

文章编号: 1000-1190(2008)03-0458-04

神农架大九湖盆地岩溶塌陷的高分辨率遥感调查

何报寅^{1*}, 徐贵来², 杜 耘¹, 薛怀平¹, 蔡述明¹

(1. 中国科学院 测量与地球物理研究所, 武汉 430077; 2. 武汉地质工程勘察院, 武汉 430000)

摘 要: 神农架大九湖盆地岩溶塌陷的直径一般在 2~20 m 之间, 利用中等分辨率卫星影像很难识别, 而通过高分辨率的快鸟(Quickbird)卫星影像, 可以容易快速地识别出来。野外实际调查验证显示其识别率相当高, 只有一些隐藏在岩壁下的小型落水洞难以在影像上找到。通过影像识别和野外调查, 查明了大九湖盆地岩溶塌陷的特征、类型和空间分布规律, 为大九湖湿地修复和地质灾害的防治提供了基础资料。

关键词: 神农架大九湖; 岩溶塌陷; 高分辨率遥感

中图分类号: P931.5; TP79

文献标识码: A

大九湖盆地位于湖北省神农架西部, 是一个岩溶洼地, 洼地底部发育了亚高山泥炭沼泽湿地, 由于人为的修建排水系统疏干排水以及大规模垦殖, 沼泽湿地面积大幅度减少, 湿地生态系统急速退化, 急需采取措施对湿地进行保护和修复^[1]。在湿地修复中, 能否采取一定的工程措施恢复大九湖以前的湖泊水面和沼泽湿地呢? 由于大九湖盆地岩溶十分发育, 落水洞和岩溶塌陷众多, 它们是地表水和地下水的主要排泄出口。显然, 只有查明这些落水洞和岩溶塌陷的位置、特征及其发育的条件和规律, 才能制定行之有效的湿地恢复方案。

1 资料和方法

应神农架林区政府委托, 我们于 2006 年秋对大九湖的落水洞和岩溶塌陷展开了调查。由于时间紧迫, 决定采用遥感和野外调查相结合的方法开展工作。采用的遥感资料主要有: 2005 年 6 月快鸟卫星高分辨率影像(多波段彩色合成), 分辨率 0.61 × 0.61 m; 1990 年航片(黑白); 1999 年 12 月美国陆地卫星 Landsat ETM+ 影像(多波段彩色合成), 分辨率 30 × 30 m。同时尽可能收集和 analysis 前人的调查研究成果。

工作方法: (1) 首先利用高精度 GPS 定位和 1:50 000 地形图对卫星遥感影像进行几何校正, 然后进行图像融合和增强等处理, 软件采用 Erdas Imaging 和 Map GIS; (2) 利用数字地形图和卫星影

像分别建立大九湖盆地的立体影像; (3) 结合已收集到的地质资料、航片对 TM 影像和快鸟卫星高分辨率影像进行人工判读, 初步圈定岩溶塌陷和落水洞的分布; (4) 根据上述结果, 制定野外调查的路线、内容和重点; (5) 携带地形图和影像图到实地进行野外地质解译和验证, 包括地层剖面和露头调查和各种测量, 工作区约 60 km²; (5) 对野外调查结果进行整理分析, 绘制岩溶塌陷和落水洞分布图等图件。

2 区域地貌地质概况

大九湖位于 109°56' ~ 110°11' E 与 31°24' ~ 31°33' N 之间, 是由构造、岩溶、流水和第四纪冰川共同作用下形成的封闭盆地, 盆地底部海拔高程在 1 760 ~ 1 700 m 之间, 面积约 16 km²。盆地外围为海拔 2 200 ~ 2 400 m 的陡峭中山, 山顶高出盆地底部约 500 ~ 800 m。盆地周边山体岩性为白云岩、白云质灰岩等碳酸盐岩和泥质、砂质、炭质页岩组成, 在岩溶溶蚀作用以及第三纪、第四纪冰川侵蚀作用下^[2,4], 峡谷地形复杂, 山峦起伏多变。

盆地内侧发育较宽阔平缓的台地, 海拔约 1 740 ~ 1 760 m, 由更新世中期—晚期的黄土状堆积物构成, 上部为黄褐色亚粘土, 下部为棕黄色亚粘土, 并含有潜育化灰白绿色条带, 厚度达 5 m 以上。

台地以下是更新世晚期至全新世初期形成的

收稿日期: 2008-04-07.

基金项目: 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室中国博士后科学基金项目(2003034495); 神农架林区政府“神农架大九湖湿地资源与环境综合考察”项目。

* E-mail: heby@whigg.ac.cn.

一级阶地,高出河漫滩 1~2 m,堆积灰黄色亚粘土,向下渐变为黄白色,厚 2~4 m,由于流水的侵蚀切割,一级阶地仅在局部残存。

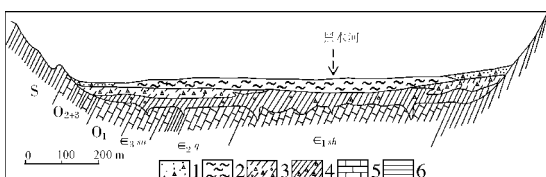
阶地以下是广阔的全新世中期形成的冲积—洪积扇缘和高河漫滩,高出河面 1~2 m,泥炭沼泽就发育在这一地貌部位上,沿河流两侧是低河漫滩,高出河面 0.5~1 m,堆积现代河流冲积的亚砂土—亚粘土,厚约 1~3 m。

大九湖内的河流多为断头河,河床一般宽 1~3 m,流速慢,曲流发育,地表水最终汇入西北侧落水洞群中。由于盆地封闭,无其他排水通道,而岩溶洞穴又不能通畅排水,因而地下水位普遍较高,在盆地中部广阔低平的河漫滩地带,地下水位接近于地表^[5]。

大九湖在地质构造上位于神农架短穹隆背斜的西南翼,岩层近于直立,从东北向西南地层由老变新。

大九湖地区发育的地层有元古界神农架群、震旦系(Z)、寒武系(C)、奥陶系(O)、志留系(S)、泥盆系(D)、二叠系(P)、三叠系(T)和第四系(Q),缺失泥盆系、石炭系、侏罗系以及第三系。但以震旦纪、寒武纪和奥陶纪灰岩和白云岩为主,仅在西缘有少量的志留系—泥盆系和二叠系砂页岩。其中元古界神农架群、震旦系、奥陶系地层主要分布于大九湖盆地周围;寒武系、第四系主要分布于湖盆内^[6]。

大九湖第四系松散沉积物厚度为 1~25 m,分布于盆地底部,主要有冲洪积层、湖相沉积层、泥炭及冰碛物等。沿盆地四周有 20 多条大小不一的冲沟,沿冲沟发育有冲洪积扇,洪积扇前缘和湖相层交错混合。盆地中央为典型的河湖相二元结构。而在养鹿场以东的盆地中央一带,则在湖相层之上发育了一层泥炭,厚度 2~3 m^[7]。该层泥炭是研究全球变化的很好载体^[8](图 1)。



1. 坡洪积层 2. 泥炭层 3. 含砾亚粘土
4. 含砾粘土 5. 碳酸盐岩 6. 砂页岩
图 1 大九湖地质剖面示意图^[4]

Fig. 1 The geological profile sketch of Dajiu lake basin

3 结果和讨论

大九湖广泛分布有寒武系和奥陶系的可溶性

岩石——灰岩、白云岩和泥质灰岩、泥质白云岩等,加之降水丰沛,所以岩溶作用强烈,岩溶地貌发育。既有石芽、孤峰、丘陵等岩溶正地形,也有溶沟、岩溶塌陷、落水洞、喀斯特洼地等岩溶负地形;地下岩溶地貌有溶洞、地下河等。本文主要介绍岩溶塌陷和落水洞的情况。

3.1 岩溶塌陷和落水洞的分布

岩溶塌陷是指与岩溶有关的地面塌陷,是由于可溶岩(以碳酸盐岩为主,其次有石膏、岩盐等)中存在的岩溶洞隙而产生的。在可溶岩上有松散土层复盖的岩溶区,塌陷主要产生在土层中,称为“土层塌陷”,其发育数量最多、分布最广;当组成洞隙顶板的各类岩石较破碎时,也可发生顶板陷落的“基岩塌陷”^[9]。

落水洞是地表水流入地下的进口,表面形态与漏斗相似,是地表及地下岩溶地貌的过渡类型。它形成于地下水垂直循环极为流畅的地区,即在潜水面以上,落水洞的形成,在开始阶段,是以沿垂直裂隙溶蚀为主。当孔洞扩大以后,下大雨时,地表大量流水集中落水洞,冲到地下河。洪水携带着大量的泥沙石砾,往下倾泻,对洞壁四周进行磨蚀,使落水洞迅速扩大。有时岩体崩塌,也可使落水洞扩大。因此落水洞是流水沿垂直裂隙进行溶蚀、冲蚀并伴随部分崩塌作用的产物。由于落水洞常沿构造线、裂隙和顺岩层展布方向呈线状或带状分布,因此是判明暗河方向的一种标志。

在神农架地区,岩溶塌陷和落水洞的发育十分普遍,其中又以大九湖最为集中和典型。通过高分辨率卫星遥感目视解译和地面实地调查验证,基本查明了大九湖盆地岩溶塌陷和落水洞的分布高程、位置、形态特征和类型。从分布位置高度看,这些岩溶塌陷和落水洞主要在海拔高程 1 738~1 763m 之间。从发育的地貌部位看,则主要分布在盆地边缘和山前地带,一些落水洞则隐伏在山崖岩壁脚下。在形态上,岩溶塌陷大多呈近圆形和椭圆形的凹坑,直径 1~28 m 不等,深 0.4~8 m,多数被塌陷物和充洪积物充填,上面长满蓼等杂草,在雨季时积水,枯季则干枯。一些塌陷成为地表河流及其分流排水终点,形成落水洞,地表水通过这些落水洞流入地下岩溶管道系统,最终通过地下暗河排出盆地之外。

目前查明的九湖盆地岩溶塌陷和落水洞有 40 多个,主要集中分布在两处。一处是在盆地北侧挂字号周围,这里的岩溶塌陷和落水洞最多,形成岩溶塌陷和落水洞带,其高程在 1 738~1 749m 之间

(图 2).

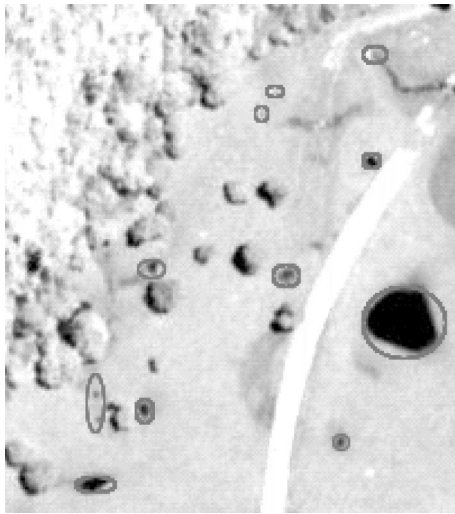


图 2 大九湖盆地岩溶塌陷带 I

Fig. 2 Karst collapses zone-I in Dajiu lake basin

图 2 右侧最大的岩溶塌陷近圆形,积水,直径约 20 m,底部比地面低 1.2 m,调查时已干枯,中间最低处长满蓼草。在遥感影像解译时,要特别注意区分岩溶塌陷和树木阴影,因为二者都表现为暗色,且在同一个尺度。区别是树木阴影的东侧一定伴有树木,其形状为弯月形,而且色调较均一,而岩溶塌陷则不具有这些特征,积水的岩溶塌陷色调较黑,干枯的岩溶塌陷则色调略浅。它们大多呈不规则圆形或椭圆形,大小不一。

另外一个岩溶塌陷带的分布高程要稍高一些,在 1 752.83 ~ 1 762.41 m 之间,位于盆地西部九灯河一带(见图 3)。该岩溶塌陷带呈串珠状分布,走向 NW115°,其地下可能有地下溶洞(暗河)。由于周围已开垦为萝卜地,而岩溶塌陷的位置不能开垦,塌陷附近长满了灌丛、灌草,中间凹陷处生长蓼科等植物。由于与周围的耕地特征差异明显,这类岩溶塌陷在野外和高分辨率卫星遥感影像上都较容易识别。

大九湖最大的落水洞位于盆地北部挂字号周围,这里是九湖盆地最低洼的部位,该落水洞是在原来岩溶塌陷处经过多次人为开挖而形成的,由 3 个落水洞连在一起组成。最大的一个形成于 2002 年 ~ 2003 年,呈近椭圆形,长轴 28 m,短轴 25 m,深约 8 m,是大九湖目前所见最大的落水洞。大九湖大部分地表水通过开挖的渠道汇集于此,流入这 3 个落水洞中,然后通过地下暗河流出盆地之外。图 4 右为 2005 年 6 月积水时的高分辨率卫星影像,左为 2006 年 8 月干枯时的照片。

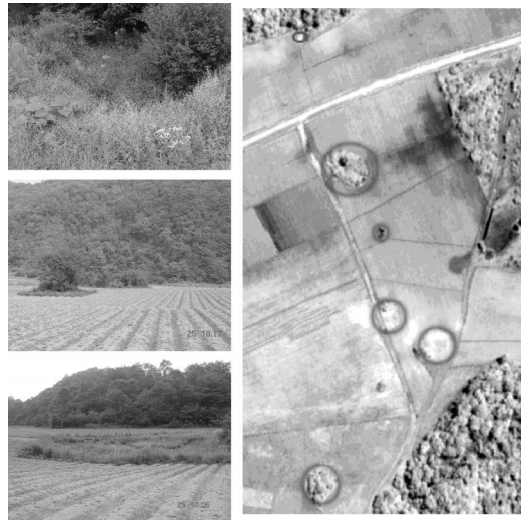


图 3 大九湖盆地岩溶塌陷带 II

Fig. 3 The Karst collapses zone-II in Dajiu lake basin

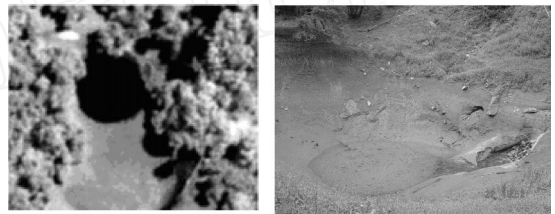


图 4 大九湖最大的落水洞

Fig. 4 The biggest Aven in Dajiu lake basin

3.2 岩溶塌陷的主要类型

大九湖岩溶塌陷主要有两种类型。一种是第四纪冲洪积平原与山地交接处发育的岩溶塌陷(图 5a),有的有塌陷和积水坑,有的无明显塌陷和积水坑,地表汇水直接从溶隙排走,前者容易在高分辨率遥感影像中辨认,后者不易。另一种是第四纪冲洪积平原内部的岩溶塌陷(图 5b),这类岩溶塌陷因为地表汇水较少,塌陷坑上部的充填物没有被流水带走,汇水以渗透方式排入地下,有少量积水或干枯,表面多生长湿生植物,如蓼等,在高分辨率遥感影像中容易分辨,但要注意不要与遗弃河道混淆。

4 结论

神农架大九湖盆地岩溶塌陷的直径一般在 2 ~ 20 m 之间,利用中等分辨率卫星影像,如 Landsat TM/ + ETM 很难识别。然而,通过高分辨率的快鸟卫星影像,可以容易快速地识别出这些地岩溶塌陷。快鸟卫星影像的地面分辨率达到 0.61 × 0.61 m,用计算机图像处理技术对其进行适当的纠正和增强处理后,根据岩溶塌陷的特征,利用目

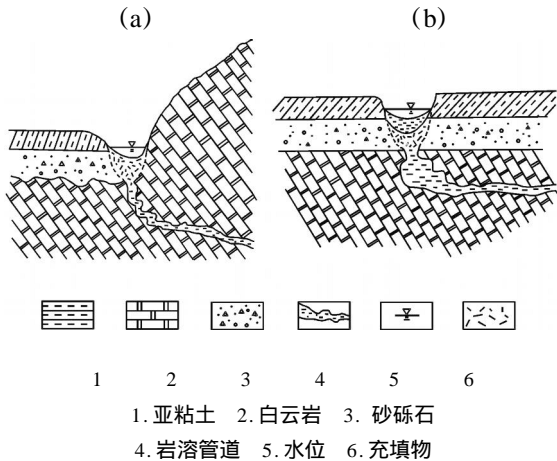


图5 神农架大九湖的两种主要岩溶塌陷类型

Fig. 5 The two major types of karst collapses in Dajiu lake basin

视解译,就可以识别地面 1 m 的目标。经过野外实际调查验证,证明其识别率相当高。目前,利用如此高分辨率的卫星遥感技术来调查岩溶塌陷和地质灾害还比较少见,主要是因为我国大部分非城市区域还难以获得这些数据,另外就是成本还相对较高,大面积应用暂时有些困难。本文结果表明,在岩溶塌陷和落水洞的调查中,如条件允许,还是应该尽量采用高分辨率遥感影像,这样的调查比较彻底,而且可以节省野外地面调查时间和成本。

致谢: 中国科学院测量与地球物理研究所王学雷研究员、李军博士、肖飞博士参与了论文的野外测量调查工作,谨此深表谢意!

参考文献:

- [1] 何报寅. 神农架大九湖泥炭的环境变化记录[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2007.
- [2] 郭令智. 大巴山东段第四纪冰川地形[J]. 地理, 1943, 3(3-4): 5~12.
- [3] 景才瑞, 傅爱民. 神农架大九湖地区更新世冰川遗迹的初步研究[J]. 华中师范大学学报:自然科学版, 1986, 20(3): 345-356.
- [4] 湖北省神农架林区地方志编纂委员会编. 神农架志[M]. 湖北:湖北科学技术出版社, 1996.
- [5] 李 晓, 李运平, 于银波, 等. 神农架幅 H-49-3 1/20 万区域水文地质普查报告[R]. 湖北省地矿局水文地质大队, 1984.
- [6] 刘永耀. 神农架幅 H-49-3 1/20 万区域地质调查报告[R]. 湖北省地质局区测队, 1974.
- [7] 高凤歧, 张则友, 郎 卿. 神农架大九湖泥炭矿勘探报告[R]. 东北师范大学, 1982.
- [8] 何报寅, 张 穗, 蔡述明. 近 2 500 a 神农架大九湖泥炭的气候变化记录[J]. 海洋地质与第四纪地质. 2003, 3(2): 109-116.
- [9] 刘广润, 程伯禹. 岩溶塌陷的类型、成因机制及防治途径兼论武汉市岩溶塌陷勘查工作要点[J]. 工程地质学报, 2001, 9(4): 414-417.

Investigation for Karst collapse in Dajiu lake basin in Shennongjia by using high resolution Remote Sensing

HE Baoyin¹, XU Guilai², DU Yun¹, XUE Huaiping¹, CAI Shuming¹

(1. Institute of Geodesy & Geophysics, Chinese Academy of Sciences. Wuhan 430051;

2. Wuhan Institute of Geological Engineering Exploration, Wuhan 430077)

Abstract: The Karst collapses in Shennongjia Dajiu lake basin are generally between 2~20 m in diameters, so it is very difficult to distinguish them by using medium resolution satellite image. However, these Karst collapses can be fast distinguish easily through high resolution Remote Sensing image from Quickbird satellite. The recognition rate for the collapses is verified quite high through in situ investigation, only some avens hid beside rock hill is difficult to find in image. By image interpretation and field work, the characteristics, types and spatial distribution regulation of the Karst collapses has been found down in Dajiu lake basin. The results can be used as foundation data for the wetland repair and geological disaster prevention and control.

Key words: Shennongjia Dajiu lake basin; Karst collapse; high resolution Remote Sensing.