

职业教育铁道运输系列创新教材

新型  
活页式

# 铁路隧道施工与养护

(第2版)

主 编 刘 园 高永刚  
主 审 王军龙



哈尔滨工程大学出版社  
Harbin Engineering University Press

www.xinsijiaocai.com

赠精品教学资料包

服务热线: 400-615-1233

# 铁路隧道施工与养护

(第2版)



选题策划: 张林峰 金颖杰

责任编辑: 张佳凯

封面设计: 黄燕美

ISBN 978-7-5661-4935-0



9 787566 149350 >

定价: 65.00元

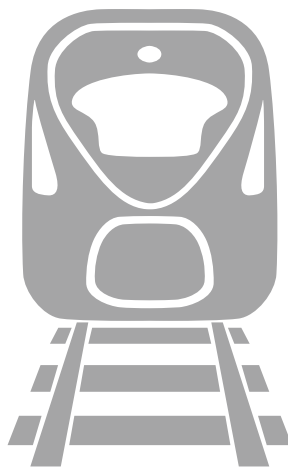


职业教育铁道运输系列创新教材

# 铁路隧道施工与养护

(第2版)

主 编 刘 园 高永刚  
副主编 殷艳萍 陈若曦  
主 审 王军龙



哈尔滨工程大学出版社  
Harbin Engineering University Press

## 内 容 简 介

本书共分为4个模块、6个项目,主要包括隧道相关知识、超前地质预报与围岩分类及压力、铁路隧道设计、隧道施工方法、隧道施工基本作业、铁路隧道常见病害及养护维修。通过学习本书,学生能够掌握铁路隧道的设计和构造原理,具备从事铁路隧道工程设计、施工、养护和维修等工作的基础知识和基本能力。

本书既可作为高等职业教育铁道运输类专业相关课程的教材,也可作为隧道施工技术人员的学习参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

铁路隧道施工与养护 / 刘园, 高永刚主编. -- 2版.  
哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2025. 10. -- ISBN  
978-7-5661-4935-0  
I. U459.1  
中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025LA7361 号

铁路隧道施工与养护(第2版)

TIELU SUIDAO SHIGONG YU YANGHU (DI 2 BAN)

选题策划 张林峰 金颖杰

责任编辑 张佳凯

封面设计 黄燕美

---

出版发行 哈尔滨工程大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区南通大街145号

邮政编码 150001

电 话 0451-82519989

经 销 新华书店

印 刷 三河市骏杰印刷有限公司

开 本 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张 18 插页 1

字 数 373 千字

版 次 2025 年 10 月第 2 版

印 次 2025 年 10 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5661-4935-0

定 价 65.00 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail: [heupress@hrbeu.edu.cn](mailto:heupress@hrbeu.edu.cn)

---





## 第2版 前言

铁路隧道施工与养护作为铁路工程领域的核心课程,系统覆盖了铁路隧道从施工建设到后期养护管理的全生命周期内容。通过对本课程的深度学习,学生将全面掌握铁路隧道施工的标准工艺流程、关键技术要点以及铁路隧道养护维修的基本方法,为其未来投身铁路工程建设与维护领域筑牢专业根基。本课程强调理论与实践融合,致力于培养学生的实际操作能力和工程问题解决能力,使其能够精准对接行业岗位需求。

在“交通强国”战略持续深化的时代背景下,普速铁路、高速铁路与城际铁路不断向山区及复杂地质区域拓展延伸,铁路隧道工程呈现出“长、大、深、险”的显著特征,这对铁路隧道施工与养护专业技术技能人才的综合素质与专业能力提出了更高要求。职业院校作为高素质技术技能人才的重要培养阵地,肩负着为铁路行业输送专业人才的重要使命。然而,当前部分职业院校铁路隧道类教材存在内容更新滞后、知识模块碎片化、产教融合深度不足等问题,已难以满足新时代人才培养的需求。为有效应对这一现状,切实培养适应我国铁路隧道工程发展需要的技术技能型人才,我们特以活页式教材为载体,对知识体系进行全面重构,积极推动“教材革命”。

在教材编写过程中,我们严格遵循《国家职业教育改革实施方案》等职业教育相关政策性文件要求,深度践行“职业教育与普通教育是两种不同教育类型,具有同等重要地位”的核心理念,着重突出教材的实用性、针对性与前瞻性。本教材以强化学生实践能力为核心,以提升学生综合素质为目标,确保教材内容紧密贴合工程实际、行业发展趋势与岗位工作需求,为学生的职业发展提供有力支撑。

本教材系统整合了铁路隧道施工基础知识、施工工艺、施工安全管理以及隧道养护维修等核心内容,共设置4个模块、6个项目。模块1为隧道基本认知,内容包括隧道相关知识;模块2为隧道施工准备,内容包括超前地质预报与围岩分类及压力、铁路隧道设计;模块3为隧道施工作业,内容包括隧道施工方法、隧道施工基本作业;模块4为隧道运营维护,内容包括铁路隧道常见病害及养护维修。通过系统学习本教材,学生将全面掌握铁路隧道施工的理论知识与实践技能,具备从事隧道工程设计、施工、养护和维修等工作的专业能力。



本次修订采用活页式教材形式,具有以下特点。

### 1. 系统性

本教材构建了以“隧道认知—施工流程—养护维修”为核心逻辑链的模块化教学体系,创新性地将隧道工程领域的基础理论、施工技术、运维管理等内容进行系统化重构,实现理论教学与实践训练的深度融合。

### 2. 互动性

本教材精心设计了任务实施、评价反馈等互动栏目,旨在激发学生的学习积极性,培养其创新思维与自主学习能力。

### 3. 实用性

本教材紧密结合铁路隧道施工与养护的实际工作需求,突出实践操作技能的培养,使学生毕业后能够快速适应工作岗位。

本教材由西安铁路职业技术学院刘园、高永刚任主编,西安铁路职业技术学院殷艳萍、陈若曦任副主编,蒙华铁路公司蒙陕指挥部总工程师、教授级高工申志军参与编写。全书由西安铁路职业技术学院王军龙教授主审。具体编写分工如下:刘园负责编写模块1、模块4;陈若曦负责编写模块2;殷艳萍负责编写模块3的项目4;高永刚负责编写模块3项目5的任务5.1~5.8、5.10;申志军负责编写模块3项目5的任务5.9。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,诚盼广大读者在使用过程中提出宝贵意见与建议,以便进一步优化、完善教材内容,更好地服务于职业院校的学生和铁路行业的从业者。

编 者

# 第1版 前言

随着我国高速铁路事业的迅猛发展,铁路隧道工程也越来越多。我国已成为世界上隧道数量最多、建设规模最大、发展速度最快的国家。在这种情况下,国家迫切需要大量能参与隧道施工,并善于维护隧道的人才。

铁路隧道施工与养护是职业教育铁道运输类相关专业的核心课程,主要用于培养掌握隧道工程施工及维修保养技术技能的复合型人才。

本书依据《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2016),结合当代高等职业教育注重实践性和实用性的特点,按照国家对职业院校学生的培养要求,以党的二十大精神为指导进行编写。通过对本书的学习,学生可以掌握有关铁路隧道的构造和设计原理,熟悉有关施工方面的知识,具备从事隧道工程的设计、施工、养护和维修等工作的基础知识和基本能力。

本书的内容及学时安排(推荐)如下:

| 序 号  | 内 容           | 学 时 |
|------|---------------|-----|
| 项目 1 | 绪论            | 2   |
| 项目 2 | 隧道超前地质预报与围岩分级 | 4   |
| 项目 3 | 铁路隧道构造及设计     | 6   |
| 项目 4 | 隧道施工方法        | 6   |
| 项目 5 | 隧道施工基本作业      | 16  |
| 项目 6 | 隧道施工辅助作业      | 2   |
| 项目 7 | 不良地质隧道施工      | 6   |
| 项目 8 | 高速铁路隧道        | 4   |
| 项目 9 | 铁路隧道常见病害及养护维修 | 6   |
| 总计   |               | 52  |

本书由西安铁路职业技术学院刘园、殷艳萍任主编,由西安铁路职业技术学院高永刚任副主编,蒙华铁路公司蒙陕指挥部总工程师、教授级高工申志军参与编写。全书由西安铁路职业技术学院王军龙教授主审。具体编写分工如下:项目 1、项目 3、项



目4、项目5由刘园编写,项目2、项目7、项目8由殷艳萍编写,项目6由申志军编写,项目9由高永刚编写,申志军提供了本书的所有工程案例。

在编写本书的过程中,编者参考了大量文献资料及网络资源,恕不一一列举,在此对相关作者表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者



# 目录

## 模块 1 隧道基本认知

|             |              |    |
|-------------|--------------|----|
| <b>项目 1</b> | 隧道相关知识 ..... | 2  |
| 任务 1.1      | 隧道基础知识 ..... | 2  |
| 任务 1.2      | 铁路隧道构造 ..... | 14 |

## 模块 2 隧道施工准备

|             |                      |    |
|-------------|----------------------|----|
| <b>项目 2</b> | 超前地质预报与围岩分类及压力 ..... | 32 |
| 任务 2.1      | 隧道超前地质预报 .....       | 32 |
| 任务 2.2      | 围岩分级 .....           | 42 |
| 任务 2.3      | 围岩压力 .....           | 50 |
| <b>项目 3</b> | 铁路隧道设计 .....         | 66 |
| 任务 3.1      | 隧道线路设计 .....         | 66 |
| 任务 3.2      | 隧道断面设计 .....         | 82 |

## 模块 3 隧道施工作业

|             |                |     |
|-------------|----------------|-----|
| <b>项目 4</b> | 隧道施工方法 .....   | 90  |
| 任务 4.1      | 隧道的开挖方法 .....  | 90  |
| 任务 4.2      | 洞口和明洞施工 .....  | 101 |
| <b>项目 5</b> | 隧道施工基本作业 ..... | 112 |
| 任务 5.1      | 预支护 .....      | 112 |
| 任务 5.2      | 爆破作业 .....     | 124 |
| 任务 5.3      | 装碴运输 .....     | 141 |



|         |                |     |
|---------|----------------|-----|
| 任务 5.4  | 初期支护·····      | 151 |
| 任务 5.5  | 围岩变形监测·····    | 169 |
| 任务 5.6  | 防排水施工·····     | 186 |
| 任务 5.7  | 二次支护·····      | 200 |
| 任务 5.8  | 辅助坑道施工·····    | 211 |
| 任务 5.9  | 施工辅助作业·····    | 221 |
| 任务 5.10 | 不良地质隧道施工 ····· | 235 |

## 模块 4 隧道运营维护

|             |                            |            |
|-------------|----------------------------|------------|
| <b>项目 6</b> | <b>铁路隧道常见病害及养护维修 ·····</b> | <b>256</b> |
| 任务 6.1      | 隧道水害及其防治·····              | 256        |
| 任务 6.2      | 隧道冻害及其防治·····              | 263        |
| 任务 6.3      | 衬砌裂损及其防治·····              | 269        |
| 任务 6.4      | 衬砌腐蚀及其防治·····              | 278        |
| <b>参考文献</b> | <b>·····</b>               | <b>282</b> |



## 模块 1

# 隧道基本认知

本模块以系统化、结构化的教学模式,深度解构隧道工程知识体系。首先,从基础理论切入,系统阐释隧道的核心概念与本质特征,并依据交通、水利、市政等不同应用领域的功能需求,进行科学严谨的分类。在施工技术板块,本模块重点剖析山岭隧道、浅埋软土隧道及水底隧道等前沿施工工艺,融合理论讲解与工程实践案例,帮助学生掌握关键技术要点。同时,通过梳理隧道工程从古至今的发展脉络,呈现从古代简易通道到现代智能建造的技术跨越,结合秦岭隧道、英吉利海峡隧道等国内外标志性工程的对比分析,揭示隧道工程技术的发展。此外,本模块还深入讲述隧道洞门结构、衬砌类型等核心构造,以及通风、照明、防灾等附属设施系统,帮助学生构建完整的隧道工程知识框架,全面掌握其技术原理与工程应用要点。



# 项目1 隧道相关知识

## 任务 1.1 隧道基础知识

### 学习目标

#### 1. 知识目标

- (1) 了解隧道的基本概念和分类；
- (2) 了解常见的隧道施工方法；
- (3) 了解我国隧道的发展历程与发展前景；
- (4) 了解国内外著名隧道。

#### 2. 能力目标

- (1) 能理解隧道与地面建筑物的区别；
- (2) 能描述隧道的用途；
- (3) 能说出几种常见的隧道施工方法。

#### 3. 思政目标

- (1) 培养学生精益求精的精神；
- (2) 培养学生团结协作、吃苦耐劳的品质；
- (3) 培养学生的创新意识。

### 任务重、难点

#### 1. 重点

隧道的使用功能。



## 2. 难点

隧道施工方法。

### 知识准备

#### 1.1.1 隧道的基本概念

(1)隧道:修建于地下,两端有出入口,具有特定使用功能的人工建筑物。从广义上说,隧道可涵盖各种人工修建的地下建筑物,因而有各种不同的类型。

(2)铁路隧道:修建在地下或水下,铺设轨道供铁路机车车辆及可在轨道上行走的机具通行的建筑物。

(3)隧道工程:土木工程的一个分支,指从事研究各种隧道及地下工程的规划、勘察、设计、施工与养护的一门应用科学和工程技术。

#### 1.1.2 隧道的基本特征

(1)隧道具有特定的使用功能。

①提供到达地下矿体的通道,利于地下资源开采和地质勘探。

②缩短交通线路长度,改善道路线形,提高行车速度和道路通行能力,并减少修建道路对植被的破坏。

③实现引水、排水、通风和管线铺设。

④实现立体交通,减少交通堵塞,改善城市路况。

⑤开发利用地下空间,增加城市有效面积,改善城市环境。

⑥战争期间,提供地下的安全庇护场所,提高胜利的概率。

(2)长度大于断面尺寸,并具有一定的断面尺寸,其断面面积应大于  $2 \text{ m}^2$ 。

#### 1.1.3 隧道的分类

(1)按照所处的地质条件,隧道可以分为土质隧道和石质隧道。

(2)按照国际隧道协会(ITA)定义的横断面积的大小,隧道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  $100 \text{ m}^2$ )。

(3)按照所处的位置,隧道可以分为山岭隧道、水底隧道和城市隧道。

(4)按照长度,隧道可以分为短隧道、中长隧道、长隧道和特长隧道。由于铁路隧道和公路隧道对通风要求的不同,其长度划分的界限也不同,见表 1-1。

表 1-1 隧道长度划分界限

单位:m

| 隧道类型 | 特长隧道          | 长 隧 道                     | 中长隧道                  | 短 隧 道        |
|------|---------------|---------------------------|-----------------------|--------------|
| 铁路隧道 | $L > 10\,000$ | $3\,000 < L \leq 10\,000$ | $500 < L \leq 3\,000$ | $L \leq 500$ |
| 公路隧道 | $L > 3\,000$  | $1\,000 < L \leq 3\,000$  | $500 < L \leq 1\,000$ | $L \leq 500$ |

(5)按照埋置的深度,隧道可以分为浅埋隧道和深埋隧道。



(6)按照用途,隧道可以分为交通隧道、水工隧道、市政隧道和矿山隧道,如图 1-1 所示。

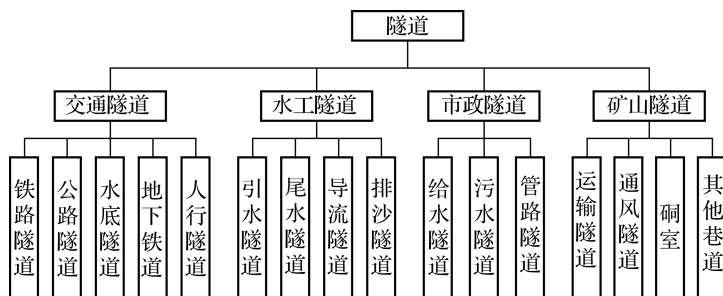


图 1-1 隧道按用途分类

交通隧道是为交通运输而在地下修筑的工程建筑物,常见的有铁路隧道、公路隧道、水底隧道、地下铁道和人行隧道等。水工隧道是水利枢纽的重要组成部分,是为水力发电而在地下修筑的供引水、排水、发电及变电机组安装的硐室,常见的有引水隧道、尾水隧道、导流隧道和排沙隧道等。市政隧道是城市中为安置各种不同市政设施而修建的地下孔道,常见的有给水隧道、污水隧道和管路隧道,为了便于养护维修,也可将多种隧道合建,称之为共同沟。矿山隧道是为矿体开采而修筑的从地表通往矿床的通道,常见的有运输隧道、通风隧道、硐室和其他巷道等。

#### 1.1.4 隧道的施工方法

目前,可供选择的隧道施工方法如图 1-2 所示。隧道施工方法的具体选取需要根据隧道所处位置的工程地质和水文地质,并结合隧道的断面尺寸、长度、衬砌类型、使用功能、施工设备与施工技术水平等因素,综合考虑后决定。

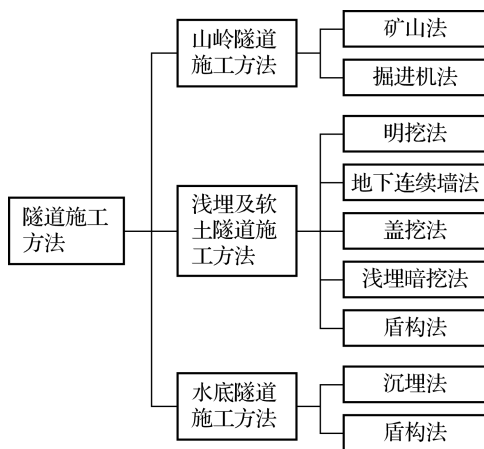


图 1-2 隧道施工方法分类

不同的岩性条件对各种开挖方法具有特定的适用性,见表 1-2。

表 1-2 不同的岩性条件对各种开挖方法的适用性

| 岩性等级 | 岩石类别 | 密度/<br>( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ ) | 内摩擦角<br>/( $^{\circ}$ ) | 开挖方法 |           |         |                |               |
|------|------|--------------------------------------------|-------------------------|------|-----------|---------|----------------|---------------|
| VI   | 松土   | 15~16                                      | 9~27                    | 人工开挖 | —         | —       | —              | 盾构加单臂掘进机、拼装衬砌 |
| V    | 普通土  | 15~18                                      | 30~40                   |      | —         | 宜用单臂掘进机 | —              |               |
| IV   | 硬土   | 18~20                                      | 56~60                   |      | —         |         | —              |               |
| III  | 软岩   | 22~26                                      | 65~70                   | —    | 宜用<br>钻爆法 | —       | 可用全断面<br>隧道掘进机 | —             |
| II   | 次坚岩  | 24~28                                      | 70~80                   | —    |           |         |                |               |
| I    | 坚硬岩  | 25~30                                      | 80~87                   | —    |           |         |                |               |

### 1.1.1.5 我国隧道的发展历程

春秋末年轻丘明所著的《左传》中,曾有“隧而相见”的记载;东汉末年的“官渡之战”中,曹操采用挖掘地道的方式进攻袁绍;部分朝代修建了大型的帝王陵寝等。这些都是我国古代隧道及地下工程方面的实践。

17 世纪初宋应星所著的《天工开物》是我国记载有关地下工程方面内容的最早书籍。

19 世纪以来,帝国主义列强争相在我国修建铁路,出现了铁路隧道。我国第一座铁路隧道是在台湾修建的狮球岭隧道。

完全由中国人自行设计和修建的隧道则是 1908 年建成的八达岭隧道,它是由我国著名工程师詹天佑主持施工的。

中华人民共和国成立前,我国经济不发达,隧道修建不多。中华人民共和国成立后,隧道工程技术有了飞跃的进步,隧道的修建得到蓬勃发展。

随着时代的发展,我国修建隧道的技术水平不断提升,建成的隧道一个比一个长,一个比一个质量好。

### 1.1.1.6 我国隧道的发展前景

我国隧道工程的发展前景非常广阔,同时隧道工程的发展也是我国国民经济发展、西部大开发战略、开展通海战略的迫切需要。

(1)交通隧道方面,我国西部多山地区的不断延伸,海南岛与陆地的跨海延伸以及辽东半岛、胶东半岛之间的跨海连接,崇明岛与上海等长江沿线的地下连接等都需要巨大的隧道工程来支撑。我国铁路隧道、公路隧道的单体长度及数量纪录,都将不断被刷新。

(2)目前,国内已提出构建跨越渤海湾连接辽东半岛与胶东半岛的南桥北隧固定联络通道,跨越长江入海口连接上海—崇明—启东的江底隧道,甚至提出了兴建台湾海峡隧道的设想。

(3)在水电隧道方面,随着我国西部大开发战略的进行,雅鲁藏布江、金沙江等水力资源丰富的江河上梯级电站建设,我国水利水电隧道的建设也将进入一个全新的发展时期。

(4)我国地下工程的建设,特别是东部经济发达地区和大中城市,将迎来建设高潮。

(5)近年来,除了以交通为目的的隧道以外,又扩大到其他多方面用途的地下工程,如地



下仓库、地下工厂、地下电站、地下武器库、地下停车场、地下粮仓、防空洞、地下影院、地下招待所、地下游乐场、地下体育中心、地下街、地下餐厅、地下会堂、地下战备医院和地下养殖场等。

### 1.1.7 国外和国内的著名隧道

#### 1. 青函隧道

青函隧道(图 1-3)横越津轻海峡,1964 年动工,1988 年建成,共耗资约 27 亿美元。主隧道全长 53.85 km,海底部分 23.3 km,是目前世界上最长的海底隧道。它由 3 条隧道组成,主隧道宽 11.9 m,高 9 m,断面面积 80 m<sup>2</sup>。最大水深 140 m,最小覆盖层厚 100 m。工程地质条件复杂,施工难度大。由于海底复杂的地质断层和软岩构造,隧道曾多次出现严重渗水事故,于 1969 年和 1976 年两度被海水淹没,每次水害都耗时近 5 个月才整治完成。

#### 2. 圣哥达隧道

圣哥达隧道(图 1-4)位于瑞士中部阿尔卑斯山区的一条高速铁路上,连接瑞士和意大利。设计时速 250 km,全长 57.09 km,是目前世界上最长的山岭隧道。1999 年动工,2010 年全隧贯通,2016 年 12 月 11 日已正式运营。



图 1-3 青函隧道

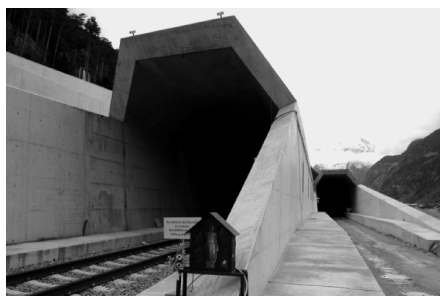


图 1-4 圣哥达隧道

#### 3. 洛达尔隧道

洛达尔隧道(图 1-5)位于挪威洛达尔与艾于兰之间,全长 24.5 km,是目前世界上最长的公路隧道。洛达尔隧道于 1995 年 3 月动工,2000 年 11 月 27 日正式通车,整个工程项目共耗资约 1 亿美元。过去来往于奥斯陆与卑尔根的车辆不仅要在洛达尔乘 3 h 的轮渡穿越松恩峡湾,还要通过一段地势非常险峻的山路,并且在冬季冰冻时期禁止通行。洛达尔隧道通车后,奥斯陆与卑尔根之间的行车时间从以往的 14 h 缩短至 7 h,车辆在冬季也可通行无阻。

#### 4. 德拉瓦隧道

德拉瓦隧道(图 1-6)全长 169 km,宽 4.1 m,是世界上最长的输水隧道。从 Rondout 水库取水,通过 Chelsea 泵站抬高水头,经 West Branch 水库、Kensico 水库到达纽约市郊区的 Hillview 水库。工程于 1939 年动工,1945 年完工,每天经该隧道运输的水量约  $4.9 \times 10^6$  m<sup>3</sup>,占纽约市用水量的一半。



图文:隧道工程新技术

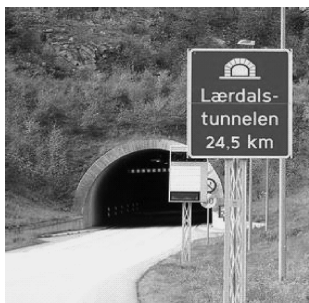


图 1-5 洛达尔隧道



图 1-6 德拉瓦隧道

### 5. 英吉利海峡隧道

英吉利海峡隧道(图 1-7)于 1987 年 9 月开工,1994 年 5 月开通,耗资约 100 亿英镑。隧道全长约 50.5 km,海底段 37 km,由 2 条直径 7.6 m 的铁路隧道和 1 条直径 4.8 m 的服务隧道组成。隧道勘探时发现海底有一层泥灰质白垩岩,厚度约 30 m,抗渗性好,硬度不大,裂隙也较少,易于掘进,因此隧道线路就布置在它的下部,距海底 25~40 m,最大埋深 100 m。隧道轴线在平面和立面上均呈平坦的“W”形,采用盾构掘进机施工。工程相继解决了“盾构在深层高压水下的密封防水技术”“钢筋混凝土管片衬砌的结构和防水”“长距离掘进的运输”等技术难题。隧道的规划设计把施工和运行安全放在极重要的地位,运输、供电、照明、供水、冷却、排水、通风、通信、防火等系统都充分考虑了紧急备用的要求,提高了运行、维护的可靠性。例如,2008 年 9 月 11 日,英吉利海峡隧道发生火灾,两天后的 9 月 13 日即恢复客运服务。

### 6. 港珠澳大桥海底隧道

中国港珠澳大桥海底隧道(图 1-8)是世界上著名的海底隧道,也是当今世界上埋深最大、综合技术难度最高的沉管隧道。港珠澳大桥工程集桥、岛、隧于一体,主体工程由海底沉管隧道和桥梁工程组成,隧道两端建有东、西两个人工岛。港珠澳大桥海底隧道全长 6.7 km,是世界上首条超长、外海、深埋沉管隧道,约 5.6 km 的沉管隧道是已建海底隧道中技术精度、技术要求最高的,其全面通车后,从香港到珠海、澳门的陆路车程由 3.5 h 缩短为 0.5 h。



图 1-7 英吉利海峡隧道



图 1-8 中国港珠澳大桥海底隧道

### 7. 狮球岭隧道

狮球岭隧道(图 1-9)又名刘铭传隧道,位于我国台湾基隆市安乐区,是我国最早建成的





铁路隧道,全长 261 m。隧道穿过页岩、砂岩及黏土地层,最大埋深 61 m。在地层压力较大处,拱部用砖作衬砌,边墙用石料作衬砌;在岩层较好处,则用木料作衬砌。隧道于 1887 年从南北两端同时开工,由外国工程师定出线路方向及中心桩的开挖高度,由清朝政府的军队负责施工。筑路官兵用粗笨工具开挖,克服了大塌方等不少困难,终于在 1890 年建成。狮球岭隧道南口外观用红砖砌成,在隧道竣工完成时,由巡抚刘铭传题额“旷宇天开”,左右对联云:“十五年生面独开羽毅飙轮,从此康庄通海屿;三百丈岩腰新辟天梯石栈,居然人力胜神工。”目前狮球岭隧道已停止使用,仅供游人参观。

## 8. 八达岭隧道

八达岭隧道(图 1-10)全长 1 091.2 m,位于北京市延庆区,原京张铁路的青龙桥车站附近,是我国自行修建的第一座单线越岭铁路隧道。1907—1908 年,由土木工程师詹天佑规划督造。隧道从长城之下穿越八达岭,进口端隧道外线路坡度为 32.35‰,隧道内线路最大坡度为 21.57‰。隧道穿过的岩层主要是较坚硬的片麻岩,还有部分角闪岩、页岩和砂岩等,风化呈破碎和泥质状态。八达岭隧道修建过程中中部增设一竖井,增加了两个工作面,从而缩短了工期。同时,竖井上建有通风楼,供行车时排烟和通风用。隧道衬砌的拱圈采用预制混凝土块砌筑,边墙用混凝土就地灌注,底板用厚 99.87 mm 的石灰三合土铺筑。1968 年八达岭隧道曾被大修改造,至今保存完好。



图 1-9 狮球岭隧道



图 1-10 八达岭隧道

## 9. 秦岭隧道

西康(西安—安康)铁路秦岭隧道(图 1-11)全长 18.46 km,横穿秦岭山脉,最深处距山顶 1 600 m。1999 年 9 月 6 日贯通,当时居世界山岭隧道第 6 位、亚洲第 2 位。秦岭隧道是我国第一条特长铁路隧道,采用两座平行的单线隧道,分别长 18.452 km 和 18.456 km,间距仅为 30 m。

## 10. 终南山隧道

终南山隧道(图 1-11)在青岔至营盘间穿越秦岭,全长 18.4 km,设计速度为 80 km/h,是目前世界上最长的双洞高速公路隧道。工程于 2001 年 1 月动工,2007 年 1 月通车。通车后,西安至柞水的通行里程缩短约 60 km,行车时间由原来的 3 h 缩短为 40 min。

## 11. 风火山隧道

风火山隧道(图 1-12)为单线铁路隧道,轨面海拔标高 4 905 m,全长 1 338 m,全部位于永久性冻土层内,年均气温  $-7^{\circ}\text{C}$ ,冬季最低气温达  $-41^{\circ}\text{C}$ ,是目前世界上海拔最高的高原永久性冻土隧道。隧道最大埋深 100 m,最小埋深 8 m,进出口均设计有明洞,进口 35 m,出

口 23 m,洞门形式采用斜切式结构,洞身采用 5 层先后施作的复合式衬砌结构形式。



图 1-11 秦岭隧道和终南山隧道

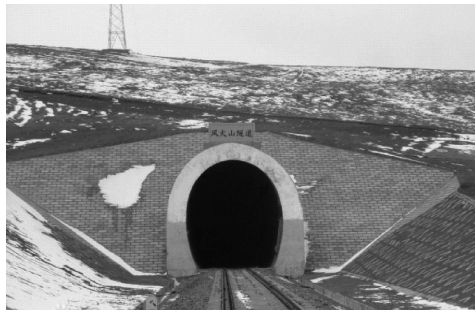


图 1-12 风火山隧道

## 12. 昆仑山隧道

青藏铁路昆仑山隧道(图 1-13)是世界上高原多年冻土区第一长隧,位于昆仑山北麓,全长 1 686 m,海拔高度 4 648 m,处于高原腹地,具有独特的冰缘干寒气候特征。工程于 2001 年 9 月开工,2002 年 9 月 26 日贯通。工程设计采用保护冻土的原则,隧道防排水及衬砌隔热保温层选用聚氯乙烯-聚乙烯(PVC-PE)复合防水板、聚氨酯(PU)保温板、TN-1 型聚氨酯黏合剂等材料,采用粘贴工艺施工,真正做到无钉铺设,有效地提高了防水保温层的防水隔热效果。

## 13. 狮子洋隧道

狮子洋隧道(图 1-14)位于广深港客运专线东涌站至虎门站区间,穿越珠江口狮子洋河段,是我国第一座水下铁路隧道,设计速度 350 km/h。隧道暗埋段长 10.49 km,采用 4 台泥水平衡式盾构施工;引道敞开段长 0.31 km,采用明挖施工。隧道采用双洞单线结构,内径 9.8 m,外径 10.8 m,管片厚度 50 cm,净空有效面积约 65 m<sup>2</sup>。2007 年 11 月 9 日狮子洋隧道第一台盾构机开始掘进,先后攻克了“高水压、强渗透地质条件下掘进机水中带压更换刀具”等多项世界性的技术难题,成功穿越深水、淤泥和超浅埋地段,2011 年 3 月 12 日盾构机水下精确对接,全隧贯通。

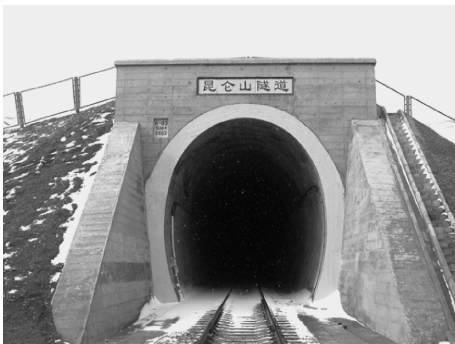


图 1-13 昆仑山隧道



图 1-14 狮子洋隧道

## 14. 函谷关隧道

函谷关隧道(图 1-15)全长 7 851 m,最大埋深 220 m,是我国最长及断面最大的黄土隧道。设计为单洞双线,线间距 5 m,设计速度 350 km/h,净空有效面积约 164 m<sup>2</sup>。隧道所在



区域地质条件复杂,且先后4次下穿连霍高速公路、7次穿越冲沟,施工难度大,安全风险高,外界干扰大,是郑西客运专线重点控制工程。工程于2005年9月25日开工,2008年9月5日全隧贯通。

### 15. 关角隧道

关角隧道(图1-16)为西格(西宁—格尔木)铁路二线工程的控制性工程,2007年11月6日开工,2014年4月15日双线正洞全隧贯通。隧道设计为双洞单线,线间距40 m,设计速度160 km/h,预留200 km/h的条件,采用钻爆法施工,全长32.645 km,为我国高海拔第一长隧。



图 1-15 函谷关隧道



图 1-16 关角隧道

### 16. 上海长江隧道

上海长江隧道(图1-17)穿越长江南港水域,采用盾构施工,工程主要分为引道段、暗埋段和盾构段,具有“长、大、深”三大特点。长——盾构一次性掘进距离长达7.5 km,世界上绝无仅有;大——两台超大盾构直径达15.43 m,堪称世界之最;深——江底高水压施工,最深处覆土达55 m。

### 17. 厦门翔安隧道

厦门翔安隧道(图1-18)全长8.69 km,其中海底隧道长约6.05 km,跨越海域宽约4.2 km,是我国大陆地区第一座海底隧道。设计采用三孔隧道方案,两侧为行车主洞,各设置3车道,中孔为服务隧道。隧道最深处位于海平面下约70 m。左、右线隧道各设通风竖井1座,全线共设12处行人横通道和5处行车横通道。工程于2005年9月6日正式开工,2009年11月隧道全面贯通,2010年4月26日开通运营。



图 1-17 上海长江隧道



图 1-18 厦门翔安隧道



 任务实施

任务 1.1 学生任务分配表见表 1-3。

表 1-3 任务 1.1 学生任务分配表

班级：

组号：

组长：

指导教师：

| 组 员 | 任务分工 | 组 员 | 任务分工 |
|-----|------|-----|------|
|     |      |     |      |
|     |      |     |      |
|     |      |     |      |

任务工作单 1

姓名：

学号：

日期：

1. 描述隧道与地面建筑物的区别。

2. 隧道有哪些分类方法？



任务工作单 2

姓名:

学号:

日期:

1. 小组讨论:谈谈对隧道未来发展的看法。

2. 查阅资料,列举至少两种山岭隧道施工方法的案例。

## 评价反馈

任务 1.1 评价反馈表见表 1-4。

表 1-4 任务 1.1 评价反馈表

| 姓名：       |                                                                      | 组号：  | 组长：               |                   |                   | 指导教师：             |          |
|-----------|----------------------------------------------------------------------|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| 评价指标      | 评价内容                                                                 | 分值   | 个人<br>自评<br>(20%) | 组内<br>互评<br>(20%) | 组间<br>互评<br>(20%) | 教师<br>评价<br>(40%) | 综合<br>评价 |
| 信息检索能力    | 是否能够有效利用网络、图书资源查找有用的相关信息,是否能将查到的信息有效地传递到学习中                          | 10 分 |                   |                   |                   |                   |          |
| 课堂感知力     | 是否认同工作价值,在学习中是否能获得满足感,课堂氛围如何                                         | 10 分 |                   |                   |                   |                   |          |
| 参与度、交流沟通  | 是否能够积极主动与教师、同学交流,相互尊重、理解;与教师、同学之间是否能够保持多向、丰富、适宜的信息交流                 | 10 分 |                   |                   |                   |                   |          |
|           | 是否能处理好合作学习和独立思考的关系,做到有效学习;是否能提出有意义的问题或能发表个人见解                        | 10 分 |                   |                   |                   |                   |          |
| 知识、能力获得情况 | 是否了解隧道的基本概念和分类                                                       | 10 分 |                   |                   |                   |                   |          |
|           | 是否能理解隧道与地面建筑物的区别                                                     | 15 分 |                   |                   |                   |                   |          |
|           | 能否描述隧道基本特征和用途                                                        | 15 分 |                   |                   |                   |                   |          |
|           | 是否了解隧道的施工方法                                                          | 10 分 |                   |                   |                   |                   |          |
| 思维态度      | 是否能发现问题、提出问题、分析问题、解决问题                                               | 5 分  |                   |                   |                   |                   |          |
| 自评反思      | 是否按时按质完成任务;是否较好地掌握了知识点;是否具有较强的信息分析能力和理解能力;是否具有较为全面严谨的思维能力和能条理清楚地表达观点 | 5 分  |                   |                   |                   |                   |          |
| 反思改进      |                                                                      |      |                   |                   |                   |                   |          |



## 任务 1.2 铁路隧道构造

### 学习目标

#### 1. 知识目标

- (1) 了解洞身衬砌的类型及衬砌材料;
- (2) 了解洞门的作用;
- (3) 了解防排水设施和避车洞的作用。

#### 2. 能力目标

- (1) 能正确划分及选择洞身衬砌的类型;
- (2) 能识别隧道各部分的构造和洞门的类型。

#### 3. 思政目标

- (1) 培养学生安全高于一切的责任意识;
- (2) 培养学生团结协作、共同进步的品质。

### 任务重、难点

#### 1. 重点

- (1) 洞身衬砌的类型;
- (2) 隧道各部分的构造和洞门的类型。

#### 2. 难点

各种洞身衬砌类型的对比。

### 知识准备

隧道建筑物应按满足 100 年正常使用的永久性结构进行设计,建成的隧道应能适应运营的需要,方便养护作业,并具有必要的安全防护等设施,隧道建筑结构、防排水的设计及建筑材料的选择应充分考虑地区环境的影响。隧道结构由主体建筑物和附属建筑物两部分组成。

#### 1.2.1 铁路隧道主体建筑物

隧道的主体建筑物是为了保持隧道的稳定、保证行车的安全运行而修筑的,它由洞身衬砌和洞门组成。若洞口容易坍塌或有落石危险,则需要加筑明洞。

##### 1. 洞身衬砌

###### 1) 洞身衬砌的类型

(1) 整体式混凝土衬砌。整体式混凝土衬砌采用模筑现浇而成,对地质条件的适应性较强,易于按需要成型,整体性好,抗渗性强,适用于多种施工条件,可用木模板、钢模板或衬砌台车等,在我国隧道修筑中被广泛采用。由于它采用混凝土现浇而成,在灌注以后不能立即承受荷载,必须经过一个养护的过程,因而施工进度受到一定的限制。



依据围岩地质特点的不同,整体式混凝土衬砌可采用多种形式,如半衬砌、厚拱薄墙衬砌、直墙拱形衬砌和曲墙拱形衬砌,其中后两种衬砌形式在铁路和公路隧道中较为常用。

①直墙拱形衬砌。直墙拱形衬砌主要适用于地质条件比较好、水平向压力较小的Ⅰ~Ⅲ级围岩地层中。

图 1-19 为我国单线非电气化铁路隧道直墙拱形衬砌的断面标准图,由上部拱圈、两侧竖直边墙和下部铺底三部分组合而成。拱圈是等厚的,两侧边墙是与拱圈等厚的竖直墙,与拱圈平齐衔接。洞内一侧边墙深度稍大,以便设置排水沟。隧道底板以贫混凝土做成平槽,称为铺底,以便铺设线路的道砟。



视频:衬砌的类型及选择

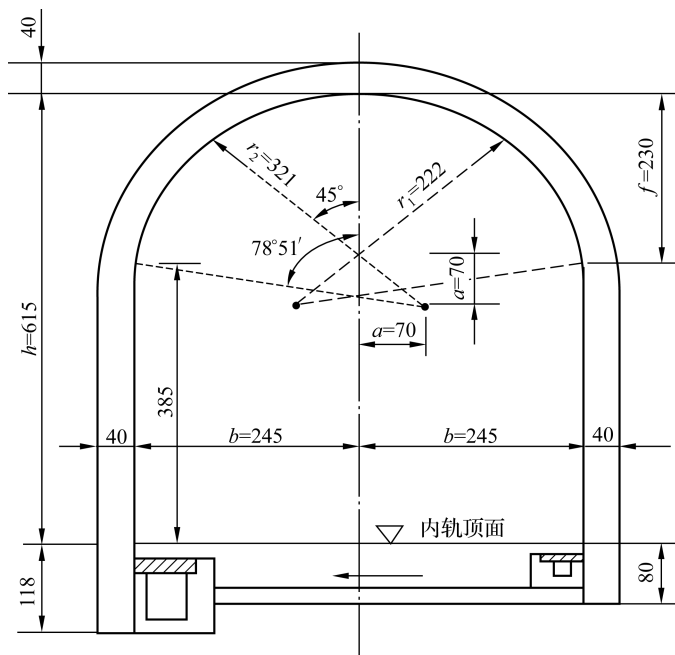


图 1-19 我国单线非电气化铁路隧道直墙拱形衬砌的断面标准图(单位:cm)

②曲墙拱形衬砌。曲墙拱形衬砌适用于地质条件比较差,岩体松散破碎,强度不高,地下水丰富,且侧向水平压力较大的情况。

图 1-20 为我国单线非电气化铁路隧道曲墙拱形衬砌的标准图,由顶部拱圈、侧面曲边墙和底部仰拱组成。顶部采用变厚度拱圈,拱顶稍薄,拱脚稍厚。侧墙采用变厚度曲墙,稍稍向内偏斜。

单线Ⅳ~Ⅵ级围岩、双线Ⅲ~Ⅵ级围岩地段,岩层一般受地质构造影响严重,风化破碎,侧压力较大,基础易产生沉陷;土质则承载力低,稳定性较差,开挖后易产生隆起变形,应采用曲墙有仰拱的衬砌。单线Ⅲ级、双线Ⅱ级及以下地段是否设置仰拱应根据岩性、地下水情况确定。仰拱虽然是圆弧形,但由于洞内一侧需设排水沟,因而仰拱对中轴线也不是对称的,而是偏向有排水沟的一侧。

(2)装配式衬砌。装配式衬砌是将一环衬砌分成若干块构件,在工厂预制后运入隧道内,用机械拼装成一环接着一环的衬砌。装配式衬砌采用预制构件,实现了工厂批量化生产、洞内机械化拼装,且不需要拱架、模板等临时支撑,有效地改善了劳动条件,节省了支撑材料及



劳动力,缩短了工期,衬砌拼装完成后,不需要养护时间即可承受围岩压力。但是,衬砌拼装需要足够的空间,构件尺寸精度要求高,接缝多,防水较困难,对隧道断面形式适应性较差。

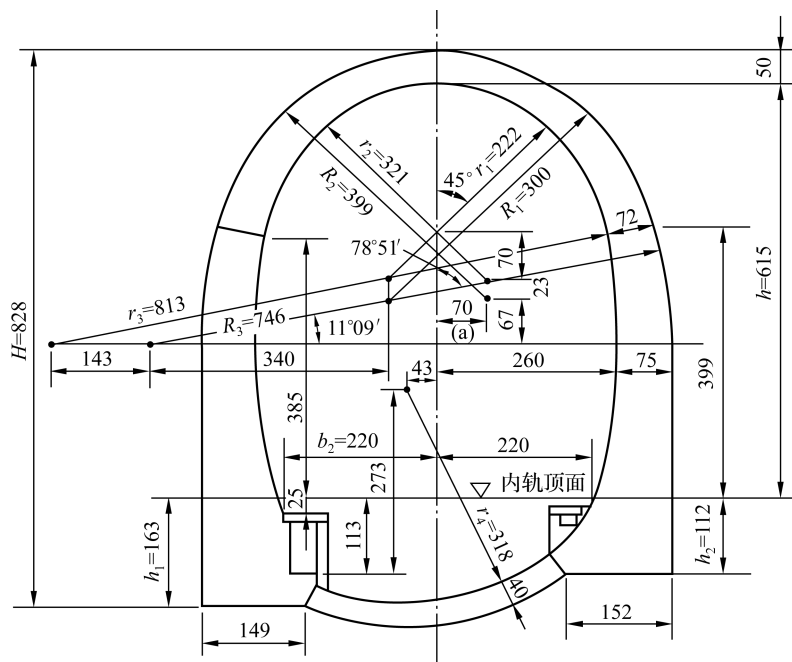


图 1-20 我国单线非电气化铁路隧道曲墙拱形衬砌的标准图(单位:cm)

地铁工程多为圆形断面,大都采用装配式衬砌,如图 1-21 所示。

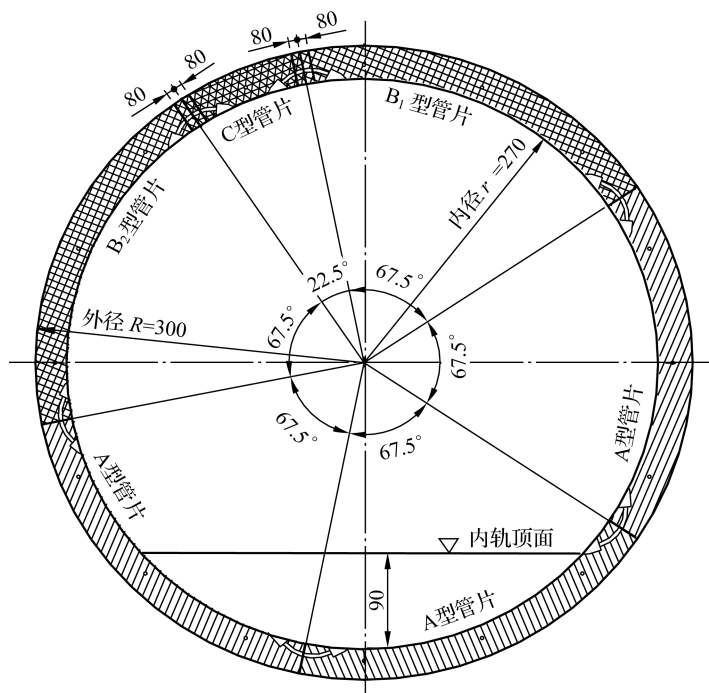


图 1-21 装配式衬砌(单位:cm)

(3)喷锚衬砌。喷锚衬砌是指采用锚杆加固围岩,同时在围岩表面喷射混凝土而形成的联合支护体系。喷锚衬砌是目前常用的一种围岩支护手段,可充分发挥围岩的自承能力,有效地利用洞内净空,提高作业安全性和作业效率,能适应软弱和膨胀性地层中的隧道开挖,并可用于整治塌方和衬砌的裂损。

与模筑混凝土不同,喷锚衬砌不是以一个刚度强大的结构物来抵抗围岩压力,而是通过喷射混凝土和施作锚杆与围岩合成一体,充分发挥围岩本身的自稳能力,是柔性衬砌。喷锚衬砌可有效降低工人劳动强度,减小隧道开挖断面,节省圬工工程量。

地下水不发育的Ⅰ、Ⅱ级围岩的短隧道,可采用喷锚衬砌,设计参数可参考表 1-5。

表 1-5 喷锚衬砌的设计参数

| 围岩级别 | 单线隧道                                            | 双线隧道                                                        |
|------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Ⅰ    | 喷射混凝土厚度 5 cm                                    | 喷射混凝土厚度 8 cm,必要时设置锚杆,锚杆长 1.5~2.0 m,间距 1.2~1.5 m             |
| Ⅱ    | 喷射混凝土厚度 8 cm,必要时设置锚杆,锚杆长 1.5~2.0 m,间距 1.2~1.5 m | 喷射混凝土厚度 10 cm,必要时设置锚杆,锚杆长 2.0~2.5 m,间距 1.0~1.2 m,必要时设置局部钢筋网 |

注:1.边墙喷射混凝土厚度可略低于表列数值,当边墙围岩稳定时,可不设置锚杆和钢筋网。

2.钢筋网的网格间距宜为 15~30 cm,钢筋网保护层厚度不应小于 3 cm。

喷锚衬砌设计应符合下列要求:喷锚衬砌内部轮廓应较整体式混凝土衬砌适当放大,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。遇下列情况不应采用喷锚衬砌:地下水发育或大面积淋水地段;能造成衬砌腐蚀或膨胀性围岩的地段;最冷月平均气温低于 $-5^{\circ}\text{C}$ 地区的冻害地段;有其他特殊要求的隧道。

(4)复合式衬砌。复合式衬砌由初衬(外衬)和二衬(内衬)组成。隧洞开挖后,先在洞壁表面喷射一层早强混凝土,厚度多在 5~20 cm,有时也同时施作锚杆,凝固后形成薄层柔性支护结构,即为初衬。待初衬与围岩变形基本稳定后,即可绑扎钢筋、推移模板台车就位、就地灌注混凝土施作二衬。为了防止地下水流入或渗入隧道内,可在初衬和二衬之间设防水层。

与其他类型的衬砌相比,复合式衬砌造价较高,施工较复杂,但结构合理,防水效果好,是目前公路、铁路隧道的主要支护形式。初衬施作及时,刚度小,易变形,与围岩密贴,可有效保护和加固围岩,充分发挥围岩的自承作用;二衬表面光洁平整,可以防止初衬风化,装饰内壁,降低风阻,增强安全感。

隧道应优先采用复合式衬砌,并符合下列规定:综合考虑包括围岩在内的支护结构、断面形状、开挖方法、施工顺序和断面闭合时间等因素,力求充分发挥围岩的自承能力;初期支护宜采用喷锚支护,基层平整度应符合 $D/L \leq 1/16$ ( $D$ 为初期支护基层相邻两凸面凹进去的深度, $L$ 为基层两凸面的距离),二次衬砌宜采用模筑混凝土,内轮廓连接圆顺;各级围岩在确定开挖断面时,除应满足隧道建筑限界要求外,还应预留适当的围岩变形量,其量值可根据围岩级别、隧道宽度、埋置深度、施工方法和支护情况等条件,采用工程类比法确定,当无类比资料时,可参照表 1-6 选用;复合式衬砌初期支护及二次衬砌的设计参数,可采用工程





类比法确定,并通过理论分析进行验算,当无类比资料时,铁路隧道可参照表 1-7 与表 1-8 选用,并应根据现场围岩量测信息对支护参数做必要的调整。

表 1-6 预留变形量

单位:mm

| 围岩级别 | 铁路隧道       |        | 公路隧道   |         |
|------|------------|--------|--------|---------|
|      | 单线         | 双线     | 两车道    | 三车道     |
| II   | —          | 10~30  | —      | 10~30   |
| III  | 10~30      | 30~50  | 20~50  | 30~80   |
| IV   | 30~50      | 50~80  | 50~80  | 60~120  |
| V    | 50~80      | 80~120 | 80~120 | 100~150 |
| VI   | 按设计或现场量测确定 |        |        |         |

注:1. 破碎、深埋、软岩隧道取大值,完整、浅埋、硬岩隧道取小值。

2. 有明显流变、原岩应力较大和膨胀性围岩的,应根据量测数据反馈分析确定。

表 1-7 单线铁路隧道(160 km/h 及以下)复合式衬砌设计参数表

| 围岩级别 | 初期支护       |       |    |         |         |       |       | 二次衬砌厚度/cm |    |
|------|------------|-------|----|---------|---------|-------|-------|-----------|----|
|      | 喷射混凝土厚度/cm |       | 锚杆 |         |         | 钢筋网   | 钢架    | 拱墙        | 仰拱 |
|      | 拱墙         | 仰拱    | 位置 | 长度/m    | 间距/m    |       |       |           |    |
| Ⅱ    | 5          |       |    |         |         |       |       | 25        |    |
| Ⅲ    | 7          |       | 局部 | 2.0     | 1.2~1.5 |       |       | 25        |    |
| Ⅳ    | 10         |       | 拱墙 | 2.0~2.5 | 1.0~1.5 | 必要时设置 |       | 30        | 40 |
| Ⅴ    | 15~22      | 15~22 | 拱墙 | 2.5~3.0 | 0.8~1.0 | 拱墙、仰拱 | 必要时设置 | 35        | 40 |
| Ⅵ    | 通过试验确定     |       |    |         |         |       |       |           |    |

表 1-8 双线铁路隧道(160 km/h 及以下)复合式衬砌设计参数表

| 围岩级别 | 初期支护       |       |    |         |         |       | 二次衬砌厚度/cm |    |    |
|------|------------|-------|----|---------|---------|-------|-----------|----|----|
|      | 喷射混凝土厚度/cm |       | 锚杆 |         |         | 钢筋网   | 钢架        | 拱墙 | 仰拱 |
|      |            |       | 位置 | 长度/m    | 间距/m    |       |           |    |    |
| Ⅱ    | 5~8        |       | 局部 | 2.0~2.5 | 1.5     |       |           | 30 |    |
| Ⅲ    | 8~10       |       | 拱墙 | 2.0~2.5 | 1.2~1.5 | 必要时设置 |           | 35 | 45 |
| Ⅳ    | 15~22      | 15~22 | 拱墙 | 2.5~3.0 | 1.0~1.2 | 拱墙、仰拱 | 必要时设置     | 40 | 45 |
| Ⅴ    | 20~25      | 20~25 | 拱墙 | 3.0~3.5 | 0.8~1.0 | 拱墙、仰拱 | 拱墙、仰拱     | 45 | 45 |
| Ⅵ    | 通过试验确定     |       |    |         |         |       |           |    |    |

注:1. 采用钢架时,宜选用格栅钢架,钢架设置间距宜为 0.5~1.5 m。

2. 对于 IV、V 级围岩,可视情况采用钢筋束支护,喷混凝土厚度可取小值。

3. 钢架与围岩之间的喷混凝土保护层厚度不应小于 4 cm,临空一侧的混凝土保护层厚度不应小于 3 cm。

## 2) 衬砌材料

隧道衬砌的材料应具有足够的强度和耐久性,同时满足就地取材、降低造价、施工方便及易于机械化施工等要求。

隧道工程各部位建筑材料的强度等级应满足耐久性要求,并不应低于表 1-9 和表 1-10 的规定。



图文:隧道衬砌材料

表 1-9 衬砌建筑材料

| 材料种类     | 混凝土 |     | 钢筋混凝土 |     | 喷射混凝土 |      |     |
|----------|-----|-----|-------|-----|-------|------|-----|
|          | 铁路  | 公路  | 铁路    | 公路  | 铁路    |      | 公路  |
|          |     |     |       |     | 喷锚衬砌  | 喷锚支护 |     |
| 拱圈       | C25 | C20 | C30   | C25 | C25   | C20  | C20 |
| 边墙       | C25 | C20 | C30   | C25 | C25   | C20  | C20 |
| 仰拱       | C25 | C20 | C30   | C25 | C25   | C20  | C20 |
| 底板       | —   | C20 | C30   | C25 | —     | —    | —   |
| 仰拱填充     | C20 | C10 | —     | —   | —     | —    | —   |
| 水沟、电缆槽   | C25 | C25 | —     | C25 | —     | —    | —   |
| 水沟、电缆槽盖板 | —   | —   | C25   | C25 | —     | —    | —   |

表 1-10 洞门建筑材料

| 材料种类     | 混凝土 | 钢筋混凝土 | 片石混凝土(公路) | 砌体                     |
|----------|-----|-------|-----------|------------------------|
| 端墙       | C20 | C25   | C15       | M10 水泥砂浆砌块石或 C20 片石混凝土 |
| 顶帽       | C20 | C25   | —         | M10 水泥砂浆砌粗料石           |
| 翼墙和洞口挡土墙 | C20 | C25   | C15       | M10(公路:M7.5)水泥砂浆砌块石    |
| 侧沟、截水沟   | C15 | —     | C15       | M10(公路:M5)水泥砂浆砌片石      |
| 护坡       | C15 | —     | C15       | M10(公路:M5)水泥砂浆砌片石      |

注:1.护坡材料也可采用 C20 喷射混凝土。

2.最冷月平均气温低于 $-15^{\circ}\text{C}$ 的地区,表列水泥砂浆强度应提高一级。

3.铁路隧道设计规范中洞门建筑材料已经取消片石混凝土。

4.砌体括号中水泥砂浆强度等级为公路隧道设计规范要求,其他条目公路与铁路隧道设计规范的要求都相同。

## 2. 洞门

### 1) 洞门的作用

修建洞门可起到以下几方面的作用:

(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的边坡开挖的,当隧道埋置较深时,开挖量较大,修建洞门可起到挡土墙的作用,降低洞口刷方高度,减少洞口土石方开挖量。

(2)稳定边坡、仰坡。修建洞门可减小洞口路堑的边坡高度,缩短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,如不排出,将会侵害线路,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。洞口是隧道唯一外露部分,是隧道的正面外观。修建洞门可起装饰作用,特别是在城市、风景区及旅游区内的隧道更应配合当地的环境进行美化处理。

## 2)洞门的类型

(1)环框式洞门。环框式洞门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Ⅰ级围岩地段。其结构似一框形门,是一种不承载的简单洞口环框,这种洞门的作用是加固洞口,减少雨后洞口滴水,对洞口做简单的装饰,如图 1-22 所示。



视频:隧道洞门结构

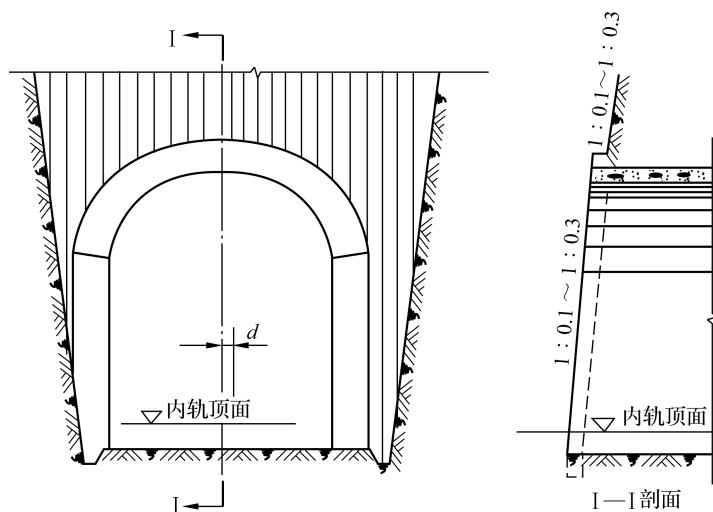


图 1-22 环框式洞门

(2)端墙式洞门。端墙式洞门是在隧道洞口正面设置端墙,用于支护洞口仰坡,保持稳定,并将仰坡水流汇集排出,如图 1-23 所示。端墙式洞门适用于地形开阔、岩质基本稳定的Ⅰ~Ⅲ级地区。

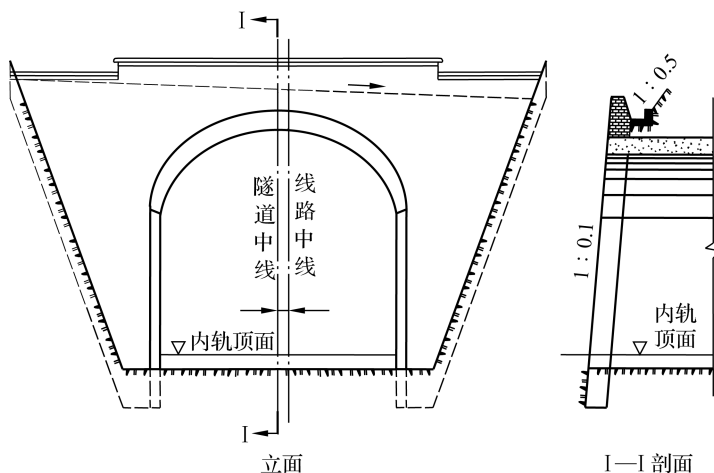


图 1-23 端墙式洞门

(3)翼墙式洞门。翼墙式洞门是在端墙以外增加单侧或双侧的翼墙,如图 1-24 所示。翼墙与端墙共同作用,以抵抗山体纵向推力,增加洞门的抗滑动和抗倾覆的能力。翼墙式洞门适用于洞口地质条件较差、山体纵向推力较大、围岩级别在Ⅳ级及以下的地区。

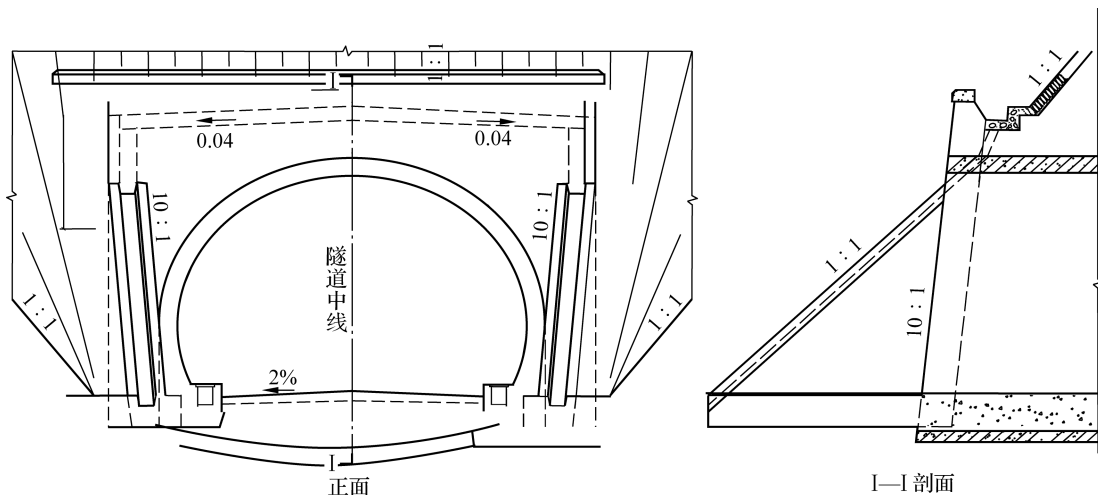


图 1-24 翼墙式洞门

(4)柱式洞门。柱式洞门是在端墙中部设置两个断面较大的柱墩,柱墩与端墙共同作用,以增强端墙的稳定性,如图 1-25 所示。柱式洞门主要适用于地形较陡、地质条件较差、仰坡有下滑的可能而又受地形或地质条件限制不能设置翼墙的地区。

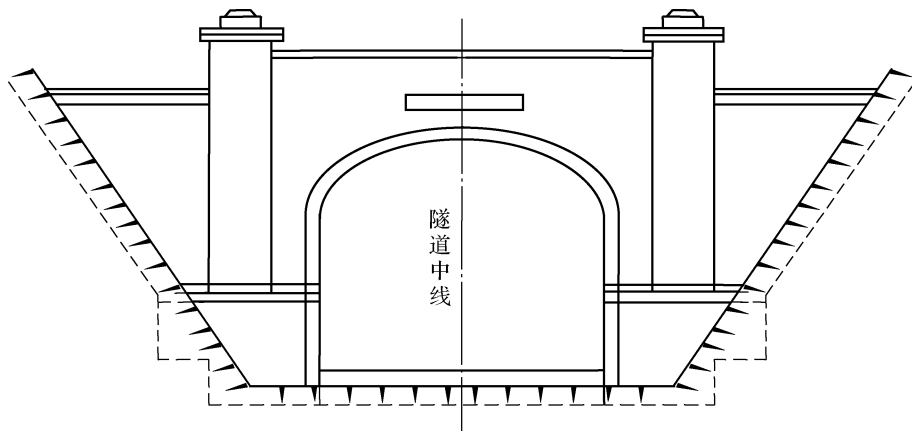


图 1-25 柱式洞门

(5)台阶式洞门。为适应洞门两侧高程不等而将端墙顶部改为逐步升级的台阶形式,即为台阶式洞门,如图 1-26 所示。为增强洞门的纵向稳定性,也可在端墙以外增加单侧或双侧的翼墙。台阶式洞门可以减少仰坡土石方开挖量,主要适用于傍山侧坡地区。

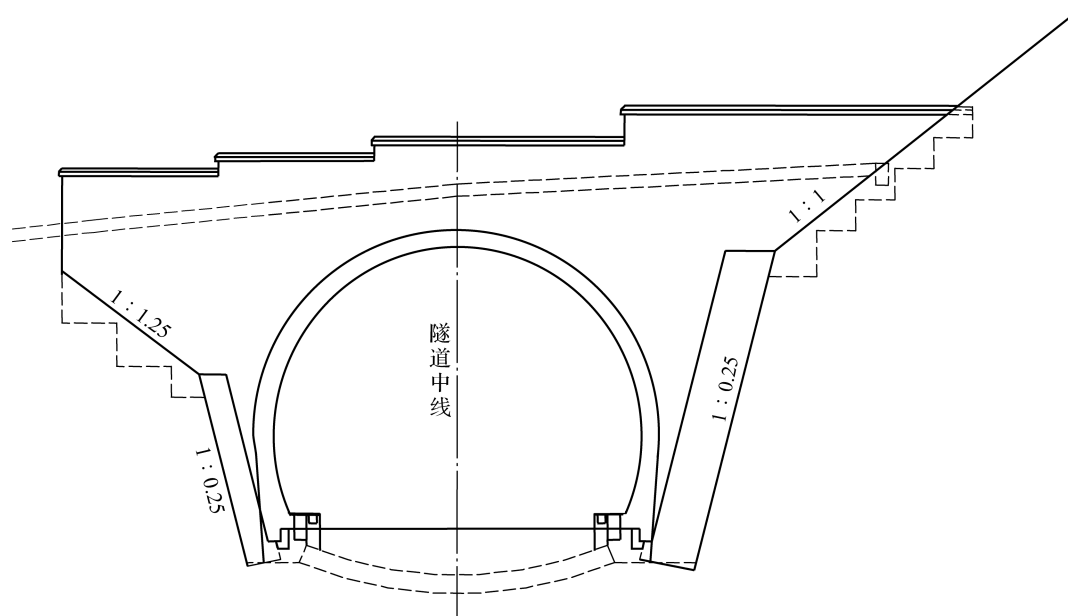


图 1-26 台阶式洞门

(6)削竹式洞门。削竹式洞门近些年在公路隧道的建造中被普遍使用,如图 1-27 所示。该种洞门适用于隧道洞口段有较长的明洞衬砌时,由于洞门背后一定范围内以回填土为主,山体的推滑力不大,地形相对对称和不太陡峻。

削竹式洞门的特点是洞口边仰坡开挖量少,可减少了对植被的破坏,有利于保护环境,适用于各种围岩类别。



图文:各类洞门

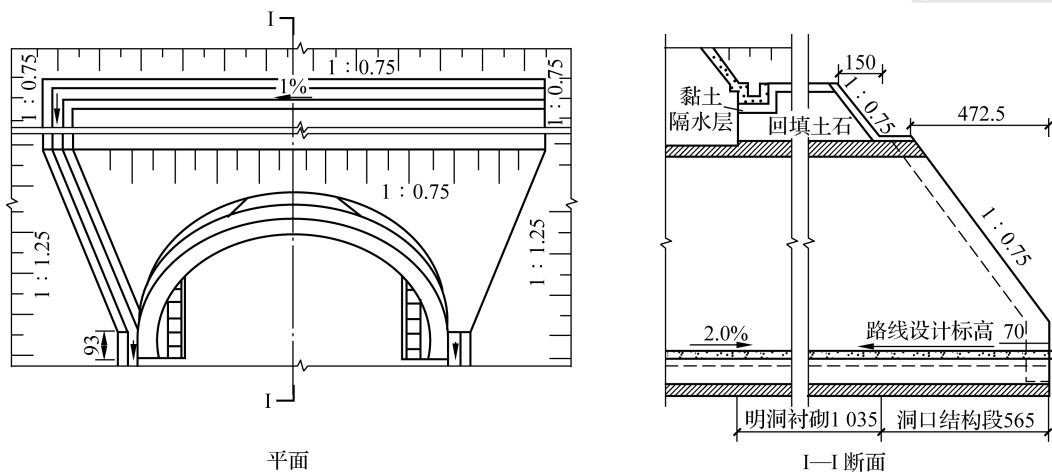


图 1-27 削竹式洞门(单位:cm)

(7)遮光棚式洞门。当洞外需要设置遮光棚时,其入口通常外伸很远。遮光构造物有开放式和封闭式之分,前者遮光板之间是透空的,后者则利用透光材料将前者透空部分封闭。但由于透光材料上面容易沾染尘垢、油污,养护困难,因此很少使用后者。遮光棚式洞门根据形状又有喇叭式与棚式之分。

### 1.2.2 铁路隧道附属建筑物

铁路隧道的附属建筑物是为了养护、维修工作的方便以及供电、通信等方面的要求修筑的,包括防排水设施、避车洞、电缆槽、长大隧道的通风设施,以及电气化铁路上根据情况而设置的有关附属设施等。



视频:隧道防排水设施

#### 1. 防排水设施

隧道防排水设施一般应采取“防、排、截、堵相结合,因地制宜,综合治理”的原则,以达到防水可靠、排水畅通、线路基床底部无积水、经济合理的目的。

##### 1) 防水

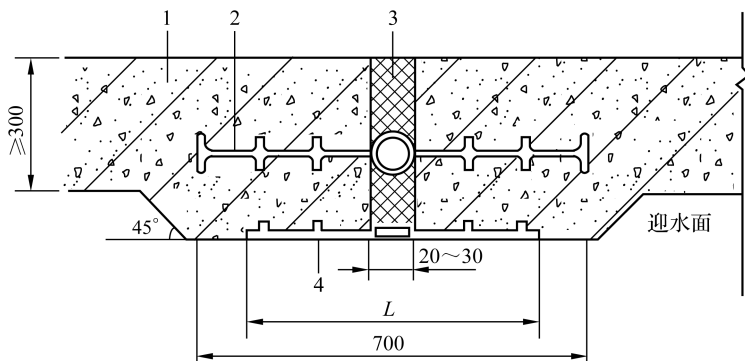
防水是指衬砌防水,即防止地下水从衬砌背后渗入隧道内。其办法就是充分利用混凝土结构的自防水能力,并在衬砌与支护之间设置防水层。

(1)防水混凝土结构。混凝土厚度不应小于 30 cm,抗渗等级不得低于 P6,裂缝宽度不得大于 0.2 mm,并不得贯通。当为钢筋混凝土时,迎面主筋保护层厚度不应小于 5 cm。

(2)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衬砌之间可粘贴软聚氯乙烯薄膜、聚异丁烯片、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。

(3)施工缝、变形缝防水。施工缝、变形缝是防水最薄弱的环节,具有结构复杂、防水工艺烦琐、施工难度大的特点,稍有不慎就会造成渗漏。

常见变形缝的复合防水构造形式如图 1-28 所示。亦可采用其他新型、成熟、可靠的防水构造形式。



1—混凝土结构;2—中埋式止水带;3—填缝材料;4—外贴式防水层。

图 1-28 中埋式止水带与外贴式防水层复合防水构造(单位:mm)

注:外贴式止水带  $L \geq 300$  mm;外贴式防水卷材  $L \geq 400$  mm;外涂防水涂层  $L \geq 400$  mm。

##### 2) 排水

排水是将地下水引入隧道内,再经由洞内水沟排出洞外。绝对堵死地下水是做不到的,如果不给地下水以出路,衬砌背后的地下水水位就会逐渐升高,以致给隧道衬砌施加很大压力,故一般要以排为主。主要排水设施有:衬砌内的纵横向排水沟,衬砌上的引水管(暗槽)或泄水孔,衬砌背后的纵横向盲沟和集水孔等。



(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,一般的隧道都应设置排水沟,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。排水沟的断面按照排水量计算确定,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。

排水沟有两种形式:一种是侧式水沟,这种形式的水沟设在线路的两侧或一侧,视水量大小而定。当为一侧时,应设在来水的一侧;如果为曲线隧道,应设在曲线内侧。双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。另一种是中心式水沟,隧道采用整体式道床时,水沟设在线路中线下,或设在双线隧道两线路之间,如图 1-29 所示。

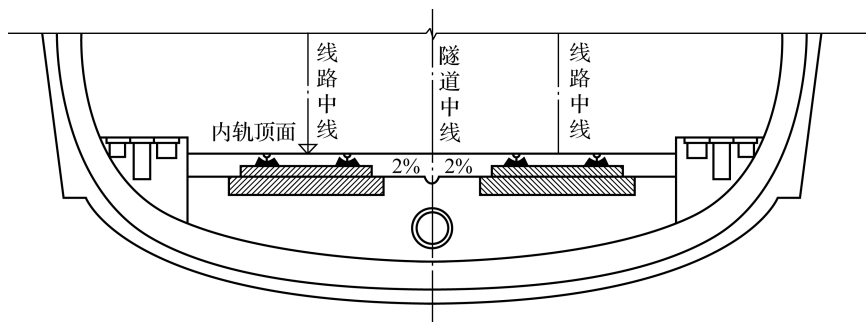


图 1-29 排水沟示意图

在严寒地区,为了不使流动水冻结而堵死水沟,应采取防寒措施。一般可修筑浅埋保温水沟,即将水沟沟身加深,用轻质混凝土做成上、下两层,各自设钢筋混凝土盖板。两盖板之间用保温材料填充密实,其厚度不小于 70 cm。但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,即利用地温本身的作用以达到保温防冻害之目的。

(2)盲沟。在衬砌背后,用片石或埋管设置环向或竖向盲沟,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。

### 3) 截水

截水是指截断地表水和地下水流入隧道的通路。

(1)洞顶天沟。为防止地表水冲刷仰坡、流入隧道,一般应在洞口边仰坡上方设置天沟;但当地表横坡陡于 1 : 0.75 时可不设。

天沟设于边仰坡坡顶以外应不小于 5 m,黄土地区应不小于 10 m。天沟一般沿等高线向线路一侧或两侧排水。天沟坡度根据地形设置,但应不小于 0.3%,以免淤积。当纵坡过陡时,应设计急流槽或跌水连接。一般在地面自然坡度陡于 1 : 1 时,水沟宜做成阶梯式,以减少冲刷。天沟断面应根据流入截水沟的汇水区流量确定。水沟深度宜高出计算水面 20 cm,一般底宽和深度均不小于 60 cm;在干燥少雨地区,深度可减至 40 cm;水沟分水点深度可减至 20 cm。天沟长度应使边仰坡坡面不受冲刷,下游应将水引至适当地点排泄,避免危害农田和冲刷山体。流量较大时,不宜将水引向路堑排泄,应根据地形将水引至沟谷或涵洞处排泄。在容易渗漏、沉陷和冲蚀的底层及易溶于水的岩层中设置的天沟,其底部及侧壁必须用 M5 浆砌片石铺砌。通过裂隙岩层的天沟可采取水泥浆抹面、勾缝等防止渗漏的措施。

(2)泄水洞。泄水洞一般是在地下水特别发达、涌水地段较长且水压较高,用其他排水措施难以奏效时才采用。泄水洞应设在地下水上游一侧,与隧道方向平行或近似平行,使周

围的地下水经由泄水洞的过滤孔眼流入泄水洞内排走,以拦截并排走地下水,防止地下水对隧道的危害。泄水洞与隧道的间距应根据地质情况、地下水水位及需要降低水位的程度等来确定,一般情况下,其净距不小于  $10\sim 15\text{ m}$ ,如图 1-30 所示。

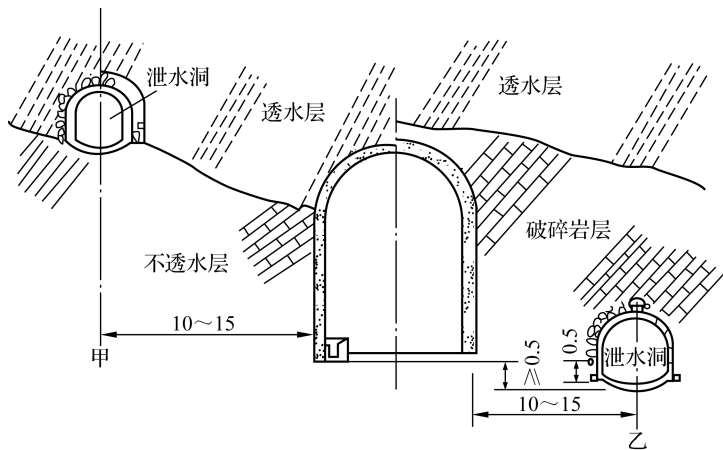


图 1-30 拦截地下水疏干地层泄水洞(单位:m)

泄水洞断面尺寸除应保证有足够的排水能力外,还应便于施工和检查维修,一般定为不小于 1.2 m(宽)×1.8 m(高),若泄水洞长度较长的话,尺寸应适当加大。泄水洞纵向坡度应满足流水通畅,纵坡一般不小于 3‰。泄水洞一般应做衬砌,衬砌上应有足够的泄水孔以引入地下水。围岩中有细小颗粒容易流失时,应于衬砌背后设置反滤层。

#### 4) 堵水

围岩破碎、易坍塌地段,尤其是水系发育的裂隙围岩,常采用注浆加固围岩,同时也起到了堵水作用。注浆堵水有压注水泥砂浆和化学注浆两类。压注水泥砂浆堵水消耗水泥过多,且防水效果不好。化学注浆是一种有效的堵水措施,化学注浆材料种类颇多,比较有效的材料为丙凝浆液、聚氨酯浆液、水泥-水玻璃浆液等。

## 2. 避车洞

隧道内避车洞有大避车洞(图 1-31)和小避车洞(图 1-32),大、小避车洞应交错设置于两侧边墙内,大避车洞之间设置小避车洞,其间距和尺寸见表 1-11。

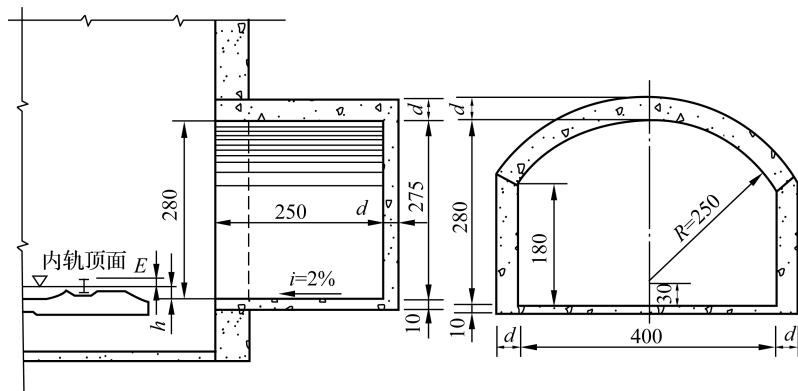


图 1-31 大避车洞(单位:cm)



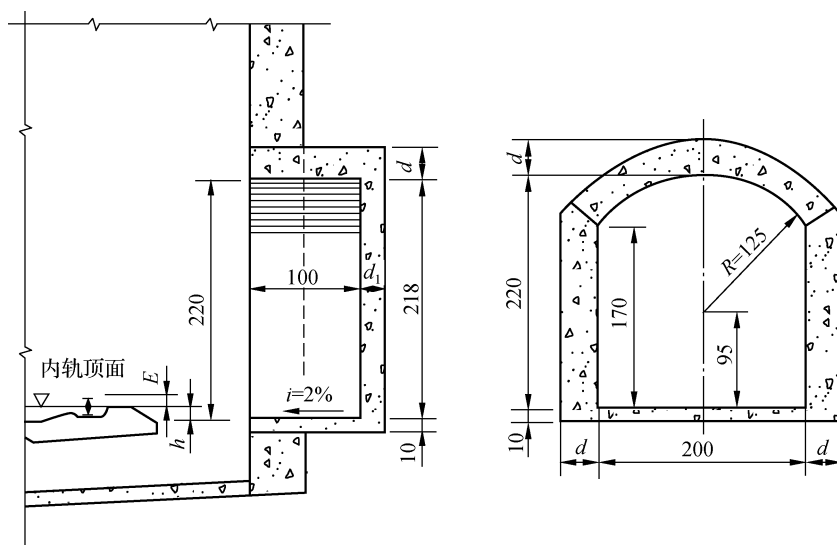


图 1-32 小避车洞(单位:cm)

表 1-11 大、小避车洞间距和尺寸

单位:m

| 名 称  | 一侧间距         |     | 尺 寸 |     |     |
|------|--------------|-----|-----|-----|-----|
|      |              |     | 宽   | 深   | 中心高 |
| 大避车洞 | 碎石道床         | 300 | 4.0 | 2.5 | 2.8 |
|      | 混凝土宽枕道床或整体道床 | 420 | —   | —   | —   |
| 小避车洞 | 碎石道床         | 60  | 2.0 | 1.0 | 2.2 |
|      | 混凝土宽枕道床或整体道床 |     |     |     |     |

注:双线隧道小避车洞每侧间距按 30 m 设置。

避车洞布置应符合下列规定:

(1)隧道长度不小于 300 m 时,可不设置大避车洞;隧道长度为 300~400 m 时,可在隧道中部设置一个大避车洞。

(2)洞口接桥或路堑,当桥上无避车台或路堑侧沟无平台时,应与隧道一并考虑设置大避车洞。

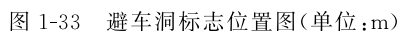
(3)避车洞不得设于衬砌断面变化处或沉降缝、工作缝、伸缩缝处,并要求小避车洞中线与接缝距离不小于 2 m,大避车洞中线与接缝距离不小于 3 m。

(4)全封闭、实施了大机养护、采用综合维修线路上的隧道及隧道特殊衬砌结构地段,不宜设置小避车洞;其他隧道可根据需要设置小避车洞,但应有防止开裂、防渗水措施。

为了使避车洞的位置明显,应将洞内全部及洞口周边 30 cm 宽粉刷成白色,并在洞的两侧各 10 m 处的边墙上标一白色箭头指向避车洞,如图 1-33 所示。



图文:电缆槽与运营通风设施



## 任务实施

任务 1.2 学生任务分配表见表 1-12。

表 1-12 任务 1.2 学生任务分配表

指导教师:

| 组 员 | 任 务 分 工 | 组 员 | 任 务 分 工 |
|-----|---------|-----|---------|
|     |         |     |         |
|     |         |     |         |
|     |         |     |         |

## 任务工作单 1

日期:

1. 小组讨论:谈谈环框式洞门、端墙式洞门、翼墙式洞门、柱式洞门、台阶式洞门、削竹式洞门和遮光棚式洞门的区别。

2. 论述铁路隧道的洞身衬砌有哪些类型,各适用于什么情况的隧洞。



任务工作单 2

姓名:

学号:

日期:

1. 说明隧道防排水设施一般应采取什么原则并简述各种设施的作用。

2. 说明避车洞的作用和设置大、小避车洞的要求。

## 评价反馈

任务 1.2 评价反馈表见表 1-13。

表 1-13 任务 1.2 评价反馈表

| 姓名：       |                                                                       | 组号：  | 组长：               |                   |                   | 指导教师：             |          |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| 评价指标      | 评价内容                                                                  | 分值   | 个人<br>自评<br>(20%) | 组内<br>互评<br>(20%) | 组间<br>互评<br>(20%) | 教师<br>评价<br>(40%) | 综合<br>评价 |
| 信息检索能力    | 是否能有效利用网络、图书资源查找有用的相关信息,是否能将查到的信息有效地传递到学习中                            | 10 分 |                   |                   |                   |                   |          |
| 课堂感知力     | 是否认同工作价值,在学习中是否能获得满足感,课堂氛围如何                                          | 10 分 |                   |                   |                   |                   |          |
| 参与度、交流沟通  | 是否能够积极主动与教师、同学交流,相互尊重、理解;与教师、同学之间是否能够保持多向、丰富、适宜的信息交流                  | 10 分 |                   |                   |                   |                   |          |
|           | 是否能处理好合作学习和独立思考的关系,做到有效学习;是否能提出有意义的问题或能发表个人见解                         | 10 分 |                   |                   |                   |                   |          |
| 知识、能力获得情况 | 能否了解洞门的作用,避车洞和防排水设施的作用                                                | 10 分 |                   |                   |                   |                   |          |
|           | 能否掌握洞身衬砌结构类型及特点                                                       | 10 分 |                   |                   |                   |                   |          |
|           | 能否正确划分及选择隧道衬砌的类型                                                      | 15 分 |                   |                   |                   |                   |          |
|           | 能否识别隧道各部分的构造和洞门的类型                                                    | 15 分 |                   |                   |                   |                   |          |
| 思维态度      | 是否能发现问题、提出问题、分析问题、解决问题                                                | 5 分  |                   |                   |                   |                   |          |
| 自评反思      | 是否按时按质完成任务;较好地掌握了知识点;是否具有较强的信息分析能力和理解能力;是否具有较为全面严谨的思维能力和能条理清楚地将观点表达成文 | 5 分  |                   |                   |                   |                   |          |
| 反思改进      |                                                                       |      |                   |                   |                   |                   |          |