

铁路岩溶 路基与注浆技术

孙健家 汪水清 编著

TIELU YANRONG LUJI YU
ZHUJIANG JISHU

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路岩溶路基与注浆技术

孙健家 汪水清 编著

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 1 4 年 · 北 京

内 容 简 介

本书以宁安铁路岩溶路基的勘察与注浆处理工程为基础,总结了新建铁路岩溶路基的勘察、岩溶发育特征与规律、注浆处理的浆液与技术试验、岩溶路基注浆设计、注浆施工技术、注浆效果检测等,同时对铁路运营线岩溶塌陷处理进行了论述,提供了新建铁路与运营线岩溶路基勘察、注浆处理的成套技术与经验,对类似地质与工程条件下的岩溶路基处理、岩溶塌陷治理具有一定的借鉴和指导意义。

本书可供铁道工程、公路工程及岩溶整治工程相关领域的技术人员参考,也可作为高等学校师生的教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

铁路岩溶路基与注浆技术/孙健家,汪水清编著. —北京:中国铁道出版社,2013. 7

ISBN 978-7-113-16866-7

I. ①铁… II. ①孙… ②汪… III. ①铁路路基—岩溶—灌浆 IV. ①U213. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 138071 号

书 名:铁路岩溶路基与注浆技术

作 者:孙健家 汪水清 编著

策 划:时 博

责任编辑:时 博

编辑部电话:010-51873141

电子信箱:crph@163.com

编辑助理:曹 旭

封面设计:郑春鹏

责任校对:马 丽

责任印制:陆 宁 高春晓

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:北京市昌平开拓印刷厂

版 次:2014年4月第1版 2014年4月第1次印刷

开 本:787 mm × 1 092 mm 1/16 印张:9.5 字数:160 千

书 号:ISBN 978-7-113-16866-7

定 价:39.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

前 言

岩溶是指水对可溶性岩石进行以化学溶蚀作用为特征的综合地质作用,产生的各种地质作用、形态和现象的总称。我国岩溶地区分布广泛,碳酸岩出露面积达 203 万 km^2 ,加上埋藏型共计 365 万 km^2 ,占国土面积的 $1/3$ 。在我国铁路建设过程中,特别是近 10 年铁路快速发展期,在京沪、宜万、京福、宁安、渝怀、南广、南昆等铁路工程中,遇到大量岩溶工程问题,岩溶问题已经成为铁路工程中的主要问题之一。随着铁路运营线行车速度以及载重的不断提高,岩溶路基病害对路基稳定性的影响也越来越大,岩溶塌陷成为铁路地质灾害的主要类型,给铁路行车安全带来很大威胁。因此,分析总结铁路岩溶路基在勘察、设计与整治处理方面的研究成果与经验就显得非常紧迫和必要。

本书以铁路岩溶路基为对象,包括新建铁路和运营线两大部分。全书共分 8 章,第 1 章为概述,说明基本概念和路基岩溶问题,阐述了岩溶分类及其对铁路路基的影响,分析了岩溶路基处理技术以及最常用的技术——注浆。第 2 章~第 7 章以宁安铁路岩溶路基工程为依托,对铁路新建线路的岩溶路基勘察、(宁安)铁路岩溶发育特征与规律、注浆处理浆液与技术试验、岩溶路基注浆设计、注浆施工技术、注浆效果检测进行了系统论述。第 8 章对运营线路岩溶问题及其危害进行综述,结合实例论述运营线岩溶探测技术,说明路基地面塌陷的处理技术和方法,结合实例论述注浆处理的设计与施工技术。

本书的目的是综合国内外岩溶路基的研究成果与经验,提供新建线路与运营线岩溶路基勘察、注浆处理技术的成套技术与经验。

本书提供的岩溶路基处理成套技术可用于铁路、公路岩溶路基处理,注浆技术可用于相关工程,路基岩溶注浆工厂化、标准化模式和控制技术措施可推广应用。

本书可供铁道工程、公路工程及岩溶整治工程相关领域的技术人员参考,也可作为高等院校师生的教学参考用书。

作者学识水平有限,欢迎读者批评指正。

作 者

2013 年 6 月

目 录

1 概 述	1
1.1 岩溶与铁路岩溶路基	1
1.2 岩溶分类及其对铁路路基的影响	2
1.3 岩溶路基处理与注浆技术	5
1.4 研究铁路岩溶路基与注浆技术的目的与意义	6
2 岩溶路基勘察	7
2.1 概述	7
2.2 勘察阶段与勘察内容	8
2.3 勘察方法	10
2.4 勘察方法综合评价	21
3 宁安铁路岩溶发育特征与规律	23
3.1 宁安铁路工程与水文地质	23
3.2 宁安铁路岩溶与形成机理分析	25
3.3 宁安铁路岩溶整体发育特征	27
3.4 宁安铁路岩溶危害及分析	48
3.5 小结	50
4 岩溶路基注浆浆液与技术试验研究	52
4.1 注浆浆材的选择	53
4.2 试验基本情况	56
4.3 浆液配合比试验	59
4.4 注浆技术试验	64
4.5 试验检测	66
4.6 小结	70

5 岩溶路基注浆设计	74
5.1 注浆设计原理、目的、原则及规程.....	74
5.2 岩溶注浆方案设计.....	76
5.3 注浆材料与浆液配合比.....	79
5.4 注浆孔布置与参数设计.....	80
5.5 注浆压力.....	83
5.6 单孔注浆量.....	86
5.7 注浆计算参数的选择和确定.....	87
5.8 注浆结束标准.....	87
6 岩溶路基注浆施工技术	89
6.1 岩溶路基注浆施工规程.....	89
6.2 岩溶注浆施工标准化作业.....	90
6.3 岩溶注浆设备与系统.....	90
6.4 岩溶注浆加固施工工艺.....	94
6.5 岩溶注浆加固技术控制	100
6.6 现场施工问题及处理	106
7 岩溶路基注浆效果检测	110
7.1 注浆质量检测规程	110
7.2 注浆效果检测方法	110
7.3 宁安铁路注浆效果检测	114
7.4 洛湛铁路岩溶路基注浆加固效果检测	121
8 既有线岩溶路基探测与塌陷处理	125
8.1 营业线岩溶问题及其危害	125
8.2 既有线岩溶探测	126
8.3 运营线岩溶塌陷处理方法	133
8.4 既有线岩溶注浆设计与施工	134
参考文献	142

1 概 述

本章将主要说明岩溶概念和铁路新线与既有线路基岩溶问题,阐述岩溶分类及其对铁路路基的影响,分析岩溶路基处理技术以及最常用的技术——注浆,最后说明本书编写的目的和意义。

1.1 岩溶与铁路岩溶路基

1. 岩溶

岩溶也称喀斯特(Karst),指水对可溶性岩石(石灰岩、白云岩、石膏、岩盐等)进行以化学溶蚀作用为特征(包括水的机械侵蚀和崩塌作用以及物质的携出、转移和再沉积)的综合地质作用,产生的各种地质作用、形态和现象的总称。

我国岩溶地区分布广泛,碳酸岩出露面积达 203 万 km^2 ,加上埋藏型共计 365 万 km^2 ,占国土面积的 1/3。其中,西南地区是我国最大的连片岩溶强发育区,包括贵州、云南、广西、湖南、四川、重庆、湖北、广东等省(市、区),岩溶区面积达 105.5 万 km^2 ;华北、东北约占 22 万 km^2 ;西部(包括西藏)约 38 万 km^2 ,但西部岩溶不发育。碳酸盐岩地层,几乎包括从太古元古界到新生界各不同地质时期,但其中以古生代地层最为重要。

随着经济的发展,铁路、公路、输油管线等线性工程不可避免地要经过岩溶区,岩溶塌陷等问题是这些线性工程建设面临的主要问题之一。因此,岩溶及其对工程的影响越来越引起人们的重视。

2. 铁路岩溶路基

(1) 新线

新建铁路经过岩溶地区,会给隧道、路基和桥梁基础工程的设计、施工以及运营造成很大影响,甚至构成威胁。因此,在设计各个阶段都需要对岩溶地质进行相应的勘探,查明岩溶及其发育特征与规律,掌握岩溶洞穴、竖井、漏斗等具体位置、大小、充填情况及稳定性、暗河流经的方向和途径,弄清地表水

与地下水流的相互补给及排泄关系等。也需要掌握线路与岩溶的空间关系,评价其对铁路工程的影响。在对岩溶发育特征与规律充分认识的基础上,做好岩溶地区线路方案比选、设计和施工。

在岩溶地区选线,必须认真勘察,全面了解岩溶发育范围、特征及严重程度,慎重确定线路的走向和位置。一般情况下,对大型的、处于强烈发育阶段的岩溶、不易搞清楚的岩溶严重发育地段,应尽量设法绕避;对于中、小型的、已停止发育的岩溶,可择其窄处、易于处理的部位通过。根据岩性及地质构造,宜将线路选在难溶岩层通过,宜避开地质构造破碎带,使线路方向与主要构造线正交或较大夹角斜交,以减少其影响;可溶岩层与非可溶岩层和不透水层的接触带常诱发落水洞、漏斗、塌陷及暗河等,故应予绕避;当覆盖层厚、土洞特别发育、岩溶处理困难、费用巨大时,应以桥代路通过。

岩溶地区常用的地基处理措施主要填壑处理、结构跨越、强夯加固、注浆加固以及综合治理等。施工中采用合理的整治与处理措施,才能防患于未然,将岩溶问题带来的影响降到最低程度。

(2) 既有线

由于勘察、设计等方面的原因,线路在通车运营后发生岩溶塌陷,会给铁路安全带来很大的威胁。岩溶塌陷是铁路地质灾害的一种,随着铁路行车速度以及载重的不断提高,岩溶路基病害对铁路路基的稳定性影响越来越大,对铁路行车安全构成隐患。岩溶给包括铁路在内的各类工程建筑造成的危害,主要是岩溶塌陷或不均匀沉降。岩溶路基的病害可分为两大类:一是变形问题,二是水害问题。覆盖型岩溶地区的主要工程地质问题是地面塌陷。塌陷是溶洞、覆盖土体、水(气)所组成的综合体系,在自然和人为因素作用下的结果。

对运营阶段的岩溶路基塌陷问题采用探测、评价、处理、评估的方法,才能彻底治理。

1.2 岩溶分类及其对铁路路基的影响

1. 岩溶类型

(1) 按可溶岩石的埋藏条件划分

岩溶按埋藏条件可以分为裸露型、浅覆盖型、深覆盖型和埋藏型四种。

裸露型岩溶主要表现为:可溶岩出露于地表,上面没有或很少覆盖物,地表岩溶显著。

覆盖型岩溶主要表现为:可溶岩被第四系松散堆积物覆盖,不出露于地表,覆盖层厚度一般小于 50 m,在覆盖层下发育的岩溶形态在地表也有所表现。

埋藏型岩溶主要表现为:可溶岩上覆覆盖层厚度大于 50 m,地面上无岩溶现象,而在地下深处发育岩溶,一般代表古岩溶,对勘探石油和地下水具有重要的意义。

(2) 按可溶岩种类划分

按可溶岩类型可分为石灰岩岩溶、白云岩岩溶、石膏岩溶、岩盐岩溶、钙质岩岩溶等。

(3) 按石灰岩性质和岩溶发育程度划分

按石灰岩性质分为全岩溶(发育在纯质石灰岩中的岩溶)和半岩溶(发育在不纯的石灰岩、白云岩等中的岩溶)。

按发育强度可以分为强烈发育、中等发育、弱发育和微弱发育四级。

不同类型的岩溶及其与路基结构的空间关系,导致其对路基的影响差别显著,所带来的岩溶问题也各有不同。

2. 岩溶对路基的危害

岩溶对路基的危害主要有列三个方面:

(1) 岩溶洞穴的危害

岩溶洞穴使路基或轨道以及其他路基建筑物悬空。

(2) 岩溶水的危害

岩溶水的汇积或涌水,使基底被水浸泡,路基松软下沉、坍塌,乃至淹没与冲毁路基。

(3) 岩溶地面塌陷的危害

岩溶地面塌陷,导致基底坍塌成坑,路基下沉、坍塌。

上述三种危害就其发生的频率、危害程度及防治的难度来看,以岩溶地面塌陷较为突出。岩溶地面塌陷是:开口岩溶形态与上覆土层(或软岩)中的水、气对盖层发生的力学效应在地面形成的塌落。因此,它既不同于矿山采空引起的地面坍塌,也不同于抽取地下水、疏干土体而引起的大规模地面沉降,更不是基岩洞穴的岩石顶板坍塌。

3. 岩溶对路基影响评价

实践证明,岩溶发育区的覆盖土层、土洞及溶洞、溶蚀裂隙带,在地表水和地下水循环反复变化及抽排地下水等人为活动影响下,极易破坏地基稳定性,诱发地面塌陷,从而危及路基稳定。因此,岩溶地区路基设计应在综合分析路

基稳定性的前提下,对影响路基稳定的岩溶和岩溶水进行预防和处理。不加处理或处理不当,不仅会产生各种路基病害,影响行车安全,而且将导致水资源污染、利用严重受限,影响当地生产、生活正常秩序等环境问题。

(1) 裸露型岩溶

影响铁路裸露型岩溶路基稳定性的主要因素有:岩溶洞穴、竖井、暗河发育程度及其平面走向和立面位置与线路关系;洞穴发育所在层位、岩性、构造关系,洞体的完整性及稳定程度等,特别是洞顶、洞壁、洞底的完整程度,裂隙的分布特征、充填与胶结情况,顶板岩层的产状、厚度等;地下水位及其流速、流向、流量,洞内沉积物特征、成分及物理力学性质;以及外部所加荷载状况,岩石含水量及温度变化影响,以及洞内水流搬运的机械破坏作用等。

当岩溶洞穴位于路基两侧时,需根据划定的安全距离(所谓洞穴安全距离是指洞穴一旦塌陷呈漏斗型时,不致影响路基安全的距离),对达不到安全距离的岩溶洞穴进行稳定性评价。由于影响洞穴坍塌的因素较多,没有可靠的计算公式,可按坍塌时的扩散角进行估算。

当岩溶洞穴位于路基下方时,分完整顶板和不完整顶板两种情况,完整顶板是指未被节理裂隙切割或虽被切割但胶结良好,可视为整体的洞穴顶板。否则即为不完整顶板。完整顶板安全厚度的估算有荷载传递线交汇法、类比法和按梁板受力弯矩情况估算等方法,不完整顶板安全厚度估算有普氏冒落拱法、经验公式法、塌落平衡法、洞顶坍塌堵塞估算法、结构力学分析法。

(2) 覆盖型岩溶

覆盖型岩溶是指可溶岩被第四纪松散堆积物所覆盖,覆盖层厚度一般小于 50 m,覆盖层下的岩溶常对地表地形有影响。覆盖型岩溶地貌多见于岩溶化平原、盆地及丘陵地区,第四系覆盖层薄,岩溶溶洞、裂隙发育,顶板过薄,土石界面存在溶蚀裂隙或通道。岩溶水以水平运动为主,埋藏浅,水量丰富,地下水呈微承压型。

覆盖型岩溶主要分布在我国东部地区,由于地下水活动产生土洞,逐渐发展导致地表塌陷。经过该地区的既有铁路如津浦线、辛泰线、浙赣线、皖赣线、湘黔线等都因岩溶的作用而路基下陷或下沉,严重影响了列车的安全运营。如浙赣线分宜至彬江段,因岩溶塌陷的影响,列车被限速 5 km/h 通过该区段,严重影响了华东地区到东南、西南等地区客运和货运的畅通。1995 年底对该区段路基进行了灌浆处理,列车才恢复了正常运行。

由于岩溶地形丰富,再在其上覆盖一定厚度的土层,要查清覆盖型岩溶地区的岩溶的发育情况、土洞的发育情况、地下水的变化情况等是非常困难的,

因而要定量地评价覆盖型岩溶地区的稳定性非常困难。只有根据岩溶的发育情况,覆盖土层的性质、厚度,地下水位的变化情况,已有塌陷情况等对其进行定性的评价。综合考虑各种因素,一般把覆盖型岩溶地区划分为稳定区、较稳定区、可能塌陷区和塌陷区。对塌陷区要及时进行整治处理,对可能塌陷区也要进行预防处理。

(3) 埋藏型岩溶

埋藏型岩溶的可溶岩地层(岩溶含水岩组)埋藏于非可溶性基岩之下。埋藏型岩溶区主要分布于四川盆地的盆底边缘及盆周山地,包括盆地东部的重庆市,在其他地区也有发育。埋藏型岩溶地下水主要分布于背斜的倾伏端及其缓翼。埋藏型岩溶含水岩组富水性均匀,岩溶地下水具有统一的地下水动力场,多为承压水,往往具有较高的水头,其出露形式多为岩溶上升泉或泉群,流量或水位动态变化小。古岩溶和深部岩溶发育,其埋藏深度和水循环深度可达 2 000 ~ 3 500 m。埋藏型岩溶地下水经过深部循环,多形成硫酸盐型高温热水。埋藏型岩溶含水岩组中还蕴藏着较丰富的卤水。

埋藏型岩溶区被充填(或半充填)的溶洞、管道的充填物被掏空,上覆基岩或土层失稳后造成塌陷,也会对路基造成影响。

1.3 岩溶路基处理与注浆技术

1.3.1 岩溶路基处理技术

岩溶地段路基设计应根据工程地质勘察资料,对路基稳定性及环境影响进行综合分析,合理采取回填、跨越、加固等处理措施。

对危及路基稳定的溶洞、溶蚀裂隙发育带及覆盖层土洞处理,应按下列方法考虑:

(1) 裸露和埋藏较浅的溶洞可根据其大小、深度、所处位置及施工条件选择回填封闭、盖板跨越、支顶加固等措施处理。覆盖层厚度小于 5 m 的溶洞和溶蚀裂隙发育带,采用注浆加固时,注浆深度应根据溶蚀裂隙发育情况或溶洞大小、顶板厚度、溶洞的厚跨比等综合确定。路基基底以下处理深度不宜小于 10 m。

(2) 埋藏较深的溶洞和溶蚀裂隙发育带,宜采用注浆封闭土、石界面,形成隔水帷幕,厚度为 5 ~ 8 m,其中进入基岩内的深度不宜小于 3 m;岩溶很发育,溶洞呈串珠状或空洞较大时,进入基岩内的深度应适当增加。

(3) 覆盖层土洞埋藏较浅时,宜回填夯实并作好地表水的引排封闭处理;

土洞埋藏较深时,宜采用充填、注浆或全覆盖层注浆加固等措施处理。

(4)对易产生土洞的覆盖层,宜针对诱发因素采取注浆加固或封堵等措施。

1.3.2 岩溶路基注浆技术

实践证明,注浆技术是新建线路岩溶路基工程中处理岩溶行之有效的一种方法,也是治理既有线岩溶路基塌陷的有效方法。

注浆就是将一定的材料配制成浆液,利用泵压将其注入到地层的裂隙、孔隙和空洞之中,浆液扩散、凝固、硬化,以达到加固地层或堵水的目的。采用注浆法形成堵水或加固岩土의帐幕,必须完成两个主要过程,即物理化学和水力学过程。物理化学过程包括注浆材料的凝结和硬化机理,浆液配方的优化设计。浆液压注时的水力学过程包括浆液沿注浆管路及在地下沿孔隙、裂隙或空洞的流动过程。采用注浆法堵水或加固岩土时,无论是自地表还是自地下工作面,无论是预注浆还是后注浆,浆液材料都是经过注浆孔压注到地层的孔隙或裂隙中去。而由注浆孔向岩石或土壤的压注方式基本上有沿注浆孔注浆,沿注浆孔底面方式注浆和按不完整井方式压注三种。

1.4 研究铁路岩溶路基与注浆技术的目的与意义

本书以宁安铁路岩溶路基工程为依托,对铁路新建线路的岩溶路基勘察、(宁安)铁路岩溶发育特征与规律、注浆处理与技术试验、岩溶路基注浆设计、注浆施工技术、注浆效果检测进行了系统论述,最后,还对运营线岩溶塌陷处理进行了论述,目的是综合国内外岩溶路基的研究成果与经验,提供新建线路与运营线岩溶路基勘察、注浆处理技术的成套技术与经验。

本书提供的岩溶路基处理成套技术可用于铁路、公路岩溶路基处理,注浆技术可用于相关工程,路基岩溶注浆工厂化、标准化模式和控制技术措施可推广应用。书中提供的岩溶路基注浆技术已被上海铁路局录入《高速铁路施工工序管理要点》一书之中,在上海铁路局范围内全面推广。

2 岩溶路基勘察

铁路、公路、石油管线等线性工程通过岩溶发育地区,必须对岩溶洞穴的分布范围、埋藏深度、发育情况等勘察清楚,否则可能留下岩溶塌陷的地质隐患。采用物探、钻探、岩溶构造实地调查和水文条件分析等相结合的勘查技术手段,查明岩溶构造的空间分布形态以及平面分布位置,为岩溶路基的评价和处理提供科学依据,这就是岩溶路基勘察的任务和目的。

本章主要阐述岩溶路基勘察原则、分阶段勘察方案、勘察方法,并对各阶段勘察方法进行综合评价。

2.1 概述

铁路岩溶工程地质勘测的目的主要为查清:①岩溶的分布及其埋藏现状,如洞穴的形状、大小、延伸方向及其与铁路建筑物在空间位置的相对关系等;②岩溶岩层的完整性,如断裂破坏、节理切割、风化程度及由溶滤作用引起的岩石结构的破坏等;③岩溶的充水情况及其在质与量上的动态变化;④岩溶充填物的成分、稠度及力学性指标等。

为取得上述资料而进行的工程地质勘测是一件极其复杂而困难的工作。这一工作直到目前为止还没有一套令人满意的方法,而只能有条件地来解决。

众所周知,工程地质测绘包括地貌调查、地质测量及各种试验等。地貌调查是对地面上各种岩溶形态的直接观测,并对区域岩溶地貌的发育历史进行研究,是一种很重要的岩溶调研方法。某些能直接观察到的岩溶地下形态,如较大的溶洞及暗河等,亦为其调查范围。但是发育于碳酸盐岩层中的所有岩溶洞穴属隐蔽结构,而其又不可能将所有现象全部反映到地面上来,因此单纯凭地貌调查,是难以揭露岩溶发育的具体情况的。

地质测量包括地区的地层岩性、地质构造及水文地质的调查研究。根据第一章的叙述可知这些因素与岩溶发育的关系极其密切,是研究岩溶的基础。

勘探工作主要是指物探与钻探。物探具有成本低、工期短、效果好等优

点,其中的各种方法如电法、电磁法、重力法、地震法等均能解决岩溶地区的一定的工程地质问题,尤以电法及电磁法勘探收效最显著,因此已被广泛采用。尽管如此物探总不免要受到地形及地质条件的限制,故仍须与钻探互相配合,方能收到更好的效果。

此外,岩溶水的联通试验与长期观测的研究,对论断地区岩溶发育的特征具有很重要的意义,是全面评价岩路工程地质条件所不可缺少的资料。由此可知,岩溶地区的铁路工程地质勘测是一件极其繁复的综合性工作。

2.2 勘察阶段与勘察内容

铁道工程勘察通常按三阶段进行,岩溶地质勘察每一阶段的勘察工作内容和完成要求各不相同,要逐步深化、细化。

2.2.1 初测

初测阶段岩溶地质调绘,一是要查明勘察范围内岩溶的分布范围、发育程度和地层组合类型;二是对控制和影响线路方案的岩溶地段进行重点地质调绘。

初测阶段岩溶勘探应对岩溶发育地段路基沿线路纵向进行综合物探,对代表性物探异常点进行钻孔验证;一般地区勘探孔间距不宜大于 200 m,孔深应至路基基底下 10 ~ 15 m。覆盖型岩溶地段应适当增加钻孔数量和钻孔深度,必要时孔深应钻穿土层。

初测阶段岩溶测试应取地表、地下水样与代表性岩、土样进行试验。

与线路有关的暗河、大型溶洞、岩溶泉,宜进行连通试验。

初测阶段岩溶资料编制应包括:①工程地质说明,应阐明岩溶勘察的过程和结果,工程设计所需参数,需要采取的防治措施;②岩溶工程地质图(必要时作),应标明单个岩溶形态,特别是大型溶洞和暗河的投影位置,进行岩溶发育强度分区;③大型岩溶洞穴、暗河实测或调查成果图,应填绘建筑物测点位置、测图导线、断面位置,溶洞平、断面投影形态,溶洞充填情况及充填物性质,围岩裂隙产状及充填情况,地下水;说明观测图情况和对溶洞的认识和分析;④勘探测试资料、观测点、地质照片、调查、分析表等资料。

2.2.2 定测

定测阶段岩溶地质调绘应实测线路附近的暗河、溶洞、竖井、落水洞、洼

地、塌陷坑、漏斗的位置和形态,并包括:①洞穴顶板节理、裂隙分布及充填、胶结程度,岩层产状,单层厚度,洞顶、洞底、洞壁完整程度;②洞穴的形态尺寸,建筑物跨越洞穴的位置、宽度,洞顶板至建筑物基底间的岩层厚度;③洞内沉积物、水痕、积水、水流情况。

定测阶段岩溶勘探与测试:①对站场、房屋建筑物应先开展综合物探圈定异常范围,再采用钎探、挖探、钻探验证物探异常,查明基底岩溶洞穴和土洞;②对路基工点应先开展综合物探圈定异常范围,再采用钻探验证物探异常,查明基底岩溶洞穴和土洞;③分层、分区取地表和地下水、土、岩样进行分析。

定测阶段岩溶资料编制应包括:①工程地质说明:阐明岩溶勘察的过程,岩溶的分布规律,岩溶的形态特征、规模和类型,对线路的影响程度,工程设计所需参数,需要采取的防治措施、建议;②岩溶地区综合工程地质图(必要时绘制):可将岩溶地貌图及岩溶水文地质图的内容一并绘入;③工程地质图(必要时绘制):应标明单个岩溶形态,特别是大型溶洞和暗河的投影位置,岩溶井、泉位置、流量,地下水流动方向;④工程地质纵断面图(必要时绘制);⑤工程地质横断面图;⑥溶洞穴、暗河实测或调查成果图:应填绘测点位置、测图导线、断面位置,溶洞平、断面投影形态,溶洞充填情况及充填物性质,围岩裂隙产状及充填情况,地下水;说明测图情况和对溶洞的认识和分析;⑦勘探、测试资料,观测点、地质照片,调查、分析表等资料。

2.2.3 施工阶段勘察

施工阶段岩溶地区工程地质勘察包括:①核对岩溶工点的工程地质资料;②施工中发生的岩溶工程地质问题,应提出工程措施意见和施工注意事项;③岩溶发育路堑地段,宜在路堑成型后,在路基面上进行物探,辅以钻探验证,查明隐伏岩溶的形态和空间分布;④必要时采用物探或钎探、风枪钻等简易勘探对隧道基底岩溶发育情况进行普查和钻探验证;⑤覆盖型岩溶可能产生地面塌陷地段,应根据施工揭露及钻探情况,分析可能塌陷的范围、程度,提出调整工程措施、建议。

施工阶段岩溶勘察资料编制应包括:①工程地质说明:应阐明岩溶工程地质条件,施工经过,勘察目的、要求、过程,完成工作量,验证效果及勘察成果;②隐伏岩溶工程地质平、纵断面图:应标明隐伏岩溶的位置、埋藏深度、类型和验证钻孔;③代表性溶洞断面图:应标明经钻孔验证并修改后的溶洞和其他岩溶范围。

2.2.4 运营阶段

运营阶段岩溶地区的工程地质勘察,应包括:①覆盖型岩溶可能产生地面塌陷地段,应进行地面塌陷监测预报;②运营中发生的岩溶地面塌陷工点,应调查地面塌陷成因、范围、危害程度,提出工程整治措施、建议,必要时应进行物探、钻探验证等综合地质勘察工作,为设计提供地质资料;③路基、站场等工程因岩溶而诱发的工程地质问题应查明原因,提出处理措施、意见。

运营阶段岩溶工点的资料编制,应有工程地质说明,即说明岩溶工点的工程地质条件,并结合工程建筑的特点,提出工程处理措施、意见。

2.3 勘察方法

岩溶地区的地质条件相当复杂,选用勘探方法时应注意其适用条件,且应采用多种勘探手段互相补充、相互验证,以提高勘探效果。

岩溶勘察技术方法主要可分为三类:①工程地质测绘(包括长期精密的形变观察);②工程物探;③工程钻探(坑探)和岩土物理力学性质测试及它们的合理组合。

在这三种方法中,测绘工作非常重要,没有地质资料的指导会陷入盲目性。物探是一种技术手段,虽然不能代替钻探,但它反映的异常区即是判定空洞区的依据,在覆盖较厚或情况不明地区,地质方法受到一定程度的限制。钻探成本太高,不可能以极密的网度来查明复杂的空洞的分布特征。这种情况下,物探方法在空洞勘察中具有极其重要的意义。在地质调查确定了空洞的大概位置后,空洞的准确位置、埋深要借助于物探的探测结果给出。由于物探在实际工作中取得了良好的效果,且成本低廉,故它是空洞勘察技术的关键。钻探是为了对物探异常进行验证和控制,同时也为了提取深部岩石样品,进行室内试验,提供岩土物理力学性质,为路基稳定性评价和空洞危险性分析提供参数。

图 2-1 给出了岩溶地质勘察途径和工作模式流程。

2.3.1 地质调绘

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