

西昆仑造山带与岩浆活动 构造演化

毕华 著

中南工业大学出版社

国家重点科技攻关 305 项目 96-915-06-05 专题资助研究

西昆仑造山带 构造演化与岩浆活动

毕 华 著

学术指导:王中刚

海南省普通高等学技优秀中青年教师科研和教学奖励基金

海南师范学院博士启动基金

联合资助出版

中南工业大学出版社

西昆仑造山带构造演化与岩浆活动

毕 华 著

责任编辑:刘汉元

*

中南工业大学出版社出版发行

中南工业大学出版社印刷厂印装

湖 南 省 新 华 书 店 经 销

*

开本:850×1168 1/32 印张:5.5 字数:142千字

2000年5月第1版 2000年5月第1次印刷

印数:001—500

*

ISBN 7-81061-317-0/P·009

定价:15.00元

本书如有印装质量问题,请直接与承印厂家调换

厂址:湖南长沙

邮编:410083

内 容 简 介

西昆仑造山带位于青藏高原西北缘与塔里木地块西南缘的结合部位,大地构造位置十分重要。本专著主要以构造-岩浆活动的时空演化为主线,首次将西昆仑造山带的构造-岩浆演化划分为五个稳定与活动相互转化、相继递进的发展阶段,并对西昆仑造山带岩浆岩(尤其是花岗岩)的时空分布、地质地球化学特征和成岩构造环境;构造演化与岩浆活动的关系;构造-岩浆活动与塔里木地块、印度板块活动及青藏高原隆升的关系等方面进行了较系统研究,取得了一些新进展,获得了一些新认识,对探讨青藏高原及塔里本地块的地质演化具有重要的指导意义。

本专著学术思路清晰,内容丰富、新颖,立论有据,文图并茂,可供广大地质、自然地理科研、生产人员及大专院校的师生们阅读和参考。

前 言

20 世纪 80 年代以来,大陆岩石圈的形成、演化及其动力学问题一直是全球地学界研究的核心课题,研究者们试图通过对大陆内部具体构造认识上的突破,建立大陆动力学新模式(赖绍聪等,1996)。

包括西昆仑造山带在内的青藏高原以其隆升的高度和巨厚的地壳闻名于世,被人们称为地球的“第三极”,加之位于欧亚大陆与冈瓦纳大陆碰撞的关键部位,大地构造位置十分重要,被誉为研究全球构造的窗口,打开地球奥秘的金钥匙,建立野外实验室的最佳选区,因此,近半个世纪以来,青藏高原一直是国际地学界瞩目和角逐竞争的地区,其重要性不亚于南极(李永安等,1995;柴育成等,1997)。而位于青藏高原西北缘的西昆仑造山带,矿产资源丰富,北临蕴藏丰富石油和天然气的塔里木盆地、南与藏北地块接壤,东端以苦牙克断裂带与东昆仑造山带分开,西南端则延入境外以吉萨尔断裂与阿富汗-塔吉克地块分开(武传真等,1993),是祁秦昆中央造山带的重要组成部分(姜春发等,1992),其独特的地质构造及特殊的地理位置,不仅对研究青藏高原和塔里木盆地的形成、演化具有重要意义,而且对其与祁秦昆中央造山带的地质对比和地质演化研究至关重要。

研究区自然地理条件很差,地势高峻,海拔一般 4000~6000m,切割深度大于 1000m,慕士塔格山海拔 7546m,公格尔山海拔 7719m,中巴边界上的乔戈里峰海拔 8611m,是世界第二高峰;区内多冰峰雪岭,高寒缺氧,氧气量为正常地区的 70%左右,通行困难,居民稀少,野外工作极为艰难,是目前我国调研程度最低的地区之一。

前人在西昆仑造山带及其邻区进行的工作大多数是沿着中-

巴公路、新-藏公路、青-藏公路三条主干线进行,而对整个区域上的工作研究程度非常低;且前述有关研究区及其邻区构造演化与岩浆活动的观点,大多数是对整个青藏高原而论,对西昆仑造山带构造演化与岩浆活动进行具体的论述较少。为此本研究属开拓性工作,是国家科技攻关 305 项目 96-915-06-05 专题的一个子专题,主要以构造-岩浆活动的时空演化为主线,研究西昆仑造山带岩浆岩(尤其是花岗岩)的时空分布、地质地球化学特征和成岩构造环境;构造演化与岩浆活动的关系;构造-岩浆活动与塔里木地块、印度板块活动及青藏高原隆升的关系等等。

本研究在进行国家科技攻关 305 项目 96-915-06-05 专题的基础上,对昆仑-阿尔金造山带的大多数岩体进行了实地调研,且把研究重点放在西昆仑造山带。通过上述工作,在充分消化前人资料的基础上,主要取得了如下研究进展:

(1)通过对西昆仑造山带 20 世纪 80 年代以来陆续发表的 170 余个岩浆岩、变质岩、构造岩、矿石同位素年龄数据进行统计分析,同时结合野外实地考察及必要的同位素年龄补充测试,首次将西昆仑造山带的构造-岩浆演化划分为五个阶段,并对每个阶段及次级阶段的岩浆活动形式及总程序、成岩构造环境等特征进行了讨论。

(2)通过编制“昆仑-阿尔金及邻区 1:150 万岩浆岩分布图”;分析论述了西昆仑造山带四个岩带不同构造-岩浆演化阶段花岗岩类的空间分布特征,指出印支运动为研究区一期重要的构造-岩浆演化转折运动,西昆中断裂是研究区一条重要的构造-岩浆演化分界线。

(3)对西昆仑造山带库地蛇绿岩形成时代、成岩构造环境等有争议的关键性问题进行了分析与探讨。

(4)通过详细的野外料考与室内研究,对西昆仑造山带花岗岩类的岩石学、岩石化学等特征进行了较深入的研究,尤其是对前人开展工作较薄弱的加里东期赛图拉岩体、海西期哈巴克岩

体、印支期 464 岩体、喜山期苦子干岩体等(前 2 个岩体前人未开展工作)进行了较详细的研究,取得了一系列新见解和新认识。

(5)针对前人对西昆仑造山带花岗岩类微量、稀土元素地球化学研究极少的这些问题,利用中国科学院矿床地球化学开放研究实验室先进的等离子质谱仪和技术,较系统地测试了研究区各不同构造-岩浆演化阶段花岗岩类岩石的微量、稀土元素含量,并对其时空演化进行了有意义的探讨。这些新资料,是对西昆仑造山带花岗岩类地球化学资料的重要补充。

(6)通过上述研究及对西昆仑造山带各构造-岩浆演化阶段花岗岩类成岩构造环境的探讨,归纳总结出了西昆仑造山带构造-岩浆时空演化的新模式。

近 3 年的博士后研究,在合作导师王中刚研究员(96-915-06-05 专题负责人之一)的指导下,同项目组成员王元龙副教授(96-915-06-05 专题负责人之一)、朱笑青副研究员(黄智龙研究员及新疆地质矿产局第一区调大队的张志德高工参加了第一次野外科考)一起,对整个昆仑-阿尔金造山带作了如下主要工作:

(1)进行了三次近七个月的野外科考,完成了 96-915-06-05 专题的全部野外科考任务。

(2)采集各类标本 895 件,鉴定光薄片 321 块,加工粉碎样品 303 件,主元素分析样品 150 件,稀土元素分析样品 150 件,微量元素分析样品 150 件,含矿元素分析样品 98 件,单矿物分选样品 35 件(一种矿物为一件),电子探针矿物成分分析样品 35 件,重砂分析样品 16 件,Rb-Sr 同位素分析样品 12 件,Sm-Nd 同位素分析样品 12 件,测试 Rb-Sr 等时线年龄 10 条,K-Ar 年龄 21 件。

(3)系统收集了与本课题有关的区调报告、专题报告 50 余本,学术论文等文献资料近 600 余篇。

(4)编制“昆仑-阿尔金及邻区 1:150 万岩浆岩分布图”1 份。

本专著整个研究经费来自国家科技攻关 305 项目 96-915-

06-05 专题由海南省普通高等学校优秀青年教师科研和教学奖励基金、海南师范学院博士启动基金联合资助出版。中国科学院地球化学研究所博士后流动站、教育处、科研处、图书馆及资料室、档案室、编辑部,中国科学院矿床地球化学开放研究实验室,海南师范学院等单位或部门给予了大力支持。野外工作和资料收集过程中,得到了新疆地质矿产局地质研究所成守德高工,中国科学院地质研究所李继亮研究员、中国科学院遥感应用研究所郭华东研究员为首的兄弟专题组成员,国家重点科技攻关 305 项目办公室、新疆地质矿产局第一区调大队和第二地质大队、中国科学院新疆分院开发办公室等单位的大力支持和协作。值得强调的是:

(1) 整个研究是在合作导师王中刚研究员的精心指导下,在王元龙副教授、朱笑青副研究员的支持和帮助下完成的。

(2) 中国科学院地球化学研究所的涂光炽院士,欧阳自远院士,教育处彭汝明处长、张肖华老师,科技处王兴理处长,中国矿物岩石地球化学学会李家田老师,袁愉卓、樊文玲、张哲儒、高振敏、李朝阳、胡瑞忠、刘丛强、徐仲伦、莫德明、吴学益、杨科佑、郑宝山、南君亚、杨卫东、王世杰、李春来、朱成明、张乾、夏勇、战新志、黄智龙、杨元根、吴沿友、刘家军、刘显凡、刘建忠、龚自正等研究员,陈兴琼、孙静溪、鲁晓营、唐春景、马开照、唐月清、福锐光、刘莉、何芝兰、王学、侯晓凤、韩贵林等老师,彭建堂、毕献武、杨富贵、周文戈、李玉文、丁振举、李和平、张德会、何明友、李红阳、杨竹森等博士,肖化云硕士、李志勤女士、徐玲小姐给予了许多支持和热情帮助。

(3) 中国科学院地球化学研究所的李荪蓉老师、漆亮高工、胡静工程师、江保勋工程师、王明再研究员、龚国红研究员、董丽敏副研究员、刘士荣副研究员、李立工程师,中国科学院地质研究所同位素室为研究工作完成了必要的样品制作及测试工作。

(4) 整个研究和写作期间,妻子尤春花女士工作之余承担了

全部家务和孩子的教育辅导,使得作者能够顺利完成有关研究和
本专著。

此专著的出版,与上述各方面的支持是分不开的,借此机会
一并致谢。

作 者

2000 年元月

目 录

中文摘要	(1)
英文摘要	(3)
1 绪论	(5)
1.1 地质研究概况	(5)
1.2 前人主要观点	(7)
2 构造-岩浆演化史	(12)
2.1 $Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(I)	(13)
2.2 Pt_2^2 构造-岩浆演化稳定阶段(I)	(24)
2.3 $Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段(II)	(25)
2.4 T_1-T_2 构造-岩浆演化稳定阶段(IV)	(29)
2.5 T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V)	(29)
2.6 小结	(33)
3 花岗岩类的时空分布规律	(35)
3.1 西昆仑北带	(37)
3.2 西昆仑中带	(38)
3.3 西昆仑南带	(42)
3.4 帕米尔-喀喇昆仑带	(43)
3.5 小结	(44)
4 库地蛇绿岩的地质特征及其成岩构造环境	(46)
4.1 蛇绿岩的形成时代	(46)
4.2 蛇绿岩的构造特征	(48)
4.3 蛇绿岩的层序及其岩石学特征	(49)

4.4	蛇绿岩的成岩构造环境	(51)
4.5	小结	(53)
5	花岗岩类的岩石学	(55)
5.1	$Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(I)	(55)
5.2	$Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段(II)	(57)
5.3	T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V)	(64)
5.4	小结	(74)
6	花岗岩类的岩石化学	(77)
6.1	$Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(I)	(77)
6.2	$pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段(II)	(85)
6.3	T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V)	(86)
6.4	小结	(90)
7	花岗岩类岩石的稀土元素地球化学	(95)
7.1	$Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(I)	(95)
7.2	$Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段(II)	(96)
7.3	T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V)	(101)
7.4	小结	(107)
8	花岗岩类岩石的微量元素地球化学	(110)
8.1	$Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(I)	(110)
8.2	$Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段(II)	(113)
8.3	T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V)	(114)
8.4	小结	(117)
9	花岗岩类的成岩构造环境	(120)
9.1	根据花岗岩类的岩石化学成分判别	(120)
9.2	根据花岗岩类的微量元素成分判别	(124)
9.3	小结	(128)
10	构造-岩浆时空演化模式	(131)
10.1	$Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(I)	(131)

10.2	$P_{t_2}^2$ 构造-岩浆演化稳定阶段(Ⅰ)	(132)
10.3	$P_{t_3}^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段(Ⅱ)	(132)
10.4	T_1-T_2 构造-岩浆演化稳定阶段(Ⅳ)	(135)
10.5	T_3-Q 构造岩浆活动阶段(Ⅴ)	(135)
11	结论	(139)
	参考文献	(141)

Contents

Chinese abstract	(1)
English abstract	(3)
Chapter 1 Introduction	(5)
1.1 Geological investigation survey	(7)
1.2 Main opinions of predecessors	(7)
Chapter 2 History of tectono-magmatic evolution	
.....	(12)
2.1 $Ar_3-Pt_2^1$ active stage (I)	(13)
2.2 Pt_2^2 stable stage (II)	(24)
2.3 $Pt_3^1-P_2$ active stage (III)	(25)
2.4 T_1-T_2 stable stage (N)	(29)
2.5 T_1-Q active stage (V)	(29)
2.6 Brief summary	(33)
Chapter 3 The space-time distribution of granitoids ...	
.....	(35)
3.1 Northern belt of the Western Kunlun orogen ...	(37)
3.2 Middle belt of the Western Kunlun Orogen	(38)
3.3 Southern belt of the Western Kunlun Orogen ...	(42)
3.4 Pamir-Karakorum belt of the Western Kunlun Orogen	(43)
3.5 Brief summary	(44)
Chapter 4 The geological characteristics and diagenetic geotectonic setting of Kudi ophiolite	(46)

4.1	The forming time of Kudi ophiolite	(46)
4.2	The geological characteristics of Kudi ophiolite	(48)
4.3	The sequence and petrology of Kudi ophiolite	(49)
4.4	The diagenetic geotectonic setting of Kudi ophiolite ...	(51)
4.5	Brief summary	(53)
Chapter 5 The petrology of granitoids		(55)
5.1	$Ar_3-Pt_2^1$ active stage (I)	(55)
5.2	$Pt_3^1-P_2$ active stage (II)	(57)
5.3	T_3-Q active stage (V)	(64)
5.4	Brief summary	(74)
Chapter 6 The petrochemistry of granitoids		(77)
6.1	$Ar_3-Pt_2^1$ active stage(I)	(77)
6.2	$Pt_3^1-P_2$ active stage(II)	(85)
6.3	T_3-Q active stage(V)	(86)
6.4	Brief summary	(90)
Chapter 7 The rare-earth element geochemistry of granitoids		(95)
7.1	$Ar_3-Pt_2^1$ active stage(I)	(95)
7.2	$Pt_3^1-P_2$ active Stage (II)	(96)
7.3	T_3-Q active Stage(V)	(101)
7.4	Brief summary	(107)
Chapter 8 The traceelement geochemistry of granitoids		(110)
8.1	$Ar_3-Pt_2^1$ active stage(I)	(110)
8.2	$Pt_3^1-P_2$ active stage(II)	(113)
8.3	T_3-Q active Stage(V.)	(114)

8.4	Brief summary	(117)
Chapter 9 The diagenetic geotectonic setting of granitoids		
		(120)
9.1	The criterion of petrochemical composition	(120)
9.2	The criterion of traceelement composition	(124)
9.3	Brief summary	(128)
Chapter 10 The geotectonic-magmatic evolutionary mode		
		(131)
10.1	$Ar_3 - Pt_2^1$ active stage(I)	(131)
10.2	Pt_2^2 stable stage(I)	(132)
10.3	$Pt_3^1 - P_2$ active stage (II)	(132)
10.4	$T_1 - T_2$ stable stage (IV)	(135)
10.5	$T_3 - Q$ active stage(V)	(135)
Chapter 11 Conclusions		(139)
References		(141)

西昆仑造山带构造演化 与岩浆活动

摘 要

西昆仑造山带是我国地质研究程度最低的地区之一。本研究在实施国家重点科技攻关 305 项目 96-915-06-05 专题“昆仑-阿尔金岩浆活动与成矿作用”的基础上,通过对西昆仑造山带构造-岩浆演化史,库地蛇绿岩的地质特征及其成岩构造环境,花岗岩类的时空分布规律、岩石学、岩石化学、稀土元素和微量元素地球化学、成岩构造环境,构造-岩浆时空演化模式等方面的较系统研究,得出了如下结论:

(1)西昆仑造山带自晚太古代以来经历了以下 5 个构造-岩浆演化阶段: $Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(I)、 Pt_2^2 构造-岩浆演化稳定阶段(Ⅰ)、 $Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段(Ⅱ)、 T_1-T_2 构造-岩浆演化稳定阶段(Ⅳ)、 T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V)。

(2)西昆仑造山带印支运动为一期重要的构造-岩浆演化转折运动;西昆中断裂是一条重要的构造-岩浆演化分界线。印支运动以前形成的花岗岩类,分布于西昆中断裂以北的地带,花岗岩类形成时代空间变化规律呈现单向性;印支运动以后形成的花岗岩类,主要分布于西昆中断裂以南的地带,花岗岩类形成时代空间变化规律呈现双向性。

(3)西昆仑造山带库地蛇绿岩形成时代为晚元古代早期青白口系一晚震旦世早期($Pt_3^1-Z_2^1$),同位素年龄值为 $976.78\text{ Ma} \sim 651\text{ Ma}$;蛇绿岩的岩浆来源为弱亏损的、非单一的上地幔源,并受到了陆壳物质的混染;蛇绿岩形成于缓慢扩张的条件下,其成岩构

造环境为弧后盆地-岛弧-弧间盆地,属过渡性构造环境。

(4)苦子干岩体中的透辉正长岩不是前人所认为的霓辉正长岩,岩石中的辉石为透辉石,而不是碱性辉石,岩石中也不含浅色碱性矿物霞石等。

(5)以印支运动为界,其以前形成的花岗岩类同印支运动以后形成的花岗岩类在岩石学、岩石化学、稀土元素与微量元素地球化学、控岩构造等方面均有明显差异。

(6)晚元古代以前,而昆仑造山带是塔里木地块西南缘的组成部分;晚元古代,由于塔里木地块而南缘的裂离,小洋盆的形成,从此拉开了西昆仑造山带多阶段多期板块俯冲、削减与碰撞增生等作用的序幕,直至发展到今天这样的构造格局。研究表明,印支运动以前,主要构造力来自于北部的塔里木地块;印支运动以后,主要构造力来自于南部印度板块的俯冲碰撞,且受到北部刚性地块阻挡力的作用。

TECTONIC EVOLUTION AND MAGMATIC ACTIVITIES IN THE WESTERN KUNLUN OROGEN

Abstract

The Western Kunlun Orogen is one of the areas, in which only preliminary researches have been made in China. On the basis of the implementation of special project No. 96-915-06-05 "The magmatic activity and mineralization in Kunlun-Aerjin Orogen" under the National key science and technology program No. 305, systematically described in this book is the tectono-magmatic evolutionary history; the geological characteristics and diagenetic geotectonic setting of Kudi ophiolite; the space-time distribution, petrology, petrochemistry, rare-earth element and trace element geochemistry, and diagenetic geotectonic setting of granitoids; and the geotectonic-magmatic evolutionary model of the Western Kunlun Orogen. The main conclusions are drawn as follows:

(1) From Neoproterozoic to Quaternary, five geotectonic-magmatic evolutionary stages are distinguished, i. e., $Ar_3-Pt_2^1$ active stage (I), Pt_2^2 Stable stage (I), $Pt_3^1-P_2$ active stage (II), T_1-T_2 stable stage (N), and T_3-Q active stage (V) in the Western Kunlun Orogen.

(2) The Indosinian Orogeny represents an important transitional geotectonic-magmatic evolutionary movement, and the Middle Fault of the Western Kunlun Orogen is an important geotectonic-magmatic evolutionary boundary. The granitoids, which were formed before the Indosinian Orogeny, are distributed to

the north of the fault, and the granitoids, which were formed after the Indosinian Orogeny, are distributed to the south of the fault in the Western Kunlun Orogen.

(3) The Kudi ophiolite was formed during Neoproterozoic Qingbaikou System-Late Sinian (976.78 ~ 651Ma), derived from slightly depleted, non-single upper mantle magma which were contaminated by continental crust materials. The ophiolite was formed in a slowly spreading back-arc basin-island arc-inter-arc basin setting, belonging to a transitional geotectonic setting.

(4) Diopside-syenite of the Kuzigan rockbody contains no alkali minerals, e. g. aegirine-augite, nepheline etc., instead of aegirine-augite syenite as previously regarded.

(5) The petrology, petrochemistry, rare-earth element and traceelement geochemistry, and rock-control structures of the Pre-Indosinian granitoids are significantly different from those of the Post-Indosinian granitoids.

(6) The Western Kunlun Orogen is a Part of the southwestern margin of the Tarim massif before Neoproterozoic, the splitting of margin from the Tarim massif led to the formation of a small oceanic basin in Neoproterozoic. Since then, the multistage plate subduction, convergence, and collision happened, resulting in the geotectonic framework as seen today. The tectonic stress was derived mainly from the Tarim massif before the Indosinian Orogeny, and from the subduction, convergence and collision of the Indian Plate, and also from the resistance of the northern rigid block after the Indosinian Orogeny.

1 绪 论

西昆仑造山带(泛指西昆仑山、喀拉昆仑山和帕米尔山地区)位于青藏高原的西北缘,北临塔里木盆地,南与藏北地块接壤,东端以苦牙克断裂带与东昆仑造山带分开,西南端则延伸境外以吉萨尔断裂与阿富汗-塔吉克地块分开(武传真等,1993)。地理坐标为东经 $75^{\circ}00' \sim 83^{\circ}00'$,北纬 $35^{\circ}30' \sim 39^{\circ}30'$,面积约 10 万 km^2

1.1 地质研究概况

西昆仑造山带前山地势险峻,交通困难,后山高寒缺氧,气候恶劣,自然地理条件很差,野外工作极为艰难,是目前我国调研程度最低的地区之一,除完成了 $1:100$ 万和正在进行 $1:20$ 万区域地质填图、沿新疆—西藏公路和中国—巴基斯坦公路两大干线进行过路线地质科学考察外,更详细的地质工作基本没有进行。到目前为止,研究区及其邻区的地质工作主要包括以下几个方面:

1) 解放前,有少数国外调查团在研究区及其邻区东昆仑、阿尔金造山带等地区作过一些路线地质调查,如 1899~1908 年间,Sevn Hedin 曾三次进入青藏地区,对东经 $85^{\circ} \sim 90^{\circ}30'$ 、北纬 $35^{\circ} \sim 36^{\circ}31'$ 范围内的火山岩进行了初步研究;Hennig A. (1915)、瑞典的 Norin E. 等(1928~1933)、Desio A. (1946)、前苏联的 Belyacvsky H. A.、Синицын В. М. (1941~1943)等在研究区及其邻区作过一些路线地质调查,积累了一些零星的地质资料

2) 新中国成立初,我国有关科研单位就进行了多次青藏高原科学考察;从 1957 年开始主要由新疆地质矿产局在研究区及其邻区开展十个图幅的 $1:20$ 万区域地质调查工作;20 世纪 60 年

代起研究区及其邻区开展了1:100万区域地质测量,至20世纪80年代中期已全部完成;80年代中期,新疆地质矿产局第二大队在汇总前人资料的基础上,编制了1:50万南疆西部地质图,这些工作为认识研究区及其邻区的地展和构造打下了良好的基础。

3) 20世纪70年代以来,中国科学院和原地质矿产部等有关单位在研究区及其邻区组织了地质综合科学考察及专题研究,特别是20世纪80年代以来相继开展的青藏高原中-法(1980~1982),中-英(80年代中期)、中-德(90年代初)、中-美(1992年开始实施)联合科学考察及原地质矿产部开展的多学科、多方法的亚东-格尔木地学大断面研究,对青藏高原某些重大地质构造问题进行了专题探讨,获得了较丰富的资料,提高了研究区及其邻区的地质研究程度,对研究青藏高原的形成与演化作出了重要贡献,发表了一些真知灼见的论著,如《青藏高原地质演化》(中-英青藏高原综合地质科学考察队,1990)、《青藏高原不同地体的地层、生物区系及沉积构造演化史》(刘训等,1992)、《昆仑开合构造》(姜春发等,1992)、《喀喇昆仑山-昆仑山综合科学考察导论》(潘裕生等,1992)、《中国新疆西南部喀喇昆仑羌塘地块及康西瓦构造带构造演化史》(李永安等,1995)、《西昆仑造山带与盆地》(丁道桂等,1996)。另外还有公开发表在各专业杂志上的有关论文几十篇。

4) 20世纪90年代初期,研究区及其邻区部分地区开展了1:50万甚低密度的勘查地球化学填图等区域地球化学勘探工作,取得了较理想的效果,圈定了若干个成矿靶区。

5) “八五”期间国家科技攻关305项目在研究区的东部邻区实施了“航天遥感技术在东昆仑-阿尔金地区找矿中的应用研究”、中国科学院1992~1995年间在此开展了“阿尔金-东昆仑地区金找矿远景研究”。运用遥感技术结合地质研究,划分了区域构造体系,圈定了祁漫塔格及求勉雷克两个成矿远景区。

6) 从“九五”开始,根据国家“探索南疆”的战略方针,国家科技攻关305项目在南疆实施了初步研究课题,“昆仑-阿尔金地质

构造演化及成矿条件研究”就是其中之一,作者参加的“昆仑-阿尔金岩浆活动及成矿作用(96-915-06-05)”就是该课题的一个专题,作者的博士后研究“西昆仑造山带构造演化与岩浆活动”则是该专题的一个子专题。

1.2 前人主要观点

从上述可知,西昆仑造山带及其邻区工作条件艰苦,地质研究程度低,地质资料少,地层时代、构造地质、沉积相等方面仍存在较多问题(李永安等,1995)。但由于包括西昆仑造山带在内的青藏高原以其隆升的高度和巨厚的地壳闻名于世,被人们称为地球的“第三极”,加之位于欧亚大陆与冈瓦纳大陆碰撞的关键部位,大地构造位置十分重要,被誉为研究全球构造的窗口,打开地球奥秘的金钥匙,建立野外实验室的最佳选区。因此,近半个世纪以来,青藏高原一直是国际地学界瞩目和角逐竞争的地区,其重要性不亚于南极(柴育成等,1997),也正因为如此,几乎各大地构造学派都有自己的学术观点:

1) 地质学家曾用地槽学说解释青藏高原的地质,将青藏高原划分为不同时代的地槽褶皱带和中间地块,将深断裂带中的超基性岩认作是地幔岩浆物质上侵的产物,还将喜马拉雅山脉的形成和青藏高原的隆起归结于地槽褶皱回返的结果(杨森楠、杨巍然,1985);黄汲清等(1980)还把昆仑山脉划分为北部地向斜,中部地背斜和南部地向斜三个单元,中部地背斜之下主要是基底岩石,它的南北两翼为地槽复向斜沉积物。

2) 地质力学观点认为青藏高原的隆升与地球自转存在间接但非常密切的联系,是西向引潮力与洋脊推力这两种全球性基本构造驱动力联合作用的产物,是全球唯一强大北向流与缓慢西向流近垂直相交汇合的必然结果(吴珍汉,1997)。

3) 地洼学说认为昆仑造山带前震旦纪为前地槽大地构造发

展阶段;震旦纪—晚古生代为地槽大地构造发展阶段,二叠纪末,地槽阶段先在西昆仑结束,然后轮到东昆仑;早中生代为地台大地构造发展阶段;晚中生代至今为地洼大地构造发展阶段,现时昆仑山造山带正处于地洼发展激烈期(陈国达,1985,1994,1997;欧阳沙怀等,1993,1995;林柯等,1993)。

4) 多旋回学说认为青藏高原的大地构造演化表现为多旋回开-合或张-压的“手风琴式运动”,从而形成青藏高原多条造山带并列的构造格局(肖序常等,1983,1986;黄汲清等,1984;姜春发等,1986,1992,1997;郭铁鹰等,1990,1996)

5) 地体学说认为青藏高原是由若干个中、小型地体(成陆块)从南半球中低纬度区,分别于晚古生代以来,如石炭纪末—早三叠纪初、中三叠世、晚三叠世、中侏罗世—晚侏罗世、晚白垩世等不同时期,通过裂解和漂移,俯冲、增生和拼贴,碰撞和固结等不同形式逐步向北漂移,依次与欧亚大陆发生碰撞并拼合而成,并根据古地磁研究成果认为各地体晚古生代以东西向漂移为主,经三叠纪旋转以后,侏罗纪以来转为南北向为主的漂移(Howell D. G., 1985;吴功建等,1989,1994,1996a、b,1997;Xia Bin, 1990;Lu Huafu 等,1990;黄立言等,1992;刘训等,1992;潘裕生等,1994;李永安等,1995;陈炳蔚等,1996;藤吉文等,1996a、b、c);青藏高原及其邻区不同类型的新构造是印、藏碰撞的不同构造部位的不同类型的远距离构造效应(郭令智等,1992)

6) 童玉明等人(1996)用美国学者 Meyerhoff H. A., Meyerhoff A. A 父子等人创立的“颤动构造”学说,对青藏高原的演化提出了新的看法,认为颤动构造或幔涌构造(Surge tectonics)是特提斯壳体演化的驱动力。

7) 20 世纪 60 年代以来,随着板块学说的兴起,该学说也很快成为指导研究青藏高原地质构造及其演化史的主流大地构造学说,但各家观点差异较大,主要有以下几种假说:

(1) 地壳单向俯冲模式 早在 1924 年,Argand 就提出印度

次大陆的北缘或“大印度”俯冲到亚洲地壳下面,形成双重地壳,造成西藏地壳加厚和隆升,并认为印度次大陆向北的俯冲作用可以达到青藏高原北部昆仑山之下。Bird(1986)提出岩石圈的分层作用和俯冲的另一种变换了的说明。Powell(1986)提出印度次大陆地壳大规模俯冲到亚洲的青藏陆壳下面,青藏地区于是就向上浮起抬升。Cohen 和 Morgan(1987)以及 Zhao 和 Morgan(1986, 1987a、b)认为印度地壳挤入西藏下地壳的粘滞性低的流体中,并由于水力作用体积增大使高原抬升。

(2) 地壳缩短和加厚模式或内陆形变模式 该模式以 Dewey 等人(1970,1973,1990)为代表,认为青藏的厚地壳是在印度次大陆象推土机前进时使亚洲地壳产生水平方向缩短和垂直方向拉长面形成的。定量模拟粘性垂直平面应变模型还表明青藏高原是通过两种机制抬升起来的,即地壳或岩石圈增厚引起的缓慢抬升和随后突发性的岩石圈平流变薄作用引起快速抬升(England and Houseman,1985,1986)。

(3) 地壳侧向挤出模式 该模式把印度板块看作平头刚性冲模楔入亚洲大陆,引起青藏高原及其以北的一些地块顺一些巨大的走滑断层系发生大规模横向挤出,并用该模式来论述中国大陆地震活动的原因(Molnar 和 Tapponnier,1975,1976,1977; Tapponnier 和 Molnar,1976,1977; Tapponnier 等,1982,1986)。

(4) 叠接模式 该模式认为冈瓦纳大陆破裂的陆块逐步地向北漂移,分别在不同时期依次与欧亚大陆发生碰撞并拼合,从而形成青藏高原的造山带和缝合线从北向南有规律依次变新的格局(常承发等,1974,1978,1982;王乃文,1984)。该模式后来逐渐与地体学说的观点近一致(Dewey 等,1990)。

(5) 地壳双向或多向楔入模式 该模式认为印度板块向北的俯冲(楔入)和中亚-塔里木板块向南的楔入是青藏高原形成的动力机制。并从波速结构分析青藏高原岩石圈的结构是正常的,上部是热而轻的巨厚地壳,下部是重而薄的上地幔,从而否定了“双

层地壳”假说。青藏高原巨厚的地壳是由于大陆板块碰撞造成地壳物质叠置加厚和上部地壳局部熔融而成(吴功建,1994;郑剑东,1993)。与该模式类似的观点还有陆内俯冲模式(Mattauer,1986;邓万明,1978,1981,1989,1991,1993,1996),所不同的是强调青藏高原新生代的隆升及岩浆活动是由南北两侧发生的陆内俯冲作用所致,并划分出昆仑山型和喜马拉雅型两种基本的陆内俯冲模式。

(6) 南部陆内俯冲,北部受阻模式 赖绍聪等人(1996)通过对青藏高原北缘火山作用与构造演化的研究,认为青藏高原的隆升是新生代以来印度板块在南部发生陆内俯冲作用,北部稳定陆块阻挡的结果。青藏高原陆内造山带北缘具有壳冷幔热(相对于南缘)的特点。

(7) 陆内会聚—地壳分层加厚—重力均衡调整模式 模式认为在印度-澳大利亚板块持续向北漂移推挤条件下,由于高原四周刚性地块的阻挡,产生强烈的陆内会聚作用;在强烈的压应力作用下,一方面产生陆内俯冲,另一方面产生多层次的折离、滑脱,上、中、下地壳以不同机制分层加厚、缩短,高原缓慢抬升,上地幔大幅度沉降,形成“高原山根”;上新世,特别是中更新世以来,随着高原整体漂移速度的变慢和各地质块体之间漂移速度差的减少,产生应力松弛,挤压作用大为减弱,在山根作用下,产生强烈的均衡调整,使高原大幅度整体隆升,形成目前这样高大的高原。或认为高原隆升可以划分为俯冲碰撞隆升、会聚挤压隆升和均衡调整隆升3个阶段。高原的加厚、缩短是在压应力作用下通过不同层次物质以不同的运动形式实现的(孟令顺等,1992;李廷栋,1995)。

(8) 地幔底辟,多向陆内俯冲模式 该模式认为青藏高原腹地隆升的主要原因与大陆内部深部热驱动——地幔底辟有关。而周缘地体隆升的原因是多向陆内俯冲。即印度楔体向北俯冲,阿拉善向南俯冲,扬子地块向西俯冲,西印度板块楔的往北推挤只能造成亚洲大陆南部走滑作用及块体的向东挤出(许志琴等,1992,1996;崔军文等,1992,1994,1995,1997;马开义等,1996)。

(9) “弧-弧”、“弧-陆”碰撞模式 模式认为青藏高原诸山-盆的形成是弧-弧和弧-陆碰撞而形成的。但该模式又有两陆(劳亚和冈瓦纳大陆)一洋(特提斯洋)(姚永耘、许清华,1994)和三陆群(劳亚、冈瓦纳、泛华夏陆群)二洋(特提斯洋和古亚洲洋)多岛弧造山(潘桂棠等,1996)两种不同模式。

上述青藏高原构造演化的多样化模式,是国内外地质、地球物理学家依据已积累的丰富地质构造与地球物理资料所总结出的,极大地提高了青藏及其邻区地质构造的研究程度;但同时在认识上也产生了很大分歧,提出了很多有待进一步查明的地质构造问题。这一方面反映了青藏高原复杂的大地构造演化史导致了复杂的大地构造格局;同时还反映了当今世界大地构造的迅速发展,使得对青藏高原大地构造的见解不断发生变化,且不同作者侧重不同的现象或从不同的角度作出不同的解释。

2 构造-岩浆演化史

岩浆活动高峰期与低峰期,也是构造运动的高峰期与低峰期(向缉熙等,1988),而构造-岩浆活动过程中往往伴随有相关的变质作用、成矿作用及构造带或地质体的隆起冷却。因此,有关年龄数据的统计峰值是上述地质作用过程的集中表现,从某种意义上讲比应用单个地质体的年龄数据更能反映出区域重大地质事件的记录特征(胡霭琴等,1995),可以作为划分构造-岩浆演化阶段的重要依据之一。20世纪80年代以来虽然陆续发表了170余个有关西昆仑造山带岩浆岩、变质岩、构造岩、矿石同位素年龄数据(表2.1),但缺乏全面系统的归纳与总结。在这些年龄数据中,太古代—晚元古代年龄测试主要采用全岩或钾长石 Rb-Sr 法、全岩 Sm-Nd 法、锆石 U-Pb 法,少量采用全岩 La-Ce 法(有关年龄可以代表火山岩的源区年龄);早古生代年龄测试主要采用全岩、钾长石或黑云母 Rb-Sr 法、锆石 U-Pb 法,少量采用角闪石、黑云母 K-Ar 法或 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法;晚古生代(尤其中生代)以来,有关年龄测试则主要采用单矿物或全岩的 K-Ar 法,少量采用全岩或黑云母 Rb-Sr 法或 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法、锆石 U-Pb 法、方铅矿的粗铅法,新生代火山岩还采用了热发光法。前人上述各时代所选用的测年方法是适宜的,至80年代,上述主要测年方法和技术(尤其是 K-Ar 法)在我国已较成熟,且上述所选年龄中,同一时代用不同方法测出的年龄基本一致,也与本专题组测试的结果相符。这些都表明,本文所引用的年龄数据是可信的。本章就是在上述已有同位素年龄数据统计与分析的基础上,同时结合国家“九五”重点科技攻关305项目“昆仑-阿尔金岩浆活动与成矿作用(96-915-06-05)”专题的野外实地考察及必要的同位素年龄补充测试,以及研究区的沉积、岩浆、

变质作用和构造运动等特点,对西昆仑造山带的构造-岩浆演化史进行较系统的探讨。

根据表 2.1 中西昆仑造山带 170 余个有关年龄数据的统计峰值,同时结合研究区的沉积、岩浆、变质作用和构造运动等特征,研究区自晚太古代以来可以划分出以下 5 个构造-岩浆演化阶段(图 2.1,毕华等,1999;Bi Hua et al.,1999)。

2.1 $Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(I)

从表 2.1 年龄数据可知,本阶段已有的同位素年龄区间为 2700 Ma(Ar_3)~1400 Ma(Pt_2^1)。年龄数据虽然较少,但从图 2.1 仍能够大致看出从晚太古代(Ar_3)至中元古代早期(Pt_2^1),研究区构

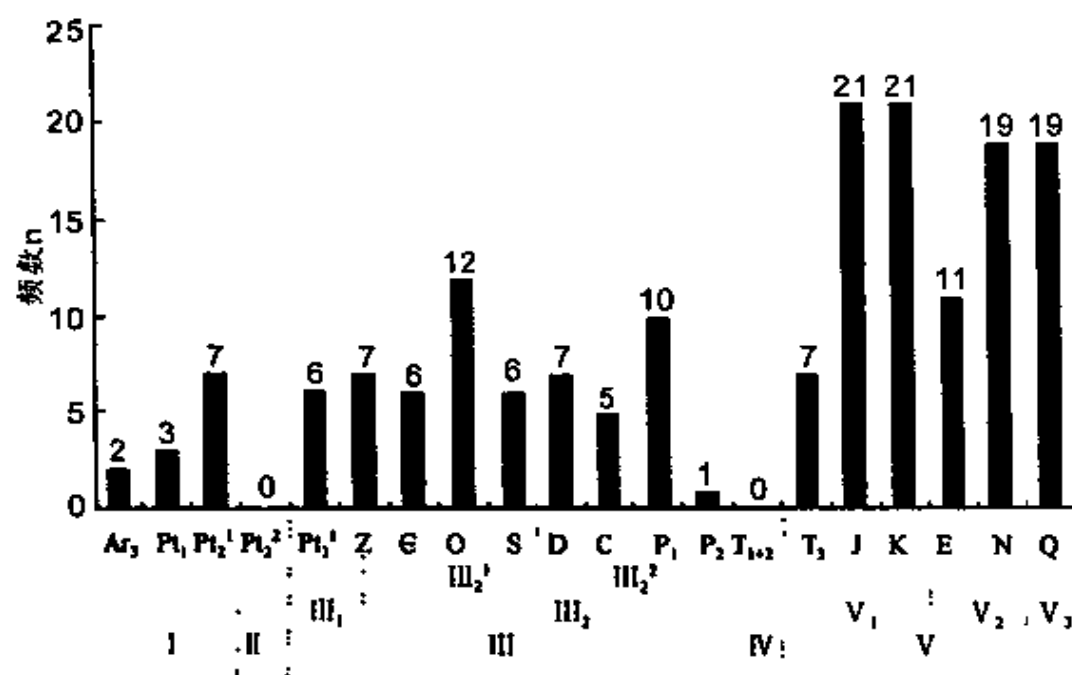


图 2.1 西昆仑造山带岩浆岩、变质岩、构造岩、矿石同位素年龄频数图
(同位素年龄数据来源于表 2.1)

表 2.1 西昆仑造山带岩浆岩、变质岩、构造岩、矿石同位素年龄

演化阶段	地 区	岩(矿)石 名 称	测定 对象	方 法	年 龄(Ma)	年 代	资料来源
I	康苏拉克	钾质火山岩	全岩	La-Ce	2600	Ar ₃	刘从强等, 1989
	铁克力克山	深变质岩	全岩	综合	>2130~2700	>Pt ₂ -Ar ₃	新疆地矿局, 1993
	阿卡孜	混合花岗岩	锆石	U-Pb	2261 ⁺⁹⁵ (上 交点)	Pt ₁	Xu Ronghu 等,1992
	阿卡孜	钾长花岗岩	钾长石、 全岩	Rb-Sr	1508 1408	Pt ₂	汪玉珍等, 1987; 新疆地矿局, 二大队,1985
	塔里木 西南缘	结晶基底 岩石	锆石	U-Pb	2100	Pt ₁	李永安等, 1997
	慕拉加兹 塔格	细碧角 斑岩	全岩	Rb-Sr	1764	Pt ₂	新疆地矿局, 1973
	阿克苏奇 河中游	角斑岩	钾条纹 长石	Rb-Sr	1743	Pt ₂	新疆地矿局 二大队,1985
	托钵塔卡 鲁姆山	花岗闪长岩	角闪石	Rb-Sr	1567	Pt ₂	新疆地矿局 二大队,1985
	公格尔-桑 株达坂	花岗质脉体	全岩	Rb-Sr	1500(上限)	Pt ₂	艾霞等,1997
	奥依塔格 林场	浅变质岩	全岩	Sm-Nb	1400	Pt ₂	李永安等, 1997
II		无				Pt ₂	

表 2.1(续 1)

演化 阶段	地 区	岩(矿)石 名 称	测定 对象	方 法	年 龄 (Ma)	年 代	资 料 来 源
I	库地	玄武岩	全岩	Rb-Sr Sm-Nd	976.78 871.74	Pt ₃	潘裕生, 1992
	库地	玄武安山岩	全岩	Rb-Sr Sm-Nb	956.37 698.36	Pt ₃ , Zr ₂	潘裕生, 1992
	库地	枕状玄武岩	全岩	K-Ar	817.43 916.66	Pt ₃	汪玉珍, 1983; 李永安等, 1995
	库地	伟晶 角闪岩脉	角闪石	Rb-Sr	860.5	Pt ₃	汪玉珍, 1983
	库地	蛇绿石	全岩	Sm-Nb	651±53	Zr ₂	丁道桂等, 1996
II	坎地里克	二长花岗岩	钾长石	Rb-Sr	644	Zr ₂	新疆地矿局 二大队, 1985
	阿卡孜	混合花岗岩	锆石	U-Pb	641 ^{±14} (下 交点)	Zr ₂	Xu Ronghu 等, 1992
	克里阳布 琼沟	钾长石 伟晶岩	钾长石、 全岩	Rb-Sr	635.1 541.3	Zr ₂ Eu ₁	新疆地矿局 二大队, 1985
	公格尔-桑 株达坂	花岗质脉体	全岩	Rb-Sr	600(下限)	Zr ₂	艾霞等, 1997
	科克玉孜沟	花岗伟晶岩	钾长石	Rb-Sr	577	Zr ₂	新疆地矿局 二大队, 1985
	三十里营房东	闪长岩	黑去母	Rb-Sr	539	Eu ₁	张玉泉等, 1989

表 2.1(续 2)

演化阶段	地 区	岩(矿)石 名 称	测定 对象	方 法	年 龄(Ma)	年 代	资料来源
Ⅱ	阿克陶阿 瓦勒克	混合石英 闪长岩	角闪石	K-Ar	519.9	E ₂	汪玉珍, 1983
	新疆公路 128km	花岗闪长岩	角闪石、 锆石、 全岩	K-Ar U-Pb Rb-Sr ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	517.2~449	E ₂ 末—O ₂	新疆地矿局 二大队,1985; 李永安等, 1997;潘裕生, 1992;许荣华 等,1990
	库地北	黑云母二长 花岗岩	黑云母、 全岩	K-Ar Rb-Sr	517~423	E ₂ —S ₂	新疆地矿局 二大队,1985; 潘裕生,1992; 许荣华等, 1990
	大同乡西	黑云母闪长 花岗岩	锆石	U-Pb	480.43±5	O ₂	方锡康等, 1990
	普鲁-克里 阳达坂	花岗闪长岩	锆石、 全岩	U-Pb Rb-Sr	466-356	O ₂ —C ₁	新疆地矿局 二大队,1985; 潘裕生,1992; 许荣华等, 1990
	赛图拉	片麻状 花岗岩	全岩	Rb-Sr	460.02±9.4	O ₂	本专题组
	阿瓦勒克	斜长角闪岩	角闪岩	K-Ar	438	S ₁	新疆地矿局 二大队,1985
	策勒牙门西	斜长花岗岩	黑云母	K-Ar	425.7	S ₂	
	赛图拉北	花岗闪长岩	黑云母	K-Ar	423~417.5	S ₂	

表 2.1(续 3)

演化阶段	地 区	岩(矿)石 名 称	测定 对象	方 法	年 龄 (Ma)	年 代	资料来源
Ⅱ	康西瓦北西	闪长岩	黑云母	K-Ar	393.8	D ₁	新疆地矿局 二大队, 1985
	阿孜那个	辉长闪长岩	黑云母	K-Ar	394.2	D ₁	李永安等, 1995
	哈巴克	片麻状 花岗岩	全岩	Rb-Sr	406.71±28.8	D ₁	本专题组
	赛图拉北	花岗闪长岩	黑云母	K-Ar	406~257.8	D ₁ -P ₁	新疆地矿局 二大队, 1985; 李永安等, 1995
	西昆仑	混合花岗岩	综合	综合	384.5	D ₂	李向东等, 1996
	库地南	黑云母钾长 花岗岩	全岩、 锆石、 黑云母、	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar U-Pb K-Ar	384~277.63	D ₂ -P ₁	潘裕生等, 1994; 姜春发等, 1992, ①
	土日苏	二长花岗岩	钾长石	K-Ar	291.8	C ₂	李永安等, 1995
	阿克阿孜山	花岗闪长岩	黑云母	K-Ar	278 274	P ₁	李永安等, 1995
	木吉卡拉佐 克河	基性岩	全岩	Rb-Sr	276.3±13.7	P ₁	丁道桂等, 1996
	达布达哈尼 沙里地	块状玄武岩	全岩	Rb-Sr	276.3±18	P ₁	丁道桂等, 1996
	奥依塔格 村东	玄武岩	锆石	U-Pb	270	P ₁	李永安等, 1997

表 2.1(续 4)

演化阶段	地区	岩(矿)石名称	测定对象	方法	年龄(Ma)	年代	资料来源
Ⅱ ₂	139km (霍峡尔)	二长花岗岩	黑云母	K-Ar	269.49	P ₁	新疆地矿局 二大队, 1985
	土日苏河下游 北侧	黑云母二长 花岗岩	钾长石	K-Ar	254.8	P ₂	
						T ₁₊₂	
Ⅳ	西昆仑	花岗闪长岩	黑云母	K-Ar	227.63	T ₃	新疆地矿局 二大队, 1985
Ⅴ ₁	康西瓦河以北	伟晶岩	白云母	K-Ar	224.7	T ₃	①
	新疆公路 464km	花岗岩	全岩	Rb-Sr	220.82±20.8	T ₃	本专题组
	赛图拉西 331km	花岗闪长岩	黑云母	Rb-Sr	215	T ₃	张玉泉等, 1989
	三十里营房 地区	花岗岩类	全岩	Rb-Sr	215	T ₃	张玉泉等, 1989
	甜水海地体	花岗岩	全岩	Rb-Sr	215	T ₃	潘裕生等, 1994
	麻扎	黑云母二长 花岗岩	黑云母	K-Ar	211.39	T ₃	姜春发等, 1992
	黑卡兵站北 15km	花岗闪长岩	黑云母	K-Ar	207.8	J ₁	新疆地矿局 二大队, 1985
	麻扎兵 站西	花岗岩	锆石	U-Pb	203	J ₁	潘裕生等, 1994
	赛力亚克 达坂西	二长花岗岩	钾长石	K-Ar	201.7	J ₁	新疆地矿局 二大队, 1985
	国庆桥南	花岗岩	黑云母	K-Ar	201.7	J ₁	李永安等, 1995
	胜利桥 北 1.5km	花岗闪长岩	黑云母	K-Ar	201.4	J ₁	新疆地矿局 二大队, 1985

表 2.1(续 5)

演化阶段	地 区	岩(矿)石 名 称	测定 对象	方 法	年 龄(Ma)	年 代	资料来源
	慕士塔格	花岗片麻岩			199	J ₁	李永安等, 1995
	胜利桥南	二长花岗岩	钾长石	K-Ar	197.1	J ₁	新疆地矿局 一区调大队, 1987
	麻扎北桥头	中基性火山岩	角闪石	K-Ar	196.27±5.08	J ₁	艾霞等,1997
	中巴公路 苏巴什	白云母 伟晶岩	白云母	K-Ar	186.0	J ₁	新疆地矿局 二大队,1985
	三十里营房 西南	花岗岩	全岩	¹⁰ Ar/ ³⁹ A	185	J ₁	潘裕生等, 1994
	卡克雷姆	黑云母二长 花岗岩	钾长石	K-Ar	184.4	J ₁	新疆地矿局 二大队,1985
	哈巴克西	二长花岗岩	白云母	K-Ar	178.5	J ₁	李永安等, 1995
	509 道班	黑云母二长 花岗岩	黑云母	K-Ar	172.23 169	J ₂	①
	康西瓦南	白云母伟晶岩	白云母、 黑云母	K-Ar	172 91	J ₂ K ₂	新疆地矿局 二大队,1985
	布仑口道班	黑云母 花岗岩	黑云母	K-Ar	166	J ₂	
	求库台	黑云母 花岗岩	黑云母	K-Ar	166	J ₂	
	库地西	黑云母二长 花岗岩	黑云母	K-Ar	163.44	J ₂	
	大红柳滩	黑云母二长 花岗岩	黑云母	K-Ar	163.44	J ₂	

表 2.1(续 6)

演化阶段	地区	岩(矿)石名称	测定对象	方法	年龄(Ma)	年代	资料来源
V ₁	胜利桥 北西 10km	花岗闪长岩	黑云母	K-Ar	156.8	J ₃	新疆地矿局 二大队, 1985
	董孜 水文站东	辉长质 麻粒岩	新生 黑云母	⁴⁰ Ar/ ⁴⁰ Ar	146±0.7	J ₃	Brunel M 等, 1992
	阿克陶县 乌苏里克	铅锌矿	方铅矿	粗铅矿	120	K ₁	新疆地矿局 二大队, 1985
	康西瓦南 (厚房沟)	二长花岗岩	黑云母	K-Ar	117.2	K ₁	①
	克勒青河 上游西	黑云母闪长 花岗岩	钾长石	K-Ar	112.44	K ₁	新疆地矿局 二大队, 1985
	红旗拉甫	黑云母二长 花岗岩	黑云母	K-Ar	110.90	K ₁	新疆地矿局 二大队, 1985
	奥依塔格皮 拉里及董孜 水文站东沟	辉长质 麻粒岩、 超麻粒岩	角闪石、 多硅 白云母	K-Ar	113±1.5 71.1±1.4 (36.6~37.3) ±1.2	K ₁ K ₂ E ₂	丁道桂等, 1996; 王道杆 等, 1996
	罗布盖孜	黑云母二长 花岗岩	黑云母	K-Ar	95.61	K ₂	新疆地矿局 二大队, 1985
	阿格勒达坂 北 4km	花岗闪长岩	黑云母	K-Ar	94.54	K ₂	新疆地矿局 二大队, 1985
	塔什库尔干	二云母 花岗岩	白云母	K-Ar	94.2	K ₂	新疆地矿局 二大队, 1985
	干田普鲁	玄武岩	全岩	K-Ar	85.27±1.48	K ₂	滕志宏, 1987
	奥依塔格	蚀变花岗岩	全岩	K-Ar	84.5	K ₂	新疆地矿局 二大队, 1985

表 2.1(续 7)

演化阶段	地 区	岩(矿)石 名 称	测定 对象	方 法	年 龄 (Ma)	年 代	资 料 来 源
V ₁	塔吐鲁沟西	二长花岗岩	黑云母	K-Ar	79.95	K ₂	新疆地矿局 二大队, 1985
	五古力亚特	闪长岩	角闪石	K-Ar	76.88	K ₂	新疆地矿局 二大队, 1985
	中巴公路 324km	细粒闪长岩	角闪石	K-Ar	76.875	K ₂	
	沙雷克塔格	闪长花岗岩	黑云母	K-Ar	75.2	K ₂	
	阿提牙衣勒	黑云母二长 花岗岩	黑云母	K-Ar	75.11	K ₂	
	考他孜达坂 东	黑云母二长 花岗岩	黑云母	K-Ar	74.7	K ₂	
	明铁盖	黑云母二长 花岗岩	黑云母	K-Ar	70.9	K ₂	
	509道班北 西 5km	玄武岩	全岩	K-Ar	67	K ₂	
	塔吐鲁沟东	黑云母二长 花岗岩	钾长石	K-Ar	66.6	K ₂	
	中巴公路苏 巴什西	黑云母二长 片麻岩	黑云母	K-Ar	62.4	E ₁	新疆地矿局 二大队, 1985
V ₂	通天桥	钾玄岩、粗 面玄武岩	全岩	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	60.0	E ₁	邓万明, 1993
	乔弋里峰西侧	黑云母闪长 花岗岩	钾长石	K-Ar	56.3	E ₂	新疆地矿局 二大队, 1985
	苦子干	透辉正长岩	全岩、 长石	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar K-Ar	54~11	E ₁ -N ₁	新疆地矿局 二大队, 1985; 艾震等, 1997; 潘裕生, 1992; 张玉泉等, 1994, 1997

表 2.1(续 8)

演化阶段	地 区	岩(矿)石 名 称	测定 对象	方 法	年 龄(Ma)	年 代	资 料 来 源
V ₂	祁连山	夏威夷岩	全岩	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	44.0	E ₁	邓万明, 1993
	布伦口	片麻状二长 花岗岩	全岩、 黑云母	K-Ar	31.1 1.86	E ₃ N ₂	新疆地矿局 二大队, 1985
	布伦口 断裂带	断层泥	全岩	K-Ar	27.6±1.22 2.7±1.1	E ₃ N ₁	丁道桂等, 1996
	塔合曼温泉	碱性花岗岩			18~9.8	N ₁	李永安等, 1997
	卡英代-卡 尔巴生	花岗岩	黑云母	K-Ar	17.2 9.80	N ₁	新疆地矿局 二大队, 1985
	奥依塔格 林场北	糜棱岩	绢云母	K-Ar	16	N ₁	李永安等, 1995
	509道班北 西 5km	石英橄榄 玄武岩	全岩	K-Ar	12.66±0.28	N ₁	李永安等, 1995
	赞坎	透辉正长岩	全岩	K-Ar	10.59	N ₁	新疆地矿局 二大队, 1985
	麻扎东	花岗岩脉	黑云母	K-Ar	7.40±0.15	N ₁	李永安等, 1995
	泉水沟	富碱侵入岩	全岩	K-Ar	6~3	N ₁ -N ₂	张玉泉等, 1997
	泉水沟	玄武岩	全岩	K-Ar	5.84, 3.3	N ₁ , N ₂	漆树基, 1989; 潘桂 荣等, 1990; 邓万明, 1993
	西山	黑色熔岩	全岩	K-Ar	2.80±0.06	N ₂	刘嘉麒等, 1990
	马蹄山	红色浮岩	全岩	K-Ar	1.65±0.16	Q ₁	刘嘉麒等, 1990
V ₃							

表 2.1(续 9)

演化阶段	地 区	岩(矿)石 名 称	测定 对象	方 法	年 龄(Ma)	年 代	资 料 来 源
V ₃	于田县 苏拉克	下層熔岩 上層熔岩	全岩	K-Ar	1.43±0.03 1.24 1.23±0.04 1.19±0.2	Q ₁	刘丛强等, 1989;刘嘉 麒等,1990
	黑龙山	黑色熔岩	全岩	K-Ar	0.67±0.01	Q ₂	刘嘉麒等, 1990
	大黑山	中部黑色熔岩、 顶部黑色熔岩	全岩	K-Ar	0.60±0.01 0.50±0.13	Q ₂	刘嘉麒等, 1990
	椅山	熔岩	全岩	K-Ar	0.58±0.01	Q ₂	刘嘉麒等, 1990
	阿塔木帕下	钾玄岩	全岩	Tl(蒸发 光法)	0.56	Q ₂	邓万明, 1991
	东山	黑色熔岩	全岩	K-Ar	0.52±0.01	Q ₂	刘嘉麒等, 1990
	迷宫山	浮岩、火山 口内浮岩	全岩	K-Ar	0.44±0.01 0.28±0.01	Q ₂	刘嘉麒等, 1990
	月牙山	浮岩	全岩	K-Ar	0.31±0.01	Q ₂	刘嘉麒等, 1990
	乌鲁克山	熔岩	全岩	K-Ar	0.20±0.05	Q ₂	刘嘉麒等, 1990
	阿什山西侧	熔岩	全岩	K-Ar	0.12±0.02	Q ₃	刘嘉麒等, 1990
	阿什库勒	安粗岩	全岩	Tl(蒸发 光法)	0.074	Q ₃	邓万明, 1993
	黑石北湖	安粗岩	全岩	Tl(蒸发 光法)	0.067	Q ₃	邓万明, 1989
	阿什库勒山	富钾安粗 岩、浮岩			1951年 5月21日	Q ₄	刘嘉麒等, 1990

注:①新疆地质矿产局第一区调大队四分队、新藏公路(新疆境内)沿线地质调查报告(1:100万),1983,184~286

造-岩浆活动总体上逐渐增强,另从塔里木西南缘铁克力克山基底深变质岩年龄($>2130\sim 2700$ Ma, $>Pt_1^2-Ar_3$,新疆维吾尔自治区地质矿产局,1993)与阿卡孜混合花岗岩锆石 U-Pb 等时线上交点年龄(2261^{+95}_{-75} Ma, Pt_2^1 ,Xu Rongha 等,1992)、康苏拉克新生代钾质火山岩的 La-Ce 模式年龄(2600 Ma, Ar_3 ,刘从强等,1989)较吻合,为晚太古代(Ar_3)至早元古代中期(Pt_2^1),反映西昆仑造山带北缘与塔里木古地块西南缘关系密切,存在统一的晚太古代(Ar_3)至早元古代中期(Pt_1^2)结晶基底。中元古代早期(Pt_2^1),研究区构造-岩浆活动达到一个高峰期,主要为混合花岗岩、角闪钾长花岗岩、角斑岩,花岗闪长岩、伟晶岩等酸性岩浆活动。

该阶段研究区出露地层为早元古界及中元古界长城系,是由绿片岩相、低角闪岩相和混合岩类岩石共同组成的变质地层,其原岩以活动大陆边缘沉积的浅海相碎屑岩为主,夹碳酸盐岩及火山岩,无论是岩石组合,还是变质程度,空间上均变化较大(姜春发等,1992);变质作用以区域动力热流变质作用为特征(李永安等,1995);构造变动强烈,地层中紧闭型揉皱、片理发育,早、中元古界地层间或各时代地层内部多以断层或角度不整合接触(缪长泉,1993)。

上述岩浆、沉积、变质作用和构造运动等特点均表明,西昆仑造山带该阶段是处于相对活动的构造-岩浆演化阶段,即活动大陆边缘发展阶段。

2.2 Pt_2^2 构造-岩浆演化稳定阶段(Ⅱ)

到目前为止,在中元古代晚期(Pt_2^2)1400~1000 Ma 长达 400 Ma 的时间间隔中,西昆仑造山带未见有岩浆活动的同位素年龄证据,这并非偶然,只能说明研究区该阶段岩浆活动非常弱;出露地层为中元古界蓟县系,分布于西昆仑造山带北带和中带,主要岩性为浅变质的大理岩、结晶灰岩、白云岩、石英片岩、砂板岩等,结

晶灰岩中富产叠层石,其原岩为正常沉积的碳酸盐岩夹碎屑岩;变质作用以弱的区域变质作用为特征(缪长泉,1993);中元古界蓟县系与其下部的长城系呈微角度不整合(交角在 10° 左右)或平行不整合或整合接触(姜春发等,1992),也就是说,该阶段地壳运动较弱,以较稳定的振荡运动为特征。这些表明研究区在中元古代晚期(Pt_2^2)是处于相对稳定的构造-岩浆发展阶段,即被动大陆边缘发展阶段。

2.3 $Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段(Ⅲ)

根据同位素年龄频谱图(图 2.1)及研究区的岩浆、沉积、变质作用和构造运动等特征,西昆仑造山带 $Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段(Ⅲ)可以划分为 2 个时期:前期和后期。

2.3.1 前期(Ⅲ₁)($Pt_3^1-Z_2^1$)

前期研究区已有同位素年龄区间为 976.78~651 Ma,属晚元古代青白口纪—晚震旦纪早期。岩浆作用主要为超基性、基性、中基性火山活动,受区域性断裂控制明显,断续呈线形展布,如自西向东沿西昆北断裂依次有奥依塔格、柯岗、库地、苏巴士、慕士山等蛇绿岩套分布(图 2.2),反映了裂隙式喷溢作用的特征,也表明塔里木西南缘发生了裂离作用。岩石类型自下而上为超镁铁质岩、镁铁质岩、玄武岩、玄武安山岩、火山碎屑岩、沉火山碎屑岩等。蛇绿岩上部较多的安山岩,属钙碱系列,是典型的岛弧相伴生产物。火山岩中未出现细碧-角斑岩(或石英角斑岩)系,说明这些岩石形成以后没有受到强烈的海水交代蚀变作用,但上部玄武岩中有的又具有枕状构造,又反映了水下喷溢作用的特征,这些表明库地蛇绿岩应该形成于弧后盆地-岛弧-弧间盆地的过渡性构造环境(王元龙等,1997),铍同位素地质学特征(潘裕生,1992)、地球化学构造环境判别图解、玄武岩的稀土元素地球化学特征(姜春发等,

1992)、橄榄岩尖晶石的 $Cr^{\#}$, 即 $100Cr/(Cr+Al)$ (Dick 等, 1984) 等特征的综合分析(王元龙等, 1997)均证明了上述观点。

上述喷出岩之上主要为一套深海相绿帘、灰绿和绿色为主的杂色碎屑岩系, 即沉积火山碎屑岩, 具韵律层和递变层理, 属活动的浊流沉积(王东安等, 1989), 这也表明当时塔里木西南缘与裂块之间已发展成为汪洋大海, 即原特提斯洋(潘裕生等, 1994); 该期地层与其上、下地层及地层内部多以角度不整合接触(缪长泉, 1993); 动力变质作用特征明显, 构造变动强烈, 破碎带、紧闭式褶皱及推覆构造系统发育, 呈现出典型的活动性构造型相。

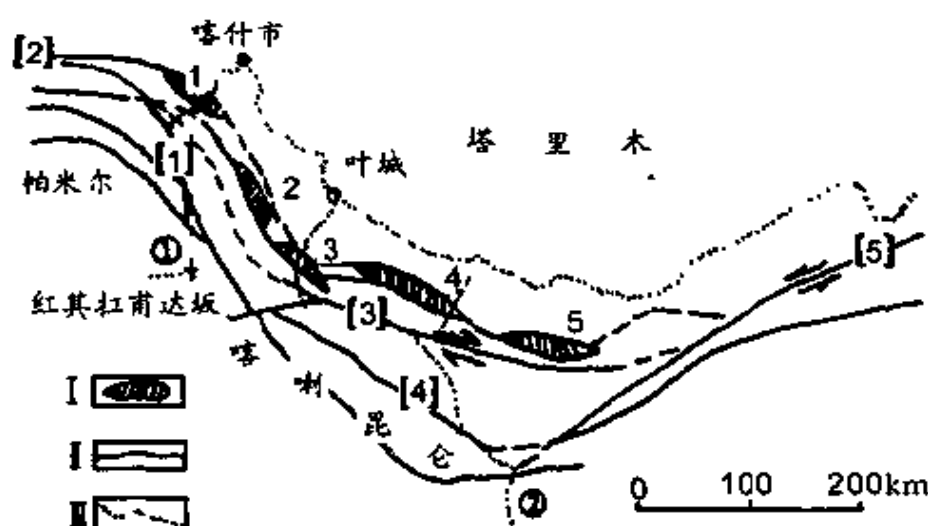


图 2.2 西昆仑造山带蛇绿岩带分布示意图

(据姜春发等(1992)改编)

1. 奥依塔格蛇绿岩; 2. 柯岗蛇绿岩; 3. 库地蛇绿岩;
4. 苏巴什蛇绿岩; 5. 慕士山蛇绿岩;
- [1]. 喀什库尔干断裂; [2]. 西昆仑北断裂; [3]. 西昆仑中断裂;
- [4]. 西昆仑南断裂; [5]. 阿尔金断裂;
- ①. 中巴公路; ②. 新藏公路;
- I. 蛇绿岩; II. 断裂; III. 公路

2.3.2 后期(\mathbb{I}_2)($Z_2^2-P_2$)

后期研究区已有同位素年龄,区间为 644~254.8 Ma。岩浆作用主要表现为中酸性、酸性岩浆侵入活动,结合沉积、变质作用和构造运动等特点,可以进一步划分为如下 2 个次级演化时期:

1) 加里东中酸性岩浆侵入活动期(\mathbb{I}_2^1)($Z_2^2-S_3$)

该期研究区已有同位素年龄区间为 644~417.5 Ma。加里东早期($Z_2^2-O_4$),上述原特提斯洋开始从北向南俯冲消减(详见第 10 章,下同),引发了原特提斯洋南部活动大陆边缘一系列花岗岩类活动,形成了西昆仑中带如里东早期岛弧花岗岩(详见第 9 章,下同),如坎地里克、库地北二长花岗岩,新藏公路 128km,普鲁-克里阳达级花岗闪长岩,大同乡西黑云母闪长花岗岩等花岗岩类岩体,它们位于西昆仑中带北部,靠近西昆北断裂分布。加里东晚期(O_4-S_3),原特提斯洋两侧大陆碰撞,从西昆仑中带普遍缺失泥盆系地层可知,志留纪末,原特提斯洋基本封闭。大陆碰撞过程中,形成了一系列同碰撞同造山花岗岩类,如赛图拉、赛图拉北花岗闪长岩,策勒牙门西二长花岗岩等花岗岩类岩体,它们位于西昆仑中带南部,靠近西昆中断裂分布。

加里东期岩浆活动以中酸性岩浆侵入活动为特征,岩石类型主要为片麻状花岗闪长岩、片麻状花岗岩、条痕状混合石英闪长岩、闪长岩、黑云母或角闪石钾长花岗岩、似斑状二长花岗岩,早期(ϵ_1)具有一些伟晶岩。

片麻状构造或条痕状构造是该期中酸性岩浆岩的重要特征,是区域变质作用的结果,动力变质作用和接触变质作用在该期也很发育。早古生界地层为一套浅变质的深水陆棚相—斜坡相—斜坡扇相的碎屑岩夹碳酸盐岩和火山岩,属于活动大陆边缘的地层系列,其与上、下地层均呈角度不整合接触;该期线性紧用褶皱发育(丁道桂等,1996),反映了构造活动强烈。

2) 海西酸性岩浆侵入活动期(\mathbb{I}_2^2)(D_1-P_2)

该期研究区已有同位素年龄区间为 406.71~254.8 Ma。经过加里东期的长期拉张,至海西期西昆仑中带加里东期岛弧岩浆带南侧的弧后盆地逐渐发展成为新的大洋盆地,为通常所称的古特提斯洋的组成部分之一。海西早期(D_1-D_2)受加里东晚期(O_4-S_3)原特提斯洋碰撞封闭的影响,也形成了一些同造山花岗岩(如哈巴克片麻状花岗岩等, D_1)、碰撞后花岗岩(如哈巴克黑云母花岗岩等, D_1)和晚造山花岗岩(如库地南钾长花岗岩、二长花岗岩等, D_2)。海西晚期(P)古特提斯洋北缘开始自 SW 向 NE 俯冲消减,形成了阿克阿孜山花岗闪长岩、塞图拉北花岗闪长岩等碰撞前花岗岩。

海西期岩浆活动以酸性岩浆侵入活动为主,早二叠世有少量基性玄武岩火山活动,反映广泛发育于华南地区早二叠世的东吴造陆运动(主要标志是大陆玄武岩喷溢活动,如峨眉山玄武岩)在西昆仑造山带也有表现,但为造山运动,因为在西昆仑造山带早二叠世也是海西期岩浆活动的高峰期,除少量玄武岩火山活动外,更主要的是造山花岗岩类活动,岩石类型主要有黑云母二长花岗岩、黑云母钾长花岗岩、黑云母花岗闪长岩。

海西期有的花岗岩类边缘相具片麻状构造,是动力变质作用所致,该期接触变质作用也非常发育,因而是矽卡岩型 Pb-Zn 矿床形成的重要时期,与火山岩有关的 Cu 成矿作用也很重要(孙海田等,1997;彭宁晋,1994);晚古生界地层主要分布在西昆仑造山带的北带和南带,中带仅局部地段有出露,由碎屑岩、碳酸盐岩和火山岩组成,空间上岩性、岩相和厚度变化大,与上、下地层及晚古生界地层之间多以角度不整合或断层接触(了道桂等,1996)。

总之, $P_{1,1}-P_2$ 构造-岩浆活动阶段,区域变质作用总体较弱,西动力变质作用、岩浆接触变质作用及构造运动强烈,沉积环境动荡,且随着时代变新上述特征总体更加明显;从前期到后期,西昆仑造山带岩浆活动形式及总程序是从超基性、基性、中基性岩浆喷溢向中酸性、酸性岩浆侵入活动发展,总体上反映了从拉张开放环

境向挤压闭合环境的转变。

2.4 T_1-T_2 构造-岩浆演化稳定阶段(Ⅳ)

到目前为止,在早、中三叠世 250~230 Ma 长达 20 Ma 的时间间隔中,西昆仑造山带未见岩浆活动的同位素年龄证据,表明研究区该阶段岩浆活动弱;早、中三叠世地层出露少,仅分布于研究区南带,以稳定的碳酸盐岩为主,沉积厚度小,未变质,与下伏二叠纪地层呈平行不整合或整合接触(丁道桂等,1996),反映了较稳定的构造运动特征,这些表明研究区又进入了一个相对稳定的构造-岩浆演化阶段,即被动大陆边缘发展阶段。

2.5 T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(Ⅴ)

根据同位素年龄频谱图(图 2.1)及研究区的岩浆、沉积、变质作用和构造运动等特征,西昆仑造山带 T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(Ⅴ)可以明显划分为 3 个时期:前期、中期和后期。

2.5.1 前期(V_1)(T_3-K_2)

前期研究区已有同位素年龄区间为 227.63~66.6 Ma。受中三叠世末印支运动的影响,西昆仑造山带自晚三叠世起又进入了一个新的构造-岩浆活动阶段(Ⅴ)。印支晚期(T_3),上述古特提斯洋南缘发生了自 NE 向 SW 的俯冲消减。这次消减作用形成了西昆仑南带北部年龄值在 224.70~211.39 Ma 的印支晚期岛弧花岗岩带,并使上述古特提斯洋在晚三叠世最终封闭,这次运动对青藏高原北部非常重要,使西昆中断裂以北及其南侧附近,即羌塘以北的整个区域抬升形成陆地,如在西昆仑南带北部沿西昆中断裂分布的下、中侏罗统已是陆相含煤碎屑建造即是证明(潘裕生等,1994)。

经过印支晚期(T_3)的拉张,至早、中侏罗世(J_2-J_3)西昆仑南带印支晚期岛弧岩浆带南侧的弧后盆地逐渐发展成为新的大洋盆地,即新特提斯洋的一部分,西昆仑南带南部广泛分布的侏罗系和白垩系滨海-浅海相沉积说明了这一点。

早侏罗世(J_1),受印支晚期(T_3)古特提斯洋南缘俯冲碰撞的影响,西昆仑南带、西昆仑中带、西昆仑北带形成了一系列同造山花岗岩(如塞力亚克二长花岗岩、塞图拉南二长花岗岩等)、碰撞后花岗岩与晚造山花岗岩(如国庆桥北花岗岩、解放桥东二长花岗岩等)。从早侏罗世(尤其是中、晚侏罗世)开始,上述新特提斯洋北缘开始自 SW 向 NE 俯冲消减,形成了一系列碰撞前花岗岩,如 509 道班二长花岗岩(J_2)、胜利桥北 10km,二长花岗岩(J_3)等。

上述新特提斯洋经过燕山早期(J)的发展,于早白垩世(K_1)除北缘继续自 SW 向 NE 俯冲消减外,南缘也开始自 NE 向 SW 俯冲消减,形成了一系列碰撞前花岗岩,如克拉青河上游斜长花岗岩、红旗拉甫二长花岗岩等。

受晚侏罗世—早白垩世(146~113 Ma)冈底斯陆块向欧亚大陆板块碰撞拼贴,班公湖-怒江新特提斯洋封闭及晚白垩世(71 Ma)印度板块向欧亚大陆板块俯冲,挤压逆冲进入第一次高潮(丁道桂等,1996)等因素影响,藏北地块在早白垩世末(K_1 末)也开始向北俯冲消减,形成了帕米尔-喀喇昆仑带同期双向分布的晚白垩世(K_2)岛弧岩浆带。晚白垩世(K_2),帕米尔-喀喇昆仑带分别与藏北地块及西昆仑南带发生了碰撞拼贴,形成了一系列同碰撞同造山花岗岩(如塔什库尔干二云母钾长花岗岩、穹囊二云母钾长花岗岩、塔吐鲁沟东二长花岗岩等)和碰撞后花岗岩(如考他孜达坂二长花岗岩等)。

该期岩浆作用主要为酸性岩浆侵入活动,岩浆活动高峰期侏罗纪和白垩纪。岩石类型较简单,主要为黑云母二长花岗岩,有一些花岗闪长岩及少量闪长岩,晚时(K_2^2)有少量玄武岩浆喷发活动,如红柳沟 509 道班北西 5km 及于田普鲁等地的玄武岩浆喷发

活动。

该期沉积类型主要为活动的滨海相—浅海相粗碎屑岩夹碳酸盐岩、砾岩及煤线,呈长条带状分布,岩性、厚度变化大,与上、下地层及各地层之间多呈角度不整合接触;动力变质作用、接触变质作用发育。在青藏高原受力最大,地壳构造运动最强烈的两地区之一的帕米尔山结(另一地区为三江地区)前缘的奥依塔格、盖孜等地,韧性剪切活动较强烈,其活动时间分别为 $146 \pm 0.7 \text{ Ma}$ (J_3 末)、 $113 \pm 1.5 \text{ Ma}$ (K_1^2); $71.1 \pm 1.4 \text{ Ma}$ (K_2^2),与研究区该期构造-岩浆活动高峰晚期(K)一致,分别与晚侏罗世—早白垩世($146 \sim 113 \text{ Ma}$)冈底斯陆块向欧亚大陆板块碰撞拼贴,斑公湖-怒江中生代特提斯封闭时期;晚白垩世(71 Ma)印度板块向欧亚大陆板块俯冲,挤压逆冲进入第一次高潮相对应(丁道桂等,1996)。

2.5.2 中期(V_2)(E—N)

中期研究区已有同位素年龄区间为 $62.4 \sim 2.80 \text{ Ma}$ 。始新世晚期($45 \sim 37 \text{ Ma}$),印度板块与欧亚大陆板块碰撞及碰撞后的“陆内俯冲”作用远程效应,对西昆仑造山带的抬升产生了深刻的影响,西昆南断裂、塔什库尔干断裂附近的富碱侵入岩,卡尔巴生二长花岗岩就是碰撞后陆内俯冲作用的产物(丁道桂等,1996),其实从晚白垩世这种陆内俯冲作用就已经开始,塔什库尔干、穹囊二云母钾长花岗岩中的白云母含量达 5%(新疆地质矿产局二大队,1985)即是证明。从此以后,西昆仑造山带进入了全面的碰撞后造山及火山喷发阶段。

该期,尤其是始新世(E_2)至中新世(N_1)是研究区重要的构造-岩浆活动高峰期之一,岩浆作用以中酸性和富碱岩浆侵入活动及基性和富碱基性岩浆喷发活动共存为特色。岩石类型主要为透辉正长岩、碱性花岗岩、粗面玄武岩、玄武岩及一些黑云母二长花岗岩、花岗闪长岩类。

该期地层除下第三系在部分地区为活动的海相碎屑岩外,其

它均为陆相紫红色砂砾岩,分选差,零星出露在山间小盆地边缘,各地岩性变化大,它们与下伏古生代、中生代地层呈角度不整合接触。也是在研究区西北缘帕米尔山结前缘的奥依塔格、布仑口等地,韧性剪切活动最为强烈,其活动时间分别为 $(36.6 \sim 37.3) \pm 1.2 \text{ Ma}$ (E_2)、 $27.6 \pm 1.2 \text{ Ma}$ (E_3) $\sim 22.7 \pm 1.1 \text{ Ma}$ (N_1) (丁道桂等, 1996; 王道轩等, 1996) 和; 16 Ma (N_1) (李永安等, 1997), 与研究区第三纪的构造-岩浆活动高峰期近一致, 也与青藏高原的几个主要隆升阶段 $45 \sim 38 \text{ Ma}$ (E_2)、 $25 \sim 17 \text{ Ma}$ ($E_3 - N_1$)、 $13 \sim 8 \text{ Ma}$ (N_1) (潘保田等, 1995; 钟大赉等, 1996; 曾涛等, 1997) 近一致, 反映了研究区露三纪的构造-岩浆活动与青藏高原始新世晚期 ($45 \sim 37 \text{ Ma}$) 印度板块与欧亚大陆板块碰撞以来, 青藏高原的强烈隆升有着密切的关系。

2.5.3 晚期 (V_3) (Q)

晚期研究区已有同位素年龄区间为 1.65 Ma 至现在。该期, 尤其是中更新世 (Q_2) 是研究区又一重要的构造-岩浆活动高峰期, 其中最新的一次火山喷发是 1951 年 5 月 21 日发生在于田县南 131 km 的阿什库勒山间盆地 (刘嘉麒等, 1990)。岩浆活动为陆上基性、中基性岩浆喷发、喷溢。岩石类型主要有黑色、红色熔岩、浮岩、富钾安粗岩。

该期, 研究区的基性、中基性岩浆喷发、喷溢活动集中发生在东、西昆仑造山带与阿尔金造山带相交汇处的大红柳滩以东, 民丰南以西的地域内, 受区域性大断裂 (如西昆仑北、西昆仑中、阿尔金断裂) 间的 $NWW - SEE$ 向次级分支断裂控制 (图 2.3), 反映了由于区域性深大断裂的多期次活动 (尤其是中、新生代的相互剪切活动), 使得其间的次级分支断裂不断发层, 终于成为“透过”构造, 切入岩石圈, 甚至上地幔。该期火山喷发多属喷发中心受断裂控制的中心式喷发, 几处火山构造在平面上呈线形串珠状展布

总之, $T_3 - Q$ 构造-岩浆活动阶段, 韧性剪切活动及动力变质

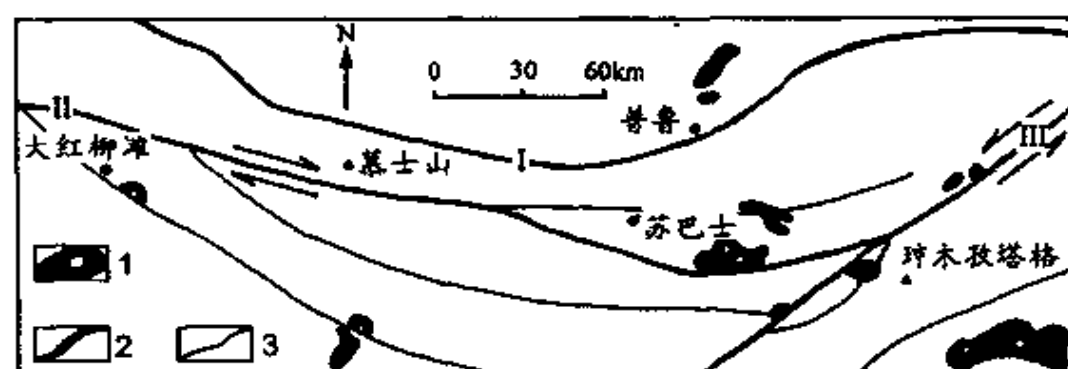


图 2.3 西昆仑造山带新生代中基性、基性火山岩分布图

1. 火山岩及火山口, 2. 深大断裂, 3. 次级断裂; I—西昆仑北缘断裂, II—西昆仑中部断裂, III—阿尔金新裂。

作用强烈, 块状断裂发育; 从前期到中期, 再到后期, 西昆仑造山带岩浆活动形式及总程序是从中酸性、酸性岩浆侵入活动向富碱中酸性岩浆侵入活动, 基性、中基性岩浆喷发活动发展的, 反映了构造环境总体从挤压闭合条件向拉张开放条件的转变。

2.6 小结

通过上述探讨, 可以得出如下结论:

(1) 西昆仑造山带自晚太古代以来, 经历了活动—稳定—活动—稳定—活动 5 个构造-岩浆演化阶段, 且总体上以活动阶段为主, 稳定阶段是短暂的。就活动阶段而言, 构造-岩浆作用强烈, 变质作用复杂, 沉积环境动荡; 而稳定阶段构造-岩浆作用则不明显, 变质作用简单或不具变质作用, 沉积环境较稳定。

(2) 构造-岩浆活动阶段与构造-岩浆演化稳定阶段是可以相互转化的, 但这种转化并不是活动阶段与稳定阶段的简单重复, 而是后一阶段是在前一阶段基础上的进一步上升与发展。就 Pt_3^1 — P_2 构造-岩浆活动阶段(II)与 T_3 — Q 构造-岩浆活动阶段(V)来

论,两者虽然都属构造-岩浆活动阶段,但变质作用、构造-岩浆活动形式及总程序等特征均有所不同,前者(Ⅲ)变质作用以区域变质作用与动力变质作用、岩浆接触变质作用共存为特色,线性断裂活动强烈,从前期到后期,岩浆活动形式及总程序是从超基性、基性、中基性岩浆喷溢向中酸性、酸性岩浆侵入活动发展,构造环境从拉张开放条件向挤压闭合条件转变,超基性、基性、中基性岩浆活动为海相水下岩浆喷溢活动,受区域性深大断裂控制;而后者(V)变质作用为动力变质作用和岩浆接触变质作用,没有区域变质作用,块状断裂活动强烈,岩浆活动形式及总程序是从中酸性、酸性岩浆侵入活动向富碱岩浆侵入活动,基性、中基性岩浆喷发、喷溢活动发展,构造环境是从挤压闭合条件向拉张开放条件转变,基性、中基性岩浆活动为陆相水上喷发活动,受区域性大断裂的次级分支断裂控制。这些差别说明,构造-岩浆活动阶段与构造-岩浆演化稳定阶段的相互转化是相继递迭,按照“否定之否定”的哲学法则,螺旋式上升发展的(陈国达等,1985)。

3 花岗岩类的时空分布规律

前述的有关青藏高原构造演化的许多模式,如地体拼贴模式、板块学说的有关模式都认为昆仑-阿尔金造山带乃至整个青藏高原的岩浆活动时间顺序是从北向南依次变新的。但是,这些模式习惯上将各种不同类别的岩浆岩混在一起讨论,因而忽略了一个基本事实,就是不同大地构造阶段或同一大地构造阶段不同时期侵入岩或喷出岩的类别是不同的,这可以从第二章的有关讨论或资料得知。因此,在讨论岩浆岩的时空分布规律时,应该以同类别的侵入岩或喷出岩作为对比研究对象来讨论。本章将选择研究区最重要、分布最为广泛的花岗岩类作为研究对象来论述。

西昆仑造山带花岗岩类分布广泛,除中元古代晚期(Pt_2^2)和早、中三叠世(T_1-T_2)外,从早元古代(2261 Ma)到新生代(3 Ma)均有出露。它们受区域性构造,尤其是多期活动深大断裂,如塔里本西南缘断裂(简称塔西南断裂, I)、西昆仑山北缘断裂(简称西昆北断裂, II)、西昆仑山中部断裂(简称西昆中断裂, III)、西昆仑山南缘断裂(简称西昆南断裂, IV)崆喀山口-西金乌兰湖断裂(简称西金乌兰湖断裂, V)、塔什库尔干断裂(VI)控制明显,总体呈NW—SE向的反“S”形展布,多为岩基产出。根据西昆仑造山带花岗岩类的时空分布特征,可分别以西昆北断裂、西昆中断裂、西昆南断裂和西金乌兰湖断裂为界,将西昆仑造山带的花岗岩类分为西昆仑北带、西昆仑中带、西南昆仑南带、帕米尔-喀喇昆仑带四个带(图 3.1)。

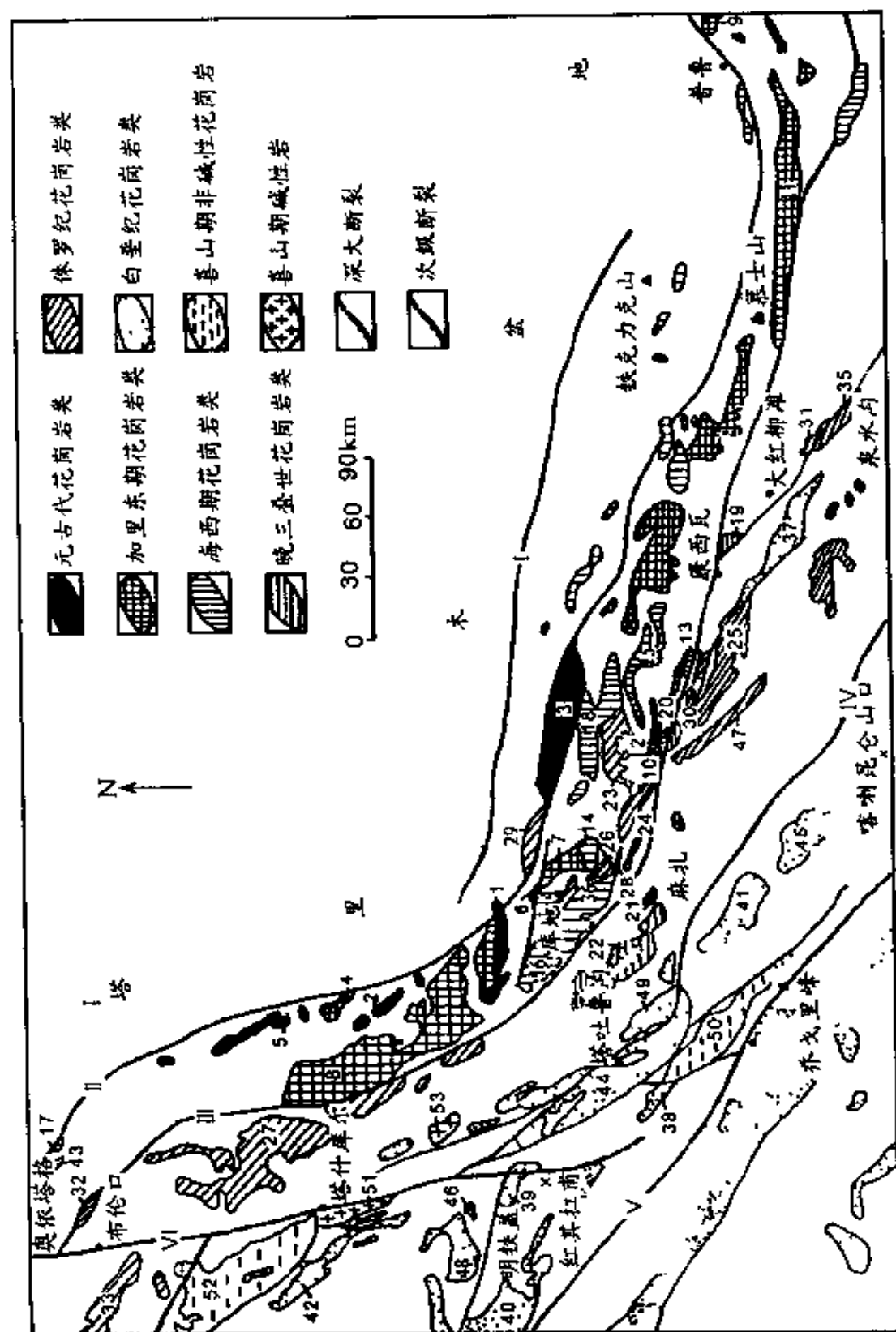


图 3.1 西昆仑造山带花岗岩类岩体分布图

I. 塔里木西南缘断裂(简称塔西南断裂); II. 西昆仑山北缘断裂(简称西昆北断裂); III. 西昆仑山中部断裂(简称西昆中断裂); IV. 西昆仑山南缘断裂(简称西昆南断裂); V. 蛇喀山口-西金乌兰湖断裂(简称西金乌兰湖断裂); VI. 塔什库尔干断裂。1. 阿卡孜岩体; 2. 托赫塔卡鲁姆山岩体; 3. 他龙北岩体; 4. 坎地里克岩体; 5. 阿瓦勒克岩体; 6. 128km 岩体; 7. 库地北岩体; 8. 大同乡西岩体; 9. 普鲁-克里阳达板岩体; 10. 赛图拉岩体; 11. 策勒牙门西岩体; 12. 赛图拉北岩体; 13. 哈巴克岩体; 14. 库地南岩体; 15. 土日苏岩体; 16. 阿克阿孜山岩体; 17. 139km(或霍峡尔)岩体; 18. 土日苏河下游北西侧岩体; 19. 464km 岩体; 20. 赛图拉南(或三十里营房南)岩体; 21. 麻扎岩体; 22. 麻扎达拉岩体; 23. 黑卡兵站北 15km 岩体; 24. 赛力亚克达坂西岩体; 25. 国庆桥南岩体; 26. 胜利桥北 1.5km 岩体; 27. 慕士塔格岩体; 28. 胜利桥南岩体; 29. 卡克雷姆岩体; 30. 哈巴克西岩体; 31. 509km 道班岩体; 32. 布仑口道班岩体; 33. 求库台岩体; 34. 库地西岩体; 35. 大红柳滩岩体; 36. 胜利桥北西 10km 岩体; 37. 康西瓦南(或俘虏沟)岩体; 38. 克勒青河上游西岩体; 39. 红旗拉甫岩体; 40. 罗布盖孜岩体; 41. 阿格勒达坂北 4km 岩体; 42. 塔什库尔干岩体; 43. 奥依塔格岩体; 44. 塔吐鲁沟西岩体; 45. 沙雷克塔格岩体; 46. 阿提牙衣勒岩体; 47. 考他孜达坂东岩体; 48. 明铁盖岩体; 49. 塔吐鲁沟东岩体; 50. 乔戈里峰西侧岩体; 51. 苦子干岩体; 52. 卡英代-卡尔巴生岩体; 53. 赞坎岩体

3.1 西昆仑北带

西昆仑北带是指塔里木地块以南, 西昆北断裂以北的地带, 花岗岩类出露较少, 由 $Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(I)元古代、 $Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段(II)海西期和 T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V)燕山早期(J)花岗岩类组成, 未见 $Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段(III)加里东期和 T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V)印支期(T_3)、燕山晚期(K)和喜山期(K_z)花岗岩类。

3.1.1 $Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(I)元古代(Pt)

西昆仑北带元古代花岗岩类分布于西昆仑北带南缘的西昆北断裂北侧附近, 花岗岩类形成时代总体上沿垂直区域构造线走向方向自 NE 向 SW 变新。代表性岩体自 NE 向 SW 主要有(同位素

年龄资料未注明者均源于新疆地质矿产局第二地质大队,1985;▲表示所比较花岗岩类中年龄最小的那个,下同);

(1) 阿卡孜达坂北西侧片麻状混合花岗岩是整个西昆仑造山带目前发现年代最老的岩体,其锆石 U-Pb 等时线年龄为 2261 ± 95 Ma (Pt_1^2 , Xu Ronghua et al, 1992; 潘裕生, 1994; 潘裕生等, 1994), 侵入其中的浅色角闪钾长花岗岩岩株、岩脉钾长石 Rb-Sr 法模式年龄为 1508.0 Ma (Pt_2^1 , 汪玉珍等, 1987), 全岩 Rb-Sr 年龄为 1408.0 Ma (Pt_2^1)。

▲(2) 他龙北花岗闪长岩边缘的皮山县克里阳布琼沟钾长石伟晶岩钾长石 Rb-Sr 年龄为 635.1 Ma (Z_2), 全岩 Rb-Sr 年龄为 541.3 Ma (ϵ_1), 说明他龙北花岗闪长岩的形成时代应老于 635.1 Ma (Z_2)。

3.1.2 $Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段(Ⅲ)海西期(D_1-P_2)

西昆仑北带海西期花岗岩类主要分布于西昆北断裂北侧附近及塔里木西南缘的铁克力克山一带,总体上呈 NWW-SEE 向展布。代表性岩体主要有扣克巴西南花岗闪长岩、夏同巴斯康二长花岗岩等。

3.1.3 T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V)燕山早期(J_1)

西昆仑北带燕山早期花岗岩类出露少,目前仅见有卡克雷姆黑云母二长花岗岩,紧沿西昆北断裂北侧分布,花岗岩钾长石 K-Ar 年龄为 184.4 Ma (J_1)。

3.2 西昆仑中带

西昆仑中带是指夹于西昆北断裂与西昆中断裂之间的地带。该带花岗岩类最为发育,组成了西昆仑造山带的主体,花岗岩类形成时代也最多,除 T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V)印支晚期(T_3)、

燕山晚期(K)和喜山期(K₂)花岗岩类以外,Ar₃-Pt₂¹构造-岩浆活动阶段(I)中元古代早期(Pt₂¹)至T₃-Q构造-岩浆活动阶段(V)燕山早期(J)花岗岩类在西昆仑中带均见有出露。

3.2.1 Ar₃-Pt₂¹构造-岩浆活动阶段(I)中元古代(Pt₂)

西昆仑中带中元古代花岗岩类分布于西昆仑中带西北部西昆北断裂南侧附近,花岗岩类形成时代空间变化规律与西昆仑北带元古代花岗岩类的变化规律一致,即总体上沿垂直区域构造线走向方向自NE向SW变新。代表性岩体自NE向SW依次有:

(1) 托赫塔卡鲁姆山花岗闪长岩角闪石 Rb-Sr 年龄为 1567 Ma(Pt₂¹)。

▲(2) 公格尔-桑株达坂地块花岗质脉体及伟晶岩脉 Rb-Sr 上限年龄为 1500 Ma(Pt₂¹,艾霞等,1997)。

3.2.2 Pt₃¹-P₂构造-岩浆活动阶段(Ⅱ)

Pt₃¹-P₂构造-岩浆活动阶段(Ⅱ)花岗岩类主要发育在后期(Z₂²-P₂),该期是西昆仑造山带花岗岩类岩浆活动最为重要的时期之一,且分布于西昆中断裂以北的西昆仑中带和西昆仑北带,但加里东期(Z₂²-S₃)同海西期(D₁-P₂)花岗岩类的时空分布特征又有差别。

1) 加里东期(Z₂²-S₃)

加里东期花岗岩类是西昆仑中带乃至整个西昆仑造山带最重要、最发育的一期花岗岩类,构成了西昆仑造山带的主体,被严格限定在西昆北断裂与西昆中断裂之间,花岗岩类形成时代空间变化规律继承了元古代花岗岩类的变化规律,即总体上沿垂直区域构造线走向方向自NE向SW变新。在西段,代表性岩体自NE向SW依次有:

(1) 坎地里克似斑状钾长花岗岩钾长石 Rb-sr 年龄为 644 Ma(Z₂²)。

(2) 128km 石英二长花岗岩同位素年龄区间为 517.2 Ma (ϵ_2 末)~449±24 Ma(O_4) (有关具体年龄值及引自文献见表 2.1,下同)。

(3) 库地北石英二长花岗岩同位素年龄区间为 517 Ma (ϵ_3)~423 Ma(S_3)。

(4) 大同乡西(或雀普河下游)黑云母闪长花岗岩锆石 U-Pb 等时线年龄为 480.43±5 Ma(O_2 ,方锡廉、汪玉珍,1990)。

(5) 赛图拉片麻状花岗岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 460.02±9.4 Ma(O_4 ,本文)。

▲(6) 赛图拉北片麻状黑云母花岗闪长岩加里东期同位素年龄区间为 423 Ma(S_3)~417.5 Ma(S_3)。

在东段,代表性岩体自 NE 向 SW 依次有:

(1) 于田县普鲁村-克里阳达坂之间花岗闪长岩锆石 U-Pb 年龄为 466 Ma(O_3),锆石 U-Pb 等值线年龄为 452 $^{+7}_{-6}$ Ma(O_4) (许荣华等,1990)。

▲(2) 策勒牙门西斜长花岗岩黑云母 K-Ar 年龄为 425.7 Ma(S_2)。

2) 海西期(D_1 — P_2)

西昆仑中带海西期花岗岩类重要性仅次于加里东期花岗岩类,向南未跨过西昆中断裂,而向北则跨过了西昆北断裂,也就是说在西昆仑中带和西昆仑北带均有出露,但主要分布在西昆仑中带。花岗岩类形成时代空间变化规律总体上沿垂直区域构造线走向方向自 NE 向 SW 变老,与元古代——加里东期花岗岩类变化规律正好相反。代表性岩体自 NE 向 SW 依次有:

▲(1) 土日苏河下游北侧黑云母二长花岗岩钾长石 K-Ar 年龄为 254.8 Ma(P_2)。

(2) 139km(或霍峡尔)二长花岗岩黑云母 K-Ar 年龄为 269.49 Ma(P_1)。

(3) 阿克河孜山黑云母花岗闪长岩黑云母 K-Ar 年龄为 278

Ma(P_1), 274 Ma(P_1)(李永安等, 1995)。

(4) 土日苏二长花岗岩钾长石 K-Ar 年龄为 291.8 Ma(C_2)(李永安等, 1995)。

(5) 库地南黑云母钾长花岗岩全岩 K-Ar 年龄为 384 Ma(D_2)~277.63 Ma(P_1)(潘裕生等, 1994; 姜春发等, 1992)。

(6) 哈巴克片麻状花岗岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 406.71±28.8 Ma(D_1), 本专题组)。

3.2.3 T_3 -Q 构造-岩浆活动阶段(V)燕山早期(J)

西昆仑中带燕山早期(J)花岗岩类主要分布于该带中部的新藏公路附近, 受区域性深大断裂的次级分支断裂控制明显。花岗岩类形成时代空间变化规律比其以前各期花岗岩类的变化规律要复杂, 在西昆仑中带北部, 总体上沿垂直区域构造线走向方向自西昆北断裂向西昆仑中带内部, 即自 NE 向 SW, 花岗岩类形成时代变新; 在西昆仑中带南部, 花岗岩类形成时代空间变化规律与北部相反, 总体上沿垂直区域构造线走向方向自西昆中断裂向西昆仑中带内部, 即自 SW 向 NE, 花岗岩类形成时代变新。代表性岩体自 NE 向 SW 依次有:

(1) 卡克雷姆黑云母二长花岗岩, 紧沿西昆北断裂北侧分布, 花岗岩钾长石 K-Ar 年龄为 184.4 Ma(J_1)。

(2) 库地西黑云母二长花岗岩黑云母 K-Ar 年龄为 163.44 Ma(J_2)。

▲(3) 胜利桥北西 10km 花岗闪长岩黑云母 K-Ar 年龄为 156.8 Ma(J_3)(新疆地质矿产局二大队, 1985)。

(4) 胜利桥北 1.5km(或徐结矮艾子)花岗闪长岩黑云母 K-Ar 年龄为 201.4 Ma(J_1)。

(5) 赛力亚克达坂西二长花岗岩钾长石 K-Ar 年龄为 201.7 Ma(J_1)。

(6) 黑卡兵站北 15km 花岗闪长岩黑云母 K-Ar 年龄为

207.8 Ma(J_1)。

3.3 西昆仑南带

西昆仑南带是指夹于西昆中断裂与西昆南断裂之间的地带。该带花岗岩类由 T_3 —Q 构造岩浆活动阶段(V)印支晚期(T_3)、燕山期(J—K)和喜山期(Kz)花岗岩类组成,受区域性深大断裂的次级分支断裂控制明显。其中,印支晚期(T_3)花岗岩类的出露限于西昆中断裂与西昆南断裂之间的西昆仑南带,且靠近西昆中断裂;燕山早期(J)花岗岩类未向南跨过西昆南断裂,但向北跨过了西昆中断裂,即除了分布于西昆仑南带外,在西昆仑中带和西昆仑北带也有分布;燕山晚期(K)和喜山期(Kz)花岗岩类未向北跨过西昆中断裂,但向南跨过了西昆南断裂,即分布于西昆仑南带和帕米尔-喀喇昆仑带。花岗岩类形成时代空间变化规律总体上沿垂直区域构造线走向方向分别自 NE 的西昆中断裂和 SW 的西昆南断裂向西昆仑南带内部变断。在 NW 段,代表性岩体自 NE 向 SW 依次有:

(1) 麻扎黑云母二长花岗岩黑云母 K-Ar 年龄为 211.39 Ma(T_3)(姜春发等,1992)。

(2) 麻扎兵站西花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 203 Ma(J_1)(潘裕生等,1994)。

(3) 慕士塔格花岗片麻岩同位素年龄为 199 Ma(J_1)(李永安等,1995)。

(4) 求库台黑云母花岗岩黑云母 K-Ar 年龄为 166 Ma(J_2)。

▲(5) 赞坎富碱侵入岩全岩 K-Ar 年龄为 10.59 Ma(N_1)

(6) 塔吐鲁沟东黑云母二长花岗岩钾长石 K-Ar 年龄为 66.6 Ma(K_2)。

在 SE 段,代表性岩体自 NE 向 SW 依次有:

(1) 新藏公路 464km 岩体全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 220.82

±20.8 Ma(T_3)(本专题组)。

(2) 三十里营房地区花岗岩类、赛图拉西 331km 路碑一带花岗闪长岩黑云母 Rb-Sr 等时线年龄为 215 Ma(T_3)(张玉泉、谢应雯,1989)。

(3) 国庆桥南二长花岗岩黑云母 K-Ar 年龄为 201.7 Ma(J_1)(李永安等,1995)。

(4) 大红柳滩 509 道班黑云母二长花岗岩黑云母 K-Ar 年龄为 172.23 Ma(J_2)(新疆地质矿产局第一区调大队四分队,1983)~163.44 Ma(J_2)(新疆地质矿产局二大队,1981)。

(5) 康西瓦南(或俘虏沟)二长花岗岩黑云母 K-Ar 年龄为 117.2 Ma(K_1)(新疆地质矿产局第一区调大队四分队,1983)。

▲(6) 泉水沟富碱侵入岩 K-Ar 年龄为 6 Ma(N_1)~3 Ma(N_2)(张玉泉、谢应雯,1997)。

(7) 考他孜达坂东 11km 黑云母二长花岗岩黑云母 K-Ar 年龄为 74.7 Ma(K_2)。

(8) 南屏雪山黑云二长花岗岩(J)(伊集祥、边千韬,1995)

3.4 帕米尔-喀喇昆仑带

帕米尔-喀喇昆仑带是指西昆南断裂以南,西金乌兰湖断裂以北的广大地区。该带花岗岩类由 T_3 —Q 构造-岩浆活动阶段(V)燕山晚期(K)和喜山期(K_2)花岗岩类组成,受区域性深大断裂的次级分支断裂控制明显,呈 NE—SW 向展布。花岗岩类形成时代空间变化规律总体上沿垂直区域构造线走向方向分别自 NE 的西昆南断裂和 SW 方向向帕米尔-喀喇昆仑带内部变新,但年龄最新的新生代花岗岩类更加靠近西昆南断裂,反映了来自南部的作用力是燕山晚期(K)和喜山期(K_2)帕米尔-喀喇昆仑带的主导作用力。在 NW 段,代表性岩体自 NE 向 SW 依次有:

(1) 苦子干富碱侵入岩同位素年龄为 54 Ma(E_2)~11 Ma

(N_1) (有关具体年龄值及引自文献见表 2.1, 下同)。

▲(2) 卡英代-卡尔巴生北部黑云母二长花岗岩黑云母 K-Ar 年龄为 17.2 Ma(N_1), 南部二长花岗岩重结晶黑云母 K-Ar 年龄为 9.80 Ma(N_1)。

(3) 塔什库尔干二云母花岗岩白云母 K-Ar 年龄为 94.2 Ma(K_2)。

(4) 罗布盖孜-阿提牙衣勒-明铁盖黑云母二长花岗岩黑云母 K-Ar 年龄为 95.61 Ma(K_2)~70.9 Ma(K_2)。

(5) 红旗拉甫黑云母二长花岗岩黑云母 K-Ar 年龄为 110.90 Ma(K_1)。

在 SE 段, 代表性岩体自 NE 向 SW 依次有:

(1) 阿格勒达坂北 4km 花岗闪长岩黑云母 K-Ar 年龄为 94.54 Ma(K_2)。

(2) 塔吐鲁沟西二长花岗岩黑云母 K-Ar 年龄为 79.95 Ma(K_2)。

(3) 沙雷克塔格(或叶尔羌河上游卡帕浪苏西)闪长花岗岩黑云母 K-Ar 年龄为 75.2 Ma(K_2)。

▲(4) 乔戈里峰西侧穆斯塔格河东岸黑云母闪长花岗岩钾长石 K-Ar 年龄为 56.3 Ma(E_2)。

(5) 克勒青河上游西黑云母闪长花岗岩钾长石 K-Ar 年龄为 112.44 Ma(K_1)。

3.5 小结

从上述西昆仑造山带花岗岩类的分布特征可知:

(1) 不同构造-岩浆活动阶段、同一构造-岩浆活动阶段不同时期花岗岩类的时空分布规律是不同的。

(2) 时间上, 印支运动为一重要的构造-岩浆演化转折运动; 空间上, 西昆中断裂为一重要的构造-岩浆演化分界线。印支运动

以前形成的花岗岩类,主要分布于西昆中断裂以北的地带,花岗岩类形成时代空间变化规律呈现单向性,总体上沿垂直区域构造线走向方向自 NE 向 SW,元古代花岗岩类、加里东期花岗岩类形成时代逐渐变新,而海西期花岗岩类形成时代则逐渐变老;印支运动以后形成的花岗岩类,主要分布于西昆中断裂以南的地带,但燕山早期花岗岩类则跨过了西昆中断裂,花岗岩类形成时代空间变化规律呈现双向性,总体上沿垂直区域构造线走向方向分别自 NE 和 SW 边界断裂向各带内部,花岗岩类形成时代变断。

4 库地蛇绿岩的地质特征及其成岩构造环境

西昆仑库地蛇绿岩的研究工作始于 20 世纪 80 年代初,相继有新疆地矿局(汪玉珍,1983;新疆地矿局第一区调大队十分队,1984)、中国地质科学院青藏高原考察队(姜春发等,1992)、中法青藏高原考察队(潘裕生,1992)、中德考察队(李永安等,1995)等单位(或团体)开展过工作,但总体上研究程度仍较低,且在一些关键性问题(如形成时代、成岩环境等)上仍有较大争议。本章主要是根据野外实地考察及室内分析研究和前人的最新成果,针对有争议的关键性问题,分析了西昆仑造山带库地蛇绿岩的形成时代,总结了它的地质特征,并对其成岩构造环境进行了探讨。

西昆仑蛇绿岩带沿西昆北断裂分布,自西向东依次出露有奥依塔格蛇绿岩、柯岗蛇绿岩、库地蛇绿岩、苏巴什蛇绿岩、慕士山蛇绿岩(图 2.2)。其中库地蛇绿岩是西昆仑蛇绿岩带中保存较好的一个。

4.1 蛇绿岩的形成时代

库地蛇绿岩的形成时代问题是前人争议的焦点之一。目前主要有两种观点:一种观点认为其形成时代主要为早石炭世,可能延至晚石炭世(姜春发等,1992);另一种观点认为蛇绿岩形成于晚元古代—早古生代(潘裕生,1992;李永安等,1995)。本文根据野外实地考察及室内分析资料以及前人有关研究成果,认为蛇绿岩形成于晚元古代早期—晚震旦纪早期($Pt_3^1-Z_2^1$),理由如下:

(1) 从历史发展的角度看,蛇绿岩往往形成于地槽发展阶段

的前期,即地槽期,而从同位素年代学及沉积、岩浆、变质建造等方面资料分析可知,研究区地槽期时代为晚元古代早期—晚震旦纪早期($Pt_3^1-Z_2^1$)(见 2.3.1 节及欧阳沙怀等,1993;林舸等,1993)。

(2) 新疆地矿局第一区调大队(汪玉珍,1983)在库地一些克达坂东 7km 处蛇绿岩上部的细碧岩中所采同位素样获 916.66 Ma(Pt_3^1)的 K-Ar 年龄值;中法青藏高原考察队(潘裕生,1992)在库地枕状玄武岩、玄武安山岩中进行 Rb-Sr、Sm-Nd 同位素测年(表 4.1),获得 698.36~976.78 Ma($Z_2^1-Pt_3^1$)的同位素模式年龄值;中德考察队(李永安等,1995)在库地玄武岩中获得 K-Ar 全岩年龄为 817.43 Ma(Pt_3^1),丁道桂等(1996)测得的库地蛇绿岩全岩 Sm-Nd 年龄为 651 ± 53 Ma(Z_2^1)。

表 4.1 库地蛇绿岩中枕状熔岩的 Rb、Sr、Sm、Nd 成分及年龄

样号	岩石	Rb	Sr	Sm	Nd
Kp19-1	玄武岩	4.816	177.68	3.758	15.095
Kp9-5	安山岩	1.349	116.51	5.166	20.643
Kp21-2	玄武岩	3.302	143.42	2.100	8.760
Kp21-9	安山岩	2.219	100.72	3.227	13.539
	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr$	$^{147}Nd/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	年龄
Kp19-1	0.0783	0.70543	0.15055	0.512782	871.74
Kp9-5	0.0334	0.70601	0.15136	0.512866	698.36
Kp21-2	0.0665	0.70680	0.14496	0.512711	976.78
Kp21-9	0.0636	0.70661	0.14413	0.51271	956.37

资料来源:潘裕生,1992.

(3) 库地蛇绿岩下部超镁铁质岩目前尚未获得直接的同位素年龄数据资料,其中发育一条断续延伸 1.5km 的伟晶角闪岩脉,被认为是其同源岩浆残余在结晶后期的产物,汪玉珍(1983)采样获得 860.5 Ma(Pt_3^1)的 Rb-Sr 同位素年龄数据。这表明超镁铁质岩的形成年龄可能会更老些,即大于 860.5 Ma。

综合上述年龄,同时参考研究区的构造-岩浆演化史,可以认

为库地蛇绿岩的形成时代为晚元古代早期—晚震旦纪早期($Pt_2^1-Z_2^1$)。

4.2 蛇绿岩的构造特征

库地蛇绿岩出露于新藏公路 133~156km 之间,由下部超镁铁质岩、层状辉长岩和上部基性火山岩、杂色火山碎屑岩系等组成。其中下部的超镁铁岩和层状辉长岩体平面上显示为一向东凸出的三角状,东西长约 5.2 km,南北最宽达 4.4 km,出露面积约 18 km²,岩体西部被晚古生代黑云母二长花岗岩侵入,其余三面均与围岩呈断层接触,断层面向岩体内倾,其中东、南部围岩为深变质的黑云母斜长片麻岩,北部为蚀变安山质凝灰岩。断层带附近的内外接触带岩石有明显的糜棱岩化和片理化;岩石有轻度蛇纹石化,岩块边缘显示较强,形成宽度不等的蛇纹石带,南缘带宽 10~20m,北缘可达 200m。层状辉长岩出露在超镁铁质岩南侧,空间上见两者伴生,宽 300 余 m,可见暗色矿物堆积层理,由于蚀变和变质作用,原生矿物几乎未见保留。上部的基性喷出岩出露宽度约 6km,由中酸性岩体和地层将它与超镁铁质岩分开,其间断裂交错。喷出岩构造变动强烈,酸碎带发育。喷出岩之上的深海沉积物主要为一套绛紫、灰绿和绿色为主的杂色碎屑岩系,具韵律层和递变层理,屑浊流沉积(王东安等,1989)。从枕状玄武岩岩枕的底面产状可判断出熔岩形成后曾发生褶皱,呈一复式倒转向斜,北翼为正常层序,南翼则近于直立和倒转;下部的超镁铁质岩岩体为一背斜构造,由下至上的堆积层序为纯橄岩、斜辉橄岩和辉长岩序列,而整个库地蛇绿岩剖面上,总体表现为由北向南的推覆构造系统(图 4.1),在空间上构成 20 余 km 长的大型逆冲推覆岩席。

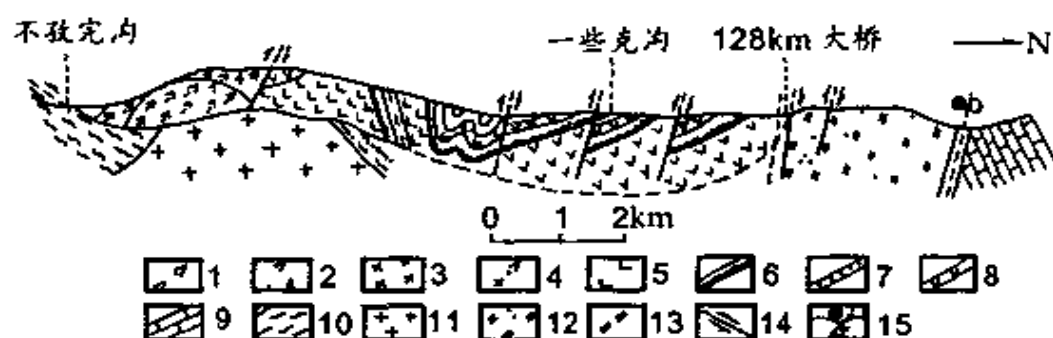


图 4.1 库地蛇绿岩构造剖面示意图(据李永安等,1995)

1. 纯橄辉岩;2. 辉橄岩;3. 辉长岩;4. 辉橄岩+辉长岩;5. 块状玄武岩;6. 枕状玄武岩;
7. 火山碎屑岩;8. 安山岩;9. 灰岩;10. 片岩、片麻岩;11. 花岗岩;12. 石英二长岩;
13. 韧性断裂;14. 脆性断裂;15. 右行走滑断裂(喀拉斯坦代里亚断裂)

4.3 蛇绿岩的层序及其岩石学特征

根据前人资料(姜春发等, 1992; 李永安等, 1995)及野外实地考察与室内分析, 库地蛇绿岩大致层序自下而上为: 纯橄辉岩、斜辉橄辉岩、辉长岩、基性火山岩、火山碎屑岩及中性火山岩、沉火山碎屑岩, 总厚度大于 2110m, 其岩石学特征依次简述如下:

1) 纯橄辉岩 多呈灰绿-黄绿色, 致密块状为主, 少量具层状堆晶构造, 具两种主要结构: 一种是自形粒状结构; 另一种为强烈蛇纹石化交代网环结构。前者粒度变化较小, 橄辉石具良好的自形-半自形结构, 颗粒之间多具直线状边界, 在晶体间隙和裂隙之间发育弱蛇纹石化蚀变; 后者岩石遭受强烈蛇纹石化, 镜下原岩大部分已被蛇纹石、滑石、个别透闪石交代, 橄辉石多呈细小的交代残余状, 局部残留有较粗大的晶体。矿物成分为: 橄辉石(90%~98%), 尖晶石(2%~5%)、斜方辉石(1%~10%)、金属矿物(<2%)等。橄辉石为自形粒状-交代残余状, 粒径为 1~2mm; 尖晶石为自形-半自形, 粒径 0.1~0.5mm, 有时呈它形网链状分布在橄辉石颗粒之间。纯橄辉岩厚度大于 200m。

2) 斜辉橄榄岩 该岩石一般呈灰绿-灰黑色,块状构造,由橄榄石(60%~90%)、斜方辉石(10%~30%)及少量尖晶石组成,少见单斜辉石。粗粒变晶结构和全自形等粒状结构。可见到斜方辉石定向排列组成叶理构造及尖晶石平行排列的线理构造。橄榄石和辉石普遍具波状消光或扭折构造。斜辉橄榄岩中发育一条断续延伸长达1.5 km的伟晶角闪岩脉。斜辉橄榄岩厚度大于100m。

3) 辉长岩 灰色-灰黑色,辉长结构,块状构造,岩石成分为:基性斜长石(47%±)、辉石(43%±)、普通角闪石(5%±)、磁铁矿和磷灰石少量。基性长石呈它形粒状结构,少量颗粒可见聚片双晶,辉石和普通角闪石亦呈它形粒状结构,剖面上所观察到的辉长岩已蚀变。矿物定向排列,粒度较均匀,粒径约1~2mm。岩石闪石化、绢云母化、钠长石化和硅化作用强烈。受蚀变作用影响,岩石中仅保留少量斜方辉石和单斜辉石及一些定向排列的碎裂斜长石等原生矿物。暗色矿物含量约为30%,多被闪石类矿物所代替。斜长石残晶和次生石英普遍具有波状消光。辉长岩厚度约为50m。

4) 基性火山岩 为一套海底喷发的玄武岩类,下部以块状为主,结晶粒度上细下粗有辉绿岩墙穿入,脉宽约3m,产状 $100^{\circ}\angle 75^{\circ}$;上部为枕状玄武岩,多呈层状排列,岩枕一般较规则,直径20~40cm居多,最大可达1m左右,长轴略具定向排列,枕中气孔构造和放射状节理发育,充填物以方解石、石英和绿泥石为主,由气孔构造判断岩枕顶底面产状:新藏公路133~144km处北翼为正常层序,南翼则近于直立和倒转,整体构成倒转向斜形态(图4.1)。该套熔岩厚度约900m。

5) 火山碎屑岩及中性火山岩 由下部100~150m厚的火山角砾岩、中部厚约10m的凝灰岩和上部厚约100m的杏仁状安山岩组成。凝灰岩中发育薄层韵律,夹有凸镜状硅质岩薄层;火山角砾岩的角砾主要为杏仁状安山岩,砾径十至数十厘米,胶结物以灰绿色蚀变安山质成分为生;杏仁状安山岩为块状,无层理,杏仁体直径3~5mm,最大达2cm左右,多为红色方解石充填,岩石普

遍遭受蚀变,碳酸盐化、绿泥石化强烈,部分遭受绿帘石化。

6) 沉火山碎屑岩 为一套灰紫、灰绿和绿色的杂色碎屑岩系,中细粒级为主,碎屑胶结物为凝灰质、铁质和钙质,因胶结物碎屑粒度和颜色的不同,形成紫红-绿-灰绿色相间的火山灰层凝灰岩、凝灰质长石粉砂岩、安山质岩屑凝灰砂岩韵律层,多为细密水平纹层、岩石结构致密。除在岩系中部显示出较为明显的浊流沉积特征外,杂色碎屑岩系绝大部分都具有水平纹层结构,只是韵律旋回和颜色变化方面,下部较上部更为频繁。该套岩系出露厚度约550m,构成复式倒转向斜的核部。上述表明,库地蛇绿岩的层序总体上可与世界上已有研究的蛇绿岩层序相对比,但下部超镁铁质岩、辉长岩与上部基性火山岩、火山碎屑岩、沉火山碎屑岩之间缺少席状岩墙群,且下部堆积杂岩部分所占比例较少,此外上部还出现了粒多的安山岩;蛇绿岩形成后,受到了多期构造作用的改造和破坏。

4.4 蛇绿岩的成岩构造环境

以往虽然对库地蛇绿岩套的形成时代有较大争议,但一般都认为其是已消失大洋盆地的残留标志,是在大洋盆消减闭合和陆块碰撞过程中挤出的洋壳碎片(汪玉珍,1983;姜春发等,1992;潘裕生,1992;李永安等,1995)。笔者对此有不同看法,将从以下几个方面加以分析:

1) 库地蛇绿岩的厚度小,仅2000m左右,堆积杂岩所占比例甚少,且未见到指示海底快速扩张的岩墙群,这表明没有出现大规模的连续岩浆房;此外库地蛇绿岩的层序大部分完整,表明其发生过粒完全的岩浆分异作用。这些都反映库地蛇绿岩应形成于缓慢扩张的条件下。

2) 蛇绿岩上部出现了较多的安山岩,属钙碱系列,是典型的岛弧相伴生产物。火山岩中未出现细碧-角斑岩(或石英角斑岩)

系,说明这些岩石形成以后没有受到强烈的海水交代蚀变作用。但上部玄武岩中有的又具枕状构造,表明其形成于水下。上述反映库地蛇绿岩应该形成于弧后盆地—岛弧—弧间盆地的过渡性构造环境中。

3) 在铈同位素地质学中, $\Sigma Nd=0$ 时,岩浆来源于原始地幔; $\Sigma Nd<0$ 表示岩浆来源于地壳; $\Sigma Nd>0$ 则表示岩浆来自亏损的上地幔,且 ΣNd 值越大亏损越强,如现代洋中脊 ΣNd 值大致为10(王中刚等,1989)。库地蛇绿岩基性熔岩的 $\Sigma Nd=1.4\sim 4.4$,平均为2.5(潘裕生,1992),属于弱亏损的上地幔来源。这可能有三种解释:一是基性熔岩来源于一个独立的岩浆库;二是后期变形变质事件使基性熔岩中稀土元素发生迁移;三是基性熔岩幔源岩浆受到大陆壳物质的影响。从本节1)及基性熔岩的 ΣNd 值有一定差异暗示基性熔岩岩浆源不是单一的;蛇绿岩的变质程度仅达低绿片岩相,这又说明后期变质事件对基性熔岩的稀土元素影响较小。因此只能是第三种解释,即库地蛇绿岩中基性熔岩形成于陆壳上的小洋盆地内,该盆地具有类似弧后盆地或陆内裂谷的性质,幔源岩浆受到了陆壳物质的混染。基性熔岩的 $^{87}Sr/^{86}Sr=0.70543\sim 0.70680$,平均为0.70621; $^{143}Nd/^{144}Nd=0.512710\sim 0.512866$,平均为0.512767(表4.1),也反映本区蛇绿岩中基性熔岩的岩浆源受到了陆壳混染。

4) 姜春发等(1992)利用各种地球化学图解对库地蛇绿岩的形成构造环境进行判别。在 $Ti/100-Zr-Y\times 3$ 图解中,所有样品都落在洋中脊玄武岩和火山弧玄武岩区内;Cr-Y图解进一步表明,本地区蛇绿岩中的喷出岩主要为火山弧玄武岩;库地和乌依塔克玄武岩与汤如岛火山弧玄武岩具有相似的MORB标准化模式也支持上述观点;稀土元素资料(姜春发等,1992;李永安等,1995)也证实,本区库地蛇绿中的喷出岩同时具有洋中脊玄武岩和火山弧玄武岩的特征。李曙光(1993)指出,只要一组玄武岩同时落入洋中脊玄武岩和火山弧玄武岩两区,就可以认为该玄武岩具有弧后盆

地玄武岩的特征;世界著名的 East Scotia Sea、Mariana Trough Valu 和 Fa Ridge 弧后盆地玄武岩的研究成果已证实上述观点 (Saunders A. 等, 1979; Volpe A. 等, 1987; Vallier T. 等, 1991); 我国桂北龙胜-三门蛇绿混杂岩的研究成果 (阎明等, 1996) 也得出同样的结论。因此, 库地蛇绿岩形成于弧后盆地构造环境。

5) 库地蛇绿岩中玄武岩的稀土特征表明其既有 LREE 亏损型成分, $(La/Sm)_N = 0.69 \sim 0.95$, $(La/Yb)_N = 0.31 \sim 0.88$, 又有 LREE 富集型成分, $(La/Sm)_N = 1.62 \sim 2.5$, $(La/Yb)_N = 2.09 \sim 3.21$ (姜春发等, 1992)。在蛇绿岩套中, LREE 亏损型基性火山岩可能起源于亏损的洋壳地幔源区, LREE 富集型基性火山岩则起源于受富 LREE 流体交代的地幔源区, 这两种地幔源区一起存在的构造环境一般多为岛弧或弧间盆地环境 (Coish R. A. 等, 1982; Claesson S. 等, 1984)。

6) Dick 等人 (Dick H. J. B and Bullen T, 1984) 计算了各种产状阿尔卑斯型橄榄岩尖晶石的 $Cr^{\#}$, 即 $100Cr/(Cr+Al)$, 并将其母岩橄榄岩划分为三种类型: I 型橄榄岩, $Cr^{\#} < 60$, 大洋深海挖掘的橄榄岩即属此型; II 型橄榄岩, $Cr^{\#} > 60$, 一般与岛弧有关的火山岩有密切的成因联系, 反映了大陆上地幔的特征; III 型橄榄岩的 $Cr^{\#}$ 跨越了 I、II 型的二个范围, 可能反映了过渡性上地幔的特征。笔者计算了 6 组库地蛇绿岩下部橄榄岩尖晶石的电子探针测定数据 (姜春发等, 1992), 其中 5 组数据的 $Cr^{\#}$ 值介于 62.70~67.20 之间, 属 II 型橄榄岩; 仅一组数据的 $Cr^{\#}$ 值为 57.43, 属 I 型橄榄岩。因此库地蛇绿岩应形成于过渡性构造环境, 即弧后盆地—岛弧—弧间盆地环境, 且更靠近岛弧环境, 与前述的结论相吻合。

4.5 小结

通过上面各节的分析, 可以得出如下新结论:

1) 库地蛇绿岩形成于晚元古代早期—晚震旦纪早期 (Pt_3^1 —

Z_2^1), 同位素年龄值为 976.78 Ma~651 Ma。

2) 库地蛇绿岩的岩浆来源为弱亏损的、非单一的上地幔源, 并受到了陆壳物质的混染。

3) 野外地质及岩石化学等证据表明库地蛇绿岩形成于缓慢扩张的条件下, 其成岩构造环境为弧后盆地—岛弧—弧间盆地, 属过渡性构造环境。

5 花岗岩类的岩石学

地球发展的不同阶段,以不同类型的花岗岩化作用为特色(Ханн В. Е., 1991),在西昆仑造山带也不另外。本章主要论述西昆仑造山带不同构造-岩浆活动阶段花岗岩类的岩石学特征。

5.1 Ar_3 — Pt_2^1 构造-岩浆活动阶段(I)

西昆仑造山带 Ar_3 — Pt_2^1 构造-岩浆活动阶段(I)花岗岩类出露较少,分布于西昆北断裂两侧附近的西昆仑北带南部和西昆仑中带北部,岩带呈 NW—SE 及近 EW 向长条状展布,已有同位素年龄区间为 2261 Ma(Pt_1^2)~1500 Ma(Pt_2^1)。岩体规模较小,出露面积几至百余 km²,主要呈岩株、岩脉、岩瘤产出,它们均侵入于元古界变质岩中,多为复式岩体,岩石组合复杂,普遍具片麻状,条带状构造。岩石类型主要有片麻状混合花岗岩、片麻状黑云母二长花岗岩、条痕状混合石英闪长岩-花岗闪长岩等。从 NW 向 SE,主要岩体有米亚断裂西侧(或喀依孜)、托赫塔卡鲁姆山、阿瓦勒克、阿孜别里迪、阿克塔拉、塔达塔克、丘克苏、乔普苏(或雀普河、塔翁)、阿卡孜、他龙北等岩体。下面以阿卡孜岩体作为代表来叙述 Ar_3 — Pt_2^1 构造-岩浆活动阶段(I)花岗岩类的岩石学特征。

阿卡孜片麻状花岗岩分布在新藏公路阿卡孜达坂北侧(路标 90km),大致呈东西向长条状展布,长约 5km,宽约 1km。岩体位于西昆仑中带南缘,北缘侵入下元古界条痕状花岗质混合岩地层中,与围岩逐渐过渡;南缘大部分以近东西向的塞拉加兹断裂与中元古界长城系接触(图 5.1);东部被晚元古界青白口系地层覆盖,在其底砾岩中具有本岩体的砾石(图 5.2)。岩体由灰色片麻状或条

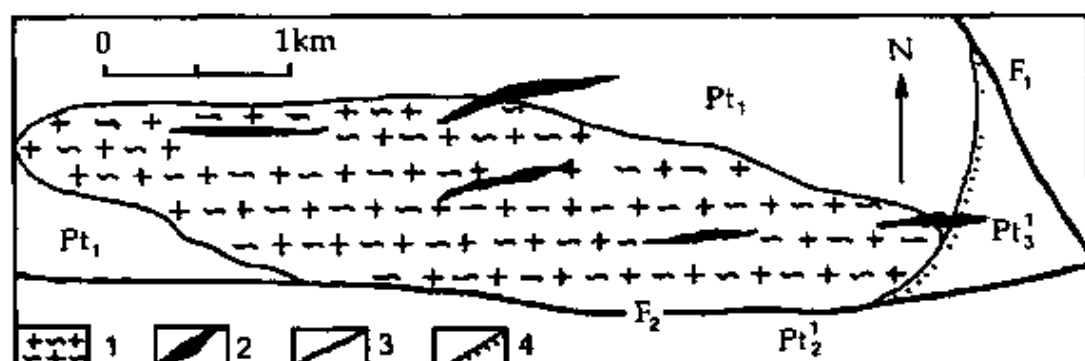


图 5.1 阿卡孜岩体地质构造略图

1. 阿卡孜混合花岗岩; 2. 岩脉或岩墙; 3. 断裂; 4. 不整合;

Pt₃¹—晚元古界青白口系; Pt₂¹—中元古界长城系; Pt₁—下元古界混合岩;

F₁—克孜勒断裂; F₂—塞拉加兹断裂。

带状混合花岗岩组成, 条带构造在露头上表现为红(长石)绿(绿泥

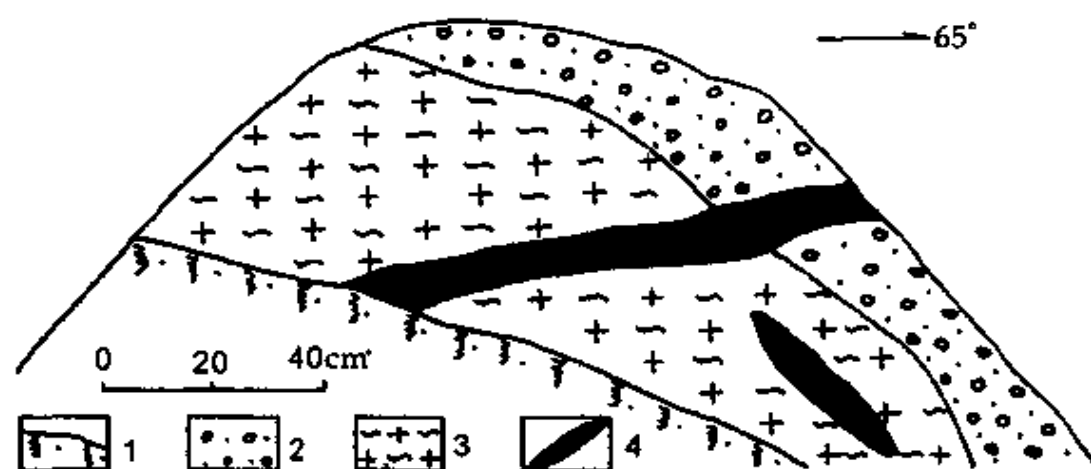


图 5.2 阿卡孜岩体与东部青白口系底砾岩、基性岩脉关系素描图

1. 第四系; 2. 青白口系; 3. 阿卡孜片麻状花岗岩; 4. 基性岩脉

石, 绿帘石)相间或红(长石)黑(黑云母)相间排列。变余不等粒花岗岩结构, 发育蠕虫、净边、交代穿孔及交代蚕蚀结构。主要矿物为斜长石(35%)、钾长石(32%)、石英(25%), 黑云母(6%); 副矿物有

磁铁矿(1%)、锆石(0.5%)、磷灰石和褐帘石(0.5%)等。岩体中常可见有辉长岩质残影体(图 5.3),较多浅色钾长花岗岩、肉红色二长花岗岩岩脉或岩株,辉绿岩岩墙或岩脉,花岗岩、伟晶岩岩脉侵入其中(图 5.2)。

岩体锆石 U-Pb 等时线年龄为 2261 ± 35 Ma (Pt_1^2) (Xu Ronghua 等, 1992; 潘裕生, 1994; 潘裕生等, 1994), 侵入其中的浅色角闪钾长花岗岩岩株、岩脉钾长石 Rb-Sr 法模式年龄为 1508.0 Ma (Pt_2^1), (汪玉珍等, 1980), 全岩 Rb-Sr 年龄为 1408.0 Ma (Pt_2^1)。

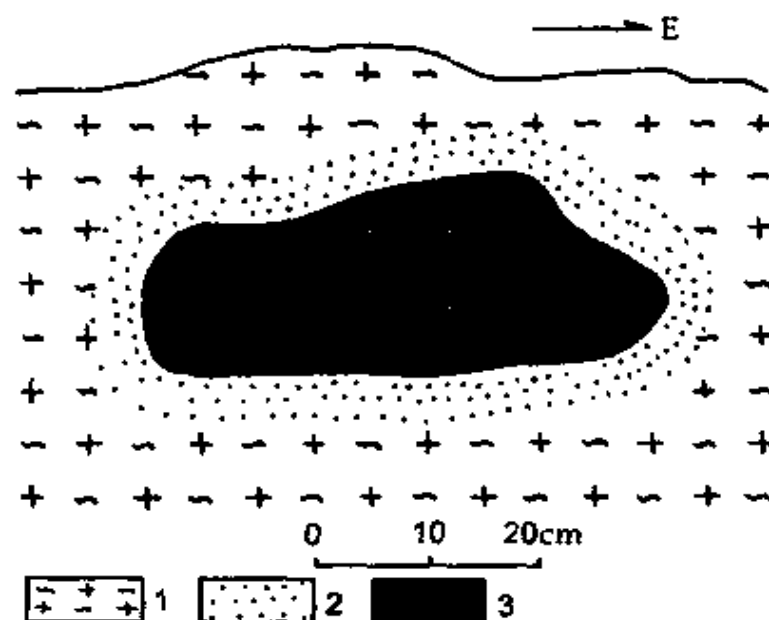


图 5.3 阿卡孜岩体中辉长岩质残影体素描图

1. 阿卡孜片麻状花岗岩; 2. 片麻状花岗岩与残影体过渡区; 3. 辉长质残影体

5.2 Pt_3^1 — P_2 构造- 岩浆活动阶段(Ⅲ)

5.2.1 加里东期

加里东期花岗岩类被严格限定在西昆北断裂与西昆南断裂之间的西昆仑中带, 断续分布达 600km 以上, 宽 10~40km, 出露面

积超过 6100km², 总体上呈 NW—SE 向或近 EW 向展布, 已有同位素年龄区间为 664 Ma(Z₂²)~417.5 Ma(S₃)。除大同乡西(或雀普河下游)岩体为巨大岩基外, 一般规模不大, 出露面积几十至百余 km²; 为小岩基或大岩株。主要岩体有: 128km、库地北、大同乡西(或雀普河下游)、坎地里克、赛图拉、赛图拉北、于田县普鲁村-克里阳达坂、策勒牙门西、塔马尔特等岩体。岩石类型主要为片麻状花岗闪长岩、片麻状花岗岩、条痕状石英闪长岩、黑云母或角闪石钾长花岗岩、似斑状二长花岗岩等。大部分岩体整个或局部(尤其边部)具片麻状构造。岩体中见有较多椭球状闪长质暗色微粒包体(毕华, 王中刚, 1998)。下面以新藏公路 128km 岩体作为代表来叙述 Pt₂¹—P₂ 构造-岩浆活动阶段(Ⅲ)加里东期花岗岩类的岩石学特征。

新藏公路 128km 岩体东部被新藏公路 130.8~136km 路段穿过, 近 EW 向延伸, 长约 11~12km, 宽约 0.5~3km, 整体南倾。岩体普遍见有碎裂现象。根据岩石结构、岩石类型、岩石原生流动构造和岩石原生破裂构造等特征, 岩体可以大致分出中心相和边缘相:

中心相岩石出露广泛, 主体岩石类型为片麻状花岗闪长岩, 中粗粒花岗结构, 片麻状、块状构造。主要成分为斜长石(50%±), 钾长石(15%±), 石英(15%±), 角闪石(10%±), 及少量(<5%)副矿物榍石、磷灰石、磁铁矿、锆石等。角闪石多已绿帘石或绿泥石化。边缘岩石相不均匀地分布在岩体北部和南部的局部地段, 宽度一般为十几米到数百米不等。主体岩石类型为灰绿色似斑状石英二长岩或二长花岗岩, 细粒或中粒似斑状结构, 片麻状、块状构造。岩石原生流动构造角闪石流面、流线及岩石原生破裂构造发育, 在北部边缘相, 流面产状为 165°∠70°; Q 节理产状为 210°∠80°, S 节理产状为 270°∠34°, L 节理产状为 158°∠75°。岩体碎裂明显, 常见有多期岩脉侵入及较多椭球状闪长质暗色微粒包体和少量浅色花岗闪长岩质包体(捕 5.4)。岩石斑晶主要为微斜长

石(10%~20%),自形,一般长约1~3cm,大者可达5cm,定向排列,与流面、流线走向近一致(图5.5),钾长石斑晶中常见有角闪石环带(图5.6),反映了面种矿物形成的先后次序。基质由斜长石(32%~40%)、钾长石(15%~35%)、角闪石(5%~20%)、石英(5%~13%)、黑云母(<5%)等组成。黑云母、角闪石多已绿帘石或绿泥石化,岩体东部边缘蚀变带宽5~25m。

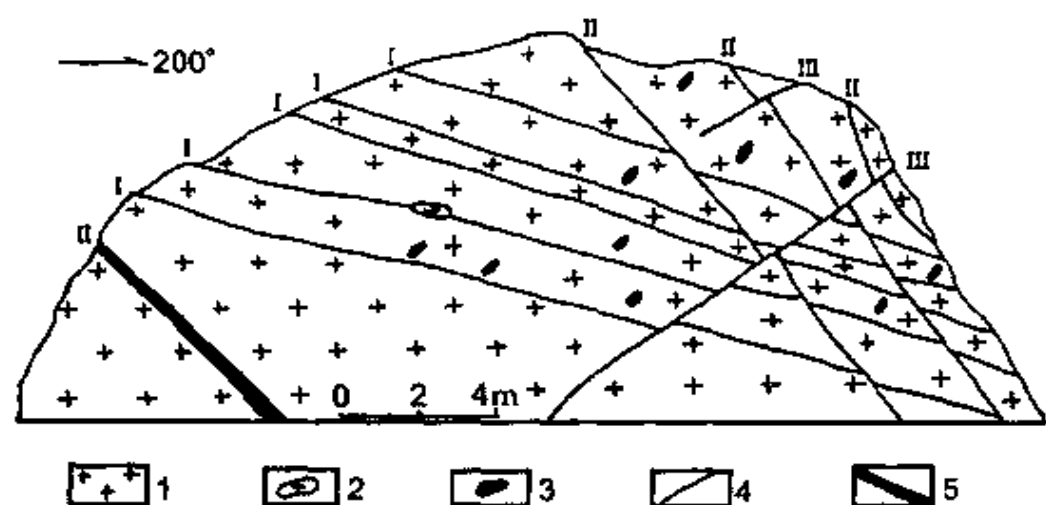


图 5.4 128 岩体 130.8km 处多期岩脉穿插关系素描图

1. 128 片麻状花岗闪长岩; 2. 浅色包体; 3. 暗色微粒包体; 4. 浅色岩脉;
5. 暗色岩脉 I—第一期岩脉, II—第二期岩脉, III—第三期岩脉

128km 片麻状石英二长花岗岩同位素年龄区间为 517.2 Ma (ϵ_2 末)~ $449 \pm 24 \text{ Ma}$ (O_4) (有关具体年龄值及引自文献见表 2.1, 下同)。

5.2.2 海西期

海西期花岗岩类分布在西昆中断裂以北的西昆仑北带和西昆仑中带,但以后者为主,是面昆仑中带重要性仅次于加里东期的又一期花岗岩类。总体上呈 NW—SE 向或近 EW 向展布,已有同位

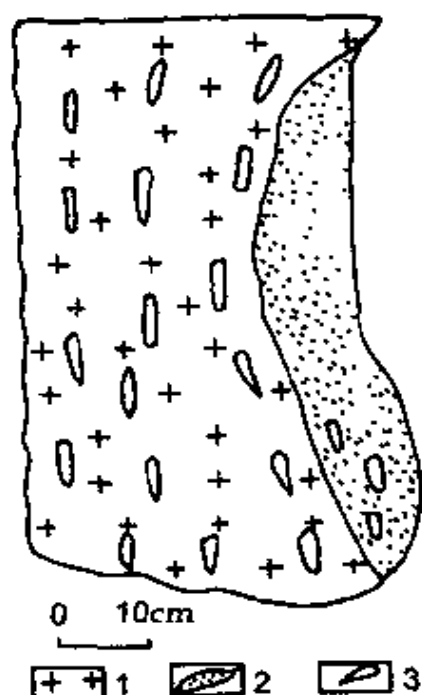


图 5.5 128 岩体边缘相岩石中
钾长石斑晶及辉长岩质残影体
岩石碎块素描图

1. 128 片麻状花岗闪长岩; 2. 辉长岩
质残影体; 3. 钾长石斑晶

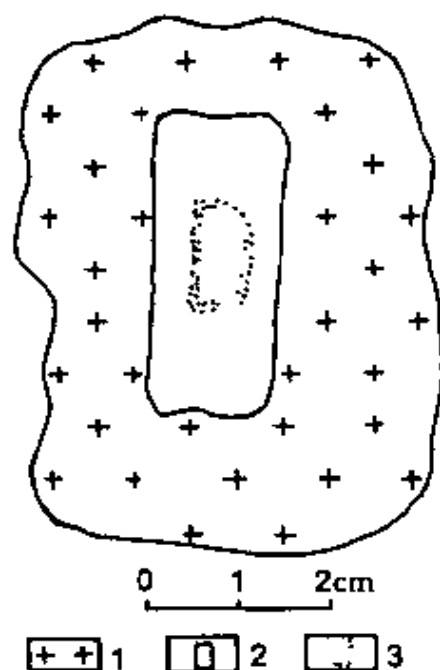


图 5.6 128 岩体边缘相岩石中
钾长石斑晶中角闪石环带
手标本素描图

1. 128 片麻状花岗闪长岩; 2. 钾长
石斑晶; 3. 角闪石环带

素年龄区间为 406.71 Ma (D_1)~254.8 Ma (P_2)。在西昆仑中带, 岩体多以岩基形式产出, 如阿克阿孜山、土日苏河下游北侧、土日苏等岩体, 少数以小岩基、岩株形式产出, 如哈巴克、库地南、139km(或霍峡尔)等岩体; 而在西昆仑北带则主要以小岩基、岩株形式产出, 如扣克巴西南、夏同巴斯康等岩体。岩石类型主要有: 片麻状花岗岩、黑云母二长花岗岩、黑云母钾长花岗岩、黑云母花岗闪长岩等。早期(D)岩体局部具有片麻状构造。下面分别以哈巴克岩体和库地南岩体作为代表来叙述 Pt_3^1 ~ P_2 构造-岩浆活动阶段(Ⅱ)海西期花岗岩类的岩石学特征。

1) 哈巴克岩体 该岩体前人未做任何描述。岩体及其邻近

围岩被哈巴克-神仙湾公路 5km~13km 路段切割,岩体出露宽约 2.2 km,沿西昆中断裂北侧分布,整体北倾。岩体破碎明显,显微镜下普遍可见石英的核幔结构,表明岩石受到了西昆中断裂韧性剪切作用的强烈影响。岩体从岩相上可以分为中粗粒黑云母二长花岗岩中心相和片麻状花岗岩边缘相(图 5.7),边缘相与围岩花岗片麻岩逐渐过渡,其中伟晶岩脉发育,在北部边缘相与围岩花岗片麻岩中伟晶岩脉出露宽度达 2km 左右。。

中心相中粗粒黑云母二长花岗岩,出露宽度约 200~300m,中

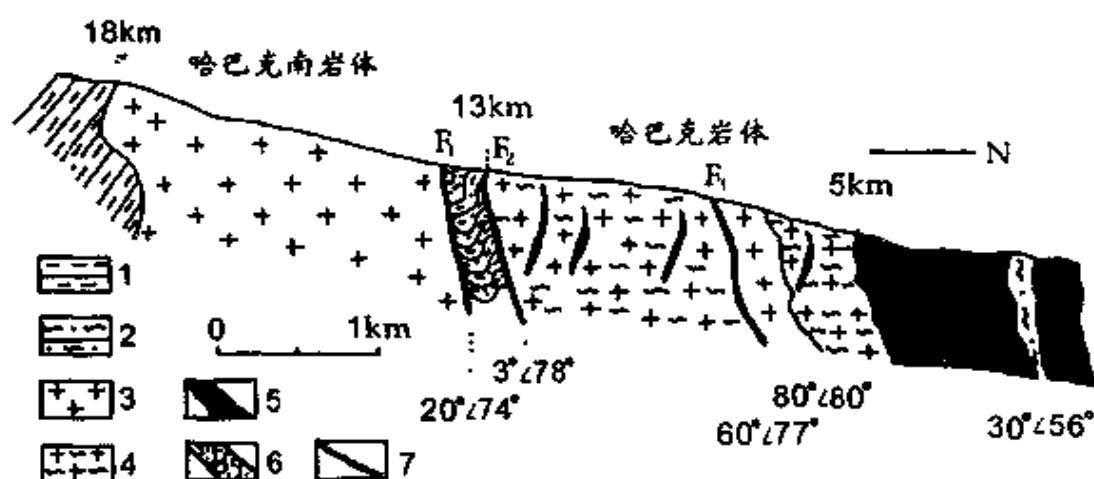


图 5.7 哈巴克南岩体—哈巴克岩体接触带素描图

1. 三叠系泥岩;2. 元古代混合岩;3. 二长花岗岩;4. 片麻状花岗岩;
5. 伟晶岩脉;6. 断层破碎带;7. 断层。

粗粒花岗结构,块状构造。主要矿物组成为条纹长石(19%),微斜长石(18%),石英(29%±),斜长石(21%±),黑云母(11%±)及少量锆石(<1%)、暗色不透明矿物(<1%)等副矿物。岩石中次生包裹体较发育(1%),沿微裂隙及矿物间隙分布,直径 0.03~0.22mm。斜长石具聚片双晶、蠕虫状结构及环带状构造(图 5.8)。岩石中普遍可见石英的核幔结构。

边缘相片麻状花岗岩呈不对称状分布于中心相南北两侧,花岗变晶结构、交代结构,片麻状、块状构造。岩石中石英核幔结构发育(图 5.9)。主要矿物组成为条纹长石(30%),微斜长石(10%),石英(30%),斜长石(16%),黑云母(9%),白云母(5%)及少量副矿物。

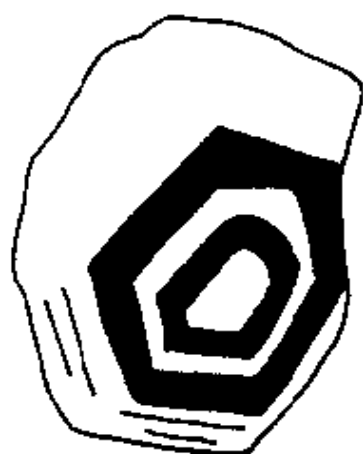


图 5.8 哈巴克岩体中心相岩石中
斜长石环带镜下素描图
[偏光(+), 10×1.6]

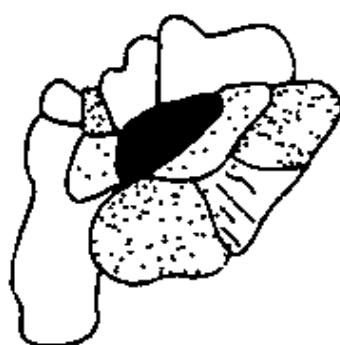


图 5.9 哈巴克岩体边缘相岩石
中石英核幔结构镜下素描图
[偏光(+), 10×6.3]

哈巴克岩体全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 406.71 ± 28.8 Ma (D_1), (本专题组; 图 5.10)。

2) 库地南岩体 岩体被新藏公路 147~151.5km 路段穿过, 岩体北部侵入库地北加里东期片麻状黑云母二长花岗岩中, 两者以一蚀变带相接触(图 5.11), 西南以断裂与胜利桥北侏罗纪花岗闪长岩接触, 西北和东南侧侵入元古代地层中, 岩体与围岩界线清楚, 围岩均已发生绿帘石或绿泥石化等蚀变。岩石类型主要为灰白色、肉红色黑云母钾长花岗岩, 粗-中粗粒花岗结构, 块状构造。主要矿物组成为条纹长石(33%), 微斜长石(25%), 石英(20%), 斜长石(15%), 黑云母(5%)及少量(<2%)锆石、磷灰石、电气

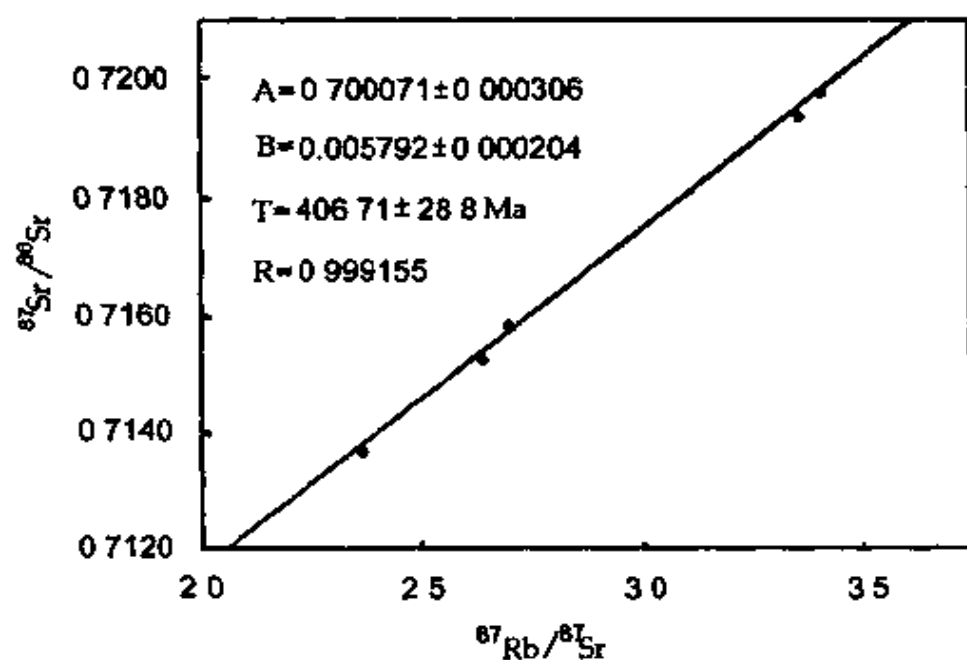


图 5.10 喻北克岩体 Rb-Sr 等时线年龄

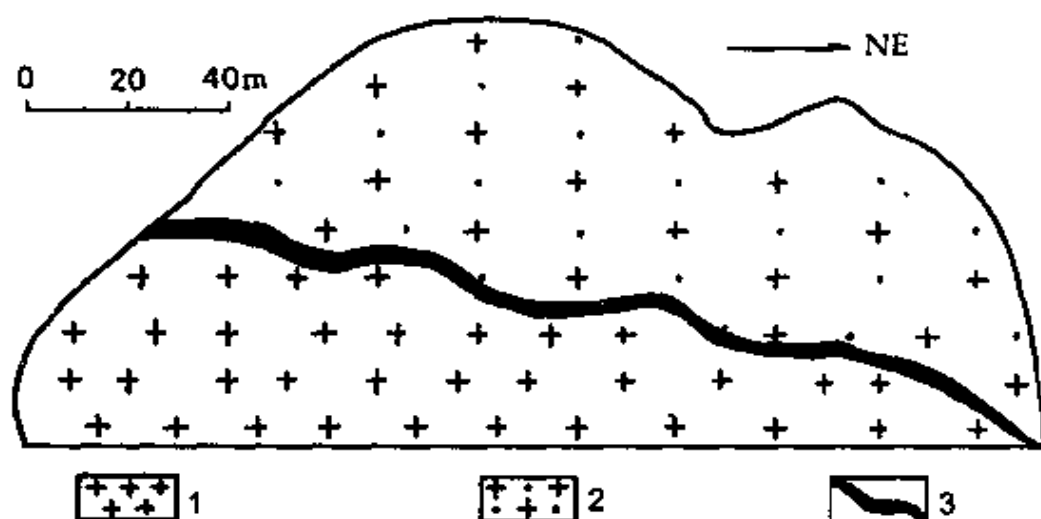


图 5.11 库地南岩体与库地北岩体侵入接触关系素描图

1. 库地南钾长花岗岩; 2. 库地北片麻状二长花岗岩; 3 蚀变带

石、榍石、磁铁矿等副矿物。黑云母、斜长石自形程度较好, 钾长石

次之,石英呈不规则破裂状。黑云母绿泥石化强烈。岩石中原生破裂构造发育,在岩体南部边缘,Q节理产状为 $111^{\circ}\angle 90^{\circ}$,S节理产状为 $70^{\circ}\angle 40^{\circ}$,L节理产状为 $185^{\circ}\angle 82^{\circ}$,它们将岩石切割成规则的长方体-正方体块状。

岩体 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 平均年龄为384 Ma(D_2),锆石 U-Pb 年龄为376 Ma(D_3)(潘裕生等,1994);全岩 K-Ar 年龄 277.63 Ma(P_1), (姜春发等,1992)。

5.3 T_3 -Q 构造- 岩浆活动阶段(V)

5.3.1 印支晚期(T_3)

西昆仑造山带印支晚期(T_3)花岗岩类出露较少,仅限于西昆中断裂与西昆南断裂之间的西昆仑南带,且靠近西昆中断裂分布。整体及个体均呈 NW-SE 向展布,受区域性深大断裂的 NW-SE 向次级分支断裂控制。已有同位素年龄区间为 227.63 Ma(T_3) ~ 211.39 Ma(T_3)。岩体规模较小,除麻扎达拉(或塔西土路克山)岩体为中等岩基外,其它岩体均呈小岩基或岩株产出。主要岩体有:新藏公路 464km 岩体(简称 464 岩体)、麻扎、赛图拉西 331km 路碑一带、三十里营房地区、麻扎达拉(或塔西土路克山)等岩体。岩石类型主要为二云母钾长花岗岩、片麻状黑云母花岗岩、黑云母二长花岗岩、花岗闪长岩等。部分岩体边部具片麻状构造。岩体中见有较多椭球状、球状闪长质暗色微粒包体,大小 $2\times 3\text{cm}\sim 12\times 9\text{cm}$,麻扎岩体中还可以见到浅色花岗闪长质包体。下面以新藏公路 464km 岩体作为代表来叙述 T_3 -Q 构造- 岩浆活动阶段(Ⅱ)印支晚期(T_3)花岗岩类的岩石学特征。

新藏公路 464km 岩体前人仅进行了简单的工作,认为是燕山早期第二次侵入岩体,定其名为花岗闪长岩(新疆地质矿产局第一区调大队四分队,1983)。但是,这与我们实地考察及室内研究结果

不符。

新藏公路 464km 岩体分布于西昆仑南带,位于西昆中断裂与大红柳滩断裂交汇处(图 3.1),东北部被新藏公路 462km~469km 路段穿过,北西端以一出露宽约 200m 的伟晶岩脉与元古代云母片岩接触,东南则被晚三叠世(尹集祥,边千韬,1995)蚀变

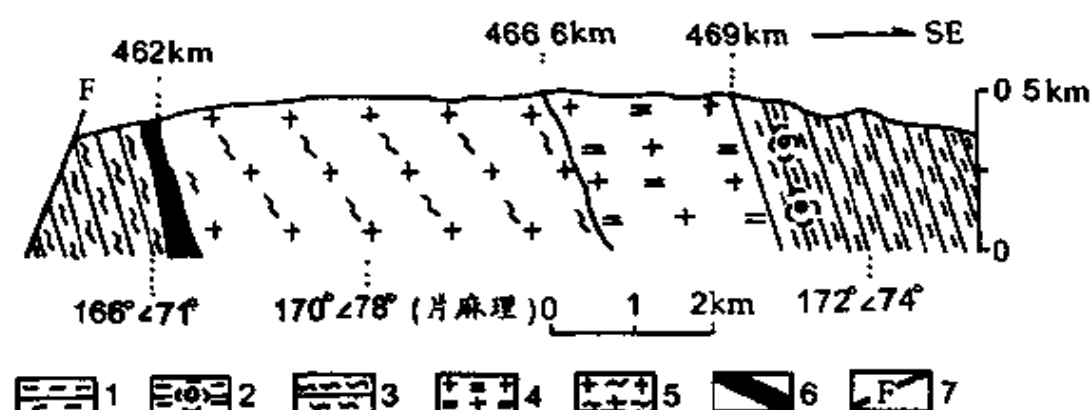


图 5.12 新藏公路 464km 岩体值手剖面素描图

1. 晚三叠系泥岩; 2. 晚三叠系蚀变泥岩; 3. 元古代云母片岩; 4. 二云母钾长花岗岩;
5. 片麻状黑云母花岗岩; 6. 伟晶岩脉; 7. 西昆仑中部断裂。

泥岩、泥岩覆盖(图 5.12),因此,东南部岩体边界无法看到。根据岩石类型、结构、构造等特征,岩体可以分出中心相和边缘相。

岩体东北部中心相被断藏公路 466.6km~469km 路段穿过,岩石类型为二云母钾长花岗岩,中粗粒花岗结构,块状构造。主要矿物组成为条纹长石(29%),石英(26%),微斜长石(16%),斜长石(15%),黑云母(7%),白云母(5%)及少量副矿物柳钙石(<1%)、金红石(<1%)等。云母自形程度较好,斜长石次之,钾长石呈不规则粒状,石英为它形较状;微斜长石的格子双晶、条纹长石的条纹结构非常典型,前者表面干净,后者高岭土化强烈,面斜长石表面绢云母明显;云母边缘熔微现象显著。

边缘相仅出露于中心相的西北部,被新藏公路 462km~

466.6km 路段穿过,东南部由于被晚三叠世(尹集样,边千韬,1995)蚀变泥岩、泥岩覆盖,未见出露。岩石类型为片麻状黑云母花岗岩,花岗变晶结构、交代结构,片麻状、块状构造。主要矿物组成为石英(25%),斜长石(20%),条纹长石(18%),微斜长石(12%),黑云母(12%),白云母(2%)及少量副矿物磷灰石(<1%)等。斜长石自形程度较钾长石好,聚片双晶发育,且在同一颗粒中可以见到两个方向的聚片双晶(图 5.13);黑云母边缘熔融现象显著;条纹长石、斜长石沿裂隙蚀变强烈。

新藏公路 464km 岩体全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 $220.82 \pm 20.8 \text{ Ma}(T_3)$ (本专题组)(图 5.14)。

5.3.2 燕山早期(J)

燕山早期(J)花岗岩类在西昆仑断裂以北的西昆仑北带、中带和南带均有分布,但主要分布于西昆仑南带,其次是西昆仑中带,西昆仑北带仅见有卡克雷姆岩体。西北部岩体主要受区域性深大断裂控制,东南部岩体则主要受区域性深大断裂的 NW—SE 向次级分支断裂控制。

已有同位素年龄区间为 $207.8 \text{ Ma}(J_1) \sim 156.8 \text{ Ma}(J_1)$ 。NW 部岩体比 SE 部的岩体规模要大,主要以大-小岩基形式产出,西 SE 部岩体则一般以小岩基、岩株形式产出。岩石类型主要为黑云母二长花岗岩,还有少量花岗闪长岩等。少数受区域性深大断裂控制的岩体,如慕士塔格岩体整体、黑卡岩体局部具有片麻状构造。

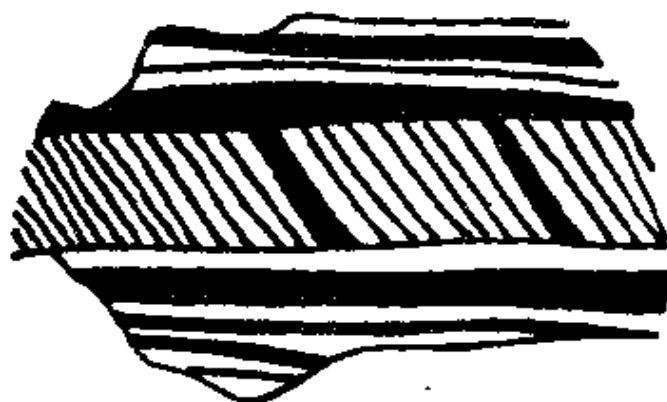


图 5.13 464 岩体边缘相岩
石中斜长石两个方向的聚
片双晶镜下素描图
[偏光(+), 10×6.3]

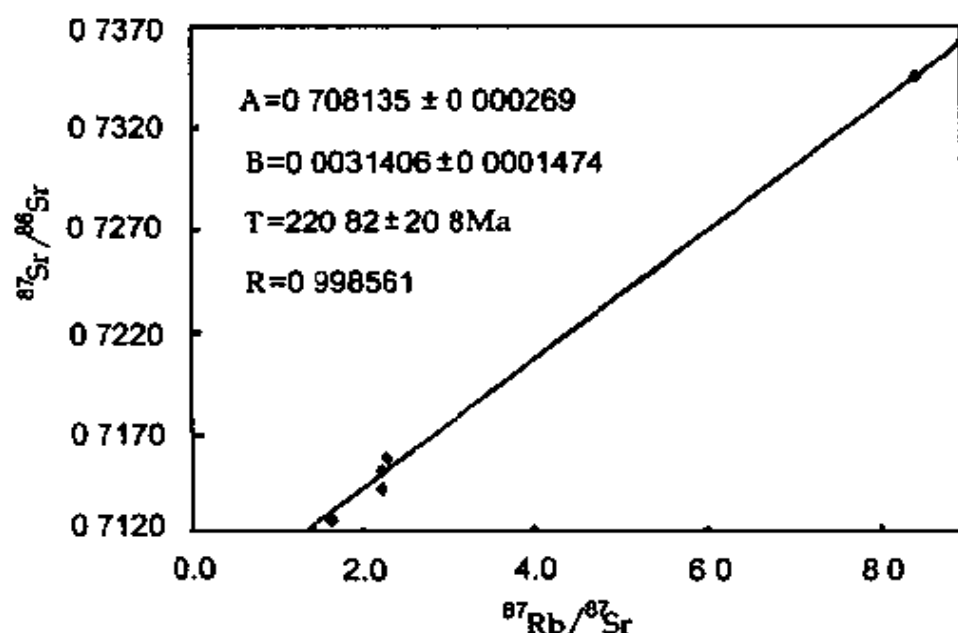


图 5.14 新藏公路 464km 岩体 Rb-sr 等时线年龄

主要岩体有：卡克雷姆、库地西、胜利桥北西 10km、胜利桥北 1.5 km(或徐结矮艾子)、赛力亚克达坂西、黑卡兵站北 15km、麻扎兵站西、慕士塔格、求库台、国庆桥南、大红柳滩、509 道班、南屏雪山等岩体。岩体中闪长质暗色微粒包体发育，除椭球状、球状外，还有不规则状，包体大小较悬殊， $5 \times 3 \text{ cm} \sim 50 \times 30 \text{ cm}$ 不等。下面以新藏公路 509km 道班岩体作为代表来叙述 T_3 — Q 构造-岩浆活动阶段(Ⅲ)燕山早期(J)花岗岩类的岩石学特征。

新藏公路 509km 道班岩体分布于大红柳滩断裂北东侧，新藏公路 510km~516km 路段可以见其完好露头，西南侧以大红柳滩断裂与大红柳滩岩体接触，其它各侧岩体侵入晚三叠世地层中(图 5.15)。岩石类型单调，为黑云母二长花岗岩，二长结构，块状构造。主要矿物组成为斜长石(40%)，石英(22%)，钾长石(25%)，黑云母(10%)及少量(<3%)磷灰石、榍石等副矿物。黑云母、斜长石自形程度较好，钾长石次之，石英呈不规则破裂状。斜长石具环带结构、聚片双晶；钾长石呈不规则状，常围绕斜长石边缘分布；磷灰石呈长针状。岩体中闪长质暗色微粒包体发育，岩体边缘尤为如此，

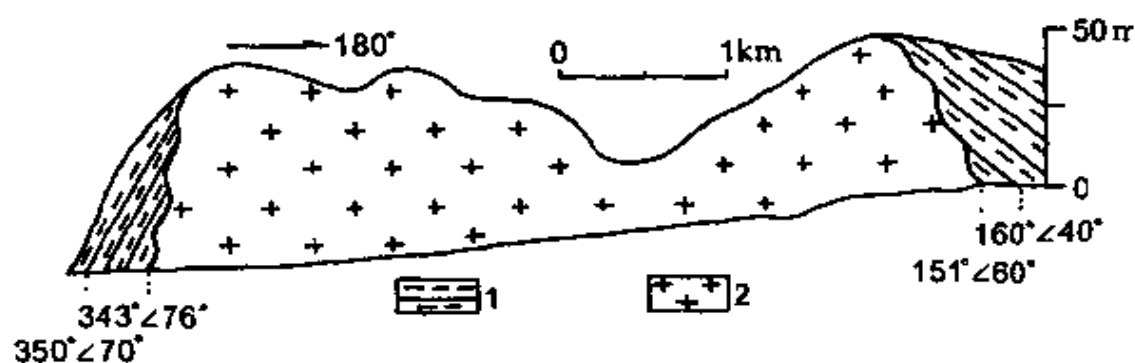


图 5.15 新藏公路 509km 道班岩体与道岩接触关系路线剖面素描图

1. 晚三叠世泥岩；2. 509km 黑云母二长花岗岩

且定向排列，与角闪石、黑云母流线、流面排列近一致(图 5.16)，包体大小一般为 20x30cm，多为椭球状、球状，少数为不规则状(图 5.17)，部分包体中含有长石斑晶，包体与主岩界线清楚。围岩蚀变强烈(角岩化)。

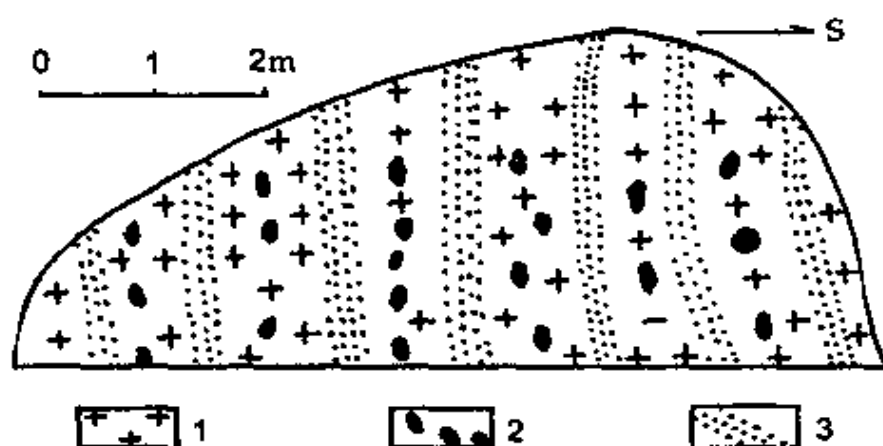


图 5.16 509 道班岩体南部边缘暗色道班岩体与流纹、流面暗色岩

1. 二长花岗岩；2. 暗色微粒包体；3. 角闪石和黑云母

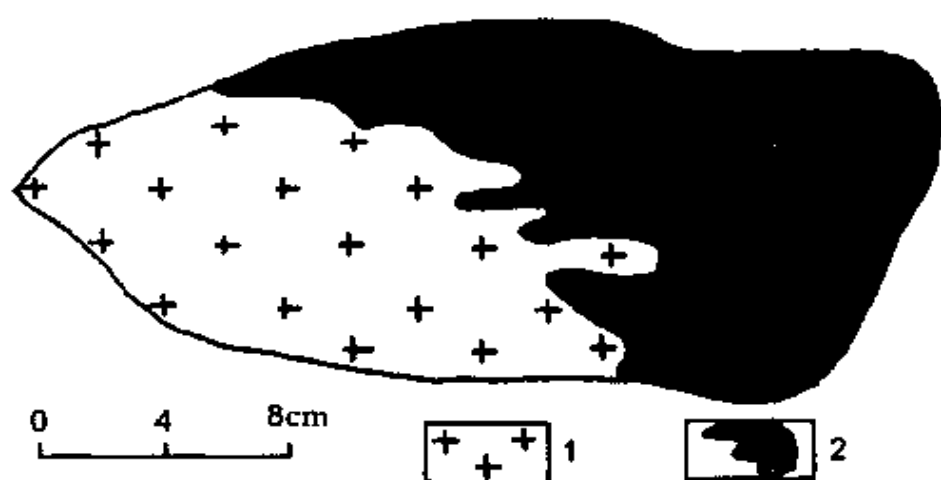


图 5.17 509 道班岩体中不规则状暗色微粒包体手标本素描图

1. 二长花岗岩 2. 暗色微粒包体

509 道班黑云母二长花岗岩黑云母 K-Ar 年龄为 172.23 Ma (J_2)、169 Ma (J_2)，(新疆地质矿产局第一区调大队四分队, 1983)。

5.3.3 燕山晚期(K)

燕山晚期花岗岩类是研究区一期重要的花岗岩类, 分布于西昆中断裂以南的西昆仑南带和帕米尔-喀拉昆仑带, 其中以后者分布最广。西部受西昆南断裂、西金乌兰湖断裂等区域性深大断裂控制明显, 东部则主要受区域性深大断裂的 NW—SE 向次级分支断裂控制, 多以大岩基形式产出。已有同位素年龄区间为 117.2 Ma (K_1) ~ 66.6 Ma (K_2)。主要岩石类型为黑云母二长花岗岩, 还有少量黑云母闪长花岗岩、花岗闪长岩、二云母花岗岩等。主要岩体有: 塔吐鲁沟东、康西瓦南(或俘虏沟)、考他孜达坂东 11km、塔什库尔干、罗布盖孜、阿提牙衣勒、明铁盖、红旗拉甫、阿格勒达坂北 4km、塔吐鲁沟西、沙雷克塔格(或叶尔羌河上游卡帕浪苏西)、克勒青河上游西等岩体。下面以中巴公路红旗拉甫岩体作为代表来叙述 T_3 —Q 构造-岩浆活动阶段(Ⅲ)燕山晚期(K)花岗岩类的岩石学特征。

红旗拉甫岩体位于中巴公路中国与巴基斯坦两国交界附近,受塔什库尔干断裂和明铁盖断裂双重控制,呈 NW—SE 向的倒“L”型展布,以岩基形式产出。岩石类型单一,为黑云母二长花岗岩,细粒-中粗粒结构,块状构造。主要矿物组成为钾长石(31%),斜长石(30%),石英(26%),黑云母(11%)及少量(<2%)榍石、锆石等副矿物。在岩体边缘,常分布有巨斑状二长花岗岩,其长石斑晶长度可达 5~10cm,呈长板状,晶体完好,常定向排列。岩体中闪长质暗色微粒包体发育,多为椭球状、球状,但大小较悬殊,有的呈乳滴状,直径约 1~2cm,定向排列。一般大小为 7×5cm~14×9cm。

红旗拉甫黑云母二长花岗岩黑云母 K-Ar 年龄为 110.90 Ma (K_1)(新疆地质矿产局第二地质大队,1985)。

5.3.4 喜山期(Kz)

喜山期(Kz)花岗岩类出露较少,有两大岩石类型,第一类为非碱性花岗岩类,分布于西昆南断裂与西金乌兰湖断裂之间的帕米尔-喀拉昆仑带,受区域性深大断裂的 NW—SE 向次级分支断裂控制明显,主要岩体有乔戈里峰西侧黑云母闪长花岗岩、卡英代-卡尔巴生花岗闪长岩-二长花岗岩,均以大岩基形式产出,已有同位素年龄区间为 56.3 Ma(E_2)~9.80 Ma(N_1)。第二类为富碱侵入岩,分布于塔什库尔干断裂东、西两侧,主要岩体有苦子干、赞坎等富碱侵入岩及塔合曼碱性花岗岩,前二者以小岩基形式产出,后者以岩株形式产出,已有同位素年龄区间为 54 Ma(E_2)~3 Ma(N_2)。下面分别以苦子干富碱侵入岩和卡英代-卡尔巴生岩体作为代表来叙述 T₃—Q 构造-岩浆活动阶段(Ⅲ)喜山期(Kz)花岗岩类的岩石学特征。

1) 苦子干富碱侵入岩 岩体位于塔什库尔干县城以西约 7km 处,分布于塔什库尔干断裂两侧,卡克军用公路 6.4 km~15.3 km 路段从岩体北端穿过。岩体呈 NNW—SSE 向展布,以小岩

基形式产出。岩体侵入二叠纪地层中,与围岩界线清楚,西侧在军用公路 15.3 km 处以一受断层控制出露宽约 20~30m 的安山玢岩与二叠系混合岩接触,东北部被卡英代-卡尔巴生二长花岗岩侵入。岩体总体东倾,内部由于粒度、色调等因素的变化,似乎有似层状构造,产状为 $80^{\circ}\angle 26^{\circ}$ 。前人一般认为其岩石类型为霓辉正长岩(新疆地质矿产局第二地质大队,1985;姜春发等,1992;丁道桂等,1996),但通过野外细致工作和室内岩矿鉴定及电子探针分析,发现岩石中并不含有碱性矿物,岩石中的辉石为透辉石(表 5.1),即岩石类型应为透辉正长岩,还有少量碱性花岗岩。岩体自西向东可以分为 a、b、c、d 四个岩相带(图 5.18),总体上自西向东,岩石粒度由粗到细,透辉石含量由多到少发生变化:

表 5.1 苦子干透辉正长岩透辉石化学成分(%)

样号	矿物	FeO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	SiO ₂
KRBS-5	透辉石	19.10	0.71	5.57	0.21	0.19	5.77	14.76	50.81

- a. 深灰色中粗粒透辉正长岩(军用公路 15.3 km~14.6 km);
- b. 深灰色中细粒透辉正长岩(军用公路 14.6 km~13.6 km);
- c. 肉红色细粒透辉正长岩及少量碱性花岗岩(军用公路 13.6 km~9.5 km);
- d. 灰白色细粒透辉正长岩(军用公路 9.5 km~6.4 km);

岩石细粒-中粒粒半自形粒状结构,块状构造。主要矿物组成为正长石(50%~70%),透辉石(5%~30%),石英(5%~10%),斜长石(5%)及少量萤石(<2%)、长条状榍石(<1%)和粒状磷灰石(<1%)等副矿物。岩体中闪长质暗色微粒包体发育,深灰色中粗粒透辉正长岩中尤为如此,暗色微粒包体以析离体为主,还有冷凝边包体、残浆包体、不混溶包体等,析离体形状较规则,多为球状、椭球状,矿物粒度也较主岩粗大,个体也较大,一般大小为 $4\times 3\text{cm}\sim 12\times 10\text{cm}$;其它类型包体多呈不规则状,个体较

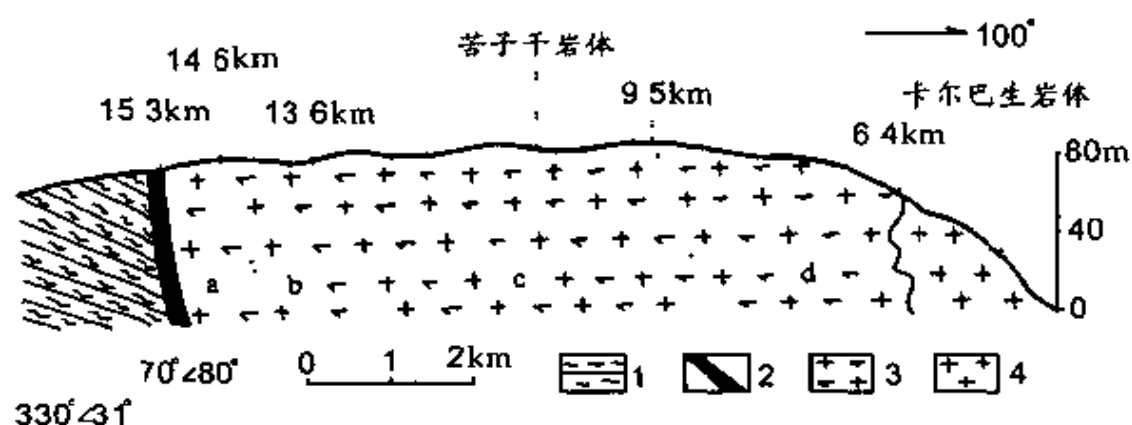


图 5.18 苦子干岩体信手剖面素描图

(a、b、c、d 代表内容同文字部分)

1. 二叠系混合岩; 2. 安山玢岩脉; 3. 富碱侵入岩; 4. 二长花岗岩

小, 一般大小为 $2 \times 1\text{cm} \sim 6 \times 4\text{cm}$ 。

目前, 有关苦子干岩体的同位素年龄测得较多, 但差别较大, 如早期透辉正长岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 $54\text{ Ma}(\text{E}_2)$, 晚期含透辉石花岗岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 $18\text{ Ma}(\text{N}_1)$ (张玉泉、谢应雯, 1994); 富碱侵入岩 K-Ar 年龄为 $48 \sim 11\text{ Ma}(\text{E}_2 - \text{N}_1)$ (潘裕生, 1992; 张玉泉、谢应雯, 1997); 透辉正长岩全岩 K-Ar 年龄为 $33.6 \pm 0.7\text{ Ma}(\text{E}_3)$, 长石 K-Ar 年龄为 $18.05\text{ Ma}(\text{N}_1)$ (新疆地质矿产局二大队, 1995); 透辉正长岩同位素年龄为 $13\text{ Ma}(\text{N}_1)$, 花岗岩同位素年龄为 $11\text{ Ma}(\text{N}_1)$ (李永安等, 1997)。国家科技攻关 305 项目 96-915-06-05 专题组所测的几条全岩 Rb-Sr 等时线年龄中 (图 5.10, 图 5.14 等), 唯有苦子干岩体的全岩 Rb-Sr 等时线年龄 (图 5.19) 拟合得最差, 拟合年龄为 $15.041 \pm 14.26\text{ Ma}(\text{N}_1)$, 拟合系数为 0.901593 , 其它几条 Rb-Sr 等时线年龄的拟合系数为 $0.998561 \sim 0.99998$, 而这几条 Rb-Sr 等时线年龄的测试单位和测试人都是同一个。这一方面可能反映了苦子干岩体组成的复杂性, 另一方面也可能反映其形成时代的多阶段性。但不管怎样, 上述同位素年龄均在新生代始新世 (E_2) 至中新世 (N_1) 之间。

2) 卡英代-卡尔巴生岩体 岩体位于塔什库尔干至穹卡拉

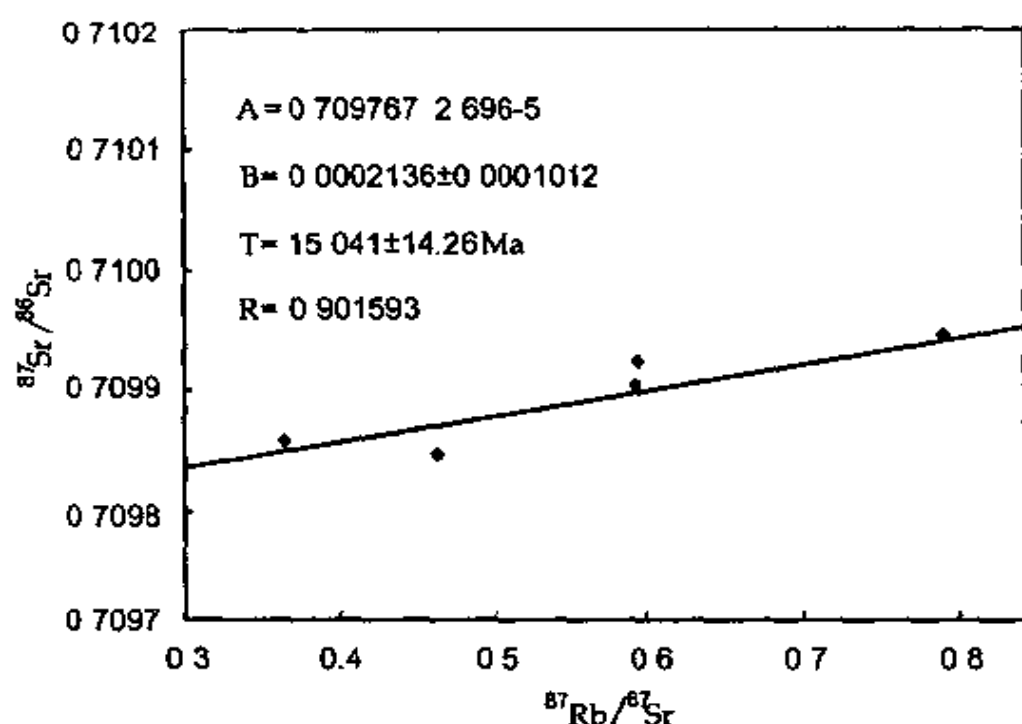


图 5.19 苦子干岩体全岩 Rb-Sr 等时线年龄

苏公路以西,沙里阔勒分水岭南段,卡英代山到卡日巴生塔格山一带。岩体呈不规则带状, NW—SE 向展布,长约 90km,宽 10~35km。岩体东界被第四系掩盖,南端侵入苦子干岩体中,西侧以断层与二叠纪地层接触,北端侵入元古界地层中。根据岩石类型、结构和构造,卡英代-卡尔巴生岩体可以分为中心相和边缘相。

中心相为灰白色似斑状二长花岗岩,似斑状结构,块状构造。斑晶为肉红色、白色短柱状自形的钾长石,分布不均,含量 20%~50%,大小 $1 \times 0.5 \text{ cm} \sim 4 \times 2 \text{ cm}$,还有少量石英斑晶(<5%),斑晶微斜长石具双晶纹构造,在与斜长石接触处有蠕石英出现,并有斜长石被包裹其中,说明有交代作用发生。基质为半自形晶粒结构,由斜长石(25%~15%)、石英(15%~25%)、黑云母(4%~7%)及少量(<3%)磁铁矿、榍石、磷灰石、锆石、电气石、褐帘石、金红石、方铅矿等副矿物组成。

边缘相为灰白色、浅红色黑云母二长花岗岩、花岗闪长岩,中

细粒花岗结构,块状构造。主要矿物组成为斜长石(45%~50%)、钾长石(25%~30%)、石英(20%)、黑云母(3%~5%)、角闪石(1%),还有少量(<3%)磁铁矿等不透明矿物、榍石、磷灰石、铀钍矿、锆石等副矿物。岩体中可以见有少量球状、椭球状及不规则状闪长质暗色微粒包体,大小一般为 $6\times 4\text{cm}\sim 10\times 7\text{cm}$ 。

卡英代-卡尔巴生北部黑云母花岗闪长岩黑云母 K-Ar 年龄为 17.2 Ma(N_1),南部二长花岗岩重结晶黑云母 K-Ar 年龄为 9.80Ma(N_1)(新疆地质矿产局第二地质大队,1985)。

5.4 小结

从上面各构造-岩浆活动阶段花岗岩类的岩石学特征可知,从元古代到新生代,西昆仑造山带花岗岩类的岩石学特征具有以下演化规律:

1) 花岗岩类的岩石类型在印支期以前较复杂,以中酸性花岗岩类为主,如花岗闪长岩、石英闪长岩等,酸性花岗岩类为辅,如黑云母二长花岗岩、钾长花岗岩等。印支期及其以后各期花岗岩类正好相反,即以酸性花岗岩类为主,中酸性花岗岩类为辅,岩石类型较简单,燕山期、喜山期花岗岩类尤为如此,在喜山期还出现一些富碱侵入岩。即以印支运动为界,总体上从老到新,花岗岩类的岩石类型从复杂到简单,从中酸性花岗岩类向酸性花岗岩类、富碱侵入岩类演化。

2) 海西期以前的花岗岩类普遍具有片麻状构造,是区域变质作用所致;海西期、印支晚期花岗岩类有些岩体边缘相具片麻状构造,且往往与深大断裂有关,即是动力变质作用的结果;而燕山期、喜山期花岗岩类基本见不到片麻状构造。即以印支运动为界,总体上从老到新,花岗岩类的片麻状构造由整体到局部到没有,片麻状构造的成因类型由区域变质作用成因向动力变质作用成因转化。

3) 以印支运动为界,从元古代到新生代,花岗岩类中副矿物种类由简单到复杂,颜色由深向浅发生变化。元古代花岗岩类中,锆石、水锆石、钼居石含量高,锆石多为紫色、褐紫色,有浑圆状锆石出现;加里东期—海西期花岗岩类中,榍石、褐帘石含量高,锆石多为浅紫色和褐紫色,少数为肉红色,晶形完整,含气液包裹体;印支晚期—喜山期花岗岩类中出现挥发份矿物和多金属矿物,榍石、褐帘石、磷灰石、锆石含量高,锆石为肉红色、粉红色、玫瑰红色、紫红色、棕褐色,晶形完整,含气液、磷灰石、角闪石、黑云母、电气石、和小锆石包裹体(新疆地质矿产局第一区调大队四分队,1983;新疆地质矿产局第二地质大队,1985)。

4) 加里东期、海西期、燕山期花岗岩类发育,且规模较大,多呈大岩基形式产出;元古代、印支晚期、喜山期花岗岩类不太发育,除喜山期非碱性花岗岩类为大岩基形式产出外,其它岩体规模较小,往往呈小岩基、岩株,甚至岩瘤产出,且印支晚期及其以后各期西部岩体的规模比东部的要大。

5) 岩体中闪长质暗色微粒包体的成因类型、形状、大小总体上以印支运动为界,从元古代到喜山期,逐渐变得复杂。元古代花岗岩类中,暗色微粒包体多为残影体,球状为主,大小较均一;加里东期—海西期花岗岩类中,暗色微粒包体主要为残影体、不混溶包体,形状主要为球状、椭球状,大小也较均一;印支晚期—喜山期花岗岩类中,暗色微粒包体种类有不混溶包体、冷凝边包体、残浆包体、析离体等(马昌前等,1994),包体形状多变,既有球状、椭球状,又有不规则状,包体大小往往差别较大。

6) 加里东期—海西期花岗岩类中,原生破裂构造发育,而其它各期花岗岩类中则不发育。

7) 海西期及其以前各期花岗岩类主要受区域性深大断裂控制,而印支晚期—喜山期花岗岩类受双重构造控制,即西部大岩基主要受区域性深大断裂控制,而东部小岩基、岩株、岩瘤则往往受区域性深大断裂的次级分支断裂控制。

8) 苦子干透辉正长岩,并非前人所认为的霓辉正长岩,岩石中不含碱性矿物,如碱性辉石、霞石等。

6 花岗岩类的岩石化学

岩石化学成分是研究花岗岩类地球化学很重要的方面,对探讨花岗岩类的成因、演化、物质来源、成矿、形成构造环境等都具有重要的意义。在西昆仑造山带,前人已经获得一些花岗岩类的岩石化学数据,本章精选了前人部分岩石化学资料,补充测试了各不同构造-岩浆演化阶段代表性花岗岩类岩体的岩石化学成分。

6.1 $Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(I)

$Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(I)元古代(Pt)花岗岩类化学成分平均值(表 6.1、6.2)与中国花岗岩化学成分平均值(黎彤等, 1963)相比, TiO_2 、 FeO 、 MgO 、 CaO 、 K_2O 含量较高,而 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Na_2O 含量较低, Al_2O_3 、 MnO 含量相等。与同时期围岩混合岩相比,两者化学成分平均值较接近,但 TiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MnO 、 Na_2O 、 K_2O 、 H_2O 、 P_2O_5 含量略偏低, SiO_2 、 FeO 、 MgO 、 CaO 、 H_2O^+ 略偏高;另从该阶段花岗岩类与其同时期围岩混合岩界线不清,呈逐渐过渡的关系反映元古代花岗岩类是其同时期围岩花岗岩化的产物,但在花岗岩化过程中,伴随有 SiO_2 、 MgO 、 CaO 、结晶水 H_2O^+ 的富集及其它成分向围岩混合岩的迁移;从 FeO 较围岩含量高而 Fe_2O_3 较围岩含量低又反映围岩比花岗岩类遭受了较强的氧化作用。

西昆仑造山带元古代花岗岩类主要为正常类型 [$A = (K_2O + Na_2O + CaO) / Al_2O_3$ (分子数) > 1 , $B = (K_2O + Na_2O) / Al_2O_3$ (分子数) < 1] 和铝略过饱和类型 (A 接近于 1, 但略小于) (邱家骥, 1991)。

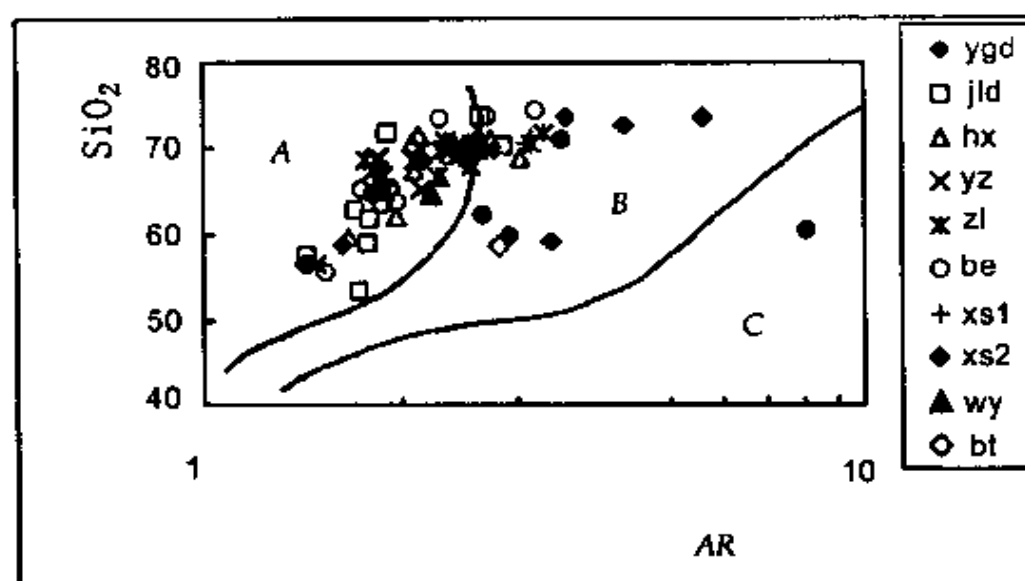


图 6.1 AR-SiO₂与碱度关系图(J. B. Wright, 1969)
 A 钙碱性岩系; B. 碱性岩系; C. 过碱性岩系; ygd—元古代花岗岩类;
 jld—加里东期花岗岩类; hx—海西期花岗岩类; yz—印支期花岗岩类;
 zl—侏罗纪花岗岩类; be—白垩纪花岗岩类; xs1—喜山期非碱性花岗岩类;
 xs2—喜山期碱性岩; wy—元古代围岩; bt—喜山期碱性岩中暗色微粒包体。

在 AR-SiO₂ 与碱度关系图(图 6.1)上, SiO₂ 含量大于 70% 的三个片麻状花岗岩样品(AKZ-28、*1、*4, 它们的 AR 值分别为 4.27、5.57、3.53)分布在碱性岩系区, 其它样品分布在钙碱性岩系区, 即碱度与 SiO₂ 含量近成正比; 而里特曼指数 δ (A Rittmann, 1957, 1970) 介于 1.42~3.17 之间, 平均为 $2.22 < 3.3$, 应全部为钙性岩系 ($\delta < 1.8$) 和钙碱性岩系 ($\delta = 1.8 \sim 3.3$)。但由于里特曼指数对于 SiO₂ 含量小于 42% 的岩石可分性差; 对于 SiO₂ 含量大于 70% 的岩石, 划分碱度的精度较差(邱家骥, 1991)等原因, 故对于 SiO₂ 含量大于 70% 的花岗岩类, 划分碱度以 AR-SiO₂ 与碱度关系图为准。

从上述及表 6.1、表 6.2、图 6.1 可知, Ar₃-Pt₂¹ 构造-岩浆活动阶段元古代混合花岗岩 SiO₂ 含量为 67.76%~73.8%, 较花岗闪长岩、石英闪长岩的 SiO₂ 含量(分别为 58.72% 和 56.57%)要

表 6.1 西昆仑造山带花岗岩类岩石化学成分(%)

序号	样品号	地质时代	岩体名称	岩石名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O+H ₂ O-	P ₂ O ₅	CO ₂	总量	
1	AKZ-6	I	阿卡孜	片麻状花岗岩	66.7	0.27	14.69	1.35	1.85	0.09	0.7	1.4	2.92	6.1	0.7	0.05	0.12	99.14	
2	AKZ-28	I	阿卡孜	片麻状花岗岩	72.82	0.1	13.03	0.62	1.28	0.06	0.6	1	2.21	6.5	1.07	0.09	0.05	99.43	
3	*1	I	阿卡孜	片麻状花岗岩	73.8	0.18	12.25	1.4	1.05	0.03	0.47	0.7	2.56	6.45		0.02		98.91	
4	*2	I	托素卡鲁山	片麻状花岗岩	58.72	0.44	15.49	2.44	3.95	0.18	2.26	5.8	2.51	3.19				94.98	
5	*3	I	阿瓦提克	片麻状花岗岩	56.57	1.17	16.14	1.07	5.86	0.1	3.67	7.32	2	2.96				96.86	
6	*4	I	阿瓦提克	片麻状花岗岩	73.76	0.31	12.41	0.55	2.17	0.04	0.27	1.2	2	5.6				98.31	
7	*5	I	塔达塔克	片麻状花岗岩	67.76	0.5	15.77	0.66	2.98	0.03	1.43	3.88	3.83	2.1				98.94	
平均		I			67.45	0.42	14.25	1.18	2.73	0.08	1.34	3.04	2.58	4.70	0.89	0.07	0.06	98.08	
	AKZ-31	I	阿卡孜	混合岩-围岩	64.78	0.69	14.46	2.83	2.47	0.12	1.11	2.2	3.11	5.3	0.87	0.09	0.17	99.01	
8	*6	II	坎通盖克	片麻状花岗岩	70.41	0.3	14.38	1.5	2.08	0.05	1.68	1.58	2.12	5.5				99.6	
9	125-14	II	125	片麻状花岗岩	61.85	0.44	17.35	2	2.83	0.15	1.6	4.31	3.46	2.62	1.09	0.11	0.16	112	99.09
10	*1	II	125	片麻状花岗岩	53.52	0.73	16.45	2.08	6.15	0.16	3.91	7.03	3.1	3.88			0.41		97.42
11	*7	II	125	片麻状花岗岩	58.98	0.57	15.86	1.65	4.6	0.14	2.74	6.56	3.11	3.77					97.98
12	*8	II	大同西	片麻状花岗岩	57.69	0.26	16.98	1.98	1.3	0.18	2.87	5.59	1.94	2.55			1.4		102.74
13	*9	II	大同西	片麻状花岗岩	62.99	0.56	15.55	2.19	3.45	0.1	2.66	6.95	2.64	3.85			2.1		101.04
14	STL-11	II	察图拉	片麻状花岗岩	73.8	0.11	13.68	0.58	1.12	0.05	0.2	1	3.29	4.7	0.57	0.04	0.02		99.16
15	*10	II	察图拉北	片麻状花岗岩	71.82	0.3	13.08	0.42	2.76	0.04	0.3	1.82	2.3	5.48					98.32
平均		II			63.88	0.41	15.42	2.80	3.04	0.11	2.00	4.11	2.75	4.04	0.83	0.08	0.82	112	99.42
16	*11	III	察图拉北	花岗岩	71.63	0.15	15.34	0.27	1.3	0.04	0.19	2.6	3.18	4					98.72
17	HBKN-13	III	哈巴克	片麻状花岗岩	79.66	0.22	15.89	0.53	1.25	0.05	0.41	1.4	2.99	4.6	0.92	0.1	0.09		99.11
18	HBKN-20	III	哈巴克	片麻状花岗岩	62.24	0.51	17.76	1	4.13	0.1	0.9	3	3.34	4.3	0.9	0.05	0.17	106	99.46
19	KD-29	III	察图拉	片麻状花岗岩	66.82	0.51	15.82	1.26	2.04	0.14	0.7	1.7	3.38	5.2	0.96	0.1	0.13	0.31	99.07
20	*2	III	察图拉	二长花岗岩	68.68	0.51	15.12	1.11	1.45	0.08	0.5	1.18	4.1	6.31			0.05		99.29
21	*12	III	阿克阿孜山	花岗岩	67.49	0.46	14.78	0.34	3.5	0.08	1.48	3.72	3.8	2.64					98.29
22	*13	III	阿克阿孜山	花岗岩	59.73	0.8	16.87	0.94	5.12	0.12	2.95	5.97	3.06	2.53					98.09
23	*14	III	阿克阿孜山	花岗岩	71.04	0.27	13.56	0.64	2.38	0.05	0.69	2.1	3.8	3.41					97.94
平均		III			67.51	0.43	15.64	0.76	2.65	0.08	0.98	2.71	3.46	4.12	0.93	0.08	0.11	0.69	98.25
24	464-2	V	464km	片麻状花岗岩	68.89	0.22	15.87	0.57	1.35	0.07	0.6	1.8	2.59	5.7	1.3	0.12	0.15		99.23
25	*3	V	464km	花岗岩	64.95	0.62	14.83	1.85	2.52	0.08	1.56	5.03	2.88	4.16			0.23		98.71
26	NQY-41	V	察图拉	片麻状花岗岩	56.55	0.87	17.5	1.27	6.4	0.2	4.38	5.64	2.45	2.05	2.29	0.13	0.13		99.86
27	*4	V	察图拉	片麻状花岗岩	65.37	0.41	15.06	0.29	3.57	0.07	1.85	2.99	3.22	3.9			0.12		96.85
平均		V			63.94	0.53	15.82	1.00	3.46	0.11	2.10	3.87	2.79	3.95	1.80	0.13	0.16	0	98.66

表 6.1(续 1)

序号	样品号	阶段	时代	岩体名称	岩石名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO ₂	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O+	H ₂ O-	P ₂ O ₅	CO ₂	总量
28	HK-7	V	J ₁	黑卡	闪长花岗岩	69.89	0.31	15.99	1.1	1.2	0.08	0.6	1.8	3.51	4.03	0.7	0.05	0.07		99.33
29	#5	V	J ₁	黑卡	闪长花岗岩	70.69	0.28	14.16	0.55	2.21	0.04	0.76	2.63	3.82	3.68			0.08		99
30	SL-1	V	J ₁	黑卡	二长花岗岩	70.6	0.14	13.6	1.77	0.53	0.07	0.1	1.5	3.89	4.9	1.8	0.11	0.05		99.06
31	KQY-43	V	J ₁	黑卡	二长花岗岩	71.77	1.24	13.87	1.48	1.06	0.07	0.61	1.28	4.13	3.92	1		0.07	0.19	100.91
32	#4	V	J ₁	黑卡	二长花岗岩	67.47	0.45	14.69	0.65	2.96	0.08	1.03	5.07	2.84	3.42	0.12				98.81
33	GQB-2	V	J	黑卡	花岗岩	67.99	0.24	15.67	0.52	2.88	0.11	0.4	2.4	4.03	3.8	0.71	0.05	0.05	0.3	99.15
34	HBKB-6	V	J	黑卡	花岗岩	68.63	0.2	16.67	0.93	1.47	0.06	0.4	2.9	2.7	3.69	0.8	0.06	0.1	0.45	99.06
35	JFQ-1	V	J ₁	黑卡	二长花岗岩	69.91	0.15	15.79	0.76	1.14	0.1	0.4	1.7	3.98	4.15	0.96	0.09	0.05		99.18
36	SLQB-4	V	J ₁	黑卡	二长花岗岩	66.7	0.46	14.94	1.11	3.29	0.15	1	3.1	3.46	3.7	0.56	0.05	0.11	0.51	99.13
37	KQY-38	V	J ₁	黑卡	花岗岩	68.72	0.37	16	0.95	2.64	0.07	0.89	2.93	3.29	3.59	0.88		0.1	0.1	100.53
38	STLN-5	V	J ₁	黑卡	花岗岩	70.93	0.17	15.35	0.44	0.96	0.06	0.4	0.9	3.23	5.3	1.1	0.13	0.11		99.08
39	#7	V	J ₂	509 道班	二长花岗岩	65.17	0.59	15.94	0.6	3.88	0.11	1.43	4.36	3.1	3.66	0.22				99.06
40	N-4	V	J ₃	黑卡	花岗岩	65.52	0.37	15.67	1.01	2.79	0.1	1.01	4.5	3.83	2.26	1.27	0.07	0.09	0.7	99.19
平均		V	J			68.77	0.39	15.26	0.94	2.08	0.08	0.69	2.70	3.52	3.85	0.84	0.08	0.08	0.38	99.35
41	*15	V	K ₁	黑卡	花岗岩	68.79	0.41	15.73	0.85	1.48	0.07	1.16	2.4	4.33	3.42					98.64
42	*16	V	K ₁	黑卡	花岗岩	65.45	0.53	16.8	0.88	2.04	0.09	1.47	3.93	4.53	1.88					97.6
43	KQY-9	V	K ₁	黑卡	二长花岗岩	64.84	0.59	15.09	1.45	3.13	0.09	2.48	4.26	2.8	4	1.15	0.09	0.15		100.13
44	H-1	V	K ₁	黑卡	二长花岗岩	55.47	0.75	19.04	1.23	4.57	0.14	3.8	6	2.59	3.08	0.72	0.05	0.29	1.56	99.49
45	KQY-11	V	K ₂	黑卡	二长花岗岩	63.85	0.53	13.63	1.66	2.35	0.16	3.6	4.41	2.9	4.85	0.79	0.03	0.34		99.12
46	*17	V	K ₂	黑卡	二长花岗岩	73.6	0.3	13.87	0.46	1.12	0.05	0.29	1.17	2.92	5.49					99.27
47	*18	V	K ₂	黑卡	二长花岗岩	73.7	0.23	13.42	0.11	1	0.02	0.38	1.16	3.32	5.59					98.93
48	*19	V	K ₂	黑卡	二长花岗岩	69.7	0.5	14.76	0.67	2.44	0.05	1.18	2.92	3.32	3.36					98.9
49	*20	V	K ₂	黑卡	二长花岗岩	69.2	0.34	15.11	0.89	3.12	0.08	0.65	1.94	3.4	4.43					99.16
50	MT-9	V	K ₂	黑卡	二长花岗岩	63.56	0.44	15.18	1.8	2.6	0.1	2.2	3.9	2.86	3.5	0.95	0.07	0.17	1.72	99.05
51	KQY-10	V	K ₂	黑卡	二长花岗岩	65.39	0.49	15.16	0.2	3.18	0.07	2.07	4.06	2.57	3.96	1.34		0.15	0.17	98.82
52	*21	V	K ₂	黑卡	二长花岗岩	74.47	0.2	13.17	0.93	1.06	0.03	0.79	1.03	3.7	4.45					99.83
平均		V	K			67.35	0.44	15.08	0.93	2.34	0.08	1.67	3.10	3.27	4.00	0.99	0.06	0.22	1.15	99.08
53	*22	V	N ₁	黑卡	二长花岗岩	71.33	0.43	13.89	1.24	0.84	0.01	0.64	1.58	3.98	5.4					99.29
54	*23	V	N ₁	黑卡	二长花岗岩	70.63	0.35	14.54	1.15	0.52	0.12	0.22	2.11	4.24	4.66					98.54
55	*24	V	N ₁	黑卡	二长花岗岩	69.92	0.46	14.74	1.31	1.12	0.03	0.54	2.47	3.86	5.22					99.67

表 6.1 (续 2)

序号	样品号	时代	岩体名称	岩石名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O+	H ₂ O-	P ₂ O ₅	CO ₂	总量
56	KRBS-33	V	N ₁	二长花岗岩	71.61	0.2	14.22	0.5	0.51	0.03	0.5	2.2	3.62	4.4	1.1	0.07	0.2		99.16
57	KQY-3	V	N ₁	二长花岗岩	70.29	0.27	14.86	0.97	1.23	0.03	0.87	1.96	3.75	4.95	0.27	0.03	0.07		99.55
	平均	V	N ₁	二长花岗岩	70.76	0.34	14.45	1.03	0.84	0.04	0.55	2.05	3.89	4.93	0.69	0.05	0.14	0.00	99.24
58	KRBS-23	V	E ₂ -N ₁	辉长岩	68.51	0.23	14.7	1.04	0.96	0.08	0.4	2.3	3.6	5.5	0.56	0.05	0.18		99.11
59	KRBS-5	V	E ₂ -N ₁	正长岩	59.36	0.42	19.71	1.4	1.2	0.1	0.6	3.2	3.47	8.9	0.3	0.05	0.07	1.03	99.81
60	KQY-4	V	E ₂ -N ₁	正长岩	62.3	0.49	14.95	2.3	2.33	0.11	1.04	3.11	4.05	8.06	0.86	0.02	0.11		99.73
61	KRBS-22	V	E ₂ -N ₁	碱性花岗岩	70.51	0.2	14.6	0.82	1.08	0.06	0.4	1.6	3.49	5.6	0.7	0.04	0.06		99.16
62	* 25	V	E ₂ -N ₁	正长岩	60.12	0.49	15.37	2.72	2.05	0.08	3.78	0.54	3.88	9.56					98.59
63	* 26	V	E ₂ -N ₁	碱性花岗岩	71.16	0.54	13.24	1.4	1.53	0.05	1.76	0.12	3.69	5.89					99.38
64	KZG-3	V	E ₂ -N ₁	碱性花岗岩	70.56	0.27	15.2	2.58	0.72	0.08	0.3	1.1	3.29	5.17	0.53	0.09	0.15		100.04
65	* 27	V	N ₁	正长岩	60.84	0.4	16.8	2.27	0.66	0.11	3.66	0.74	2.4	11.25					99.13
	平均	V	E ₂ -N ₁	富碱侵入岩	65.55	0.38	15.57	1.82	1.32	0.08	1.49	1.59	3.48	7.49	0.59	0.05	0.11	1.03	99.37
	KRBS-29	V	E ₂ -N ₁	暗色包体	58.84	0.8	15.06	5.15	1.75	0.17	2.1	5.3	2.55	7.1	0.21	0.05	0.73		99.81
	H		剖面等, 1963	花岗岩	71.27	0.25	14.25	1.24	1.62	0.08	0.80	1.62	3.79	4.08		0.56	0.16	0.33	100
	Z		剖面等, 1963	花岗岩	63.30	0.57	17.52	2.79	1.15	0.29	0.86	1.43	4.07	7.48		0.41	0.13		100

资料来源: * 新疆地质矿产局第二地质大队, 1985; 新疆地南矿产局第一区调大队四分队, 1983; KQY-n. 姜春发等, 1992; H. 中国花岗岩平均组成(剖面等, 1963); Z. 中国正长岩平均值(剖面等, 1963); 其它均为 305 项目 915-95-06-05 专题送样测试。

表 6.2 西昆仑造山带花岗岩类岩石有关化学参数

序号	样号	阶段	时代	岩体名称	岩石名称	$\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$	$\text{FeO} > / \text{MgO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$	δ	AR	A	R
1	AKZ-6	I	Pt ₁	阿卡孜	片麻状花岗岩	9.02	2.09	4.86	0.84	3.17	2.14	0.95	0.78
2	AKZ-28	I	Pt ₁	阿卡孜	片麻状花岗岩	8.71	2.94	3.17	0.48	2.54	4.27	0.96	0.82
3	*1	I	Pt ₁	阿卡孜	片麻状花岗岩	9.01	2.52	5.21	1.33	2.64	5.57	1.02	0.91
4	*2	I	Pt ₁	托斯卡姆山	片麻状花岗岩	5.7	1.27	2.83	0.62	2.07	1.62	1.17	0.49
5	*3	I	Pt ₁	阿瓦勒克	片麻状花岗岩	4.96	1.48	1.89	0.18	1.81	1.41	1.23	0.4
6	*4	I	Pt ₁	阿瓦勒克	片麻状花岗岩	7.6	2.8	10.07	0.25	1.88	3.53	0.93	0.75
7	*5	I	Pt ₁	塔达塔克	片麻状花岗岩	5.93	0.55	2.55	0.22	1.42	1.86	0.99	0.54
平均		I	Pt ₁			7.28	1.95	4.37	0.56	2.22	2.92	1.03	0.67
8	AKZ-31	I	Pt ₁	阿卡孜	混合岩-围岩	8.41	1.7	4.77	1.15	3.25	2.19	1.03	0.75
9	*6	II	Z ₂	坎地里克	片麻状花岗岩	7.62	2.59	2.13	0.72	2.12	2.83	0.86	0.66
10	128-14	II	Pz ₁	128	片麻状花岗岩	6.08	0.76	3.02	0.71	1.96	1.78	0.94	0.49
11	*7	II	Pz ₁	128	片麻状花岗岩	6.98	1.25	2.1	0.34	4.63	1.72	1.34	0.57
12	*8	II	Pz ₁	128	片麻状花岗岩	6.88	1.21	2.28	0.36	2.96	1.77	1.33	0.58
13	*9	II	O ₂	大阿西	片麻状花岗岩	4.49	1.31	4.63	9.22	1.37	1.42	0.95	0.35
14	STL-11	II	O ₄	大阿西	片麻状花岗岩	6.49	1.46	2.12	0.63	2.11	1.69	1.13	0.55
15	*10	II	S ₃	塞图拉北	片麻状花岗岩	7.99	1.43	8.5	0.52	2.07	2.62	0.9	0.77
平均		II	Z ₂ -Pz ₁			7.78	2.38	10.6	0.15	2.1	1.89	1	0.74
16	*11	III	D ₁ -P ₁	塞图拉北	花岗岩	6.79	1.55	4.42	1.58	2.42	1.97	1.06	0.59
17	HBKN-13	III	D ₁	哈巴克	片麻状花岗岩	7.18	1.26	8.26	0.21	1.8	2.1	0.93	0.62
18	HBKN-20	III	D ₁	哈巴克	片麻状花岗岩	7.59	1.54	4.34	0.42	2.08	2.06	0.78	0.62
19	KD-29	III	D ₂ -P ₁	库地南	片麻状花岗岩	7.64	1.29	5.7	0.24	3.03	1.95	0.88	0.57
20	*12	III	P ₁	阿克阿孜山	片麻状花岗岩	8.58	1.54	4.71	0.62	3.09	2.26	0.9	0.71
21	*13	III	P ₁	阿克阿孜山	片麻状花岗岩	10.41	1.54	5.12	0.77	4.19	3.02	1.04	0.9
22	*14	III	P ₁	阿克阿孜山	片麻状花岗岩	6.44	0.69	2.59	0.1	1.69	2.07	1.07	0.62
23	平均	III	Pz ₂			7.21	0.9	4.38	0.27	1.85	2.71	1.01	0.73
24	464-2	V	T ₃	464km	片麻状花岗岩	7.58	1.20	4.65	0.35	2.45	2.23	0.97	0.65
25	*3	V	T ₃	464km	片麻状花岗岩	8.29	2.2	3.2	0.42	2.55	1.83	0.86	0.66
26	KQY-41	V	T ₃	麻扎	片麻状花岗岩	7.04	1.44	2.8	0.73	2.26	1.82	1.24	0.62
27	*4	V	T ₃	麻扎	片麻状花岗岩	4.5	0.84	1.75	0.2	1.49	1.48	0.94	0.36
						7.12	1.21	2.09	0.08	2.27	2.11	0.99	0.63

表 6.2(续 1)

序号	样号	阶段	时代	岩体名称	岩石名称	$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$	$<\text{FeO}>/\text{MgO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$	δ	AR	A	B
平均		V	T ₃			6.74	1.42	2.46	2.17	1.81	1.01	0.57
28	HK-7	V	J ₁	黑卡	闪长花岗岩	7.54	1.15	3.83	2.11	2.3	0.84	0.63
29	#5	V	J ₁	黑卡	闪长花岗岩	7.5	0.96	3.76	2.03	2.61	1.06	0.72
30	SL-1	V	J ₁	塞力亚克	二长花岗岩	8.79	1.26	23	2.8	3.13	1.06	0.85
31	KQY-43	V	J ₁	塞力亚克	二长花岗岩	8.05	0.95	4.49	2.25	3.27	0.95	0.8
32	#6	V	J ₁	图庆桥南	二长花岗岩	6.26	1.2	3.5	1.6	1.81	1.2	0.57
33	GQB-2	V	J ₁	图庆桥北	花岗岩	7.83	0.94	8.5	2.45	2.53	0.96	0.69
34	HBK-B-6	V	J ₁	哈巴克北	花岗岩	6.39	1.37	6	1.59	1.76	0.82	0.51
35	JFQ-1	V	J ₁	解旗桥东	二长花岗岩	8.13	1.04	4.75	2.46	2.67	0.89	0.7
36	SLQB-4	V	J ₁	胜利桥北 1.5Km	二长花岗岩	7.15	1.07	4.4	2.16	2.24	1.02	0.65
37	KQY-38	V	J ₁	胜利桥北	花岗岩闪长岩	6.88	1.09	4.03	1.84	2.07	0.91	0.58
38	STLN-5	V	J ₁	塞图拉南	斜长花岗岩	8.53	1.64	3.5	2.61	2.32	0.83	0.72
39	#7	V	J ₂	509道班	二长花岗岩	6.76	1.18	3.13	2.06	1.88	1.07	0.57
40	N-4	V	J ₂	胜利桥北 10Km	花岗岩闪长岩	6.09	0.59	3.76	1.65	1.87	1.08	0.56
平均		V	J			7.38	1.11	5.90	2.12	2.34	0.98	0.66
41	*15	V	K ₁	克拉河上游	花岗岩闪长岩	7.75	0.79	2.01	2.33	2.49	0.97	0.69
42	*16	V	K ₁	克拉河上游	斜长花岗岩	6.41	0.42	1.99	1.83	1.9	0.99	0.56
43	KQY-9	V	K ₁	红旗拉甫	二长花岗岩	6.8	1.43	1.85	2.12	1.81	1.11	0.59
44	H-1	V	K ₁	红旗拉甫	二长花岗岩	5.67	1.19	1.53	2.54	1.52	0.97	0.4
45	KQY-11	V	K ₂	罗布重孜	石英二长岩	7.75	1.67	1.11	2.88	1.95	1.32	0.73
46	*17	V	K ₂	塔什库尔干	二云母斜长花岗岩	8.41	1.88	5.45	2.31	2.27	0.93	0.77
47	*18	V	K ₂	穹窿	二云母斜长花岗岩	8.91	1.68	2.92	2.59	2.67	1.01	0.86
48	*19	V	K ₂	沙雷克塔格	花岗岩闪长岩	6.68	1.01	2.64	1.67	2.2	0.98	0.62
49	*20	V	K ₂	考他孜达坂	二长花岗岩	7.83	1.3	6.17	2.34	2.33	0.92	0.69
50	M7-9	V	K ₂	明铁盖	斜长花岗岩	6.36	1.22	2	1.97	1.86	1.03	0.56
51	KQY 10	V	K ₂	明铁盖	二长花岗岩	6.53	1.54	1.63	1.9	1.73	1.05	0.56
52	*21	V	K ₂	塔什库尔干	二长花岗岩	8.15	1.2	2.52	2.11	3.18	0.97	0.83
平均		V	K			7.27	1.28	2.65	2.22	2.16	1.02	0.66

表 6.2 (续 2)

序号	样号	阶段	时代	岩体名称	岩石名称	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$	$<\text{FeO}>/\text{MgO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$	δ	AR	A	B
53	* 22	V	N ₁	卡尔巴生	二长花岗岩	9.38	1.36	3.25	1.48	3.11	3.13	1.09	0.89
54	* 23	V	N ₁	卡尔巴生	二长花岗岩	8.9	1.1	7.59	2.21	2.87	3.08	1.09	0.83
55	* 24	V	N ₁	卡尔巴生	二长花岗岩	9.08	1.35	4.5	1.17	3.06	2.63	1.12	0.81
56	KRBS-33	V	N ₁	卡尔巴生	二长花岗岩	8.02	1.22	2.02	0.98	2.25	2.58	1.03	0.75
57	KQY-3	V	N ₁	卡尔巴生	二长花岗岩	8.7	1.32	2.53	0.79	2.77	2.61	1.02	0.78
平均		V	N ₁		二长花岗岩	8.82	1.27	3.98	1.33	2.81	2.80	1.07	0.81
58	KRBS-23	V	E ₂ -N ₁	苦子干	碱性花岗岩	9.1	1.53	5	1.08	3.12	2.47	1.09	0.81
59	KRBS-5	V	E ₂ -N ₁	苦子干	正长岩	12.37	2.56	4.33	1.17	9.35	3.35	1.07	0.78
60	KQY-4	V	E ₂ -N ₁	苦子干	正长岩	12.11	1.99	4.45	0.99	7.6	2.63	1.41	1.03
61	KRBS-22	V	E ₂ -N ₁	苦子干	碱性花岗岩	8.09	1.6	4.75	0.76	3	2.51	1.01	0.81
62	* 25	V	E ₂ -N ₁	苦子干	正长岩	13.44	2.46	1.26	1.33	10.55	2.9	1.15	1.09
63	* 26	V	E ₂ -N ₁	苦子干	碱性花岗岩	9.58	1.6	1.66	0.92	3.26	3.47	0.96	0.94
64	KZG-3	V	E ₂ -N ₁	苦子干	碱性花岗岩	8.46	1.57	11	3.58	2.6	2.35	0.86	0.72
65	* 27	V	N ₁	黄坎	正长岩	13.65	4.69	0.8	3.44	10.44	8.02	1.04	0.96
平均		V	E ₂ -N ₁		富碱侵入岩	10.98	2.25	4.16	1.66	6.24	3.46	1.07	0.89
	KRBS-29	V	E ₂ -N ₁	苦子干	暗色包体	9.65	2.78	3.29	2.94	5.88	2.8	1.43	0.79
	H		新形等, 1963		花岗岩	7.82	1.06	3.58	0.77	2.16	2.94	0.95	0.74
	Z		新形等, 1963		正长岩	11.55	1.84	4.58	2.43	6.57	4.12	0.99	0.84

注: 1. 资料来源同表 6.1;

2. $\delta = (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})^2 / (\text{SiO}_2 - 43)$ 3. $\text{AR} = (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ca}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ca}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O})$ (SiO₂ > 50% · K₂O/Na₂O ≈ 1~2.5 时, 则 AR 中 (Na₂O + K₂O) 用 2Na₂O 代替, 不考虑 K₂O)4. A = (Ca₂O + Na₂O + K₂O) / Al₂O₃ (分子数);5. B = Na₂O + K₂O / Al₂O₃ (分子数);

高; K_2O+Na_2O 含量前者为 7.60%~9.02%(仅塔达塔克混合花岗岩*5号样品的值为 5.93%),远较后二者的 5.7%和 4.96%要高;但 TiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 MnO 、 MgO 、 CaO 含量后二者总体上要较前者高。即元古代花岗岩类 SiO_2 含量总体上与 K_2O+Na_2O 含量成正比,而与其它主元素含量总体上成反比。

6.2 $Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆岩活动阶段(Ⅲ)

6.2.1 加里东期(Z_2-P_{21})

$Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段(Ⅲ)加里东期花岗岩类化学成分平均值与中国花岗岩平均值相比, TiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 MnO 、 MgO 、 CaO 含量较高,而 SiO_2 、 Na_2O 含量较低, K_2O 含量近等。

西昆仑造山带加里东期花岗岩类为正常类型($A>1$, $B<1$)和铝略过饱和类型(A 接近于 1,但略小于),且是随着时代由老到新,花岗岩类由铝略过饱和类型演变为正常类型再演变为铝略过饱和类型。

加里东期花岗岩类里特曼指数 δ 一般介于 1.37~2.96 之间,平均为 $2.42<3.3$,应为钙性岩系($\delta<1.8$)和钙碱性岩系($\delta=1.8\sim3.3$),128 片麻状石英二长岩#1 号样品(SiO_2 含量为 53.52%)里特曼指数 δ 为 4.63,应为碱钙性岩系($\delta=3.3-9$);但在 $AR-SiO_2$ 与碱度关系图上,#1 号样品分布在钙碱性岩系区,而 SiO_2 含量大于 70%的坎地里克片麻状钾长花岗岩*6 号样品(AR 值为 2.83)和赛图拉片麻状花岗岩 STL-11 号样品(AR 值为 2.62)分布在碱性岩系区,其它样品分布在钙碱性岩系区。

$Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段(Ⅲ)加里东期酸性花岗岩类(如片麻状钾长花岗岩、片麻状花岗岩等) SiO_2 含量为 70.41%~73.8%,较中酸性花岗岩类(如片麻状石英二长岩、片麻状花岗闪长岩、片麻状石英闪长岩等)的 SiO_2 含量(53.52%~62.99%)要高;

$K_2O + Na_2O$ 含量前者为 7.62%~7.99%, 较后者的 4.49%~6.98% 要高; 但 TiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 MnO 、 MgO 、 CaO 含量后者总体要较前者高。即加里东期花岗岩类的 SiO_2 含量总体上与 $K_2O + Na_2O$ 含量成正比, 而与其它主元素含量总体上成反比。

6.2.2 海西期(Pz_2)

$Pt_3^1 - P_2$ 构造-岩浆活动阶段(Ⅱ)海西期花岗岩类化学成分平均值与中国花岗岩化学成分平均值相比, TiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 、 MgO 、 CaO 、 K_2O 含量较高, 而 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Na_2O 含量较低, MnO 含量近等。

西昆仑造山带海西期花岗岩类为铝略过饱和类型(A 接近于 1, 但略小于)与正常类型($A > 1, B < 1$), 且是随着时代由老到新, 花岗岩类由铝略过饱和类型演变为正常类型。

海西期花岗岩类里特曼指数 δ 一般介于 1.69~3.09 之间, 平均为 $2.45 < 3.3$, 应为钙性岩系($\delta < 1.8$)和钙碱性岩系($\delta = 1.8 \sim 3.3$), 库地南二长花岗岩 #2 号样品(SiO_2 含量为 68.88%)里特曼指数 δ 为 $4.19 > 3.3$, 应为碱钙性岩系($\delta = 3.3 \sim 9$); 但在 $AR - SiO_2$ 与碱度关系图上, 除库地南二长花岗岩 #2 号样品分布在碱性岩系区外, SiO_2 含量为 71.04% 的阿克阿孜山花岗闪长岩 #14 号样品(AR 值为 2.71)也分布在碱性岩系区, 其它样品分布在钙碱性岩系区。

$Pt_3^1 - P_2$ 构造-岩浆活动阶段(Ⅱ)海西期花岗岩类 SiO_2 含量与其它主元素含量的正负相关性不明显。

6.3 $T_3 - Q$ 构造-岩浆岩活动阶段(V)

6.3.1 印支晚期(T_3)

$T_3 - Q$ 构造-岩浆活动阶段印支晚期晚三叠世(T_3)花岗岩类

化学成分平均值与中国花岗岩化学成分平均值相比, TiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 、 MnO 、 MgO 、 CaO 含量较高, 而 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Na_2O 、 K_2O 含量较低。

西昆仑造山带晚三叠世花岗岩类主要为铝略过饱和类型(A 接近于 1, 但略小于), 次为正常类型($A > 1, B < 1$), 且是随着时代由老到新, 花岗岩类由铝略过饱和类型演变为正常类型再演变为铝略过饱和类型。

晚三叠世花岗岩类里特曼指数 δ 介于 1.49~2.65 之间, 平均为 $2.17 < 3.3$, 应全部为钙性岩系($\delta < 1.8$)和钙碱性岩系($\delta = 1.8 \sim 3.3$); 在 $AR\text{-}\text{SiO}_2$ 与碱度关系图上, 样品也全部分布在钙碱性岩系区。

$T_3\text{-}Q$ 构造-岩浆活动阶段(V)印支晚期晚三叠世酸性花岗岩类(如钾长花岗岩) SiO_2 含量为 68.89%, 较中酸性花岗岩类(如石英二长岩、花岗闪长岩、石英闪长岩等)的 SiO_2 含量(56.55%~65.37%)要高; $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 含量前者为 8.29%, 较后者的 4.50%~7.12%也要高; 但 TiO_2 、 FeO 、 MnO 、 MgO 、 CaO 含量后者总体要较前者高。即晚三叠世花岗岩类的 SiO_2 含量总体上与 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 含量成正比, 而与 TiO_2 、 FeO 、 MnO 、 MgO 、 CaO 含量总体上成反比, 与 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 含量相关性不明显。

6.3.2 燕山早期(J)

$T_3\text{-}Q$ 构造-岩浆活动阶段燕山早期侏罗纪(J)花岗岩类化学成分平均值与中国花岗岩化学成分平均值相比, TiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 、 CaO 含量较高, 而 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 Na_2O 、 K_2O 含量较低, MnO 含量近等。

西昆仑造山带侏罗纪花岗岩类主要为铝略过饱和类型(A 接近于 1, 但略小于), 次为正常类型($A > 1, B < 1$), 且是随着时代由老到新, 花岗岩类由铝略过饱和类型和正常类型共存向正常类型演变。

侏罗纪花岗岩类里特曼指数 δ 介于 1.59~2.80 之间。平均为 2.12, 应全部为钙性岩系 ($\delta < 1.8$) 和钙碱性岩系 ($\delta = 1.8 \sim 3.3$); 但在 $AR-SiO_2$ 与碱度关系图上, 解放桥东二长花岗岩 JFQ-1 号样品 (SiO_2 含量为 69.91%) 和两个 SiO_2 含量大于 70% 的赛力亚克二长花岗岩样品 (SL-1、KQY-43) 分布在碱性岩系区 (AR 值分别为 2.67、3.13、3.27), 其它样品分布在钙碱性岩系区。

T_3-Q 构造-岩浆活动阶段 (V) 燕山早期侏罗纪 (J) 花岗岩类 SiO_2 含量与 K_2O+Na_2O 含量正相关性虽然不是很好, 但总体上仍成正比关系, 而与其它主元素含量的正负相关性则不明显。

6.3.3 燕山晚期 (K)

T_3-Q 构造-岩浆活动阶段燕山晚期白垩纪 (K) 花岗岩类化学成分平均值与中国花岗岩化学成分平均值相比, TiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 、 MgO 、 CaO 含量较高, 而 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Na_2O 、 K_2O 含量较低, MnO 含量近等。

西昆仑造山带白垩纪花岗岩类主要为铝略过饱和类型 (A 接近于 1, 但略小于), 次为正常类型 ($A > 1, B < 1$)。

白垩纪花岗岩类里特曼指数 δ (A Rittinann, 1957, 1970) 介于 1.67~2.88 之间, 平均为 2.22, 应全部为钙性岩系 ($\delta < 1.8$) 和钙碱性岩系 ($\delta = 1.8 \sim 3.3$); 但在 $AR-SiO_2$ 与碱度关系图上, 两个 SiO_2 含量大于 70% 的穹窿二云母钾长花岗岩 * 18 号样品和塔吐鲁沟东二长花岗岩 * 21 号样品分布在碱性岩系区 (AR 值分别为 2.67、3.18), 其它样品分布在钙碱性岩系区。

T_3-Q 构造-岩浆活动阶段 (V) 燕山晚期白垩纪 (K) 花岗岩类 SiO_2 含量总体上与 K_2O+Na_2O 含量成正比关系, 而与 TiO_2 、 FeO 、 MnO 、 MgO 、 CaO 含量总体上成反比, 与 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 含量的负相关性不明显, 但随着样品间 SiO_2 含量差的增大, 上述关系逐渐变得明显或得到改善。

6.3.4 喜山期(K₂)非碱性花岗岩类

T₃—Q 构造-岩浆活动阶段(V)喜山期非碱性花岗岩类代表性岩体卡尔巴生二长花岗岩化学成分平均值与中国花岗岩化学成分平均值相比, TiO₂、Al₂O₃、CaO、Na₂O、K₂O 含量较高, 而 SiO₂、Fe₂O₃、FeO、MnO、MgO 含量较低。

喜山期卡尔巴生二长花岗岩 $A = (K_2O + Na_2O + CaO) / Al_2O_3$ (分子数) 值介于 1.02~1.12 之间, 平均为 1.07 > 1; $B = (K_2O + Na_2O) / Al_2O_3$ (分子数) 介于 0.75~0.89 之间, 平均为 0.81 < 1, 属典型的正常类型 ($A > 1, B < 1$)。

卡尔巴生二长花岗岩里特曼指数 δ 介于 2.25~3.11 之间, 平均为 2.81, 应全部为钙性岩系 ($\delta < 1.8$) 和钙碱性岩系 ($\delta = 1.8 \sim 3.3$); 但在 AR-SiO₂ 与碱度关系图上, 两个 SiO₂ 含量大于 70% 的样品 (*22、*23) 分布在碱性岩系区 (AR 值分别为 3.13、3.08), 其它样品 (*24、KQY-3、KRBS-33) 分布在钙碱性岩系区与碱性岩系区交界部位 (AR 值分别为 2.63、2.61、2.58)。

T₃—Q 构造-岩浆活动阶段(V)喜山期(K₂)卡尔巴生二长花岗岩 SiO₂ 平均含量和 K₂O + Na₂O 平均含量比上述西昆仑造山带各期花岗岩类的都高, 分别为 70.76% 和 8.82%, 其中 K₂O + Na₂O 含量普遍高于中国花岗岩的平均值, K₂O/Na₂O 值也是如此; TiO₂、FeO、MnO、MgO₂、CaO 平均含量则是最底的, 分别为 0.34%、0.84%、0.04%、0.55%、2.05%; Al₂O₃ 平均含量 (14.45%) 除比元古代花岗岩类的略高外, 比上述其它各期的都要低; Fe₂O₃ 平均含量除比元古代、加里东期花岗岩类的低外, 比上述其它各期的都要高。

6.3.5 喜山期(K₂)富碱侵入岩类

T₃—Q 构造-岩浆活动阶段(V)喜山期富碱侵入岩类化学成分平均值与中国正长岩化学成分平均值相比, SiO₂、FeO、MgO、

CaO 含量较高,而 TiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MnO 、 Na_2O 含量较低, K_2O 含量近等。与苦子干富碱侵入岩中暗色微粒包体(KRBS-29号样品)化学成分相比, TiO_2 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 MnO 、 MgO 、 CaO 、 P_2O_5 含量较高, SiO_2 、 Al_2O_3 、 Na_2O 、 K_2O 含量较低,即暗色微粒包体相对于主岩富碱侵入岩而言,偏基性,贫碱。

西昆仑造山带喜山期富碱侵入岩主要为正常类型($A>1$, $B<1$),次为铝略过饱和类型(A 接近于 1,但略小于 1)和碱略过饱和类型(B 接近于 1,但略大于 1)。

喜山期富碱侵入岩里特曼指数 δ 介于 2.60~10.55 之间,平均为 6.24,主要为碱性岩系($\delta>9$)、钙碱性岩系($\delta=1.8\sim3.3$)和少量碱钙性岩系($\delta=3.3\sim9$)。在 $AR\text{-}\text{SiO}_2$ 与碱度关系图上,大多数样品也是分布在碱性岩系区('26、KRBS-5、'25、KQY-4, AR 值分别为 3.47、3.35、2.90、2.63)和钙碱性岩系区与碱性岩系区交界部位(KRBS-22、KRBS-23、KZG-3, AR 值分别为 2.51、2.47、2.35),赞坎透辉正长岩('27)分布在过碱性岩系区(AR 值为 8.02)。

$T_3\text{-}Q$ 构造-岩浆活动阶段(V)喜山期(Kz)碱性花岗岩与透辉正长岩相比, SiO_2 含量较高,而 Al_2O_3 、 MnO 含量较低,其它主元素平均含量规律性不明显。 SiO_2 含量和 $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 含量的相关性不明显,但 $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 平均含量是西昆仑造山带各期花岗岩类中最高的,平均为 10.98%。

6.4 小结

通过上面有关西昆仑造山带各个不同构造-岩浆活动阶段花岗岩类岩石化学特征的讨论可以得出如下结论:

1) 花岗岩类化学成分 与中国花岗岩化学成分平均值相比,西昆仑造山带的花岗岩类 SiO_2 普遍偏低, $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 总体偏低(新生代除外); TiO_2 、 Al_2O_3 普遍偏高, $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$ (喜山期非

碱性花岗岩类除外)、 MgO (侏罗纪、喜山期非碱性花岗岩类除外)、 CaO (喜山期富碱侵入岩除外) 总体偏高; MnO 含量近等。即西昆仑造山带的花岗岩类相对偏基性, 贫硅贫碱, 富钛、铝、铁、镁、钙。

2) 花岗岩类岩石类型 $Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段元古代、 $Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段加里东期和海西期花岗岩类以正常类型 ($A>1, B<1$) 和铝略过饱和类型 (A 接近于 1, 但略小于 1) 大致相当为特色; T_3-Q 构造-岩浆活动阶段中生代印支晚期 (T_3)、燕山早期 (J) 和燕山晚期 (K) 花岗岩类主要为铝略过饱和类型, 次为正常类型; T_3-Q 构造-岩浆活动阶段新生代喜山期非碱性花岗岩类为正常类型, 富碱侵入岩主要为正常类型, 次为铝略过饱和类型和碱略过饱和类型 (B 接近于 1, 但略大于 1)。即随着地质时代由老到新, 西昆仑造山带的花岗岩类正常类型由中等→次要→主要; 铝略过饱和类型由中等→主要→次要; 碱略过饱和类型由无→有发生变化。

3) 花岗岩类岩石系列 T_3-Q 构造-岩浆活动阶段印支晚期 (T_3) 花岗岩类全部为钙碱性岩系; 喜山期花岗岩类则以碱性岩系为主, 还出现了过碱性岩系, 钙碱性岩系次之; 其它各期花岗岩类则以钙碱性岩系为主, 碱性岩系次之。即以印支运动为转折点, 随着地质时代变老或变新, 碱性岩系逐渐增多, 随着时代变新这种趋势更加明显。

4) 从上述及图 6.2、6.3、6.4、6.5、6.6 可知, 西昆仑造山带花岗岩类各主元素平均含量随地质时代由老到新均呈波浪状变化。 SiO_2 、 K_2O+Na_2O (新生代除外)、 K_2O (新生代除外)、 Na_2O (元古代除外) 平均含量、 $<FeO>/MgO$ (元古代除外) 平均值波浪状变化的高低峰值近于对应, 即呈正比关系; TiO_2 (加里东期除外)、 Al_2O_3 、 FeO 、 MnO 、 MgO 、 CaO 平均含量波浪状变化的高低峰值近于对应, 呈正比关系, 但与上述 SiO_2 、碱质等平均含量的变化近于相反, 即与前者呈反比关系。 K_2O/Na_2O 平均值在印支运动

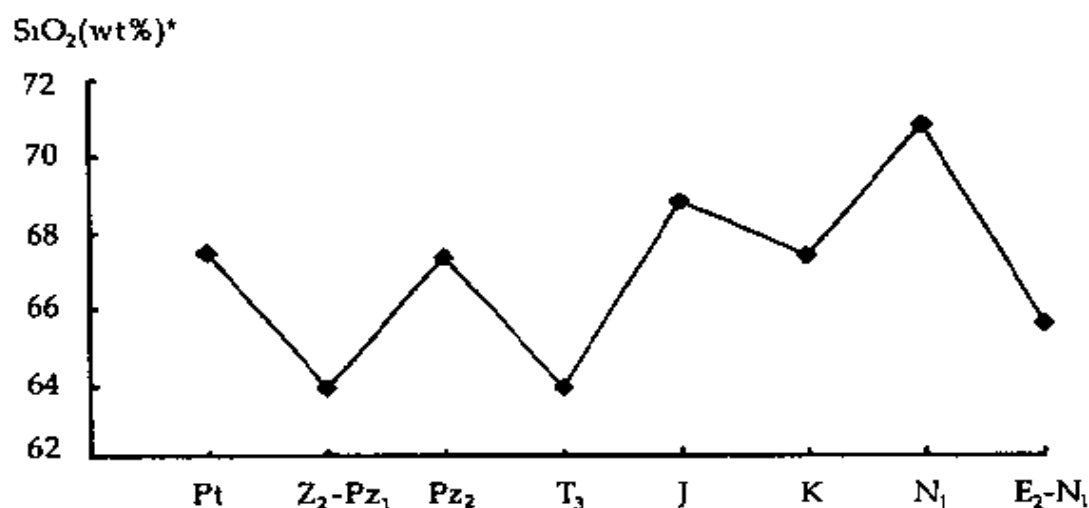


图 6.2 SiO_2 平均含量变化曲线图

* wt%为质量百分比现改为 $\omega\%$ (下同)

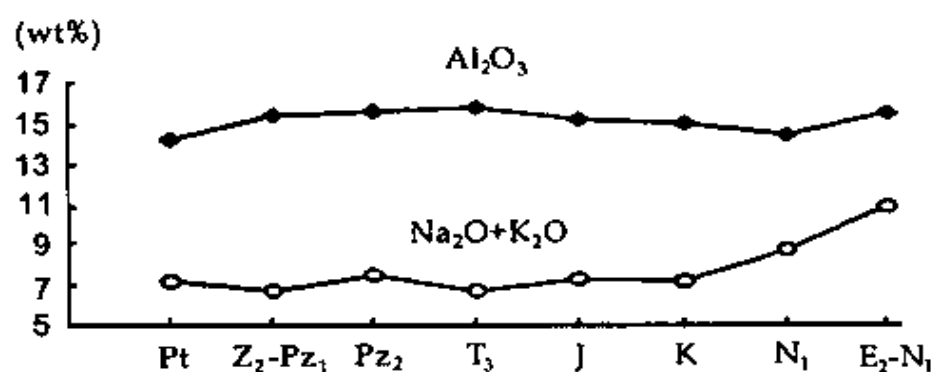


图 6.3 Al_2O_3 、 $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 平均含量变化曲线图

以前与 SiO_2 等平均含量高低峰值的变化近于一致,而印支运动以后则近于相反变化; Fe_2O_3 平均含量、 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 平均值的变化正好与 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 平均值的变化近于相反(新生代除外)。图 6.2、6.3、6.4、6.5、6.6 中各曲线的倾向及陡缓也表明,西昆仑造山带花岗岩类 SiO_2 、碱质、 Fe_2O_3 等平均含量(加里东期较高)、 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 平均值(加里东期较高)随地质时代由老到新总体是在波浪

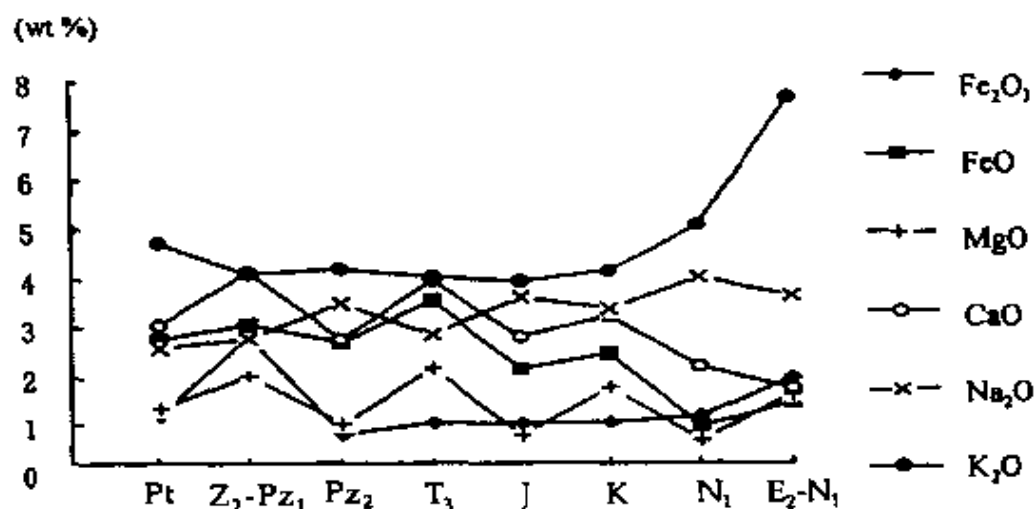


图 6.4 Fe₂O₃、FeO、MgO、CaO、Na₂O、K₂O 平均含量变化曲线图

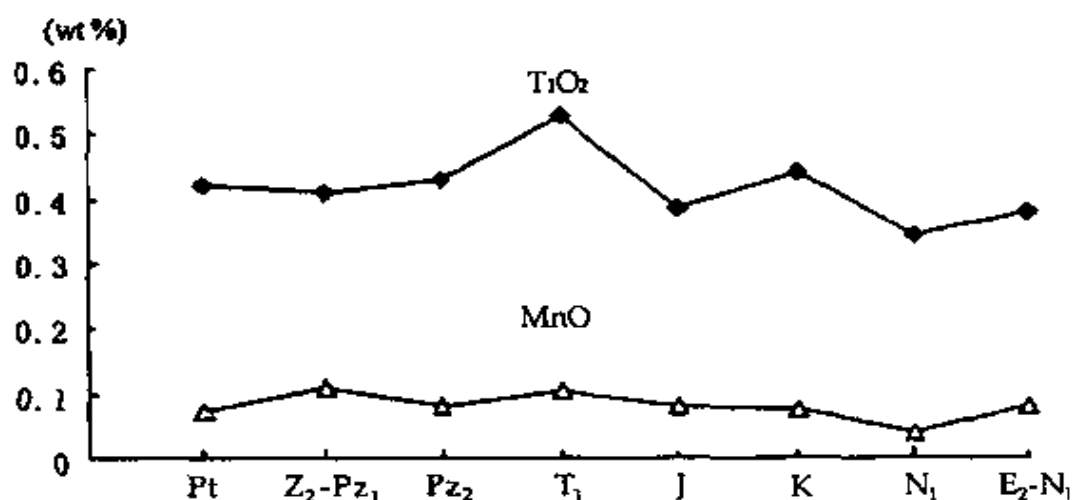


图 6.5 TiO₂、MnO 平均含量变化曲线图

状变化中增加的；FeO、CaO 平均含量总体是在波浪状变化中减少的；TiO₂、Al₂O₃、MnO、MgO 平均含量、K₂O/Na₂O 平均值总体变化不大；<FeO>/MgO 平均值除中生代变化较大外，总体变化也不大。从上述可知，西昆仑造山带从早期到晚期，随着地球壳层演化的日益成熟，在花岗岩类形成过程中，SiO₂、碱质总体向地壳中富集；FeO、CaO 保留在花岗岩类源区或向更深部富集；地球大气

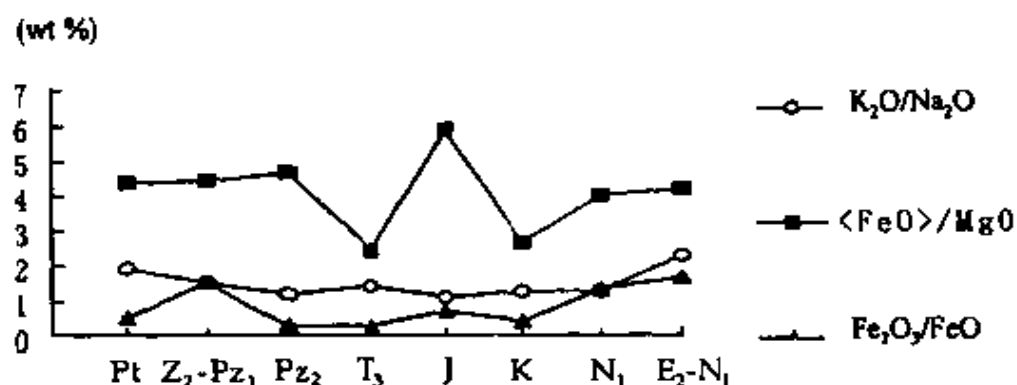


图 6.6 K_2O/Na_2O 、 $\langle FeO \rangle$ 、 MgO 、 FeO 平均值变化曲线

圈中氧的含量逐渐增加,因而氧化能力逐渐增强,其中加里东期为氧的突然增多期,形成 Fe_2O_3 平均含量及 Fe_2O_3/FeO 平均值的一个异常高峰值,这也可能是从加里东期起,地球上生物开始大规模繁衍的一个原因; $\langle FeO \rangle / MgO$ 平均值中生代变化较大,大起大落,从某种意义上反映中生代环境变化较大,这也可能是中生代包括恐龙在内的生物大规模灭绝的一个原因;印支运动是一次重要的构造运动,其以前同其以后形成的花岗岩类在岩石化学成分上有较大差异。

7 花岗岩类岩石的稀土元素地球化学

稀土元素地球化学也是研究花岗岩类地球化学很重要的方面之一。在西昆仑造山带,前人有关稀土元素等方面的资料非常少。国家科技攻关 305 项目 96-915-06-05 专题组成员利用中国科学院矿床地球化学开放研究实验室先进的等离子体质谱仪和技术,测试了各不同构造-岩浆演化阶段代表性花岗岩类岩体的稀土元素含量,这是新资料,是对西昆仑造山带花岗岩类地球化学资料的重要补充。

7.1 $Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(I)

$Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(I)早元古代代表性岩体阿卡孜片麻状花岗岩稀土元素含量及其球粒陨石标准化值、有关特征参数见表 7.1 和表 7.2。2 个阿卡孜片麻状花岗岩样品稀土总量差异较大,分别为 166.14 和 526.35 $\mu\text{g/g}$,平均为 346.25 $\mu\text{g/g}$,高于世界花岗岩类的平均值 249.5~280 $\mu\text{g/g}$ (Haskin 等,1968),面与阿卡孜混合花岗岩的元古代围岩混合岩较接近(ΣREE 为 360.94),反映由围岩形成花岗岩过程中(见 6.1 节)稀土元素并未发生大规模迁移。

阿卡孜片麻状花岗岩属轻稀土富集型,分配曲线右倾(图 7.1),也表明花岗岩类轻、重稀土元素分异和分高结晶作用均较强烈。

2 个阿卡孜混合花岗岩样品 δEu 值分别为 0.27 和 0.56,平均为 0.42,属中等稀度的负铕异常,与壳型花岗岩 δEu 平均值 0.46(王中刚等,1989)较接近。

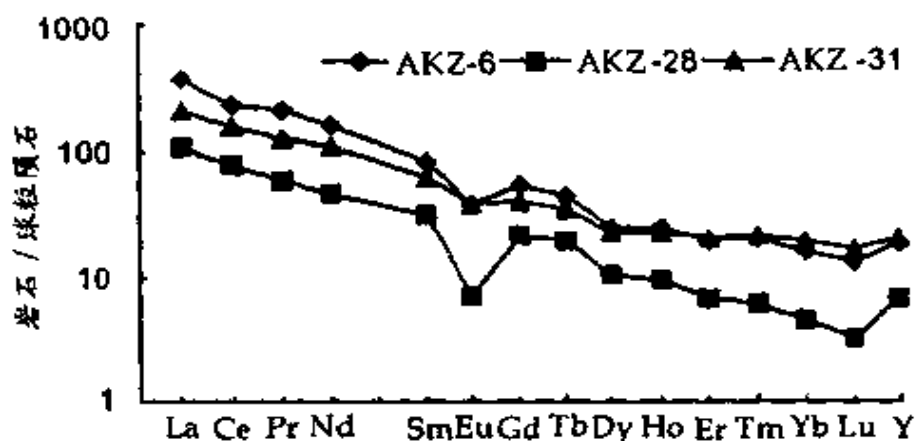


图 7.1 西昆仑造山带早元古代阿卡孜片麻状花岗岩
及其围岩混合岩稀土元素配分模式
AKZ-6、AKZ-28: 片麻状花岗岩; AKZ-31: 混合岩

7.2 $Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆岩活动阶段(Ⅲ)

7.2.1 加里东期(Z_2-Pz_1)

$Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆岩活动阶段(Ⅲ)加里东期花岗岩类代表性岩体 128 花岗闪长岩稀土总量为 $279.48 \mu\text{g/g}$, 赛图拉片麻状花岗岩稀土总量为 $157.84 \mu\text{g/g}$, 两者平均为 $218.66 \mu\text{g/g}$, 低于世界花岗岩类的平均值 $249.5 \sim 280 \mu\text{g/g}$ 。

加里东期花岗岩类总体属轻稀土富集型, 分配曲线右倾(图 7.2), 轻稀土分馏较重稀土分馏更加明显。

128 花岗闪长岩 δEu 值为 0.90, 属属的负铕异常, 与壳幔型花岗岩 δEu 平均值 0.84 较接近; 赛图拉片麻状花岗岩 δEu 值为 0.16, 属强烈的负铕异常, 与碱长花岗岩 δEu 平均值 < 0.30 较接近。

表 7.1 西昆仑造山带花岗岩类岩石稀土元素含量(μg/g)及标准化值

序号	样号	时代/地质	岩体名称	岩石名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y											
1	AKZ-6	P ₁ ²	阿卡孜	片麻状花岗岩	含量	119	194	257	98.7	16	2.79	13.6	2.07	8.19	1.76	4.2	0.67	3.42	0.45	35.8										
					标准化值	383	672	1020	661	50	82	05	37	96	52	51	43	67	25	43	24	51	20	00	20	68	16	36	13	55
2	AKZ-28	P ₁ ²	阿卡孜	片麻状花岗岩	含量	33.6	65.1	7.29	27.3	6.04	0.32	5.63	0.91	3.44	0.69	1.43	0.2	0.90	0.11	12.9										
					标准化值	108	39	80	57	59	75	45	50	30	97	7	07	21	81	19	20	10	68	9	61	6	81	6	17	4
平均		P ₁ ²	阿卡孜	片麻状花岗岩	含量	76.3	129.55	16.50	63	11.02	1.66	9.63	1.49	5.82	1.23	2.82	0.44	2.19	0.28	24.35										
					标准化值	246	1306	340	35	21	105	56	51	22	52	37	16	31	44	18	06	17	06	13	41	13	43	10	48	8
3	AKZ-31	P ₁ ²	阿卡孜	混合岩-围岩	含量	66.6	130	15.5	64.6	12	2.88	10.4	1.66	7.4	1.64	4.25	0.7	4.14	0.57	38.6										
					标准化值	214	840	60	890	27	051	07	67	61	54	39	18	40	15	35	02	22	98	22	84	20	24	21	60	19
4	SLT-11	P ₂ ¹	赛图拉	片麻状花岗岩	含量	67.1	116	12	46.1	7.32	1.96	5.6	0.75	2.93	0.6	1.51	0.27	1.54	0.2	15.6										
					标准化值	216	450	43	56	98	36	76	83	37	54	26	67	21	62	15	82	9	10	8	36	7	19	8	33	7
5	HBKN-13	P ₂ ²	哈巴克	片麻状花岗岩	含量	31.5	59.1	6.41	23.2	4.3	0.22	4.07	0.72	3.37	0.76	2.19	0.4	2.38	0.32	18.9										
					标准化值	301	617	13	52	54	38	67	22	05	2.99	15	71	15	19	10	47	10	58	10	43	12	35	11	39	9
6	HBKN-20	P ₂ ²	哈巴克	片麻状花岗岩	含量	49.3	87.55	9.21	34.65	5.81	1.09	4.84	0.74	3.15	0.68	1.85	0.34	1.96	0.26	17.25										
					标准化值	159	030	8	35	75	45	57	75	29	80	14	83	16	67	15	51	9	79	9	47	8	81	10	34	9
7	KD-29	P ₂ ²	库地南	片麻状花岗岩	含量	25.5	55.2	6.22	23.6	4.66	0.67	3.93	0.54	1.98	0.34	0.86	0.14	0.72	0.086	8.59										
					标准化值	82	26	68	32	50	98	39	33	24	92	11	84	15	17	11	39	6	15	4	74	4	10	4	32	3
8	464-2	T ₃	664km	钾长花岗岩	含量	28.2	61.7	6.58	28	6.67	1.94	6.16	1	4.17	0.86	2.15	0.39	2.1	0.28	21										
					标准化值	90	97	74	36	53	93	46	67	34	21	26	39	23	78	21	10	12	95	11	98	10	24	12	04	10
9	HK7	J ₁	温卡达	闪长花岗岩	含量	113	221	24.2	92.2	15.9	2.64	12.4	1.85	7.69	1.72	4.5	0.8	4.9	0.74	44.4										
					标准化值	364	527	73	51	98	36	53	67	81	54	35	92	47	88	39	03	23	88	23	96	21	43	24	69	23
10	SL-1	J ₁	赛力夏克	二长花岗岩	含量	55.57	112.63	12.33	47.93	9.14	1.82	7.50	1.13	4.61	0.97	2.50	0.44	2.57	0.37	24.66										
					标准化值	179	281	39	40	01	04	79	89	46	89	24	72	38	94	23	84	14	23	13	56	11	92	13	68	12
11	LQB-2	J	图什特北	钾长花岗岩	含量	11.1	24.2	2.94	11.7	2.84	1.38	2.4	0.39	1.64	0.32	0.74	0.13	0.75	0.097	7.48										
					标准化值	35	81	29	95	24	10	19	50	14	56	18	78	9	27	8.23	5	09	4	46	3	52	4	01	3	59
12	HBKB-6	J	哈巴克北	钾长花岗岩	含量	79.4	142	14.3	50.8	7.52	1.6	5.38	0.7	2.45	0.48	1.16	0.2	1.14	0.14	12.8										
					标准化值	256	130	75	74	17	21	84	67	38	56	21	77	20	77	14	77	7	61	6	69	5	52	6	17	5
13	JFQ-1	J ₁	解放桥东	二长花岗岩	含量	107	182	18.2	62.2	8.02	1.01	6.16	0.79	3.15	0.62	1.56	0.27	1.91	0.24	16.2										
					标准化值	345	162	25	250	49	16	03	67	41	13	13	74	23	78	16	67	9	78	8	64	7	43	8	33	9
14	SLQB-4	J ₁	胜利桥北	二长花岗岩	含量	18.5	35.1	4.17	16.7	3.5	1.04	2.59	0.35	1.17	0.19	0.4	0.087	0.31	0.019	4.6										
					标准化值	59	68	43	44	34	18	27	83	17	95	14	15	10	00	7	38	3	63	2	65	1	90	1	76	1
15	STLN-5	J ₁	赛图拉南	钾长花岗岩	含量	30.7	58.4	6.94	26.3	4.19	1.56	2.54	0.24	0.87	0.19	0.49	0.086	0.55	0.076	4.07										
					标准化值	99	03	72	28	56	89	43	83	21	49	21	22	9	81	5	06	2	70	2	55	2	33	2	65	2
16	SLQB-4	J ₁	胜利桥北	二长花岗岩	含量	18.5	36.7	3.82	17	2.93	0.67	2.26	0.41	1.88	0.44	1.24	0.22	1.55	0.25	10.8										
					标准化值	59	68	45	42	31	31	28	33	15	03	9	12	8	73	8	65	5	84	6	13	5	90	6	79	7
17	SLQB-4	J ₁	胜利桥北	二长花岗岩	含量	44.6	83.1	8.4	30.5	5.33	1.27	4.41	0.62	2.95	0.67	1.88	0.33	2.06	0.31	17.2										
					标准化值	143	870	02	85	68	85	50	83	27	33	17	28	17	03	13	08	9	16	9	33	8	95	10	19	9
18	SLQB-4	J ₁	胜利桥北	二长花岗岩	含量	30.6	69	7.26	29.1	6.19	0.81	4.45	0.53	1.73	0.28	0.65	0.085	0.63	0.068	7.7										
					标准化值	98	71	85	40	59	51	48	50	31	74	11	02	17	18	11	18	5	37	3	90	3	10	2	62	3

表 7.1 (续 1)

序号	符号	年代	岩体名称	岩石名称	元素及 标准值	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
16	N-4	v	13a	10Km	花岗岩类	40.7	73.6	7.12	26.4	4.37	1.41	3.52	0.57	2.42	0.51	1.44	0.25	1.5	0.22	13.8
					含量	131	239	36	44	22.41	19.18	13.59	12.03	7.52	7.10	5.86	7.72	7.18	6.63	7.26
					标准值	46.25	84.99	8.78	32.38	5.26	1.17	3.91	0.53	2.08	0.42	1.10	0.19	1.22	0.17	10.90
平均					含量	145.15	105.18	11.94	53.96	26.96	15.94	15.11	11.10	6.45	5.89	5.25	5.78	5.83	4.98	5.73
					标准值	39.3	80.8	9.04	35.2	6.80	1.21	6.25	0.93	3.88	0.87	2.17	0.38	2.3	0.34	22.3
17	MT 9	v	K ₂	辉长岩类	花岗岩类	126.77	100.04	10.58	67.35	28.18	16.46	24.13	19.62	12.05	12.12	10.33	11.73	11.00	10.24	11.74
					含量	262	374	36.6	128	19.3	4.67	14.3	1.67	5.34	1.06	2.62	0.4	2.3	0.3	30.2
					标准值	94.5	104.62	8.73	38.13	98.97	63.54	55.21	35.23	16.58	14.76	12.48	12.35	11.00	9.04	15.89
18	KRBS	v	E ₂ -N ₁	辉长岩类	花岗岩类	96.6	165	15	52.3	7.64	1.48	5.18	0.66	2.41	0.5	1.41	0.22	1.49	0.19	12.9
					含量	311	630.4	210.22	95.87	17.39	18.22	20.09	13.92	7.48	6.96	6.71	6.79	7.13	5.72	6.79
					标准值	106	173	20	57	8.02	1.34	5.86	0.65	2.83	0.83	2.04	0.32	1.8	0.2	16.5
19	KZG	v	E ₂ -N ₁	辉长岩类	花岗岩类	341	942.14	110.63	93.95	41.13	18.23	22.63	17.93	11.89	11.56	9.71	10.19	8.61	6.02	8.68
					含量	154.87	87.83	24.32	79.10	11.65	2.56	8.45	1.06	3.86	0.80	2.02	0.32	1.86	0.23	19.87
					标准值	499	572.93	73.20	103.31	83.59	34.88	32.61	22.36	11.98	11.09	9.63	9.78	8.91	6.93	10.45
20	平均				含量	304	582	70.8	226	35.1	7.86	25.1	3.37	11.7	2.16	4.86	0.63	3.87	0.45	49.3
					标准值	360	657.20	305.80	133.76	67.180	104.94	96.91	71.10	36.94	30.08	23.14	19.44	18.52	13.55	25.95
21	KRBS	v	E ₂ -N ₁	辉长岩类	花岗岩类	43	33.93	10.8	45	8.37	1.87	7.53	1.1	6.42	1.37	3.93	0.59	3.68	0.6	35.5
					含量	0	310	0.808	0.122	0.606	0.195	0.0735	0.259	0.0474	0.322	0.0718	0.210	0.0324	0.209	0.332
					标准值	0	310	0.808	0.122	0.606	0.195	0.0735	0.259	0.0474	0.322	0.0718	0.210	0.0324	0.209	0.332

注: (1) 表中数据均为等离子体谱仪测试;
(2) * 是根据 Haskin 等(1968)有关数据平均而成

表 7.2 西昆仑造山带花岗岩类岩石稀土元素特征参数值

序号	样号	演化阶段	时代	岩体名称	岩石名称	ΣREE	LR	HR	LR/HR	δEu	L _{AN} /Y _{BN}	Ce _N /Y _{BN}	L _{AN} /S _{MAN}
1	AKZ-6	I	Pt ₂	阿卡孜	片麻状花岗岩	525.35	456.19	70.16	6.50	0.56	23.46	14.67	4.68
2	AKZ-28	I	Pt ₂	阿卡孜	片麻状花岗岩	166.14	139.85	26.29	5.32	0.27	23.6	17.54	3.50
	平均	I	Pt ₂	阿卡孜	片麻状花岗岩	345.25	298.02	48.23	5.91	0.42	23.53	16.11	4.09
	AKZ-31	I	Pt ₂	阿卡孜	混合岩-围岩	360.94	291.58	69.36	4.20	0.77	10.85	8.12	3.49
3	128-14	II	Pz ₁	128	片麻状花岗岩 闪长岩	279.48	250.48	29	8.64	0.9	29.38	19.48	5.77
4	STL-II	II	Pz ₁	赛图拉	片麻状花岗岩	157.84	124.73	33.11	3.77	0.16	8.92	6.42	4.61
	平均	II	Pz ₁			218.66	187.61	31.06	6.21	0.53	19.15	12.95	5.29
5	HBKN-13	II	Pz ₂	哈巴克	片麻状花岗岩	133.44	116.25	17.19	6.76	0.59	23.88	19.83	3.3
6	HBKN-20	II	Pz ₂	哈巴克	黑云母花岗岩	171.2	133.09	38.11	3.49	0.91	9.05	7.6	2.66
7	KD-29	II	Pz ₂	库地南	钾长花岗岩	547.94	468.94	79	5.94	0.56	15.55	11.67	4.47
	平均	II	Pz ₂			284.19	239.43	44.77	5.40	0.69	16.16	13.03	3.48
8	464-2	V	T ₃	464km	钾长花岗岩	68.11	54.16	13.95	3.88	1.58	9.98	8.35	2.46
9	HK-7	V	J ₁	黑卡达坂	闪长花岗岩	320.07	295.62	24.45	12.09	0.73	46.96	32.22	6.64
10	SL 1	V	J ₁	赛力亚克	二长花岗岩	409.33	378.43	30.9	12.25	0.42	37.77	24.65	8.39

表 7.2(续 1)

序号	样号	演化 阶段	时代	岩体名称	岩石名称	ΣREE	LR	HR	LR/HR	δEu	L_{AN}/Y_{bN}	C_{EN}/Y_{bN}	L_{AN}/S_{MN}
11	GQB-2	V	J ₁	国庆桥北	细粒花岗岩	88.70	79.01	9.69	8.16	1.01	40.23	29.29	3.32
12	HBKB-6	V	J ₁	哈巴克北	细粒花岗岩	137.20	128.09	9.11	14.06	1.36	37.63	27.47	4.61
13	JFQ-1	V	J ₁	解放桥东	二长花岗岩	98.77	79.62	19.15	4.16	0.77	7.56	5.75	3.97
14	SLQB-4	V	J ₁	胜利桥北 1.5Km	二长花岗岩	203.63	173.2	30.43	5.69	0.78	14.6	10.43	5.26
15	STLN-5	V	J ₁	赛图拉南	钾长花岗岩	159.08	142.96	16.12	8.87	0.45	32.75	28.33	3.11
16	N-4	V	J ₂	胜利桥北 10Km	花岗闪长岩	177.83	153.6	24.23	6.34	1.07	18.29	12.69	5.86
	平 均	V	J			199.33	178.82	20.51	8.95	0.82	29.47	21.35	5.15
17	MT-9	V	K ₂	明铁盖	钾长花岗岩	211.85	172.43	39.42	4.37	0.55	11.52	9.09	3.59
18	KRBS-5	V	E ₂ -N ₁	苦子干	透辉正长岩	884.76	826.57	58.19	14.20	0.82	76.8	42.06	8.54
19	KRBS-22	V	E ₂ -N ₁	苦子干	碱性花岗岩	363.18	338.22	24.96	13.55	0.77	43.71	28.64	7.95
20	KZG-3	V	E ₂ -N ₁	苦子干	碱性花岗岩	397.96	365.36	32.24	11.33	0.57	39.7	24.86	8.31
	平 均	V	E ₂ -N ₁	苦子干	富碱侵入岩	548.51	510.05	38.46	13.03	0.72	53.40	31.85	8.27
21	KRBS-29	V	E ₂ -N ₁	卡尔巴生	暗色包体	1327.21	1225.76	101.44	12.08	0.77	52.96	38.9	5.45
	* Haskin 等, 1968				花岗岩类	263.42	202.70	60.72	3.34	0.72	8.08		

注: (1) 下角标 N 表示标准化之意;

(2) * 是根据 Haskin 等 (1968) 有关数据平均而成。

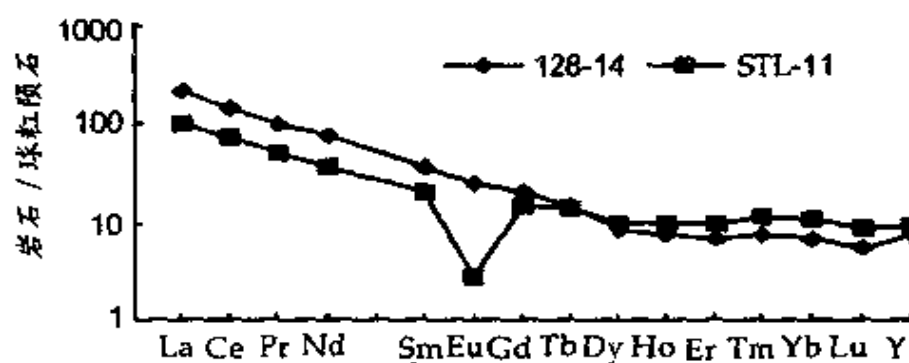


图 7.2 西昆仑造山带加里东期花岗岩类
稀土元素配分模式

128-14, 128 片麻状花岗岩闪长岩; STL-11, 赛图拉片麻状花岗岩

7.2.2 海西期 (Pz_2)

Pt_3^1 — P_2 构造-岩浆岩活动阶段(Ⅱ)海西期花岗岩类代表性岩体, 哈巴克片麻状花岗岩稀土总量为 $133.44 \mu\text{g/g}$, 哈巴克黑云母花岗岩稀土总量为 $171.20 \mu\text{g/g}$, 库地南钾长花岗岩稀土总量为 $547.94 \mu\text{g/g}$, 三者差别较大, 其平均值为 $284.19 \mu\text{g/g}$, 与世界花岗岩类的平均值 $249.5 \sim 280 \mu\text{g/g}$ 大致相当。

海西期花岗岩类总体属轻稀土富集型, 分配曲线右倾(图 7.3), 轻稀土分馏较重稀土分馏更加明显。

哈巴克片麻状花岗岩和库地南钾长花岗岩的 δEu 值较接近, 分别为 0.59 和 0.56, 介于销中等亏损的壳型花岗岩 δEu 平均值 0.46 与销弱亏损的壳幔型花岗岩 δEu 平均值 0.84 之间; 哈巴克黑云母花岗岩 δEu 值为 0.91, 属弱的负销异常, 与壳幔型花岗岩 δEu 平均值 0.84 较接近。

7.3 T_3 —Q 构造-岩浆活动阶段(V)

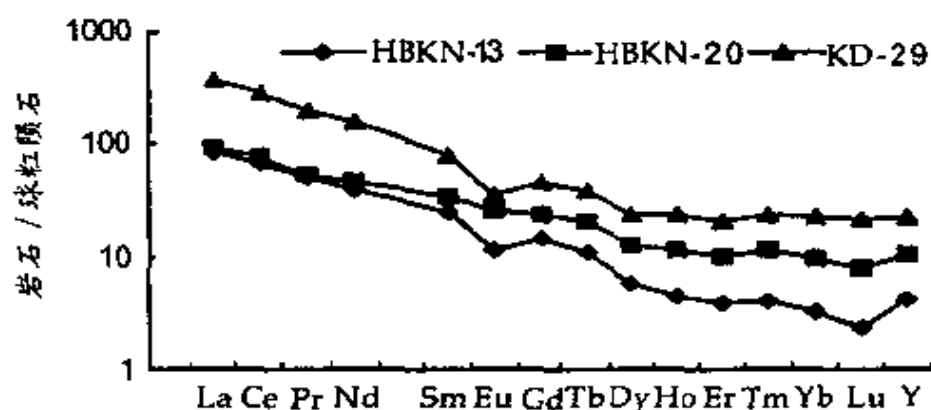


图 7.3 西昆仑造山带晚古生代花岗岩类
稀土元素配分模式

HBKN-13: 哈巴克片麻状花岗岩; HBKN-20: 哈巴克黑云母花岗岩;
KD-29: 库地南钾长花岗岩

7.3.1 印支晚期(T_3)

T_3 —Q 构造- 岩浆活动阶段(V) 印支晚期(T_3) 代表性岩体 464 钾长花岗岩稀土总量很低, 为 $68.11 \mu\text{g/g}$, 大大低于世界花岗岩类的平均值 $249.5 \sim 280 \mu\text{g/g}$, 也是西昆仑造山带各地质时期花岗岩类中最低的。

464 钾长花岗岩轻重稀土比 LR/HR 值为 5.40; La_N/Yb_N 值为 16.16; Ce_N/Yb_N 值为 13.03; La_N/Sm_N 值为 3.48, 这些都表明 464 钾长花岗岩属轻稀土富集型, 分配曲线右倾(图 7.4), 也表明花岗岩类轻、重稀土元素分异和分离结晶作用均较强烈。

464 钾长花岗岩 δEu 值为 1.58, 具有较明显的正铕异常, 与阿尔泰地区碱性正长岩(王中刚等, 1998)、米仓山地区正长岩及其中碱性长石(李昌年, 1992)、阿尔布塔尔花岗岩中斜长石及钾长石(Emmermann, 1975)的稀土元素配分模式类似, 这与 464 钾长花岗岩中长石含量(60%), 尤其是钾长石含量(45%)较高有关, 因为岩石中稀土元素铕的富集与亏损主要取决于含钙造岩矿物(长石、

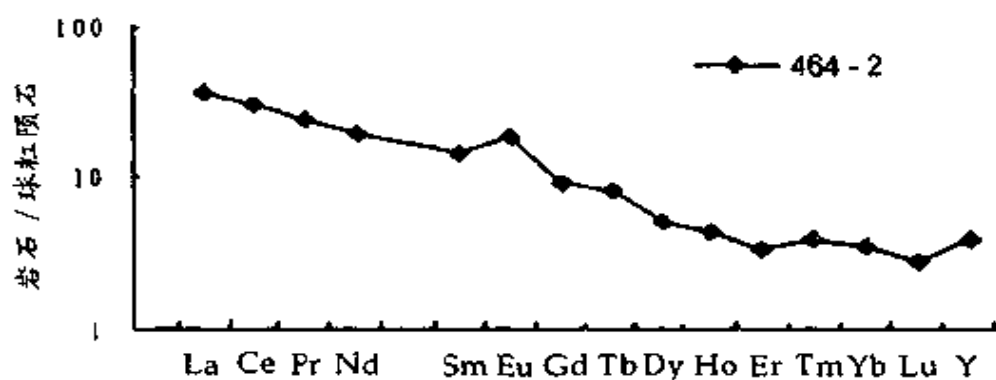


图 7.4 西昆仑造山带印支晚期(T_3)
464 钾长花岗岩稀土元素配分模式

磷灰石和富钙辉石等)的聚集与迁移(李昌年,1992)。

7.3.2 燕山早期(J)

T_3 -Q 构造-岩浆活动阶段(V)燕山早期(J)闪长花岗岩稀土总量为 $320.07 \mu\text{g/g}$,二长花岗岩稀土总量介于 $98.77 \sim 409.33 \mu\text{g/g}$ 之间,细粒花岗岩稀土总量介于 $88.70 \sim 137.20 \mu\text{g/g}$ 之间,三者差别较大,其平均值为 $199.33 \mu\text{g/g}$,低于世界花岗岩类的平均值 $249.5 \sim 280 \mu\text{g/g}$

海西期花岗岩类总体属轻稀土富集型,分配曲线右倾(图7.5、图7.6),总体上轻稀土分馏粒重稀土分馏明显。

闪长花岗岩 δEu 值为 0.73,介于铕中等亏损的壳型花岗岩 δEu 平均值 0.46 与铕弱亏损的壳幔型花岗岩 δEu 平均值 0.84 之间;二长花岗岩 δEu 值介于 0.42~1.07 之间,从接近铕中等亏损的壳型花岗岩 δEu 平均值 0.46 到略具有正铕异常,差别较大;细粒花岗岩的介于 1.01~1.36 之间,从略具有正铕异常到具有较明

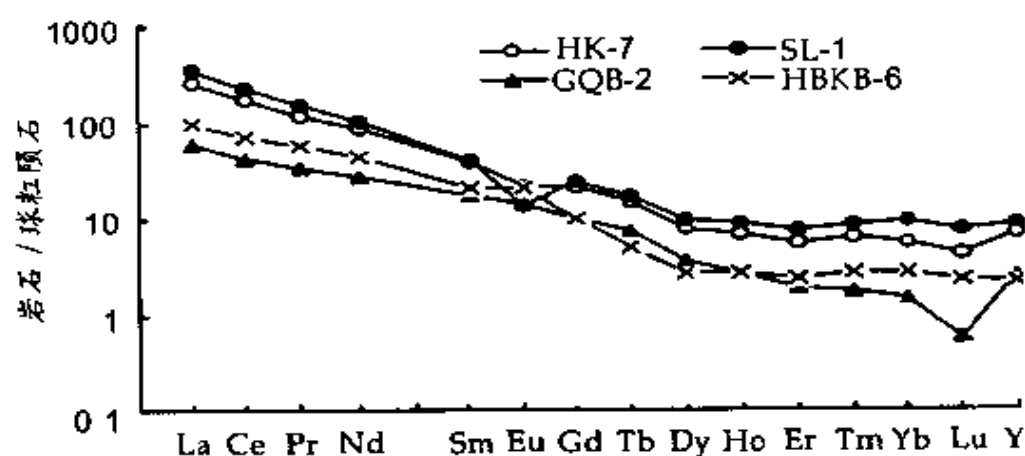


图 7.5 西昆仑造山带燕山早期(J)
花岗岩类稀土元素配分模式(A)

HK-7, 黑卡闪长花岗岩; SL-1, 赛力亚克二长花岗岩;
GQB-2, 国庆北细粒花岗岩; HBKB-6, 哈巴克北细粒花岗岩

显的正铕异常,三者 δE_u 值平均为 0.82,即燕山早期(J)花岗岩类总体属弱的负铕异常,与壳幔型花岗岩 δE_u 平均值 0.84 较接近。

7.3.3 燕山晚期(K)

T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V)燕山晚期(K)代表性岩体明铁盖钾长花岗岩稀土总量为 $211.85 \mu\text{g/g}$,低于世界花岗岩类的平均值 $249.5 \sim 280 \mu\text{g/g}$ 。

明铁盖钾长花岗岩轻重稀土比 LR/HR 值为 4.37; La_N/Yb_N 值为 11.52; Ce_N/Yb_N 值为 9.09; La_N/Sm_N 值为 3.59,这些都表明 464 钾长花岗岩属轻稀土富集型,分配曲线右倾(图 7.7),轻稀土分馏较重稀土分馏更加明显。

明铁盖钾长花岗岩 δE_u 值为 0.55,介于铕中等亏损的壳型花岗岩 δE_u 平均值 0.46 与铕弱亏损的壳幔型花岗岩 δE_u 平均值 0.84 之间。

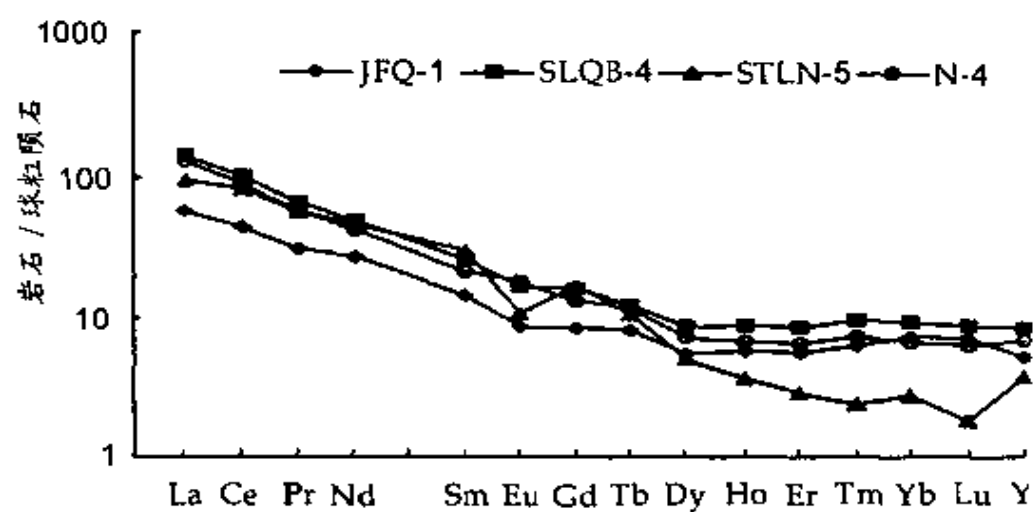


图 7.6 西昆仑造山带燕山早期(J)

二长花岗岩稀土元素配分模式(B)

JFQ-1:解放桥东岩体;SLQB-4:胜利桥北 1.5km 岩体;

STLN-5:赛图拉南岩体;N-4:胜利桥北西 10km 岩体

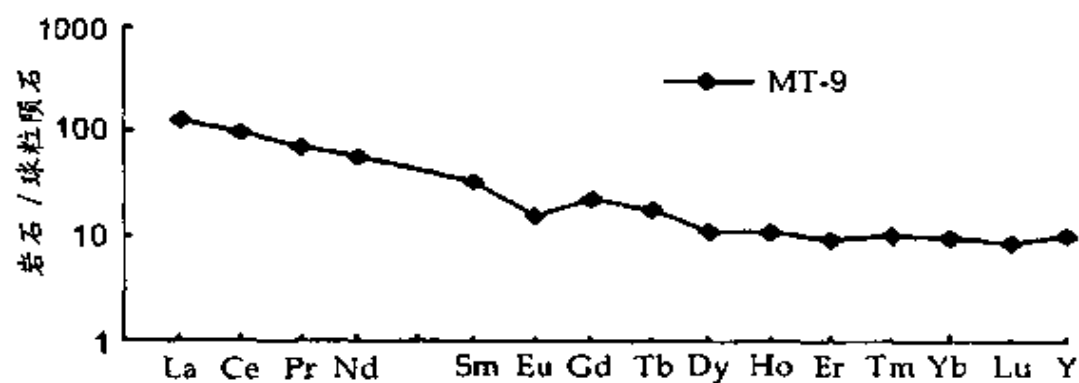


图 7.7 西昆仑造山带燕山晚期(K)明铁盖钾长花岗岩
稀土元素配分模式

7.3.4 喜山期(Kz)

T₃-Q 构造-岩浆活动阶段(V)喜山期(Kz)代表性岩体苦子干富碱侵入岩中透辉正长岩稀土总量较高,为 884.76 $\mu\text{g/g}$, 2 个碱性花岗岩的相对较低,分别为 363.18 和 397.60 $\mu\text{g/g}$,但均高于世界花岗岩类的平均值 249.5~280 $\mu\text{g/g}$,而大大低于苦子干富碱侵入岩中暗色微粒包体的稀土总量 1327.20 $\mu\text{g/g}$,反映暗色微粒包体形成过程中伴随着稀土元素的大规模集聚。

苦子干富碱侵入岩属轻稀土强烈富集型,分配曲线右倾(图 7.8),透辉正长岩及暗色微粒包体轻、重稀土元素分异和分离结晶作用均很强烈;而碱性花岗岩的轻稀土分馏较重稀土分馏更加明显。

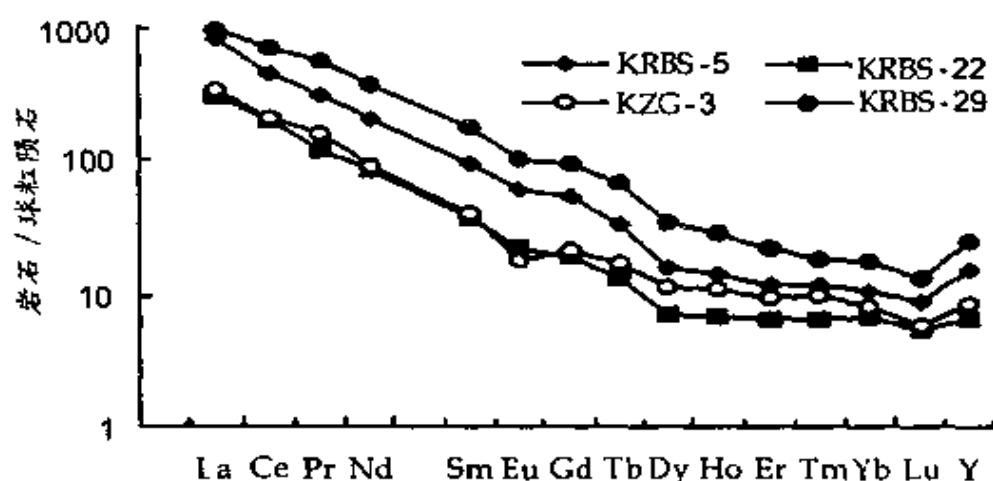


图 7.8 西昆仑造山带喜山期(Kz)

苦子干透辉正长岩稀土元素配分模式

KRBS-5:透辉正长岩;KRBS-22,KZG-3:碱性花岗岩;

KRBS-29:暗色微粒包体。

苦子干透辉正长岩 δEu 值较高,为 0.82,与稍弱亏损的壳幔型花岗岩 δEu 平均值 0.84 较接近;2 个碱性花岗岩的相对较低,

分别为 0.77 和 0.57, 介于铕中等亏损的壳型花岗岩 δEu 平均值 0.46 与铕弱亏损的壳幔型花岗岩 δEu 平均值 0.84 之间。

7.4 小结

通过上面有关西昆仑造山带各个不同构造-岩浆活动阶段花岗岩类稀土元素地球化学特征的讨论可以得出如下结论:

1) 同世界花岗岩类稀土总量平均值 $249.5 \sim 280 \mu\text{g/g}$ (Haskin 等, 1968) 相比, 西昆仑造山带花岗岩类稀土总量平均值 $\text{Ar}_3-\text{Pt}_2^1$ 构造-岩浆活动阶段元古代、 T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V) 喜山期(Kz) 的较高(后者尤甚); Pt_3^1-P_2 构造-岩浆岩活动阶段(Ⅱ) 海西期稀土总量平均值同世界花岗岩类的大致相当, 但略高; 其它各期的则较低, 其中以 T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V) 印支晚期(T_3) 的最低。

2) 西昆仑造山带各阶段花岗岩类均属轻稀土富集型, 分配曲线右倾, 其中以 T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V) 喜山期(Kz) 的最为显著; $\text{Ar}_3-\text{Pt}_2^1$ 构造-岩浆活动阶段元古代、 T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V) 印支晚期(T_3) 和喜山期(Kz) 透辉正长岩及暗色微粒包体的轻、重稀土元素分异和分离结晶作用均较强烈, 其它各期的轻稀土分馏较重稀土分馏更加明显。

3) T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V) 印支晚期(T_3) 464 钾长花岗岩具有较明显的正铕异常, 燕山早期(J) 的细粒花岗岩及部分二长花岗岩从略具有正铕异常到具有较明显的正铕异常; 其它各期的花岗岩类具有弱到中等程度的铕亏损, 少量具有强烈的铕亏损, 如赛图拉片麻状花岗岩等。

4) 从上述及图 7.9、图 7.10、图 7.11 可知, 西昆仑造山带印支运动以前同其以后形成的花岗岩类稀土元素地球化学特征有差异。花岗岩类的 ΣREE 、 LREE 、 HREE 含量在印支晚期(T_3) 最低, 其以前同其以后形成的花岗岩类的 ΣREE 、 LREE 、 HREE 含量呈

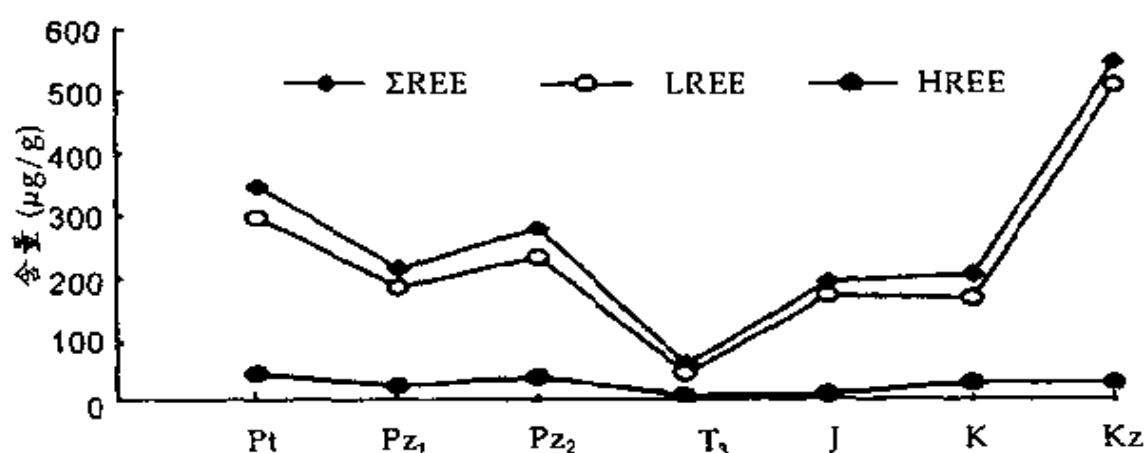


图 7.9 Σ REE、LREE、HREE 平均含量变化曲线图

对称波浪状变化(图 7.9);花岗岩类的 LR/HR 、 La_N/Yb_N 、 Ce_N/Yb_N 、 La_N/Sm_N 值也是在印支晚期(T_3)最低,其以前形成的花岗岩类的 LR/HR 、 La_N/Yb_N 、 Ce_N/Yb_N 、 La_N/Sm_N 值是随着地质时代变新而逐渐变小,其以后形成的花岗岩类的 LR/HR 、 La_N/Yb_N 、 Ce_N/Yb_N 、 La_N/Sm_N 值则是随着地质时代变新呈波浪状变化(图 7.10);花岗岩类的 δEu 值在印支晚期(T_3)最高,其以前形成的花岗岩类的 δEu 值是随着地质时代变新而逐渐增大,其以后形成的花岗岩类的 δEu 值是随着地质时代变新而总体变小(图 7.11)。这些又一次说明而昆仑造山带印支运动是一次重要的构造转折运动。

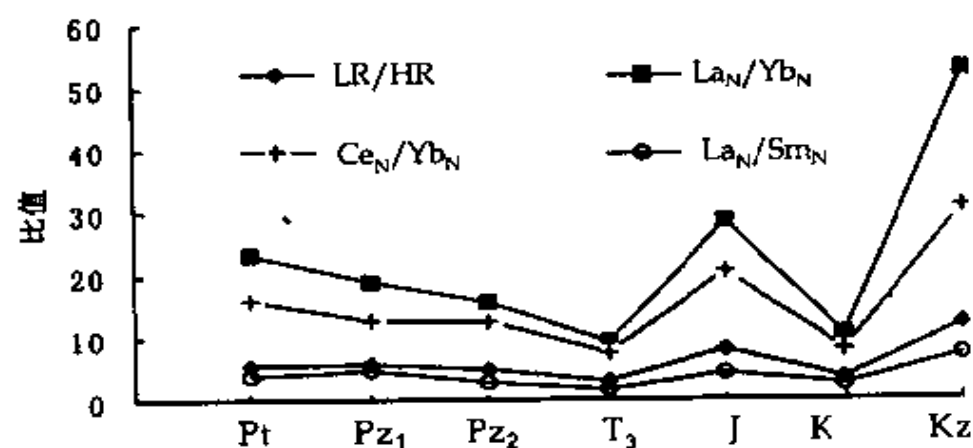


图 7.10 LR/HR、 La_N/Yb_N 、 Ce_N/Yb_N 、 La_N/Sm_N 平均值变化曲线图

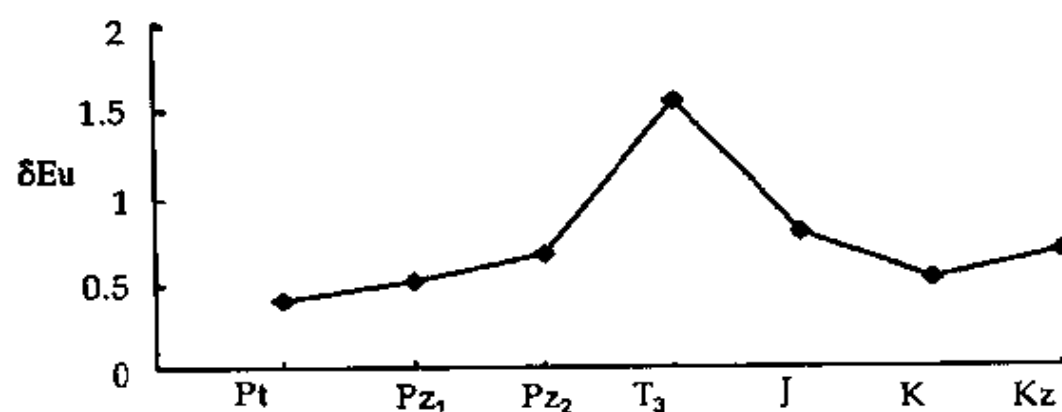


图 7.11 δEu 平均值变化曲线图

8 花岗岩类岩石的微量元素地球化学

8.1 $Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(I)

$Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(I)早元古代代表性岩体阿卡孜片麻状花岗岩微量元素含量平均值(表 8.1)与地壳酸性岩微量元素平均含量(即维氏值,维诺格拉多夫,1962)比较,Zn、Mo、Ba、Pb、Th、U 平均含量较高,其中 Zn、Th、U 平均含量分别是维氏值对应元素平均含量的 8.39 倍、2.74 倍和 2.11 倍;Cu、Ga、Rb 平均含量两者几乎相同,但阿卡孜片麻状花岗岩的略高;Be、Li、V、Zr、Co、Ni、Sr、Nb、Y 平均含量较低,其中 Be、Li、V、Zr 较为明显。

与阿卡孜片麻状花岗岩的元古代围岩混合岩比较,阿卡孜片麻状花岗岩的 Th、U、Zn、Zr、Ni、Mo 平均含量较高,分别是围岩混合岩对应元素含量的 10.23 倍、大于 7 倍、7.33 倍、2.62 倍、1.42 倍和 1.39 倍;Cu、Ga、Rb 含量两者几乎相同,其中阿卡孜混合花岗岩的 Cu、Ga 平均含量略高,而 Rb 平均含量略低;阿卡孜片麻状花岗岩的 V、Co、Li、Pb、Be、Sr、Nb、Ba、Y 平均含量较低,其中 V、Co、Li、Pb 较为明显。

上述表明,同地壳酸性岩微量元素平均含量比较,元古代阿卡孜混合花岗岩富 Zn、Th、U(尤其富 Zn),贫 Be、Li、V、Zr(尤其贫 Be);在围岩混合岩形成混合花岗岩过程中(见 6.1 节)伴酸有 Th、U、Zn、Zr、Ni、Mo 的相对富集(前三者尤其如此),同时伴随 Li、Be、V、Co、Sr、Nb、Ba、Pb、Y 向围岩混合岩中迁移(V、Co、Li、Pb 最为明显);而 Cu、Ga、Rb 无论同地壳酸性岩微量元素平均含量比较,还是同围岩混合岩相比,都显得非常稳定。

表 8.1 西昆仑造山带花岗岩类岩石微量元素含量 ($\mu\text{g/g}$)

样号	编号	时代	岩体名称	岩石名称	La	Be	V	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rh	Sr	Zr	Nb	Mo	Sn	Ba	Hf	Ta	W	Pb	Th	U	Y		
1	AKZ-6	J ₁	阿卡孜	片麻状花岗岩	11.91	1.1817	0.3	42.5	35.19	2	42.8	21.8	197	253	23.3	19.6	1.36	0.051	1431	—	—	—	—	49.9	20.6	—	35.8	
2	AKZ-28	J ₁	阿卡孜	片麻状花岗岩	6.44	0.103	61.2	42.4	80.23	9	964	22.0	251	65.6	82.6	13.8	—	—	—	501	0.84	—	—	—	20.7	78.0	7.37	12.9
平均		J ₁	阿卡孜	片麻状花岗岩	8.17	0.6410	31.2	92.5	58.21	55	303.4	21.8	224	159.3	52.95	16.71	36	0.051	966	0.84	—	—	—	—	35.3	49.3	7.37	24.35
	AKZ-81	J ₁	阿卡孜	粗面岩	19.4	0.7243	27	50.3	57.23	7	68.7	22.8	213	296	20.2	29.5	0.98	—	—	1375	—	8.70	—	—	70.6	4.82	—	38.6
3	123-14	■	228 km	片麻状花岗岩	23.7	23.573	19.057	40.24	2	1446	24.2	121	975	108	12.9	0.55	2.22	1143	0.96	—	—	—	—	53.9	26.3	1.24	15.6	
4	801-11	■	霍图拉	片麻状花岗岩	18.5	2.822	88.0	18	—	3.47	51.5	17.0	271	52.7	11.4	16.2	—	1.51	230	—	—	—	—	31.0	34.2	1.20	18.9	
平均		■			21.12	5.937	94.6	27.4	40.3	8.4748	7.520	8	196	513.85	59.7	34.550	55	1.87	686.5	0.96	—	—	—	—	42.45	30.25	1.22	17.25
5	HBKN-13	■	哈巴克	片麻状花岗岩	56.71	92.12	61.431	60.3	93	632	23.0	160	169	26.0	12.8	—	—	—	—	501	—	—	—	—	54.3	18.8	—	8.59
6	HBKN-20	■	哈巴克	片麻状花岗岩	98.12	47.34	56.695	77.12	3	87.4	28.0	197	304	203	40.0	—	—	—	—	355	2.02	—	—	36.9	18.7	—	21.0	
7	KD-29	■	神木南	片麻状花岗岩	91.94	73.36	14.294	27.11	7	62.2	25.5	275	271	90.1	66.0	1.78	4.93	912	1.12	10.5	4.46	4.46	4.46	55.30	23.47	1.45	24.46	
平均		■			32.23	0.477	73.4	14.3	88.6	31.267	2.25	52.10	67	248	0.106	37.89	60.178	4.15	801.33	2.34	6.26	4.46	4.46	55.30	23.47	1.45	24.46	
8	464-2	V	464	钾长花岗岩	41.31	65.27	0.2	84.5	91.6	63	131	15.5	235	276	0.18	7.32	—	—	—	929	—	—	—	—	95.5	6.46	—	7.48
9	HK-7	V	黑卡	闪长花岗岩	31.41	42.22	42.26	—	7.82	2139	19.4	185	459	607	19.2	—	—	—	—	1754	12.9	—	—	—	39.9	23.4	—	12.8
10	SL-1	V	磨力亚克	二长花岗岩	82.40	67.1	98.0	52.4	0.26	11	1326	19.4	157	119	193	12.4	0.11	4.24	894	3.56	—	—	—	40.4	29.9	0.91	16.2	
11	GQB-2	V	图庆桥北	细粒花岗岩	34.52	10.5	98.2	67.4	50.12	1	488	2.32	98.8	280	25.2	15.5	—	—	—	830	—	—	—	—	592	10.4	—	4.60
12	KKB-6	V	哈巴克北	细粒花岗岩	155.0	70.6	95.0	95.0	13.8	49	1249	169	109	592	23.8	9.41	—	—	—	1670	—	—	—	—	24.7	8.39	—	4.07
13	JFQ-1	V	磨力亚克	二长花岗岩	15.93	71.7	60.0	78.1	39.5	92	1334	17.4	145	240	69.6	23.2	—	—	—	570	0.34	0.25	—	—	31.6	28.1	1.64	10.8
14	SLQB-4	V	磨力亚克	二长花岗岩	30.11	77.42	36.41	5	67.16	7	782	20.8	147	342	59.4	16.5	0.69	2.21	1040	—	—	—	—	—	187	20.2	—	17.2

表 8.1 (续 1)

序号	编号	时代	岩体名称	岩石名称	Li	Be	V	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	Zr	Nb	Mo	Sn	Ba	Hf	Ta	W	Pb	Th	U	Y
15	STJN-5	V	J ₁	砂长花岗岩	54.23	37.11	31.39	—	6.37	75.5	22.9	294	150	82.4	12.5	—	—	—	54.6	22.1	—	—	—	—	—	7.70
16	N-4	V	J ₃	砂长花岗岩	34.4	1.45	41.85	22.0	32.14	3	595	18.2	95.0	232	46.5	11.3	—	—	32.8	15.8	0.33	13.8	—	—	—	—
平均	V	J			34.74	1.90	7.54	2.54	2.67	19.73	99.85	9.74	153.85	301.75	37.99	15.00	40	3.01	1033.75	4.29	0.25	—	—	125.38	15.79	0.96
17	Mt 9	V	K ₂	砂长花岗岩	105.3	1.13	91.08	86.94	19.5	77.1	23.1	240	447	191	17.2	0.50	25.5	649	3.57	—	—	—	—	23.0	26.4	29.22
18	KRES-5	V	E ₂ -N ₁	砂长花岗岩	37.7	10.4	56.11	91.4	58.12	0	91.7	26.1	556	2325	140	29.1	8.74	2.46	1822	3.07	—	—	3.71	355	64.3	12.5
19	KRES-22	V	E ₂ -N ₁	砂长花岗岩	25.1	6.80	15.92	56.5	13.29	1	45.4	23.3	315	1131	71.3	21.0	0.83	1.30	1506	0.30	—	—	3.49	68.2	83.9	12.7
20	KZG-3	V	E ₂ -N ₁	砂长花岗岩	—	—	8.02	0.83	4.54	0.79	15.0	0.7	150	324	11.1	14.6	12.3	1.47	1490	—	1.93	1.93	1.68	35.4	26.6	3.18
平均	V	E ₂ -N ₁			31.40	8.60	26.67	77.4	75.13	80	50.03	22.37	340.38	1260.0	74.13	21.57	29	1.74	1606	1.69	1.93	2.96	152.87	58.27	9.46	19.87
	KRES-29	V	E ₂ -N ₁	砂长花岗岩	—	—	45.97	41.16	9.17	0	114	20.4	329	1866	110	23.4	2.18	2.19	4705	4.47	2.17	2.03	46.0	56.4	6.09	49.3
数据按拉多夫, 1962					40	5.5	40	5	8	20	60	20	200	300	200	20	1	3	830	—	3.5	1.5	20	18	3.5	—
数据, 1976					4	1.0	2	80	1500	40	—	6.5	2.6	120	50	6	0.6	0.8	76	—	0.1	0.3	2.1	0.75	0.13	—
数据, 1976					21	1.3	140	—	89	63	—	18	78	480	130	19	1.3	1.7	390	—	1.6	1.1	12	5.8	1.7	—

注: 表中西昆仑造山带花岗岩类微量元素含量均为等离子体质谱仪测试。

8.2 $Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆岩活动阶段(Ⅲ)

8.2.1 加里东期(Z_2-P_{z1})

$Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆岩活动阶段(Ⅲ)加里东期花岗岩类代表性岩体 128 片麻状花岗闪长岩微量元素含量与地壳酸性岩微量元素平均含量比较, V、Co、Cu、Zn、Ga、Sr、Ba、Pb、Th 含量较高, 其中 Zn、Sr、Pb 含量分别是维氏值对应元素平均含量的 24.10 倍、3.25 倍和 2.70 倍; Ni 含量两者几乎相同, 但 128 片麻状花岗闪长岩的略低; U、Ba、Y、Li、Rb、Zr、Nb、Mo、Sn 含量较低, 其中 U、Be、Y 较为明显。

代表性岩体赛图拉片麻状花岗岩微量元素含量与地壳酸性岩微量元素平均含量比较, Rb、Pb、Th 含量较高, 分别是维氏值对应元素平均含量的 1~2 倍; Co、Zr、V、Cu、Sr、Ba、U、Li、Be、Zn、Ga、Nb、Sn、Y 含量均较低, 其中 Co、Zr、V、Cu、Sr、Ba、U、Li 较为明显。

$Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆岩活动阶段(Ⅲ)加里东期花岗岩类微量元素含量平均值与地壳酸性岩微量元素平均含量比较, Zn、Pb、Sr、Th 平均含量较高, 分别是维氏值对应元素平均含量的 12.48 倍、2.12 倍、1.71 倍、1.68 倍; V、Co、Ni、Rb、Ga 平均含量两者几乎相同, 但前四者加里东期花岗岩类的平均含量略低, Ga 的平均含量略高; Zr、U、Li、Be、Cu、Nb、Mo、Sn、Ba、Y 平均含量较低, 其中 Zr、U 较为明显。

8.2.2 海西期(P_{z2})

$Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆岩活动阶段(Ⅲ)海西期花岗岩类代表性岩体, 哈巴克片麻状花岗岩微量元素含量与地壳酸性岩微量元素平均含量比较, Li、Zn、Ga、Sn、Pb、Th 含量较高, 其中 Zn、Pb 含量

分别是维氏值对应元素平均含量的 10.87 倍和 2.72 倍；哈巴克片麻状花岗岩 Th 含量略高于维氏值对应元素平均含量；Zr、Cu、Ni、Y、Co、V、Be、Rb、Sr、Nb、Ba 含量较低，其中 Zr、Cu、Ni、Y、Co、V、Be 较为明显。

代表性岩体哈巴克黑云母花岗岩微量元素含量与地壳酸性岩微量元素平均含量比较，Li、Co、Zn、Ga、Sr、Zr、Nb、Sn、Ba、Pb 含量较高，其中 Li、Nb 含量分别是维氏值对应元素平均含量的 2.45 倍和 2 倍；哈巴克黑云母花岗岩 Th 含量略高于维氏值对应元素平均含量；Be、V、Ni、Cu、Rb、Ta、Y 含量较低，其中 Be 较为突出。

代表性岩体库地南钾长花岗岩微量元素含量与地壳微性岩微量元素平均含量比较，Li、Zn、Ga、Rb、Nb、Mo、Sn、Ba、Ta、W、Pb、Th、U、Y 含量较高，其中 Pb、Nb、Ta、W、Li 含量分别是维氏值对应元素平均含量的 3.74 倍、3.3 倍、3 倍、2.97 倍和 2.30 倍；Zr、Be、V、Co、Ni、Cu、Sr 含量较低，其中 Zr 较为明显。

Pt₃¹—P₂构造-岩浆岩活动阶段(Ⅲ)海西期花岗岩类微量元素含量平均值与地壳酸性岩微量元素平均含量比较，Li、Zn、Ga、Rb、Nb、Mo、Sn、Ta、W、Pb、Th 平均含量较高，其中 Zn、Pb、W、Li 平均含量分别是维氏值对应元素平均含量的 4.45 倍、3.74 倍、2.97 倍、2.06 倍；Ga、Rb、Ba 平均含量两者几乎相同，但前二者海西期花岗岩类的平均含量略高，Ba 的平均含量略低；Cu、Ni、Be、V、Co、Sr、Zr、U、Y 平均含量较低，其中 Cu、Ni 较为明显。

8.3 T₃—Q 构造-岩浆活动阶段(V)

8.3.1 印支晚期(T₃)

T₃—Q 构造-岩浆活动阶段(V)印支晚期(T₃)花岗岩类代表性岩体 464 钾长花岗岩微量元素含量与地壳酸性岩微量元素平均含量比较，Li、Zn、Rb、Ba、Pb 含量较高，其中 Pb 含量是维氏值对

应元素平均含量的 4.78 倍, Li、Zn、Rb、Ba 含量分别是维氏值对应元素平均含量的 2 倍以下; 其它元素含量较低, 其中维氏值的 Zr、Y、Be、Cu、Th、Nb 平均含量分别是 464 钾长花岗岩对应元素含量的 1111.11 倍、4.55 倍、3.33 倍、3.02 倍、2.79 倍、2.73 倍, 维氏值的 V、Co、Ni、Ga、Sr、Sn 平均含量分别是 464 钾长花岗岩对应元素含量的 1~2 倍。

8.3.2 燕山早期(J)

T₃-Q 构造-岩浆活动阶段(V)燕山早期(J)花岗岩类代表性岩体黑卡闪长花岗岩微量元素含量与地壳酸性岩微量元素平均含量比较, Zn、Sr、Zr、Ba、Pb、Th 含量较高, 其中 Zn、Zr、Ba 含量是维氏值对应元素平均含量的 35.65 倍、3.04 倍、2.11 倍; 黑卡闪长花岗岩 Ga、Nb 含量略低于维氏值对应元素平均含量; Be、Y、Cu、Co、Sn、Li、V、Rb 含量较低, 其中 Be、Y、Cu、Co、Sn 较为明显。

燕山早期(J)二长花岗岩类微量元素含量平均值与地壳酸性岩微量元素平均含量比较, Li、Zn、Sn、Pb 平均含量较高, 其中 Zn、Pb 平均含量分别是维氏值对应元素平均含量的 13.71 倍、3.46 倍; Ga、Ba 平均含量略低于维氏值对应元素平均含量; Ta、U、Ni、Y、Be、Mo、Zr、Cu、V、Co、Rb、Sr、Nb、Th 平均含量较低, 其中 Ta、U、Ni、Y、Be、Mo、Zr、Cu 较为明显。

燕山早期(J)细粒花岗岩类微量元素含量平均值与地壳微性岩微量元素平均含量比较, Li、Zn、Sr、Pb 平均含量较高, 其中 Pb、Zn、Li 平均含量分别是维氏值对应元素平均含量的 15.42 倍、14.48 倍、2.37 倍; Ga 平均含量略高于维氏值对应元素平均含量; Zr、Y、V、Be、Ni、Sn、Co 平均含量较低, 其中 Zr、Y、V、Be、Ni、Sn、Co 较为明显。

T₃-Q 构造-岩浆活动阶段(V)燕山早期(J)花岗岩类微量元素含量平均值与地壳酸性岩微量元素平均含量比较, Li、Zn、Ba、Pb 平均含量较高, 其中 Zn、Pb 平均含量分别是维氏值对应元素

平均含量的 16.64 倍、6.27 倍；Ga、Sr、Sn、Th 平均含量两者几乎相同，但燕山早期(J)花岗岩类 Ga 的平均含量略低，燕山早期(J)花岗岩类后三者的平均含量略高；Ta、U、Y、Ni、Be、Mo、V、Cu、Co、Rb、Zr、Nb 平均含量较低，其中 Ta、U、Y、Ni、Be、Mo、V、Cu 较为明显。

8.3.3 燕山晚期(K)

T₃-Q 构造-岩浆活动阶段(V)燕山晚期(K)花岗岩类代表性岩体明铁盖钾长花岗岩微量元素含量与地壳酸性岩微量元素平均含量比较，Li、V、Co、Ni、Zn、Ga、Rb、Sr、Sn、Pb、Th、U 含量较高，其中 Sn、Li、V 含量是维氏值对应元素平均含量的 8.5 倍、2.63 倍、2.28 倍，Co、Ni、Zn、Ga、Rb、Sr、Pb、Th、U 含量分别是维氏值对应元素平均含量的 2 倍以下；Ga 含量略低于维氏值对应元素平均含量；其它元素含量较低，维氏值的平均含量分别是明铁盖钾长花岗岩对应元素含量的 1~2 倍。

8.3.4 喜山期(Kz)

T₃-Q 构造-岩浆活动阶段(V)喜山期(Kz)代表性岩体苦子干富碱侵入岩微量元素平均含量与地壳酸性岩微量元素平均含量比较，Be、Rb、Sr、Mo、Ba、W、Pb、Th、U 平均含量较高，其中 Pb、Mo、Sr、Th、U 平均含量是维氏值对应元素平均含量的 7.64 倍、7.29 倍、4.2 倍、3.24 倍、2.70 倍；Ga、Nb 平均含量略高于维氏值对应元素平均含量；Co、Zr、Li、V、Ni、Cu、Zn、Sn、Ta、Y 平均含量较低，其中 Co、Zr 较为突出。

苦子干富碱侵入岩微量元素平均含量与其中暗色微粒包体微量元素含量比较，Mo、W、Pb、Th、U 平均含量较高，其中 Mo、Pb 平均含量是暗色微粒包体对应元素平均含量的 3.38 倍、3.32 倍；苦子干富碱侵入岩的 Ga、Rb、Th 平均含量略高于暗色微粒包体对应元素含量，Nb 平均含量略低于暗色微粒包体对应元素含量；Co

、Ni、Ba、Hf、Y、V、Cu、Sr、Zr、Sn、Ta 平均含量较低,其中暗色微粒包体 Co、Ni、Ba、Hf、Y 含量分别是苦子干富碱侵入岩对应元素平均含量的 4.19 倍、3.56 倍、2.93 倍、2.65 倍、2.48 倍,暗色微粒包体 V、Cu、Sr、Zr、Sn、Ta 含量分别是苦子干富碱侵入岩对应元素平均含量的 1~2 倍。上述表明暗色微粒包体形成过程中,伴随有 Co、Ni、Ba、Hf、Y、V、Cu、Sr、Zr、Sn、Ta 等元素的富集,同时伴随有 Mo、W、Pb、Th、U 等元素向富碱侵入岩中迁移;而 Ga、Rb、Th、Nb 则表现较为稳定。

8.4 小结

通过上面有关西昆仑造山带各个不同构造-岩浆活动阶段花岗岩类微量元素地球化学特征的讨论可以得出如下结论:

1) 与地壳酸性岩微量元素平均含量比较,西昆仑造山带各个不同构造-岩浆活动阶段花岗岩类 Zn、Pb、Th 含量较高,它们的平均含量一般分别是维氏值对应元素平均含量的 1.29~35.65 倍、1.15~7.64 倍、1.10~3.24 倍(晚三叠世 464 钾长花岗岩的低子维氏值);Ga、Rb、Ba 平均含量两者近等;其它元素总体含量较低。

2) 从上述及图 8.1、图 8.2、图 8.3、图 8.4 可知,西昆仑造山带印支运动以前同其以后形成的花岗岩类微量元素地球化学特征也有差异。其中 Be、Mo、U、Ga、Nb、Sr 平均含量总体上以印支晚期(T_3)花岗岩类的最低,其以前形成的花岗岩类的对应元素平均含量随着地质时代变新呈波浪状变化,其以后形成的花岗岩类的对应元素平均含量则是随着地质时代变新而逐渐增高;Co、Hf、Sn、Y、Li、V、Zr、Zn 平均含量也总体上以印支晚期(T_3)花岗岩类的最低,其以前及以后形成的花岗岩类的对应元素平均含量随着地质时代变新均呈波浪状变化;Cu、Th 平均含量仍然总体上以印支晚期(T_3)花岗岩类的最低,其以前形成的花岗岩类的对应元素

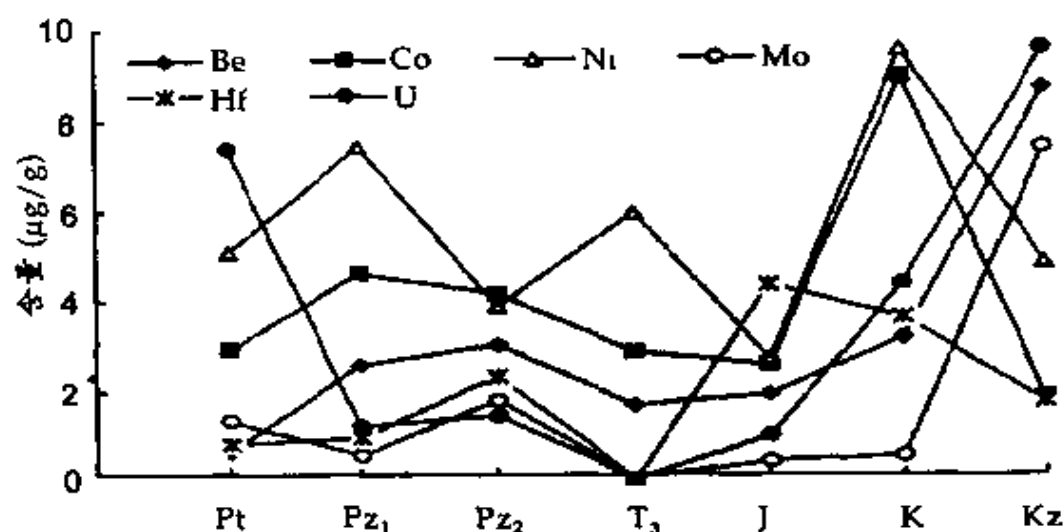


图 8.1 Be、Co、Ni、Mo、Mf、U 平均含量变化曲线图

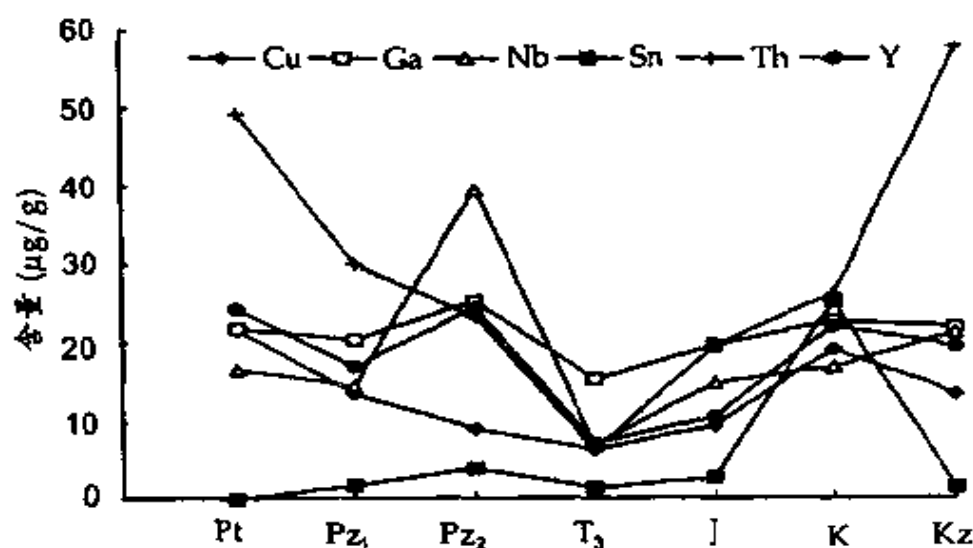


图 8.2 Cu、Ga、Nb、Sn、Th、Y 平均含量变化曲线图

平均含量随着地质时代变新逐渐降低,其以后形成的花岗岩类的对应元素平均含量则是随着地质时代变新而逐渐增高;Ni、Pb、Rb、Ba 平均含量以印支运动作为转折的随时代变化而变化的规律则不太明显。上述西昆仑造山带花岗岩类微量元素地球化学特征的时代变化规律再一次表明,印支运动是西昆仑造山带一次重要的构造转折运动。

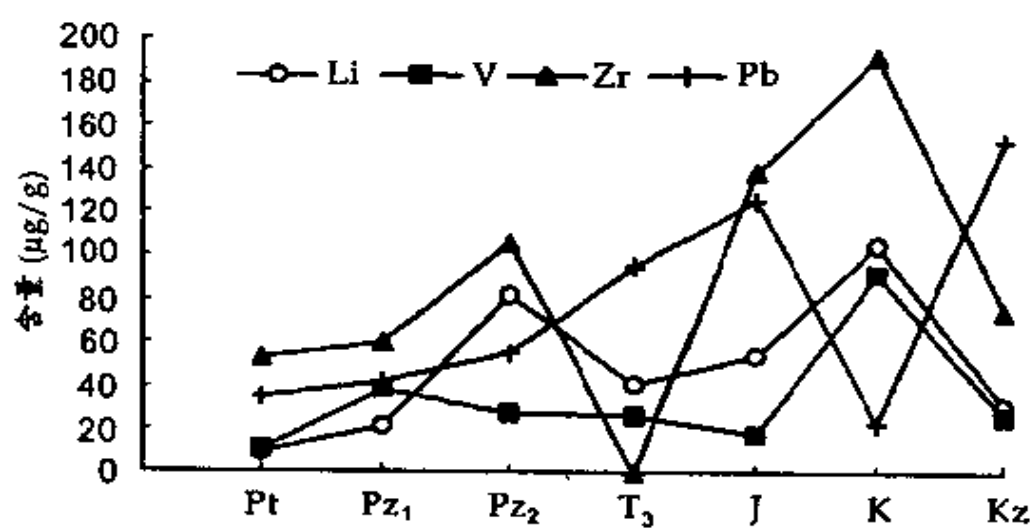


图 8.3 Li、V、Zr、Pb 平均含量变化曲线量

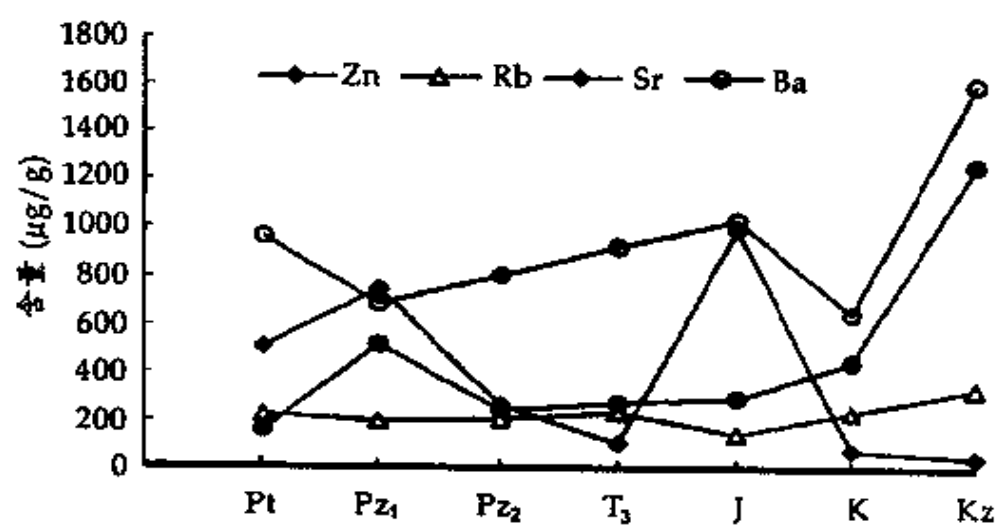


图 8.4 Zn、Rb、Sr、Ba 平均含量变化曲线量

9 花岗岩类的成岩构造环境

Loiselle 等(1979)把花岗岩的形成与构造环境结合起来,将花岗岩分为造山带的 O 型(Orogenic)花岗岩及非造山带(隆起区及裂谷区)的 A 型(Anorogenic, Anhydrous, Alkaline, Aluminous)(非造山带、无水、碱质、铝质)花岗岩。从此,有关花岗岩类的形成构造环境一直是地学界的热门问题之一。它是在板块构造学说的基础上,通过岩石学、矿物学、地球化学、实验岩石学等研究而建立起来的近代岩理学重要问题之一。在国内外,有关花岗岩类形成构造环境的文献已经有较多积累,但目前尚无统一的判别或划分方案。本章主要从以下两个方面(同时参考前面各章有关花岗岩类的时空分布、岩石学、岩石化学、岩石地球化学等特征)来判别西昆仑造山带花岗岩类的形成构造环境。

9.1 根据花岗岩类的岩石化学成分判别

花岗岩类的化学成分与构造环境关系密切。De La Roche 等(1980)、Batchelor 等(1985)根据花岗岩类的岩石化学成分划分出了 6 种花岗岩类的形成构造环境(表 9.1、图 9.1)。

9.1.1 $Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(I)

在 R_1-R_2 判别图(图 9.1)中,西昆仑造山带 $Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(I)元古代较早期形成的阿卡孜片麻状花岗岩(AKZ-28、*1, Pt_1^2)、阿孜别里迪片麻状花岗岩(*4)位于 6 区,即同碰撞同造山花岗岩区,与 S 型花岗岩相当,是地壳熔融形成的花岗岩,这与 7.1 节根据稀土地球化学特征得出的结论是一致的;较

晚期形成的托赫塔卡鲁姆山片麻状花岗闪长岩(*2, Pt_2^1)、阿瓦勒克条痕状石英闪长岩(*3)。塔达塔克片麻状花岗岩(*5)位于2区,形成于消减的活动大陆边缘,也就是当时的塔里木西南部活动大陆边缘,与I(科迪勒拉)型花岗岩相当,可能是当时塔里木西南缘发生了陆内俯冲作用。

表 9.1 花岗岩类的成岩构造环境(根据化学成分划分)*

代号	岩石类型	成因类型	构造环境
1	斜长花岗岩	M 型 ^①	地幔分异花岗岩
2	钙碱性更长花岗岩	I (科迪勒拉)型 ^②	消减的活动大陆边缘 ——碰撞前花岗岩
3	高钾钙碱性花岗岩	I (加里东)型 ^③	碰撞后隆起 形成的花岗岩
4	亚碱性二长岩		晚造山期花岗岩
5	碱性、过碱性花岗岩	A 型 ^③	非造山区花岗岩
6	钙碱性-碱性花岗岩	S 型 ^③	同碰撞同造山花岗岩

* 据 De La Roche 等(1980)、Batchelor 等(1985)资料归纳总结

①据 Didier 等,1982;②据 Chappell 等,1974;③据 Louselle 等,1979。

9.1.2 Pt_3^1 — P_2 构造-岩浆活动阶段(Ⅱ)

1) 加里东期

Pt_3^1 — P_2 构造-岩浆活动阶段(Ⅱ)加里东早期(Z_2 — O_4)形成的坎地里克片麻状钾长花岗岩(*6)、128km 片麻状花岗闪长岩(128-14、*7)、大同西片麻状石英闪长岩(*8)及片麻状石英二长岩(*9)均位于2区,即碰撞前花岗岩区,形成于消减的活动大陆边缘,与I(科迪勒拉)型花岗岩相当,花岗岩类的形成构造环境类似于 Ar_3 — Pt_2^1 构造-岩浆活动阶段(I)元古代较晚期花岗岩类的形成构造环境,但此时已不是塔里木西南缘,而是与塔里木西南缘隔海相望的原特提斯洋(潘裕生,1989)南部活动大陆边缘,因为在加里东较早期花岗岩类形成之前,研究区曾发生了海底构造-岩浆

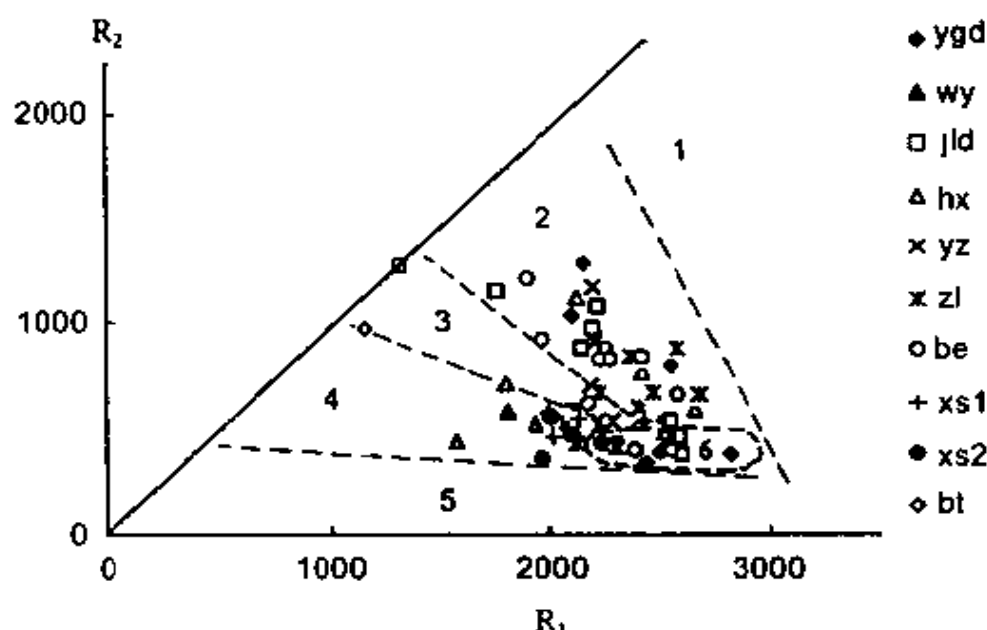


图 9.1 花岗岩类岩石的 R_1 - R_2 图解

(De La Roche 等, 1980; Batchelor 等, 1985)

1. 幔源花岗岩类; 2. 碰撞前花岗岩类; 3. 碰撞后花岗岩类;

4. 晚造山花岗岩类; 5. 非造山花岗岩类; 6. 同造山花岗岩类。

ygd—元古代花岗岩类; wy—元古代围岩; jld—加里东期花岗岩类;

hx—海西期花岗岩类; yz—印支期花岗岩类; zl—侏罗纪花岗岩类;

be—白垩纪花岗岩类; xs1—喜山期非碱性花岗岩类; xs2—喜山期碱性花岗岩;

bt—喜山期富碱侵入岩中的暗色微粒包体。

扩张作用(见 2.3.1 节)。

Pt_3^1 — P_2 构造-岩浆活动阶段(Ⅱ)加里东晚期(O_4 — S_3)形成的塞图拉片麻状花岗岩(STL-11, O_4)、塞图拉北片麻状花岗岩(P_1 , S_3)位于 6 区, 即同碰撞同造山花岗岩区, 是原特提斯洋消减封闭时的产物。

2) 海西期

Pt_3^1 — P_2 构造-岩浆活动阶段(Ⅱ)海西早期(D_1 — D_2)形成的哈巴克片麻状花岗岩(HBKN-13, D_1)位于 6 区, 即同造山花岗岩区, 与 S 型花岗岩相当, 是地壳熔融形成的花岗岩; 哈巴克黑云母

花岗岩(HBKN-20, D_1)位于3区,即碰撞后隆起形成的花岗岩区,与I(加里东)型花岗岩相当;库地南钾长花岗岩(KD-29, D_2)、二长花岗岩(#2, D_2)位于4区,即晚造山花岗岩区。这些显然是受加里东晚期(O_4-S_3)原特提斯洋消减封闭的影响。

$Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段(Ⅲ)海西晚期(P)形成的阿克阿孜山花岗闪长岩(*12、*13、*14)、塞图拉北花岗闪长岩(*11)位于2区,即碰撞前花岗岩区,形成于消减的活动大陆边缘,也就是当时的古特提斯洋北部活动大陆边缘,与I(科迪勒拉)型花岗岩相当。

9.1.3 T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V)

1) 印支晚期(T_3)

T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V)印支晚期(T_3)花岗岩类全部位于2区,即碰撞前花岗岩区,形成于消减的活动大陆边缘,也就是当时的古特提斯洋南部活动大陆边缘,与I(科迪勒拉)型花岗岩相当;另外部分花岗岩类(464-2)位于2、3、6区交汇部位,即碰撞前花岗岩区、碰撞后隆起形成的花岗岩区、同造山花岗岩区交汇部位,反映印支晚期(T_3)古特提斯洋南缘发生了俯冲消减,并最终导致古特提斯洋的封闭。

2) 燕山早期(J)

T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V)燕山早期(J)较早(J_1)形成的塞力亚克二长花岗岩(SL-1、KQY-43)、塞图拉南二长花岗岩(STLN-5)位于6区,即同造山花岗岩区,与S型花岗岩相当,是地壳熔融形成的花岗岩;国庆桥北花岗岩(GQB-2)、解放桥东二长花岗岩(JFQ-1)位于3区与4区交界部位,即碰撞后隆起形成的花岗岩区与晚造山花岗岩区交界部位。这些显然是受印支晚期(T_3)古特提斯洋南缘发生俯冲消减,并最终封闭的影响。

燕山早期(J)较早(J_1)形成的其它花岗岩类及较晚(J_2-J_3)形成的509 道班二长花岗岩(#7, J_2)、胜利桥北10km 二长花岗岩

(N-4, J₃)位于2区,即碰撞前花岗岩区,形成于消减的活动大陆边缘,也就是当时的新特提斯洋北部活动大陆边缘,与I(科边勒拉)型花岗岩相当。

3) 燕山晚期(K)

T₃-Q 构造-岩浆活动阶段(V)燕山晚期(K)形成的克拉青河上游斜长花岗岩(*16)、红旗拉甫二长花岗岩(KQY-9、H-1)、罗布盖孜石英二长岩(KQY-11)、沙雷克塔格花岗闪长岩(*19)、明铁盖钾长花岗岩(MT-9)、明铁盖二长花岗岩(KQY-10)位于2区,即碰撞前花岗岩区,形成于消减的活动大陆边缘,也就是当时的新特提斯洋南部活动大陆边缘,与I(科迪勒拉)型花岗岩相当。

T₃-Q 构造-岩浆活动阶段(V)燕山晚期(K)形成的塔什库尔干二云母钾长花岗岩(*17)、穹囊二云母钾长花岗岩(*18)、塔吐鲁沟东二长花岗岩(*21)位于6区,即同造山花岗岩区;克拉青河上游花岗闪长岩(*15)、考他孜达坂二长花岗岩(*20)位于3区,即碰撞后隆起形成的花岗岩区。这些说明研究区该期发生过消减俯冲与隆撞。

4) 喜山期(K₂)

T₃-Q 构造-岩浆活动阶段(V)喜山期(K₂)卡尔巴生二长花岗岩绝大多数(*22、*23、*24、KQY-3)位于四区,即晚造山花岗岩区,极少数(KRBS-33)位于2区与6区交界部位,即碰撞前花岗岩区与同造山花岗岩区交界部位;苦于干碱性花岗岩大多数位于4区(KRBS-22、KRBS-23、*26),即晚造山花岗岩区,少数(KZG-3)位于6区,即同造山花岗岩区。这些表明西昆仑造山带在喜山期(K₂)进入了全面的碰撞后造山阶段。

9.2 根据花岗岩类的微量元素成分判别

Pearce(1984)利用微量元素 Rb、Y、Nb、Yb、Ta 来判别花岗岩类的形成构造环境,把花岗岩类也分为4种构造类型(表9.2、

图 9.2)。在岩石命名上,他采用国际地科联 QAPF 双三角图命名法,同时还补充了花岗岩的暗色矿物种属。

表 9.2 花岗岩类的成岩 构造环境(根据微量元素划分)*

成因类型		岩性系列	岩石组合	暗色矿物	产状	构造环境
洋中脊花岗岩 (ORG)		钙性-钙碱性	石英闪长岩-英云闪长岩	角闪石	产于蛇绿岩套中,为浅成小型岩体	正常及异常洋中脊、弧后及弧前盆地
火山弧花岗岩 (VAG)	M 型	钙碱性	石英闪长岩-花岗闪长岩	角闪石+黑云母	与拉斑玄武岩系列及钙碱性系列火山岩共生	岛弧
	I (科迪勒拉)型		石英二长岩-花岗岩	黑云母±角闪石		活动陆缘
板内花岗岩 (WPG)	碱性岩 (A 型)	碱性	石英正长岩-碱性花岗岩	钠质闪石±钠质辉石或黑云母±钠质闪石		大陆板块内部
	钙碱性岩	钙碱性	钙碱性花岗岩	角闪石+辉石		
碰撞花岗岩 (COLG)	同碰撞花岗岩 (S 型)	钙碱性	钙碱性花岗岩	白云母发育		大陆与大陆碰撞及大陆与岛弧碰撞
	后碰撞花岗岩 [I (加里东)型]			黑云母±角闪石		

从图 9.2 可知,西昆仑造山带各不同构造-岩浆活动阶段花岗岩类均集中分布在同碰撞花岗岩区(S-COLG)、板内花岗岩区(WPG)、火山弧花岗岩区(VAG)交汇部位,总体上反映了研究区花岗岩类形成构造环境的过渡性。

9.2.1 $Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(I)

在 Rb-(Y+Nb)判别图(图 9.2)中,西昆仑造山带 $Ar_3-Pt_2^1$

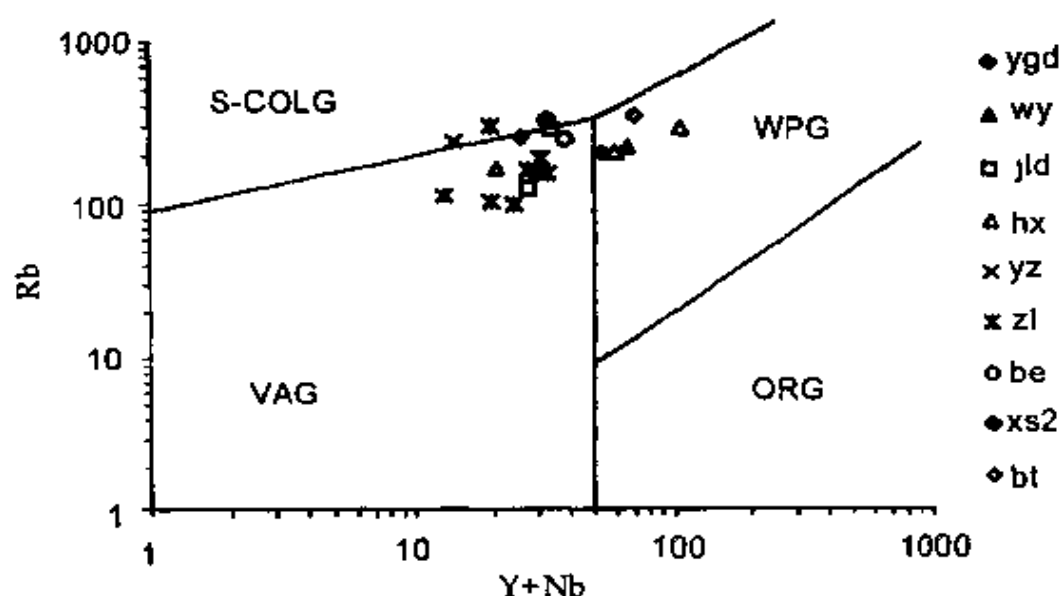


图 9.2 花岗岩类的 Rb-(Y+Nb)判别图(J. A. Pearce, 1984)

S-COLG-同碰撞花岗岩类; VAG-火山弧花岗岩类; WPG-板内花岗岩类;
ORG-洋脊花岗岩类。

ygd-元古代花岗岩类; wy-元古代围岩; jld-加里东期花岗岩类;
hx-海西期花岗岩类; yz-印支期花岗岩类; zl-侏罗纪花岗岩类;
be-白垩纪花岗岩类; xs2-喜山期碱性花岗岩;
bt-喜山期富碱侵入岩中的暗色微粒包体。

构造-岩浆活动阶段(I)元古代阿卡孜混合花岗岩有的(AKZ-28)同其元古代围岩混合岩(AKZ-31)都位于同碰撞花岗岩区(S-COLG),与S型花岗岩相当,是地壳熔融形成的花岗岩,这与7.1节根据稀土地球化学特征得出的结论是一致的;有的(AKZ-6)位于板内花岗岩区(WPG),也就是当时的塔里木西南部。

9.2.2 $Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段(Ⅱ)

1) 加里东期

$Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段(Ⅱ)加里东期较早(ϵ_2-O_4)形成的128花岗闪长岩位于火山弧花岗岩区(VAG),形成于消减的活动大陆边缘,与1(科迪勒拉)型花岗岩相当,即原特提斯洋(潘

裕生, 1989)南部活动大陆边缘。

$Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段(Ⅲ)加里东期较晚形成的塞图拉片麻状花岗岩(STL-11, O_4)位于同碰撞花岗岩区(S-COLG), 是地壳熔融形成的花岗岩, 是原特提斯洋消减封闭时大陆与岛弧碰撞的产物。

2) 海西期

$Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段(Ⅲ)海西期哈巴克片麻状花岗岩(HBKN-13)位于火山弧花岗岩区(VAG), 形成于消减的活动大陆边缘, 与 I (科迪勒拉)型花岗岩相当; 哈巴克黑云母花岗岩(HBKN-20)、库地南钾长花岗岩(KD-29)位于板内花岗岩区(WPG)。这些结论与根据化学成分, 即 R_1-R_2 判别图(图 9.1)得出的结论不完全一致, 但也较符合当时研究区的实际情况, 即哈巴克片麻状花岗岩位于古特提斯洋北部活动大陆边缘, 而哈巴克黑云母花岗岩、库地南钾长花岗岩则位于哈巴克片麻状花岗岩以北的板块内部(后者尤为如此); 考虑根据 R_1-R_2 判别图得出的结论可知, 上述花岗岩类的形成受到了加里东晚期(O_4-S_3)原特提斯洋消减封闭的影响。

9.2.3 T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V)

1) 印支晚期(T_3)

T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V)印支晚期(T_3)464 二云母钾长花岗岩(464-2)位于同碰撞花岗岩区(S-COLG), 岩石中白云母较发育, 反映印支晚期(T_3)古特提斯洋南缘发生了俯冲消减, 并最终导致古特提斯洋的封闭。

2) 燕山早期(J)

T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V)燕山早期(J)塞图拉南二长花岗岩(STLN-5, J_1)位于同碰撞花岗岩区(S-COLG), 与 S 型花岗岩相当, 是地壳熔融形成的花岗岩, 这显然是受印支晚期(T_3)古特提斯洋南缘发生俯冲消减, 并最终封闭的影响。

燕山早期(J)其它花岗岩类,如黑卡闪长花岗岩(HK-7, J_1)。塞力亚克二长花岗岩(SL-1, J_1)、国庆桥北细粒花岗岩(GQB-2, J_1)、哈巴克北细粒花岗岩(HBKB-6, J_1)、解放桥东二长花岗岩(JFQ-1, J_1)、胜利桥北 1.5 km 二长花岗岩(SLQB-4, J_1)胜利桥北西 10 km 二长花岗岩(N-4, J_3)全部位于火山弧花岗岩区(VAG),形成于消减的活动大陆边缘,也就是当时的新特提斯洋北部活动大陆边缘,与 I (科达勒拉)型花岗岩相当。

3) 燕山晚期(K)

T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V)燕山晚期(K)明铁盖钾长花岗岩(MT-9)位于火山弧花岗岩区(VAG)与同碰撞花岗岩区(S-COLG)交界处,也就是说当时与 I (科迪勒拉)型花岗岩相当构造环境的新特提斯洋南部活动大陆边缘燕山晚期(K)发生过消减俯冲与碰撞。

4) 喜山期(Kz)

T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V)喜山期(Kz)苦子干南部较早形成的碱性花岗岩(KZG-3)位于火山弧花岗岩区(VAG),形成于消减的活动大陆边缘,也就是当时的新特提斯洋南部活动大陆边缘,与 I (科迪勒拉)型花岗岩相当,也说明燕山晚期(K)新特提斯洋南部活动大陆边缘发生的消减俯冲与碰撞并没有使新特提斯洋完全封闭。喜山期(Kz)苦子干北部较晚形成的碱性花岗岩(KRBS-22)位于同碰撞花岗岩区(S-COLG),这些表明西昆仑造山带在喜山期(Kz)进入了碰撞后造山阶段。

9.3 小结

上述表明,根据岩石化学成分与微量元素成分判别西昆仑造山带花岗岩类的形成构造环境,得出的结论基本是一致的:

1) $Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(I)元古代较早形成的花岗岩类为同碰撞同造山花岗岩,与 S 型花岗岩相当,是地壳熔融形

成的花岗岩;较晚形成的花岗岩类形成于消减的活动大陆边缘,也就是当时的塔里木西南缘,与 I (科迪勒拉)型花岗岩相当,可能是当时塔里木西南缘发生了陆内俯冲作用。

2) $Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段(Ⅲ)加里东早期(Z_2-O_2)形成的花岗岩类为碰撞前花岗岩,形成于消减的活动大陆边缘,即原特提斯洋(潘裕生,1989)南部活动大陆边缘,与 I (科迪勒拉)型花岗岩相当;晚期(O_4-S_3)形成的花岗岩类为同碰撞同造山花岗岩,是原特提斯洋消减封闭时的产物。

3) $Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段(Ⅲ)海西早期(D_1-D_2)花岗岩类形成于古特提斯洋北部活动大陆边缘及其以北的板块内部,仍然受加里东晚期(O_4-S_3)原特提斯洋消减封闭的影响;海西晚期(P)形成的花岗岩类为碰撞前花岗岩,形成于消减的活动大陆边缘,也就是当时的古特提斯洋北部活动大陆边缘,与 I (科迪勒拉)型花岗岩相当。

4) T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V)印支晚期(T_3)花岗岩类为碰撞前花岗岩,形成于消减的活动大陆边缘,也就是当时的古特提斯洋南部活动大陆边缘,并且发生了俯冲消减,并是终导致古特提斯洋的封闭。

5) T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V)燕山早期(J)较早(J_1)形成的花岗岩类仍然受印支晚期(T_3)古特提斯洋南缘发生俯冲消减,并最终封闭的影响;较晚(J_2-J_3)形成的花岗岩类为碰撞前花岗岩区,形成于消减的活动大陆边缘,也就是当时的新特提斯洋北部活动大陆边缘,与 I (科迪勒拉)型花岗岩相当。

6) T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V)燕山晚期(K)形成的花岗岩类部分为碰撞前花岗岩,形成于消减的活动大陆边缘,也就是当时的新特提斯洋南部活动大陆边缘,与 I (科迪勒拉)型花岗岩相当;部分为碰撞后隆起形成的花岗岩,这表明研究区该期发生过消减俯冲与碰撞。

7) T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(V)喜山期(K_2)二长花岗岩

绝大多数位于晚造山花岗岩区,极少数位于碰撞前花岗岩区与同造山花岗岩区交界部位;碱性花岗岩大多数也是位于晚造山花岗岩区,少数位于同造山花岗岩区。这些表明西昆仑造山带在喜山期(K₂)进入了全面的碰撞后造山阶段。

10 构造-岩浆时空演化模式

根据前面各章节有关西昆仑造山带的构造-岩浆演化史,库地蛇绿岩的地质特征及其成岩构造环境,花岗岩类的时空分布规律、岩石学、岩石化学、岩石地球化学、成岩构造环境等方面的讨论,可以总结出西昆仑造山带构造-岩浆时空演化的模式(图 10.1)。

10.1 $Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(I)

$Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(I)较早期(Ar_3-Pt_1),西昆仑造山带沿西昆北断裂就有过碰撞造山活动,阿卡孜、阿孜别里迪片麻状花岗岩就是当时的产物,也就是这次碰撞造山活动,原始的西昆仑造山带与塔里木地块乃至华北地块连成一体,形成了原始中国大陆的一部分(潘裕生,1994,潘裕生等,1994),这可以从该阶段花岗岩类分布于西昆北断裂两侧,即在西昆仑北带和西昆仑中带均有分布得到证明,也就是说当时西昆仑北带和西昆仑中带是连在一起的,是一个统一的块体,是塔里木西南缘的组成部分(图 10.1-1)。

中元古代早期(Pt_2^1),沿西昆北断裂又有岩浆活动,如托赫塔克片麻状花岗闪长岩、塔达塔克片麻状花岗岩等就是当时的产物,它们形成于消减的活动大陆边缘(见 9.1.1 节),反映当时西昆仑地区与塔里木地块西南缘沿西昆北断裂可能保持一种松散的结合状态,且发生了陆内俯冲作用(图 10.1-2)。

从花岗岩形成时代总体上沿垂直区域构造线走向方向自 NE 向 SW 变新可知,该阶段的构造作用力主要来自北部的塔里木地块。

10.2 Pt_2^2 构造-岩浆演化稳定阶段(Ⅱ)

中元古代晚期(时),西昆仑造山带未见有岩浆活动,处于相对稳定的构造-岩浆演化阶段(Ⅰ)(见 2.2 节),因而其构造-岩浆时空分布继续保持 $Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(Ⅰ)中元古代早期(Pt_2^1)的构造-岩浆时空分布格局(图 10.1-3)。

10.3 $Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段(Ⅲ)

10.3.1 加里东期

加里东期花岗岩形成时代分布规律继承了 $Ar_3-Pt_2^1$ 构造-岩浆活动阶段(Ⅰ)元古代花岗岩的分布规律,也是总体上沿垂直区域构造线走向方向自 NE 向 SW 变新,且严格限定在西昆北断裂与西昆中断裂之间的西昆仑中带。上述表明,在加里东期花岗岩形成前($Pt_3^1-Z_2^1$)塔里木西南缘发生了破裂分离(图 10.1-4),至加里东期花岗岩形成时塔里木南缘与裂块之间已为汪洋大海所隔,该海洋为原特提斯洋(潘裕生,1989)的一个组成部分。

塔里木南缘发生裂离的标志是阿卡孜达坂有一套绿片岩及与其互层的叠层石灰岩,叠层石灰岩是稳定浅水沉积;绿片岩是由基性火山岩变质而来,形成于大洋中脊构造环境(邓万明,1989;潘裕生,1994;潘裕生等,1994)。地震反射资料也证明,当时塔里木南部的寒武系-奥陶系地层明显地向南倾斜减薄,可能为一非补偿性还原条件下的克拉通周边拗陷盆地。坎地里克奥陶系与志留系出现了深水陆棚-斜坡相沉积,说明了早古生代塔里木西南部大陆边缘的形成和发展;而在西昆仑中带北部边缘却缺乏相应的被动大陆边缘盆地系列(丁道桂等,1996)。这表明当时的大洋扩张是从北向南不对称侧向发展的。裂槽逐渐扩张,形成了上述原特提斯洋的一

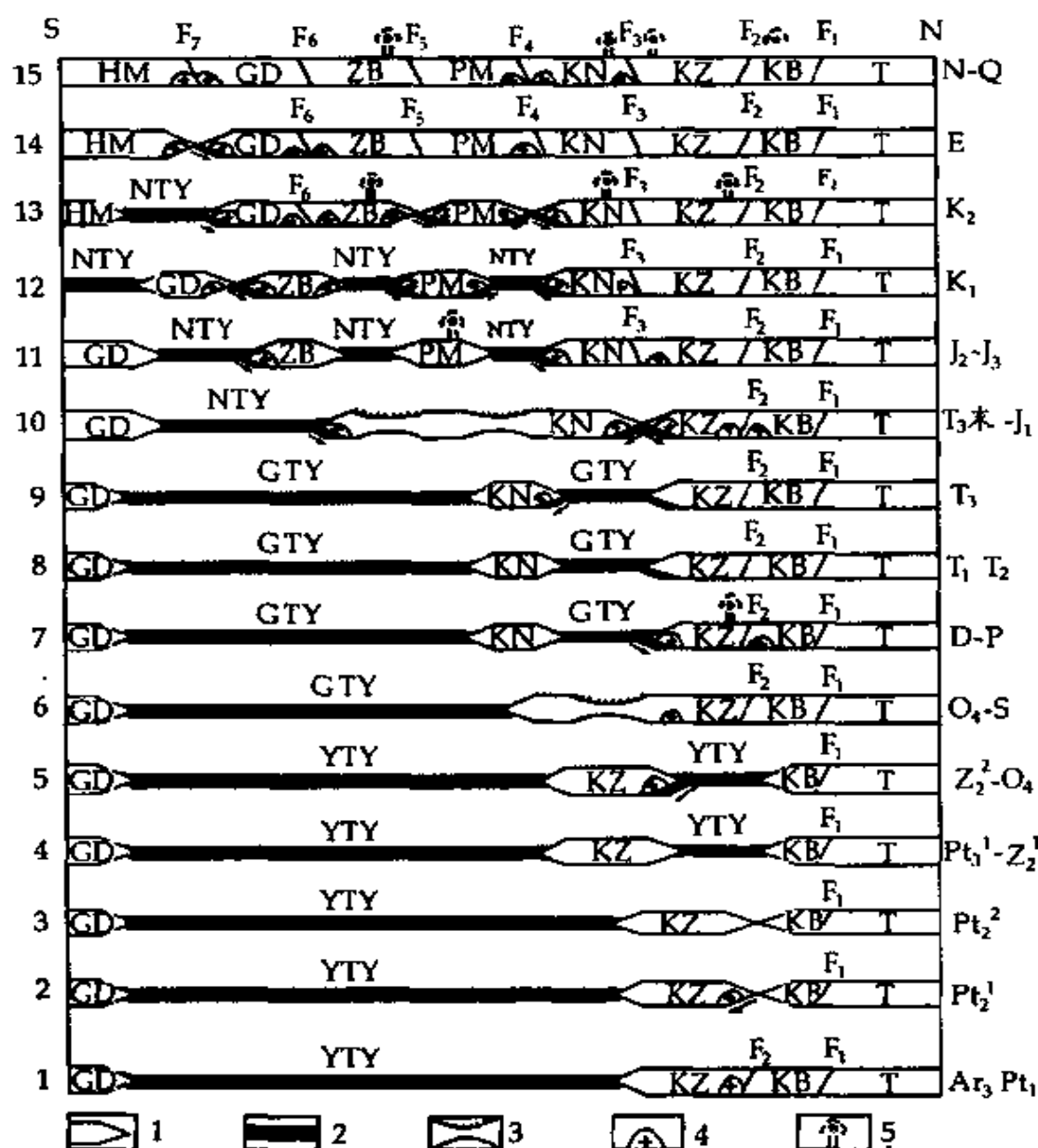


图 10.1 西昆仑造山带构造-岩浆演化示意图

1. 陆壳, 2. 洋壳, 3. 弧后盆地, 4. 侵入岩浆活动, 5. 火山活动;

T. 塔里木地块, KB. 西昆仑北地块, KZ. 西昆仑中地块,

KN. 西昆仑南地块, PM. 帕米尔-喀喇昆仑地块, ZB. 藏北地块,

GD. 冈底斯地块, HM. 喜马拉雅地块, YTY. 原特提斯洋, GTY. 古特提斯洋,

NTY. 新特提斯洋, F1. 塔里木西南缘断裂, F2. 西昆仑北缘断裂,

F3. 西昆仑中部断裂, F4. 西昆仑南缘断裂, F5. 崆崆山口-西金乌兰湖断裂,

F6. 班公斯-怒江断裂, F7. 雅鲁藏布江断裂。

个组成部分。沿西昆北断裂分布的一系列蛇绿岩(图 2.2)就是这个洋壳不同发展阶段的残体。

加里东早期($Z_2^2-O_4$),上述原特提斯洋开始俯冲消减(图 10.1-5),引发了原特提斯洋南部活动大陆边缘一系列花岗岩类活动,形成了西昆仑中带加里东早期岛弧花岗岩,如坎地里克、新藏公路 128km、库地北、大同乡西、普鲁-克里阳达坂等花岗岩类岩体,它们位于西昆仑中带北部,靠近西昆北断裂分布。

加里东晚期(O_4-S_3),原特提斯洋两侧大陆碰撞(图 10.1-6),从西昆仑中带普遍缺失泥盆系地层可知,志留纪末,原特提斯洋基本封闭。大陆碰撞过程中,形成了一系列同碰撞同造山花岗岩类,如赛图拉、赛图拉北、策勒牙门西等花岗岩类岩体,它们位于西昆仑中带南部,靠近西昆中断裂分布。从沿西昆北断裂分布的蛇绿岩带与西昆仑中带的早古生代钙碱性花岗岩类平行展布,形成双岩浆岩带,且蛇绿岩带位于花岗岩带的北边,蛇绿岩形成时代较花岗岩形成时代要早,前者分布狭窄,后者分布宽阔,花岗岩类从 NE 向 SW 变新等特点可知,早古生代洋壳的俯冲消减是从北向南进行的(图 10.1-5、图 10.1-6)。

10.3.2 海西期

从海西期花岗岩分布于西昆中断裂以北,且跨过了西昆北断裂可知,原特提斯洋经过早古生代的俯冲消减,至海西期西昆仑中带与西昆仑北带连到了一起。另外从海西期花岗岩未跨过西昆中断裂进入西昆仑南带,这又表明经过早古生代的长期拉张,至海西期西昆仑中带加里东期岛弧岩浆带南侧的弧后盆地逐渐发展成为新的大洋盆地(A. M. C. Sengor, 1979, 1981),为通常所称的古特提斯洋的组成部分之一(图 10.1-7)。

海西早期(D_1-D_2)受加里东晚期(O_4-S_3)原特提斯洋碰撞封闭的影响,也形成了一些同造山花岗岩(如哈巴克片麻状花岗岩等, D_1)、碰撞后花岗岩(如哈巴克黑云母花岗岩等, D_1)和晚造山

花岗岩(如库地南钾长花岗岩、二长花岗岩等, D_2)。

海西晚期(P)古特提斯洋北缘开始俯冲消减,形成了阿克阿孜山花岗闪长岩、塞图拉北花岗闪长岩等碰撞前花岗岩。

西昆仑南带未见有海西期花岗岩分布,这又表明古特提斯洋南侧该期是处于相对稳定的被动大陆边缘发展阶段;另从西昆中断裂东部的木孜塔格山北坡有蛇绿岩,且分布于海西期岛弧花岗岩带南侧,及海西期花岗岩形成时代总体上沿垂直区域构造线走向方向自SW向NE变新可知,海西期古特提斯洋北侧的俯冲消减是从SW向NE进行的(图10.1-7)。

10.4 T_1-T_2 构造-岩浆演化稳定阶段(Ⅳ)

三叠纪早、中期(T_1-T_2),西昆仑造山带未见有岩浆活动,表明古特提斯洋处于相对稳定的构造-岩浆发展阶段(Ⅳ)(见2.4节),因而其构造-岩浆时空分布继续保持 $Pt_3^1-P_2$ 构造-岩浆活动阶段(Ⅲ)海西晚期(P)的构造-岩浆时空分布格局(图10.1-8)。

10.5 T_3-Q 构造-岩浆活动阶段(Ⅴ)

10.5.1 印支晚期(T_3)

受中三叠世东印支运动的影响,西昆仑造山带自晚三叠世起又进入了一个新的构造-岩浆活动阶段(Ⅴ)。印支晚期(T_3),上述古特提斯洋南缘发生了俯冲消减(图10.1-9)。从印支晚期花岗岩仅分布在西昆中断裂以南,靠近西昆中断裂分布,花岗岩形成时代总体上沿垂直区域构造线走向方向自NE向SW变新可知,印支晚期上述古特提斯洋南缘的俯冲消减是从NE向SW进行的,这次消减作用形成了西昆仑南带北部年龄值在227.63~211.39 Ma的印支晚期岛弧花岗岩带,并使上述古特提斯洋在晚三叠世最终

封闭(图 10.1-10),这次运动对青藏高原北部非常重要,使西昆中断裂以北及其南侧附近,即羌塘以北的整个区域抬升形成陆地(潘裕生等,1994),如在西昆仑南带北部沿西昆中断裂分布的下、中侏罗统已是陆相含煤碎屑建造即是证明。

10.5.2 燕山早期(J)

从燕山早期(J)花岗岩分布于西昆南断裂以北,且跨过了西昆中断裂可知,古特提斯洋经过晚三叠世的俯冲消减,至早侏罗世(J_1)西昆仑中带与西昆仑南带连到了一起(图 10.1-10)。另外从燕山早期(J)花岗岩未跨过西昆南断裂进入帕米尔-喀喇昆仑带,这又表明经过印支晚期(T_3)的拉张,至早、中侏罗世(J_2 - J_3)西昆仑南带印支晚期岛弧岩浆带南侧的弧后盆地逐渐发展成为新的大洋盆地,即新特提斯洋的一部分(图 10.1-11),西昆仑南带南部广泛分布的侏罗系和白垩系滨海-浅海相沉积说明了这一点。

早侏罗世(J_1),受印支晚期(T_3)古特提斯洋南缘俯冲碰撞的影响,西昆仑南带、西昆仑中带、西昆仑北带形成了一系列同造山花岗岩(如塞力亚克二长花岗岩、赛图拉南二长花岗岩等)、碰撞后花岗岩与晚造山花岗岩(如国庆桥北花岗岩、解放桥东二长花岗岩等)。其中一些花岗岩是陆内俯冲作用的结果(图 10.1-10),证据有下:

(1) 沿西昆中断裂分布的一些燕山早期(J)花岗岩,如布伦口片麻状花岗岩、赛图拉南(或三十里营房南)花岗岩等岩体中含有一些白云母(2%~10%),而白云母(二云母)花岗岩是陆内俯冲的岩石学记录(邓晋福等,1993,转引自赖绍聪等,1996)。

(2) 西昆仑中带与西昆仑南带的燕山早期(J)花岗岩分别自各自的边界断裂向各带内部变新,表明陆内俯冲作用在西昆北断裂、西昆中断裂、西昆南断裂分别继承了以前各期俯冲作用的方向和某些特征。

从早侏罗世(尤其是中、晚侏罗世)开始,上述新特提斯洋北缘

开始俯冲消减(图 10.1-11),形成了一系列碰撞前花岗岩,如 509 道班二长花岗岩(J_2)、胜利桥北 10km 二长花岗岩(J_3)等。

10.5.3 燕山晚期(K)—喜山期(K_z)

从燕山晚期(K)—喜山期(K_z)上新世(N_2),花岗岩类在西昆南断裂两侧均有分布,且西昆南断裂两侧附近花岗岩形成时代总体上沿垂直区域构造线走向方向自西昆南断裂向两侧变新可知,上述新特提斯洋经过燕山早期(J)的发展,于早白垩世(K_1)除北缘继续俯冲消减外,南缘也开始俯冲消减(图 10.1-12),形成了一系列碰撞前花岗岩,如克拉青河上游斜长花岗岩、红旗拉甫二长花岗岩等。

受晚侏罗世-早白垩世(146~113 Ma)冈底斯陆块向欧亚大陆板块碰撞拼贴,斑公湖-怒江新特提斯洋封闭及晚白垩世(71 Ma)印度板块向欧亚大陆板块俯冲,挤压逆冲进入第一次高潮(丁道桂等,1996)等因素影响,藏北地块在早白垩世末(K_1 末)也开始向北俯冲消减,形成了帕米尔-喀喇昆仑带同期双向分布的晚白垩世(K_2)岛弧岩浆带(图 10.1-12、图 10.1-13)。晚白垩世(K_2),帕米尔-喀喇昆仑带分别与藏北地块及西昆仑南带发生了碰撞拼贴,形成了一系列同碰撞同造山花岗岩(如塔什库尔干二云母钾长花岗岩、穹壤二云母钾长花岗岩、塔吐鲁沟东二长花岗岩等)和碰撞后花岗岩(如烤他孜达板二长花岗岩等),缝合带分别为崆喀山口-西金乌兰湖断裂带和西昆南断裂(图 10.1-13),因为晚白垩世(K_2)花岗岩类在西昆仑南带、帕米尔-喀喇昆仑带、藏北地块均有分布。

始新世晚期(45~37 Ma),印度板块与欧亚大陆板块碰撞及碰撞后的“陆内俯冲”作用远程效应,对西昆仑造山带的抬升产生了深刻的影响,西昆南断裂、塔什库尔干断裂附近的富碱侵入岩、卡尔巴生二长花岗岩就是碰撞后陆内俯冲作用的产物(丁道桂等,1996,图 10.1-14),其实从晚白垩世这种陆内俯冲作用就已经开始,塔什库尔干、穹壤二云母钾长花岗岩中的白云母含量达 5%

(新疆地质矿产局第二地质大队,1985)即是证明。从此以后,西昆仑造山带进入了全面的碰撞后造山及火山喷发阶段(图 10.1-15),直到形成今天这样的构造格局和构造面貌。

11 结 论

通过前面各章节的论述,可以得出如下结论:

1) 西昆仑造山带自晚太古代以来经历了以下 5 个构造-岩浆演化阶段: Ar_3 — Pt_2^1 构造-岩浆活动阶段(I)、 Pt_2^2 构造-岩浆演化稳定阶段(Ⅱ)、 Pt_3^1 — P_2 构造-岩浆活动阶段(Ⅲ)、 T_1 — T_2 构造-岩浆演化稳定阶段(Ⅳ)、 T_3 — Q 构造-岩浆活动阶段(V)。

2) 西昆仑造山带印支运动为一期重要的构造-岩浆演化转折运动;西昆仑中断裂是一条重要的构造-岩浆演化分界线。印支运动以前形成的花岗岩类,分布于西昆中断裂以北的地带,花岗岩类形成时代空间变化规律呈现单向性;印支运动以后形成的花岗岩类,主要分布于西昆中断裂以南的地带,花岗岩类形成时代空间变化规律呈现双向性。

3) 西昆仑造山带库地蛇绿岩形成时代为晚元古代早期青白口系—晚震旦世早期(Pt_3^1 — Z_2^1),同位素年龄值为 $976.78\text{ Ma} \sim 651\text{ Ma}$;蛇绿岩的岩浆来源为弱亏损的、非单一的上地幔源,并受到了陆壳物质的混染;蛇绿岩形成于缓慢扩张的条件下,其成岩构造环境为弧后盆地—岛弧—弧间盆地,属过演性构造环境。

4) 苦子干岩体中的透辉正长岩,不是前人所认为的霓辉正长岩,岩石中的辉石为透辉石,而不是碱性辉石,岩石中也不含浅色碱性矿物霞石等。

5) 以印支运动为界,其以前形成的花岗岩类同印支运动以后形成的花岗岩类在岩石学、岩石化学、稀土元素与微量元素地球化学、控岩构造等方面均有明显差异。

6) 晚元古代以前,西昆仑造山带是塔里木块体西南缘的组成部分;晚元古代,由于塔里木地块西南缘的裂离,小洋盆的形成,

从此拉开了西昆仑造山带多阶段多期板块俯冲、削减与碰撞增生等作用的序幕,直至发展到今天这样的构造格局。研究表明,印支运动以前,主要构造力来自于北部的塔里木块体;印支运动以后,主要构造力来自于南部印度板块的俯冲碰撞,且受到北部刚性地块阻挡力的作用。

参 考 文 献

- [1] 艾霞,王书来,余大良.新疆西南部金、铜成矿构造环境及找矿前景.有色金属矿产与勘查,1997,6(增刊):19~24.
- [2] 毕华,王中刚.花岗质岩石中暗色微粒包体成因研究进展与展望.见:欧阳自远主编.世纪之交矿物学与岩石学地球化学的回顾与展望.北京:原子能出版社,1998,114~117.
- [3] 毕华,王中刚,王元龙,朱笑青.西昆仑造山带构造-岩浆演化史.中国科学(D辑),1999,29(5):398~406.
- [4] 陈国达著.成矿构造研究法.北京:地质出版社,1985,266~381.
- [5] 陈国达主编.亚洲陆海壳体大地构造图(1:8000000).北京:科学出版社,1994,1~28.
- [6] 陈国达.青藏高原隆升的历史背景和成因.大地构造与成矿学,1997,21(2):95~108.
- [7] 常承发,郑锡澜.珠穆朗玛峰地区的地质构造特征和关于喜马拉雅山以及青藏高原东西向诸山系形成的探讨.珠穆朗玛峰地区科学考察报告(1966~1968).地质.北京:科学出版社,1974.
- [8] 常承发,潘裕生,郑锡澜,张新明.青藏高原地质构造.北京:科学出版社,1982,58~91.
- [9] 常承发,郑锡澜,潘裕生.喜马拉雅山地质发展历史、构造带的划分和隆起原因探讨.国际交流地质学术文集(1).区域构造、地质力学.北京:地质出版社,1978.
- [10] 陈炳蔚,姚培毅,郭宪璞,刘训,董学斌.格尔木-新济纳旗地学断面走廊域地质构造与演化研究.地质科技通报,1996,

(4):8~9.

- [11] 崔军文,朱红,武长德等. 青藏高原岩石圈变形及动力学·亚东-格尔木岩石圈地学断面综合研究. 北京:地质出版社, 1992.
- [12] 崔军文. 岩石圈扩张与青藏高原隆升——岩石圈深层扩张模式初论. 地质论评, 1994, 40(2):106~110.
- [13] 崔军文,许志琴. 再论青藏高原动力学模式——岩石圈深层热动力扩展模式. 北京:中国地球物理学会年刊, 1995.
- [14] 崔军文. 喜马拉雅碰撞带的构造活化. 地质学报, 1997, 71(2):105~112.
- [15] 柴育成,李明,吴正文,郝杰,李继亮. 喜马拉雅造山带的新认识. 科学通报, 1997, 42(2):2463~2464.
- [16] 崔军文,邓晋福,唐哲民,孟令顺,余钦范. 阿尔金断裂系(课题评审报告). 地质矿产部地质研究所, 1996.
- [17] 车自成,刘良,刘洪福,罗金海. 阿尔金山地区高压变质泥质岩石的发现及其产出环境. 科学通报, 1995, 40(14):1298~1300.
- [18] 邓万明. 藏北第四纪火山岩岩石学和岩石化学初步研究. 地质学报, 1978, 52(2):148~162.
- [19] 邓万明. 西藏岩浆活动和变质作用与青藏高原隆起的关系. 见:西藏岩浆活动和变质作用. 北京:科学出版社, 1981, 350~359.
- [20] 邓万明. 西藏阿里地区北部新生代火山岩——兼论陆内俯冲作用. 岩石学报, 1989, (3)1~11.
- [21] 邓万明. 中昆仑造山带钾玄质火山岩的地质、地球化学和时代. 地质科学, 1991, 26(3):193~206.
- [22] 邓万明. 青藏北部新生代钾质火山岩微量元素和 Sr、Nd 同位素地球化学研究. 岩石学报, 1993, (4):379~387.
- [23] 邓万明,郑锡澜,松本征夫. 青海可可西里地区新生代火山岩

- 的岩石特征与时代. 岩石矿物学杂志, 1996, 15(4): 290~298.
- [24] 邓万明. 青藏高原新生代岩浆活动与岩石圈活化. 见: 青藏高原形成演化. 环境变迁与生态系统研究学术论文年刊(1994). 北京: 科学出版社, 1995, 228~298.
- [25] 丁道桂, 王道轩, 刘伟新, 孙世群等著. 西昆仑造山带与盆地. 北京: 地质出版社, 1996, 1~230.
- [26] 邓万明. 喀喇昆仑-西昆仑地区基性-超基性岩初步考察. 自然资源学报, 1989, 4(3): 204~211.
- [27] 方锡廉, 江玉珍. 西昆仑山加里东期花岗岩类浅识. 新疆地质, 1990, 8(2): 153~158.
- [28] 郭令智, 施央申, 卢华复, 马瑞士, 俞鸿年, 孙岩, 陈智娜, 张庆龙, 王良书, 贾东, 舒良苏. 印藏碰撞的两种远距离构造效应. 见: 李清波, 戴金星, 刘如符, 李继亮主编. 现代地质学研究文集(上). 南京: 南京大学出版社, 1992, 1~8.
- [29] 郭铁鹰等. 青藏高原地区古生代-始新世的大陆“开”“合”演化. 见: 王鸿祯等著. 中国及邻区构造古地理和生物古地理. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990, 187~205.
- [30] 郭铁鹰, 莫宜学, 赵崇贺, 何科昭, 江万, 张双全. 青藏高原蛇绿岩时空分布与特提斯演化. 见: 张旗主编. 蛇绿岩与地球动力学研究. 北京: 地质出版社, 1996, 167~171.
- [31] 国家地震局阿尔金活动断裂带课题组. 阿尔金活动新裂带. 北京: 地震出版社, 1992.
- [32] 古风宝, 吴向农, 姜常义. 东昆仑华力西-印支期花岗岩组合及构造环境. 青海地质, 1996, (1): 18~36.
- [33] 古风宝. 东昆仑地质特征及晚古生代-中生代构造演化. 青海地质, 1994, (10): 4~14.
- [34] 高国英, 韩月鹏. 新疆乌恰-伽师地区强震活动与防震减灾对策初步研究. 自然灾害学报, 1997, 6(4): 23~29.

- [35] 黄立善,李光岑,高思源,王式,崔作舟等著. 西藏高原地壳结构与速度分布特征. 北京:地质出版社,1992,91~96.
- [36] 黄汲清等. 特提斯-喜马拉雅构造域初步分析. 地质学报, 1984,58(1).
- [37] 黄汲清,陈炳蔚. 特提斯-喜马拉雅构造域上新世-第四纪磨拉石的形成及其与印度板块活动的关系. 见:国际交流地质学术论文集(1). 北京:地质出版社,1980.
- [38] 胡鹰琴,张国新,李启新,张前锋,胡树荣,范嗣昆,锅陀珠. 新疆北部主要地质事件同位素年表. 地球化学,1995,24(1):20~31.
- [39] 郝太平,王辉. 东昆仑山前长城系基底铍同位素组成特征. 青海地质科技情报,1992,(2):9~11.
- [40] 姜春发,冯秉贵等. 昆仑地质构造轮廓. 中国地质科学院地质研究所所刊,1986,15:70~80.
- [41] 姜春发,杨经绥,冯秉贵,朱志直,赵民,柴耀楚,施希德,王怀达,胡金庆. 昆仑开合构造. 北京:地质出版社,1992,58~217.
- [42] 姜春发. 塔里木盆地开合构造简述. 新疆地质,1997,15(3):193~202.
- [43] 李永安,李向东,孙东江,韩玉玲. 中国新疆西南部喀拉昆仑羌塘地块及康西瓦构造带构造演化. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1995,1~100.
- [44] 林舸,王开怡编著. 中国西北地区现代构造格局与应力场模拟. 北京:地质出版社,1993,8~50.
- [45] 刘训,傅德荣,姚培毅,刘桂芳,王乃文著. 西藏高原不同地体的地层、生物区系及沉积构造活化史. 北京:地质出版社,1992,2~5,68~140.
- [46] 赖绍聪,邓晋福,赵海玲著. 青藏高原北缘火山作用与构造演化. 西安:陕西科学技术出版社,1996,74~135.

- [47] 李廷栋. 青藏高原隆升的过程和机制. 地球学报, 1995, (1): 1~9.
- [48] 李永安, 曹运功, 孙东江. 昆仑山西段中国-巴基斯坦公路沿线构造地质. 新疆地质, 1997, 15(2): 116~133.
- [49] 刘从强, 解广轰, 中井俊一, 清水洋, 增田彰正. 新疆于田县康苏拉克新生代火山岩 Sr、Nd、Ce、O 同位素及微量元素地球化学. 科学通报, 1989, (2): 1803~1806.
- [50] 李向东, 李强. 塔里木及邻区晚古生代早期古气候与构造. 新疆地质, 1996, 14(4): 306~315.
- [51] 刘嘉麒, 买买提·依明. 西昆仑山第四纪火山的分布与 K-Ar 年龄. 中国科学(B 辑), 1990, (2): 180~187.
- [52] 黎彤, 饶纪龙. 中国岩浆的平均化学成分. 地质学报, 1963, 43(3): 272~280.
- [53] 黎彤. 化学元素的地球丰度. 地球化学, 1976, (3): 167~189.
- [54] 李昌年编著. 火成岩微量元素岩石学. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992, 74~183.
- [55] 李曙光. 蛇绿岩生成环境的 Ba-Th-Nb-La 判别图. 岩石学报, 1993, 9(2): 146~157.
- [56] 马开义, 薛光琦, 董英君, 宿和平. 地幔内异常热熔变与青藏高原的隆升. 地球学报, 1996, 17(2): 214~223.
- [57] 孟令顺、高锐等著. 青藏高原重力测量与岩石圈构造. 北京: 地质出版社 1992, 53~96, 104~105.
- [58] 缪长泉著. 新疆昆仑山-阿尔金山前寒武系及叠层石. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1993, 1~171.
- [59] 马昌前, 杨坤光, 唐仲华, 李增田著. 花岗岩类岩浆动力学——理论方法及鄂东花岗岩类例析. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994, 48~53.
- [60] 欧阳沙怀, 魏洲龄, 林舸. 中国西北地区历史-因果论油气大地构造. 长沙: 中南工业大学出版社, 1995, 71~137.

- [61] 欧阳沙怀,孙少华,毕华. 中国北部壳体形成与天然气盆地演化-运动的历程. 长沙:中南工业大学出版社. 1993,10~29.
- [62] 潘裕生,王毅,Matte Ph, Tapponnier P, 青藏高原叶城-狮泉河路线地质特征及区域构造演化. 地质学报, 1994, 68(4): 295~307.
- [63] 潘桂棠,李兴振,徐强,彭永明. 东特提斯多弧-盆系统中的蛇绿岩. 见:张旗主编. 蛇绿岩与地球动力学研究. 北京:地质出版社, 1996, 177~180.
- [64] 潘裕生主编. 喀喇昆仑山-昆仑山综合科学考察导论. 北京:气象出版社, 1992.
- [65] 潘裕生. 青藏高原第五缝合带的发现与论证. 地球物理学报, 1994, 37(2): 184~192.
- [66] 潘桂荣,王培生,徐耀荣,焦波沛,向天秀. 青藏高原新生代构造演化. 北京:地质出版社, 1990, 39~40.
- [67] 彭守晋. 新疆铅锌矿成矿区带控矿因素及找矿方向. 新疆有色金属, 1994, (1): 1~10.
- [68] 潘裕生,周伟明,许荣华,王东安,张玉泉,谢应雯,陈挺恩,罗辉. 昆仑山早古生代地质特征与演化. 中国科学(D 辑), 1996, 26(4): 302~307.
- [69] 潘保田,李吉均,朱俊杰,曹继秀. 青藏高原:全球气候变化的驱动机与放大器 I:青藏高原隆起的基本过程. 兰州大学学报(自然科学版), 1995, 31(4): 16~67.
- [70] 潘裕生. 昆仑山区构造区划初探. 自然资源学报, 1989, 4(3): 196~203.
- [71] 邱家骧主编. 应用岩浆岩岩石学. 武汉:中国地质大学出版社, 1991, 114~267.
- [72] 潘树基. 西昆仑山大红柳滩断裂一线的新生代熔岩被及其地质意义. 新疆地质, 1989, 7(2): 86~91.
- [73] 孙海田,李纯杰,李锦荣等. 新疆西昆仑昆崙山地区铜矿资源

- 找矿地质条件. 中国地质, 1997, (11): 29~30, 46.
- [74] 孙勇, 刘池阳, 车自成. 阿尔金山拉配泉地区元古宙裂谷火山岩系及其构造意义. 地质论评, 1997, 43(1): 17~24.
- [75] 童玉明, 谢征康. 特提斯壳体演化新解与青藏高原含油性分析. 地球科学—中国地质大学学报, 1996, 21(2): 136~140.
- [76] 滕吉文, 张中杰, 杨顶辉, 万志超, 张秉铭, 张慧. 青藏高原地体划分的地球物理标志研究. 地球物理学报, 1996a, 39(5): 629~641.
- [77] 滕吉文, 张中杰, 胡家福, 尹周勋, 刘宏宾, 万志超, 杨顶辉, 张秉铭, 张慧. 青藏高原整体隆升与地壳缩短增厚的物理-力学机制研究(上). 高校地质学报, 1996b, 2(2): 121~133.
- [78] 滕吉文, 张中杰, 胡家福, 尹周勋, 刘宏宾, 万志超, 杨顶辉, 张秉铭, 张慧. 青藏高原整体隆升与地壳缩短增厚的物理-力学机制研究(下). 高校地质学报, 1996c, 2(3): 307~323.
- [79] 滕志宏. 新疆普鲁火山岩及时代归属问题. 岩石学报, 1987, 4): 94~95.
- [80] 吴功建, 肖序常, 李廷栋. 青藏高原亚东-格尔木地学断面. 地质学报, 1989, 63(4): 285~296.
- [81] 吴功建, 全球地学断面(GGT)——以亚东-格尔木地学断面为例. 地球物理学进展, 1994, 9(4): 1~3.
- [82] 吴功建, 肖序常, 李廷栋. 揭示青藏高原的隆升——青藏高原亚东-格尔木地学断面. 地球科学——中国地质大学学报, 1996a, 21(1): 34~40.
- [83] 吴功健, 王乃文, 刘训, 高锐, 杨建军. 格尔木-额济纳旗地学断面岩石圈结构、物质组成及构造演化的综合研究. 地质科技通报, 1996b, (4): 9~10.
- [84] 吴功健, 肖序常, 王乃文, 刘训, 陈炳蔚, 高锐, 崔作舟, 杨建军, 邓晋福, 黄枝高等. 格尔木-额济纳旗地学断面初步研究成果. 中国地质, 1997, (10): 14~15, 31.

- [85] 王乃文. 青藏印度古陆及其与华夏古陆的拼合. 见:李光岑, Mercier J. L. 主编. 中法喜马拉雅考察成果. 北京:地质出版社, 1984, 39~62.
- [86] 吴珍汉. 旋转地球动力学. 北京:地质出版社, 1997, 157~175.
- [87] 汪玉珍, 方锡廉. 西昆仑山、喀喇昆仑花岗岩类时空分布规律的初步探讨. 新疆地质, 1987, 5(1): 9~24.
- [88] 汪玉珍. 西昆仑山依莎克群的时代及其构造意义. 新疆地质, 1983, 1(1): 1~8.
- [89] 王道轩, 孙世群. 东帕米尔北缘韧性剪切带中的多硅白云母及其地质意义. 安徽地质, 1996, 6(1): 1~8.
- [90] 王云山, 龚建宁. 柴达木盆地周边麻粒岩的确定及其地质意义. 青海地质, 1990, (1): 57~63.
- [91] 王云山. 青藏高原北部构造发展的主要阶段. 青海地质, 1991, (2): 14~24.
- [92] 王岳军. 中昆仑造山带北部构造演化及深部热-应力模拟研究. 中国科学院长沙大地构造研究所博士论文详细摘要, 1998, 1~27.
- [93] 武传真, 焦灵秀, 王谦身, 杨振岱. 帕米尔及其周围地区的重力场特征与地壳构造的研究. 地球物理学报, 1993, 36(5): 633~642.
- [94] 王元龙, 李向东, 毕华, 王中刚, 朱笑青, 黄智龙. 西昆仑库地蛇绿岩的地质特征及其形成环境. 长春地质学院学报, 1997, 27(3): 304~309.
- [95] 王元龙, 李向东, 毕华, 王中刚, 朱笑青, 黄智龙. 西昆仑库地北构造带两侧地质特征及其大地构造意义. 地质地球化学, 1997, (2): 53~59.
- [96] 王东安, 陈瑞军. 新疆库地西北一些克构深海蛇绿质沉积岩岩石学特征及沉积环境. 自然资源学报, 1989, 4(3): 212~

- [97] 王中刚,于学元,赵振华等编著. 稀土元素地球化学. 北京:科学出版社,1989,76~93,133~246.
- [98] 王中刚,赵振华,邹天人等著. 阿尔泰花岗岩类地球化学. 北京:科学出版社,1998,15~149.
- [99] 肖序常等. 雅鲁藏布江缝合带及其邻区构造演化. 地质学报, 1983,57(2).
- [100] 肖序常,汤耀庆等. 再论青藏高原的板块构造. 中国地质科学院院报,1986,14:7~19..
- [101] 许志琴,侯立伟,王宗秀. 中国松潘-甘孜造山带的造山过程. 北京:地质出版社,1992.
- [102] 许志琴,姜枚,杨经绥. 青藏高原北部隆升的深部构造物理作用——以“格尔木-唐古拉山”地质及地球物理综合剖面为例. 地质学报,1996,70(3):195~206.
- [103] 向缉熙,涂荫玖,朱延华,王道经编著. 安徽省大地构造与成矿. 武汉:中国地质大学出版社,1988,10~47.
- [104] 新疆地质矿产局二大队. 新疆南疆西部地质图(1/50万)及说明书. 北京:地质出版社,1985.
- [105] 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京:地质出版社,1993.
- [106] 新疆地质矿产局第一区调大队十分队. 西昆仑山叶尔羌河上游地区 1:100 万地质调查报告. 1984.
- [107] 许荣华,张玉泉,谢应雯,陈福坤,Ph. Vidal,N. Arnaud,张巧大,赵敦敏. 西昆仑山北部早古生代构造-岩浆带的发现. 地质科学,1994,29(4):313~328.
- [108] 新疆地质矿产局第一区调大队西分队. 新藏公路(新疆境内)沿线路线地质调查报告(1:100万),1983.
- [109] 新疆地质矿产局第一区调大队三分队. 新疆羌若县东昆仑山区布哈达坂峰、阿其克库勒湖地区 1:100 万区域地质调

查报告,1982.

- [110] 许荣华, Harris, N. B. W 等. 拉萨至格尔木的同位素地球化学. 见: 中英青藏高原综合地质考察队. 青藏高原地质演化. 北京: 科学出版社, 1990, 282~302.
- [111] 新疆地质矿产局第一区调大队. 新疆同位素年龄数据汇编. 新疆地质, 1987, 5(4): 16~106.
- [112] 新疆地质矿产局第一区调大队二分队. 中华人民共和国索尔库里幅 1: 20 万区域地质调查报告. 1981.
- [113] 新疆地质矿产局第一区调大队二分队. 中华人民共和国巴什考贡幅 1: 20 万区域地质调查报告(区域地质). 1981.
- [114] 姚永耕, 许靖华. 昆仑山脉的成因: “弧-弧”、“弧-陆”碰撞. 国外地质科技, 1994, (3): 37~50.
- [115] 杨森楠, 杨巍然. 中国区域大地构造学. 北京: 地质出版社, 1985, 152~217.
- [116] 杨建军, 邓晋福, 赖绍聪, 张德全, 孙桂英等. 格尔木-额济纳旗地学断面走廊域岩石地球化学. 地质科技通报, 1996, (4): 15~16.
- [117] 尹集祥, 边千韬主编. 喀喇昆仑山-西昆仑山及邻区地质图(1: 200 万). 北京: 科学出版社, 1995.
- [118] 阎明, 马东升, 刘英俊. 桂北龙胜-三门蛇绿混杂岩弧后盆地成因的地球化学标志. 南京大学学报(自然科学版), 1996, 32(1): 116~126.
- [119] 郑剑东. 喀喇昆仑断层与塔什库尔干地震形变带. 地震地质, 1993, 15(2): 107~116.
- [120] 中-英青藏高原综合地质考察队. 青藏高原地质演化. 北京: 科学出版社, 1990, 1~415.
- [121] 张玉泉, 谢应雯. 三十里营房地区花岗岩类 Rb-Sr 等时年龄研究. 自然资源学报, 1989, 4(3): 222~227.
- [122] 张玉泉, 谢应雯. 青藏高原及邻区富碱侵入岩——以苦子干

和太和二岩体为例. 中国科学(B辑), 1994, 24(10): 1102~1108.

- [123] 玉泉, 谢应雯. 哀牢山-金沙江富碱侵入岩年代学和 Nd, Sr 同位素特征. 中国科学(D辑), 1997, 27(4): 289~293.
- [124] 郑健康. 阿尔金造山带东段地质构造演化概论. 青海地质, 1995, (2): 1~10.
- [125] 钟大赉, 丁林. 青藏高原的隆起过程及其机制探讨. 中国科学(D辑), 1996, 26(4): 289~295.
- [126] 曾涛, 董文杰. 青藏高原隆升的数值模型与实测模型之比较. 科学通报, 1997, 42(20): 2200~2201.
- [127] Argand E., La tectonics de l'Asie. Proc. 13th Int. Geol. Congr. Brussels. 1924, 7: 171~372.
- [128] Bird P., Initiation of intracontinental subduction in Himalayas. J. Geophys. Res., 1978, 83: 4975~4987.
- [129] Bi Hua, Wang Zhonggang, Wang Yuanlong, Zhu Xiaoqin. History of tectono-magmatic evolution in the Western Kunlun Orogen. Science in China (Series D), 1999, 42(6): 604~619.
- [130] Brunel M, et al., North Vergent Nappe Tectonics in The Pamir-Kunlun: Preliminary Ar/Ar Jurassic age. Abstracts, international symposium on the Karakorum and kunlun mountains, June 5~9, 1992, Kashi, China, 28.
- [131] Boynton W. V., Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. Dev. Geochem., 1984, 2: 63~114.
- [132] Batchelor R. A., Bowden P., Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multivariant parameters. Chem. Geol., 1985, 48: 43~53.
- [133] Cohen S. and Morgan R. C., Propagating and quasi-static

- compressiona l straining in continental collision. *Tectonophysics*, 1987, 142:155~162.
- [134] Coish R. A. et al, Rare earth element geochemistry of the Bett Cove ophiolite, Newfoundland; Complexities in ophiolite formation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1982, 46: 2117~2134.
- [135] Claesson S, et al. , Sm-Nd data on two late Proterozoic ophiolites of Saudi Arabia and implications for crustal and mantle evolution. *Contrib. Mineral. Petrol.* , 1984, 85; 244~252.
- [136] Chappell B. W. And White A. J. R, Two contrasting granite type. *Pacific Geology*, 1974, (8): 173~174.
- [137] Dewey J. E, Shackleton R. M, 常承发, 孙亦因. 青藏高原的构造演化. 见: 中-英青藏高原综合地质考察队. 青藏高原地质演化. 北京: 科学出版社, 1990, 384~415.
- [138] Dewey J. F. , and Bird J. M. , Mountain belts and the new global tectonics. *J. Geophys. Res.* , 1970, 75: 2625 ~ 2674.
- [139] Dewey J. F. , and Burke K. C. A. , Tihetan, Variscan and Precambrian basement reactivation: products of a continental collision. *J. Geol.* , 1973, 81: 683~692.
- [140] Dick H. J. B. and Bullen T. , Chromian Spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and Alpine type peridotite and spatially associated lava. *Contrib. Mineral. , Petrol.* , 1984, 86: 54~70.
- [141] De La Roche H. , Leterrier, J. , Grand Claude P. and Marchal M. , A classification of volcanic and plutonic rocks using R_1 - R_2 diagrams and major element analyses——it relationship with curent nomenclature. *Chem.*

- Geol. , 1980, (29): 183~210.
- [142] Didier J. , Duthou J. L. And Lameyre J. , Mantle and crustal granites: genetic classification of orogenic granites and the nature of their enclaves. Jour. Volcanology and Geotherm. Res. , 1982,14: 125~132.
- [143] England, P.C. and Houseman, G. A. , The influence of lithospheric strength heterogeneity's on the tectonics of Tibet and surrounding regions. Nature,1985, 315: 297~301.
- [144] England, P.C. and Houseman, G. A. , Finite strain calculation of continental deformation, II : Application to the Indian-Asian plate collision, J. Geophys. Res. , 1986, 92: 3664~3676.
- [145] Emmermann R. et al. , Petrologic significance of rare earth distribution in granites , Contrib. Mineral,Petrol. , 1975,52:267~283,
- [146] Haskin L. A. and Haskin M. A. , Rare-earth elements in the Skaergard intrusion, Geochim. et Cosmochim. Acta, 1968,32:433~447.
- [147] Lu Huafu, Dong Huogen, Deng Xiyang, Li Pengju, Yan Jizhu, In: Wily T. J. , Howell D. V. , and Wong, F. eds. , Terrane analysis of China and the Pacific Rim:CPCEMR Earth Science Series. 1990,13:261~268.
- [148] Molnar P. and Tapponnier P. , Slip-line field theory and large-scale continental tectonics. Nature,1976,264:319~324.
- [149] Molnar P. and Tapponnier P. , Cenozoic tectonics of Asia: effects of a continental collision. Science, Wash. , 1975, 189:419~426

- [150] Molnar P. And Topponnier P. , Relation of the tectonics of eastern China to the Indian-Eurasia collision; application of slip-line field theory to large-scale continental tectonics. *Geology*, 1977, 5: 212~216.
- [151] Mattauer M, Intracontinental subduction, crust-mantle decollement and crustal stacking wedge in the Himalayas and other collision belts. In: *Collision Tectonics*, Geological Society Special Publication, 1986, 19: 37~50.
- [152] Molnar P. , Burchfiel B. C. , Liang Kuangyi, Zhao Zhiyun, Wang Shuji, and Huang Minmin, Geologic evolution of Northern Tibet; results of an expedition to U-igh Muztagh. *science*, 1987, 235: 299~305.
- [153] Powell C. M. , Continental underplating model for the rise of the Tibetan Plateau. *Geology*, 1975, 3: 727~731.
- [154] Pitcher W. S. , Granite type and tectonic environment. In: Hsu K. (ed.), *Mountain Building Processes*, 1983, 19~40.
- [155] Pearce J. A. , Harris N. B. and Tindle A. G. , Trace element discrimination diagrams from tectonic interpretation of granite rocks. *J. Petrol.* , 1984, 25: 956~983.
- [156] Rittmann A. , On the Serial character of igneous rocks, *Egyptian J. Geol.* , 1957, 1: 23~48.
- [157] Rittmann A, Serial character of the volcanic rocks of Pantelleria. *Bull. Volcanol.* , 1970, 33: 979~981.
- [158] Sengor A. M. C. , Mid-Mesozoic closure of Permo-Triassic Tethys and its implications. *Nature*, 1979, 279: 590~593.
- [159] Sengor A. M. C. , The evolution of Palaeo-Tethys in the Tibetan segment of the Alpides. *Proceeding of symposium*

sium on Qinghai-Xizang Plateau. Science Press and Gordon and Breach. Science Publishers Inc. New York, 1981, 51~56.

- [160] Saunders A. D. and Tarney J. , The geochemistry of basalt from a back-arc spreading center in the East Scotia Sea. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1979, 43: 555~572.
- [161] Tapponnier P. , and Molnar P. , Active faulting and Cenozoic tectonics of China, *J. Geophys. Res.* , 1977, 82: 2905~2930.
- [162] Tapponnier P. , Peltzer, G. , and Armijo R. , On the mechanism of the collision between India and Asia. In: Coward M. P and Ries A. C. (eds.), *Collision Tectonics*, Geol. Soc. Special Publication, 1986, 19:115~157.
- [163] Tapponnier P. , and Molnar P. , Slip-line field theory and large-scale tectonics. *Nature*, Lond, 1976, 264: 319~324.
- [164] Tapponnier P. , Peltzer G. , Le Dain A, Y. , Armijo, R. and Cobbold P. , Propagating extrusion tectonics in Asia: New insight from simple experiments with plasticine. *Geology*, 1982, 10: 611~616.
- [165] Volpe A. M. , Macdougall J. D. and Hawking J. W. , Mariana Trough basalt; Trace element and Sr-Nd isotopic evidence for mixing between MORB-like and arc-like melts. *Earth and Planetary Science Letters*, 1987, 82 : 241~254
- [166] Vallier. T. L. , Jenner G. A. , Frey F. A. et al. , Subalkaline andesite from Valu Fa Ridge, a back-arc spreading center in southern Lau Basin; *Petrogenesis, comparative*

- and tectonic implications. *Chemical Geology*, 1991, 91: 227~256.
- [167] Wright, J. B. , A simple alkaline ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis, *Geological Magazine*, 1969. 106(4): 370~384.
- [168] Xia Bin. Terranes of Xizhang (Tibet), China, in: Wiley T. J. , Howell, D. V. , and Wong F. eds. , *Terrane analysis of China and the Pacific Rim: CPCMR Earth Science Series*. 1990, 13: 231~241.
- [169] Xu Ronghu et al, Two plutonic belts in western Kunlun. *Abstracts of International symposium on the Karakorum and Kunlun Mountains*, 1992, 62.
- [170] Хайн. В. Е. , 邢子起译, 马昌前、桑隆康校, 地球历史上花岗岩形成过程的演化. *地质科学译丛*, 1991, 8(3): 22~24
- [171] Zhao Wuling and Morgan W. J. , Injection of Indian crust into Tibetan lower crust: A two-dimensional finite element model study. *Tectonics*, 1987a, 6: 499~504.
- [172] Zhao wuling and Yuen D. A. , Injection of Indian into Tibetan lower crust: A Temperature-dependent viscous model. *Tectonics*. 1987b, 6: 505~514
- [173] Zhao Wuling, Uplift of Tibetan plateau. *Tectonics*, 1985, 4: 359~369