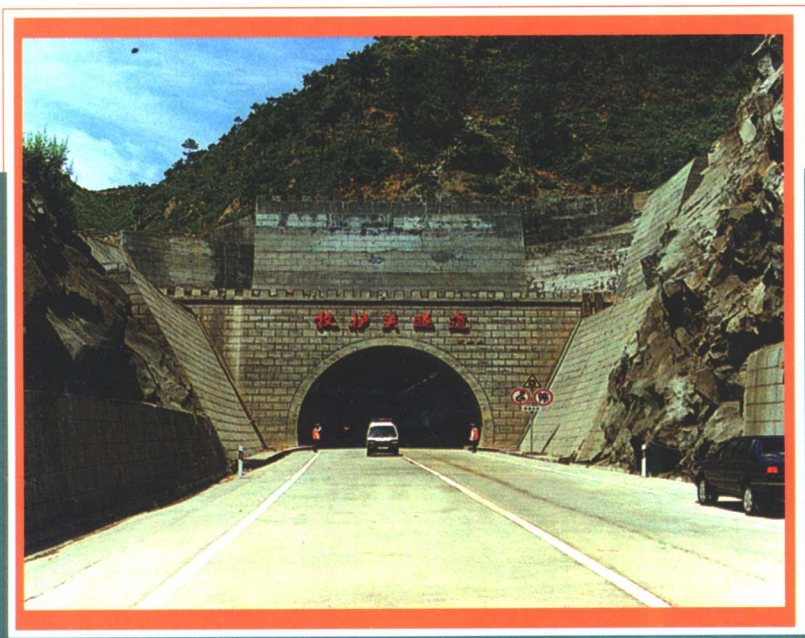


隧道工程试验 检测技术

Suidao Gongcheng Shiyan Jiance Jishu

交通部基本建设质量监督总站组织编写

陈建勋 马建秦 主 编



人民交通出版社

China Communications Press

公路工程试验检测技术培训教材

隧道工程试验检测技术

Suidao Gongcheng Shiyan Jiance Jishu

交通部基本建设质量监督总站组织编写

陈建勋 马建秦 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为《公路工程试验检测技术培训教材》分册之一。该书理论联系实际,强调实用性和可操作性,内容全面、系统;选材时,着重考虑了公路隧道的特点,同时还注意吸收地下工程其他行业的成功经验;一些章节是编者根据多年的工程实践对有关检测方法进行的归纳与探索。

全书共分九章,包括总论、超前支护与预加固围岩施工质量检测、开挖质量检测、初期支护施工质量检测、防排水材料及施工质量检测、施工监控量测、混凝土衬砌质量检测、通风检测、照明检测等;每章末还附有思考与练习,供读者巩固与提高之用。

该书为公路工程试验检测技术人员培训教材,也可供相关专业技术人员和大专院校桥隧专业师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

隧道工程试验检测技术/交通部质监总站编. —北京:
人民交通出版社, 2004.11
ISBN 7-114-05351-7

I. 隧... II. 交... III. ①隧道工程 - 试验②隧道
工程 - 检测 IV. U451

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第115456号

公路工程试验检测技术培训教材

书 名: 隧道工程试验检测技术

著 作 者: 交通部基本建设质量监督总站

责任编辑: 沈鸿雁

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)85285656, 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 三河市海波印务有限公司 一宝日文龙印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 11

字 数: 259 千

版 次: 2005 年 1 月 第 1 版

印 次: 2005 年 1 月 第 1 版 第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-114-05351-7

印 数: 0001—5000 册

定 价: 22.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

《公路工程试验检测技术培训教材》
编审委员会

主任委员：李景和

副主任委员：成平 徐岳

编写委员会委员：张超 郑南翔 王建华 王建军

陈建勋 赵一飞 许娅娅 马建秦

王建设 孙胜江 韩荣良

审定委员会委员：周绪利 何玉珊 易亚滨 韩文元

李荣均 王刚 丁彦昕 胡大琳

杨少伟 吕康成 徐培华 陈红

序

质量是工程的生命,试验检测是工程质量管理的重要手段。客观、准确、及时的试验检测数据,是工程实践的真实记录,是指导、控制和评定工程质量的科学依据。加强公路工程试验检测,充分发挥其在质量控制、评定中的重要作用,已成为公路工程质量管理工作的重要手段。

交通部历来对工程试验检测工作十分重视,1996年以来陆续颁布了《公路工程试验检测机构资质管理暂行办法》、《公路、水运工程试验检测人员资质管理暂行办法》、《公路工程试验检测培训管理暂行办法》等法规。一批有能力、有资质的工程试验检测单位,在公路建设快速发展的大潮中诞生、发展、壮大,工程试验检测人员的业务素质也稳步提高。2004年10月全国交通基本建设质量监督工作会议提出要进一步规范和发展工程试验检测市场,推行盲样管理、规范校准标定和严格比对试验,提高试验检测能力和水平。这是对新时期试验检测工作的新要求。

提高试验检测的能力和水平,就必须提高相关人员的素质。组织试验检测人员的培训教育和继续教育,是提高试验检测人员技术素质的有效途径。1999年我站组织编写出版了公路工程试验检测培训教材,对促进规范化的培训工作起到了重要作用。但随着我国公路建设技术的日益发展,原教材需要补充完善和提高。为此,我站于2004年7月委托长安大学公路学院对原教材进行了系统修订。修订工作继承了原教材的内容丰富、系统、涵盖面广、每本教材内容相对独立、完整、自成体系等特点,结合当前我国公路建设技术水平和国家、交通部有关标准、规范的发展情况,对相应内容进行了修正、调整,增补了当前公路工程试验检测的部分新理论和新技术。整套教材有理论,有基本操作讲解、有实例,全面、系统地介绍公路工程试验检测理论和实用技术。适用于广大试验检测人员全面系统地学习和掌握公路工程试验检测技术,也可用于学员单科培训或自学,并可作为试验检测水平考试的复习指导用书,具有较强的实用性和可操作性,基本能够满足公路工程试验检测工作的实际需要。

随着我国公路基础设施建设投资规模的加大,公路工程试验检测工作将更趋繁重。我们要努力开拓,使公路工程试验检测工作走上规范、健康的发展道路。广大公路工作者特别是从事公路工程试验检测工作的同志,要不断加强业务学习,努力提高自身素质,进一步增强责任感,切实提高试验检测工作质量和水平,提供真实可靠的试验检测数据,为正确指导、准确控制和客观评定公路工程质量提供科学的依据和手段,促进公路工程质量提高到新的水平。

在该套教材的修编过程中,长安大学公路学院精心组织,克服时间紧、任务重的困难,按时完成了编写任务;人民交通出版社为编写单位提供了大量的参考资料,为编写工作的完成提供了有力的保证;有关专家认真审查教材内容,提出了很好的意见和建议。在此向他们表示衷心的感谢!

交通部基本建设质量监督总站 李景和

二〇〇四年十一月十八日

出版说明

公路工程试验检测工作,是公路工程质量管理的的重要组成部分,是质量控制的重要技术手段,交通部历来对此十分重视。1996年部在吉林召开了全国交通基本建设质量监督工程监理工作会议,提出要重视试验检测工作,加强试验检测工作的行业管理,并要求制定相应的管理法规。此后,部陆续颁布了《公路工程试验检测机构资质管理暂行办法》、《公路、水运工程试验检测人员资质管理暂行办法》及《公路工程试验检测培训管理暂行办法》等法规,初步形成了公路工程试验检测管理法规体系。一批有资质的试验检测单位进入了公路工程建设实践。2004年10月全国交通基本建设质量监督工作会议又提出要规范和发展工程试验检测市场。为促进试验检测工作向独立公正、规范化、市场化方向发展,部将制定新的《交通基本建设试验检测管理办法》,进一步明确单位资质认定标准和试验检测人员管理办法。推行盲样管理、规范校准标定和严格比对试验等手段,加强对试验检测单位的监管。逐步提高检测数据采集和处理的自动化水平,保证检测结果的真实可靠。

随着我国公路建设水平的不断提高和试验检测技术的不断发展,对试验检测从业人员的业务素质和技术水平提出了更高要求,技术培训需求日趋旺盛。交通部基本建设质量监督总站(以下简称部质监总站)先后于1995年和1996年委托西安公路交通大学在西安对各省、市、区的部分试验检测工作骨干进行了集中培训。为满足全面系统培训工作的要求,部质监总站于1997年初开始组织西安公路交通大学进行培训教材的编写工作,经过试用,于1999年7月组织有关专家对全套教材进行了全面系统的审查,同年8月由人民交通出版社正式出版发行。该套教材一直用于试验检测工程师、试验检测员的业务培训,对公路工程试验检测知识的普及和技术进步起到了积极作用。

随着我国公路建设有关标准、规范体系的不断完善和试验检测技术的日益发展,对试验检测人员的业务素质和技术水平提出了更新、更高的要求。针对这一情况,部质监总站于2004年7月委托长安大学公路学院对原教材进行了系统修订。修订工作继承了原教材的内容丰富、系统、涵盖面广、每本教材内容相对独立、完整、自成体系等特点,结合当前我国公路建设技术水平和国家、交通部有关标准、规范的发展情况,对相应内容进行了修正、调整,增补了当前公路工程试验检测的部分新理论和新技术。教材的编写理论与实践兼顾,是一套全面、系统地介绍公路工程试验检测理论和实用技术的丛书。既适用于广大试验检测工作者全面系统地学习和掌握公路工程试验检测技术,也适用于单科培训或自学,具有较强的实用性和可操作性,基本满足了公路工程试验检测工作的实际需要。

本套教材共包括五本书,分别是:《路基路面试验检测技术》、《桥涵工程试验检测技术》、《隧道工程试验检测技术》、《交通工程设施试验检测技术》、《公路几何线形检测技术》。

《路基路面试验检测技术》主要介绍路基路面试验检测的目的和意义、路用材料试验检测方法、道路工程检测和评定方法、数据处理及检测新技术等。全书由张超、郑南翔、王建设主编,徐培华审阅,周绪利审定。《桥涵工程试验检测技术》主要介绍桥涵工程的材料、地基、桩基础、预应力锚夹具、桥涵结构等的试验检测以及桥梁荷载试验的基本原理、操作方法、结果评定

分析等。全书由王建华、孙胜江主编,胡大琳审阅,何玉珊审定。《隧道工程试验检测技术》主要介绍公路隧道的防排水、施工变位、围岩、支护与衬砌受力的量测原理、方法及隧道通风、照明检测等内容。全书由陈建勋、马建泰主编,吕康成审阅,易亚滨审定。《交通工程设施试验检测技术》主要介绍护栏、交通标志、防眩等交通安全设施及收费、通信、监控、照明设施的质量性能要求和检测原理及方法等。全书由王建军、韩荣良主编,陈红审阅,韩文元审定。《公路几何线形检测技术》主要介绍了公路线形的组成、平纵横几何检测的原理和方法,以及检测仪器设备的使用方法等。全书由赵一飞、许娅娅主编,杨少伟审阅,周绪利、李荣均审定。

本套教材以国家和交通部颁发的有关法规及标准规范为依据,虽经全面审查和补充修改,但其中仍难免有不足之处,诚挚希望广大学员和读者在学习使用过程中及时将发现的问题函告部质监总站,以便进一步修改和补充。该套教材在编写过程中得到长安大学、人民交通出版社和有关专家的大力支持,在此一并致谢。

交通部基本建设质量监督总站

二〇〇四年十一月十八日

前 言

本书是在原西安交通大学吕康成教授编写的《隧道工程试验检测技术》(2000年1月第1版)基础上进行编写的。在编写过程中,我们秉承了“注意理论联系实际,强调实用性和可操作性,力求内容全面、系统”的原则,修编的内容主要有:

1.按隧道施工工序介绍隧道工程试验检测技术,使章节编排更加合理、系统,条理性强,便于学生掌握。

2.修订了与现行规范不配套的有关内容。例如有关隧道通风、照明等方面的知识,使教材内容与新规范保持一致。

3.删除了部分陈旧内容。例如沥青防水涂料、石油沥青油毡等材料,过去在工程中经常采用,而现在已被其他防水材料完全取代。

4.增加了近年来涌现出的隧道工程检测新技术、新方法。例如采用激光隧道断面仪检测开挖断面、初期支护断面和厚度、二次衬砌断面和厚度;采用地质雷达检测衬砌的厚度、背后回填密实度和衬砌内部钢架、钢筋等分布;结合我们的工程实践,增加了有关隧道施工监控量测方面的部分内容。

此外,需要说明的是,教师在具体授课时,应根据授课对象的不同,依据大纲的要求选择相关内容进行讲授。对于试验检测员则侧重于基本操作内容,对于试验检测工程师则侧重于基本理论与方法,以取得良好的培训效果。

本书由陈建勋主编、马建秦副主编,王永东、王亚琼参编。具体分工是:马建秦编写第五、七章;陈建勋、王亚琼编写第六章;王永东编写第八、九章;其余由陈建勋编写并统稿。

本书由长安大学顾安全教授审阅了第一章、中铁西南科学研究院高尔洋研究员审阅了第六章,长安大学吕康成教授审阅全稿,重庆交通科研设计院易亚滨教授级高工审定,审校者提出了许多宝贵意见,在此深表谢意。另外,在编写过程中,参考和引用了大量有关文献资料,在此对原作者也顺致谢意。

由于时间仓促,水平有限,书中内容难免存在缺点和错误,敬请读者批评指正。

主 编

2004年9月

目 录

第一章 总论	1
第一节 我国公路隧道发展概况	1
第二节 公路隧道的特点	2
第三节 公路隧道的常见质量问题	3
第四节 公路隧道检测技术的内容	4
思考与练习	6
第二章 超前支护与预加固围岩施工质量检测	7
第一节 概述	7
第二节 注浆材料性能试验	8
第三节 施工质量检测	12
思考与练习	13
第三章 开挖质量检测	14
第一节 开挖质量标准	14
第二节 超欠挖测定方法	15
第三节 激光断面仪法检测开挖断面	18
思考与练习	21
第四章 初期支护施工质量检测	22
第一节 锚杆加工质量与安装尺寸检查	22
第二节 锚杆拉拔力测试	23
第三节 砂浆锚杆砂浆注满度检测	24
第四节 端锚式锚杆施工质量无损检测	25
第五节 喷射混凝土质量检测	27
第六节 钢支撑施工质量检测	31
第七节 地质雷达法探测初期支护背部空洞	32
思考与练习	36
第五章 防排水材料及施工质量检测	38
第一节 概述	38
第二节 高分子防水卷材性能检测	40
第三节 土工布物理特性检测	46

第四节	土工织物力学特性测试	49
第五节	土工织物水力学特性试验	55
第六节	防水混凝土抗渗性能试验	60
第七节	防水板施工质量检查	63
第八节	排水系统施工质量检查	67
第九节	止水带检查	69
	思考与练习	72
第六章	施工监控量测	73
第一节	概述	73
第二节	隧道内目测观察	76
第三节	周边位移量测	79
第四节	拱顶下沉量测	81
第五节	地表下沉量测	83
第六节	围岩内部位移量测	84
第七节	锚杆轴力量测	87
第八节	围岩压力及两层支护间压力量测	90
第九节	钢支撑应力量测	92
第十节	混凝土应力量测	94
第十一节	围岩声波测试	96
第十二节	量测数据处理及应用	99
	思考与练习	102
第七章	混凝土衬砌质量检测	104
第一节	施工检查	104
第二节	回弹法检测混凝土强度	107
第三节	超声波法检测混凝土强度	112
第四节	超声一回弹综合法检测混凝土强度	115
第五节	钻芯法检测混凝土强度	117
第六节	衬砌厚度检测	119
第七节	混凝土缺陷检测	122
	思考与练习	127
第八章	通风检测	128
第一节	粉尘浓度测定	128
第二节	瓦斯检测	129
第三节	一氧化碳检测	132
第四节	烟雾浓度检测	134
第五节	隧道风压检测	136
第六节	隧道风速检测	140

思考与练习 143

第九章 照明检测 144

第一节 概述 144

第二节 光检测器 147

第三节 光度检测 149

第四节 照明器光强分布量测 154

第五节 现场照度和亮度检测 157

第六节 隧道眩光检测 159

思考与练习 160

参考文献 161

第一章 总 论

第一节 我国公路隧道发展概况

我国山地、丘陵和高原面积约占国土总面积的 69%。过去在山区修筑公路,由于建设资金严重短缺,多以盘山绕行为主。公路隧道建设非常缓慢,20 世纪 50 年代,仅有 30 多座总长约 2.5km 的公路隧道。在 20 世纪 50 ~ 60 年代,我国干线公路上曾修建了百米以上的公路隧道,例如 1964 年修建的北京至山西原平公路(四级公路),修建了两座 200m 以上的隧道,当时已是非常大的工程。

改革开放以来,随着国民经济的迅速发展,公路交通建设规模日益扩大,技术进步达到新的水平,公路隧道建设不仅在山区和丘陵地区公路建设中,而且在东部江河桥隧跨越方案比选中,日益引起人们重视,并得到很大发展。据统计,1979 年我国公路隧道通车里程仅为 52km/374 座,而 2002 年底,我国公路隧道通车里程已达 704km/1700 多座,比 1979 年增长了 13 倍多,比 1993 年增长了 5 倍多。目前已建和在建的 1.5km 以上 3 车道隧道 5 座,3km 以上的特长隧道 26 座,在建 6km 以上隧道 5 座。可以毫不夸张的说,目前我国公路隧道发展已进入全盛时期。

特别是近十年来,我国修建了不少特长隧道、长隧道以及隧道群,隧道占公路里程比重不断增大,同时隧道建设技术得到了日新月异的提高和发展。例如 1995 年建成的成渝高速公路上的中梁山隧道长 3.165km,解决了我国长大公路隧道的通风问题,在我国的现代化隧道建设中具有重要意义;1999 年 9 月全线通车的四川广安地区华蓥山公路隧道长 4.795km,地质情况复杂,集溶洞、涌泥、突水、岩爆、高瓦斯和石油天然气于一身,是有名的“烂洞子”,经过科研人员和施工技术人员的联合攻关,都得到了成功地解决;1999 年底实现双洞通车的全长 2×4.116 km 的浙江省甬台高速公路大溪岭—湖雾岭隧道,设置了照明、通风、防火监控等完善的运营机电设施,它是我国自行设计施工及采用国产材料设备为主的现代化大型隧道;2003 年 9 月通车的山西省雁门关隧道长 5.2km,运用 TSP203 地质超前预报技术、现场地质分析技术、徕卡 TCRA1101 全站仪非接触围岩净空位移量测技术等措施,对围岩的稳定性进行综合评价,采用了先进的隧道运营管理机电系统,是目前我国已通车的最长的公路隧道。

同时,我国还修建了不少大跨度隧道、连拱隧道和小间距隧道。沈大高速公路改建工程中的金州隧道,单向四车道行车,单洞开挖宽度 23m,是亚洲最宽的公路隧道。京珠高速公路五龙岭隧道为双连拱结构,总开挖宽度达 32.52m。在地质条件不利的条件下,采用三导坑分部开挖,挂网锚喷加刚拱架联合支护,成功地将我国隧道修建技术向前推进了一步。

此外,我国应用暗挖法、盾构法、沉管法成功地修建了 5 座水下隧道,标志着我国已具备了修建水下隧道的能力并掌握了相关技术。

新世纪我国进入了第十个五年计划的建设时期,加强基础设施建设是今后五至十年一项十分重要的任务。随着高等级公路向西部延伸,新世纪前 10 年中,有总长 155km 以上的公路

隧道已经投入建设。其中西安至安康高速公路上穿越秦岭山脉的秦岭终南山特长公路隧道,全长 18.02km,属世界规模第一、长度第二的山岭公路隧道;西安至汉中高速公路上穿越秦岭山脉的三座特长隧道单洞总长 34km,整个西汉高速公路隧道单洞总长度约 100km;上海崇明岛和武汉的长江上将建设大型过江通道工程。

同时,我国还有许多特长隧道正在规划和研究中。例如,贯穿中国沿海大走廊的渤海海峡隧道与琼州海峡隧道等,修建连接台湾省与祖国大陆的台湾海峡隧道也在研讨之中。

今后,从可持续发展战略出发,我国隧道工程技术发展的重点,一是隧道工程质量,包括工程质量的控制和检测技术;另一方面是隧道工程与生态环境的协调,例如洞口环境的保护、围岩变形和地表沉降的控制、地下水资源的保护等。这些问题不但涉及施工新技术的开发,而且关系到设计理念的转变。

可以预见,21 世纪,我国公路隧道建设技术必将有一个新的更大的发展。

第二节 公路隧道的特点

1. 断面大

一般来说,公路隧道与铁路隧道、水工隧洞、矿山地下巷道相比断面较大,双车道公路隧道的断面面积可达 80m^2 左右。因此公路隧道围岩受扰动范围较大,其轮廓对围岩块体的不利切割增多,围岩内的拉伸区与塑性区加大,导致施工难度增大。若公路隧道位于土层或软弱岩体内,施工难度更大,通常需要采用特殊的施工方法来建造。

2. 形状扁平

在满足使用功能和施工安全的前提下,尽可能地降低工程造价是隧道设计的基本要求。由于公路隧道的建筑限界基本上是一个宽度大于高度的截角矩形断面,在设计开挖断面、衬砌结构时,总是在保证施工安全和结构长期稳定条件下,尽量围绕建筑限界设计开挖断面和净断面,因此,公路隧道的断面常为形状扁平的马蹄形。

断面扁平容易在拱顶围岩内出现拉伸区,而岩土之类天然材料,其抗拉强度较低,因此,施工中隧道顶部容易崩落,威胁人身安全。正是因为断面呈扁平状,在断面面积相同条件下,公路隧道较之铁路隧道、水工隧洞和矿山巷道施工难度大。

3. 需要运营通风

机动车辆通过隧道时,要不断地向隧道内排放废气。对于短隧道,由于受自然风和交通风影响,一般来说有害气体的浓度不会积聚太高,不会对司乘人员的身体健康和行车安全构成威胁。但是对于较长及特长隧道,自然风和交通风对隧道内空气的置换作用相对较小,如不采取措施,隧道内有害气体的浓度就会逐渐升高。其中汽油车排放的 CO 浓度达到一定量值时会使人感到不适甚至窒息;柴油车排出的烟尘将不断恶化行车环境,使隧道内能见度降低。因此,必须根据隧道的具体条件,采用适当的通风方式,将新鲜空气送入隧道,稀释有害气体,使其浓度降至安全指标以内。

4. 需要运营照明

高速行驶的车辆在白天接近并穿过隧道时,行车环境要经历一个“亮—暗—亮”变化过程,驾驶员的视觉在此过程中也要发生微妙的变化以适应环境。为了减轻通过隧道时驾驶员的生理和心理压力,消除车辆进洞时的黑框或黑洞效应,消除出洞时的眩光现象,从有利于安全行车角度考虑,高等级公路上的隧道一般都根据具体情况,对隧道进行合理有效的照明。

5. 防水要求高

在高等级公路上,车辆行驶速度较快,如果隧道出现渗漏或路面涌水,则会造成路面湿滑,不利于安全行车。特别是在严寒地区,冬季隧道内的渗漏水或在隧道上部吊挂冰柱,或在路面形成冰湖,常常会诱发交通事故。此外,长期或大量的渗漏水,还会对隧道内的机电设备、动力及通讯线路构成威胁。因此,我国《公路隧道设计规范》(JTG D70—2004)对隧道防排水提出了很严格的要求。

根据公路隧道目前的发展情况来看,对防水工程的要求有愈来愈高的趋势。

第三节 公路隧道的常见质量问题

公路隧道工程数量的增加和建设速度的加快,加之公路隧道的上述特点,目前,由于设计、施工等方面的原因,国内已建和在建的部分公路隧道都不同程度地出现了质量问题,有些甚至出现了严重的质量问题,其中最常见的有以下几个方面:

1. 隧道渗漏

与其他地下工程一样,公路隧道在施工期间和建成后,一直受着地下水的影响,特别是建成后的隧道,更是处于地下水的包围之中。地下水无孔不入,当水压较大,防水工程质量欠佳时,地下水便会通过一定的通道渗入或流入隧道内部,对行车安全以至衬砌结构的稳定构成威胁。例如,辽宁八盘岭隧道、吉林密江隧道都是在建成后不久,隧道内便出现大量渗漏,春、夏、秋三季隧道变成了“水帘洞”,冬季洞内则变成了“冰湖”。由于反复冻融,造成衬砌结构开裂。为了不使结构遭受进一步破坏,防止隧道的大量渗漏,两隧道均不得不提前大修,在原衬砌内部复衬一层混凝土。虽然这一措施暂时使问题得以解决,但隧道断面减小,限界受侵,影响行车。据统计,目前国内公路隧道完全无渗漏者寥寥无几,绝大部分隧道都存在着不同程度的渗漏问题,渗漏部位遍及隧道全周。因此,在设计科学的防排水结构和加强防排水施工质量管理方面,我国公路隧道界还有很长的路要走。

2. 衬砌开裂

作用在隧道衬砌结构上的压力,与隧道围岩的性质、地应力的的大小以及施工方法等因素有关。由于受技术和资金条件的限制,一些因素在设计前是难以准确确定的,所以在隧道衬砌结构设计中常带有一定的盲目性,导致结构强度不够或与围岩压力不协调,造成衬砌结构开裂、破坏。然而,工程上出现的衬砌开裂更多的则是由于施工管理不当造成的,或是因为衬砌厚度不足,或是因为混凝土强度不够。例如:宁夏某隧道,由于种种原因,隧道衬砌做完后,衬砌混凝土出现了大量的裂缝。在 1500m 范围内有 5 段裂缝发育区,其中一条连续纵向裂缝长达 33m,裂缝的最大宽度达 20mm,最大水平错距达 40mm。这些裂缝对结构的稳定及建成后隧道的安全运营构成了潜在的威胁。又如,陕西境内某黄土隧道,由于土压力大,施工中衬砌混凝土存在质量问题,隧道尚未通车,衬砌便先由局部开裂发展为结构失稳,最终导致大范围的塌方。在我国的其他地区也有类似情况发生。由此可见,加强施工管理,提高隧道混凝土衬砌质量已迫在眉睫。

3. 限界受侵

建筑限界是保证车辆安全通过隧道的必要断面。在公路隧道施工过程中,有时会遇到松软地层,当地压较大时,围岩的变形量将很大,如果施工方法不当或支护形式欠妥、支护不及时,则容易导致塌方。为了保证施工安全和避免塌方,往往急于修筑衬砌,忽视断面界限,使建

筑限界受侵。另一种施工中的常见现象是衬砌混凝土在浇筑过程中,模板强度、刚度不足,出现走模,也会导致限界受侵。

4. 衬砌结构同围岩结合不密实

同围岩的紧密接触是地下结构区别于地面结构的主要特征。所谓“新奥法”的出发点正是支护结构同围岩的共同变形,不幸的是,在施工中由于岩石隧道光面爆破效果不良,有的承包人图经济省事,通过钢筋网在作为初期支护的喷射混凝土层背后设置石块或其他异物取代混凝土充填空间,造成了围岩与初期支护之间不密实,甚至存在大的空区(洞)。在二次衬砌施工过程中,由于泵送混凝土压力不足、流动性不好、重力作用、抽拔泵送管过早过快等原因,拱顶混凝土往往难以饱满,造成模筑混凝土厚度不足,甚至形成较大空区(洞),由此诱发的拱顶上鼓,衬砌内缘压裂、掉块的现象屡见不鲜。

5. 通风、照明不良

在部分运营隧道中有害气体浓度超限,洞内照明昏暗,影响司乘人员健康,威胁行车安全。造成隧道通风与照明不良的原因有以下三个方面:设计欠妥、器材质量存在问题和运营管理不当。鉴于设计方面的问题,应从加强理论与试验研究着手,不断总结经验,提高设计水平来加以解决。对于器材,应在安装前对其性能指标加以检测,不符合要求者不予采用。目前造成隧道通风与照明不良的主要原因是隧道管理部门资金不足,管理不善,风机与灯具开启强度不足。为了不降低隧道的使用标准,确保安全运营,应定期对隧道的有关通风、照明指标进行抽检。

第四节 公路隧道检测技术的内容

公路隧道的建造是百年大计,保证工程质量是业主的基本要求。检测技术作为质量管理的重要手段越来越为人们所重视。公路隧道检测技术涉及面广,内容很多。除了运营环境的检测内容与方法对各类隧道都通用外,由于施工方法的不同,山岭隧道、水下沉埋隧道和软土盾构隧道在检测内容与方法上差别很大。考虑到目前我国修建的公路隧道绝大多数为山岭隧道,本书着重介绍山岭隧道的检测技术。

按隧道修建过程分,其主要内容包括:材料质量检测、超前支护与预加固围岩施工质量检测、开挖质量检测、初期支护施工质量检测、防排水质量检测、施工监控量测、混凝土衬砌质量检测、通风检测、照明检测等。也可按材料检测、施工检测、环境检测等内容分类。

1. 材料检测

只有用合格的原材料才能修建出合格的公路隧道。在隧道工程的常用原材料中,衬砌材料属土建工程的通用材料,其检测方法可参阅有关文献;支护材料和防排水材料较具隧道和地下工程特色。支护材料包括锚杆、喷射混凝土和钢构件等。锚杆杆体材质、锚固方式、杆体结构和托板形式等种类繁多,特性各异,分别适用于不同的工程条件;喷射混凝土有干喷、湿喷之分,为了获取较好的力学特性和工程特性,往往在喷射混凝土混合料之外,还添加各种外加剂。所以锚喷材料的检测内容繁多,限于篇幅,本书只介绍锚喷的施工质量,材料的品质最终由锚喷的强度等指标反映。防排水材料对隧道工程特别重要,有些甚至是隧道与地下工程专用的材料。隧道防水材料包括:注浆材料、高分子合成卷材、排水管和防水混凝土等。值得指出的是,合成高分子防水卷材在我国发展很快,目前修建的公路隧道、地铁和部分铁路隧道都采用不同性能、不同规格的合成高分子卷材作防水夹层,取得了良好的效果。为了适应这种发展需

要,将较详细地介绍其检测试验方法。

2. 施工检测

施工检测的内容十分丰富,可概括为两个方面,即施工质量检测和施工监控量测。

(1) 施工质量检测

公路隧道工程上出现的种种质量问题,绝大部分都是在施工过程中埋下了质量隐患,如渗漏水、衬砌开裂和限界受侵等,因此必须对施工过程进行质量检测。其主要内容包括:超前支护及预加固、开挖、初期支护、防排水和衬砌混凝土质量检测。

在浅埋、严重偏压、岩溶、流泥地段、砂土层、砂卵(砾)石层、自稳性差的软弱破碎地层、断层破碎带以及大面积淋水或涌水地段进行施工时,由于隧道在开挖后自稳时间小于完成支护所需时间,或由于初期支护的强度不能满足围岩稳定的要求等原因,而产生坍塌、冒顶等工程事故,影响了施工安全,延误了工期、费工费料,危害极大。为避免上述情况,必须在隧道开挖前或开挖中采用辅助施工方法以增强隧道围岩稳定。显而易见,做好辅助施工措施的质量检查工作也是至关重要的。

爆破成形好坏对后续工序的质量影响极大,目前在检测爆破成形质量技术方面发展很快。发达国家已广泛使用隧道断面仪来及时检测爆破成形质量,我国在一些长大铁路隧道施工中也已开始使用断面仪。该仪器可以迅速测取爆破后隧道断面轮廓,并将其与设计开挖断面比较,从而得知隧道的超欠挖情况。应用隧道断面仪还可监测锚喷隧道围岩的变形情况。

支护质量主要指锚杆安装质量、喷射混凝土质量和钢构件质量。对于锚杆,施工质量检测的内容有锚杆的间排距、锚杆的长度、锚杆的方向、注浆式锚杆的注满度、锚杆的抗拔力等。对于喷射混凝土,施工中应主要检测其强度、厚度和平整度。对于钢构件,则要检测构件的规格与节间连接、架间距、构件与围岩的接触情况以及与锚杆的连接。此外,对支护背后的回填密实度也要进行探测。

防排水系统的施工方法目前尚在研究与发展之中,对施工质量的检测也处于探索阶段,教材中将对工程上常用的一些检测或检查方法作简单介绍。

衬砌混凝土质量检测包括衬砌的几何尺寸、衬砌混凝土强度、混凝土的完整性、混凝土裂缝、衬砌背后的回填密度和衬砌内部钢架、钢筋分布等的检测。其中外观尺寸容易用直尺量测,混凝土强度及其完整性则需用无损探测技术完成,混凝土裂缝可用塞尺等简单方法检测,衬砌背后的回填密实度可采用地质雷达法和钻孔法检测。

(2) 施工监控量测

施工监控量测是新奥法施工的一项重要内容,它既是施工安全的保障措施,又是优化结构受力、降低材料消耗的重要手段。量测的基本内容有隧道围岩变形、支护受力和衬砌受力。前面提到的隧道断面仪是目前最先进的隧道围岩变形量测仪器,利用它可迅速测定隧道周边的变形。围岩内部的位移,目前常用机械式多点位移计量测。锚杆受力可用钢筋计量测,喷射混凝土、钢构件和衬砌受力可用各种压力盒、混凝土应变计、表面应变计等量测。将量测结果人工或自动输入计算机,计算机便可根据反算力学模型,推求围岩中的应力场和位移场,据此推断围岩的稳定状态,调整支护或衬砌设计参数。如此反复,使支护与衬砌设计参数与围岩条件相协调,使施工方案不断优化。

3. 环境检测

环境检测可分为施工环境检测和运营环境检测。施工环境检测的主要任务是检测施工过程中隧道内的粉尘和有害气体。这里的有害气体主要指 CH_4 ,我国西南地区修建隧道时经常

遇到。若 CH_4 达到一定浓度,施工中防治措施不当,则可能引发 CH_4 爆炸,造成人身伤亡或经济损失。

运营环境检测包括通风、照明和噪声等。其中通风检测相对比较复杂,检测内容较多,主要有 CO 浓度、烟尘浓度和风速等,受来往车辆的影响不易获得准确的数据。照明检测技术较为先进,现有专供照明检测的车载照度仪、亮度仪,只要随车从隧道通过一趟,隧道内各区段的照明情况便可查清。噪声的检测也比较简单,用噪声计可直接数显隧道内噪声。

思考与练习

1. 公路隧道的作用有哪些?
2. 试对公路隧道进行分类。
3. 公路隧道具有哪些特点? 它们对施工有什么影响?
4. 公路隧道的常见质量问题有哪些? 怎样预防?
5. 公路隧道检测技术的内容有哪些?
6. 试述加强隧道工程检测的作用与意义。