

X IZANG YANHU KUANGCHAN ZIYUAN
YAOGAN CHENGKUANG YUCE

西藏盐湖矿产资源

遥感成矿预测

王建平 白朝军 等著

地质出版社

西藏盐湖矿产资源遥感 成矿预测

王建平 白朝军 王跃峰 刘彦明 秦绪文 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书系西藏自治区盐湖矿产资源遥感调查成果。作者以新的成盐(矿)理论为指导,以先进的遥感技术为主要调查手段,对区内不同类型的湖泊、第四纪地质、活动构造、地形地貌等区域成矿背景进行系统解译和盐湖矿产资源遥感成矿信息提取,通过研究总结盐湖及盐湖矿产的形成环境、含矿建造、沉积机制和化探异常、遥感异常的分布规律和空间变化,建立盐湖矿产资源成矿预测评价模型,进行成矿远景预测和资源潜力评价。

本书总结出一套适合于青藏高原固、液态矿产共存,硼、锂、芒硝、石盐、铯复合性矿种为主的盐湖矿产资源调查评价方法;提出了“古大湖演化”成盐新模式;新发现一批具有大型—超大型远景的盐类矿产地。

本书可供从事遥感地质、盐湖矿产调查与评价的科技工作者和高校从事相关专业研究的师生阅读使用,也可为地勘单位、企业和个人进行盐湖矿产资源勘查开发及政府部门进行区域经济发展规划、盐湖矿产资源勘查开发规划提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

西藏盐湖矿产资源遥感成矿预测/王建平等著. —北京:
地质出版社, 2008. 2

ISBN 978-7-116-05562-9

I. 西… II. 王… III. 盐湖-矿产资源-资源遥感-成
矿预测-西藏 IV. P617. 275

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 004611 号

责任编辑:祁向雷 王春庆

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

电 话:(010) 82324508 (邮购部); (010) 82324577 (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:787 mm × 1092 mm ¹/₁₆

印 张:8 图版:8 面

字 数:200 千字

印 数:1—800 册

版 次:2008 年 2 月北京第 1 版·第 1 次印刷

审 图 号:GS (2007) 1575 号

定 价:25.00 元

书 号:ISBN 978-7-116-05562-9

(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

本专著是在“西藏自治区盐湖矿产资源遥感调查”成果基础上编写而成的。作者以新的成盐（矿）理论为指导，以先进的遥感技术为主要调查手段，对西藏全区固、液态矿产共存，以硼、锂、芒硝、石盐、铯复合性矿种为主的盐湖矿产资源进行了系统调查评价，基本摸清了西藏现阶段盐湖矿产资源的家底。在全区预测出 14 个重要成矿远景区、181 个重点含矿盐湖，新发现了一批具有大型、超大型远景矿产地；从西藏的实际情况出发，在分析研究盐湖矿产成矿地质条件、分布规律、产出状况的基础上，根据国家和自治区中长期规划，市场需求，结合交通环境配置、工作程度等，对近期能开发利用、市场前景广阔、商业价值高的硼、锂、钾矿产提出初步开发利用规划建议，规划出 4 个 I 级开发规划区、3 个 II 级开发规划区。

作者提交了西藏全区 1:100 万湖泊及盐湖矿产资源分布图、成矿远景预测图、水化学类型分布图、开发利用规划图和重要成矿带及找矿靶区 1:5 万和 1:25 万遥感地质矿产图和古大湖演化趋势图、卤水取样纵剖面图、探槽浅井素描图等专题图件 51 幅；提交了调查成果报告 1 份、湖泊遥感影像图集 2 册（791 个湖泊）、西藏盐湖综述 1 份（新增加盐湖 158 个）；建立了西藏盐湖矿产资源地理信息系统；为区内经济发展规划及盐湖矿产资源勘查开发规划提供了基础地质资料和决策依据。

在实际工作中，作者重视遥感技术找矿和盐湖成盐模式的探索与研究。在技术方法上，以西藏不同类型湖泊及盐类矿物的波谱特征为基础，采用 TM (ETM⁺) 遥感信息源；在无成熟经验可借鉴的情况下，研究总结出一套适合于西藏高原固、液态矿产共存，硼、锂、芒硝、石盐、铯复合性矿种为主的盐湖矿产资源调查评价方法。创新性地运用 TM2 密度分割图像、TM2/7 比值处理图像、PCA546, 236 主成分分析图像等遥感标志，对湖泊含矿性和盐类沉积成分进行了成功判别，取得了遥感技术找矿的显著成果；在成盐理论（模式）上，通过深入研究全区盐湖及盐湖矿产的分布规律、控矿条件和湖相沉积等特征，结合青藏高原第四纪地质研究新进展，对盐湖矿产的成因进行了探讨，提出了“古大湖演化”成盐新模式，丰富了成盐理论，指明了最佳成矿、找矿有利部位，为寻找盐湖矿

产资源提供了新的理论依据。

盐湖矿产是西藏自治区的优势矿产，开发程度一直较低。本书作者采用多因素综合评判模型法对西藏全区主要盐湖矿产资源量进行了定量预测，估算其潜在经济价值高达4万亿元人民币，具有巨大开发利用价值。随着青藏铁路的成功通车和制约矿业开发的交通瓶颈被打破，盐湖矿产将是继铬、金、铅锌多金属矿之后的又一个主要开发矿种。相信本项目成果会对西藏地区的社会 and 经济发展产生积极影响。

本书共分七章。前言和第一章、第二章由白朝军、刘彦明执笔完成；第三章、第四章由白朝军、秦绪文执笔完成；第五章、第六章、第七章由王跃峰、白朝军执笔完成。方怀宾、刘长乐、张玉明参加室内遥感解译；李秋生、吕宪河、杨俊峰、宋克金参加野外调查工作；西藏盐湖矿产资源地理信息系统建设由曾涛、王丰收负责；湖泊遥感影像图集制作由武萍、肖抒完成；钟江文、许军强参与了专著图版制作和编辑工作。专著撰写完成后，由王建平、白朝军统一审核定稿。

本项工作在实施过程中，自始至终得到了西藏自治区发展和改革委员会、西藏自治区国土资源厅、河南省地质矿产勘查开发局区域地质调查队、河南省地质调查院等有关领导的大力支持，在此深表感谢。同时也感谢参与本项目部分工作的其他同志以及给予本项目指导、关心、帮助的专家、学者和朋友！由于作者水平有限，书中疏漏错误之处在所难免，望读者给予批评指正。

作 者

2007年9月

目 次

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 项目背景及目标任务	(1)
第二节 以往研究程度及综合分析	(1)
第三节 工作概况及主要成果	(4)
一、工作概况	(4)
二、主要成果	(5)
第二章 技术路线与工作方法	(7)
第一节 技术路线	(7)
第二节 工作方法 with 质量评述	(7)
一、信息源选取与影像图制作	(7)
二、遥感解译和成矿信息提取	(12)
三、找矿靶区验证	(20)
四、成果图件编制	(25)
第三章 区域成矿背景遥感调查	(28)
第一节 区域成矿背景概述	(28)
第二节 地层岩性遥感调查	(30)
一、地层	(30)
二、岩浆岩	(33)
第三节 地质构造遥感调查	(34)
一、区域地质构造	(34)
二、新构造运动	(34)
第四节 地形地貌遥感调查	(38)
第四章 湖泊及其含矿性遥感调查	(41)
第一节 湖泊遥感调查	(41)
一、湖泊分类方案	(41)
二、湖泊解译标志建立	(41)
三、湖泊遥感解译	(43)
第二节 盐湖水化学类型遥感调查	(44)
一、盐湖水化学分类	(44)
二、盐湖水化学类型解译标志建立	(45)
三、盐湖水化学类型遥感解译	(45)
四、盐湖水化学类型的分带	(46)
第三节 盐湖含矿性遥感调查	(48)
一、盐湖含矿性信息提取	(49)

二、盐类沉积成分的信息提取	(50)
第五章 成矿规律研究与成盐模式建立	(51)
第一节 盐湖分布规律	(51)
一、盐湖分类	(51)
二、分布及特征	(51)
第二节 盐湖矿产资源分布规律	(54)
一、硼矿	(55)
二、锂矿	(56)
三、钾盐	(56)
四、芒硝	(57)
五、石盐	(57)
六、碱矿	(58)
七、水菱镁矿	(58)
八、石膏	(58)
九、铷、铯	(58)
十、盐湖中其他有益组分	(58)
第三节 盐湖成矿规律与成矿带划分	(58)
一、盐湖成矿规律	(58)
二、成矿带划分	(61)
第四节 成盐模式建立	(63)
第六章 盐湖矿产资源遥感预测	(67)
第一节 遥感找矿模式建立	(67)
一、硼、锂、钾矿遥感综合找矿模式	(67)
二、石盐、芒硝矿遥感综合找矿模式	(68)
第二节 遥感成矿远景预测	(68)
一、预测依据	(68)
二、遥感成矿远景预测区分述	(71)
三、主要找矿靶区分述	(75)
第三节 资源量预测	(84)
一、预测方法	(84)
二、资源量预测	(89)
第四节 潜在价值估算	(91)
一、潜在价值计算方法	(91)
二、潜在价值计算参数的确定	(91)
第七章 勘查开发利用规划建议	(94)
参考文献	(96)
附表 西藏湖泊及水化学类型翻译一览表	(98)
图版及图版说明	

第一章 绪 论

第一节 项目背景及目标任务

西藏是我国现代内陆盐湖分布最多的省区之一，也是世界上范围最大、海拔最高的盐湖密集区，蕴藏着十分丰富的盐湖矿产资源，但由于受独特的自然地理条件、技术水平和交通等因素影响，其调查研究程度较低。在已知的 600 多个盐湖中，做过调查的仅有 250 余个，勘查评价的不足 10 个，探明储量的则更少。已有的工作也仅仅局限于公路沿线（交通方便的地区）或少数矿种（矿床）。盐湖矿产资源潜力不明，家底不清。

根据西藏有限的盐湖调查成果：区内盐湖矿产资源主要有硼、石盐、芒硝、镁盐、钾盐、锂盐和铷、铯、溴等 10 余种。其中硼、石盐、芒硝在我国占有重要地位，钾盐、锂、铷、铯是国家急需和战略性矿种。

作为西藏自治区优势矿产资源的盐湖矿产，它与人民群众的日常生活息息相关，几乎涉及国民经济的各个部门，广泛应用于轻工、农业、化工、冶金、电子、建材、纺织、军工等各个领域，具有巨大的开发利用价值和经济价值。为了加快西藏盐湖矿产资源调查评价和开发进程，促进地方社会与经济的可持续发展，西藏自治区政府决定开展“西藏自治区盐湖矿产资源遥感调查”，并以藏政办发〔2000〕112 号、藏计国土〔2001〕001 号、藏计投资〔2001〕675 号文下达了该项目工作的通知。

项目承担单位为河南省地质矿产勘查开发局区域地质调查队。工作时间为 2001 年 1 月~2002 年 12 月，成果验收时间为 2004 年 4 月。

本项目工作目标是：采用遥感调查和地面验证相结合的工作方法，开展西藏盐湖矿产资源调查评价（现代盐湖矿产），为区内经济发展规划及盐湖矿产资源开发规划提供基础地质资料和决策依据。具体任务是：

- （1）基本查明西藏湖泊的分布及水化学类型；
- （2）基本查明西藏盐湖及盐湖矿产资源分布状况；
- （3）研究盐湖矿产的分布规律、成矿条件，对主要矿产锂、硼、钾进行预测、评价；
- （4）选择经济效益与交通、环境配置较好的矿产地进行重点调查评价，为矿产开发提供基地；
- （5）建立西藏盐湖矿产资源地理信息系统，为自治区政府提供方便、快捷、科学的管理工具。

第二节 以往研究程度及综合分析

西藏盐湖矿产资源的调查程度较低，主要围绕公路沿线（交通方便的地区）开展工

作,多局限于硼砂、芒硝等少数矿种或少数矿床的调查评价和综合研究,缺乏系统性、全面性、综合性的调查研究工作。

新中国成立前,仅有少数外国探险家和学者在路线地质调查过程中涉及少数湖泊或盐湖,其中瑞典地理学家斯文赫定(Sven Hedin)于1889~1902年、1906~1907年和1907~1908年三次入藏进行路线地质调查,对色林错以北、阿里地区及色林错—班公错一线的湖泊、盐湖面积、海拔高程、水系、湖水的相对密度、含盐情况及湖岸线等作过考察记载。另有波格丹诺维奇于1888年进入阿里;维斯(Wyss. R)于1929~1930年到达革吉县以北地区;德拉特(H. De. Terra)于1927~1928年、诺林(Z. Norin)于1931~1935年到过高原的西北部,对沿途的湖泊或盐湖进行过调查。上述资料极为有限,涉及盐湖方面的内容更是贫乏,限于当时条件,能获取这些资料,对认识和研究高原盐湖的形成及演变历史,是难能可贵的。

新中国成立后,区内地质工作方得以正规开始。1951~1953年,中国科学院西藏工作队首次在藏东地区进行了盐湖矿产资源调查,对一些湖泊成因、水化学进行了分析研究,发现了申错、乃日平错等液相碱矿床,著有《西藏东部地质及矿产调查资料》,这是我国科学家首次提交的西藏考察报告,为全面认识该区地质及矿产资源提供了重要资料。

1956年,西藏821地质队在班戈错开展了硼矿检查工作;841队在查拉卡硼矿区进行踏勘工作,但未做深部揭露,所收集的资料较为简单。

1957年,新疆地质局喀什大队在噶尔昆沙一带开展地质调查时,对察来卡硼矿做过简单工作,未进行评价。

1958年,西藏地质局开始在藏北开展了以硼砂为主的盐湖矿产地质调查工作。至1961年底,调查湖泊95个,肯定了郭家林错、班戈错、扎布耶茶卡等10余个盐湖为固体硼酸盐矿产基地,并对郭加林错、班戈错进行了初步勘探,提交了《西藏北部盐湖硼矿普查总结报告》和《西藏杜加里湖、班戈错硼石矿区初步勘探报告》。

1958~1961年,中国地质科学院先后组成盐湖科学调查队、西藏综合考察队,对藏北主要盐湖进行了考察,取得了首批盐湖卤水化学分析数据。调查湖泊40余个,发现了世界上独特的扎仓茶卡(夏布错)硼酸盐矿床,对西藏湖区第四纪地质、水文地质、矿床地质进行了综合研究。1974年提交了《西藏盐湖硼矿研究报告》,1980年提交了《西藏盐湖》及其他矿产地质考察实录。这些报告较为系统地论述了西藏盐湖的基本概况,对西藏湖区的第四纪地质、水文地质、钻孔等实际资料,作了综合性报道,为进一步研究该区盐湖提供了宝贵经验。

1974年,西藏区调队为配合食盐出口任务对扎布耶茶卡南湖部分作了详细普查,圈定了石盐工业矿体,首次估算了卤水和石盐中KCl, LiCl, B_2O_3 , Na_2SO_4 等有益组分储量,确认该湖为一综合性盐类矿床。

1976年和1978年,中国科学院盐湖研究所再次开展了两次规模较大的综合科学考察工作,调查盐湖50多个,首次取得盐湖 ^{14}C 年龄数据,并首次在扎仓茶卡发现了水钙芒硝、泻利盐矿物。对湖相碎屑沉积物进行了分析鉴定,进行了沉积年代学、同位素地球化学研究,对西藏高原湖泊的成因、第四纪地质、湖泊和河流等作了较详细的研究;出版了包括《西藏盐湖》在内的一系列科学考察丛书。为探讨高原盐湖形成演化、成盐规律及合理开发与利用盐湖资源,提供了重要依据。

20 世纪 70 ~ 80 年代, 西藏区调队开展 1:100 万区域地质矿产调查工作时, 对各图幅内湖泊的水化学类型及盐湖矿产进行了调查, 取得了一批宝贵成果。

1980 ~ 1984 年, 中国地质科学院矿产研究所与青海地质矿产局合作完成了“青藏高原盐湖沉积环境及寻找 K, B, Li 远景”课题, 对西藏部分盐湖作了进一步研究, 在扎布耶茶卡新发现了钡、铷、嗜盐菌藻等有益组分, 再次确认该湖为一个具有硼酸盐、锂盐、钾盐等矿种的大型综合性矿产基地。

1991 年, 西藏地质矿产局第五地质大队开展了西藏北部盐湖调查, 获得了黑-阿公路两侧较为详细的盐湖水质化学分析资料。

1994 年, 西藏地质矿产局开展了全区区域矿产总结, 对区内 116 个湖泊做了矿产评价, 分析水化学资料 100 个, 并对与盐湖有关的硼、锂、钾、芒硝、石盐、碱矿、水菱镁矿做了较为详细的总结, 提交成果有《西藏自治区区域矿产总结》。

1994 年, 西藏地质矿产局开展了全区矿产资源论证, 对与盐湖有关的矿产资源及开发利用现状、经济价值等进行了较为系统的总结与评价, 提出了进一步开展地质勘查和开发利用的规划建议, 提交有《西藏自治区矿产资源对 2010 年国民经济建设保证程度论证报告》。

1995 年, 中国地质科学院盐湖与热水资源研究发展中心(地质矿产部矿床地质研究所), 开展了扎布耶茶卡盐湖综合调查。对湖区第四纪地质、古气候、沉积环境及矿床地质均做了详细研究。该项目属国家科委、西藏科委重点科研项目(K89-01-32), 也是国家自然科学基金项目(49070123), 提交有《扎布耶茶卡盐湖综合调查与长观研究报告》。

1999 年, 地质矿产部矿床研究所与西藏地质矿产厅地热地质大队合作, 开展了西藏羌塘地区盐湖资源调查, 着重进行了盐湖地质、第四纪地质、生物、综合找矿等工作。

2001 年, 河南省地质调查院对西藏全区开展了全面、系统的资源与环境遥感综合调查, 取得了一系列成果, 内容涉及多领域、多学科。提交有矿产资源、旅游资源、水资源等 13 个子课题调查报告, 为本次工作奠定了良好的基础。

2002 年, 中国地质科学院矿产资源研究所(盐湖与热水资源研究发展中心)对扎仓茶卡Ⅱ盐湖进行了详查工作。探明扎仓茶卡为一个大型新型镁硼矿床, 并对矿床做了详细评价, 提交有《西藏自治区革吉县扎仓茶卡Ⅱ湖东缘镁硼矿区详查报告》。

此外, 有关大专院校、科研单位还发表了大量与此相关的论文及专著。

以上成果均为本次盐湖矿产资源调查工作提供了重要参考和借鉴, 区内前人调查研究主要成果见表 1-1。

表 1-1 前人调查、研究成果一览表

调查、研究者	时 间	调查、研究内容	主 要 成 果
英、德、俄国人	19 世纪中叶 至 20 世纪初	路线地质调查	调查资料
中国科学院西藏工作队	1951 ~ 1953	盐湖矿产调查(藏东地区)	《西藏东部地质及矿产调查资料》
西藏 821 地质队、841 队	1956	班戈错硼矿检查, 茶拉卡矿区踏勘	工作简报
新疆地质局喀什大队	1957	察来卡硼矿区踏勘	未评价

续表

调查、研究者	时 间	调查、研究内容	主 要 成 果
西藏地质局	1958 ~ 1961	藏北硼砂盐湖矿产普查; 郭加林错、班戈错硼矿初勘	《西藏北部盐湖硼矿普查总结报告》、《西藏杜加里湖、班戈错硼矿石矿区初步勘查报告》
中国地质科学院	1958 ~ 1961	盐湖矿产地质研究	《西藏盐湖硼矿研究报告》、《西藏盐湖》及其他矿产地质考察实录
西藏区调队	1974	扎布耶茶卡南湖部分详查	详查报告
中国科学院盐湖研究所	1976, 1978	综合科学考察	考察丛书
西藏区调队	20 世纪 70 ~ 80 年代	1:100 万区域地质矿产调查	地质矿产调查报告
中国地质科学院矿产研究所、青海地质矿产局	1980 ~ 1984	青藏高原盐湖沉积环境及寻找 K, B, Li 远景评价	课题成果报告
西藏地质矿产局第五地质大队	1991	西藏北部盐湖调查	调查报告及水化学类型成果图
西藏地质矿产局	1994	西藏区域矿产总结	《西藏自治区区域矿产总结》
西藏地质矿产局	1994	全区矿产资源论证	《西藏自治区矿产资源对 2010 年国民经济建设保证程度论证报告》
中国地质科学院盐湖与热水资源研究发展中心	1995	扎布耶茶卡盐湖综合调查	《扎布耶茶卡盐湖综合调查与长观研究报告》
地质矿产部矿床研究所与西藏地质矿产厅地热地质大队	1999	西藏羌塘盐湖矿产资源调查	《西藏羌塘盐湖资源调查评价设计书》
河南省地质调查院	2001	西藏全区资源与环境遥感综合调查	《西藏自治区资源与环境遥感综合调查报告》
中国地质科学院矿产资源研究所	2002	扎仓茶卡 II 盐湖矿区详查	《西藏自治区革吉县扎仓茶卡 II 湖东缘镁硼矿区详查报告》

第三节 工作概况及主要成果

一、工作概况

本项目于 2001 年 1 月启动, 2002 年 12 月工作结束, 2004 年 4 月成果验收。工作概况如下:

2001 年 1 ~ 4 月, 系统收集、整理和研究区内已有的盐湖矿产资源、区域化探和遥感信息资料; 从分析盐湖矿产资源调查现状和存在问题入手, 根据本次工作目的任务确定技术路线和工作方法, 明确调查内容和提交成果, 制定组织管理和技术保证措施, 编写项目工作实施方案。2001 年 4 月 20 日, 在拉萨通过了由西藏自治区计委组织的审查验收, 并同意实施。之后, 项目组根据评审委员会提出的意见, 进行了认真的修改、补充和完善。

2001年5~7月,收集、购买工作所需的1:50万,1:25万,1:10万和1:5万基础地理信息资料及TM,ETM等遥感信息资料,通过波谱测试优选遥感影像合成方案,制作全区1:50万和重点区1:25万,1:10万,1:5万卫星影像图及典型靶区信息增强处理图像;开展全区1:50万和重点区1:25万,1:10万,1:5万遥感初步解译和遥感异常提取,建立主要地层、构造、岩浆岩的解译标志和主要盐湖矿产资源的遥感综合找矿模式,圈定成矿远景区和找矿靶区。

2001年8~11月,在室内遥感解译成果基础上,对各类湖泊及水化学类型,第四纪地质及活动构造的解译标志和主要盐湖矿产资源遥感找矿模式(盐类沉积成分)进行验证,确定进一步工作的重点找矿靶区。然后,选择成矿条件好、成矿物质含量高(硼、锂、钾、石盐、芒硝)、规模大的含矿盐湖进行重点检查和工程控制。工作内容包括:路线地质调查、矿区地质填图、地质剖面测制、探槽及浅井施工、卤水及各类固体样品采集等。

2001年12月~2002年12月,样品分析、测试,整理野外资料;根据野外验证结果,开展全区1:50万和重点区1:25万,1:10万补充解译,编制了系列成果图件;制作全区湖泊影像图集,开展专题研究,对全区盐湖矿产资源进行远景预测评价;完成西藏盐湖矿产资源地理信息系统建设;编写调查成果报告。

二、主要成果

(1)以西藏不同类型湖泊及盐类矿产波谱特征为基础,采用TM(ETM⁺)遥感信息源,建立了淡水湖、咸水湖、盐湖、半干涸湖和干涸湖及不同水化学类型盐湖的遥感判别标志。查明西藏全区面积大于1 km²的湖泊791个,解译出咸水湖265个、盐湖279个、半干涸湖22个、干涸湖91个,新增加盐湖158个。区分出碳酸盐型盐湖88个、硫酸盐型盐湖132个。

(2)在无成熟经验可借鉴的情况下,研究总结出一套适合于西藏高原固、液态矿产共存,以硼、锂、芒硝、石盐、铯复合性矿种为主的盐湖矿产资源调查评价方法。创新性地运用TM2密度分割图像、TM2/TM7比值处理图像、PCA546,236主成分分析图像等遥感标志,建立了西藏主要盐湖矿产资源遥感预测评价模型,对湖泊的含矿性和盐类沉积成分(硼砂、芒硝、石盐)进行了成功判别,取得了遥感技术找矿的显著成果。

(3)在全区预测出14个重要成矿远景区、181个重点找矿靶区。经野外调查验证,见矿率88%。新发现盐类矿产地6处,其中具有超大型远景铯矿产地2处,大型远景硼矿产地2处,大型远景锂矿产地1处,大型远景芒硝矿产地1处。按《盐湖矿产矿床地质勘探规范》评价,提交液体锂矿(LiCl)预测资源量243.48万吨,液体硼矿(B₂O₃)预测资源量157.76万吨,液体钾矿(KCl)预测资源量1742.96万吨,固体芒硝(Na₂SO₄)预测资源量1.22亿吨,铯预测资源量5.43万吨,找矿成果突出。

(4)采用多因素综合评判模型法对西藏全区主要盐湖矿产资源量进行了定量预测,估算锂矿(液体LiCl)资源量2127.71万吨,硼矿(液体B₂O₃)资源量1089.91万吨,钾矿(液体KCl)资源量3.37亿吨,固体芒硝(Na₂SO₄)资源量50.73亿吨,石盐(矿石)资源量3.23亿吨,铯资源量5.62万吨。估算其潜在经济价值达4万亿元人民币。首次实现了西藏全区盐湖矿产资源定量预测和潜在经济价值评估。

(5)在总结前人所做成盐模式的基础上,通过深入研究全区盐湖及盐湖矿产的分布

规律、控矿条件和湖相沉积等特征，结合青藏高原第四纪地质研究新进展，创建了西藏“古大湖演化”成盐新模式，丰富了成盐理论，对西藏乃至青藏高原地区盐湖矿产找矿和基础地质、成矿理论研究具有重要借鉴意义。

(6) 在分析研究盐湖矿产成矿地质条件、分布规律、产出状况的基础上，根据国家和西藏自治区中长期规划，市场需求，结合交通环境配置、工作程度等，对近期能开发利用、市场前景广阔、商业价值高的硼、锂、钾矿产提出初步开发利用规划建议，规划出 4 个 I 级开发规划区、3 个 II 级开发规划区。

(7) 建立了西藏全区湖泊及盐湖矿产地数据库和地理信息系统，可以按成矿带、成矿远景区、找矿靶区等多种方式，以行政分区、矿产种类、矿产地编号、湖泊类型、湖泊名称、缓冲区检索等多种方法进行查询。查询内容包括：基础地理信息、基础地质信息、湖泊及矿产资源信息和开发规划信息。为西藏自治区政府制定盐湖矿产资源勘查开发规划提供了基础地质资料和方便、快捷、科学的管理工具。

第二章 技术路线与工作方法

第一节 技术路线

西藏自治区盐湖矿产资源遥感调查项目专业性强、应用目标明确。在运用遥感技术进行盐湖矿产资源调查方面,此前国内仅在新疆罗布泊和青海柴达木盆地做过固体钾盐矿探索性研究。而以硼、锂、芒硝、石盐、铯复合性矿种为主,固液态矿产共存为特色的西藏盐湖矿产遥感调查,包括中国科学院、中国地质科学院等在内的国内著名盐湖研究机构很少做过研究,缺乏成熟的方法和技术,国外也没有可借鉴的先例。因此,在技术路线和方法设计上既要考虑遥感技术的先进性,又要考虑方法的有效性,同时还要注意各个环节的可行性和可操作性。

为了保证项目顺利实施,项目组做了大量遥感找矿的先期研究和试验工作。确立了技术路线:即以先进的遥感技术作为主要调查手段,在综合分析研究已有成果资料基础上,以新的成矿(盐)理论为指导,对区内不同种类的湖泊、第四纪地质、活动构造、地形地貌等区域成矿背景进行系统解译和盐湖矿产资源成矿遥感信息提取,迅速查明各类湖泊及盐湖矿产资源的分布状况。通过研究总结盐湖及盐湖矿产的形成环境、含矿建造、沉积机制和化探异常、遥感异常的分布规律和空间变化,初步建立主要盐类矿产资源(石盐、芒硝、硼矿、钾矿、锂矿等单矿种或复合型矿种)的遥感找矿模式,圈划成矿远景区(找矿靶区)。在此基础上,选择有代表性的典型找矿靶区进行野外验证和点上解剖研究,建立盐湖矿产资源成矿预测评价模型,进行成矿远景预测和资源潜力评价。为西藏制定国民经济和社会发展中长期规划、矿产资源勘查开发规划等提供基础资料和决策依据。工作流程如图2-1所示。

第二节 工作方法与质量评述

一、信息源选取与影像图制作

(一) 遥感信息源选取

可供项目选择使用的遥感信息源较多,如:LandSat TM (ETM⁺)、Spot 数据、Ikonos 等。考虑到成图精度(1:100 万,1:25 万,1:10 万,1:5 万),以及工作区范围大、工作周期短等因素,选用获取速度快、分辨率中等、波段较多和价格适中的 TM (ETM⁺) 数据作为基本信息源。针对该区气候寒冷、冬长夏短、积雪覆盖时间长等特点,时相尽可能选择在信息量丰富、含云量低的9~11月份,同时尽可能选取不同景间时相接近一致的 TM (ETM⁺) 数据,并充分考虑地貌差异引起的季节性变化差异。如高寒区与低暖区相比,

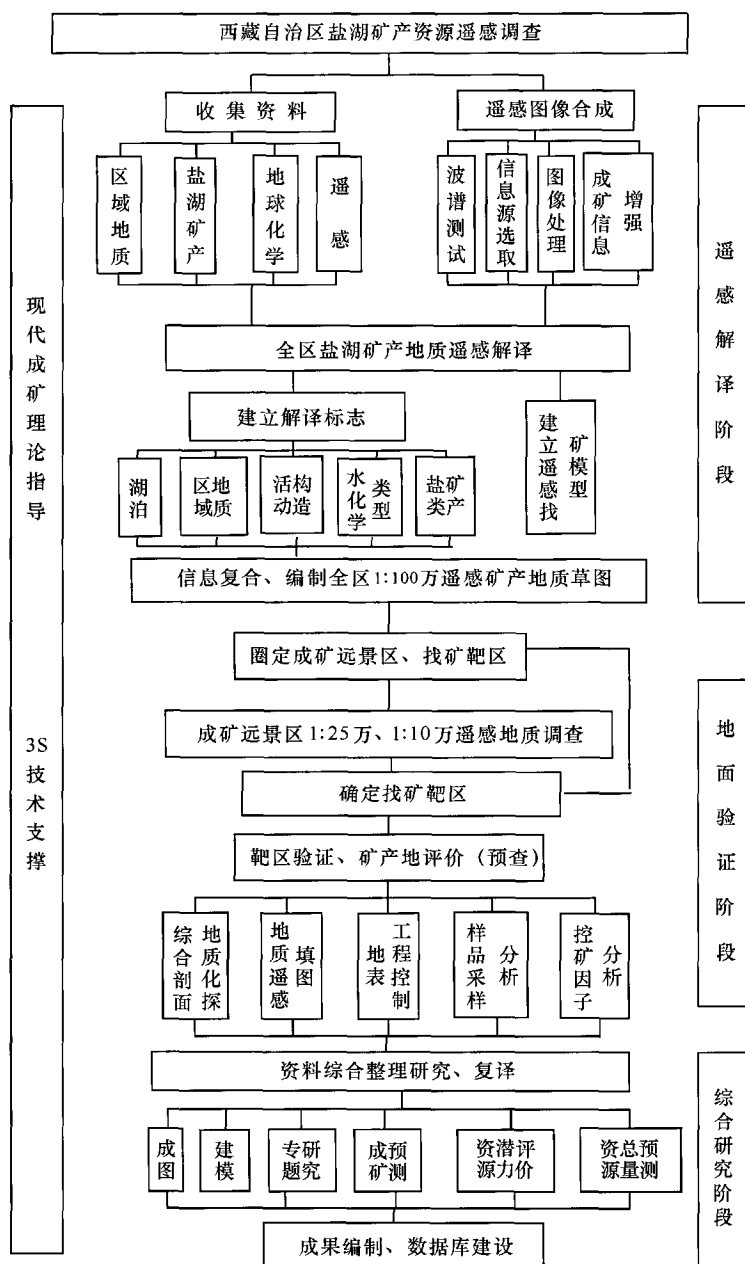


图 2-1 工作流程图

高寒区可偏夏季，低暖区可偏春、秋季。本次共获取西藏全区 TM (ETM⁺) 数据 95 景，时相以 1999 ~ 2001 年为主。

TM 包含了从可见光到中、远红外谱区的 7 个波段，其中除远 (热) 红外谱区的 TM6 空间分辨率为 120 m 外，其他 6 个波段的空间分辨率均为 28.5 m，经图像处理后可以获得 1:50 万高质量图像，放大可保证 1:25 万精度。ETM⁺ (Landsat 7) 全色波段空间分辨

率为 15 m，经融合处理可得到 1:5 万的高清晰度图像，完全满足了本次遥感调查的要求。

(二) TM 影像图制作

1. 图像制作流程与波谱测试

TM 影像图制作是本次遥感调查工作的基础，主要任务是提供较高质量的遥感图像资料。图像制作流程如图 2-2。

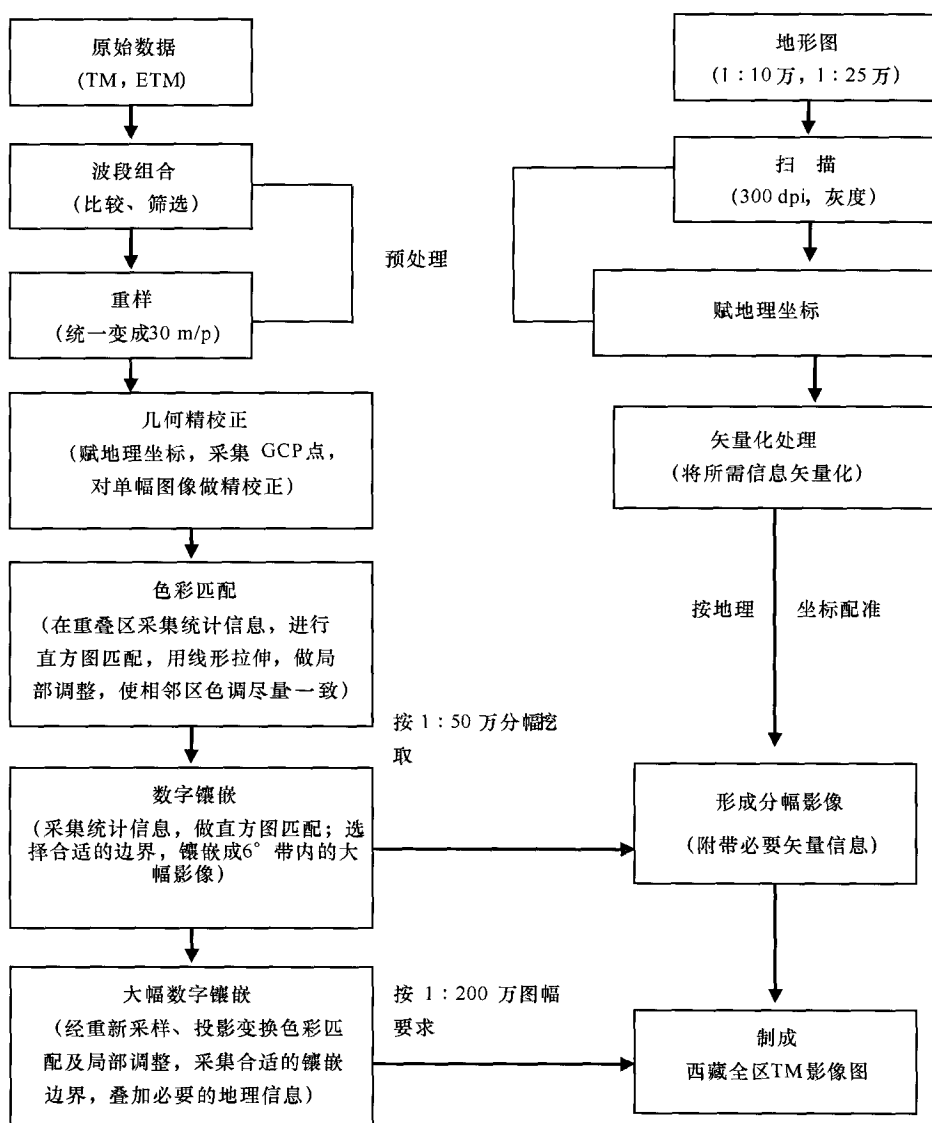


图 2-2 遥感图像制作流程图

为研究不同类型的湖泊及盐类矿产的遥感特征，项目组进行了波谱测试。测试矿物有石盐、芒硝、硼砂及灰岩、泉华（碳酸盐岩），测试湖水类型有淡水、低矿化度盐水、含矿高矿化度盐水等（图版 1；图 2-3）。测试任务由中国石油天然气总公司石油勘探开发

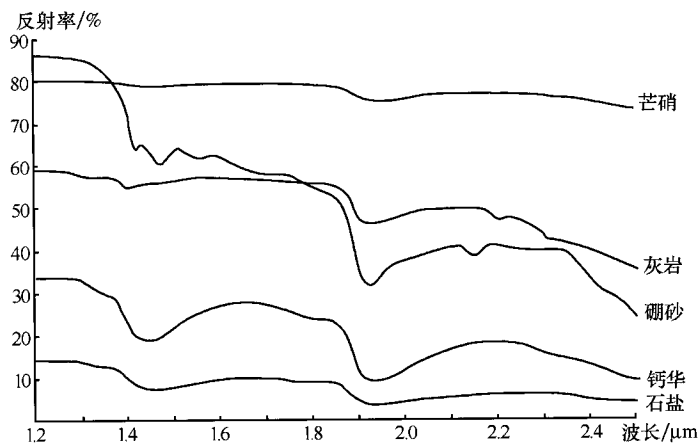


图 2-3 西藏盐湖固体盐类沉积物波谱曲线

研究院承担。测试仪器为近红外矿物分析仪，光谱最小分辨率为 $7\ \mu\text{m}$ ，信噪比为 $1/3\ 500 \sim 1/4\ 500$ ，光谱取样间距为 $2\ \mu\text{m}$ ，测试速度 40 秒/次。从该仪器测试的数千个数值来看，结果稳定可靠。

测试结果表明：不同类型的湖泊，在不同波段所表现出的反射率具有明显的差别。根据各水体样品的波谱测试结果可见：在可见光波段，其反射率变化不大，反射率曲线均较平直，而在近红外波段 ($1.3 \sim 2.5\ \mu\text{m}$)，其反射率不仅在总体上表现出明显的差异，且反射率曲线亦显示出不同的特征，但各水体随波长的增加，表现出的总体下降趋势是一致的。盐湖反射率最高，一般为 $50\% \sim 80\%$ ；咸水湖次之，一般为 $30\% \sim 50\%$ ；而淡水湖（或纯水）最低，多低于 30% 。同时不同矿化度的盐湖水样测试表明，反射率与矿化度基本上呈正比关系。

不同种类湖泊的反射率曲线形态亦有所不同。盐湖曲线一般表现为振幅较小，其波峰与波谷的波动值在 $3\% \sim 5\%$ 之间；咸水湖在 5% 左右；淡水湖高达 10% 左右。盐水湖表现为振幅小、频率低，咸水湖表现为振幅大、频率低，淡水湖表现为振幅大、频率高。

2. 彩色合成

为获取最佳合成遥感图像，在波谱测试分析的基础上，需要对影像进行波段相关性分析（表 2-1）和方差统计。对各波段的方差统计结果表明：TM3，TM4，TM5，TM7 波段信息较丰富，其中以 TM7 所含信息量大。TM1，TM2，TM3 及 TM6 波段的亮度值覆盖范围较窄，图像的对比度较差。另外，我们还发现，TM1 波段的灰度均值高于 TM2，TM3，TM4 波段。对 TM 的 7 个波段的相关性分析表明：TM1，TM2，TM3 的相关系数大于 0.894；TM5 和 TM7 的相关系数为 0.985；TM4 与各波段的相关性系数均比较小，最大为 0.843；TM6 与各波段的相关性亦较弱，最大为 0.742。也就是说，在 TM 的 7 个波段中，相关性较强的波段组合是 TM1，TM2，TM3 组合和 TM5，TM7 组合，而 TM4，TM6 波段则具有较强的独立性，与其他各波段的相关性都较小。