

# 铁路岩溶 工程地质勘察技术

TIELU YANRONG  
GONGCHENG DIZHI  
KANCHA JISHU

顾湘生 刘坡拉 著



中国地质大学出版社  
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

# 铁路岩溶工程地质勘察技术

顾湘生 刘坡拉 著

图书在版编目(CIP)数据

铁路岩溶工程地质勘察技术/顾湘生,刘坡拉著. —武汉:中国地质大学出版社,2012.5

ISBN 978-7-5625-2478-6

I. ①铁…

II. ①顾…②刘…

III. ①铁路工程-岩溶-地质勘探-中国

IV. ①U212.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 267169 号

**铁路岩溶工程地质勘察技术**

顾湘生 刘坡拉 著

责任编辑:徐润英

技术编辑:阮一飞

责任校对:代莹

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路388号)

邮政编码:430074

电 话:(027)67883511

传真:67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

<http://www.cugp.cn>

开本:787毫米×1092毫米 1/16

字数:680千字 印张:26.25

版次:2012年5月第1版

印次:2012年5月第1次印刷

印刷:武汉中远印务有限公司

印数:1—1300册

ISBN 978-7-5625-2478-6

定价:150.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

## 序 一

宜万铁路是我国中长期铁路网规划中沪汉蓉快速通道的重要组成部分,是贯通我国东、中、西部的重要交通纽带,也是进出川渝地区的东通道之一。它东起湖北省宜昌,西迄重庆万州,全长 377km,有约 260km 位于鄂西岩溶发育区,岩溶成为制约宜万铁路建设最关键的因素。

地质科技工作者皆知,岩溶(karst)是影响工程建设的重大不良地质现象之一,目前仍是工程建设中的世界性难题。地球上岩溶分布面积约 2 000 万 km<sup>2</sup>,约占陆地面积的 15%,而我国岩溶分布面积 345 万 km<sup>2</sup>,占地球上岩溶面积的 15.6%,是世界上岩溶比较发育的国家。湘、贵、川、鄂、渝等省市为我国主要岩溶分布区之一,宜万铁路大规模穿越鄂西山区,岩溶发育范围广、暗河(洞穴)规模大,岩溶发育深度达数百米,是国内外罕见的艰险山区铁路,岩溶及岩溶水文地质问题尤为突出。中铁第四勘察设计院集团有限公司的地质科技工作者挑战了岩溶这一工程建设的世界性难题,为宜万工程成功穿越 20 余条暗河、30 余处高压富水大断裂、100 余处大型溶洞、1 088 处岩溶,战胜 100 余次突水(泥)地质灾害,作出了重大贡献。宜万铁路的成功建成,创造了岩溶区大规模修建铁路的奇迹,谱写了地质科技工作者踏实工作、艰辛劳动、勇于进取和科技创新的新篇章,在《铁路岩溶工程地质勘察技术》一书中得到了充分体现。

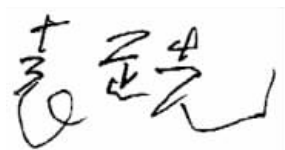
在宜万铁路从勘察设计到施工长达十多年的工作中,铁四院的地质工作者,本着铁路工程地质工作的任务和责任,为选择最佳的铁路线位、提供设计所需地质资料、规避工程施工风险,从面到点、从宏观到微观,做了大量的岩溶地质调查、勘探、测试试验等工作,深入开展了大地电磁探测深部岩溶、施工地质预测预报、隧道涌水量预测、隧道基底隐伏岩溶探测等的研究,积累了丰富的资料和宝贵的

实践经验。

本书作者根据积累的资料和实践经验,经过长达8年的研究,写成了本书。书中系统地论述了宜万铁路穿越地区岩溶发育规律、铁路地质选线、岩溶工程地质勘察、隧道涌水量预测和隧道施工地质预测预报等铁路岩溶工程地质的关键问题,在复杂岩溶隧道工程地质勘察和岩溶处理技术方面有一些创见和创新。例如:用水均衡法预测隧道涌水量时,提出了用概率法选择降水量参数,深化了水均衡法理论,提高了涌水量预测精度;研究创新的超高频大地电磁法、电磁波CT法,为复杂地形条件下隧道深部岩溶探测提供了一种有效的方法;对岩溶隧道施工地质预测预报工作进行了系统总结,形成了成套技术;等等。

总之,《铁路岩溶工程地质勘察技术》将岩溶学理论与工程实践有机结合,独具特色,具有较高的理论水平和实用价值,它的出版是一件很有意义之举,它给岩溶学增添了新的内容、新的活力,必将对我国岩溶工程学、岩溶工程勘察技术和岩溶处理技术的发展起到推动作用。

中 国 科 学 院 院 士  
中国地质学会岩溶地质专业委员会主任



2012年2月

## 序 二

宜万铁路是我国铁路网沪汉蓉快速通道的重要组成部分,是贯通我国东、中、西部的重要交通纽带。它东起湖北省宜昌,西迄重庆万州,全长 377km,有约 260km 位于鄂西岩溶发育区,岩溶成为制约宜万铁路建设最关键的因素。早在 1956 年,在铁道部的组织下,我院就开始了川汉铁路的研究,1964 年四川省和铁道部再次向中央呈递了《川汉铁路选线报告》,请示修建川汉铁路,我院完成了《川汉铁路勘察报告》,终因当时国力及在技术上难以攻克长达 10km 以上的隧道而又一次搁置。改革开放后,随着我国国力的不断增强、铁路修建技术的全面提高,我院于 1993 年再次开展了宜万铁路研究工作,从 1998 年至 2003 年在约 3 000km<sup>2</sup> 的范围内开展了大规模的选线和勘察设计工作,2003 年宜万铁路开工建设以来,我院干部、工程技术人员在铁道部、武汉铁路局建设指挥部带领下,攻克了艰难险阻,塑造了“敢于负责、锲而不舍、勇于探索、拼搏奉献”的铁四院宜万精神。

宜万铁路穿越鄂西山区,地势陡峻,河谷深切。广泛分布的可溶岩,特殊的地质环境,造就了岩溶规模宏大,岩溶地下水丰富且水压高的复杂地质背景,是我国乃至世界上地质条件最复杂、工程最艰险的山区铁路之一。我院广大工程技术人员面对深埋岩溶勘察这一世界级难题,在专家的指导与帮助下,进行了大量的岩溶地质调查、勘探、测试、试验及研究工作。在初测前,对野三关地区、恩施至利川等岩溶最发育地段进行了大面积地质的加深工作;对地质条件复杂的越岭地段,通过调查—优化—筛选,再调查—再优化—再筛选,不断加深方案研究比选的深度和精度;对复杂岩溶隧道,开展了专项地质勘察和施工地质预测预报工作,通过地面勘察与洞内超前探测的紧密结合,确定岩溶隧道工程地质及水文地质条件;同时,针对复杂地形条件下隧道深部岩溶地质勘察、岩溶隧道涌水量预测等关键

问题开展了系列科技攻关,付出了艰辛的劳动,取得了丰硕成果。

本书系统总结了宜万铁路岩溶发育规律、工程地质选线、岩溶工程地质勘察、隧道涌水量预测、施工地质超前预测预报技术,凝结了作者及中铁第四勘察设计院集团有限公司工程技术人员辛勤工作的汗水,相信该书可为类似工程勘察设计提供有益借鉴。

借该书出版之际,对长期关心支持我院宜万铁路勘察设计工作的领导、院士、专家,对在宜万铁路建设中付出辛勤劳动的广大技术人员,表示衷心的感谢!

中铁第四勘察设计院集团有限公司 院 长  
党委书记



2012年2月

## 前 言

宜万铁路东起湖北省宜昌市,西至重庆市万州区,全长 377km,是我国中长期铁路网规划中沪汉蓉快速通道的重要组成部分,也是川渝地区进出的东通道之一,宜万铁路于 1998 年开始勘察,2004 年初开始兴建,2010 年底建成通车。

宜万铁路穿越鄂西山区、长江与清江的分水岭地带,地形陡峻,河谷深切,地质复杂,岩溶地区占线路长度的 70%,全线共有隧道 159 座、桥梁 253 座,桥隧总长占线路全长的 74%,工程十分艰巨。铁路通过岩溶地段之长、岩溶之发育、岩溶类型之多,在中外铁路建设史上实属罕见。在铁道部宜万铁路建设指挥部的带领下,宜万铁路隧道施工成功穿越了 20 多条暗河(岩溶管道)、30 余处高压富水断层、100 余处大型洞穴。

针对宜万铁路突出的岩溶地质问题,中铁第四勘察设计院集团有限公司从勘察设计到施工十多年中,进行了大量调查、分析研究和工程实践,积累了丰富的资料 and 实践经验,经过整理编写了本书。

全书共分为 8 章。

第 1 章介绍了宜万铁路的工程概况以及在宜万铁路隧道岩溶工程中遇到的技术难题及技术创新。

第 2 章扼要地阐述了宜万铁路沿线岩溶区域分区及发育特征,并结合宜万铁路工程实际,总结和论述了岩溶、岩溶洞穴发育的基本规律和岩溶水的运动特点。

第 3 章在总结我国工程地质勘察经验的基础上,论述了在宜万铁路工程中所使用的大地电磁测深等岩溶隧道工程地质勘察方法及其适用条件、使用范围,提出了针对复杂岩溶隧道的工程地质勘察程序。

第 4 章概述了岩溶地区铁路选线的基本原则,并对宜万铁路三处地区的选线

实例进行了分析。

第5章介绍了复杂岩溶隧道基底隐伏岩溶探测的概念、意义、方法及工程实例分析。

第6章介绍了在宜万铁路的建设中得到成功应用的超前预测预报技术的工作流程、技术方法、使用范围,论述了八种岩溶隧道施工地质超前预测预报的技术方法及有效的组合。

第7章概述了涌水量预测的概念、工作流程、计算参数选择等,并结合工程实例详细介绍了六种涌水量预测方法。

第8章扼要介绍了岩溶灾害危险性评价的方法及处治技术。

宜万铁路勘察、施工中得到了铁道部领导、各司局的关心;得到了铁道部原副总工程师杨建兴,工管中心原主任施德良,铁道部工管中心张梅、朱鹏飞、黄鸿健等领导、专家的指导帮助;孙永福、王梦恕、钱七虎、葛修润、卢耀如、梁文灏、韩其为、刘广润、郑颖人、郑守仁、周丰峻、宋振琪等院士,史玉新大师、何振宁教授等多次亲临现场指导。书稿编写过程中,得到了中铁第四勘察设计院集团有限公司总工程师、设计大师王玉泽的悉心指导;得到了长期从事宜万铁路岩溶工程地质工作同仁的帮助,特别是邓谊明、沈祥明、李小和、朱丹、曹哲明、蒋兴锬、赵新益、曹柏树、万军伟、黄新连、龚彦峰、高山、崔德海、曾强运、徐红星、汪继锋、陈爱云等同志的鼎力相助。在书稿的整理过程中,杜兴国教授级高级工程师、邓谊明教授级高级工程师对书稿编写提出了宝贵意见,龙悦等为本书绘图、校对,中国地质大学(武汉)徐光黎教授审阅了书稿并提出了修改意见。谨此表示衷心的感谢!

由于作者水平所限,书中难免存在疏漏和欠妥之处,敬请读者指正。

顾湘生

2012年1月

# 目 录

<b>第 1 章 概 述</b> .....	(1)
§ 1.1 铁路岩溶工程地质主要工作内容 .....	(1)
§ 1.2 岩溶工程地质勘察现状 .....	(2)
§ 1.3 宜万铁路工程概况 .....	(3)
§ 1.4 宜万铁路岩溶工程地质勘察技术难点 .....	(4)
§ 1.5 宜万铁路岩溶工程地质勘察研究 .....	(5)
<b>第 2 章 岩溶发育基本规律及特征</b> .....	(6)
§ 2.1 岩溶与地层岩性 .....	(8)
2.1.1 一般规律 .....	(8)
2.1.2 宜万铁路岩溶与地层岩性 .....	(8)
§ 2.2 岩溶与地质构造.....	(13)
2.2.1 一般规律.....	(13)
2.2.2 宜万铁路岩溶与地质构造.....	(13)
§ 2.3 岩溶与水的交替循环.....	(20)
§ 2.4 岩溶发育的基本特征.....	(20)
2.4.1 不均匀性.....	(20)
2.4.2 垂直分带性.....	(21)
2.4.3 深岩溶.....	(22)
§ 2.5 岩溶洞穴发育特征.....	(32)
2.5.1 岩溶洞穴的分类.....	(32)
2.5.2 岩溶洞穴发育的总体特征.....	(33)
2.5.3 宜万铁路大型岩溶洞穴实例分析.....	(33)
§ 2.6 岩溶水发育特征.....	(52)
2.6.1 一般特征.....	(52)
2.6.2 宜万铁路岩溶水.....	(54)
2.6.3 宜万铁路岩溶水系统.....	(63)

<b>第3章 岩溶隧道工程地质勘察</b> ·····	(107)
§ 3.1 岩溶隧道工程地质勘察特点及主要内容 ·····	(107)
3.1.1 岩溶隧道工程地质勘察特点 ·····	(107)
3.1.2 岩溶工程地质勘察的主要内容 ·····	(107)
§ 3.2 岩溶隧道工程地质勘察程序及成果编制 ·····	(108)
3.2.1 岩溶隧道工程地质勘察目的及任务 ·····	(108)
3.2.2 岩溶隧道工程地质及水文地质勘察程序 ·····	(109)
3.2.3 岩溶隧道工程地质勘察成果编制 ·····	(110)
§ 3.3 岩溶隧道工程地质勘察方法 ·····	(111)
3.3.1 遥感解译 ·····	(111)
3.3.2 工程地质及水文地质调绘 ·····	(121)
3.3.3 物探探测 ·····	(125)
3.3.4 深孔钻探及测试试验 ·····	(175)
3.3.5 地下水长期观测 ·····	(203)
3.3.6 勘察方法适用条件及使用范围 ·····	(231)
§ 3.4 典型岩溶隧道工程地质勘察成果 ·····	(235)
3.4.1 野三关隧道 ·····	(235)
3.4.2 齐岳山隧道 ·····	(241)
3.4.3 别岩槽隧道 ·····	(246)
<b>第4章 复杂岩溶地区综合选线</b> ·····	(250)
§ 4.1 岩溶区的铁路选线 ·····	(251)
4.1.1 铁路选线的主要影响因素 ·····	(251)
4.1.2 岩溶区的铁路选线 ·····	(251)
§ 4.2 宜万铁路岩溶区选线 ·····	(254)
4.2.1 控制选线的主要地质问题 ·····	(254)
4.2.2 选线的一般原则 ·····	(257)
§ 4.3 选线实例分析 ·····	(258)
4.3.1 堡镇地区综合地质选线 ·····	(258)
4.3.2 野三关地区综合地质选线 ·····	(261)
4.3.3 恩施至利川段综合地质选线 ·····	(266)
<b>第5章 隧道基底隐伏岩溶探测</b> ·····	(275)
§ 5.1 隧道基底隐伏岩溶探测 ·····	(275)

---

5.1.1	隧道基底特殊的地球物理条件	(275)
5.1.2	隧道特殊条件对物探方法的要求	(275)
§ 5.2	单点反射波法的应用研究	(276)
5.2.1	合理选择单点反射波设备及环境	(276)
5.2.2	数据处理方法	(286)
5.2.3	单点反射波资料分析	(287)
§ 5.3	地质雷达的应用	(291)
5.3.1	地质雷达数据采集方法及其影响因素	(291)
5.3.2	隧道中地质雷达数据特殊处理方法	(294)
5.3.3	地质雷达资料分析	(294)
§ 5.4	隧道基底隐伏岩溶探测应用	(299)
5.4.1	隧道基底隐伏岩溶的物探测线布置	(299)
5.4.2	隧道基底隐伏岩溶探测应用实例	(299)
§ 5.5	岩溶洞穴顶板安全厚度的评判	(302)
5.5.1	结构近似分析法	(302)
5.5.2	临界厚跨比法	(302)
5.5.3	洞穴顶板冲切承载力计算	(302)
<b>第 6 章</b>	<b>岩溶隧道施工地质超前预报</b>	<b>(304)</b>
§ 6.1	岩溶隧道施工地质超前预报技术	(304)
§ 6.2	岩溶隧道施工地质超前探测方法	(305)
6.2.1	地质素描法	(306)
6.2.2	地震波法	(309)
6.2.3	掌子面地质雷达法	(324)
6.2.4	超前钻探法	(327)
6.2.5	平行导坑法	(328)
6.2.6	其他方法	(330)
§ 6.3	岩溶隧道施工地质超前探测分级	(333)
6.3.1	分级依据	(333)
6.3.2	等级划分	(334)
6.3.3	实例分析	(335)
§ 6.4	岩溶隧道施工地质超前探测组合模式	(337)
6.4.1	施工地质超前探测组合模式的必要性及其特点	(337)

6.4.2	A级地段施工地质超前探测组合模式 .....	(337)
6.4.3	B级地段施工地质超前探测组合模式 .....	(337)
6.4.4	C级地段施工地质超前探测组合模式 .....	(338)
§ 6.5	施工地质超前探测应用典型实例分析 .....	(339)
§ 6.6	安全岩盘厚度 .....	(342)
6.6.1	安全岩盘厚度的影响因素 .....	(342)
6.6.2	岩体力学参数的选取 .....	(343)
6.6.3	安全岩盘厚度的计算方法 .....	(345)
<b>第7章</b>	<b>岩溶隧道涌水量预测</b> .....	<b>(358)</b>
§ 7.1	岩溶隧道涌水量预测方法 .....	(358)
§ 7.2	水均衡法 .....	(360)
7.2.1	基本原理 .....	(360)
7.2.2	参数确定 .....	(361)
7.2.3	隧道涌水量预测 .....	(363)
7.2.4	实例分析 .....	(364)
§ 7.3	流域水文模型法 .....	(366)
7.3.1	基本原理 .....	(366)
7.3.2	参数确定 .....	(367)
7.3.3	涌水量预测 .....	(367)
7.3.4	实例分析 .....	(370)
§ 7.4	相关分析法 .....	(376)
7.4.1	基本原理 .....	(376)
7.4.2	隧道涌水量预测 .....	(376)
7.4.3	实例分析 .....	(377)
§ 7.5	水文地质比拟法 .....	(380)
7.5.1	基本原理 .....	(380)
7.5.2	涌水量预测 .....	(380)
7.5.3	实例分析 .....	(381)
§ 7.6	地下水动力学法 .....	(382)
§ 7.7	地下径流模数法 .....	(384)
<b>第8章</b>	<b>隧道岩溶地质灾害危险性评估及防治</b> .....	<b>(387)</b>
§ 8.1	岩溶地质灾害危险性评估 .....	(387)

---

8.1.1	评估原则 .....	(387)
8.1.2	评估内容 .....	(387)
8.1.3	宜万铁路隧道岩溶风险分级 .....	(388)
8.1.4	宜万铁路隧道岩溶突水危险性评估 .....	(388)
§ 8.2	岩溶地质灾害预测预防 .....	(398)
8.2.1	施工防灾报警措施 .....	(398)
8.2.2	长期安全监控 .....	(399)
8.2.3	岩溶隧道风险管理 .....	(399)
§ 8.3	岩溶灾害综合整治 .....	(400)
8.3.1	岩溶隧道灾害分类 .....	(400)
8.3.2	岩溶隧道综合整治 .....	(401)
<b>参考文献</b> .....		(405)

# 第 1 章 概 述

## § 1.1 铁路岩溶工程地质主要工作内容

我国是世界上岩溶分布面积最广、岩溶发育程度最高、类型最多的国家,在岩溶学研究领域也一直引领着世界潮流。最早的岩溶学研究可以追索到明朝(1600年)徐霞客撰写的《徐霞客游记》。最近的30年来,中国地质科学院岩溶地质研究所、中国地质大学、中国科学院地理研究所、南京大学等科研院所在岩溶学理论的研究方面取得了长足的进步,岩溶学理论研究从单一岩溶形态的描述走向了岩溶组合形态的研究,从单因素的岩溶发育规律研究走向了以水为纽带的岩溶系统动力学机制研究,如任美镔著《岩溶学概论》(1983年),袁道先著《岩溶地区供水水文地质工作方法》(1979年)、《岩溶学词典》(1988年)、《中国岩溶学》(1993年)、《岩溶环境学》(1988年)等。与此同时,随着我国国民经济的飞速发展,在矿山、水利、交通、建筑等行业的工程实际中,遭遇了大量的岩溶工程地质问题,工程技术人员通过工程实际所积累

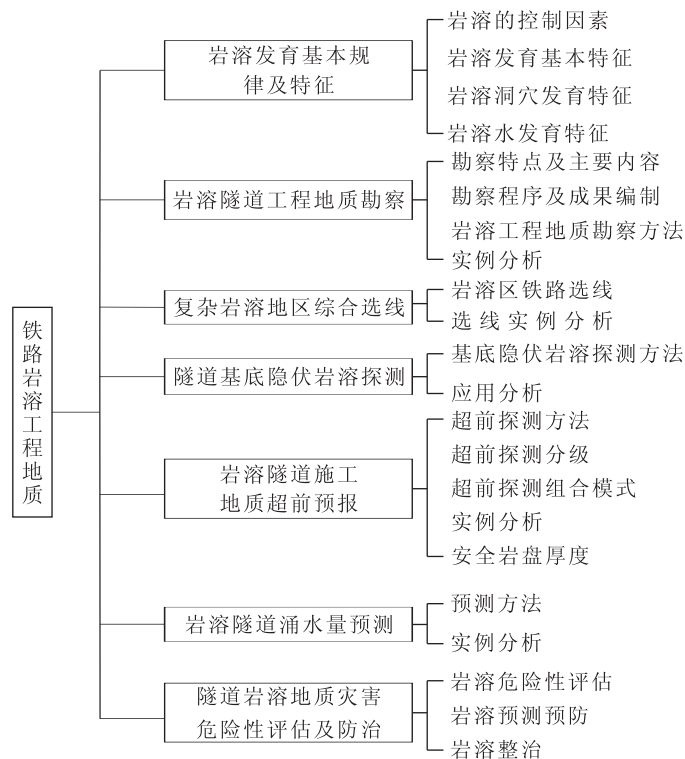


图 1-1 铁路岩溶工程地质主要工作内容

的丰富经验对岩溶的发育规律及其对工程的影响,做了大量的总结和研究,如铁道部第二勘察设计院编著的《岩溶工程地质》(1984年)、水利部贵阳勘察设计院邹成杰编著的《水利水电岩溶工程地质》(1994年)、中国地质大学沈继方等编著的《清江流域岩溶研究》(1996年)等。

岩溶对铁路工程建设危害很大,是铁路建设中的一个重要工程地质问题。岩溶地区铁路桥梁、路基工程的勘察设计及施工技术比较成熟,本书结合宜万铁路工程地质勘察及工程实践,重点阐述复杂山区铁路岩溶工程地质工作内容,主要包括:岩溶发育基本规律及特征、岩溶隧道工程地质勘察、复杂岩溶地区综合选线、隧道基底隐伏岩溶探测、岩溶隧道涌水量预测、岩溶隧道施工地质超前预报和隧道岩溶地质灾害危险性评估及防治7个方面,如图1-1所示。

## § 1.2 岩溶工程地质勘察现状

国内外隧道岩溶工程地质勘察,主要采用地面勘察与洞内勘探相结合、物探与钻探和洞探相结合、综合测试试验及长期观测等定性定量分析相结合的方法,分析评价隧道岩溶工程地质及水文地质条件。

遥感技术借助不同高度的平台,采用不同谱段的摄影、扫描技术获取不同时期地质体信息,进行岩组划分,圈定岩溶形态、地表塌陷及不良地质的范围,确定区域地质构造等,为地质选线提供依据,并指导地质调绘工作。

工程地质及水文地质调查测绘是工程地质勘察的基础,借助既有区域地质资料,开展不同比例地质调绘工作,确定地形地貌、地层岩性、地质构造、地下水的补给—径流—排泄关系以及不良地质的分布、规模等,并指导钻探、物探及测试试验工作。

国内外通常采用地震反射波法和电磁测深法进行岩溶探测。地震反射波法主要用于深部大地构造和石油勘探,一般都在地形较为平缓、地层分布较均匀的地区进行,最近研究开发的三维地震反射探测复杂地质构造和小的不均匀地质体有它独特的能力,但采用的是面积勘探,对线状勘探的适应性有待探索;我国自20世纪80年代末期开展高密度电法探测断层和岩性接触带,积累了丰富经验,高密度电法是目前用于隧道勘探的一种有效方法,但勘探深度有限。电磁测深法首先应用于探测深部构造、石油、金属矿体,近年来铁道系统尝试采用可控源音频大地电磁测深法(CSAMT)进行断层、岩性接触带及深部岩溶探测,中南大学在邵怀高速公路雪峰山隧道运用高频大地电磁法划分地层及探查隐伏构造;中铁第四勘察设计院集团有限公司在对大地电磁探查技术进行充分调查研究的基础上,从高频大地电磁信号的电场和磁场规律、天然场的大地电磁信号干扰方面入手,进行了大地电磁测深方法的有效性和适用条件研究,通过现场对比试验,选择天然场源和人工场源的两种大地电磁测深方法进行长大深埋岩溶隧道的勘探,确定地质构造、岩溶等,并在宜万铁路、武广客专等项目中推广应用。

瞬变电磁法(TEM)是时间域的可控源电磁探测方法。以不接地的正方形重叠回线中的脉冲电流为场源,在探测对象中产生极化,感生二次电磁场,在激发脉冲消失的间隙,观测二次场随时间的变化。通过观测二次电磁场分布的时空特征,来推断探测对象的空间形态。瞬变电磁法首先在低电阻率高极化率的金属矿产勘察。该方法观测数据质量高、对低电阻地质体反应灵敏、没有近场效应、地形影响小,但存在需在地面布设勘探深度1/3左右的发射和探测回线、反演计算的方法不完善、尚不能进行定量解释的不足。近年来铁路系统尝试采用该方法

探测深部岩溶和地下水通道。

岩体(石)的声波检测技术,国内外进行了深入系统的研究,美国材料试验学会(ASTM)于 1972 年制定了《岩石的超生弹性模量与脉冲波速实验室测定的标准方法》,国际岩石力学学会(ISRM)于 1977 年颁布了《测定声波速度的建议方法》;日本则于 1960 年着手利用岩石的声波速度,通过 70 多座隧道的探测实践,提出了《隧道围岩强度分类》。我国于 20 世纪 50 年代后期用声波法研究岩体(石)性质。声波检测广泛应用于岩体质量评价与工程岩体分级、测定洞室围岩的松弛圈与评价围岩稳定性、断层破碎带及风化层、软弱夹层、岩溶探测以及计算动剪切模量、动泊松比、动杨氏模量等。

根据完整基岩和岩溶之间的电磁波吸收系数差异应用电磁波 CT 进行岩溶探测。

深孔勘探是国内外复杂岩溶隧道勘探中使用最广泛的勘探手段。采用深孔勘探确定地层岩性、地质构造、验证物探异常体,并通过孔内综合测井确定岩体完整性、岩体波速、电阻率、导电率、放射性、瓦斯测试等,但深孔勘探存在时间长、费用高、工艺复杂、孔内事故处理困难等不足。

我国水电部门广泛开展洞探确定隧道地质条件,国外正在施工的穿越阿尔卑斯山全长 57km、埋深 2 000m 的圣哥达铁路隧道,打了一条 5km 的勘探平硐和 5 个深达 1 750m 的定向钻孔,有效解决了风化砂状白云岩及其承压水对隧道的影响问题。

由于岩溶发育的复杂性和特殊性,目前工程实际中仍然存在以下问题:

(1)岩溶发育规律的认识尚无法满足工程实际的需求,尤其是对鄂西岩溶强烈发育区岩溶的发育规律、位置、规模和水文特征,以及对铁路工程的影响等方面的研究不够。

(2)对复杂岩溶地区,不同勘察阶段如何选择合理的勘察方法和手段,解决复杂岩溶地质问题,有待进一步加强。

(3)复杂地形条件下深部岩溶探测,尚无有效、快捷、高分辨率岩溶探测技术,有待研究开发。

(4)岩溶隧道涌(突)水量的预测,目前仍然沿用简单水均衡法和解析法进行评价,对这些评价方法的应用条件缺乏深入研究,导致岩溶隧道涌水量预测与实际偏差极大,缺乏对复杂岩溶含水介质管道流条件下涌水量评价的理论与方法研究。

### § 1.3 宜万铁路工程概况

新建宜昌至万州铁路(简称宜万铁路)是我国“八纵八横”铁路网主骨架之一,是沪、汉、蓉快速通道重要组成部分,也是贯通中国东、中、西部的重要交通纽带。建设宜万铁路,对于长江流域国土资源开发和经济发展,实施西部大开发战略,加快少数民族地区脱贫步伐,增进民族团结,完善和优化铁路路网结构等,都具有十分重大的意义。

宜万铁路东起既有鸦宜铁路的花艳车站,向西跨长江经宜昌市点军区的桥边镇,长阳县的贺家坪镇、榔坪镇,巴东县野三关镇,建始县、恩施市、利川市,穿越长江和清江分水岭齐岳山脉后,进入重庆市万州区,接达万铁路的万州车站,铁路全长 377.128km,其中湖北省境内 324.424km,重庆市境内 52.704km(图 1-2)。

宜万铁路全线共有隧道 159 座 338.771km,其中双线隧道 54 座 47.32km,10km 以上隧