

# 西藏盐湖 TM 影像遥感分析

王跃峰<sup>1,2</sup>, 陈瑞保<sup>1,2</sup>, 白朝军<sup>1,2</sup>, 方怀宾<sup>2</sup>, 左爱萍<sup>1,2</sup>, 刘长乐<sup>2</sup>

(1. 河南省地质调查院, 河南 郑州 450007;

2. 河南省地矿局区域地质调查队, 河南 平顶山 467021)

**摘要:** 利用 TM 影像及数据, 对西藏盐湖做了全面的分析探讨, 总结了盐湖的遥感影像特征, 建立了遥感解译标志, 并利用不同盐度水体的反射率和主成分分析对盐湖做了遥感信息的探索性研究。以此为依据, 对西藏全区盐湖进行了判读, 识别出大于 1km<sup>2</sup> 的盐湖区 392 个为以后从事西藏盐湖研究奠定了良好的基础。

**关键词:** 盐湖; TM 影像; 遥感信息

中图分类号: P627

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2004)02-0001-07

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, 蕴藏着十分丰富的矿产资源<sup>[1,2]</sup>。但由于受独特的自然地理条件、交通等因素影响, 其调查研究程度较低, 影响了资源的开发利用。遥感是一门 20 世纪发展起来的新兴综合学科, 具有宏观、综合、动态、快速的特点, 为地球资源调查与开发、国土整治、环境监测以及全球性研究开辟了一种新的探测手段和方法<sup>[3-9]</sup>, 尤其是近年来利用美国、法国、俄罗斯等先进国家卫星获取的高分辨率遥感数据, 为进行较详细的资源调查及分析, 提供了良好的技术支撑。在此背景下我们开展了对西藏盐湖矿产资源的遥感调查研究, 并取得了一些成果和认识, 现将取得的部分成果介绍于下。

## 1 遥感图像合成方法研究

### 1.1 信息源选取

根据盐湖工作调查需要及精度, 本次工作基本信息源主要采用视野宽广、覆盖范围大、分辨率高、几何精度高、利用计算机处理分类能力

好的 TM 数据, 部分重点成矿远景区、找矿靶区采用 ETM+ 数据。为了便于对比研究, 我们同时选用了具有 36 个通道、波谱宽度 10nm ~ 20nm、时相为 2002 年 8 月的高光谱 EOS-MODIS 卫星数据。

### 1.2 时相选取

原则上以最新的、最佳时期的 TM 数据为准, 但是鉴于西藏气候寒冷、冬长夏短、积雪覆盖时间长的特点, 应选择夏季信息量丰富、含云量低的时相, 同时尽可能选取不同景间时相接近一致的 TM 数据; 或在时期变化与空间变化相一致, 地貌差异引起的季节差与时相差相消长的 TM 数据。本次工作利用 TM 数据时相主要是 2000 年和 2001 年 7~9 月。

### 1.3 波段选择

西藏盐湖矿产资源遥感调查是一项综合性、技术性很强的应用项目, 应尽量选择信息量大的波段组合进行合成, 因此, 应对各波段相关性和信息量进行综合分析, 确定出最佳合成方案。为此, 我们进行了波段相关值分析(表 1), 从表中可以看出 TM1、2、3 波段及 5、7 波段

收稿日期: 2003-08-18

作者简介: 王跃峰(1963-), 男, 河南偃师人, 地矿工程师, 从事国土资源遥感调查, 主持过多项大中型项目。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

相关良好。同时又对 7 个波段的亮度范围进行了统计,从统计结果来看, TM3、4、5、7 波段信息相对丰富,其中 TM5 波段比 TM7 波段信息量大,而且是 7 个波段中信息量最大的波

段。TM1、2、3 及 TM6 波段的亮度值覆盖范围更窄。另外,我们还可发现 TM1 波段的亮度值高于 TM2、3 波段,并且也高于 TM4 波段。

表 1 TM 各波段相关性一览表

Table 1 The correlative analysis of each band of the thematic Mapper image

| 波段  | TM1   | TM2   | TM3   | TM4   | TM5   | TM7   | TM6   |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TM1 | 1.000 |       |       |       |       |       |       |
| TM2 | 0.899 | 1.000 |       |       |       |       |       |
| TM3 | 0.894 | 0.952 | 1.000 |       |       |       |       |
| TM4 | 0.345 | 0.580 | 0.582 | 1.000 |       |       |       |
| TM5 | 0.435 | 0.629 | 0.663 | 0.843 | 1.000 |       |       |
| TM7 | 0.503 | 0.679 | 0.726 | 0.786 | 0.985 | 1.000 |       |
| TM6 | 0.451 | 0.579 | 0.622 | 0.614 | 0.719 | 0.742 | 1.000 |

通过对 7 个波段的相关性分析和亮度值统计研究,可以得出下面结论,即三个可见光 TM1、2、3 和两个近红外 TM5、7 波段之间的相关性较好,具有较大的相似性。TM4、TM6 波段则具有较大的独立性,与其它各波段的相关性都很小。

通过综合分析,考虑到 TM6 波段分辨率低及受大气辐射的影响等因素,不参与合成。因此,应在 TM1、2、3、4、5、7 波段中选择三个波段进行合成。根据相关性等情况,三个波段应是 TM1、2、3 中选一波段, TM5、7 中选一波段和 TM4 波段进行合成。根据工作目的和西藏实际情况,我们选择 TM432 和 TM741 等合成方案。

#### 1.4 几何精校正

本次遥感图像制作中采用了对原始数据进行计算机数字校正法,具体步骤如下:

##### (1) 选择地面控制点 GCP

这是几何精校正的第一步,也是最重要的一步。首先,选用地面一些控制点,如道路、河流的交叉口或弯曲处为控制点,在每幅图内选取 20~30 个均匀分布的地物点,以保证空间配准的精度。其次,地面控制点确定后,在计算机图像处理屏幕上,寻找 TM 图像上所对应地形图上可以精确定位的一些同名特征地物点,用

光笔检测出原 TM 图像的像元行列号(数),该像元的行列号作为图像坐标,并在地形图上读取该同名地物点的高斯网格坐标。

##### (2) 选择纠正方程

选用二次多项式的几何纠正方法。用该法校正时,输入控制点坐标数据,运行图像空间坐标转换程序,求出 X 和 Y 方向的校正系数。

##### (3) 像元重采样

据多次比较分析,采用最近邻法重采样效果较好, TM 图像所采样元大小为 30m×30m。

##### (4) 确定校正图像位置大小

运行 TM 图像校正程序,应用二阶多项式,采用最小二乘法求解方程系数。该表达式为:

$$X = L_1(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-1} a_{ij} x^i y^j$$

$$Y = L_2(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-1} a_{ij} x^i y^j$$

式中: X、Y 为像元的原始坐标,  $x^i$ 、 $y^j$  为同名像元的地图坐标, n 为多项式的阶。一般只要控制点选择恰当,定位准确,在各类区校正中,误差多在 1 个像元左右。

##### (5) 图像配准

几何配准主要是对进行过精校正的不同波段的数据,使同一像点在不同波段上的位置进行精确配准,以避免不同波段像元间的位置影响制作的精度。图像配准有图像—图像配准和

图形—图像配准两种方法,在本次工作中使用了图形—图像配准的方法。

### 1.5 图像合成

TM 图像的彩色合成是指把三个波段的影像分别赋以红、绿、蓝三色进行合成而获得一幅假彩色图像的技术。本次工作中采用的是数字合成方案,其优点是像元配准度高,生成的数字图像可以方便地制作多幅同精度、同彩色的图像。

我们在计算机上对三个波段的不同组合进行了合成处理,从不同组合的反差、层次和地物的色彩显示来看, TM741 和 TM432 合成具有较好的效果,其影像色调细腻、反差适中、层次丰富、主要信息突出,其中 TM432 图像近于真彩,对水信息反应敏感,适合湖泊调查,是本次工作应用的主要图件; TM741 对地层、岩石辨别能力强,适合地质矿产遥感调查,是本次工作辅助参考图件。

### 1.6 加载地理信息

在 TM 卫星影像图上,加载地理格网信息和边界,可使卫星影像图能够更好地应用。依据专题图的性质,选择合适的编图技术和方法,以达到地图数学基础的精确性。根据输出图像的不同尺度,加载相应的边界。主要有:

**境界:**以中国人民解放军总参谋部调绘的 1:50 万、1:25 万、1:10 万地形图为基础,在影像图上加载如国界、省界、地区界和县界等。

**地名:**在影像图上加载县级、地区级、自治区级行政所在地和主要湖泊名称。

**图面配制:**在标准图幅的四周用内、外图廓表示。在图廓边缘加注经纬网、图名、比例尺、图例等注记。

通过上述工作步骤和方法,我们就可以得到一幅完整的、便于使用的高质量图像,经计算机数字处理后,可以分割生成 1:5 万(ETM+)、1:10 万、1:25 万和 1:50 万标准图幅图像,满足工作需要。

## 2 盐湖及水化学类型解译标志

### 2.1 盐湖遥感解译标志

湖泊从形成—咸水湖—盐水湖—干涸湖,直到消亡,往往受控于多种因素,如地质、地貌、水系、气候等,总结分析这些控制因素,寻找在遥感影像上遗留下的各种痕迹,建立遥感解译标志,归纳出盐湖的遥感影像判读模式,是客观、准确判定盐湖的重要基础。

#### 2.1.1 地貌

地貌是控制盐湖形成的重要因素之一,也是形成盐湖的基础和重要条件。青藏高原地形地势复杂,波状起伏,北有昆仑山,南有喜马拉雅山,犹如巨大的屏障屹立在高原两侧。其内部为冈底斯山—念青唐古拉山,将西藏分割成北、南、东三个不同成因类型的地貌单元。北部藏北高原地形相对平缓,低山、丘陵相间,其间夹有宽展平原和盆地,成为盐湖形成和分布的有利地形地貌条件。而东部高山峡谷区,平原和湖盆地形少见,不利于湖泊或盐湖的形成。在 TM 影像图上,地貌分布特征一目了然,而有利于盐湖形成的闭流或半闭流成盐盆地也易于判读。从微地貌看,从湖泊的形成到演化成盐湖,其间经历变迁、扩张和萎缩,这些天然记录,在遥感影像上醒目而直观,如在湖泊周围呈环形分布的古湖岸线、干盐滩等,是判定盐湖形成的重要标志。

#### 2.1.2 水系

水系和盐湖的形成密切相关,一般形状为同心状,有些盐湖周围水系不太发育,或注入河流规模不大,或接近湖盆时已消失。盐湖多是水系的最终归宿,即为河口湖(尾间湖)的特征非常明显。盐湖排泄方式一般以大气蒸发为主,没有水流排泄,该闭流环境有利于湖水中盐类物质的浓缩和矿化度的提高,使湖泊向盐湖方向演化,也是判定盐湖形成的重要的标志之一。

#### 2.1.3 地质

##### 2.1.3.1 构造

青藏高原在隆升、挤压过程中,形成了一系列的纬向、经向和斜向构造,制约着区内众多湖盆的生成和分布,盐湖明显受控于纬向构造,部分和斜向构造有关。近东西向分布的断陷盆

地或宽展裂谷,是晚近时期最有利的现代成盐地质环境,区内许多现代成盐区,就是在这种构造背景控制下形成的成盐盆地。而活动构造的频繁强烈活动,对盐湖成盐作用十分不利,一方面表现为湖泊周围由于隆起带的强烈隆升作用,山系海拔高度急剧增大,现代冰雪覆盖较多,使湖水的水源补给极其丰富,导致湖泊朝着盐湖方向演化的速度明显受到影响,甚至还有一部分趋向淡化;另一方面表现为对盐湖封闭性的破坏作用,造成湖泊演化或成盐作用的中断。这一现象在近北向的活动构造带中最为常见,其次见于北东或北西向的活动构造带中。

### 2.1.3.2 地层

通过对区内盐湖外围地层研究发现,盐湖地层普遍有由外—内依次由老—新的展布特征。即从盆缘到湖泊方向,依次分布有中生界、第三系、更新统、全新统的各类沉积物。盐湖外侧沉积物同样按着一定的沉积顺序展布,即由边部到湖中心,依次为碎屑沉积、蒸发盐类沉积。在 TM 影像图上,呈现为明显的同心环带状图形:一般盆缘多为基岩山地,影像色调最深,颜色具多样性,且花纹粗糙,阴影较多;向湖泊方向为发育的各种扇体,影像多呈灰、灰黑、

灰红、灰黄色等,阴影很少,花纹变得较细;再向里,影像色调变浅呈浅灰、灰白色、白色,影纹细腻。

### 2.1.4 气候

青藏高原纬度低,海拔高,气温低,温差大,风多雨少蒸发量大,日照时间长,气候干冷,对盐湖的形成和成盐作用非常有利,主要表现为水平气候带的影响和垂直气候带的影响。藏北地区是盐湖分布的主要地区,盐湖总数占全区盐湖的 95% 以上,这里地势高亢,平均海拔 5 000m 以上,空气稀薄,太阳辐射强烈,年平均辐射量为  $794.2 \times 10^3 \text{ J/cm}^2$ ,日照时间长,一般超过 3 000h,是我国太阳辐射最丰富的地区之一。年平均气温在  $0^\circ\text{C}$  以下,日温差最大达  $40^\circ\text{C}$  以上。年降水量少,且主要集中于 6~9 月,蒸发量大,一般为降水量的几倍至十几倍,干燥度 1.5~15 以上,表现出明显的干旱气候特点,这些为形成盐湖或成盐区提供了良好的气候背景<sup>[7,8]</sup>。

通过对上述各因素的综合分析,研究盐湖在 TM 影像上的色调、影纹、大小及各类宏观、微观特征,建立遥感解译标志(表 2),从而对盐湖进行解译。

表 2 盐湖遥感解译标志

Table 2 Remote sensing key of interpretation about Salt Lakes

| 湖泊种类 | 形态及大小                 | 色调                        | 影纹图形                       | 地貌                                 | 水系                                | 地质特征                                  | 分布及典型湖泊  |
|------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--|
| 盐湖   | 椭圆形,较规则的多边形等。规模以中小型为主 | 呈深蓝—浅兰色,以兰—浅兰色为主。多构成环带状色带 | 多构成环带状、斑状图案,湖外常见耳朵状环带图形    | “负地形”不明显,周围地形相对平缓,高差不大,多位于规模较大的盆地内 | 发育明显的向心状水系,但水系规模不大,湖泊完全封闭,无外流排水通道 | 湖泊四周第四系十分发育,环湖内侧发育更新统及全新统湖积物,多见蒸发岩类沉积 | 主要分布于藏北高原,即北纬 $32^\circ$ 以北大部分地区。如扎布耶茶卡、朋彦错、仓木错等 |
| 半干涸湖 | 近园形,椭圆形,形状较规则,多为中小型湖  | 呈浅兰色、灰白色、白色等,亮度较高         | 影纹较粗糙,斑状、絮状以及海绵状图形,与周围界线不清 | “负地形”不明显,地形较为开阔平坦,多位于较大盆地内         | 汇水面积小,稀疏向心状水系,湖泊封闭                | 湖周第四系发育,从湖泊中心向外围依次为干湖滩—全新统一更新统        | 多分布于藏北高原。如确旦错、布尔嘎错                               |
| 干涸湖  | 椭圆形,形状规则,以小型湖泊居多      | 呈白色、瓷白色等,总体以白色调为主         | 湖泊影纹细腻、光滑,均一,边界呈过渡关系       | “负地形”不明显,地形较为开阔平坦,多位于相对独立的小盆中      | 汇水面积一般不大,水系不发育,湖泊完全封闭,无外流排水通道     | 湖泊周围第四系发育,湖内多发育化学堆积                   | 主要分布于藏北高原的改则、尼玛、双湖等县区北部。如四家湖、朝阳湖、帮达错等            |

2.2 盐湖化学类型遥感解译标志

西藏盐湖化学类型在空间上的分布, 明显的受到了区内地质构造特点、自然地理条件、盆地演化历史和卤水变质作用等因素的制约。通过收集、研究已知盐湖化学类型在该方面影像上的特征, 然后由点到面、由特殊到一般, 总结出盐湖化学类型的共同标志。

2.2.1 自然地理条件的控制作用

从全区盐湖化学类型分布特征来看, 碳酸盐型盐湖主要分布在藏北高原南部, 即: 班公湖—怒江断裂带以南自然地理条件相对较好、水系比较发育的地区; 而硫酸盐型盐湖主要分布在该断裂带以北自然地理条件较差、水系稀少的地区。盐湖化学类型这种分布特点, 是遵循着卤水正向演化的一般规律, 就是说从碳酸盐型→硫酸盐型→氯化物型的方向演变的。同时也与高原隆起的差异性是一致的, 青藏高原由北而南存在着: 干旱期由早而晚, 湖泊演化历史由早而晚、由长而短, 成盐作用由强而弱这样的规律。

2.2.2 地质构造的影响

蚀源区的地质构造, 对水化学类型的形成起主要控制作用, 不同地质单元或构造部位, 决

定了湖泊补给的水型。碳酸盐型盐湖是由重碳酸盐水补给形成的, 与中生代碳酸盐岩地层、火山岩、燕山期花岗岩和发育的近南北向现代活动构造有关; 硫酸盐型盐湖与含硫化物的灰岩、含膏盐地层和斜向活动构造关系密切; 而氯化物型盐湖的形成除与补给水选择性溶解大量氯化物有关外, 还与所处深大断裂获得的氯化钠钙水的补给关系密切。

2.2.3 水系的作用

水系除了本身水型对湖泊的控制之外, 水系的发育程度对盐湖化学类型也产生一定程度影响。稳定充足的水源补给, 使盐湖的水型也相对保持稳定, 而很少受正向演化的影响。如大量碳酸盐型盐湖分布于藏北高原南部, 除受其它因素影响外, 一般湖泊均有稳定的常年性补水来源, 而使其向硫酸盐和氯化物型演变的进程放慢或受阻。而藏北高原北部, 干旱少雨, 水系稀少, 多数盐湖无稳定的水源补给, 而使其较快速地正向演化, 造成目前该区盐湖的水化学类型以硫酸盐型为主的局面。

上述各因素对盐湖化学类型的影响, 在 TM 影像图上有明显的反映, 我们经过认真分析研究, 找出其特征, 建立遥感解译标志 (表 3), 对盐湖化学类型进行判读。

表 3 盐湖化学类型遥感解译标志

Table 3 Remote sensing key of interpretation of the hydro chemical types in Salt Lakes

| 水型    | 色调                         | 影纹                                  | 地貌水系                                      | 地质  | 主要分布位置   |
|-------|----------------------------|-------------------------------------|---|---|--|
| 碳酸盐型  | 多呈由深—浅的蓝色, 部分湖泊卤水边部呈暗绿或浅绿色 | 多构成环状或半环状图案, 分带较为清晰, 单色带间影像十分平滑, 细腻 | 湖盆周边地形有一定起伏, 相对高差略大。水系相对较为发育, 有常年河流水补给    | 蚀源区发育中生代碎屑岩、碳酸盐和火山岩地层, 发育燕山晚期花岗岩, 湖盆周边断裂及褶皱发育, 多受斜向及南北向活动断裂控制 | 主要分布于班公错—怒江断裂以南, 典型湖泊有扎布耶茶卡、班戈错、朋彦错等             |
| 硫酸钠亚型 | 多呈暗蓝色、灰蓝色, 色调不均匀           | 多呈絮状、斑块状或斑点状图案, 影纹较为粗糙              | 湖盆周边地形多较平坦, 相对高差一般不大。水系不太发育, 多数湖泊无常年性河水补给 | 蚀源区发育侏罗系含膏碳酸盐夹碎屑岩和古生代变质岩、第三系碎屑岩夹膏盐层、燕山期花岗岩等, 盆地多为斜向活动断裂控制     | 主要分布于班公错—怒江断裂带以北, 龙木错断裂带以南, 藏北高原中部一带。典型湖有依布茶卡、洞错 |
| 硫酸镁亚型 | 多呈紫兰色, 总体色调较深, 多构成环带状色带    | 多构成环状或不规则环状图案, 粗糙, 部分湖泊呈斑块状图案       | 湖盆多较平坦, 地形开阔, 水系发育稀少, 地表河流一般至湖盆地带便消失      | 蚀源区发育新生代碎屑岩夹膏盐层、新生代火山岩、煤系等, 湖盆多受控于近东西向活动构造                    | 主要分布于藏北高原北部, 龙木错断裂以北。典型湖泊有仓木错, 错尼、鄂雅错等           |
| 氯化物型  | 呈蓝黑色或灰蓝色, 色调多较深, 边部有灰黑色色晕区 | 影纹一般较均匀、细腻, 仅边部较粗糙, 个别呈块状或带状图案      | 湖盆周边地形平坦, 高差不大, 水系不发育或在注入湖泊之前已消失          | 蚀源区发育中生代含膏碳酸盐夹碎屑岩、第三系含膏盐碎屑岩, 以及新生代火山岩等, 湖盆基本为近东西向深大断裂控制       | 发育于藏北高原中东部多格错仁湖盆一带。典型湖泊有多格错仁、羊湖                  |

### 3 盐湖的遥感信息研究

我们用便携式远红外矿物分析仪 (PIMA—Portable Mineral Analyser), 对淡水和高矿化度卤水做了波谱测试 (见图 1)。可以看出, 高矿化度卤水的反射率明显高于淡水。根据此原理, 我们选择西藏水深 (1m 左右) 有代表性的盐湖为研究对象, 排除大气干扰, 用 TM2 波段灰度值进行分析。结果发现: 灰度值大于 100 均为较高矿化度盐湖, 我们经过和已知资料对比以及野外验证, 准确率达 100%, 说明用此方法判读水深在 1m 左右盐湖是可行的。对大于 1m 水深的盐湖, 我们也可利用水深 1m 处的 TM2 波段灰度值进行判断。

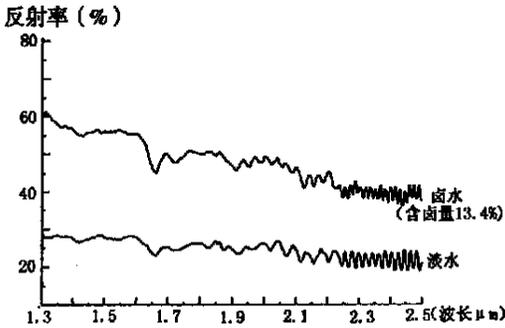


图 1 湖泊水体波谱曲线图  
Fig 1 Water spectral curves of lakes

另外, 我们用主成分分析法, 对区内著名含矿盐湖扎布耶茶卡做了 PCA (541)、(546)、(236)、(234)、(567) 等多种彩色合成图像, 其中 PCA(546)、(236) 内容丰富, 信息量大, 反映了卤水中物质成分含量高的特征。同样我们对水深相近的淡水湖孜拉错、越恰错也做 PCA(546)、(236) 主成分分析及合成, 结果图像内容单调、色彩单一、信息量少, 反映了淡水中物质成分含量少的特征。由此也可作为我们判读盐湖尤其是高矿化度盐湖的辅助标准。

### 4 结 论

综上所述, 西藏盐湖在 TM 影像上有明显的特征, 我们通过地质、地貌、水系、盐类沉积、退缩痕迹、封闭性等, 结合 TM2 波段信息反映、主成分分析等多种遥感分析方法, 可准确地在 TM (ETM+) 影像上判读盐湖及水化学类型, 尤其对高矿化度盐湖判读准确率更高。通过对全区湖泊在 TM 影像上的认真分析, 识别出西藏大于 1km<sup>2</sup> 的盐湖共 392 个, 比《中国盐湖志》<sup>[8]</sup> 所载西藏同类盐湖 234 个多 158 个 (见表 4), 其中 1km<sup>2</sup> ~ 50km<sup>2</sup> 的盐湖 320 个, 50km<sup>2</sup> ~ 100km<sup>2</sup> 的盐湖 45 个, 大于 100km<sup>2</sup> 的盐湖 27 个, 盐湖总面积 1 883.31km<sup>2</sup>。另解译盐湖化学类型 221 个, 其中解译碳酸盐型 88 个, 解译硫酸钠亚型 50 个, 解译硫酸镁亚型 82 个, 解译卤水物型 1 个。

表 4 新增盐湖一览表

Table 4 New accession of Salt Lakes

|         |       |      |       |       |      |       |       |         |        |      |     |
|---------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|---------|--------|------|-----|
| 展翅湖     | 桃湖    | 卧牛湖  | 团结湖   | 金光湖   | 金石泊  | 常胜湖   | 大鹏湖   | 沉鱼湖     | 月岛湖    | 聚宝湖  | 玉果湖 |
| 白冰湖     | 啄木鸟错  | 跳鼠错  | 北鸟错   | 涟水湖   | 鸳鸯湖  | 黑犬湖   | 喜鹊湖   | 旭光湖     | 玉淋湖    | 镜明湖  |     |
| 围山湖     | 向阳湖   | 连心湖  | 全水湖   | 榴弹湖   | 兽形湖  | 海螺湖   | 夏围湖   | 夏水湖     | 野鸭湖错   | 鸭子湖  |     |
| 三岛湖     | 尖头湖   | 向阳湖  | 胜利湖   | 白雪湖   | 石榴湖  | 金泉湖   | 云雀湖   | 龙舟湖     | 葫芦湖    | 太古湖  |     |
| 三泉湖     | 雪环湖   | 丽疆湖  | 畅饮湖   | 中岛湖   | 恒梁湖  | 马头湖   | 甜水湖   | 温泉湖     | 白烟湖    | 图中湖  | 图北湖 |
| 香桃湖     | 白云湖   | 光明湖  | 黄水湖   | 芝蓝湖   | 映天湖  | 玉瓶湖   | 汾兴湖   | 茱阳湖     | 浅水湖    | 友谊湖  |     |
| 鸭岛湖     | 桃形湖   | 五指湖  | 长梁山湖  | 拉相湖   | 玛耶错  | 长蛇湖   | 尖石山湖  | 枣核湖     | 鹰咀湖    | 天际湖  |     |
| 古波克错    | 煞洪塘   | 峡峡定沟 | 查尔到里错 | 扎多拿日错 | 穷娘荣错 | 求如巴   | 扎也错   | 合俄错     | 杂如错    |      |     |
| 北子湖     | 本松错   | 咸水湖  | 达杂迪扎错 | 次依茶卡  | 桑真   | 题玛日茶尔 | 鸭湖    | 查尔阿纹日强玛 |        |      |     |
| 雅木尔嘛木尔错 | 江仓错   | 孔纳木错 | 克穷错   | 雅孔错   | 次丁错  | 江达    | 园湖    | 过那容错    | 雄让俄马   | 雄让龙马 |     |
| 江达俄马    | 次依如意  | 次夹哪  | 多不次   | 祝曲错   | 日阿只错 | 控错    | 麻构错   | 却弄错     | 卓布纳错   | 次布错  |     |
| 呀错      | 弄错    | 仲吨错  | 锐江米错  | 阿日阿错  | 得阿壤错 | 鸡岛错   | 多雄罗玛错 | 则拉雄错    | 普许错    |      |     |
| 龙哇嘎尔木   | 错布日阿错 | 纳卡错  | 绿钦错   | 龙觉    | 冉曲错  | 君玛错   | 朴公错   | 无名湖     | (22 个) |      |     |

致谢: 在成文过程中, 得到了韩凤清副研究员、裴放教授级高级工程师、林德超教授级高级工程师等老师的指导与帮助, 在此表示衷心的感谢。

## Remote Sensing Analysis of Tibetan Salt Lakes by TM Imaging

WANG Yao-feng<sup>1,2</sup>, CHEN Rui-bao<sup>1,2</sup>, BAI Chao-jun<sup>1,2</sup>, FANG Huai-bin<sup>2</sup>, ZUO Ai-ping<sup>1,2</sup>, LIU Chang-le<sup>2</sup>  
(1. *Henan Geological Investigation Institute, Zherzhou 450007, China*; 2. *Areal Geology Investigation Group of Henan Geology and Mineral Bureau, Pingdingshan 467021, China*)

**Abstract:** Using TM imaging and data, the author(s) presented a comprehensive analysis and discussion of Tibetan salt lakes. Imaging characteristics of remote sensing of the salt lakes were summarized. And remote sensing interpretation signals were established. Also, exploring investigations were made for the remote sensing information of the salt lakes by reflectivity and major compositional analyses of waters with various salinities. Based on this, the whole area of Tibetan salt lakes was parsed, with 392 salt lakes having areas of greater than 1 km<sup>2</sup> identified. The job provides a good basis for future study of Tibetan salt lakes.

**Key word:** Salt Lake; TM imaging; Remote sensing information

### 参考文献:

- [1] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏盐湖[M]. 北京: 科学出版社. 1988.
- [2] 郑绵平, 向军, 等. 青藏高原盐湖[M]. 北京: 北京科学技术出版社. 1989.
- [3] 刘燕君. 遥感找矿的原理和方法[M]. 北京: 冶金工业出版社. 1991.
- [4] 陈述彭, 赵英时. 遥感地学分析[M]. 北京: 测绘出版社. 1990.
- [5] 朱亮璞. 遥感地质学[M]. 北京: 地质出版社. 1994.
- [6] 楼准满, 葛榜军. 遥感找矿预测方法[M]. 北京: 地质出版社. 1994.
- [7] 张彭熹, 等. 中国盐湖自然资源及其开发利用[M]. 北京: 科学出版社. 1999.
- [8] 郑喜玉, 张明刚, 徐昶, 等. 中国盐湖志[M]. 北京: 科学出版社. 2002.