吉兰泰盐湖演变卫星雷达遥感研究

王　飞　跃
(中国煤炭地质总局航测遥感局遥感应用研究院,西安　710054)

摘要:根据加拿大雷达卫星(Radarsat - 1 SAR)图像揭示的古湖堤信息,结合野外考察及前人资料,指出这些古湖堤是晚更新世以来湖泊演变的遗迹,并据此分析了吉兰泰盐湖演变过程,进一步探讨了晚更新世以来的盐湖一带气候演变规律。

关键词:卫星雷达遥感;吉兰泰盐湖;湖泊演变
中图分类号:TP 79;TP 753　文献标识码:A　文章编号:1001 - 070X(2001)04 - 0035 - 05

0　引言

遥感技术是研究湖泊演变最有效的手段之一。20 世纪 70 年代,当美国陆地卫星传回罗布泊地区的遥感图像时,人们惊喜地看到罗布泊湖退缩时留下的古岸线呈耳朵状同心环状影像,从而揭开了罗布泊神秘的面纱。此后,人们应用陆地卫星图像获得众多的湖泊演变信息。郭华东 1998 年对美国'奋进'号航天飞机 1994 年发回的雷达图像进行解译,发现了吉兰泰盐湖西侧的一些古湖岸信息[1]。在此基础上,笔者解译了包括加拿大雷达卫星图像在内的多种遥感图像,提出了古吉兰泰盐湖第四纪以来演化发展的粗浅看法,与大家共同讨论。

1　研究区概况

吉兰泰盐湖位于内蒙古自治区阿拉善左旗吉兰泰镇辖区,乌兰布和沙漠的西南边缘,东经 105°29′105°41′,北纬 39°40′39°37′。地处欧亚大陆腹地,为典型大陆性气候,具有干旱少雨、冬寒夏热、昼暖夜凉及日照强烈等气候特点。盐湖面积 55 km^2,湖心海拔高度 1 022.6 m。盐湖四周被新月型沙丘、纵向沙垄和灌状沙堆包围,呈现出盐湖与沙漠伴生的荒漠景观。

从地质角度来看,盐湖处于吉兰泰断陷盆地。盆地由两山夹持,西北侧为巴彦布拉山,海拔 1 447.4 m,东南侧为贺兰山北段。吉兰泰盐湖古湖盆的形成可以追溯到白垩纪,推测其范围,西北以巴彦布拉山为界,西南以滕格里沙漠东北缘为界,东南以贺兰山为界,东北以黄河为界。由于地壳运动及气候变化的影响,古湖盆后来不断缩小,湖水盐度升高,进而形成了吉兰泰盐湖现今的面貌。

研究吉兰泰盐湖演变历史和趋势具有重要的资源与生态环境意义。耿侃(1990)根据盐湖矿床勘探的地层资料,将全新世盐湖的演变过程划分为 5 个阶段[2],但由于该区地处偏僻,研究程度较低,更早时期盐湖演变历程的研究成果较少报道。

万方数据

收稿日期:2001 - 05 - 11;修订日期:2001 - 06 - 21

2 信息源及图像处理

2.1 信息源获取

以 Radarsat - 1 SAR 标准波束位置模式(S1)系统校正图像为主要遥感信息源,获取时间为 1999 年 5 月 11 日 18 时(当地时)。成像波长 5.6 cm(C 波段,5.3GHZ),HH 极化,入射角 20° ~ 27°,分辨率 26 m × 27 m,覆盖地面宽度 100 km × 100 km。成像时垦区玉米株高 30 cm 左右,小麦株高 20 cm 左右,正处催苗灌溉期,草原刚刚返青。据阿拉善盟气象局资料,成像前 6 d 天气状况较好,无降水,但成像当日有大风,吉兰泰一带出现瀑尘扬沙现象。另外,还收集了区内的 SIR - C/X - SAR 四个通道的数据作为参考图像,工作模式分别为 L - HH、L - HV、C - HH、C - HV。L 波段工作波长 23.5 cm,C 波段工作波长 5.8 cm,方位分辨率 30 × 30 m,斜距分辨率 13 × 26 m[1],成像时间 1994 年 4 月。此外,收集了一景 TM 数据,时相为 1988 年 2 月 18 日,用来进行 SAR 与 TM 图像的融合处理。

2.2 图像数据处理

对雷达图像采用模拟法进行了精校正,其步骤是:先用地形图生成 DEM,再根据成像参数获得一幅模拟图像,同时记录像元位移量,然后以模拟图像为参考图像,对雷达图像进行多项式法校正,并根据模拟图像记录的位移量调整像元坐标,完成雷达图像的校正。为了更好地保持图像的纹理信息,采用了多种方法消除图像的噪点。经比较最终采用 PCI 软件中的 Gamma Map 方法的处理结果。

为提取吉兰泰盐湖演变信息,进行了 SAR 与 TM 图像融合处理(图 1),得到色彩饱和度和影像特征良好的融合图像(插页彩片 7)。

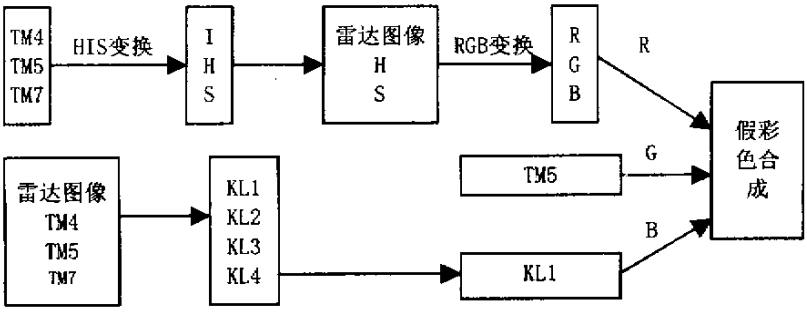

图 1 阿拉善左旗试验区雷达图像与 TM 图像融合处理流程图

3 古湖堤的影像特征

在盐湖西南部,古湖堤在 Radarsat - 1 SAR 图像上影像标志明显,为线状或条带状暗色影纹。在 SIR - C 和 TM 图像上也有显示,为狭长的梁状地貌。但 TM 图像与 SAR 融合图像反映的更加清晰(插页彩片 7)。

综合各种图像信息,得到吉兰泰盐湖演变遥感解译图(图 2)。从图 2 看出,吉兰泰盐湖西

万方数据

南部外围存在三道湖堤，最靠近吉兰泰盐湖的一道仅有一条湖堤，稍外的一道可分辨出 7 条湖堤，形成一条湖堤带。最外一道湖堤虽已遭剥蚀，但仍可分辨出一些残堤。从近到远分别称为Ⅰ道湖堤带、Ⅱ道湖堤带、Ⅲ道湖堤带。

Ⅰ道湖堤带现称道扣梁，是三道湖堤中最窄的一道，宽近 100 m，由一条湖堤组成。湖堤近于直线状展布，展布方向 325°。堤面海拔 1 054 m 左右。在湖的南部和东部，湖堤特征不明显，影像上可见一暗色条带，展布方向在南部转为近 EW 向，在东南部转为 NE 向，在东部转为 NS 向。SIR－C 图像显示(插页彩片 8)，在湖的西部，湖堤也隐约可现，已转为 NE 向，在湖的北部，湖堤收敛。可见当时湖泊呈一葫芦状。

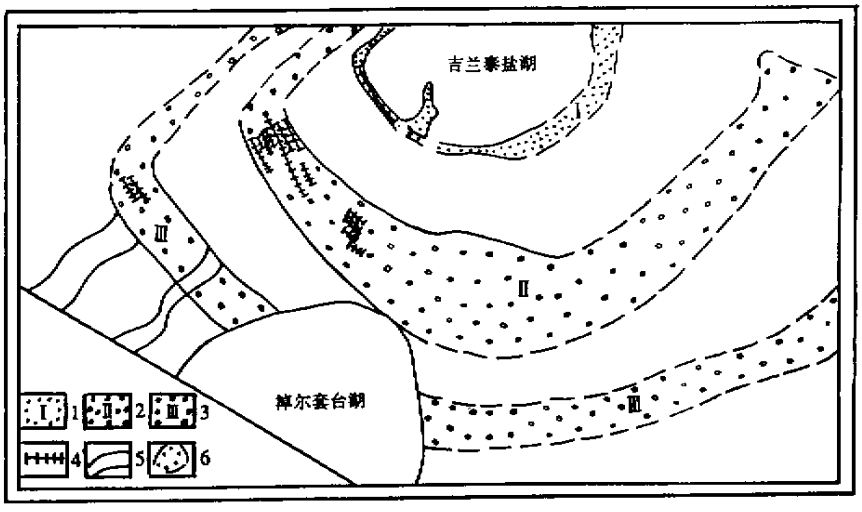

图 2　吉兰泰盐湖演变遥感解译图

1—全新世早期的古湖堤带；2—晚更新世晚期的古湖堤带；3—晚更新世早期的古湖堤带；4—古湖堤；5—古河道；6—小型三角洲

Ⅱ道湖堤带由多道湖堤组成，在湖的西南部有 7 条，宽度达 4 500 m，展布方向与Ⅰ道湖堤带平行，二者相距 6 500 m，堤面海拔 1 070 m 左右。南部与东部湖堤影像较为隐晦，但其内侧界线明显，呈由东西向转为北东向的弧线状，推断整个Ⅱ道湖堤带呈耳朵状。

Ⅲ道湖堤带也存在数条湖堤，在湖西南部影像上可分辨出 2～3 条。湖堤带宽约 8 000 m，与Ⅱ道湖堤带相距 5 000 m，湖堤断续相连，已不完整。向东部如何延伸，影像上显示不太清楚，推测应与Ⅱ道湖堤带平行。

4　古湖堤的地质特征

在吉兰泰盐湖西南部道扣梁一带对Ⅰ道湖堤进行了重点观察，该湖堤横剖面形状为三角形，湖堤顶面平坦且稍向外倾，倾角在 2°3°左右。向湖一侧为陡坡或陡坎，坡度约在 15°左右，堤高约 15 m，顶面有些地段被风沙覆盖。从剖面上看，湖堤岩性上粗下细，上部由砾石层组成，厚约 4 m，砾径多在 23 mm，最大可达 5 cm，砾石磨圆度较好，分选中等，由于砾石在垂向上粗细变化而呈水平层理，未固结，下部 10 m 左右厚为砂层，上粗下细，由粗－中－细砂组成，磨

万方数据

圆、分选度均好，呈‘鱼子’状，属典型的湖积成因。湖堤附近发现大量的螺壳等生物化石，其它湖堤沉积物特征也大致相似。

5 湖堤形成时代分析

根据湖堤空间分布特征及其保存情况可以判断出湖堤形成的相对年代，即由内到外，湖堤形成时代依次由新变老。Ⅰ道湖堤带形成最晚，因而保存最为完整；Ⅱ道湖堤带形成稍早，已剥蚀得不太完整；Ⅲ道湖堤带形成最早，因而保存状况最差。据前人资料，Ⅰ道湖堤带附近的螺壳化石的^{14}C年龄值约在1万年左右，故推测该湖堤形成于全新世早期。另外两道湖堤形成因早于Ⅰ道湖堤带，其形成年代的上限只能是晚更新世。为确定确切的形成时代，将其与成因上有联系的河流阶地进行了对比分析。在贺兰山山口地带，河流发育三级阶地。Ⅰ级阶地高1～3 m，具二元沉积结构；Ⅱ级阶地主要由砾石层组成，与山前冲洪积扇主体相连，在山口地带高出Ⅰ级阶地20～50 m不等，远离山口逐渐与Ⅰ级阶地一样高；Ⅲ级阶地为基座阶地，上部由早更新统冰水砾石层组成，厚约15 m，下部由基岩组成，出露高度高于Ⅱ级阶地2～20 m不等。

古吉兰泰湖泊水位控制了当时河流的侵蚀基准面，现代河谷中河床沉积的侵蚀基准面与Ⅰ道湖堤带形成时期的湖水位相当，则Ⅰ级阶地沉积时的侵蚀基准面与Ⅱ道湖堤带形成时期的湖水位相当；Ⅱ级阶地沉积时的侵蚀基准面与Ⅲ道湖堤带形成时期的湖水位相当。据前人研究，Ⅰ、Ⅱ级阶地沉积物为更新世晚期的产物，因此推断另外两道湖堤形成于晚更新世。

6 古湖堤的环境意义

古湖堤是由于湖水在相当长时间内的稳定沉积而产生的，因此反映了当时湖水水位处于稳定阶段，湖泊排水与补水达到平衡，这说明当时气候较为湿润且降水较丰沛，是气候湿润期。因此3道湖堤代表了3个古气候湿润期，其间为两个干旱期。气候干旱期，降水稀少，河流干枯，湖水持续退缩，因没有沉积物来源没有形成湖堤。

综上所述，吉兰泰盆地在晚更新世总的演化趋势是湖泊萎缩，水位下降。下降过程中存在3个相对稳定期。这一演化过程可与130 ka.BP以来全球气候变化的资料[3]对比，Ⅲ道湖堤带是末次间冰期的产物，形成于130～75 ka.BP，当时气候温暖，降水充沛，湖水面积最大，Ⅱ道湖堤带是玉木间冰阶的产物，形成于40～25 ka.BP，Ⅰ道湖堤带是冰后期产物，形成于11～5 ka.BP。在玉木冰期和大理冰期，湖水水位持续下降，反映了干冷气候特征。根据每个湖堤带存在多个湖堤这一特征分析，在每一气候温暖期，气候仍有波动，存在小尺度的冷暖交替，导致湖水水位阶段性下降，在每个湖堤带形成多个湖堤。但晚更新世至今，总的趋势是向干旱气候演化，湖泊由淡水湖向咸水湖、盐湖方向演化，直至消亡。

7 结论

万方数据

在TM图像上，湖堤特征也有反映，但与周围环境色调基本一致，显示为正地形，由于其形

态和沙垄十分相似，在没有获得 SAR 图像以前，易误判为沙垄。虽然许多学者曾在该区应用 TM 图像作过遥感解译工作，但没有解译出古湖堤。而在 SAR 图像上湖堤与周围环境色调截然不同，并呈同心环状结构，很容易令人联想起古湖堤。综上所述可得出以下结论。

(1)由于微波的穿透作用，卫星雷达图像显示出了古吉兰泰湖退缩过程中留下的古湖堤，为研究古吉兰泰湖的演变提供了线索和依据。

(2)由影像分析可知，古吉兰泰湖的演变是一个多旋回、多阶段发展的过程。可分为 3 个稳定期和 3 个快速退缩期。湖水稳定期间形成了 3 个古湖堤(带)。早期的两个稳定期内，可能存在多个相对稳定阶段和快速退缩阶段，形成多个湖堤。

(3)根据地质资料和少量的同位素资料推断，湖泊整个退缩过程始于晚更新世早期，一直延续至今。第三道湖堤形成于全新世早期。在此之前湖泊为淡水湖，之后进入盐湖演化阶段。

参考文献

[1] 郭华东. 中国雷达遥感应用试验研究[M]. 北京：科学出版社，1999.
[2] 耿侃，陈育峰. 吉兰泰盐湖的形成、发育和演化[J]. 地理学报，1990，45(3)：341 – 349.
[3] 曹伯勋. 地貌学及第四纪地质学[M]. 武汉：中国地质大学出版社，1995.

SATELLITIC RADAR REMOTE SENSING STUDIES ON EVOLUTION OF JILANTAI SALINE LAKE

WANG Fei – yue
(*Remote Sensing Application Institute of ARSC*, *Xi'an* 710054, *China*)

Abstract: It is very important to study saline evolution by means of remote sensing images. Based on field survey and previous information, this paper points out that the older lake banks are discovered by Canadian Radarsat – 1/S1 SAR images in Jilantai saline area are relicts of lake evolution since Late Pleistocene. On such a basis, the evolutionary process of Jilantai saline lake and the regularity of climate changes in Jilantai saline area are discussed in detail.

Key words: Satellitic radar remote sensing; Jilantai saline lake; Saline evolution

作者简介：王飞跃(1965 –)，男，高级工程师，1988 年毕业于南京大学地球科学系，长期从事遥感技术在水资源中的应用研究及水文地质工程地质勘探工作，近年来主攻雷达遥感应用研究，已发表学术论文 10 多篇。

(责任编辑：肖继春)

航天简讯

中国将发射韩国 Kompsat – 2 卫星

韩国航空航天研究所与中国长城工业公司就发射“阿里朗 2”(以前称“韩国多用途卫星 2”)遥感卫星一事签署了一份价值达 1,685 万美元的合同。这颗卫星将于 2004 年用“长征 2 号丙”火箭从西昌卫星发射中心发射。目前，该卫星正由欧洲的 Astrium 公司和以色列的光电工业公司制造，它将提供 1 m 分辨率全色和 4 m 分辨率的多谱段地面图像。

万方数据

(据 Spaceflite July 2001)