

“十二五”国家重点图书出版规划项目

有色金属文库

NON-FERROUS METALS LIBRARY

REMOTE SENSING ANOMALY IDENTIFICATION, ORE-PROSPECTING MODEL AND METALLOGENIC PROGNOSIS:
CASE STUDY ON JIUWANDASHAN ORE DISTRICT IN NORTHERN GUANGXI

遥感异常识别、找矿模型与成矿预测 ——以桂北九万大山矿集区为例

成永生 著



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

遥感异常识别、 找矿模型与成矿预测

——以桂北九万大山矿集区为例

成永生 著



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

·长沙·

图书在版编目 (C I P) 数据

遥感异常识别、找矿模型与成矿预测——以桂北九万大山矿集区为例 / 成永生著. --长沙: 中南大学出版社, 2017.9

ISBN 978 - 7 - 5487 - 3000 - 2

I. ①遥… II. ①成… III. ①遥感技术—应用—找矿模式—研究—广西 ②遥感技术—应用—成矿规律—研究—广西 IV. ①P62②P612

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 242261 号

遥感异常识别、找矿模型与成矿预测
——以桂北九万大山矿集区为例

YAOGAN YICHANG SHIBIE、ZHAOKUANG MOXING YU CHENGKUANG YUCE
——YI GUIBEI JIUWANDASHANKUANGJIQU WEILI

成永生 著

☐责任编辑 史海燕

☐责任印制 易红卫

☐出版发行 中南大学出版社

社址: 长沙市麓山南路

邮编: 410083

发行科电话: 0731 - 88876770

传真: 0731 - 88710482

☐印 装 三仁包装有限公司

☐开 本 720 × 1000 1/16 ☐印张 8.25 ☐字数 186 千字 ☐插页 16

☐版 次 2017 年 9 月第 1 版 ☐2017 年 9 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978 - 7 - 5487 - 3000 - 2

☐定 价 46.00 元

图书出现印装问题, 请与经销商调换

前言

Foreword

矿产资源是不可再生的一次资源，是人类社会生存和发展的基本条件。矿产资源的稀缺性、不可再生性和多用途性决定了矿产资源具有特殊的战略价值，对保障经济安全和国防安全具有重要意义。自 21 世纪以来，矿产资源需求出现了新形势与新问题，一方面是人类对矿产资源量及其种类需求的不断扩大，另一方面则是已知矿产资源的短缺和找矿难度的不断提升。据统计资料显示，作为全球发展最为迅速的经济体，中国已成为国际有色金属市场最具影响力的中心之一，特别是我国城镇化、工业化的高速发展拉动了以有色金属为原料的基础设施建设。现阶段我国经济高速发展带动了金属消费量的持续增长，导致国内矿产资源供应紧张甚至短缺，金属进口量和对外依存度逐年增大。

自 20 世纪 70 年代以来，国外发现的 100 多个贵重有色金属大型—超大型矿床，近 60% 发现于已知矿床周围。这足以证明，目前我国存在资源短缺问题的危机矿山外围及其深部仍然具有巨大的找矿潜力。近年来，我国大力推行的《全国危机矿山可接替资源找矿计划纲要》，主要目标是在有资源潜力和市场需求的老年矿山周边或深部新发现并查明一批储量，延长矿山服务年限，强调新理论、新技术、新方法找矿的创新体系和坚持深边部及外围找矿的战略方向。《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》中明确指出：“矿产资源高效开发利用”“资源勘探增储”为国家重点领域优先资助主题，并明确提出其主要发展思路为：“突破复杂地质条件限制，扩大现有资源储量。重点研究地质成矿规律，发展矿山深边部评价与高效勘探技术，努力发现一批大型后备资源基地，增加资源供给量。”然而，“突破复杂地质条件限制，扩大现有资源储量”的关键在于对控矿因素、成矿规律、矿床成因、矿体定位等问题的创新与发展，尤其是需要清醒认识深部隐伏矿体的复杂成矿条件，创新隐伏盲矿体的空间定位预测机制，突破已有的经验模式和传统理论的桎梏，通过理论与方法的创新来实现资源勘探增储。

桂北九万大山矿集区位于扬子准地台、华南加里东褶皱带与桂西印支期褶皱带的过渡部位，江南台隆南缘的桂北地区，夹于广西融水县、融安县和贵州省之间。该区成矿条件优越、勘探历史悠久、矿产资源丰富、矿床类型多样、找矿潜力巨大，被视为我国锡铜铅锌等多金属矿产的重要矿业基地。

自明代以来，我国丹池地区的矿业开发就十分盛行，宋应星所著《天工开物》

便记载了当时锡矿开采之盛况。中华人民共和国成立前,一批地质学家先后到桂北地区开展过地质矿产考察研究,初步确定了桂北地区地层层序、构造轮廓以及矿产种类和分布特点,代表性成果见之于李四光所著的《中国地质学》(1939)、《广西地台之轮廓》(1941)、《南岭何在》(1943),赵金科所著的《广西地层发育史》(1940),黄汲清著《中国主要构造单位》(1945)等。中华人民共和国成立后,该区地质工作更是十分繁荣且突飞猛进,一大批国内外地质工作者积极投身于该区地质研究,包括陈毓川、裴荣富、黄民智、毛景文、宋叔和、刘元镇、尹国栋、杨冀民、彭大良、陈晴勋、杨丽贞、李人科、骆良羽、李泽世、王思源、黄民智、陈志雄等,主要聚焦于南岭地区燕山期与花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床成矿系列、古老基底上雪峰期与黑云母花岗岩有关的锡铜多金属矿床成矿系列、广西原生锡矿床的地质特征及其成矿规律、丹洲群底砾岩中新发现的含锡电英岩砾石、四堡群由火山喷气作用形成的层纹状电英岩锡矿化体、九万大山-元宝山地区科马提岩、宝坛地区铜-镍硫化物矿床成因类型、花岗岩形成与演化对锡多金属矿床的控制机理等。通过长期不懈的地质研究,发现了桂北地区锡矿化作用始于早元古宙,证明了花岗岩是锡多金属矿床形成的主要控制因素,揭示了宝坛地区铜-镍硫化物矿床属同生火山岩型,诸如这些新发现与新成果为该区地质找矿以及矿业开发的迅猛发展提供了重要科学依据。桂北成矿区带先后完成了全部1:20万和部分地区1:5万的区调工作,发现了一大批矿产以及矿化点。自1965年底开始,广西壮族自治区第七地质队历时4年时间,对元宝山东侧南北长约7 km、东西宽约3 km范围的矿产开展了详细普查工作。广西地质矿产局、广西冶金地质勘探公司、广西有色金属地质勘探公司等地质单位通过对已知金属矿产资源的勘探与开发,发现且建成了一批新的矿产基地。目前,桂北矿集区已成为我国稀有、稀土、钨、锡、铅、锌、锑等的重要矿业基地。

然而,矿业发展至今,露天矿与地表矿已越来越少,深部隐伏矿勘探迫在眉睫,运用新理论和新方法指导新形势下的地质找矿工作刻不容缓。遥感技术具有宏观、综合、经济、高效等特点,比常规地质方法投入少且见效快,能够大大缩短研究工作周期,对于地形条件差、交通困难的山区或偏远地区,更能够显示出独特优势,备受地质勘探工作者青睐。桂北九万大山矿集区属深山密林区,气候温暖,山势陡峻,植被茂盛且覆盖面积广,运用传统地质找矿方法周期长、难度大、成本高、效果差。遥感技术则可以克服以上缺点,不仅能够节约大量的人力、物力和财力,还可以收到极好的找矿勘探成效,为矿产资源的可持续发展提供重要支撑。

本研究运用遥感技术方法与手段,结合现代成矿理论与找矿方法,借鉴国内外遥感技术找矿勘探的成功经验,探索桂北九万大山矿集区的遥感找矿预测。首先开展了研究区的资料收集工作,获得了区域地质、矿床地质以及卫星遥感资

料;对成矿地质背景、成矿条件、控矿因素等开展了深入分析;对卫星遥感影像进行了初步解译。然后,通过野外地质工作收集了大量第一手资料,重点开展了区域地质以及矿床地质的现场研究,包括地层、构造、岩浆岩、矿化体等,采集了岩矿石标本;最后,利用现代数字图像处理技术对遥感影像进行了综合解译,对矿化蚀变信息进行了提取,发现了一批新的异常;对三大类遥感找矿信息(地层—岩体信息、线性构造信息、环形构造信息)开展了专题研究;对锡矿床成矿模式进行了深入探索,建立了地质找矿模型和遥感找矿模型;形成了遥感地质找矿的总体思路与基本框架,提出了有利找矿方向和找矿远景预测靶区,为九万大山矿集区矿业开发提供了重要科学依据。

限于水平和能力,错误与不足之处在所难免,敬请专家和学者批评指正!

成永生

2017年8月于中南大学

目录

Contents

第1章 绪论	(1)
1.1 遥感技术与遥感系统	(1)
1.2 遥感异常与成矿预测	(2)
1.3 工区开发与研究历史	(3)
1.4 主要工作内容	(4)
1.5 目的与意义	(5)
1.6 思路与方法	(6)
1.7 小结	(6)
第2章 区域地质背景	(7)
2.1 区域地层特征	(7)
2.2 区域构造特征	(10)
2.3 岩浆岩特征	(13)
2.4 小结	(14)
第3章 矿床地质特征	(15)
3.1 一洞-五地锡多金属矿床地质特征	(15)
3.2 红岗-沙坪-大坡岭锡铜多金属矿床地质特征	(22)
3.3 铜聋山铜铅锌矿点地质特征	(27)
3.4 九毛-六秀锡多金属矿床地质特征	(28)
3.5 都郎锡矿化点地质特征	(33)
3.6 九溪铜铅锌萤石矿点地质特征	(35)
3.7 甲龙锡铜多金属矿地质特征	(36)
3.8 下里铋矿地质特征	(37)
3.9 甲报锡铜多金属矿点地质特征	(38)

3.10	归柳锡铜多金属矿点地质特征	(40)
3.11	上坎-下坎金矿点地质特征	(40)
3.12	达言村锡铜多金属矿床地质特征	(42)
3.13	思耕锡矿地质特征	(43)
3.14	小结	(44)
第4章 遥感图像特征与预处理		(45)
4.1	遥感数据源	(45)
4.2	遥感图像预处理	(47)
4.2.1	图像镶嵌	(47)
4.2.2	几何校正	(48)
4.2.3	子区选取	(48)
4.2.4	GPS 定位	(48)
4.3	遥感图像多元数据分析及预解译	(49)
4.3.1	最佳波段组合	(49)
4.3.2	图像反差增强	(51)
4.3.3	图像解译	(52)
4.3.4	主成分分析	(53)
4.4	小结	(55)
第5章 遥感构造蚀变信息提取		(56)
5.1	遥感信息提取方法	(56)
5.1.1	K-L 变换	(56)
5.1.2	代数运算	(57)
5.1.3	彩色分割	(58)
5.1.4	假彩色增强	(59)
5.1.5	IHS 变换	(60)
5.2	遥感信息提取思路与流程	(61)
5.3	子区遥感构造蚀变信息提取	(62)
5.3.1	一洞-五地矿区信息提取	(62)
5.3.2	红岗-沙坪-大坡岭矿区信息提取	(64)
5.3.3	铜聋山矿区信息提取	(66)
5.3.4	九毛-六秀矿区信息提取	(68)
5.3.5	都郎矿区信息提取	(70)

5.3.6	九溪矿区信息提取	(72)
5.3.7	甲龙矿区信息提取	(74)
5.3.8	下里矿区信息提取	(76)
5.3.9	甲报矿区信息提取	(78)
5.3.10	归柳矿区信息提取	(80)
5.3.11	上坎-下坎矿区信息提取	(81)
5.3.12	达言村矿区信息提取	(84)
5.3.13	思耕矿区信息提取	(86)
5.4	小结	(88)
第6章	遥感成矿信息提取专题研究	(89)
6.1	地层-岩体信息解译及研究	(89)
6.1.1	建立解译标志	(89)
6.1.2	地层-岩体信息综合解译	(90)
6.1.3	地层与矿产关系	(90)
6.1.4	侵入体缓冲分析	(90)
6.2	线性构造研究	(91)
6.2.1	线性构造影像特征	(91)
6.2.2	线性构造提取算法	(92)
6.2.3	线性构造分形分析	(93)
6.2.4	线性构造控矿特点	(97)
6.3	环形构造研究	(98)
6.3.1	环形构造研究现状	(98)
6.3.2	环形构造特点与形成机制	(98)
6.3.3	环形构造提取算法	(99)
6.3.4	环形构造控矿规律	(99)
6.4	小结	(102)
第7章	找矿模型与成矿预测	(103)
7.1	成矿模式	(103)
7.2	遥感预测找矿模型	(105)
7.2.1	建模思路及流程	(105)
7.2.2	地质找矿模型	(106)
7.2.3	遥感找矿模型	(110)

7.3 成矿预测	(112)
7.3.1 主要依据	(112)
7.3.2 预测区划分	(112)
7.3.3 预测区特征	(113)
7.4 小结	(114)
第8章 问题与建议	(115)
8.1 主要问题	(115)
8.2 工作建议	(115)
结束语	(117)
参考文献	(119)
彩 图	(123)

第1章 绪论

1.1 遥感技术与遥感系统

遥感技术发展至今,已经在实用化的方向上取得了长足进步^[1],诸如光机扫描遥感器、大型固体线阵或面阵探测器件(CCD)的推帚式扫描成像光谱技术等,大大推动了遥感技术的进一步发展。美国在遥感技术领域处于领先地位,其为国土调查、地质找矿所拍摄的彩红外航片已覆盖整个国土面积的85%左右。几十年来,许多国家为国土勘查、气象、海洋等用途发射了许多卫星,通过不断改进,各方面性能都有了很大提高,如增加了波谱段、提高了分辨率、改善了数据精度等。法国于1986年发射了第一颗SPOT卫星,该卫星图像数据分辨率较高,达到10~20 m。日本于1992年发射了JERS-1卫星,其携带有多波段扫描仪,并具有立体成像功能。加拿大于1995年11月4日发射了世界上第一颗主动遥感卫星——加拿大雷达卫星。另外,苏联、以色列、印度等国家在卫星发射方面也有很大的突破,并在某些卫星性能上做了很大改进,这些成果都极大地推动了世界遥感技术的进一步发展与升级。

我国遥感技术起步于20世纪70年代,几十年来,在国家的重点支持下取得了长足发展^[2-3],连续四个“五年计划”都被列为国家重点科技攻关项目,并把遥感技术作为国民经济建设35项关键技术之一。目前,我国已发射了极轨和静止气象卫星(风云系列)、海洋卫星、资源环境卫星等,初步形成了对地观测体系,并将形成气象卫星、海洋卫星、资源卫星等三大类卫星系列。此外,我国还成功发射了清华一号微小卫星和神舟宇宙飞船携带的中分辨率成像光谱仪(CMODIS)和多模态微波遥感器,实现了对地球的全天候观测。我国机载对地观测系统在经过“七五”“八五”“九五”之后也取得了很大进步,成为世界上少数的先进航空遥感综合系统之一。另外,我国已基本建成了全国卫星遥感信息接收处理分发体系。

随着卫星遥感技术的飞速发展,遥感的应用领域也逐步拓展^[2,3,4],诸如地质、气象、环境、土地利用、城市规划、自然灾害监测等,尤其是高光谱遥感和定量遥感技术的迅猛发展,更加拓宽了其应用领域与应用层面。在遥感的基础研究方面,我国也取得了很大的成就,通过对电磁波在大气、土壤、植被、岩石及水体中传输规律的研究,建立了一系列的遥感信息模型,尤其是以“李小文”命名的地

物二向反射分布的几何光学模型,在国际上处于领先地位。我国科学家针对热红外遥感中非同温混合像元的发射率概念模型,发展了热红外辐射方向特性模型,并建立了遥感信息定量反演模型,发展了基于先验知识的遥感定量反演方法;通过热红外辐射方向性模型,精确反演了地表温度和发射率。

遥感地质找矿是一种新的找矿方法和手段,国内外利用遥感找矿取得成功的例子很多。我国西部大开发为助推遥感技术的广泛应用提供了更为广阔的平台,如中国地质调查局于2001年批准“阿尔金西段、阿尔金东段、西昆仑、公格尔山等地区遥感找矿异常提取方法研究”项目,其中“西昆仑地区遥感找矿异常提取方法研究”子项目利用多波段遥感数据,在新疆塔什库尔干地区约29000 km²范围内,量化圈定可能与成矿围岩蚀变矿物分布有关的遥感异常区,收到了良好的效果。

1.2 遥感异常与成矿预测

随着遥感技术的快速发展,特别是信息获取和信息处理技术的不断完善和提高,遥感在矿产资源勘查中的应用也越来越受到重视^[5, 6, 7]。作为地质调查的一种新的方法和手段,它具有视域宽广、经济快效等特点,比常规地质方法投入资金少,而且见效快,大大缩短了研究周期,尤其是对于地形条件差、交通困难的地区,遥感方法更显示出独特优越性^[8, 9]。

遥感图像含有丰富的图形信息和波谱信息,遥感找矿主要是利用遥感图像的图形信息和波谱信息开展工作^[10, 11]。

1. 利用遥感图像上的图形信息指导找矿

遥感图像上的图形信息是由于地物波谱特征差异和地形起伏等原因使得遥感图像上出现各种各样的几何形状,最常见的为线、弧、环、纹理等,在数字化遥感图像上,它们表现为像元亮度值按特定的规律组合或有规律地变化,线性影像和环形影像是遥感图像上两种最常见的图形信息,在地质找矿中的应用也最为广泛。

2. 利用地物波谱信息进行找矿

同一地物对光的反射率随着光的波长不同而变化,不同地物对同一波长的光的反射率会存在差异,这种差异通过地物的反射波谱特征反映出来。不同的矿物、岩石、土壤、植物、水体等,均有其独特的波谱特征。地质找矿中通常应用矿体、矿化岩石、蚀变岩石的波谱信息以及矿化区植物异常的波谱信息来进行找矿。

利用矿化区岩石、土壤和植物的波谱异常信息指导找矿^[12, 13, 14],首先要研究这些波谱异常的特点,然后选用相应的航空或航天遥感资料,对其波谱信息进行数值分析,在此基础上,用信息提取的方法把矿化异常区与其他区域区分开来。因此,一般应包括以下几个方面的研究工作:

①矿化岩石、土壤和植物波谱特征的研究^[15, 16]。通常,采用实验室测试和野

外实地测试两种方法。野外波谱特征的测试可采用便携式波谱测试仪来完成,根据测试结果绘制出矿化区岩石、土壤和植物的波谱特征曲线。

②根据矿化区岩石、土壤和植物波谱异常特征,选用合适的遥感资料。一般选用 ETM 数据效果较好,在选择波段时应考虑选择异常反应最明显的那些波段。

③数据处理和信息提取。根据矿化岩石、土壤和植物波谱异常的特征,对遥感图像上每个像元的多波谱数值特征进行系统分析,找出与矿化异常波谱特征具有相类似数值特征的像元,进行归类,划分出不同级别的找矿预测靶区。

3. 利用多元信息复合分析指导找矿

由于地质现象的复杂性和多样性,找矿工作通常要综合利用多种方法,综合分析多元信息,才能取得较好的效果。找矿勘查工作中,一般要利用各种地质资料(如各种地质图件、野外采样分析数据、地球物理探测数据、化探数据、遥感数据等)进行综合对比与分析,以确定最佳找矿远景靶区。

多元信息复合分析的具体工作步骤主要包括:①多元信息资料的数字化、网格式化和编码;②多元信息资料的空间配准;③多元信息资料的叠合处理;④多元信息资料的复合分析和成矿信息的自动提取。

4. 利用“3S”(RS、GPS、GIS)技术指导找矿

“3S”技术在找矿中的应用,一方面表现为 RS、GPS 和 GIS 这三种技术本身在找矿中的广泛应用,另一方面表现为这三种技术的有机结合,形成以 GIS 为核心、RS 和 GPS 为数据采集和更新的有效手段的现代化找矿技术系统,其特点在于对空间数据进行自动化管理和分析。

1.3 工区开发与研究历史

早自隋唐时代(公元7世纪初)和北宋年间,广西就有开采铁、锡、金和铅的记载^[17]。明代,丹池一带采矿已相当盛行,原生矿和砂矿皆采,宋应星在其所著的《天工开物》中已明确地记载了该地采锡盛况。

中华人民共和国成立前,一批地质学家先后到桂北地区进行过地质矿产考察研究^[17, 18],初步确定了桂北地区地层层序、构造轮廓以及矿产种类和分布特点。当时的代表性成果见之于李四光所著的《中国地质学》(1939)、《广西地台之轮廓》(1941)、《南岭何在》(1943),赵金科所著的《广西地层发育史》(1940),黄汲清著《中国主要构造单位》(1945)等。

中华人民共和国成立后,许多地质工作者在该区开展了更为广泛而深入的研究^[17, 19],促使地质矿产工作产生了突飞猛进的进展。1965年底广西壮族自治区第七地质队进入元宝山东侧进行普查找矿工作,其主要任务是根据1:20万区测重砂资料及1:5万金测资料,寻找锡铜矿露头,查明锡铜矿露头分布,对已发现

的矿脉开展揭露工作,控制矿脉地表分布规模,查明锡铜矿品位、厚度变化、成矿地质条件,在历时4年多的时间里,该队在南北全长约7 km、东西宽约3 km范围内开展了锡铜矿普查工作。陈毓川(1983),陈毓川、黄民智等(1985)和陈毓川、裴荣富等(1989)深入研究了南岭地区燕山期与花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床成矿系列。毛景文(1987)和毛景文、宋叔和、陈毓川(1988)初步研究了古老基底上雪峰期与黑云母花岗岩有关的锡铜多金属矿床成矿系列。刘元镇等(1985)、尹国栋(1985)和杨冀民(1989)探讨了广西原生锡矿床的地质特征和成矿规律。以上研究均证明了花岗岩及其生成演化是锡多金属矿床形成的主要控制因素。彭大良等(1987)在丹洲群底砾岩中发现有含锡电英岩砾石,毛景文、陈晴勋等(1988)在四堡群中找到了由火山喷气作用所形成的层纹状电英岩锡矿化体,从而证明了桂北地区的锡矿化作用始于早元古宙。杨丽贞等(1987)、毛景文(1987)、毛景文等(1988)在九万大山-元宝山地区发现科马提岩,随即宝坛地区的铜-镍硫化物矿床被证实为同生的火山岩型矿床。

自1995年以来,桂北地区先后完成了全部1:20万和部分地区1:5万的区调工作,并发现了一大批矿产和矿化点。广西地质矿产局、广西冶金地质勘探公司及广西有色金属地质勘探公司在研究区内对已知金属矿产进行了勘探,发现一批新的矿产基地。目前,桂北地区已成为我国重要的稀有、稀土、钨、锡、铅、锌、锑等矿产基地之一。

1.4 主要工作内容

本次研究依据地质找矿理论以及遥感找矿预测方法有计划、有步骤地展开,同时结合研究区的地理条件、地质概况以及本次遥感找矿的总体目的和要求,开展了以下主要研究工作:

(1)收集了工作区地质资料,对成矿地质背景、成矿条件、控矿因素等进行了详细分析。

(2)开展了野外现场调研,对桂北区带宝坛地区和元宝山地区成矿地质背景、控矿构造、矿床特征等进行了现场考查,调查了19个锡多金属矿点。

(3)购买了工作区卫星遥感数据,对桂北成矿带近3000平方公里的遥感数据进行了计算机处理,提取了有关的构造信息和矿化信息。

(4)对桂北地区预处理后的卫星遥感图像进行了详细的地质解译,发现了部分与成矿有关的大型构造。

(5)根据工区区域地质以及矿化蚀变等信息,运用遥感图像处理方法组合对卫星遥感图像进行了详细解译,提取了矿化蚀变信息,进一步缩小并圈定了找矿预测靶区。

(6)对三类遥感找矿信息(地层-岩体信息、线性构造信息、环形构造信息)进行了专题分析,利用分形分析方法对线性构造进行了重点研究,揭示了不同地区的线性构造基本特征及分形特性,对三类遥感找矿信息与成矿作用的关系进行了深入探讨。

(7)通过对卫星遥感图像的解译以及成矿地质背景的深入分析,建立了地质找矿模型以及遥感找矿模型。

(8)提出了开展进一步找矿勘探工作的新思路与新方法,划分且确立了若干找矿远景预测靶区。

1.5 目的与意义

我国是世界矿产资源大国,矿产资源种类丰富,目前已发现171种矿产资源,已探明储量的矿产有156种,约占世界矿产总量的12%,仅次于美国和俄罗斯,居世界第3位,但人均资源占有量仅为世界人均占有量的58%,列世界第53位。随着我国国民经济的持续快速发展,矿产资源消耗速度也几乎与经济规模同步增大,原有矿产储量消耗较大,后备资源储量增长速度已经滞后于消耗速度,新探明的矿产储量不足以弥补每年消耗的储量,整个矿业界面临矿产资源后备储量不足的问题,矿产资源对社会的支持力度正呈下降趋势。据预测,在对国家建设起支撑作用的45种矿产中,已有10多种矿产探明储量不能满足国家建设需要,至2010年,半数以上的矿产未满足要求,到2020年将仅有6种能保证需要^[20]。然而,矿业发展至今,露天矿、地表矿已越来越少,为实现矿业的可持续发展,人们将视线转移到深伏的盲矿体。因此,必须运用新的理论和方法来指导新形势下的找矿工作。遥感由于其具有的宏观、综合、经济、高效等特点而受到地质勘探工作者的青睐,成为一种高效的找矿技术手段。

桂北区带九万大山成矿区位于广西壮族自治区北部的融水县、融安县和贵州省之间,属深山密林区,气候温暖,山势陡峻,植被茂盛且覆盖面积广,运用传统的地质找矿方法进行找矿周期长、难度大、成本高、效果差。然而,运用遥感技术在该区开展找矿工作可以克服以上缺点^[21, 22],在节约大量的人力、物力、财力的同时也可以收到良好的找矿勘探效果,为该成矿区带矿产资源的可持续发展提供良好保证。

本次研究工作运用遥感技术方法和手段^[23, 24, 25],结合传统的地质找矿理论和方法,借鉴国内外的成功经验^[26, 27],借助遥感图像处理软件,对工区卫星遥感图像进行处理^[28],提取矿化蚀变信息,缩小并圈定矿化区,最终提出找矿远景预测靶区,因此,提高了找矿速度,缩短了找矿周期,节约了找矿成本。同时结合前人研究成果,进一步分析了该区的控矿条件、矿床特征以及矿床成因,形成了本区的总体成矿模式,最终建立了地质找矿模型和遥感找矿模型。

1.6 思路与方法

本次桂北九万大山矿集区遥感找矿研究工作是在前人的基础上开展的,是该区找矿工作史上的一次重要战略行动,将以此带动整个矿集区找矿工作的蓬勃发展,也可为该区矿产资源的可持续发展提供重要的资源保障。由于前人在该区的地质找矿方面已做了大量的工作,对诸多矿床的成矿理论也已有了较好认识,因此,在该区开展找矿工作必须运用新的思路和方法,在传统找矿理论的指导下结合新型的技术手段是本区找矿突破的关键所在。

本次找矿工作运用新兴的遥感技术手段,基于传统的地质找矿理论和方法,结合现代成矿理论研究新进展,借鉴国内外遥感找矿的诸多成功经验,开展本次遥感找矿预测研究工作。首先,进行研究区的资料收集工作,获得该区的地质资料以及遥感数据资料,针对已有地质资料对工作区的成矿地质背景、成矿条件、控矿因素等进行详细的分析,并对遥感图像进行初步解译^[29, 30],同时结合前人研究成果,对工作区形成一个初步的认识;然后,通过野外地质工作收集第一手资料,主要是进行野外实地踏勘工作,其中包括矿化点检查以及采用 GPS 技术对矿点进行定位、构造检查、采集标本等,通过这一系列的工作对矿区形成一个总体的认识,同时发现一些新的问题,且对下一步工作形成总体思路,在此基础上,进行室内资料整理以及综合分析,利用现代数字图像处理技术对该研究区的遥感图像进行综合解译和矿化蚀变信息提取^[31, 32],力图发现一些新的异常区,同时结合该区已有的地质资料以及野外工作所收集的资料,进行深入的分析研究工作,对该区的成矿模式进行探讨,并对三类遥感找矿信息(地层-岩体信息、线性构造信息、环形构造信息)进行专题研究,分析其与成矿、控矿的关系。结合前人研究成果,建立地质找矿模型以及遥感找矿模型,初步形成该区遥感地质找矿的总体框架。最后,从构造控矿、矿源层、矿化蚀变信息以及区域地质背景等多元找矿信息的角度提出若干找矿远景预测靶区,为矿集区今后的地质找矿工作提供关键科学依据。

1.7 小结

遥感找矿技术在遥感应用领域具有十分悠久的历史,国内外更有许多成功的典型经验与案例。本章内容首先介绍了遥感卫星与遥感技术及其发展现状与主要进展,阐述了遥感异常信息识别在成矿预测中的实际应用,同时结合本次研究工作的总体概况,简要叙述了工作区的矿业开发与地质研究历史、主要工作内容、研究的目的与意义、工作思路与方法等。

第2章 区域地质背景

本区位于扬子准地台、华南加里东褶皱带与桂西印支期褶皱带的过渡部位，江南台隆南缘的桂北地区^[17, 18, 19]，夹于广西壮族自治区北部的融水县、融安县和贵州省之间(图2-1)，地理坐标为东经 $108^{\circ}43'26.1'' \sim 109^{\circ}26'52.3''$ ，北纬 $23^{\circ}54'51.8'' \sim 25^{\circ}30'47.1''$ ，东西长约 70 km，南北宽 60 km，面积约 3400 km²。

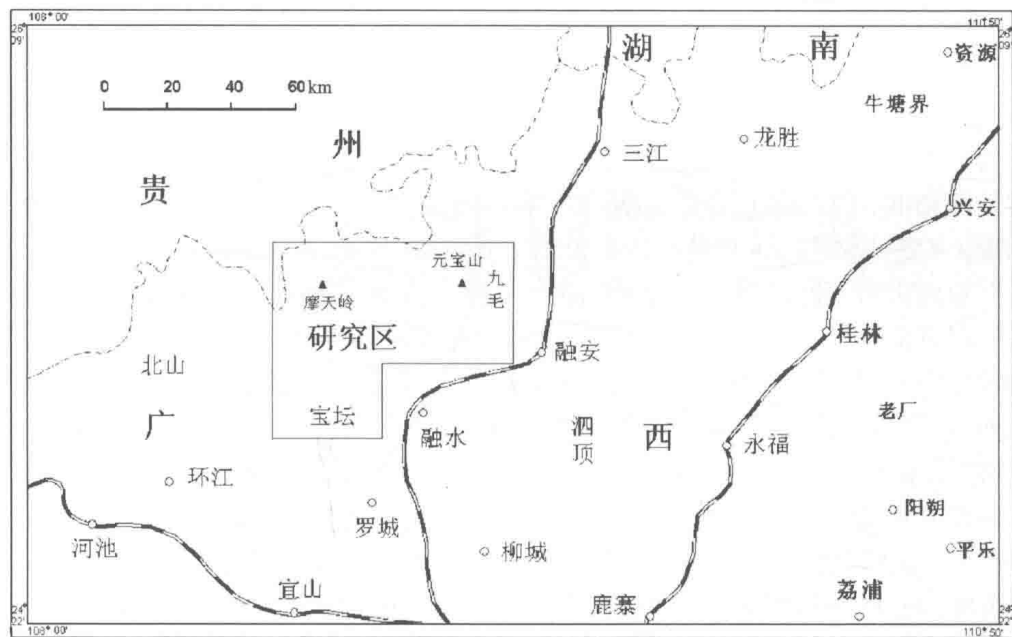


图 2-1 工区地理位置图

2.1 区域地层特征

该区分布有下-中元古宇至下-上古生界石炭系的地层。下-中元古宇四堡群为本区出露的最老地层，构成本区的下部褶皱基底；上元古宇-下古生界冒地槽型沉积构成上部褶皱基底；上古生界泥盆系、石炭系主要为地台型沉积。其中，四堡群是本区锡、铜、铅、锌多金属矿床的主要容矿围岩，对本区成矿起着决