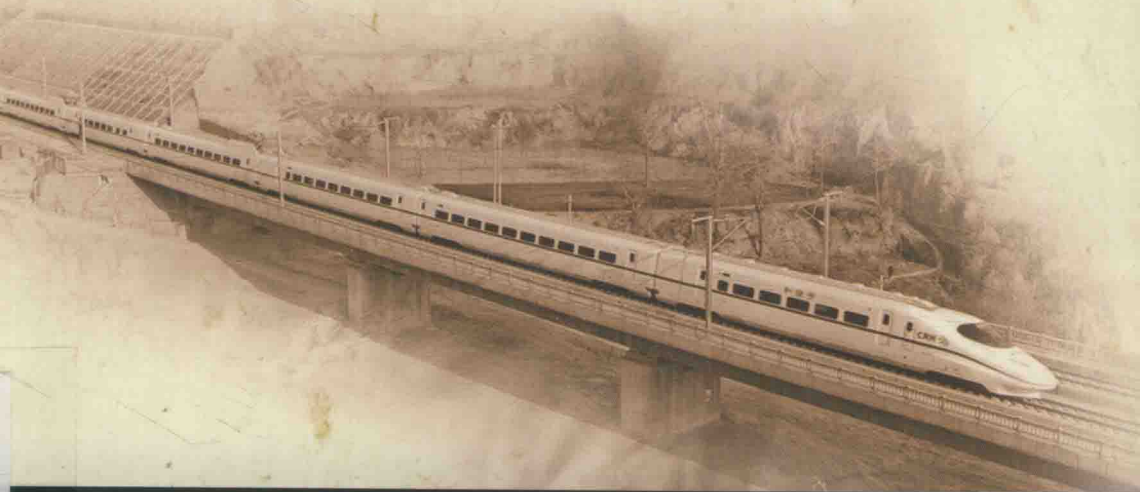


Gaosu Tielu Yanrong Dizhi Qiaoliang Zhuangji
Shigong Jiance Jishu

高速铁路岩溶地质桥梁桩基 施工检测技术

高军 胡隽 林晓 | 编著



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

Gaosu Tielu Yanrong Dizhi Qiaoliang Zhuangji
Shigong Jiance Jishu

高速铁路岩溶地质桥梁桩基 施工检测技术

高军 胡隽 林晓 | 编著

常州大学图书馆
藏书章



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

岩溶地质条件下的桥梁桩基施工与检测技术,是高速铁路建设中需要切实解决并不断提高的一项重要研究课题,对于提升高速铁路桥梁施工质量水平具有重要意义。

本书以京广高铁施工建设为背景,结合岩溶地区桥梁桩基的施工经验,从岩溶地质特性与分布、桩基施工工艺与技术控制、桩基力学性能及受力分析、桩基检测技术、工程实例等几个方面,对高速铁路岩溶地质桥梁桩基的施工与检测进行了分析、归纳和总结。

本书可作为高速铁路桥梁设计、施工和检测人员工作时的参考书,也可作为轨道交通专业师生的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路岩溶地质桥梁桩基施工检测技术/高军,胡隽,林晓编著. —武汉:华中科技大学出版社,2018.1

ISBN 978-7-5680-3505-7

I. ①高… II. ①高… ②胡… ③林… III. ①岩溶区-高速铁路-铁路桥-桥梁基础-桩基础-道路施工-检测 IV. ①U448.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 322559 号

高速铁路岩溶地质桥梁桩基施工检测技术 高 军 胡 隽 林 晓 编著
Gaosu Tielu Yanrong Dizhi Qiaoliang Zhuangji Shigong Jiance Jishu

策划编辑:万亚军

责任编辑:刘 飞

封面设计:原色设计

责任校对:曾 婷

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:武汉三月禾文化传播有限公司

印 刷:武汉华工鑫宏印务有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:10 插页:2

字 数:158千字

版 次:2018年1月第1版第1次印刷

定 价:38.00元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究



前 言

高速铁路是当今世界的一项重大技术成就,它集中反映了一个国家的铁路线路结构、列车牵引动力、高速运行控制、高速运输组织和经营管理方面的技术进步,也体现了一个国家的科技和工业水平。高速铁路以速度快、安全性高、舒适方便、全天候运行、耗能低、污染轻等一系列技术优势,已经成为世界各国和地区旅客运输发展的共同趋势,也成为中国当今“走出去”的一张颇具影响力的名片。目前我国累计开工建设高速铁路项目近百个,设计总里程近4万千米,投入运营里程近3万千米,远远抛开其他国家稳居世界之首。高速铁路已经改变了人们的交通出行方式,越来越深入人心。

但高速铁路的发展也是一路艰辛,困难重重,施工过程中遇到了诸多难题和阻碍。其中,岩溶地质就是危害铁路运行,影响施工质量的重要难题之一,其也是我国六大类型地质灾害之一。以2006年开工建设的京广高速铁路为例,其武汉至广州段线路位于湘鄂交界、湘粤交界处,分别穿越五尖大山低山区、瑶山中低山区,其地形险峻,河谷深切,岩溶地质分布广泛,岩溶强发育,溶洞、溶腔较多,在施工建设中对桥梁基础施工质量及线路稳定造成较大危害,而由此引起的岩溶地面塌陷也成为全球广泛关注的地质灾害问题。据不完全统计,已有包括中国、美国、南非、法国、英国、德国、俄罗斯等16个国家发生过严重的岩溶地面塌陷事件,其广泛性与危害性已引起国际社会的普遍关注,多国也相继召开有关岩溶塌陷的国际会议,使世界各国的研究者有机会交流和商讨解决这一地质灾害问题的经验与方法。如何采用科学的方法和施工工艺,提高岩溶地质桥梁桩基施工质量,并通过科学的检测方法判定桩基质量,无论对于提升高铁建设水平还是指导现场施工都具有重要的研究价值。

本书以京广高速铁路武广段工程建设为背景,重点就岩溶塌陷的机理、影

响桥梁桩基基础竖向承载力的因素、静载荷作用下单桩荷载传递理论分析、岩溶地质探测技术与稳定性评价、岩溶地区钻孔灌注桩工程施工特点及技术措施、岩溶地质桥梁桩基的检测等几个方面内容,详细分析阐述了岩溶地质条件下桥梁桩基的施工及检测技术,对于提高桥梁桩基质量水平,提升高速铁路桥梁质量水平具有一定的参考意义和理论研究价值。

本书内容共分为8章:第1章主要阐述岩溶地质桥梁桩基施工检测的工程背景及国内外研究现状,讲明该课题的研究意义和依据;第2、3章重点就桩基的承载力、竖向荷载传递理论进行研究分析,介绍了几种桩承载力的确定方法,揭示了桩基在竖向荷载作用下的工作性状;第4、5章重点阐述了岩溶地质的分布情况、地质特性及对高速铁路的危害,分析了岩溶地区桩基施工工艺及技术保证措施;第6章是利用有限元软件对桩基力学性能进行建模,从理论上分析其力学性能;第7章是本书的核心内容,主要是对桥梁桩基检测技术中高应变测试法的基本原理、测试方法、结果分析推导、现场实验进行详细讲解;第8章通过工程实例进一步深化对桩基检测的认识。

本书由高军、胡隼、林晓编著,杨海滨、罗东青、蔡荣喜对本书的编著做了大量的工作。

由于时间仓促,加之水平有限,本书肯定存在疏漏及不当之处,敬请各位专家、学者、技术人员及广大读者批评指正。

编著者

2017年9月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 国内外研究现状	(3)
1.2.1 国外研究现状	(3)
1.2.2 国内研究现状	(6)
1.3 本书的研究目的与内容	(9)
1.3.1 目的和意义	(9)
1.3.2 主要研究内容	(10)
1.3.3 研究的必要性	(10)
1.3.4 研究的主要成果	(10)
第 2 章 影响桩基础竖向承载力的因素	(12)
2.1 桩基础概述	(12)
2.1.1 桩基础的发展历史	(12)
2.1.2 桩基础适用性	(13)
2.1.3 桩基础分类	(14)
2.2 影响桩基础竖向承载力的因素	(15)
第 3 章 静载荷作用下单桩荷载传递理论分析	(19)
3.1 桩承载力确定方法	(19)
3.1.1 静载荷试验法	(19)
3.1.2 动力测桩法	(20)
3.1.3 自平衡测试法	(20)
3.1.4 原位测试法	(21)
3.1.5 理论分析法	(22)
3.1.6 经验方法	(23)
3.1.7 大直径桩承载力确定方法小结	(24)

3.2 桩竖向荷载作用下的工作性状	(24)
3.2.1 桩的荷载传递	(24)
3.2.2 大直径桩的受力特点	(25)
3.2.3 桩的荷载传递机理	(26)
3.3 本章小结	(27)
第4章 岩溶地质探测技术与稳定性评价	(28)
4.1 京广高铁概况	(28)
4.1.1 地形地貌	(28)
4.1.2 地层构造	(29)
4.2 岩溶地质探测技术	(29)
4.2.1 隐伏岩溶探查原则	(29)
4.2.2 隐伏岩溶探查方法选择	(30)
4.2.3 隐伏岩溶稳定性评价	(30)
4.2.4 主要仪器设备	(31)
4.2.5 物探异常的类型	(31)
4.3 探测结果评价与处理措施	(33)
4.3.1 钻(钎)探验证情况	(33)
4.3.2 探测效果	(34)
4.3.3 处理措施	(34)
4.4 岩溶分布与地质特性	(35)
4.4.1 岩溶地质分布情况	(35)
4.4.2 岩溶地质分类	(37)
4.4.3 岩溶地质特性	(37)
4.5 京广高铁岩溶稳定性评价	(42)
4.5.1 岩溶地面塌陷的稳定性分区	(42)
4.5.2 岩溶对京广高铁的危害	(43)
第5章 岩溶地区钻孔灌注桩施工特点及岩溶技术	(44)
5.1 岩溶地貌的特点	(44)
5.2 岩溶地区钻孔灌注桩工程施工特点	(44)
5.2.1 成孔工艺比较	(44)
5.2.2 施工中可能发生的情况	(45)
5.2.3 混凝土灌注特点	(45)
5.2.4 施工的特殊措施	(45)

5.3 施工技术措施	(46)
5.3.1 一般溶洞的处理	(46)
5.3.2 特大型溶洞的处理	(46)
5.4 岩溶地区钻孔灌注桩施工工艺	(47)
5.4.1 正循环回转钻进施工法	(48)
5.4.2 反循环回转钻进施工法	(52)
5.4.3 冲击钻进施工法	(57)
5.5 钻孔灌注桩的施工过程	(61)
5.5.1 钻进方法的选择	(61)
5.5.2 清孔的目的、质量要求和方法	(62)
5.5.3 清孔注意事项	(65)
5.5.4 水下混凝土的灌注	(65)
5.6 岩溶地区钻孔灌注桩常见质量事故及原因	(67)
5.6.1 斜桩和卡锤	(67)
5.6.2 塌孔和扩孔	(67)
5.6.3 泥浆沉淀	(68)
5.7 钻孔桩施工技术对承载能力的影响分析	(68)
5.7.1 施工工艺对承载能力的影响	(68)
5.7.2 桩顶荷载对承载能力的影响	(69)
5.7.3 超灌支盘对承载能力的影响	(69)
第6章 桩基力学性能及受力分析	(70)
6.1 引言	(70)
6.2 ABAQUS 有限元软件	(70)
6.2.1 ABAQUS 软件概述	(70)
6.2.2 ABAQUS 基本模块介绍	(71)
6.2.3 ABAQUS 基本功能介绍	(71)
6.3 有限元计算模型	(73)
6.3.1 有限元法	(73)
6.3.2 单桩沉降分析的有限元模型	(74)
第7章 岩溶地质桥梁桩基的检测技术	(89)
7.1 应力波反射法基本原理	(89)
7.1.1 一维波动方程的推导及求解	(89)
7.1.2 行波理论	(94)

7.2 基桩低应变完整性测试与分析	(99)
7.2.1 概述	(99)
7.2.2 低应变现场测试前的注意事项	(101)
7.2.3 确立砼波速 C	(104)
7.3 凯斯法基本公式的推导	(105)
7.3.1 凯斯法计算总土阻力的基本公式	(105)
7.3.2 凯斯法单桩承载力的分析与计算	(110)
7.3.3 R_{sp} 静极限承载力公式的推导	(110)
7.3.4 高应变打桩监测	(117)
7.3.5 应变法桩身完整性测试	(118)
7.4 基桩高应变现场测试技术研究	(121)
7.4.1 实测曲线的初判与取舍	(121)
7.4.2 现场测试技术	(123)
7.5 本章小结	(138)
第8章 工程实例分析	(140)
8.1 工程概况	(140)
8.2 工程地质、水文地质和地震参数	(143)
8.2.1 工程地质	(143)
8.2.2 水文地质	(144)
8.2.3 地震动参数	(144)
8.3 施工方法及特点	(144)
8.3.1 工艺流程	(144)
8.3.2 施工特点	(144)
8.3.3 施工要点及注意事项	(145)
8.3.4 施工情况分析	(147)
8.3.5 常见事故处理	(148)
8.4 本章小结	(150)
参考文献	(151)

第 1 章 绪 论

1.1 概 述

岩溶地质条件下的桥梁桩基施工与检测技术,一直是高速铁路(简称高铁)建设中需要切实解决并不断提高的一项重要研究课题,它直接关系到桥梁桩基的施工质量。岩溶地区桩基施工难度大、风险高,施工质量不易控制。本书主要从高速铁路岩溶地质桥梁基础的试验研究现状及研究意义、岩溶地质分布及特性、岩溶塌陷对桥梁桩基施工的危害、岩溶地区桩基施工特点及施工技术等方面对桩基检测方法及技术进行了分析论述。研究结论表明,在岩溶地质条件下选择合理的桩基施工工艺,采用先进的检测技术对桩基质量进行判定,能够有效提高桩基施工质量,从而提高桥梁基础整体施工质量,这对于提升我国高速铁路建设质量水平具有重要意义。

高速铁路是当今世界的一项重大技术成就,它集中反映一个国家的铁路线路结构、列车牵引动力、高速运行控制、高速运输组织和经营管理方面的技术进步,也体现了一个国家的科技和工业水平。高速铁路是社会经济发展的必然产物,有利于促进国家和地区间城市一体化发展进程,在经济发达、人口密集的地区经济和社会效益非常显著^[1]。高速铁路以速度快、安全性好、正点率高、全天候运行、舒适方便、输送能力强、耗能低、污染轻等一系列技术优势,已经成为世界各国和地区旅客运输发展的共同趋势^[2]。我国高速铁路的发展在世界各国中处于较超前的地位,目前已建成的京广高速铁路时速可达到 350 km/h,是一条集中新技术、新工艺、新设备于一体的高新技术系统工程。是《中长期铁路网

规划》中投资规模最大、技术含量最高的一项工程,也是我国第一条具有世界先进水平的高速铁路,正线全长约 1318 km,与既有京沪铁路的走向大体平行,全线为新建双线,设计时速 350 km/h,初期运营时速 350 km/h,共设置 21 个客运车站。

本书的研究是以武汉至广州高速铁路(以下简称京广高铁)作为工程背景来加以研究的,此高速铁路设计时速 350 km/h,位于我国中南部地区,是“四纵四横”高速铁路网北京至广州快速客运通道的重要组成部分,是实施《中长期铁路网规划》以来首批开工建设的技术标准最高、运营里程最长、运行速度最快的高速铁路。京广高速铁路的建成,表明我国已完全掌握了具有自主知识产权的高速铁路成套技术,开启了中国铁路高速新时代。在京广高速铁路韶关至花都段的设计过程中,采用了大量的新技术、新材料和新设备。武汉至广州段北起湖北省省会武汉市,途经湖南省省会长沙市,南抵广东省省会广州市,连接咸宁、岳阳、长沙、株洲、衡阳、郴州、韶关、清远等城市。京广高速铁路是我国 2020 年前铁路中长期发展规划中北京—武汉—广州—深圳高速铁路中的一段,与既有京广铁路构成京广铁路大通道,是我国铁路网的繁忙干线铁路。全线设车站 18 个,桥梁长度约 369 km,隧道长度约 161 km^[5]。

沿线平原、阶地、丘间谷地大面积分布第四系冲积、冲洪积、坡洪积、坡残积松散堆积层;下伏基岩主要为侏罗系、白垩系砂砾岩,砂岩,泥岩,夹炭质页岩,砂页岩及煤层,石炭系灰岩,砂页岩(局部含煤铁),泥盆系砂页岩,灰岩,燕山期花岗岩及前寒武系片岩、板岩、变质砂岩等。沿线地下水类型主要有第四系孔隙水、基岩裂隙水及岩溶水。武汉至花都段不良地质、特殊岩土类型和分布特征与地形地貌、地层岩性、地质构造、地下水等条件密切相关^[5]。不良地质分布类型主要有风化剥落、坍塌、滑坡、崩塌、危岩落石、顺层等,特殊岩土分布类型主要有岩溶及岩溶地面塌陷、软土及松软土、膨胀土等。

随着列车运行速度的提高,对轨道结构与路基结构也提出了更高的要求。在隧道内、高架结构和桥梁上铺设无砟轨道,已被普遍认可并已标准化,但在高速铁路桥梁上的应用则十分谨慎,除德国 Rheda 轨道铺设应用较多并基本定型外,其他国家多处于积极的试铺试验中。基于我国对土质路基无砟轨道的研究尚处于初级阶段,不同高速铁路宜根据沿线的自然地理背景、地质条件结合建

设标准,选择有代表性段落进行深入试验研究,待积累一定的经验后推广使用。

无砟轨道对沉降变形,特别是不均匀沉降要求严格。一般局部的沉降应在扣件的可调整范围,大范围的均匀沉降应该满足线路竖曲线圆顺的要求。对于调高量为 30 mm 的扣件,扣除施工误差 +6 mm 和 -4 mm,仅有 20 mm 可以调整,再考虑列车运行时轨道结构需要预留 5 mm 的变形,实际留给运营期间路基的允许沉降量仅为 15 mm,这是局部调整的极限。对于长度大于 20 m 的均匀地基,根据德国的经验,在施工铺轨阶段时,在满足调整后轨面高程竖曲线半径的条件下,进行包括路基、涵洞、桥梁、隧道在内的整段工程的整体沉降分析后,可以放宽沉降标准至 30 mm^[6]。

对于路桥、路涵等过渡段范围的沉降差异造成的折角,日本新干线板式轨道线路规定不大于 1/1000,德国高速铁路无砟轨道技术标准中规定不大于 1/500,我国首次在路基上铺设无砟轨道,折角控制采用不大于 1/1000。过渡段沉降的逐渐过渡和折角的要求也在于控制不均匀沉降^[3-7]。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国外研究现状

从 1964 年日本建成世界上第一条 200 km/h 的高速铁路以来,法国、德国、意大利、西班牙、瑞典、韩国等国家相继发展了具有自身特点的高速铁路,最高运营速度达 300 km/h。高速铁路所带来的经济效益,对国民经济和科学技术发展发挥了重要作用。

为了保证高速铁路行车的安全和舒适,各项技术标准要求均很高,高架车站、桥梁所占比例较大。在高速铁路的修建过程中,如何快速优质地建造满足高速铁路运营、维护保养及耐久性等特殊结构的桥梁工程,成为各国研究和发展的关键问题。在大规模建设高速铁路之前,均投入了大量的人力和物力进行前期实验和研究。

岩溶地面塌陷是全球广泛分布的地质灾害问题,据不完全统计,已有包括

中国、美国、南非、法国、英国、德国、俄罗斯、波兰、捷克、比利时、土耳其、加拿大以及以色列等国家发生过严重的岩溶地面塌陷。

岩溶塌陷发育的广泛性与危害性,已引起国际社会的普遍关注,进入 20 世纪 70 年代以来,召开了多次与塌陷有关的国际会议,使世界各国的研究者有机会交流和商讨解决这一地质灾害问题的经验与方法。例如,1973 年,国际工程地质协会在联邦德国汉诺威首次举行了“岩溶塌陷与沉陷:与可溶岩有关的工程地质问题”国际讨论会。1984—2008 年先后在美国佛罗里达州、密苏里州、肯塔基州、德克萨斯州举行了十一届“岩溶塌陷和岩溶的工程与环境影响多学科国际讨论会”。1996 年,美国学者 George Sowers 编写了《Building on Sinkholes: Design and Construction of Foundations in Karst Terrain(塌陷上的建筑物——岩溶区的基础设计与施工)》,全面介绍了岩溶塌陷的机理和防治问题;2004 年,英国学者 Tony Waltham 等组织来自各国的 20 多位专家编写了《SINKHOLES and SUBSIDENCE: Karst and Cavernous Rocks in Engineering and Construction(塌陷与沉陷——岩溶与洞穴发育岩体中的工程与建设)》,系统介绍了工程活动中岩溶隐患的处置问题。国外在岩溶塌陷灾害研究方面,主要注重如下几个方面。

1. 岩溶塌陷发育条件的勘测技术

岩溶塌陷发育的基础条件是隐伏岩溶的存在,具有高度不均一性的隐伏岩溶发育带的探测一直被认为是极具挑战性的问题,发达国家由于仪器设备方面的优势,各种地球物理方法都曾运用到这一领域,目前使用较多的是地质雷达、高密度电法、浅层地震,以及声波电磁波孔间透视、CT 层析法等。

2. 岩溶塌陷发育的过程、机理和临界条件研究

岩溶塌陷发育机理揭示的是有效防治的前提,由于岩溶塌陷发育过程的特殊性,使得模型试验成为主要的研究手段。如:1970 年日本学者 Nogushi、1986 年苏联学者 B. JI. XOMEHKO、1984 年美国学者 Ralph J. Hodek、1995 年美国学者 Thomas M. Tharp 先后采用物理模型试验或数值分析的方法,系统研究了非黏性土潜蚀塌陷的过程。

此外,国外一些学者还尝试采用岩土工程离心机进行塌陷试验,如:Borms 和 Bennermark(1967)、Marir(1984)专门研究了上覆软土“突入”隧道造成地面

下沉塌陷问题; Bertin(1978)针对佛罗里达州的土层情况,模拟了上覆砂层、粉砂层的塌陷问题; Howell 和 Jenkins(1984)模拟研究了英国岩盐洞穴的上覆砂层塌陷; Sterling 和 Ronayne(1984)试验了洞穴上覆黏土层的沉陷,但没有测量黏土的强度,也没有把结果推广到其他土层条件;在 Sterling 的基础上, Craig(1990)用离心模型研究了黏土直接覆盖洞穴或黏土—砂层—洞穴的条件,建立起无量纲的安全系数(VS)的极限值,塌陷与土层强度、土层厚度、其他上覆荷载以及洞穴开口直径有关,然后,运用他的无量纲比率,可以推广到其他没有专门模拟的土层条件,他还利用了一个简单的分析模型去预测他所观测的塌陷发育机理;以 Craig 的试验为基础, Maryland 大学的 Abdulla 和 Goodings(1996)运用离心机塌陷破坏机理和导致塌陷的临界组合条件,重点研究了上覆在洞穴上方的弱固结砂层的塌陷破坏与洞穴开口大小、洞穴自身强度、弱固结砂层厚度、上覆砂层的厚度,以及地表荷载的关系。

3. 岩溶塌陷基础数据库建设

国外一直比较重视岩溶塌陷灾害基础数据库的建设工作,并提出了数据格式标准,如早在 1984 年,美国存在严重岩溶塌陷问题的宾西法尼亚州和佛罗里达州相继建立了岩溶塌陷数据库;1988 年第五届国际滑坡会议组建了世界滑坡目录工作组,开始建立世界滑坡目录。进入 20 世纪 90 年代, GIS 技术的普及和发展,使数据库建设提升到可视化阶段,美国国家及一些州地质调查局开始直接向用户提供基于 GIS 的地质灾害数字图件,并直接放在互联网上,供用户下载。如全美滑坡图、宾州地质调查局 William E. Kochanov 博士制作的宾州岩溶塌陷图等;英国国家地调局的 A. H. Cooper 建立了基于 ArcView 的岩溶地质灾害数据库。

4. 岩溶塌陷危险性预测与风险评估

运用计算机技术,结合灾害发生的危险性与社会经济易损性,评估灾害风险,已成为近年来国外地质灾害研究工作的重要内容。如 1996 年,美国科罗拉多大学研制开发了基于 GIS 技术的计算机决策支持系统(DSS),专门用于地质灾害的风险评估工作。美国的 D. Raghu(1984)采用泊松方程来模拟新泽西州 Warren 县在给定时间内、给定面积区域发生塌陷的概率。美国的 Sam B. Upchurch(1987)提出了用于塌陷风险评估的数据评价方法。南非的 Frederk

Calitz(2001)开展了南非 Lebowa kgomo 白云岩地区潜在地面塌陷风险的评估工作,意大利的 Roberto Salvati 和美国的 Thomas M. Tharp(2001)提出了根据岩溶水压力对意大利中部 Latium 地区进行岩溶塌陷评估的概念模型,英国国家地质调查局的 A. H. Cooper(2001)用 ArcView 对英国岩溶地质灾害进行了评估。

5. 岩溶塌陷预测预警

预测预警是岩溶塌陷防治工作的重要课题,由于岩溶塌陷的产生在时间上具突发性,在空间上具隐蔽性,在机制上具复杂性,因此,被普遍认为难以采取地面常规监测手段,对塌陷进行监测预报。国外早在 1984—1987 年就尝试运用地质雷达进行潜在塌陷的监测工作,如美国学者 Benson 等在北卡罗来纳州 Wilmington 西南部的一条军用铁路进行了试验,监测周期为半年,取得了良好的效果。但由于操作复杂、连续性较差、无法对测线外的潜在塌陷进行监测,所以难以在大范围内推广。TDR 是时域反射法(time domain reflectometry)的简称,它是一种远程电子测量技术,其最早被应用于电力和通信工业,用于确定通信电缆和输电线路的故障与断裂,近年来被引用到岩土工程监测中,如 2001 年,美国 K. M. O'Connor 在马里兰州 Frederick 县境内的 70[#] 洲际高速公路塌陷高风险区进行路基沉降监测。2002 年,美国西北大学 C. H. Dowding 等首次将这一技术运用到岩溶区高速公路路基塌陷监测中,并在岩溶塌陷最为发育的佛罗里达州高速公路进行监测试验研究,但由于试验段为已建公路,只将电缆埋设在路边排水沟上,显然无法实现对路基土洞塌陷的预警,而且,到目前为止,还没有成功预报的实例。

6. 岩溶塌陷对环境的影响

岩溶塌陷除了对工程设施造成破坏外,还会给环境带来很大影响,塌陷坑往往会成为地表工农业和生活污水灌入补给岩溶地下水的通道,给地下水带来潜在威胁,因此,岩溶塌陷将提高岩溶含水层的脆弱性。针对这一问题,美国在塌陷危险区开展工程建设,如高速公路、废物堆放场地等,都必须对地表污水通过塌陷坑进入含水层的可能性进行监测评价。

1.2.2 国内研究现状

目前,中国的高速铁路最高设计时速可达 350 km/h,代表了当今世界的高

铁速度,中国是目前世界上高速铁路发展最快、系统技术最全、集成能力最强、运营里程最长、运营速度最高、在建规模最大的国家。

21世纪是中国高速铁路桥梁建设的快速时期。随着高速铁路建设的全面推进,中国的桥梁建设取得了实质性进展,目前中国在建的高速铁路规模达到12700 km,其中桥梁比重接近50%。广珠城际铁路桥梁比重最高,达到90%,武汉天兴洲长江大桥、南京大胜关长江大桥,分别是目前世界上最大跨度的公铁两用斜拉桥、钢拱桥。

中国铁路不断学习借鉴世界发达国家高速铁路建设技术经验,积累和探索符合我国国情的高速铁路桥梁建设的技术标准以及设计、施工技术,在桥梁设计、施工、科研以及建设管理等方面实现了重大跨越,深水大跨桥梁建造技术进入了世界先进行列,大吨位桥梁建造技术取得了重大突破,特殊桥梁结构广泛应用,拥有自主产权的高速桥梁极速标准体系已经基本行成。

作为我国六大类型地质灾害之一,岩溶塌陷一直受到国家有关部门和学者的高度重视,特别是近20年来,投入了大量人力物力,开展岩溶塌陷防治研究工作,取得了大量成果。1997、1998年先后在桂林市和牡丹江市举办了两届“地面塌陷及其对工程建设的影响与防治”学术讨论会。主要成果包括:

1. 我国岩溶塌陷的宏观分布规律

岩溶研究所先后开展了“中国南方岩溶塌陷研究”“长江流域岩溶塌陷研究”和“中国北方岩溶塌陷研究”等项目,此外,有关单位还开展了“铁路沿线岩溶塌陷及防治”工作,基本摸清了我国岩溶塌陷发育的现状和宏观分布规律,确定我国岩溶塌陷的基本类型。

2. 岩溶塌陷的机理研究

1993年,岩溶地质研究所建立起大型物理模型试验和渗透变形试验为代表的岩溶塌陷实验室,对武汉、唐山、湘潭、玉林、桂林、铜陵等城市不同类型岩溶塌陷发育的机理进行试验研究,取得了很好的效果。2004年,实验室进行彻底改造,引进了美国GEOMATION公司生产的2380型数据自动采集系统,对试验过程进行全自动监测,使试验研究工作上升到新的高度,也使开展岩溶塌陷临界条件的研究成为可能。