

文章编号: 1006 - 2106(2012) 04 - 0024 - 08

长大深埋隧道工程地质综合勘察技术应用研究^{*}

谭远发^{**}

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

摘要: 研究目的: 高速铁路、客运专线等长大干线经过的地域广、地形地质条件十分复杂, 勘察中仅采用地质调绘、钻探等勘察手段, 难以在短时间内查清山区铁路一系列长大、深埋隧道的工程地质、水文地质条件, 为线路方案比选、工程设计等提供详细的工程地质资料。通过采用综合勘察技术可解决上述问题。

研究结论: 实践证明, 山区铁路长大、深埋隧道采用综合勘察技术, 以遥感结果为指导, 大面积地质调绘、水文地质调查等为基础, 利用综合物探解译成果、结合必要的地质钻探、综合测试, 并通过综合分析、研究, 可以缩短工期、减少勘探量, 取得显著的技术、经济和社会效益。

关键词: 山区铁路; 高速铁路; 长大深埋隧道; 工程地质; 水文地质; 综合勘察

中图分类号: U2122 **文献标识码:** A

Applicable Research on Comprehensive Survey Technology of Engineering Geology for Large Deeply - buried Tunnel

TAN Yuan - fa

(China Railway Siyuan Survey and Design Group Co. Ltd ,Wuhan , Hubei 430063 ,China)

Abstract: Research purposes: The high - speed railway and passenger dedicated line pass through broad areas with very complex topographic and geologic conditions , so it is quiet difficult to make a thorough investigation of engineering geology and hydro - geological conditions for the large deeply - buried long tunnel in short time only by using the geological mapping and exploration drilling means. So the comprehensive survey technology must be used for providing the engineering geological data for the track alignment and engineering design.

Research conclusions: The practices show when the comprehensive survey technology is used for the large deeply - buried tunnel in mountain area along with necessary geological drilling and the comprehensive tests , analysis and research , the construction period can be shortened , the survey works can be reduced and the good social and economic benefits can be obtained by taking the sensing result as the guidance , taking the hydro - geological investigation in the large scope as the basis and using the interpretation result of the comprehensive physical prospecting.

Key words: mountain railway; high - speed railway; large deeply - buried tunnel; engineering geology; hydrogeology; comprehensive survey technology

传统的工程地质勘察仅通过地表测绘、观察来推断分析深部的地质特征,再辅以少量的钻探验证。这对短小浅埋隧道尚能满足设计要求;但是对长度达数

十千米、埋深超千米的长大、深埋隧道,这种工作方法所获取的资料远远不能满足设计和施工的需要^[1]。综合勘察方法就是根据地形、地质条件、勘察阶段、工

^{*} 收稿日期: 2011 - 11 - 17

^{**} 作者简介: 谭远发, 1968 年出生, 男, 高级工程师。

程类型等,采用多种勘察手段密切配合,使取得的地质资料相互验证、取长补短,以最少的勘察工作量达到最佳的勘察效果^[2];并在地质资料整理过程中采用综合分析方法,将不同手段取得的地质资料进行对比分析,使获得的地质资料更加全面、准确,为设计和施工提供可靠的地质资料。本文结合我院在新建向莆铁路、宜万铁路、京福铁路、沪昆铁路和赣龙扩能铁路等山区铁路数十座长大、深埋隧道的工程地质勘察、设计和施工的工程实践,阐述了采用遥感技术、大面积地质调绘、综合物探、地质钻探、综合测井和试验等综合勘察技术的应用条件、工作内容、特点和应用效果,供参考。

1 遥感技术

遥感图像客观、真实、全面地记录了地面物体的各种属性,是地层、岩石、构造、地貌、植被、土壤、水文地质、工程地质和人文活动等现象的综合信息库。由于遥感图像资料新和图像的连续性好,因此,它所提供的各种信息具有较高的现实性和可利用价值,是一幅最新的实际材料极为丰富的影像地质图;遥感方法还由于其获取信息距离远,覆盖面积广,可以窥见不同地物,其中包括不同地质体或构造要素之间的相互关系,从而可以鸟瞰这些地物的总体面貌,发现它们之间的内在联系,因而成为研究地质构造,尤其是断裂构造的重要工具。事实证明,结合必要的野外调绘,遥感技术和手段是进行工程地质调查、勘察的一种最重要方法,它具有非遥感工程地质调查无可比拟的优越性^[3]。

遥感判释在山区铁路长大、深埋隧道的整个综合勘察工作中占有极其重要的地位,对地质调绘起着积极的指导作用。我院在宜万铁路、向莆铁路、京福铁路、沪昆铁路、改建赣龙铁路等山区长大干线的地质选线和各个阶段的勘察中开展地质综合勘察时均以遥感判释为先行。引进了三维遥感工程地质勘察技术,使传统遥感解译从纸上作业转为计算机作业、二维平面解译转为三维立体解译、低精度转为高精度,工程地质实际材料图也以三维可视化形式表现。三维遥感工程地质勘察系统可以立体、真实地再现地物、地貌信息。不仅是遥感人员解译的工作平台,也是地质测绘强有力的调查工具。高分辨率三维遥感工程地质新技术的应用,不但减少了野外调绘工作的局限性、盲目性,大大减轻了劳动强度,而且有效提高了山区铁路地质测绘、勘探质量和效率,尤其在地形、地质条件复杂、交通困难地段使用效果更佳。

譬如,我院在宜万线、向莆线、沪昆线等山区铁路各阶段的地质综合勘察中,对沿线越岭长大隧道采用三维可视化方法及高分辨影像进行遥感解译,特别是

重点对长大隧道的断裂构造、不同岩体接触界限以及不良地质体空间分布的高精度解译,通过线性构造的准确定位,指导大面积地质调绘路线的设计、观测点、物探测线与钻探孔位的布置。其解译精确度可以达到20 m,解译正确率达到90%以上。

2 大面积地质调绘

工程地质测绘是工程地质勘探的前提和基础,工程地质测绘工作的好坏直接关系到工程地质勘探的质量和数量。地质测绘是从宏观到微观、从现象到本质,由定性到定量观察分析问题的方法。它是以观察到的地质现象为依据,以地质理论为指导,对现场观察到的各种地质现象通过去粗取精、去伪存真、由此及彼、由表及里地归纳、推理和分析研究的过程^[4]。

通常,在对区域地质和遥感判释资料进行详细分析研究并建立沿线主要地层层序和构造轮廓的基础上,开展山区铁路长大、深埋隧道的大面积地质调绘工作。主要调绘内容为:地层岩性的分布、特征、时代划分(地层划分到组、段)及其组合关系;褶皱、断裂构造的展布、规模、性质及其对工程的影响;节理裂隙的发育特征;滑坡、岩堆、危岩、落石、采空区和岩溶等不良地质和特殊岩土分布范围和规模等。调查方法以垂直地质界线的路线穿越法为主,重要地质界限采用沿线追踪法;调查重点为断裂构造、软弱岩层、节理密集带、较大地表水体及地下水与构造薄弱带的关系等;调查路线部署以线路中心两侧各500 m范围内为重点追索区,线路中心两侧500~1 000 m范围为补充调查区;根据已有资料,加强线路中心部位的验证和补充调查,以获取相对客观真实、可靠实用的地质资料。根据大面积地质调绘结果,对调绘判断不清、对工程影响较大的断裂构造、重要的不良地质地段和重要部位,再结合物探、钻探等手段进一步查明、验证。

从山区铁路长大深埋隧道设计、施工的经验教训来看,设计、施工中出现各种工程地质问题,除了与大面积地质调绘的精度不够外,还与在外业勘察时,没有根据各种构筑物特点,结合既有的工程地质特征,有针对性、合理地采用勘探手段、布置勘探点,查清场地区的工程地质、水文地质条件等有关。山区铁路长大深埋隧道因其工程主体位于地下,且长度一般达数千千米、埋深超数百米甚至上千千米,经常穿越数个地貌单元、地质时代、地层岩性和区域构造等,仅仅凭借大面积地质调绘难以将其工程地质条件查清,故隧道工程施工中出现的工程地质问题也较多。主要有洞口边、仰坡变形,洞身不良地质(如坍方冒顶、挤出滑移、突水突泥、岩溶、采空区、岩爆、瓦斯等)以及衬砌开裂变

形等。

实践证明,隧道洞身要尽量绕避滑坡、岩溶、采空区等不良地质地段,实在不能绕避时,应在取得准确的工程地质资料的基础上,采取符合实际的工程措施。对于山区铁路长大深埋隧道,应在大面积工程地质调绘和工程地质勘察工作的基础上,建议大力推行、提倡综合勘察,充分运用综合物探和遥感技术,并布置一定数量的地质钻探、综合测井和试验等工作,以查清隧道穿越区的地层岩性、地质构造特征、不良地质、地下水发育情况等。

譬如,我院勘察设计的宜万铁路工程地质条件特别复杂,被国内外专家定义为世界上最复杂的山区铁路。全线隧道长约 223 km,其中岩溶隧道近 160 km,这些隧道中长大隧道埋深大,一般埋深在 500 ~ 600 m,隧道洞身大部分穿越地下暗河或在岩溶的水平发育带附近通过,施工中可能遭遇大型岩溶洞穴、暗河或管道流,发生大规模透水突泥和地面塌陷等地质灾害,因此查明地下岩溶、暗河的规模和空间位置,是宜万铁路建设成败的关键^[7]。为此,我院采用了大面积地质调绘、岩溶水文地质专项调查。从区域地质调查入手,对全线所有隧道均进行 1 : 1 万大面积地质调绘,根据岩溶水文地质单元和地下水补径排范围的需要,扩大范围调绘;并对其中 8 座隧道均进行了专项岩溶水文地质调查。共计完成 1 : 1 万大面积地质调绘 340 km², 1 : 1 万岩溶水文地质调查 572 km²。通过调绘,查明了宜万线长大复杂岩溶隧道区的岩溶地貌特征,可溶岩岩溶发育与地层岩性、地质构造、水动力条件的制约关系,岩溶发育的空间分布规律,岩溶水的赋存规律和补径排特征及其与隧道的关系、危害程度,为各隧道的岩溶水文地质条件评价奠定了基础^[5]。

3 综合物探

物探是一种间接的勘探手段,它是通过地质体的物性表现来推断解译未知的地质问题。其数据采集受地形、地质、物性不均等人文和自然环境多种因素影响,因此物探成果做出的地质推断需要其他直接手段如地质调绘、钻探等代表性的验证,以了解其真实的地质内涵。物探具有轻便、快捷、成本低等优点,但也有“精度不高”的缺点,甚至有误判的可能性。常用的物探方法有地震折射波法、地震反射波法、瞬变电磁法、高密度电法、音频大地电磁(EH-4)法及高频大地电磁测深(HMT)等。

3.1 地震折射波法

它是研究地震波在速度分界面(波在这个界面以下地层中的传播速度 v_2 大于波在其上面地层中的传

播速度 v_1) 产生滑行波引起的振动,通过研究在地表接收到的折射波的时距关系,求得地下界面埋深等参数的一种勘探方法。其特点是最大接收道小,一般为 24 道;勘探深度浅,一般在 100 m 以内;测量精度不高,一般采用皮尺测量;覆盖次数不高(因其震源浅、药量小)等。浅层地震法主要作用包括:工程地质分层(第四系覆盖层、基岩风化带、基岩面的起伏状态,特别是对第四系的分层等);探测断裂构造、岩溶构造的空间分布及其发育特征;测定岩体的动弹性参数,如杨氏模量、剪切模量、泊松比等。浅层地震勘探主要应用于隧道进出口、浅埋地段等的纵、横剖面勘探及洞身各岩土层纵波速度的求值等。

3.2 地震反射波法

地震反射波法勘探原理是当震源激发时,地震波以球状向地下半空间传播,在其遇到岩性分界面、断层、破碎带、岩溶等地质异常体时,地震波就折返回地面被检波器接收,接收的地震数据经过室内数字处理生成地震剖面,根据该剖面上的异常特征,就可以解译为对应的地质异常体,达到查明隧道围岩洞身勘探的目的^[6]。地震反射波法的特点是最大接收道为 120 道以上,勘探深度大(可达 3 000 m),要求的测量精度高(为了加快勘探速度,必须采用 GPS 仪器),覆盖次数高(由于其道数多,对地下同一点可达到 6 次以上采集信息,震源深、药量大,采用组合检波——即一个点用多个检波器接收信息)等,但是它在浅层(埋深 0 ~ 100 m 左右)基本属于盲区,仅仅对埋深较深的地层有效。深层地震反射波法适用于地形起伏大、埋藏深度较深的长大深埋隧道勘探。

3.3 瞬变电磁法(TEM)

TEM(Transient Electromagnetic Method)法是以接地导线或不接地回线通过脉冲电流做为场源,以激励探测目的物感生二次电流,在脉冲间隙测量二次场随时间变化的响应,进而达到解决工程地质问题的一种电磁法。

TEM 在时间和空间上的可分性,使其具有以下特点:(1) 在高阻围岩地区不会产生地形起伏影响的假异常;在低阻围岩区,由于是多道观测,早期道的地形影响也较易分辨。(2) 可以采用同点组合进行观测,使与探测目标的耦合最紧,取得的异常响应强,形态简单,分层能力强。(3) 线圈点位、方位或接发距要求相对不严格,测地工作简单,工效高。(4) 有穿透低阻覆盖的能力,探测深度大。(5) 剖面测量与测深工作同时完成,提供了更多有用信息,减少了多解性。正是由于 TEM 法的这些特点,其主要用于解决深埋隧道、隧址区的断裂构造、岩溶构造、地层划分等问题,其探测

深度可达 400 ~ 500 m。

3.4 高密度电法

高密度电法与常规电法相比是向地下供电。不同的地质体、异常体对电流的吸引不同,这种吸引大小对应地质体、异常体的电阻率大小。根据测得的视电阻率在 X 和 Z 方向变化的剖面,分析剖面上视电阻率变化特征,将其解译为对应的地质异常体,解决地质问题。就岩溶勘探而言,通常空腔岩溶为高阻,充填岩溶为低阻,渗水破碎带为低阻。不同岩性其电阻率值也不同,以此可对岩溶和地层岩性等作较好的判断。该法可依据获得的地下介质电阻率的分布情况,了解隧道围岩的性质和分布范围,推测断层构造和岩溶构造的空间分布及其发育特征等。

譬如,向莆铁路武夷山隧道长 14.658 km,隧道最大埋深达 350 m。其中 F_5 断层通过地层为里地单元(J_3L)的少斑中粒花岗岩。遥感及现场地质测绘结果表明: F_5 断层为一硅化破碎带,出露于 DK 222 + 532 附近,与路线夹角约 50° ,断层产状 $354^\circ \angle 48^\circ$,断层破碎带及影响带宽约 50 m,带内岩石具硅化、并可见构造角砾岩,角砾呈次圆状,节理裂隙发育,石英脉呈不规则状,大致平行断裂面充填,为逆冲断层。经物探地震折射波法、高密度电法验证, F_5 断层产状倾向小里程,视倾角 40° ,破碎带岩体的弹性波速仅 2 920 m/s,两侧完整基岩的弹性波速 4 862 m/s。物探实际勘测及综合分析结果如图 1 和图 2 所示。

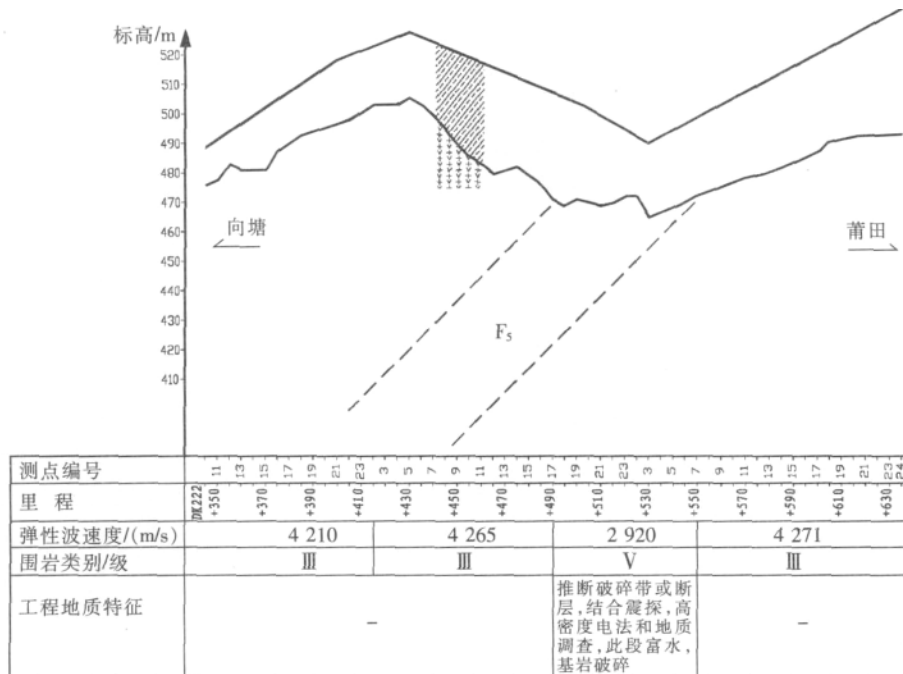


图1 向莆铁路武夷山隧道地震折射波法推断 F_5 断层地质剖面示意图

3.5 音频大地电磁(EH-4)法

EH-4 系统是 20 世纪 90 年代由美国 EMI 公司和 Geometrics 公司联合推出的新一代电磁探测仪器,它能观测到离地表几米至 1 000 m 内地层断面电性变化信息。它利用宇宙中的太阳风、雷电等天然电磁场信号作为激发场源,该场源不存在近场区和过渡场区^[7]。音频大地电磁法具有抗干扰能力强、横向分辨率高、高阻屏蔽作用小、勘探深度范围大等特点。

EH-4 探测法在山区铁路长大、深埋、复杂的岩溶等隧道勘探中,对地层岩性、地质构造、岩溶等地质现象的反应较为齐全和准确,其勘探深度能够满足要求,且在野外受地形等限制较小,可以在长大、深埋、复

杂隧道的综合勘探中应用。但同时应该注意到,其对地层岩性、地质构造的划分主要依据电性,一般而言,电性差异大,且有一定厚度时,其对地层、构造的分辨率也大大提高。根据资料推断的地质规律比较符合实际。同一岩性,或电性差异较小的岩性、构造等勘探对象就存在不确定性,因此,音频大地电磁资料必须结合地质测绘、钻探和综合测井等验证资料综合分析,才能取得较好的效果^[7]。

3.6 高频大地电磁测深(HMT)法

高频大地电磁测深的概念是相对于可控源音频大地电磁(CSAMT,观测频率为 0.25 ~ 8 192 Hz)和大地电磁(MT,观测频率为 0.001 ~ 340 Hz)的频率范围而

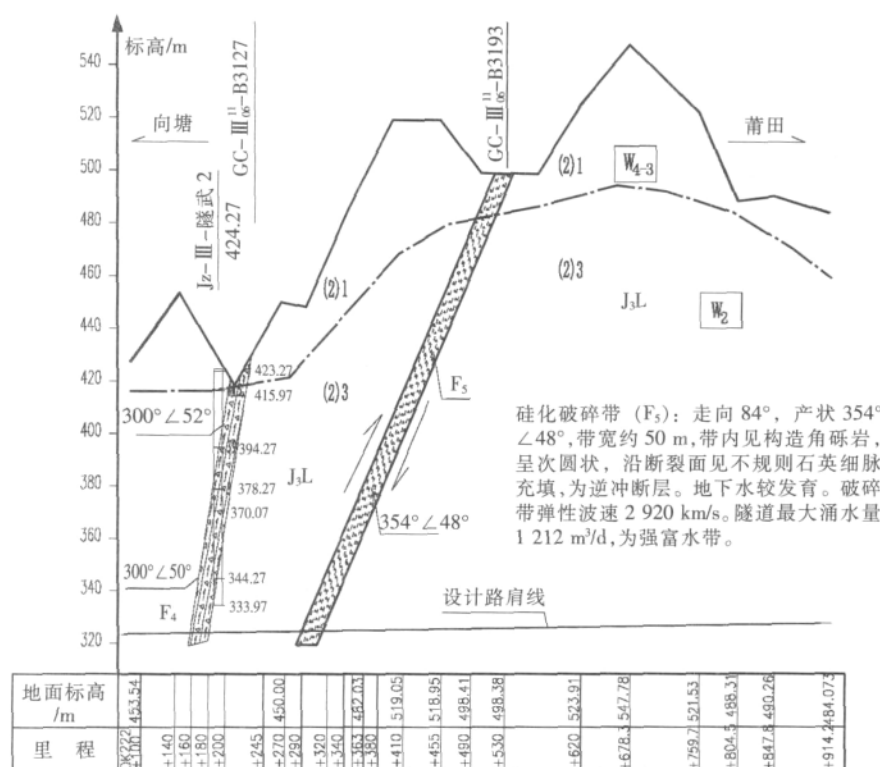


图2 向莆铁路武夷山隧道 F5 断层工程地质示意图

提出的。对于灰岩地区,电阻率的变化范围一般在 500 ~ 3 000 Ωm 。如果取平均电阻率为 500 Ωm ,隧道埋深在 800 m 左右时,根据趋肤定理,要达到 800 m 左右的观测深度,其观测频率的下限应在 200 Hz 左右。而当最高观测频率达到 100 kHz 时,其穿透深度仅在 11 m 左右,当地表覆盖有第四系低电阻地层时,其穿透深度将进一步减小。因此,对于隧道工程的勘察,要取得完整的地电断面,对于场源为天然大地电磁场的高频大地电磁,其观测频率范围在 200 ~ 100 kHz,该频率范围已超出了音频的范围,所以采用该频率段观测的方法称之为高频大地电磁测深(HMT)^[9]。

在宜万铁路复杂的岩溶隧道工程勘察中,共布置了高频大地电磁测线 198 km。勘察结果表明,对于封闭性的溶蚀空腔,高频大地电磁呈低电阻异常特征;对于深度较浅或规模较大的岩溶地质体,高频大地电磁呈封闭圈式的低阻异常;当岩溶地质体的规模与埋深相比不是足够大时,在高频大地电磁视电阻率断面上,则不能形成封闭性的低电阻异常,而是等值线出现较大分离和弯曲的异常形态。

在施工开挖的部分隧道中遇到的较大型岩溶地质问题共有 76 处,其中 75 处都位于大地电磁的异常区或异常的边缘。表明其勘察结果,为宜万线隧道施工设计和施工安全预警提供了准确的资料。

为了查明宜万线 8 座长大、深埋、复杂岩溶隧道的地层岩性、地质构造、岩溶发育程度、深度、规模以及暗河的位置,我院在遥感和大面积地质调绘的基础上,采用瞬变电磁法、音频大地电磁法、高频大地电磁测深法,并辅以地震折射和高密度电法,大致确定了这 8 座隧道的地质构造形态、部分断层的位置和产状,圈定了大的岩溶异常区,为隧道的深孔布置、地质资料的修正和岩溶发育规律特征的分析、隧道工程地质和水文地质条件的分析判断提供了依据,有效地缩短了勘探工期,大幅度地降低了勘探成本^[5]。

4 工程地质钻探和综合试验、测试

4.1 工程地质钻探

根据工程地质调绘、综合物探勘探结果和设计意图,对山区铁路长大、深埋、复杂隧道进行有针对性的工程地质钻探,一方面可以准确地提供设计所需的各项岩土物理力学指标,另一方面也可验证物探和工程地质调绘结果。工程地质钻探是最原始也是最直接的勘察方法,其最大的优点在于能够直接钻取岩芯,取得定性的地质资料,直观地反映岩土体的颜色、塑性状态、风化程度等基本特性,准确地划分各种地层岩性、厚度、完整性和破碎程度,断层的位置、宽度、破碎和胶结程度,断层带的组成和性质,含水层深度、厚度、初见

水位和稳定水位、岩溶发育程度等;也可以通过各种岩土试验获取岩土体的物理力学指标。此外,还可以作为地震、地应力等孔内测试的平台。正因如此,才使其不可替代地沿用至今。其缺点是容易受勘察场地的限制,钻孔之间的地层关系需要依靠工程地质人员根据其所掌握的地质资料进行推断(钻孔的密度直接影响勘探成本和勘察资料的准确性),且周期长、费用高。

山区铁路长大、深埋复杂隧道的综合勘察是在充分搜集、分析研究既有区域地质资料的基础上,以遥感判译为先行,以大面积地质测绘和水文地质调查为基础,结合综合物探的勘探成果,针对性地布置适量的深孔钻探为主要勘探手段,并辅以必要的孔内测试试验等的综合性的勘察试验方法,以查明重大的工程地质问题。深孔钻探的选择和确定主要是为了解决如下几个主要地质问题:物探反映的重大异常区的验证,重大隐伏暗河、采空区等的探查,区域性大构造、断层的产状、破碎(软弱)程度、富(导)水性、地应力测试、瓦斯测试、水文试验以及单孔或多孔孔内测试,重要地质界面的控制(如可溶岩与隔水层接触界面、煤系地层的位置等)等。譬如,我院在宜万线综合勘察中共计完成深孔钻探51孔,共15 304.23 m^[5]。

4.2 综合试验、测试

综合试验、测试工作分为孔内和孔外两类。孔内的测试、试验项目主要有水文试验、综合测井、孔内CT、地温、地应力测试、瓦斯测试(放散初速度、瓦斯压力等)、放射性测试等;孔外的测试、试验项目主要有水、土、岩石样品的物理试验和力学试验、示踪试验、煤层及瓦斯测试等。通过上述试验、测试结果,可为隧道围岩类别的划分、岩土体物理力学指标的选取以及岩体风化程度的划分、隧道风险评估等的施工设计和施工安全预警提供准确的依据。

5 综合勘察、测试成果的分析利用

每一种勘察方法和测试手段都不可避免地存在一些局限性或弊端,我们在得到各种分项的勘察、测试结果后,还需要对所获取的所有成果资料进行全面、系统的专题分析研究;综合分析各项勘探成果,并通过相互验证等手段剔除异常的错误结论,对可疑结论进一步做详尽细致的工作,对确定结论则寻找最经济有效的设计方案和施工措施。综合运用各种勘察手段相互指导、相互验证、取长补短,可以有效提高长大隧道的工程地质勘察质量。

譬如,改建赣龙铁路扩能工程的汀州隧道长7.738 km,隧道最大埋深达600 m,其中 F_2 、 F_3 断层附近地层为下古生界奥陶—志留系(O—S)变质粉砂岩、

板岩夹页岩:灰褐、灰黄色,全风化~弱风化,薄层状。在分析研究区域地质资料和遥感判译结果的基础上,有针对性地开展现场地质调查、测绘,发现了 F_2 断层的地表露头,随后采用物探EH-4法进一步验证了 F_2 断层的存在,查清了其工程特性:该断层属北西向断裂,倾向北东向,产状 $46^\circ \angle 79^\circ$,断层破碎带宽约30.0 m,与隧道相交于DK 148+495附近,与线路夹角为 17° 。同样,通过现场地质测绘和物探EH-4法也揭示了 F_3 断层。为进一步确定 F_3 断层的工程特性,在地表布置了1个孔深340.10 m的深孔,结合对钻探和孔内水文试验、地应力、地温等综合测井的测试结果综合分析,确定了 F_3 断层的工程特性:属北北东向区域断裂,倾向北西西向,产状 $289^\circ \angle 60^\circ$,断层破碎带宽约168 m,与隧道相交于DK 148+628附近,与线路夹角为 80° 。汀州隧道 F_2 、 F_3 断层工程地质特征如图3所示。

6 主要成果及效益

我院采用综合勘察技术在宜万铁路、向莆铁路、京福铁路、沪昆铁路和赣龙复线等数十座已经施工和正在施工的重点隧道工程所提供的地质资料不仅得到了施工验证,而且为施工提供了预警,保证了上述复杂性、风险性较大的重点工程施工的顺利进行。

综合勘察技术可以有效地控制山区复杂隧道的地层分布、构造形态、断层要素、深部岩溶的发育位置、岩体应力、有害气体等工程地质问题。明显地缩短了勘探工期,大幅度地降低了勘探成本。

从我院对向莆铁路、宜万铁路、赣龙复线等复杂隧道的工程地质问题进行的综合勘察和施工过程中的施工地质工作来看,具有明显的经济效益和社会效益^[5]。

譬如,对宜万线8座长大深埋隧道的岩溶发育情况进行专项地质工作原定在大面积地质调绘的基础上以深孔钻探为主,计划投资4.8亿元。后来采用以大地电磁测深为主的综合物探方法,结合深孔钻探验证的方式完成了专项地质工作,共投资1.45亿元,取得了预期的地质效果,节约投资近70%,产生直接经济效益3.35亿元^[5]。

而其社会效益主要体现在以下几个方面:(1)设计质量明显提高。对向莆线、宜万线等复杂长大隧道施工地质设计中,将隧道按可能发生的工程地质灾害风险程度,划分为极高、高度、中度、低度四个等级。已施工地段的施工资料证实,隧道的主要工程地质问题都发生在极高风险等级地段。由于设计中已有相应的应急预案,从而降低了施工风险。(2)较好地指导了

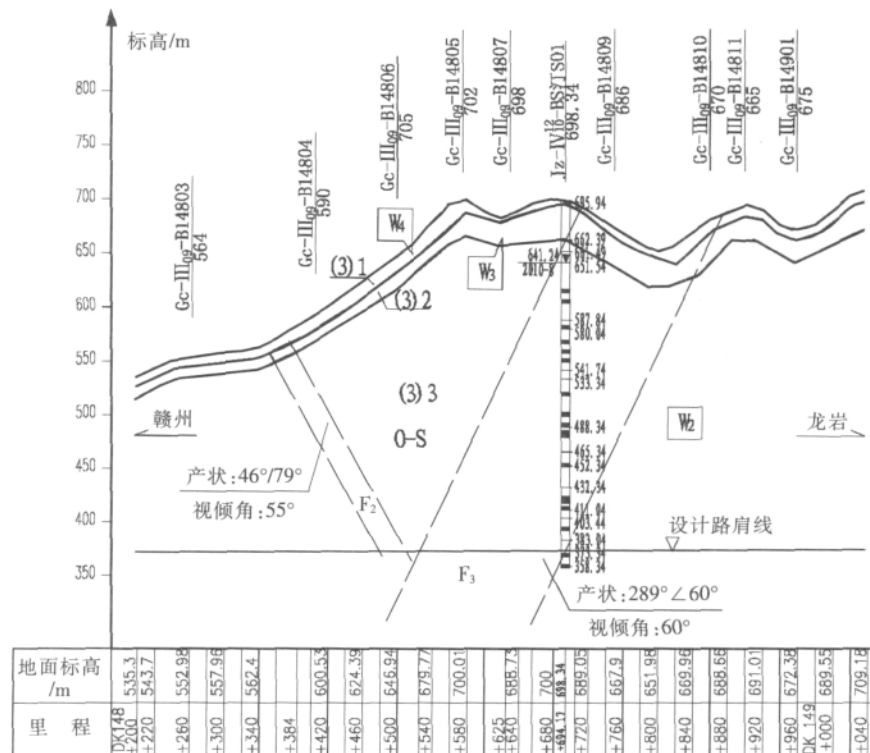


图3 改建赣龙铁路扩能改造工程汀州隧道 F_2 、 F_3 断层附近工程地质示意图

隧道施工过程中的地质灾害预报工作。根据隧道施工地质分级设计,优化了不同地段的地质超前预报方法,取得了较好的预报效果。(3)使大量的隧道工程地质灾害由不可预计变为可以预计,从而减少了隧道不可预计的工程地质灾害。

7 结论

(1)综合勘察是在充分搜集、分析研究既有地质资料的基础上,以遥感判译为先行,以大面积地质调查为基础,以综合物探和适量的深孔钻探为主要勘探手段,并辅以必要的孔内测试试验等的一种综合性的勘察方法,可以有效地控制和查明山区铁路长大、复杂隧道的工程地质和水文地质问题。我院的应用实践证明该方法是可行的,可明显地缩短勘探工期,大幅度地降低勘探成本。

(2)每一种勘察方法和测试手段都不可避免地存在一些局限性或弊端,因此,工程勘察中应根据工程实际需要的勘察范围、勘察深度和勘察精度,选择一种或几种恰当的勘察手段。

(3)山区铁路长大、深埋、复杂隧道工程地质勘察要求资料精度高、围岩分类准确,因此,采用综合勘察方法是必要的、恰当的。在工程地质勘察中,所选择的各种勘察手段要结合现场实际情况合理应用,并应对

勘察成果进行系统地综合分析、研究,合理解释,提高勘察资料的质量,保证结论正确,为隧道工程的设计、施工提供合理、可靠的依据。

(4)在山区铁路长大、深埋、复杂隧道综合勘察过程中,应在对前一勘察工序工作的资料进行分析研究的基础上开展下一步工序的勘察工作,使综合勘察工作不断深入,减少勘察工作量、提高工作效率、降低成本。同时对各种勘察成果资料要及时分析研究、相互沟通。发现问题,现场要及时解决,使勘察资料更加符合实际情况。

(5)山区铁路长大、深埋、复杂隧道综合勘察是一个由多阶段、多工种、多工序组合的勘察体系,建议建立统一的组织机构,统一领导,统一协调,分工合作。

参考文献:

- [1] 张贤贤. 浅谈长大深埋隧道工程地质勘察中地质对物探的配合[J]. 铁道工程学报, 2006(3): 17-20.
Zhang Juxian. Comments on Matching Geology with Physical Exploration in Engineering Geological Prospecting for Large Deep Buried Tunnel[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2006(3): 17-20.
- [2] 赵新文. 综合勘探在隧道工程地质勘察中的应用[J]. 铁道勘察, 2007(3): 92-95.

- Zhao Xinwen. Application of Synthesize Exploration in Geological Investigation of Tunnel Engineering [J]. Railway Investigation and Surveying, 2007(3): 92-95.
- [3] 吴建宁, 孙国庆. 遥感技术在邵怀路雪峰山隧道勘察中的应用研究[J]. 湖南交通科技, 2004(3): 91-93.
- Wu Jianning, Sun Guoqing. Application Research of Remote Sensing Technology in Xuefengshan Tunnel Investigation in Shaoyang - huaihua Railway [J]. Hunan Communication Science and Technology, 2004(3): 91-93.
- [4] 蔡守志, 范静昊, 毕成城. 浅谈山区铁路、公路工程地质详细勘察[J]. 勘察测试与分析, 2000(12): 40-43.
- Cai Shouzhi, Fan Jinghao, Bi Chengcheng. A Study of the Railway and Highways Detailed Engineering Geology Investigation in the Mountain Area [J]. Geological Exploration For Non-ferrous Metals, 2000(12): 40-43.
- [5] 李小和, 曹柏树. 宜万线的主要工程地质问题及勘察方法[J]. 铁道工程学报, 2005(5): 260-267.
- Li Xiaohu, Cao Boshu. The Main Geology Problems and Survey Methods of Yichang - Wanzhou Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2005(5): 260-267.
- [6] 颜廷舟, 王红明. 岩溶区深埋长大隧道综合勘察方法探讨[J]. 西部探矿工程, 2006(1): 150-152.
- Yan Tingzhou, Wang Hongming. Discussion of Comprehensive Investigation Methods for Deeply Buried Long Distance Tunnel in Karta Area [J]. West-china Exploration Engineering, 2006(1): 150-152.
- [7] 曹哲明. 音频大地电磁法在宜万铁路隧道勘察中的应用效果[J]. 铁道勘察, 2004(1): 53-54.
- Cao Zheming. Application of Voice Frequency Telluric Electromagnetic Method in Tunnel Exploration of Yichang - Wanzhou Railway [J]. Railway Investigation and Surveying, 2004(1): 53-54.
- [8] 王亚伟. 公路越岭隧道勘察方法的选择[J]. 公路, 2008(8): 258-261.
- Wang yawei. Choice of Reconnaissance Methods of Highway Crossing - Mountain Tunnel [J]. Highway, 2008(8): 258-261.
- [9] 王焱, 曹哲明, 汤井田, 等. 铁路隧道工程勘察中高频大地电磁测深应用效果研究[J]. 工程地质学报, 2005(3): 424-428.
- Wang Ye, Cao Zheming, Tang Jingtian, etc. Application of the High Frequency Magnetotelluric Sounding in the Exploatory Investigation of Railway Tunnel Engineering [J]. Journal of Engineering Geology, 2005(3): 424-428.
- [10] 许亚军, 李齐闵. 浅议地质综合勘察在金洞隧道中的应用[J]. 隧道建设, 2003(6): 52-54.
- Xu Yajun, Li Qimin. Application of Comprehensive Investigation in Jindong Tunnel [J]. Tunnel Construction, 2003(6): 52-54.
- [11] 杨文锋. 综合物探在阿尔及利亚东西高速公路隧道勘察中的应用[J]. 公路, 2008(9): 189-193.
- Yang Wenfeng. Application of Comprehensive Geophysical Prospecting in Tunnel Investigation in Algeria East - West Expressway [J]. Highway, 2008(9): 189-193.
- [12] 杜彦军. 综合测井技术在太行山隧道勘察中的应用[J]. 铁道工程学报, 2006(5): 77-81.
- Du Yanjun. Application of the Comprehensive Logging Technology in Engineering Investigation of Mountain Taihang Tunnel [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2006(5): 77-81.
- [13] 曹哲明. 高频大地电磁测深在隧道工程勘察中的应用[J]. 工程勘察, 2007(5): 63-66.
- Cao Zheming, The Application of High Frequency Magnetotelluric Sounding in the Exploration of Tunnel Engineering [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2007(5): 63-66.
- [14] 江鹰, 曹哲明, 刘铁. 高频大地电磁法在宜万铁路隧道岩溶的应用[J]. 工程地球物理学报, 2006(3): 206-210.
- Jiang Ying, Cao Zheming, Liutie. Application of High Frequency Magnetotelluric Method to the Karst Exploration of the Tunnel Along Yiwan Railroad [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2006(3): 206-210.
- [15] 许再良, 赵建峰, 王子武, 等. 太行山特长隧道综合勘察技术的应用与效果[J]. 铁道工程学报, 2006(10): 53-57.
- Xu Zailiang, Zhao Jianfeng, Wang Ziwu, etc. The Application and Effect of Comprehensive Investigations in the Taihang Mountain Super Long Tunnel [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2006(10): 53-57.

(编辑 梅志山)