

青海可可西里主要湖泊湖底地貌研究

罗重光^{1,2}, 韩凤清¹, 庞小鹏^{1,2}, 周 敬^{1,2}

(1. 中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008; 2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要:应用阈值法对青海可可西里地区主要湖泊的遥感影像进行水体信息提取, 根据水体与其它地物在 EIM+ 的 5 波段具有很好的区分效果, 经反复尝试在该波段找到了适合各个湖泊的分离阈值。通过目视解译, 并与相关地形图对比检验, 湖泊水体可较为准确提取出。利用 ENVI 软件得到包含湖底信息的合成图像, 选择其中信息丰富的假彩色合成图像进行解译, 根据其色调并结合近岸地形信息初步判断出了湖底的地形地势, 并在永红湖底发现了一个特殊的环状构造。

关键词:可可西里; 湖泊; 遥感; 湖底地貌

中图分类号: P931.7 TP79 文献标识码: A 文章编号: 1008—858X(2010)01—0001—08

1 引 言

青海可可西里地处青藏高原, 平均海拔 5 000 m 区内地势南北高, 中部较低缓, 总体起伏较小, 相对高差仅 300 ~ 400 m 左右; 地面坡度一般只有 15°左右。地貌类型也较丰富, 除高寒地区特有的现代冰川和冰缘冻土, 还有流水地貌、湖成地貌、风成地貌^[1]。

20 世纪 60 年代后期以来, 国内对青海可可西里地区进行了多次的考察, 对包括地貌、气候、湖泊、冰川、植被土壤在内的其自然环境的基本特征和分异演化等已取得了初步的认识^[1]。

湖泊是可可西里生态环境的重要要素, 但这些湖泊位于可可西里腹地, 自然条件恶劣, 开展野外工作异常困难。卫星遥感技术是探测湖泊、海洋和冰川的有效手段, 近年来对青藏高原以及可可西里地区的湖泊遥感研究主要集中在湖泊水域的变化监测, 湖泊周围陆表的地质地

理信息解译, 以及一些典型湖泊的遥感测深和盐度反演方面^[2-9]。本文通过可可西里北部地区 EIM+ 影像的遥感解译获得了 15 个湖泊湖底地形地貌的初步认识。

2 数据来源与研究方法

选用可可西里地区陆地卫星 Landsat 7 ETM+ 8 景影像, 数据来源于美国马里兰大学和国际科学数据镜像网站, 轨道号与各景影像成像时间及所包括的湖泊见表 1。分别从影像中裁选勒斜武担、库水浣、太阳湖、饮马湖、可可西里湖、可考湖、卓乃湖、库赛湖、错达日玛、西金乌兰湖、明镜湖、乌兰乌拉湖、永红湖、多尔改错、特拉什湖等较大湖泊区域进行水体提取。

TM 波段对水体的衰减系数各不相同, 短波段 (TM₁、TM₂) 的衰减系数小, 而长波段的衰减系数大。虽然前者入水的深度比后者大, 但对水深变化的分辨率前者却不如后者高。因此, 入水深度大、水深分辨率高的波段 (低频或

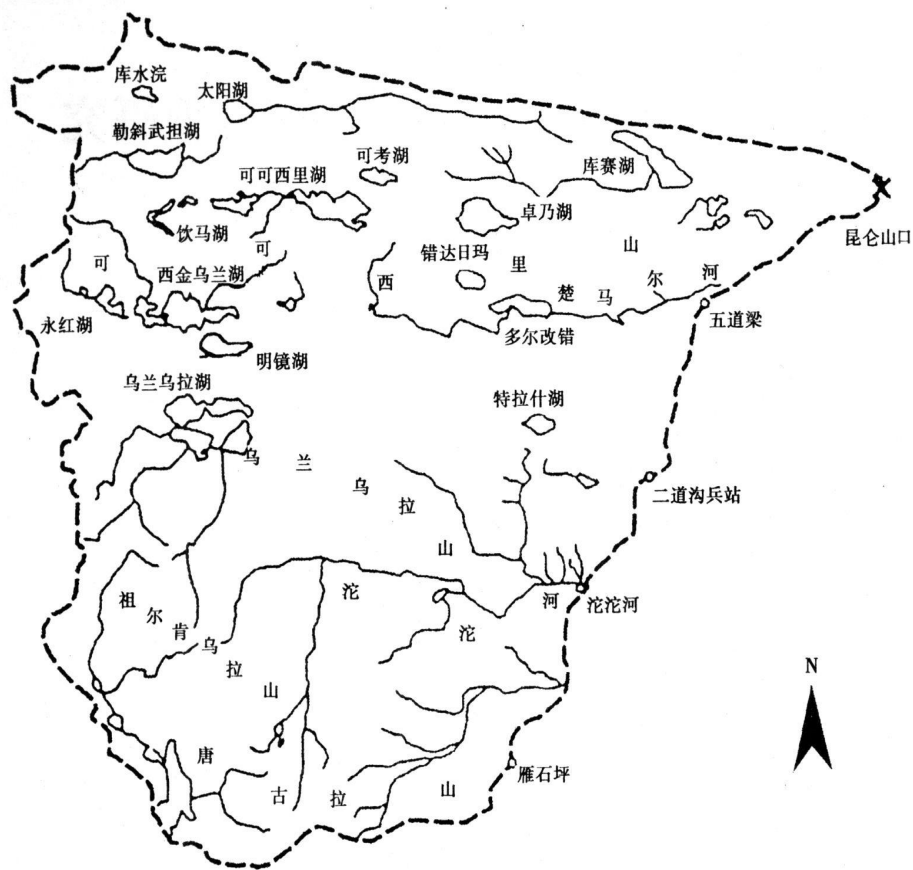


图 1 青海可可西里湖泊分布图

Fig 1 Distribution map of the main lakes in Hekou Xili Region of Qinghai Province

表 1 ETM+影像数据参数
Table 1 ETM+ image data parameters

轨道号	成像时间	包含湖泊
P139 B5	2000-10-07 2002-08-26	勒斜武担湖 库水浣 太阳湖 饮马湖 可可西里湖 可考湖
P138 B5	2002-05-15 2002-10-06	可考湖 卓乃湖 库赛湖 错达日玛
P139 B6	2001-09-24 2002-08-26	西金乌兰湖 明镜湖 乌兰乌拉湖 永红湖
P138 B6	2001-10-03 2002-10-06	错达日玛 多尔改错 特拉斯什湖

长波段)所携带的水深变化的信息量更大些。
TM4以上的长波段由于衰减系数太大已不能
获得水深信息,经反复尝试也验证了这一点。
TM3波段的最大入水深度在 2 m左右, TM1、
TM2反映的水深变化的敏感程度不如 TM3波

段,但水深超过 TM3波段的入水深度时, TM3
波段已不可能有水深变化的信息(是指光透射
性质的)返回到水面上,此时选用有更大入水
深度的短波段(TM1、TM2)是合适的^[7]。对于
青海可可西里主要湖泊,除太阳湖、错达日玛湖

水较深外, 其余水深均在 TM 前 3 个波段的最大入水深度范围之内^[8-10]。本文选用 TM₃、TM₂、TM 的假彩色合成影像来研究湖底地形地貌。波段中还含有诸如水质信息等许多其他信息, 这还只是一种模糊的水下地貌信息。

1990 年 Moiler Jensen 通过对 TM₄、TM₅ 设定经验阈值来识别水体信息^[11], 陆家驹等利用 TM₅ 设定阈值^[12], 可以识别大于面积 4 000 m² 的水体。本次研究区域的各个对象湖泊面积均远大于 4 000 m², 并且不要求非常精确地提取细小的水陆边界细节, 故采用单波段阈值的方法进行水体提取。利用遥感软件 ENVI 4.3 的波段运算工具、掩膜工具等进行水体信息提取, 生成水体信息专题图像, 并结合含有近岸陆地信息的遥感图像和相关的地质地形图件, 进行目视解译和湖底地形分析。研究区域中各湖泊的水体信息和周围的陆地信息在 ETM+ 图像的各波段 DN 值相差都很大, ETM+ 图像的 5 波段属于中红外波段, 水体与其他地物在该波段具有很好的区分效果, 通过在该波段选择合适的阈值, 可以很好的提取水体信息^[13]。如勒斜武担湖经反复尝试, 选取 DN 值 12 作为提取阈值。运算公式为 $4 < 12$ 。

将提取的水体信息进行二值化处理, 使代表水体信息的图像亮度值为 1, 其他地物为 0 获得水体信息的二值图像 (图 2)。

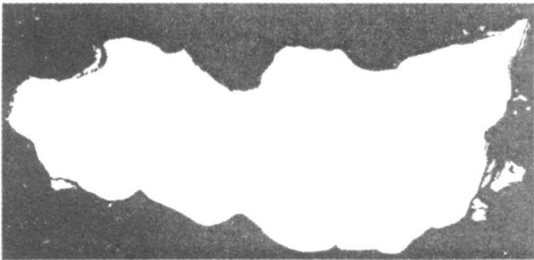


图 2 勒斜武担湖水体信息的二值图像

Fig 2 Binary image of water bodies of Lexiewudan lake

通过与目视解读以及与相关图件对比, 可以看出研究区域中湖泊水体均能较为准确地提取出。利用 ENVI 的掩膜功能, 去除原图像中与水体无关的所有像元, 保留包括湖底地形信息在内的水体像元。对各景影像掩膜处理后的 3 个波段进行彩色合成, 选择其中信息丰富的

合成图像进行湖底地形分析。

3 湖底地形地貌分析

1 勒斜武担湖 地理坐标: 35°41'32" ~ 35°47'45"N, 90°01'54" ~ 90°20'36"E。所在盆地新生代山间构造断陷盆地, 北部为昆仑山, 南部是可可西里山, 是呈东西向延伸的第四纪沉积盆地中的次级盆地。源自盆地东部马兰山和西南部岗扎日峰冰川区的水系发育, 东泉河及流沙河从东、西两端注入湖盆, 为湖水的主要补给水源, 湖呈东西向分布, 水深 1.5 m^[9, 14]。

结合近岸地形, 勒斜武担湖底北部为 3 个由湖岸延伸入水下的冲积扇, 湖区由岸向内依次可以分为浅水区、较深水区 and 深水区, 其中深水区位于湖的中东部, 湖东部有一西北—东南向水下隆起, 将深水区分为东西一小一大两个部分, 湖盆的中西部地形较为平坦 (图 3)。

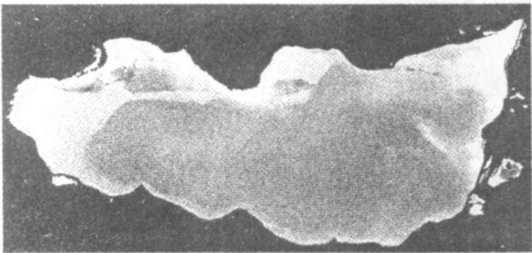


图 3 勒斜武担湖

Fig 3 Lexiewudan lake

2 西金乌兰湖 地理坐标: 35°09'03" ~ 35°17'34"N, 90°04'46" ~ 90°38'13"E。位于新生代山间构造断陷盆地内, 北部有可可西里山的汉台山, 南为冬布勒山、乌兰乌拉山, 其间为东西向延伸的晚第三纪断陷盆地, 盆内沉积第四纪碎屑岩系及零星出露的晚第三纪玄武岩; 边缘为洪积、冲积碎屑岩和火山喷发岩。盆地东西向延伸的内流盆地。主要河流有还东河、永红河、洪水河及倒淌河, 常年补给湖盆, 据 1989 年 7 月实测, 该盐湖水深 4.7 m^[9, 14]。

湖南岸平直, 北岸凹凸不平, 湖湾发育。西金乌兰湖盆自西向东分为 3 个串珠状小湖盆, 西部湖盆由南向北水深逐渐变小, 与湖北还东河带来的大量冲积物填充到湖底有关, 中部湖

盆水下地形宽坦, 深水区位于湖盆的东南部; 东部湖盆南北两侧均有河流带入大量冲积物, 水深较浅, 最深处位于湖盆中部 (图 4)。

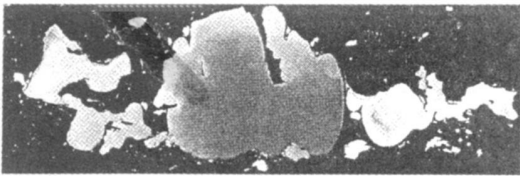


图 4 西金乌兰湖
Fig 4 Xijiwulan lake

3)明镜湖 地理坐标: $35^{\circ}02'08''\sim 35^{\circ}06'10''N$ $90^{\circ}26'09''\sim 90^{\circ}40'17''E$ 所处盆地为新生代山间构造断陷盆地, 盆内为第四纪粉砂粘土和盐类化学沉积覆盖, 边缘为碎屑沉积岩和第三纪火山喷发岩零星出露。湖盆与西金乌兰湖在同一宽谷盆地, 接受东端盼来沟河和西端节约河间歇性的补给 (水量很小), 盐湖最大水深 $1.5\text{ m}^{[9,14]}$ 。

湖底地势总体上东高西低, 湖盆西北部有一圆形洼地, 是全湖的深水区, 中部水深较浅, 东南角水深最浅。从影像上观察沿岸西北侧水较深, 东南侧较浅, 与东南湖岸有大量第四系冲洪积物堆积, 湖北岸分布三叠系粉砂岩和板岩吻合较好 (图 5)。

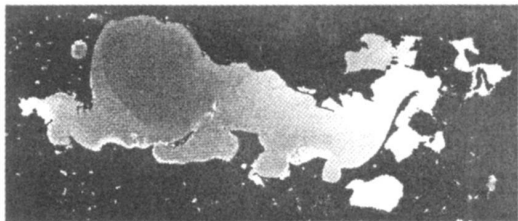


图 5 明镜湖
Fig 5 Mingjing lake

4)库水浣 地理坐标: $35^{\circ}57'36''\sim 36^{\circ}00'54''N$ $90^{\circ}03'02''\sim 90^{\circ}11'45''E$ 位于勒斜武担湖盆北侧, 也是昆仑山与可可西里山新生代断陷盆地中的次一级盆地, 地质地理情况与勒斜武担湖相似, 湖的西部有河流补给, 带来大量冲洪积物, 湖底地势西高东低, 深水区位于湖的中东部 (图 6)。

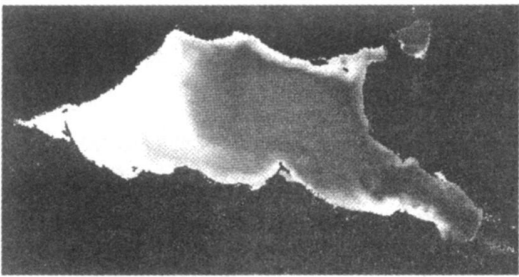


图 6 库水浣
Fig 6 Kushiwan lake

$58^{\circ}N$ $90^{\circ}29'07''\sim 90^{\circ}47'57''E$ 该湖地处勒斜武担湖与可可西里湖之间。盆地为新生代山间构造断陷盆地中的次一级洼地, 边缘为第四纪冲积、坡积和风积砂砾石、粉细砂沉积, 组成湖岸和湖成阶地, 盆内为近代冲积、湖积粉细砂、粉砂粘土覆盖。湖盆无常年性地表水系, 但冲沟发育, 源自周围的高山冰雪融水补给湖区^[9,14]。湖盆受区域地形地貌影响而呈东西方向延伸。湖底地势总体上东高西低, 深水区位于湖中西部, 东部和南部的近岸地带为浅水区 (图 7)。



图 7 饮马湖
Fig 7 Yinma lake

6)可可西里湖 地理坐标: $35^{\circ}30'51''\sim 35^{\circ}39'04''N$ $90^{\circ}55'39''\sim 91^{\circ}19'42''E$ 盆地为新生代山间构造断陷盆地中的次一级洼地。边缘有新生代砂砾石、粉细砂岩层出露, 构成湖岸阶地, 盆内为全新世或近代冲积、风积和湖积粉细砂、粉砂粘土沉积覆盖。湖泊主要由冰雪融水补给^[9,14]。

湖中部和西部的两组第四系洪冲积岛屿和 水下砂梁将湖盆自东向西分成东、中、西 3 个小湖盆, 东西两个湖盆面积大且深, 最深处均位于各个小湖盆的中心。湖西和南部沿岸水深要小于湖北沿岸 (图 8)。

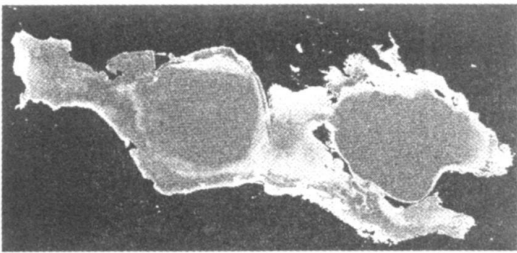


图 8 可可西里湖
Fig 8 Hoh Xil lake

7)可考湖 地理坐标: $35^{\circ}39'59''\sim 35^{\circ}43'54''N$ $91^{\circ}16'43''\sim 91^{\circ}27'34''E$ 盆地与可可西里湖同处一个大的盆地, 受北部博卡雷克塔格山与南部可可西里山构造带控制, 而形成东西方向延伸的次一级小湖盆。边缘为第四纪砂砾石、粉细砂等粗碎屑组成湖岸阶地, 盆内为湖积粉细砂、粉砂粘土沉积覆盖, 在干旱季节湖水边缘有白色石盐、芒硝粉末出现。受大盆地影响, 盐湖呈东西方向分布^[9 14]。

湖北岸中部的第四纪砂脊伸入湖心, 控制了湖盆心形的大致形态, 湖盆由此分为东西两个部分, 两者由边缘向中部水深均逐渐增大, 深水区位于各自中心。从影像上看湖盆东北和西北沿岸水深要大于其他方向沿岸水深, 可能是湖盆东北和西北岸分布三叠系板岩, 而其他方向湖岸则分布第四系洪冲积物, 这些方向的洪冲积物填充湖底的缘故(图 9)。

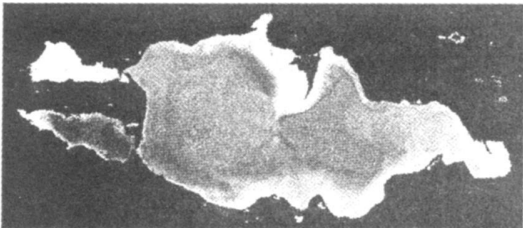


图 9 可考湖
Fig 9 Kekao lake

8)卓乃湖 地理坐标: $35^{\circ}28'33''\sim 35^{\circ}37'20''N$ $91^{\circ}46'46''\sim 92^{\circ}06'34''E$ 盆地为新生代山间构造断陷盆地中的次一级封闭洼地, 边缘为第四纪冲积、坡积、风积砂砾石、粉细砂等沉积岩层组成阶地或台地, 盆内为近代风积、湖积

粉细砂、粉砂粘土等细碎屑沉积覆盖。主要补给河流为发源于五雪峰的一条长河, 于湖西入湖^[9 14]。

湖盆受区域构造控制而呈东西向的梨形, 西宽东窄。湖底地势总体上的特点是南高北低, 深水区位于湖的中南部, 湖西、南和东部近岸地带是浅水区, 南岸沿岸也是深水区(图 10)。

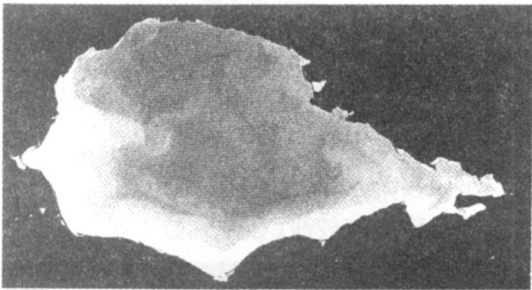


图 10 卓乃湖
Fig 10 Zhuonai lake

9)库赛湖 地理坐标: $35^{\circ}38'02''\sim 35^{\circ}49'52''N$ $92^{\circ}36'45''\sim 93^{\circ}03'33''E$ 盆地为中—新生代山间构造断陷盆地中的次一级洼地, 边缘有新生代沉积岩层出露; 盆内为近代冲积、湖积砂砾石、粉细砂和粉砂粘土覆盖。盐湖接受大气降水和地表河水补给^[9 14]。

湖盆呈西北—东南向分布, 湖底地势由东南向西北倾斜, 深水区位于湖西北部, 浅水区位于湖东南部。湖东南角有一条河流补给, 带来大量洪冲积物填充湖底, 造成湖东南部水体较浅(图 11)。

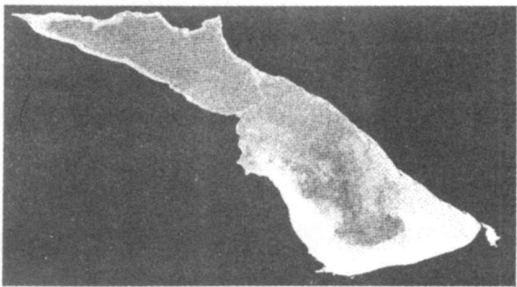


图 11 库赛湖
Fig 11 Kusai lake

10)错达日玛 地理坐标: $35^{\circ}16'25''\sim 35^{\circ}21'46''N$ $91^{\circ}47'50''\sim 91^{\circ}58'15''E$ 处于环形山

系紧密包围之中,是一个封闭的内流半咸水湖。分为南北两湖,对于北湖,从卫星遥感图像上看,水下沉积分带明显。

错达日玛靠近东南部湖区中央有狭长沙洲半岛,是北、南两湖分界。北湖较大,形态为浑圆状,南湖较小,形态为弧带状。错达日玛河从东北方向沿中央砂洲半岛的南北两侧分别注入错达日玛南北两湖。胡东生认为错达日玛是一个陨坑湖,并利用沉积物稳定滑塌临界角方法推算水深,得到该湖具有最大达 600 m 的深度^[10]。因为 TM 各波段能穿透的深度远远达不到百米以上,但是从该湖的 TM 影像上却能表现出较多的水下信息(图 12),因此,我们认为该湖水深应该较浅(数米到数十米)。

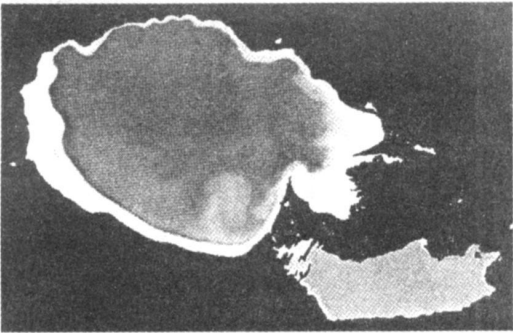


图 12 错达日玛
Fig 12 Cuodajima lake

11) 乌兰乌拉湖 地理坐标: $34^{\circ}41'58''\sim 34^{\circ}54'43''N$ $90^{\circ}14'55''\sim 90^{\circ}43'36''E$ 盆地为中—新生代山间构造断陷盆地,边缘为晚第三纪碎屑沉积岩系出露,并形成台地或沙丘,盆内为第四纪洪积、风积和湖积粉细砂、粉砂粘土覆盖。河流主要分布于湖泊南岸,水源来自于北部乌兰乌拉山和南部祖尔肯乌拉山的冰川和雪岭。湖泊水深 $6.9\text{ m}^{[9,14]}$ 。

乌兰乌拉湖可以分成 5 个环状排列的小湖盆,湖湾发育比较明显,其中南部湖盆存在明显的沉积分带现象,北部几个湖盆水下地形平缓,各湖盆最深处均位于湖盆中心。南部各小湖盆水深浅于北部湖盆,湖底地势总体上南高北低(图 13)。

12) 永红湖 地理坐标: $35^{\circ}11'21''\sim 35^{\circ}18'43''N$ $89^{\circ}53'48''\sim 90^{\circ}03'21''E$ 位于西金乌兰

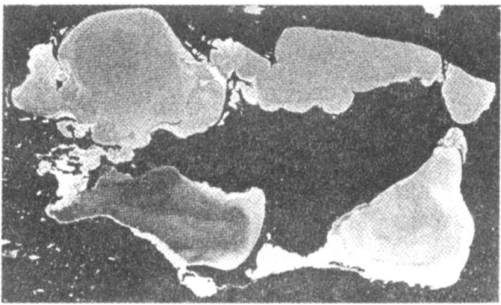


图 13 乌兰乌拉湖
Fig 13 Wulanwula lake

湖以西,与西金乌兰湖地质地理情况相似^[9,14],分为南北两个小湖盆,南湖盆水深较浅,且地形平坦;北湖盆水深由外向内增大,湖盆中部有一环状构造。参考其他时相影像,该环状特征均存在,为特殊的圆形叠状拗陷,处于东北倾西南翘的掀斜状态(图 14)。

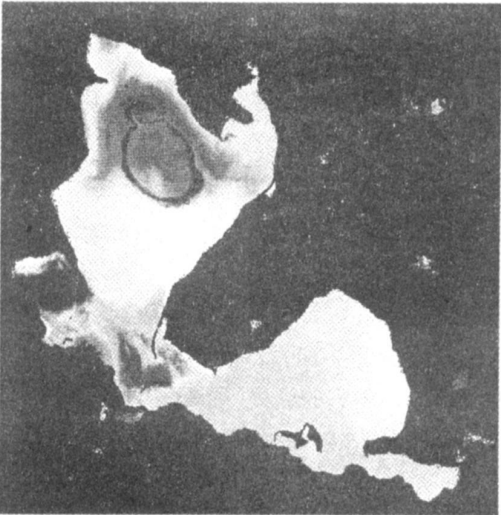


图 14 永红湖
Fig 14 Yonghong lake

环形构造具有以下几种形成可能: 陨石坑冲击产生; 由地下侵入岩体作用产生; 古火山活动或泥火山喷发所形成; 穹状隆起构造等等。该环形构造也有可能是一般的地貌环,对于其真正的地质成因和机理,还有待于以后进行深入的研究。

13) 多尔改错 地理坐标: $35^{\circ}09'27''\sim 35^{\circ}16'10''N$ $91^{\circ}55'08''\sim 92^{\circ}17'33''E$ 位于错达日玛东南,与后者仅一山之隔,但是该盆地地势低

于后者约 100 m 属于楚尔玛河水系的外泄湖^[10]。湖区东北部为深水区, 西南部则较浅, 深水区中色调较浅的区域是一西北东南向的条带状垄状地形, 多尔改错南岸分布第四系冲积物和洪冲积物, 正是由于这些冲积物和洪冲积物填充近岸湖底, 造成湖底地势南高北低 (图 15)。

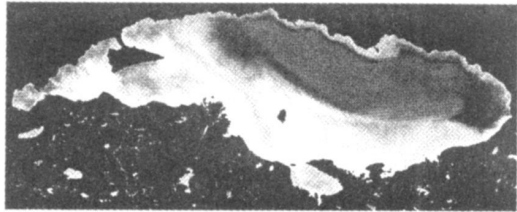


图 15 多尔改错
Fig 15 Duoergai lake

14 特拉什湖 地理坐标: $34^{\circ}46'16''\sim34^{\circ}50'48''N$ $92^{\circ}07'32''\sim92^{\circ}17'29''E$ 。湖盆为新生代山间构造断陷盆地, 地处可可西里山南麓, 为北西—南东向延伸的第四纪沉积盆地。接受源自周围冰雪融水的补给。湖盆西北有 3 条地表河流, 常年补给盐湖^[9, 14]。

湖底地势东高西低, 深水区位于湖中西部, 湖东部则是浅水区, 最深处靠近湖盆西北。沿岸水深南侧要明显深于其他方向 (图 16)。

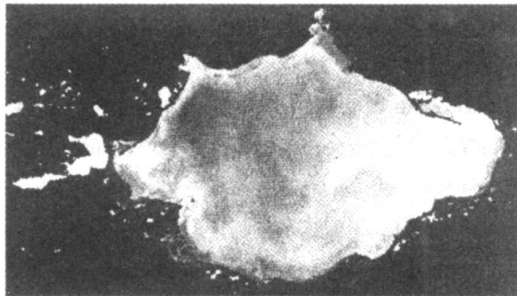


图 16 特拉什湖
Fig 16 Telashi lake

15) 太阳湖 地理坐标: $35^{\circ}53'12''\sim35^{\circ}57'48''N$ $90^{\circ}33'12''\sim90^{\circ}43'18''E$ 。太阳湖与区内其他湖泊不同, 各个时相的太阳湖图像相差很大, 这可能由于太阳湖湖水较深, 最深达 43 m^[8], 传感器接收到的信息中混杂了许多其他信息, 也可能是太阳湖春夏季节有大量高山冰雪融水

补给, 使得太阳湖的水动力作用较强, 湖底沉积带不断被湖泊水流改变, 湖底地貌变化较大的缘故 (图 17、18)。

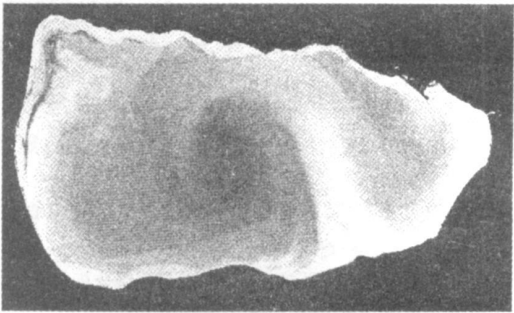


图 17 太阳湖 20020826
Fig 17 Taiyang lake (20020826)

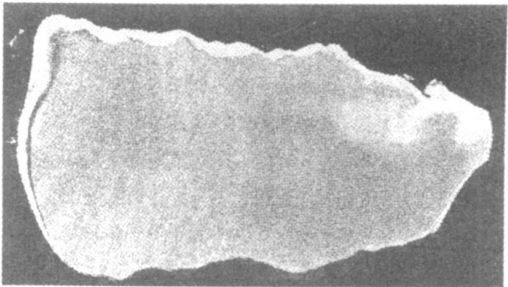


图 18 太阳湖 20001007
Fig 18 Taiyang lake (20001007)

4 结 论

本文应用阈值法对青海可可西里主要湖泊的遥感图像进行水体信息提取, 选择水体与其他地物区分效果很好的 $EIM+5$ 波段, 经多次比较找到适合各个湖泊的阈值, 使湖泊水体均能较为准确提取出。利用 ENVI 软件掩膜工具得到包含湖底信息的水体专题图像, 选取其中信息丰富的合成图像并结合其它的遥感和地质资料进行解译, 获取青海可可西里主要湖泊的湖底地势, 深水区以及湖盆的大体形态等信息。各个湖泊假彩色图像所表现的信息丰富, 表明该地区湖泊水深较浅。在永红湖的北湖盆发现了特殊的环状特征, 错达日玛也并非一个深水湖泊, 通过多时相的对比发现太阳湖图像相差较大, 有可能是湖水动力作用强, 使得湖底沉积

带发生改变。所获得的这些湖底地形地貌信息,将有助于以后对湖泊的科学考察和开发利用。

致谢:感谢高章洪老师、沙占江老师、王明祥和李善平的热心帮助!

参考文献:

[1] 李炳元, 顾国安, 李树德, 等. 青海可可西里地区自然环境[M]. 北京: 科学出版社, 1996 1—16.
[2] 刘登忠. 西藏高原湖泊萎缩的遥感图像分析[J]. 国土资源遥感, 1992(4): 1—6
[3] 鲁萍丽. 青海可可西里地区湖泊变化的遥感研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2006.
[4] 孟庆伟. 青藏高原特大型湖泊遥感分析及其环境意义[D]. 北京: 中国地质科学院, 2007.
[5] 田淑芳, 秦绪文, 郑绵平, 等. 西藏扎布耶盐湖总盐含量遥感定量分析[J]. 现代地质, 2005 19(4): 596—602
[6] 田淑芳, 洪友堂, 秦绪文, 等. 高浓度盐湖水深遥感研究[J]. 国土资源遥感, 2006(1): 26—30.
[7] 李铁芳, 迟耀斌. 浅海水下地形地貌遥感信息提取与应

用[J]. 环境遥感, 1991, 6(1): 22—29.
[8] 胡东生. 可可西里地区湖泊资源调查研究[J]. 干旱区地理, 1992 15(3): 50—58.
[9] 胡东生. 可可西里地区湖泊概况[J]. 盐湖研究, 1994 2(3): 17—21.
[10] 胡东生. 可可西里地区错达日玛陨坑湖成因初探[J]. 盐湖研究, 1994 2(1): 31—37
[11] Moller Jensen L. Knowledge-based classification of an urban area using texture and context information in Landsat TM imagery[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 1990 56(6): 475—479.
[12] 陆家驹, 李士鸿. TM资料水体识别技术的改进[J]. 环境遥感, 1992 7(1): 17—23.
[13] Braud D H Feng W. Semi-automated construction of the Louisiana coastline digital land/water boundary using Landsat Thematic Mapper satellite imagery[R]. Baton Rouge Department of Geography & Anthropology Louisiana State University Louisiana Applied Oil Spill Research and Development Program Technical Report Series 97002 1998.
[14] 郑喜玉, 张明刚, 徐昶, 等. 中国盐湖志[M]. 北京: 科学出版社, 2003 178—188.

Study on Sub lacustrine Morphology of Main Lakes in Hoh Xil Region

LUO Chong-guang², HAN Feng-qing², PANG Xiao-peng², ZHOU Jing²

- (1. Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008 China;
2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049 China)

Abstract: The threshold method was used to extract the information of lake water bodies in Hoh Xil region. Lake water bodies can be distinguished perfectly from other landforms in ETM+ 5 band, so the messages of main lakes in Hoh Xil region were extracted by remote sensing image and appropriate threshold values determined by threshold method. By visual interpretation and the comparison with topographic map, the lake water information was exactly gained. And by ENVI software image compounding, the pseudocolor images in combination with topographic data were chosen to interpret the lake bottom topography and lake water depth variation. It is shown that Cuodarma is not a deep-water lake as previous research, the ring structure in the bottom of Yonghong lake is a new discovery.

Key words: Hoh Xil Lake; Remote sensing; Lake bottom topograph