中南大学

硕士学位论文

多源地学信息数据库建设及其在新疆成矿区带快速勘查中的应用

姓名：成静亮

申请学位级别：硕士

专业：构造地质

指导教师：高光明

20050515

摘 要

随着信息技术的发展，矿产勘查已经步入数字化、定量化研究的新阶段。地理信息系统（GIS）作为多学科交叉的产物，能够对具有空间结构的信息进行高效的管理、分析和成果输出。因此，随着GIS技术的不断成熟，它已经广泛的应用在地学的众多方向，并在成矿预测与评价方面发挥着重要的作用。

本次研究工作依托具体项目——北京矿产地质研究所承担的973子课题《大型矿集区识别与预测》，在2004年度完成的工作是建立多源地学数据库和部分野外工作，论文也以本人工作成果为主。主要内容如下：

（1）收集整理了研究区的地质、物探、化探、遥感等数据资料；

（2）然后在MAPGIS系统技术的支持下，建立东天山地质矿产综合信息库和属性库；

（3）以东天山的卡拉塔格地区和阿勒泰麦兹盆地希勒库都克作为实验区，把各种地质、物探、化探、遥感等信息进行综合处理，在建立找矿模式的基础上提取矿化信息，圈定找矿远景区及找矿有利地段。

采用的研究方法是：研究试验区多源异常的空间分布规律及其与金、铜等多金属大型矿床之间的信息联系与转换规律，多尺度、多层次地反映矿床（体）的时空配置关系，建立综合信息找矿模型。

根据工作实践，总结出一套图件数字化的工作流程，对每一步的工作内容、工作方法、精度要求和注意事项都作了详细的说明。同时还对所使用的软硬件组合作了评述，并提出优秀的组合方案.

在完成部分空间数据处理的基础上对东天山卡拉塔格地区进行初步成矿评价；在阿勒泰的希勒库都克铜金矿化区建立了成矿模式。加快了区域矿产综合评价的进程，为利用多源地学信息快速进行地质找矿与靶区预测的研究作出积极的探索。

关键词： MAPGIS，多源信息综合，成矿预测模型，空间分析

ABSTRACT

Stimulated by the exceeding progress of information technology, the development of mineral exploration has entered a new period of digitization and quantification.GIS is a technique that crossing various subjects, and it can efficiently manage and analyze information having spatial structure and export result. Along with continuously develop of GIS, it is already extensive application on many aspects of geo-science and exert the great function in the mineral predition and estimation.

By specific item— 《indentification and prediction of large-scale mine multitude region 》 —973 national sub-topic which is assumed by BIGM(Beijing institute of geological minerals), my work include the foundation of multiple source geoscience database and part of field work at 2004 year.So theses lay particular emphasis on my product.

The mostly contents of this paper are as follows in brief:

Firstly, we collected regional datas about geology、geophysical exploration 、geochemistry exploration and remote sensing in the emphasis area; Then supported by technique of GIS, we set up the database of general geological information for Eastern Tianshan Mountain area; After these, selecting Kalatag and Xilekuduk Area as research emphasis area,we fuse the various kinds of information about geology、geo-physics、geo-chemistry、remote sensing and so all , then extract mineralization information by using the software of MAPGIS 6.0, and block out the predition region on the basis of the spatial model.

Study method: get the law of multiple source abnormal spatial distribution ; research the velationship between geo-anomaly and polymetal mine belt of the mine province.

From the practice, we summarize out a work fiow about plot-vectoring, and expatiation clearly the work content、method、accuracy requirement、matters need attention of every step, at the same time, we put excellent combination proposal about what we need the equipment.

At the foundation of finishing part of spatial data processing, we get mineral estimation about Kalatag area and set up the minerogenetic prediction model about Xilekuduk area. All these achievement promote

region mineral overall estimation, and make an active probe about the research that fusing geo-sciential general information for mineral exploration and prediction model.

KEY WORDS: MAPGIS, general information fusing, mineral prediction model, space analysis

原 创 性 声 明

本人声明，所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了论文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得中南大学或其他单位的学位或证书而使用过的材料。与我共同工作的同志对本研究所作的贡献均已在在论文中作了明确的说明。

作者签名：[signature] 日期：2005年5月15日

关于学位论文使用授权说明

本人了解中南大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留学位论文，允许学位论文被查阅和借阅；学校可以公布学位论文的全部或部分内容，可以采用复印、缩印或其它手段保存学位论文；学校可根据国家或湖南省有关部门规定送交学位论文。

作者签名：[signature] 导师签名：[signature] 日期：2005年5月15日

第一章 绪 论

成矿预测的基本目的是预测未发现矿床的位置,并大体知道这些矿床的基本类型、规模和品位[1]。随着大量的多源地学信息数据(如地质、遥感、地震、大地电磁、高精度重磁、激电、航空物探、化探等) 的积累,以及成矿预测理论方法的不断发展(如地质异常理论的建立[2]、从定性预测到定量预测的变化等) ,如何适应形势的变化,充分利用这些丰富的资料,快速、经济有效地进行成矿预测,是地质工作者面临的一个重大问题。

从上世纪 70 年代至今,随着地球科学、计算机技术、现代通讯技术和无线电技术的发展,3S 技术(遥感 RS, Remote Sensing、全球定位系统 Global Positioning System , GPS、地理信息系统 Geographic Information System , GIS) 已经进入相互融合、共同发展的阶段,形成了集地球和空间分布数据的采集、量测、分析、存储、显示、发布和应用于一体的地球空间信息[3](Geo-Spatial Information science,简称 Geomatics)。尤其是在计算机系统的支持下,地理信息系统技术以其高水平的数据管理、强大的空间分析及高质量高效率的成图技术,可以快速、精确、综合地对复杂的地质系统进行空间定位和过程分析,为信息找矿提供了一个有利的工具,大大推进地球科学定量、综合和可视化的进程,同时促进矿产资源评价的实际应用。多源地学信息综合处理技术正是随着计算机技术在地质勘查中的应用而发展起来的一门新兴的信息处理技术[4]。近年来该技术在地理信息系统和三维图形图像技术支持下,以传统数据处理图示方法无法比拟的视觉效果和速度实现遥感、地球物理、地球化学及地质勘查数据的综合分析,在解决深层地质构造,进行综合地质填图和寻找隐伏矿等方面得到越来越广泛的应用。已有不少学者将矿产勘查信息系统的专业 GIS 技术引入成矿预测工作中,取得了不少成果。

1.1 应用地学信息进行矿产快速勘查的现状

地学领域的各个方面都是信息的获取、处理、解释和应用的过程。20 世纪 60 年代以来, 地质资料和地质数据急剧增多,出现了所谓的“资料数据爆炸性增长”。这些基础数据十分重要,有效期也几乎是无限的[5]。因此,如何有效地存储、管理、利用(包括多次开发利用和综合开发利用) 这些数据以提高矿产勘查效果,已成为国内外地学工作者共同关心的问题。此外,还有两方面的工作一直在不间断地进行:一是加强成矿地质理论和实验研究,深入了解各类矿床形成的环境和

条件以及矿床分布规律及产出特征;二是加强找矿技术方法研究,进一步查明指示矿床存在的各种标志和现象,有针对性地开发识别、获取、加工、分析和解释海量找矿信息的手段、工具和软件。以下从这三方面概括出应用地学信息进行矿产快速勘查的现状及发展趋势。

1．1．1基于GIS的地质数据库

在当前地质学领域的实际应用中,GIS 软件对空间数据和属性数据的处理技术尚待优化,GIS 技术在地质数据库的建设中没有得到充分的应用。目前,国内外已较广泛的开展了 GIS 技术和数据库技术相结合的地质数据库系统的开发和研究工作:

(1) 基础地质数据库建设;

基础地质数据库和专业地质数据库的建设,可以提供地质资料的全社会共享,有效地改善科研条件,促进地质学事业发展[6]。

一些经济发达的西方国家,诸如美国、加拿大、英国等,都已建立并部分实现了地矿数据信息的联机检索或商业化服务:美国联邦地调所(USGS) 经过 30 年的努力,先后建立了许多重要的数据库,如美国资源库、全国煤炭数据库、全国水文数据存储检索系统、海洋地质数据库、地球化学与岩石分析数据库等等。在这些数据库中存入全美国数万个矿床和矿点信息,数十万处钻孔和野外露头的观测数据资料。USGS 还建立了全国数字制图数据库(NDCDB),存入了全美国数万幅简化地理底图;英国地调所(BGS)也先后建立了陆地钻孔数据库、水文钻孔数据库、全国重力库、全国地球化学库、石油数据库、世界矿山数据库、矿产地址索引库等等。

许多发展中国家也正着手或已经进行“地质矿产资源清单计划”。据国外地质文献统计,目前世界上已建成了上千个大型地质数据库,所建立的数据库基本上涉及到了地质学的各个领域,有些已组成了网络[7]。

我国的地质数据信息系统起步于 20 世纪 80 年代中后期,并取得了一定的成绩。原地质矿产部曾于 1986 年对全国地矿信息系统的建设作出了规划,根据总体方案,该系统包含 12 个子系统,77 个国家级数据库和若干个模型库和方法库[8]。到目前为止,已经建成了各种综合数据库和基础数据库上百个,建库情况大致如下:①地质勘探类,如矿点(矿床) 数据库、1:20 万区调数据库、侵入岩地质数据库、地层数据库、火山岩石学数据库、钻孔数据库、同位素地质年龄数据库和测绘成果数据库等;②矿产资源类,如金属矿产资源储量数据库、非金属矿产储量数据库、固体燃料矿产储量数据库、太平洋中部多金属结核矿产资源数据库等;③其他类型如南水北调中线工程地质勘查数据库系统、石油海洋地质类、矿产开发类、地质市场类、资料文献类和科研教学类等。中国地质学科中心

主持承担的“地球科学数据库系统—WDCD 地质科学数据库” 项目也于 2000 年正式启动，该数据库群将包括地质数据集元数据库和 12 个专业数据库(金属矿产资源、非金属矿产资源、地下水资源、火成岩、同位素地质年代、同位素地球化学、岩溶地质、地应力、地质灾害、1:500 万中国地质图、1:200 万分省地质图、1 :500 万地球化学图) [9]。这些基础地质数据库的特点是专业门类齐全、标准化程度高、海量数据存储。数据库涵盖地质、地球物理、地球化学、矿产勘查、环境地质等多种地质调查成果。

地质数据库系统一般由勘查数据管理、勘查数据处理和地矿资源预测评价三大部分组成，其结构是技术方法与应用模型的层叠式复合结构，核心是主题数据库的数据库设计模式。吴冲龙等讨论了地质矿产资源信息系统的理论和应用开发[10]；汪新庆等讨论了地矿资源信息数据库的模型库建立和分类体系[11、12]。

总的看来，我国的地质数据库建设仍处于初级阶段,数据环境基本上属于应用数据库范围，建设方式大多数是简单地利用现成的商业化软件来装载数据，很少作高层次的二次开发,重复采集数据现象很严重，整体上离地矿信息产业化还有很大差距，尤其是在互联网上的商业服务更为缺乏。尽管如此，许多地质数据库的应用已经取得了明显的经济效益和社会效益。

（2）基于 GIS 技术的专业地质数据库系统

基于 GIS 的地质数据库建设涉及的主要问题是系统的数据库结构。空间数据库结构建设应从 GIS 理论出发，所涉及的主要内容有空间点、线、面图形数据以及空间图元组合图层、图类等，一般以 GIS 图层为基本出发点，采用层状树形结构管理各图层和结构化的表格数据。例如属性数据、文本数据由关系数据库系统(RDBMS) 管理，利用 OLEDB 等数据通信技术实现空间数据和属性数据的同时存储。从而系统实现综合查询、数据统计、分析预测、制图输出、报表生成、数据表现等多方面的应用。

我国开发的基于 GIS 技术的地质数据库系统，主要有中国地质科学院成矿远景区划室基于空间 GIS，在 Arc/ info 软件平台上完成的中国地质图数据库、1：500 万中国矿产资源找矿信息库的系列建设[13] ;中国地质科学院矿床地质研究所以美国 Caliper 公司 Maptitude Web GIS 产品为平台,利用 ASP(Active Server Pages) 技术，开发出因特网“ 中国矿产资源数据库”，实现了分布式数据共享。

目前，基于 GIS 的地质数据库系统的设计有较多的学术探讨。袁艳斌等基于数据库管理系统(DBMS) 、GIS、CADS 三者的技术特性与相关性加以分析，结合三峡坝区工程地质信息特点，开发研究三峡坝区工程地质信息系统集成，展示了“3S”技术在空间信息一体化管理中的作用[14]。戴刚毅等以江西银山多金属矿数据库系统为实例，介绍了基于地理信息系统的矿山空间数据库的建立方法

[15]。姜义等(1999) 以“1∶5 万数字地质图数据库试验研究”项目成果为基础，介绍了应用 MAPGIS 软件建立数字地质图数据库的工作方法、技术要点[16]。吴冲龙等(1998)讨论了地质矿产点源信息系统的开发与应用，他们应用自己研制的 GIS 软件系统(GeoView) 为平台，先后完成了“沉积盆地地质信息系统”、煤矿地质数据库系统”、“ 全国煤炭资源数据库系统”和“ 华南钨矿资源信息系统”等大型软件系统的研制任务[17]。

总之,地理信息系统在地质空间数据管理中的应用是：以多种方式录入地质数据，以有效的数据组织形式进行数据库管理、更新、维护、进行快速查询检索；以空间分析功能与地学领域专用模型相结合的方式开展成矿预测分析、矿产预测定量评价等；以多种方式输出决策所需的地质空间信息。

（3）存在问题及发展方向

目前开发的基于 GIS 的地质数据库信息系统，由于开发平台各异而导致 GIS 软件的存储格式互不兼容，从而限制了数据库之间的联系和应用，造成重复建设和资源浪费。同时, GIS 二次开发大多使用软件自带的专门开发语言，例如 Arc/Info 采用 AML，加上庞大的函数、命令库，使得普通的开发技术人员难以掌握，延长了应用产品的开发周期，降低了系统的兼容性，这就需要技术上的改进和提高。此外，由于开发周期较长，有些系统已不能完全满足用户的需求，特别是在网络查询方面不能跟上技术发展的步伐。随着数据库新技术和 GIS 新技术的发展和应用，基于 GIS 的数据库信息系统也逐渐采用这些新技术增强系统功能、增加系统开发灵活度。李岩等依据面向对象模型和 Active X 技术，提出地理信息系统软件集成的“部件组合集成模式”，论述了地理信息系统软件集成部件组合和可重用类模块创建的方法和技术要点[18]。于海英等在阐述对象的链接与嵌入(Object Linking and Emedding ,OLE)技术的基础上，介绍 OL E 技术在地下水资源数据库管理系统中的应用[19]。黄维平等(2000) 以吉林油田石油勘探信息数据库查询系统为例介绍了在 Microsoft Windows NT Server 上集成 IIS，由 ASP 脚本启动 ADO 控件,通过 ODBC 驱动程序，实现数据库服务器与 Web 服务器的连接，用系统集成的方法开发石油勘探信息数据库查询系统的编程技术[20]。

因此，今后基于 GIS 的地质数据库系统将是利用面向对象的软件技术、空间数据库技术和 WebGIS 技术实现的以数据为中心的分布式计算机系统，是一项复杂的系统工程。借助地理信息系统的空间数据存储功能，人们可以把更多的精力用到研究地质信息的相互内在联系等实质性问题上，运用地理信息系统的空间分析功能使地学研究和预测工作周期大大缩短，研究成果的最终表达形式也更加丰富多彩。相信以 WebGIS 技术和空间数据库技术发展起来的地质数据库系统将使“数字地球”真实的呈现在世人的面前。

1．1．2 成矿理论

近 20 年来，成矿地质理论和实验研究明显朝着整体化的综合性研究、应用性研究的方向发展，因而诸多理论的提出都是对有利成矿地区进行系统性的、整体性的研究。

以“多物质来源、多成矿阶段、多成矿作用、多成因类型和多控矿因素”为特征的“多因复成矿床”理论[21, 22]是由陈国达院士最早提出的，是地洼递进成矿理论的重要组成部分。强调在研究矿床的形成过程中，除了要重视矿床形成的有利空间因素外，还应考虑矿床形成的有利时间因素；同时提出对矿床的形成应该用四维的方法来研究矿床的形成过程、特点和分布规律[23]。

涂光炽院士提出的“层控矿床”理论——产在一定地层单元内的包括层状矿体在内的各式各样的矿体，矿床的成矿物质具有多来源的特征，矿床的形成经历了多种成矿作用，具有多成因特点的矿床类型[24, 25]。这一理论促进了多元成矿思想的迅速发展[26]。

这两种成矿理论都重视矿床形成过程中的继承性和递进性，因而都强调应该从多元成矿的角度来考虑矿床的形成，这种“多元”的思维对于同时具有内生和外生特点的隐伏矿床（体）的定位预测具有十分重要的意义[27]。

成矿系列[28, 29]和成矿系统[30, 31]的提出均强调了系统和整体的重要性。其中成矿系列着重研究成矿区带中一个主导地质作用形成的诸矿床之间时、空、成因联系，对于同一成矿区带中各种有成因联系的不同矿床类型的隐伏矿体的定位预测具有重要的意义；成矿系统主要从成矿要素、成矿作用过程、成矿作用动力学去研究成矿的总体特征，包括矿床组合及有关地质异常形成的原理。这种整体性的、全方位思维对老矿山的深、边部隐伏矿体进行综合定位预测具有现实的意义[27]。

我们熟知的“ 相似的成矿地质条件下可能有类似(相同) 的矿床产出”,以及由此而来的“同一成矿域(区、带) ” 、“ 相同构造背景” 、“同沉积环境” 、“ 相似的控矿因素” 、“ 相似的元素组合”、“已有的成矿系列”等等，都是以“相似类比”原理为基础，通过研究某一类矿床的成矿规律进行成矿预测。这是过去几十年来贯用的思维。应当肯定,模式(型) 思维对传统矿产勘查具有指导作用，而且在指导国内外找矿人的长期实践中取得了不可磨灭的功绩[32]。但是,对于具有“点型分布”的矿床,以及当研究区不存在已知矿床作为模式进行“ 相似类比”时，什么样的理论可以用来指导我们的找矿预测呢[33]？自 90 年代以来，赵鹏大等提出了以“求异”原理为基础的“地质异常理论[34]”，强调有利成矿地段往往都处于地质异常单元之内；前苏联学者也曾有相似的论断：“最重要的矿床赋存于地壳中具有最大异常地质结构性质组合的地段。因此，对象的异常性应该是最有远景的”。但真正使“求异”理论得到发展、完善并运用到实践中去，

则是最近几年的成果。陈永清等运用“求异理论”在鲁西铜石金矿田对矿体潜在地段进行了圈定[35]，并取得一定成功；曹瑜等在云南某地区运用“求异理论”成功地圈定了“5P”找矿地段，并建立了 GIS 成矿预测空间模型[36]；2003 年以来赵鹏大等提出“地质异常理论”、“成矿多样性”与“矿床谱系”三者的结合而成的现代成矿预测的新理论——“三联式”成矿预测：成矿是地质过程中的小概率事件,也是地质异常事件。因此,地质异常分析是从区域上有效识别、提取包含成矿事件的各类地质异常(异常圈定)，成矿多样性分析是根据成矿地质特征在所有异常中筛选出成矿地质异常并评价预测单元内所有可能存在的矿产及其有利度(缩小靶区)，矿床谱系分析是根据成矿规律从成矿地质异常和各类矿产中梳理出区域成矿体系(指导预测)[32]。这是“求异”理论的进一步发展与完善，为区域成矿的科学预测提供了全新的指导思想。

1．1．3 建模预测

众所周知，自 19 世纪 30 年代，C·莱伊尔提出“将今论古”的现实主义原则以来，“ 相似类比”一直是地质学研究所遵循的基本方法原理，在矿床学和矿产勘查领域表现为各种成矿模式和找矿模型的研究和应用。

模型找矿，就是按照先进的成矿理论结合地质实践建立模型进而指导找矿，它是针对过去理论研究脱离、超前找矿实践弊病提出的。它以先进的成矿理论为指导来收集、分析和研究与成矿有关的各类信息，进而总结出最客观的认识，最主要的控矿要素，最有利的找矿标志，进而进行找矿预测的一种方法。由于模型找矿是理论与实践相结合的产物，因而得到了理论界和勘查界的一致认可。世界各国都充分开展了模型成矿，取得了可喜的成果。

上世纪 60 年代末期，前苏联开始物理一地质模型研究。70 年代中期以来，前苏联的地球物理工作者在乌拉尔和阿尔泰矿区做了大量工作，先后提出了铁矿床、内生稀有金属矿床、含铜黄铁矿床、硫化铜镍矿床、斑岩铜矿床及铅锌矿床的地质、地球物理、地球化学模型。目前，他们研究的模型很多，有地质成因模型、分类—标志模型、同等要素组合模型（地质—地球物理模型、物理—地质模型、几何化模型）、地质—工业定量模型、形态模型、富集模型以及多因素模型等。这些模型均是结合找矿实践在先进的成矿理论的指导下建立的，其目的就是要对各种成矿信息进行综合分析，抓住最主要的控矿要素，进而提高预测效果。

西方国家侧重于矿床理想成因模型和次生环境地球化学异常理想模型的研究，代表性的研究工作有 Cox、Singer、Hodgson、Wyborn 等人的成果。另外，美国根据圣马纽埃矿床建立的斑岩铜矿蚀变分带模型，成功地发现了隐伏的卡拉马祖斑岩铜矿床，加拿大和澳大利亚也利用成矿模型找到了科马提岩型镍矿；葡萄牙也利用成矿模型在地下 300 米处找到了大而富的内维斯一科尔沃矿床[37]。

我国的地学专家从80年代以来，也开始探索模型找矿。彭程电（1986）根据岩舌下凹兜成矿模型新发现了老厂矿田双竹矿床[38]；姚金炎（1990）根据长坡矿床的矿体类型与分带模型，推断并发现了大福搂锡矿床[39]；赵玉琛（1990）根据凹山铁矿“三部八式”的成矿模型，在南山铁矿深部发现了8000万吨凹山式铁矿[40]；此外，利用石英脉型钨矿“五层楼”找矿模式、玢岩铁矿找矿模式、斑岩铜矿找矿模式、层控矽卡岩型找矿模式、喷流沉积改造型金矿模式、成矿系列综合找矿模式以及蚀变破碎带型金矿找矿模式等也都找到了大量的隐伏矿床[41]。

近年来，找矿模式从地质—地球物理模型、地质—地球化学模型，发展到地质—地球物理—地球化学综合地学找矿模型，而且还加入了遥感及其它方面的内容，进行多元信息综合找矿预测。代表性的研究工作有赵鹏大院士以地质异常、成矿多样性和矿床谱系定量化为基础的“三联式”成矿预测方法[32]、王世称教授跟踪“863”计划完成的综合信息矿产预测方法[42]、张均教授以脉状金矿隐伏矿体定位预测为例提出的组合预测方法[43]、彭省临教授结合国家“十五”攻关项目，以大型矿山为依托基地，以地、物、化、遥等多种探查方法为手段，所进行的隐伏矿体定位预测研究[44]以及徐强等在西部地区结合国家“九五”攻关项目提出的主要类型铜矿床综合信息快速定位预测方法等[45]，建立了一批具有中国特色的综合地学找矿模型。所有这些代表性的研究不仅完善了模型找矿理论，而且对隐伏矿床的找矿预测形成了明确的方法技术体系，是隐伏矿体综合信息地学找矿模型建立的坚实基础[27]。

随着找矿难度的加大，地学找矿模型需要多种新理论、新技术和新方法的综合应用，这也在客观上促进了综合地学找矿模型的发展，并且在实用性和快捷性方面提出了更高的要求。综合地学找矿模型是地学研究中的一个深层次的、跨学科的新领域，它主要是通过对各种与矿化有关的信息相关性和制约性的研究,进而找出最佳的找矿标志组合，来指导找矿预测。它既可用于已有矿山深边部的找矿预测，也可为新地区隐伏矿体定位预测服务。在当前隐伏矿体定位预测中应用最广泛、作用最明显，是成矿学领域中研究的热点。

总之，一切可能的“共性”(相似) 特征都可能成为“ 预测”(类比) 的依据。模型找矿在当前形势下，仍是矿体定位预测的主要手段和方法。

1．1．4 GIS平台上的矿产资源定量预测

由于当前矿体定位预测正朝着多元信息综合定位预测方向推进，有用信息的筛分和提取是找矿能否成功的关键，而GIS无疑是处理海量数据和多元信息最有利的工具，因此在地学界GIS正受到越来越多的重视。而用地学信息和计算机技术进行矿产资源快速定量评价工作走向实用阶段虽然只是近些年来的事，但从其产生、探索、研究、发展、总结以及走向实用并形成一套理论和工作方法的过程

来看，却经历了近三十年的时间。

早在上世纪五十年代初，阿莱斯(M. Allais)较有代表性地提出了矿产资源评价的概念，他认为单元中矿床数服从泊松分布，而且在足够大的区域内某种矿产资源量的分布大致相当于这种元素在地壳中的分布。接着有人提出区域矿产价值的分布服从对数正态分布等。随后，人们发现许多矿床的分布可以用负指数分布得到较好的拟合；美国地质调查所的资源评价人员提出负二项分布拟合单元内矿床数分布的方法。但这些矿产资源分布研究的方法属单变量性质，没有充分利用控矿标志等地质资料。

七十年代后期至八十年代初期，矿产资源评价无论从理论方面还是应用的广度都有很大进展。Harris 的决策网络更加系统化，并已建立起一个完整的处理系统；美国地质调查所建立 “勘探者”程序包；斯坦福大学和加里福尼亚人工智能中心建立了铅锌的预测系统[46]。

我国矿产资源定量预测与评价始于 1976 年[47]，在八十年代开始开发利用 GIS 技术进行矿产资源评价工作。1986 年，由原地矿部遥感中心主持，长春地院、中国地质大学、地矿部遥感中心等单位参加，开展了“遥感图像与其它地学数据综合图像处理技术及应用研究”，系统研究了地质勘查数字图像处理与综合的主要技术环节，并开发了多种图像软件包,在安徽铜陵、湖南花岭及新疆哈密等地区开展了不同矿种产资源评价应用试验。

在以 GIS 为平台的矿产资源快速评价应用方面，美国、加拿大、澳大利亚等国起步较早。如加拿大地调所（GSC）在上世纪 80 年代后期开展了用 GIS 进行矿产资源潜力填图的研究，GSC 著名地质统计专家在 NovaScotia 地区的金矿勘探和新布伦斯瑞克北部的矿产资源评价中，提出利用条件概率与贝叶斯规则相结合的证据加权模型，实现二元模式图综合的方法，在资源评价中首先将 GIS 的空间分析与定量模拟结合起来；美国地调局在 ARCVIEW 平台上，开发了名为 ARC-WOFE 的证据权法应用模块。

例 1. 美国 CUSMAF 矿产资源评价计划典型工作程序：

（1）收集图幅内的地质、矿产、深部岩相构造、地球化学、航磁和布格异常图等资料；

（2）确定图幅内有可能存在的矿床类型；

（3）建立这些矿床类型的概念模型和描述性模型；

（4）根据每个描述性模型，得出该类型存在与否的“找矿标志”；

（5）系统地检验识别标志存在的有用数据；

（6）研究各种标志的区域分布规律及相对重要性，评估整个图幅内不同类型矿床出现概率。

上述六步曲特别强调对矿床模型成矿信息的提取及运用统计方法研究各标志的重要性。

例 2：阿拉斯加州纳贝斯 1° ×2° 斑岩铜矿资源评价：

（1）建立地质、地球物理、地球化学、遥感数据库；

（2）运用 GIS 叠加分析功能对地球物理、地球化学、遥感数据进行处理；

（3）建立多变量的找矿模型。模型中包括重力异常、水系沉积物铜铬比值、地层等标志；

（4）进行远景区预测。

该预测程序特别强调对地质、地球物理、地球化学、遥感数据本身成矿信息的提取，概括起来就是建立预测区资料数据库，根据矿床模型，建立预测标志组合，进行预测靶区圈定。

我国 GIS 矿产资源评价工作在 90 年代开始快速发展：

1991 年初步研制出基于 GIS 平台上的固体矿产勘查评价自动化系统(KPX1.0 版本）[48]，该系统已在 100 多个重点矿区中应用，并取得了显著效益。KPX 具有野外数据自动采集、勘查数据系统管理、勘查图件自动绘制和矿产储量自动求算等矿产勘查全过程的 GIS 分析功能；

地调局于九五年组织在四川省开展应用 GIS 矿产资源评价的试点工作，中国地质大学数学地质室在云南铜矿预测中首先运用 MAPGIS 进行评价；

“八五”期间，原地矿部所属的中国地质大学、物化探所、北京计算中心、成都理工学院等通过多个项目进行过应用 GIS 技术的综合成矿预测研究；

“九五”地质科技公关项目更是强调了包括 GIS 技术在内的新技术、新方法的应用。国家科委以及原地矿部均启动了以 MAPGIS 为平台的矿产资源预测的专用系统。中国地质大学数学地质遥感地质研究所承担的国家科委“九五”科技公关项目“金属矿产资源评价分析系统”课题，在总结近十年所从事的“中大比例尺矿床统计预测专家系统”和“中大比例尺矿床统计预测智能辅助分析系统”等科研与软件开发经验的基础上，基于 MAPGIS 平台开发了功能更趋完善实用的、以综合地物化遥矿产等资料进行矿产资源定量勘查评价为目标的专用型 GIS 系统——“金属矿产资源评价分析系统”(MORPAS)[49]。MORPAS 是功能完整的金属矿产资源评价分析系统软件，覆盖地学数据库的管理、地质背景与地质异常分析、物探资料处理、化探资料处理、遥感图像处理、综合分析与预测评价等。该系统在云南进行了实际应用[50]。采用数据仓库、数据挖掘等技术，实现了对多源地学信息的集成管理及对数据中潜在模式的提取，效果明显。但是该软件操作门槛高，很多功能没有完善，目前难以直接应用和市场化。

在九十年代初，我国已研制出具有自己版权的 MAPGIS、CITYSTAR 等 GIS 基

础平台软件，目前已经有一定的市场。国家测绘局完成 1/100 万、1/25 万数字地形图；原地矿部初步完成国家 1/50 万、1/20 万化探数据库，完成全国近一半 1/20 万数字化地质图，建立了国家级矿产资源远景评价信息系统和矿产资源储量数据库。但与发达国家相比，无论在 GIS 软件产业，还是在数据库建设方面，均存在明显差距。

例 3：赵鹏大院士提出的矿产统计预测工作程序[51]：

（1）选择预测对象、预测范围及比例尺；

（2）将研究区划分为基本预测单元；

（3）地质变量的选择、取值及变换；

（4）选择矿床模型控制区，建立找矿定量模型；

（5）综合运用各种有效方法，确定成矿有利远景区。

该工作程序确定了以计算机为手段，研究地质数据的定量方法及定量评价思想。

例 4：全国二轮区划采用的综合信息工作程序：

（1）建立地质概念模型；

（2）成矿信息提取，编制控矿信息系列图件；

（3）建立综合信息找矿模型；

（4）建立矿产资源评价定量预测模型；

（5）编制成矿预测成果图件；

（6）提出普查找矿工作建议。

该方法体系反映了上世纪末矿产资源评价的最新趋势，即试图有机地将成矿理论、区域成矿规律分析、成矿信息提取、定量预测综合起来[52]。

从上述不同的工作程序可见，矿产资源评价是一项复杂的系统工程。预测成败的关键在于建立准确的多源地学数字化信息库并对预测地区的成矿条件、成矿规律的深入认识，这种认识的飞跃往往是需要多学科、专门的地学知识和理论体系，而计算机信息处理技术只能是成矿分析的辅助工具[53]。

总结前人工作，基于 GIS 技术的现代矿产资源评价主要由三部分组成：即基础空间数据库、致矿信息库和评价成果库[54]。基础空间数据库包括地理底图数据、地质矿产数据、地球化学数据、地球物理数据、遥感数据致矿信息库和从基础空间数据中分别提取的与目标矿种及其相关的矿床信息。作者近一年的工作正是为了建立东天山地区的基础空间数据库（数据处理、转化，图件数字化，校正，图像处理等）力求完整、精确、统一，为今后的工作，尤其是以地质体或地质异常为单元进行集合或综合，并最终应用于评价找矿靶区有利度和靶区资源量等打下坚实的基础。

1．2 选题意义及研究工作概述

区域矿产资源快速勘查评价的任务，一是对某一大区域总的成矿远景与找矿潜力作出预测与判断；二是指出该区域的具体找矿方向，包括主攻什么矿床类型，哪里是成矿有利地段[55]。因此，本课题旨在研究开发区域示矿要素提取及多元信息综合分析，以多年来积累的大量区域性地物化遥等资料为基础，辅以新技术探测手段，快速对区域找矿远景(潜力)及找矿方向(包括主攻的矿床类型和成矿有利地段)做出有充分科学根据的预测与判断，为地勘部门的宏观决策提供依据。

本次工作选择新疆东天山卡拉塔格和阿勒泰麦兹盆地的希勒库都克作为试验区，进行地质多源信息综合及其找矿预测的应用研究。这两地是我国西部两个具代表性的矿产远景区，在这样的区域矿产资源快速勘查评价的试验，其成果将会有利于两地本身的地质工作，促进找到新的成矿有利区带。

1．2．1 研究内容

通过收集研究区的地质、物探、化探、遥感等数据资料，建立重点研究地区的地质、物探、化探、遥感等多源地学信息数据库。在此基础上对实验区域内异常信息进行重点剖析，提取关键预测标志或组合，并进行野外验证工作。

1、区域地质矿产及遥感地质基础研究

利用已有的区域地质矿产资料，分析和掌握研究区域地质环境及矿产分布规律和成矿地质条件；研究成矿控矿地层、岩石及构造，为丰富找矿信息提供依据和选定详细工作目标。

2、找矿异常信息的提取与综合评价

提取各类与金属矿化有关的信息，对获得的各类找矿信息及已有的地质矿产、物化探信息进行系统集成、综合处理和分析，既包括对成矿地质背景、控矿因素等信息定性分析，也包括地物化遥异常的定量分析。建立铜多金属综合找矿预测模型，进行成矿预测，优选出找矿靶区。

1．2．2 研究方法

研究方法遵循辨证唯物主义认识世界的从认识→实践→再认识→再实践的基本原理。

1、技术路线：以 GIS 为平台，应用数学地质理论及相关软件集成地质、地球物理、地球化学和遥感等多源信息，构建工作区判别评价预测模型并力求能够优选出战略靶区。

具体技术路线为：从分析试验区的物探异常、化探异常和卫星遥感异常等空间分布规律及其与金、铜等多金属大型矿床及相应矿集区之间的信息联系与转换规律，多尺度、多层次、多途径地识别出反映矿床（体）的时空配置关系，最后

建立综合信息找矿模型。

2、实验方案

①查明实验区矿床成矿机制、控矿作用和地、物、化、遥、表征等联系，从理论上深化矿床的内在关系和成矿系列的相似性与复杂性。

②以实验区各种异常为重点，通过研究大规模成矿作用的宏观地质背景和成矿过程来探索其时空演化规律。

③在上述工作的基础上，研究成矿信息的识别标志，建立隐伏矿床的找矿标志模型。

1．2．3 完成科研工作量

1、总工作量：

①1:20 万图件数字化：布格重力异常图、剩余重力异常图、航磁异常图（共计 49 幅）；

②基于 GIS 的 1:20 万多源地学数据库的前期建设；

③实验分析和应用研究；

④重点地段调研 2 处（阿勒泰麦兹盆地、哈密卡拉塔格）

⑤样品采样及测试分析 60 件

⑥论文 1 份

2、各研究阶段的进度：

2003 年 8 月 — 12 月：课题设计（包括：①资料收集、整理；②图像处理及初步解译；③地、物、化、遥等数据的搜集与前期处理）；

2004 年 1 月 — 9 月：地、物、化、遥等大量图件的数字化处理，建立重点研究地区地学信息数据库；野外实验分析与应用研究，包括：工作区岩石蚀变信息；基于 GIS 对多源地学信息的异常变量进行提取与分析评价的验证（探槽，钻孔）；建立实验区矿床的概念模型及模型修改和优化并提出预测；

2004 年 9 月 — 2005 年 4 月：学位论文撰写、答辩及一些后续工作处理。

第二章　综合信息成矿评价与预测的基本理论

随着经济的发展和技术的进步，我国对矿产资源的需求与日俱增。要满足这一需求，我们必须深入研究矿产资源问题。通过矿产资源综合信息的研究，矿产资源潜力的勘查评价，矿产品的生产利用以及矿物原料经济技术的探讨，解决一个国家乃至全球范围对矿产资源需求的近、中、长期保证程度的预测问题，这就是综合信息矿产资源定量评价的基本任务，而任务的核心是成功的矿产预测，就是在成矿理论指导下，研究成矿域产出的地质背景特征、成矿作用特征和矿床共生组合规律，建立区域成矿模式；然后以成矿模式为基础，统计对比分析同一成矿模式中已知矿床的地质标志、地球化学标志、地球物理和遥感地质标志，建立以地学信息为特征的综合信息找矿模型，并运用找矿模型实现对矿化单元的成矿预测。

目前，地质学、地球化学、地球物理学和其他学科一样，广泛地使用以现代数学工具和电子计算机为基础的定量研究方法，进行地质、地球物理和地球化学资料的综合解释工作。即通过已知控矿规律的分析和矿层的基本特征的统计对比分析，建立综合信息找矿模型，充分应用间接找矿信息，达到快速矿产预测的目的[56]。并在靶区确定的基础上，以地质体为单元，应用各种数学模型进行矿产资源定量评价，这就逐步使基于数学地质的 GIS 领域的矿产资源评价预测工作走向实用阶段。

2．1 矿产资源评价方法的选择标准

随着世界范围内的矿产资源评价工作的深入展开，已产生和引进了大量的资源评价方法。由于各种方法的前提、性质、思路及手段等不同，它们对资源评价工作中具体问题的适用性就不同。为使人们在资源评价工作中有目的地选择适宜的方法，这里只给出原则性的意见[57]。

1、目的性。选择方法的主要原则之一就是根据所要解决资源评价中的问题特点。常有人误解方法选择是一次性的，或选一两种方法就能解决资源评价的所有问题。事实上，资源评价中各环节所涉及的问题都不一样，如变量研究(赋值、离散、筛选等)、样品研究(标准样品筛选、方案设计等)、矿床个数和可能赋存的空间位置的预测、估算资源总量以及结果表达形式等所需要的数学方法都不尽相同。所以，在实施资源评价的每一步之前都有个方法选择问题。如果不考虑目的，孤立地讨论和评价方法的优劣是没有任何实际意义的。

2、变量性质。在我国，资源评价工作是区划工作的深入。区划工作的完成为各种矿产资源评价积累了较丰富的地质、物探、化探、重砂等资料，这其中既有定性资料，又有定量数据，这为选择以地质为基础的评价方法创造了条件。不同的定量资料，对资源预测提供的信息也不同，有些是间接的，如物探场，有些是直接的，如化探场等。前者更多地用于资源的间接定位，而后者则既可以定位也可以定量。因而，这些变量对方法选择的影响是较大的。

3、矿床类型和产出特点。矿床既有内生的又有外生的，从成因机制上可分为沉积矿床、变质矿床和火成矿床三类。它们在产出特点上往往很不相同，如沉积型、沉积变质型矿床多受层位控制，大致呈层状或似层状，品位波动性小；多数岩浆矿床、伟晶岩矿床、热液矿床、矽卡岩矿床等，矿体产状复杂，可呈各种透镜状、脉状等不规则形态，而且从母岩的中心向外缘常有明显分带性，使得元素品位波动性大。故产状稳定、形态规则的矿床一股选用体积法等方法为宜，而产状变化大、形态不规则的可选用矿床模型法，如特征分析等。

4、已知样品数量。在地壳上有工业价值矿床的个数是有限的，特别大、中型矿床的个数更是稀少，这是资源评价数据分布的一个重要特点。各种方法所要求的已知样品数和大，中及小型矿床的比例特点是不同的。有些方法虽然理论上对样品数的要求不是很高，但在实际效果上，当样品数少到一定程度后就失去外推预测的价值。

5、同时选择多种方法，提高预测的精度。由于实际资源评价问题的复杂性，各种信息的多解性和数学方法功能的有限性，有时只选择一种方法解决资源评价问题可信度较低。特别是缺乏预测效果严格检验或误差估计时，问题更显得突出。事实证明，同时选择二种或二种以上的方法解决同一资源评价问题，常常可以得到较为可信的结果。不同方法从不同角度提取各种控矿标志的信息，相互补充相互验证，可提高结果的精度，而且还能从中发现新问题和探讨各种方法的优劣性。

2．2 资源评价的理论体系

综合信息矿产资源评价理论体系包括四部分内容[58]：

(1)综合信息地质找矿模型——以研究成矿地质条件为基础，以进行成矿预测为目的，正确提取地质、地球物理、地球化学、遥感地质信息加以有机结合起来，建立资源预测的原始信息模型。主要内容包括地物化遥的综合信息提取，分析矿带、矿田及矿床的综合控矿规律，进而确定综合信息的两种组合(确定性的和统计性的)。通过编制综合信息图库，确定模型区、预测区。通过单元对比提取控矿变量，研究已知矿产资源的品位、个数和规模等分布特征。然后把各种地

质找矿信息融为一体综合分析，实现直接找矿信息与间接找矿信息的关联、转化，克服当前地质调查研究中地质与物化探不统一性和物化探成果的多解性，使成矿规律与成矿预测研究综合化、系列化[59]。

(2)地质—数学转换模型——用客观手段将原始地质信息转换为数据用于定量化研究。其中包括用各种数学方法客观地对变量赋值，单元储量分级和模型单元选择等多项研究内容，这是避免原始地质信息损失或失真的重要工作环节。

(3)资源预测模型——依靠控矿因素的定量分析，建立矿床定位预测模型和资源定量模型。这是综合信息地质找矿模型的定量化，主要采用各种数学方法，对地质变量进行统计分析、建立起资源空间定位和资源量定量预测模型，并进行模型的检验、优化和简化研究。这样就把矿产资源评价由主要是资源量预测，转向以矿产资源定量预测和优选找矿靶区为主要目的。把区域展开与重点突破有机结合起来，致力于未发现的隐伏矿和难识别矿的定位，解决普查找矿中最核心的问题，使其进入实用阶段。

(4)成果表达模型——根据需要提供各类成果，包括不同比例尺成矿预测图，找矿靶区分布图，实用找矿模型，总资源量预测以及找矿风险估计等。是矿产资源评价最终成果的具体形式。主要采用各种方法对资源评价整个过程中产生的误差进行分析，给出某种概率意义下的找矿风险估计。然后用不同形式对资源预测的总成果进行分类表达和地质论证并作出经济评价。

上述内容可根据具体的矿产资源评价要求有所取舍或补充，但最后需对资源预测结果进行地质验证。

2．3 矿产资源评价发展的基本特点和方向

2．3．1 矿产资源评价理论的基本特点[60]

1、矿产资源评价已发展到实用阶段。

自1976年在挪威的洛恩举行的国际地质对比计划98项首次会议[61]为起点，现在已对矿产资源评价的理论和方法进行了全面总结，并提出了六种资源评价的标准方法。

2、矿产资源评价向系统化和自动化发展。

为能对大区域的矿产资源进行迅速有效地评价，已建立许多矿产资源评价的自动化处理系统。如Harris[62]等依据成矿过程的地质作用、地质特征和地质现象等成因联系之间的依赖关系，建立了大型的推理网络以获取扩产潜力的估计值，并用于美国新墨西哥州圣胡安盆地铀矿资源潜力的自动估算。大型矿产资源评价的程序库和数据库也属此类，如美国的“勘探者”号以及“网状模型

数据库管理系统”等。通过这些大型的计算机处理系统，可实现资料及知识的高度自动综合。

3、资源概念、定义、分类的系统化。

为能正确合理表达资源评价结果和认识资源的真实意义，人们在近几年里对资源的定义、分级给予了极大的重视。1980 年，美国地调所提出“矿产资源”就是天然赋存于地壳内或地壳上的固体、液体及气体物质的富集物，从其形态及数量看，作为一种经济开采和提取的矿产品是目前可行的或潜在可行的，严格地区分了矿产储量和矿产资源这两个既有联系又有区别的概念。1982 年苏联颁发了“固体矿产储量和预测资源分类”方案；美国于 1980 年提出了矿产资源和储量的分类原则及方案；加拿大于 1975 年也制订了矿产资源分类法。为确切地定义矿产资源潜力的来源，Tayior 等人于 1983 年给出了“矿产资源潜力即是当前或不远的未来有价值的矿物出现可能性的一种度量”的定义。他们同时提出矿产资源潜力的分级：高级、中级及低级三级潜力。分级的依据主要决定一个地区内各种地质的、地球化学的、地球物探的及遥感的信息的有利性。

4、矿产资源的经济分析。

比较有代表性的是 Harris 的研究工作。如他建立的四元丰度模型，就考虑了资源勘探及开采的经济问题，将资源评价同经济计量有机地结合起来。

2．3．2 矿产资源评价发展的方向

1、矿产资源评价信息的综合化；

所谓综合信息指的是控制矿产元素在地质体中不同空间区域上的聚集程度和形式的各种地质、地球化学、地球物理及遥感信息的综合。综合信息的研究是地质找矿模型的核心内容，而地质找矿模型的核心任务是建立综合信息找矿模式[63]。近年来，国外在资源评价中也强调了资料的综合，如美国的阿拉斯加矿产资源评价计划（1990），对每个评价图幅都提供了地质图、航磁图、重力图、地球化学图、卫星影象解释图、矿产图及矿产资源评价成果图等。但是，应该指出此类资源评价尚属尝试，还没有明确指出建立综合信息找矿模式的必要性，而且利用综合信息应强调如下几个问题：

(1)提取综合信息不是简单的取数。大家知道，区域性的间接找矿信息有很大的多解性，如地球物理场，常常出现相同地质体可以有不同物理场，不同地质体也可能有相同或相似的物理场。只有在地质先验信息的配合下，才能正确认识地质体的地球物理场全貌，才能分辨出具有相同或相似地球物理场的不同或多种地质体成因背景，此即地质——地球物理法。如具稳定走向延长的重磁异常或梯度带、正、负(磁)或低(重力)的线性异常带、串珠状等轴正、负(磁)

或低(重力)的异常分布带等，而且与断裂有关的岩浆活动和变质作用在磁场中也可出现线性的磁异常带以及串珠状等轴异常的带状分布。可见，通过简单地取数达不到信息的有效提取目的。

对于地球化学场也存在类似的问题，如同一类重砂矿物组合异常可能是不同地质体中的产物，同一类水系沉积物中的元素组合异常也可能是不同源区原岩中的物质。利用自然重砂或分散流信息进行综合时，应结合已知矿床的人工重砂、组合分析、矿体与异常组合的空间关系及其它直接或间接的地质信息和物探信息识别出产生这些组合异常的地质背景和真正的矿致异常与非矿致异常[64]。据重砂矿物的组合特点、粒级粒数、矿物标型、矿物的稳定性及流域特征确定矿物迁移距离、空间分带及与成矿母岩的空间分布关系。此即地质——地球化学法。例如，福建西北部的铌、钽矿化带，同一类锡石——铌钽铁矿组合异常就存在前震旦系变质岩、中生代岩体以及伟晶岩脉三种不同的地质产出背景，而只有锡石标型为短双锥八面体的锡石——铌钽矿异常才是矿致异常，即来自成矿的伟晶岩脉。

概言之，进行综合信息的提取，应遵循定性－半定量－定量的分析原则。尽管各类资料都是以数或图的形式表达的，但我们开始的也是最关键的工作是真实数据的处理和信息定性的综合分析和推断[65]，为建立找矿模式、圈定预测靶区打下坚实的基础。

(2)提取综合信息的目的在于加深资源预测深度，实现立体预测。总的来讲，富矿、地表矿和易发现的矿的数量逐渐减少，找矿难度越来越大。今后除采用新技术勘查接近地表的隐伏矿床外，发现深部的隐伏矿床或盲矿将是未来资源补给的主要希望所在[66]。有人统计，建国以来，我国经详查和勘探投入生产的450 个左右的矿山中，没有一个矿山没有遗漏矿体的；也没有一个矿山不在它的内部及其外围探获新的矿体和矿床的。由此可见，多数新矿山和少数老矿山还存在矿床储量潜力。无论想解决已知矿带、矿田的隐伏矿床的预测还是要对覆盖地区的深部矿产情况做出估计，都要加深预测程度，提取反映深部的综合信息，从而实现立体预测。

根据国内外 139 个金属矿床的统计[67]，多在重新进行详细地质填图，在综合研究地质、物化探资料的基础上进行地质类比，确定靶区是相对最有成效的。加深资源预测的深度，借助于获得深部地球化学场和地球物理场的异常信息，承认在相似的地质条件下可能发生相似的矿化作用，建立从已知到未知，从直接到间接和从浅部到深部的普遍联系，区别致矿异常和非致矿异常，确定靶区。当然，并非在所有圈定的靶区中都应有矿床的实际产出。据有关资料统计，如果在圈定的 100 个靶区中，能有两处见矿，那么这个预测就算是成功的。发现

隐伏矿床是资料高度综合在时间上和空间上一系列正确估计的结果。而基于类比原则产生的认识必然带有很大的冒险性。如成矿构造体系并不意味着全部含矿、控矿断裂的露头评价仍存在是否赋存工业矿体问题，可见有利综合信息的认识并不是发现隐伏矿床的重要条件。从根本上说，还缺乏有效的寻找隐伏矿床的理论和方法。有待于对成矿规律的进一步认识。

(3)区分和识别确定性和统计性标志是提取综合信息的关键。确定性标志是指在现有资料水平下，确定矿床、矿田或矿带最可能存在的地质前提、地球化学前提和遥感影象前提之间的关系，若在区域中缺乏这些前提，则矿床、矿田或矿带将被认为是不存在的。它们的提取是各种类型信息的综合编图具体实现的；它们的属性是通过由大到小地确定矿带、矿田及矿床各级单元的定义域具体表征的；它们的意义是通过区分有效预测单元和无效预测单元具体体现的。进一步的资源定量预测只是在有效单元中进行，无效单元将被剔除。可见，确定性标志是单元划分、筛选和确定模型区、预测区的基本准则。

统计性标志是影响或控制矿体资源量变化的地质、物探、化探及遥感等信息。统计性标志的提取是通过已知矿体、矿床、矿田的横向对比，建立各种标志的关联性，据关联性大小提取的。显然，通过综合分析得到的成矿规律和控矿标志不一定只是某种信息的单独反映，可以是多种信息对资源大小控制作用的综合反映。

2、遵循区域成矿规律建立大区域资源评价模型；

与按行政区域建立的预测模型相比较，大区模型可保证资源预测精度的和资源表达形式的一致性：

（1）大地构造是控制地壳中矿化分布的基本因素；不同的大地构造单元具有不同的地质发展史以及不同的岩浆活动、构造作用等因素，产生不同的矿化特征和成矿作用，形成不同的矿产资源组合。把大地构造单元的一致性或相似性做为建立资源评价的区域准则之一显然是合理的，而按照行政区域建立模型势必破坏矿产资源产出地质环境的整体性，违背区域地质发展规律。

（2）地球化学控制；化学元素在地壳各部分的分布是不均匀的，有些地区富含某些元素，而贫于另一些元素，这就构成了地壳中一种或多种元素丰度出现异常的岩石岩序组合存在于地壳的某一地段——地球化学省。若在省内存在该元素或元素组合的一定数量矿床，称之为成矿省。显然，成矿省内，成矿元素(组)的分布及其在发生迁移、聚集的成矿作用中呈现一定的相似性。因而按成矿省而不是按行政省建立矿种(组)的资源评价模型将更符合区域元素地球化学演化规律。

（3）建立非总合式资源评价模型需要有一定数量的已知样品(矿床)；矿产

资源评价模型是统计性模型，具有不确定性，其程度大小是和已知样品数量的多少息息相关的，样品数越多，模型稳定性越好，如果样品数少到一定程度时，任何模型都将失去实际意义。我国某些矿种虽分布较普遍，但很不均匀，就单个省都很难建立起较可靠的资源评价模型。但某些省按大地构造一致性原则结合起来则可达到目的。如金矿床，除个别省外，都有金矿产出，但在各省内建立模型是困难的，若按华北地台作为研究区，建立模型就切实可行了。

（4）多维预测模型的建立；成矿学未来发展的总体目标是发展地壳上部数公里的三维预测模型,并通过这一模型把各种地质、地球物理、地球化学和遥感信息有机结合起来,实现隐伏矿床的找矿突破。四维预测模型则是在三维的基础上加进了时间维,即将预测模型变为动态的三维模型,这对于成矿预测甚至整个成矿学科都将有重大意义。当然,三维和四维预测模型的建立还依赖于GIS 自身在三维和四维技术上的发展。

（5）大区模型可增强矿床的“最佳”类型和新类型的可比性；总体而言，资源潜力来源包括：在有希望地区继续寻找已知的矿床类型；在新区寻找已知的矿床类型；在各地寻找新类型矿床以及重新评价认为没有价值的矿产地。尽管在一个成矿省区内可能存在某矿种的多种成因类型矿床组合，但是矿产勘查的长期实践表明，对于特定矿种而言，储量增长往往主要靠某种或某几种类型的大矿床的发现。这些“最佳”类型可能只产出在同一成矿省的某个(些)行政区——矿集区。而另一些行政区只存在该矿种的其它次要矿床类型。这样，我们可以通过成矿省大区模型进行各区对比，就有可能在只产有次要类型的行政区发现“最佳”矿床类型的潜在性。对于新类型矿床也是类似的，同样可通过大区模拟发现在一些区内存在，但在另一些区内缺少的新矿床类型。如建立华北地台金矿预测模型就可对在山东产出的玲珑、焦家金矿床类型在其它地区存在的可能性做出估计。

（6）基于 GIS 的矿产资源评价预测专用系统的开发；由于 GIS 是一个通用的多学科工具,市场上的GIS 软件不能完全适应矿产资源领域的具体要求。因此,在 GIS 的基础上,集成矿产资源评价所需的专用方法和工具,开发面向矿产资源预测的专用系统是十分必要的。目前,我国在这方面已经取得了一些成果,如中国地质大学(武汉) 数学地质遥感地质研究所开发的“金属矿产资源评价分析”(MORPAS)中国地质科学院研制的“矿产资源评价系统”(MRAS)等。地理信息系统支撑下的综合信息成矿预测在成矿信息的提取、成矿信息的定量综合分析、预测过程及预测结果的可视化等方面均具有许多常规地质方法不可比拟的优点，不但可以极大地提高工作效率，而且在建立研究区空间数据库的基础上进行动态、定量预测，促进成矿预测工作的现代化，是今后成矿预测的一个重要发展方向。可以预言，地理信息系统在成矿预测中的深入应用，必将传统的成矿预测工作带入

到一个崭新阶段。

3、改造和完善矿产资源评价的理论，提高矿产资源评价成果的实用价值。

要想使得资源评价具有强大的生命力，必须使资源评价成果有效地指导矿床普查勘探工作。而矿产资源评价是一项资料、方法和人员等高度综合的研究工作，尤其关键的是资料的高度综合。这就需要有一批专业人员细致地分析各种地质、地球物理及遥感的综合信息，建立起综合信息的找矿模式。随着矿产普查工作的深入开展，找矿难度日益增加。对于盲矿床和隐伏矿床的找寻已成为摆在矿产资源评价面前的最主要任务之一。我们为了提高矿产资源预测的可靠性，须重新研究和不断改进目前资源评价理论体系各个环节的实施途径和具体做法。如单元划分、资料综合、变量提取、变量赋值、方法选择、模型简化、成果表达以及预测精度分析等。同时还要注意各环节之间的有机联系，据不同的目的分清各环节的主次顺序，严格地定义各类有关资源评价的概念和原则，使得资源评价建立在严密的体系之中。

2．4 综合信息矿产资源预测的步骤

目前，GIS 支持下的成矿预测方法具体有多种，如证据权重法[68]、联想求异法[69]等。现就 GIS 支持下的成矿预测的一般操作过程作以下简述：

2．4．1 综合资料搜集

在成矿预测中，这是一个普遍的阶段，也是一个必备的阶段[70]。它包括文字资料、图件资料、遥感资料、物化探资料、数字资料以及野外第一手资料的获取。它是开展下一步的成矿预测工作的前提和基础。

2．4．2 工作区初步研究及综合信息找矿模式的建立

综合信息找矿模型是矿产资源预测的地质理论基础。矿产统计单元的划分，控矿变量的进一步选择，定量预测模型的建立，简化模型建立以及预测结果的最终评价，都要在它的指导下进行。在较充分地收集了矿床有关资料的基础上，重点分析研究程度高的矿床、矿田的控矿因素，找矿标志以及合理的找矿方法，对同一类型矿床和矿田的地质、物探及重砂等信息进行对比分析和必要的统计。这部分内容一般是具体实例在成矿预测时所需要介绍的背景材料，其主要内容是：① 地质概况：研究区地层的出露情况，及简要指明地层与成矿的关系；研究区的构造情况，及构造控矿的大体规律；研究区的岩浆岩情况，以及矿点与岩浆岩分布的关系等；② 地球物理概况：介绍重力、磁法、电法、地震、放射性测量

等异常，并指明主要与成矿有关的异常类别；③ 地球化学特征：将收集到的元素异常加以简要分析，并注意元素之间是否关系密切。例如要对某地铜矿进行预测，就要着重分析铜元素的地球化学异常，并比较它与其他元素，如银、钴等的地球化学异常，看银、钴异常与铜矿关系是否密切[71]。

成矿模式的研究与建立是在工作程度比较高的地区和典型矿床上进行的。模式中包括了大量的直接控矿标志和一部分间接找矿信息。我们应该采用统计对比的方法，重点要放在分析决定矿床形成和分布规律的地质现象，加以归纳、提炼，并从本区成矿特点出发，去建立客观的成矿模式。并应注意具体矿床的构造分析和建造分析，注意一定地质建造所可能产生的一定矿床系列，同时还应找出矿床成矿期和主矿化阶段以及相应的地质、物化探标志特点，在研究程度较低的地区，这些直接控矿标志常常不能测取到。为了有效地预测地表下面的盲矿藏，就必须将直接找矿标志与间接找矿标志有机地关联起来，用间接的物探、化探、重砂等综合信息去圈定靶区，预测矿产。为此，应该在成矿模式基础上，进一步研究有关的物探，化探、重砂、遥感多种资料，提取有用的找矿信息，从找矿角度建立能够用于矿产预测的物化探间接找矿信息丰富的预测模型。这对于决定一类矿床综合信息特征往往起主导作用。

2．4．3 数据准备及数据库建立

对已收集的文字、图件、遥感、物化探、数字以及野外第一手资料等数据进行处理过程中，先确定数据库结构，划分不同图层，然后建立数据库，将数据分类输入数据库中[72]。描述性数据可通过键盘直接输入，图形数据则可用数字化仪，将线、点等逐点数字化，或者通过扫描仪将全图输入计算机后进行数字化。各类数据可通过数据转化软件将相应数据转化成可使用形式，以满足空间检索与分析要求。

成矿信息是指示和识别某种矿床成矿条件和赋存方式的地质信息总和，包括描述性、事实性成矿信息和通过深加工获取的加工性数据。随着找矿技术的发展，成矿信息的来源和种类也越来越多。目前 GIS 处理的主要成矿信息有遥感信息、地质信息、物探信息和化探信息

1、地质数据

地质数据主要采用区调报告、矿产分布图、以及相应的矿产储量和矿产质量等方面的内容。在 MAPGIS 平台上，其地质数据分 3 个文件录入：① 点文件，主要为矿点资料。其属性有矿床规模及规模代码。矿种的录入视预测针对情况而定；② 线文件，可分为岩层分界线文件和构造线文件两类。其中岩层界线文件又可分为一般岩层界线和不整合岩层界线两个分文件。构造线文件主要录入断层

线，它也分了几个图层：实测断层，推测断层等构造线文件等；③ 区文件，主要是地层和岩浆岩分布区。区文件是在线文件的基础上，经过造区，充填，赋予属性之后得到的。每个区的属性主要有：岩性、代号、形成时代、其他属性视需要而定[73,74]。对于主要考虑的地层，应作较为详细的划分。

2、物探数据

理论上来说，要对物探的重力、磁法、电法、地震、放射性测量等信息都予录入，但在实际的操作过程中，往往只对与成矿密切相关的信息给予录入。另外，也有资料不全，无法对其他信息录入的情况。物探数据也可分为两类，线文件和区文件。线文件主要是等值线图，其属性主要为所代表的异常值；区文件一般由等值线造区，并赋予异常值而得到。

3、化探数据

主要为元素化探异常数据，均采自相应的化探异常图。一般由元素等值线文件及由等值线包围的区文件组成，其属性主要为该元素的异常值。

GIS 对数据的管理采取分层方式，地质上每一类特征的数据都可以组成一个图层[75]。在找矿预测中，根据对象可以选择有效的数据源组成多个图层，如地理地质、物探化探、遥感信息等数据层，在对它们预处理并数字化输入后，再进行修正与编辑，从而建立数据库。

2．4．4 地质统计单元的划分和地质变量的选取、赋值

地球化学成矿信息的单元划分主要是从区域地球化学场角度出发，研究区域地球化学元素的物质结构与空间结构性特征。它主要涉及到区域化探异常的圈定与识别，而因子分析法、判别分析法、聚类分析法等传统的数学地质方法在这方面一直发挥着重要的作用。这些方法能够有效地研究元素的相关关系，找出与成矿作用相关的地球化学元素组合。

目前，在固体矿产找寻方面，重力、磁法及放射性测量的物探信息相对应用较多，地球物理勘查主要是以地质体的物理性质差异为直接观测对象，并通过观测地球物理场的变化，来进行地质解释，因此，物探方法是一种间接的找矿方法，其成矿信息的提取和单元划分，主要侧重于发挥物探深源性的探测优势，以及对深部构造的认识。

数据信息的多元化导致了地质变量的多样化，而地质变量是随时间、空间的变化而变化的地质现象或地质特征的量化标志[76]，它是构成资源特征与地质找矿标志之间的统计关系的基本元素。为了有效的提取成矿预测信息，有必要对诸多变量进行筛选，减少变量个数，突出与成矿密切相关的变量，得到最优变量组合。其途径可以通过控矿因素分析得到一部分；还可通过变量的空间关系定量化，

对变量进行筛选。

目前进行定量化的方法有相关系数法、证据权法、找矿信息量法[77]和模糊逻辑法等。通过诸如此类的定量化计算方法，可以计算出诸多地质变量的权系数或信息量，然后对它们进行排序，选取恰当的临界值，提取有效的地质变量，作为下步成矿预测的地质变量。

2．4．5 矿产预测定量模型的建立

综合信息定量模型主要由两类控矿条件所组成：一是决定矿产存在的必要的地质、地球物理和地球化学前提标志。它们是在同种矿床中普遍存在的取值十分相似的控矿变量，是划分地质统计单元和圈定找矿靶区的依据，决定此类矿床能否存在的标志；另一类是在不同储量规模矿床中，出现的概率不同、取值特点也不同的控矿变量。它们是影响矿产储量规模变化，控制矿产富集规律的地质、地球物理和地球化学前提标志，它们反映了影响矿床规模大小的统计性控制条件，是区别大小矿床的主要标志。也是定量预测矿产储量进一步提取变量的依据。在建立综合信息找矿模型过程中，必须将两者鲜明地区别开。

在对矿床地质模型、找矿标志与准则和找矿手段的认识基础上，就可以确定最佳找矿组合，从而也就建立了具有明确对象的成矿预测模型。

2．4．6 空间分析

进行空间检索与分析的意义是赋空间以地质含义。其中，空间检索和查询主要着眼于数据的空间条件，是把满足给定条件的数据查找出来的过程，可分为属性数据查询和几何数据查询；空间分析的目的在于从已有的空间信息中生成新的具有附加价值的空间信息，或使空间信息间存在的空间结构得以表示。它是一种将两层地图要素叠加产生一个新的要素的分析方法，其结果是原来的要素被分割、剪断、套合，然后生成新的要素，新要素综合了原来两层要素所具有的属性。在 GIS 中，该模块提供了空间拓扑叠加分析、缓冲区分析及多层立体叠置分析以及特征提取与分析等功能。

2．4．7 简化模型与矿产资源定量评价成果表达

在进行了上述操作后，接下来就是叠加形成初期的成矿预测图。GIS 数据的存储和再现是分开的，所以能对数据进行满足要求的操作处理与再成图。正是由于这一特点，可以根据修改思路重新进行上述有关步骤，对结果进行修正与简化。

对成矿预测图确证无误，并能进行合理的地质解释后，就要对成矿预测成果

进行输出。GIS 可以输出一般的地图，也可以自动绘制等值线图、三维显示图，有的还可以进行趋势面分析、剖面显示等。对于已经成图的预测成果，应加以适当的地质解释，以便地质人员对其 GIS 预测图件有个明确的理解，便于正确的指导以后的工作。

随着找矿难度的加大，目前要取得地质找矿的进展，必须在两个方面有所突破：一是研究并掌握成矿条件、成矿规律；另外就是运用新的找矿技术手段来获得新的、更多的、精确的数据，提取矿化信息。GIS 工具的应用，可以起到管理资料，利用资料进行综合分析，提取成矿信息的作用，为新时期的成矿预测提供了又一条有效的途径。这一年多来，笔者所做的工作正是集中在前期的数据处理和属性库、数据库的建立，并取得了初步成果，将在第三章详细阐述。

第三章　数据库系统设计及数字化初步成果

本次研究是在 MAPGIS 平台上实现地物化遥多源信息的入库建设和进一步数据融合，并在试验区进行异常叠加分析，为地区快速勘查做出有充分科学根据的预测与判断，为地勘部门的宏观决策提供依据。同时综合信息库实现计算机管理，逐步改革传统的管理方式，为工作区今后的地质矿产工作经济开发提供快捷、有效的信息服务。

3．1 系统设计目标与总体结构

项目设计目标有三部分：

1、以 MAPGIS 为平台，构建集数据获取、管理、查询、处理、分析、建模和制图于一体的矿产资源快速综合评价的数据库，实现根据需求快速产生科研生产基础图件及专题图件、快速评价区带矿产资源潜力、优选找矿目标等多功能操作。

2、为各级决策部门及授权单位与个人提供空间及其属性数据的空间定位可视化显示、图文互查、动态更新、空间统计、综合分析和快速专题制图等便捷的高层次信息服务和决策参考的科学依据。

3、以东天山区域矿产为目标，以本项目建设的多源地学信息综合处理为手段，充分挖掘地区已有的地物化遥等资料中蕴含的示矿信息，提取各类矿床的示矿信息和控矿要素。进一步查明该区铜金等贵金属、有色金属的找矿潜力，优选找矿靶区。

项目总体结构分为系统数据入库、地学信息分析（查询、分析、综合）、建模和预测四部分，见图 3.1。

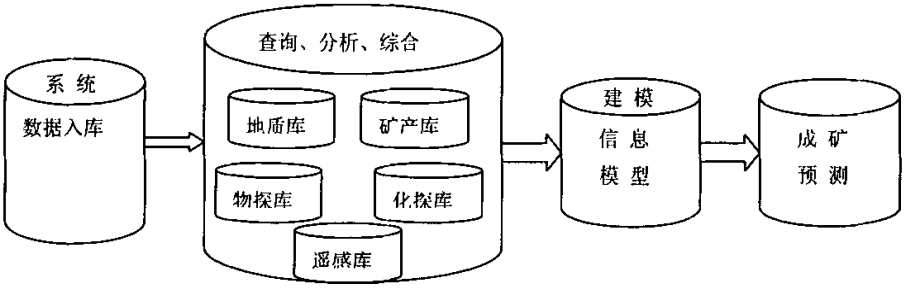


图 3.1　系统设计思路结构图

入库数据的主要内容包括：

(1) 1:200，000区域化探数据(仅限于丁汝福305项目3年计划内获取的数据)；

(2) 贵重金属和有色金属矿床点数据(尽可能全面收集各部门已有的公开资料)；

(3) 国家305项目科技攻关成果索引数据；

(4) 若干幅1:200，000地质图数据(以已公开出版的最新地质图为准)；

(5) 区域物探和遥感成果数据(不包括原始数据)。

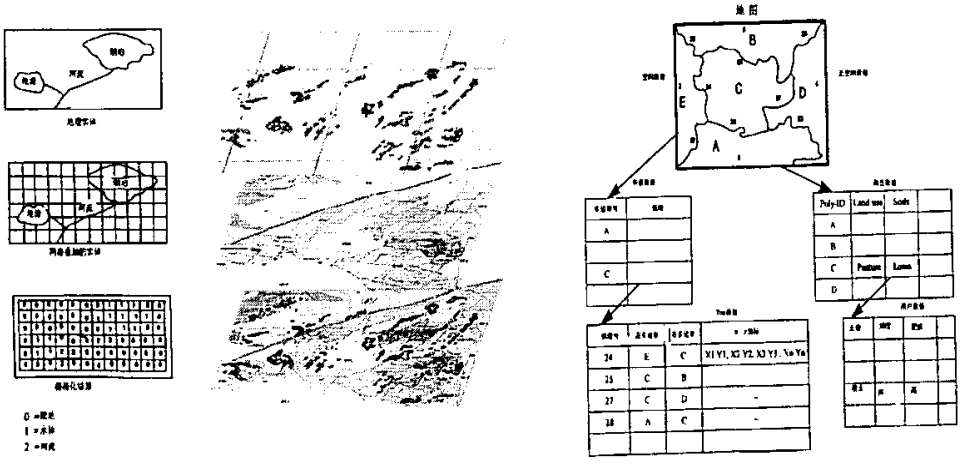
3．2 空间数据库和属性数据库的设计及系统标准

3．2．1 数据类型

地学信息成矿评价系统的优劣，数据库是基础。而从地理信息角度来看，地理数据可分为两类，即空间数据与非空间描述性数据。

1、空间数据

空间数据按其结构分为两类，一类是空间珊格数据。这种数据模型结构简单，所有数据通过一定的网格单元表达，可使不同空间信息迭置，分析速度快，使用方便。但这种数据模型对图像数据库的修改更新能力差，占用空间大，而且数据精度依赖网格大小，多层叠加显示能力差；另一类是空间矢量数据。矢量数据结构是通过抽象的点、线、面的地学关系数据模型表达空间地理实体。该数据结构表达空间地学信息精度高，储贮量小，数据容易更新，多层叠加、分析功能强（如图 3.2）。



栅格数据结构　　矢量数据结构

图 3.2 空间数据类型

在GIS系统中，空间矢量数据通常是用X，Y坐标来描述的，根据描述实体几何特征，空间矢量数据可分为3类：

点：点数据是通过一对坐标来表达空间的几何实体，通常所说的矿床（点）、城市居民地等都是点空间图形数据的代表。

线：线数据用来表达具有一定长度而没有面积的实体，用一系列坐标对来表达，典型的线体如铁路、水系、断裂等。

面：面数据是有一系列相关的线围成的区域，典型特征是具有面积和周长，通常所说的地层、岩浆岩都是面空间图形数据的代表。

2、非空间描述性数据

与空间数据相对，非空间描述性数据（属性数据）是用来说明空间点、线、面实体是什么，具有哪些特性、属性。属性数据库为各图层的说明及属性表，每个图层均有不同的属性表，有的图层还有几个不同的属性表。如表3－1，3—2：

表3－1 矿点数据的属性数据表

编号	矿种	产地	东经	北纬	矿床规模	勘查程度	成因类型	备注
1	铜	小热泉子	842400	422030	中型	详细	热液成因	
2	铜	康古尔塔格东	913641	421600	矿点	普查	热液成因	
3	铜	大南湖西南	925600	422500	矿点	检查	裂隙充填，热液成因	
4	铜	二堡南	930140	423740	矿点	检查	热液成因	
5	锰	大南湖南西	930429	423310	矿点	检查	火山沉积型	
6	铜钼	赤湖	930146	420957	小型	普查	斑岩型	
7	铜	土墩	940648	421216	矿点	检查	热液成因	
8	铜	土墩	941000	421315	小型	详查	岩浆熔离	
9	铜钼	烟墩东南	940920	421605	矿点	普查	石英脉型	
10	铜	小堡	944800	423430	矿点	详细	斑岩型	
11	金	金山2号	943309	421822	矿点	普查	热液成因	

表 3-2 断层图层属性文件

序号	数据项名	数据项代码	数据类型及长度	单位
1	图元编号	CHFCAC	N6	
2	断层类型和性质	GZEE	C3	
3	断层(带)名称	GZEAB	C20	
4	图例代码	QDYGJ	C5	

3．2．2 图层结构设计

GIS 矿产资源评价空间数据库可以通过图层来方便有序地进行管理。图 3.3 是 GIS 矿产资源评价地质、地球物理、地球化学、遥感空间数据库的概念模型[78]。它是采用层状树形结构来管理图层，图层是代表着具有相同特征的地理实体在一定空间范围的集合，由点、线、面图元构成的有机联系的图形。它的几何特性是用网络拓扑结构表达；而图元实体的属性是采用关系数据库表达，它们之间的联系，采用图元用户标识号这一关键技术来实现。

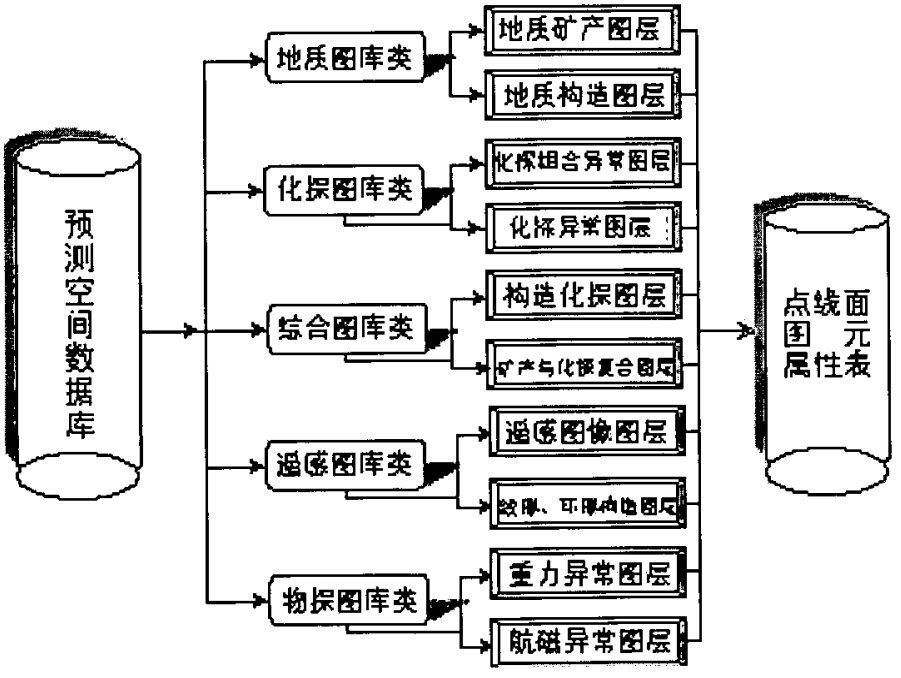


图 3.3　数据库概念模式图

根据项目所要解决的问题，对各类地学信息进行分析，确定各个层次数据库的图层。

第一层次：　1:500 万层次图层

图类名称：1:500 万构造纲要图

图层划分：1、中国板块构造分区(LD△△△01)

2、中国板块构造略图(LD△△△02)

3、中国板块构造编号(LD△△△03)

4、东天山范围（LX△△△04）

第二层次：1:20 万层次图层。包括：地理底图，地质图，火山岩建造图，构造纲要图，矿产图等。

图类名称：1:20 万矿产地质图等

图层划分：

地理信息图层

1、基本信息图层(LX△△△01)123

2、水系图层(LX△△△02)

3、交通图层（LX△△△03）

地质信息图层

1、地层图层(DX△△△01)(以 1:20 万矿产地质图地层划分为依据)

2、岩图层（DX△△△02）

3、裂图层（DX△△△03）

4、力布格异常图层（DX△△△03）

5、磁异常图层（DX△△△04）

6、遥感解译图层（DX△△△05）

7、矿产图层（DX△△△06）

8、区域化探异常图层（HX△△△07－14）(包括 Au、Cu、Pb、Zn、As、Ba、Sb)

9、工作部署图层（DX△△△15）

第三层次：工作区大比例尺图层。包括：1：5 万地形图，交通图，地质图，矿产图，矿床点分布图（突出新发现的矿床），勘查登记区块分布图。

图类名称：1:5 万矿产地质图

图层划分

地理信息图层

1、信息图层(LX△△△01)

2、水系图层(LX△△△02)

3、交通图层(LX△△△03)

4、居民地图层(LX△△△04)

地质要素

1、地层图层(DX△△△01)注：按比例1:5万地质图的标准划分到地层

2、岩浆岩图层（DX△△△02）

3、断层图层（DX△△△03）

4、矿产图层（DX△△△04）

3．2．3 系统标准

GIS最大的优点之一是可以进行信息共享，因此信息的标准化、规范化是信息系统设计的基础，是确定系统兼容、数据共享、提高信息系统交流和应用效率的前提。本次研究多源地学信息库建设遵循国土资源部制定的行业信息标准，以国标、行标为基础系统标准。具体标准见附录1。

3．3 初步成果

3．3．1 入库数据

在专家指导下，通过一年多的努力，已经入库的数据有：

（1）东天山地区1:200000数字地质图18幅，每幅分为12个左右的地理和地质图层：水系、交通、居民、境界图界、地层、构造、岩浆岩及矿产等；

（2）Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Sb、Ni、Mn、MO、W等矿点记录287个，每个记录包括产地、经纬度、矿种、成因类型、规模、勘查程度六个数据项，收集的地理范围覆盖东天山地区；

（3）布格重力异常图17幅,剩余重力异常图17幅,航磁异常图13幅；

（4）化探异常图7幅；

（5）遥感数据覆盖全区。

其中已经具备完整的地物化遥数据的是秋格明塔什（K46-13），康古尔塔克（K46-14），克布阿克奇山（K46-19）和卡瓦布拉克（K46-20）四幅图(详见附录2)。本次工作试验区卡拉塔格位于康古尔塔克（K46-14）的东北部。

3．3．2 图件的数字化流程

根据工作实践,总结出一套图件数字化的工作流程(见图3.4),并围绕这些数据,从勘查方法、资料来源、收集范围、整理录入等方面作出评述。同时对每一步的工作内容、工作方法、精度要求和注意事项都作了详细的说明，其内容包

括如下四个方面：

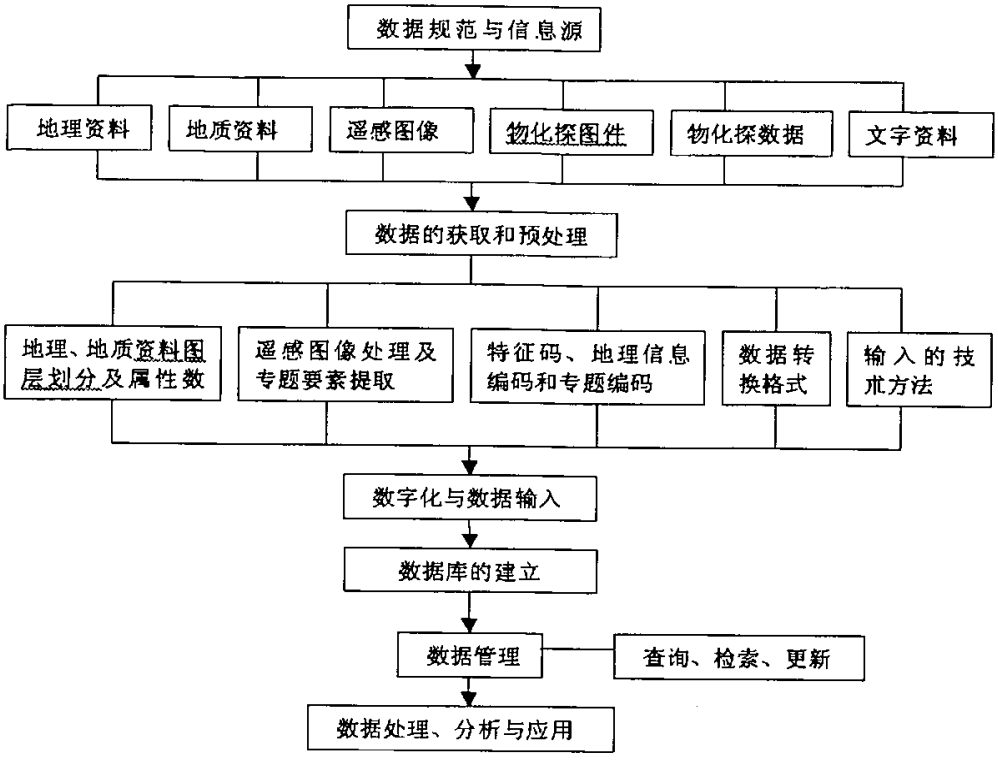


图 3.4　空间数据库建库流程图

1、硬件配置评述

根据本专题的经费、规模、及对数据的质量要求，结合已经进行的工作，对如何合理配置数字化所用的软硬件提出以下看法：

（1）主机最低配置：CPU 为 PIII；内存 128MB；硬盘 20G；显存 4MB；光驱；显示器最好大一些，例如 17 英寸。

（2）数字化仪

图件数字化通常有两种方式，一种是使用数字化仪，直接将图件矢量化；另一种是使用扫描仪将图件转换为数字图象，然后再矢量化。使用数字化仪主要缺陷有：

①较大的随机误差。由于操作者主观因素的差异(如手的颤抖，纸张的轻微移位)和图纸质量残旧破损等客观因素的不同，用数字化仪会产生各种各样的随机误差。这些误差不易发现，又无法校正。如想克服这些误差唯一的方法是加强操作者的责任心利和提高他们使用数字化仪的技能。

②工作强度大。用数字化仪比用扫描仪的劳动强度要大，工作效率要低。在数字化完一个图元之前一般不能暂停工作。在未数字化完一张图件之前，也不宜另换图件。

③只能用于线条简单的图件，效率低。

这种数字化方式的唯一好处是，如果生产规模很小，那么一次性设备资金投入较少。

（3）扫描仪

使用扫描仪有以下优点：

①误差相对小。使用工程扫描仪先将图件转换成数字图象，然后在屏幕上进行矢量化，这种方式一般只有系统误差，虽然使用手动方式进行屏幕矢量化也会产生一些随机误差，但是，比使用数字化仪要好的多，且容易发现和校正。系统误差一般都可以通过 GIS 软件提供的误差校正手段加以克服，通常都能达到较满意的效果。

②工作强度低，效率高。扫描一张图纸一般只需要几分钟时间，操作员的操作比较轻松，工作过程随时可以中断，工作效率也高得多。

缺点是一次性设备投入资金较大，彩色工程扫描仪多为十万元左右。而且在屏幕上用 GIS 软件进行矢量化，需要购置软件和安排熟悉软件操作的人员。

（4）存储设备

中间性数据保存在硬盘上即可，阶段性数据保存在一次性可写光盘上是一种既安全又经济的方式。唯一的缺点是，目前市面上的光刻设备使用寿命都偏短。光刻机几乎是所有计算机外部设备中寿命最短的设备，平均使用寿命不超过一年。还可以使用移动硬盘保存，但费用高且需要数据备份，以免硬盘损坏数据丢失。

2、软件配置评述

（1）操作系统

数字化过程所使用的操作系统都是 Windows 98/2000 操作系统，这主要由国家项目综合信息平台所决定，同时也取决于矢量化和图形编辑软件本身，目前绝大部分矢量化图形编辑软件都运行在 windows 操作系统之下。

（2）矢量化软件

我们使用的矢量化软件是 MAPGIS。它是一个功能齐全的 GIS 软件，矢量化只是其功能之一，虽然生成的矢量文件从总体效果上看不如 VPMAX，但其生成的矢量文件点的密度可以调整，矢量化等值线、地质界线之类图件效果较好，因此我们选用它。但是在国际上并不通用，需要做软件格式之间的无省转换。

就目前总体情况来看，全自动矢量化只适用于简单而且质量非常好的图件，

对大多数操作员，经常面对的是质量并不好或者线条符号复杂的图件，必须使用半自动和手动矢量化。全自动矢量化方式使用频率极少。

（3）图形编辑软件

目前可用做图形编辑的软件非常多，如 Arc / Info、MAPGIS、AutoCAD、MapInfo 等。我们主要比较了 MAPGIS 和 Arc / Info 两种软件，现就这两种软件的使用情况分别叙述如下：

MPGIS 是国产 GIS 软件的主流，在国家科委组织的国产 GIS 软件评比中近续几年获得第一名。可以说它在图形编辑功能方面在世界上都是一流的。它功能齐全、易学易用，在标准图框的生成、投影转换、误差校正方面部完全能满足地学图形数据的要求，与国际上主流 GIS 软件都有数据交换接口。正是由于以上特点，工作中主要采用了 MAPGIS。当然 MAPGIS 软件也有自己的缺点，如在生成多边形地理数据文件时，首先要建立多边形之间的拓扑关系，而 MAPGIS 在空间分析和检查和排除拓扑上的错误方面机制还不够健全。

Arc / Info 是世界一流的 GIS 软件，它的 PC 版，尽管比它的 NT 版、工作站版在功能上有较大差距，但功能也是很强的。它在检查和排除拓扑上的错误方面的功能比 MAPGIS 就要强得多。但由于 PCArc / Info 只支持数字化仪矢量化工作，而不支持屏幕矢量化工作（新版本有改进），因此不能作为图形编辑阶段的主流软件。只外，尽管他有一个集成环境，但这个集成环境并不包含它的所有命令，因此我感到这个软件的使用门坎过高，不易掌握。

我们在编辑图形时，混合以 MAPGIS 利 Arc / Info，经验证明，这是一种很有效的组合，既提高了工作效率，又保证了数据的质量。这种组合现在几乎成了地学图件制作的主流，全国各单位都在使用。

3、精度控制问题

无论是何种介质的地图，都是地球上各种空间要素的某种表示方式，都是人们认识这些要素本身和它们之间在空间上相互关系的工具。由于使用的目的不同，对地图的精度要求也不同。一旦精度低于使用要求时，也就失去使用的价值。因此处数字化过程中必须进行误差控制。要控制误差先要分析其种类及来源：

系统误差，产生原因有图件的变形，扫描仪、数字化仪的机械误差；

随机误差，主要是由于操作员的操作失误而产生的误差。随机误差一旦产生就无法消除。唯一可行的方法是加强操作员的责任心，加强管理员的检查力度，尽量当日工作当天检查，减小随机误差。

系统误差可以用误差校正的方法加以解决，通常的校正方法是：将一些控制点在数字化时所得到的坐标值与理论上的坐标值进行拟合，并将结果用于各

点。这其中要注意的问题有：

（1）每标准图幅(40×40 厘米左右)的控制点应达到 9 个以上；

（2）在图面上控制点的分布应尽可能均匀；

（3）正确选择控制点坐标的理论值；

控制点坐标的理论值取决于图件所使用的地图投影参考系统。投影转换有时也会影响图件的精度，当把地理坐标转换为高斯克吕格投影坐标时，对一条直线会随其上的点数多少及点的位置不同投影成不同的曲线，因此要格外小心，当图框上的点数不一样及所在位置不一样时不要做这样的转换，否则出现图框不重叠的现象。

4、工作流程及注意事项

（1）审查图件

该阶段应由地质与计算机图形工作作者共同完成。应完成的主要工作有：查明图件的比例尺、坐标系统、投影参数；明确图件与其它相关图件之间在时间、内容、作者、演变等方面的关系；明确图件的使用价值及其各图元在实际工作中所起的作用；明确各图件中哪些图元需要描述性信息，信息的内容和结构；如果是电子图件，明确原件的文件格式以及将其转换成最终结果的转换途径；查明图件是否有足够的控制点；如果有图件缺少比例尺、坐标系统、投影参数二者之一或图件缺少足够的控制点，不宜选用。

（2）填写属性表

填写属性表的任务主要是把一些散落在各种资料中的数据集中起来，并将之标准化。在此过程中应注意填写的内容要与数据库所使用的规范一致以及填写连接属性与图元的关键字；还要注意属性的标准化。

（3）清绘图件

绘制过程中注意：控制点的绘制；画线不需区分各种线型，仅用实线条即可；相互有公共边的图元，即使类型不同也不要分层清绘。

（4）矢量化质量要求

在位图(数字图象)中，每条线都具有一定的宽度，应沿这些线的中线矢量化，偏差不得大于 0．5 毫米；在线条较平滑时每厘米不少与 3 个点，在线条极度弯曲时每毫米不少于 1 个点。

（5）图形编辑注意事项

注意核对图元的数目。各种 GIS 软件都能自动显示图元的数目，要将此数目与图件中同类图元的数目作对比，两者必须一致，如果不相同，必须查明原因；某一条线的终点如果刚好落在另一条线上，必须以捕捉的方式完成该终点；点、线的误差都应不超过 0．2 毫米；凡注明有方向的线条都必须有正确的方向；凡

公共图元都只能数字化一次，不能重复数字化，如其它图层要使用这些图元，必须进行拷贝，而且是在完成编辑之后拷贝，如果一图元被拷贝到其它图层之后又对它作了编辑，必须对它重新拷贝。

（6）几何校正与投影转换

几何校正的目的是通过对编辑后的矢量文件作校正，使其具有原来的理论精度。作几何校正时可以有以下要求：

控制点的理论坐标值必须与图件的各项投影参数一致，如果不一致必须先对其进行投影变换；

控制点的实际坐标值必须使用捕捉的方式采集；

校正工作必须在作投影变换之前进行；

控制点的数目必须要达到每个标准图幅(40×40 厘米左右)不少于 9 个；

校正时如果发现平均平方误差或个别点的误差过大，必须查找原图；

同一位图按不同图层矢量化时，各个矢量文件须用同一校正文件进行校正；经不同途径校正的矢量文件要能够完全地套合。

投影轮换的目的是，改变已经过校正的矢量图的现有坐标系统到一个新的目的投影坐标系统。投影转换的质量要求要正确选择各项投影参数并且能与其它相关的矢量图准确套合。

（7）地图的拼接

在完成了几何校正和投影转换后可以对在地理上相邻的矢量图进行拼接。一般的 GIS 软件都提供这种拼接功能，为避免错误，应进行手动方式拼接。这需要操作者自己判别哪些线需要连接，哪些线不需要连接，不同的图件在交界处可能标注地层的符号颜色不同，必须以手动方式完成拼接。这种方式显然效率低，但较自动拼接准确，能达到满意的效果。最后达到的质量要求是：将图放大到任何比例尺都看不出拼接的痕迹。

（8）建立属性

这一阶段要完成的工作是：按照事先制定的规范建立各图层的属性表正确录入属性数据。录入属性数据的方法有两种：在外部录入，然后按关键字将其并联到自动创建的属性标中；在 GIS 系统中直接录入，要求属性表结构百分之百正确，数据正确率在 99%以上。

（9）质量总检查

质量总检查由专职质检人员执行，应完成以下工作：检查图形数据中的图元数目与图件中的图元数目是否相同；检查各种参数，尤其是关键性参数，如投影参数是否正确；打开所有应该套合的图形数据文件，检查套合结果是否符合要求；检查图层中图元与属性表中记录之间一一对应关系是否正确，直到数据完全符合

要求为止。

（10）图形数据入库

按照系统的总体设计，系统数据库结构和文件目录结构做好图形数据的入库工作。高质量的数据建库是成矿预测成功的基本保证，必须认真、严谨。

实践证明,按照此流程来规范整个数字化工作的精度和质量，在地质、重、磁、和地球化学的计算机制图和地质编图方面效果明显。无论是工作流程或组合方案,对今后的工作都具有重要的指导意义和参考价值。本次工作不仅按数据库的要求重新整理了已有的许多基础数据，使这些数据可以以更方便的方式提供共享.而且为今后对全区的地质单元分区，地质构造形态研究，及为模式识别选取地质变量，圈定及优选成矿区带等工作奠定坚实的基础，加快了地质资料的信息化和区域矿产综合评价的进程。

第四章　在卡拉塔格快速勘查中的初步应用

地质找矿工作从获得一个地区的矿化信息开始，整个工作过程都是获取信息、处理和解译信息。有直接的(如地表或工程中见到的矿体及矿化)，有间接的(如矿体及矿化引起的物探异常，与矿化有关的化探异常)。其发展的趋势是运用高新技术，快速而经济地获得大面积上能反映一定深度的间接信息，配合少量的直接矿化信息和先验的地质知识，在现代数据处理技术和计算机的帮助下，较准确地查明工作地区矿产分布情况。

4．1 自然地理概况及以往工作

地理位置:卡拉塔格位于新疆哈密市五堡乡境内，北距兰新铁路枯泉车站 50 千米，距 312 国道约 100 千米，从哈密市到工作区的直线距离为 150 千米，最近的居民点五堡乡到工地 80 千米。地理坐标：东经 91° 30′ 00″—92° 00′ 00″；北纬 42° 35′ 00″—42° 40′ 00″。

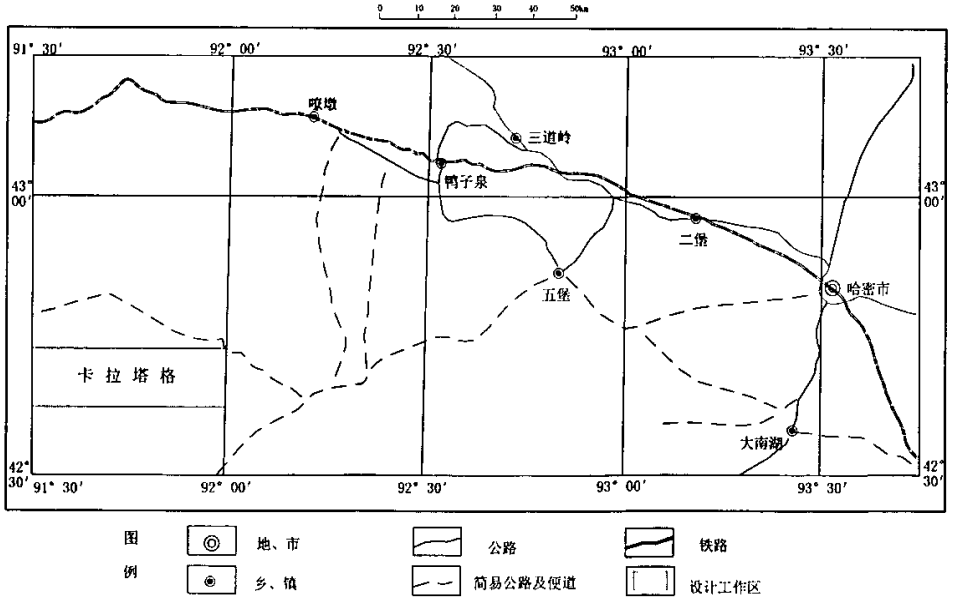


图 4.1 卡拉塔格地区交通位置图

行政区划:工作区行政区化属哈密市五堡乡，西侧紧邻吐鲁番地区鄯善县地界。区测图幅为 1:20 万康古尔塔格幅，图幅号 K-46-XIV。

气候与水系:工区常年干旱少雨、温差悬殊，属典型的大陆性干旱气候。地貌以低缓山丘与戈壁为主，人烟植被稀少，岩石裸露，大部分地区严重缺水，交通不便。5 月到 10 月初中午气温一般为 35℃－45℃，夜晚 20℃－30℃。7、8 月份正午最高气温达 50℃以上，地面温度可达 60℃以上，早晚气温在 30℃－40℃之间。工区无常年流水河流，无水源露头，只有因暴雨、阵雨时形成的暂时性水系。区内年降雨量为 60－100 毫米，蒸发量 2700 毫米以上。霜期为 10 月中下旬至 4 月中旬。4、5 月常有 2—5 天的大风天气，风力达 7—8 级。根据区内气候特点，5—6 月份和 9—10 月份是野外工作的最佳时间，地貌为戈壁丘陵景观，区内海拔高度在 400-750 m 之间。

经济交通：工区内无固定居民和游牧游猎居民，无工农业经济生产。最近的居民点为北东方向 80 千米的五堡乡。工区南侧 20 千米有正在民采的膨润土矿，西南 20 千米有沙西煤矿。从五堡乡到工作区有简易公路相通，乘越野吉普车大约需要三个半小时。由于区内地形平坦，加力汽车可以进入工区多数地段。工区内的一切后勤保障(包括生活、生产物资等)需从五堡或哈密运送。

区域找矿工作概述：工作区最早的地质工作始于 1959 年，六、七十年代基本上处于停滞阶段，主要做了一些重力、航磁等物探工作。1986 年开展了新一轮 1:200000 区调找矿工作，掀开本区地质矿产勘查和评价的序幕。90 年代以来，中国地调局、原新疆地矿局以及国家 305 项目办在东天山地区开展综合地质研究和地质勘查工作，先后找到并探明了一批中、大型铜金多金属矿床，极大地推动了东天山地区的地质找矿工作。

1991－1995 年，以原新疆地矿局、原西安地质学院为主的多家单位在设计区以南的康古尔塔格一带开展地质找矿工作。对 1:200000 低密度化探中的多处金异常进行了查证，发现了石英滩浅成低温热液金矿、康古尔、马头滩等韧性剪切带型中、大型金矿床[79]。

1993－1994 年，原新疆地矿局第一地质大队于在土屋-延东一带开展了 1:50000 区域地质八幅联测工作时，发现了土屋东铜矿[80] 。

1997－1998 年，新疆地调院发现了土屋斑岩型铜矿，随后又相继发现了土屋东、延东、灵龙等斑岩型铜矿以及维权矽卡岩型铜矿，获得的预测资源量近千万吨。东天山地区逐渐凸现出一个超大型斑岩铜矿带的基本轮廓[81]。

1999 年，原中国有色金属工业总公司地质勘查总局项目“天山成矿带铜、金成矿条件与靶区优选”在检查卡拉塔格 1:200000 化探异常时，发现了三处具有矿化显示的“环状”强蚀变体[82]。

4．2 区域成矿分析

4．2．1 区域构造

东天山地区矿产资源丰富，主要有铜、金、镍、钨及锂、铍、钽、铌、钴、铁等。著名的矿床有土屋-延东特大型斑岩铜矿床、香山岩浆型中－大型铜镍钛矿床、康古尔韧性剪切带型大型金矿床（带）等。其区域构造格局与塔里木地块和准噶尔洋盆的演化紧密相关。加里东时期，塔里木地块增生范围已扩展到本区。海西早期，准噶尔大洋向南俯冲，东天山地区形成晚古生代沟－弧－盆体系。根据构造性质、火山岩组合及矿床成因类型，由南往北可分为三个带[83]：(见图 4.2)

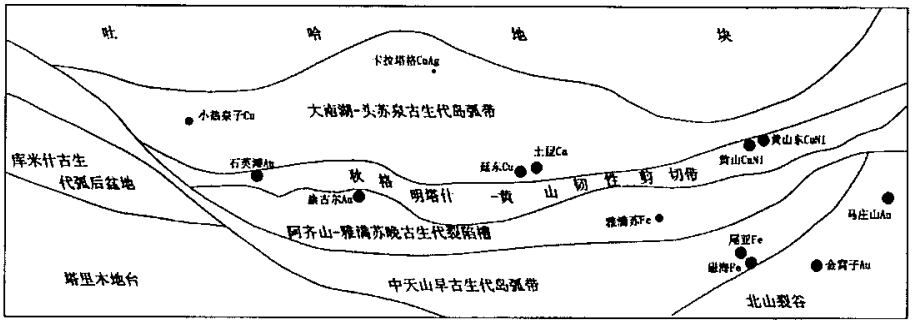


图 4.2 东天山地区大地构造分布略图

（1）阿齐山－雅满苏晚古生代裂陷槽，位于阿其克库都克断裂与康古尔断裂之间。火山岩为细碧－角斑岩系列，以中心式喷发为主，形成了 Fe(Mn)—FeCu—Cu—Fe（菱铁矿）系列的矿床或矿点。

（2）秋格明塔什－黄山韧性剪切带，位于南侧弧后盆地与北侧岛弧带的交接部位。岛弧、弧后盆地交接过渡部位往往是回返期挤压碰撞最强烈的地带，也是回返后松弛期压力释放最主要的地带。在该带内产有康古尔、马头滩等金铜铅锌矿床和黄山－香山铜镍硫化物矿床。

（3）大南湖－头苏泉岛弧带。位于康古尔断裂以北，至吐哈盆地南缘。该岛弧带中东段在晚泥盆世－石炭纪进入成熟岛弧发展阶段，陆相安山岩、玄武安山岩、英安岩大面积出露，晚期伴有次火山岩侵入，形成斑岩铜矿，如土屋-延东-三岔口斑岩铜矿。土屋－延东铜矿带位于卡拉塔格南东 60 千米。该矿带处于康古尔塔格重力异常梯级带内，局部重力场表现为西高东低、北高南低的特点。在区域航磁上，位于正负磁场交替变化的部位[84]。

卡拉塔格位于新疆吐哈盆地南缘的古生代“构造天窗”中，在大地构造位置上属于大南湖－头苏泉岛弧带北段的一个次级隆起构造单元，构造型式以褶皱为

主，断裂多为褶皱的伴生产物，后期活动性比较强[85]。西段为紧闭型背斜，东段为箱状向斜。NWW 向的大草滩深大断裂具多期活动性，在泥盆纪前已经形成，石炭纪活动强烈，使断裂南盘沉陷接受深海复理石沉积，北盘抬升，仅在局部洼地有陆相碎屑沉积，到二叠纪、侏罗纪及第四纪仍有活动。

卡拉塔格距康古尔塔格主干断裂 60km，具备寻找斑岩型铜金矿的有利地质条件，值得做深入的地质找矿工作。

4．2．2 地层

工作区出露地层主要为一套晚古生代火山－沉积建造，外围有二叠系陆相中基性火山岩与碎屑岩建造、侏罗系含煤碎屑建造，再向外被新生代地层所覆盖。具体出露地层如图 4.3。

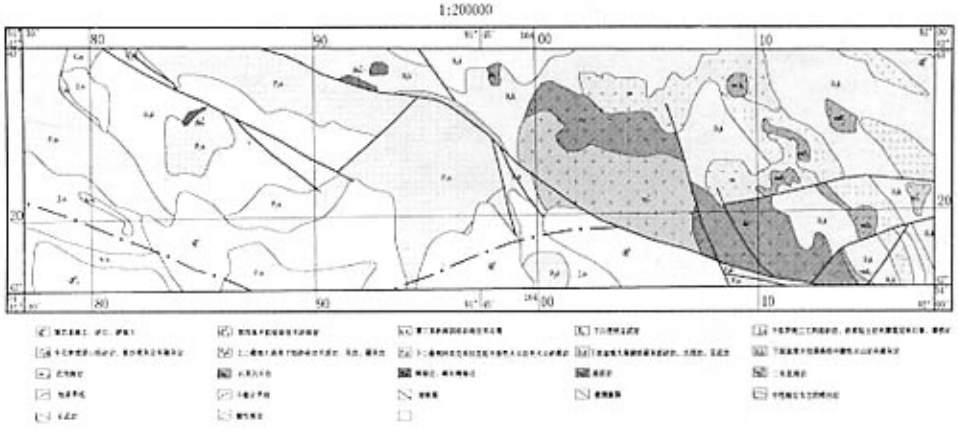


图 4.3　卡拉塔格地区地质图
(据原新疆地矿局第一区调大队资料绘制)

下泥盆统卡拉塔格组(D_1k)：一套酸性粗火山碎屑岩建造。下段为英安质含角砾熔结凝灰岩、凝灰熔岩、安山质火山角砾岩；上段为安山质英安斑岩、石英霏细斑岩和少量辉石安山玢岩、杏仁状玄武玢岩，夹凝灰岩、岩屑凝灰熔岩、凝灰角砾岩等。1：20 万区调报告分析的本组地层 Cu 元素平均含量为 75×10^{-6}，在霏细岩中含量可达 450×10^{-6}。1:20 万化探铜金异常主要分布在该组中[86]。该组被大南湖组下亚组不整合覆盖，大南湖组下亚组底部的钙质砾岩和白色大理岩是划分两组地层的明显标志。

下泥盆统大南湖组(D_1d)下亚组：浅海相细碎屑岩和火山碎屑岩夹碳酸盐岩建造，岩性为细砂岩、泥晶灰岩、大理岩夹凝灰岩、霏细岩、钙质砾岩等。上亚组主要为中基性火山岩和火山碎屑岩，岩性是玄武岩、杏仁状安山玄武岩、辉石安山玢岩。上亚组被二叠系不整合覆盖，与中石炭统脐山组角度不整合接触。中石炭统脐山组(C_2q)为陆相碎屑碳酸盐建造，仅在工区西部零星出露。岩性以泥

砂岩、炭质岩、砂质灰岩为主，夹凝灰岩、玄武岩。该组与下伏大南湖组为角度不整合接触。上部被下二叠统阿其克布拉克组覆盖。

下二叠统阿其克布拉克组(P_1a)：一套陆相火山岩夹火山碎屑岩建造。该组底部层位为陆相磨拉石建造，主要岩性有紫红色英安斑岩、霏细斑岩、钙质岩屑砂岩、长石岩屑砂岩夹层。该组不整合于下泥盆统大南湖组上亚组之上。

下侏罗统三工河组(J_1s)：在工区南侧少量出露，为一套湖沼相含煤碎屑岩建造。呈角度不整合覆盖于下二叠统阿其克布拉克组之上。

新生代地层出露有第三系桃树园组河湖相红色碎屑岩含石膏建造，以及第四系洪积层卵石角砾及淤砂。

4．2．3 岩浆岩

本区岩浆侵入活动主要发生在加里东晚期和海西早期，岩性以中—酸性的花岗岩、花岗闪长岩、石英闪长岩为主。加里东晚期花岗岩类为区内最早的一次中酸性岩浆活动的产物，岩体多在区内北侧靠近库米什断裂带分布，侵入于志留系地层构成的背斜构造核部，呈条带北西西向展布；海西早期花岗岩类为区内的一次中酸性岩浆活动的产物，岩体在区内分布广泛，出露面积广泛，侵入于志留—泥盆系地层中，呈长条状、透镜体状，岩基北西西向展布，岩体的侵入受褶皱构造系北西至近东西向两组断裂构造控制。海西中期花岗岩类在区内比较发育，岩体多呈岩株状、长条状沿断裂侵入，岩体呈北西西至近东西向分布，与区域构造线基本一致。岩浆活动为本区的铜及多铜属矿床的形成提供了丰富的成矿物质和热源。

区内的侵入岩以海西早期酸性侵入岩为主，呈小岩体或岩株产出，出露面积约 60 平方千米。由早到晚依次为：石英闪长岩、二长花岗岩、花岗斑岩，属低钾钙性系列。区内火山岩主要为早泥盆世与早二叠世火山活动的产物。下泥盆统卡拉塔格组火山岩以中酸性火山岩及其粗火山碎屑岩为特征，岩石化学特征为钙性—钙碱性岩石系列，成因上属于低钾拉斑玄武岩系列。大南湖组火山岩主要为火山碎屑岩和中基性火山熔岩，属钙碱性系列。早二叠世火山活动形成一套中基性火山岩岩浆岩对铜多金属成矿的控制作用。

4．2．4 区域地球物理特征

一般而言,区域重磁场特征的差异反映了岩石密度和岩石岩石磁性横向上的不均匀特征，其中重磁异常的梯度带则反映地下岩石横向差异的陡变,它是确定断裂位置的基本地球物理场特征，而圈闭的重磁异常则是地下不同性质地质体的反映[87]。

卡拉塔格地区南、北界为明显的区域重力梯度带。北界为近东西向的吐哈盆地南缘重力梯度带，在工区北部一带略向北呈弧形突出，指示着所谓的吐哈凹陷“南缘深断裂”。南界重力梯度带对应着走向近东西向的大草滩断裂。磁测资料反映所谓的吐哈凹陷“南缘深断裂”实为一系列斜列的断裂组，分划性并不明显。航磁资料揭示大草滩深大断裂以北的吐哈凹陷基底，即卡拉塔格地区深部存在有强磁性基岩。该基底性质很可能与准噶尔盆地的基底性质类似，即为晚加里东或早海西期构造层。

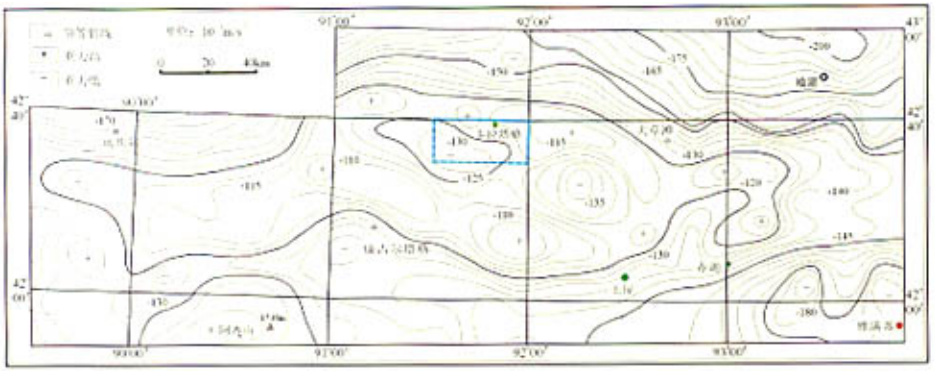


图 4.4 东天山地区布格重力异常平面图
（据原地矿部第二物探大队，1990）

4．2．5 区域地球化学特征

卡拉塔格区内分布有 Ap3、Ap6-1、Ap7、Ap9 等多处化探异常。1986—1988 年的 1:20 万康古尔塔格幅低密度化探扫面[86]，显示本区为 Cu、Ni、Co、V、Mn、Ti、Fe、Au、Zn、等元素的高背景区。主要的综合异常包括：Ap1—U、Be、Zn、Pb、Hg，Ap3—Au、Cr、P、Cu、Hg、Ni、Ag、Co、Ti，Ap5—P、Ti、V、Co、Cr，Ap6—Cu、Cr、Co、Cd，Ap7 —Cu、Zn、Ag、Mn，Ap9—Cu、Zn、Au 等，其中 Ap3、Ap7 最好。

卡拉塔格铜金矿化区位于 Ap6-2 异常的北西侧。区内见 Ap3、Ap6-1、Ap7、Ap9 等多处化探异常，其异常规模和峰值均大于 Ap6-2，火山岩中普遍发育有黄铁矿化蚀变带，初步判断部分异常与闪长岩体和小斑岩体关系密切。

在卡拉塔格组地层中,Cu 元素平均含量为 75×10^{-6}，均方差 108，变异系数 1.43，含量起伏明显。大南湖组中的 Cu 平均含量为 64×10^{-6}，均方差 59，变异系数 0.91 (见表 4.1)。工作区内石英闪长岩中的 Cu 含量 150×10^{-6}，伴生副矿物中有辉钼矿。花岗斑岩的 Cu 含量为 100×10^{-6}。

表 4.1 新疆哈密卡拉塔格地区上古生界地层 Cu、Mo 含量

地层时代	组	Cu 10^{-6}	均方差	变异系数	Mo (10^{-6})	均方差	变异系数
P_2	大热泉子组	64	155	2.43	2.8	2.80	0.98
P_1	阿其克布拉克组	42	44	1.04	2.2	20.88	0.95
D_3	康古尔塔格组	27	24	0.89	4.1	5.07	1.24
D_2	头苏泉组	26	42	1.61	26.7	34.8	1.30
D_1	大南湖组	64	59	0.91	1.4	0.78	0.55
D_1	卡拉塔格组	75	108	1.43	1.9	0.96	0.51

注：数据来自原新疆地矿局第一区调大队，1988，1:20 万康古尔塔格幅(K-46-XIV)区域地质调查报告(地质部分)

4．2．6 遥感影像特征

在 ETM741 合成的假彩色影像图上(图 4.5)，卡拉塔格地区为北西、北东向大断裂和北部呈弧形展布的新地层所围限的孤立的扇形地质体。在大地构造位置上属于大南湖一头苏泉晚古生代岛弧带的北段。而小热泉子--土屋－赤湖成矿带近东西展布于其东南部，两者之间为深大断裂所分开。二者明显不一致：卡拉塔格整体以蓝色调为主，影纹粗糙，出露的岩性偏基性[88]；小热泉子--土屋－赤湖成矿带以紫色、肉红色为主，影纹细腻，出露的岩性偏酸性[89]。卡拉塔格北西向区域性控矿断裂终止于小热泉子--土屋－赤湖成矿带的北缘，说明卡拉塔格不属于小热泉子--土屋－赤湖成矿带。因此，在找矿方法及矿产类型上卡拉塔格应区别于土屋。



图 4.5 卡拉塔格大区域遥感影像图（据张守林，2000）

在地区线环构造解译图上，卡拉塔格主体呈一环状沉积盆地，盆地四周为断裂围限。形成以北西向主干断列为主体、北东向断列为骨架，环形构造镶嵌其中的构造格局（图 4.6）。

本区的断裂根据规模分为一级断裂和次级断裂：F_1 为沉积盆地的南缘断裂，其南北两侧，影纹特征明显不同。北侧火山岩、岩浆岩地层发育，影纹粗糙。而

南侧为沙丘，影纹细腻。在 F_1 的西延部分，断裂带内有大量的浅色的石英脉充填，为区域性控矿断裂。北西向的 F_2 断裂切穿沉积盆地的中部，沿断裂的主题色调呈黄褐色，为裂隙式火山喷发带，并在与北东向 F3 断裂的交汇部位发育有红山铜金矿化区。次级断裂以北东、近南北向为主，为区内热液运移、火山喷发的通道及成矿物质富积的有利空间。

区内环形构造可分为岩浆热液环和火山（沉积）机构环：

岩浆热液环是根据岩体的环形特征及色调晕圈定的。共圈出 9 个直径大小不同的环，环内外影纹及色调明显不同。由于侵入岩的岩性不同，9 个环的色调亦不近相同，偏酸性的岩体色调较浅，而偏中性的岩体色调偏紫红色[90]。



图 4.6 卡拉塔格地区线环构造解译图

火山（沉积）机构环：区内火山机构发育普遍，共圈出 6 个不同大小的火山机构群环，环内的每一个小突起就代表一个火山机构，由于火山岩多为中偏基性，故环多为黄褐色调。在红山火山（沉积）机构环的边上发育有红山铜金矿化区。

我们可以看到，在卡拉塔格一带的遥感影像图上，影纹粗糙，呈杂乱的蜂窝状、结核状、葡萄状、肉瘤状，线环构造错综复杂，标识该区构造活动强烈，小斑岩体、中基性岩体或火山机构发育，岩浆活动强烈[91]。色调的深浅不一，相互穿插说明岩浆活动具有多期次多旋回的特点，是长期的热活动中心。该区应寻找与火山机构有关的岩浆热液改造型矿床[92]。而且矿床产出的有利部位是：构造交汇、岩浆侵入、火山喷发或有火山物质堆积的地段。

东天山地区岩石出露好，遥感可解译程度高，应用遥感技术快速圈定与金（多金属）矿成矿有关的蚀变区，是这类地区金矿找矿最经济、快速、有效的找矿手

段[93]。卡拉塔格地区浅地表发育铁铜硫化物的次生氧化富集带，见有铁矾、黄钾铁矾、水白云母、石膏、明矾石、三水胆矾、孔雀石、硅孔雀石等蚀变矿物。为有效地增强提取与成矿有关的蚀变信息，建立直接或简接的找矿指示标志，对研究区的ETM图像进行了增强处理。根据蚀变矿物波谱特征，ETM5/ETM7对圈定含羟基矿物、含水硫酸盐、碳酸盐有较好效果[94]，ETM3/ETM1可识别褐铁矿等强红化蚀变信息，ETM5/ETM4比值能给出高钾化、黄铁矿化等蚀变信息的反映。用ETM5/ETM7（R）、ETM3/ETM1（G）、ETM5/ETM4（B）[95]进行组合。红山矿化蚀变区以非常明显的杏黄色呈现在影像图上(图4.7)。

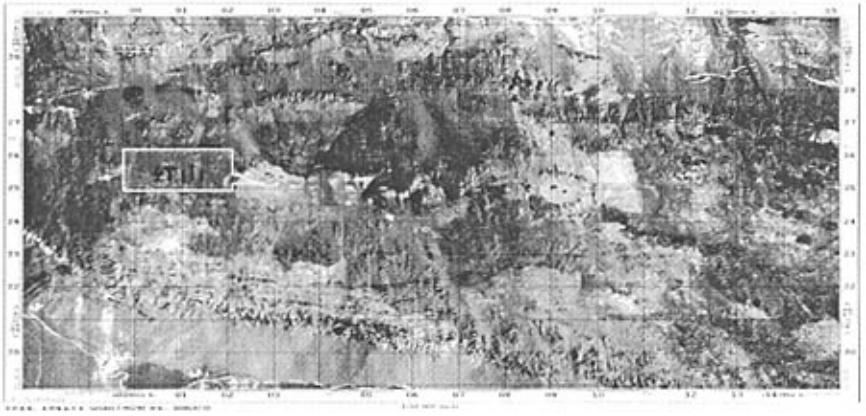


图4.7 卡拉塔格大区域矿化蚀变遥感信息图

4．2．7工作区认识

结合野外观察,总结卡拉塔格铜金矿化区具有以下显著特征：

(1) 火山岩相组合复杂。见中酸性－酸性火山角砾岩、集块岩、蚀变凝灰岩和霏细岩。可见垮塌火山角砾岩，这种火山垮塌作用只有在近火山口环境才易发生。

(2) 浅成－超浅成岩脉(墙)发育。矿化区南侧见蚀变霏细斑岩、次石英斑岩(局部似为次流纹斑岩)，北侧见硅化－粘土化次花岗斑岩、石英斑岩，石英斑晶含量约3%-5%，粒径1-3mm，长石斑晶约5%，已遭受高岭土化及弱绢云母化。表明矿化蚀变与超浅成岩相关，且剥蚀甚浅。此外，矿区边部中基性岩脉如闪长岩、闪长玢岩、基性岩脉也较发育，从其风化程度和接触关系来看，多早于蚀变矿化。

(3) 蚀变呈环带状展布，强度大、类型复杂。地表及探槽中的蚀变岩石呈红、黄、绿、黄绿、淡蓝、白、红褐、淡黄褐色，大多呈土状物，地表呈现典型的“火烧皮”现象。白色土主要由石膏、高岭土、水云母、绢云母等蚀变矿物组成，宽>20m。淡黄色土主要由黄钾铁矾、硫磺、伊利石、叶腊石等酸性蚀变矿物所组成，宽度>10m。红色、褐色土主要由褐铁矿、针铁矿、赤铁矿风化而成，宽度≥5m。

淡兰色、绿色、兰紫色主要由胆矾、氯铜矿、孔雀石、石膏、萤石等矿物组成。

(4) 蚀变火山岩中黄铁矿化普遍，范围较大。矿化区南侧含黄铁矿化火山岩地段总长达 400 余米，其中稠密浸染状黄铁矿化（黄铁矿含量大于 5%-10%）地段长达 280m，含团斑状、半块状黄铁矿化（黄铁矿含量大于 10%-30%）地段长达 140m。8 件黄铁矿化火山岩样品含 Au 在 0.10×10^{-6}-0.33×10^{-6} 之间。



图 4.8 卡拉塔格工作区一号探槽

(5) 顶部显示较强的热液矿化。蚀变岩顶部形成一层致密块状赤铁矿层，呈大面积转石分布于半坡，另见重晶石脉(宽 0.3～1m)及热液爆破角砾岩（角砾 10－20cm 大小）和黄铁矿化次生石英岩。地表局部见孔雀石、胆矾和氯铜矿粉末。

6)该矿化区与大南湖-突苏泉岛弧带已有典型铜矿对比。

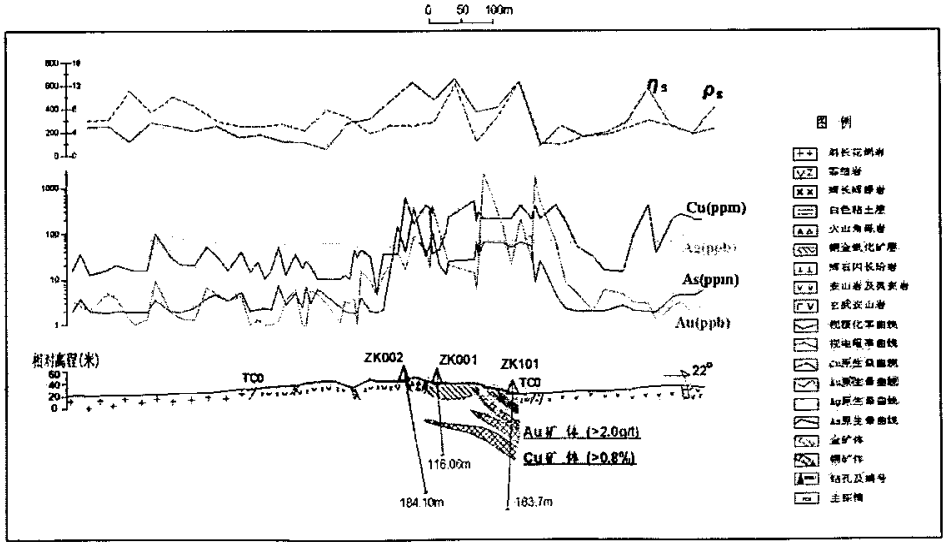


图 4.9 卡拉塔格红山工作区综合剖面图

工作区地表氧化带特征与小热泉子铜矿很相似：小热泉子铜矿已探获 Cu 15 万吨，Zn 8 万吨。首采地段铜品位高达 8×10^{-2} 以上，宽度为 10-20 余米。钻孔中原生矿化带内铜品位为 12×10^{-2}～23×10^{-2} 的特富矿体连续厚度可达 10 余米。其氧化带深度一般在 30m 左右。其地表氧化带特征、矿物组成(以胆矾、氯铜矿、硫磺为主)和垂直分带与卡拉塔格矿化区十分相象。但小热泉子铜矿容矿围岩为海相火山岩，卡拉塔格红山地区铜金矿容矿围岩为陆相火山岩，矿区出露范围达 1100m 长，400m 宽。初步确认为具有中-大型规模斑岩－次火山岩 CuAu 矿床的找矿远景。红山一带的蚀变强度不亚于卡拉塔格南侧 80 余千米的土屋－延东斑岩铜矿区，并且本区的蚀变矿物组合更为复杂、黄铁矿化更为发育，加之斑岩体为超浅成相，推测该区具有寻找中-大型规模斑岩型-高硫化物次火山岩型 CuAu 矿床的潜力。鉴于该矿化区的浅表铜、金矿化较强，以氧化矿为主，地貌为穹隆，推测原生矿体埋深不会太大，可能在地表以下 30～80m 之间。

4．3 远景预测

成矿预测研究就是应用地质理论和科学方法，综合分析地质、地球物理、地球化学及遥感影像等多种信息，研究已知矿床所反映出的成矿规律、控矿条件及找矿标志，建立矿床模型或找矿模型，经过定性或定量的类比分析，最后圈定出不同类别的预测靶区并估算出不同级别的资源量[60]。

预测方法的基本理论前提是相似的地质条件下应产出类似的矿产资源，并且其产出的矿产资源量也应接近相似一类比理论。

4．3．1 建立找矿模型

依据基础地质理论和成矿模式，总结区域多个已知的成矿条件、控矿因素和找矿标志，建立地质、地球物理、地球化学、遥感等多学科的综合信息找矿模型，相对完善的地质概念模型为准确和客观地进行成矿预测工作奠定基础。综合前人工作成果及认识，通过对研究区各类找矿信息的综合分析，在此基础上，用多源找矿信息综合刻画能够反映成矿地质特征及矿化分布规律的标志，建立研究区铜多金属矿综合找矿预测的概念模型，其内容如下：

1、加里东期海相火山喷发活动强烈，形成一套含矿火山岩系，含矿地层卡拉塔格组以中酸性火山岩及粗火山碎屑岩为特征，在遥感图上表现为黄褐色赋矿岩系（ETM741）；

2、有利成矿的火山机构及环形构造[96]，多期次的岩浆侵入活动为铜多金属矿床的富集成矿提供丰富的成矿物质和热源；

3、构造规模大，活动强烈，。赋矿层位集中于火山机构的斜坡相、与基底岩系的接触带及北西向构造破碎带;近东西向、北东—北东东向次级断裂构造或断层破碎带控制了矿（化）体的空间定位，特别是岩体与地层接触带、多组断裂交汇部位有利于成矿[97]。

4、红山矿（化）体及近矿围岩具有强烈的褐铁矿化、粘土化、碳酸盐化等蚀变，在遥感图像上表现为杏黄色蚀变异常区（KL 图像）。

5、红山地区物探激电高极化率（>7%）异常带明显；物探工作在 Ap7 区发现几处明显的物探异常，有待今后通过钻探来验证。

6、在梅岭地区地表蚀变特征与红山矿区地表蚀变特征类似，以酸性火山岩的酸淋滤带蚀变体（粘土化）和中性斑岩体的绢云母化－硅化为显著特征，同时受北西西向断裂控制，岩体与地层接触带、多组断裂交汇部位有利于成矿。

7、Ap7 单元素浓集中心明显，元素套叠良好，与火山机构及潜火山岩分布区相一致，找矿前景良好。

4．3．2 划分预测单元

统计预测工作是在单元上进行的。预测工作的成果与单元有着较为直接的联系。预测单元的选择，应尽可能地反映所研究矿种成矿、赋矿、控矿规律的认识水平和研究成果。根据效益原则，预测单元的选择应使成矿预测的实际研究范围大大缩小，使研究具有明确的对象。因此，我们在找矿模型指导下，以最大限度地反映成矿信息和预测单元面积最小为原则，通过对研究区内地质、地球物理、地球化学、遥感资料的综合分析，对可能的成矿地段圈定了预测单元。

在本次预测中，我们采取两种单元划分方法。一是划分网格化单元，将工作区按一定的网度划分为规则的网格单元。二是不规则地质单元，将重要地区按一定的原则划分为不同形状的不规则地质体单元。

1．不规则单元划分原则与依据

根据上述综合信息找矿模型进行单元划分。在具体划分中主要考虑了如下原则和依据：

(1)单元应处于有利的大地构造位置。如巨型深大断裂附近、不同构造单元边缘、重要的构造岩浆带上等。

(2)单元应与重要的金矿成矿远景区相吻合或较为一致。

(3)强度较高、规模较大的铜金地球化学异常是划分单元应考虑的因素之一

(4)已知的重要成矿区或密集区尤其是超大型铜金矿床的存在是划分单元的重要依据之一。

2．不规则单元划分结果

按照以上原则和依据，在区域内共划分了 10 个矿预测单元。这些单元基本包括了重要的铜金矿成矿远景区，如红山地区、Ap7 地区

3．单元矿化等级划分

以预测单元内估计储量为依据，按≥50 t，<50 t 至≥10 t 和<10 t 三个标准，对预测单元划分矿化等级，分别将其分成为四类。

4．3．3 变量选择

预测工作离不开变量。变量是指反映成矿信息随空间位置或时间的改变而变化的各类地质现象或地质标志。因此，变量包括地质、地球物理、地球化学和遥感多方面的数据，这样才能从不同侧面较为全面、较为客观地反映出控矿因素和找矿标志，尽可能地捕获反映成矿与否的各类信息。同预测单元划分一样，选择变量也是在找矿模型指导下进行的。它既是成矿、赋矿、控矿因素的认识水平和研究程度的反映，又是研究工作所掌握的资料水平和对资料综合程度的反映。

1．选择变量。根据综合信息找矿模型，选择出如下的预测变量：

(1)存在 1：20 万铜金地球化学异常；

(2)熵表示地质作用复杂程度；

(3)布格重力异常梯度带，以 2 km 距离作缓冲区分析；

(4) 下泥盆统卡拉塔格组(D_1k)含矿地层

(5)加里东期中酸性侵入体；

(6)遥感线性构造密度；

(7)矿化点密集程度；

(8)存在超大型金矿床；

(9)金地球化学测量值；

(10)铜地球化学测量值；

(11)银地球化学测量值。

2．变量赋值

对上述所选择的 11 个预测变量，按其两种不同的变量类型予以不同的赋值。对于定性变量，如第 1、3、4、5、6、8 号变量，按其对成矿的有利程度进行二态赋值，存在对成矿有利的状态赋值 1；反之，存在对成矿不利的状态赋值 0。对于定量变量，如第 2、7、9、10、11 号变量，按其所取的实际数值对其赋值。对这类定量变量，视其不同用途和不同预测目的，在需要时，将其定量数据，按一定的统计规律确定门坎值，将其转化为二态变量。

4．3．4 统计预测及结果

统计预测工作主要以数理统计方法和类比分析为手段，建立起统计类比模

型，进而对预测单元的资源分布特征进行客观和全面的评价。这种评价不仅仅是定性的描述性评价，还 是对每个预测单元成矿有利程度的定量化(或某种程度上的定量化)度量。 这次所作的统计预测工作，与从前大不相同，它是建立在一种全新的和先进的 GIS 基础之上。只要选择了预测方法，其他均由计算机自动实现。它不仅使成矿预测速度更快，而且减少了不必要的人为因素，同时也大大减轻了预测人员的工作量和工作强度。

在本次铜金矿预测评价中，我们选择了不同的预测方法和预测模型。这些预测方法和预测模型按其主要目的和作用分为两大类型，一类用于资源定位预测，另一类用于资源定量预测。

(1)铜金矿资源定位预测

这里所指的资源定位预测，是预测和估计金矿资源存在的大致位置，用以评价单元内有无金矿资源，对单元的成矿有利程度作出评价。

①定位预测模型：由于该研究范围和资料水平等各方面原因的限制，我们选择了简单实用的特征分析(主分量法)统计预测模型。

②定位预测结果

在选定预测模型的基础上，对原始数据中的定量数据部分，按不同的变量分别进行统计计算，将定量数据化为二态(二值)变量。然后利用特征分析模型进行定位预测，得出各预测单元的成矿有利度。 在所有预测单元中，按成矿有利度的大小，将其分成四个等级。

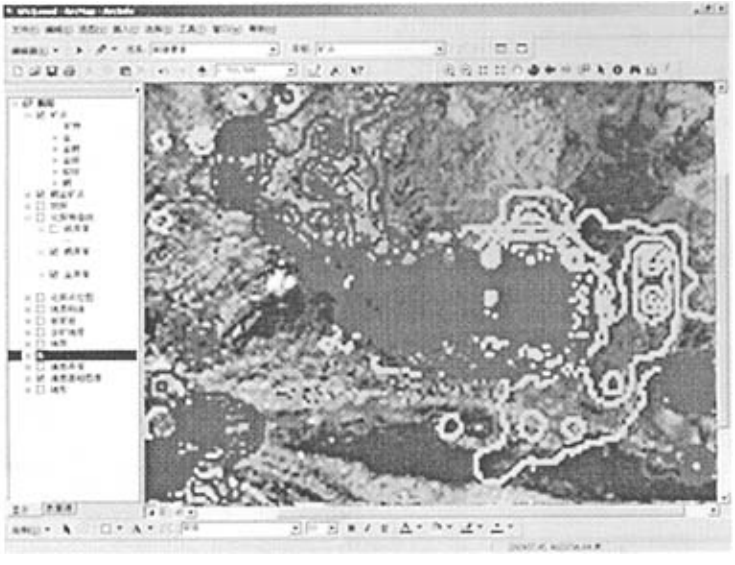


图 4.10　卡拉塔格定量预测单元叠加图

(2) 铜金矿资源定量预测

这里所指的资源定量预测是指对单元内资源量大小的预测，是一种对单元内资源量多寡的预测评价。

①定量预测模型在预测系统的定量预测方法中，选用了数量化理论 I 作为主要定量预测模型。

②定量预测结果：同定位预测特征分析模型一样，利用二值化后的变量数据，运用逻辑信息法模型进行定量预测。在所有预测单元中，按预测资源量的大小，将其分成 2 个等级。最后得到铜金定量预测单元叠加图（如图 4.10 所示）。其中，成矿条件因素是定性分析的结果，经过野外验证后可以认为是最直接的找矿标志，；成矿信息是定量提取经过处理的数据，二者对找矿预测起有决定性的作用。根据定量预测图，在工作区范围内圈出远景区三处（如图 4-11）：一级区一处（红山），二级区两处（梅岭、Ap7 地区）。

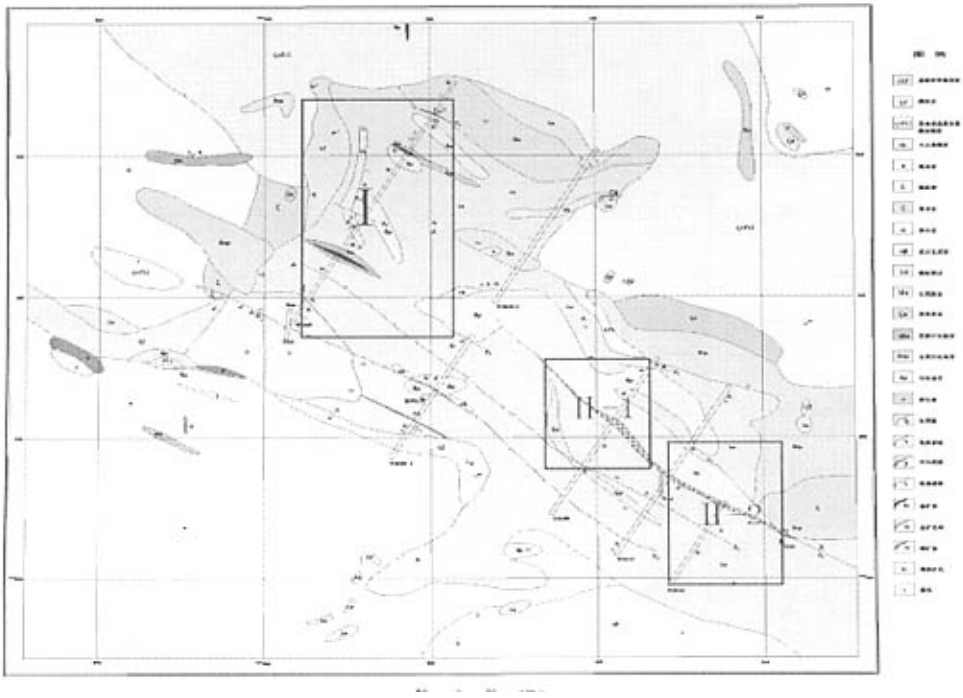


图 4.11 卡拉塔格工作区地质预测图

我们相信在新一轮地质大调查中，东天山卡拉塔格，以及其东侧的大草滩“天窗”铜金找矿将取得新的突破，成为东天山地区继土屋-延东斑岩铜矿之后的又一处铜矿评价基地[98]。同时，这一古生代天窗的重要找矿意义也必将激励地质学家们对其大地构造属性（包括盆地基底性质）的研究兴趣。

第五章　在希勒库都克铜金矿化区的初步应用

地理位置：希勒库都克工作区位于新疆维吾尔自治区阿勒泰地区富蕴县境内。地理座标：东经 89° 13′ -89° 17′，北纬 46° 48′ -46° 53′，面积 46.99km²。从阿勒泰市和富蕴县城到工区有 206 国道和简易公路相通，交通尚为便利。

地貌、气候与水系：地貌为中低山区，一般地面海拔为 600—800 米，相对高差在 200—400 米。工区多雨雪、温差悬殊，属典型的大陆性干旱气候。每年 1-3 月风雪大，春季多风，丘陵风力可达 8—10 级，年平均气温-19℃—3.9℃。7 月最热，最高气温达 40℃。工区水系发育，有多条河谷穿过，河流及支流主要受积雪融化水和大气降水补给，流水河流的流量不稳定，霜期为 10 月中下旬—来年 4 月中旬，夏季洪水期水流湍急，大量地段不能徒涉。工作区有少量游牧游猎居民，地区经济主要从事采矿及农牧林业生产。根据区内气候特点，每年的 5—9 月份是开展野外工作的最佳时间。（图 5.1）

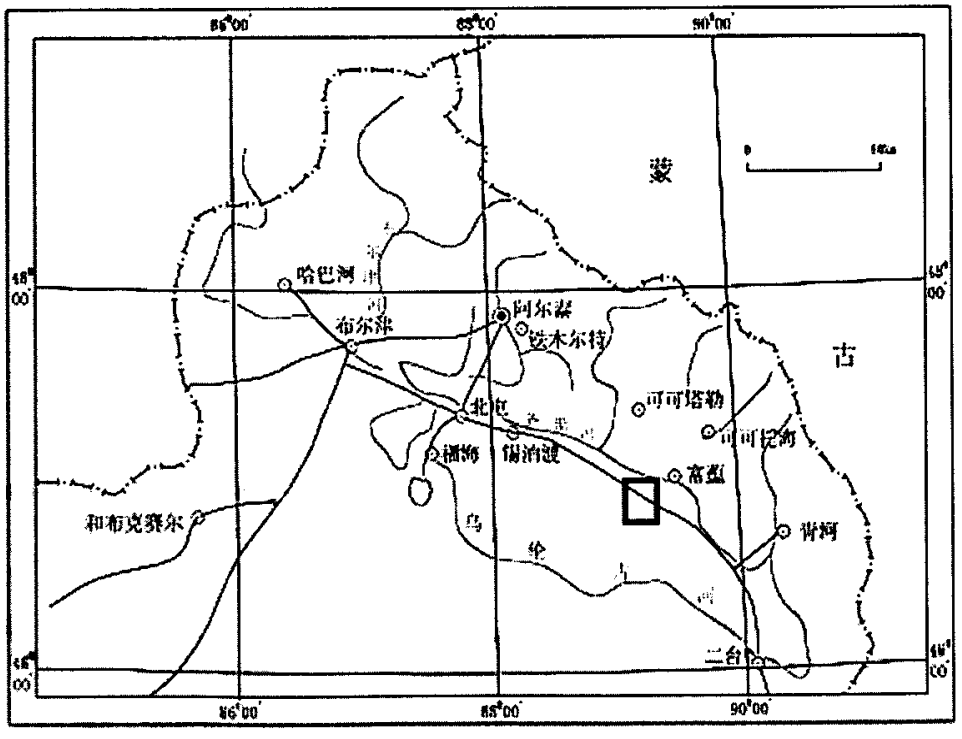


图 5.1 希勒库都克工作区交通位置图

5. 1 区域成矿分析

5. 1. 1 地质背景

新疆阿尔泰造山带位于西伯利亚板块南缘，为加里东-海西期形成和发展的陆缘增生型造山带[99] (何国琦等，1990；李锦轶等，1999)。区内发育了前寒武纪到新生代各时代的沉积或火山-沉积地层，且发育了多期变质、变形。多时代的侵入岩约占全区面积的52%。以金、铜、铅锌、稀有金属、白云母等为主的内生矿床和以沙金为主的外生矿床发育。是我国一条重要的多金属及非金属成矿带。

希勒库都克工作区位于阿勒泰东南部，西伯利亚板块和哈萨克斯坦—准噶尔板块的结合部位，额尔齐斯成矿带喀拉通克—沙尔布拉克金铜镍矿集区内。区内地层主要为中泥盆统蕴都喀拉组(D_2y)和北塔山组(D_2b)，下石炭统南明水组(C_1n)

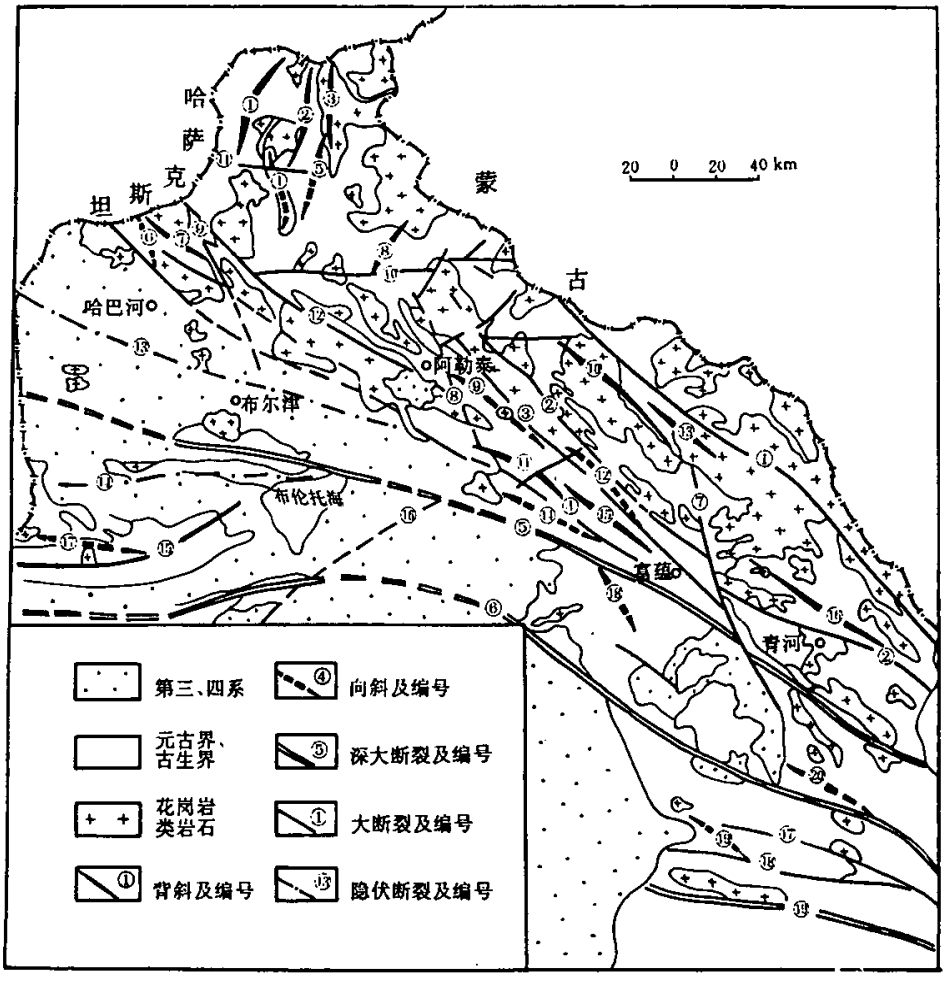


图 5.2 阿勒泰及准北区域地质构造略图

和黑山头组(C_1h)。蕴都喀拉组和北塔山组为一套中基性火山碎屑岩，其中北塔山组海相火山岩产有铜金矿，如乔夏哈拉铁铜金矿床。南明水组和黑山头组均为一套海陆交互相的碎屑岩沉积，南明水组主要岩性为砂岩、（炭质）粉砂岩、千枚岩和绢云母片岩等，是沙尔布拉克金矿的含矿层位。

该区侵入岩有基性-超基性岩、花岗岩和花岗闪长岩、辉石闪长岩等，主要侵入岩为希勒库都克黑云母角闪花岗岩、二长花岗岩,均为华力西中期侵入于南明水地层中，岩体接触带围岩蚀变有角岩化和硅化等。岩体中有浸染状黄铜矿化，绿帘石化明显，局部伴有绢云母化、钾化。经地表拣块分析，铜含量可达 0.1-0.5%，个别大于 1%。

该区东侧分布有喀拉通克大型铜镍矿床和喀腊苏斑岩型铜矿，其北西侧有沙尔布拉克中型金矿床。区内金、铜、砷区域化探异常发育，金、铜、砷元素含量高、相关性好，并与火山岩有密切空间关系，是寻找评价与火山喷发岩以及浅成岩有关金铜矿的有利地段。

5．1．2 铜金异常信息特征

通过对该区进行 1:25000 的化探测量（采样网度为 250 米×250 米），圈出 3 处 Cu、Au、As 组合异常(图 5.3)，目前重点对中区铜异常和南区金铜异常进行评价。

在中部铜异常区，主要有铜元素异常，异常长 1000m，宽 400－500m，高值为 200ppm，在 35 件样品中，24 件样品 Cu 含量大于 40×10^{-6}，6 件样品 Cu 大于 80×10^{-6}；9 件样品 Au 大于 1.9×10^{-9}，21 件样品 Ag 大于 77×10^{-9}，7 件样品 As 大于 12.8×10^{-6}。异常出露在海西中期的黑云母角闪花岗（杂）岩和黑云母花岗闪长岩中，有绿帘石化、绿泥石化、高岭土化、绢云母化等蚀变，有黄铁矿、孔雀石、方铅矿等。地表捡块样孔雀石化黑云母花岗闪长岩中 Cu 最高含量 0.32×10^{-2}，Au 最高含量 0.13×10^{-6}。

在南部金铜异常区，主要有金和铜的异常，异常长度 2500m，宽度 1500m，在 76 件样品中有 25 件样品 Cu 大于 40×10^{-6}，24 件 Au 大于 1.9×10^{-9}，20 件 As 大于 12.8×10^{-6}，24 件 Ag 大于 77×10^{-9}。异常区主要出露闪长岩、北西走向石英钠长斑岩脉、钠长斑岩和硅质粉砂岩。主要蚀变矿化为硅化、高岭土化、黄钾铁矾化、褐铁矿化。发育有星点状、稠密星点状的黄铁矿。捡块样黄铁矿化钠长斑岩中金最高 0.28×10^{-6}。检查化探异常，地表见有硫化物氧化的褐铁矿矿化十分发育，并且伴有硅化、高岭土化、绢云母化蚀变的石英二长斑岩，蚀变带地表宽度 20-120 余米，延长 200-300 米。并且与物探 1/2.5 万激电中梯剖面测量获得极电异常十分吻合。蚀变地段探槽中 Au 含量 $0.05－0.09\times10^{-6}$，Cu

含量 0.02－0.04×10^{-2}。成矿条件十分有利，有待进一步工作。

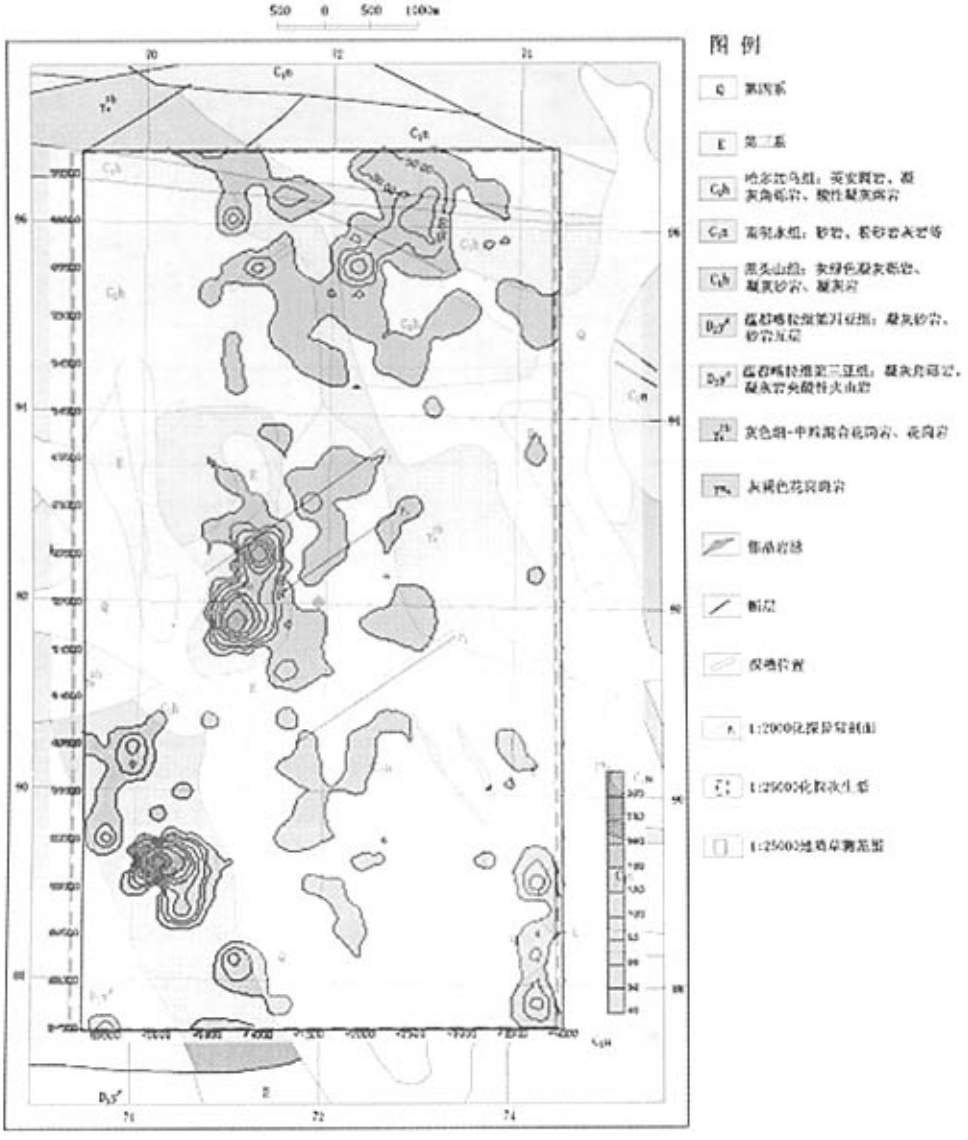


图 5.3　希勒库都克铜金异常综合图

中部异常区主体在黑云母角闪花岗岩与南水明组地层的接触带，根据电、磁异常特征可将岩体分解为两类，西侧的黑云母角闪花岗岩表现为高阻、高磁、低极化率（平均值约 2%），东边的岩体表现为高阻、低磁、低极化率（平均值约 3.5%）。而两岩体夹持的中间南水明组地层表现为低阻、高极化（极大值>8%）、磁场由高到低的过度带（见图 5.4、5.5、5.6）。

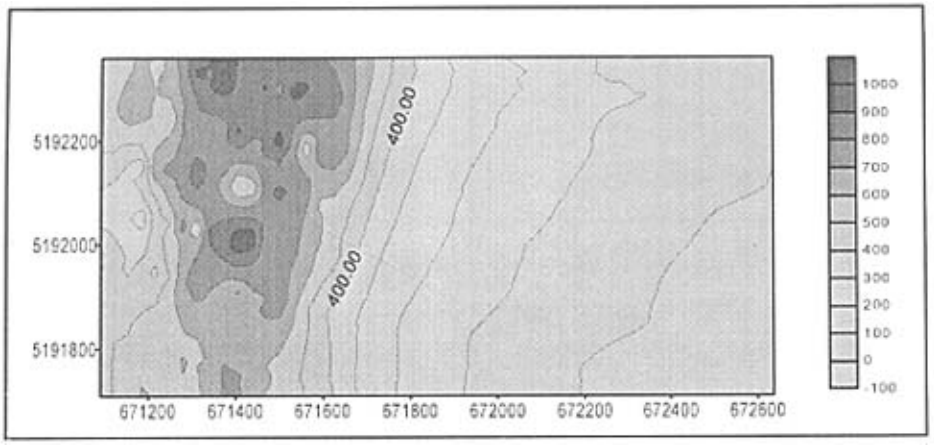


图 5.4 希勒库都克地区中部测区 ΔZ 平面等值线图

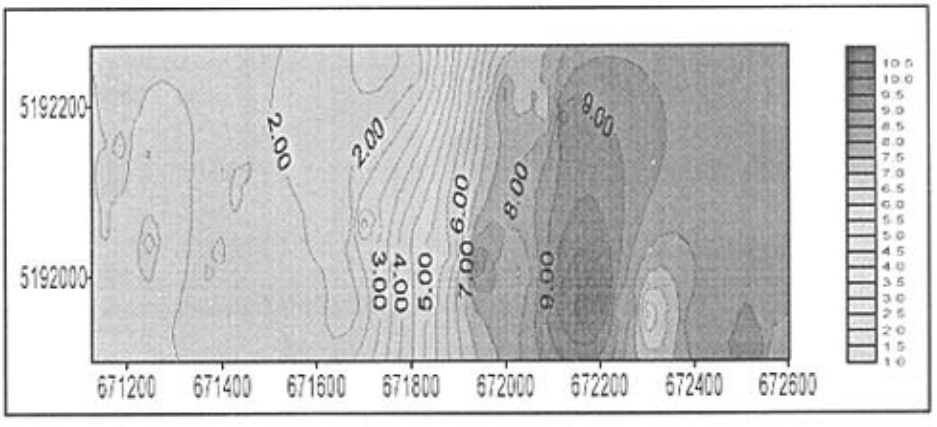


图 5.5　希勒库都克地区中部测区极化率平面等值线图

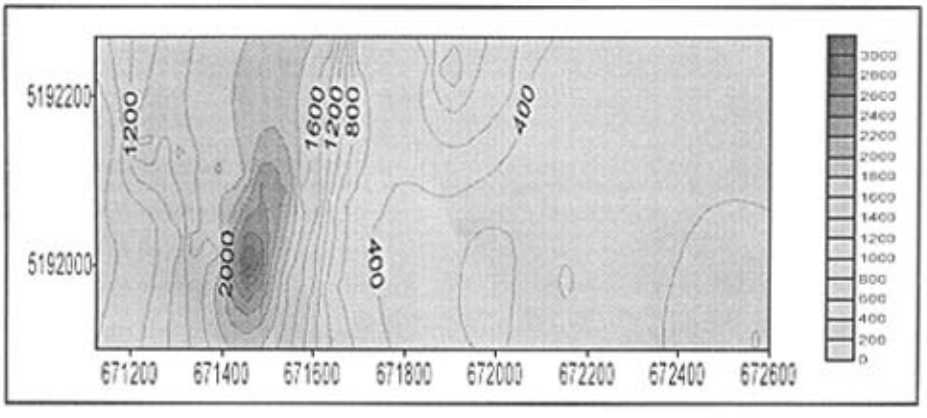


图 5.6 希勒库都克地区中部测区电阻率平面等值线图

地球物理勘探方法是提供寻找隐伏矿的有效方法，在工作未知区或工作程度小的地区，应根据地质、化探等圈定的工作区，布置激电和高磁面积工作，确定异常的进一步的范围，有针对性的布置解剖异常的物探工作。而在工作程度高的地区，应布置物探工程，进行深部地质地球物理填图，了解电性与岩性、构造、已知矿体等的关系，有针对性的布置进一步的分析异常的物探方法。

根据工作区进行的物探成果，在工作区南部，Cu、Au 异常区的电、磁异常特征表现为低磁、中高阻、高极化率的特征（图 5.7、5.8、5.9），这种现象可能是低磁岩体及围岩接触带强蚀变所致。主要蚀变矿化为硅化、高岭土化、褐铁矿化、黄钾铁矾、黄铁矿化，局部见孔雀石化。围岩为凝灰质砂岩、硅质粉砂岩、闪长岩、石英钠长斑岩和钠长斑岩。

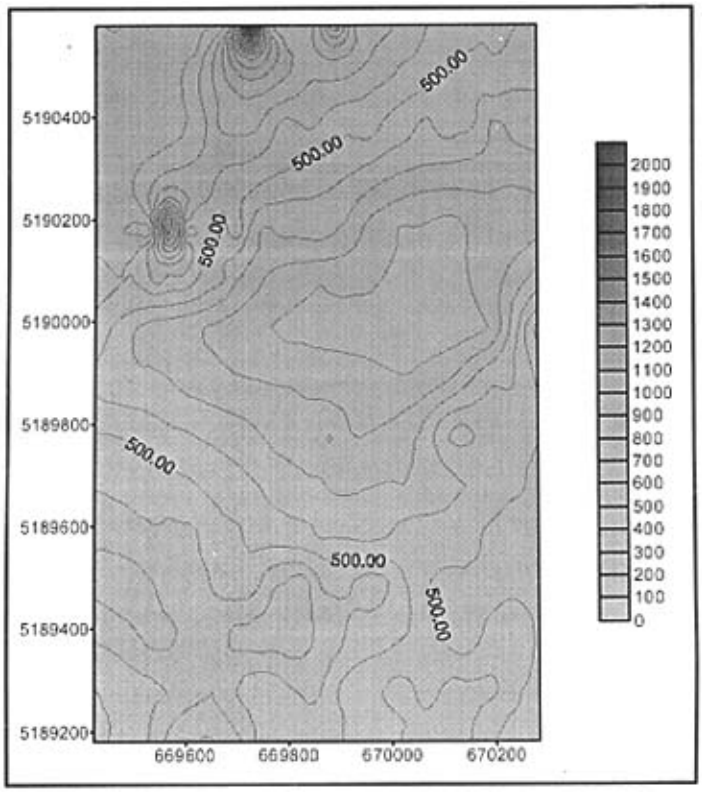


图 5.7　希勒库都克地区南测区 ΔZ 平面等值线图

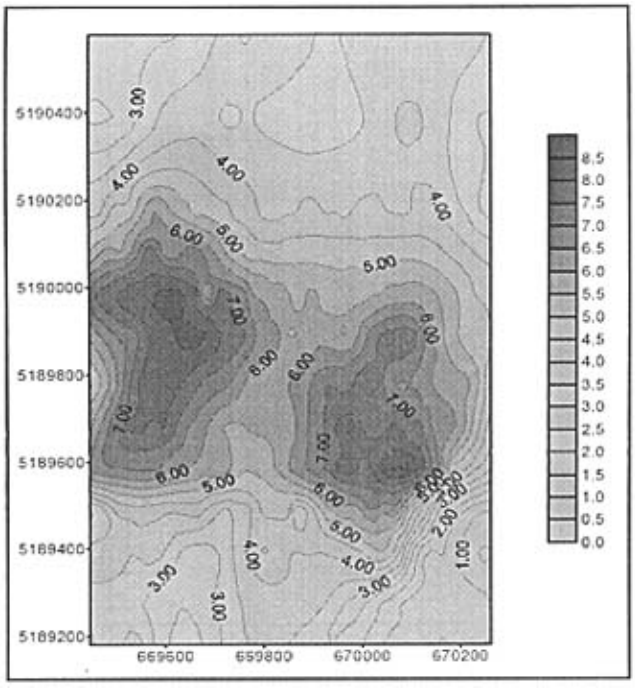


图 5.8 希勒库都克地区南测区极化率平面等值线图

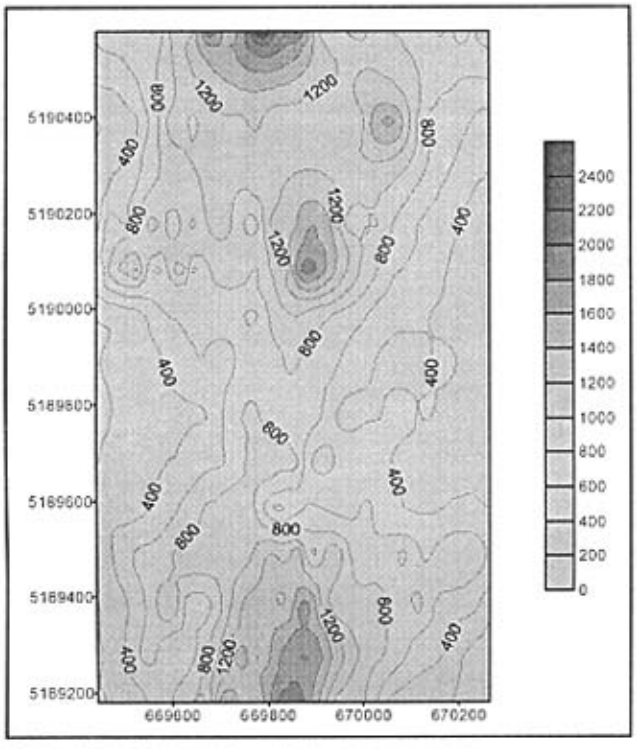


图 5.9 希勒库都克地区南测区电阻率平面等值线图

5．1．3 铜金矿化特征

通过对中部和南部两个异常区进行了地表槽探工程揭露和 1:10000 的地质草测，以及在中部 CuAu 异常区进行钻探工程验证，总结工作区矿化特征如下：

1、通过地表槽探揭露，在中部异常的 0 号探槽中发现厚度为 22.5 米的铜



图 5.10 希勒库都克 TC 0 探槽

金矿（化）体，刻槽样品品位： Au：0.10- 0.20g/t， Cu：0.10- 0.30%，地表延长 100 余米。矿化主要受花岗闪长（斑）岩与南明水组凝灰质粉砂岩、碳质泥灰岩的接触带控制。表现很好的金铜矿找矿前景，是一有待进一步工作的重要地区。

2、钻孔控制了一定深度的铜金矿化体。通过钻孔施工，在 0 号勘探线 ZK0-1 钻孔内，全孔断续有浸染状硫化物，主要是黄铁矿和少量黄铜矿，偶见辉钼矿，多呈细粒集合体或细脉状分布，从岩体内接触带开始零星见有黄铜矿化，直至 310 米均有黄铜矿化，局部浸染状铜矿化富聚，但多数地段品位不够，可圈定铜金矿化体有 4.23 米厚，铜品位大于 0.1%。

3、ZK4-1 钻孔岩体内接触带处见有连续 3.4 米厚的金矿化（32-35.4 米），品位 0.24—0.39g/t，其中在 43 米-55 米间（厚 12 米）、153-157 米间（厚 4 米）存在金品位大于 0.1—0.18g/t 的金矿化体。铜金矿化主要分布在南明水组地层凝灰质砂岩、粉砂岩与黑云母二长花岗斑岩接触带处，并且靠近岩体一侧，矿化主要有黄铜矿化、黄铁矿和辉钼矿化。蚀变有绿帘石化、钾化、绢云母化、黏土化、绿泥石化等。

5．2 综合找矿预测模型

通过对研究区各类找矿信息的综合分析，建立研究区综合找矿预测的概念模型，其内容如下：

1、希勒库都克铜金矿（点）热液蚀变特征具有内-中-外带叠加蚀变现象，表现为钾化（脉状或条带状）+硅化，叠加有绢云母、化黏土和绿帘石化（脉状或条带状）。矿化体内表现为面性绢云母化（较弱）、黏土化、硅化与线形（条带）钾化和绿帘石化（比较强）：

（1）内蚀变带：黑云母、钾长石、石英（钾化和硅化）硫化物包括：黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿。

（2）中带：石英-绢云母化带：有绢云母、黏土、石英；硫化物有黄铜矿、黄铁矿。

（3）外带：绿泥石（围岩）、绿帘石（脉）、碳酸盐岩（脉）；硫化物有：黄铁矿、黄铜矿。黄铜矿化多以浸染状分布在暗色矿物-角闪石内或边缘处，存在有相对富集部位（Zk0-1 钻孔 60-80 米的浸染状黄铜矿明显增多）

2、深大断裂-额尔齐斯断裂的旁侧；

3、挤压环境下形成的中酸性（斑）岩体发育（带内的花岗闪长（斑）岩编号的有 133 余处），希勒库都克铜金矿化受海西晚期花岗闪长（斑）岩体（及接触带）控制，控矿的岩体侵入在花岗岩基和下石炭统南明水组地层中；矿体呈浸染状、稠密浸染状分布于岩体及接触带处，多呈细粒集合体或细网脉分布；

4、有成矿物质来源--铜金化探异常发育。

5、铜矿化受杂岩体的岩相控制，表现为：斜长石粗大环带发育有杂质，呈海绿色，表面不干净，有绢云母化；钾长石相对钠长石明显减少，并且细小；暗色矿物角闪石多于黑云母。

由于缺乏数据和工作时间有限，未能进行统计预测、空间分析等高级 GIS 功能，预测本地区定量成矿预测远景。但我们认为：该区成矿地质条件优越，在其东南已经存在可可塔勒大型铅锌矿床与之类比。经过 2004 年地表工程揭露和钻探验证评价，希勒库都克地区存在铜金矿成矿远景，并且矿床类型具有斑岩铜矿特点，因此有必要加大对该区工作的力度。建议今后的工作以希勒库都克及周围地区为重点，采用常规物探（扫面）、电磁测深（三维立体填图）、综合评价（地质+化探+非常规物探（TEM 或三频激电等方法）），同时建立地质信息数据库和进行铜金矿资源潜力评价，一定会取得较好的效果。

第六章 结论及建议

6. 1 结论

在本文中，首先叙述了多源地学信息数据库的结构设计、工作流程，然后在东天山卡拉塔格地区阿勒泰和希勒库都克地区进行了初步应用并取得一定成果。以下是本次工作取得的一些具有理论意义和实用价值的认识：

1、对于一个缺少地质基础资料的新工作区，通过遥感蚀变信息提取技术来快速评价该区是否存在蚀变潜在区段，其中采用什么准则或技术指标来估计“蚀变”的客观存在是关键。在本次工作中，通过实践已有多种应用形式，对研究区的遥感数据采用了包括 ETM：1、3、4、5 波段“F”组份分析，ETM：1、4、5、7 波段“H”组份分析和波段比值的主成份复合处理等。本区选用“H” 组份分析的 PC3（R），“F”组份分析的 PC4（G）、PC1（B）进行组合，使红山蚀变区以特别鲜艳的杏黄色呈现出来。

2、为有效地增强提取与成矿有关的遥感信息，建立直接或间接的找矿指示标志，对研究区的 ETM 图像进行了增强处理。除采用线性拉伸、直方图均衡、反差增强等基础技术方法外，还选择了波段比值合成、主成份分析、芒赛尔变换、及非监督分类、密度分割等多功能组合进行蚀变信息的提取，从而达到了不同程度示矿特征信息的增强目的，取得了较好的效果。

3、完成东天山地区地、物、化、遥多源信息数据库建设框架以及空间数据处理的前期工作，为下一步新资料入库和使用 MORPAS(金属矿产资源勘察评价分析系统)进行数据管理、数据分析和建立资源评价预测模型建立了重要的基础工作,加快了地质资料的信息化和区域矿产综合评价的进程。

4、根据工作实践,总结出一套图件数字化的工作流程,对每一步的工作内容、工作方法、精度要求和注意事项都作了详细的说明。实践证明,按照此流程来规范整个数字化工作的精度和质量是可靠的。同时还对所使用的软硬件组合作了评述,并提出优秀的组合方案.无论是工作流程或时组合方案,对今后的工作都具有重要的指导意义和参考价值。

5、建设地质基础数据的数据库并精心维护更新是信息化矿产预测的根本。从本质上说，数据库的建设是一项工程而不是一项研究[52]。因此，从管理上需要比对研究项目所采用的管理方式具有更强的内部约束力。在数据库建设过程中，需要参与者遵守一些共同的约定、规范或标准，包括数据的结构和格式、坐标系统、软件接口、文档以及工期[53]。但是，由于统一采用的是研究项目的管理方式，

相对而言较为松散，就很难将这些约定、规范或标准贯彻到底。如有些数据没有按照要求的格式提供，其至同类数据按不同的格式提供，给入库工作带来极大的不便；对区域物探和遥感数据，由于数据量太大，考虑以成果的方式而不以原始数据的方式入库

6、基于 GIS 的矿产资源快速评价总体思路是对地、物、化、遥等多源地学信息的解释。MAPGIS 为本项工作的数字化制图、多源信息的综合处理和分析、找矿预测等提供了十分有效的工具。在实践中，认识到 GIS 的深入应用需要与遥感数据融合技术紧密结合，会取得更好的地质找矿效果，但需要同时熟悉上述不同专业领域的信息解译方法和熟练应用 GIS 的复合性人才，或者多学科专业人士的团结合作、取长补短以及大量的经费支持。

7、本次工作不仅按数据库的要求重新整理了已有的许多基础数据，使这些数据可以以更方便的方式提供共享。而且地质、重、磁、和地球化学的计算机制图和地质编图效果明显，为今后对全区的地质单元分区、地质构造形态研究、模式识别选取地质变量，圈定及优选成矿区带等工作奠定坚实的基础。

8、综合地、物、化、遥多源信息，对东天山卡拉塔格地区进行初步成矿评价并圈出远景区，在阿勒泰的希勒库都克铜金矿化区建立了成矿模式，为后续工作奠定了坚实基础。

6. 2 建议

进行区域成矿分析和矿产资源潜力评价是目前矿产勘查中的一项重要工作，GIS 计算机处理的应用将大大提高矿产资源评价的工作效率。但地质体成矿作用的过程非常复杂，而矿产资源评价本身是一项探索性很强的工作，评价结果会因任务、矿种、地区、资料水平不同而有很大差异。本次研究以项目年度工作为基础，由于本人学时和研究时间有限，其结果还显粗浅，今后需要补充的工作还有很多，针对研究工作中的不足，结合个人体会，建议今后进行以下几个方面的深入工作：

1、没有资源评价所需的专业软件阻碍了应用 GIS 技矿产术进行矿产资源评价的实际应用，随着技术的发展，我们需要选择适合地质专业矿产预测的 GIS 软件或者开发部分模块；

2、地球物理和地球化学数据分析的“异常”提取是基于“高值异常”这个基本认识来进行的，其前期的填图和资料分析等工作是基础，必须严格把关；

3、成矿规律的深入认识和这种认识的飞跃往往是需要多学科、专门的地学知识和理论体系。而计算机信息处理技术只能是成矿分析的辅助工具。目前矿

产资源评价研究的主要问题：

（1）以往通行的矿产资源评价方法经常需要将大量综合方法所取得的专门性数据图件，按一定图件叠置进行综合分析。做定量预测时，又将这些图件通过人工数字化，然后进行预测,这样预测工作周期过长[50]；

（2）解决诸如如何从地质图件提取有利成矿层位，如何将既有化探异常又位于岩体接触带的区域确定下来等问题时，需要人工大量清绘各种中间成果，图件的综合靠人工劳动，其返工率、精度都存在问题；

（3）解决预测工作的重复可利用性。由于地质勘查管理是动态化过程，新的找矿信息与地质理论不断出现，必须随时进行新的预测。

最后，由于参加项目工作时间有限，本人完成的工作重点是建立多源地学数据库和部分野外工作，论文也以本人工作成果为主。后续工作的重点是信息变量赋值和建模型分析等。

本项研究工作还显粗浅，敬请各位老师们和同行们多多指教。

参考文献

一、书刊文献

[1]翟裕生, 邓军, 崔彬等. 成矿系统及综合地质异常. 现代地质, 1999 , 13(1) :99-104

[2] 赵鹏大等. 地质异常成矿预测理论与实践. 中国地质大学出版社，1999。

[3] 陈圣波等. 地球空间信息学概论. 吉林科技出版社，2002。

[4] 鲁学军, 励惠国. 数字地球与地球信息科学. 地球信息科学 1999, 1:41－49

[5] 陈旭瑞. 矿产资源数据库系统的研究及应用. [硕士论文],中国科学院地质与地球物理所. 2000

[6] 李永兵，陈旭瑞，胡俊峰等. 基于 GIS 的地质数据库系统研究现状与发展趋势. 地球物理学进展，第 17 卷，第 3 期，2002 年 9 月

[7] 地质情报部研究所. 国外地质数据库. 地质资料选编(72) ,1982 :1～52

[8] 吴冲龙. 计算机技术与地矿工作信息化. 地学前缘,1998 ,5(1 -2) 343～353

[9] 地球科学数据系统 2WDC 地质科学数据库简介 http :/ /www. wdegco. net ,2001

[10]吴冲龙,汪新庆.地质矿产点源信息系统设计原理及应用[M] . 北京:中国地质大学出版社,1996

[11]汪新庆,刘刚,袁艳斌等. 地质矿产术语分类代码在地矿点源信息系统中的应用.地球科学,1999 ,24 (5) :529～532

[12]汪新庆,刘刚,韩志军等. 地质矿产点源数据库系统的模型库及其分类体系地球科学, 1998 ,23 (2) : 199～204.

[13]方一平, 肖克炎, 王全明等. 基于 ARC/ INFO 的 1/ 500 万中国矿产资源数据库的建设[EB/OL] . http :// www. superfull . com/ Documents/ Applications/ Resource/ MineList . htm ,2001

[14]袁艳斌,姜晖,汪新庆,等. 三峡坝区工程地质信息系统集成开发研究[J] . 地球科学, 1999 ,24(5) : 542～ 544

[15]姜义,张崇山,苏灵芬,等. 数字地质图数据库工作流程[J] . 中国区域地质,1999 ,18 (4) :431～435

[16]戴刚毅,鲍征宇,张锦章. 基于 GIS 的矿山空间数据库的建立[J] . 物探化探计算技术, 2000 , 22 (1) :78～ 81

[17]吴冲龙. 地质矿产点源信息系统的开发与应用. 地球科学,1998 ,23(2) :193～198

[18] 李岩,迟国彬,廖其芳,等. 地理信息系统软件集成方法与实践[J]. 地球科学展,1999 ,14(6) :619～623.

[19] 于海英,郭东欣,曹剑锋. OLE 技术在地下水资源数据库图形管理系统中的应用. 长春科技大学学报, 1999 ,29 (2) :157～159.

[20] 黄维平,辛晓辉,于磊. 石油勘探信息动态网页的实现与应用[J] . 现代地质,2000 ,14 (1) :110～114.

[21] 陈国达. 关于多因复成矿床的一些问题. 大地构造与成矿学. 2000. 24 (3): 199—201

[22] 彭省临, 陈子龙. 多因复成矿床及其研究方法. 见: 地洼学说研究与应用. 长沙: 中南工业大学出版社. 1992: 1—7

[23] 彭省临. 陈子龙. 多因复成矿床及其研究方法. 见: 地洼学说研究与应用. 长沙: 中南工业大学出版社. 1992: 1—7

[24] 涂光炽等. 中国层控矿床地球化学. 科学出版社. 1984. 1—3: 30—36

[25] 吴延之. 层控矿床理论及研究方法. 有色总公司成都干部学院出版社. 1985

[26] 胡受溪等. 矿床学下册. 地质出版社. 1983: 156—181

[27] 彭省临、邵拥军. 隐伏矿体定位预测研究现状及发展趋势. 大地构造与成矿学. 2001. 25 (3): 329—334

[28] 程裕淇、陈毓川、赵一鸣. 初论矿床的成矿系列. 中国地质科学院院报(第一号). 北京: 地质出版社. 1979: 32—57

[29] 陈毓川、裴荣富、宋天锐. 等. 中国矿床成矿系列初论[M]. 北京: 地质出版社. 1998: 1—104

[30] 翟裕生. 论成矿系统. 地学前缘. 1999, 6 (1): 13-27.

[31] 翟裕生. 成矿系统及其演化——初步实践到理论思考. 地球科学. 2000. 25 (4): 333——339

[32] 赵鹏大，陈建平，张寿庭，三联式成矿预测新进展，地学前缘（中国地大，北京），第 10 卷第 2 期 2003 年 4 月

[33] CHEN Jianping , ZHANG Shouting ,TANG Jun , et al. Theoretical consideration to quantitative forecasting of nontraditional mineral resource [J] . Progress i n Geophysics , 2002 , 17(2): 3422348 (in Chinese) .

[34] 赵鹏大，池顺都. 初论地质异常. 地球科学. 1991，16 (3): 241-247.

[35] 陈永清，夏庆霖. 应用地质异常单元圈定矿产资源体潜在地段. 地球科学. 1999，24 (5): 459-463.

[36] 曹瑜, 等. 圈定“5P”找矿地段的 GIS 成矿预测空间模型及其应用. 地球科学. 1999，24 (4): 409-412.

[37] 池三川.隐伏矿床（体）的寻找.武汉：中国地质大学出版社.1988.

[38] 彭程电. 略论个旧锡矿床地质找矿的新发展及其途径. 矿床地质. 1986，5（3）：37-48.

[39] 姚金炎. 隐伏矿床及其找矿方法. 地质与勘探. 1990，26（3）：10-16.

[40] 赵玉琛. 四山玢岩铁流矿田的勘查历史和找矿预测. 地质与勘探. 1990，26（2）：10-16.

[41] 王钟等. 隐伏有色金属矿床综合找矿模型. 北京：地质出版社. 1996.

[42] 王世称,叶水盛.综合信息成矿系列预测专家系统模型[M].长春出版社,1999.

[43] 张均. 隐伏矿体定位预测方法 -以脉状金矿为例[M]. 北京：地质出版社. 1999.

[44] 彭省临，刘亮明，赖健清等，大型矿山接替资源勘查技术与示范研究，北京：地质出版社[M]，2004，224。

[45] 徐强, 潘桂棠, 王立全等. 主要类型铜矿床(体)快速定位预测[M]. 北京:地质出版社，2003.

[46] F. P. Agterberg, 1974，Geomathematics。

[47] ZHAO Pengda. Statistics and prediction of iron ore deposit in Ningwu area [A] . Florilegi um of Ni ngw u V olcanic and Iron Ore Conf erence[C] . Beijing : Geological Publishing House , 1978 (in Chinese) .

[48] 曹瑜、胡光道等，地理信息系统在国内外应用现状，计算机与现代化 1999年 第61卷 第3期 Vol.61 No.3， 1999。

[49] 胡光道, 陈建国. 金属矿产资源评价分析系统设计. 地质科技情报, 1998 , 17 (1) :45 - 49。

[50] 陈石羡. 地理信息系统在金属矿产预测中的应用. 地质找矿论丛, 1998 , 13 (1) :74 - 83.

[51] 池顺都, 赵鹏大. 应用GIS 圈定找矿可行地段和有利地段. 地球科学, 1998 , 23 (2) :125 - 128。

[52] 朱创业. 地理信息系统在矿产预测中的应用. 成都大学学报(自然科学版) , 1999 , 18 (4) :36 - 38.

[53] GIS 技术在区域矿产资源勘查评价中的应用[EB/ OL] . http ://www. chinasd. com/ It/ Gis. htm.

[54] 张晓华, 肖克炎, 刘少华. 大比例尺与中小比例尺矿床综合信息预测对比. 当代矿产资源勘查评价的理论与方法, 北京:地震出版社, 1999.

[55] 翟裕生, 邓军, 崔彬, 等. 成矿系统及综合地质异常 . 现代地质, 1999 , 13 (1) :99 - 104.

[56]金属矿产资源快速评价预测系统研究，中国地质大学等，2003.12

[57]姜作勤. 地理信息系统在矿产资源评价中的应用现状. 当代矿产资源勘查评价的理论与方法. 北京:地震出版社,1999 ,397 - 406.

[58]王世称等,综合信息矿产资源定量评价.地质矿产部培训教材,1987.3

[59]宋国耀,张晓华,肖克炎,等. 矿产资源潜力评价的理论和GIS 技术. 物探化探计算技术,1999 ,21 (3)

[60]肖克炎，张晓华等，矿产资源GIS评价系统，地质出版社，2000。

[61]Word Kilby , Minrral Potential Projict Overiew, 1995。

[62]Harris, D.P.,Mineral Resource Appraisal clarendon Press,1984.

[63]曹瑜,胡光道. 圈定“5P”找矿地段的GIS 成矿预测空间模型及其应用。地球科学,1999 ,24 (4) :409 - 412.

[64]池顺都,周顺平,吴新林. GIS 支持下的地质异常分析及金属矿产经验预测.地球科学,1997 ,22 (1) :99 - 103.

[65]赵鹏大,陈永清. 地质异常矿体定位的基本途径 . 地球科学,1998 ,23

[66]朱思才,吴家齐,刘和发。GIS 在区域矿产资源勘查评价中的应用，有色金属矿产与勘查,1999 ,8 (6) :615 - 618.

[67]国外重要成矿区带典型找矿案例和勘查技术应用，1999，国土资源部信息中心。

[68]苏红旗, 肖克炎, 王四龙. 基于G IS 的证据权重法矿产预测系统(EWM) [J]. 地质与勘探, 1999, 35(1): 44246.

[69]池顺都. G IS, 经验找矿与求异找矿结合的工具—— 化探异常找矿效果经验分析[J]. 地质与勘探, 2000, 36(1): 71274.

[70]卢作祥, 范永香, 刘辅臣. 成矿规律和成矿预测学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991. 2232225.

[71]刘治国等: 成矿预测中应用G IS 的主要步骤。地质找矿论丛 第17 卷 第2 期 2002 年6 月

[72]吴堑虹. 利用G IS 编制矿产预测图。地质与勘探, 2000, 36(3)：48-50

[73]吴信才. 地理信息系统原理、方法及应用. 武汉: 中国地质大学信息工程学院. 2000. 1216, 3062313.

[74]中国地质大学(武汉) 信息工程学院. M A PG IS 地理信息系统使用手册. 武汉: 中国地质大学出版社, 2000. 3232342.

[75]李颖, 杨永旨, 范云芳. 阿尔泰成矿区金矿预测图形库及属性的建立方法[J]. 长春科技大学学报, 2000, 30 (3) : 293-295.

[76]陈永良, 伍伟, 刘大有. 基于M ap Info 的地质变量自动化选择

与赋值。 长春科技大学学报, 2000, 30(3): 289-292.

[77]黄旭钊, 徐昆, 梁月明. 利用 M ap Info 综合分析多源地学信息进行矿产预测[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26 (2) : 189-191.

[78]Li Chunxia, Exploration information system of northern Qilian area, Gansu, China ACTA GEOLOGICA SINICA

[79]姬金生等，东天山康古尔塔格金矿带地质与成矿，地质出版社，1994。

[80]新疆地质研究论文集 ，内部资料

[81]新疆地矿局找矿新成果, 内部资料

[82]傅水兴、李恭、张守林，1999，大区域遥感示矿要素提取的方法技术研究，内部资料

[83]成守德, 新疆古板块构造, 新疆地质, 1986, 第 2 期.

[84] Zhang shoulin, Remote Sensing Geology Exploration Modefor Copper and Gold Deposits in the East Tianshan , Xinjiang. ACTA GEOLOGICA SINICA

[85]马瑞士等，1997，东天山构造演化与成矿，地质出版社

[86]新疆维吾尔自治区地质矿产局，1993，新疆维吾尔自治区区域地质志，地质出版社。

[87]秦可章等，2001《东天山地区构造演化与成矿地质背景研究》,内部资料

[88]Nikos Koutsias,Michael Karteris,and Emilio Chuvieco The User of Hue-saturation-intensity Transformation of Landsat-5 Thematic Mapper Data for Burned land Mapping Photogrammetric Engineering&Remote Sensing Vol.46,No.7,july 2000

[89]V. S. Frost M. S. Perry L. F. Dellwig J. C. Holtzman Digital Enchancement of SAR imagery as an Aid in Geologic Data Extraction Photogrammetric Engineering&Remote Sensing VOL. 49, No. 3, March 1983

[90]马蔼乃，遥感信息模型， 1997，北京大学出版社。

[91]D.R.Gladwell,P.Lawrence,M.Dancziger:The.Application.of.Rapid,Semi-Quantitative clay Mineral Determination at the Cortez Gold Mine,Nevada. Proccedings of International symposium on Remote Sensing of Environment,Fourth Thematic Conference:“Remote Sensing for Exploration Geology” April 1—4,1985.

[92]周成虎等 遥感影像地学理解与分析 科学出版社，2001

[93]冯仲科等，“3S”技术及其应用， 2000，中国农业出版社

[94]朱述龙等，遥感图像获取与分析， 2000，科学出版社。

[95]PCI8.0 Users’ Reference Manual

[96]吴文奎等 南天山伊热大阪多金属矿带地、物、化综合研究及找矿靶区优选报告

[97]翟裕生等，矿田构造学，1993，地质出版社

[98]Shuixing Fu , Shoulin Zhang, Cuixia Li etal. Remote Sensing Technology for Identification of Alteration Information of Gold Deposits in Eastern Tianshan, Xinjiang. ACTA GEOLOGICA SINICA

[99]何国琦，李茂松，刘德权等，1994，中国新疆古生代地壳演化及成矿，乌鲁木齐：新疆人民出版社,43-129

二、Website

http://www.cagis.org.cn

http://info.er.usgs.gov

http://person.swust.edu.cn/my12121/paper.htm

http://gisedu.geog.ntu.edu.tw/

http://www.bigm.com.cn

http://person.swust.edu.cn

附录1、应用标准

一、国家标准

1. 中华人民共和国国家标准 GB/T 9649.16 《地质矿产术语分类代码 矿床学》1988-06-17发布 1989－01－01实施 中华人民共和国国家质量技术监督局发布 958-89 区域地质图图例

2. 中华人民共和国国家标准 GB/T 9649－29 《地质矿产术语分类代码 地球化学勘查》1988-07-08发布 1989－01－01实施 中华人民共和国国家质量技术监督局发布

3. 中华人民共和国国家标准 GB/T 9649－88 《地质矿产术语分类代码》1988-07-08发布 1989－01－01实施 中华人民共和国国家标准局发布

4. 中华人民共和国国家标准 GB/T 13923-92 《国土基础信息数据分类与代码》1992-12-08发布 1993－07－01实施 中华人民共和国国家技术监督局发布

5. 中华人民共和国地质矿产行业标准 DZ/T 0160-1995 《地质图地理底图编绘规范及图式》1996-11-07发布 1996－06－01实施 中华人民共和国地质矿产部发布

6. 中华人民共和国地质矿产行业标准 DT/T 0157-95 《地质图地理底图编绘规范》1995-09-14发布 1996－03－01实施 中华人民共和国地质矿产部发布

7. 中华人民共和国地质矿产行业标准 DT/T 0169-1997 《物探化探计算机软件开发规范》1997-03-19发布 1997－11－01实施 中华人民共和国地质矿产部发布

8. 中华人民共和国地质矿产行业标准 DT/T 0169-1997 《物化探异常数据文件格式》1994-03-15发布 1994－12－01实施 中华人民共和国地质矿产部发布

9. 中华人民共和国地质矿产行业标准 DT/T 0001-91 《区域地质调查总则》 1991-06-11发布 1991－10－01实施 中华人民共和国地质矿产部发布

10. 中华人民共和国地质矿产行业标准 DT/T 0127-94 《固体矿产矿点（床）地质数据文件格式》 1994-03-15发布 1994－12－01实施 中华人民共和国地质矿产部发布

11. 中华人民共和国地质矿产行业标准 DT/T 0146-94 《侵入岩地质数据文件格式》1995-01-27发布 1995－12－01实施 中华人民共和国地质矿产部发布

12. 中华人民共和国地质矿产行业标准 DT/T 0169-1997 《物化探异常数据文件格式》1994-03-15发布 1994－12－01实施 中华人民共和国地质矿产部发布

13. 中华人民共和国地质矿产行业标准 DT/T 0197-1997 《数字化地质图图层及属性文件格式》1998-02-23发布 1998－07－20实施 中华人民共和国地质矿产部发布

14. 中华人民共和国地质矿产行业标准 DT/T 0179-1997 《地质图用色

标准及用色原则》1997-03-19发布 1997－11－01实施 中华人民共和国地质矿产部发布

15. GB/T 2808-81 全数字式日期表示法
16. GB/T 9649-88 地质矿产术语分类代码
17. GB/T 13923-92 国土基础信息数据分类与代码
18. GB/T 13989-92 国家基本比例尺地形图分幅和编号
19. GB 958-89 区域地质图图例

二、行业标准

1. 地质矿产部地质调查局工作标准 DDB9702 《数字化地质图图层及属性文件格式》 版本号1.0 1997－04－10发布 1997－04－10实施 地质矿产部地质调查局发布

2. 地质矿产部地质调查局工作标准 DDB9702 《GIS图层描述数据内容标准》 版本号1.0 1997－04－10发布 1997－04－10实施 地质矿产部地质调查局发布

3. 地质矿产部地质调查局工作标准 DDB9701 《资源评价工作中地质信息系统工作细则》 版本号1.0 1997－04－10发布 1997－04－10实施 地质矿产部地质调查局发布

4. 固体矿产资源报告格式规定 1995年7月 (T-625.2 2-69)
5. 有色地质成矿区带地区化学普查资料建库设计
6. 有色地质成矿区带地质、物探、化探数据库研制
7. 新疆305项目20万图幅数据库目录结构
8. 国家305项目地质矿产综合信息库专题设计书

附录 2、东天山工作区（1:20 万图幅）已有数据情况表

纬度 \ 经度	89°	90°	91°	92°	93°	94°	95°	96°
4320	吐鲁番（K45-12） 地质图	鄯善（K46-7）	十三间房（K46-8） 布格重力异常图 剩余重力异常图	了墩（K46-9） 布格重力异常图 剩余重力异常图	哈密（K46-10） 地质图 布格重力异常图 剩余重力异常图	伊吾（K46-11） 地质图 化探数据 地层数据 侵入岩数据 布格重力异常图 剩余重力异常图	下马崖（K46-12） 地质图	
4240	库坎尔（K45-18） 地质图 地层数据 侵入岩数据 矿产数据 布格重力异常图 剩余重力异常图 航磁异常图	秋格明塔什（K46-13） 地质图 地层数据 侵入岩数据 矿产数据 化探数据 布格重力异常图 剩余重力异常图 航磁异常图	康古尔塔克（K46-14） 地质图 地层数据 侵入岩数据 矿产数据 化探数据 布格重力异常图 剩余重力异常图 航磁异常图	大草滩（K46-15） 地质图 地层数据 侵入岩数据 化探数据 布格重力异常图 剩余重力异常图 航磁异常图	大南湖（K46-16） 地质图 布格重力异常图 剩余重力异常图 航磁异常图	烟敦（K46-17） 地质图 布格重力异常图 剩余重力异常图 航磁异常图	梧桐窝子泉（K46-18） 地质图 布格重力异常图 剩余重力异常图 航磁异常图	
4200	奥图拉托克拉（K45-24）地质图 地层数据 侵入岩数据 矿产数据 布格重力异常图 剩余重力异常图 航磁异常图	阿克齐山（K46-19） 地质图 地层数据 侵入岩数据 矿产数据 化探数据 布格重力异常图 剩余重力异常图 航磁异常图	卡瓦布拉克（K46-20）地质图 地层数据 侵入岩数据 矿产数据 化探数据 布格重力异常图 剩余重力异常图 航磁异常图	咯拉塔格（K46-21） 地质图 地层数据 侵入岩数据 矿产数据 布格重力异常图 剩余重力异常图 航磁异常图	图兹雷克（K46-22） 地质图 布格重力异常图 剩余重力异常图 航磁异常图	砂泉子（K46-23） 地质图 化探数据 布格重力异常图 剩余重力异常图 航磁异常图	星星峡（K46-24） 地质图	
4120								

致 谢

在攻读硕士研究生的三年中，一直得到导师高光明教授的亲切关怀和精心指导，他对我的学习和论文的顺利完成自始至终都相当关注，并倾注了大量心血，不仅传授给我科学知识和严谨的治学态度，还传授了许多为人处世的道理，在此我对导师致以最真挚的感谢！

在参加项目研究的过程中，北京矿产地质研究院的王京彬院长、付水兴副院长、王书来高工、李春霞高工、张守林高工，在生活、学习方面给予我很大的帮助和指导，在此表示衷心的感谢！

感谢在论文编写过程中，给予我帮助的师兄成功博士、曾新平博士；室友及同学张建国硕士、王雄军硕士、李雷硕士、童孝忠硕士，他们勤奋好学、谦虚谨慎、团结协助的精神为我营造了很好的求学环境。

特别感谢邵拥军老师的指导和帮助！

最后，感谢我的家人对我的学习和工作的支持和理解，感谢母校的培养！

在读期间，主要协助和单独完成如下工作：

1.参与国家 973 子项目（项目专题《大型矿集区识别与预测》）的 2004 年度工作——地质、物化探和遥感数据处理和建库工作以及部分野外工作（卡拉塔格），并顺利的通过了中评估；

2. 完成内蒙扎兰屯市碰头岭地区金铜矿普查、内蒙鄂伦春旗吉峰地区铅锌多金属资源评价项和黑龙江多宝山铜矿、东安金矿预测等项目的化探异常图、地质图等大量图件；

3. 2004. 6-2004. 9 参加新疆富蕴县麦兹地区铅锌金矿、希勒库都克铜金矿的野外填图、探槽和钻孔编录及剖面测量等工作，并配合完成图件绘制和年终汇报的编写。

4. 配合完成内蒙牙克石免渡河、加疙瘩、盘山、西陵梯、大梁地区和新疆哈密卡拉塔格、湖南大根垄、黄沙坪、贵州大厂、 新疆乌恰－阿图什地区铅锌矿评价等项目中的年初设计、年终汇报、验收检查、报告编写中的图件绘制和图形图像处理工作；

5．2005．3—2005．4 参加河南有色地勘局和我校地学院合作的河南省商城县大埠河地区 1/10000 填图和碾子湾地区 1/5000 填图及控矿构造研究项目，并完成后期图件绘制。