

遥感地质调查在南昆铁路建设中的应用

铁道部专业设计院 卓宝熙 李海明 李光伟

摘要 本文指出南昆铁路建设的重要意义及遥感技术应用的必要性,扼要地叙述了遥感技术在该线中应用的简况,并以实际例子说明遥感技术应用的效果,最后归纳出几点认识,提出在特定条件下,施工阶段有针对性地应用遥感技术是有益的。

关键词 遥感 地质调查 南昆铁路 应用

1. 工作概况

南昆铁路东起南宁,西止昆明,北接红果,是我国“八五”重点建设项目之一和大西南出海的一条重要通道,也是我国最大的一项扶贫工程。它对开发云、贵两省煤、磷及广西铝矿等资源,促进西南各省和广西的经济发展以及对外贸易有重要意义。

该线全长 800 余 km,线路长,投资大,地形、地质复杂,技术难度高,工程艰巨;全线桥梁 502 座,总延长 76.17km;隧道 287 座,总延长 202.32km。

原勘测过程中,在部分地段曾用过遥感技术。我们本着遥感技术主动为勘测设计服务,积极投入铁路建设主战场。同时,鉴于该线是 90 年代修建的铁路长大干线,且勘测和施工时间紧迫,为了做到既要加速建设速度,又可保证建设质量,在该线勘测后期和施工过程中,利用遥感图像开展全线的断裂构造判释和部分地段地质调查。

工作中使用的遥感片种包括:美国陆地卫星 TM 图像、法国 SPOT 卫星 HRV 图像、多种时期不同比例尺的全色黑白航片以及计算机数字图像处理成果。工作方法按通常的先卫星图像宏观分析,后航空像片判释,最后进行野外重点核实,做补充和修改。

完成的主要工作量包括:

- (1)编制全线 1:20 万陆地卫星 TM 影像图,面积约 60000km²。
- (2)编制全线 1:20 万陆地卫星 TM 图像断裂构造判释图,面积约 50000km²。
- (3)航空像片判释 376 像对。
- (4)野外地质验证约 260km²。
- (5)编制 1:1 万航空像片地质判释图,面积 260km²。。

2. 地形、地质概况

铁路通过地区,地形、地质较为复杂整个地势东南低,西北高,地面高程在海拔 100~

2200m 间,途经地貌单元依次为右江流域平原、桂西北山地丘陵和云贵高原。跨越河流包括左江、右江、南盘江以及其支流,均属珠江水系。

本区存在着多种方向、多种形态的褶皱和断裂,形成一幅很复杂的构造图像。根据台槽学说划分,线路主要位于扬子陆台的是黔桂地台和昆明凹陷区内;按地质力学方法划分,该区位于川滇“之”字型构造、云南“山”字型构造、广西“山”字型构造、南岭纬向构造带的复合部位,由于这些构造体系的迭加、干扰和抑制,形成了今日复杂的构造面貌。地层岩性以古生界、三迭系、第三系的碎屑岩和碳酸盐岩类为主。其中,南宁至百色,古生界、三迭系和第三系交替出现;师宗至昆明以古生界为主;其余地区则广泛分布三迭系。

沿线工程地质条件复杂,线路通过膨胀土(岩)、岩溶、软土地区;泥石流、滑坡多发区;富瓦斯含煤地层及八、九度地震区。

3. 应用简况及效果

下面就全线卫星 TM 影像图编制和地质判释,岩溶、隧道、泥石流、斜坡稳定性评价等的遥感技术应用及效果简述如下:

(一)卫星 TM 影像图及构造判释图的编制

南昆铁路全线编制了陆地卫星 TM 假彩色影像图。该图系利用 1986 年至 1988 年接收的共 7 景 TM 数据(CCT 磁带),每景中各选 3、4、5 波段的数据,经数字图像处理匹配和镶嵌而成,图像处理用 IPOS—101 数字图像处理系统。

该图影像清晰,从宏观上展示了该区地形、地质和自然景观的背景情况,诸如山地、河流、水库、峰林地貌、山间盆地、岩溶平原、植被、居民点、各种地层(岩石)、褶皱与断裂构造,等等,一目了然。断裂构造判释图是在 TM 影像图上进行地质判释后编制的,考虑到该线通过地区地质构造较复杂,特别是断裂构造直接影响铁路工程安全,且具有一定规模的断裂构造在影像图上均可显示出来,因此,对断裂构造进行了较详细的判释。根据影像图上的显示并参考 1:20 万地质图,在沿线 60km 范围内共判释出断层 2500 条左右。按断裂的延伸长度,将断裂分为四个等级;一级断裂(区域性断裂),长度大于 100km;二级断裂(主要断裂),长度 50km 至 100km;三级断裂,长度 25km 至 50km;四级断裂,长度小于 25km。三、四级断裂统称次要断裂。此外,还把第四纪以来的活动断裂及大于四级的地震震中标示在图上,这样,从图中既可看出断裂的分布密度、延伸方向、规模大小,又可了解活动断裂与地震的关系,从而有利于区域性地质构造稳定性评价的分析。

从断裂构造判释图上分析,该区地质构造有以下一些规律和特点:

(1)该区受多种构造体系的复合干扰,形成了多期、多种方向、多种形态的复杂构造图像。

(2)由于受大的构造体系的控制,断裂走向从东到西,由北西→北东→北北东→南北方向变化。广西境内,受右江系构造控制,走向以北西向为主;贵州境内,由于受右江系构造和云南“山”字型东翼的复合作用,形成多种方向并存的格局;云南境内处于云南“山”字型前弧、东翼部位,断裂走向由东到西,从北东向逐步转向南北向。

(3)在各种方向的断裂构造中,以北西、北东、南北三个方向较为突出,断裂与褶皱多相伴出现,且多走向断裂。

(4)按断裂判释图中 2km 以上断裂统计,断裂密度云南境内最大(0.075 条/km²);贵州境内次之(0.052 条/km²)广西境内最小(0.034 条/km²)。

地层(岩性)未作详细的判释划分,只是从宏观上按岩组粗略地划分为碳酸盐岩类和碎屑岩类两种,之所以如此考虑,是因为:1、地面勘测已进行过详细的地层(岩性)划分,而 TM 影像图比例尺小,拟进行详细的判释划分,难度较大,可靠性差,还不如地面调查的详细;2、碳酸盐岩类和碎屑岩类的工程地质条件截然不同,从宏观上将其界线圈出,是有意义的,至少可验证原勘测成果的可靠性;3、碳酸盐岩类和碎屑岩类在 TM 影像图上所显示的判释特征显然不同,两者界线易于划分。

碳酸盐岩类的判释特征表现为:地形相对高差小,整体上显示平整,未见明显山脊和水系,影像呈麻袋纹形或核桃壳纹形,这些纹形是由峰林、峰丛、溶蚀洼地、漏斗等岩溶地貌所构成的独特纹形,具粗糙感色调较单调,接近咖啡色或棕红色;碎屑岩类的判释特征表现为:立体感强,山脊线明显,水系发育。色调变化幅度大,无植被覆盖者,多呈棕黄、白、品红等色,有植被者则呈绿色。云南境内岩层走向清晰。

不良地质未进行判释。原因是 TM 影像比例尺较小,不良地质个体一般显示欠佳,判释效果较差。

(二)长隧道地质遥感判释

该线米花岭、家竹箐、康牛等隧道,都开展了遥感图像判释调查。由于这些隧道原地面勘测做了大量工作,已完成了初步设计或施工图设计,有的即将施工,利用遥感技术重复地面工作开展一般性的全面地质判释调查,意义不大,时间也不允许,况且有些地质工作,如岩性的划分,遥感判释还不如原地面调查成果的详细。

针对上述情况,我们采取根据现场勘测人员提出的地质问题,开展有针对性的遥感图像判释。不同的隧道,其工作方法、深度及其侧重点有所不同。以米花岭隧道为主,分述如下:

米花岭隧道,全长 9838m,是该线最长的隧道,也是目前全国最长的单线铁路隧道。由于工作区植被茂密、第四系覆盖层普遍分布,用常规方法开展地质填图,效果较差。遥感技术是在定测时,作为综合勘探手段之一,与其他勘探手段同时开展的。当时,时间紧迫,常规地质测绘已经开始,我们根据地质测绘人员提出的问题,在现场有针对性地开展航空像片地质判释,并编制了预判图,然后与地质测绘人员共同到现场验证,航片判释与现场调查互相启发,取长补短,取得较好的效果。考虑该隧道地层(岩性)单一,在初测地质工作的基础上,决定航片判释的重点为:1、九巍峨向斜是否存在,如存在,指出向斜轴的位置和方向;2、F₂、F₃、F₄ 三个断层在遥感图像上有无显示;3、对隧道洞口及斜井部位的工程地质条件进行评价。这三个问题在遥感成果中均作了分析和回答。

家竹箐隧道开展了 SPOT 卫星图像和航片的判释,结合岩性、构造及岩溶现象,推测了隧道的富水地段(图一)。

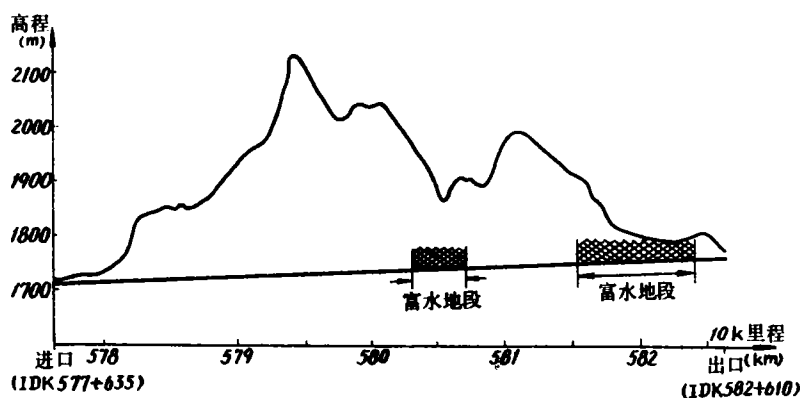
康牛隧道通过航片判释和调查,对局部地段的围岩分类提出了看法。

(三)兴义至威舍段岩溶遥感判释

本段线路东起兴义顶效西至威舍,长度约 30km,区内出露的地层主要为中生界二迭统,中、下三迭统及新生界第四系。岩性包括粉砂岩、细砂岩、泥质灰岩、灰岩、白云岩等。褶皱构

造发育,断层较少。

利用航空像片进行岩溶判释主要是依据其几何形态辨认出来,对某些岩溶现象除直接辨认外,还须借助间接标志以及逻辑推理等方法。如干谷、漏斗、落水洞、塌陷等进行判定;又如在航空像片上落水洞一般位于漏斗最低部位,显示为点状黑孔穴,但有时在低洼处见不到



图一 家竹箐隧道纵断面富水地段示意图

点状黑孔穴,而见到灌木丛,实际灌木丛下则为落水洞。并非漏斗底部均有落水洞,有的水流是通过岩石的节理裂隙排泄。总的看来,石芽、峰林、峰丛、溶沟、溶槽、溶蚀洼地、岩溶塌陷、漏斗等岩溶形态可判释程度最佳;落水洞、竖井等岩溶形态可判释程度中等;溶洞、暗河、岩溶泉等可判释程度差,多依赖于间接判释标志进行分析确定。

通过航片判释主要取得以下效果:

(1)划分了地貌类型,把该区地貌分为峡谷区、峰丛洼地区、构造侵蚀溶蚀低中山区、溶丘谷地区等四个地貌单位。

(2)初步查明岩溶发育的规律性,包括岩溶发育与地形、地层、岩层产状及厚度、地质构造等的关系。

(3)查明了各地层的岩溶发育程度,认为永宁组下段、个旧组三、四段、法郎组下段等岩溶较发育;个旧组二段、飞仙关组上段等岩溶发育次之。

(4)查明本区岩溶最发育的地段为龙芒坪、尾巴田、云南寨、卡路等地,其岩溶发育密度大于 30 个/ km^2 。

(5)编制了兴义至威舍段 140 km^2 1:1 万岩溶遥感判释图(宽约 4.5 km),根据该图的岩溶形态统计,共判释出漏斗 791 个、落水洞 558 个、溶蚀洼地 94 个、岩溶塌陷 21 个、暗河 16 条。

(6)提出线路工程地质、水文地质条件评价。总的认为岩溶对线路有一定影响,其中,顶效至云南寨段,岩溶很发育,但线路通过岩溶垂直循环带,尽管有暗河与线路相交,但直接受暗河威胁的可能性较小,唯个别隧道可能会遇到溶缝、溶洞、暗河以及局部岩溶富水、塌方等的危害,在施工过程中应超前预报;云南寨至木浪河,岩溶也很发育,路基与桥涵基础应尽量避开地表漏斗,落水洞发育地段。

从上述应用效果可以看出,利用遥感图像进行岩溶判释调查,优势明显,主要表现在:

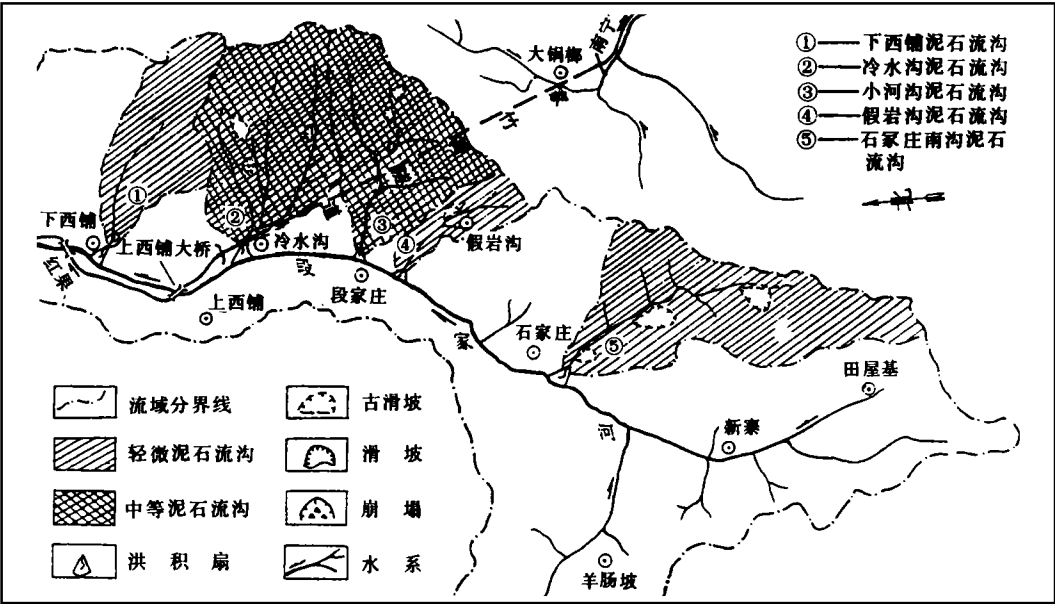
(1)可以大量减少外业工作量,减轻劳动强度,提高测绘效率,整个工作(包括室内航片判释、外业验证、1:1 万岩溶遥感判释图的编制及说明书的编写等)只用了 135 工天。

(2)可以避免地面测绘对个体岩溶形态的漏查,而且对分析深部岩溶的发育特征、勘探工

作的布置以及进一步的线路工作均有指导意义。

(四)利用不同时期航片进行泥石流动态判释

该线家竹箐隧道地区,通过航空像片判释发现段家河流域右侧有五条泥石流,但除冷水沟、小河沟属中等的泥石流外,其余几条沟均属轻微的泥石流(图二)。



图二 段家河流域中游支沟泥石流发育程度图

为了论证冷水沟和小河沟的危害程度,利用 1978 年摄的 1 : 1.7 万全色黑白航片和 1985 年摄的 1 : 4.4 万全色黑白航片进行对比判释,判释内容包括林木、耕地、不良地质。把上述不同时期航片上判释的内容,分别转绘到 1 : 1 万地形图上。

最后,根据小流域泥石流航空像片动态判释图,量测各类地物的面积,进行对比分析,列出不同地物指标对比表(表 1)。

小流域不同时期航片判释对比 表 1

沟名	航摄时间(年)	流域面积(km ²)	林 木		稀 林		无田埂坡地		有田埂坡地		梯 田	
			面积(km ²)	占总面积百分比(%)	面积(km ²)	占总面积百分比(%)	面积(km ²)	占总面积百分比(%)	面积(km ²)	占总面积百分比(%)	面积(km ²)	占总面积百分比(%)
小河沟	1976	2.90	0.75	26	0.23	8	0.08	3	1.48	51	0.36	12
	1985	2.90	0.30	10	0.16	6	0.24	8	1.82	63	0.38	13
冷水沟	1976	3.01	0.50	17	0.88	29	0.24	8	1.39	46		
	1985	3.01	0.34	11	0.48	16	0.29	10	1.90	63		

从表中可,两条支沟流域的树木面积均有不同程度的减小,而坡地和梯田面积相应增加,说明近期人类活动日渐频繁。需说明的是,对比的航片最新的是 1985 年摄的,距今已有 7~8

年,因此,无法说明近几年的动态变化现状。实际上从现场观察发现水土流失在加剧,尤其冷水沟右侧山脊部分,因修建施工便道,促进水土流失、冲沟等的漫延,致使流域内松散固体物质来源不断增加。

根据航片判释,认为段家庄河床滩地发育、开阔平坦,并已辟为耕地,地表流水归槽,说明河床较稳定。几条支沟泥石流流入段家庄河的松散固体物质并不多。上西铺大桥桥位距上游松散固体物质来源区较远,且线路位置已抬坡展线,故近期沟内松散固体物质来量对桥孔排泄影响不大即使有少量淤积发生,及时进行清理即可。

但应引起注意的是近几年人为的环境破坏加剧,如流域上游小煤窑弃碴严重、隧道施工便道的开挖及弃碴,水土流失范围扩大,加之多条支沟有发育泥石流的条件。因此,从长远考虑,应对段家庄流域进行综合治理。

(五)利用遥感图像进行斜坡稳定性评价

喜旧溪河至康牛隧道出口之间,为中低山峡谷区,地形陡峻,斜坡切割剧烈,工程集中。从航片上观察,该段斜坡变形复杂,坡麓堆积大量巨石和块、碎石,将给施工带来许多麻烦。以小德江为例,该处斜坡较缓,为巨型的堆积体,堆积体上可见直径6~7m的巨石。地面调查后提出多种看法,有的认为是崩塌体,有的认为是滑坡,也有认为是洪积物等等,由于规模较大,在现场观察困难。我们利用不同时期的大比例尺航片对照判释,认为小德江堆积体是以滑坡为主体的复杂积体,滑坡体上堆积有崩塌体和坡谷型泥石流。

航片上确定为滑坡的依据是:

- (1)地表形态呈簸箕状,滑坡周界清楚,滑坡前缘突出,滑坡后壁明显,高度达10~40m。
- (2)该处影像色调紊乱,以浅色调为主,与周围深色调的山坡影像显得不协调。
- (3)斜坡坡度较周围山坡坡度缓,但斜坡上、下部位较陡,显然是滑坡形成的地貌。
- (4)滑坡前缘伸入河中,逼迫河水冲刷对岸,造成对岸山坡产生崩塌,河流拐弯等现象。
- (5)见到滑坡平台、封闭洼地等微地貌。

航片分析认为该区巨型古滑坡处于稳定状态,其依据如下:

(1)从不同时期的航空像片对比判释,未见滑坡新的位移迹象,也未发现范围扩大,耕地格局也无变化。

(2)滑坡后壁切割明显,植被茂密,未见滑壁有新的崩塌、滑坡发生,后壁外围未见环壁裂缝。

(3)滑体上形成深切冲沟,未发现新的冲沟。

(4)滑体表面布满大孤石,大者可达5~6m,系堆积体长期稳定情况下,细颗粒土受冲刷流失后遗留的。

(5)小德江村建在古滑坡体范围内,该村已经历百年以上,仍安然无恙。

(6)滑坡前缘的土体密实,未见有小型坍滑发生。迎河部分布满大孤石,灌木丛生,且有小漫滩存在。

综上所述,小德江古滑坡是稳定的,但铁路线从滑体上通过,考虑工程活动,加上日后列车荷载、震动,对滑坡的稳定不利。另外,在其下游14km处的老渡口附近,水电部门计划修建水电站,小德江古滑坡将部分被回水淹没,由此引起的斜坡水文地质条件的变化,可能促使古滑

坡的复活。因此,线路通过滑坡地段应考虑设置支挡防护工程。

(六)南盘江八渡桥桥位地区遥感图像判释

该桥位地区地质构造位于扬子陆台的黔桂地台区内,按地质力学观点,该区处于广西“山”字型构造西翼的西侧、南岭东西构造带西端以及北北东向构造的复合部位。

遥感判释的主要目的是确定桥位地区有否深大断裂通过。我们通过陆地卫星 1:6 百万 MSS 影像图和 1:20 万 TM 影像图判释发现,在桥位地区的南北两端有北北东向的一条深大断裂存在,但到桥位附近受北西向构造的干扰、截断,断裂影像已无显示(图三)。因此,遥感图像分析认为,该桥位处无深大断裂通过。

4. 几点认识

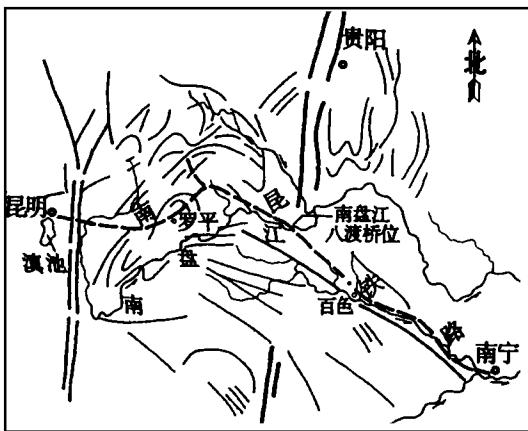
(1)加快铁路建设是形势的需要,是摆脱铁路运输被动局面的有力措施。在铁路建设工期较紧的情况下,勘测设计质量难免受到影响,尤其是在地质条件未完全查明的情况下施工,将会给施工带来许多麻烦。利用遥感可弥补上述不足,至少不会因地质问题而造成大的事故。

(2)以往认为遥感技术适用于勘测的前期阶段,施工阶段不适于用遥感技术,这种提法原则上是对的,就是说,加强前期地质综合勘测,是保证质量的根本。但通过南昆铁路施工阶段遥感技术的应用证实,在前期工作不足的情况下,遥感技术在施工阶段的应用是有效的补救措施之一,突出表现在快速地对工程地质条件作出定性评价。

(3)施工阶段应用遥感技术是有条件的,不应盲目开展。只有当勘测阶段未采用遥感技术,或施工前仍有主要地质问题未查明时,结合工作有针对性地开展遥感图像判释,才能发挥遥感技术的应用。因此,我们建议凡在勘测阶段未开展地质遥感调查,或施工前仍有主要地质问题未查明者,施工阶段仍应积极开展地质遥感调查。

(4)遥感技术的应用,由于情况不同,其应用效果也有所不同。不同的片种和比例尺,用于不同的地质判释内容,其效果也不尽相同。就南昆线应用而言,利用 1:20 万 TM 影像图进行大中型断裂构造以及岩组的判释,效果比较好,但对岩性、不良地质现象的判释,效果较差;而利用航片进行岩溶地表形态判释、泥石流动态分析以及斜坡稳定性的评价等,则可取得较好效果。

(5)施工阶段应用遥感技术也还存在一些问题,例如,一旦遥感技术提供的资料与原勘测文件资料有明显矛盾或不同看法时,应加强协调并妥善解决好,否则将会因技术问题而影响单位间的关系。但只要大家共同本着对工程质量负责的态度,问题也就不难解决。



图三 南盘江八渡桥桥位陆地卫星图像地质构造判释略图