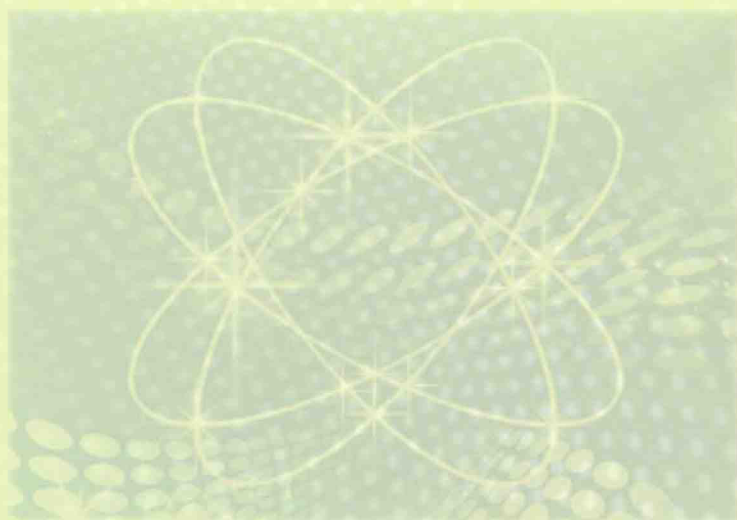


岩溶隧道施工关键技术 及工程应用研究

宋战平 綦彦波 赵国祝 牛泽林 著



陕西出版传媒集团
陕西科学技术出版社

岩溶隧道施工关键技术及工程应用研究

**Research on the Key Technology and Engineering
Application of the Karst Tunnel Construction
Under Complex Geology**

宋战平 綦彦波 赵国祝 牛泽林 著

陕西出版传媒集团
陕西科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

岩溶隧道施工关键技术及工程应用研究 / 宋战平等
著. — 西安: 陕西科学技术出版社, 2013.9
ISBN 978 - 7 - 5369 - 5950 - 7

I. ①岩… II. ①宋 … III. ①岩溶—隧道工程—工程
施工—研究 IV. ①U455

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 222838 号

岩溶隧道施工关键技术及工程应用研究

出版者 陕西出版传媒集团 陕西科学技术出版社
西安北大街 131 号 邮编 710003
电话 (029)87211894 传真 (029) 87218236
[http: //www. snstp. com](http://www.snstp.com)
发行者 陕西出版传媒集团 陕西科学技术出版社
印刷 陕西天地印刷有限公司
规格 787mm × 1092mm 16 开本
印张 14.5
字数 305 千字
版次 2013 年 9 月第 1 版 2013 年 9 月第 1 次印刷
书号 ISBN 978 - 7 - 5369 - 5950 - 7
定价 45.00 元

版权所有 翻印必究

内 容 简 介

岩溶作为一种不良地质现象,给隧道工程的设计、施工带来了很大的困难,在运营过程中也威胁着隧道的稳定和安全。目前,对岩溶地区隧道的设计、施工特性的研究仍处于探索阶段,现行的规范和设计方法运用到岩溶区隧道建设中尚存在一些不合理之处,有待于进一步地深入研究。本书结合我国目前工程实践和岩溶隧道建设中存在的问题,在深入现场调查和现场监测的基础上,对既有岩溶溶洞对隧道施工稳定性的影响进行理论和数值模拟分析,系统分析了隐伏溶洞的空间形态对圆形和城门洞型隧洞稳定性的影响。在全面分析隐伏溶洞的空间形态对隧洞(道)稳定性的影响基础上提出了岩溶区隧洞(道)的设计、施工和支护的设计原则。提出了岩溶区隧洞(道)建设应遵循的技术思路和方法体系。结合在建的四川绵阳武都水库导流洞工程和宜万铁路金子山隧道工程进行了岩溶区大断面隧洞施工稳定性的典型断面监测试验,验证了以上数值试验结果的有效性和可靠性。

本书可供从事岩土工程、隧道和地下工程、环境和灾害研究等方面的科研人员和教学人员参考,也可供相关专业的大学高年级学生和研究生参考。

序

随着我国经济建设的迅猛发展,我国西北、西南岩溶发育地区交通、水电和能源等各类大型隧道和地下工程日渐增加。在未来 10~20 年,大型水利水电工程和清洁能源工程、交通网络和快速交通工程、资源开发工程等将是我国工程建设的重点。我国水电重点开发的西部,特别是西南高山峡谷地区的金沙江、雅砻江、大渡河、乌江、长江上游、南盘江和红水河、澜沧江等流域的水电开发,将会建设更多的大埋深、高水头隧洞(道)和地下工程;正在逐步推进的南水北调工程,其西线工程全长 260km 的规划线路上,93.8% 为隧洞工程,其中,单洞最大长度达 73km,最大埋深 1100m。铁路方面,根据国务院 2004 年批复的《中长期铁路网规划》,到 2020 年,我国将修建 1200km 的客运专线隧道,这些隧道中的半数以上分布在川、陕、云、贵等西部岩溶发育地区。公路方面,到 2020 年我国将基本建成“7981”高速公路网,西部地区公路建设将实现“内引外联、通江达海”的目标,西部复杂岩溶地区的隧道和地下工程的建设将日益增多,其工程建设的数量、长度和复杂程度将超过历史上的任何时期,这为岩溶区隧道和地下工程建设技术的发展和进步提供了难得的发展机遇。

尽管我国岩溶地区的铁路、水工、公路等隧道工程建设已有 40 多年的历史,施工的大、长隧道近百座,经验、教训很多,但由于体制及管理方面的原因,岩溶隧道施工经验、教训未能得到全面的总结提高,同类失误多次重复出现。因此,抓住目前岩溶区正在修建大量隧道的有利时机,积极开展岩溶隧道施工问题的研究和施工措施改进以及进行岩溶地层施工技术与安全措施的研究与应用,确保施工工期和施工安全,是隧道工作者的重要任务。2004 年开工建设的宜万铁路是目前国内已建和在建铁路中地质条件最复杂、隧道施工最困难的艰险山区高标准干线铁路,线路全长 377.46km,共有隧道 159 座,其中高风险岩溶隧道 34 座,工程建设极为艰巨,历来被视为“筑路禁区”。作为宜万铁路高风险隧道建设者,本书作者们结合承建的宜万铁路开展了西南岩溶发育地区隧洞(道)灾害的调查研究工作。对岩溶隧道灾害调查分析发现,开挖中未揭露出来的隐伏溶洞因工程上不能事先采取安全措施,易遭受到猝不及防的破坏,给隧道施工和运行造成了很大的安全隐患,危害性较大。而目前对该问题尚缺乏系统、深入的研究。因此,作者们对隐伏溶洞对隧道建设的影响开展了系统、深入的研究工作。其研究成果在岩溶隧道建设中的应用,提高了岩溶隧道工作的预见性和效率,减少了溶岩隧道地质灾害,为岩溶区隧道和地下工程的建设提供了必要的技术支持,对岩溶区隧道设计与施工的科学化、量化具有直接的推动意义。作为一名隧道工作者,我很高兴能看到该书的出刊,并乐于为序。

中铁十三局集团有限公司副总经理: 吴焕通

2013 年 6 月 18 日

前 言

我国是世界上岩溶分布面积最广的国家之一,可溶岩层的分布面积约占国土面积的 $1/3$,遍及全国各省、市、自治区和直辖市。岩溶问题是可溶性岩山区修建隧洞(道)工程的突出问题,其危害大,教训深刻。多年来我国在铁路、公路、隧道施工中均遇到了岩溶涌水、突泥,顶板溶洞充填物陷落冒顶和底板塌陷等问题。我国20世纪60~70年代在西南修建的滇黔铁路、成昆铁路、襄渝铁路等均遇到大量岩溶问题。近年来,在西南修建的水工隧洞、铁路隧道、公路隧道都不同程度地遇到了岩溶灾害甚至造成重大事故,如广安—重庆高速公路华蓥山隧道的岩溶洞穴坍塌事故、渝怀铁路圆梁山隧道的特大岩溶涌水均对隧道的施工造成了极大影响。随着我国国民经济和社会的发展,众多的隧道工程将穿越地质条件复杂的岩溶地段。但现阶段关于岩溶区隧道建设的经验很少,岩溶问题成为制约工程施工进度和质量的“瓶颈”。

岩溶对隧道工程的影响除涌水、突泥之外,主要表现为隧道周边围岩的变形、失稳,常常导致隧道开挖中局部坍塌、掉块、落石。在岩溶隧道灾害中,开挖中未揭露出来的隐伏溶洞因工程上不能事先采取安全措施,易遭受到猝不及防的破坏,给隧道施工和运行造成了很大的安全隐患,危害性较大。目前,在岩溶区隧道建设中缺乏溶洞对隧道和地下工程影响的系统研究。因此,系统研究既有隐伏溶洞对隧道建设的影响,探讨其规律性,以便在施工中能有针对性地进行溶洞的处理或预处理,保证岩溶区隧道建设的安全性,提高岩溶隧道工作的预见性和效率,减少溶岩隧道地质灾害,为岩溶区隧道和地下工程的建设提供必要的技术支持,对岩溶区隧道设计与施工的科学化、量化具有直接的推动意义。

本书作者们近年来积极参与我国西部岩溶区隧道和地下工程建设,先后参加了宜万铁路、锦屏水电站、武都水库,新疆穿天山山脉的将军沟隧道和玉希莫勒盖隧道等西部复杂地质条件下的隧道和地下工程的建设,结合以上工程灾害,特别是岩溶灾害的调查,本书第一作者宋战平在博士及以后的博士后工作期间,对既有隐伏溶洞对隧洞稳定性的影响及工程应对措施进行了系统研究,本书为以上研究工作的总结和深化,书中第八章和第九章由宋战平、綦彦波和赵国祝共同撰写,其余章节由宋战平、牛泽林撰写完成。

本书的研究工作得到了绵阳市武都引水工程管理局现场建设管理处、四川省水利水电勘测设计研究院武都引水工程设计组、四川武都引水工程二期现场监理部、中铁十八局武都引水工程项目部、四川紫坪铺水利水电开发有限公司、四川省水利水电勘测设计研究院紫坪铺工程设计代表处、中国水利水电建设第七工程局紫坪铺工程项目部、中国水利水电建设第五工程局紫坪铺工程项目部、中国水利水电建设第六工程局紫坪铺工程项目部、中铁十六局友谊隧道项目部、中铁十三局集团有限公司、中铁十三局集团第一工程有限公司、中铁十三局集团第二工程有限公司、中铁十三局集团第三工程有限公司、中铁十三局集团第四工程有限公司、中铁十三局集团第五工程有限公司、中铁十三局集团第六工程有限公司等单位的热情帮助和大力支持,在此特表感谢。感谢武汉铁路局宜万铁路建设总指挥部、中铁第四勘察设计院集团有限公司以及参与宜万铁路建设的各有关单位提供的帮助和支持。

本书研究得到了西安建筑科技大学青年基金和陕西省重点学科培育项目等基金和项目资助,特此致谢。

作者

2013 年 5 月

目 录

1	绪论	1
1.1	隧道岩溶危害	1
1.1.1	研究对象界定	1
1.1.2	隧道岩溶危害	1
1.2	当前岩溶区隧道建设中存在的工程问题及研究现状	2
1.2.1	岩溶区隧道建设中存在的问题	2
1.2.2	岩溶区隧道建设工程问题研究现状	4
1.3	本书的研究内容	7
2	溶洞区隧道工程问题研究中的有关问题探讨	9
2.1	溶洞对隧道影响的地质力学模型及其研究方法	9
2.1.1	溶洞分布规律与统计情况分析	9
2.1.2	溶洞与隧道相互影响系统的简化模型	10
2.2	溶洞对隧道影响研究的几个有关问题探讨	11
2.2.1	分析方法及有关数值试验的概念	11
2.2.2	采用连续介质分析的可行性	13
2.2.3	位移等效参数的概念及有关问题	15
2.2.4	隧道工程数值试验结果及其应用	16
2.2.5	溶洞力学模型研究	17
2.3	数值试验平台、试验误差及力学模型	19
2.3.1	试验平台介绍	19
2.3.2	数值试验误差分析	19
2.3.3	溶洞—隧道系统数值试验模型及分析原理	22

2.4	本章小结	22
3	大跨度溶洞时隧道施工中的几个问题分析	23
3.1	问题的提出	23
3.2	溶洞与隧道间岩柱垮塌机理分析	23
3.3	隧道最小顶板厚度问题	24
3.3.1	较完整岩柱的最小厚度分析	24
3.3.2	受较大结构面控制时的岩柱塌陷分析	27
3.3.3	隧道顶板安全厚度的经验估算法(松弛带高度估算法)	29
3.4	隧道最小底板厚度问题	29
3.4.1	半定量评价方法(荷载传递线交汇法)	29
3.4.2	底板稳定性评价的力学分析方法	30
3.5	本章小结	34
4	隐伏溶洞对圆形隧道影响的数值试验研究	35
4.1	数值试验模型、参数及其方案设计	35
4.1.1	数值试验模型及边界条件	35
4.1.2	隧道围岩一支护结构体系数值试验模型的参数选取	36
4.1.3	溶洞对圆形隧道影响的数值试验方案设计	37
4.2	顶部溶洞对圆形隧道稳定性影响的数值试验分析	38
4.2.1	顶部溶洞对隧道周边关键点位移的影响规律探讨	38
4.2.2	顶部溶洞对围岩应力影响规律的探讨	43
4.2.3	顶部溶洞对围岩塑性区影响的规律分析	45
4.2.4	顶部溶洞对支护结构内力的影响规律探讨	46
4.2.5	顶部溶洞影响规律小结	48
4.3	底部溶洞对圆形隧道影响的数值试验研究	50
4.3.1	底部溶洞对隧道位移的影响	50
4.3.2	底部溶洞对围岩应力特征的影响	54
4.3.3	底部溶洞对围岩塑性区分布的影响	56
4.3.4	底部溶洞对支护结构内力的影响	57
4.3.5	小结	59

4.4	水平溶洞对圆形隧道影响的数值试验研究	62
4.4.1	水平溶洞对隧道周边关键点位移的影响规律探讨	62
4.4.2	水平溶洞对围岩应力的影响	67
4.4.3	水平溶洞对围岩塑性区的影响	69
4.4.4	水平溶洞对支护结构内力的影响	71
4.4.5	水平溶洞影响规律小结	73
4.5	不同地质条件时溶洞对隧道稳定性态的影响分析	77
4.5.1	岩溶区隧道围岩应力和位移的影响因素	77
4.5.2	侧压力系数对围岩应力的影响	78
4.5.3	围岩类别对溶洞对隧道影响规律的研究	81
4.5.4	小结	88
5	隐伏溶洞对城门洞型隧道稳定性的影响	90
5.1	溶洞—隧道体系的力学模型及其参数	90
5.1.1	溶洞对隧道影响的数值试验方案设计	90
5.1.2	溶洞对隧道影响的数值试验方案设计	90
5.2	顶部溶洞对城门洞型隧道影响的数值试验研究	91
5.2.1	顶部溶洞对隧道位移的影响	91
5.2.3	顶部溶洞对隧道围岩应力变化特征的影响	96
5.2.4	顶部溶洞对隧道围岩塑性区变化特征的影响	99
5.2.5	顶部溶洞对锚杆轴力的影响	100
5.2.6	顶部溶洞对喷层内力的影响	102
5.2.7	小结	104
5.3	水平溶洞对城门洞型隧道影响的数值试验研究	106
5.3.1	试验模型参数及试验方案设计	106
5.3.2	水平溶洞对隧道位移的影响	107
5.3.3	水平溶洞对隧道围岩应力变化特征的影响	112
5.3.4	水平溶洞对隧道围岩塑性区变化特征的影响	114
5.3.5	水平溶洞对隧道支护结构性态的影响	116
5.3.6	小结	119
5.4	底部溶洞对城门洞型隧道影响的数值试验研究	123

5.4.1	底部溶洞对隧道位移的影响	123
5.4.2	底部溶洞对隧道围岩应力变化特征的影响	127
5.4.3	底部溶洞对隧道围岩塑性区变化特征的影响	129
5.4.4	底部溶洞对隧道支护结构性态的影响	131
5.4.5	小结	133
5.5	侧边溶洞对城门洞型隧道影响的数值试验研究	135
5.5.1	试验模型参数及试验方案设计	135
5.5.2	侧部溶洞对隧道围岩变形特征的影响	136
5.5.3	侧边溶洞对隧道围岩应力变化特征的影响	139
5.5.4	侧边溶洞对隧道围岩塑性区变化特征的影响	143
5.5.5	侧边溶洞对锚杆轴力的影响	146
5.5.6	侧边溶洞对喷层内力的影响	148
5.5.7	本节结论及建议	150
5.6	隐伏溶洞对隧道稳定性影响的范围探讨	154
6	既有溶洞对隧道掌子面空间效应影响的研究	156
6.1	问题的提出	156
6.2	岩溶区隧道开挖中空间效应研究中的有关概念	156
6.2.1	空间效应的模拟问题及有关概念	156
6.2.2	位移空间变化特征研究中的有关概念	158
6.3	溶洞对隧道空间效应的影响研究	159
6.3.1	数值分析计算模型	159
6.3.2	顶部溶洞数值试验结果及分析	160
6.3.3	水平溶洞试验结果及分析	165
6.4	本章小结及施工建议	168
7	岩溶隧道工程问题的应对措施研究	170
7.1	引言	170
7.2	岩溶区隧道建设中存在的问题	171
7.3	岩溶区隧道围岩—支护结构的稳定性评价方法	171
7.3.1	隧道距岩溶溶洞的安全距离确定	171

7.3.2	隧道施工期围岩—支护结构稳定性的判别方法	173
7.4	岩溶区隧道设计、施工和支护的设计原则	175
7.4.1	岩溶区隧道的设计原则	175
7.4.2	岩溶区隧道的施工和支护原则	175
7.5	岩溶区隧道施工方案及主要内容	177
7.5.1	进行施工前岩溶勘察和地质调查	177
7.5.2	施工中的超前预报和安全监测工作	177
7.5.3	施工中的动态设计和施工	178
7.5.4	施工完成后的检测、验证和资料的分析阶段	178
7.6	本章小结	179
8	宜万铁路金子山岩溶隧道施工技术及工程实践	180
8.1	工程概况	180
8.2	复杂岩溶隧道四阶段施工技术应用	181
8.3	复杂地质条件隧道综合立体式超前地质预报技术	182
8.3.1	物探法超前地质预测原理及技术	182
8.3.2	综合立体式超前地质预报技术及相关问题探讨	186
8.3.3	综合立体式超前地质预报范围及相关问题	188
8.4	综合立体式超前地质预报在新疆穿天山公路隧道中的应用	188
8.4.1	将军沟隧道概况	189
8.4.2	玉希莫勒盖隧道概况	190
8.4.3	将军沟隧道 TSP 探测	191
8.4.4	玉希莫勒盖隧道地质预报	194
8.5	本章小结	196
9	武都水库导流洞穿越既有岩溶隧道稳定性分析及评价	197
9.1	工程概况及工程地质条件	197
9.1.1	工程概况	197
9.1.2	工程区域内的岩溶形态及发育特征	197
9.1.3	隧道地质条件	198
9.2	岩溶区隧道现场量测试验概况	198

9.3	围岩内部位移场特征的对比分析	198
9.4	隧道特征点变形特性的对比分析	200
9.4.1	无溶洞时隧道围岩空间效应特征曲线	200
9.4.2	隧道典型断面位移观测结果对比分析	201
9.4.3	侧边溶洞对隧道水平位移的影响分析	201
9.4.4	顶部溶洞对隧道位移影响的观测结果及分析	203
9.5	围岩及支护结构应力的对比分析	203
9.6	武都水库导流洞施工期稳定性评价	204
9.6.1	收敛速度评价准则应用	205
9.6.2	支护结构内力评判标准应用	208
9.7	本章小结	208
10	研究结论	210
	参考文献	212

1 绪 论

1.1 隧道岩溶危害

1.1.1 研究对象界定

在我国,一般习惯上将交通用的各种地下通道称之为“隧道”,如铁路隧道、公路隧道等,而将用于输水等地下通道称之为“隧洞”,如水利水电工程的输水隧洞等(王桂芳 1992)^[1]。但实际上,不论隧洞或是隧道,它们均是建造在岩土体中的地下结构,只是功能及所受的荷载不同而已,其设计及计算方法是基本相同的。因此,本书所指的“隧道”包含了“隧洞”在内的地下结构体,且假定是建造在岩体中的。

岩溶(又称喀斯特 Karst)是指可溶性岩层,如碳酸盐类岩层(石灰岩、白云岩)、硫酸盐类岩层(石膏)和卤素类岩层(岩盐)等受水的化学和物理作用产生沟槽、裂隙和空洞,以及由于空洞顶板塌陷使地表产生陷穴、洼地等现象和作用的总称^[1-7]。在本书研究中所提到的岩溶主要指岩溶溶洞,是指在隧道建设中处于隧道围岩之中,对隧道的施工产生一定影响的岩溶洞穴。而处于此类地质条件下的隧道称之为岩溶隧道。

1.1.2 隧道岩溶危害

岩溶是山区隧道建设中常见的地质灾害之一^[8-12]。据已有资料报道,世界上许多国家每年都有因不同程度的隧道岩溶危害而造成巨大的经济损失。仅以美国为例,至少有 20 个州,尤以东部各州隧道岩溶危害比较严重。此外,在南非每年仅隧道岩溶危害死亡人数就多达几十人,造成了巨大的生命和财产损失^[12]。

我国幅员辽阔,有 70% 的国土面积为山区,地理地质条件十分复杂,且是世界上岩溶分布最广的国家。在全国 960 万 km^2 的国土面积上,可溶岩层的分布面积达 $3.443 \times 10^6 \text{km}^2$, 约占国土面积的 1/3。碳酸盐岩出露面积为 $9.07 \times 10^5 \text{km}^2$, 接近国土面积的 1/10,遍及全国各省、市和自治区,其中北方山西高原及邻近省区的岩溶约占 47 万 km^2 ,西南部以云、贵、桂为主,包括川、鄂、湘部分地区的岩溶高原约占 50 万 km^2 。这中间仅贵州、广西和云南三地而言,岩溶出露面积就占三地总面积的 50% 左右;其次,四川省也是岩溶分布较为广泛的省份之一^[9-11]。在上述几地每年都有因不同程度的岩溶危害而造成巨大的经济损失和危及人身安全的事故。

在以上地区进行水利、铁路、公路建设中,常常会遇到岩溶地区的大断面隧道工程建设,根据目前西部已建和在建隧道的不完全统计,位于岩溶地区的隧道占 50%,由于岩溶这种不良地质现象的存在给隧道的施工和运营造成了严重威胁^[11]。如铁路方面,建于岩

溶区的 26 座长隧道(统计资料为 1989 年底),在建设中几乎不同程度地遇到了地下岩溶坍塌和地下水等灾害,发生过较大岩溶灾害的有 10 座之多,占 38.64%,而在西南、中南地区 17 座岩溶中、长隧道(长度在 2~3km)中,近 50% 发生过较大岩溶灾害(王建秀,1990 年)^[6]。如西南隧道、渝怀铁路的圆梁山、武隆、歌乐山等隧道,其中西南隧道在施工中就碰到了大小洞穴 80 余处,岩溶顶、底板和侧边溶洞的突然塌陷或掉块引起隧道和支护结构的破坏,并引发了大量塌方,严重影响了隧道的正常施工^[4]。位于贵州省遵义市红花岗区忠庄镇,全长 675m 的夏家庙隧道,其洞身出现大小不等的溶洞十余个,发生了数次塌方。而跨越桂、黔、滇三省,总长 898km 的国家重点建设工程南宁—昆明铁路,其可溶岩地段的隧道线路长度 387.6km,占总长度的 43%(李坚,1998)^[13]。东起南宁,西至昆明,北接红果,全长 900km 的南昆铁路,沿线碳酸盐岩分布长达 387.6km,全线隧道 263 座,长 1954km,岩溶问题是隧道主要工程地质问题之一(蒋忠信)^[14]。

我国岩溶发育区,其水电资源十分丰富,随着我国国民经济和社会的发展以及西部大开发策略的实施,大量的水电工程已修建或将修建于可溶性岩层中。如乌江渡、鲁布革、东风、隔河岩、天生桥、岩滩、龙滩、猫跳河 7 级以及在建的锦屏二级和溪落渡等巨型电站,其水工隧洞不同程度地穿越了岩溶地层^[15-19]。同时,随着我国全面建设小康社会宏伟规划的逐步深入,我国道路(公路、铁路)建设迎来新的发展机遇期^[20]。隧道工程作为土建工程中的一种特殊构筑物,因其具有克服高程、缩短路径的功能,使其在公路、铁路、水电等行业中广泛使用,因此我国的隧道建设的数量、长度和复杂程度将超过历史上的任何时期,这为我们隧道工程建设技术的进步提供了难得的发展机遇^[21-23]。

岩溶对隧道的工程影响主要表现为隧道周边变形、失稳,常常导致隧道开挖中局部坍塌、掉块、落石;另一方面,岩溶涌水也是岩溶对隧道的主要工程影响之一,它不仅影响施工,而且直接危及人员和机械设备的安全^[16-18]。鉴于目前在岩溶隧道建设中缺乏岩溶对隧道影响的深入系统研究,其已严重影响了岩溶区隧道的设计和施工^[10-12,26],且目前国内尚无指导岩溶区隧道建设的规范性或指南性文件,因此,在岩溶区隧道建设中,有必要结合工程实例研究岩溶对隧道建设的影响,探讨其规律性;在此基础上论证岩溶地区隧道建设的可能性,分析隧道施工中可能遇到的岩溶地质灾害,提出合理的建设方案、工程位置及防治措施。以便能有针对性地进行溶洞的处理或预处理,这对于岩溶区隧道建设的安全性和提高岩溶区隧道工作的预见性和效率,减少溶岩地质灾害有十分重要的现实意义(曹柏树,2004 年)^[24]。

1.2 当前岩溶区隧道建设中存在的工程问题及研究现状

随着我国国民经济和社会的发展,众多的隧道工程将穿越地质条件复杂的岩溶地段。但现阶段关于岩溶区隧道建设经验很少,这使得岩溶区隧道的建设多数处于盲目施工状况,岩溶问题成为制约工程施工进度和质量的“瓶颈”(雷勇伟,2004)^[16]。本节就岩溶区隧道建设中存在的工程问题及研究现状作以简单的回顾和论述。

1.2.1 岩溶区隧道建设中存在的问题

岩溶问题是可溶性岩山区修建隧道工程的突出问题,其危害大,教训深刻。多年

来我国在铁路、水工、公路隧道施工中均遇到了岩溶突水、突泥,顶板溶洞充填物陷落冒顶和底板塌陷等问题。国外,在欧洲阿尔卑斯山隧道及其他一些越岭隧道中也发生过类似问题,造成人员伤亡和施工设备损坏,严重影响了施工工期,增加了大量的工程费用,且在运营期间也因岩溶问题造成了中断行车等事故。我国 20 世纪 60 ~ 70 年代在西南修建的滇黔铁路、成昆铁路、襄渝铁路等均遇到大量岩溶问题。在贵昆铁路梅花山隧道施工中遇到了大量岩溶溶洞坍塌等问题;贵昆铁路岩脚寨隧道也遇到了同样的问题。而在襄渝铁路大巴山隧道,京广铁路大瑶山隧道等均因施工岩溶问题的处理问题给运营造成了长期危害^[28]。近年来,在西南修建的水工隧道、铁路隧道、公路隧道都不同程度地遇到了岩溶灾害甚至造成重大事故,如广安—重庆高速公路华蓥山隧道在多处发生了岩溶洞穴坍塌事故,渝怀铁路圆梁山隧道发生了特大岩溶涌水,对隧道施工造成了极大影响^[29]。

应该特别指出的是,尽管我国岩溶地区的铁路、水工、公路等隧道工程建设已有 40 多年的历史,施工的大长隧道也有数十座,经验、教训很多,但由于体制及管理方面的原因,却不能全面的总结提高,形成系统的理论和方法,同类失误多次重复出现(韩行瑞, 2004)^[17]。因此,抓住目前岩溶区正在修建大量隧道的有利时机,积极开展岩溶隧道施工问题的研究和施工措施改进以及进行岩溶地层施工技术与安全措施的研究与应用,确保施工工期和施工安全,是隧道工作者的重要任务。

在岩溶发育地区修建隧道,除存在与非岩溶地区共同的工程地质问题外,还有其特殊的问题。这些问题的产生,均与岩溶洞穴的发育程度、溶洞的空间形态以及岩溶地下水等密切相关,归纳起来主要是水、溶洞洞穴及其充填物等方面的危害(陈大军,2001 年)^[30]:

(1)隧道围岩范围内岩溶水存在,使隧道工程水文地质条件发生了变化,造成围岩物理、力学性质的变化,使隧道围岩强度降低,围岩渗透水压力增加。岩溶水最直接的表现在于其易造成隧道涌水、突泥等。

(2)隧道围岩中溶洞的存在,使围岩物理、力学性质发生了变化,并且造成隧道地层刚度和围岩应力场发生变化。在隧道开挖过程中,溶洞使得隧道的施工力学过程更加复杂,造成围岩中应力集中,导致隧道周边变形量的增加,并可能导致围岩坍塌,影响隧道成洞。

因此,岩溶区的隧道建设必须面对三大地质问题,即隧道体系的稳定性问题(包括围岩、溶洞和支护结构等),岩溶隧道施工中的涌水、突泥问题和因隧道施工造成的环境水文地质条件变化而引起的环境效应问题。

对于岩溶隧道的岩溶涌水、突泥问题,已进行了较深入的研究^[16,17,31~37],从隧道涌水、突泥的先期预测、预报,涌水量的估算和排泄,一直到施工治理措施等都有一套较完善的方法,当然也存在较多的问题需要进一步的研究和探讨。但对于第一类和第三类问题,因涉及环境等学科的问题,在此将不进行讨论。本书主要就岩溶溶洞引起的隧道力学状态的变化、隧道体系稳定性和施工措施等方面的问题进行研究。

当前,岩溶区隧道建设主要存在如下几方面的问题:

1)在隧道建设中,岩溶作为一种特殊的特殊地质洞段,不同行业和层次的地质勘察规范对穿越岩溶区隧道的勘察提出了一些具体的规定,但岩溶区的隧道施工至今尚未有规

范性或指南性文件,隧道的施工往往是盲目性的。其主要表现为:

(1)岩溶区隧道的施工至今仍沿用一般隧道的施工方法,尚无适合岩溶地层的施工技术与安全措施,致使隧道岩溶灾害频频发生。

(2)岩溶区隧道的施工往往是在被动情况下进行的。对影响隧道围岩一支护结构稳定性或影响隧道运营的隐伏溶洞的探测、预报、防治和处治等无可供施工应用的规范,岩溶区隧道施工及运行中事故频发。

(3)对岩溶区隧道施工中有关问题的现场研究不足,技术资料积累体制及管理不完善,因此,尽管我国岩溶地区的隧道建设的经验、教训很多,但施工技术至今未能有实质性改善和提高,未能形成系统的理论和方法,同类失误多次重复出现(韩行瑞,2004)^[17]。

2)对不同空间形态的溶洞对隧道围岩一支护体系应力、位移和支护结构内力的影响研究不足,施工中开挖、支护措施无针对性。其主要表现为:

(1)对在施工中出露的溶洞问题,一般用回填、跨越等方法;对围岩范围内对隧道施工影响不明显的隐伏溶洞,一般不进行处理,易引起隧道失稳,影响施工安全和运营期安全。

(2)在支护设计上主要是借用无溶洞时的支护措施,对出露溶洞一般均采用在原有支护上按经验加强支护的措施,对支护的安全性和经济性缺乏评价,对围岩一支护结构的安全评价不能考虑溶洞的影响,使得支护设计不是强度不足就是支护刚度过大,造成浪费。

(3)在岩溶段隧道的支护设计中,不能根据隐伏溶洞对围岩应力、变形等的影响规律以及因溶洞导致的围岩应力集中和塑性区的变化特点有针对性地进行加固,即采用全断面基本统一的支护措施。

(4)岩溶区隧道的位移变化特征不同于无溶洞时的围岩变形特征,对不同空间位置的岩溶对隧道围岩一支护结构稳定性的影响缺乏研究,缺乏合理的溶洞处理方案和针对岩溶影响而采取的预处理措施,因此,溶洞的处理大多是盲目性的。

3)岩溶区隧道的施工不同于一般隧道,岩溶溶洞的存在使得岩溶区隧道的施工动态过程复杂多变,因此,在施工中必须特别加强施工中的超前预报、预测以及施工信息的动态管理,并对施工效果进行合理的评价,但目前在施工中基本不作溶洞稳定性的超前预测、预报;且施工完成后基本无处理效果的监测,即对处理措施的经济、合理性缺乏评估和检验。

1.2.2 岩溶区隧道建设工程问题研究现状

岩溶区的隧道建设除存在与非岩溶区共同的工程问题外,还有其特殊的问题。岩溶洞穴的存在,改变了隧道的初始应力场,使隧道地层的刚度发生了变化,造成围岩应力场、变形场的异常,导致隧道围岩在施工中易出现坍塌失稳现象。对岩溶区隧道工程问题的研究,当前研究和探讨主要集中在以下几个方面:

(1)岩溶区隧道影响范围内岩溶洞穴的探测问题;

(2)隧道影响范围内不同空间位置和尺寸的溶洞对隧道体系位移场、应力场以及隧道支护结构受力的影响和岩溶对隧道施工动态的影响;