,从开始接触"网络"等新的经济地理分析方法,到学会规范有关的调查分析,王老师始终尊重学生的每一个"大胆"想

法，并总是在平等的讨论中循循善诱。无疑，这种“网络式”的交流带来丰富收益。没有王绶慈老师的引导和“创新环境”的提供，笔者对许多问题的认识肯定要肤浅得多，这篇拙作也不可能顺利“孵化”。治学既苦且乐，钻之愈专、苦乐愈甚。

另外，笔者也得到了试验区和长城所的帮助。与王德禄所长聊中关村的故事，常常是一件愉快的事情，在企业管理咨询方面，他是不可多得的专家；武文生先生使我比较完整地获得了对民营企业的理解，他对于政策法规的记忆力也让我吃惊；还有张建宁、陈畅、罗利元、华锦阳、陈义龙、贾娜等同事，他们给了我不少启发；更接触了一些有民族责任感的企业家，交谈中我得以一窥“外面精彩的世界”。

还有，中央党校的王克迪老师，使我在科技政策方面形成一定的把握能力，他的许多看法是一针见血的；全国政协的马锐先生，帮助我们弄懂了政府部门让人迷惑的运作机制。

在论文形成过程中，还得到了程静、孙颖等学友的帮助，并在王绶慈老师的研究生讨论课上，获得了关于技术创新与区域发展的深入理解。

对以上的关心、帮助与启发，笔者谨此致以诚挚的感谢！

最后说明：笔者结合调查和有关理论学习，并吸收了许多学者的近年研究成果，才得以完成本文。本文的基本观点与结论，如有偏颇，概与“参考文献”中作者无关，也与本文指导老师无关；面且不代表任何政府部门的意见。笔者对本文负完全的文责。

9.3 《围场—好鲁库生态过渡带植被空间分布规律研究》点评

黄永梅的论文《围场—好鲁库生态过渡带植被空间分布规律研究》，选题具有一定理论和实践意义。本论文涉及的生态过渡带和生物多样性问题是生态学的研究热点，植被空间格局和分布规律是这方面基础性的研究内容，具有重要的科学意义。

论文基础资料丰富，基础工作扎实。基础工作扎实与否，基础数据是否完备，是衡量学生基础知识、基本训练水平的主要依据。本论文是在大量实地调查工作基础上写成的，基础工作扎实，表明作者达到了培养目标的要求。

论文较好地运用多种数量分析方法，有较强的独立工作能力。生物多样性分析的方法很多，作者结合研究地区的实际情况，选择适当的指标，熟练地运用各种程序，表现出较强的独立工作能力。

论文首次论证了当地生态过渡带存在景观急变带，有所发现。论文写作规范、思路清晰、图文并茂、资料翔实，是一篇优秀的学士论文。

题目：围场—好鲁库生态过渡带植被空间分布规律研究

作　　者　北京大学城市与环境学系91级　黄永梅
指导教师　刘鸿雁

摘要：生态过渡带是两个相邻生态系统之间的过渡地带，具有由特定时间空间尺度以及相邻生态系统相互作用程度所确定的一系列特征，对区域乃至全球气候变化非常敏感，是当前生态学研究中的热点之一。本研究区位于河北省围场县和内蒙古赤峰市好鲁库，范围是116°44′～117°

48′E,41°57′～42°59′N,为中国东部暖温带落叶阔叶林向温带草原过渡的区域。本文在大量野外实地调查和系统采样的基础上,用 DCA(Detrended Correspondence Analysis)、TWINSPAN(Two - way Indicator Species anaalysis)法进行了植物群落排序与数量分类,分析了研究区主要的 11 种植物群落类型、植物群落空间分布特征及其与环境因子的关系,进行了群落多样性指数的计算,并据此划分了生态过渡带中的急变带,急变带具有高于两侧的 α - 多样性,同时急变带上植物群落与其两侧同类植物群落的 β - 多样性也高。在此基础上,通过生态种组的提取,探讨了急变带的功能。急变带就像栅栏一样,大量落叶阔叶林下的中生草本植物不能通过它向北分布,而一些典型的草原植物则不能通过它向南分布。

关键词:生态过渡带　DCA　TWINSPAN　急变带

前言

生态过渡带指两个相邻生态系统之间的过渡地带。它具有由特定时间空间尺度以及相邻生态系统相互作用程度所确定的一系列特征。就生物与非生物作用的本质来说,过渡带的景观空间结构、植被时空分布范围表现出随外界环境条件变化而变化的明显动态特征[1]。本文在对河北省围场—内蒙古克什克腾旗好鲁库森林草原过渡带进行实地考察、系统采样的基础上,对植物群落进行数量分析和环境解释,旨在探讨森林草原过渡带植被分布的内在规律,分析它与环境因子的关系,为进一步探讨植被与景观变化服务。

生态交错带或过渡带(Ecotone)的术语在我国生态学研究中也早已被采用,如植被、气候及生态区划中界线的讨论都涉及到过渡带的问题[1]。王铮等认为从气候上看,中国存在一条走向东北—西南的环境过渡带,其基本走向大致为:腾冲—西昌—雅安—天水—潼关—北京与张家口之间—赤峰—翁牛特旗—乌兰浩特—黑河[2]。围场—好鲁库地区位于赤峰市西南部,处在这一大的气候过渡带上。80 年代以来,随着生态学的发展,特别是景观生态学的兴起,生态过渡带的研究进入了一个新的阶段,生态过渡带的含义已扩展到了指广义的景观界面。由于生态过渡带是全球变化的敏感区域,而且具有相对较高的生物多样性,它的研究越来越受到生态学家的重视[1]。

植物群落的排序与环境解释有助于客观和定量地阐明植被与环境因子的关系,即不仅给出植物群落及其梯度的环境解释,且通过定量分析,建立起群落及其梯度的空间分布模型[3][4]。但在一个环境梯度上种群的大片重叠以及不同种群分布区中心的分散,意味着大多数群落在环境梯度上连续镶嵌而不是形成不同的、界线分明的带[5]。Whittaker 根据 Ramensky 和 Gleason 的种的独立性原则和群落连续性原则,提出了关于环境、植物种群和植物群落的三条假定:①存在着一个环境梯度,土壤和小气候沿该梯度变化;②某一植物种群根据自身生理学上对该梯度的反应沿这一梯度分布;③沿环境梯度不同植物种群的组合,即植物群落在群落特征上彼此联系[5][6]。根据这一梯度分析的原理,可在研究区内找出生态种组作为指示体[5],进一步分析生态过渡带上植物群落空间分布及其与环境因子的关系。

第一章　研究区域与研究方法

1.1　研究区域概述[7][8]

研究区位于河北省围场县与内蒙古赤峰市西南部(116°44′～117°48′E,41°57′～42°59′N),在内蒙古高原、大兴安岭山系与冀北山地交汇处,是暖温带向中温带过渡区,也是半湿润气候向半

干旱气候过渡区,反映在植被上是夏绿落叶林向草原过渡。

1.1.1 研究区景观分区

根据研究区地貌、气候特点,可将研究区分为三个景观单元:

1.草原带沙地区:元宝山牧场以北地区(海拔 1 100~1 500 m)形成干涸的古湖盆及周围低缓的沙丘,属于温寒半干旱气候,土壤以风沙土为主。

2.坝上河源区:包括红山军马场和机械林场(海拔 1 500~1 800 m),呈台状高地(当地称为漫甸)和波状高原地貌,为一熔岩覆盖的高原,散布由花岗岩、变质岩组成的山丘。丘间多风蚀洼地,并有沼泽分布。该小区属于寒温型半湿润气候,土壤以灰色森林土为主,并与沼泽土形成复区。

3.坝下冀北山地区:由中山、低山、黄土台地、谷地组成。中山海拔 1 000 m 以上,最高可达 1 900 m。该区有六条河流形成六条宽谷,其中四条是南北和西北-东南走向,与西北季风方向一致,形成风沙带。该小区属凉温半湿润气候,土壤以棕壤、淋溶褐土为主。棕壤一般在海拔 800 m 以上,海拔 800 m 以下为淋溶褐土,在部分山地分布灰化棕壤。三个景观单元气候指标见表 1。

表 1 研究区气候指标

	草原带沙地区	坝上河源区	坝下冀北山地
气候类型	温寒半干旱气候	寒温半湿润气候	凉温半干旱气候
年均温	0~-1℃	-1~4℃	4~7℃
≥0 积温(℃)	1 900~2 300	2 100~2 800	2 800~4 200
≥10 积温(℃)	1 300~1 700	1 700~2 200	2 200~3 800
无霜期(天)	60~80	60~80	120~170
年降水量(mm)	250~350	420~470	400~490

1.1.2 过渡性分析

1.气候的过渡性:研究区由南至北,年均温逐渐降低,受海拔高度影响,降水量由南到北呈逐渐减少的趋势,坝上河源区降水相对偏多。从南向北,气候由凉温半湿润向寒温半湿润进而向寒温半干旱逐渐过渡。

2.地貌的过渡性:整个研究区位于冀北山地向内蒙古高原的过渡地带。在坝上部分,由坝上河源区向内流区过渡。在研究区南部,丘间平地沼泽化现象明显,研究区北部则以干湖盆为主。

3.土壤的过渡性:研究区从南到北,在不同的地貌、气候和植被作用下,土壤由棕壤、淋溶褐土向灰色森林土过渡,再向北被风沙土所代替。

由于以上地貌及气候特点,这一地区形成了"南农、北牧、中森林"的格局。冀北山地在棋盘山乡以南以农业为主,棋盘山乡往北到吐力根河以林为主,为塞罕坝机械林场所辖范围,森林覆盖率高,吐力根河以北则以放牧为主。

1.2 研究方法概述

1.2.1 野外调查

野外考察用全球定位系统(GPS)进行定位,每个取样点定有精确的经、纬度和海拔高度,克服了过去定位难的问题。

野外植被调查采用样方法。在整个研究区内(见图 1),共做了 62 个样方(见表 2)。森林群

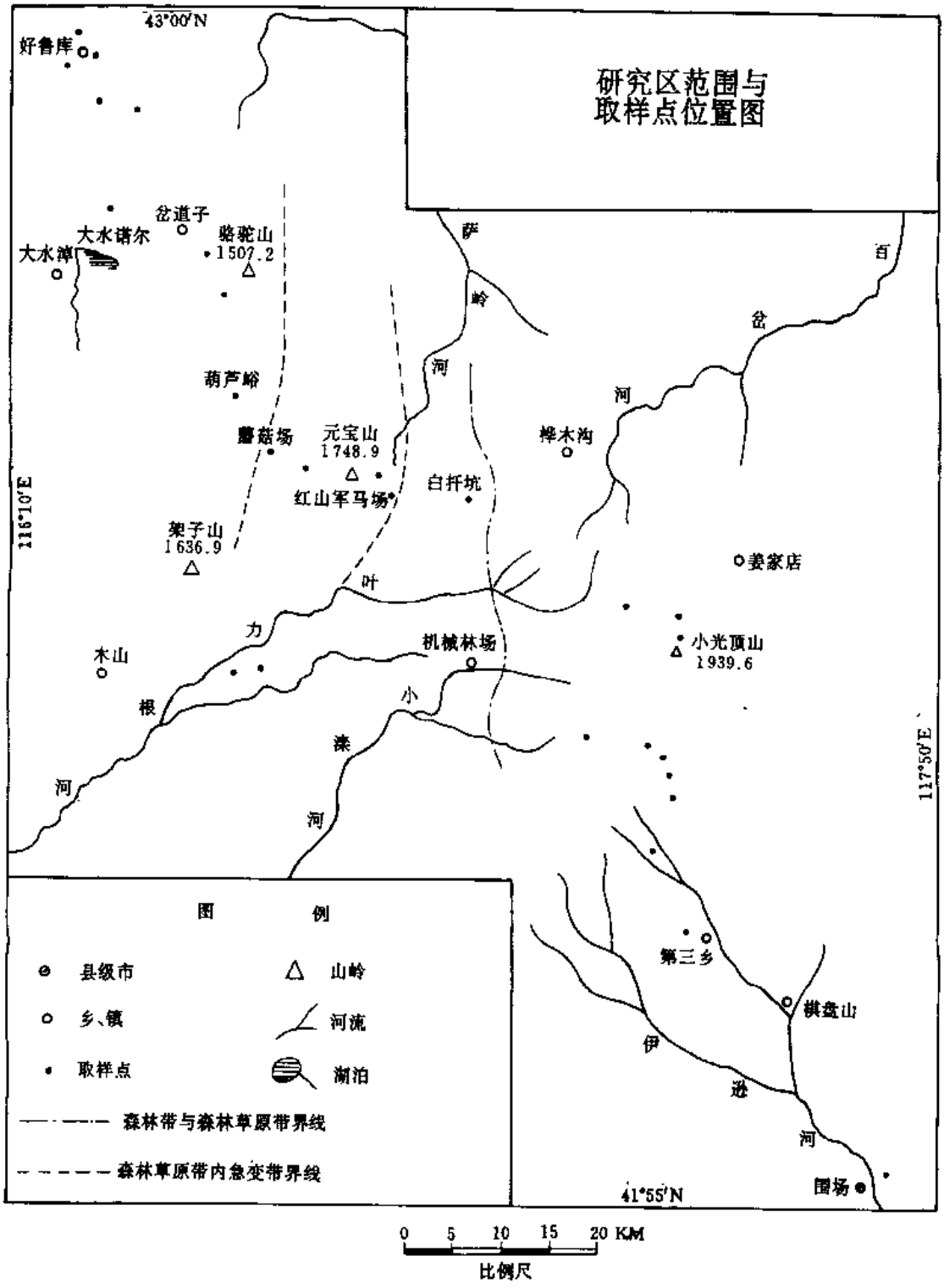


图 1 研究区范围与取样点位置图

表2 植物群落样地特征表

样地编号	群落名称	样地位置	纬度(N)	经度(E)	海拔(m)	坡向(NE)
1	冷蒿－百里香草原	好鲁库蔡木山	42°58′11.1″	116°47′21.9″	1 350	丘顶
2	白桦林	好鲁库蔡木山东	〃	〃	1 330	东北坡
3	榆树疏林	好鲁库	42°57′46.6″	116°45′24″	1 313	正南
4	冷蒿－黄囊苔草草原	好鲁库	〃	〃	1 322	\
5	百里香－冷蒿草原	好鲁库	〃	〃	1 322	\
6	山杨林	好鲁库旧庙西山	42°57′22.8″	116°44′11″	1 390	5°
7	榆树疏林	〃	〃	〃	1 350	80°
8	小黄柳灌丛	〃	〃	〃	1 390	240°
9	山杏灌丛	好鲁库西南	42°55′0.1″	116°46′05″	1 330	70°
10	羊草－茵陈蒿草原	10与11之间	〃	〃	1 320	\
11	山杨林	联络点	42°55′08.8″	116°48′53.4″	1 350	0°
12	羊草－羊茅草原	〃	〃	〃	1350	35°
13	贝加尔针茅草原	伊和诺尔北	42°49′14″	116°47′35.2″	1 340	0°
14	虎榛子灌丛	岔道子南4 km	42°46′46.7″	116°57′35″	1 390	0°
15	贝加尔针茅－线叶菊草原	〃	〃	〃	1 390	\
16	贝加尔针茅草原	骆驼山南3 km	42°44′19.6″	116°55′17″	1 390	340°
17	羊草草原	〃	〃	〃	1 385	0°
18	山杨林	葫芦峪	42°39′05.5″	116°57′04.2″	1400	67°
19	山荆子灌丛	〃	〃	〃	1 390	\
20	茵陈蒿－糙隐子草草原	〃	〃	〃	1 400	220°
21	线叶菊草原	蘑菇场南山山顶	42°36′06.3″	116°59′32″	1 500	山顶
22	棘皮桦－山杨林	蘑菇场南山北坡	〃	〃	1 460	25°
23	虎榛子灌丛	〃	〃	〃	1 460	25°
24	贝加尔针茅－线叶菊草原	〃	〃	〃	1 450	25°
25	羊草草原	蘑菇场丘间盆地	〃	〃	1 420	\
26	鹅绒委陵菜－寸草苔草甸	〃	〃	〃	1 410	\
27	白桦林	元宝山主峰西北3 km	42°35′15.1″	117°02′55.5″	1 470	东北坡
28	油桦灌丛	〃	〃	〃	1 470	\
29	贝加尔针茅草原	〃	〃	〃	1 470	25°
30	冷蒿－苔草草原	将军泡子西北	42°34′45″	117°07′29.4″	1 510	125°

续表

样地编号	群落名称	样地位置	纬度(N)	经度(E)	海拔(m)	坡向(NE)
31	白桦林	红山军马场后站	42°33′27″	117°08′40″	1 590	东北坡
32	贝加尔针茅草原	〃	〃	〃	1 554	〃
33	贝加尔针茅草原	〃	〃	〃	1 542	〃
34	寸草苔草甸	〃	〃	〃	1 540	\
35	寸草苔－鹅绒委陵菜草甸	〃	〃	〃	1 540	\
36	沼泽	〃	〃	〃	1 540	\
37	云杉林	白扦坑阴坡	42°34′44.8″	117°14′32.4″	1 575	0°
38	星毛委陵菜草原	白扦坑西南坡	〃	〃	1 570	285°
39	落叶松－云杉－白桦林	大脑袋山西麓	42°24′15″	117°14′10.7″	1 560	30°
40	羊草－蒿类草草原	大脑袋山东坡	〃	〃	1 560	120°
41	白桦林	四道河口大沙坑	42°24′20″	116°57′37.1″	1 390	30°
42	油松林	三道河口松树梁	42°24′46.6″	116°58′37″	1 430	30°
43	灰脉苔草－金莲花草甸	三道河口林场场部东	〃	〃	1 380	\
44	灰脉苔草草甸	\	42°27′17.1″	117°30′39.8″	1 710	65°
45	华灰早熟禾－杂类草草甸	小光顶山山顶	42°25′58.3″	117°30′32.8″	1 900	\
46	地榆－雀麦草甸	〃	〃	〃	1 900	\
47	人工落叶松林	小光顶山北坡	〃	〃	1 900	300°
48	人工落叶松林	〃	〃	〃	1 800	300°
49	天然落叶松林		42°27′27.5″	117°26′56.6″	1 700	300°
50	白桦林	机械林场南山	42°23′55″	117°15′11″	1 550	25°
51	灰脉苔草草甸	沙脑包泡子东	42°20′50″	117°23′40″	1 700	\
52	白桦林	老盐道拐弯处	42°20′03.3″	117°28′10.9″	1 670	0°
53	白桦林	老盐道阴坡	42°19′25.4″	117°29′07.7″	1 560	35°
54	白桦林	大北岔	42°18′42″	117°29′40″	1 450	0°
55	大果榆疏林	〃	〃	〃	1 450	180°
56	线叶菊草原	〃	〃	〃	1 460	180°
57	蒙古栎林	桦树林子	42°17′29.4″	117°30′41.5″	1 400	85°
58	油松林	三乡林场前沟	42°14′17.1″	117°29′28″	1 350	5°
59	蒙古栎林	〃	〃	〃	1 300	65°
60	蒙古栎林	哈里哈乡西400m山丘	42°10′20″	117°32′48″	1 200	55°
61	虎榛子灌丛	围场东沙梁	41°57′21.2″	117°46′27.1″	1 000	5°
62	冷蒿－糙隐子草草原	〃	〃	〃	1 100	\

落样方面积 $10\times10\ m^2$(特殊情况下 $20\times5\ m^2$)共 26 个;灌木群落样方面积 $4\times4\ m^2$,共 7 个,草本群落样方面积 $2\times2\ m^2$,共 30 个。对于乔木记录其高度、胸径、基径、冠幅、枝下高、株数、郁闭度;灌木记录其多度或丛数、盖度和高度;草本则记录其多度、盖度、物候相和高度。对于每个样地的生境调查项目包括:海拔、坡向和坡度、地表覆盖物、土壤类型、土层厚度、湿度状况和人类活动干扰情况。样地特征见表 2。

1.2.2 室内资料分析

1.样方整理[9]

样方按纬向从北至南顺序重新编号,计算各样方中各植物种的相对重要值。为了突出林下草本种类,对森林、灌丛样方内乔木层、灌木层、草本层分开求其重要值,然后将重要值除以 3,得到各植物种在整个群落内的相对重要值。

乔木重要值 = (相对密度 + 相对盖度 + 相对高度)/3

灌木重要值 = (相对多度 + 相对盖度 + 相对高度)/3

草本重要值 = (相对多度 + 相对盖度 + 相对高度)/3

2.植物群落的多元分析[3][4][10]

本研究中采用 DCA、TWINSPAN 进行植物群落排序与数量分类的比较,所采用的分析资料数据是样方的种类组成及其相对重要值的矩阵。

DCA(Detrended Correspordence analysis)是对 RA(Reciprocal Analysis)的一种改进,其第一轴即 RA 的第一轴,但在以后的轴进行了调整,它避免了 RA 的两个主要问题,即由于其第二轴对第一轴的二次项依赖性而经常出现的拱形或马蹄形效应,以及轴终端的压缩问题。DCA 被认为是最先进和完善的排序方法,相对于其他方法来说,可以更客观和定量地研究植物群落和环境因子之间的关系。

TWINSPAN 是对原来指示种分析的改进,可称为"二元指示种分析"(Two - way indicator species analysis)或"二歧排序分析"(Dichotomied Ordination Analysis)。通过 RA 排序找出有指示意义的种,依据它对样方进行分类。该方法最重要特征是首先构成一个样方分类,再以此得到一个根据种的生态适宜性划分的种的分类,由这两个分类得到一个二元的表格,表现出多种的群体生态关系。

3.植物群落的多样性指数计算[9][11]

(1)α - 多样性:用以下三个指数:

Simpson 指数:$D = 1 - \Sigma Pi^2$

Shannon - Wiener 指数:$H' = -\Sigma PiLnPi$

均匀度指数:$Ea = [(1/\Sigma Pi^2) - 1]/[\exp(-\Sigma PiLnPi) - 1]$

其中:Pi—植物种类 i 在样地内的相对重要值。

(2)β - 多样性:采用相似性系数 Jaccard 指数:

$Cj = j/(a + b - j)$

其中:j—两个样地共有种数;a,b—分别为样地 A 和样地 B 的物种数。

第二章 植物群落的数量分析

2.1 植物群落的 DCA 排序

对生态过渡带上 62 个样方的 DCA 二维排序结果见图 2。它较好地反映了植物群落之间及

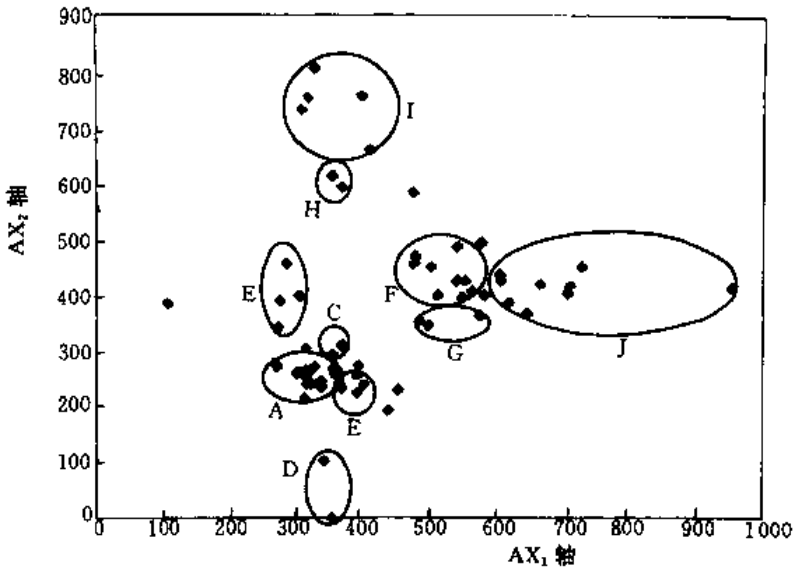


图 2　全部样方的 DCA 排序

植被类型　A:山杨林、白桦林(2,6,11,22,27,39,41,50,53,54)　B:蒙古栎林(9,57,60,61)　C:油松林(42,58)　D:榆林疏林(3,7)　E:落叶松林(19,47,48,49)　F:贝加尔针茅草原(13,15,16,21,24,25,29,32,33)　G:羊草草原(17,40)　H:山地草甸(45,46)　I:草甸(26,35,43,44,51)　J:冷蒿－百里香草原(1,4,5,8,10,12,20,38,62)

群落和环境之间的关系。DCA 第一轴基本上反映了各植物群落所在的由高到低的环境湿度梯度。即呈现出湿生—中生—旱中生—旱生的生态序列。沼泽群落在第一轴上的排序值为 0,白桦林、山杨林的排序值为 275～350,蒙古栎林、油松林、榆树疏林的排序值为 350～400,而贝加尔针茅草原、羊草草原则位于 AX_1 的 470～580,冷蒿－百里香草原位于 AX_1 的 600～910。

DCA 第二轴基本上反映了由高到低的环境温度梯度,依次排列森林群落、草原群落和山地草甸群落。DCA 排序给非地带性植被——草甸以特殊的排序位置,位于 AX_2 的顶端,排序值为 650～820。而人工落叶松林在 AX_2 轴上的排序值位于森林群落和山地草甸之间。这是由于其原生植被为山地草甸,人工栽培落叶松后,林下草本层为山地草甸种和林下草本种的混合,所以得到了特殊的排序位置。

七个灌丛群落在 DCA 排序中没有聚成一类,而是分散于各个类型内。小黄柳灌丛(样方 8)位于半固定沙丘上,在 DCA 图上与冷蒿－百里香草原排在一起。样方 23 为虎榛子灌丛,样方位置在白桦林边缘,它在 DCA 二维排序图上位于白桦林、山杨林附近,在 DCA 图上样方 61 的虎榛子灌丛排在蒙古栎林附近,这是由于样方 61 位于海拔 1 000 m 的较温干的冀北山地。这也说明灌丛的种类组成与其周围的其他群落类型有很大的相关性。

在研究区内作了两个油松林样方(42 和 58),样方 42 位于 42°24′46.6″N,116°58′37″E,海拔 1 430 m;样方 58 位于 42°14′17.1″N,117°29′28″E,海拔 1 350 m。在 DCA 二维排序图上 42 和 58 排序值很近,属中温半干旱气候。样方 42 所在的油松林只有 300～400 m^2,与油松林的成片分布区相差甚远。由此可初步推断此油松林为一残遗群落。这进一步说明可能有一个时期内蒙古高原东南部的气候曾属子温暖半湿润气候型。

略去草甸、山地草甸和冷蒿－百里香草原样方后，再次进行 DCA 排序。DCA 二维排序结果见图 3。在这里森林群落内的差别得到了明显反映。DCA 的第一轴主要反映的是湿度条件由干到湿的变化，依次是贝加尔针茅草原、羊草草原、蒙古栎林、油松林、落叶松林、山杨林和白桦林。DCA 的第二轴主要说明环境湿度的变化，处于顶端的是海拔 1900m 的落叶松林。

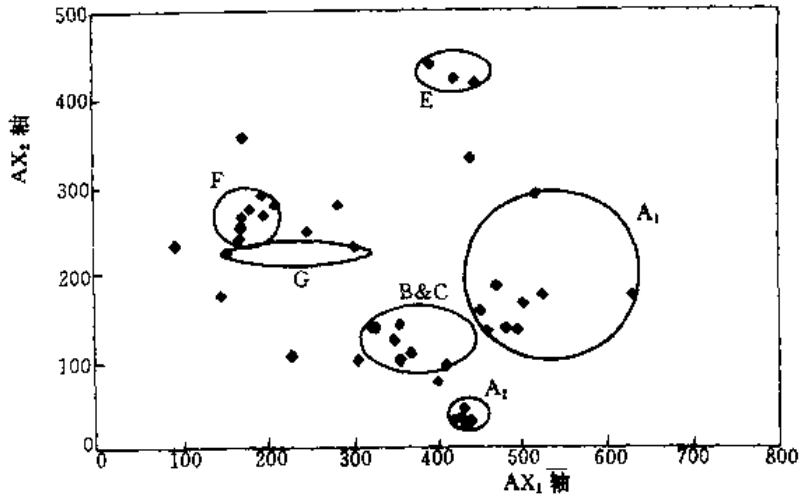


图 3　地带性群落样方的 DCA 排序

植被类型　A_1：白桦林：(2,19,27,31,41,50,52,53,54)　A_2：山杨林(6,11,18,22,57)　B&C：蒙古栎林、油松林(9,42,57,58,59,60)　E：落叶松林(47,48,49)　F：贝加尔针茅草原(12,15,16,24,29,32,33,56)　G：羊草草原(17,40)

2.2　植物群落的 TWINSPAN 分类

运用 TWINSPAN 分类方法对研究区 62 个样方(共含 410 种植物)进行等级制分类，共分为 16 个群落类型(见图 4)。

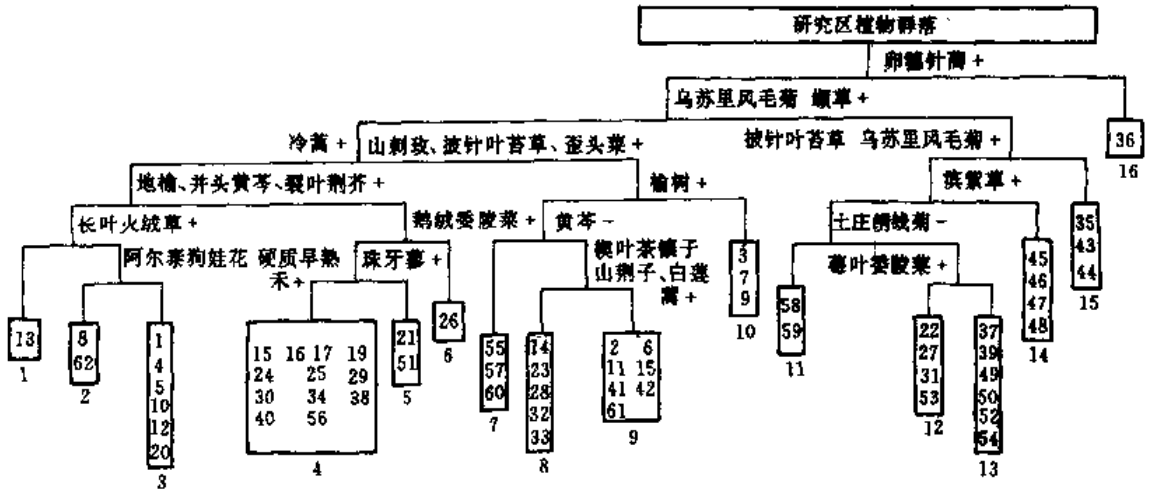


图 4　研究区植物群落的 TWINSPAN 分类

框中 1－62 表示样方号，框下 1－16 表示群落类型

1.贝加尔针茅草原　2.3.冷蒿－百里香草原　4.贝加尔针茅草原、羊草草原　5.线叶菊草原、苔草草甸　6.鹅绒委陵菜－寸草苔草甸　7.11.蒙古栎林、油松林　8.虎榛子灌丛、贝加尔针茅草原　10.榆树疏林　9.12.白桦林、山杨林　13.云杉林、白桦林　14.山地植被　15.草甸　16.沼泽

第一次划分的指示种是孵穗针蔺(*Heleocharis ovata*),它将沼泽群落与其他群落区别开。

第二次划分的指示种是乌苏里风毛菊(*Saussurea ussuriensis*)和缬草(*Valeriana officinalis*),蘑菇场－红山军马场急变带[12]内的草原群落与其以北的植物群落划为一类,该带内的森林群落同其以南的植物群落划为一类。例外的是冀北山地阳坡的蒙古栎林、大果榆疏林则与蘑菇场－红山军马场一线以北的植物群落划为一类,这可能是由于其小生境温暖干燥,与好鲁库一带气候相似的原因。

第三次划分的指示种为山刺玫(*Rosa davurica*)、披针叶苔草(*Carex lanceolata*)、歪头菜(*Vicia unijuga*)和冷蒿(*Artemisia frigida*)。据此进一步区分森林群落和草原群落。

第四次划分的指示种为披针叶苔草和乌苏里风毛菊,将草甸与其他群落区分开。在以下的划分中,以滨紫草(*Mertensia davurica*)为指示种区分出山地植物群落,以黄芩(*Scutellaria baicalensis*)为指示种,使蒙古栎林从其他的植物群落中分离出来。珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)作为耐寒的中生植物,使位于蘑菇场山顶的线叶菊草原和沙脑包泡子海拔 1 700 m 的苔草草甸与其他的草原群落区分开。值得注意的是,贝加尔针茅草原被分成不同的类型。样方 13 由于不含地榆(*Sanguisorba officinalis*)、并头黄芩(*Scutellaria scordifolia*)、裂叶荆芥(*Schizonepeta tenuifolia*)而与其他贝加尔针茅草原区分开,样地 32、33 的贝加尔针茅草原与森林群落划为一类,指示种为披针叶苔草和歪头菜。这一划分说明由北向南,气候逐渐变湿,贝加尔针茅草原中伴生的杂类草逐渐发生变化。研究区的白桦林、山杨林以蘑菇场一线为界分为两类,指示种为乌苏里风毛菊和缬草。

上述植物群落划分结果说明,在这一研究区的森林草原过渡带上,蘑菇场－红山军马场一线为一急变带。这一急变带以北,草原成分占优势,这一急变带以南,森林成分占优势。当同一群落类型在整个研究区分布时,其种类组成并不完全相同。

TWINSPAN 分类结果与 DCA 分类结果不完全相同。原因是 DCA 主要根据优势种排序,而 TWINSPAN 主要根据指示种分类。优势种相同的植物群落由于指示种不同而划分为不同的类型,而指示种的变化是随环境梯度而变化的,由此可以利用 TWINSPAN 分类中指示种的生态习性进一步说明植物群落与环境的关系,具体内容见第四章。

第三章　植物群落类型及植被空间格局

3.1　植物群落类型

综合两次 DCA 排序结果,可将研究区内植物群落分为 11 类,它们是:白桦林、山杨林、蒙古栎林、油松林、榆树疏林、落叶松林、贝加尔针茅草原、羊草草原、冷蒿－百里香草原、山地草甸和低地草甸。其分布范围见表 3。

表 3　植物群落分布范围

植被类型	纬度范围	经度范围	海拔/m	坡　向
白桦林	42°18′42″～42°58′11.1″	116°47′21.9″～117°29′40″	1 330～1 970	北坡、东北坡
山杨林	42°36′06.3″～42°57′22.8″	116°44′11″～116°59′32″	1 350～1 460	〃
蒙古栎林	42°10′20″～42°17′29.4″	117°30′41.5″～117°32′48″	1 200～1 400	东坡、东北坡
油松林	42°14′17.1″～42°24′46.6″	116°58′37″～117°29′28″	1 350～1 430	北坡、东北坡
榆树疏林	42°57′22.8″～42°57′46.6″	116°44′11″～117°45′24″	1 313～1 350	南坡、东坡及坡脚
落叶松林	42°25′58.3″～42°27′27.5″	117°26′56.6″～117°30′32.8″	1 700～1 900	西北坡

续表

植被类型	纬度范围	经度范围	海拔/m	坡　向
贝加尔针茅草原	42°34′47.6″～42°49′14″	116°47′35.2″～117°07′	1 340～1 542	小丘、丘间平地
羊草草原	42°39′06.3″～42°44′19.6″	116°55′17″～116°57′04.4″	1 385～1 420	丘间平地、北坡
冷蒿－百里香草原	41°57′21.2″～42°58′11.1″	116°47′21.9″～117°46′	1 100～1 570	西南坡、丘间平地
山地草甸	42°55′58.3″	117°30′32.8″	1 900	山顶
低地草甸	42°20′50″～42°39′06.3″	116°57′04.4″～117°23′40″	1 380～1 710	丘间平地

1.白桦林:整个研究区内从南到北都有分布,分布于山丘和中山的北坡、东北坡。在内蒙古高原东南部主要是由白桦(*Betula platyphylla*)形成的纯林。只在研究区最北部好鲁库附近样地内有少量蒙古栎(*Quercus mongolica*)。而坝缘山地的白桦林则是白桦—硕桦林和白桦—棘皮桦林。林下草本层种类丰富,最少 25 种,最多可达 50 种。优势种是披针叶苔草和林地早熟禾(*Poa nemoralis*)。

2.山杨林:其生境要求与白桦林相似,分布也与白桦林相同。

3.蒙古栎林:主要分布于冀北山地的东坡和东北坡。林下灌木以毛榛子(*Corylus mandshurica*)、土庄绣线菊(*Spiraea pubescens*)为主。草本层以披针叶苔草为优势种,种类组成丰富,大部分为暖温带落叶阔叶林下草本植物,如蓝萼香茶菜(*Rabdosia japonica*)、黄芩、香花芥(*Hesperis trichosepala*)、黄鹤菜(*Youngia japonica*)等。

4.油松林:在 42°14′N 以南有广泛分布,而在坝上高原有残遗分布。乔木层只有油松(*Pinus tabulaeformis*)一种,灌木层有照山白(*Rhododedron micranthum*)、土庄绣线菊、二色胡枝子(*Lespedeza bicolor*)等。林下草本层盖度可达 25%,优势种有披针叶苔草、小红菊(*Dendranthema chanetii*)、乌苏里风毛菊、早熟禾等。

5.榆树疏林:分布于内流区覆沙丘陵的南坡及坡脚。乔木层只有榆树一种,郁闭度可达 0.5～0.6。灌木层不发达,甚至没有。草本层种类也很少,主要是蒿属和藜科植物。

6.落叶松林:广泛分布于坝缘地区。大多数为人工栽植,形成落叶松纯林。整个群落内乔木层树龄相同或相近,林下没有灌木层。乔木层郁闭度大的群落,草本层不发育,当乔木层郁闭度小于 0.7 时,草本层发育,盖度可达 60%,主要有披针叶苔草、乌苏里风毛菊、独活(*Heracleum hemsleyanum*)、七瓣莲(*Trientalis europaea*)、林问荆(*Equisetum sylvaticum*)、野火球(*Trifolium lupinaster*)等,种类可多达 30 种。

7.山地草甸:位于海拔 1 900 m 以上的小光顶山山顶,草本种类丰富。原始群落为华灰早熟禾—杂类草草甸,主要有华灰早熟禾(*Poa sphondylodes*)、珠芽蓼、地榆、裂叶蒿(*Artemisia laciniata*)、野火球、岩茴香(*Ligusticum taciyoei*)、落草(*Koeleria cristata*)、滨紫草等。经浅耕翻撂荒后为地榆－雀麦群落。

8.贝加尔针茅草原:位于 42°34′47.6″N～42°49′14″N,116°47′35.2″E～117°07′29.4″E。越向南越呈零星分布。贝加尔针茅(*Stipa baicalensis*)为优势种,杂类草丰富,样地内种类可达 30 多种,属于草甸草原。

9.羊草草原:在蘑菇场以北有大片分布。主要是浅耕翻后的偏途演替群落,分布于丘间塔拉

中。建群种为羊草(*Leymus chinensis*),其次为蒿属植物。

10.低地草甸:分布于坝上河源区,属于温寒半湿润气候,沼泽化现象普遍。在丘间平地分布大片灰脉苔草(*Carex appendiculate*)、金莲花(*Trollius chinensis*)草甸。靠近湖泊边缘则为寸草苔(*Carex duriuscula*)—鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)草甸。

11.冷蒿-百里香草原(为退化草场):分布于整个研究区,由于过度放牧引起。主要植物种类有冷蒿(*Artemisia frigida*)、百里香(*Thymus serphllum*)、狼毒(*Stellera chamaejasme*)、星毛委陵菜(*Potentilla acaulis*)、粗隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)等。

3.2 研究区植被的空间格局

3.2.1 总体结构

在研究区内冀北山地以南为典型的夏绿阔叶林,从坝上机械林场到好鲁库一带森林和草原镶嵌分布,机械林场区域森林面积较大,有针叶林和白桦林。红山军马场以北,森林群落主要是白桦林和山杨林,分布在山丘的北坡和东北坡,丘间塔拉和山丘的阳坡是草原,包括贝加尔针茅草原和羊草草原。进入内流区沙地山丘的阳坡和坡脚出现榆树疏林。由此植被分布特点可以推断,从机械林场到好鲁库均为森林草原过渡带。在这一区域内,森林成分和草原成分同时出现在同一气候条件下。局部地形造成的小生境、土壤质地以及植物的生存适应性和种间相互作用关系,决定了森林和草原镶嵌分布的植被格局。

3.2.2 植被的景观分区

生态过渡带是生态结构和功能在时间空间上变化速率较快的区域。虽然如此,整个研究区从南到北按照景观的变化仍可以分为四个亚带,每个亚带内植被的空间分布格局又有差异。

1.围场县城—坝缘山地夏绿阔叶林亚带:景观格局为山地森林和沟谷及山坡农田呈指状交错分布。中山、低山的阴坡分布白桦林和山杨林等,阳坡分布蒙古栎林、油松林和大果榆疏林。此格局由大北岔植被剖面图(图5)可见一斑。

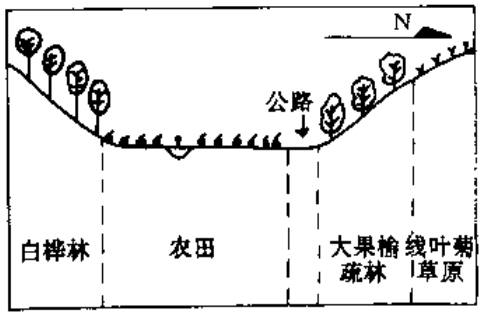


图5 大北岔植被剖面图
(42°18′42″N,117°29′40″E)

2.机械林场—红山军马场森林草甸亚带:这一区域内降水较丰富,森林面积大,并有大片人工林。丘间洼地沼泽化作用明显,分布大片的灰脉苔草—金莲花草甸,呈塔头状分布(见图6)。羊草草原群落很少,只在丘陵的阳坡呈斑块分布。

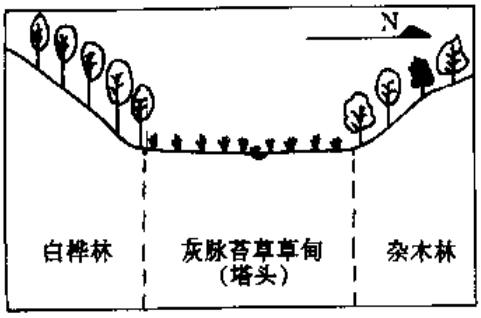


图6 机械林场植被剖面图
(42°24′15″N,117°14′10.7″E)

3.红山军马场—蘑菇场森林草原亚带:这一带为坝上河源区和内流区的分界带,为森林草原过渡带内的急变带,专门划为一植被景观亚区。蘑菇场植被剖面(见图7)是典型代表,群落类型较多,阴坡主要有白桦林、山杨林、虎榛子灌丛。向下到丘间平地依次分布贝加尔针茅草原—羊草草原—寸草苔草甸—沼泽。阳坡为线叶菊草原,很少有森林分布,偶见灌丛呈斑块状镶嵌。

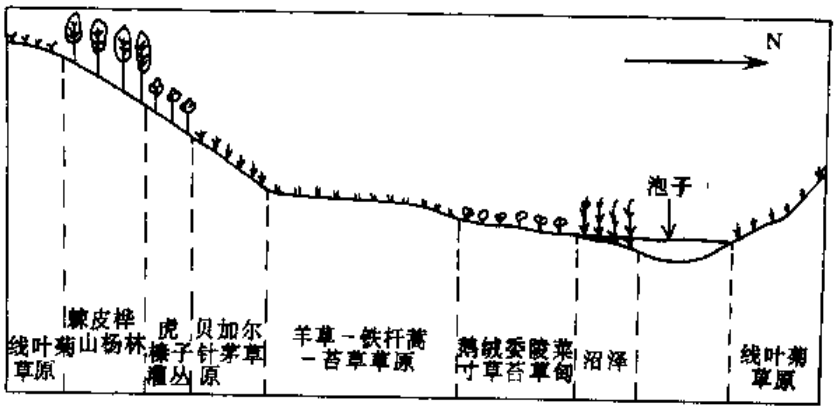


图 7　蘑菇场植被剖面图

(42°36′06.3″N,116°59′32″E)

4.葫芦峪—好鲁库沙生草原亚带:这一地区气候较干,土壤为风沙土。高丘上水分条件较好。阴坡有白桦林分布,阳坡及坡脚分布榆树疏林。低丘上较常见的是贝加尔针茅草原,丘间塔拉为羊草草原。好鲁库植被剖面见图 8。

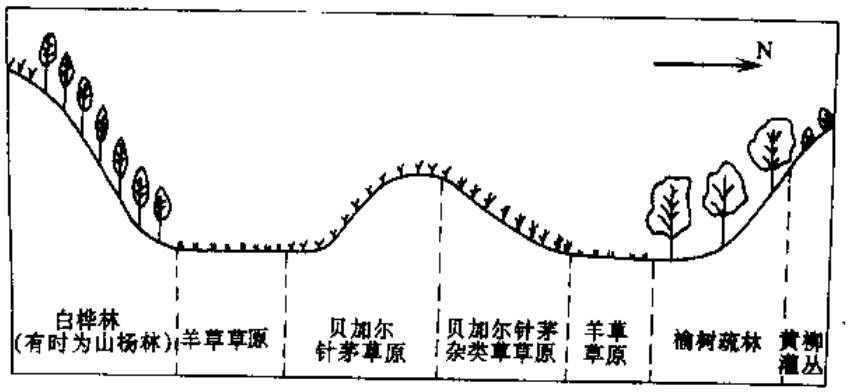


图 8　好鲁库植被剖面图

(42°58′11.1″N,116°47′21.9″E)

第四章　植物群落多样性及生态组

4.1　植物群落的 α－多样性

对研究区 62 个样地分别计算其 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和均匀度指数。略去灌丛样地和非地带性植物群落样地。多样性指数经过滑动平均后见图 9 和图 10。

从图中可以看出,两个多样性指数的变化趋势基本一致。总的趋势是从两端向中间逐渐升高,样地 29、30、32、33、34 处最高。这些样地位于红山军马场—蘑菇场区域,是森林草原过渡带的急变带,这里生境趋于复杂化,加上正的边缘效应作用,导致这一区域生物多样性增加。

均匀度指数的变化趋势不明显。可能由于整个过渡带植物群落生境差别明显,植物种类较多,重要值差别很大,均匀度指数较小,导致总变化趋势不明显。

4.2　植物群落的 β－多样性

以过渡带内地带性群落类型—白桦、山杨林和草原进行研究。

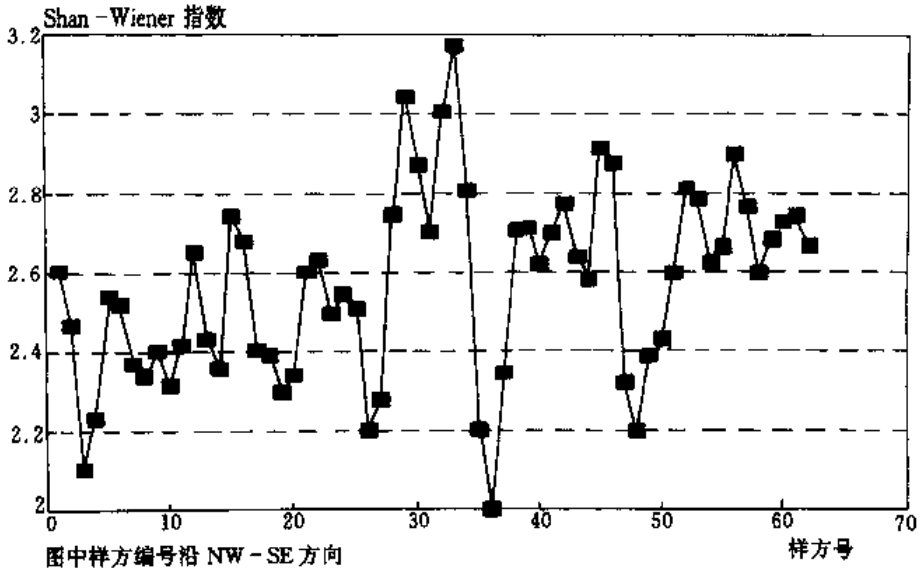


图 9　Shannon-Wiener 指数的变化

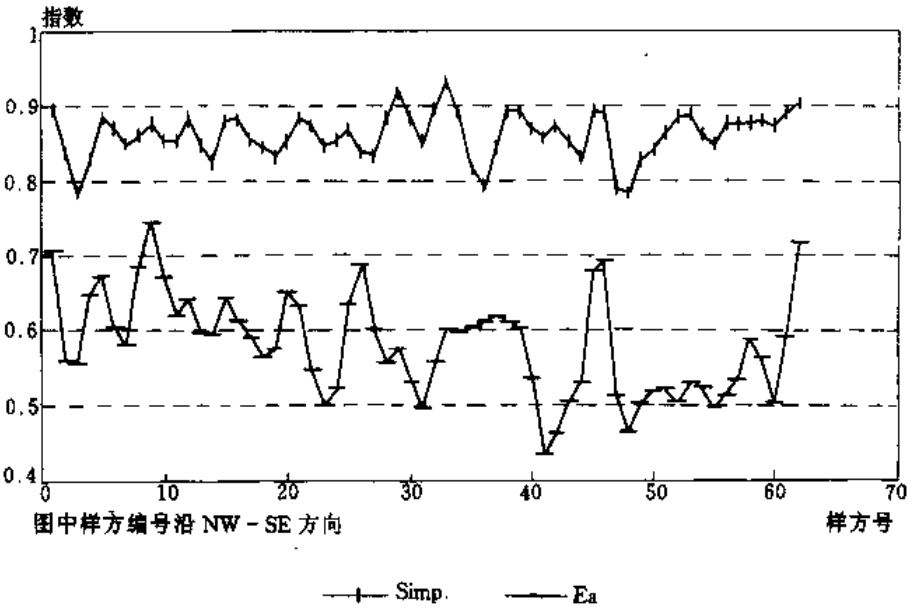


图 10　Shimpson 指数和均匀度指数的变化

首先选取研究区内 12 个白桦、山杨林样地自北向南依次排列，计算相邻样地的相似性系数 Cj，结果见图 11。由图上可以看出，Cj18－22 和 Cj41－50 很低，而 Cj50－52 很高。研究区内 15 个草原样地的相似性系数如图 12 所示。这里也存在两个相似性系数的最低点，即 Cj17－21 和 Cj40－56。这与森林样地反映的结果相同。这进一步说明在围场—好鲁库生态过渡带上，机械林场以南坝缘地区为森林和森林草原过渡带的界线。在过渡带内，红山军马场—蘑菇场是一急变带。在这一带以南森林成分为主，这一带以北，草原成分为主。急变带内森林、草原成分汇集，形成种类丰富的群落，具有高度的 α 多样性，而与两侧同类群落的相似性系数很低。

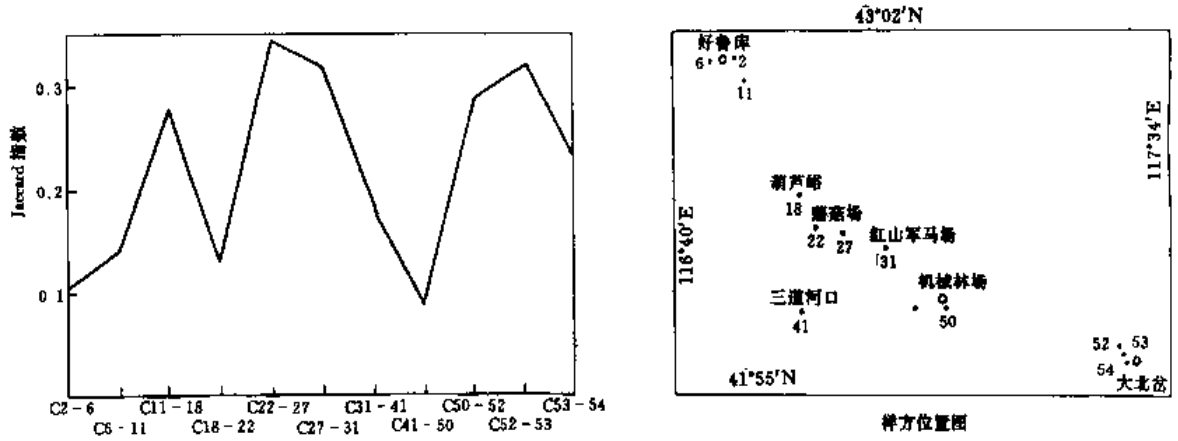


图 11　研究区白桦、山杨林样方的相似性系数

Cm-n　指 m 和 n 样方的 Jaccard 指数

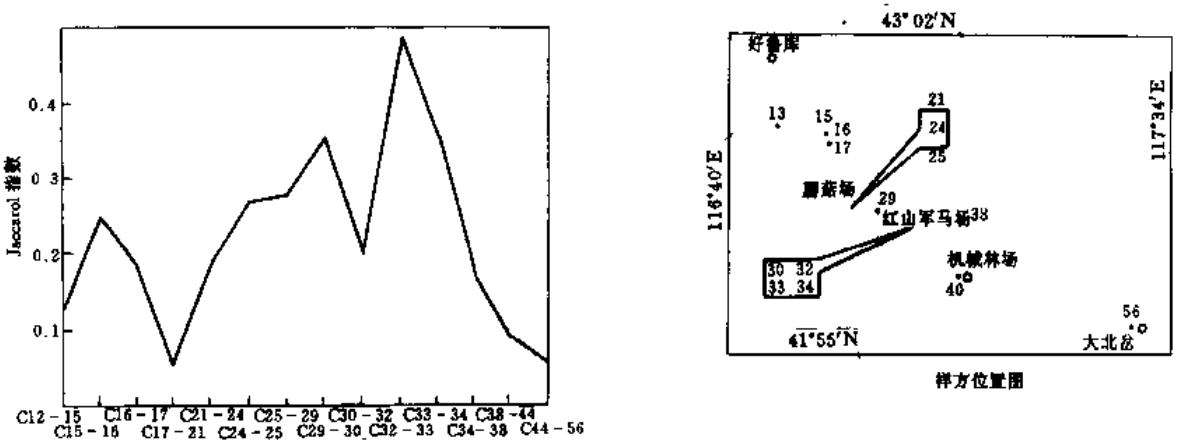


图 12　研究区草原样方的相似性系数

Cm-n　指 m 和 n 样方的 Jaccard 指数

4.3　生态种组

研究区内白桦、山杨林均生长在阳坡，有的为白桦—山杨混交林。它们的生境要求相同，其林下草本层组成特征见表 4。仅出现在蘑菇场以北白桦、山杨林下的草本是旱生、中旱生和少数旱中生植物，是典型草原和草甸草原的伴生种。如二色棘豆（*Oxytropis bicolor*）、直立黄芪（*Astragalus adsurgens*）、瓣蕊唐松草（*Thalictrum petaloideum*）和防风（*Saposhnikovia divaricata*）等。蘑菇场以南开始出现大量中生的林下、林缘草本，如贝加尔唐松草（*Thalictrum baicalensis*）、乌苏里风毛菊、小红菊、红葱（*Polemonium caeruleum*）等。这说明湿度条件从北向南是逐渐升高的。从坝缘山地开始出现大量典型落叶阔叶林下草本，如大瓣铁线莲（*Clematis macropetala*）、升麻（*Cimicifuga davurica*）、糙苏（*Phlomis umbrosa*）等，共有 45 种。

表 4　白桦、山杨林群落的生态种组表

蘑菇场以南出现的植物种			蘑菇场以北出现的植物种		
植物种名	水分生态型	生境特征	植物种名	水分生态型	生境特征
野火球	中生	森林草甸种	二色棘豆	中旱生	典型草原种
乌苏里风毛菊	中生	林下植物	直立黄芪	中旱生	草原种
小红菊	中生	生于林缘	阿尔泰狗娃花	中旱生	生于草原或草甸草原
牡蒿	中生	林下、灌丛间常见	腺毛委陵菜	中旱生	草原和草甸草原伴生种
山柳菊	中生	生于山地草甸、林下、林缘	猪毛蒿	旱生或中旱生	生于草原
东方草莓	中生	生于林下	瓣蕊唐松草	旱中生	生于草原、草甸草原
石生悬钩子	中生	生于山地林下、林缘、灌丛	防风	旱生	草原伴生种
藜芦	中生	森林草甸种	沙韭	旱生	典型草原伴生种
铃兰	中生	生于林下、林间草甸及灌丛中			
贝加尔唐松草	中生	生于林下、林缘			
异燕麦	寒旱生	林间、林缘草地常见			
大叶章	中生	生于山地林缘			
羊茅	旱中生	生于山地林缘草甸			
林问荆	中生	生于林下			
花葱	中生	生于林下			
缬草	中生	生于山地落叶树下、白桦林下			

*　根据《内蒙古植物志》、《河北植物志》

研究区内 15 个典型草原和草甸草原样地种类组成特征见表 5，蘑菇场以南开始出现大量旱中生和中生的草甸种和林间草甸种，如广布野豌豆（*Vicia cracca*）、小红菊、匍枝委陵菜（*Potentilla fagellcaris*）、龙牙草（*Agrimonia pilosa*）等。

在研究区内红山军马场—蘑菇场一线就像栅栏一样，大量林下中生植物不能通过它向北分布，而一些典型草原种不能穿过它向南分布。

表 5　典型草原群落的生态种组表

蘑菇场以南出现的植物种			蘑菇场以北出现的植物种		
植物种名	水分生态型	生境特征	植物种名	水分生态型	生境特征
扁蓿豆	中旱生	典型草原或草甸草原伴生种	硬毛棘豆	旱中生	草甸植物
广布野豌豆	中生	草甸种	尖叶胡枝子	中旱生	生于草甸草原
高山紫菀	中生	生于山地草原、林下	细枝狗娃花	中生	见于沙质草地
小红菊	中生	生于林缘	无腺花旗杆	旱生	草原伴生种
龙牙草	中生	主要见于落叶阔叶林地区	沙韭	旱生	见于草原地带
三叶委陵菜	中生	生于溪边、疏林下阴湿处	射干	中旱生	生于草原

续表

蘑菇场以南出现的植物种			蘑菇场以北出现的植物种		
植物种名	水分生态型	生境特征	植物种名	水分生态型	生境特征
匍枝委陵菜	中生	林间草甸伴生植物	光稃茅香	中生	生于草原带、森林草原带
拳参	中生	草甸种			
山蓼铁线莲	中旱生	草原伴生种			
黄花龙牙	旱中生	生于森林草原带			
羊茅	旱中生	生于山地林缘草甸			
细叶韭	旱生	生于草原、山地草原			
山韭	中旱生	草甸草原及草原伴生种			
钝叶瓦松	肉质旱生	草原及草甸草原伴生种			
黄芩	中旱生	草甸草原及山地草原常见种			

* 根据《内蒙古植物志》、《河北植物志》

结论

通过对围场—好鲁库生态过渡带植物群落的 DCA 排序、TWINSPAN 分类、多样性指数计算、生态种组提取等研究，可以得到以下几点结论：

1.研究区植物群落类型有 11 类。包括白桦林、山杨林、落叶松林、榆树疏林、蒙古栎林、油松林、贝加尔针茅草原、羊草草原、冷蒿—百里香草原、山地草甸和草甸。

2.研究区内坝上河源区和内流区沙地均属于森林草原过渡带。蘑菇场—红山军马场以南为山地森林草原，以北为高平原草甸草原。在这个过渡带上，森林和草原群落镶嵌分布。

3.在生态过渡带内，沿着环境梯度，在生物和非生物力相互作用中，森林和草原的种类组成沿相反方向相互取代形成特殊的分布格局。在研究区的森林草原过渡带上，红山军马场—蘑菇场一线为急变带，这一带以南，森林成分占优势；以北，草原成分逐渐取代森林成分占优势。

4.森林草原过渡带上，随环境湿度由南到北逐渐降低，森林景观碎裂化程度增大；丘间盆地植被变化明显，由南向北为灰脉苔草草甸向贝加尔针茅—苔草为主的具丰富杂类草的草甸草原以至羊草草原逐渐过渡。

5.生态过渡带内生物群落 α 多样性指数从两端向中间逐渐升高，红山军马场—蘑菇场急变带上植物群落多样性指数最高。而急变带上植物群落与其两侧同样群落的相似性系数(Cj)最低。

参考文献

1.高洪文.生态交错带理论研究进展.生态学杂志，1994，13(1)：32～38

2.王铮等.中国生态环境过渡的一个重要地带.生态学报，1995，15(3)：319～326

3.江洪等.东灵山植物群落的排序、数量分类和环境解释.植物学报，1994，36(7)：539～551

4.张新时.西藏阿里植物群落的间接梯度分析、数量分类与环境解释.植物生态学与地植物学学报，1991，15(2)：101～112

5.D.米勒—唐布依斯,H.埃仑伯格著(鲍显诚等译).植被生态学的目的和方法.北京:科学出版社,1985

6.潘家华.京西百花山地区环境梯度与植物群落.植物生态学与地植物学学报,1988,12(1):23~30

7.邓绶林等编著.河北地理概要.石家庄:河北人民出版社,1989

8.马克平.生物群落多样性的测度方法.生物多样性研究的原理和方法(中科院生物多样性委员会).北京:中国科学技术出版社,1994

9.余翔.生态过渡带中急变带的划分.生态学研究进展(中国生态学会主编),北京:中国科学技术出版社,1994

10.徐文驿.内蒙古白音敖包自然保护区沙地云杉林的基本特征、存在问题与解决途径.生态学杂志,1993,12(5):39~44

11.中科院植物所主编.中国高等植物图鉴.北京:科学出版社,第1~5册 1987

12.内蒙古植物志编辑委员会.内蒙古植物志.呼和浩特:内蒙古人民出版社,1994,第2~5卷

13.河北省植物志编辑委员会.河北植物志.石家庄:河北科学技术出版社,1991,第1~3卷

14.北京师范大学生物系.北京植物志(修订版,上、下册).北京:北京出版社,1984

注:以下附录略

1.照片1　坝下三乡林场场部附近植被格局

2.照片2　三道河口的油松林

3.照片3　红山军马场附近的植被格局

4.照片4　蘑菇场的植被格局

5.照片5　联络点附近的山杨林

6.照片6　联络点附近的羊草—羊茅草原

7.照片7　好鲁库附近的榆树疏林

8.照片8　小光顶山顶的山地草甸

Study on the Spatial Distribution of the Vegetation of Weichang-Haoluku Forest-steppe Ecotone

Huang Yongmei, Derected by Liu Hongyan

(Department of Urban Environment, Peking University, Beijing 100871)

Abstracts: Ecotone is the transitional zone between two ecosystems, which is very sensitive to the regional and global climate change. The study area sites in Weichang County, Hebei Province and Haoluku of Chifeng City, Inner Mongolia (116°44′~117°48′E, 41°57′~42°59′N), which is situated between the deciduous broad-leaved forest zone and the steppe zone in the eastern China. After a broad survey of the vegetaion and landscape of the study area, DCA (Detrended Correpondence Analysis) and TWINSPAN (Two-way indicator species analysis) were used to analyze the vegetation patterns and their spatial distribution and relationship with the environmental factors. Community diversity, which is served as the basis for the delimitation of the abrupt zone within the ecotone, is calculated too. The abrupt zone in this region has higher α-diversity and β-diversity than the adjacent ecosystems. The distribution of different ecological groups shows that the abrupt zone serves as a filter between deciduous forest and steppe. The mesic herbs mainly occured under deciduous broad-leaved forest are difficult to pass through the abrupt zone and disperse northward while the typical steppe herbs have not the ability to pass through the abrupt zone and disperse southward.

Keywords: Ecotone, the southeastern edge of the Mongolia Plateau, DCA, TWINSPAN, abrupt zone, community diversity, ecological group.

附录一　数学类、物理学类、化学类、生物学类、地质学类、地理学类及综合性科学技术中文部分核心期刊

(一) 数　学　类

序号	刊　名	出版地	主办单位
1	数学学报	北京	中科院教学研究所
2	中国科学·A辑	北京	中国科学院
3	科学通报	北京	中国科学院
4	数学年刊·A辑	上海	复旦大学数学研究所
5	应用数学学报	北京	中国数学会
6	计算数学	大连	大连理工大学数学科学研究所
7	计算数学	北京	中国科学院计算数学与工程计算研究所
8	数学进展	北京	北京大学数学学院
9	控制理论与应用	广州	华南理工大学
10	应用概率统计	上海	华东师大数理统计系
11	系统科学与数学	北京	中国科学院系统科学研究所
12	高校应用数学学报	杭州	浙江大学应用数学研究所
13	数学物理学报	北京	中国科学院武汉数学物理研究所
14	高等学校计算数学学报	南京	南京大学数学系
15	数值计算与计算机应用	北京	中国科学院计算数学与工程计算研究所
16	北京大学学报·自然科学版	北京	北京大学
17	吉林大学自然科学学报	长春	吉林大学
18	运筹学杂志	上海	中国优选统筹法与经济数学会
19	中国科学技术大学学报	合肥	中国科学技术大学
20	复旦学报·自然科学版	上海	复旦大学

(二) 物 理 学 类

序号	刊　名	出版地	主办单位
1	物理学报	北京	中国物理学会
2	光学学报	上海	中国光学学会

序号	刊　名	出版地	主办单位
3	高能物理与核物理	北京	中国科学院高能物理研究所
4	中国科学·A辑	北京	中国科学院
5	科学通报	北京	中国科学院
6	北京大学学报·自然科学版	北京	北京大学
7	金属学会	北京	中国金属学会
8	半导体学报	北京	中国科学院半导体所，中国电子学会半导体与集成技术学会
9	低温物理学报	北京	中国科学技术大学
10	强激光与粒子束	绵阳	中国核学会
11	材料研究学报	沈阳	国家自然科学基金委员会材料与工程科学部
12	硅酸盐学报	北京	中国硅酸盐学会
13	量子电子学	合肥	中国光学学会基础光学专业委员会
14	红外与毫米波学报	上海	中国光学学会
15	原子与分子物理学报	成都	中国物理学会原子与分子物理专业委员会
16	无机材料学报	北京	中国科学院上海硅酸盐研究所
17	物理学进展	南京	中国物理学会
18	人工晶体学报	北京	中国硅酸盐学会，晶体生长与材料专业委员会
19	低温与超导	合肥	机械电子工业部低温电子研究所
20	声学学报	北京	中国声学学会
21	高压物理学报	成都	中国物理学会高压物理专业委员会
22	核聚变与等离子体物理	北京	中国核学会核聚变与等离子体物理学会
23	发光学报	长春	中国物理学会发光分科学会
24	中国激光	北京	中国光学学会
25	光谱学与光谱分析	北京	中国光学学会光谱委员会
26	计算物理	北京	中国核学会计算物理学会，北京应用物理与计算数学研究所
27	波谱学杂志	武汉	中国科学院武汉物理研究所

(三) 化　学　类

序号	刊　名	出版地	主办单位
1	高等学校化学学报	长春	国家教育委员会
2	化学学报	北京	中国化学会，中国科学院上海有机化学研究所
3	中国科学，B辑	北京	中国科学院
4	物理化学学报	北京	中国化学会
5	科学通报	北京	中国科学院
6	北京大学学报·自然科学版	北京	北京大学
7	分析化学	长春	中国化学会，中国科学院长春应用化学研究所
8	高分子学报	北京	中国化学会
9	应用化学	长春	中国化学会，中国科学院长春应用化学研究所
10	无机化学学报	北京	中国化学会

序号	刊　名	出版地	主办单位
11	化学通报	北京	中国化学会
12	有机化学	北京	中国化学会,中科院上海有机化学研究所
13	化学物理学报	合肥	中国物理学会
14	色谱	大连	中国科学院大连化学物理研究所
15	催化学报	北京	中国科学院,中国化学会
16	光谱学与光谱分析	北京	中国光学学会光谱委员会,冶金工业部钢铁研究总院
17	结构化学	福州	中科院福建物质结构研究所
18	感光科学与光化学	北京	中科院感光化学研究所,中国感光学会

(四) 地质学类

序号	刊　名	出版地	主办单位
1	科学通报	北京	中国科学院
2	中国科学·D辑	北京	中国科学院
3	地质学报	北京	中国地质学会
4	地质科学	北京	中科院地质研究所
5	地球科学	武汉	中国地质大学
6	地质论评	北京	中国地质学会
7	北京大学学报·自然科学版	北京	北京大学
8	南京大学学报·自然科学版	南京	南京大学
9	岩石学报	北京	中国矿物岩石地球化学学会,中科院地质研究所
10	地球化学	北京	中科院广州地球化学研究所,中国矿物岩石地球化学研究所
11	古生物学报	北京	中国古生物学会
12	矿床地质	北京	中国地质学会矿床地质专业委员会,中国地质科学院矿床地质研究所
13	长春地质学院学报	长春	长春地质学院
14	地层学杂志	北京	全国地层委员会
15	沉积学报	兰州	中国沉积学会,中科院兰州地质研究所
16	地震地质	北京	国家地震局地质研究所
17	地质与勘探	北京	冶金工业部地质勘查总局
18	现代地质	北京	中国地质大学
19	中国区域地质	北京	地质矿产部
20	矿物学报	贵阳	中国矿物岩石地球化学学会,中科院地球化学所
21	第四纪研究	北京	中国第四纪研究委员会,中科院地质研究所
22	石油与天然气地质	江陵(湖北)	中国地质学会石油地质专业委员会,地质矿产部石油地质海洋地质局
23	地质科技情报	武汉	中国地质大学
24	岩石矿物学杂志	北京	中国地质科学院矿床地质研究所
25	地质地球化学	贵阳	中科院地球化学研究所
26	古脊椎动物学报	北京	中科院古脊椎动物与古人类研究所

序号	刊　名	出版地	主办单位
27	矿物岩石	成都	四川省矿物岩石地球化学学会,成都工学院
28	地球学报	北京	中国地质科学院
29	海洋地质与第四纪地质	青岛	地质矿产部海洋地质研究所
30	石油实验地质	无锡	地质矿产部石油地质海洋地质局,中国地质学会石油地质专业委员会

（五）地理科学类

序号	刊　名	出版地	主办单位
1	中国科学	北京	中国科学院
2	科学通报	北京	中国科学院
3	地理学报	北京	中科院地理研究所,中国地理学会
4	地理研究	北京	中科院地理研究所,国家计划委员会地理研究所
5	北京大学学报·自然科学版·社会科学版	北京	北京大学
6	经济地理	长沙	中国地理学会经济地理专业委员会,中科院地理研究所经济地理研究部
7	干旱区地理	新疆	中科院新疆地理研究所
8	地理科学	北京	中国科学院长春地理研究所
9	冰川冻土	北京	中国地理学会冰川冻土分会,中科院兰州冻土研究所
10	自然资源	北京	中国科学院,国家计划委员会自然资源考察委员会
11	中国沙漠	兰州	中国科学院兰州沙漠研究所
12	地理学与国土研究	石家庄	河北省科学院地理研究所
13	热带地理	广州	广州地理研究所
14	水土保持通报	咸阳	中国水土保持研究所
15	地域研究与开发	郑州	河南省科学院地理研究所
16	山地研究	北京	中国科学院等
17	自然资源学报	北京	中国科学院等
18	海洋开发与管理	北京	海洋出版社,海岸带开发与管理研究会
19	环境遥感	北京	中科院遥感应用研究所,中国地理学会遥感分会
20	地图	北京	中国地图出版社,武汉测绘科技大学
21	人文地理	西安	中国地理学会人文地理专业委员会,西安外国语学院人文地理研究所
22	中国人口,资源与环境	济南	国家科委社会发展科技司等

（六）生物科学类

序号	刊　名	出版地	主办单位
1	中国生物化学与分子生物学学报	北京	中国生物化学与分子生物学会

序号	刊　名	出版地	主办单位
2	生物化学与生物物理学报	上海	中科院上海生物化学研究所
3	生物化学与生物物理进展	北京	中科院生物物理化学研究所
4	生物物理学报	北京	中国生物物理学会
5	科学通报	北京	中国科学院
6	微生物学报	北京	中国微生物学会
7	古生物学报	北京	中国古生物学会
8	中国科学·B辑	北京	中国科学院
9	北京大学学报·自然科学版	北京	北京大学
10	生物工程学报	北京	中国微生物学会
11	微生物学通报	北京	中国微生物学会
12	生理科学进展	北京	中国生理学会
13	细胞生物学杂志	上海	中国细胞生物学学会
14	古脊椎动物学报	北京	中科院古脊椎动物与古人类研究所
15	遗传学报	北京	中国科学院遗传研究所,中国遗传学会
16	生理学报	北京	中国科学院上海生理研究所
17	动物学报	北京	中国动物学会
18	生态学报	北京	中国生态学会
19	植物学报	北京	中国植物学会
20	昆虫学报	北京	中国昆虫学会
21	真菌学报	北京	中国科学院微生物研究所
22	生物学通报	北京	中国动物学会等
23	生态学杂志	北京	中国生态学会
24	微体古生物学报	北京	中国科学院水生生物研究所
25	水生生物学报	北京	中国科学院水生生物研究所
26	实验生物学报	上海	中国细胞生物学会
27	中华微生物学和免疫学杂志	北京	中国医学会
28	人类学学报	北京	中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

（七）综合性科学技术类

序号	刊　名	出版地	主办单位
1	北京大学学报·自然科学版	北京	北京大学
2	北京科技大学学报	北京	北京科技大学
3	北京师范大学学报·自然科学版	北京	北京师范大学
4	重庆大学学报	重庆	重庆大学
5	大连理工大学学报	大连	大连理工大学
6	东北大学学报·自然科学版	沈阳	东北大学
7	东南大学学报	南京	东南大学
8	复旦学报·自然科学版	上海	复旦大学

序号	刊　名	出版地	主办单位
9	哈尔滨工业大学学报	哈尔滨	哈尔滨工业大学
10	华东理工大学学报	上海	华东理工大学
11	华东师范大学学报·自然科学版	上海	华东师范大学
12	华南师范大学学报·自然科学版	广州	华南师范大学
13	华中理工大学学报	武汉	华中理工大学
14	吉林大学自然科学学报	长春	吉林大学
15	科学通报	北京	中国科学院
16	兰州大学学报·自然科学版	兰州	兰州大学
17	南京大学学报·自然科学版	南京	南京大学
18	南开大学学报·自然科学版	天津	南开大学
19	清华大学学报·自然科学版	北京	清华大学
20	山东大学学报·自然科学版	济南	山东大学
21	四川大学学报·自然科学版	成都	四川大学
22	天津大学学报	天津	天津大学
23	同济大学学报·自然科学版	上海	同济大学
24	武汉大学学报·自然科学版	武汉	武汉大学
25	西安交通大学学报	西安	西安交通大学
26	西北工业大学学报	西安	西北工业大学
27	厦门大学学报·自然科学版	厦门	厦门大学
28	浙江大学学报·自然科学版	杭州	浙江大学
29	中国科学·A辑	北京	中国科学院
30	中国科学·B辑	北京	中国科学院
31	中国科学技术大学学报	合肥	中国科学技术大学
32	中南工业大学学报	长沙	中南工业大学
33	中山大学学报·自然科学版	广州	中山大学
34	自然杂志	上海	自然杂志社

（上述期刊主要摘引自林被甸、张其苏主编《中文核心期刊要目总览第二版/1996.8》）

附录二　国内外数学类、物理学类、化学类、生物学类、地质学类、地理学类部分重要外文学术期刊

学术期刊名称	缩写
数学类	
ACM Transactions on Mathematical Software	ACM Trans. Math. Software
Acta Mathematica	Acta. Math.
Advances in Applied Mathematics	Adv. Appl. Math.
Advances in Applied Probability	Adv. Appl. Prob.
Advances in Mathematics	Adv. Math.
American Journal of Mathematics	Amer. J. Math.
Annals of Mathematics	Ann. Math.
Annals of Pure and Applied Logic	Ann. Pure Appl. Logic
Annals of Statistics	Ann. Statist.
Arkiv for Matematik	Arch. Math.
Archiv der Mathematik	Ark. d. . Math
Bulletin of American Mathematical Society	Bull. Amer. Math. Soc.
Biometrics	Biometrics
Canadian Journal of Mathematics	Canad. J. Math.
Chinese Science Bulletin	Chin. Sci. Bull.
Communications on Pure and Applied Mathematics	Comm. Pure Appl. Math.
Communications in Algebra	Comm. Algebra
Communications in Mathematical Physics	Comm. Math. Phys.
Communications in Partial Differential Equations	Comm. Part. Diff. Equ.
Compositio Mathematics	Comp. Math
Computers and Mathematics with Applications	Comput. Math. Appl.
Discrete and Computational Geometry	Discrete Comput. Geom.
Discrete Applied Mathematics	Discr. Appl. Math
Duke Mathematical Journal	Duke Math. J.
Forum Mathematicum	Forum Math.

Fuzzy Sets and Systems	
IEEE Transactions of Software Engineering	IEEE Trans. Software Engin.
Illinois Journal of Math.	Ill. J. Math.
IMA Journal of Numerical Analysis	IMA J. Num. Analy.
IMA Journal of Mathematics Applied in Medicine and Biology	IMA J. Math. Appl. Med. Bio.
Indiana University Mathematics Journal	Indiana Univ. Math. J.
Inventions Mathematicae	Invent. Math
Journal of Algebra	J. Algebra
Journal of the American Mathematical Society	J. Amer. Math. Soc
Journal of Approximation Theory	J. Approx. Theo.
Journal of the Austrian Mathematical Society Series A-Pure Mathematics and Statistics	J. Austr. Math. Soc. Ser. A-Pure Math. Statist.
Journal of Combinatorial Theory(A, B)	J. Comb. Theo. (A, B)
Journal of Differential Equations	J. Diff. Equ.
Journal of Differential Geometry	J. Diff. Geom.
Journal of Geometry	J. Geom.
Journal of Functional Analysis	J. Funct. Analy.
Journal of London Mathematical Society	J. London Math. Soc.
Journal of Mathematical Analysis and Applications	J. Math. Analy. Apll.
Journal De Mathematiques Pures et Appliquees	J. Math. Pure Appl.
Journal of Mathematical Physics	J. Math. Phys.
Journal of the Operational Research Society	J. Oper. Res. Soc.
Journal of Pure and Applied Algebra	J. Pure Appl. Algebra
Journal of Reine und Angewandte Mathematik	J. Reine angew. Math.
Letters in Mathematical Physics	Lett. Math. Phys.
Linear algebra and its Applications	Lin. Alg. Appl.
Manuscripta Mathematik	Manuscrp. Math.
Mathematische Annalen	Math. Ann.
Mathematical Programming	Math. Program.
Mathematische Zeitschrift	Math. Z.
Nagoya Mathematical Journal	Nagoya Math. J.
Numerische Mathematik	Num. Math.
Operations Research Letters	Oper. Rse. Lett.
Operations Research	Oper. Res.
Proceedings of American Mathematical Society	Proc. A. M. S.
Proceedings of the London Mathematical Society	Proc. London Math. Soc.
Pacific Journal of Mathematics	Pacific J. Math.
Quarterly of Applied Mathematics	Quart. Appl. Math.
Russian Mathematical Surveys	Russ. Math. Surveys
Science in China – Series A	Sci, China – A
Studies in Applied Mathematics	Studies Appl. Math.
Studia Mathematica	Studia Math.

Tohoku Mathematical Journal	Tohoku Math. J.
Topology	
Transaction of American Mathematical Society	Trans. A. M. S.
Zeitschrift fuer Angewandte Mathematik und Physik	Z. Angw. Math. Phys.

物理学类

Astronomy and Astrophyisics	Astron. Astrophys.
American Journal of Physics	Am. J. Phys.
Annals of Physics	Ann. Phys.
Annals of the New York Academy of Sciences	
Atomic Physics	
Astrophysical Journal	Astrophys. J.
Astrophysical Journal Suppl.	Astrophys. J. Suppl.
Annal Review of Astronomy and Astrophysics	Ann. Rev. Astron. Astrophys.
Annal Review of Nuclear and Particle Science	Ann. Rev. Nucl. Part.
Annal Review of Nuclear Science	Ann. Rev. Nucl. Sci.
Applied Optics	Appl. Opt.
Applied Physics Letters	Appl. Phys. Lett.
Astroparticle Physics	Astropart. Phys.
Astrophysics and Space science	Astrophys. Space Sci.
Bulletin of the American Physical Society	Bull. Am. Phys. Soc.
Chinese Journal of Nuclear Physics	Chin. J. Nucl. Phys.
Chinese Science Letters	Chin. Phys. Lett.
Chinese Science Bulletin	Chin. Sci. Bull.
Classical and Quantum Gravity	Class. Quant. Grave.
Comments on Nuclear and Particle Physics	Comments Nucl. Part. Phys.
Communications in Mathematical Physics	Commun. Math. Phys.
Communications in Theoretical Physics	Commun. Theor. Phys.
Computer Physics Communications	Computer Phys. Commun.
Cryptology	
Electronics Letters	Elect. Lett.
European Physical Journal A	Europ. Phys. J. A
European Physical Journal B	Europ. Phys. J. B
European Physical Journal C	Europ. Phys. J. C
European Physical Journal D	Europ. Phys. J. D
European Physical Journal Applied Physics	Europ. Phys. J. Appl. Phys.
Europhyisics Letters	Europhys. Lett.
Hadronic Journal	Hadronic J.
International Journal of Modern Physics	Int. J. Mod. Phys.
Journal of Applied Physics	J. Appl. Phys.
Journal of Chemical Physics	J. Chem. Phys.
Journal of computational Physics	J. Comput Phys.
Journal of Fluid Mechanics	J. Fluid Mech.

Journal of Mathematical Physics	J. Math. Phys.
Journal of Modern Optics	J. Mod. Opt.
Journal of Molecular Spectroscopy	J. Mol. Spectrosc.
Journal of Physics, A	J. Phys. A
Journal of Physics, B	J. Phys. B
Journal of Physics, C	J. Phys. C
Journal of Physics, D	J. Phys. D
Journal of Physics, E	J. Phys. E
Journal of Physics, F	J. Phys. F
Journal of Physics, G	J. Phys. G
Journal of Physical and Chemical Reference Data	J. Phys. Chem. Ref. Data
Journal of Statistical Physics	J. Statist. Phys.
Letters of Mathematical Physics	Lett. Math. Phys.
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	Mon. Not. Roy. Astron. Soc.
Modern Physics Letters	Mod. Phys. Lett.
Nature	
Nuovo Cimento	Nuovo Cim.
Nuovo Cimento Letters	Nuovo Cim. Lett.
Nuclear Instruments and Methods	Nucl. Instrum. Meth.
Nuclear Physics, A	Nucl. Phys. A
Nuclear Physics, B	Nucl. Phys. B
Nuclear Physics B Proceedings Supplement	Nucl. Phys. B Proc. Suppl.
Optics Communications	Opt. Commun.
Optics Letters	Opt. Lett.
Physica, A	
Physica, B	
Physica, C	
Physica, D	
Physics of Atomic Nuclei	
Physics Letters, A	Phys, Lett. A
Physics Letters, B	Phys, Lett. B
Particles and Nuclei	Part. Nucl.
Physics of Particles and Nuclei	Phys. Part. Nucl.
Progress in Particles and Nuclear Physics	Prog. Part. Nucl. Phys.
Proc. of the Physical Society of London	Proc. Phys. Soc. Lond
Physical Review, A	Phys, Rev. A
Physical Review, B	Phys, Rev. B
Physical Review, C	Phys, Rev. C
Physical Review, D	Phys, Rev. D
Physical Review Letters	Phys. Rev. Lett.
Physics Reports	Phys. Rept.
Proc. of the Royal Society of Edinburgh	Proc. Roy Soc. Edinburgh
Proc. of the Royal Society of London, Section A	Proc. Roy Soc. Lond. Sec. A

Physica Scripta	
Progress of Theoretical Physics	Prog. Theor. Phys.
Radiochemica Acta	
Reviews of Modern Physics	Rev. Mod. Phys.
Reprots on Progress in Physics	Repts. Prog. Phys.
Science	
Science in China, A	
Solid State Communications	Solid State Commun.
Zeitschrift fur naturforschung	
Zeiitschrift fur Physik A	Z. Phys. A
Zeiitschrift fur Physik B	Z. Phys. B
Zeiitschrift fur Physik C	Z. Phys. C
Zeiitschrift fur Physik D	Z. Phys. D

化学类

Accounts of Chemical Research	Account Chem. Res.
Acta Grystallographica	Acta Crystallographica
Advances in Catalysis	Adv. Catal.
Advances in Organometallic Chemistry	Adv. Organometallic Chem.
Advances in Physical Organic Chemistry	Adv. Phys. Org. Chem
Advances in Polymer Sciece	Adv. Polym. Sci.
Analytica Chimica Acta	Analytica Chimica Acta
Analytical Chemistry	Anal. Chem.
Analytical Letters	Anal. Lett.
Analytical Sciences	Anal. Sci.
Biopolymers	Biopolym.
Catalysts in Chemistry	Catal. Chem.
Chemical Communication	Chem. Commun.
Chemical Physics	Chem. Phys.
Chemical Physics Letters	Chem. Phys. Lett.
Chemical Research in Chinese Universities	Chem. Res. Chin. Univ.
Chemical Reviews	Chem. Rev.
Chemistry in Britain	Chem. Brit.
Chemistry Letters	Chem. Lett.
Chemistry Materials	Chem. Mat.
Chemistry of Natural Compounds	Chem. Nat. Comp.
Chinese Chemical Letters	Chin. Chem. Lett.
Chinese Journal of Chemical Engineering	Chin. J. Chem. Eng.
Chinese Journal of Polymer Science	Chin. J. Polym. Sci.
Chinese Science Bulletin	Chin. Sci. Bulletin
Colloid and Polymer Science	Coll. Polym. Sci.
Colloids and Surfaces A	Coll. Surf. A
Colloids and Surfaces B	Soll. Surf. B

Current Chemical Reactions	Current Chem. React.
Electroanalysis	Electroanalysis
Electrochemical Acta	Electrochem. Acta
Fullerence Science	Fullerence Sci.
Inorganic Chemistry	Inorg. Chem.
Inorganic Chimica Acta	Inorg. Chimica Acta
Journal of The American Chemical Society	J. Am. Chem. Soc.
Journal of The American Chemical Society For Mass Spectrometry	J. aM. Chem. Soc. Mass Spectr.
Journal of Applied Electrochemistry	J. Appl. Electrochem.
Journal of Applied Polymer Science	J. Appl. Polym. Sci.
Journal of Biomedical Materials Research	J. Biomed. Mat. Res.
Journal of Catalysis	J. Cat
Journal of Chemical Information and Computer Science	J Chem. Inform. Computer Sci.
Journal of Chemical Thermodynamics	J. Chem. Thermodynamics
Journal of Chromatography Science	J. Chromatography Sci.
Journal of Computational Chemistry	J. Comput. Chem.
Journal of Colloid and Interface Science	J. Coll. Interf. Sci.
Journal of the Electrochemical Society	J. Electrochem. Soc.
Journal Heterocyclic Chemistry	J. Heterocyclic Chem.
Journal of Inorganic Biochemistry	J. Inorg. Biochem.
Journal of Liquid Chromatography	J. Liq. Chromatography
Journal of Membrane Science	J. Membrane Sci.
Journal of Molecular Structures	J. Mol. Structures
Journal of Physical Chemistry A	J. Phys. Chem. A
Journal of Physical Chemistry B	J. Phys. Chem. B
Journal of Physics and Chemistry of Solids	J. Phys. Chem. Solids
Journal of Solid State Chemistry	J. Solid State Chem.
Journal of Solution Chemistry	J. Solution Chem.
Macromolecular	Macromol.
Macromolecular Chemistry and Physics	Macromol. Chem. Phys.
Nature	Nature
Organometallic	Organometallic
Polymer	Polym.
Polymer Bulletin	Polym. Bulletin
Progress in Inorganic Chemistry	Prog. Inorg. Chem.
Progress in Solid State Chemistry	Prog. Solid State Chem.
Pure and Applied Chemistry	Pure Appl. Chem.
Radiochinica Acta	Radiochinica Acta
Rare Earth Buttetin	Rare Earth Buttetin
Science	Science
Science in China Series B	Sci. China Ser. B

生物学类

Acta Zoologica	Acta Zool.
Analytical Biochemistry	Anal. Biochem.
Annual Review of Biochemistry	Ann. Rev. Biochem.
Annual Review of Cell Biology	Ann. Rev. Cell Biol.
Annual Review of Genetics	Ann. Rev. Genetics.
Annual Review of Microbiology	Ann. Rev. Microbiol.
Annual Review of Plant Physiology	Ann. Rev. Plant Physiol.
and Plant Molecular Biology	Plant Mol. Biol.
Annual Review of Physiology	Ann. Rev. Physiol.
Applied Biochemistry and Biotechnology	Appl. Biochem. Biotech.
Archives of Biochemistry and Biophysics	Arch. Biochem. Biophys.
Biochemical and Biophysical Research Communications	Biochem. Biophys. Res. Commun.
Biochemical Journal	Biochem. J.
Biochemistry	
Bioichimica et Biophysica Acta	Biochim. Biophys. Acta
Biophysical Chemistry	Biophys. Chem.
Biotechniques	
Biotechnology	
Biotechnology Letters	Biotech. Lett.
Botanca Acta	
Cell	
Cellular and Molecular Biology	Cell. Mol. Biol.
Cold Spring Habor Symposia on Quantitative Biology	Cold Spring Habor Symposia Quant. Biol.
Comparative Biochemistry and Biophysiology	Compara. Biochem. Biophysiol.
Developmental Biology	Dev. Biol.
Ecology	
EMBO Journal	EMBO J.
Enzyme	
European Journal of Biochemistry	Eur. J. Biochem.
Evolution	
Experimental Biology	Exp. Biol.
FEBS Letters	FEBS Lett.
Gene	
Genetic Analysis Techniques and Applications	Gene. Anal. Tech. Appl.
Genetcis	
Immunochemistry	
Immunology	
International Review of Cytology	Internal. Rev. Cytol
Journal of Bacteriology	J. Bacteriol.
Journal of Biochemistry	J. Biochem.
Journal of Biological Chemistry	J. Biol. Chem.
Journal of Cell Biology	J. Cell Biol.

Journal of Immunology	J. Immunol.
Journal of Molecular Biology	J. Mol. Boil
Journal of Molecular Evolution	J. Mol. Evol.
Journal of Neurobiology	J. Neurobiol.
Journal of Theoretical Biology	J. Theor. Biol.
Journal of Neurochemistry	J. Neurochem.
Molecular and Cellular Biochemistry	Mol. Cell. Biochem.
Molecular & General Genetics	Mol. Gen. Genet.
Nature	
Neurochemical Research	Neurochem. Res
Neuroscience	
Nucleic Acids Research	Nucl. Acids Res
Photochemistry and Photobiology	Photochem. Photobiol
Plant Cell	
Plant Molecular Biology	Plant Mol. Biol.
Plant Physiology	Plant Physiol.
Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A	Proc. Natl. Acad. Sci.
Protein Engineering	Protein Engin.
Proceedings of the Royal Society of London	Proc. Roy. Soc.
Science	
Trends in Biochemical Sciences	Trends Biochem. Sci.
Trends in Genetics	Trends Genet.
Virology	
Zoology	

地质学类

AAPG Bulletin – American Association of Petroleum Geologists(美国)	AAPG Bull. Am. Associa. Petroleum Geologists
Acta Crystallographica Section B-Structural Science(丹麦)	Acta Cry. Sect. B: Struct. Sci.
Acta Crystallographica Section C-Crystal Structure Communications(丹麦)	Acta Cry. Sect. C; Crys. Struct. Commun.
American Journal of Science(美国)	Am. J. Sci.
American Mineralogist(美国)	Am. Min.
Annual Review of Earth and Planetary Sciences(美国)	Ann. Rev. Ear. Plan. Sci.
Australian Journal of Earth Sciences(澳大利亚)	Aust. Earth Sci.
Bulletin De La Societe Geologique De France(法国)	Bull. Soc. Geol. Fr.
Bulletin Mineralogique(法国)	Bull. Miner.
Bulletin of American Paleontology(美国)	Bull. Am. Paleontol.
Bulletin of Canadian Petroleum Geology(加拿大)	Bull. Can. Pet. Geol.
Bulletin of the Seismological Society of America(美国)	Bull. Seismol. Soc. Am.
Canadian Geotechnical Journal(加拿大)	Can. Geotech. J.
Canadian Journal of Earth Sciences(加拿大)	Can. J. Earth Sci.
Carbonates and Evaporites(美国)	Car. Evap.
Chemical Geology(荷兰)	Chem. Geol.

Clay Minerals (美国)	Clay Miner.
Clays and Clay Minerals(英国)	Clays and Clay. Miner.
Computers and Geoscience(荷兰)	Comp. Geosci.
Continental Shelf Research(荷兰)	Contin. Shelf Res.
Contribution to Mineralogy and Petrology(德国)	Contri. Miner. Petrol.
Crystal Research and Technology(德国)	Crystal Res. Tech.
Deep-Sea Research(英国)	Deep Sea Res.
Earth & Planetary Science Letters(荷兰)	Earth Plan. Sci. Lett.
Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists (美国)	Econ. Geol. Bull. Soc. Econ. Geol.
Environmental Geology(德国)	Envir. Geol.
Episodes(加拿大)	Episodes.
European Journal of Mineralogy(德国)	Euro. J. Miner.
Geochemical Journal(日本)	Geochem. J.
Geochirumica Et Cosmochimica Acta(荷兰)	Geochim. Cosmochim. Acta.
Geological Magazine(英国)	Geol. Mag.
Geological Society of America Bulletin(美国)	Geol. S. Am. B.
Geologische Rundschau(德国)	Geol. Rund.
Geology(美国)	
International Geology Review(美国)	Internat. Geology. Rev.
International Journal of Coal Geology(荷兰)	Int. J. Coal. Geol.
International Journal of Fracture(荷兰)	Int. J. Fract.
Journal of Africa Earth Sciences(丹麦)	J. Af. Earth. Sci.
Journal of Applied Crystallography(美国)	J. Appl. Crys.
Journal of Chemical Crystallography	J. Chem. Crys.
Journal of Geochemical Exploration(荷兰)	J. Geochem. E.
Journal of Geodynamics(英国)	J. Geody.
Journal of Geology(美国)	J. Geol.
Journal of Metamorphic Geology(英国)	J. Meta. Geol.
Journal of Microscopy – Oxford(英国)	J. Micros. Ox.
Journal of Natural History(英国)	J. natural. Hist.
Journal of Non – Crystalline Solids(荷兰)	J. Non. cryst.
Journal of Paleontology(美国)	J. Paleont.
Journal of Petroleum Geology(英国)	J. Petrol. Geol.
Journal of Petroleum Technology(美国)	J. Petrol. Tec.
Journal of Petrology(英国)	J. Petrol.
Journal of Sedimentary Petrology(美国)	J. Sediment. Petrol.
Journal of Sedimentary Research Section B – Stratigraphy and Global Studies(美国)	J. Sediment. Res. Sect. B; Strati. Glob. Stud.
Journal of Structural Geology(英国)	J. Struct. Geol.
Journal of the Geological Society(英国)	J. Geol. Soc.
Journal of the Geological Society of Japan(日本)	J. Geol. Soc. Jap.
Journal of Volcanology and Geothermal Research(荷兰)	J. Volcanol. Geotherm. Res.

Lethaia, An Internationa Journal of Paleontology and Stratigraphy(挪威)	Lethaia.
Limnology and Oceanography(美国)	Limn. Ocean.
Lithos(荷兰)	
Marine and Petroleum Geology(英国)	Mar. Petrol. Geol.
Marine Geology(荷兰)	Mar. Geol.
Marine Micropaleontology(荷兰)	Mar. Micropaleontol.
Mathematical Geology(美国)	Math. Geol.
Micropaleontology(美国)	
Mineralium Deposita(德国)	Min. Deposit.
Mineralogical Magazine(英国)	Mineral. Mag.
Mineralogy and Petrology(加拿大)	Mineral. Petrol.
Mountain Research and Development(美国)	Mt. Re. Develo.
Natural History(美国)	Nat. Hist.
Nature(英国)	
Organic Geochemistry(荷兰)	Org. Geochem.
Paleoceanography(美国)	Paleocean. Ography.
Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology(荷兰)	Palaeogeo. P.
Palaeontographica, Beitraege Zur Naturgeschichte der Vorzeit Abteilung A: Palaeozoologie-Palaeontology(德国)	Palaeotograph.
Paleobiology(美国)	
Physics and Chemistry of Minerals(德国)	Phys, Chem. Miner.
Physics of the Earth and Planetary Interiors(荷兰)	Phys. E. Plan.
Precambrian Research(荷兰)	Precambrian Res.
Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America(美国)	Proc. Natl. Acad. Sci. USA.
Quaternary Research(美国)	Quatern. Rse.
Reviews in Mineralogy(美国)	Rev. Mineral.
Schweiterische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen(瑞士)	Schweiter. Mineral. Petrogra. Mitteiun.
Science(美国)	
Sedimentary Geology(荷兰)	Sediment. Geol.
Sedimentology	
South Africa Journal of Geology(南非)	South. Afr. J. Geol.
Tectonics(美国)	
Tectonophysics(荷兰)	

地理学类

Advances in Limnology	Adv. Limn.
Advances in Ecological Research	Adv. Ecol. Res.
Ambio	
American Journal of Science	Am. J. Sci.
Annals of the Association of American Geogrphers	Anna. Associ. Am. Geog.
Annual Review of Earth and Planetary Sciences	Annu. Rev. EPS
Antarctic Science	Anta. Sci.

Applied Geographic Studies	App. Geog. Stu.
Applied Geography	Ap. Geog.
Arcitc	
Arctic and Alpine Research	Arc. Alp. Res.
Atmosphere-Ocean	
Australian Journal of Earth Sciences	Aust. J. Ear. Sci.
Australian Journal of Ecology	Aust. J. Ecol.
Basin Research	Bas. Res.
Bulletin of Volcanology	Bull. Volc.
Canadian Journal of Earth Sciences	Can. J. Ear. Sci.
Cartographic	
Cartographic Journal	Cart. J.
Cartography and Geographic Information System	Cart. GIS
Catena; An Interdisciplinary Journal of Soil Science-Hydrology-Geomorphology	Cate. ; Int. J. SSHG
Climatic Change	Clim. Cha.
Cold Regions Sciences and Technology	Col. Reg. Sci. Tec.
Communications of the International Association of Theoretical & Applied Lim nology	Comm. IATAL.
Computational Geoscience	Comp. Geos.
Competition and Change	Comp. Cha.
Coastal Research	Coas. Res.
Current Advances in Ecological and Environmental Science	Cur. Adv. EES
Current Geographical Publications	Cur. Geos. Pub.
Current Trends in Limnology	Cur. Tre. Limn.
Disaster Prevention and Management	Dis. Pre. Mana.
Disasters	
Early China	Early Chin.
Earth	
Earth and Planetary Science Letters	EPSL.
Earth Science History	Ear. Sci. His.
Earth-Science Reviews	Ear. Sci. Rev.
Earth Surface Processes and Landforms	Ear. Sur. Pro. Lan.
Ecography	
Ecological Engineering	Ecol. Eng.
Ecological Applications	Ecol. App.
Ecologist	
Ecological Abstracts	Eco. Abs.
Ecological Monographs	Ecol. Mono.
Ecological Modelling	Ecol. Mod.
Ecological Research	Ecol. Res.
Ecology	
Ecological Economics	Ecol. Eco.

Ecology Abstracts	Ecol. Abs.
Economic Geography	Econ. Geog.
Ecosystems	
Environment and Planning	Env. Pla.
Environmental Geology	Env. Geol.
Episodes	
Estuarine, Coastal and Shelf Science	ECSS
Functional Ecology	Func. Ecol.
Geoarchaeology	
Geographical Abstracts	Geog. Abs.
Geographical Analysis	Geog. Ana.
Geographical and Environmental Modelling	Geog. Env. Mod.
Geographical Journal	Geog. J.
Geographical Magazine	Geog. Maga.
Geographical Review	Geog. Rev.
Geographical Systems	Geog. Sys.
Geography	
Geoinfomatica	
Geological Abstracts	Geol. Abs.
Geological Journal	Geol. J.
Geological Magazine	Geol. Maga.
Geological Society of America Bulletin	Geol. Soa. Am. Bull.
Geology	
Geo-Marine Letters	
Geomorphology	
Geoscience Contents	Geos. Con.
Geoscience Documentation	Geog. Docu.
Global and Planetary Change	Glo. Pla. Cha.
Global Ecology and Biogeography Letters	Glo. Ecol. Biog. Lett.
GPS Solution	
GPS World	
History and Anthropolgy	His. Anth.
Holocene	
Human Ecology	
Harvand Business Review	Har. Bus. Rev.
Hydrological Sciences Journal	Hydr. Sci. J.
International Hydrographic Review	Int. Hydr. Rev.
International Journal of Climatology	Int. J. Clim.
International Journal of Geographical Information Science	Int. J. GIS
International Journal of Plant Sciences	Int. J. Pla. Sci.
International Journal of Population Geography	Int. J. Pop. Geog.
International Journal of Speleology	Int. J. Spe.
ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing	ISPRS. J. Pho. Rem. Sen.

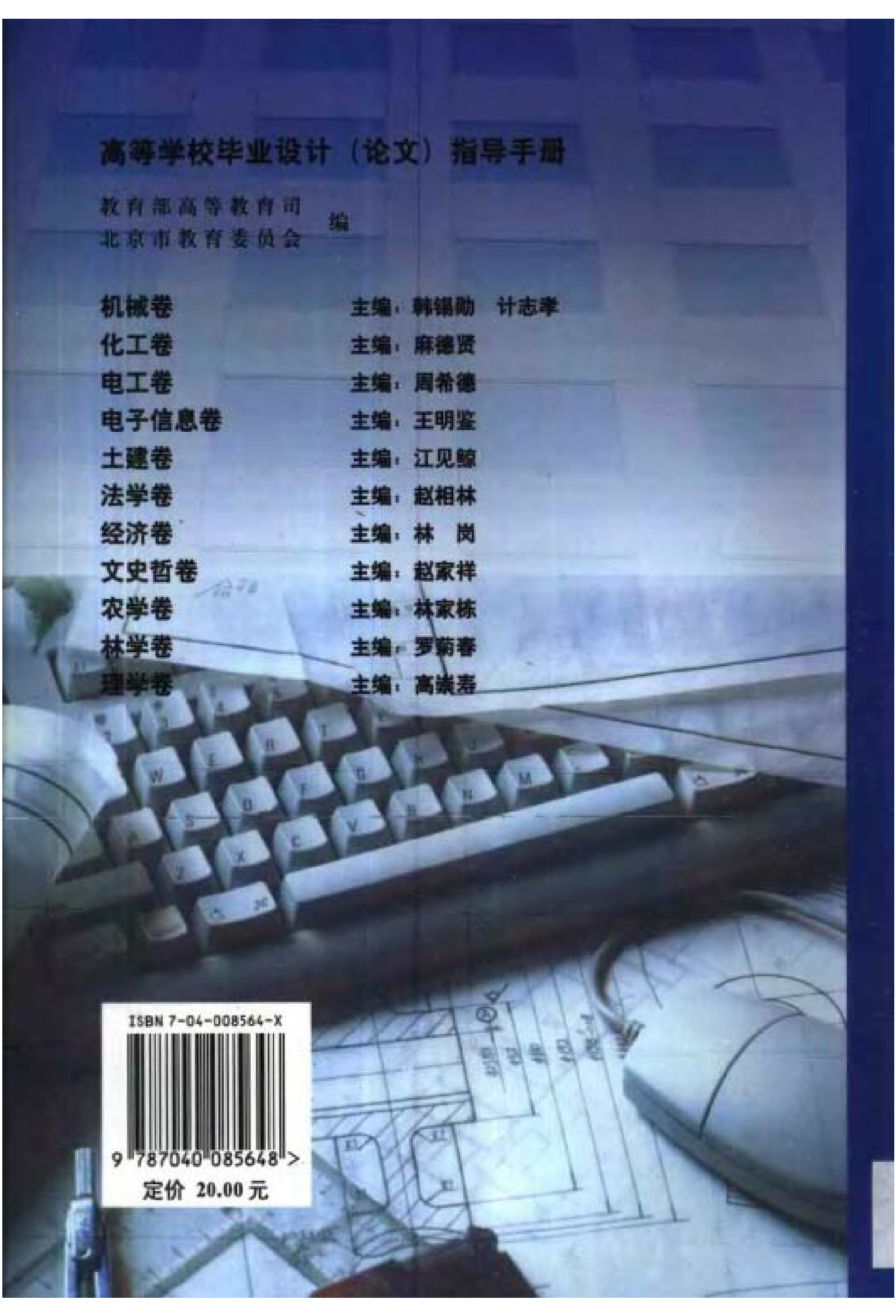
Journal of Applied Ecology	J. App. Ecol.
Journal of Biogeography	J. Biog.
Journal of Caves and Karst Studies	J. Cav. Kar. Stu.
Journal of Coastal Research	J. Coas. Res.
Journal of Climate	J. Clim.
Journal of Cultural Geography	J. Cult. Geog.
Journal of Geology	J. Geol.
Journal of Geographical Systems	J. Geog. Sys.
Journal of Geography	J. Geog.
Journal of the Geological Society	J. Geol. Soci.
Journal of Glaciology	J. Glac.
Journal of Historical Geography	J. His. Geos.
Journal of Hydrology	J. Hydr.
Journal of Interdisciplinary History	J. Int. His.
Journal of Marine Research	J. Mar. Res.
Journal of Paleolimnology	J. Paleolimn.
Journal of Quaternary Science	J. Quat. Sci.
Journal of Regional Science	J. Reg. Sci.
Journal of Seismology	J. Seis.
Journal of Sustainable Tourism	J. Sust. Tour.
Journal of Urban History	J. Urb. His.
Journal of Vegetation Science	J. Vege. Sci.
Landscape Ecology	Land. Ecol.
Limnology and Oceannography	Limn. Oce.
Mapping Sciences and Remote Sensing	Map. Sci. Rem. Sen.
Marine & Freshwater Research	Mar. Fre. Res.
Marine Geology	Mar. Geol.
Mountain Research and Development	Mou. Res. Dev.
National Geographic Magazine	Nat. Geog. Mag.
National Geographic Traveler	Nat. Geog. Tra.
National Geographic World	Nat. Geog. Wor.
Natural Hazards	Natu. Haz.
Natural Resources Forum	Natu. Reso. For.
Natural Resources Research	Natu. Reso. Res.
Nature	
Oceanic Abstracts.	Oce. Abs.
Oceanography	
Oecologia	
Oikos	
Palaeoceanography	
Palaeoclimate; Data and Modelling	Palaeo Cli. Dat. Mod.
Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology	PPP
Plant Ecology(formerly Vegetatio)	Plan. Ecol.

Permafrost and Periglacial Process	Perm. Peri. Pro.
Physical Geography	Phys. Geog.
Photo Interpretation	Pho. Inte.
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing	Pho. Eng. Rem. Sen.
Polar and Glaciological Abstracts	Pola. Glac. Abs.
Polar Research	Pola. Res.
Political Geogrphy	Poli. Geog.
Proceedings of the Prehistoric Society	Pro. Pre. Soci.
Professional Geographer	Pro. Geog.
Progess in Human Geography	Pro. Hum Geog.
Progess in Oceanography	Pro. Oce.
Progress in Physical Geography	Pro. Phys. Geog.
Quaternary International	Quat. Int.
Quaternary Research	Quat. Res.
Quaternary Science Reviews	Quat. Sci. Rev.
Regional Studies	Regi. Stu.
Science	
Sedimentary Geology	Sed. Geol.
Sedimentology	
Seismological Research Letters	Sei. Res. Lett.
Shore and Beach	Sho. Bea.
Society and Natural Resources	Soci. Natu. Reso.
Stochastic Environmental Research and Risk Assessment	Stoc. ERRA
Surveying and Land Information System	Surv. LIS
The China Quarterly	Chin. Qua.
The Economist	
The Journal of Development Studies	J. Dev. Stu.
Transnational Corporations	Tranl. Cor.
Teaching Geography	Teac. Geog.
Urban Geogrphy	Urb. Geog.
Water Resources Bulletin	Wat. Reso. Bull.
Water Resources Research	Wat. Reso. Res.
Wetland	
World Crtography	Wor. Cart.

高等学校毕业设计（论文）指导手册

教育部高等教育司
北京市教育委员会 编

机械卷	主编：韩锡勋　计志孝
化工卷	主编：麻德贤
电工卷	主编：周希德
电子信息卷	主编：王明鉴
土建卷	主编：江见鲸
法学卷	主编：赵相林
经济卷	主编：林　岗
文史哲卷	主编：赵家祥
农学卷	主编：林家栋
林学卷	主编：罗菊春
理学卷	主编：高崇寿



ISBN 7-04-008564-X
9 787040 085648 >
定价 20.00 元