

文章编号: 1006 – 2106(2012) 09 – 0018 – 06

长大复杂岩溶隧道防避地质灾害的调查模式^{*}

邓谊明^{**}

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

摘要: 研究目的: 长大复杂岩溶隧道存在高潜势地质灾害, 危害极大。为避免安全事故, 造成更大损失, 拟尽可能充分利用有利时空、有利条件, 多途径、系统收集地质信息, 以更确切地进行地质评价, 提出更切实际的防范措施, 避免地质灾害的发生;

研究结论: 宜万铁路建设实践表明, 长大复杂岩溶隧道防避地质灾害的调查模式在满足铁路正常勘察程序要求的同时, 应尽力扩大勘察途径、增设勘察阶段, 并将勘察系列与地质预报系列连接, 创造更多机会获取更多的地质信息, 以综合分析研究, 有效地进行地质灾害(风险) 预测和施工地质超前预报、采取防避灾害的措施, 达到规避地质风险目的。

关键词: 岩溶隧道; 地质灾害; 调查模式

中图分类号: U25 文献标识码: A

The Survey Mode of Long Tunnel in Complex – karst Areas to Avoid the Geological Hazards

DENG Yi – Ming

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

Abstract: Research purposes: Long tunnel in complex – karst areas was unlimited dangerous because of high potential geological hazards. In order to avoid the occurrence of geological disaster and bigger loss , try to make full use of favorable time , favorable conditions , and collect geological information in many ways , then , exact geological evaluation could be made , and more practical preventive measures could be given.

Research conclusions: The practice of Yichang – Wanzhou railway indicated that "The survey mode of long tunnel in complex – karst areas avoidance of geological hazards (risk)" could meet the normal railway survey program requirements , at the same time , try to expand the investigation way , add the phase of exploration , combine the exploration with geological forecast , create more opportunities to get more geological information , so the geological disasters could be analyzed comprehensively , and effectively prediction and advanced geological forecast in construction could be made , then , effective measures could be used to avoid geological risks.

Key words: karst tunnel; geological hazard; survey mode

长大隧道可能穿越多个不同的地质单元和复杂的地质环境, 难以避免遭遇高地应力岩爆、软岩大变形、瓦斯突出、大突水等极具危害的地质灾害。长大复杂的岩溶隧道更突出地普遍存在岩溶大突水危害, 这种

危害具突发性, 发生的频率高、危害极大, 制约整个铁路建设的发展。防避该项地质灾害已成为长期关切的重大难题。地质灾害(风险) 的防避, 关键在于收集足够的地质信息、正确地识别地质灾害、提出可信的地质

^{*} 收稿日期: 2011 – 06 – 16

^{**} 作者简介: 邓谊明, 1939 年出生, 男, 教授级高级工程师。

灾害预测预报,以便及时采取有效的防灾措施。宜万铁路建设实施长大岩溶复杂隧道防避地质灾害的调查模式,努力满足上述要求,起到了较好效果,特提出总结以供参考。

1 调查模式简介

1.1 地质灾害种类及成灾潜势分类

1.1.1 地质灾害种类、成灾潜势分类

地质灾害种类、成灾潜势分类如表 1 所示。

表 1 地质灾害种类及潜势分类表

地质灾害种类	成灾潜势分类	风险程度
特大—大突水、高地应力强岩爆或软岩大变形、瓦斯突出	高潜势灾害	高风险
中突水、弱岩爆、软岩变形、高瓦斯	中潜势灾害	中风险
小突水、弱岩爆、软岩弱变形、低瓦斯	低潜势灾害	低风险

1.1.2 复杂岩溶隧道产生高潜势(高风险)地质灾害的原因

致灾原因是多方面的、复杂的,但主要的有如下两方面。

1.1.2.1 地质原因

宜万铁路工程区的长大复杂岩溶隧道普遍存在高潜势、高危害的岩溶突水地质灾害。岩溶发育受制于复杂的地貌、岩性、构造、地下水活动等多种因素,由于它们长期的强化作用,使岩溶发育复杂化,形成岩溶形态及其展布的极大可变性和差异性、岩溶地下水活动的不确定性、储存的巨大性(隧道遭遇突水每昼夜可达数十至上百万方)、涌水的突发性(隧道遭遇涌水可瞬时突泄)、岩溶水的高压性(水压可达 1.5~2 MPa),致隧道建设难免遭遇高潜势(高风险)的地质灾害。

1.1.2.2 施工原因

施工造成的地质灾害是复杂岩溶地质体对施工不当、措施不力、管理不善的必然响应,是自然对人为不当作为的惩罚。

1.2 调查模式框图

防避高潜势(高风险)的地质灾害的发生有赖于对地质灾害的有效预测,有效预测的前提是对地质灾害有正确的辨识,而正确辨识的基础是占有足够的地质信息。长大复杂岩溶隧道防避地质灾害的调查模式在做到满足铁路正常勘察程序要求的同时,还尽力设法扩大地质信息的采集途径、尽力增加地质信息量的获取、充分辨识地质灾害、有效地发挥地质预测预报的特殊作用,以达到综合谋划防避地质灾害的措施、尽力

规避地质风险的目的。其模式框图,如图 1 所示。

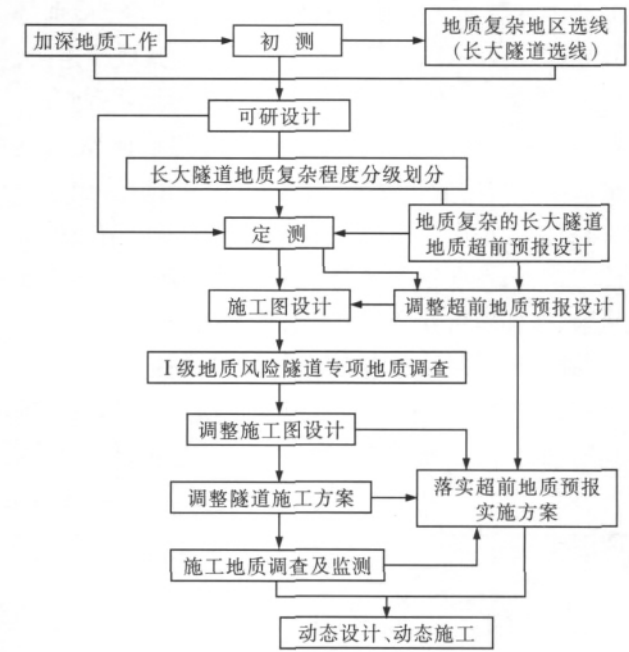


图 1 长大复杂岩溶隧道防避地质灾害的调查模式框图

2 特点和关键环节

该模式全面执行勘察设计规范,同时用心抓住几个关键环节,从而突显了其别样的特点:扩大地质信息量的收集、加深对灾害地质的识别、清晰提出预测预报、有助于举措的果断决策。

2.1 认真做好风险隧道地区的加深地质调查

复杂岩溶长大隧道地区,存在潜在重大地质灾害,按正常勘察程序可能难以完全掌控,有必要在关键地段,先期采取关键措施:在初测之前认真做好加深地质调查,即在线路可能通过的最大区域内,进行以查清控制线路方案选择的地质构造、重大不良地质为目标的地质勘察,设法绕避重大地质危害,优化线路方案,选好隧道位置,是先期把好隧道安全建设第一关的重要措施。

2.2 新增风险隧道的专项地质调查

复杂岩溶的 I 级风险隧道,灾害频、风险大,尽管努力按正常程序勘察、竭尽全力精心选线,也难以完全躲避所有的灾害地质,只能权谋遵循“避重就轻”、“两害相权取其轻”的原则进行权衡比较,选择长大隧道相对较好的位置和线路方案。可见 I 级风险隧道最终仍然不可避免会留下某些地质风险。长大复杂岩溶隧道防避地质灾害的调查模式充分利用施工图设计后施工之前(或施工期间)的间隙时间、施工便道和施工场地、水电设施等有利的外部条件,增加 I 级风险隧道专

项地质调查,对可能遗留导致隧道风险的某些专项地质问题进行更深入的调绘、勘探、试验、观测(特别是深孔钻探及相关试验)等,将其成果与勘察成果连接,形成连续的丰富地质信息链,深化对灾害地质的判识。在深入识别地质的基础上,及时完善隧道设计、修改隧道地质复杂程度分级划分、修编隧道施工地质预报设计、落实施工地质及预报的实施等,据实制定有效的安全施工措施;专项地质调查应是防避Ⅰ级风险隧道地质风险、增加施工安全阈值的必要举措。

2.3 强化地质风险隧道施工地质超前预报

在各勘察设计阶段,实施施工地质预报设计;于施工期间,强化施工地质调查及超前地质预报,使之成为

紧密关联、逐渐深化的地质预测、预报系列(图1)。

针对风险隧道施工可能遭遇特别复杂的地质环境和地质灾害,以隧道地质复杂程度(风险程度)分级划分(表2)为依据,划分隧道不同地质复杂程度等级的区段,采取不同的地质预报探查深度;根据各区段不同的探查深度要求,选择不同的探查方法和手段、配套技术及要求、编列其相关工作量等,完成各勘察设计阶段的隧道施工地质预报设计。地质复杂程度(风险程度)等级划分,是各勘察设计阶段开展施工地质预报设计的基础和依据,它使施工地质预报得以实现预期规划(设计)、纳入隧道设计文件、编入施工组织的目标。

表2 隧道地质复杂程度(风险程度)分级表

复杂(风险)程度分级		A	B	C
影响因子影响程度危害程度		严重	较严重	一般
地质复杂程度 (含物探异常)	岩溶发育程度	岩溶管道、暗河、大型岩溶洞穴、腔体	密集溶隙管道,中小型岩溶洞穴、腔体	溶隙、溶孔、局部小型溶隙管道
	涌水、涌泥程度	大型突水、突泥,成灾害;高水压	中、小型突水、突泥,可能成中、小型灾害	小型涌水、涌泥
	断层稳定程度	大型断层带、性态差、富水,形成大型失稳塌方,可能酿成大型事故	中型断层带,软弱,中~弱富水,中、小型塌方,可能酿成中、小型事故	中小型断层,弱富水,小型塌方
	地应力影响程度	高应力区,强岩爆,大变形	高应力,弱岩爆;中~弱变形	高应力不致形成岩爆,轻微变形
	瓦斯影响程度	瓦斯突出~高瓦斯	低瓦斯	低瓦斯
地质因子对隧道施工影响程度		危及施工安全,可能酿成重大安全事故	存在安全隐患	可能存在安全问题
诱发环境问题的程度		形成环境灾害	可能诱发环境问题	特殊情况下可能出现一般环境问题

实施地质预测预报设计系列,是对客观地质深化认识的过程,最终目标是制定切实可行的隧道施工地质超前预报实施方案、落实制定防灾措施、确保施工安全。

实施隧道施工地质及超前地质预报,要求进行系统的施工地质调查、超前探查、观测试验等;根据调查、探查、测试等的成果,进行综合分析研究、判别,发布远、中程超前地质预报;根据预报对可能存在的致灾地质体进行跟踪探查(近程探查),锁定其三维空间位置和范围,确定其致灾地质体类型,判断其危害程度等,发布近程预报;根据近程预报,实施动态设计、动态施工;尽全力为隧道安全施工保驾护航。

2.4 坚持必要的监测(试验、观测)

岩溶风险隧道的水文地质监测包括:勘察期间建立的监测(如气象观测,地表径流、地下水动态观测,钻孔水位动态观测等)及因需要继续延至施工阶段的项目;专项地质调查建议及施工期间需要新增设的监测项目。必要的水文地质监测,是总体地质工作和施工地质及超前预报的重要组成部分,该模式实施主要的监测项目尽量连续、贯穿勘察设计、施工整个全过程。风险隧道开展必要的相关水文地质监测,其目的性、针对性明确;各阶段的要求、分工清楚;监测的系统性、连贯性较好;观测数据力求翔实、可靠。必要的监测项目如表3所示。

表 3 I 级风险隧道水文地质重点监测

监测项目 主要阶段	气象观测	密切相关的重要地表井泉、地表径流、暗河动态观测	隧道涌水动态监测(与地表补给水源同步监测)	相关试验:示踪试验、地球化学、同位素、放射性测试等	补给源监测(集水面积或补给范围圈定、补给水体等监测)	环境监测
加深地质调查	收集气象资料	收集资料;必要时选择监测点进行控制性观测;	-	必要时选择性进行示踪试验	-	初步进行环境调查和评估
初、定测	必要时建站观测	与隧道涌水可能有影响的地表径流区段、有联系的暗河、水点,设站、点长期观测(至少一个水文年)	提出建立地表、地下(隧道)长期观测的建议	进行必要的示踪试验,查明水体之间的联系	圈定集水面积、试验收集水文参数、预测隧道涌水量	提出施工环境评估报告及开展下部监测建议
风险隧道专项地质调查	按需增加观测站、点,进行长期观测	重新综合研究确定布局长期观测点	有条件时进行气象、补给水体与地下涌水等项的同步长期观测	按需增加试验项目,进一步确定地表水体、地下涌水与外水源的连通关系和涌水的补给源及其涉及的汇水面积		必要时建立环境监测区段和监测项目,提出监测报告
施工阶段	进行或延续专项地质调查阶段的监测项目;必要时增设监测点或增加监测(观测)密度、监测隧道各涌水点间的联系及其动态变化;监测或通过试验确定隧道涌水点与降雨、地表水体或补给源的关系					涌水携带物含量、成分、来源分析;监测环境变化

施工前期的勘察设计阶段,风险隧道的监测应满足规范要求,其重要监测点和监测项目应充分考虑施工阶段延续保留监测的需求;专项地质调查、施工期间为防避地质风险需要,应针对性地增加、细化监测项目、监测要求,尽力配套、构成统一的监测体系。

通过监测有利于查清隧道涌水成因、涌水(及携带物)与外部的联系和沟通状态,从而总结相关规律;查清涌水补给范围内的“降雨量-时间-涌水量”之间的动态变化关系,进而总结相关回归方程,进行涌水预测、灾害预报,为制定有效的防避地质风险措施提供依据。

通过监测有利于判断产生地质环境恶变的可能性、种类、成因、影响程度等,以便提出相应的防范、整治措施。

3 实例(大支坪 I 级风险隧道)

该模式通过多种渠道(加深地质调查、初测、定测、专项地质调查等)大量收集地质信息,实施施工地质调查、超前地质预测、灾害地质预报,为安全施工保驾护航,实现顺利贯通。

3.1 进行隧道施工地质预报设计

隧道各勘察阶段分别(逐渐深化)进行隧道地质复杂程度分级划分和隧道施工地质预报设计。

专项地质调查勘察成果深化了对地质的认识,将隧道划分成四个相对独立的水文地质单元、合理调整隧道地质复杂程度分级划分,归并为 A、B、C 三个等级区块(图 2),据此修改前期的隧道施工地质预报设计、进行相关地质预测、制定隧道超前地质预报实施方案。

3.2 据专项地质调查成果对重大地质问题进行预测(选 A 级地段 DK 133 + 700 ~ DK 134 + 400 为例)

地质预报的目的在于超前地质探查提供依据,为施工地质调查及灾害地质超前预报提供重点,以达到事半功倍的效果。

3.2.1 对区域断层地段(DK 133 + 700 ~ DK 134 + 400)的预测

施工图设计判断:该段发育区域断层,由三条断层(F4、F5、F7)组成断层群(图 3);据专项地质调查及补充的深孔钻探成果判断:P_{1g}、P_{1m}、P_{2w}等层序正常,产状一致、岩体完整,为单一区域冲断裂(F7)(图 4),预测断层在隧道的出露位置如表 4 所示。

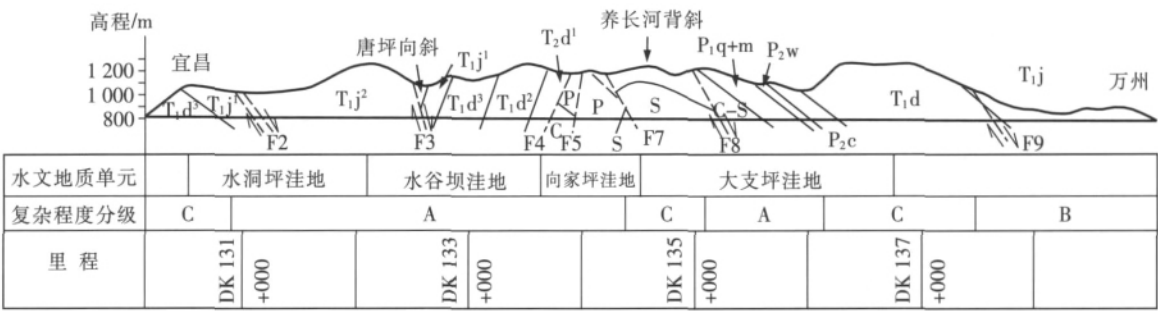


图 2 大支坪隧道地质纵断面略图

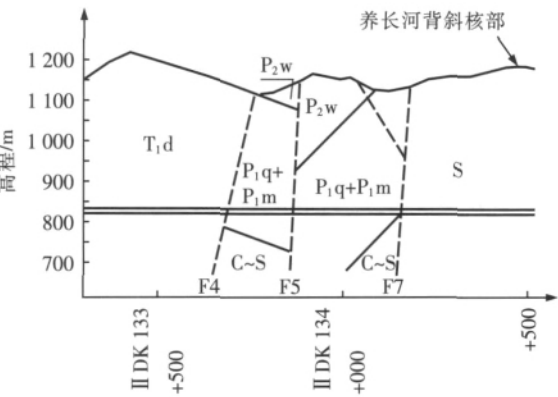


图 3 II DK 133 + 400 ~ II DK 134 + 400 隧道工程地质纵断面图(施工图)

表 4 预测隧道区域断层出露位置与实际开挖位置 (验证) 对照表

预测对象	预测出露位置 (隧道里程)	开挖验证位置 (里程)
F7	DK 134 + 300 ~ + 400 (断层带)	施工验证为单一式冲断层、出露位置在 DK 134 + 380 ~ + 445; 断层带为断层泥、断层构造岩等 , 易失稳、塌方 , 围岩类别 IV

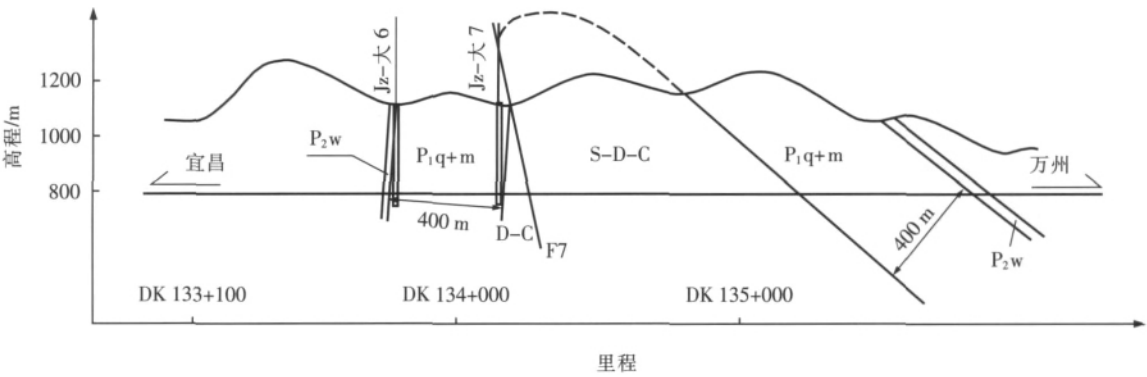


图 4 大支坪隧道区域断层纵断面图(专项地质调查)

3.2.2 对(DK 133 + 700 ~ DK 134 + 400) 复杂地段的岩溶水文地质相关预测

3.2.2.1 总体水文地质特征预测

陡立的 P_{1g} 、 P_{1m} 碳酸盐岩含水层受两侧的 P_{2w} (五家坪组煤系地层)、 S (志留系碎屑岩) 阻水层挟持、阻隔 , 构成相对独立的向家坪水文地质单元 , 存在纵向管道流; P_{1m} 还留存古岩溶含水体。地质复杂程度等

级为 A 级。

3.2.2.2 DK 133 + 700 ~ DK 134 + 300 地段岩溶水富水(涌水) 位置的预测

根据“大型岩溶封闭洼地面积内的降雨入渗补给→循陡倾岩层层间溶蚀—裂隙带渗漏→运移汇入管道流”的对应关系 , 预测涌水位置如表 5 所示 , 随着隧道开挖可导入隧道 , 形成灾害。

表 5 大支坪隧道 DK 133 + 700 ~ DK 134 + 300 未施工地段富水位置预测及验证表

预测区段	富水位置(里程) 及涌水类型预测	施工验证	
		验证突水位置(里程)	岩溶水类型、涌水量
DK 133 + 700 ~ DK 134 + 300	DK 133 + 700 ~ DK 133 + 900 P ₁ m , 为古岩溶 - 近代岩溶复合型层间 富水; 涌水类型: 溶隙管道流	II DK 133 + 881 ~ II DK 133 + 917 (DK 133 + 898 ~ + 934)	溶隙管道流突水(10 000 m ³ /d) , 携带沙、卵石
	DK 133 + 900 ~ DK 134 + 155 得到 P ₁ g - 向家坪溶蚀洼地快捷补给; 涌水类型: 溶隙管道流	DK 133 + 970 ~ DK 133 + 997	溶隙管道流突水(10 000 m ³ /d) , 携带沙、卵石

3.3 实施施工地质及超前预报

根据专项地质调查成果所进行的地质预测,针对预测涌水潜在的地质危害,编制施工地质及超前预报实施方案,按地质复杂程度 A 级精度开展隧道施工地质调查和超前探查,步步为营地从中、近程超前探查到逐渐接近锁定充水体(图 5);同时配合监测(如涌水水压、涌水量、水质、携带物等的监测;地表、地下同步相关观测及相关试验等),通过综合分析评价、发布超前地质预报;据预报,实施动态设计、动态施工,稳扎稳打、防止灾害的发生。

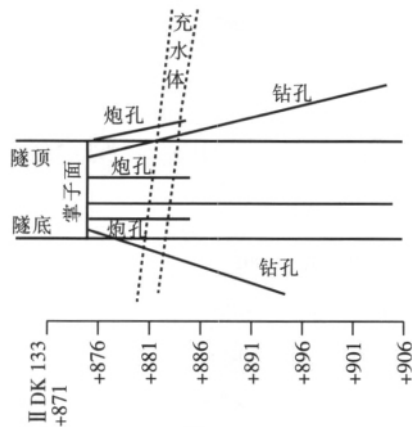


图 5 超前探查充水体

大支坪 I 级风险隧道尽管地质复杂、存在高潜势(高风险)的地质灾害,但由于把握模式的实施要领,将“大事化了”,实现平安施工、安全贯通。实践证明该模式具实用价值。

4 结论

(1) 针对风险隧道异常复杂的地质情况,在原有勘察链中增加关键勘察环节,并使之与地质预报链连接,形成勘察、预报双链结合,有利于扩大收集地质信息的渠道,获取更多的地质信息,有据开展综合分析研究、进行地质灾害评价和预测、预报,谋划防避地质灾害的对策,以达到规避地质风险的目的,是行之有效的尝试。

(2) 针对 I 级风险隧道可能产生重大地质灾害的专项地质问题及其控制性地段,在施工图设计之后、施

工开挖之前,增加风险隧道专项地质调查,深入开展专题调查研究、勘探、试验,有利于充分判识形成危害的专项地质,并进行合理的地质评价、提出针对性较强的有效地质预测和施工地质超前预报,适时采取防避措施,避免地质灾害的发生,为风险隧道施工保驾护航,是确保风险隧道施工安全的必要举措。建议与加深地质调查一样,必要时将风险隧道专项地质调查也列入隧道地质勘察规程。

(3) 施工阶段的施工地质及超前地质预报,是该模式终端的关键施为,是将已掌握的地质成果服务于施工实践的见效时机,是防避风险隧道地质灾害至关重要的一环,恰恰也是铁路建设长期以来较为薄弱的环节,设计、施工单位都有责任协调加强该项工作。承担长大地质复杂的风险隧道的施工单位,应有一支具相当技术水平的地质队伍,能独立胜任地质复杂隧道的施工地质调查、超前预报、试验等工作,并把它作为招标考核的指标之一。

参考文献:

[1] 杨天民. 工程环境与岩土工程论文选集[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1998.
Yang Tianmin. Engineering Environment and Geotechnical Engineering Symposium [M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 1998.

[2] 汪继锋. 大支坪隧道岩溶水文地质分析[J]. 路基工程, 2010(S): 64 - 66.
Wang Jifeng. Dazhiping Tunnel Karst Hydrogeological Analysis [J]. Subgrade Engineering 2010(S): 64 - 66.

[3] 陈毅敏. 宜万铁路复杂岩溶隧道施工地质预报特色[J]. 铁道工程学报, 2011(4): 95 - 102
Chen Yimin. The Characteristics of Geological Prediction in Construction of the Yichang - Wanzhou Railway Tunnel in High - risk Karst Areas [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2011(4): 95 - 102.

[4] 张梅, 等. 宜万铁路岩溶断层隧道修建技术[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
Zhang Mei, etc. Yichang - Wanzhou Railway Tunnel Construction Technology of Karst Fault [M]. Beijing: Science Press, 2010.

[5] 铁建设[2008]105号 铁路隧道超前地质预报技术指南[S]. Railway Construction [2008] No. 105, The Guide of Geological Prediction Technology in Railway Tunnel [S].