



国家三〇五项目系列丛书

总主编: 涂光炽 孙 枢 肖序常 陈毓川 何国琦

中国天山铜矿带找矿靶区优选

杨建民 张玉君 邓 刚 薛春纪 等著

地质出版社

国家三〇五项目系列丛书
新疆优势矿产资源勘查评价研究
专题代号：2003BA612A-06-04

中国天山铜矿带找矿靶区优选

杨建民 张玉君 邓 刚 薛春纪 等著
傅旭杰 姚佛军 高景刚

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书属于“十五”国家科技攻关 305 项目的专题研究成果。目前将遥感技术与地质找矿理论相结合,是矿产资源探测的新手段,发展迅速,应用广泛。本书在典型矿床蚀变矿物研究的基础上,在东天山地区建立了斑岩铜矿、矽卡岩型铅锌矿和镁铁-超镁铁岩型铜镍矿床遥感找矿模型,利用 ETM⁺ 蚀变遥感异常提取技术,有针对性地对东天山-北山地区 16 万 km² 范围内的不同类型矿床进行了蚀变遥感异常的提取。利用 GIS 空间数据叠加分析平台,将地质、构造、物探、化探与遥感找矿信息进行综合分析,优选了找矿靶区。工作共对 400 余处找矿异常点进行了以铜矿找矿为主的实地查证,蚀变遥感异常与已知矿床、矿点的吻合率大于 86%。在一些已知矿床(点)外围发现了新的找矿线索;并依据蚀变遥感异常新发现了罗东镍矿、沙泉子铅锌矿等。本书专题完成了 1:50 万东天山-北山成矿预测系列图件,优选了铜矿找矿靶区。这标志着以遥感找矿异常为主导的多元信息综合找矿技术在荒漠戈壁景观区的找矿获得成功。

本书可为应用遥感技术方法寻找金属矿产具有指导和参考意义。

图书在版编目(CIP)数据

中国天山铜矿带找矿靶区优选/杨建民等著. —北京:
地质出版社, 2008. 1

ISBN 978 - 7 - 116 - 05567 - 4

I. 中… II. 杨… III. 天山—铜矿床—找矿—研究
IV. P618.410.624.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 204842 号

责任编辑:白 铁 王大军

责任校对:关风云

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话:(010) 82324508 (邮购部); (010) 82324579 (编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京地大彩印厂

开 本:889mm × 1194mm¹/₁₆

印 张:15.25

字 数:500 千字

印 数:1—1000 册

版 次:2008 年 1 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价:100.00 元

书 号:ISBN 978 - 7 - 116 - 05567 - 4

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

国家三〇五项目系列丛书是 全体科技人员辛勤劳动的结晶！

国家三〇五项目：

“七五”国家科技攻关 75 - 56 项目“加速查明新疆矿产资源的地质、地球物理、地球化学综合研究”

“八五”国家科技攻关 85 - 902 项目“加速查明新疆黄金、有色金属大型矿产资源基地的综合研究”

“九五”国家科技攻关 96 - 915 项目“加速查明新疆优势金属矿产资源及大型矿床的综合研究”

主 持 部 门：

新疆维吾尔自治区人民政府

联合实施部门：

国土资源部(原地质矿产部)

中国科学院

中国有色金属工业总公司

国家教育委员会(教育部)

原冶金工业部

国家自然科学基金委员会

国家三〇五项目系列丛书得到：

新疆维吾尔自治区人民政府

中 国 科 学 院 特别资助

国家自然科学基金委员会

国家三〇五项目系列丛书

总 主 编：涂光炽 孙 枢 肖序常 陈毓川 何国琦

国家三〇五项目系列丛书编辑委员会

主 任：涂光炽 孙 枢

副 主 任：肖序常 陈毓川 何国琦

委 员：(按姓氏笔画)

马映军 马福臣 王宝林 王京彬 王金良

刘益康 孙 枢 孙肇钧 肖序常 李庆昌

吴乃元 何国琦 陈毓川 张良臣 张洪涛

涂光炽 徐 新 范蔚茗

执 行 委 员：徐 新 郝 杰

丛书编辑组：白 铁 王大军 邢瑞玲 李凯明 沈 镭

郝梓国 余宏全 朱明玉 王江海 刘建三

总 序

在 20 世纪 80 年代初期，为贯彻党中央提出的国家经济建设重点逐步西移的战略构想，提前为西部大开发作好矿产资源准备，国家专门在新疆设立了国家级地学科技攻关项目。国家计委、国家科委以计科（1985）305 号文批复将新疆地质矿产综合研究列为“七五”国家科技攻关项目，从此“国家三〇五项目”就成为一个约定俗成而被正式使用至今的名称。

在国家科技部领导下，国家三〇五项目由新疆维吾尔自治区与地质矿产部（国土资源部）、中国科学院、中国有色金属总公司、国家教育委员会（教育部）、冶金部、国家自然科学基金委员会、中国核工业总公司等部门联合实施并提供资金支持，在项目总体设计、攻关队伍的组织、目标管理与过程管理、研究网络的构建和科技经济一体化运行等方面进行了不断的探索和实践。

国家三〇五项目在一个地质研究和矿产勘查程度很低的大区域启动，为查明大型矿床成矿的地质背景，在现代大陆地质与成矿学理论指导下，进行了大量的野外调查和室内测试分析，结合运用高精度的地球化学、地球物理、航天航空遥感、计算机数据模拟等现代技术。经过持续 20 年的科技攻关，把新疆地质矿产研究提高到新的水平，取得了丰硕成果。

20 年来先后发现和圈定了 41 条重要矿带、200 余处找矿靶区和 50 多处评价基地，特别是阿尔泰山南缘金多金属矿带、吐拉苏金矿带、天格尔金矿带、察汗萨拉锦银矿带、康古尔塔格金矿带等成矿带的发现更具有开拓性意义。地球化学研究圈出地球化学单元元素异常 36947 个、综合异常 2423 个，在快速查证中发现数百处可供地勘部门开展工作的普查基地。提交科研预测储量（333 - 334 资源量）：金 1070 吨、铜镍 1145 万吨、铅锌 1280 万吨、钾盐 3 亿吨，潜在价值万亿元以上。

与地勘部门及矿产开发部门合作，极大推进了科技成果向产业转化。一系列重要矿产地陆续开发，包括多纳那萨依、赛都、萨尔布拉克、萨尔阔布、阔尔真阔腊、康古尔塔格、马头滩、马庄山、望峰、萨日达拉、阿希、伊尔曼得、京西、恰布坎卓它等大中型金矿，喀拉通克、阿舍勒、科克塔勒、黄山、喇嘛苏、土屋等大型有色金属矿床；已形成阿尔泰山南缘和东天山两条黄金有色金属矿业开发带和阿舍勒铜矿、可克塔勒铅锌矿、罗布泊钾盐等 10 余处大型矿产开发基地；有力地推动了新疆矿业经济的发展，并为矿产普查开辟了广阔前景。

在新疆地壳结构与地质演化方面，研究了多期次蛇绿岩、基性 - 超基性杂岩、高压变质岩、不同类型花岗岩、海相与陆相火山岩、广泛发育的富碱岩带和多处深源岩石包体，揭示了新疆古生代洋陆格局变迁和地壳增生过程，提出了陆间洋盆、多块体聚合、显生宙地壳增生、后造山伸展、陆内造山和盆山耦合的“中亚型造山带”演化框架，碰撞后地壳垂向增生在中亚岩石圈演化过程中具有重要意义。多条贯通全区的地球物理综合剖面，初步显示出造山带与盆地的岩石圈、软流圈的结构特征与耦合关系。十多年的地学科技攻关表明，新疆及中亚地质构造具有显著的区域特色，其古生代洋陆格局、造山带演化与陆壳增生机制比环太平洋、喜马拉雅 - 阿尔卑斯等世界级造山带更为复杂多样。

在中亚造山带成矿作用方面，初步完成了新疆主要地质和成矿事件年表，揭示了中新元古代、早古生代和晚古生代有多次重要成矿期，特别是提出了石炭纪末至二叠纪初存在着大规模的成矿事件。与环太平洋带及特提斯带以中 - 新生代为主要成矿期不同，中亚造山带以晚古生代大规模集中成矿为主要成矿时期。大型 - 超大型矿床多期多阶段富集特征明显，基底的成矿预富集作用对大型 - 超大型矿床的形成具有重要意义，块体边缘与缝合带是成矿元素大规模聚集的有利场所，古陆壳多次裂解时期和挤压构造的伸展部位有利于大规模成矿物质的聚集。特色矿床类型主要与陆壳裂解伸展作用有关，如基性 - 超基性铜镍硫化物矿床、与海相火山岩有关的块状硫化物矿床、陆相火山岩浅成低温热液金矿床、与含碳碎屑岩有关的穆龙套型金矿床和与富碱岩系有关的稀有（金）矿床等。中亚造山

带成矿类型丰富,成矿机制多样,成矿过程复杂,不能被其它造山带成矿模型所涵盖。由此,提出“中亚成矿域”的概念,初步揭示了中亚成矿域的全球构造背景和成矿作用特点,为大陆成矿理论创新提供了条件。提交研究报告400多份,发表论文600多篇,出版地质矿产专著40多部。

国家三〇五项目适应成矿带研究、靶区筛选与评价的需要,先后引进和开发了38种矿产勘查新方法、新技术,与常规的技术方法相结合,形成了项目研究方法组合模式和快速评价新技术系列,在“区域选带、带中选段、段中求矿”的连续跟踪、高效勘查中发挥了重要作用。此外,在金属矿采、选、冶技术工艺开发方面有应用实绩,如高纯金属锂试制成功,技术工艺达到世界先进水平;非金属矿产(膨润土、蛭石、高岭土、沸石、地开石等)应用研究和深加工工艺技术开发取得系列成果。

依托项目先后与美、日、英、法、德、俄、澳、蒙、哈等20多个国家和地区的研究机构在基础地质和矿产地质方面开展合作研究40多项;与国内外矿业公司共同实施风险勘探项目多项。实际引进风险勘查资金2.5亿元。

国家三〇五项目野外工作地区,在新疆的三大山系和戈壁荒漠,环境艰险,有些地方被称之为“生命禁区”,有不少可歌可泣的事迹。在艰苦卓绝的奋斗拼搏中,老一辈地质学家亲自担纲、言传身教,一批青年地质科研人员成长为学术带头人和技术骨干,形成了一支大陆地质科学与中亚成矿域研究的跨世纪人才梯队。根据对62个专题的调查,在读的研究人员210人,培养出硕士87人、博士56人、博士后10人;晋升技术职称的359人,晋升教授、研究员和教授级高级工程师的98人,晋升副教授、副研究员及高级工程师的151人,晋升讲师、助理研究员和工程师的110人。据此推算,总计培养博士、硕士和晋升高级技术职称者应在千人以上。

当今我国西部大开发战略已经全面实施,新疆地质矿产事业得到前所未有的繁荣和发展,回顾20年前开始的国家三〇五项目科技攻关,人们不能不敬佩我国地质界巨子和国家科技计划决策者们的远见卓识。国家三〇五项目作为一项先导性科技工程,对加速新疆矿产资源勘查、引导矿产资源合理开发发挥了重大作用,对促进我国矿产资源接续基地建设、维护我国资源安全产生了深远影响。人们不会忘记那些为国家三〇五项目实施做出过杰出贡献的发起者、组织者和领导者,国家三〇五项目的成功实施会给他们带来由衷的喜悦和欣慰。对曾经为国家三〇五项目呕心沥血的先逝者,我们愿以这套系列专著作为对他们的纪念。

国家三〇五项目的第一批系列专著已经陆续与读者见面,这些专著和图件是千余名地质科学工作者近20年在新疆地质矿产科技攻关中辛勤劳动和共同奋斗的结果。在编辑委员会领导下,系列专著的撰写者和编审者付出了巨大的辛劳,积锲而不舍之功,其中包括《中国新疆地壳结构与地质演化》、《中国新疆优势金属矿产成矿规律》、《中国新疆金矿床》、《中国新疆铜矿床和镍矿床》、《中国新疆铅锌矿床》、《中国新疆稀有及稀土金属矿床》、《中国新疆非金属矿床》、《中国新疆花岗岩》、《中国新疆地壳演化主要地质事件年代学和地球化学》、《中国新疆北部富碱火成岩及其成矿作用》、《中国新疆阿尔泰成矿带矿床地质、成矿规律与技术经济评价》、《中国新疆地质概要》、《中国新疆区域成矿作用年代学》、《中国新疆南部(青藏高原北缘)盆山构造及其演化》、《中国新疆阿尔泰—准噶尔—天山地学断面综合探测与研究》、《中国新疆阿尔泰山地质与矿产论文集》、《中国新疆天山地质与矿产论文集》、《中国新疆昆仑—阿尔金地质与矿产论文集》、《中国新疆及邻区大地构造图》及说明书、《中国新疆天山—塔里木—昆仑山地学断面》及说明书、《中国新疆阿尔泰—准噶尔—天山地学断面》及说明书等。随着三〇五项目的继续实施,还将有一批新的成果陆续出版。

国家三〇五项目系列专著的出版,得力于国家科技部、新疆维吾尔自治区人民政府、中国科学院、国土资源部等部门的鼎力支持,也得到有关方面专家、学者的热诚关怀。在此,一并表示衷心的感谢。

国家三〇五项目系列丛书编辑委员会

2008年8月

前言

新疆天山总体为一巨型古生代造山带，位于准噶尔地块和塔里木地块的结合部位，大地构造环境复杂，岩浆活动频繁，沉积建造类型丰富。对成矿有重要意义的建造主要有：双峰式火山岩建造、复理石建造、含碳碎屑岩建造、火山-类复理石建造，以及岩浆作用形成的各种钙碱性、碱性花岗岩类建造、镁铁-超镁铁岩建造、地幔热柱有关的深源碱性（火山-花岗岩）建造、裂谷玄武岩建造、绿岩建造等。根据大地构造环境和构造单元地质特征分析，东天山是寻找斑岩型铜钼矿、岩浆熔离型铜镍矿、火山沉积-改造型铜矿、与韧性剪切带有关的海相火山岩型金矿的有利地区。

在基础地质方面，天山地区 1:20 万区调和 1:20 万~1:50 万化探扫面已全部覆盖，大部分地区已完成 1:50 万~1:100 万区域航磁测量、1:100 万区域重力测量，在东天山等部分地区还开展了 1:10 万~1:20 万航磁测量、1:2.5 万~1:5 万航空综合测量以及 1:20 万重力测量，在重要成矿带还开展了 1:5 万区调和部分 1:5 万化探普查。全区已完成两轮成矿区划，东天山地区的第三轮成矿区划正在进行中。在矿产勘查方面，区内已开展各类矿产勘查项目约 700 余项，相继发现了一大批具有经济价值的矿床。特别是 1999 年新一轮国土资源大调查项目正式启动以来，取得了地质找矿的重大突破，发现评价了土屋、延东大型铜矿床和罗布泊大型钾盐矿床，并发现了一大批有找矿潜力的新的矿产地。但是，与周边国家相比，天山地区工作程度低，矿产资源尚未查清，主要表现在：已完成的 1:20 万区调资料比较陈旧，区域性矿产资源评价工作少；1:5 万~1:10 万化探普查投入不够，异常查证力度不足；点上部署相对较多，区域展开不足；找矿方法的有效性研究，尤其是矿区中大比例尺物化探方法的有效性研究还需进一步加强。这些问题直接影响到对天山地区矿产资源的正确评价，影响到整个新疆地区的优势资源转换战略和西部大开发战略的实施。

“天山铜矿带找矿靶区优选”（编号：2003BA612A-06-04）是国家“十五”科技攻关课题“新疆优势矿产资源勘查评价研究”的第 4 专题，在新疆资源环境中心（国家 305 项目办公室）和中国地质调查局的组织领导下，由中国地质科学院矿产资源研究所负责，长安大学和新疆地矿局第六地质队参加。专题负责人为杨建民，主要研究人员有张玉君、薛春纪、傅旭杰、姚佛军、邓刚、高景岗、莫新华、吴华。专题执行的前两年郭月敏参加了部分工作。矿产资源研究所的李蒙文博士研究生、长安大学的李强工程师、涂其军工程师，硕士研究生姚卫华、耿新霞等也参加了部分野外及室内资料整理工作。本专题旨在对东天山铜矿找矿潜力作出评价，提供 3~4 处大型铜矿找矿靶区。根据新疆资源环境中心（国家 305 项目办公室）和中国地质调查局的要求，针对专题总体研究内容和攻关目标，专题组开展了五方面的研究内容：①东天山地区区域成矿地质构造环境与成矿规律研究；②遥感矿化蚀变异常形成机理研究；③天山地区不同地貌条件下遥感矿化蚀变异常提取方法试验及大比例尺遥感矿化蚀变异常提取研究；④GIS 多元信息定量化预测评价研究；⑤图形可视化处理。

本次研究工作运用找矿预测的新理论、新技术与新方法，边研究，边预测，力争铜矿找矿的重大突破，为国家提交一批矿产评价基地。通过大量的野外实地调查与实地查证，以及地质、化探、物探与遥感数据的处理和综合分析，深化对东天山-北山铜矿床成矿地质构造环境与成矿规律的认识，借鉴大型超大型矿床成矿模式和综合找矿模型，进行区域成矿条件分析，阐明各类金属矿床的成矿前景，确定找矿预测的方向。我们选择土屋铜矿、黄山东铜镍矿、坡十铜镍矿与红十井金矿等典型矿床进行解剖研究，通过不断对区域型面上工作的深入研究，总结找矿评价的宏观准则与找矿标志。利用便携式短波红外矿物分析仪（PIMA）对典型铜矿矿区的各类蚀变岩石进行测试，对测试的样品波谱特征进行蚀变矿物的识别与分析统计，进行 ETM⁺ 蚀变遥感异常形成机理研究，为蚀变遥感异常提取奠定基础。

专题组将 ETM⁺ 蚀变遥感异常作为一个与地球化学、地球物理等同等重要的找矿独立参数进行研究, 对其提取技术方法进行了进一步完善。在主分量分析、比值分析的基础上, 又将光谱角填图、阈值处理分级等方法引入了 ETM⁺ 蚀变遥感异常信息提取技术中。专题组在东天山地区以土屋铜矿与黄山东铜镍矿为典型矿床, 建立了斑岩铜矿和镁铁超镁铁岩型铜镍矿床遥感找矿模型, 在北山裂谷带以坡十铜镍矿与红十井金矿为典型矿床, 建立镁铁超镁铁岩型铜镍矿床和破碎带蚀变岩型金矿的遥感找矿模型。利用 ETM⁺ 蚀变遥感异常提取技术方法, 有针对性地对不同类型矿床进行蚀变遥感异常的提取, 快速有效地缩小了找矿靶区的范围。室内研究结果表明, 不同类型的矿床的 ETM⁺ 蚀变遥感异常有不同的特点, 利用不同的 ETM⁺ 蚀变遥感异常提取技术方法进行处理, 能够明显地对它们进行区别。

在先后完成了 9 万 km² 的 ETM⁺ 数据蚀变信息提取的基础上, 我们进行了 GIS 多元信息集成定量预测评价研究与图形可视化处理的研究, 优选找矿靶区: 即利用 MapInfor 与 MAPGIS 空间信息叠加分析平台, 将地层、构造、化探异常、物探异常、遥感蚀变等多源信息进行综合分析, 进行透视叠加, 分析过程可视化, 达到了多专业找矿信息汇集、处理、提取、浓缩、叠加和综合, 优选大型矿床找矿靶区, 为找矿提供直接的帮助。专题组对东天山的 280 余个与铜、金及其多金属矿化找矿有关的 ETM⁺ 蚀变遥感异常点进行了实地查证。利用 ETM⁺ 蚀变遥感异常发现了铜矿化地 4 处, 铅锌银矿化地 1 处, 金矿化地数处, 扩大了多处已知矿床的找矿前景。新疆地矿局第六地质队进行了多个区段的勘查区登记, 并对罗卜北超基性杂岩体、白石泉铅锌矿点、笔架山铜矿点、阿其铜矿点与罗东铜镍矿点等进行了物探、化探、探槽以及钻探等工程验证。据新疆地矿局第六地质队验证结果, 罗东铜镍矿已经达到中型规模。

在研究过程中, 我们始终把握两个方向和一个目标, 即结合东天山实际地质特点, 运用现代成矿理论, 深入研究区铜矿成矿规律和成矿过程, 建立典型铜矿床蚀变遥感找矿模型, 积极面向地质大调查和找矿勘查, 建立适宜戈壁裸露区遥感找矿的新技术和新方法。通过理论创新和新技术、新方法的研制和实践, 建立了以 ETM⁺ 蚀变遥感异常技术方法为主导, 地物化遥等多源信息综合分析的大型铜矿床找矿预测技术方法体系和大型铜矿床快速评价技术方法体系, 为加速查明我国西部矿产资源提供理论和技术支撑, 达到促进东天山及邻区地质找矿的持续深入进行之目标。在专题组人员的共同努力下, 取得了以下主要进展:

1. 分析了蚀变异常找矿标志的地质依据

岩石的交代蚀变主要是不同类型的热液与原生岩石相互作用的产物。近矿围岩蚀变是成矿物质逐步富集成矿过程中留下的印迹。绝大多数内生矿床都伴随有其围岩的交代蚀变现象, 而且蚀变带范围大于矿体分布的范围数倍至数十倍。热液蚀变岩石的发现, 可以指示找矿方向, 增加找到矿床的机会。大型、特大型内生矿床一般均有强烈且较大范围的围岩蚀变。遥感获得的是地表信息, 只要有一定面积的蚀变岩石出露, 就可能被遥感检测, 也就是说即使矿体隐伏, 只要有足够面积的强蚀变岩出露也是有可能用遥感发现的。此外还分析了蚀变分带及其强度分级的现象。在查阅近矿围岩蚀变专著的基础上编制了岩石蚀变强度分级表, 有助于理解蚀变异常找矿的地质依据。

2. 剖析了蚀变异常提取的波谱前提

本书引用了 1978 年 Hunt 以矿物标本反射光谱实验研究为基础所归纳出的对蚀变遥感异常提取极为重要的结论:

1) 主要造岩矿物的主要成分, 即硅、铝、镁和氧, 其振动基频在中红外和远红外区, 波长位于 10 μm 附近或更长区域, 第一倍频也在 5 μm 附近或更长区域, 高倍频谱带强度太弱, 所以在可见—近红外 (VNIR) 区不产生具有诊断性的谱带。

2) 岩石中的次要成分, 如铁离子或蚀变矿物, 可形成岩石谱带中的优势地位。换言之, 在可见及近红外区中, 天然矿物和岩石最常见的光谱特征是由这样或那样形式存在的铁产生的, 或者是由水、OH⁻ 基团或 CO₃²⁻ 基团产生的。关于它们的波谱以下将较细致地讨论。

3) 热液蚀变矿物在短波近红外波段具有诊断性强吸收特征, 它们是纯矿物本身固有的特征。不

同矿物混合在一起组成岩石并不能改变矿物的波谱特征，因此岩石的波谱是组成岩石的纯矿物波谱的线性组合，但某种矿物吸收特征的强弱不但取决于其含量，还取决于辐射能量的可接近程度。例如某一矿物被透明矿物所包围时，其吸收特征就较强，反之亦然。吸收特征的尖锐程度取决于矿物的结晶程度，结晶程度越好吸收特征越明显。

4) 绝对反射率和谱带的光谱对比度，对矿物颗粒大小非常敏感。对透明物质来说，一般的规律是，粒级越小，总反射率越高，但光谱对比度降低。不透明物质，粒级越小，反射率越低。

3. 提出了几个重要的相关定义

1) 蚀变遥感异常是找矿的独立参数：用物理和化学的原理研究地质构造和解决找矿勘探中问题的众多方法提交各自的异常图件，诸如：航磁异常图、布格重力异常图、区域化探异常图……，这些异常都是独立的参数。自从 Landsat4 增设了两个短波红外波段：TM5 (1.55 ~ 1.75 μm) 和 TM7 (2.08 ~ 2.35 μm) 以来，为找矿呈献了一个崭新的手段：提取具找矿标志意义的热液蚀变岩石信息。20 多年来国内外遥感工作者为开发利用这种信息进行了卓有成效的试验研究，证实蚀变岩石 TM 遥感信息与金属矿床有非常好的相关性，所提取的蚀变遥感异常作为一种找矿标志的参数同样具独立性。ETM⁺ (TM) 数据的积累及计算机软硬件能力的发展已达到适应大面积“扫面性”遥感异常提取工作的水平，此类工作所涉及的理论和技术性问题如此广泛，可以和任何一个物化探独立参数所涵盖的内容相比拟。

2) 蚀变遥感异常 (简称遥感异常)，RSA (Remote Sensing Anomaly) 依据地表蚀变岩石原、次生矿物中的 Fe^{3+} 、 OH^- 等引起的光谱强吸收现象，利用数学分析 (变换) 方法从 TM 数据中提取的特殊遥感信息——蚀变遥感信息。其灰度图的背景值和异常下限一般由均值加 k 倍标准离差界定，高于背景值的蚀变遥感信息区、带称为蚀变遥感异常。

3) 羟基异常，OHA (Hydroxylate Anomaly) 源于 OH^- 等阴离子基团振动过程的蚀变遥感异常称为蚀变异常。

4) 铁染异常，FCA (Ferric Contamination Anomaly) 源于 Fe^{3+} 等阳离子电子过程的蚀变遥感异常称为铁染异常。

4. 利用模型试验进行方法选择

在对遥感异常提取的常见技术方法 (波段比值法、主分量分析、光谱角法) 原理、效果、优缺点、互恰性等综合对比评述的基础上，利用模型试验进行了遥感异常提取主要方法的选择。认为应以主分量分析为主要手段，并辅以光谱角法，制定遥感异常提取技术。

5. 借助模型试验探讨 PCA 的灵敏度极限

通过模型试验探讨了 PCA 的灵敏度极限，试验结果证明用 PCA 提取蚀变信息的检出限优于两万分之一或十万分之五。这意味着在面积为 2 万 km^2 的图幅上，只要蚀变岩 (有强有弱) 的总面积不小于 1 km^2 ，即可被 PCA 提取出来。

6. 信息论的几点应用 (异常主分量的信息量计算、直方图正态性检验和异常分级)

遥感信息的处理是以概率论、数理统计和多元统计分析为数学理论基础的，概率论的中心极限定理有助于理解遥感数据的许多现象 (袁志发, 2003)。我们所提出的去干扰异常主分量门限化技术流程，异常强度等级是以异常主分量标准离差 σ 为尺度的，于是便思考以下问题：它与标准正态分布是否接近？当改进主分量分析时所得异常主分量的信息量增加多少？为此采用直方图的香农熵评价异常主分量的信息量，并采用偏度和峰度联合检验法对其直方图做正态性检验。通过信息量计算和正态性检验评价了三种异常主分量及其直方图。在实际应用中以标准离差 σ 为尺度划分羟基异常 (OHA) 和铁染异常 (FCA) 各三级。

7. 去干扰异常主分量门限化技术流程及其在荒漠戈壁等不同景观区的适用性和特点

经过十余年中对云南红土涧、甘肃柳沟峡、西部大面积蚀变遥感异常提取和应用研究，以及本项目的深化研究，形成了一套独具特色的方法技术，即“去干扰异常主分量门限化技术” (Deinterfered Anomalous Principal Component Thresholding Technique)，其流程包括预处理、准归一化、信息提取、

后处理和异常分级 5 个层次。对于海量遥感数据（数十甚至数百景 ETM⁺（TM））的处理、管理和存储，无疑借用数据库方式是最佳的出路，故首选 PCI 系统作为主要工作软件环境，在本书任务中完成了 9 景近 30 万 km² 的 ETM⁺、TM 数据（13730、13731、13831、13832、13931、13932、14031、14131、14729）信息提取，其中有的景用了两个以上时相，面积不参与重复计算。

该流程的主要特点是：

1) 该技术建立在以整景 ETM⁺（TM）图像数据（185 km×185 km）为基本处理单元上。

2) 原始数据经准归一化处理，获得同一比例尺的视反射率值，从而改进了相邻景异常水平的可比性及拼图色调的一致性。文献中所报道一般仅为数百平方千米的处理，蒙古国虽在 1998 年对 85 景处理了 60 景（占 70%），但未见具体技术报道。

3) 去干扰问题解决得较好。预处理和后处理使异常得到尽可能的优化（纯化）；大量的数据处理所遇到的干扰种类（水体、冰、雪、云、云影、地形阴影、植被、盐碱地等）无疑超过任何文献报道中所遇到的干扰种类。

4) 主分量分析由于改善了异常主分量的直方图，扩大了数据门限化的动态域；去干扰掩模 PCA 压缩了非目标区的影响。

5) 门限化异常分级改善了异常图的直观性效果。

6) 数据库管理形式有利于标准化工程进展和成果的存储及传递。

8. 通过预处理和后处理使异常得到尽可能的优化（纯化）

预处理去干扰工作是通过谱特征观察（Profile, Min, Max, Histogram, Scatter Plot, et），灵活选用不同的数学方法，将可能形成干扰的非目标地物经数学处理归入干扰窗，去干扰后获得基础图像；并形成掩模，以便进行掩模主分量分析（Masking Principal Component Analysis），尽可能地减少干扰物（水体、云、雪、冰、盐碱地、地形阴影、云影、植被等）对异常提取工作产生的影响。

为了进一步优化所提取的异常，异常提取之后尚需进一步仔细观察是否存在残余干扰造成的假异常，采取数字手段通过后处理对异常加以优化。

9. 通过模型实验研究植被干扰容限度问题

植被是矿致遥感异常提取过程中的常见干扰因素。通过两个模型探讨了植被干扰的容限度问题。实验结果都表明，当混合像素中植被成分达到或超过 50% 的时候，蚀变异常就很难提取了，这一结果与澳大利亚飞机上所测量的结果是一致的。

在支援云南所做滇西北的信息提取结果就充分证明了这一点。对于云南中甸高山植被茂密地区的 13240 景的研究初步探讨高的植被区的异常提取效果。对于高山植被茂密的 13240 景，完成蚀变异常提取后，又分别以普朗斑岩铜矿和红山铁矿为参考样板，用 SAM 对异常优选，经云南地调院选点和地面查证，发现了地苏嘎 Cu 矿点；探槽揭露发现了出露宽度分别达 6 m 和 11 m、含 Cu 0.1% ~ 0.5% 的两个斑岩体，经 345 m 钻探，大厚度含矿岩体的目估含 Cu 品位为 0.3% ~ 0.5%。证实了在东天山戈壁荒漠区所取得的方法技术在高的植被区的应用虽受到限制，但仍能发挥一定作用。

10. 利用光谱角填图（SAM）进行异常分类

光谱角填图在提取蚀变遥感异常的技术中能够起到多种作用，如异常优选、异常分类、后处理去干扰等。为了异常优选，在东天山各景经 SAM，不仅减少了干扰、优选了异常，还依参考谱的所属，在 OHA 或 FCA 前面冠以土屋型、黄山型、彩华沟型……。当同一景图中存在两类矿床时，还可以利用 SAM 进行异常分类。利用光谱角填图进行异常分类的方法在后期上升为建立找矿模型的工具。

光谱角法把每一个多维空间点以其空间向量来表征，对比空间向量角的相似性，它是一种监督分类。只要某空间特征点与参考点的空间向量夹角符合相似性条件，就把该点归为与参考点同类。因此可以用 SAM 将某种干扰地物划分为一类，以二值表示之，再归入去干扰窗及掩模，使其不再影响异常提取，这属于预处理，当然也可以在后处理中完成。

11. 分区处理问题

蚀变遥感异常以 TM（ETM⁺）分景为单元进行提取最为快捷，但是当一景 TM 数据跨越不同的

宏观地貌、地势或植被区域时，这些不同区域具有不同的统计规律，于是以统计为基础的主分量分析就应分区进行。经探讨性研究，初步证实，一度曾试图编制的“自适应主分量分析方法”程序，不仅由于参变量太多、边界条件复杂而呈现困难，而且实际必要性不大；所遇宏观地貌、地势或植被区域性差异导致的异常提取中的问题，用分区处理可得到解决。

12. 毗邻景遥感异常可比性的改进

遥感异常扫描涉及多景图像的拼接，由于相邻景数据采集条件多有不同（星上传感器增益、径辐射、日地距离、太阳高度角、云上太阳辐照度等），造成相邻景背景图像色调差异和重叠区异常差异，影响相邻景拼接效果。为了改善这种情况，利用多对图像数据进行了多种方法深入细致的准归一化研究。对原始数据做了增益、径辐射、日地距离、太阳高度角、云上太阳辐照度等五种校正，获得视反射率图像，对改进可比性取得良好效果。

13. 用文件和库的形式管理遥感信息

用文件和库的形式管理遥感信息，总体文件夹称之为“东天山-北山铜矿带靶区优选”遥感数据库，由八个文件夹组成，即 13730、13731、13831、13931、13932、14031、14131、14729。每个文件夹一般含七个内容：两个表格文件，四个 PIX 图像数据库和一个出图 TIFF 文件。表格文件中记录了预处理和异常提取的技术参数，四个 PIX 图像数据库含有原始数据、处理过程（预处理、准归一化、异常提取、后处理、异常分级、几何纠正、加边框和经纬网、图面修饰和标注等）。利用这些数据库和文件可以方便地复查或进一步做再处理。

14. 构造信息提取

本工作中利用计算机方向滤波技术进行线性形迹快速提取，提取时对滤波核做大小和参数的选择，使所获线性体能最佳反映构造形迹，然后通过目视解译并加以归纳整理，最终对主要线性体赋予地质属性。如北山裂谷中的白地洼-淤泥河大断裂的提取。

15. 利用便携式短波红外矿物分析仪（PIMA）对黄山东铜镍矿、罗东铜镍矿、坡十铜镍矿、土屋-延东斑岩铜矿、沙泉子矽卡岩型铅锌矿等矿区的各类蚀变岩石进行了测试，对按这些地区样品波谱特征识别出的蚀变矿物进行了分析统计，结合已知矿床初步总结出荒漠戈壁区铁镁-超铁镁型铜镍矿、斑岩铜矿、矽卡岩型铅锌矿主要矿蚀变矿物组合特征。其中黄山东铁镁超铁镁铜镍矿蚀变矿物组合为蛇纹石、绿泥石、透闪石、角闪石、滑石、方解石等，坡十与罗东铁镁-超铁镁铜镍矿蚀变矿物组合为蛇纹石、黑云母、绿泥石、角闪石、透闪石、滑石、方解石等，土屋-延东斑岩铜矿蚀变矿物组合为绿泥石、伊利石、埃洛石、白云母、方解石等，沙泉子铅锌矿蚀变矿物组合为方解石、蛇纹石、白云石等。不同类型的矿床蚀变矿物组合特征有明显的不同，同是一种类型矿床的蚀变矿物组合特征非常相似。

16. 通过分析黄山东、罗东-坡十、土屋-延东、沙泉子矿区样品的波谱特征，显示出这些样品波谱在 ETM⁺ 的第 7 波段有明显的强吸收，为利用 ETM⁺ 数据有针对性地提取这些不同类型矿床的蚀变遥感异常信息奠定了基础。

17. 在明确认识了东天山区域地壳演化过程、地球物理和地球化学场的基础上，对区内铜矿床进行了系统调研和总结，针对斑岩型、镁铁-超镁铁质岩浆型、海相火山块状硫化物型和矽卡岩型 4 类铜矿进行了深入研究，分别提出了它们的控矿因素和勘查找矿准则。

18. 利用 ETM⁺ 蚀变遥感异常提取技术有针对性地提取不同类型矿床的蚀变遥感异常。在东天山地区以土屋铜矿与黄山东铜镍矿为典型矿床，建立了斑岩铜矿和镁铁超镁铁岩型铜镍矿床遥感找矿模型；以沙泉子铅锌矿为典型矿床，建立了矽卡岩型铅锌矿床遥感找矿模型；在北山裂谷带以坡十铜镍矿为典型矿床，建立镁铁超镁铁岩型铜镍矿床的遥感找矿模型。

19. 在 GIS 平台上进行了空间信息叠加分析，将地层、构造、化探异常、物探异常、蚀变遥感异常等多源信息进行综合分析，形成不同学科空间信息汇集、处理、提取、浓缩、叠加和综合，实现多元信息集成定量化预测评价模型；完善图形可视化处理。

20. 专题组与新疆地矿局第六地质队合作，通过野外实地查证，2003 年在东天山发现了铜矿化地

3 处, 铅锌银矿化地 1 处; 2004 年, 金矿化地数处, 在北山发现了铜镍矿化体 1 处, 铅锌矿化点 1 处; 在许多已知矿床(点) 外围发现了新的找矿线索, 扩大了这些已知矿床(点) 的找矿前景。新疆地矿局第六地质队对这些新发现的矿化点进行了勘查区登记, 并进行了部分工程验证。提出铜矿床找矿靶区 10 处, 铅锌银找矿靶区 1 处, 部分已经验证, 找矿效果明显。

21. 建立了以 ETM⁺ 蚀变遥感异常技术方法为主导, 地物化遥等多源信息的综合分析的大型铜矿床找矿预测技术方法体系和大型铜矿床快速评价技术方法体系, 为加速查明我国西部矿产资源提供理论和技术支撑。

22. 完成了研究区 1:25 万、1:10 万、1:5 万蚀变遥感异常图; 完成了 1:50 万东天山-北山成矿预测系列图件, 包括 1:50 万地质图、1:50 万矿产图、1:50 万地质构造图、1:50 万地球化学图、1:50 万蚀变遥感异常图、1:50 万找矿信息综合图、1:50 万成矿预测图。建立了东天山-北山地区遥感数据库、1:50 万多元信息数据库与波谱数据库。优选了 10 个铜矿找矿靶区, 其中 A 类找矿靶区 4 个, B 类找矿靶区 4 个, C 类找矿靶区 2 个。1 个铅锌矿 A 类找矿靶区。

专题组在工作进行过程中, 积极宣传和推广利用 ETM⁺ 蚀变遥感异常信息找矿的技术方法。在新疆地矿局、新疆地矿局第六地质队、新疆地矿局第一地质队、新疆地矿局第九地质队、新疆地矿局第十一地质队、新疆地矿局物化探队、新疆地矿局第一区调队、新疆有色地勘局、有色新疆 704 地质队、云南地矿局、云南地调院、甘肃地调院、中国地质大学(北京)、内蒙古地矿局以及相关矿山等单位进行了宣传推广。专题组的技术成果与找矿成果先后在“第七届全国矿床学会议”(2002 年, 西安), “中国地质调查局重大地质成果交流会”(2003 年, 北京), “东天山铜多金属矿床成矿过程和成矿动力学及找矿预测新技术新方法会议”(2003 年, 乌鲁木齐), “第二届全国成矿理论与找矿方法学术讨论会”(2004 年, 广州), “32 届国际地质大会”(2004 年, 佛罗伦萨), “中国地质调查局西部特殊景观区勘查技术交流研讨会”(2004 年, 北京), “中国地质科学院 2004 年度科技成果汇报交流会”(2004 年, 北京), “第八届国际矿床学会议”(2005 年, 北京) 等会议上进行了宣讲和交流。利用 ETM⁺ 蚀变遥感异常信息找矿的技术方法已经引起了广泛关注。

本专著是在“天山铜矿带找矿靶区优选”(编号: 2003BA612A-06-04) 专题研究报告的基础上, 经提炼、修改和补充而完成的, 是一项集体研究成果, 是不同单位协作, 不同学科交叉的结晶。本书共分八章, 具体编写工作分工如下:

前言, 杨建民执笔, 张玉君参加;

第一章由薛春纪与高景刚执笔, 其中的遥感异常特征由杨建民执笔;

第二章由薛春纪与高景刚执笔, 其中的沙泉子铁铜矿床由邓刚执笔;

第三章中的第一节由张玉君执笔, 第二节与第四节由杨建民执笔, 第三节由姚佛军执笔;

第四章由张玉君执笔;

第五章由杨建民与邓刚执笔;

第六章由杨建民与邓刚执笔;

第七章第一节与第二节由张玉君执笔, 第三节由傅旭杰执笔, 第四节由姚佛军执笔;

结束语由杨建民执笔。

1:25 万、1:10 万、1:5 万蚀变遥感异常图; 1:25 万、1:10 万、1:5 万遥感影像图由张玉君与姚佛军完成, 杨建民参与; 1:50 万《东天山北山地质矿产图》系列图件由傅旭杰编制, 杨建民、郭月敏参与。

在本书编写过程中, 姚佛军、张玉君和傅旭杰做了大量工作, 例如, 校对和图件的系统规范化等。全书由杨建民和姚佛军负责统编和定稿。

本书项目在立项和执行过程中, 中国地质调查局、中国地质科学院及矿产资源研究所各级领导给予了高度的关心和支持。在野外调查期间, 新疆地质矿产勘查开发局及所属的地质调查院和所提供了诸多方便和帮助。尤其是新疆地质矿产勘查开发局董连慧和王福同总工程师、新疆地调院的王庆明副总工、胡建卫副总工, 第一地质队王磊总工程师, 姜立丰副总工程师、姬厚贵工程师、杨俊韬工程师

和郑勇工程师，第六地质队吴华总工程师和陈松林总工程师、杨甲全副总工、郭新河副总工、代玉财工程师、赖涛工程师，新疆有色地质矿产勘查院哈密分院惠卫东总工程师，矿产资源研究所毛景文研究员、刘光海研究员，并与他们进行过讨论，受益匪浅。章革博士和连长云博士在我们利用 PIMA 进行光谱测试时，给予了热心指导和热情帮助。肖克炎研究员在东天山-北山地球化学综合异常提取工作中给予了无私帮助。李锦轶研究员在东天山-北山构造划分工作中给予了热心指导和无私帮助。曾朝铭高级工程师在专题执行过程中给予了热心的指导与帮助。在本书项目执行期间，多次聆听陈毓川院士、肖序常院士、裴荣富院士、翟裕生院士、汤中立院士和叶天竺教授的指教，芮宗瑶研究员、王登红研究员、彭齐鸣主任、卢民杰处长、秦克章研究员、肖克炎研究员、申茂德总工程师、阎存兴副院长、杨兴科教授、朱裕生研究员、孟贵祥博士、陈世平博士、向运川研究员、王润生教授和甘甫平博士等给予诸多有启发性的建议，使本次研究工作能够顺利开展。我们在此一并致以衷心的感谢。

此外，还有许多单位和个人对本专题的研究和报告编写、排版、印刷、制图、图版洗印等付出了辛勤劳动，在此一并对他们表示感谢！

特别感谢上述地勘单位的领导和同事们对工作热情关心和在资料数据方面的真诚帮助！

目 次

总 序

前 言

第一章 东天山铜矿带成矿地质背景	(1)
第一节 东天山地质构造基本特征	(1)
一、地层建造	(1)
二、岩浆作用和岩浆岩	(5)
三、变质岩系和变质作用	(7)
四、区域构造	(8)
五、深部构造	(10)
六、地质构造演化	(11)
第二节 东天山地球物理特征	(12)
一、区域重力场特征	(12)
二、区域磁力异常特征	(14)
三、深部地球物理剖面特征	(14)
第三节 东天山地球化学场特征	(14)
一、地壳不同介质背景丰度值	(15)
二、各时代地层区域地球化学背景场特征	(16)
三、岩浆岩地球化学背景场特征	(16)
四、主要地球化学异常区分布特征	(17)
第四节 遥感异常特征	(18)
第二章 东天山铜矿	(21)
第一节 主要铜矿类型及特征	(21)
一、斑岩型铜矿床	(21)
二、镁铁-超镁铁岩型矿床	(22)
三、海相火山岩型矿床	(23)
四、海相砂页岩型铜矿床	(23)
五、变质岩型铜矿床	(26)
第二节 东天山典型铜矿床	(26)
一、土屋斑岩型铜矿床	(26)
二、黄山东镁铁-超镁铁岩型铜镍矿床	(29)
三、小热泉子海相火山块状硫化物铜矿床	(32)
四、维权砂卡岩型铜矿床	(36)
五、沙泉子铁铜矿床	(40)
第三节 东天山铜矿成矿规律	(42)
一、铜矿时空分布	(42)
二、主要类型铜矿的控矿条件	(43)

三、铜矿床成矿系列	(44)
第三章 典型矿床蚀变矿物波谱测试分析及蚀变遥感找矿模型	(45)
第一节 蚀变异常找矿标志的地质依据及提取的波谱前提	(45)
一、蚀变异常找矿标志的地质依据	(45)
二、蚀变异常提取的波谱前提	(45)
第二节 TM 与 ETM ⁺ 数据特征	(53)
一、Landsat 卫星的运行特征	(53)
二、Landsat 图像的空间信息	(54)
三、Landsat 影像的光谱特性	(57)
四、本次工作使用的数据	(58)
第三节 典型矿床蚀变矿物波谱特征	(59)
一、波谱测量仪及波谱分析软件简介	(59)
二、土屋-延东斑岩型铜矿波谱特征分析	(61)
三、黄山东镁铁-超镁铁岩型铜镍矿波谱特征分析	(64)
四、罗东-坡十镁铁-超镁铁型铜镍矿波谱特征	(70)
五、沙泉子铅锌矿波谱特征	(74)
六、小结	(77)
第四节 蚀变遥感异常找矿模型	(78)
一、蚀变遥感异常找矿模型	(78)
二、土屋-延东斑岩型铜矿蚀变遥感异常找矿模型	(79)
三、黄山东镁铁-超镁铁岩型铜镍矿找矿模型	(82)
四、沙泉子铅锌银矿找矿模型	(85)
五、坡十镁铁-超镁铁岩型铜镍矿找矿模型	(88)
第四章 荒漠戈壁区蚀变遥感异常信息提取技术研究	(93)
第一节 TM 矿致遥感异常提取的常见技术方法评述	(93)
一、波段比值法	(93)
二、主分量分析	(94)
三、光谱角法 (SAM)	(97)
第二节 利用模型试验进行方法选择	(98)
一、模型一	(98)
二、模型二	(99)
第三节 借助模型试验探讨 PCA 的灵敏度极限	(100)
第四节 异常主分量的信息量计算、直方图正态性检验和异常分级	
——信息论的几点应用	(101)
一、中心极限定理	(102)
二、正态分布和 σ 的借用	(102)
三、香农 (Shannon) 信息量的应用	(105)
四、直方图的正态性检验	(105)
第五节 去干扰异常主分量门限化技术流程及其在荒漠戈壁等不同景观区的	
适用性和特点	(109)
一、预处理	(110)

二、原始数据的准归一化处理	(116)
三、信息提取	(119)
四、后处理	(122)
五、异常分级	(128)
第六节 通过模型实验研究植被干扰容限度问题	(129)
一、植被干扰实验模型 a	(129)
二、植被干扰实验模型 b	(131)
第七节 光谱角填图 (SAM) 的作用	(131)
一、异常优选和分类	(131)
二、去干扰	(131)
三、光谱角填图法是建立找矿模型的良好工具	(135)
第五章 蚀变遥感异常查证及其找矿效果	(136)
第一节 蚀变遥感异常分布特征	(136)
第二节 蚀变遥感异常筛选	(138)
第三节 蚀变遥感异常查证	(140)
一、面积性蚀变遥感异常查证	(142)
二、已知矿床、矿(化)点蚀变遥感异常查证	(147)
三、浅覆盖区蚀变遥感异常查证	(154)
四、非矿化蚀变遥感异常查证	(156)
第四节 利用蚀变遥感异常找矿方法发现的矿化点	(158)
一、罗东镁铁-超镁铁岩型铜镍矿点	(159)
二、沙泉子砂卡岩型铅锌矿点	(162)
三、笔架山铜矿点	(165)
四、阿其砂卡岩型铜矿点	(165)
五、天香镁铁-超镁铁岩型铜镍矿点	(168)
六、罗卜北镁铁-超镁铁岩型铜镍矿点	(169)
七、扩大已知矿床(点)的找矿前景	(169)
第六章 大型铜矿找矿靶区的优选	(173)
第一节 大型铜矿找矿靶区优选的准则	(174)
一、当代世界找矿预测学发展现状	(174)
二、找矿靶区优选的准则	(175)
三、找矿靶区优选的工作流程	(176)
四、东天山-北山地区优势金属矿产成矿区带划分	(177)
第二节 大型铜矿找矿靶区优选结果	(179)
一、坡北铜镍矿找矿靶区 (A1)	(180)
二、黄山东-镜儿泉铜镍矿找矿靶区 (A2)	(183)
三、沙泉子砂卡岩型铅锌银矿找矿靶区 (A3)	(184)
四、彩华沟-铜花山铜多金属矿找矿靶区 (A4)	(185)
五、三岔口斑岩铜矿找矿靶区 (A5)	(186)
六、赤湖-天木斑岩铜矿找矿靶区 (B1)	(187)
七、卡拉塔格铜多金属矿靶区 (B2)	(188)