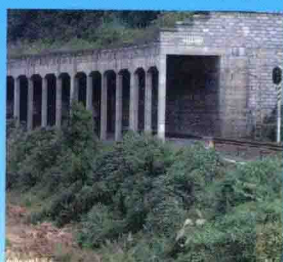




国家骨干高等职业院校建设成果

高速铁路隧道 工程施工技术



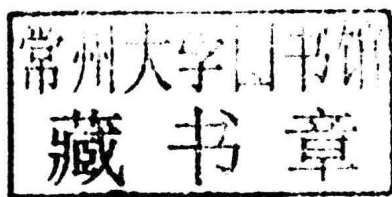
孟维军 王国博 主编
魏家君 主审

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

 国家骨干高等职业院校建设成果

高速铁路隧道工程施工技术

孟维军 王国博 主 编
张凤阳 孙龙梅 副主编
魏家君 主 审



中国铁道出版社

2014年·北京

内 容 简 介

本书主要阐述了高速铁路隧道工程的基本知识、隧道工程施工准备、洞口工程施工、超前地质预报、隧道开挖技术、装渣运输、初期支护、二次衬砌、防排水、现场监控量测、辅助坑道、辅助作业、特殊岩土和不良地质段隧道施工等内容。书中引入大量的高速铁路隧道工程的典型案例，将理论知识与工程实践相结合，概念清楚，重点突出。

本教材可作为高职高专学校土木工程类隧道及地下工程课程的教学用书，也可供隧道施工技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路隧道工程施工技术/孟维军, 王国博主编. —北京:
中国铁道出版社, 2014. 8
国家骨干高等职业院校建设成果
ISBN 978-7-113-18942-6

I. ①高… II. ①孟… ②王… III. ①高速铁路—铁路
隧道—隧道施工—高等教育—教材 IV. ①U459.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 161215 号

书 名: 高速铁路隧道工程施工技术
作 者: 孟维军 王国博 主编

责任编辑: 李丽娟 编辑部电话: 010-51873135 读者热线: 400-668-0820
封面设计: 郑春鹏
责任校对: 龚长江
责任印制: 李 佳

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.51eds.com>
印 刷: 三河市宏盛印务有限公司
版 次: 2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷
开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 19 字数: 474 千
书 号: ISBN 978-7-113-18942-6
定 价: 40.00 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

目前,高速铁路在铁路建设中占据着主导地位,而隧道工程又在高速铁路建设项目中占较大比重。例如武广高速铁路中建有隧道 226 座,总长度 177 km,占线路总长 16.6%。在高速铁路隧道工程中,为降低空气动力学效应而实施的增大断面净空面积、增设缓冲结构等措施使得施工更为复杂,控制更为严格。作为高速铁路建设的施工技术人员,必须掌握隧道工程施工的工艺流程、控制方法和实践技能。

本书以高速铁路隧道工程施工过程为主线,阐述了高速铁路隧道工程的基本知识、隧道工程施工准备、洞口工程施工、超前地质预报、隧道开挖技术、装渣运输、初期支护、二次衬砌、防排水、现场监控量测、辅助坑道、辅助作业、特殊岩土和不良地质段隧道施工等内容。书中以《高速铁路隧道工程施工技术指南(铁建设〔2010〕241号)》、《高速铁路隧道工程施工质量验收标准(TB 10753—2010)》等规范、标准为依据,引入大量的高速铁路隧道工程的典型案例,融入了国内隧道施工方面专家的宝贵经验,将理论知识与工程实践相结合,针对工程的关键工序提出解决方案和控制措施。

本书由哈尔滨铁道职业技术学院孟维军、王国博任主编,哈尔滨铁道职业技术学院张凤阳、孙龙梅任副主编,中铁三局集团专家组组长魏家君任主审。具体编写分工如下:项目 1、4、5、9 由孟维军编写;项目 2、6、8、11 由王国博编写;项目 3、7、12、13 由张凤阳编写;项目 10 由孙龙梅编写;项目 14 由哈尔滨铁道职业技术学院冯浩龙编写。教材在编写过程中,得到了中铁三局集团桥隧公司李存军、郑怀方等企业专家的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

本书既可作为相关专业的教材、参考书外,还可作为铁路施工技术人员的工具书。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏之处。诚请广大读者和各位同行批评指正,以便日后对本书进行修改,使之不断完善。

编者

2014年4月



目录

项目 1 隧道基本知识	1
任务 1.1 隧道工程的分类	1
任务 1.2 高速铁路隧道的特点	4
任务 1.3 隧道结构构造	6
思考题	21
项目 2 隧道设计基础	22
任务 2.1 隧道勘测设计	22
任务 2.2 围岩分级及围岩压力	36
思考题	49
项目 3 隧道工程施工准备	50
任务 3.1 施工调查	50
任务 3.2 技术准备	54
思考题	59
项目 4 洞口工程施工	60
任务 4.1 边、仰坡开挖及防护	60
任务 4.2 洞门施工	62
任务 4.3 明洞及缓冲结构	67
思考题	71
项目 5 超前地质预报	72
任务 5.1 地质调查法	72
任务 5.2 超前地质钻探法	77
任务 5.3 物探法	81
思考题	87
项目 6 隧道开挖技术	88
任务 6.1 开挖方法	88
任务 6.2 钻爆开挖	105

任务 6.3 隧道超欠挖与塌方	131
思考题	137
项目 7 装渣运输	138
思考题	148
项目 8 初期支护施工	149
任务 8.1 喷射混凝土施工	149
任务 8.2 锚杆施工	161
任务 8.3 钢架施工	168
思考题	172
项目 9 二次衬砌施工	173
任务 9.1 拱墙衬砌施工	173
任务 9.2 仰拱及仰拱填充施工	186
思考题	188
项目 10 防排水	189
任务 10.1 施工防排水	189
任务 10.2 结构防排水	196
任务 10.3 注浆堵水	208
思考题	218
项目 11 现场监控量测	219
任务 11.1 监控量测项目	219
任务 11.2 洞内外观察	221
任务 11.3 位移监控量测	223
思考题	233
项目 12 辅助坑道	234
思考题	242
项目 13 铁路隧道施工辅助作业	243
任务 13.1 隧道给排水施工	243
任务 13.2 隧道通风设施	248
任务 13.3 隧道供电照明	260
思考题	264

项目 14 特殊岩土和不良地质地段隧道施工	265
任务 14.1 富水软弱破碎围岩隧道施工	265
任务 14.2 岩溶隧道施工	268
任务 14.3 风积沙和含水砂层隧道施工	276
任务 14.4 瓦斯隧道施工	277
任务 14.5 岩爆隧道施工	285
任务 14.6 膨胀岩和挤压性围岩隧道施工	288
任务 14.7 黄土隧道施工	292
思考题	295
参考文献	296

项目 1 隧道基本知识



项目描述

本项目主要学习铁路隧道的一些基本概念及隧道施工的必要基础知识,为学习隧道工程施工打下相应的知识和技能基础。



教学目标

1. 能力目标

- (1) 具备隧道围岩分级的能力;
- (2) 具备松动围岩压力计算的能力。

2. 知识目标

- (1) 掌握隧道工程的基本概念;
- (2) 掌握高速铁路隧道的特点;
- (3) 掌握隧道的结构构造。

3. 素质目标

- (1) 养成用联系的观点分析问题;
- (2) 树立施工安全第一的思想;
- (3) 具备一定团队协作的能力。

任务 1.1 隧道工程的分类

相关案例:秦岭特长隧道、秦岭终南山隧道和大伙房隧道

1. 铁路隧道

秦岭特长隧道属于铁路隧道,全长 18.45 km,最大埋深 1 600 m,隧道长度为当时国内第一位、世界第六位。秦岭隧道处在一个极为复杂的地质构造断裂带,穿过数个断层和高地应力、涌水等不良地质灾害段。

隧道按一级、重型、电气化铁路标准设计。中部 6 614 m 为钻爆法施工段,其余为 TBM 施工段。衬砌为复合式衬砌和湿喷钢纤维混凝土两种结构,隧道内铺设超长无缝钢轨线路。

隧道 1997 年 12 月开工,2000 年 5 月竣工。秦岭隧道的建成,对带动陕西经济发展和实施大西北开发战略发挥了重大作用。

该工程于 2001 年获原铁道部优质工程一等奖,2002 年鲁班奖。

2. 公路隧道

秦岭终南山隧道属于公路隧道,位于国家高速公路网包头—茂名线,全长 2×18.02 km,是目前双洞总长世界第一的公路隧道。该工程于2002年3月开工建设,施工时利用了已经贯通的西康铁路秦岭隧道H形平导,将18 km隧道分为9段,多开工作面,长隧短打,节省投资约3.54亿元,缩短建设周期2.5年,于2007年10月建成通车。

3. 水工隧道

大伙房隧道属于水工隧道,地处辽宁中部,全长85.32 km,直径8 m,穿越50余座山峰,50多条河谷,29条断层。其地表到隧道顶端距离最大630 m,最小60 m。隧道东起辽宁省桓仁县,西至辽宁省新宾县,工程总投资103亿元,是东北地区最大的输水工程,也是国家重点工程。该工程于2003年开工建设,使用3台TBM(全断面硬岩隧道掘进机),创造了TBM日掘进63.5 m、月掘进1 111 m、误差2 cm的世界级高精度贯通等多项纪录,于2009年全线贯通。

支撑知识:隧道的种类及其作用

隧道是用以保持地下空间作为运输孔道的地下工程。1970年世界经济合作与发展组织OECD隧道会议从技术方面将隧道定义为:以任何方式修建,最终使用于地表面以下的条形建筑物,其空洞内部净空断面在 2 m^2 以上者均为隧道。从这个定义出发,隧道包括的范围很大,且种类繁多,从不同的角度出发,就有不同的分类方法。

(1)从隧道所处的地质条件来分,可以分为土质隧道和石质隧道。

(2)从隧道的长度(L)来分,可以分为短隧道(铁路隧道规定 $L \leq 500$ m;公路隧道规定 $L \leq 500$ m)、中长隧道(铁路隧道规定 $500 \text{ m} < L \leq 3\,000$ m;公路隧道规定 $500 \text{ m} < L < 1\,000$ m)、长隧道(铁路隧道规定 $3\,000 \text{ m} < L \leq 10\,000$ m;公路隧道规定 $1\,000 \text{ m} \leq L \leq 3\,000$ m)和特长隧道(铁路隧道规定 $L > 10\,000$ m;公路隧道规定 $L > 3\,000$ m)。

(3)按国际隧道协会(ITA)定义的隧道横断面积的大小标准来分,可以分为极小断面隧道($2 \sim 3 \text{ m}^2$)、小断面隧道($3 \sim 10 \text{ m}^2$)、中等断面隧道($10 \sim 50 \text{ m}^2$)、大断面隧道($50 \sim 100 \text{ m}^2$)和特大断面隧道(大于 100 m^2)。

(4)从隧道所在的位置来分,可以分为山岭隧道、水底隧道和城市隧道。

(5)从埋深的深度来分,可以分为浅埋隧道和深埋隧道。

(6)按照用途来分,可以分为交通隧道、水工隧道、市政隧道和矿山隧道。

1. 交通隧道

交通隧道的作用是提供交通运输和人行的通道,以满足交通线路畅通的要求,一般包括有以下几种。

(1) 铁路隧道

铁路隧道直接穿山而过,既可以使线路顺直,避免许多无谓的展线,缩短线路;又可以减小坡度,使运营条件得以改善,从而提高牵引定数,多拉快跑。

(2) 公路隧道

高速公路对道路的修建技术提出了较高的标准,要求线路顺直、坡度平缓、路面宽敞等。

公路隧道的修建在改善公路技术状态,缩短运行距离,提高运输能力以及减少事故等方面起到了重要的作用。

(3) 水底隧道

当交通线路需要跨越江、河、湖、海、洋时,一般可以选择的方案有架桥、轮渡和隧道。

河道通航需要较高的净空,而桥梁受两端引线高程的限制,当无法抬起必要的高度时,就要采用水底隧道。

水底隧道的优点是不受气候影响,不影响通航,引道占地少,战时不暴露交通设施目标等,越来越受到人们的青睐。

(4) 地下铁道

地下铁道是解决大城市交通拥挤、车辆堵塞问题,且能大量快速运送乘客的一种城市交通设施。

地下铁道可以使很大一部分地面客流转入地下而不占用地面面积。它没有平面交叉,因而可以高速行驶,且可缩短车次间隔时间,节省乘车时间,便利乘客的活动。在战时,还可以起到人防的功能。

(5) 航运隧道

当运河需要越过分水岭时,克服高程障碍成为十分困难的问题。如果修建航运隧道,把分水岭两边的河道沟通起来,既可以缩短船只航程,又可以省掉船闸的费用,使航运条件大为改善。

(6) 人行地道

为了提高交通运送能力,减少交通事故,除架设街心高架桥以外,也可以修建人行地道来穿越街道或跨越铁路、高速公路等。这样可以缓解地面交通,少占用地面空间,同时大大减少交通事故。

2. 水工隧道

水工隧道是水利工程和水力发电枢纽的一个重要组成部分。水工隧道包括以下几种:

(1) 引水隧道:用于进行水资源的调动或把水引入水电站的发电机组,产生动力资源。引水隧道有的内部充水因而内壁承压,有的只是部分过水,因而内部只受大气压力而无水压,分别称之为有压隧道和无压隧道。

(2) 排水隧道:是把发电机组排出的废水送出去的隧道。

(3) 导流隧道或泄洪隧道:它是水利工程中的一个重要组成部分,它可疏导水流并起补充溢洪道流量超限后的泄洪作用。

(4) 排沙隧道:用来冲刷水库中淤积的泥沙,把泥沙裹带运出水库。有时也用来放空水库里的水,以便进行库身检查或修理建筑物。

3. 市政隧道

市政隧道是城市中安置市政设施的地下孔道。

(1) 给水隧道:城市自来水管网遍布市区,必须要有合理规划和布置的地下孔道来安置这些管道。地下孔道既不破坏市容景观,也不占用地面,并且可避免遭受人为的损坏。

(2) 污水隧道:本身导流排污或在隧道中安放管道排污。一般排污隧道的进口处多设有拦渣隔栅,把漂浮的杂物拦在隧道之外,不致涌入造成堵塞。

(3) 管路隧道:用于煤气、暖气、热水等管路的放置。

(4) 线路隧道:用于输送电力的电缆以及通讯电缆的放置。

在现代化的城市中,将以上四种具有共性的市政隧道,按城市的布局 and 规划,合建一个大隧道,称之为共同管沟。共同管沟是现代城市基础设施科学管理和规划的标志,也是合理利用城市地下空间的科学手段,是城市市政隧道规划与修建发展的方向。

(5) 人防隧道:为战时的防空目的而修建的防空避难隧道。人防隧道内除应设有排水、通

风、照明和通信设备以外,还应考虑储备饮水、粮食和必要的救护设备,此外在洞口处还需设置各种防爆装置,以阻止冲击波的侵入。同时,要做到多口连通、互相贯穿,在紧急时刻,可以随时找到出口。

4. 矿山隧道

在矿山开采中,常设一些为采矿服务的隧道,从山体以外通向矿床,并将开采到的矿石运输出来。

(1)运输巷道:向山体开凿通到矿床的隧道称为主巷道,是主要出入口和主要的运输干道。由主巷道再开辟巷道通往各个开采面。

(2)给水隧道:送入清洁水为采掘机械使用,并将废水及积水通过泵抽排出洞外。

(3)通风隧道:净化巷道中的空气,创造良好的工作环境,用通风机及时把有害气体和污浊空气排除出去,并把新鲜空气补充进来。

任务 1.2 高速铁路隧道的特点

相关案例:太行山隧道

太行山特长隧道长 27 839 m,最大埋深 445 m,设计为双洞单线隧道,两线线间距 35 m。隧道位于直线上,左线、右线隧道的纵向设计坡度基本一致。进口段长 95 m 的坡度为 13.4‰ 的上坡;出口段长 594 m 的坡度为 6‰ 的上坡;其余部分均位于 14.3‰ 的上坡。高速铁路隧道防灾救援要求较高,是其一大特点。

1. 防灾救援设计基本原则

(1)隧道防灾救援贯彻“以防为主,防消结合。方便自救,安全疏散”的原则,健全防灾救援系统,预防灾害发生,减轻发生灾害所产生的影响。

(2)针对隧道内灾害的特点,防灾以防止旅客列车发生火灾为主,采取可靠的防火措施和消防手段,做到安全可靠,技术先进,经济合理,使用维修方便。

(3)阻止发生火灾事故的列车进入隧道,旅客列车发生火灾后,不得在隧道内停车,综合牵引能力、火灾发生规模,确有必要,在隧道内设置“紧急救援站”进行停车疏散。

(4)隧道内设置贯通的救援通道,双洞单线隧道段设置横通道,以满足突然停车后人员安全疏散。

(5)本着“简单、可靠、经济”的原则,隧道内设置必要的防灾救援系统设备。

2. 隧道内设置“紧急救援站”

太行山隧道设置两个“紧急救援站”,“紧急救援站”长度为 550 m,其中 I 号救援站设在太行山隧道 5 号斜并与正洞交叉部位;II 号救援站设在太行山隧道进口端。

3. 洞外疏散平台、引接道路及陡道紧急出口

太行山隧道进口设引接道路到附近的乡村道路。

4. 防护门

太行山隧道两座单线隧道之间间隔 420 m,设置一处垂直于线路中线的横通道。横通道两端设置“防护门”,开启宽度为 3.0 m,高度为 2.1 m(钢筋混凝土单扇平开门,质量 3.9 t)。

每个“紧急救援站”内设置 9 个横通道,横通道两端设置“防护门”。开启宽度 3.0 m,高度 2.1 m(钢筋混凝土单扇平开门、质量 4.2 t)。

所有“防护门”均应满足双向开启,防护门的抗爆荷载不应小于 0.05 MPa,门扇启闭力不

大于 200 N。

5. 排烟竖井

根据环控通风要求,在 DK84+570 两座单线隧道之间设排烟竖井一处,竖井内净空直径为 5.0 m,竖井与正洞之间采用横通道连接。

支撑知识:高速铁路隧道的特点

高速铁路以其运行速度快、线路平直、安全舒适、节约时间等特点,比其他交通工具具有更多的优越性。高速铁路的隧道工程具有占地少、环境污染小、结构安全可靠、拆迁量和对城市干扰小等优点。从技术上来看有以下几个主要特点。

1. 空气动力学效应

当高速列车进入隧道时,强烈冲击处于隧道中的静止空气场,空气的黏性以及隧道壁面和列车表面的摩阻作用使得被排开的空气不能像在隧道外那样及时、顺畅地沿列车两侧和上部形成绕流。于是列车前方的空气受到压缩,列车后方则形成一定的负压,产生一个压力波动过程。这种压力波动又以声速传播至隧道口形成反射波,回传,叠加,产生一系列复杂的空气动力学效应。图 1.1 为列车进入隧道引起的压力波动实态。

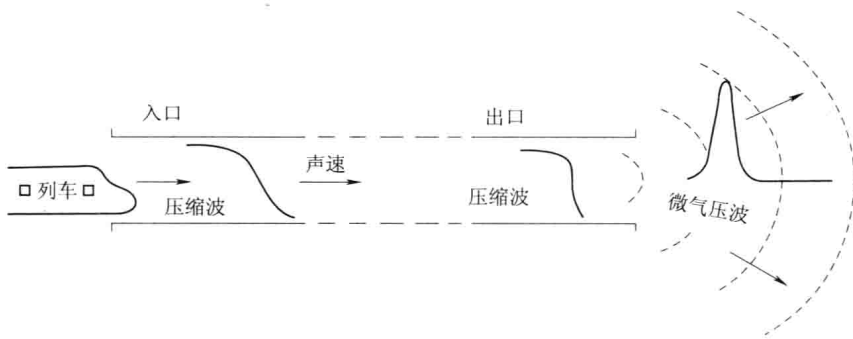


图 1.1 列车进入隧道引起的压力波动图

当高速列车通过隧道时,产生的压缩波实态和大小与许多因素有关。其中主要有:列车速度、列车断面积、列车长度、列车头部形状、隧道断面积、隧道长度、隧道内道床的类型等。因此,在高速铁路设计时,应从车辆及隧道两方面采取措施,以减缓空气动力学效应。

高速列车运行引起的问题有:

(1) 由于瞬变压力造成旅客及乘务人员耳膜不适,舒适度降低。由于车内外压差使车辆产生危害。

(2) 高速列车进入隧道时,会在隧道出口产生微气压波,发出轰鸣声,并会对临近建筑物产生危害。如果隧道净空较小,且洞口处没有缓冲结构,则会发生强烈的爆破声,引起扰民问题。

(3) 行车阻力增大,使运营能耗增大,并要求机车动力增大。

(4) 形成空气动力学噪声(与车速的 6~8 次方成正比)。

(5) 列车风加剧,影响隧道维修养护人员在洞内通车情况下作业。

(6) 列车克服阻力所做的功转化为热量,在洞内积聚引起温度升高等。

2. 可靠性和结构耐久性要求高

所谓可靠性,是指结构在规定的时间内,在正常规定的条件下,完成预定功能的能力,包括安全性、适用性和耐久性。当以概率来度量时,成为结构的可靠度。

所谓结构耐久性,是指结构及其部件在可能引起材料性能劣化的各种作用下能够长期维持其应有性能的能力。高速铁路隧道由于其运营速度比较高,对结构和各种运营设施所产生的作用影响也就比较大,对相应工程结构的可靠性和耐久性的要求也就相应提高。

例如,高速铁路隧道对衬砌混凝土的裂缝要求就特别严格,因为高速铁路隧道内空气压力在不断的变化,特别是洞内会车情况下,压力的波动对结构的表层稳定是不利的。欧洲及日本的研究成果表明:同样的一条裂纹,对普速铁路隧道来说在外荷载停止发展后,将不再继续变化,而高速铁路隧道就不同了,即使外荷载停止了发展,但在频繁变化的洞内空气压力波的作用下,裂缝还将继续发展,从而降低隧道衬砌耐久性和使用功能,甚至危及行车安全。因此,在高速铁路隧道设计中,要采取有效措施减少隧道衬砌裂缝。

3. 对环境的影响更加明显

环境包括自然环境、生态环境和周边人文环境,高速铁路列车以较高的速度运行,其产生的轮轨噪声、机械噪声、弓网噪声和空气动力学等噪声将比普速列车明显,对环境的影响也比普速列车大。例如,列车进入隧道后,形成压缩波,当压缩波传到隧道出口突然释放形成微气压波时,会对洞口的环境造成一定的影响,严重时会产生爆破音,影响附近的建筑物和居民的正常生活。所以,高速铁路隧道的修建就应该更加重视对环境的影响,围绕降低噪声,减少对自然环境、生态环境和周边人文环境的破坏,采取不同于普速铁路隧道的工程措施。

4. 防灾救援要求高

高速铁路隧道中运行的主要是高速度的旅客列车,一旦发生事故和灾害,后果比一般铁路要严重得多。如何避免高速度的旅客列车在隧道内发生事故和灾害,以及旅客列车在隧道内因故停车时,如何快速疏散乘客,发生灾害事故时如何快速救援等,是高速铁路隧道应该重点考虑的问题,相对普速客货共线的铁路隧道来讲,高速铁路隧道对防止发生事故和灾害以及快速救援的要求更高。

任务 1.3 隧道结构构造

相关案例:京沪高速铁路隧道

京沪高速铁路是新中国成立以来一次建设里程长,投资大,标准高的高速铁路。线路由北京南站至上海虹桥站,全长 1 318 km,纵贯北京、天津、上海三大直辖市和冀鲁皖苏四省,连接环渤海和长江三角洲两大经济区,总投资约 2 209 亿元,设 24 个车站。基础设施设计速度为 350 km/h,2008 年 4 月 18 日正式开工,2011 年 6 月 30 日通车,北京到上海最快只需 4 h 48 min。

在京沪高速铁路隧道设计时,对设计构造进行了以下规定:

1. 隧道净空及建筑限界

隧道建筑限界采用《京沪高速铁路线桥隧站设计暂行规定》中规定的限界。隧道断面内轮廓轨面以上净空面积 100 m²。隧道净空考虑车辆限界和预留空间要求,预留空间主要包括安全空间、救援通道和工程技术作业空间。

2. 隧道洞门形式

隧道进出口均设置洞门结构,洞口选择新型洞门结构形式以适合高速铁路的特点,并满足结构安全和环保要求。

3. 隧道衬砌结构

衬砌类型:隧道全部按新奥法设计与施工,采用钢筋格栅锚杆喷混凝土初期支护与模筑混

凝土二次衬砌的复合式衬砌。

衬砌结构形式:采用曲墙式带仰拱衬砌,衬砌轮廓尽量圆顺,对Ⅳ、Ⅴ级围岩衬砌结构的底部适当加强。

4. 建筑材料

初期支护喷射纤维混凝土,强度等级为 C20;二次衬砌采用防水混凝土,强度等级为 C30;其他结构混凝土强度等级不低于 C20。

5. 隧道防排水

在裂隙水较发育地段,采用超前帷幕注浆和开挖后径向注浆封堵大面积淋水或股流,减少地下水流失。在岩溶发育地段,尽量维系岩溶水的既有通道,不宜随意封堵溶洞。

隧道洞内设双侧水沟,水量较大的隧道必要时设中心深水沟。衬砌拱部及边墙设防水板。衬砌背后设竖向盲沟,纵向 10 m 一道。隧道边墙下部两侧各设一道纵向盲沟,使环向盲沟在底部通过纵向盲沟连通,并通过泄水孔与洞内水沟相连。

6. 隧道内防灾与救援

隧道内两侧设置贯通整个隧道的救援通道,救援通道走行面不低于轨面高程,其宽度为 1.5 m,净高为 2.2 m。长度大于 800 m 的隧道内两侧设置紧急呼叫电话,单侧两部电话的距离为 600 m,隧道两侧错开设置。对 $L \geq 1000$ m 的隧道,可结合现场条件设置紧急出入口。出入口横断面最小尺寸:宽度 ≥ 2.3 m,高度 ≥ 2.5 m,纵向仰角 $\leq 35^\circ$ 。竖井作为出口时应设置旋梯。

支撑知识 1: 衬砌构造

开挖后的隧道,为了保持围岩的稳定性,一般需要进行支护和衬砌。支护的主要方式有:锚杆、钢架、钢筋网、喷射混凝土及其组合。衬砌的主要方式有:整体式模筑混凝土衬砌、装配式衬砌、锚喷混凝土衬砌和复合式衬砌等。

1. 整体式模筑混凝土衬砌

整体式模筑混凝土衬砌是指就地灌注混凝土衬砌,也称模筑混凝土衬砌。其工艺流程为:立模→灌注→养生→拆模。模筑衬砌的特点是:对地质条件的适用性较强,易于按需要成型,整体性好,抗渗性强,并适用于多种施工条件,如可用木、钢模板或衬砌模板台车等。

依照不同的地质条件,或是按照不同的围岩级别,又有直墙式和曲墙式两种形式。

(1) 直墙式衬砌

直墙式衬砌适用于地质条件比较好的情况,属于我国铁路隧道围岩分级中的Ⅱ、Ⅲ级围岩,有时也可用于Ⅳ级围岩。围岩压力以竖向为主,几乎没有或仅有很小的水平侧向压力。衬砌由上部拱圈、两侧竖直边墙和下部铺底三部分组成。图 1.2 为单线非电气化铁路隧道衬砌断面。顶部拱圈可采用圆弧形拱、坦三心圆拱或尖三心圆拱。洞内一侧设有排除洞内积水的排水沟。

在地质条件较好时,为了节省圬工,也可以采用大拱脚薄边墙衬砌,见图 1.3。其缺点是大拱脚支座施工困难,在非均质岩层中很难用钻爆法做出整齐稳定的支座。

在地质条件尚好,侧压力不大,但又不宜采用大拱脚喷混凝土边墙衬砌时,为了节省边墙圬工,可以简化边墙。一种方法是降低边墙建筑材料的等级,如将混凝土边墙改为石砌边墙;另一种方法是采用柱式边墙或连拱式边墙,统称为花边墙,如图 1.4 所示。

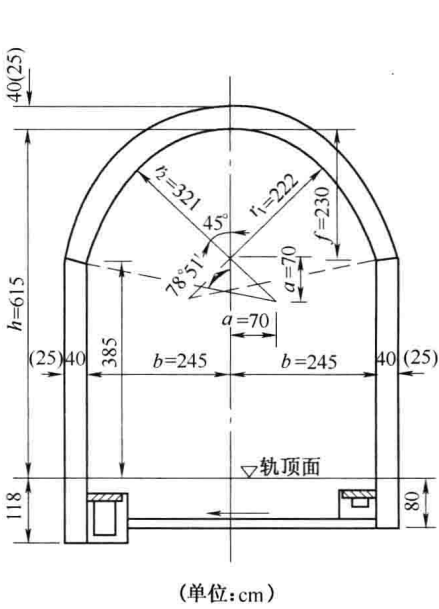


图 1.2 单线非电气化直墙式衬砌

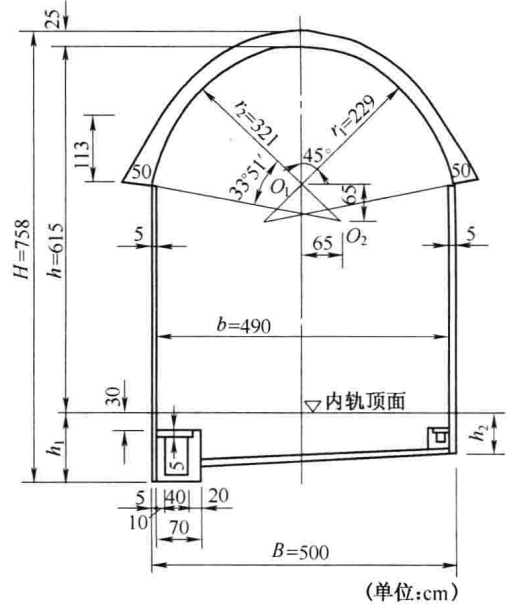


图 1.3 大拱脚薄边墙衬砌

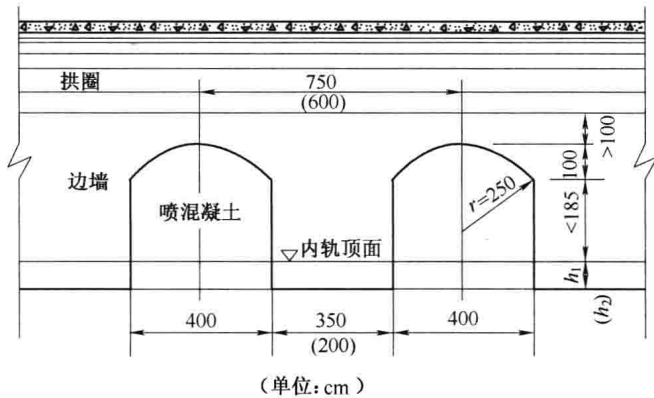


图 1.4 连拱式边墙衬砌

(2) 曲墙式衬砌

曲墙式衬砌适用于地质条件比较差,岩体松散破碎,强度不高,又有地下水,侧向水平压力也相当大的IV、V和VI级围岩情况。曲墙式衬砌由顶部拱圈、侧面曲边墙和底部仰拱(或铺底)组成。仰拱的作用是抵御底部围岩压力和防止衬砌沉降,并使衬砌形成一个环状的封闭整体结构以提高衬砌的承载能力。图 1.5 为单线非电气化铁路隧道衬砌V级围岩直线断面曲墙式衬砌标准图,其内部轮廓线由五心圆曲线组成。

2. 装配式衬砌

装配式衬砌是将衬砌分成若干块构件,这些构件在现场或工厂预制,然后运到坑道内用机械将它们拼装成一环接着一环的衬砌。这种衬砌的特点是:拼装成环后立即受力,便于机械化施工,改善劳动条件,节省劳力。目前多在使用盾构法施工的城市地下铁道中采用。

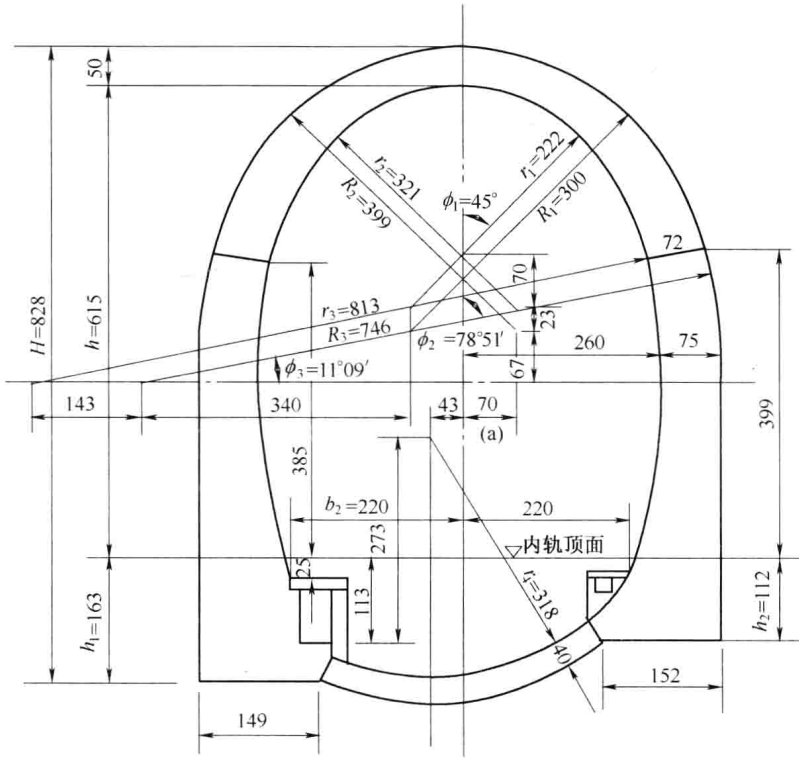


图 1.5 单线非电气化曲墙式衬砌(单位:cm)

这种衬砌具备以下优点:

- (1) 一经装配成环,不需养生时间,即可承受围岩压力。
- (2) 预制的构件可以在工厂成批生产,在洞内可以机械化拼装,从而改善了劳动条件。
- (3) 拼装时,不需要临时支撑,如拱架、模板等,从而节省大量的支撑材料和劳力。
- (4) 拼装速度因机械化而提高,缩短了工期,还有可能降低造价。

装配式衬砌的构造应满足下列条件:①强度足够而且耐久。②能立即承受荷载。③装配简便,构件类型少,形式简单,尺寸统一,便于工业化制作和机械化拼装。④构件尺寸大小和重量适合拼装机械的能力。⑤有防水的设施。

3. 锚喷混凝土衬砌

锚喷混凝土衬砌是指锚喷结构既作为隧道初期支护,又作为隧道永久结构的衬砌形式。它具有衬砌及时、施工方便和经济的显著特点。纤维喷射混凝土中的纤维能够显著改善喷射混凝土的性能,在围岩整体性较好的军事工程、各类用途的使用期较短及重要性较低的隧道中广泛使用。在铁路、公路隧道设计规范中,都有根据隧道围岩地质条件、施工条件和使用要求可采用锚喷衬砌的规定。

铁路隧道设计规定中规定,锚喷衬砌设计应符合下列要求:

(1) 锚喷衬砌内轮廓线应比整体式衬砌适当加大,除考虑施工误差和位移量外,应再预留 10 cm 作为必要时补强用。

(2) 遇下列情况不应采用锚喷衬砌:地下水发育或大面积淋水地段;能造成衬砌腐蚀或特殊膨胀性围岩地段;最冷月平均气温低于 -5°C 地区的冻害地段;有其他要求的隧道。

4. 复合式衬砌

复合式衬砌把衬砌分成两层或两层以上,可以是同一种形式、方法和材料施作的,也可以是不同形式、方法、时间和材料施作的。目前大都采用内外两层衬砌。图 1.6 所示为铁路隧道Ⅳ级围岩复合式衬砌标准图。

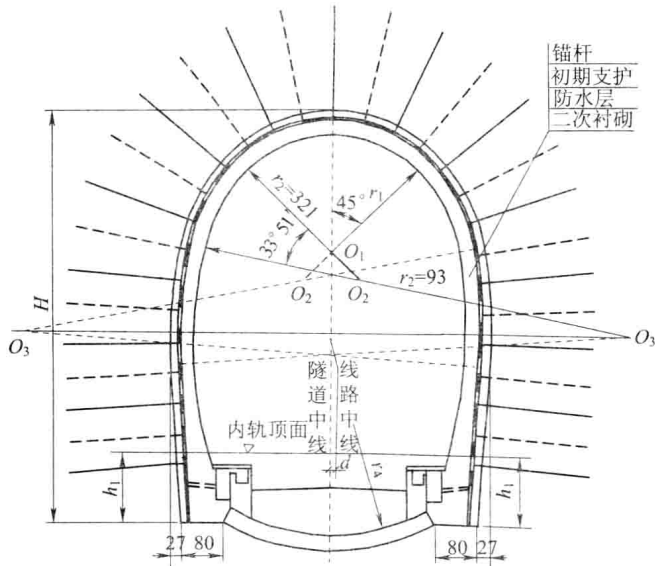


图 1.6 铁路隧道Ⅳ级围岩复合式衬砌标准图(单位:mm)

复合式衬砌是先在开挖好的洞壁表面喷射一层早强的混凝土(有时也同时施作锚杆),凝固后形成薄层柔性支护结构(称初期支护)。它既能容许围岩有一定的变形,又能限制围岩产生有害变形,其厚度多在 5~20 cm 之间。一般待初期支护与围岩变形基本稳定后再施作内衬(二次衬砌)。为了防止地下水流入或渗入隧道内,可以在外衬和内衬之间设防水层,其材料可采用软聚氯乙烯薄膜、聚异丁烯片、聚乙烯等防水卷材,或用喷涂防水涂料等。

复合式衬砌可以保证初期支护施作及时,刚度小,易变形,与围岩密贴,从而能保护围岩和加固围岩,促进围岩的应力调整,充分发挥围岩的自承能力。二次衬砌完成后,衬砌内表面光滑平整,可以防止外层风化,装饰内壁,增强安全感。它既能够充分发挥喷锚支护的优点,又能发挥二次衬砌永久支护的可靠作用。

复合式衬砌是目前隧道工程常采用的衬砌形式。其设计、施工工艺过程与其相应的衬砌及围岩受力状态均较合理,十分符合衬砌结构的力学变化过程。其质量可靠,能够达到较高的防水要求;也便于采用喷锚、钢支撑等工艺。因此,它也是比较合理的结构形式,是目前铁路隧道主要的结构形式。

支撑知识 2: 洞门与明洞

1. 洞门

洞门是隧道洞口用圬工砌筑用以保护洞口、排放流水并加以建筑装饰的支挡结构物。它联系衬砌和路堑,是整个隧道结构的主要组成部分,也是隧道进出口的标志。

洞门的作用有以下几个方面:

(1)减少洞口土石方开挖量。洞口段范围内的路堑是根据地质条件以一定坡率开挖的,当隧道埋置较深时,开挖量较大,设置隧道洞门可以起到挡土墙的作用,减少土石方开挖量。