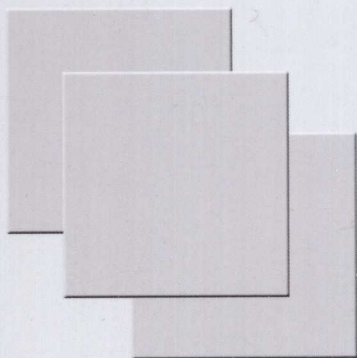


“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAB01A07)资助

# 云南省遥感地质应用

李文昌 赵志芳 等著



YUNNANSHENG YAOGAN DIZHI YINGYONG

地质出版社

“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAB01A07)资助

# 云南省遥感地质应用

李文昌 赵志芳 卢映祥 连长云 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

## 内 容 提 要

本书以云南省数十年来开展的遥感地质工作为基础,系统展示了遥感地质从MSS、TM、ETM+到Quickbird、Hyperion等的数据处理、影像解译成果,介绍了卫星高光谱、地面成像光谱等遥感技术在地质找矿中的应用,揭示了我国遥感地质从线环构造解译到蚀变矿物填图的发展历程。

本书介绍了不同遥感地质技术的基本原理,重点展示了遥感在云南省地质构造解译、隐伏岩体推断、蚀变信息提取以及蚀变矿物填图等成果,总结了矿床遥感定位模式、赋矿遥感影像特征模型等。以找矿实例说明了遥感技术在地质找矿中日显重要。

### 图书在版编目(CIP)数据

云南省遥感地质应用 / 李文昌等著. —北京:地质出版社, 2009.8

ISBN 978-7-116-06091-3

I. 云… II. 李… III. 遥感技术—应用—地质勘探—云南省 IV. P624

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第068451号

---

责任编辑:刘亚军

责任校对:王素荣

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

咨询电话:(010)82324508(邮购部);(010)82324578(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:787mm × 1092mm 1/16

印 张:12.5

字 数:300千字

版 次:2009年8月北京第1版·第1次印刷

审 图 号:云S(2009)024号

定 价:80.00元

书 号:ISBN 978-7-116-06091-3

---

(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)

# 前言

云南是矿产资源大省,被誉为“有色金属王国”。新中国成立以来,云南省的地质工作程度大幅提高,地质找矿成效显著,一批批矿床被相继发现和评价,大多数矿床得到了有效开发,矿业成为云南省的支柱产业之一。云南地处印度板块和欧亚板块的结合部位,是环太平洋成矿域和特提斯成矿域的交接地带。该区地质构造复杂,岩浆活动强烈,成矿流体复杂多样,成矿条件十分优越。最新研究表明,在滇中及滇东地区,中、新元古代广泛的海底喷流(岩浆侵入)和以二叠纪峨眉山玄武岩喷发为标志的大面积地幔上涌活动,是该区二次重要的成矿活动事件,这二次成矿作用的找矿潜力仍然十分巨大;而三江(怒江、澜沧江、金沙江)地区,特提斯构造演化,特别是板块俯冲、碰撞,洋盆消减闭合阶段和印度板块与欧亚板块强烈碰撞,使青藏高原隆升,发生大规模推覆、走滑、剪切作用,也发生二次大规模的成矿作用。围绕这些成矿认识开展的地质找矿,将会揭示更多的成矿带,发现更多新的矿床。因此,不论在三江地区还是滇中和滇东,也将是未来一段时期我国最具找矿潜力的地区之一。然而,云南地形地貌复杂,大多为高山峡谷深切切割的地貌景观,植被发育,交通不便,很多地面的物探方法,在该区的运用都受到很大的限制,增加了找矿难度,影响了找矿效果。

为了探索遥感技术在高山峡谷区地质找矿中的有效应用,实现找矿的快速高效,国土资源部、国家发展和改革委员会、中国地质调查局等部门安排了多个项目,利用不同的遥感数据和处理方法,开展多个片区的矿产资源遥感评价和方法示范,取得了很好的效果。

1991年,原地质矿产部直管局和勘查技术司下达了《关于开展重点片物探、化探、遥感成果编图综合解译工作的通知》,对三江地区开展了物探、化探、遥感编图和综合解译工作。该阶段的遥感,面上编图解译以MSS图像资料为主,重点地区利用部分TM图像资料进行解译。

1998年,原国家计划委员会安排了《云南国土资源遥感综合调查》,对土地、矿产、水、森林、旅游资源,以及地质构造区域稳定性、地质灾害、土壤侵蚀等开展调查和评价,选用了美国第二代陆地资源卫星Landsat-5 TM数据为基础信息源。其中,云南省矿产资源及其开发利用遥感综合调查专题,获省科技进步奖二等奖。

2001年,中国地质调查局安排开展《澜沧江流域南段遥感矿产资源预测与评价》,利用TM、ETM数据进行面积性解译,结合该区地质、物探、化探等资料分析,开展了研究区矿产资源预测,对预测靶区进行野外调查,在预测区发现了新的矿点。

2003年,开展了《滇西北典型成矿带1:10万遥感地质调查及遥感异常提取》,采用高分辨率红外航片数据与ETM数据相结合,判译推断岩体、隐伏岩体、热液环等,进行了蚀变异常提取,并及时进行异常检查,发现了多个矿点,部分矿点已转入详细勘查。

2003~2004年,在国土资源地质大调查项目找矿工作及矿床评价中,云南较早地使用高光谱卫星遥感技术,指导斑岩铜矿的找矿部署,利用近红外光谱矿物填图技术(PIMA),结合岩矿分析测试,圈定斑岩铜矿蚀变分带,进行找矿预测,实现了矿床评价的快速高效。

近10年来,云南省地质矿产勘查开发局、云南省地质调查院在三江云南段发现和评价

了十多个大型、超大型矿床和一批中小型矿床,遥感技术在找矿部署和矿床评价方面,都起到先导作用。

本书介绍了地质调查、矿产勘查遥感应用的基本原理,全省遥感解译对构造单元、成矿单元划分的指导意义,以及遥感解译揭示出的诸多找矿信息;介绍了近年来在多个试验研究区开展的从遥感数据处理及地质、物探、化探、遥感等综合信息成矿预测,到对预测区的野外验证和对新发现矿床的勘查评价的全过程,展示了遥感在云南地质构造解译、隐伏岩体推断、蚀变信息提取、成矿远景及找矿靶区预测等方面的工作和研究成果,表明遥感技术在地质找矿中可以发挥重要的指导作用。

该书集中了中国地质调查局安排在云南的多个遥感项目的主要成果,也得到中国地质调查局有关领导、专家的悉心指导。参加项目的主要成员还有罗朝舜、许东、蒋成兴、柏坚、谢蕴宏、杨凯、章革、张忻、曹德斌、范玉华、谭康华等,参加野外工作的还有张世权、蔡旭、曹晓明、蒋成兴、梅文周等。在此,对上述单位和同仁表示诚挚谢意。同时对指导项目研究工作的张翼飞、赵准、王保禄、李丽辉、奚小环和帮助完成项目研究的陈永清、李建国、李定平、薛顺荣、周云等表示衷心感谢。

# 目 次

## 前 言

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 第一章 云南地质矿产勘查开发及其遥感应用现状 ..... | 1  |
| 第一节 云南省经济和社会发展概况 .....       | 1  |
| 第二节 地质工作现状 .....             | 3  |
| 第三节 云南省矿产资源勘查遥感应用优势 .....    | 4  |
| 第四节 云南省矿产资源勘查遥感应用及主要成果 ..... | 5  |
| 第二章 区域地质背景 .....             | 8  |
| 第一节 区域地质 .....               | 8  |
| 一、扬子—华南陆块区 .....             | 8  |
| 二、西藏—三江造山系 .....             | 13 |
| 第二节 区域地球物理及深部构造 .....        | 20 |
| 一、重力场特征 .....                | 20 |
| 二、磁场特征 .....                 | 21 |
| 第三节 区域地球化学特征 .....           | 23 |
| 第四节 云南省构造单元划分 .....          | 27 |
| 第三章 地质矿产勘查遥感应用的基本原理 .....    | 34 |
| 第一节 遥感影像种类及特性 .....          | 34 |
| 第二节 地质矿产勘查遥感应用的物理基础 .....    | 35 |
| 一、遥感空间特征 .....               | 35 |
| 二、遥感波谱特征 .....               | 37 |
| 第三节 遥感图像处理 .....             | 40 |
| 第四节 遥感线性构造标志 .....           | 42 |
| 第五节 遥感环形构造标志 .....           | 43 |
| 第六节 隐伏断裂及隐伏中酸性岩体标志 .....     | 44 |
| 第七节 遥感矿化蚀变标志 .....           | 45 |
| 第四章 云南省地质矿产遥感解译 .....        | 47 |
| 第一节 区域遥感特征及影像分区 .....        | 49 |
| 一、遥感总体影像特征 .....             | 49 |
| 二、影像分区 .....                 | 50 |
| 第二节 区域地质构造影像特征 .....         | 53 |
| 一、区域构造影像特征 .....             | 53 |
| 二、新构造运动分区及主要活动断裂带 .....      | 56 |
| 第三节 云南省成矿区带影像特征 .....        | 64 |
| 一、成矿区带划分 .....               | 64 |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 二、成矿区带影像特征 .....                    | 65  |
| 第四节 隐伏断裂、隐伏中酸性岩体判译 .....            | 68  |
| 一、隐伏断裂带 .....                       | 68  |
| 二、隐伏中酸性岩体 .....                     | 69  |
| 第五章 云南省重要矿区及矿床遥感定位模式 .....          | 70  |
| 第一节 典型矿床遥感地质剖析 .....                | 70  |
| 一、岩浆熔离型矿床 .....                     | 70  |
| 二、矽卡岩、岩浆期后热液型矿床——个旧矽卡岩型锡多金属矿床 ..... | 72  |
| 三、斑（玢）岩型、矽卡岩型矿床 .....               | 73  |
| 四、喷流沉积—改造型矿床 .....                  | 75  |
| 五、密西西比河谷型（MVT）矿床——会泽铅锌矿床 .....      | 77  |
| 六、中低温热液型金矿床 .....                   | 78  |
| 第二节 云南重要成矿区带赋矿遥感影像特征模型 .....        | 79  |
| 第三节 云南省重要矿床遥感定位模式 .....             | 81  |
| 第六章 云南遥感多元信息找矿预测实例 .....            | 83  |
| 第一节 镇康芦子园地区遥感多元信息找矿预测示范研究 .....     | 83  |
| 一、选区依据 .....                        | 83  |
| 二、示范区概况 .....                       | 83  |
| 三、遥感综合信息处理及成矿预测 .....               | 85  |
| 四、靶区预测 .....                        | 87  |
| 五、野外查证 .....                        | 89  |
| 第二节 耿马矿化集中区遥感信息量法找矿预测 .....         | 90  |
| 一、区域地质概况 .....                      | 90  |
| 二、遥感地质方法技术 .....                    | 90  |
| 三、找矿远景预测与找矿潜力评价 .....               | 92  |
| 四、找矿靶区评述 .....                      | 92  |
| 第三节 滇西北地区遥感异常信息量化提取 .....           | 96  |
| 一、区域地质矿产特征 .....                    | 97  |
| 二、遥感蚀变异常提取方法技术 .....                | 97  |
| 三、蚀变遥感异常分析及成矿预测 .....               | 100 |
| 四、找矿远景区圈定 .....                     | 111 |
| 五、靶区查证印证 .....                      | 119 |
| 六、存在问题及建议 .....                     | 137 |
| 第四节 西南三江矿集区 QUICKBIRD 等遥感地质应用 ..... | 137 |
| 一、区域地质背景 .....                      | 137 |
| 二、遥感地质解译 .....                      | 138 |
| 三、遥感成矿预测 .....                      | 142 |
| 第七章 高光谱遥感技术及其在云南普朗铜矿找矿中的应用 .....    | 143 |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 第一节 高光谱遥感技术及其在地质找矿中的应用 .....          | 143 |
| 一、高光谱遥感的应用原理及成像光谱仪简介 .....            | 143 |
| 二、典型成像光谱仪介绍 .....                     | 144 |
| 三、高光谱遥感岩矿光谱识别的物理机理 .....              | 145 |
| 四、成像光谱及近红外光谱矿物填图 .....                | 147 |
| 第二节 卫星高光谱遥感在普朗地区的应用 .....             | 151 |
| 一、高光谱数据（高光谱影像）及蚀变信息提取 .....           | 151 |
| 二、普朗斑岩型铜矿外围成矿远景初步评价 .....             | 151 |
| 第三节 PIMA 在普朗铜矿找矿中的应用 .....            | 156 |
| 一、工作方法 .....                          | 156 |
| 二、普朗斑岩铜矿床地质概况 .....                   | 159 |
| 三、PIMA 探测模型 .....                     | 162 |
| 四、PIMA 适用性和有效性评价及 PIMA 工作技术流程总结 ..... | 176 |
| 五、结论与建议 .....                         | 180 |
| <b>第八章 结语</b> .....                   | 182 |
| 第一节 结论与认识 .....                       | 182 |
| 一、结论 .....                            | 182 |
| 二、认识 .....                            | 183 |
| 第二节 存在问题与建议 .....                     | 184 |
| 一、存在问题 .....                          | 184 |
| 二、建议 .....                            | 185 |
| <b>参考文献</b> .....                     | 188 |



# 第一章 云南地质矿产勘查开发及其遥感应用现状

## 第一节 云南省经济社会发展概况

云南省地处祖国西南边陲。地理位置：北纬 $21^{\circ}08'32''\sim 29^{\circ}15'08''$ ，东经 $97^{\circ}31'39''\sim 106^{\circ}11'47''$ ，全境东西最大横距 864.9km，南北最大纵距 990km，国土面积 39.4 万  $\text{km}^2$ ，占全国总面积的 4.1%，居全国各省面积的第 8 位。全省山区、半山区面积占 94%，人口总数 4450 万人，是一个集边疆、山区、多民族为一体的经济欠发达省份。

云南北、东与国内省份西藏、四川、贵州、广西交界，南、西与国外越南、老挝、缅甸山水相连，国境线长达 4060km。具有对南亚、东南亚开放的良好区位优势。

云南属山地高原地形，高原波状起伏，山地高原约占全省总面积的 94% 左右。地形以元江谷地和云岭山脉南端宽谷为界，分为东西两部分。东部为滇东、滇中高原，系云贵高原的组成部分，平均海拔在 2000m 左右，表现为起伏和缓的低山和浑圆丘陵，发育着各种类型的岩溶（喀斯特）地貌。西部高山峡谷相间，地势险峻，山岭和峡谷相对高差超过 1000m。在 5000m 以上的高山顶上，常年有永久积雪，形成奇异、雄伟的山岳冰川地貌。梅里雪山的卡瓦博格峰（海拔 6740m）与澜沧江江边的西当铁索桥（海拔 1980m），从河谷到山顶直线距离大约只有 12km，而高差却达 4760m，在 10 余千米的狭小范围内，呈现出亚热带干热河谷到冰雪的奇异景观。北部海拔一般在 3000~4000m 之间，南部在 1500~2000m 之间，西南部边境在 800~1000m 之间，地势向南和西南缓降，河谷逐渐宽广。全省地势西北高、东南低，自北向南呈阶梯状逐级下降。海拔高低差异很大，省内最高点是滇藏交界的德钦县怒山山脉梅里雪山主峰卡瓦博格峰，海拔 6740m；最低点在与越南交界的河口县境内南溪河与元江汇合处，海拔仅为 76.4m。两地直线距离约 900km，高低却相差 6663.6m。

全省东西两大地形区，在地势、地貌、山脉走向、河流分布方面差异较大，构成了云南地貌的主要特征：

高原波状起伏。全省相对较平缓的地面只占总面积的 10% 左右，大面积的土地高低参差、纵横起伏，但在一定范围内也保持部分起伏和缓的高原面。

高山峡谷相间，且以横断山脉最为典型。高山峡谷的地貌主要分布在滇西北、滇东北和滇南的部分地区。滇西北是由怒江、澜沧江、金沙江三条大江并流和期间的横断山系构成的巨大山地，为“西南三江”的南段；滇东北主要有五莲峰、乌蒙山及其支脉拱王山、梁山等；滇南则为哀牢山、无量山、邦马山等。

地势阶梯逐降。全省从北到南，平均每千米海拔就降低 6m。滇西北的德钦县和香格里拉县一带是地势最高的，为一级梯层，海拔一般在 3000~4000m；以滇中高原为主体的残存

古夷平面,为二级梯层,海拔在2300~2600m之间,山间盆地底部海拔亦在1700~2000m之间;到了南部、东南部边缘,主要是海拔在1200~1400m之间的低山丘陵和海拔不到1000m的盆地、河谷,为最低一级梯层。

断陷盆地错落,山地坝子交错。全省有1km<sup>2</sup>以上的小盆地和小坝子1440多个,其中100km<sup>2</sup>以上的坝子有49个,面积最大的是陆良坝子,有772km<sup>2</sup>。

河湖湖泊纵横。云南河流众多,有大小河流600多条,其中重要河流180多条,分别属于伊洛瓦底江、怒江、澜沧江、金沙江(长江)、元江(红河)和南盘江(珠江)6大水系。其中,红河和珠江的支流南盘江发源于云南境内,其余为过境河流,除金沙江、南盘江外,均为国际河流。这些河流分别流入南中国海和印度洋,多数具有落差大、水流急、水量变化大的特点。全省有高原湖泊40多个,多数为断陷型湖泊,大体分布在元江谷地和东云岭山地以南,多数在高原区内。其中有9个湖泊面积较大,称为云南的九大湖泊,水面积约1100km<sup>2</sup>。滇池为全省最大湖泊,面积约300km<sup>2</sup>;洱海次之,面积约250km<sup>2</sup>。抚仙湖深度全省第一,最深处150多m;泸沽湖次之,最深处90多m。

近年来,云南省交通、通讯、电力等基础设施建设迅速发展,为做强做大矿业奠定了坚实基础。全省公路通车里程已达19.85万km,铁路营运里程1925km,内河航道里程2764km,民用航空航线里程13.68万km,全省电力装机容量1291万千瓦,年发电量587亿千瓦时,不但满足了云南省用电需要,而且还有部分进入国家“西电东送”电网和出口周边国家。

2006年,全省生产总值比上年增长11.9%,完成GDP4006.72亿元,人均生产总值8970元;工业经济比上年增长16.5%,完成工业增加值1408.76亿元,占GDP的比重35.2%;城镇居民人均可支配收入10069.89元,农村居民人均纯收入2250.46元;森林植被覆盖率提高至54.8%,人口自然增长率保持在6.9%。

依托丰富矿产资源建立起来的云南矿业,经过多年发展建设,已初步建成了我国重要的有色金属生产基地和磷化工基地,形成了包括能源(煤炭)、钢铁、有色、磷化工、煤化工和建材等在内的一套完整工业体系。近年来,云南省矿业经济持续增长,以云南铜业集团有限公司、云南锡业集团有限责任公司、昆明钢铁控股有限公司、云南冶金(集团)总公司、云天化集团有限公司、云南德胜钢铁有限公司、云南金鼎锌业有限公司、祥云飞龙实业有限公司等为代表的一批大型国有和非国有矿业企业产量产值实现跨越式发展,成为推动我省工业经济增长的主要动力。

2006年,全省国有及年主营业务收入500万元以上非国有独立核算矿业企业完成工业总产值1769.29亿元,占全省工业总产值4110.25亿元的43.05%。其中有色、非金属、能源矿产采选及冶炼加工业产值增幅较大,分别增长92.78%、48.46%和23.29%。采选业与冶炼加工制品业的产值比为1:6.50。

各种矿产品产量实现了大幅度增长。2006年全省产原煤7339.08万t、铁矿石1515.38万t、生铁935.10万t、粗钢635.38万t、钢材588.06万t、十种有色金属206.85万t(其中铜37.01万t、铅47.43万t、锌65.91万t、锡8.15万t、铝46.57万t)、磷矿石1413.6万t、磷肥(折纯)168.06万t、水泥3305.97万t。

云南省矿产资源的开发利用程度相对较高,在云南省已发现的143种矿产中,已开采的有95种,占66.4%。已形成规模开发利用的矿产有:煤、铁矿、锰矿、铜矿、铅矿、锌矿、



锡矿、锑矿、钨矿、镍矿、金矿、磷矿、岩盐、硫铁矿、石膏、石灰石(熔剂、水泥、建筑用)、白云岩、硅石、铸型粘土、饰面用大理岩等。近年来,在滇东南的铅锌矿中,广泛共伴生铟、锗等稀有金属,部分煤矿中伴生锗,初步统计,铟的金属储量已列居全国第一。

矿业是我省工业体系中最庞大的产业,其固定资产投资、资本金总额、从业人数、出口创汇及工业产值均居全省各大工业之首,在云南经济社会发展中具有举足轻重的作用,成为云南省五大支柱产业之一。

## 第二节 地质工作现状

### 1. 基础地质调查(截至2006年底)

#### (1) 区域地质调查

全省1:20万区域地质调查已完成。

1:25万区域地质调查完成4个图幅,面积3.98万km<sup>2</sup>,占全省国土面积的10.1%。

1:5万区域地质调查完成165个图幅,面积7.5万km<sup>2</sup>,占全省国土面积的19.03%。

#### (2) 地球物理、地球化学调查

全省1:20万水系沉积物测量已完成。

全省1:50万~1:100万区域重力调查已完成。

1:20万区域重力调查完成39个图幅,面积20.18万km<sup>2</sup>,占全省国土面积51.22%。

1:5万~1:10万、1:20万航空磁测完成面积分别为5.95万km<sup>2</sup>、25.28万km<sup>2</sup>。

#### (3) 遥感地质调查

全省1:100万遥感地质线、环构造解译已完成。

1:10万~1:25万遥感地质调查完成面积21.19万km<sup>2</sup>。

### 2. 矿产资源勘查

全省共发现各类矿产143种,占全国已发现矿产(171种)的83.04%,在已发现的矿产中,探明资源储量并列入《云南省矿产资源储量简表》的矿产86种,其中能源矿产2种,金属矿产39种,非金属矿产45种。

截至2006年底,全省列入《云南省矿产资源储量简表》的矿产地(矿区)1176个。按规模划分,大型110个、中型262个、小型804个;按矿种划分,能源349个、金属517个、非金属310个;按勘查程度划分,达到勘探程度的占31.5%,详查—普查程度的占68.5%。

全省固体矿产保有资源储量居全国前10位的有61种,居前3位的有25种,其中居全国第一位的有锌、铅、锡、铟、铋、镉、磷、蓝石棉等8种;居第二位的有钛铁砂矿、铂族金属、锗、砷、硅灰石、霞石正长岩、硅藻土、水泥配料用砂岩等8种;居第三位的有铜、镍、锰、锑、银、锇、钼、芒硝、化肥用蛇纹石等9种。主要矿产保有资源储量如下:煤267.89亿t、铁矿石35.54亿t、铅706.4万t、锌2017.08万t、铜1035.3万t、锡122.62万t、磷矿石38.84亿t、铟4119t、锗962t、铂族金属102.13t、镍80.95万t、银13600t、金335.61t、锰9512.9万t。

### 3. 地质灾害和地质环境调查监测

完成46个县的县域地质灾害调查与区划工作,完成蒙自、开远、个旧3个城市地质环

境质量评价及地质灾害风险区划工作,初步建立了地质灾害群防群测网络,开展了194个地质灾害防治项目,完成了重要交通干线、大江大河干流沿线典型地段地质灾害工程勘察。

全省1:50万环境地质调查已完成。

全省1:20万区域水文地质普查已完成62幅,面积31.5万km<sup>2</sup>,占全省国土面积的79.95%。

开展了1:10万和1:5万区域水文地质调查和部分城市、工矿、农田供水、矿泉水及地热资源调查工作,开展了“西南岩溶石山地区地下水资源勘查与生态环境地质调查”云南部分及“红层严重缺水地区地下水勘查示范”等工作。

已初步建立了以昆明为总站,辖玉溪、大理、开远、楚雄、曲靖、景洪6个分站,928个地质环境监测点(含46个国家级监测点),控制面积2872km<sup>2</sup>的地质环境监测骨干体系。

#### 4. 地质资料开发利用

截至2006年底,全省地质资料馆共收集各类地质成果资料近8000份,其中有7010份已完成目录数据库及全省矿产资源储量数据库的建库工作,公开向社会提供查询使用。

完成445种1:20万、1:5万区域地质、矿产地质、水文地质、物探、化探等相关资料的电子文档数据库建库工作,为社会提供了查询、浏览等地质资料服务。

全省地质图数据库、矿产地质数据库、矿产资源储量空间数据库、水文地质图数据库、自然重砂数据库等基础数据库初具规模,并已向社会提供服务,为资料二次开发和综合研究与利用奠定了基础。

### 第三节 云南省矿产资源勘查遥感应用优势

云南地处印度洋板块与扬子板块结合部位,青藏高原南缘及云贵高原地带,地质构造复杂,矿产资源丰富,是我国重要的矿产资源勘查开发基地。其中,在“三江”云南段(西南三江南段)近10年来发现了10多个大型超大型有色、贵金属矿床,使“西南三江云南段有色金属基地勘查”列入国土资源部“十五”、“十一五”重点勘查计划。2006年国务院召开的全国地质工作大会,将三江作为未来全国16个重点勘查区之首,加强地质找矿和矿产勘查工作。由于境内地形地貌特殊,多以高山峡谷深切割地貌景观为主,且植被覆盖较厚,交通条件较差,社会经济不发达,地面地质工作较为艰苦,区域内矿产资源勘查工作进展缓慢,目前,总体地质工作程度仍然较低。云南矿产资源勘查工作与矿产资源状况和矿业开发的需求不匹配,出现了冶炼加工能力大于采选能力的格局,严重地影响了国家矿产资源后备基地建设和云南省矿业的可持续发展。如何有效开发利用云南境内的矿产资源成为一个影响国民经济可持续开发战略实施的重要问题。

遥感作为一门从远处探测、感知物体或事物的技术,即不直接接触物体本身,从远处通过仪器(传感器)探测和接收来自目标物体的信息(如电场、磁场、电磁波、地震波等信息),经过信息的传输及其处理,分析识别物体的属性及其分布特征,具有真实、客观、宏观反映地质体空间信息的特点。故在云南高山峡谷深切割的复杂地貌景观以及交通不便利的条件下,遥感手段应用于矿产资源勘查具有较大的优势:

1) 遥感技术因从高空对地观测获取数据,其应用不受地面条件限制,并具有获取数据



范围大、直观性强的特性,显示出比其他常规技术手段更为快速、高效、节约成本的优越特性。故在云南矿产资源勘查中,遥感技术可克服云南特殊地形气候条件,如地形高差大、交通不便、气候条件恶劣等带来的不便,快速直观地获取区域地质构造及矿产资源分布等异常信息,进而有效地指导矿产勘查工作部署。

2) 遥感技术的发展,尤其是光谱分辨率的提高,使主要反映地物电磁波谱特征的遥感技术能更好地反映矿化信息,为矿产勘查工作直接进行矿物填图及蚀变矿化信息提取提供重要手段。而云南丰富的矿产资源具有矿种类型多、矿床类型多样、资源潜力巨大等特点,不仅使遥感技术直接识别矿化相关信息成为可能,同时也使其成为遥感地质研究的天然实验场,反过来可进一步推进遥感地质技术的发展。

3) 遥感技术具有一定的穿透力,除了可较好地获取地表地质背景信息外,还对地表地质工作难以直接获知的地下一定深度的地质体信息,如隐伏岩体、隐伏构造等有较好反映,从而在空间深度上弥补了地面地质工作的不足,这对地面地质工作条件较差、需要寻找更多隐伏矿扩大矿产资源储量的云南勘查事业提供了重要的技术手段。

4) 云南经历了多阶段的构造演化,特别是新生代大规模的碰撞、挤压、走滑和大规模的推覆活动,使得该区构造活动形迹明显。该区断裂构造发育,岩浆活动频繁,线性、环形构造解译和蚀变信息提取的遥感应用条件良好。

当然,遥感技术在云南地质矿产勘查中仍受到一定限制。如在地表植被覆盖较厚的云南多数地区,不仅地面地质工作难以开展,采用遥感技术获取的遥感地质解译成果的查证工作仍无法顺利实施,造成遥感地质解译成果的不确定性增大,相应的地质含义模糊等;基于光谱信息的遥感蚀变异常信息提取仅在植被半覆盖的云南省西北部及东北部适用,而在植被覆盖较厚的地区则应用不佳。

## 第四节 云南省矿产资源勘查遥感应用及主要成果

随着云南矿产资源勘查中遥感技术的发展与应用,云南的遥感地质事业也从尝试走向了成熟。所取得的成果被及时应用于找矿实践中,有效地指导了地质找矿和矿床勘查,提高了找矿效率。云南的遥感应用大体经历了三个阶段。

### 1. 矿产资源勘查遥感应用初期

随着20世纪70年代初期美国陆地资源卫星(LANDSAT-1)等的成功发射及数据获取,云南省也开始了矿产资源勘查中的遥感普遍应用。云南省地质局第一区域测量大队丽江分队李国华,使用由省测绘局拍摄的18cm×18cm黑白航空像片对1:20万丽江幅全区进行了地质解译;1974年,在云南省地质局玉溪区域地质调查队的邀请下,北京大学马蔼乃教授等专赴云南,首次开办遥感基础理论学习班,之后又多次进行开班培训;1978年后,在区域地质调查开始探讨使用航天遥感资料的同时,地质矿产部水文司水文工程地质处陈吕礼在部属水文工程地质队中开始了航天遥感资料应用的推广;1980年,国内各遥感单位应用3年时间编制了中国第一部“中国岩溶遥感图集”和遥感论文集,其中工区主要涉及云南省滇东南地区。这一系列的工作为云南的矿产资源勘查遥感事业在人员培训方面做好了充分准备,奠定了坚实的遥感地质应用基础。

## 2. 矿产资源勘查遥感应用成熟阶段

1983年,云南省地矿局正式筹建了云南遥感地质站,并带动了云南遥感地质事业得以迅速发展:开展了一批遥感地质矿产专题研究,先后完成了德钦-下关铅锌矿遥感调查、滇西锡矿带遥感地质研究等项目。云南地矿局第一地质大队进行了鲁甸乐马厂地区、会泽地区有关铅锌矿的遥感解译,云南地矿局第四地质大队进行了滇西锡矿的遥感地质研究等。1990年后,随着遥感地质技术人员的增加、设备的改善,云南省地矿局遥感中心先后完成各类研究课题20余个,矿产方面主要完成项目有:哀牢山北段金矿遥感解译、文山薄竹山地区银矿地质解译、建水-元阳地区铜矿解译、滇西砂金矿地区遥感解译、滇西北地区矿产遥感地质解译等;区调方面,与云南地矿局第三地质大队合作完成了1:5万下关、凤仪、大营街、马登街、兰坪等图幅构造解译,物探队完成了1:20万松冷、竹瓦根幅构造解译及滇中地区遥感地质解译。和四川、西藏地矿局一起,完成了西南三江地区遥感成果解译,1994年内部出版了《西南三江地区遥感成果解译报告》。除此以外,还完成了一批地矿部重点项目——区域性遥感成果编图,取得了大量的矿产勘查遥感应用成果。

## 3. 矿产资源勘查遥感应用发展阶段

1999年后,原云南省地矿局遥感站并入云南省地矿局下属的云南省地调院信息中心,更名为云南省地调院遥感中心,承担了大量的中国地质调查局新一轮国土资源大调查遥感地质调查项目。

1) 2002年,以云南省地矿厅(局)为主,承担并完成了国家计委下达、云南省计委牵头负责,并有林业厅、水利厅、地矿局、地震局、旅游局、水文水资源局、测绘局、土地局、省地理研究所等单位参加的“云南省国土资源遥感综合调查”项目,完成了土地、矿产、水资源、森林植被、旅游、地质构造与区域稳定性评价、地质灾害、水土流失、生态环境、国土资源信息管理系统、卫星影像镶嵌等1:100万遥感解译成果。该总项目成果获得2005年度云南省科技进步二等奖,云南省地质调查院承担的子项目“云南省矿产资源及其开发利用遥感综合调查”成果获得2003年云南省科技进步二等奖。

2) 2003年,主持完成了澜沧江流域南段矿产资源遥感预测与评价。共圈定了20个成矿远景预测区及4个遥感预测靶区,靶区查证比例达100%;新发现矿点或矿化异常点20处;提出下步建议工作区35个;在镇康矿化集中区和耿马矿化集中区开展了基于GIS平台的信息法定量化遥感成矿预测,实现了云南境内遥感成矿预测定性向量化的迈进;利用以地质背景划分单元,分单元进行遥感多元地学数据分析的思路,突出了对象信息提取效果。成果获2004年云南省科技进步三等奖。

3) 2003~2006年,主持完成了滇西北典型成矿带1:10万遥感地质调查与遥感异常提取,首次在云南植被半覆盖地区应用ETM数据进行羟基蚀变及铁染蚀变异常信息提取,部分矿区采用了QUICKBIRD等进行细化研究,圈定成矿远景预测区13个,预测靶区21个,优选普朗铜矿区、地苏嘎铜多金属矿区等7个靶区进行查证印证,取得了较好的指导找矿效果,成果得到中国地质调查局的好评。

4) 2003~2006年,开展了云南香格里拉县普朗地区卫星高光谱遥感地质调查和地面高光谱遥感-便携式近红外光谱仪(PIMA)的矿物填图示范研究工作,较好地圈定了香格里拉普朗地区岩浆岩带的分布和蚀变特征;利用近红外光谱矿物填图,结合岩矿分析测试,圈



定斑岩铜矿蚀变分带,初步建立了矿床的蚀变分带模型,成功地进行了成矿预测,实现了矿床评价的快速高效,为普朗超大型铜矿的突破作出了重要贡献。

另外,还承担了多个地质矿产调查项目的遥感部分工作,如1:25万临沧—滚龙幅构造遥感解译,1:5万战略性矿产资源远景调查遥感预测工作。这些成果既较好地补充完善了区内的地质构造等基础信息,还提出了一系列有潜力的遥感成矿预测区,探讨和总结了遥感多方法的利用和如何与地质、物探、化探等多方法结合,进行多元成矿预测的成功经验,为遥感在地质矿产调查评价中的有效应用提供了经验,提升应用工作深度,推动了云南实际找矿工作的进展。

## 第二章 区域地质背景

云南地处欧亚大陆和冈瓦纳古陆的接合部位,地质构造复杂,各种地质作用不仅具有长期和多期活动的特点,而且表现形式也复杂多样。一系列深大断裂及其控制的构造-岩浆-变质带,尤为引人注目。它们不同时期不同的活动方式,对云南地质构造的演化产生不同的影响,并成为各具特色的众多构造单元的边界,所形成的矿产具有明显的区带特征,其矿种、类型、规模和空间展布等,均与其所处的地质环境紧密相关。

### 第一节 区域地质

云南地层发育齐全,沉积类型多样,岩浆活动强烈,且往往在同一地带持续活动,构成规模巨大的构造岩浆岩带,由于强烈的幔流活动和挤压碰撞作用,区域变质和构造挤压变质作用强烈,变质岩广泛分布,各类变质作用兼具,地壳活动性普遍较强,地质构造复杂。

本书以甘孜-理塘结合带-哀牢山断裂为界,将全省划分为东、西两大不同的地质构造区。东部主体属于扬子陆块西南缘,与广西和越南相邻部分属华南陆块(造山带);西部则为西藏-三江造山带。

#### 一、扬子-华南陆块区

##### (一) 扬子陆块西南缘

主要指扬子陆块西缘(云南部分),它的西部边界线为由近SN转为NE向的甘孜-理塘结合带南段及哀牢山断裂中段,南东边界为NE向的师宗-弥勒断裂。中部被小江、绿汁江等一系列SN向深(大)断裂分割为地质发展差异显著的数个块体。本区地壳发展的阶段性清楚,以下按几个大的地质发展阶段予以叙述。

##### 1. 前震旦纪地质

主要由一套不同变质程度的变质岩组成,包括牢山群、大红山群(苴林群)、昆阳群等。

哀牢山群出露于扬子陆块西南边缘的哀牢山脉一带,由一套变质程度达角闪岩相的变粒岩、片麻岩、大理岩组成,于混合岩中获得( $1736.9 \pm 25$ ) Ma的年龄值(锆石U-Pb),一般认为其原岩为古元古代优地槽型建造,是扬子地台的结晶基底,可能于晚华力西一早印支期大规模推覆作用止步于上部构造层次。其北延的点苍山变质岩系,可分解为沟头箐组 and 苍山群(云南省地矿局第三地质大队,1990)。前者出露于苍山西坡,以变粒岩、片麻岩夹大理岩为主,变质程度可达角闪岩相,其特点与哀牢山群极为相似,获有1754~1991 Ma(锆石U-Pb表面年龄)及2003.8~2037.1 Ma(锆石U-Pb谐和年龄)等数据,也与哀牢山群接近,故亦属古元古界;后者即点苍山东坡的一套片岩、大理岩,变质程度稍低(绿片岩



相—低角闪岩相), 普遍糜棱岩化, 而实为一颇具规模的韧性剪切带, 所获年龄数据一般偏新, 暂将之归入中元古界。

哀牢山东, 元谋—大红山一带出露的变质岩系(苴林群、大红山群), 主体为一套片岩、大理岩、变火山岩, 为火山(细碧角斑岩)—沉积岩系, 变质程度一般为绿片岩相, 但底部层位(底巴都组、普登组)则为角闪岩相的变粒岩、片麻岩类, 似有由上层位往下变质程度递增之势。与其东侧的昆阳群一起, 共同构成扬子陆块的褶皱基底。

昆阳群大面积出露于康滇地轴区, 为一套冒地槽型类复理石—碳酸盐岩建造, 属陆棚浅海—滨海、潮坪沉积, 总厚逾万米。晋宁运动(850~900Ma)导致昆阳群全面褶皱, 同时发生低温区域动力变质作用, 其整体变质程度甚低, 一般仅达低绿片岩相, 局部可能受后期热流变质作用叠加而可达高绿片岩相。

前震旦纪的喷出岩以玄武岩类为主。吕梁期者即哀牢山群、沟头箐组中斜长角闪岩、斜长角闪片麻岩等, 其变质程度较深, 已无火山岩的结构构造可寻, 据岩石化学资料, 仅可大致判定其属亚碱性岩系。大红山群中, 火山岩主要产出于中部的红山组和曼岗河组, 保留有大量火山岩变余结构构造, 为一套细碧岩—角斑岩系, 伴随海底火山活动以及其后的岩浆侵入活动, 有广泛的喷流沉积成矿作用和岩浆热液成矿作用, 如大红山铜铁矿等。该层位是寻找隐伏铁铜矿的重要层位。昆阳群“下亚群”的火山岩见于黑山头组上部(富良棚段), 于易门老乌山一带较为发育, 向北、南、东方向即减薄以致尖灭, 主要为基性、中基性火山碎屑岩, 稀土配分型式属轻稀土富集型, 与大陆拉斑玄武岩接近; 昆阳群“上亚群”中的火山岩, 主要产出于因民组和鹅头厂组, 以玄武岩类为主, 次有安山岩、石英正长斑岩等, 另有较多中酸性火山碎屑岩类。玄武岩类一般属于拉斑系列、亚碱性岩系; 火山碎屑岩类多富钠质, 属于角斑质岩类。该层位广泛发育喷流沉积铁铜矿床, 如绿丰县鹅头厂铁矿等。该矿近期工作, 发现有综合寻找铜矿的潜力。

总观大红山群(苴林群)、昆阳群“上、下亚群”, 从地理位置上看, 乃由西至东排布, 即由扬子地台边缘活动带至内部陆缘较稳定区过渡; 火山岩由发育到不发育; 岩石类型由典型的细碧角斑岩类至大陆拉斑玄武岩类演变。

侵入岩包括基性—超基性岩和酸性岩, 另有少量中性岩。吕梁期以花岗岩为主, 分布于哀牢山东南端, 与哀牢山群呈侵入接触。岩石常具片麻状构造, 岩石类型以黑云二长花岗岩为主, 是与吕梁期中压区域动力热流变质作用相关的后期深熔作用产物。获得同位素(锆石 U—Pb) 年龄( $1339.8 \pm 220.2$ ) Ma 和 1570.7Ma 两个数值(云南区调队, 1989, 1990)。北部永仁地区的大田石英闪长岩体, 据四川省资料, 侵入于古元古—新太古代康定群, 亦归属吕梁期。主要为混染石英闪长岩, 次为斜长花岗岩, 具片麻状构造。岩石化学成分显示为极弱—弱碱性中酸性岩类, 显“1”型花岗岩特征, 是下地壳部分熔融岩浆演化早期阶段产物。

晋宁期超基性—基性侵入体, 主要分布于东川、罗茨、易门至峨山、石屏一带, 似与罗茨—易门等断裂带早期活动有关。一般均为规模不大的岩株、岩床、岩脉产出, 以辉绿辉长岩、辉绿岩为主。峨山玉河寨岩体, 经研究(云南区调队, 1990)为一小型超基性—基性环状复式岩体。由外向内为橄榄辉绿辉长岩、含长辉石岩、含磁铁辉石岩, 是多次脉动侵位产物。其  $M/f$  比值仅为 0.4~0.6, 属贫镁的铁质基性—超基性岩, 稀土配分型式为轻稀土轻