



“十二五”职业教育国家规划教材
 经全国职业教育教材审定委员会审定
 全国铁道职业教育教学指导委员会规划教材
 高等职业教育高速铁路工程技术专业“十二五”规划教材

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 编

魏家君 主 审

中国铁道出版社

2019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 (2019. 1重印)
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—高等职业教育—教材 IV. ①U459

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
封面设计: 郑春鹏
责任校对: 龚长江
责任印制: 李 伟

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 务: 三河市宏盛印务有限公司
版 次: 2014 年 8 月第 1 版 2019 年 1 月第 4 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: 50.00 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) 51873649, 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 211 km,占线路总长 16.4%。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、控制方法和实践能力。

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作手册。由于编者水平有限,书中难免存在疏漏之处。诚挚欢迎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

全国优秀教材（职业教育与继续教育类）申报展示

全国优秀教材（职业教育与继续教育类）申报展示

全国优秀教材（职业教育与继续教育类）申报展示



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 明洞及缓冲结构施工	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 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 风积沙和冲积砂层隧道施工	276
任务 14.4 瓦斯隧道施工	285
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

全国优秀教材 (职业教育与继续教育类) 申报展示

全国优秀教材 (职业教育与继续教育类) 申报展示

全国优秀教材 (职业教育与继续教育类) 申报展示

全国优秀教材（职业教育与继续教育类）申报展示

全国优秀教材（职业教育与继续教育类）申报展示

全国优秀教材（职业教育与继续教育类）申报展示

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

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 1 200 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。其中 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余座山岭,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2001年开工建设,使用3台TBM(全断面硬岩隧道掘进机),创造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,并设置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 $500 \text{ m} < L \leq 1000$ m;公路隧道规定 $500 \text{ m} < L < 1000$ m)、长隧道(铁路隧道规定 $3000 \text{ m} < L \leq 10000$ m;公路隧道规定 $1000 \text{ m} \leq L \leq 3000$ m)和特长隧道(铁路隧道规定 $L > 10000$ m;公路隧道规定 $L > 3000$ 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)从埋深的程度来分,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4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、海等障碍时,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,而桥梁受两端墩台高程的限制,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,除架设街天桥、立交桥以外,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运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:向山体以外通到矿床的隧道称为主巷道,是主要出入口和主要的运输通道。由主巷道再开辟巷道通向各个开采面。

(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,综合考虑牵引能力、火灾发生规模,如有必要,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,以满足突然停车时人员安全疏散。

(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 号斜井与正洞交叉部位;II 号救援站设在太行山隧道另一端。

3. 洞外疏散平台、引接道路及隧道紧急出口

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 4.8 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+53 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,比其他交通工具更多的优越性。高速铁路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。从技术上来讲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擦作用使得被排开的空气不能在隧道外那样及时、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。

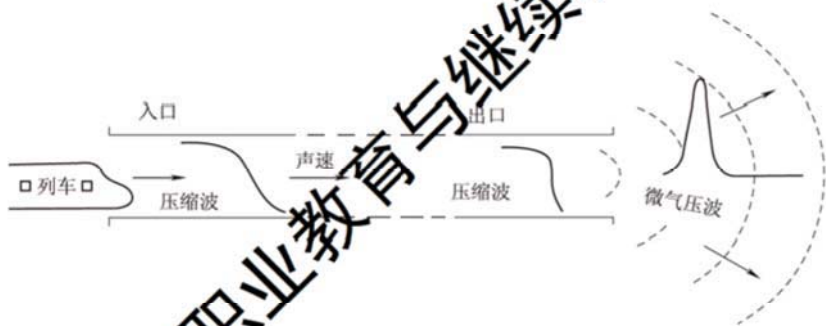


图 1.1 列车进入隧道引起的压力波动图

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。其中主要与列车速度、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噪声。
- (2) 高速列车进入隧道时,会在隧道出口产生微气压波,发生轰鸣声,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:同样的一条线路,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,即使外荷载停止了发展,但在频繁变化的洞内空气压力波动作用下,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通列车明显,对环境的影响也比普通列车大。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,采取不同于普通铁路隧道的工程措施。

4. 防火救援要求高

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。

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净空空间要求,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渗流,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。衬砌拱部侧墙设防水板。衬砌背后设环向盲沟,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,出入口仰角 $\leq 35^\circ$ 。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,易于按设计成型,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。

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,几乎没有或仅有较小的水平侧向压力。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。

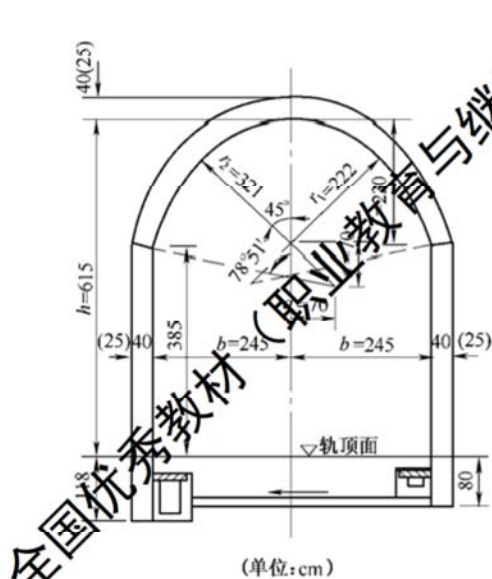


图 1.2 单线非电气化直墙式衬砌

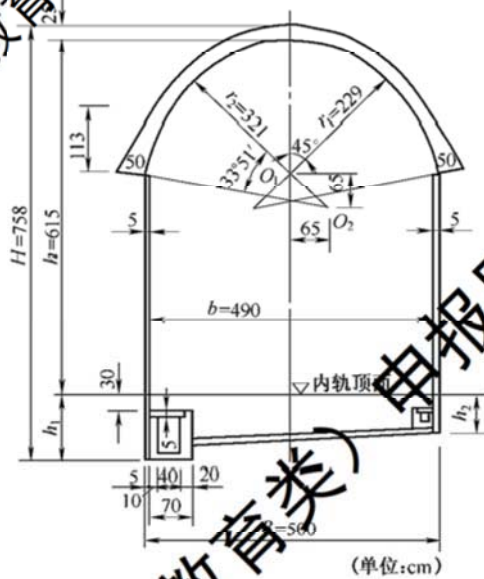


图 1.3 大拱脚薄边墙衬砌

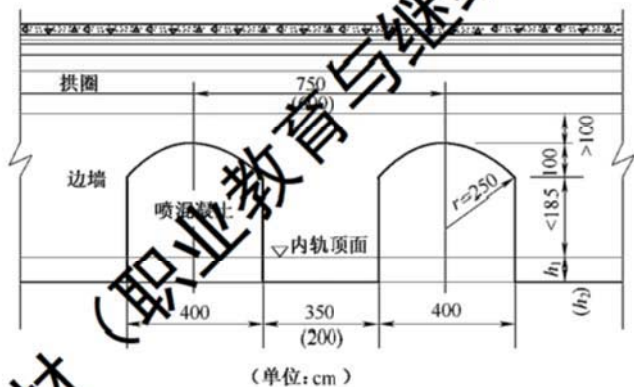


图 1.4 连拱式边墙衬砌

(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。

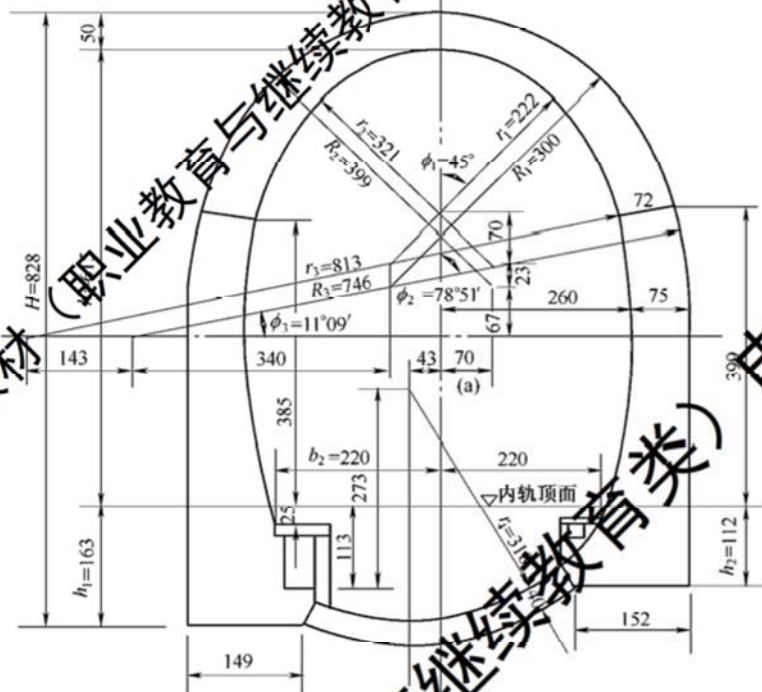


图 1.5 单线非电气化曲线式衬砌(单位:cm)

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、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、各类用途的使用期限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。

铁路隧道设计规范中规定,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。

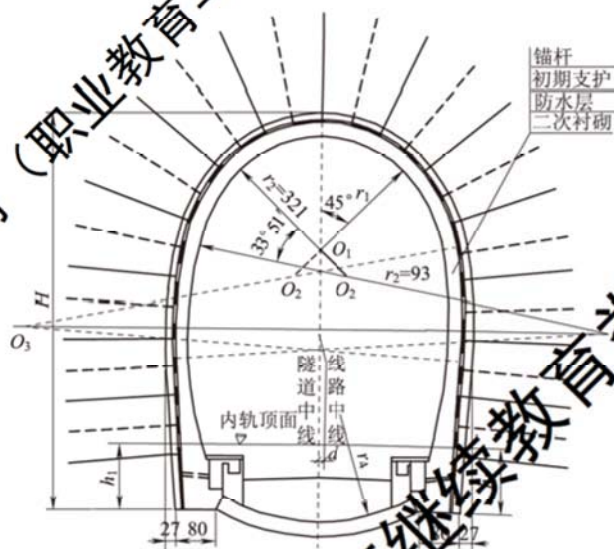


图 1.6 铁路隧道Ⅳ级围岩复合式衬砌标准图(单位:mm)

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、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,可以防止衬砌风化,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应力状态均较合理,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效果,也便于采用喷锚、钢支撑等工艺。因此,它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、排除积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。

(2)稳定边、仰坡。修建洞门可减小引线路基的边坡高度,缩小正面仰坡的坡面长度,使边坡及仰坡得以稳定。

(3)引离地表水流。地表水流往往汇集在洞口,如不排除,将会浸害线路,妨碍行车安全。修建洞门可以把水流引入侧沟排走,确保运营安全。

(4)装饰洞口。洞口是隧道唯一的外露部分,是隧道的正面外观。修建洞门可起装饰作用,特别在城市附近、风景旅游区内的隧道更应配合当地的环境,给予艺术处理进行美化。

由于隧道洞口所处的地形、地质条件不同,洞门形式也有所不同,主要有如下几种。

(1)环框式洞门

环框式洞门(图 1.7),即只镶饰隧道衬砌两端部分,适用于隧道洞口仰坡极为稳固,岩层坚硬,节理不发育,不易风化,地形陡峻而又无排水要求的情况。其作用是加固洞口,减少雨后洞口滴水的作用,并对洞口做出简单的装饰。

(2)端墙式洞门

端墙式洞门俗称一字式洞门(图 1.8),适用于地形开阔,岩层较为坚硬完整,山体压力很小的洞口地段,由端墙、洞门顶排水沟组成。端墙的作用是抵抗山体纵向推力及支持洞口正面上的仰坡,保持其稳定。洞门顶水沟用来将仰坡流下来的地表水汇集后排走。

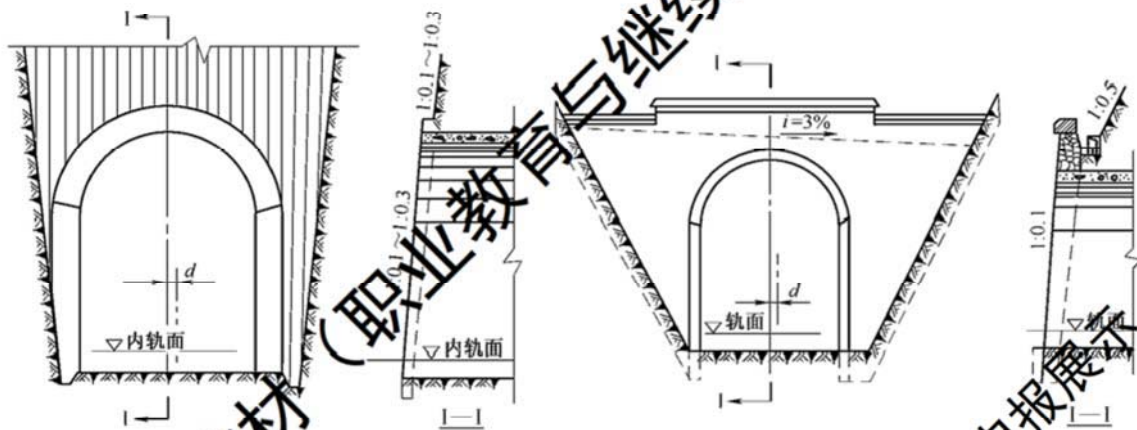


图 1.7 环框式洞门

图 1.8 端墙式洞门

(3)柱式洞门

柱式洞门是从端墙式洞门发展起来的,它实际也是一种端墙形式的洞门。当岩层有较大主动侧压力时,如仍向端墙式洞门那样采用同一厚度的端墙,则过不安全,浪费圬工。为此,区别侧力大小,将洞门设计成横向不等厚,且最厚处即为柱形的柱式洞门。柱式洞门适用于洞口地形较陡,地质条件较差,岩层有较大侧压力,仰坡有下滑可能性的地段,或洞口处地形狭窄,受地形或地质条件限制,设置翼墙无良好基础或不能设置翼墙的地段,这时可以在端墙中部设置两个断面较大的柱墩,以增加端墙的稳定性的,如图 1.9 所示。

(4)翼墙式洞门

当洞口地质较差(Ⅳ级及以上围岩),山体纵向推力较大时,可以在端墙式洞门的单侧或双侧设置翼墙(图 1.10)。翼墙在正面起到抵抗山体纵向推力,增加洞门的抗滑及抗倾覆能力的作用。两侧面保护路基边坡,起挡土墙作用。翼墙顶面与仰坡的延长面相一致,其上设置水沟,将洞门顶水沟汇集的地表水引入路基侧沟内排走。



图 1.9 柱式洞门

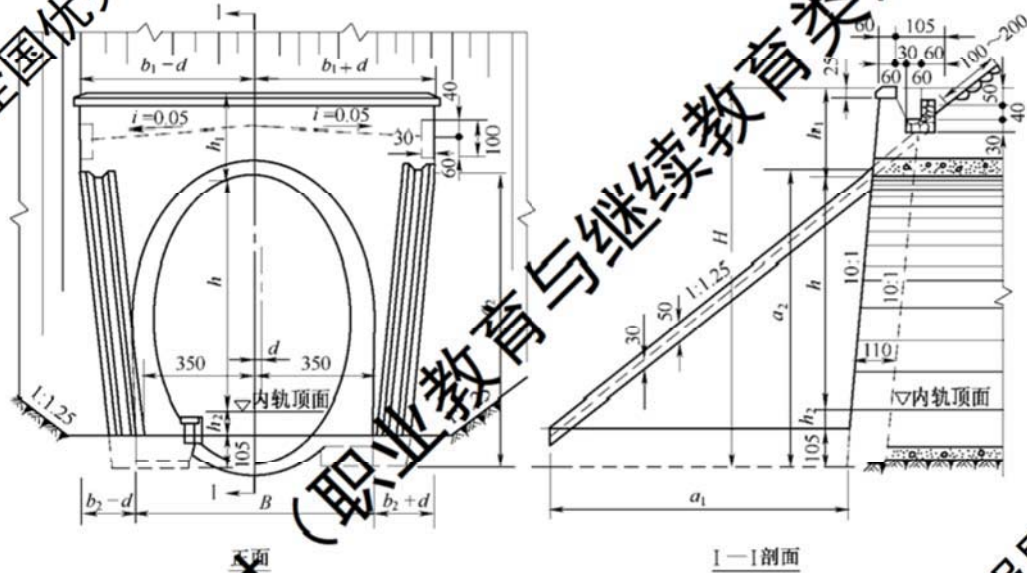


图 1.10 翼墙式洞门(单位:cm)

(5) 台阶式洞门

当洞门处于傍山侧坡地区,地面横坡较陡,洞门一侧边坡较高时,为了减小仰坡高度及边坡坡长,可以将端墙一侧顶部改为逐级升高的台阶形式,以适应地形的特点,减少仰坡土石开挖量。这种洞门也具有一定的美化作用,如图 1.11 所示。

(6) 斜交式洞门

当线路方向与地形等高线斜交时,可采用平行于地形等高线方向与线路成斜交的洞门,如图 1.12 所示。

在松软地层中,不宜采用斜洞门。斜洞门与线路中线的交角不应小于 45°。

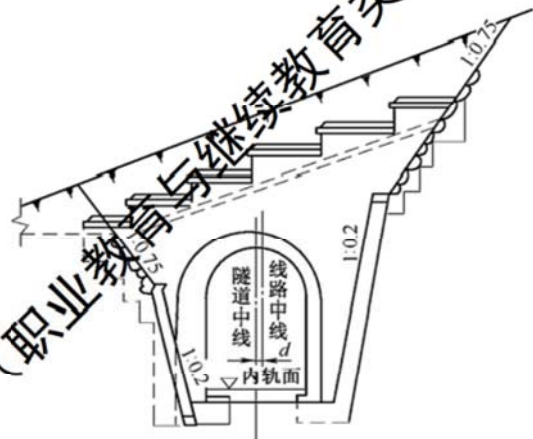


图 1.11 台阶式洞门

洞门与衬砌斜口段是整体砌筑的。由于斜洞门与线路中线斜交,因而洞口环节衬砌跨度加大,衬砌斜口段的受力情况复杂,施工也不方便,因此,只有在十分必要时才采用。

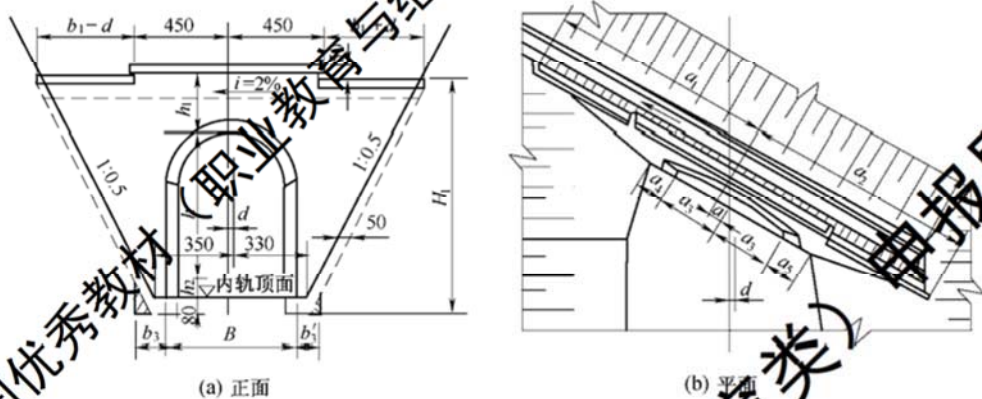


图 1.12 斜交式洞门(单位:cm)

(7)喇叭口式洞门

高速铁路隧道,为了减缓高速列车的空气动力学效应,对单线隧道,一般设喇叭口缓冲段,同时兼作隧道洞门。

由上述可知,洞门的形式较多,洞门形式应根据洞口的地形、地质条件、隧道程度和所处的位置等确定,特别要注意洞口施工后地形变化的特点。

2. 明洞

明洞是隧道的一种变化形式,宜用明挖法修筑。所谓明挖是指把岩体挖开,在露天修筑衬砌,然后回填土石。这样修筑的构筑物,外形几乎与隧道无异,有拱圈、边墙和底板,净空与隧道相同,和地表相连处,也设洞门、排水设施等。

明洞一般修筑在隧道的进出口处,当遇到地质差且洞顶覆盖层较薄,用暗挖法难以进洞时,或洞口路堑边坡上有落石而危及行车安全时,或铁路、公路、河渠必须在铁路上方通过,且不宜做立交桥或涵渠时,均需要修建明洞。它是隧道洞口或线路上起防护作用的重要建筑物,在铁路线上使用较多。

明洞的结构类型常因地形、地质和危害程度的不同,有多种形式,采用最多的为拱式明洞和棚式明洞两种。

拱式明洞

拱式明洞由拱圈、边墙和仰拱(或铺底)组成,它的内轮廓与隧道相一致,但结构截面的厚度要比隧道大一些,可分为路堑式对称型、路堑式偏压型、半路堑式偏压型、半路堑式单压型。

(1)路堑式对称型

路堑式对称型明洞适用于路堑边坡处于对称或接近对称,边坡岩层基本稳定,仅防边坡有少量坍塌、落石,或用于隧道洞口岩层破碎,覆盖层较薄而难以用暗挖法修建隧道时。

在挖出路堑的基面上,先修建与隧道衬砌相似的结构,然后上面回填覆盖土石,夯实并覆盖防水黏土层,层上留有排水的沟槽,防止地面水的渗入。两侧墙外填以浆砌片石,使其密实,如图 1.13 所示。

力,虽然它的结构内轮廓与隧道一致,仍是左右对称的,但结构截面却是左右不同的,内侧边墙为等厚直墙,外墙需要相对地加大,而且必须把基础放在稳固的基岩上。有时,拱圈也可能采用变截面,以抵抗单侧的压力。

当外侧地形较低,不能保持回坡上的天然稳定坡度,或是按天然稳定坡度则边坡将延伸很远时,可以在结构的外墙顶上搭高一段挡墙,用以拦截土石流的走,称之为耳墙式拱形明洞,如图 1.16 所示。

2. 棚式明洞

当山坡的塌方,土石数量较少,山体侧向压力不大,或因受地质、地形限制,难以修建拱形明洞时,可以修建棚式明洞,如图 1.17 所示。



图 1.17 棚式明洞

棚式明洞常见的结构形式有盖板式、刚架式和悬臂式三种。

(1) 盖板式棚洞

盖板式棚洞是由内墙、外墙及钢筋混凝土盖板组成的简支结构。顶上不是拱圈而是平的盖板,其上回填土石,以保护盖板受山体落石的冲击。

内墙一般为重力式墩台结构,厚度较大,用以抵抗山体的侧向压力,它的基础必须放在基岩或稳固的地基上。若是侧坡较陡,地面水不大,坡面稳定而坚实,采用重力式内墙开挖量太大时,也可采用钢筋混凝土锚杆挡墙的形式。

外墙不受侧向压力,仅承受梁和盖板的竖向荷载时,它要求的地基承载力较小,此时外墙可以较薄,或可以根据落石的严重与否以及地质情况,采用立柱式(梁式)或连拱墙式结构。当外侧基岩较浅,地基基础承载力较大时,可采用立柱式,如图 1.18 所示。

(2) 刚架式棚洞

地形狭窄,山坡陡峻,基岩埋置较深而上部地基稳定性差时,可采用刚架式或长腿式外墙,将基础置于稳固的地基上,称为刚架式棚洞(或长腿式棚洞)。该种棚洞主要由外侧刚架、内侧重力式墩台结构、横顶梁、底横撑及钢筋混凝土盖板组成,并做防水层及回填土石处理。见图 1.19。

(3) 悬臂式棚洞

对稳固而陡峻的山坡,外侧地形难以满足一般棚洞的地基要求,而且落石不太严重时,可修筑悬臂式棚洞,如图 1.20 所示。

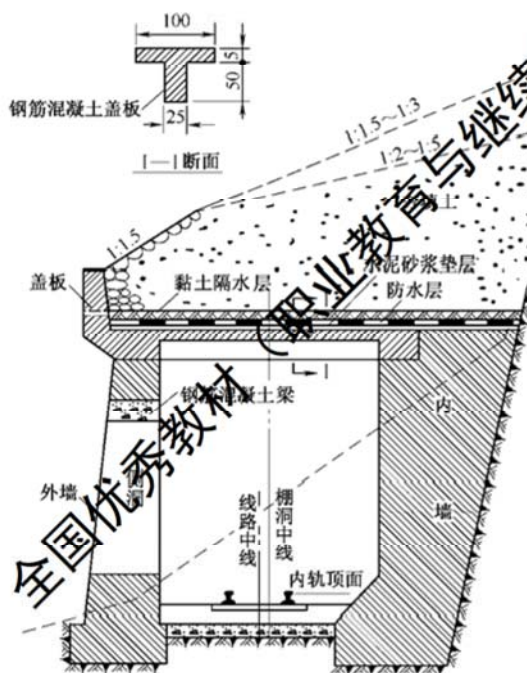


图 1.18 盖板式棚洞(单位:cm)



图 1.19 刚架式棚洞

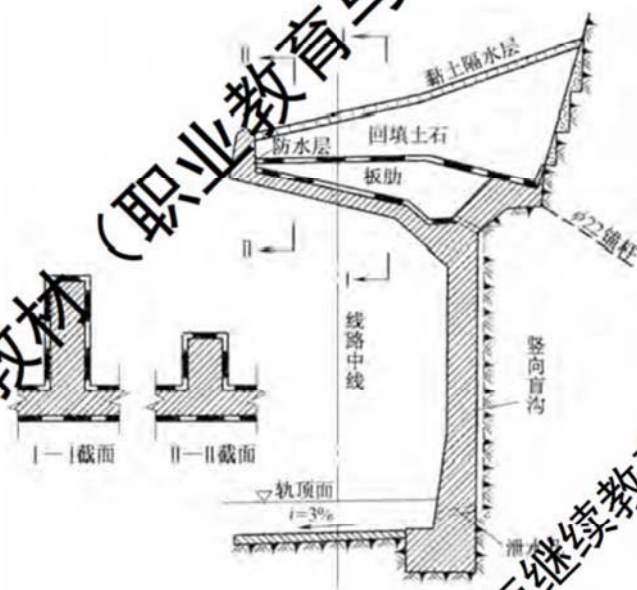


图 1.20 悬臂式棚洞

悬臂式棚洞内墙为重力式,上端接筑悬臂式横梁,其上铺以盖板,在盖板的内端设平衡重来维持结构受外荷载作用下的稳定性。同时为了增加棚洞的稳定性,要求悬臂必须伸入稳定的基岩内。但是,由于对内墙的稳定性要求很高,施工必须十分谨慎,又因其是不对称结构,所以应当慎重选用。

支撑知识 3:隧道附属建筑物

为了使隧道正常使用,保证列车安全运营,除上述主体建筑物外,还要修筑一些附属建筑物。其中包括:防排水设施、电力及通信信号的安放设备及运营通风设施等。

1. 防排水设施

保持隧道干燥是使其能正常运营的重要条件之一。但隧道内经常有一些地下水渗漏进来,且维修工作也会带来一些废水,使隧道内保持不了干燥。隧道漏水易引起漏电事故,造成金属的电蚀现象,使隧道内的各种附属设施霉烂、锈蚀、变质、失效。在严寒地区,冬季渗入洞内的水结成冰凌,倒挂在衬砌拱顶上,侵入净空限界,危及行车安全。因此,隧道的防排水是隧道设计、施工和运营中的一个重要问题。

隧道的永久性防排水,是用防排水工程措施实现的。通过理论和实践经验的总结,提出了“防、堵、截、排,因地制宜,综合治理”的原则,采取切实可靠的设计、施工措施,达到防水可靠、排水畅通、经济合理的目的。

(1)“防”

“防”即要求隧道衬砌结构具有一定的防水能力,能防止地下水渗入。其措施有如下几个方面:

①防止地表水的下渗。当隧道地表的沟谷、坑洼积水对隧道有影响时,宜采取疏导、勾补、铺砌和填平等措施,对废弃的坑穴、钻孔等应填实封砌,防止地表水下渗。

②隧道附近水库、池沼、溪流、井泉的水,当有可能渗入隧道时,应采取措施处理。

③混凝土衬砌抗渗等级不得低于 P6,必要时可采用防水混凝土(不小于 P8)。

④施工缝、变形缝应采用可靠的堵水措施。

⑤围岩破碎、含水、易坍塌地段,宜采用注浆加固围岩和防水措施。

⑥在初期支护与二次衬砌之间,宜设置防水板或设系统盲(管)沟。当隧道底部有涌水时,应采用封闭式防水板。

⑦有侵蚀性地下水时,应针对侵蚀类型,采用抗侵蚀性混凝土以及压注抗侵蚀浆液,设置防水、防蚀层等措施。

⑧最冷月平均气温低于 -15°C 地区和高海拔地区,对地下水的处理应以堵为主。

(2)“截”

“截”是指截断地表水和地下水流入隧道的通路。为了防止地表水渗入地层内,主要采取以下措施:

①在洞口仰坡外缘 5 m 以外,设置天沟,并加以铺砌。当岩石裸露,地面坡度较陡时可不设天沟。仰坡上可种植草皮、喷抹灰浆或加以铺砌。

②对洞顶天然沟槽加以整治,使山洪渲泄畅通。

③对洞顶地表的陷穴、深坑加以回填,对裂缝进行堵塞。处理隧道地表水时,要有全局观点,不应妨害当地农田水利规划,做到因地制宜,一改多利,各方满意。

(3)“堵”

“堵”是指衬砌防水,即堵住地下水,防止其从衬砌背后渗入隧道内。其办法是在衬砌外圈、衬砌中间或在其内表面设置防水层或进行压浆。

①防水层:防水层种类很多,大致可归纳为两类。一类为粘贴式防水层,如用沥青将油毡(或麻布)粘贴在衬砌的外表面(适用于明挖修建的地下工程),复合式衬砌在初期支护与二次

模筑衬砌之间可粘贴软聚氯乙烯薄膜、聚异丁烯、聚乙烯片等防水卷材。另一类为喷涂式防水层,如“881”涂膜防水胶、阳离子乳化沥青等防水剂。

②压浆:向支护背后压注水泥砂浆,用以充填支护与围岩之间的空隙,以堵住地下水的通路,并使支护与围岩形成整体,改善支护受力条件。采用压浆分段堵水,使地下水集中在一处或几处后再引入隧道内排出,此法可收到良好的防水效果。

(4)“排”

“排”是将地下水排入隧道内,再经由洞内水的沟排走。隧道内设置的排水建筑物有排水沟和盲沟。

①排水沟。除了长度在 100 m 以下,且常年干燥无水的隧道以外,一般的隧道均设置排水沟,使渗漏到洞内的和从道床涌出的地下水,沿着带有流水坡的排水沟,顺着线路方向引出洞外。排水沟的断面按排水量计算确定,但一般沟底宽不应小于 40 cm,沟深不应小于 35 cm。沟底纵坡宜与线路纵坡一致。水沟上面应设有预制的钢筋混凝土盖板,其顶面应与避车洞底面齐平。排水沟在一定长度上应设检查井,以便随时清理残渣。

排水沟有两种方式:一种是侧式水沟,它设在线路的两侧或一侧,视流量大小而定。当为一侧时,应设在来水的一侧;如为曲线隧道,则应设在曲线内侧。两侧水沟隔一定距离应设一横向联络沟,以平衡不均匀的水流量。这种排水沟便于检查而不受行车的干扰。另一种是中心式水沟,隧道采用整体道床时水沟没在线路中线的上方,双线隧道时,水沟设在两线之间。水沟是用混凝土砌筑的,维修工作量较小,一旦需要清理或维修时,必须在行车间隔的时间内进行,不甚方便。

在严寒地区,可修筑浅埋保温水沟,即将水沟沟身加深,用轻质混凝土作成上、下两层,各自设有钢筋混凝土盖板。上层用保温材料密实填充,厚度不小于 70 cm,可保流水不冻。图 1.21 为侧式浅埋保温水沟。

当浅埋保温水沟不足以防止冻害时,可设置中心深埋渗水沟(图 1.22),即利用地温本身的作用,达到保温防冻害之目的。当隧道内冻结深度较深,用明挖法会影响边墙稳定时,可采用暗挖法修筑泄水洞。



图 1.21 侧式浅埋保温水沟(单位:cm)

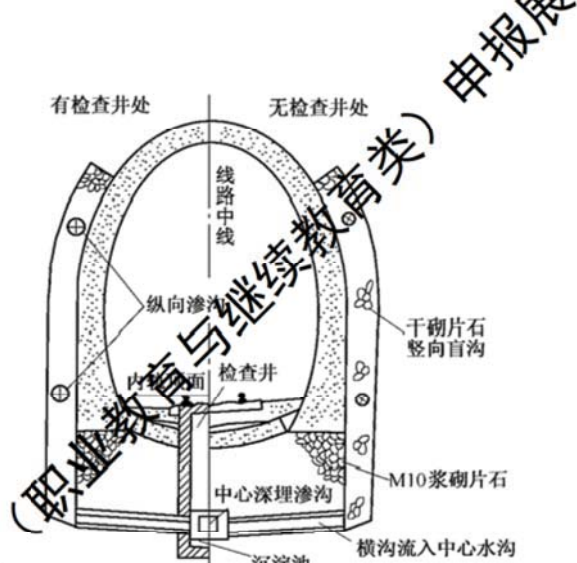


图 1.22 中心深埋渗水沟

②盲沟。在衬砌背后,用片石或埋管设置纵向或竖向盲沟,以汇集衬砌周围的地下水,并通过盲沟底部泄水孔(或预埋管)引入隧道侧沟排出。

2. 避车洞

当列车通过隧道时,为了保证洞内行人、维修人员及维修设备(小车、料具)的安全,在隧道两侧边墙上交错修建的人员躲避及放置车辆、料具的洞室叫做避车洞。速度 200 km/h 以上的高速铁路隧道,避车洞的设置将从空气力学上影响高速运行的列车,而高速运行的列车将产生强烈的列车风。采用较大的隧道内净空面积后,在隧道内净空轮廓范围内设置宽 1.2 m 人员待避空间,不再设置避车洞;或从维修管理模式上改变行车及行车间隔时间,不进洞维修。每天集中在停车“天窗”进行综合检查与维修时,可不设人员待避区或避车洞。

避车洞根据其断面尺寸的大小分为大避车洞和小避车洞两种。

(1) 大避车洞

大避车洞的净空尺寸为:宽 4 m,凹入边墙深 2.5 m,中心高 2.8 m,如图 1.23 所示。

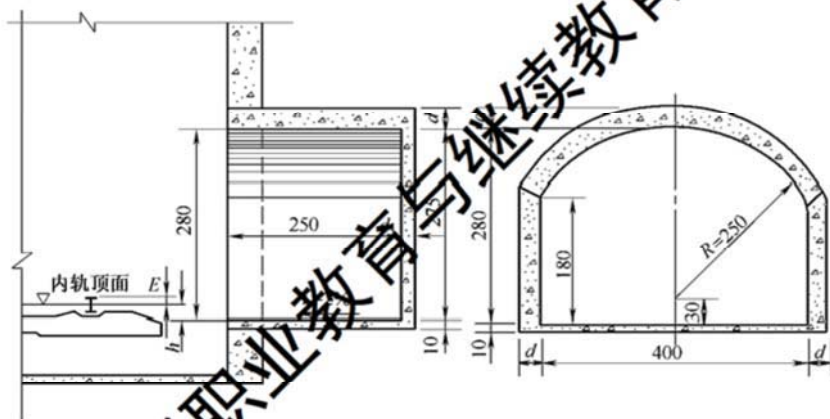


图 1.23 大避车洞(单位:cm)

在碎石道床的隧道内,每侧相隔 300 m 布置一个避车洞,在整体道床的隧道内,为人员行车待避较方便,线路维修工作量较小,为此,每侧相隔 420 m 布置一个大避车洞。

当隧道长度在 300~400 m 时,可在隧道中间布置一个大避车洞;隧道长度在 300 m 以下时,可不布置大避车洞;如果两端洞口接桥或路堑,当桥上无避车台或路堑两边侧沟外无平台时,应与隧道一并考虑布置大避车洞。

(2) 小避车洞

小避车洞的净空尺寸为:宽 2 m,凹入边墙深 1 m,中心高 1.7 m,如图 1.24 所示。

无论在碎石道床或整体道床的隧道内,每侧边墙上应在大避车洞之间间隔 60 m(双线隧道按 30 m)布置一个小避车洞。如隧道邻近有农村市镇,或曲线半径小,视距较短时,小避车洞可适当加密。

为使避车洞的位置明显,便于人员在光线暗淡的隧道内易于寻找,迅速地奔向最近的避车洞,且可不跨越线路,在避车洞内以及周边上用石灰浆刷成白色,并在两侧距离为 10 m 处的边墙上各绘一个白色的指向箭头,运营期间应保证这些标志的鲜明醒目,如图 1.25 所示。

养护作业用的照明插座,一般设在避车洞内,装置高度(距轨面)不宜低于1.5 m。

隧道长度大于500 m时,需要在设有电缆槽的同侧大避车洞内设置余长电缆腔;隧道长度在500~1 000 m时,需要在隧道中间设置一处;1 000 m以上的隧道则每隔420 m或600 m增设一处。

(2) 信号继电器箱和无人增音站洞

隧道内如需要设置信号继电器时,应在电缆槽同侧设置信号继电器箱洞,其宽度为2 m,深度为2 m,中心高度为2 m。

根据电讯传输要求和通讯设计要求,在隧道内设置无人增音站时,其位置可根据通导要求确定,亦可与大避车洞结合使用,但应将大避车洞加深2.5 m。如不能结合时,则另行修建,其尺寸同大避车洞。

电力牵引的长隧道,如需设置存放维修接触网的绝缘梯车洞时,宜利用施工辅助坑道或避车洞修建,其间距约500 m。

隧道内还有一些其他专门的构造设备,如洞门的检查梯、洞内变压器洞库、双孔隧道之间的行人横洞(宽2 m,高2.2 m,间距300~400 m)和行车横洞(宽4 m,高4.5 m,间距600~800 m)、存放消防器材及救援设施的洞室、报警及其他应急设施等,可以按照具体需要予以布置。

4. 隧道通风设施

要达到铁路隧道规范规定的标准,除了提高列车运行速度、铺设整体道床、给避车洞安装防烟门和为隧道内工作人员配备防毒口罩以外,采取通风措施是最有效的一种方法。

通风可以分为借助自然条件的自然通风和依靠人为条件的机械通风两种方式。

自然通风是利用洞内的天然风流和列车运行所引起的活塞风来达到通风目的的。机械通风则是在自然通风不能满足要求时,设置一系列通风机械,送入或吸出空气来达到通风目的的。

铁路隧道设计规范总结了許多实践经验,归纳了隧道通风的一般规定:单线隧道,当用内燃机车牵引时2 km以上和用电力机车牵引时8 km以上的隧道,都应设置机械通风。双线隧道应根据行车密度、自然条件等具体情况而定,对于内燃机车牵引的双线隧道,当隧道长度 $L(\text{km}) \times \text{行车密度} N(\text{对}/\text{d}) \leq 100$ 时不应设置机械通风。

机械通风的方式可以分为两大类:纵向式通风、横向式通风(全横向式通风和半横向式通风)。

思考题

- 1.1 隧道工程的分类有哪些?
- 1.2 高速铁路隧道工程有哪些特点?
- 1.3 隧道衬砌形式有哪些?各有什么特点?

项目教育与继续教育类 申报展示

隧道设计基础



项目描述

本项目通过对铁路隧道勘测设计、围岩分级及围岩压力的基本原理和基本方法的学习,为高速铁路隧道工程施工的学习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) 了解隧道勘测设计的过程;
- (2) 掌握铁路隧道围岩分级;
- (3) 掌握铁路隧道围岩压力计算。

3. 素质目标

- (1) 培养学生树立全局观念;
- (2) 培养学生的逻辑思维;
- (3) 培养学生拼搏进取的意识。

任务 2.1 隧道勘测设计

相关案例:狮子洋隧道

狮子洋隧道是广深港客运专线的重点和难点工程,确定为控制性工程,是国内第一条铁路水下隧道,也是国内第一条采用盾构法修建的最长隧道。狮子洋隧道位于广州市与东莞市交接的珠江八唐尾水道与狮子洋水道的汇合口处,处于广深港客运专线东涌站至虎门站区间。线路出东涌站后,在广州市沙公堡以 7 000 m 的曲线半径右转进入隧道,然后以直线先后下穿小虎沥、小虎岛、沙仔沥、沙仔岛、珠江狮子洋出海航道、虎门港沙田港区,再以 7 000 m 的曲线半径左转下穿沿江高速公路后,在东莞市沙田镇出洞。隧道全长 10 800 m,按双洞单线隧道设计,进出口采用明挖法施工,中间采用盾构法施工。其中盾构圆形隧道长度为 9 340 m,隧道内径 9.8 m,管片厚度 0.5 m,管片环宽 2.0 m。该洞隧道采用四台泥水平衡式盾构两两“地下对接,洞内解体”方式组织施工。

狮子洋隧道地处珠江三角洲平原区,两岸地形平坦开阔。狮子洋水道水深流急,过江处江面宽 3 300 m,主航道宽 700 m,最大水深 26.6 m。小虎沥水道宽 460 m,最大水深 8.2 m;沙

仔沥水道宽约 540 m,最大水深 7.3 m;隧道设计水压达 65 N/cm^2 。隧道所在的狮子洋水域,近岸水流流势与岸滩基本平行,往复潮流顺畅。近年来冲淤幅度不大,接近冲淤平衡;潮汐动力有所加强,槽道以扩展为主;工程师在岸滩河势基本稳定。盾构隧道段两端及明挖隧道段穿越第四系土层,盾构隧道江中段穿越基岩风化层。第四系覆盖物主要为海陆交互相沉积层、冲积层、残积层及人工填土层;基岩为白垩系强风化和弱风化泥岩及泥质粉砂岩。岩石天然抗压强度 $6.54 \sim 82.6 \text{ MPa}$ 。隧道所穿越的基岩地层粉黏粒(小于 $74 \mu\text{m}$)含量一般为 $23.3\% \sim 55.3\%$,石英含量约为 60% 左右。

1. 设计方案一

线路出东涌站后,在 DIK32+600 处以 $2\,950 \text{ m}$ 长、 20% 的下坡进入隧道,并下穿小虎沥、小虎岛、沙仔沥到达沙仔岛;然后以 $3\,750 \text{ m}$ 长、 3% 的下坡通过沙仔岛进入狮子洋深水航道下;接着以 $1\,700 \text{ m}$ 长、 3.5% 的上坡通过狮子洋航道和虎门港沙田港区 6 号泊位;最后以 $3\,276.9 \text{ m}$ 长、 20% 的上坡通过规划虎门港的监管保税仓库,在沿江高速公路东侧出洞。隧道两端均采用 20% 进入隧道,以尽量减少盾构软硬不均掘进段长度。

本方案在进出口明挖隧道与盾构隧道之间各设一工作井,其中进口工作井位于广州市东涌镇沙公堡东风农场内,出口工作井位于东莞市沙田镇穗丰糖厂旁农田内。

2. 设计方案二

本方案纵断面设计时在满足其他纵断面控制因素的基础上,尽量减少在中间工作井处的线路高程,减少中间工作井的开挖深度。线路出东涌站后,在 DIK32+600 处以 $2\,150 \text{ m}$ 长、 20% 的下坡进入隧道,并下穿小虎沥,到达小虎岛;然后以 $4\,550 \text{ m}$ 长、 5.9% 的下坡通过小虎岛、沙仔沥、沙仔岛,到达狮子洋深水航道;接着以 $1\,350 \text{ m}$ 长、 16.2% 的上坡通过狮子洋航道和虎门港沙田港区 6 号泊位,再以 $1\,100 \text{ m}$ 长、 3.8% 的上坡通过规划虎门港的监管保税仓库,最后以 $2\,176.9 \text{ m}$ 长、 20% 的上坡在沿江高速公路东侧出洞。

全隧道共设置 4 座工作井,分别位于明挖隧道与盾构隧道之间、沙仔岛和虎门港区,其中进口工作井和出口工作井位置与方案一工作井位置相同。沙仔岛工作井位于珠江狮子洋西岸、沙仔岛北端,虎门港工作井位于规划的虎门港东侧,紧邻监管保税区。该方案隧道工程全长 $10\,490 \text{ m}$,其中盾构段长 $9\,287 \text{ m}$ 。

支撑知识 1: 隧道勘测

隧道勘测资料是勘测设计人员通过各种勘测手段,对隧道所处的位置、地形、地质等自然条件具体认识的反映,也是隧道位置的选择、工程布置、结构设计、计划工程投资等整个设计工作的依据,因而勘测资料必须按照设计要求进行搜集。

通过调查取得的资料,应能充分地说明隧道通过地段的地形、地质条件、自然条件和施工条件等。实践证明,这些资料是隧道设计和施工必备的基础资料,其内容及深细度可根据各阶段的勘测设计要求和隧道规模确定,使其能满足各阶段设计和施工需要,最后应形成系统的、完整的资料。

1. 隧道工程调查的内容

- (1) 自然概况:地形、地貌特征。
- (2) 工程地质特征:地层、岩性及地质构造特征,着重查清地质构造变动的性质、类型、规模;断层、节理、软弱结构面特征及其与隧道的组合关系和围岩的基本物理力学性质等。
- (3) 水文地质特征:地下水类型及地下水位,含水层的分布范围及相应的渗透系数,水量和

补给关系,水质及其对混凝土的侵蚀性,有无异常涌水、突水等。

(4)影响隧道洞口安全或洞身稳定的不良地质和特殊岩土地段(如崩塌、错落、岩堆、滑坡、岩溶、人为坑洞、泥石流、含水砂层、风积土、黄土、盐岩、膨胀土、地温、多年冻土、雪崩、冰川等),查明其类型和规模以及发生、发展的原因,根据其发展的趋势,判明对隧道影响的程度。

(5)通过含有害气体、矿体及含有放射性危害的地层时,查明其分布范围、成分和含量。

(6)地震动参数。

(7)周围建筑物及人居情况。

(8)气象资料:气温、气压、风向、风速以及雨量、雪量、冻结深度等。

(9)施工条件、建筑材料及可供应的水、电情况,周围环境,交通、建筑物、水渠、地下管线与采空区等,施工场地及弃渣条件,有关法令及规章制度对噪声、振动、地表下沉的限制,以及补偿对象调查等。

2. 隧道工程测绘遵守的规定

(1)按设计阶段要求搜集或测绘地形图、纵断面图、横断面图;

(2)测绘资料的图纸内容需反映隧道所在地的工程地质及水文地质情况;

(3)在隧道洞口和辅助坑道口的附近,按规定设置必要的平面控制点和水准点。

(4)测绘资料符合规定的精度要求。

3. 工程评价及处理措施

根据调查结果,应对下列各项内容作出工程评价并提出处理措施:

(1)围岩自稳性;

(2)隧道涌水量、涌水压力、突然涌水等;

(3)岩土膨胀压力;

(4)滑坡、偏压;

(5)围岩状态和土压特性;

(6)高地应力区应力场;

(7)瓦斯、岩溶及人为坑洞等。

对开挖工作面围岩的自稳性、突然涌水,及会产生偏压的地形、洞口附近的边坡坍塌、滑坡及对相邻结构的影响、膨胀性围岩等的评价是很重要的。这些围岩条件,一般来说,用围岩级别或物性值等准确地表达是很困难的,不得不依靠以往的经验、资料、实例进行定性判定。

在进行隧道设计时,有时需设定围岩的工程模式、初始地应力场等,采用理论分析法和数值分析法来分析围岩的动态和稳定性。

与喷锚衬砌或喷锚支护设计、施工有密切关系的围岩评价应着重阐明围岩的状态,其中隧道的自稳性和土压特性是最重要的。

4. 围岩级别的确定

判断围岩级别是决策隧道设计、施工中各种问题的基础。围岩级别的判定是按设计和施工两个阶段进行的。施工阶段可根据已暴露的围岩条件判定围岩级别,对设计阶段的预判断进行修正。

支撑知识 2: 隧道位置的选择

隧道工程对线路技术条件、工程造价、施工工期等都起着控制作用。因此,在线路勘测设

计中,如何正确地选好隧道线路,是一个十分重要的课题。

隧道位置与线路是互为相关的。在一般情况下,一旦一段线路的方案比选确定以后,区段上隧道的位置就只能依从于线路的位置大体决定,最多是在上、下、左、右很小幅度内作些小的移动而已。但是,如果隧道很长,工程规模很大,投资很多,工期时间很长,技术上也有一定的困难,属于本区段的重点控制工程时,那么这一区段的线路就得依从于隧道所选定的最优位置,然后线路以相应的引线引到隧道的位置上来。所以,隧道位置的选定是与线路的选定向同考虑的,不可分开考虑。

隧道具体位置的选择与当地的地质条件、水文地质条件、地形地貌条件、工程难易程度、投资的数额、线路技术条件、工期的要求,以及施工技术现有的水平和今后运营条件等因素有关。其他如辅助坑道及运营通风的设置条件、施工场地、弃渣处理、运输便道的利用及引入等因素亦存在不同程度的影响。但其中最为重要的是地质条件和地形条件。

1. 按地质条件进行选择

隧道是埋置在地层内的结构物,受着地层岩体的包围。如何避开不良地质区域,或是如何制定克服不良地质的措施,是选择隧道位置时必须审慎考虑的问题。

(1) 单斜构造与隧道位置的选择

按岩层的倾角不同,单斜构造的岩层可分为三种情况。

① 水平或缓倾角岩层

如图 2.1 所示,当隧道通过坚硬的厚层岩层时,较为稳定。若通过很薄的岩层时,则施工时顶部易产生掉块现象,此时,以不透水的坚硬岩层作顶板为最好。

② 陡倾角岩层

陡倾角岩层一般有偏压和不均匀应力存在,当有软弱夹层伴有有害节理切割时,易产生坍方和顺层滑动,在此情况下,如以岩洞通过时应慎重对待。当隧道中线可能沿两种不同岩性的岩层走向通过时,应避免将隧道置于两种不同的岩层软弱构造(破碎)带,而宜将隧道置于岩性较好的单一岩层中,如图 2.2 所示。

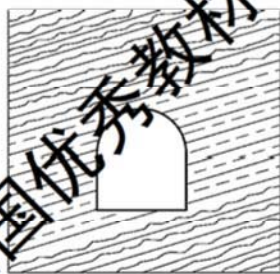


图 2.1 缓倾角岩层隧道位置的选择

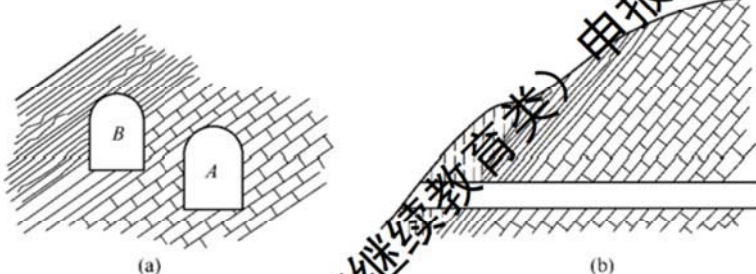


图 2.2 软弱结构面地带隧道位置的选择

③ 直立岩层

隧道通过直立岩层时,其中线宜垂直于岩层走向穿过,如图 2.3(a)所示。如隧道中线与岩层走向一致时,如前所述,仍应避免不利岩层接触带。尤应注意的是:当层状岩层较薄并有软弱夹层,伴有微量地下水活动时,亦可产生不对称压力,在隧道开挖过程中,易产生坍塌,如图 2.3(b)所示,甚至会导致大的坍方,致使地面形成“天窗”,在选择隧道位置时应予重视。

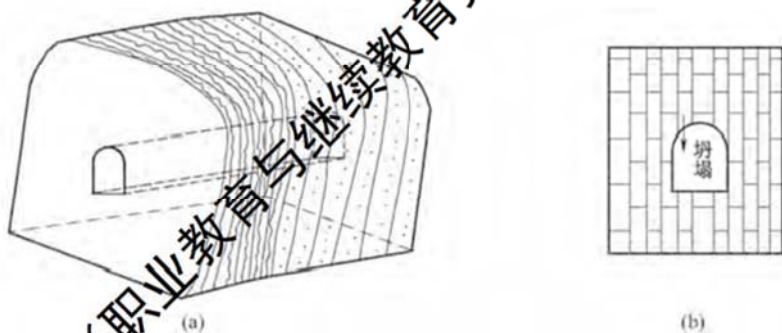


图 2.3 直立岩层中的隧道位置选择

(2) 褶皱构造与隧道位置的选择

褶皱构造有向斜和背斜两种基本类型,当隧道通过褶皱构造时,应尽量避免将隧道置于向斜或背斜的轴部,如图 2.4 中的(a)、(c)位置,而应将隧道置于翼部,如图 2.4 中的(b)位置,此时隧道所处的地质条件类似单斜构造。



图 2.4 褶皱构造隧道位置的选择

(3) 断裂构造、接触带与隧道位置的选择

在选择隧道位置时,切忌沿着(或靠近平行)断层带或破碎带修建隧道,如图 2.5(a)所示,特别是对于区域性大断裂,尤应注意绕避。当隧道线路必须通过断层带时,应尽量使线路与断层走向正交,如图 2.5(b)所示,同时应避免严重破碎带,并使通过断层的地段最短。

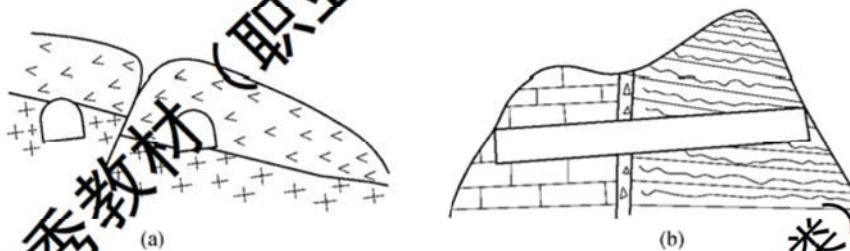


图 2.5 断裂构造地带隧道位置选择

2. 不良地质、水文的影响

对岩性较差的地层、断层破碎带、含水层等工程地质、水文地质较为复杂的严重地质地段,应避免穿越,以免增加设计、施工和运用困难,甚至影响隧道的功能和安全,发生意想不到的病害。若不能绕避而必须通过时,应有充分的理由,并应减小穿越的长度,采取可靠的工程处理措施,以保证隧道施工及运营的安全。

2. 按地形及地质条件进行选择

(1) 越岭线上隧道位置的选择

当铁路线路需要从一个水系过渡到另一个水系时,必须跨越高程很大的分水岭,这段线路称为越岭线。

越岭线路的特点是要克服很大的高差,线路长度和平面位置又取决于线路纵坡。因此,选

择越岭隧道位置时,应综合分析,慎重比选。

越岭隧道主要应解决的问题是:垭口的选择、过岭高程的确定、垭口两侧线路展线方案的布局,这三者是相互联系又相互影响的。如何处理好三者之间的关系相当重要。因此,要全面考虑垭口的位置、高程、地形条件、地质情况和不同的洞外展线方式,才能做好方案的比选工作。

(2)河谷线上隧道位置的选择

铁路沿河傍山而行时称为河谷线。这种线路左右受到山坡和河谷的制约,上下受到高程和限制坡度的控制,比选方案时,可能移动的幅度不大。但是,虽然摆动的幅度很有限,但对工程的难易、大小都有关系。

河谷地段往往山坡陡峻,岩体风化破碎,河道蜿蜒,线路势必随之弯转。当在凹岸时,更有可能受到河水的冲刷,必须设置防护建筑物,并且常伴随着地质不良现象。设计线路位置时,如果稍偏河流一侧,则线路位置恰恰落在山体的风化表层内,极易引起塌方落石;如果稍偏靠另一侧,形成浅埋,洞顶覆盖太薄,将受到山体的偏侧压力,对施工和结构的受力状态十分不利,有时会导致施工困难和结构的不安全。多年实践总结出的一条经验,就是“宁里勿外”,意思是在河谷线上,隧道位置以稍向内靠为好。当然,过分内靠,施工石方量增加太多,隧道增长,也是没有必要的。

支撑知识 3:洞口位置的选择

洞口是隧道进出的咽喉,又是隧道施工中的主要通道。洞口位置选择是否合理,将对隧道的施工工期、造价、运营安全等产生重大的影响。在隧道线路设计中,洞口位置的选择是一项很重要的工作。

在多年隧道工程建设实践的基础上,总结出一个“早进晚出”指导思想。意思是在决定隧道洞口位置时,为了施工及运营的安全,宁可早一点进洞,晚一点出洞。这样做,虽然隧道稍稍长了一些,但却安全可靠得多。从全面观点出发,这样做是值得的、合理的。当然,所谓早和晚都是相对的,并不意味着进洞越早越好,出洞越晚越好。不应当盲目地把隧道定得很长,而是应当更着重地从安全方面来考虑问题。在一般情况下,这一指导思想是符合实际的。

通过实践总结出以下几点:

- (1)洞口应尽可能地设在山体稳定、地质较好地下水不太丰富的地方。
 - (2)洞口不宜设在垭口沟谷的中心或沟底低洼处,不要与水争路。
 - (3)洞口应尽可能设在线路与地形等高线相垂直的地方,使隧道正面进入山体,洞门结构物不受偏侧压力。
 - (4)当线路位于有可能被淹没的河滩上或水库回水影响范围内时,隧道洞口高程应在洪水水位以上,并加上波浪的高度,以防洪水倒灌到隧道中去。
 - (5)为了保证洞口的稳定和安全,边坡及仰坡均不宜挖过高,不使山体扰动太甚,也不使新开出的暴露面太大。
 - (6)若洞口附近遇有水沟或水渠横跨线路时,应慎重处理,当线路横沟进洞时,设置桥涵净空不宜太小,以免后患。
 - (7)若洞口前方岩壁陡立,基岩裸露,此时,最好不刷动原生坡面,不挖开山体。
 - (8)洞口以外必须留有生产活动的余地。
- 总体来说,选定隧道洞口位置时,首先要按照地质条件控制边、仰坡的高度和坡面长度,其

次是避开不良地质区域和排水影响,最后才谈得上从经济方面进行比较。

支撑知识 4:隧道平、纵、横断面设计

隧道内的线路是整条线路中的一段。隧道设计时,首先要满足线路明线所规定的各种技术指标。由于隧道的施工、运营养护及改建等工作条件均比明线差,所以,在设计隧道内的线路时,除了遵照线路明线所规定的技术指标以外,还要附加上为适应隧道内工作条件的一些技术要求。

1. 隧道平面设计

铁路线路是越直越好。线路顺直,列车可以快速通过,走行的距离也较短,有利于列车多拉快跑,提高线路的运营效率。在隧道内,线路就更应设计成直线。此外,位于曲线上的隧道有下列缺点:

(1)曲线上的隧道,由于列车倾斜和平移,隧道建筑限界需要加宽,隧道的尺寸相应加大,不但增加了开挖土石数量,而且增加了衬砌的圪工量。

(2)在不同曲率曲线上的隧道建筑限界加宽不同,隧道的断面是变化的,因而施工时,支护和衬砌的尺寸均不一致,技术上较为复杂。

(3)列车运行在曲线隧洞内,空气阻力比直线隧道大,牵引力的损失大,降低了运营效率,甚至可能造成溜车事故。

(4)列车在曲线上行驶,产生了离心力,再加上洞内空气潮湿,使得钢轨磨损加速,从而使洞内的养护工作量增大。

(5)曲线隧道洞身弯曲,洞壁对气流的阻力加大,使通风条件变差,有害气体不易排出。

(6)运营中为了保证隧道建筑限界的要求和正常的行车条件,需要经常检查线路平面和水平,曲线隧道也较直线隧道增加了维护工作量和难度。

(7)由于曲线关系,洞内进行施工测量时,操作变得复杂,精度也有所降低。

由此可见,从节省工程投资、减少施工难度、简化洞内施工维修作业并缩短作业时间、争取较好的通风条件、改善维修养护人员和乘务人员的工作环境及可视条件以及提高行车速度等方面来看,直线隧道都优于曲线隧道,因此隧道内的线路应该设计为直线,这在一般情况下是容易做到的。但是由于受到某些地形的限制或是地质的原因,有时也不得不采用曲线。当隧道必须设置曲线时,应注意以下几方面的问题:

(1)应尽可能采用较短的曲线,或是半径较大的曲线,且将曲线设置在隧道洞口附近为宜,使曲线的影响小一些。

(2)在曲线两端应设缓和曲线时,最好不使洞口恰恰落在缓和曲线上。因为缓和曲线在平面上半径总在改变,竖向的外轨超高也在变化,这样,在双重变化下,列车行驶不平稳,所以,应尽可能将缓和曲线设在洞外一个适当距离以外。

(3)在一座隧道内最好不设一个以上的曲线,尤其是不应设置反向曲线或复合曲线。如果列车同时跨在两个曲线上,行驶很不稳当。

2. 隧道纵断面设计

为了保证隧道内列车能安全平顺地行驶,机能够牵引足够的列车重量,同时考虑将隧道内的水顺利排出洞外以及通风要求等因素,必须对隧道内线路的纵断面进行合理的设计。隧道纵断面设计的主要内容包括选定隧道内线路的坡道形式、坡度大小、坡段长度和坡段间的衔接等。

(1) 坡道形式

隧道处于地层之内,除了地质有变化的例外,线路的走向本来不受什么限制,用不着采用复杂多变的形式。一般可采用简单的单坡或不复杂的人字坡,如图 2.6 所示。



图 2.6 坡道形式

单坡多用于线路的紧坡地段或是展线的地区,因为单坡可以争取高程,拔起或降落一定的高度。此外,单坡隧道两洞口的高程差较大,由此而产生的气压差和热位差也大,能促进洞内的自然通风。单坡道的优点还有施工及测量上都比较方便,它的缺点是在施工阶段,下坡进洞的一端,出于上部的水自然地流向下部开挖工作面,使开挖工作受到干扰,不但需要随时抽水外排,而且影响到电爆破的绝缘质量;此外,运渣时,空车下坡重车上坡,运输效率低。

人字坡道多用于长隧道,尤其是越岭隧道。因为越岭无需争取高程,而垭口两端都是沟谷地带,同是向下的人字坡道,正好符合地形条件。人字坡的优点是施工时,水自然流向洞外,排水措施相应地简化;重车下坡,空车上坡,运输效率高。它的缺点是列车通过时排出的有害气体聚集在两坡间的顶峰处,尽管用机械通风,有时也排除不干净,长时积累,浓度渐渐增大,使列车司乘人员以及洞内维修人员的健康受到影响。

两种不同的坡形适用不同的隧道,设计时应结合隧道所在地段的地形、工程地质与水文地质、线路纵断面、牵引类型、隧道长度、施工条件、运营要求等具体情况全面考虑。对于位于紧坡地段的隧道、要争取高程的区段上的隧道、位于越岭隧道两端展线上的隧道、地下水不大的隧道或是可以单口掘进的短隧道,可以采用单坡。对于长大隧道、越岭隧道、地下水丰富而抽水设备不足的隧道、运渣量很大的隧道,设计为人字坡往往比较有利。

(2) 坡度大小

对于列车来说,考虑到运营效率,应具有良好的行车条件,线路的坡度以平坡为最好。但是,天然地形是起伏不定的,为了能适应天然地形以减少工程数量,需要随着地形的变化设置与之相适应的线路坡度。但坡度不能太大,若坡度超过了线路最大限制坡度,机车的牵引能力达不到,不是列车爬不上去,就是必须减轻列车的牵引重量。所以设计坡度时,注意应不超过限制坡度 $i_{\text{限}}$ 。

如果在平面上有曲线,还需为克服曲线的阻力,再减去一个曲线的当量坡度,即

$$i_{\text{允}} = i_{\text{限}} - i_{\text{曲}} \quad (2.1)$$

式中 $i_{\text{允}}$ ——设计中允许采用的最大坡度;

$i_{\text{限}}$ ——按照线路等级规定的限制最大坡度;

$i_{\text{曲}}$ ——曲线阻力折算的坡度折减量。

以上讨论的是明线的坡度要求,隧道内的行车条件要比明线差,对线路最大限制坡度的要求更为严格,因此隧道内线路的最大允许坡度要在明线最大限制坡度上进行折减。要求坡度

折减的原因主要有以下两点:

①列车车轮与钢轨踏面间的黏着系数降低——机车的牵引能力有时是由车轮与轨面之间的黏着力来控制的。隧道内空气的相对湿度较露天处所为大,因而钢轨踏面上凝成一层薄膜,使轮轨之间的黏着系数降低,于是机车的牵引力也随之降低。因此,隧道内线路的限制坡度应比明线的限制坡度有所减小。

②洞内空气阻力增大——列车在隧道内行驶,其作用犹如一个活塞,洞内空气将像活塞那样给前进的列车以空气阻力,使列车的牵引力削弱。所以,隧道内的限制坡度要比明线的限制坡度为小。

由于上述的原因,隧道内线路的最大限制坡度要比明线的最大限制坡度小。现行隧道设计规范规定,位于长大坡道上隧道长度大于 400 m 的隧道,其坡度不得大于最小坡度按规定折减后的数值。隧道内线路坡度折减是在明线最大限制坡度上乘以一个小于单位 1 的折减系数 m 。当隧道内有曲线时,要先进行隧道的线路坡度折减,然后再扣除曲线折减。折减的方法按下式进行:

$$i_{允} = m i_{限} - i_{曲} \quad (2.2)$$

式中 m ——隧道内线路的坡度折减系数。

由于当列车的机车进入隧道时,空气阻力就已增加,黏着系数也已开始减小,机车的牵引能力降低,因此不但隧道内的线路应按上述方式予以折减,洞口外一段距离内,也要考虑相应的折减。在上坡进洞前半远期货物列车长度范围内,按洞内一样予以折减。至于列车出洞,机车已达明线,这就不存在折减的问题了。

另一方面,考虑到隧道排水的需要,除了对坡度的限制以外,还要限制最小坡度。因为隧道内的水全靠排水沟向外流出,如果隧道坡度设为平坡,那么很长的水沟,按照流水的坡度要求,势必沟槽很深,这是比较难于设置的,有时甚至是不可能的。铁路隧道设计规范规定,隧道内线路不得设置为平坡,最小的允许坡度应不小于 3%,在最冷月平均气温低于 -5°C 的地区、地下水发育的隧道宜适当加大坡度。

(3) 坡段长度

隧道内的线路坡段也不宜太短,因为坡段太短就意味着变坡点多而密集,列车行驶不平稳,司机操纵要随时调整。当列车经过变坡点时,受力情况也跟着变化,车辆间会发生相互的冲撞,产生附加力和附加加速度。如果坡度太短,一列车在行驶中,同时跨越两个变坡点,车体、车钩都在同时受到不利的影 响,有时会因此发生事故。另外,如果隧道内坡度变化甚多,也将给施工和运营维护增加困难。所以,从行车平稳的要求、照顾施工和养护的方便出发,隧道内坡段长度最好不小于列车的长度,考虑到长远的发展,坡段长度最好不小于远期到发线的长度。铁路隧道设计规范规定,隧道内纵断面坡段设计,必须满足行车安全和平稳的要求,并应考虑施工和养护的方便,隧道内宜设置长坡段。当隧道位于两端货物列车以接近计算速度运行的凸形纵断面分坡平段时,允许坡段长度缩短至 200 m。

隧道内线路的坡形单一,但不宜把坡段定得太长,尤其是单坡隧道,坡度已用到了最大限度,如果是一直上大坡,列车就必须用尽机车的全部牵引能力,持续奋进。这样,会使机车疲劳或超负荷。虽然坡度未超限制,但坡段长了,也会爬越慢,以至有停车的可能或出现车轮打滑的情况,容易发生事故。在下坡时,由于坡段太长,制动时间过久,机车闸瓦摩擦发热,将使燃油失效,以致刹不住车,发生溜车事故。所以在限坡地段,坡段不宜太长。如果隧道很长,坡度又不想变动,为了不使机车爬长坡,可以设缓坡段,使机车有一个喘息或缓和的时间。

(4) 坡段连接

为了行车平顺,两个相邻坡段坡度的代数差值不宜太大。因为,坡差太大会引起车辆之间仰俯不一,车钩受到扭力,容易发生断钩。因此,在设计坡度时,坡间的代数差要有一定的限制。从安全的角度出发,两坡段间的代数差值 Δi 不应大于重车方向的限坡值 $i_{允}$ 。

3. 隧道横断面设计

1) 隧道净空

隧道净空是指隧道结构的内轮廓线所包围的空间,是根据“隧道建筑限界”确定的。“隧道建筑限界”是根据“基本建筑限界”制定的,“基本建筑限界”又是根据“机车车辆限界”制定的。

“限界”是一种规定的轮廓线,这种轮廓线以内的空间是保证列车安全运行所必需的。“建筑限界”是建筑物不得侵入的一种限界。

(1) 机车车辆限界

机车车辆限界是指机车车辆最外轮廓的限界尺寸。要求所有在线路上行驶的机车车辆停在平坡直线上时,沿着车体所有部分都必须容纳在此限界范围内不得超越。

(2) 基本建筑限界

基本建筑限界是指线路上各种建筑物和设备均不得侵入的轮廓线,它的用途是保证机车车辆的安全运行及建筑物和设备不受损害。

(3) 隧道建筑限界

隧道建筑限界是指包围“基本建筑限界”外部的轮廓线,即要比“基本建筑限界”大一些,留出少许空间,用于安装通信信号、照明、通风、电力等设备。

对于新建和改建的蒸汽及内燃牵引的单线和双线铁路隧道,采用“隧限—1A”和“隧限—1B”,如图2.7所示。

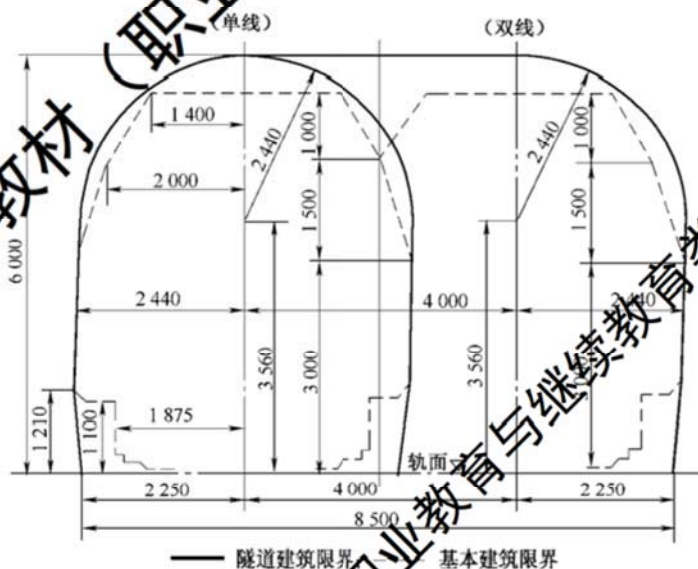


图 2.7 隧限—1A 和隧限—1B(单位:mm)

对于新建和改建的电力牵引的单线和双线铁路隧道,采用“隧限—2A”和“隧限—2B”,如图2.8所示。

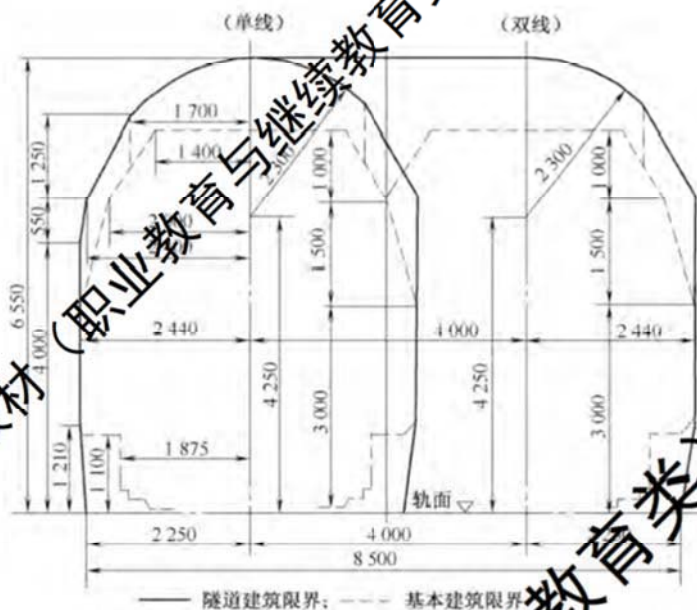


图 2.8 隧限—2A 和隧限—2B(单位:mm)

(4) 直线隧道净空

“直线隧道净空”要比“隧道建筑限界”稍大一些。除了满足限界要求外,还考虑了在不同的围岩压力作用下,衬砌结构的合理受力形状以及施工方便等因素。图 2.9~图 2.14 为一些铁路隧道内轮廓。

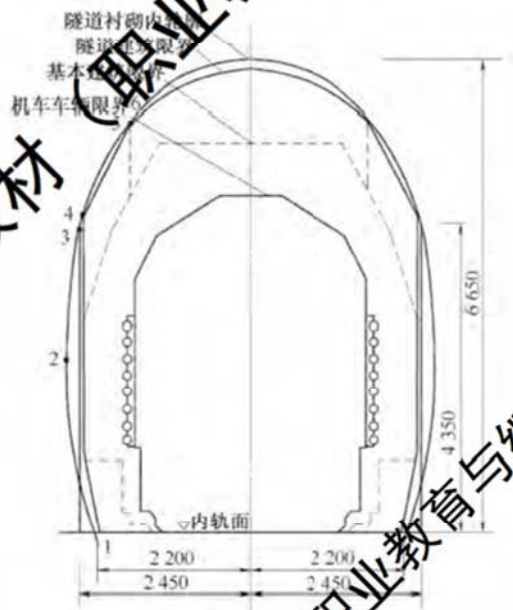


图 2.9 单线电力牵引铁路隧道衬砌内轮廓(单位:mm)

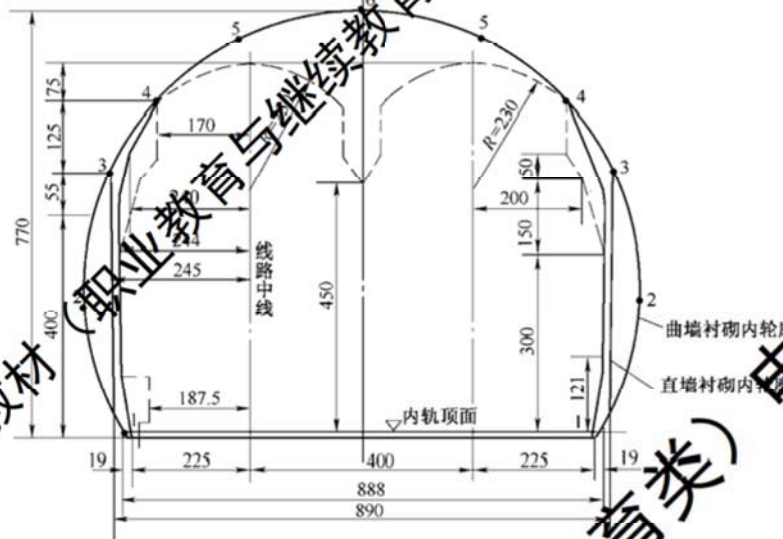


图 2.10 双线电力牵引铁路隧道衬砌内轮廓(单位:cm)

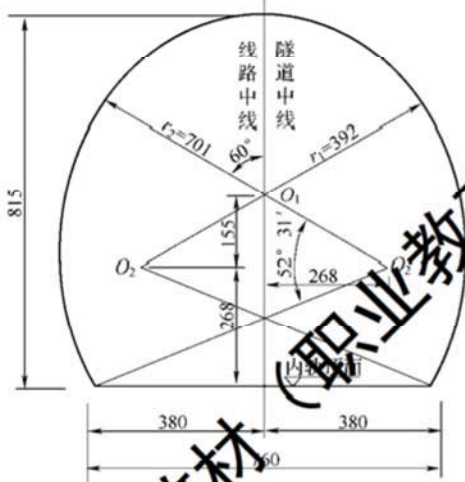


图 2.11 250 km/h 单线隧道内轮廓(单位:cm)

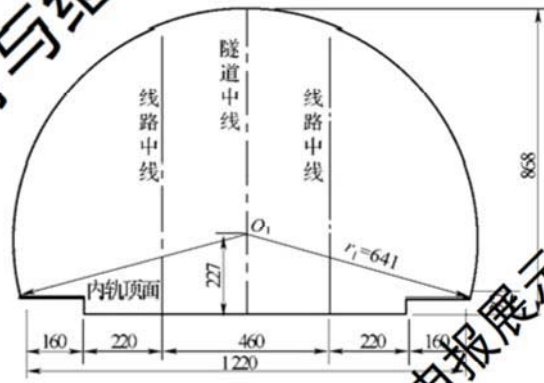
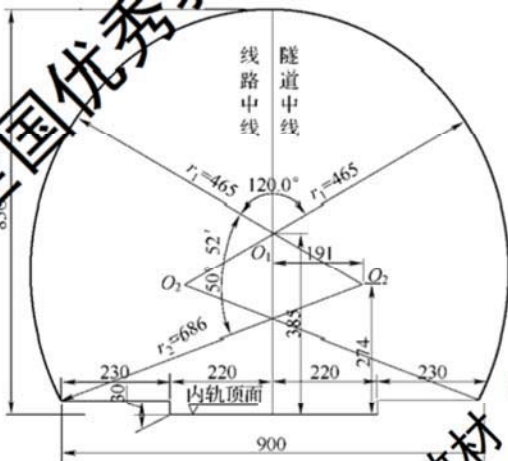
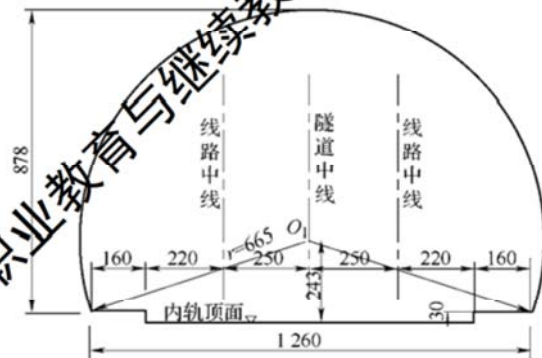


图 2.12 250 km/h 双线隧道内轮廓(单位:cm)



2.13 300~350 km/h 单线隧道内轮廓(单位:cm)



2.14 300~350 km/h 双线隧道内轮廓(单位:cm)

2) 曲线隧道净空加宽

(1) 加宽原因

车辆通过曲线时,转向架中心点沿线路运行,而车辆本身却不能随线路弯曲仍保持其矩形形状。故其两端向曲线外侧偏移 $d_{外}$,并向曲线内侧偏移 $d_{内1}$,如图 2.15 所示。

由于曲线外轨超高,车辆向曲线内侧倾斜,使车辆限界上的控制点在水平方向上向内移动了一个距离 $d_{内2}$,如图 2.16 所示。

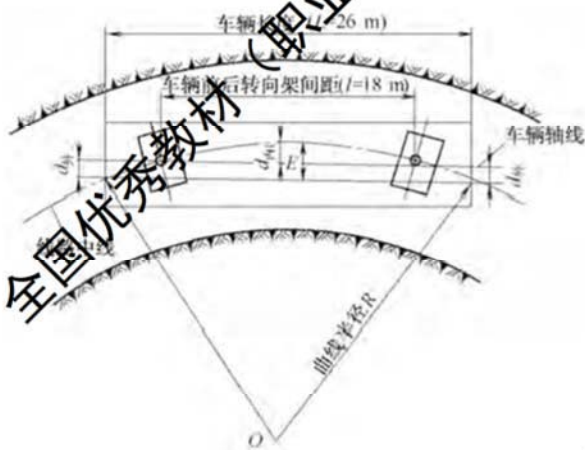


图 2.15 车辆通过曲线时的平面示意图



图 2.16 车辆通过曲线时的横断面示意图

(2) 加宽值的计算

① 单线曲线隧道加宽值的计算

a. 车辆中间部分向曲线内侧的偏移 $d_{内1}$ 为:

$$d_{内1} = \frac{l^2}{8R} \quad (2.3)$$

式中 l ——车辆转向架中心距,取 18 m;

R ——曲线半径(m);

整理可得:

$$d_{内1} = \frac{4\ 050}{R} \quad (\text{cm}) \quad (2.4)$$

b. 车辆两端向曲线外侧的偏移 $d_{外}$ 为:

$$d_{外} = \frac{L^2 - l^2}{8R} \quad (2.5)$$

式中 L ——标准车辆长度,我国为 26 m。

整理可得:

$$d_{外} = \frac{4\ 400}{R} \quad (\text{cm}) \quad (2.6)$$

c. 外轨超高使车体向曲线内侧倾移 $d_{内2}$ 为:

$$d_{内2} = \frac{H}{150} E \quad (2.7)$$

式中 H ——隧道限界控制点自轨面起的高度(cm);

E ——曲线外轨超高值,其最大值不超过 15 cm, $E = 0.76 \frac{v^2}{R}$ (cm),其中 v 为铁路远期行车速度(km/h)。

在我国铁路标准设计中, $d_{内2}$ 系将相应隧道建筑限界绕内侧轨顶中心转动 $\arctan \frac{E}{150}$ 角求得的, 可近似取 $d_{内2} = 2.7E$ (cm)

对于单线曲线隧道净空的加宽值为:

内侧加宽

$$d_{内1} + d_{内2} = \frac{4\ 050}{R} + 2.7E \quad (\text{cm}) \quad (2.8)$$

外侧加宽

$$W_2 = d_{外} = \frac{4\ 400}{R} \quad (\text{cm}) \quad (2.9)$$

总加宽

$$W = W_1 + W_2 = d_{内1} + d_{内2} + d_{外} = \frac{8\ 450}{R} + 2.7E \quad (\text{cm}) \quad (2.10)$$

② 双线曲线隧道加宽值的计算

双线曲线隧道的内侧加宽值 W_1 及外侧加宽值 W_2 与单线曲线隧道加宽值的计算相同。

内外侧线路中线间的加宽值 W_3 按以下两种情况计算

a. 外侧线路的外轨超高大于内侧线路的外轨超高

$$W_3 = \frac{8\ 450}{R} + \frac{H}{150} \quad (\text{cm}) \quad (2.11)$$

式中 H ——车辆外侧顶角距内轨顶面的高度, 取 360 cm;

E ——外侧线路的外轨超高值 (cm)

$$W_3 = \frac{8\ 450}{R} + \frac{360}{150} \times \frac{E}{2} = \frac{8\ 450}{R} + 1.2E \quad (\text{cm}) \quad (2.12)$$

b. 其他情况

$$W_3 = \frac{8\ 450}{R} \quad (\text{cm}) \quad (2.13)$$

总加宽:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 \quad (2.14)$$

③ 曲线隧道中线与线路中线偏移距离

从以上计算可知, 曲线隧道内外侧加宽值不同 (内侧加宽大于外侧加宽), 断面加宽后, 隧道中线应向曲线内侧偏移一个 d 值。

单线曲线隧道如图 2.17 所示, 隧道中线与线路中线偏移距离为:

$$d = \frac{1}{2}(W_1 - W_2) \quad (\text{cm}) \quad (2.15)$$

双线曲线隧道如图 2.18 所示, 内侧线路中线至隧道中线的距离为:

$$d_1 = 200 - \frac{1}{2}(W_1 - W_3) \quad (\text{cm}) \quad (2.16)$$

双线曲线隧道外侧线路中线至隧道中线的距离为:

$$d_2 = 200 + \frac{1}{2}(W_1 - W_2 + W_3) \quad (\text{cm}) \quad (2.17)$$

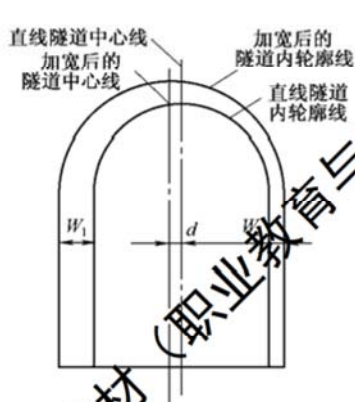


图 2.17 单线曲线隧道中线偏移

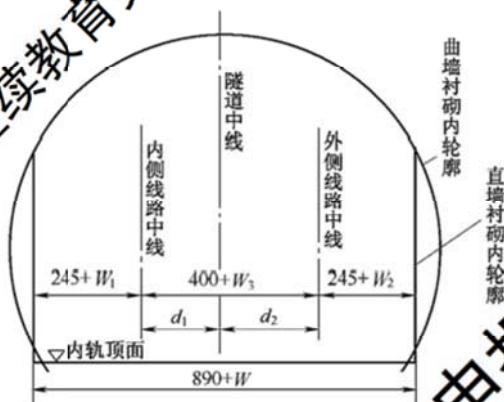


图 2.18 双线曲线隧道中线偏移(单位:cm)

200 km/h 以上曲线隧道净空加宽
 时速 200 km 的新建铁路单、双线隧道内轨顶面以上净空面积不小于 50 m² 和 80 m² 以上,是根据在 3 s 内车辆内压力变化的最大值小于 3 kPa 的标准通过计算得出的结果。曲线隧道加宽完全在富余量以内,因此隧道内轮廓可不考虑曲线加宽。

3) 曲线隧道与直线隧道衬砌的衔接方法

《铁路隧道设计规范》规定:位于曲线地段的隧道,其断面加宽除圆曲线部分按上述计算值予以加宽外,缓和曲线部分可分两段加宽,即自圆曲线至缓和曲线中点,并向直线方向延长 13 m,采用圆曲线加宽断面(按 W 值加宽);自缓和曲线中点至缓和曲线终点,并向直线方向延长 22 m,采用缓和曲线中点加宽断面,其加宽值取圆曲线之半(W/2 值加宽),如图 2.19 所示。



图 2.19 曲线隧道与直线隧道的衬砌衔接

位于曲线车站上的隧道,断面加宽应根据站场线路具体要求计算确定。
 当隧道位于反向曲线上且其间夹直线长度小于 44 m 时,重叠部分按两端不同的曲线半径分别计算内外侧加宽值,取其中较大者。

隧道衬砌施工中,对不同宽度衬砌断面的衔接,可采用衬砌断面变化点错成直角台阶的错台法及自加宽断面终点向不加宽断面延伸 1 m 范围内逐渐过渡的顺坡法。

任务 2.2 围岩分析及围岩压力

相关案例:曾家岭 I 号隧道

曾家岭 I 号隧道进口段共计 1300 m,穿扬子公路。隧道拱顶距离扬子公路路面 5.0 m。

上部扬子公路路面宽 8.0 m,路面为 30 cm 厚的钢筋混凝土。进口段共计 20 m,采用 Vc 复合式衬砌,六步 CD 法进行施工,并设置 $\phi 108$ mm 超前大管棚。开挖至 DK913+695~DK913+715 时,钢架采用 I22b 工字钢钢架,钢架间距 50 cm,钢筋网片采用 $\phi 10$ mm 双层钢筋网防护。

曾家岭 I 号隧道暗洞开挖支护从进口方向向出口方向施工,右上部和右中部掌子面施工至 DK913+698 立即停止,封闭掌子面,临时中隔壁和临时仰拱施工紧跟并封闭成环;隧道出口方向向进口方向掌子面支护施工到 DK913+711 立即停止,封闭掌子面。

为保证下穿的施工质量,在施工前需进行严格计算,计算参数及相应公式如下:

(1) 荷载采取浅埋隧道围岩压力计算:

$$q = \gamma h \left(1 - \frac{\lambda h \tan \theta}{b} \right)$$

式中, b 为隧道的跨度; γ 为围岩的重度; θ 为顶板土柱两侧摩擦角; h 为洞顶地面高度; λ 为侧压力系数。

(2) 水平压力计算:

$$e_i = \gamma h_i \lambda$$

式中, h_i 为距地面的距离。

(3) 荷载取值:

实际进行计算时,考虑覆盖层厚度 5 m,临时中隔壁高度 7.4 m, θ 取值 0, λ 为 0.4, γ 取值 20 kN/m^3 。 $q = \gamma h \left(1 - \frac{\lambda h \tan \theta}{b} \right) = 250 \text{ kN/m}^2$, $e_i = \gamma h_i \lambda = 100 \text{ kN/m}^2$ 。考虑隧道拱顶上部最大荷载 60 t,轴向杆件纵向间距 0.5 m,每根杆件荷载 $q_{\text{轴向}} = 170 \text{ kN/m}$, $q_{\text{水平}} = 50 \text{ kN/m}$ 。临时中隔壁受到侧向土压力线性梯度 $q_{\text{侧向}} = 10 \text{ kN/m}$ 。

支撑知识 1: 围岩分级

围岩是指隧道开挖后其周围产生应力重分布范围内的岩(土)体,或是指在隧道开挖后对其稳定性产生影响的那部分岩(土)体。

所谓围岩分级,就是针对不同的工程要求,如爆破、开挖、支护、编制定额等,而把与之相适应的地质条件进行分类,以满足地下工程设计、施工的需要。隧道围岩分级是正确地进行隧道设计与施工的基础。一个较好的、符合地下工程实际情况的围岩分级,对改善地下结构设计,发展新的隧道施工工艺,降低工程造价,有着十分重要的意义。

1. 围岩分级的方法

目前国内外隧道围岩分级的方法很多,所采用的分类指标也不尽相同,但都是在隧道工程实践的基础上逐步发展起来的。随着人们对隧道工程、地质环境以及这两者间相互关系的了解,围岩分类方法亦在不断地深化和提高。从发展过程来看,大体上有以下几种类型:

(1) 按岩石强度为单一岩性指标的分级法。具有代表性的我国工程界广泛采用的岩石坚固系数 f 值分级法。这种方法的优点是指标单一,使用方便,尤其是在 f 值分类法中,还将定量指标 f 值与作用在支护结构上的围岩压力直接联系起来,给设计和施工带来较大的方便。缺点是不能全面地反映岩体固有的性状。

(2) 按岩体构造和岩性特征为代表的分级法,如泰沙基分级法。1975 年我国铁路工程技术规范中所采用的铁路隧道围岩分级法属于这一类。这类方法的优点是正确地考虑了地质构造特征、风化状况、地下水情况等诸种因素对隧道围岩稳定性的影响,并建议了各类围岩应

采用的支护类型和施工方法。缺点是分级指标缺乏定量描述,没有提供可靠的预测隧道围岩级别的方法,在一定程度上要等到隧道开挖后才能确定。

(3)与地质勘察手段相联系的分级法。如1979年前后日本提出的按围岩弹性波速度进行的分级方法、岩芯复原率分级法等,属于这一范畴。这类方法的优点是分级指标大体上是半定量的,同时考虑了多种因素的影响。其缺点是分级的判断还带有一定的主观性,如弹性波速度低,可能是由于岩体完整,但岩体松软;地质坚硬,但比较破碎;地形上局部高低相差悬殊等几种原因引起的,就弹性波速度这一个指标,就很难客观地得出正确的结论。

(4)多种因素的综合分级法。如岩体质量“Q”法、我国国防工程围岩分级法等,属于此范畴。这类方法是当前围岩分类法的发展方向,优点很多,只是部分定量指标仍需凭经验确定。

(5)以工程对象为代表的分类法。如专门适用于喷锚支护的原国家建委颁布的围岩分类法(1979年)、前苏联在巴库修建地下铁道时所采用的围岩分级法(1966年),属于这一范畴。这类方法的优点是目的明确,而且和支护尺寸直接挂钩,使用方便,能指导施工。但分级指标以定性描述为主,带有很大的人为因素。

2. 我国现行铁路隧道围岩分级

我国铁路行业通过长期的隧道工程实践,不断吸收国内外先进围岩分级的成果,提出了适合我国铁路隧道实情的围岩分级标准。目前现行的铁路围岩分级标准在《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2005)作了明确规定。下面对这一隧道围岩分级进行介绍。

(1)围岩分级的基本因素

围岩基本分级应由岩石坚硬程度和岩体完整程度两个基本因素确定。岩石坚硬程度和岩体完整程度应采用定性划分和定量指标两种方法确定。岩石坚硬程度划分为极硬岩、硬岩、较软岩、软岩和极软岩5类,见表2.1;岩体完整程度划分为完整、较完整、较破碎、破碎和极破碎5类,见表2.2。

表 2.1 岩石坚硬程度的划分

岩石类别		单轴饱和抗压极限强度 R_c (MPa)	代表性岩石
硬质岩	极硬岩	$R_c > 60$	未风化或微风化的花岗岩、片麻岩、闪长岩、石英岩、硅质胶结的砂岩或砾岩等
	硬岩	$30 < R_c \leq 60$	弱风化的极硬岩;未风化或微风化的熔结凝灰岩、大理岩、板岩、白云岩、灰岩、钙质胶结的砂岩、结晶颗粒较粗的岩类等
软质岩	较软岩	$15 < R_c \leq 30$	弱风化的极硬岩;弱风化的硬岩;未风化或微风化的云母片岩、千枚岩、砂质泥岩、钙泥质胶结的粉砂岩和砾岩、泥灰岩、泥岩、凝灰岩等
	软岩	$5 < R_c \leq 15$	强风化的极硬岩;弱风化至强风化的硬岩;弱风化的较软岩和未风化或微风化的泥质岩类;泥岩、钙泥质胶结的砂岩和砾岩等
	极软岩	$R_c \leq 5$	全风化的各类岩石和胶结作用差的岩石

表 2.2 岩体完整程度的划分

完整程度	结构面特征	结构类型	岩体完整性指数 K_v
完整	结构面 1~2 组,以构造型节理或层面为主,密闭型	巨块状整体结构	$K_v > 0.75$
较完整	结构面 2~3 组,以构造型节理、层面为主,裂隙多呈密闭型,部分为微张型,少有充填物	块状结构	$0.75 \geq K_v > 0.55$

续上表

完整程度	结构面特征	结构类型	岩体完整性指数 K_v
较破碎	结构面一般为3组,以节理及层理裂隙为主,在断层附近受构造影响较大,裂隙以张型和张开型为主,多有充填物	层状结构、块石、碎石结构	$0.55 \geq K_v > 0.35$
破碎	结构面大于3组,以风化型裂隙为主,在断层附近受构造作用影响较大,裂隙以张开型为主,多有充填物	碎石角砾状结构	$0.35 \geq K_v > 0.15$
极破碎	结构面杂乱无序,在断层附近受断层作用影响大,宽张裂隙全为泥质或泥夹岩屑充填,充填物厚度大	散体状结构	$K_v < 0.15$

(2) 围岩基本分级

根据岩石坚硬程度和岩体完整程度将围岩分为6级,见表2.3。

表 2.3 围岩基本分级

围岩级别	岩体特征	土体特征	围岩弹性纵波速度(km/s)
I	极硬岩,岩体完整		>4.5
II	极硬岩,岩体较完整; 硬岩,岩体完整		3.5~4.5
III	极硬岩,岩体较破碎; 硬岩或软硬岩互层,岩体较完整; 较软岩,岩体完整	—	2.5~4.0
IV	极硬岩,岩体破碎; 硬岩,岩体较破碎或破碎; 较软岩或软硬岩互层,且以软岩为主,岩体较完整或较破碎; 软岩,岩体完整或较完整	具压密或成岩作用的黏性土、粉土及砂类土,一般钙质、铁质胶结的粗角砾土、粗圆砾土、碎石土、卵石土、大块石土,黄土(Q_1, Q_2)	1.5~3.0
V	软岩,岩体破碎至极破碎; 全部软岩及全部极破碎岩(包括受构造影响严重的破碎带)	一般第四系坚硬、硬塑黏性土,稍密及以上、稍湿、潮湿的碎(卵)石土、粗圆砾土、细圆砾土、粗角砾土、细角砾土、粉土及黄土(Q_3, Q_4)	1.0~2.0
	受构造影响很严重呈碎石、角砾及粉末、泥土状的断层带	软塑状黏性土、饱和的粉土、土等	<1.0 (饱和状态的土 <1.5)

(3) 围岩分级的影响因素及分级的修正

在围岩基本分级的基础上,结合隧道工程的特点,考虑地下水状态、初始应力状态等必要的因素进行修正。

① 地下水

隧道施工的大量实践证明,水是造成施工塌方、使坑道围岩丧失稳定的重要原因之一。在不同的围岩中水的影响是很不相同的,归纳有以下几种:①使岩质软化,强度降低,对软岩尤为明显,对土体则可促使其液化或流动。②在有软弱结构面的围岩中,会冲走充填物或使夹层

液化,减少层间摩阻力促使岩块滑动。③在某些岩中,如石膏、岩盐和蒙脱石为主的黏土岩中,遇水后产生膨胀,在未胶结或弱胶结的砂岩中可产生流砂和潜蚀。因此,在隧道围岩分级中水的影响是不容忽视的。在同级围岩中,遇水后应适当降低围岩级别。降低的幅度主要视:①围岩的岩性及结构面的状态;②地下水的性质、大小、流通条件及对围岩浸润状况和危害程度而定。本围岩分级中关于地下水影响的修正参照表 2.4 和表 2.5。

表 2.4 地下水状态的分级

级别	状态	渗水量[L/(min·10 m)]
I	干燥或湿润	<10
II	偶有渗水	10~25
III	经常渗水	25~125

表 2.5 地下水影响的修正

围岩基本级别 地下水状态分级	围岩基本级别					
	I	II	III	IV	V	VI
I	I	II	III	IV	V	—
II	I	II	IV	V	VI	—
III	II	III	IV	V	VI	—

初始应力场

围岩的初始应力状态对岩体的构造—力学特征具有一定影响。因此,围岩分级中考虑了初始应力状态的影响,对围岩级别予以降级,见表 2.6 和表 2.7。

表 2.6 初始地应力状态评估标准

初始地应力状态	主要现象	评估基准(R_c/σ_{max})
极高应力	硬质岩:开挖过程中时有岩爆发生,有岩体剥离,洞壁岩体发生剥离,新生裂缝多,成洞性差	<4
	软质岩:岩心常有饼化现象,开挖过程中洞壁岩体有剥离,位移极为显著,甚至发生大位移,持续时间长,不易成洞	
高应力	硬质岩:开挖过程中可能发生岩爆,洞壁岩体有剥离和掉块现象,新生裂缝较多,成洞性较差	4~7
	软质岩:岩心时有饼化现象,开挖过程中洞壁岩体位移显著,持续时间长,成洞性差	

注: R_c 为岩石单轴饱和抗压强度(MPa); σ_{max} 为最大地应力值(MPa)。

表 2.7 初始地应力影响的修正

围岩基本分级 初始地应力状态	围岩基本分级				
	I	II	III	IV	V
极高应力	I	II	III或IV ^①	V	VI
高应力	I	II	III	IV或V ^②	VI

注:①围岩岩体为较破碎的极硬岩、较完整的硬岩时定为Ⅲ级;围岩岩体为完整的较软岩、较完整的软硬岩互层时定为Ⅳ级;

②围岩岩体为破碎的极硬岩、较破碎及破碎的硬岩时定为Ⅳ级;围岩岩体为完整及较完整软岩、较完整及较破碎的较软岩时定为Ⅴ级。

另外,若隧道洞身埋藏较浅,应根据围岩受地质的影响情况进行围岩级别修正。当围岩为风化层时应按风化层的围岩基本分级考虑,当围岩仅受地表影响时,应较相应的围岩降低 1~2 级。

(4)围岩级别的确定应符合表 2.8 的规定。

表 2.8 铁路隧道围岩分级

围岩级别	围岩主要工程地质条件		围岩挖开后的稳定状态 (单线)	围岩弹性纵波速度 v_p (km/s)
	主要工程地质条件	结构特征和完整状态		
I	硬质岩石(饱和抗压极限强度 $R_c > 60$ MPa); 受地质构造影响轻微,节理不发育,无软弱面(或 夹层);层状岩层为巨厚层或厚层,层间结合良 好,岩体完整	呈巨块状 整体结构	围岩稳定,无坍塌,可 能产生岩爆	
II	硬质岩石($R_c > 30$ MPa);受地质构造影响较重, 节理较发育,有少量软弱面(或夹层)和贯通微张 节理,但其产状及其组合关系不致产生滑动;层 状岩层为中厚层或厚层,层间结合一般,很少有 分离现象,或为硬质岩石偶夹软质岩石	呈巨块或 大块状结构	暴露时间长,可能会出 现局部小坍塌;侧壁稳 定;层状岩层为平缓岩 层,顶板易塌落	3.5~4.5
III	硬质岩($R_c > 30$ MPa);受地质构造影响严重,节 理发育,有层状软弱面(或夹层),但其产状及组合 关系尚不致产生滑动;层状岩层为薄层或中层,层 间结合差,多有分离现象;或为硬、软质岩石互层	呈块(石)碎 (石)状结构	拱部无支护时,可产生 小坍塌,侧壁基本稳定, 爆破震动过大易坍塌	2.5~4.0
	较软岩($R_c = 15 \sim 30$ MPa);受地质构造影响 较重,节理较发育;层状岩层为薄层、中厚层或厚 层,层间结合一般	呈大块状结构		
IV	硬质岩($R_c > 30$ MPa);受地质构造影响严重, 节理很发育;层状软弱面(或夹层)已严重破坏	呈碎石状 压碎结构	拱部无支护时,可产生 较大的坍塌,侧壁有时失 去稳定	1.5~3.0
	软质岩($R_c \approx 5 \sim 30$ MPa);受地质构造影响严 重,节理发育	呈块(石)碎(石) 状镶嵌结构		
	土体:1.具压密或成岩作用的黏性土、粉土及 砂类土 2.黄土(Q_3, Q_4) 3.一般黏土、胶结的碎石土、卵石土、大块石土	1和2呈大块状, 压密结构,3呈巨 块状整体结构		
V	岩体:软岩,岩体破碎至极破碎;全部极软岩及 全部极破碎岩(包括受构造影响严重的破碎带)	呈角(砾)碎石状, 松散结构	围岩极易坍塌,处理不当 会出现小坍塌,侧壁经常 小坍塌;浅埋时易出现地 表下沉(陷)或坍至地表	1.0~2.0
	土体:一般为第四系坚硬、硬塑黏性土,稍密及 以上、稍湿至潮湿的碎石土、卵石土,圆砾土,角 砾土、粉土及黄土(Q_3, Q_4)	非黏性土呈松散 结构,黏性土及 黄土呈松软结构		
VI	岩体:受构造影响很严重呈碎石、角砾及粉末、 泥土状的断层带	黏性土呈易流动 的松软结构,砂性 土呈潮湿松散结构	围岩极易坍塌变形,有 水时土砂常与水一齐涌 出;浅埋时易坍至地表	<1.0(饱 和状态的土 <1.5)
	土体:软塑状黏性土、饱和粉土、砂类土等			

注:(1)表中“围岩级别”和“围岩主要工程地质条件”栏包括膨胀性围岩、多年冻土等特殊岩土。

(2)层状岩层的层厚划分:

巨厚层:厚度大于 1.0 m;

厚层:厚度大于 0.5 m,且小于等于 1.0 m;

中厚层:厚度大于 0.1 m,且小于等于 0.5 m;

薄层:厚度小于或等于 0.1 m。

支撑知识 2: 围岩压力

隧道围岩压力是指隧道开挖后,围岩作用在隧道支护上的压力,是隧道支撑或衬砌结构的主要荷载之一。其性质、大小、方向以及发生和发展的规律,对正确地进行隧道设计与施工有很重要的影响。

在稳定的地层中开挖隧道,由于围岩在爆破后发生松动以及暴露后受到风化,个别落石现象也不可避免。在完整而坚硬的岩层中开挖隧道,也会遇到小块岩石突然脱离岩体向隧道内弹出,称为“岩爆”,这些都是围岩压力的现象。为了保证隧道有足够的净空,就要修建支护结构,以阻止围岩的移动和崩塌,支护结构就是用来承受围岩压力的。

1. 围岩压力的产生

围岩压力的产生是隧道工程的一个重要的力学特征,隧道是在具有一定的应力历史和应力场的岩体中修建的。所以,围岩的初始应力场的状态极大地影响着岩体中发生的一切力学现象,它是和地面工程极其不同的。

(1) 围岩初始应力场

围岩初始应力场的形成与岩体的结构、性质、埋藏条件以及地质构造运动的历史等有密切关系。一般地,认为初应力场由自重应力和构造应力两种应力构成,从而将其分为自重应力场和构造应力场两大类,这两类应力场的基本规律有明显的差异。围岩的自重应力场比较好理解,它是地心引力和离心惯性力共同作用的结果。围岩的构造应力场就比较复杂,按其形成的时间,又可以分为以下两种:

① 由于过去地质构造运动,如断层、褶皱、层间错动等所引起的,虽然外部作用力移去后有部分恢复,但现在仍残存在岩体中的应力。岩石在形成过程中,由于热力和构造作用所引起的,虽经过风化、卸载、部分释放,现在仍残存着的原生内应力。这两种都称为构造残余应力。

② 现在正在活动和变化的构造运动,如地层升降、板块运动等所引起的应力,称为新构造应力,地震的产生正是新构造应力的反映。

(2) 自重应力场

在自重应力场中,地表以下任一深度 H 处的垂直应力等于其上覆岩体的重力,如图 2.20(a) 所示:

$$\sigma_z = \gamma H \quad (2.18)$$

这里以压应力为正, γ 为岩体的重度。

当上覆岩体为多层时,如图 2.20(b) 所示:

$$\sigma_z = \sum_{i=1}^n \gamma_i H_i \quad (2.19)$$

式中 γ_i ——第 i 层岩体的重度;

H_i ——第 i 层岩体的厚度。

该点的水平应力 σ_x 、 σ_y 主要是由于岩体的泊松效应所引起的,按弹性理论应为:

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1-\mu} \sigma_z \quad (2.20)$$

式中 μ ——计算应力处岩体的泊松系数。

这里所说的只是基本概念,仅当地面为水平面,而岩体为各向同性的半无限弹性体时,上述各式才是有效的。实际的岩体组成比较复杂,不大可能是各向同性的,而且地面也都起伏不

平。因此,围岩的自重应力场不能简单地按上述公式决定,必须根据三维弹性理论的基本方程,并考虑重力和各向异性求解,对此问题目前尚无精确的解析解。一般只能采用数值方法,如有限单元法求得近似解。

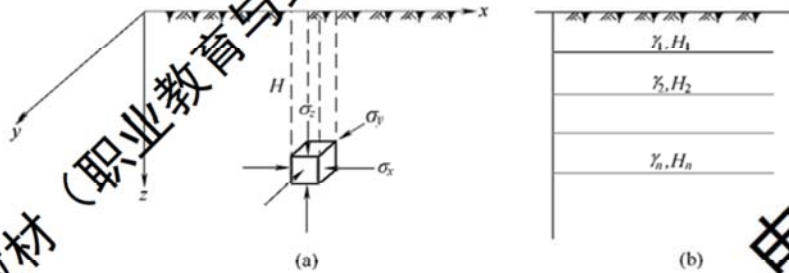


图 2.20 地表水平时的自重应力场

试验资料表明,大多数岩石的泊松比 μ 在 0.15~0.35 范围内变化。因此,在自重应力场中,水平应力总是小于垂直应力。

深度对初始应力状态有着显著的影响,随着深度的增加,垂直应力是线性增大的。然而围岩本身的强度是有限的,当地应力增大到一定数值后,围岩将处于隐塑性状态。围岩物性值(E 和 μ)也是变化的,随着深度的增加, μ 值趋近于 0,即与静水压力相似,此时围岩接近流动状态,初始应力场各应力分量趋于相等,即

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \gamma H \quad (2.21)$$

由此可见,围岩的初始应力场是随深度而变的。其应力状态可视围岩的不同,分别处于弹性、隐塑性及流动三种状态。围岩的弹性状态,在坚硬围岩中,约在距地面 10 km 以下,也有可能浅处发生,如在岩石强度低(如泥岩)的地段。通常情况下,在隧道所涉及的范围,都可视初始应力场为弹性的。

从上述内容可以看出围岩自重应力场的变化规律为:

- ① 应力是随深度成线性增加;
- ② 水平应力总是小于垂直应力,最多也只能与其相等。
- (3) 构造应力场

整个地下工程都是在某种应力场中的地壳上部范围内进行的。这种应力场基本上是由重力应力场和构造应力场构成的。地质力学认为:地壳各处发生的一切构造变形与破裂都是地应力作用的结果。因而地质力学就把构造体系和构造形式在形成过程中的应力状态称为构造应力场,它是动态的。

由于形成构造应力场的原因非常复杂,因而,它在空间的分布极不均匀,而且随着时间的推移还不断发生变化,属于非稳定的应力场。但相对于工程结构物的使用期限来说,可以忽略时间因素,将它视为相对稳定的。即使如此,目前还很难用函数形式将构造应力场表示出来,只能通过实地量测找到一些规律性。已发表的一些地应力量测资料表明,我国大陆初始应力场(包括自重应力场和构造应力场)的变化规律大致可以归纳为如下几点:

① 地质构造形态不仅改变了重力应力场,而且除以各种构造形态获得释放外,还以各种形式积蓄在岩体内,这种残余构造应力将对地下工程产生重大影响。

② 垂直应力的量值随深度增加而增大,而且水平应力普遍大于垂直应力。

构造应力场在不深的地方普遍存在,而且最大构造应力的方向近似为水平,其值常

常大于重力应力场中的水平应力分量,甚至也大于垂直应力分量,这与重力应力场有很大不同。

③水平主应力具有明显的各向异性。水平主应力的另一个显著特点,就是具有很强的方向性,一般总是以一个方向的主应力占优势,很少有大、小主应力相等的情况。

根据实测资料可知,在我国大陆地壳中,最小主应力与最大主应力的比值为 0.3~0.7 的占 70%,也就是说在我国大部分地区,最大水平主应力约为最小水平主应力的 1.4~3.3 倍。

2. 隧道开挖后的应力

隧道的开挖,移走了隧道内原来受力的部分岩体,破坏了围岩初始应力场的平衡状态,围岩从相对静止的状态转变为变动的状态。围岩力图达到一个新的平衡,其应力和应变开始一个新的变化运动,运动的结果,使得围岩的应力重新分布并向开挖的隧道空间变形。理论和实验证明,隧道开挖后,解除了部分围岩的约束,隧道周围初始应力将沿隧道一定范围重新分布,一般情况下应力状态如图 2.21 所示,形成三个区域。

I 区域称为低应力区,在有裂隙和破碎的岩石中或松软围岩中,由于岩体强度小,隧道开挖后,岩体不能承受急剧增大的周边应力而产生塑性变形,使隧道周边的围岩应力松弛而形成应力降低的区域,使高应力向岩体深处转移,被扰动的这部分岩体就开始向隧道内变形。变形值超过一定数值后,岩体就出现松动、坍塌或处于蠕动状态。

II 区域称为高应力区,这一部分岩体也受到了扰动,在应力重分布的过程中这个范围内岩体的应力升高,但强度尚未被破坏,实际相当于形成了一个承载环,起到承载的作用。

III 区域为原始应力区,距离隧道较远的岩体未受到开挖的影响,仍处于原始的应力状态。在极坚硬而完整的围岩中,隧道周边应力急剧增高,由于岩体强度大,未形成如松软围岩那种变形过大和开裂坍塌的情况,因而不存在应力降低区,而只有高应力向原始应力过渡的重分布特点,所以往往不需要设置支护结构来提供外加平衡力。换句话说,这种隧道是自稳的。

综上所述,隧道的开挖,破坏了围岩原有的平衡,产生了变形和应力重新分布。但是这种变化发展不是无限的,它总是为了达到新的平衡而处在一种新的应力状态中。

2.1 围岩松动压力的确定方法

围岩压力的确定目前有下列三种常用方法:

(1)直接量测法,是一种切合实际的方法,对隧道工程而言也是研究发展的方向;但由于受量测设备和技术水平的制约,目前还不能普遍适用。

(2)经验法或工程类比法,是根据大量以往工程实例资料的统计和总结,按不同围岩分级提出围岩压力的经验数值,作为后建隧道工程确定围岩压力依据的方法,是目前使用较多的方法。

(3)理论估算法,是在实践的基础上从理论上研究围岩压力的方法。由于地质条件的不确定性,影响围岩压力的因素又非常多,这些因素本身及它们之间的组合也带有一定的偶然性,企图建立一种完善的和适合各种实际情况的通用围岩压力理论及计算方法是困难的,因此,现

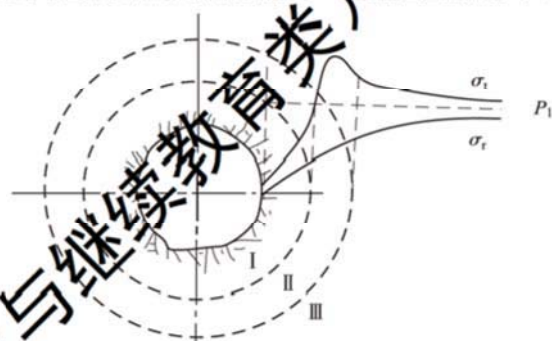


图 2.21 隧道开挖后的应力状态

有的围岩压力理论都不十分切合实际情况。

在理论计算方法中,考虑几个主要因素,使其结果相对地接近实际围岩压力的情况,是目前隧道工程设计中采用较多的方法。从来讲,都是以某种简化的假设为前提,或以实际工程的统计分析资料为基础。

1) 深埋隧道围岩松动压力的确定

确定围岩松动压力的关键是找出其破坏范围的规律,而这种规律只有通过大量的实际破坏状态的统计分析才能发现。我国现行《铁路隧道设计规范》中计算围岩竖向均布压力的计算式,就是根据 1046 个测点的资料进行统计分析而拟定的。

单线铁路隧道按概率极限状态法设计时,垂直均布压力可按下式计算:

$$\begin{cases} q = \gamma h_q \\ h_q = 0.41 \times 1.79^s \end{cases} \quad (2.22)$$

式中 q ——围岩垂直均布压力(kPa);

γ ——围岩重度(kN/m³);

h_q ——围岩压力计算高度(m);

s ——围岩级别。

单线、双线及多线铁路隧道按破坏阶段法或允许值法设计时,垂直均布压力可按下式计算:

$$\begin{cases} q = \gamma h_q \\ h_q = 0.45 \times 2^{s-i} \omega \end{cases} \quad (2.23)$$

式中 ω ——宽度影响系数, $\omega = 1 + i(B - 5)$ 。其中 B 为坑道宽度(m); i 为 B 每增减 1 m 时的围岩压力增减率:当 $B < 5$ m 时,取=0.2; $B > 5$ m 时,可取=0.1。

其余符号同式(2.22)。

式(2.22)和式(2.23)的适用条件为:① $H/B < 1.7$, H 为坑道的高度;② 深埋隧道;③ 不产生显著的偏压力及膨胀压力的围岩;④ 采用钻爆法施工的隧道。

在产生上述垂直压力的同时,隧道也会有侧向压力出现,即围岩水平均布压力 e 。可按表 2.9 中的经验公式计算(一般取平均值),其使用条件同式(2.22)和式(2.23)。

表 2.9 围岩水平均布压力

围岩级别	I~II	III	IV	V	VI
水平均布压力	0	$< 0.15q$	$(0.15 \sim 0.30)q$	$(0.30 \sim 0.50)q$	$(0.50 \sim 1.00)q$

在确定了围岩压力的数值后,一个重要的问题是考虑压力分布特征。我国隧道围岩压力的一些量测结果表明:作用在支护结构上的荷载是不均匀的,这是因为在 V、IV 级围岩中,局部坍方是主要的,而其他级别的围岩中,岩体破坏范围的形状和大小受岩体结构、施工方法等因素的控制,也是极不规则的。根据统计资料,围岩竖向压力的分布图大致如图 2.22 所示。用等效荷载即非均布压力的总和应与均布压力的总和相等的方法来确定各种荷载图形的最大压力值。另外,还应考虑围岩水平压力分布情况。

上述压力分布图形只概括一般情况,当地形或其他原因可能产生特殊荷载时,围岩压力的大小和分布应根据实际情况分析确定。

在分析支护结构时,一般以竖向和水平的均布荷载图形为主,并用局部压力、偏压以及非均布的荷载图形进行校核,较好的围岩着重于局部压力校核。

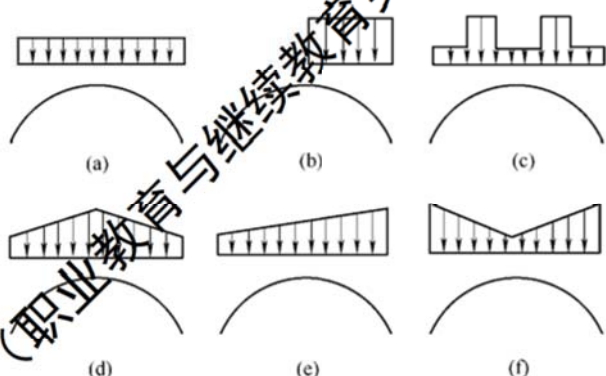


图 2.22 围岩竖向松动压力的分布图形

2) 浅埋隧道围岩松动压力的确定

对铁路隧道来说,浅埋段一般都出现在洞口范围或漫坡进洞地段,或隧道的某一较长区段处于天然台地之下地段,因隧道接近地表,围岩多为松散堆积物。

(1) 深、浅埋隧道的判定原则

深埋和浅埋隧道的分界,按荷载等效高度值,并结合地质条件、施工方法等因素综合判定。按荷载等效高度的判定式为:

$$H_p = 2.5h_a \quad (2.24)$$

式中 H_p ——深浅埋隧道分界的深度(m);

h_a ——见式(2.22)和式(2.23)。

当隧道覆盖层厚度 $h \geq H_p$ 时为深埋,当 $h < H_p$ 时为浅埋。

当地面水平或接近水平时,《铁路隧道设计规范》中规定,覆盖层厚度小于表 2.10 所列数值时,应按浅埋隧道设计。当不利于山体稳定的地质条件时,浅埋隧道覆盖厚度值应适当加大。

表 2.10 浅埋隧道覆盖层厚度值(m)

围岩级别	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
单线隧道	5~7	10~14	18~25
双线隧道	8~10	15~20	30~

(2) 浅埋隧道围岩松动压力的确定方法

当隧道埋深不大时,开挖的影响将波及地表,此时围岩压力计算不能再用上述深埋情况的计算公式,而应按浅埋情况分析计算。

如图 2.23 所示,从松散介质极限平衡的角度,对施工过程中岩体运动的情况进行分析:若不及时支护,或施工时支护下沉,会引起洞顶上覆盖岩体 $EFHG$ 的下沉与移动,而且它的移动受到两侧其他岩体的夹持,反过来又带动了两侧三棱体 ACE 和 BDF 的下滑形成两个破裂面。为了简化,假定它们都是与水平面成 β 角的斜直面,如图 2.23(a)中的 AC 和 BD 。研究洞顶上覆盖岩体 $EFHG$ 的平衡条件,即可求出作用在支护结构上的围岩松动压力。研究中沿隧道纵向取单位长度。

作用在下滑岩体 $EFHG$ 上的力为:岩体重力 W_1 两侧三棱体 ACE 和 BDE 给予它的挟持力 T_1 以及隧道支护结构给予它的反力(也就是围岩给支护结构的荷载 P)。其中只有 W_1 是已知的,而 T_1 和 P 都是未知的,所以,不可能从总的图式中解出作用在支护结构上的荷载 P ,需要逐一分块解出这些未知力。

对于三棱块 BDF ,其受力如图 2.23(b)所示。三棱块 BDF 的重力 W_2 为:

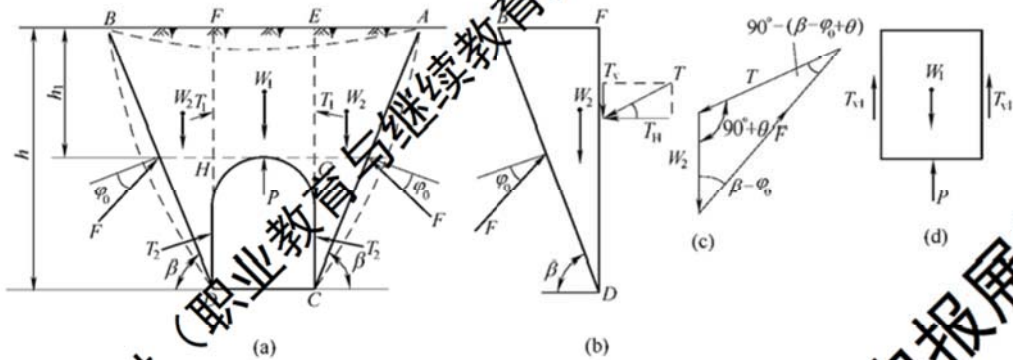


图 2.23 浅埋隧道围岩松动压力的确定

$$W_2 = \frac{1}{2} \gamma \times \overline{BF} \times \overline{DF} = \frac{1}{2} \gamma h^2 \frac{1}{\tan \beta} \quad (2.25)$$

根据力的平衡条件图 2.23(c), 由正弦定理可知:

$$\frac{T}{\sin(\beta - \varphi_0)} = \frac{W_2}{\sin[90^\circ - (\beta - \varphi_0 + \theta)]} \quad (2.26)$$

将式(2.25)代入上式, 化简后可得:

$$T = \frac{1}{2} \gamma h^2 \frac{\tan \beta - \tan \theta}{\tan \beta [1 + \tan \beta (\tan \varphi_0 - \tan \theta) + \tan \varphi_0 \tan \theta]} \cdot \frac{1}{\cos \theta} \quad (2.27)$$

令

$$\lambda = \frac{\tan \beta - \tan \theta}{\tan \beta [1 + \tan \beta (\tan \varphi_0 - \tan \theta) + \tan \varphi_0 \tan \theta]}$$

则

$$T = \frac{1}{2} \gamma h^2 \frac{\lambda}{\cos \theta} \quad (2.28)$$

上式中的 T 为 FD 面上的带动下滑力, 其值为图 2.23(a) 中的 T_1 、 T_2 之和。显然, 三棱体给洞顶上方岩体的挟持力 T_1 随隧道施工方法等因素的不同而变化, 其变化范围应在 $\frac{\lambda}{\cos \theta} \sim \frac{1}{2} \gamma h^2 \frac{\lambda}{\cos \theta}$ 之间。为安全起见, 计算中可取 $T_1 = \frac{1}{2} \gamma h^2 \frac{\lambda}{\cos \theta}$ 。

由此可见, 挟持力 T_1 的大小与岩体重度 γ 、洞顶岩体高度 h_1 、破裂角 β 、岩体计算摩擦角 φ_0 及洞顶岩体两侧摩擦角 θ 有关。上述参数除 β 外皆为已知, 下面来推导 β 值。

假定 β 是下滑岩体达到极限平衡时的破裂面倾角, 此时挟持力 T_1 必为最大值。由 T_1 的极值条件即可将其求出, 即令 $\frac{dT_1}{d\beta} = 0$, 求解得:

$$\tan \beta = \tan \varphi_0 + \sqrt{\frac{(1 + \tan^2 \varphi_0) \tan \varphi_0}{\tan \varphi_0 \tan \theta}} \quad (2.29)$$

由上式可知, 在 T_1 极值条件下的 β 值仅与 φ_0 和 θ 有关, 而 φ_0 和 θ 是随围岩级别而定的已知值。在求得 β 后则 T_1 即可求得。

这里应指出, 洞顶岩体 $EFHG$ 与两侧三棱体之间的摩擦角 θ 与破裂面 AC 、 BC 上岩体的计算摩擦角 φ_0 是不同的, 因为 EG 、 FH 面上并没有发生破裂面, 所以, $0 < \theta < \varphi_0$, 它与岩体的物理力学性质有密切关系, 是一个经验数字。表 2.11 列出了各级围岩摩擦角 θ 与计算摩擦角 φ_0 的关系。计算摩擦角 φ_0 的取值见表 2.12。

表 2.11 摩擦角 θ 与围岩计算摩擦角 φ_0 的关系

围岩级别	I ~ III	IV	V	VI
θ 值	$0.9\varphi_0$	$(0.7 \sim 0.9)\varphi_0$	$(0.5 \sim 0.7)\varphi_0$	$(0.3 \sim 0.5)\varphi_0$

表 2.12 各级围岩计算摩擦角 φ_0 取值

围岩级别	I	II	III	IV	V	VI
φ_0 值	$>78^\circ$	$70^\circ \sim 78^\circ$	$60^\circ \sim 70^\circ$	$50^\circ \sim 60^\circ$	$40^\circ \sim 50^\circ$	$30^\circ \sim 40^\circ$

现在根据洞顶上方岩体 EFHG 的平衡条件来推求围岩压力 P, 岩体 EFHG 的受力情况如图 2.23(d) 所示, 其中 $W_1 = \gamma h_1 B$ (B 为隧道宽度)。作用在支护结构上的力 P (围岩松动压力) 为:

$$P = W_1 - 2T_1 \sin\theta = \gamma h_1 (B - h_1 \lambda \tan\theta) \quad (2.30)$$

从而围岩的均布压力为:

$$q = \frac{P}{B} = \gamma h_1 \left(1 - \frac{h_1 \lambda \tan\theta}{B}\right) \quad (2.31)$$

综上所述, 计算浅埋隧道围岩竖向均布压力的公式为:

$$\begin{cases} q = \gamma h_1 \left(1 - \frac{h_1 \lambda \tan\theta}{B}\right) \\ \lambda = \frac{\tan\beta - \tan\theta}{\tan\beta [1 + \tan\beta (\tan\varphi_0 - \tan\theta) + \tan\varphi_0 \tan\theta]} \\ \tan\beta = \tan\varphi_0 + \sqrt{\frac{(1 + \tan\varphi_0) \tan\varphi_0}{\tan\varphi_0 - \tan\theta}} \end{cases} \quad (2.32)$$

若假定围岩水平压力按梯形分布 (图 2.24), 则隧道顶端与底端的水平压力强度为:

$$\begin{cases} e_1 = \gamma h_1 \\ e_2 = \gamma h_2 \end{cases} \quad (2.33)$$

若为水平平均分布, 则为:

$$e = \frac{1}{2}(e_1 + e_2) \quad (2.34)$$

当隧道覆盖层厚度小于 h_q 时, 属超浅埋隧道, 取 $\theta=0$, 则式(2.32)可简化为:

$$q = \gamma h_1 \quad (2.35)$$

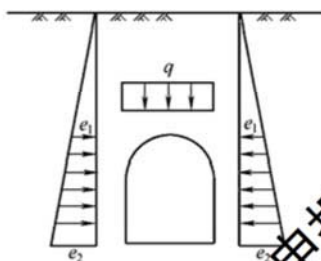


图 2.24 围岩水平压力梯形分布图

【例题 2.1】 某铁路单线隧道处在 IV 级围岩中, 如覆土厚度 $h_1=20$ m, 岩体自重 $\gamma=21.5$ kN/m³, 隧道开挖宽度 $B=7.4$ m, 开挖高度为 8.8 m, 试计算围岩松动压力。计算时纵向取单位宽度。

【解】 由式(2.22)知: $h_q = 0.41 \times 1.79^2 = 0.41 \times 3.2041 = 1.314$ (m)

由式(2.22)知: $h_1=20$ m $>$ $2.5h_q=10.53$ (m), 属浅埋隧道

$$q = 21.5 \times 4.21 = 90.515 \text{ (kN/m)}$$

由表 2.9 知: 水平压力 $e = (0.15 \sim 0.3)q = 13.58 \sim 27.15$ (kN/m)。

【例题 2.2】 某铁路单线隧道处在 IV 级围岩中, 如覆土厚度 $h_1=8$ m, 岩体自重 $\gamma=21.5$ kN/m³, 隧道开挖宽度 $B=7.4$ m, 开挖高度为 8.8 m, 试计算围岩松动压力。计算时纵向取单位宽度。

【解】 由式(2.22)知: $h_q = 0.41 \times 1.79^2 = 0.41 \times 3.2041 = 1.314$ (m)

$h_1 = 8 \text{ m} < 2.5h_q = 10.53 \text{ (m)}$, 属浅埋隧道, 应按式(2.32)计算。查表 2.12 知, φ_0 可取 55° , 查表 2.11 可知, θ 可取 $0.8\varphi_0$, 即 $\theta = 44^\circ$, 则: $\tan\varphi_0 = 1.428$, $\tan\theta = 0.966$ 。

$$\tan\beta = \tan\varphi_0 + \sqrt{\frac{\tan\varphi_0(\tan^2\varphi_0 + 1)}{\tan\varphi_0 - \tan\theta}} = 1.428 + \sqrt{\frac{1.428(1.428^2 + 1)}{1.428 - 0.966}} = 4.493$$

$$\lambda = \frac{\tan\beta - \tan\alpha}{\tan\beta[1 + \tan\beta(\tan\varphi_0 - \tan\theta) + \tan\varphi_0 \tan\theta]} = 0.153$$

$$\text{由式(2.32)知: } q = \gamma \left[1 - \frac{\lambda h_1 \tan\theta}{B} \right] = 144.52 \text{ (kN/m)}$$

$$e_1 = \gamma h_1 \lambda = 26.32 \text{ (kN/m)}$$

$$e_2 = \gamma h \lambda = 55.26 \text{ (kN/m)}$$

对于地面坡度陡斜的浅埋隧道, 在其围岩松动压力的计算中应考虑地形的影响, 公式推导与地表水平时的情况相同, 但应当注意, 由于地表倾斜, 隧道两侧的侧压力、侧压力系数、挟持力都不相同, 其计算图示见图 2.25。



图 2.25 地面陡峭时围岩压力计算图示

围岩竖向压力强度可按式计算:

$$\begin{cases} q_i = \gamma h_i \left[1 - \frac{\gamma \tan\theta (h_i^2 \lambda + h_i^2)}{2W_1} \right] \\ \lambda = \frac{1}{\tan\beta - \tan\alpha} \times \frac{\tan\beta - \tan\varphi_0}{1 + \tan\beta(\tan\varphi_0 - \tan\theta) + \tan\varphi_0 \tan\theta} \\ \lambda' = \frac{1}{\tan\beta' - \tan\alpha} \times \frac{\tan\beta' - \tan\varphi_0}{1 + \tan\beta'(\tan\varphi_0 - \tan\theta) + \tan\varphi_0 \tan\theta} \\ \tan\beta = \tan\varphi_0 + \sqrt{\frac{(1 + \tan^2\varphi_0)(\tan\varphi_0 - \tan\alpha)}{\tan\varphi_0 - \tan\theta}} \\ \tan\beta' = \tan\varphi_0 + \sqrt{\frac{(1 + \tan^2\varphi_0)(\tan\varphi_0 + \tan\alpha)}{\tan\varphi_0 - \tan\theta}} \end{cases} \quad (2.36)$$

式中 q_i ——讨论点的围岩垂直压力强度;

h_i ——讨论点的隧道洞顶高度;

W_1 ——单位每延米隧道洞顶岩体重力。

隧道的侧压力强度为:

$$\begin{cases} e_1 = \gamma h_1 \lambda, & e_2 = \gamma h \lambda \\ e_1' = \gamma h_1 \lambda', & e_2' = \gamma h \lambda' \end{cases} \quad (2.37)$$

式中各符号的意义见图 2.25。

思考题

- 2.1 隧道施工调查的内容有哪些?
- 2.2 隧道位置的选择应注意哪些问题?
- 2.3 铁路隧道围岩如何分级?
- 2.4 隧道围岩压力是如何产生的?

项目 3 隧道工程施工准备



项目描述

隧道工程的施工准备工作是为了保证隧道工程顺利开工和隧道施工活动正常进行而事先做好的各项准备工作,它是隧道施工程序中的重要环节,不仅存在于开工之前,而且贯穿在整个隧道施工过程中。



教学目标

1. 能力目标

- (1) 具备对施工地点及其周边进行施工调查的能力;
- (2) 具备制定隧道施工方案及编写施工作业指导书的能力;
- (3) 具备编写隧道施工技术交底及施工测量复测的能力。

2. 知识目标

- (1) 掌握施工调查的内容及如何编写施工调查报告;
- (2) 掌握施工方案的特点及适用条件;
- (3) 掌握施工作业指导书、技术交底的编写;
- (4) 掌握施工场地布置图的要求以及绘制。

3. 素质目标

- (1) 养成全面思考问题的习惯;
- (2) 养成分工协作的意识;
- (3) 具备分工协调组织的能力。

任务 3.1 施工调查

相关案例: 大坡山隧道

1. 工程概况

(1) 工程位置、规模、数量及特点

大坡山隧道位于玉溪市北城镇西北部边缘山区,为 200 km/h 双线隧道设计,进口处与岔庆沟双线特大桥相连,出口处与大连池双线大桥相连,隧道总长 2 447 m。

进口端地形陡峻且紧邻桥台,灰岩地段岩溶发育,施工中遇突水突泥风险大,为避免桥隧施工干扰,减小施工风险,同时为满足施工进度要求,结合地形、地质条件于隧道中部左侧设置横洞,隧道竣工后,横洞作为永久的救援通道,洞口采用栅栏门封堵,以防人畜误入,危及行车

安全。

横洞下方为既有昆玉铁路,洞口距既有铁路仅有30 m,洞口开挖采取控制爆破或非爆破施工,为避免碎石飞溅对既有铁路运营造成影响,在横洞下方砌筑挡墙,增设防护网,设置范围为横洞中线左右侧各30 m。同时在既有铁路附近设专职安全员,并及时与当地铁路运输部门取得联系,以确保铁路运营安全。

出口下方约40 m外为天然气库,洞口开挖采用人工配合机械开挖,设置安全哨所,隧道掘进一定深度后,根据震速对天然气罐的影响确定何时采用钻爆开挖,以保证天然气库安全。

(2) 地形情况

大坡山隧道地处玉溪盆地北西侧边缘地中山区,地形起伏较大,横向冲沟发育,地面高程1 690~1 900 m,相对高差200~300 m,自然横坡 $20^{\circ}\sim 40^{\circ}$,局部陡峻,隧道最大埋深约190 m。

(3) 气候特征

本标段所在区域属中亚热带湿润季风气候,年平均气温在 16°C 左右,年内温度变化不大,最热月与最冷月的月平均温差一般在 10°C 以内,以春秋气候为主,冬、夏季短,春、秋季长,降雨不多,年平均降雨量约800~950 mm,雨日130~140天,无霜期244~365天,相对湿度 $68\%\sim 79\%$ 。暴雨天气主要集中在5~9月,集中了全年降雨量的 $80\%\sim 90\%$ 。

(4) 工程地质特征

① 地层岩性

隧道穿越地层岩性主要为前震旦系地槽群美党组(ptlm)板岩夹炭质板岩、灰岩,大龙口组(ptld)泥质灰岩、灰岩及断层角砾、黏土。由于测区新构造运动强烈,断层、褶皱构造发育明显。

② 断层

隧道穿越断层有大凹村断层、大坡山推测断层、香炉山断层。其中大凹村断层为逆断层,断层走向近SN向,倾向W,倾角约 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$,该断层位于隧道进口,与线路斜交角约 45° ,断层破碎带宽约100 m,由断层角砾组成,原岩成分为灰岩、泥质灰岩,挤压破碎剧烈。大坡山推测断层走向约N40°W,与线路交角约 90° ,倾向、倾角不详,破碎带宽1~5 m,据地质探孔DZ-DPS-2孔揭示其破碎带主要由断层泥组成,呈灰黑、黑色夹蓝灰色,原岩成分为板岩。香炉山断层为区域性逆断层,据区域地质资料显示,该断层近SN向延伸,倾向E,倾角 $45^{\circ}\sim 50^{\circ}$,切穿昆阳群大龙口组和美党组两套地层,该断层与线路斜交角约 25° ,断层破碎带宽约80~120 m,由断层角砾组成,原岩成分为板岩、变质砂岩,挤压破碎剧烈,断层通过地区沟坡面完整性较差,断层带为可溶岩与非可溶岩接触带,可能构成阻水带,对隧道施工影响比较大。

③ 危岩、落石

隧道进口端地形陡峻,高差大,受地质构造影响剧烈,岩体破碎,坡面零星分布松动岩块,施工及运营过程中可能产生落石,施工时应应对上部松动岩块予以清除或加固,确保安全。

④ 顺层

隧道穿越区右侧挖方边坡存在顺层危害,施工中应加强抗滑挡护,隧道需加强衬砌。

⑤ 有害气体

由于出口段为板岩夹炭质板岩,在断层局部聚集可能,施工期间需加强有害气体监测,隧道内加强通风。

(5) 水文地质特征

① 地表水

测区位于玉溪盆地西北部中低山区斜坡区,与玉溪盆地相邻,为珠江水系。地表主要水系与山脉多呈北西或近南北向展布,灰岩、泥质灰岩区地表水系较发育,但多为季节性溪沟。发育于可溶岩与非可溶岩接触的溪沟有常年流水,但水量小,季节性变动大。地表水系以坡面型构造溶蚀沟谷发育为特征,坡面沟谷短而陡,呈V字形,沟底无水。

② 地下水

地下水的赋存与补给主要受地质构造、地形地貌、岩性及气候等因素的影响,区域内地下水类型根据地下水赋存条件划分为孔隙潜水、基岩裂隙水及岩溶水。

③ 隧道涌水量预测

大气降水容易汇集渗入隧道中,雨季隧道水量按降水入渗法和地下水径流模数法计算,全隧正常涌水量 $Q_{正} = 1.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,最大涌水量 $Q_{最大} = 1.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

水质检测

根据附近井水化验,水质属: HCO_3^- 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 型水,根据《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》,在环境作用类别为化学侵蚀环境及氯盐环境时,水对混凝土结构有酸性侵蚀,隧道出口段侵蚀等级按 H1 设计。

2. 施工条件

(1) 交通条件

大坡山隧道分出口和横洞两个工区,主便道下穿既有昆玉铁路莲池火车站北侧交通涵洞,出口直行上山沿既有公路前行 800 m 后于左侧新修宽 6 m、纵坡 5.5% 的施工便道 300 m 到达大坡山隧道出口。横洞过交通涵洞后右侧上山,沿既有便道前行 650 m 于右侧新修宽 6 m 的施工便道 500 m 到达大坡山隧道横洞。

(2) 生产和生活用水、用电、通信情况

生活用水可就近接当地村庄生活用水,生产用水可在顶部附近的山坡上设置 100 m^3 的高位水池,采用 $\phi 100$ 钢管将水引至工点使用。

施工用电前期可利用下边村庄附近原有的变压设备,满足生活及前期施工需要,进洞后,于洞口附近配备一台 $800 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 变压器,并备用一台 350 kW 的发电机,保证施工需要。

电信线路在线路沿途经过,沿线通信网络已覆盖,通信情况良好,可采用安装固话及移动通信解决工程施工与外界的联系。

(3) 材料供应情况

① 石材:沿线有五六家采石场,供给量充足,地材可就近采购。隧道衬砌有资质的、有供应能力的供应商,经试验室抽样检测合格后统一招标采购。

② 主材及其他工程材料:经市场调查,本地市场供应丰富,由项目部选取有资质的供应商,经试验室抽样检测合格后统一招标采购。

(4) 其他与施工有关的情况

① 卫生防疫。大坡山驻地紧邻红塔区北城镇,镇上有专门的卫生防疫站和镇医院,职工可就近定期到防疫站、镇医院进行体检检查。

② 地区性疾病。及时了解了当地疾病的种类、传染程度,并咨询相关的医疗机构,制定相关的管理办法,尽量减少地区性疾病的感染和传播。

③ 当地民俗。当地少数民族群众遵守和适应当地民俗习惯,应与当地村民加强沟通、

交流,在以后的施工过程中,做到与当地村民和睦相处。

④生态环境保护。严格执行国家和地方政府有关环境保护的规定,建立健全的环保和水保措施,确保工程所处环境不受污染和破坏。

采取合理措施,避免因施工方法不当而引起的污染和其他原因造成对居民生活环境的伤害和妨碍,建筑垃圾和生活垃圾、生产和生活废水按规定处理、排放。

⑤弃渣场地选择及容纳能力。大坡山隧道线路方向左侧200 m有一天然沟谷,有一既有水沟穿过,经现场踏勘测量,弃渣面积约57亩,砌5 m高的挡墙,容渣量能达到37万m³,能满足洞内弃渣量需要。所选弃渣场,可在弃渣场底部埋设两组圆管涵与既有水沟相接,解决既有水沟排水问题,弃渣场周围修建排水沟,解决下雨天气渣场周边排水问题,工程施工后在渣场植树种草,防止水土流失。

支撑知识1: 施工调查的意义

通过施工调查,可以了解和核对线路的全面情况、重点工程情况和沿线的施工条件等,确定符合实际情况的施工布置和施工方法,确定材料来源和运输方法,落实各项辅助工程的设置,规划临时工程,作为编制施工组织设计和概预算的重要依据。施工调查的质量直接关系到隧道工程施工的合理性。因此施工调查既是设计部门勘测设计中的一项重要工作,也是施工企业在基本工程开工前必须进行的一项工作。

支撑知识2: 施工调查的内容

施工调查应包括下列内容:

- (1)地理环境、气象、水文水质情况。
- (2)辅助坑道、洞口位置及相邻工程情况。
- (3)施工运输道路、水源、供电、通信、施工场地、征地拆迁情况,弃渣场地基容纳能力等。
- (4)原材料及半成品的品种、质量、价格及供应能力等,爆破器材的供应情况、供货渠道及管理方式等。
- (5)交通运能、运力、装卸费率等。
- (6)可供利用的劳动力资源状况,包括工费、就业情况等。
- (7)生活供水、医疗、卫生、防疫、民俗及居民点的社会治安情况等。
- (8)生态环境保护的一般规定和特殊要求。
- (9)对隧道施工有直接和间接影响的其他问题。

施工调查前应查阅设计文件和相关资料,定制调查大纲。调查结束后根据调查情况编写书面的施工调查报告。

支撑知识3: 施工调查报告的内容

施工调查报告主要包括下列内容:

- (1)工程概况,包括工程环境、工程地质、水文地质,工程规模、数量、特点。
- (2)临时设施方案,包括临时房屋、材料、施工便道及码头、电力及通信干线等的选择、规模和标准。
- (3)砂、石等当地材料的供应方案。
- (4)生产生活供水、供电方案及通信方案。

- (5) 施工建议方案。
- (6) 当地风俗习惯及注意事项。
- (7) 环保要求及注意事项,可能对环造成的影响。
- (8) 施工调查中发现的设计有关问题和优化设计建议。
- (9) 尚待进一步调查落实的问题。

任务 3.2 技术准备

相关案例:曾家岭 II 号隧道

曾家岭 II 号隧道设计为双线隧道,隧道长 499 m,其中明洞 242 m,暗洞为 257 m。左右曲线半径分别为 $R=5\ 000\text{ m}$ 、 $R=4\ 995\text{ m}$,隧道采用单面上坡,进口~DK914+300 为 20‰ 的上坡,坡长 492 m,DK914+300~出口为 3‰ 的上坡,坡长 307 m,DK914+300~DK914+470 段设置圆曲线型竖曲线,曲线半径为 20 000 m。本隧道洞身 DK914+132、DK914+330、DK914+587、DK914+592 里程处设置环向贯通的变形缝。

主要技术标准如下:

- (1) 铁路等级:客运专线;
- (2) 正线数目:双线;
- (3) 设计行车速度:350 km/h;
- (4) 正线线间距:5.0 m;
- (5) 最大坡度:一般 20‰;
- (6) 牵引种类:电力;
- (7) 列车类型:电动车组 CRH 型;
- (8) 到发线有效长度:650 m;
- (9) 运输调度方式:综合调度集中;
- (10) 列车运行控制方式:自动控制。

主要工程内容有:

- (1) 洞口长管棚、洞身管棚施工;
- (2) 超前地质预报、监控量测、超前支护;
- (3) 隧道开挖、初期支护;
- (4) 衬砌板施工;
- (5) 衬砌施工、洞门施工;
- (6) 水沟电缆槽施工。

曾家岭 II 号隧道属于 V 级围岩、浅埋,地质条件差,进出口段均为粉质黏土层,水理性较差,遇水极易软化,明洞开挖施工要注意边坡稳定性,同时隧道开挖易引起塌顶,要预防不均匀沉降。

在隧道各项工序施工前应进行相应的技术交底,暗洞衬砌钢筋加工施工前的技术交底如下:

1. 技术标准

(1) 二次衬砌钢筋采用主筋 $\phi 22$ 螺纹钢,纵向筋 $\phi 14$ 螺纹钢,扎筋 $\phi 8$ 圆钢;具体钢筋尺寸见钢筋大样图。

(2) $\phi 22$ 钢筋连接采用机械连接,采用钢筋螺纹滚丝机对钢筋接头进行压丝,压丝长度为 3 cm。钢筋接头加工每 200 个为一个批次,由试验员取样进行力学试验。

(3) 进行机械加工的施工人员上岗前必须经过培训并持证上岗。

(4) 扎筋 $\phi 8$ 圆钢采用调直机将盘条拉直并按设计尺寸下料,再由弯曲机制作弯钩。

(5) 钢筋焊接:单面焊缝大于 10 倍钢筋直径,双面焊缝大于 5 倍钢筋直径。钢筋接头应分散布置,焊接接头在同一截面上不得大于 50%,相邻钢筋接头错开距离: $\phi 25$ 螺纹钢大于 90 cm, $\phi 22$ 螺纹钢大于 80 cm。

(6) 仰拱衬砌采用 C35 钢筋混凝土,仰拱填充采用 C20 素混凝土。

(7) 仰拱衬砌和仰拱填充必须分开浇筑,首先施做仰拱衬砌混凝土,然后浇筑仰拱填充混凝土。

(8) 仰拱衬砌两侧边墙浇筑高度为仰拱填充面上 5 cm(内轨顶面下 73 cm)。

(9) 仰拱衬砌混凝土由搅拌站统一拌合,由混凝土罐车运至施工现场。混凝土浇筑过程中振捣要均匀,混凝土结构表面密实平整、颜色均一,不得有露筋、蜂窝、气洞、疏松、麻面和缺棱掉角等缺陷。

(10) 仰拱衬砌混凝土达到 5MP 后安装填充混凝土模板、中心水沟模板及支架。

(11) 仰拱填充内中心矩形水沟宽度 60 cm 深度 65 cm,中心矩形水沟与两侧沟采用 $\phi 100$ PVC 排水管连接,排水管纵向间距 10 m,排水管埋设高度为中心水沟底上 50 cm。

(12) 仰拱填充面靠两侧沟槽侧壁位置设置 $\phi 10$ cm 半圆形排水槽,与中心水沟采用 $\phi 50$ cm PVC 管连通,纵向间距 10 m。

(13) 仰拱填充内中心矩形水沟采用 500 mm \times 150 mm 钢模板,水沟盖板预留位置采用 60 号角钢连接在钢模板上。

2. 安全质量要求

(1) 钢筋应平直、无损伤,表面无裂纹、油污、颗粒状或片状锈蚀。

(2) 钢筋焊缝饱满,焊缝质量符合要求,实验室对焊接接头进行焊接试验。

(3) 现场施工用电由专业电工管理。

(4) 混凝土浇筑完成后 12 h 内对混凝土加以覆盖并保湿养护。

(5) 浇水次数应能保持混凝土处于湿润状态。

(6) 混凝土强度达到 5 MP 前不得在混凝土上安装模板和支架。

(7) 当混凝土环境温度低于 5 $^{\circ}$ C 时,不得浇水。

支撑知识:技术准备的内容

技术准备是在施工调查之后,为了工程能够保质保量的按期完成而在施工之前进行的准备工作。

(1) 设计文件现场核对;

(2) 施工方案选择及资源配置;

(3) 施工作业指导书编制;

(4) 施工技术交底;

(5) 工地及营地建设;

(6) 施工复测和控制测量

1. 设计文件现场核对

隧道工程施工前,应重点对设计文件中的拆迁工程、工程设计方案、工程措施、大型临时工

程等进行现场核对,并做好核对记录。

设计文件核对应包括下列内容:

(1)设计文件相互间的一致性、系统性是否存在差、错、漏、碰。重点是各设计专业接口工程的相互衔接。

(2)隧道平面及纵断面参数计算是否正确。

(3)设计工程数量计算是否正确,超前地质预报设计内容是否完整。

(4)设计的洞口地形、地质,地上、地下管线和周边建筑物等是否与现场一致。

(5)隧道穿越不良地质段的设计方案、工程措施的合理性、可实施性,应急预案系统是否完善。

(6)弃渣场的结构设计、位置及容量是否满足施工需要和环保要求。

(7)洞口位置,洞口边、仰坡的稳定程度,辅助坑道的类型和位置等。

(8)洞口排水系统是否完善。隧道排水与桥涵、路基排水设施及农田灌溉系统的配合、衔接是否合理,排水沟、天沟等的尺寸及排水设施的结构图是否完备、细致。

(9)大型临时设施和过渡工程的设置位置、规模和数量是否合理,能否满足工程施工需要。

在设计文件核对后,应将结果及存在问题以书面形式报送设计、监理等相关单位。

2. 施工方案选择及资源配置

隧道施工方案应根据施工条件、地质条件、隧道长度、隧道横断面、埋深深度、工期要求、环境保护、资源配置等因素综合选定。

地质复杂及高风险隧道应结合周边环境及现场实际情况,分析工程及水文地质资料,进行风险评估,制定施工技术方案和专项应急救援预案。

资源配置应与隧道施工方案相匹配,按照拟定的施工方案和进度安排,计算主要材料、设备、关键施工机械的数量及分阶段消耗量,确定分阶段的进料时间、储存及供应数量。

隧道开挖及运输等大型机械配置应按照经济、高效原则进行配套,并符合下列规定:

(1)机械设备的进场时间要满足项目节点工期安排要求。

(2)机械设备的选用顺序依次为自有、租用、购置设备。

(3)机械设备的组合应进行效率与费用的综合技术经济比较。

隧道物资材料的配置应满足生产需要、降低成本的要求。按照甲供、甲控、自购材料的规格、数量、供应时间等点要求,制定相应的招标采购计划。对于特殊的物资,应提供较准确的供应计划,如有变化提前通知生产厂家及时调整,确保按时供货。

人力资源配置应按隧道规模、进度安排、工序专业类别等要求,编制人力资源需求和使用计划,在满足施工组织的基础上,实现人力资源精干高效。

资金管理应按照工程规模、进度计划、合同价款及支付条件制定管理目标和计划,编制资金流动计划和财务用款计划,对资金的使用应严格监控。

3. 施工作业指导书编制

高速铁路隧道施工应针对隧道的特殊过程和关键工序编制施工作业指导书,使施工人员掌握特殊过程和关键工序的作业程序、施工方法、质量标准,了解安全、节能环保等有关注意事项。

施工作业指导书应按照标准化管理要求,将先进成熟的工艺工法、科学合理的生产组织与建设标准、质量目标、安全要求以及现场施工条件相结合,做到图文并茂,简明易懂,可操作性强。

高速铁路隧道工程施工作业指导书编制范围应包括隧道开挖、初期支护、基底处理、防排水、二次衬砌、超前地质预报、监控量测等。特殊岩土及不良地质隧道还应编制针对性的作业指导书。

施工作业指导书应包括下列主要内容:①适用范围,②作业准备,③技术要求,④施工程序与工艺流程,⑤施工要求,⑥劳动组织,⑦材料要求,⑧设备机具配置,⑨质量控制及检验,⑩安全及环保要求。

高速铁路隧道工程施工应通过组织现场作业交底和人员培训,确保施工人员全面掌握作业指导书的内容和要求。

4. 施工技术交底

高速铁路隧道施工技术交底应实行分级交底制度,施工技术交底应该覆盖所有参与工程施工的管理人员、技术人员、作业人员。

(1)对项目部各部室及技术人员的交底主要包括下列内容:

- ①隧道地质、水文情况、围岩等级等工程概况,工程的重难点、施工调查情况。
- ②安全、质量、环保、工期目标及主要节点进度计划安排等。
- ③隧道总体施工组织方案、施工场地布局、大型临时设施及过渡工程方案。
- ④总体施工顺序、技术方案,长及特长隧道及其平行导坑、斜井、竖井的通风、运输方案;采用的新技术、新结构、新材料和新工艺。
- ⑤主要工程材料、设备、劳动力安排及资金计划。
- ⑥特殊岩土和不良地质地段的施工方法,安全技术措施。
- ⑦重大安全技术、环保措施。
- ⑧主要危险源、应急预案及抢险救援机构和设备。

(2)对作业队的技术交底主要包括下列内容:

- ①总体施工组织安排及施工方案,包括长、特长隧道及其平行导坑、斜井、竖井的设备配置及通风、运输方案。
- ②工程质量、安全、环保、进度目标及保证措施。
- ③施工方法、操作规程及施工技术要求。
- ④新技术、新工艺操作要求。
- ⑤分部、分项工程划分。
- ⑥施工作业指导书。
- ⑦设备加工图、拼装图及使用说明。
- ⑧试验参数及理论配合比。
- ⑨控制测量桩橛、监控量测等。
- ⑩重大危险源、应急救援措施及抢险救援结构和设备。

(3)对作业班组的技术交底主要包括下列内容:

- ①各工序施工中可能出现的安全风险、安全注意事项、急救包使用及紧急情况下的应急救援措施,紧急逃生措施。
- ②工序施工方法、施工工艺流程及施工先后顺序、工序间衔接处理等。
- ③施工工艺细则、操作要点。
- ④作业标准和质量验收标准等。
- ⑤工程结构物尺寸、里程、中心位置、高程等;有关施工详图和加工图,包括爆破设计、开挖

轮廓、支护结构、模板制作设计、钢筋配筋、结构尺寸大样图等。

- ⑥使用材料规格及材质要求、圬工等级、施工配合比等。
- ⑦设备加工图、拼装图及其操作要领、施工机械操作规程、安全使用、维修保养规则等。
- ⑧质量通病预防措施。
- ⑨施工安全及技术措施。
- ⑩劳动保护及环境保护有关注意事项。

施工技术交底应形成书面记录,并履行复核、签认手续,交底可采用会议、口头或书面等形式。交底资料应留存备查。

5. 工地及营地建设

(1)生产区、辅助生产区和办公生活区布置应符合以下规定:

- ①生产区应按工序有效衔接、布局紧凑等原则,并结合隧道具体情况进行布置。
- ②辅助生产区宜临近隧道洞口布置,炸药库、油料库等有特殊要求的场所应满足相关规定。
- ③办公生活区应与生产区和辅助生产区分开设置,采取相应的隔离措施并保证安全距离。办公生活区宜设在人员相对集中和出入方便的地点。

(2)施工场地布置应包括下列内容:

- ①各种生产、生活房屋。
- ②混凝土拌和站、预制场及砂石料场。
- ③风、水、电设施场地。
- ④轨道运输的洞外出渣线、编组线、牵出线、其他作业线、卸渣码头及转运场。
- ⑤汽车运输道路的引入和运输相关设施场地。
- ⑥大型机具设备的组装和检修场地。
- ⑦临时存渣场。
- ⑧场内临时排水系统。

(3)临时工程施工应符合下列要求:

- ①高压、低压电力线路及变压器和通信线路应统一布置及早建成。
- ②各种房屋按使用性质应符合相应的安全消防规定。爆破器材库、油库的布置应符合有关安全规定,房屋内应有畅通的给排水系统,并避开高压电线。
- ③严禁将营地等设施布置在受洪水、泥石流、落石、滑坡、雪崩等自然灾害威胁的地点。
- ④施工通道的设置不得危及隧道洞口工程的安全。
- ⑤高位水池应远离隧道中线修建。
- ⑥洞口段为不良地质时,不应在其洞顶修建房屋和其他建筑。
- ⑦临时工程及场地布置应采取保护自然环境的措施。
- ⑧隧道弃渣场应按设计进行复垦或绿化,坡脚应进行防护。

施工场地布置时,在水源保护地区和施工饮用水源区内不得取弃土、破坏植被等,不得设置拌和站、洗车台、充电房等,并不得堆放任何含有害物质的材料或废弃物。

隧道内、外施工场所应设置警示标识,并配以相应的警示语。

工程竣工时,应修整、恢复受到施工破坏或影响的自然环境。

6. 施工复测和控制测量

(1)施工复测应按下列程序进行

①勘测设计单位对施工单位进行交接桩以后,施工单位应对所交的控制点进行复测,复测应包括下列内容:①GPS点的基线边长度;②导线点的转角、导线点间的距离;③水准点间的高差;④复测应与相邻标段进行贯通测量,确保标段施工交界处正确衔接。

②复测结果与设计单位的勘测成果不符时,必须再次复测进行确认。当确认设计单位勘测资料有误或精度不符合规定要求时,应积极与设计单位协商对勘测成果进行改正。

③控制点复测完成后应编制详细的复测成果书并形成交桩文件,复测成果应报送监理单位与设计单位,复测成果符合要求并经监理单位批复后方可进行后续的测量工作。

(2)隧道长度大于1000 m时,应根据隧道横向贯通精度的要求进行平面控制测量设计;隧道相邻两开挖口间的路线长度大于5000 m时,应根据隧道高程贯通精度的要求进行隧道高程控制测量设计。



思考题

- 3.1 简述施工调查的内容。
- 3.2 简述施工调查的注意事项。
- 3.3 简述如何对设计文件进行现场核对。
- 3.4 简述施工作业指导书的编制。
- 3.5 简述施工复测和控制测量的过程。