

文章编号: 1006—2106(2009)12—0020—05

遂渝铁路蓼叶湾大桥勘察认识^{*}

汪国信 李 东^{**}

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要: 研究目的: 目前新建铁路以高速铁路为主, 线路桥梁比重大幅提高, 对地质勘察的要求越来越高; 对地质条件简单的桥基勘察, 按常规勘察, 问题不大, 但对地质条件复杂的桥基勘察, 影响因素众多, 存在认识逐步加深的问题。本文以遂渝铁路蓼叶湾大桥的地质勘察过程为例, 剖析了各阶段地质勘察中存在的问题、原因和解决办法, 提出了确保地质条件复杂的桥基勘察质量的认识。

研究结论: 对于地质条件复杂的桥梁工程勘察, 应做到: 采用综合勘探方法, 但应以地质测绘为主导; 开展精细化地质勘察, 勘探工作量超出常规很多, 是完全必要的, 也是必须的; 加强专业之间的协调、配合, 先由地质专业查明控制墩台布置的地质因素, 再由桥梁专业进行墩台、桩位布置。

关键词: 遂渝铁路; 复杂地质条件; 桥基; 勘察

中图分类号: U442 文献标识码: A

Knowledge on the Survey for Liaoyewan Major Bridge of Suining—Chongqing Railway

WANG Guo-xin LI Dong

(China Railway Er Yuan Engineering Group Co. Ltd., Chengdu, Sichuan 610031, China)

Abstract: Research purposes: At present, the most of the newly-built railway are high-speed railways with lots of bridges, so the higher and higher requirement to the geological prospecting is demanded. To the survey for the bridge foundation in simple geological condition area, the conventional reconnaissance can be adopted, but to the survey for the bridge foundation in complicated geological condition area, there are lots of influencing factors, so the knowledge on the survey should be deepened. In this paper, taking the geological prospecting for the Liaoyewan Bridge of Suining—Chongqing Railway as an example, the problems existed in each stage of the survey, their reasons and resolutions are analyzed, and the knowledge on ensuring the survey quality for the bridge foundation in complicated geological area is presented.

Research conclusions: For the bridge foundation in the complicated geological condition area, the integrated exploration method should be adopted with relying mainly on the geological surveying and mapping. The fine geological prospecting should be adopted. In this way, there are lots of works to be done, but it is necessary and has to be done. The coordination should be done among all specialties, namely, the geology-specialized person first makes clear the geological condition for the control pier and abutment arrangement and late the bridge-specialized person carries out the arrangements of pier and abutment and selection of the pile position.

Key words: Suining—Chongqing Railway; complicated geological condition; bridge foundation; reconnaissance

^{*} 收稿日期: 2009—05—31

^{**} 作者简介: 汪国信, 1965年出生, 男, 高级工程师; 李东, 1974年出生, 男, 高级工程师。

1 勘察过程概况

遂渝铁路蓼叶湾大桥地处重庆市合川市境内, 位于松林堡隧道与荆竹岭隧道之间的低山区槽谷内, 地面高程 200~280 m 相对高差 80 m。该大桥初测、定测和补定测阶段采用时速 140 km 的标准进行勘察, 后按时速 200 km 的标准进行补充勘察。

该桥跨越沥鼻峡背斜西槽谷水田和河沟, 地表覆盖第四系全新统坡洪积 (Q_{4+pl}) 黏性土、碎石类土, 下伏三叠系中统雷口坡组 (T_2) 白云质灰岩、白云岩夹盐溶角砾岩, 下统嘉陵江组 (T_1) 灰岩、盐溶角砾岩夹石膏等。槽谷内发育有盐井溪断层, 其走向与线路近于垂直, 倾向 NW 倾角 60° , 破碎带宽度约 50 m 上盘为 T_1 上段盐溶角砾岩、灰岩夹石膏, 下盘则以 T_1 下段灰岩为主。该断层造成 T_1 岩层破碎并有地层缺失。槽谷内岩溶较发育, 风化层界线曲折不平, 变化较大。

1.1 定测阶段工程地质勘察

初测线路方案稳定后, 该桥的定测阶段工程地质勘察工作于 2002 年 4 月开始, 本大桥桥梁中心里程 DK 107+326 孔跨式样 13×32 m 全长 436.10 m。根据区域地质资料与初测成果, 桥址区内分布有隐伏断层和可溶岩地层, 属工程地质复杂工点。根据《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012—2001) 规定钻孔布置原则为“每墩 (台) 1 孔, 每孔钻至基岩弱风化带不小于 10 m; 如遇溶洞或断层则视情况另增加钻孔数量, 孔深专门研究确定”。定测阶段共完成钻孔 14 孔 242.60 m 且均经过我院现场技术人员验收, 孔位、孔深真实无误, 但因岩层破碎、溶蚀强烈、地下水发育, 钻孔岩心采取率较低, 加之钻孔多位于水田中, 岩心受泥水污染, 其鉴定较为困难, 导致岩性分层产生分歧。尤其是现场岩心鉴定结果各孔均已钻至灰岩 W_2 内 10 m 左右, 但均未见可能影响桥基类型和深度的岩溶形态和断层形迹, 与测绘分析成果 (如断层位置和破碎带宽度、岩溶发育深度等) 出入较大, 考虑到工期因素和方案比选, 遂决定下一阶段采用综合勘探手段查明桥址地质条件。

1.2 补定测阶段工程地质勘察

鉴于定测阶段桥址区内隐伏断层尚未查清, 隐伏岩溶发育情况和嘉陵江灰岩中夹含的盐溶角砾岩及石膏层分布对桥梁基础的影响也未查明的情况, 在补定测阶段技术要求中, 明确提出要求: 通过测绘, 结合钻探进一步落实断层的位置、岩溶发育情况, 查明盐溶角砾岩及石膏地层对大桥基础的影响。针对定测阶段钻探采心率偏低影响钻孔鉴定的具体情况, 特别购买了

双层单动岩心管钻具以提高钻探采心率; 同时, 增加地面物探及孔内物探, 与钻探资料相互印证, 着重查明大桥受盐井溪断层影响情况。

于是, 在定测资料推测可能是断层破碎带的 7^号墩位 (DK 107+344 中心) 补钻一孔 (BDZ—254), 并采用双层单动岩心管机械回转钻进。其中 0~21.1 m 为黏土, 软~硬塑状, 含 5%~40% 灰岩质砾石, 局部含砂较重; 21.1~25.8 m 为断层角砾岩, 灰岩质, 岩心破碎呈碎块状, 采心率低; 25.8~30.2 m 为厚层状灰岩, 弱风化带 (W_2), 岩心呈短柱状、柱状, 含方解石脉。

同时, 布置了 BDZ—254 钻孔声波测井, 确定岩体的完整性, 划分土石分界线和岩体风化层界线; 布置了桥址综合地面物探, 确定桥址区覆盖层厚度、下伏基岩风化层厚度、岩体完整性、隐伏构造产状及破碎带宽度、隐伏岩溶形态等。根据岩体弹性波速测试结果, BDZ—254 钻孔孔深 21 m 以内为土层, 21~24 m 岩体较破碎, 24~29 m 岩体较完整, 与钻探结果基本吻合; 根据沿桥址纵断面左、中、右 3 条浅层地震反射波法和高密度电法综合物探剖面成果图, 断层位于 DK 107+315~360 区间; 桥址区物探异常点共 17 个, 为低阻溶隙或充填溶隙 (溶洞) 溶缝、隙宽 3~6 m 不等, 其余岩体较完整。综合勘探结果对断层和岩溶发育情况有了定性判断。

补定测阶段工程地质调绘、钻探、物探资料互相验证基本符合。但考虑到该桥地质条件复杂且不良地质隐蔽, 勘察阶段溶洞、断层和盐溶角砾岩及石膏对工程影响情况难以完全查明, 隐伏断裂 (盐井溪断层) 在 1/50 000 和 1/200 000 区域地质图上并不统一, 可能存在的盐溶角砾岩、石膏等将产生侵蚀性水质对钢筋混凝土结构物不利, 需留待施工阶段结合工程施工来验证。因此, 在提交设计使用的地质说明书中, 特别强调:

(1) 由于附近及上游有煤矿、石膏矿排水汇入沟内, 施工时应取水复查地表水及地下水的侵蚀性。此外, 因盐溶角砾岩含石膏, 且上游约 1 km 处曾开采石膏矿, 故对开挖的灰岩应取石样复查石膏含量; 当采用隧道弃渣或附近灰岩作混凝土骨料时, 必须取样分析灰岩中石膏含量, 根据试验结果确定灰岩和弃渣是否可利用作混凝土骨料。

(2) 断层破碎带、溶蚀孔隙对桥基影响较大。设计时需注明“施工中加强地质工作, 开挖或施钻中地质条件如有变化, 应及时处理。”

1.3 提速后补充工程地质勘察

由于遂渝铁路提速后, 局部线位大半径优化, 桥梁

的孔跨、梁型等也相应调整。针对原补定测阶段遗留的问题,为确保工程质量和安全,本桥开展了施工阶段补充工程地质勘察。补充地质勘察以钻探为主,在利用既有地质资料的基础上,结合桥梁设计的桥基类型、位置、深度开展勘探,钻孔密度为每墩 3~5 孔(地质条件复杂的每墩 6~9 孔或每桩 1 孔),共完成钻孔 50 孔 1 675 m。

通过施工阶段补充工程地质勘察,查明了原拟留待施工开挖后再补勘解决的一些地质问题,如部分钻孔中土石分级界线和断层破碎带位置不够准确、未发现石膏和溶洞等。

2 提速前后两次工程地质勘察、设计资料对比

2.1 工程地质条件对比

2.1.1 提速前工程地质条件(定测,每墩台 1 孔)

桥址上覆第四系坡洪积块石土、黏土、淤泥,厚度分别为 2~8 m、2~6 m、0~2 m;坡残积黏土,厚度 0~2 m;下伏三叠系中统雷口坡组灰岩夹白云岩,下统嘉陵江组灰岩。地处沥鼻峡背斜西翼,盐井溪断层于 DK 107+362 附近与线路近于直交,断层走向 N45°E 倾向 NW,倾角 65°,发育下统嘉陵江组灰岩中,属压扭性走向逆断层,未见到明显的断层面和断层角砾岩,推测断层破碎带及影响带宽度约 50 m。测区地震动峰值加速度为 0.05 g,地震动反应谱特征周期为 0.35 s。

地下水主要为第四系孔隙水和基岩裂隙水,钻探揭示有涌砂及涌水现象;经取沟水分析,属 HCO₃⁻·SO₄²⁻-Ca²⁺型,对混凝土无侵蚀性。桥址地表岩溶发育,见溶沟、溶槽及溶蚀孔洞等,钻孔揭示小型溶缝较多,岩心破碎,岩心采取率低,故段内溶蚀现象较发育。综述之,桥址岸坡稳定,基岩出露完整,未见大的不良地质,断层对桥影响较小,工程地质条件较好。本桥除

7[#]墩宜采用桩基外,其余各墩台均宜采用明挖扩大基础,并置基于完整基岩一定深度内。

2.1.2 提速后工程地质条件(补定测与补充勘察,每桩一孔)

桥址上覆第四系及下伏基岩岩性与原勘察资料有所不同,为冲洪积粉质黏土、块石土、卵石土、黏土,厚度分别为 2~12 m、0~9 m、0~19 m、2~8 m;坡残积粉质黏土、黏土,厚 0~5 m;下伏断层角砾,三叠系中统雷口坡组灰岩夹白云岩,下统嘉陵江组灰岩、盐溶角砾岩、页岩夹灰岩、石膏等。

地质构造与原勘察资料相同,仅断层位置和断层的倾角不同,断层倾角为 60°,断层分布于 DK 107+300~DK 107+350 段。据钻探揭示,6[#]墩共补钻 6 孔,上覆卵石土厚 16.0~18.6 m;下伏均为断层角砾岩,7[#]墩共补钻 6 孔,在上覆土层与基岩之间揭示断层角砾岩,可推断断层向小里程倾斜,断层破碎带范围包括 6[#]、7[#]墩,破碎带宽约 50 m。断层对 2 个桥墩基础影响大。

测区内地表水为沟水,其水量受大气降水控制。地下水以第四系土层中的孔隙水及基岩裂隙水、岩溶水为主,除卵石层及灰岩含水量较大,其余含水量均甚微,除 2[#]墩 1[#]、2[#]桩施钻完后有地下水冒出孔口外,未见其它露头,地下水受大气降水及表水补给。取沟水及钻孔水作水质分析,水质类型为 HCO₃⁻·SO₄²⁻-Ca²⁺·Na⁺型、HCO₃⁻·SO₄²⁻·Cl⁻-Na⁺·Ca²⁺型,对混凝土无侵蚀性。由于 1[#]~7[#]墩位于灰岩夹盐溶角砾岩、石膏之中,对混凝土具强烈侵蚀性,应采用抗侵蚀建筑材料。另外,该桥上游 2 km 处为重庆合川锗化工有限公司,在进行含锗重晶石采矿,发现有石膏矿和盐矿,含石膏矿和盐岩的水大量排入河沟中,含盐沟水流经该桥,对桥墩有影响,设计时应考虑侵蚀性。

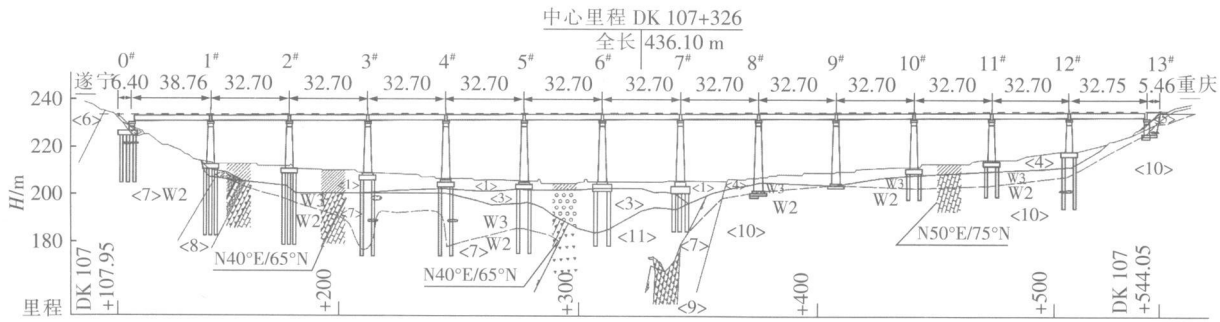


图 1 补充勘察后桥址纵断面示意图

注: <1>Q₄^{pl} 粉质黏土; <2>Q₄^{pl} 块石土; <3>Q₄^{pl} 卵石土; <4>Q₄^{pl} 黏土; <5>Q₄^{pl} 黏土; <6>T₃ 灰岩夹白云岩; <6>T₃ 灰岩,盐溶角砾岩夹白云岩; <8>T₃ 页岩夹灰岩; <9>T₃ 石膏层; <10>T₃ 灰岩; <11>F₃ 断层角砾岩; W3 强风化带; W2 弱风化带; <12> 充填溶洞; <13> 岩层产状

2.1.3 桥地主要工程地质问题

桥址主要涉及工程地质问题的有岩溶、盐溶角砾岩、石膏。

2.1.3.1 岩溶

提速地质勘察按岩溶地区每桩 1 孔进行实施, 补钻的 50 孔中有 5 孔发现有溶洞 (均为小型溶洞, 直径为 0.4~1.3 m), 溶洞发育情况如表 1 所示。

表 1 提速地质勘探揭示溶洞发育地段统计表

墩(桩)号	溶洞深度/m	充填物情况
0 [#] 台	7.10~7.50	软塑状黏土夹碎石
3 [#] 墩 4 [#] 桩	20.10~20.90	流塑至软塑黏土
4 [#] 墩 3 [#] 桩	17.40~18.70	碎石占 40%, 余为中砂、角砾与泥质
12 [#] 墩 2 [#] 桩	16.40~17.30	软塑状黏土夹角砾
13 [#] 台	5.90~6.40	硬塑状黏土

2.1.3.2 盐溶角砾岩

盐溶角砾岩呈灰、深灰、灰黑色, 角砾状结构, 块状构造, 钙泥质及炭质胶结, 少量为泥质胶结, 角砾成分主要为灰岩质, 角砾直径为 3~100 mm, 角砾形状为不规则半圆、三角形、椭圆形, 角砾含量为 30%~40%, 溶蚀发育, 溶孔呈蜂窝状, 溶孔约占 35%, 其直径为 1~8 mm, 溶孔多充填大量黏土, 少量无充填。钙质胶结盐溶角砾岩一般呈强风化, 泥质炭质胶结盐溶角砾岩一般全风化, 风化呈土状, 似泥炭。含石膏, 局部夹白云岩, 局部含重晶石脉。主要分布于 DK 107+142~DK 107+361 段。详细分布如表 2 所示。

表 2 提速地质勘探揭示盐溶角砾岩发育地段统计表

墩号	桩号	深度范围/m	厚度/m	备注
1 [#] 墩	中心	5.90~9.00	3.10	
2 [#] 墩	1 [#] 桩	7.2~33.6	26.40	
	3 [#] 桩	32.0~35.5	3.50	未揭穿
	4 [#] 桩	23.0~27.8	4.80	
5 [#] 墩	1 [#] ~2 [#] 桩间 中线	9.80~14.80	5.00	
	4 [#] 桩	9.30~15.20	5.90	
7 [#] 墩	4 [#] 桩	28.60~39.40	10.80	
	5 [#] 桩	22.50~27.50	5.00	
		32.20~39.40	7.20	
	6 [#] 桩	26.00~40.70	14.70	

2.1.3.3 石膏

石膏呈白色, 致密颗粒状、纤维状集合体, 半透明, 玻璃光泽, 质较软, 硬度为 2°, 两手指研磨可形成砂糖状结构。含不均匀的黑色泥质成分, 并与其组成黑白相间的细层纹, 纹层宽 1~20 mm, 局部泥质形成角砾、团块, 直径为 2 mm×4 mm~10 mm×20 mm。石膏含

量较多, 约占 70%~80%, 泥质占 20%~30%。该层为软层, 具强烈侵蚀性, 不宜放置基础, 对工程危害极大。该层倾角较陡, 顺层面延伸较深, 据钻探揭示, 石膏层厚度约 10 m, 处理较难。7[#]墩补勘揭示石膏统计如表 3 所示。

表 3 提速地质勘探揭示石膏发育地段统计表

墩号	桩号	深度范围/m	厚度/m	备注
7 [#] 墩	1 [#] 桩	33.30~73.60	40.30	顶板之上为断层角砾岩, 底板之下石膏未揭穿
	2 [#] 桩	33.40~51.80	18.40	
	3 [#] 桩	35.30~51.20	15.90	

2.2 桥墩台基础类型设计对比

14 个墩(台)的基础类型, 定测阶段设计图中采用明挖扩大基础的有 6 个, 采用挖孔桩的有 7 个, 采用钻孔桩的仅 1 个; 提速工程地质勘察后的施工图中采用明挖扩大基础的有 3 个, 采用挖孔桩的有 2 个, 采用钻孔桩的达 9 个。桩数及桩长也有较大的变化。详见表 4 所示。

表 4 提速工程地质勘察前后两次设计图基础类型对比表

墩/台	提速前施工图			提速后施工图		
	基础类型	数量/根	桩长/m	基础类型	数量/根	桩长/m
0 [#]	明挖扩大	—	—	钻孔桩	5	20
1 [#]	明挖扩大	—	—	钻孔桩	5	28
2 [#]	挖孔桩	4	13	钻孔桩	5	30
3 [#]	挖孔桩	4	15	钻孔桩	6	32
4 [#]	挖孔桩	4	9	钻孔桩	6	29
5 [#]	挖孔桩	4	9	钻孔桩	6	27
6 [#]	挖孔桩	4	8	钻孔桩	6	23
7 [#]	钻孔桩	6	35	钻孔桩	8	16
8 [#]	明挖扩大	—	—	明挖扩大	—	—
9 [#]	明挖扩大	—	—	明挖扩大	—	—
10 [#]	明挖扩大	—	—	挖孔桩	4	11
11 [#]	挖孔桩	4	9	挖孔桩	4	13
12 [#]	挖孔桩	4	9	钻孔桩	4	22
13 [#]	明挖扩大	—	—	明挖扩大	—	—

3 地质勘察存在问题及经验总结

3.1 提速前定测地质资料存在的问题及原因分析
根据前后两次地勘成果资料对比分析, 定测阶段存在的问题及主要原因如下:

3.1.1 部分钻孔土层界线、风化层界线出入较大
全桥除 9[#]墩、13[#]台外的各墩(台)误差均在 2 m 以上, 其中位于断层上盘和破碎带的 3[#]、4[#]、5[#]、6[#]、7[#]墩更达 10 m 以上。

主要原因是定测阶段地质勘察采心率低, 误将块碎(卵)石土层和断层角砾岩鉴定为灰岩强风化带(W₃, 呈碎块状), 甚至弱风化带(W₂)。

3.1.2 断层破碎带位置误判

补充勘察阶段通过加密加深钻孔,将断层破碎带范围确定为 DK 107+300~+350 包括了 6[#]、7[#]墩位。而定测勘察确定的范围为 DK 107+315~+360 只包括 7[#]墩位。

主要原因除上述外,可能还因定测时对断层上下盘的地层岩性差异缺乏正确认识,误将全桥址基岩当作同一层(段)灰岩,而非不同岩性段,因而在布孔、钻探、岩心鉴定、资料对比分析各环节都存在疏忽,未引起足够重视。

3.2 地质勘察经验总结

3.2.1 地质条件复杂的桥梁工程,在勘察阶段应采用工程地质调绘、物探、钻探、测试试验、成果资料对比分析等综合方法进行精细化地质勘察。其中,地质测绘极其重要,必须对测区地形地貌、地层岩性、地质构造的成因和相互关系,水文地质条件,特殊岩土和不良地质的性质、类型和分布,岩土物理力学性质,当地既有建筑使用情况等有全面深入的掌握,充分发挥地质调绘的指导作用。如前文所述,对本桥定测地质勘察成果质疑的依据,就是测区显而易见的岩溶发育和石膏开采状况。

3.2.2 正确处理地质勘察安全、质量、工期和成本的辩证统一关系。对隐伏不良地质、特殊岩土,勘察工作一定要做充分、足够;对复杂地质,要进行综合勘探,相互印证;当岩体破碎率心率低时,应依靠先进设备及工艺来尽可能提高采心率。勘探点应在地质测绘的基础上结合工程设计需要布置,并针对具体的地层岩性情况开展钻孔设计,采用适当的钻探设备、器材和工艺,提高采心率,满足规范要求。本桥桥址不良地质隐蔽,地质条件复杂,定测阶段钻探采心率较低,对资料的综合分析也不够充分,因而导致部分钻孔岩心鉴定有误,土层界线、风化层界线出入较大,断层破碎带位置误判;其后开展精细化地质勘察(补定测及补充勘察),适当加大了勘探点密度,提高了勘察精度,彻底纠正了定测错误,避免了施工开挖后的设计变更和工程建设质量事故。

3.2.3 由于自然界复杂多变,限于目前的科技手段和认识水平,即便勘察阶段工程地质资料做得比较细致,也不可能完全如实地反映工程地质条件,以及准确地预见施工中可能出现的地质问题,尤其对于地质条件

复杂及隐蔽的不良地质、特殊岩土地段。因此加强施工地质工作是必要的。但是,如果勘察设计工期等条件许可,对于那些开展精细化地质勘察工作可以解决的问题,最好还是在勘察阶段全部解决,以免造成设计变更、施工工期延误和投资的重大调整。

3.2.4 确保地质勘察与工程设计的良性互动。地质勘察为工程设计服务,工程设计既依赖地质勘察又制约地质勘察的方案和深细度,因此要加强专业之间的沟通,桥梁专业可根据断层位置、岩性段落优化墩台、桩位布置,地质专业因地制宜采用合适勘探量,确保质量可控而不过度,投资适度,安全无虞。

4 结论

对于地质条件复杂的桥梁工程勘察,应做到以下几点:

- (1) 采用综合勘探方法,但应以地质测绘为主导;
- (2) 应开展精细化地质勘察,勘探工作量超出常规很多,是完全必要的,也是必须的。
- (3) 要加强专业之间的协调、配合。先由地质专业查明控制墩台布置的地质因素,再由桥梁专业进行墩台、桩位布置。

参考文献:

- [1] 铁道第二勘察设计院. 遂渝铁路蓼叶湾大桥地质勘察[R]. 成都: 铁道第二勘察设计院, 2005
- [2] TB 10012—2001, 铁路工程地质勘察规范[S].
- [3] 铁道第一勘察设计院. 铁路工程地质手册[K]. 兰州: 铁道第一勘察设计院, 2002
- [4] 《岩土工程手册》编写委员会. 岩土工程手册[K]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994
- [5] 铁道部第二勘测设计院. 岩溶工程地质[M]. 成都: 铁道部第二勘测设计院, 1984
- [6] 铁道第二勘察设计院. 新建铁路勘察细则[K]. 成都: 铁道第二勘察设计院, 2002
- [7] 铁建设[2003] 13号, 京沪高速铁路工程地质勘察暂行规定[S].
- [8] 《工程地质手册》编委会. 工程地质手册[K]. 3版. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997
- [9] TB 10027—2001, 铁路工程不良地质勘察规程[S].
- [10] TB 10014—98 铁路工程地质钻探规程[S].

(编辑 赵立兰)