

高等职业教育规划教材

隧道施工与检测技术

主编 范智杰 副主编 何少平 主审 杨 平



人民交通出版社

China Communications Press

交通职业教育教学指导委员会推荐教材
高职高专院校公路工程检测技术专业教学用书

高等职业教育规划教材

Suidao Shigong Yu Jiance Jishu

隧道施工与检测技术

范智杰	主 编
何少平	副主编
杨 平	主 审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书是交通职业教育教学指导委员会推荐教材,由路桥工程专业指导委员会组织编写。全书共9章,主要内容包括:绪论,超前支护与预加固围岩施工及质量检测,开挖施工方法与质量检测,初期支护施工与质量检测,施工监控量测,防排水材料及施工质量控制,混凝土衬砌施工与质量检测,通风检测,隧道竣(交)工验收检测。每章后附有复习思考题。

本书是高职高专院校公路工程检测技术专业教学用书,也可供相关专业教学使用,或作为有关专业继续教育及职业培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

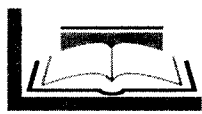
隧道施工与检测技术/范智杰主编. —北京:人民交通出版社, 2006.9
ISBN 7-114-06111-0

I.隧... II.范... III.①隧道工程-工程施工
②隧道工程-质量检验 IV.U45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 090570 号

书 名: 隧道施工与检测技术
著 作 者: 范智杰
责任编辑: 尤晓玮
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)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: 北京鑫正大印刷有限公司
开 本: 787×1092 1/16
印 张: 14
字 数: 352 千
版 次: 2006 年 9 月第 1 版
印 次: 2006 年 9 月第 1 次印刷
书 号: ISBN 7-114-06111-0
印 数: 0001—5000 册
定 价: 25.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



交通职业教育教学指导委员会 路桥工程专业指导委员会

主 任: 柴金义

副主任: 金仲秋 夏连学

委 员: (按姓氏笔画排序)

王 彤 王进思 刘创明 刘孟林

孙元桃 孙新军 吴堂林 张洪滨

张美珍 李全文 陈宏志 周传林

周志坚 俞高明 徐国平 梁金江

彭富强 谢远光 戴新忠

秘 书: 伍必庆



Q IAN YAN

为深入贯彻落实《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》，按照教育部“以教育思想、观念改革为先导，以教学改革为核心，以教学基本建设为重点，注重提高质量，努力办出特色”的基本思路，交通职业教育教学指导委员会路桥工程专业指导委员会在总结道路桥梁工程技术专业教学文件编制及其教材编写工作经验的基础上，又组织开发了相关专业的教学指导方案及部分专业教材，其中包括三年制高职高专院校公路工程检测技术专业教学指导方案及 5 门课程的规划教材。

公路工程检测技术专业教材依据教育部对高职高专人才培养目标、培养规格、培养模式及与之相适应的知识、技能、能力和素质结构的要求进行编写，并融入了全国交通类高职高专院校公路工程检测技术专业的教学改革成果，同时，结合最新的行业技术标准、规范及公路科技进步等情况，具有较强的针对性。教材编写中较好地贯彻了素质教育的思想，力求体现以人为本的现代职业教育理念，从交通行业岗位群对人才知识结构和实践技能的要求出发，结合对培养学生创新能力、职业道德方面的要求，提出教学目标和教学内容，在教材的理论体系、组织结构、内容描述上与传统教材有了明显的区别。

《隧道施工与检测技术》是高职高专院校公路工程检测技术专业规划教材之一，内容包括：绪论、超前支护与预加固围岩施工及质量检测、开挖施工方法与质量检测、初期支护施工与质量检测、施工监控量测、防排水材料及施工质量控制、混凝土衬砌施工与质量检测、通风检测、隧道竣（交）工验收检测。

参加本书编写工作的有：重庆交通大学应用技术学院范智杰（编写第一章）、唐德兰（编写第三章）、刘玲（编写第九章），湖北交通职业技术学院何少平（编写第二、六、七章），第四章由范智杰和云南昆磨高速公路公司罗绍建共同编写，第五章由范智杰和云南路桥建设集团胡瑞宁、蒋文权共同编写，第八章由胡瑞宁、蒋文权共同编写。全书由范智杰担任主编，何少平担任副主编，四川交通职业技术学院杨平担任主审。

本套教材是路桥工程专业指导委员会委员及长期从事公路工程检测技术专业教学与工程实践的教师们工作经验的总结。但是，随着各项改革的逐步深入，书中难免有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

本套教材在编写过程中得到了交通职业教育教学指导委员会的关心与指导，全国各交通职业技术学院的领导也给予了大力支持，在此，向他们表示诚挚的谢意。

交通职业教育教学指导委员会
路桥工程专业指导委员会

2006 年 8 月

目 录

-MULU

第一章 绪论	1
第一节 我国公路隧道发展概况	1
第二节 公路隧道施工前预设计与信息反馈修正设计简介	3
第三节 公路隧道的特点与施工要点	8
第四节 公路隧道施工中常出现的问题	10
第五节 公路隧道检测技术的内容	11
复习思考题	13
第二章 超前支护与预加固围岩施工及质量检测	14
第一节 公路隧道辅助施工措施设计简介	14
第二节 注浆材料性能试验	21
第三节 施工质量控制	38
复习思考题	48
第三章 开挖施工方法与质量检测	50
第一节 开挖施工方法与工艺	51
第二节 开挖质量标准	69
第三节 超欠挖测定方法	71
第四节 施工质量检测	73
复习思考题	77
第四章 初期支护施工与质量检测	78
第一节 锚杆制作与安装质量检查	78
第二节 锚杆抗拔力量测	81
第三节 砂浆锚杆砂浆注满度检测	83
第四节 端锚式锚杆施工质量无损检测	84
第五节 喷射混凝土质量检测	86
第六节 钢支撑施工质量检测	92
第七节 地质雷达法应用于隧道质量检测实例	94
复习思考题	97
第五章 施工监控量测	99
第一节 量测项目及其分类	99
第二节 隧道内目测观察	101
第三节 隧道收敛位移量测	104

第四节	地表下沉量测	109
第五节	锚杆轴向力测定	111
第六节	钢架荷载量测	115
第七节	围岩内变形量测	120
第八节	混凝土应力量测	125
第九节	围岩声波测试	129
第十节	超前探测技术在隧道施工中的应用	133
第十一节	量测数据处理及应用	136
第十二节	现场量测的规划	139
	复习思考题	143
第六章	防排水材料及施工质量控制	144
第一节	概述	144
第二节	高分子防水卷材性能检测	146
第三节	土工布物理特性检测	152
第四节	土工织物的力学特性测试	158
第五节	土工织物的水力学特性试验	168
第六节	防水混凝土抗渗性能试验	171
第七节	防水板施工与质量检查	174
第八节	止水带检查	176
第九节	排水系统施工与质量检查	177
	复习思考题	179
第七章	混凝土衬砌施工与质量检测	181
第一节	施工过程中的质量检查	181
第二节	检测混凝土强度的方法	183
第三节	混凝土强度评定	196
第四节	混凝土缺陷检测	197
	复习思考题	199
第八章	通风检测	200
第一节	施工通风	200
第二节	粉尘浓度测定	202
第三节	瓦斯检测	203
第四节	一氧化碳检测	206
第五节	通风控制设施质量检测	207
	复习思考题	210
第九章	隧道竣(交)工验收检测	211
第一节	隧道竣工测量	211
第二节	隧道竣(交)工验收检测	212
	复习思考题	214
	参考文献	215

第一章

绪 论

知识目标

1. 公路隧道施工前预设计与信息反馈修正设计的内容及其设计参数的修改或认定的方法;
2. 公路隧道的特点;
3. 公路隧道工程施工要点和施工特点;
4. 公路隧道检测技术的主要内容。

● 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。我国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)上有两座 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 2004 年底,全国公路隧道通车里程已达 1245.6km/2495 多座,其中特长隧道 126.3 km/33 座,长隧道 493.3km/299 座,中隧道 297.8km/428 座,短隧道 328.1km/1735 座,比 1979 年增长了 20 多倍,比 1993 年增长了 8 倍多。目前在建的 3km 以上的特长隧道达 60 座,在建 5km 以上隧道有 14 座。可以毫不夸张地说,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月贯通的京福高速公路美荪林隧道,双洞总长11.2 km,其中左线长5.563km,右线长5.58 km,全面采用湿喷混凝土和混合通风技术,大大降低了粉尘污染,改善了施工作业环境,同时广泛采用新型防水材料等综合止水技术,有效防止了地下水的流失,保护了原始林区的生态环境,是目前我国已通车的最长的公路隧道;2004年12月通车的国道317线鹧鸪山隧道长4.448km,隧底海拔3400m,最低气温达-30℃,空气含氧量仅为海平面的60%,属典型的“高海拔、高严寒、低含氧”的高原特长公路隧道,隧道沿线地处断层破碎带,地质异常复杂,几乎集中了世界上高海拔地带隧道施工的所有疑难杂症,被隧道专家形象地称为“‘生命禁区’的高原隧道病害博物馆”。

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多座水下隧道,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。2003年6月通车的上海外环越江隧道设计为8车道,是上海外环线两个过江段之一,是目前亚洲最大的沉管隧道,共有7个管段,全长2880m;世界最大直径盾构隧道——上海上中路隧道工程于2004年1月9日正式开工。上中路隧道位于徐浦大桥和卢浦大桥之间,全长2.8km,其中盾构掘进段长度为1.25km,采用直径为14.87m的超大型盾构掘进机施工,隧道建成后外径达到14.5m,隧道内分设上下两层双向4车道,小车上层开,大车下层过,是当今世界上第一条双层双向4车道隧道。建成后的上中路隧道将成为世界上最大的越江公路隧道。

21世纪我国进入了第十一个五年计划的建设时期,加强基础设施建设是今后5至10年一项十分重要的任务。随着高等级公路向西部延伸,21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18.4km,属世界规模第一、长度第二的山岭公路隧道。为确保隧道掘进精度,隧道洞内外控制测量全部采用了GPS全球定位系统,贯通精度高程误差为1mm,中线误差为12mm。西安至汉中高速公路上穿越秦岭山脉的3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。除上海、广州地铁区间越江隧道外,上海计划在2010年前采用盾构法建成20多座越江隧道,其中有穿越长江的双向6车道公路崇明隧道。另外有武汉穿越长江的双向4车道隧道,南京穿越长江的双向6车道公路隧道、温州瓯江隧道等都进入施工期或前期准备中。

同时,我国还有许多特长隧道正在规划和研究中。例如,贯穿我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,而且还关系到设计理念的转变。

• 第二节 公路隧道施工前预设计与信息反馈修正设计简介 •

一、施工前预设计简介

施工前预设计一般包括:隧道断面形式及几何尺寸的拟定;衬砌类型的选择和支护参数的确定;预留变形量的大小;施工方法和施工工序的选择;现场监测设计;必要时作辅助施工措施设计以及排、防水设计等。

1. 隧道断面设计

1) 隧道断面形式的确定

衬砌断面的内轮廓,应按《公路隧道设计规范》(JTG D70—2004)中有关规定进行。

断面形式应尽可能圆顺,其目的是为减少衬砌围岩中产生较大的应力集中。

III 类及 III 类以下围岩地段应采用曲墙式带仰拱的衬砌断面,这是因为 III 类及以下围岩地质条件较差,隧道支护体系除必须考虑施工过程中的受力状态外,还应考虑隧道建成后衬砌的受力状态及运营中振动对支护体系的影响。设置复合式衬砌能较好地保证隧道在上述应力作用下的长期稳定性。IV 类及 IV 类以上围岩地段的双线隧道宜采用曲墙式衬砌断面,其目的是防止衬砌产生较大的偏心压缩。对于 IV 类以上围岩,由于围岩稳定或基本稳定,且侧压力较小,墙部是稳定的,也可采用直墙式衬砌断面,既可便利施工,又可减少墙部开挖量。

2) 公路隧道横断面尺寸的规定

(1) 公路隧道横断面设计除应符合隧道建筑限界的规定外,还应考虑洞内路面、排水、通风、照明、消防、监控、营运管理等设施提供安装空间,并考虑围岩变形、施工方法影响的预留富裕量,使确定的断面形式及尺寸达到安全、经济、合理的原则。

人行道设计应结合考虑隧道所在地区的行人密度、隧道长度、交通量及交通安全等因素而定。

不设人行道时,除短隧道外,应设置避车洞。

(2) 各级公路隧道建筑限界一般规定如图 1-1 所示。在建筑限界内,不得有任何部件侵入。

各级公路隧道建筑限界基本宽度见表 1-1 所列。

(3) 长、特长隧道应在行车方向的右侧设置紧急停车带。双向行车隧道,其紧急停车带应双侧交错设置。紧急停车带的宽度,包含右侧向宽度应取 3.5m,长度应取 40m,其中有效长度不得小于 30m。紧急停车带的设置间距不宜大于 750m。停车带的路面横坡,长隧道可取水平,特长隧道可取 0.5% ~ 1.0% 或水平。

3) 隧道纵断面

(1) 隧道内纵断面线形应考虑行车安全性、营运通风规模、施工作业效率和排水要求,隧道纵坡不应小于 0.3%,一般情况不应大于 3%。受地形等条件限制时,高速公路、一级公路的

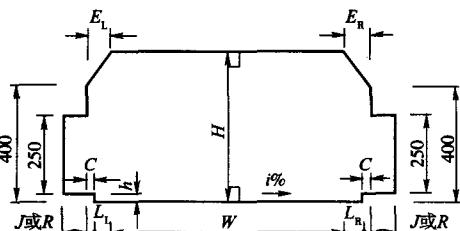


图 1-1 公路隧道建筑限界(尺寸单位:cm)

H -建筑限界高度; W -行车道宽度; L_L -左侧向宽度;
 L_R -右侧向宽度; C -余宽; J -检修道宽度; R -人行道宽度; h -检修道或人行道的高度; E_L -建筑限界左顶角宽度, $E_L = L_L$; E_R -建筑限界右顶角宽度,当 $L_R \leq 1\text{m}$ 时, $E_R = L_R$,当 $L_R > 1\text{m}$ 时, $E_R = 1\text{m}$

中、短隧道可适当加大,但不宜大于4%;短于100m的隧道纵坡可与该公路隧道外路线的指标相同。当采用较大纵坡时,必须对行车安全性、通风设备和营运费用、施工效率的影响等作充分的技术经济综合论证。

公路隧道建筑限界横断面组成最小宽度(单位:m)

表 1-1

公路等级	设计速度 (km/h)	车道宽度 W	侧向宽度 L		余宽 C	人行道 R	检修道 J		隧道建筑限界净宽		
			左侧 L _L	右侧 L _R			左侧	右侧	设检 修道	设人 行道	不设检修 道、人行道
高速、 一级公路	120	3.75 × 2	0.75	1.25			0.75	0.75	11.00		
	100	3.75 × 2	0.50	1.00			0.75	0.75	10.50		
	80	3.75 × 2	0.50	0.75			0.75	0.75	10.25		
	60	3.50 × 2	0.50	0.75			0.75	0.75	9.75		
二级、三级、 四级公路	80	3.75 × 2	0.75	0.75		1.00				11.00	
	60	3.50 × 2	0.50	0.50		1.00				10.00	
	40	3.50 × 2	0.25	0.25		0.75				9.00	
	30	3.25 × 2	0.25	0.25	0.25						7.50
	20	3.00 × 2	0.25	0.25	0.25						7.00

注:①三车道隧道除增加车道数外,其他宽度同表;增加车道的宽度不得小于3.5m;

②连拱隧道的左侧可不设检修道或人行道,但应设50cm(120km/h与100km/h时)或25cm(80km/h与60km/h时)的余宽;

③设计速度为120km/h时,两侧检修道宽度均不宜小于1.0m;设计速度为100km/h时,右侧检修道宽度不宜小于1.0m。

(2)隧道内的纵坡形式一般宜采用单向坡。地下水发育的长隧道、特长隧道可采用双向坡。纵坡变更的凸形竖曲线和凹形竖曲线的最小半径和最小长度应符合表1-2的规定。隧道内纵坡的变换不宜过大、过频,以保证行车安全视距和舒适性。

竖曲线最小半径和最小长度(m)

表 1-2

设计速度(km/h)		120	100	80	60	40	30	20
凸形竖曲线半径	一般值	17000	10000	4500	2000	700	400	200
	极限值	11000	6500	3000	1400	450	250	100
凹形竖曲线半径	一般值	6000	4500	3000	1500	700	400	200
	极限值	4000	3000	2000	1000	450	250	100
竖曲线长度		100	85	70	50	35	25	20

(3)隧道洞外连接线应与隧道线形相协调,并应符合以下规定:

①隧道洞口内外各3s设计车速行程长度范围的平面线形应一致。

②隧道洞口内外各3s设计车速行程长度范围的纵面线形应一致,有条件时宜取5s设计车速行程。

③当隧道建筑限界宽度大于所在公路的建筑限界宽度时,两端连接线应有不短于50m的、与隧道等宽的路基加宽段;当隧道限界宽度小于所在公路建筑限界宽度时,两端连接线的路基宽度仍按公路标准设计,其建筑限界宽度应设有4s设计车速行程的过渡段与隧道洞口衔

接,以保持隧道洞口内外横断面顺适过渡。

④长、特长的双洞隧道,宜在洞口外合适位置设置联络通道,以利车辆调头。

(4)间隔 100m 以内的短隧道群,宜整体考虑其平、纵线形技术指标。

2. 隧道衬砌设计

公路隧道一般应做衬砌,根据隧道围岩地质条件、施工条件和使用要求可分别采用喷锚衬砌、整体式衬砌、复合式衬砌。高速公路、一级公路、二级公路的隧道应采用复合式衬砌;三级及三级以下公路隧道,在 I、II、III 级围岩条件下,隧道洞口段应采用复合式衬砌或整体式衬砌,其它段可采用喷锚衬砌。

隧道衬砌设计应综合考虑地质条件、断面形状、支护结构及施工条件等,并应充分利用围岩的自承能力。衬砌应有足够的强度和稳定性,以保证隧道长期安全使用。

衬砌结构类型和尺寸,应根据使用要求、围岩级别、工程地质和水文地质条件、隧道埋置深度、结构受力特点,并结合工程施工条件、环境条件,通过工程类比和结构计算综合分析确定。在施工阶段,还应根据现场监控量测调整支护参数,必要时可通过试验分析确定。

衬砌设计应符合下列规定:

(1)衬砌断面宜采用曲边墙拱形断面。

(2)隧道围岩较差地段应设仰拱。仰拱曲率半径应根据隧道断面形状、地质条件、地下水、隧道宽度等条件确定。路面与仰拱之间可采用混凝土或片石混凝土填充。当隧道边墙底以下为整体性较好的坚硬岩石时,可不设仰拱。

(3)隧道洞口段应设加强衬砌。加强衬砌段的长度应根据地形、地质和环境条件确定,一般情况下双车道隧道应不小于 10m,三车道隧道应不小于 15m。

(4)围岩较差地段的衬砌应向围岩较好地段延伸 5 ~ 10m。

(5)偏压衬砌段应向一般衬砌段延伸,延伸长度应根据偏压情况确定,一般不小于 10m。

(6)净宽大于 3.0m 的横通道与主洞的交叉段均应设加强段衬砌,加强段衬砌应向各交叉洞延伸,主洞延伸长度不小于 5.0m,横通道延伸长度不小于 3.0m。

在确定开挖断面时,除应满足隧道净空和结构尺寸外,还应考虑围岩及初期支护的变形,并预留适当的变形量。预留变形量的大小可根据围岩级别、断面大小、埋置深度、施工方法和支护情况等,采用工程类比法预测。当无预测值时,可参照表 1-3 选用,并应根据现场监控量测结果进行调整。

预留变形量(mm)

表 1-3

围岩级别	两车道隧道	三车道隧道	围岩级别	两车道隧道	三车道隧道
I	—	—	IV	50 ~ 80	80 ~ 120
II	—	10 ~ 50	V	80 ~ 120	100 ~ 150
III	20 ~ 50	50 ~ 80	VI	现场量测确定	

注:围岩破碎取大值;围岩完整取小值。

3. 选择施工方法与施工顺序

隧道施工属地下作业,洞内工作条件与地面工作有很大不同,工作面狭小,机具集中,光线不足,噪声大,施工中不安全因素多,所以隧道施工要特别强调安全,要有严格的安全生产制度

和完备的安全设施。隧道建筑一经完成,修复和改建都比较困难,因此,施工要求高质量、高标准。隧道开挖和围岩的变形有一定的规律,衬砌的设置最佳的时机,开挖面长时间的暴露会直接影响其自身的稳定,给后续施工造成困难,甚至形成坍塌。所以贯彻快速施工是隧道施工的基本原则,经济效益也体现其中。所以,施工方法的选择对设计与施工都有重要意义。施工方法选择是否正确,直接影响工程造价、工期长短,甚至工程的成败。地质条件是选择施工方法的主要依据,除此之外,还要考虑到隧道的长短及辅助坑道的设置。而断面尺寸、跨度的大小也是选择施工方法的重要因素。公路隧道一般跨度在8~13m之间,对于三车道大跨度的公路隧道,有其特有的施工要求,如果施工方法选择不当,会给施工造成一定的困难,同时会直接影响造价和工期。对施工单位来讲,选择施工方法时,除了考虑以上因素外,还要结合本单位的设备情况、技术力量和施工习惯等因素,充分发挥自己之长,使施工快、好、省,隧道达到高质量的标准。

新奥法是已被工程实践所证实了的先进的隧道修筑方法,它是集设计与施工为一体的完整的工程概念,是国内外普遍采用的隧道施工方法。我国在推广新奥法方面也取得了不少经验。在选择掘进方法时,宜优先采用全断面法;在三车道和双车道紧急停车带区段属特大断面,为了防止围岩失稳应采用台阶法施工。如果隧道断面较大,拱部围岩自稳性差,可采用先拱后墙的施工顺序,拱部支护后再开挖下部岩体;如果侧墙岩体稳定性差,可采用先墙后拱的施工顺序,先从隧道两侧沿边墙轮廓以小断面分别开挖两侧边墙部分的岩体,中间留下适当的岩柱,边墙支护后,再开挖拱部岩体,拱部支护后,最后挖出中间岩柱,这样的施工顺序较为安全可靠。

总之,对地质条件变化较大的隧道,在选择施工方法与施工顺序时,要有较大的适应性,以便地质条件发生变化,原有的开挖方式不能继续使用时,能尽快地调整施工方法与施工顺序,从而较少地影响施工进度。

二、信息反馈修正设计

1. 信息反馈设计的基本要求

采用新奥法时,设计、施工必须紧密配合,共同研究,综合分析各项施工信息,及时反馈,最终确定修正参数。

(1) 反馈修正设计,系指在隧道开挖后,根据施工观察、现场地质调查、现场监控量测等信息(施工信息),对施工前预设计所确定的结构形式、支护参数、预留变形量、施工工艺、施工方法以及各工序施作时间等的检验和修正,是贯穿于整个施工过程的设计阶段。

(2) 信息施工是隧道开挖后围岩稳定性的动态反映,也是修正设计的依据。对各种信息进行综合分析,互相印证,对预设计支护参数的修正和施工方法的改进是不可缺少的过程。

及时整理量测资料,分析研究各项施工信息,是保证施工安全的需要。当出现异常现象时,立即采取加强锚喷支护,改变施工对策(方法、顺序、工艺),及早形成闭合环等措施,使可能出现的险情、塌方防患于未然,以保证隧道稳定。

(3) 公路、铁路隧道采用新奥法以来,取得了许多成功的经验,但个别工点也有过一些教训。同一隧道、同类围岩、同样的设计参数,可得到两种完全不同的结果,其根本原因在于施工中是否认真遵循新奥法的基本原则。因此,需要对反馈的信息的全面分析,不应对新奥法设计

任意进行修正。

2. 施工信息的应用

(1) 根据一个断面的施工信息综合分析结果进行设计参数修正,只运用于该断面前后不大于 5m 的同类围岩地段。

(2) 隧道较长地段同类围岩设计参数的修正,特别是降低设计参数,必须以不少于 3 个断面的施工信息综合分析为依据。按修正后的设计参数进行开挖地段,其设计参数的正确性和合理性仍应根据施工信息综合分析予以验证。

由于围岩是千差万别的地质体,同一地段同类围岩的物理力学性质、工程地质和水文地质条件相同时,可以根据断面施工信息修正设计参数。同一隧道不同地段的同类围岩,地质条件不完全一致,物理力学性质也有差别,因此,规定同一地段必须有 3 个以上断面施工信息的综合分析,才能修正本段该类围岩的设计参数。

3. 信息反馈修正设计的内容

(1) 施工方法变更的建议。由于采用的施工方法与断面形式不同,围岩一支护体系的应力状态也不一样,当某种方法不能满足该类围岩稳定性要求时,应及时变更施工方法及选择对隧道稳定有利的断面形式或辅助施工措施。

(2) 施工工序更改的建议。当施工信息给出不稳定征兆时,应检查是否是因工序不当所造成。改变施工工序,如暂停开挖、及时锚喷、二次喷混凝土紧跟或提前施作仰拱等,都可以促使围岩一支护体系趋向稳定。

(3) 预留变形量的修正。施工前预设计的预留变形量,是采用工程类比或理论计算确定的。因此,不可能和实际变形完全一致。当预留变形量与现场量测结果不符时,应及时修正未开挖地段的预留变形量,以满足设计净空和二次衬砌厚度的要求,或减少开挖量及二次衬砌回填量,以节省开支。

4. 设计参数的修改或认定

1) 预设计参数的修改

在隧道施工过程中,通过对工作面目测观察和围岩内空监测后,认为预设计有关支护参数满足要求,即可按预设计参数继续进行施工。若发现以下两种情况时,应及时修改设计参数。

(1) 在施工过程中,如发现以下现象之一时,应修改设计参数,增强初期支护:

① 隧道开挖后,工程地质、水文地质条件、围岩类别比预计的差。

② 实测位移量超出表 1-3 规定的或类似条件下的隧道位移值。

③ 观察发现混凝土层裂纹多、裂缝大或不断扩展时。喷射混凝土是初期支护的重要组成部分,一般喷射 2~3 层可达设计厚度。第一次喷射混凝土是在隧道开挖后立即施作的。由于围岩应力调整,洞轴产生径向位移,以及受喷射混凝土收缩及温差等因素的影响,喷射混凝土一般都会出现裂纹。当某处喷射混凝土喷足设计厚度并距开挖面一倍洞径后,喷射混凝土层不应再出现裂纹,即使有裂纹也不应再有扩展的趋势,否则属异常状态,应予加强。

④ 位移量可能超出预留变形量。位移量可能超出预留变形量时,将影响二次衬砌或喷射混凝土的厚度,因此,必须预先采取加强措施。

⑤ 稳定特征出现异常状态。一般正常状态的稳定性特征为:开挖工作面超过埋测点时,位

移可能出现加速度,此后位移迅速减缓,并不再出现加速度(可能出现负加速度);地表下沉速度小于对应位置的隧道拱顶下沉速度;20~30d内可以达到围岩初期支护变形基本稳定及施作二次衬砌的条件。

(2)增强初期支护的措施。增强初期支护可用降低围岩类别的办法,改用相应的设计参数,或选用以下加强措施:

- ①增设钢筋网或改用钢纤维喷射混凝土;
- ②加密或加长锚杆;
- ③增加喷射混凝土厚度;
- ④改用早强喷射混凝土或早强砂浆锚杆;
- ⑤采用和加密钢拱架;
- ⑥增设临时仰拱及时形成支护封闭环;

(3)在施工过程中,若发现以下现象之一时,应改变设计参数,适当降低初期支护:

①确认围岩类别、工程地质条件、水文地质条件比预计的有明显好转,或有具体工程类比;

②初期支护未全部完成前,位移已收敛,达到施作二次衬砌的指标;

③初期支护全部施作完毕,位移量远小于隧道周边允许的相对位移值时,可按施工信息应用的要求及有关规定,降低其他地段初期支护设计参数。

降低初期支护的措施为:

可按提高围岩类别,改用相应的设计参数,或选用以下方法处理:

- ①减少锚杆数量,缩短锚杆长度,或减少喷层的厚度,取消钢架等;
- ②取消或改用其他辅助措施,改变辅助措施的设计参数。

2) 二次衬砌设计参数的修正

二次衬砌施作时间必须符合前述的有关规定,在局部塌方地段,二次衬砌应根据实际受力情况予以加强。

二次衬砌的加强可采用以下措施:

- (1)在满足隧道建筑界限的条件下,根据断面实际情况,增加衬砌厚度;
- (2)由于净空限制,不能采用上述措施时,根据验算,改用钢筋混凝土衬砌;
- (3)提高衬砌混凝土的强度等级。

• 第三节 公路隧道的特点与施工要点 •

一、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. 需要营运通风

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的影响,一般来说有害气体的浓度不会太高,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. 需要营运照明

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。

二、隧道工程施工特点

隧道工程属于地下结构物,地下结构是多种多样的,构筑地下结构的施工方法和技术也是多种多样的。施工方法和技术的形成与发展和地下结构物的特点有关。隧道是纵向长度从几米到十几公里,断面相对比较较小,一般高 5~6m,宽 5 至十几米的纵长地下结构物,其施工的特点主要有:

- (1) 隐蔽性大,未知影响因素多。
- (2) 作业空间有限,工作面狭窄,施工工序干扰大。
- (3) 施工作业过程的循环性强。因隧道工程是纵长的,施工严格地按照一定顺序循环作

业,如开挖就必须按照“钻孔—装药—爆破—通风—出渣”的顺序循环。

(4)施工作业综合性强。在同一工作环境下进行多工序作业如掘进、支护、衬砌等。

(5)施工过程的地质力学状态是变化的,围岩的物理力学性质也是变化的,因此施工是动态的。

(6)作业环境恶劣,作业空间狭窄,施工噪声大,粉尘、烟雾、潮湿、光线暗、地质条件差及安全问题等给施工人员带来了不利的工作环境。

(7)作业风险性大。风险性是和隐蔽性和动态性相关联的,在施工过程中,施工人员必须随时关注隧道施工的风险性。

三、隧道工程施工要点

(1)施工过程中维护和保护围岩。隧道施工要穿过岩体,应尽量做到不损伤或少损伤遗留围岩的固有支护能力,为此,通过采用机械开挖技术(无爆破)和控制爆破技术(光面爆破,控制装药量,周边眼加密,少装药或不装药),及各种技术措施、手段和方法,如采用临时支护、加固或预加固技术以及各种辅助施工技术增强围岩的自支护能力。

(2)隧道圬工工程做到内实外美。隧道圬工工程是指模筑混凝土、喷射混凝土、干砌和浆砌工程。

内实关键是保证“六密实”,即混凝土捣固要密实、喷混凝土要密实、喷混凝土与围岩结合要密实、二次衬砌与初期支护要密实、喷混凝土与钢结构支护、围岩三者结合要密实、回填石料要密实。外美即混凝土外露表面要美。其中内实是关键。

(3)隧道施工要重视环境。隧道施工环境包括内部环境和外部环境。内部环境指隧道施工作业的环境。由于隧道施工空间小,多工种同时施工对作业环境产生污染,直接危害施工人员的身心健康,因此,施工过程要不断改善作业环境。外部环境是指隧道施工对周边环境的影响,如施工污水、弃渣处理、施工噪声扰民等。重视环境保护是社会进步的要求,环境技术是随着社会发展而发展的,在隧道施工过程中许多标准是根据环境保护的要求而制定的。

(4)隧道施工是动态施工。隧道施工穿过山体,因此,隧道施工过程中的地质条件是不断变化的,岩石的力学状态也是不断变化的。我们在施工过程中要采用各种不同的施工方法和技术,适应这种变化的状态。隧道施工决策都是建立在施工阶段的地质勘探技术、围岩的量测技术及质量控制技术的基础之上,体现了动态施工的基本含义。

上述4个要点也是隧道工程施工的基本原则。

● 第四节 公路隧道施工中常出现的问题 ●

目前公路隧道施工中常出现的问题主要有:

(1)施工阶段地质判断技术不完善,缺乏有效的判断方法和手段。如地质超前预报技术和设备,还没有推广和应用。

(2)在施工过程中,人们没有牢固树立“保护围岩、爱护围岩”的观点和理念,致使不能有效地控制遗留围岩的损伤和松弛。如:为加快施工进度,在掘进时装药不按爆破设计用药量装药,随意增加药量,使遗留围岩损伤严重,或初期支撑不在要求时间内支护完毕,遗留围岩暴露