

职业技术教育“十四五”建设项目

隧道施工与检测技术

主 编 杨国浪

副主编 赵程俊

编 委 林小雄 梁志武 李锦雄

夏桂平 罗 亮 任青峰

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

P R E F A C E

前 言

本书结合高等职业教育的特点，根据课程定位和培养目标，本着工学结合、任务驱动、教学做一体化的设计思想，以职业岗位工作目标为切入点，紧密围绕职业岗位技能要求编写而成。

本书在内容编排上基本结合岗位工作内容，以工作过程为导向，以项目任务为课程内容的主要载体，将知识项目化，以任务驱动教学，使学生在完成具体任务的过程中获得相关理论知识，发展职业能力。全书以隧道施工、检测知识的实际应用为主线，共设置了 11 个学习项目，各个项目之间既独立又有关联，具有易于理解和掌握等特点，突出实用性、针对性和适用性，重视由浅入深和理论联系实际，内容通俗易懂、简明扼要，图文配合紧密。本书可供教师或学习者根据专业侧重点不同和教学需要进行取舍和结合，也可让不同专业学生在学有余力的同时扩展自己的知识面。

本书教学内容紧密结合实际工作，内容选取遵循以应用为目的，以必需、够用为度”的原则，从实际应用的需要出发，力求内容精练，注重理论联系实际。此外，本书还融入了行业最新设计、施工和技术标准的内容，以体现教学内容的先进性、通用性和实用性。

本书由广西建设职业技术学院杨国浪主编，并负责全书统稿；广西建设职业技术学院赵程俊担任副主编；广西建设职业技术学院林小雄、梁志武，广西交通投资集团有限公司李锦雄，中铁二十五局集团有限公司夏桂平、罗亮、任青峰参与了本书的编写。具体编写分工如下：杨国浪负责编写项目一、项目七、项目十；赵程俊负责编写项目二、项目六、项目八；林小雄负责编写项目十一；李锦雄负责编写项目九；夏桂平负责编写项目三；罗亮负责编写项目四；任青峰负责编写项目五；梁志武负责编制复习与思考题、习题库，整理教学图纸。广西建设职业技术学院黄文珑、刘海彬担任主审。

本书在编写过程中，参考了相关的著作和文献资料，在此向有关作者表示诚挚谢意。

由于编者水平和经验有限，书中难免存在疏漏和不足之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2022 年 3 月

C O N T E N T

目 录

学习项目一 认知隧道概念与结构	1
任务一 认知隧道基本概念及结构组成	1
任务二 认知隧道洞身衬砌	3
任务三 认知隧道洞门结构	7
任务四 认知隧道明洞	12
任务五 认知隧道附属建筑物	17
任务六 认知隧道辅助坑道	29
复习与思考	34
学习项目二 隧道围岩分级	35
任务一 认知围岩分级基础	35
任务二 隧道的围岩分级	39
任务三 围岩压力的确定	48
复习与思考	54
学习项目三 隧道施工准备	55
任务一 施工技术准备	55
任务二 隧道施工通风	60
任务三 隧道施工风水电的供应	70
复习与思考	81
学习项目四 隧道洞口工程施工	82
任务一 边仰坡施工	82
任务二 洞门施工	84
任务三 明洞施工	89
复习与思考	93

学习项目五 隧道施工方法及质量控制	94
任务一 隧道新奥法施工	94
任务二 开挖质量检测	110
复习与思考	116
学习项目六 钻爆开挖与出渣	117
任务一 认知爆破设备和材料	117
任务二 认知爆破基本概念	121
任务三 爆破设计	128
任务四 装渣运输	135
复习与思考	139
学习项目七 隧道支护施工	140
任务一 初期支护施工及质量检测	140
任务二 二次衬砌施工	168
任务三 混凝土衬砌施工质量检测	176
复习与思考	183
学习项目八 隧道防排水施工与检测	184
任务一 认知隧道防排水系统	184
任务二 结构防排水施工	187
任务三 防水层施工质量检测	201
任务四 排水系统施工质量检查	204
复习与思考	210
学习项目九 辅助工程措施	211
任务一 认知围岩加固措施	211
任务二 掌子面稳定及超前支护措施	212
复习与思考	216
学习项目十 施工监控量测	217
任务一 认知隧道施工监控量测内容及要求	217
任务二 必测量测项目监测	218
任务三 选测量测项目监测	226

任务四 量测数据处理及应用	238
复习与思考	244
学习项目十一 运营隧道结构检测	245
任务一 公路隧道养护等级划分	245
任务二 结构检查及技术状况评定	247
任务三 衬砌裂缝检查与检测	255
任务四 渗漏水检查与检测	258
任务五 隧道净空断面变形检测	261
复习与思考	263
参考文献	265

1

学习项目一

认知隧道概念与结构

任务一 认知隧道基本概念与结构组成

【学习目标】

- (1) 认知隧道基本概念。
- (2) 掌握隧道结构组成。

【任务描述】

通过对隧道结构基本概念与组成的学习，能够结合工程实际情况应用隧道概念解决实际问题，具备在图中或现场正确识别隧道结构的能力。

【相关知识】

一、有关隧道的基本概念

1. 隧道

隧道是一种修建在地层中的地下工程建筑物。1970年，国际经济合作与发展组织召开的隧道会议综合了各种因素，对隧道作出了如下定义：以某种用途在地面下用任何方法按规定形状和尺寸修筑的断面面积大于 2 m^2 的洞室。

2. 围岩

围岩是指隧道开挖后其周围产生应力重分布范围内的岩体，或指隧道开挖后对其稳定性产生影响的那部分岩体（这里的岩体是土体和岩体的总称）。

3. 支护

支护是指为维护围岩稳定而施作的人工结构。

4. 衬砌

衬砌是指为控制和防止围岩的变形与塌落、确保围岩的稳定，或为处理涌水和漏水，或为达到隧道内空整齐或美观等目的，将隧道周边的围岩覆盖起来的结构体。

5. 仰拱

仰拱通俗解释为向上仰的拱，是指为改善上部支护结构受力条件而设置在隧道底部的反

向拱形结构，是隧道结构的主要组成部分之一。

它不仅能将隧道上部的地层压力通过隧道边墙结构或将路面上的荷载有效地传递到地下，而且还能有效地抵抗隧道下部地层传来的反力。仰拱与二次衬砌构成隧道整体，增加了结构稳定性。

仰拱在隧道衬砌中一般是先浇筑的，浇筑后模板台车就可以在仰拱砼上定位和支撑，来进行隧道拱墙的浇筑。

6. 拱墙

隧道拱墙指隧道两边侧墙和顶部的拱部，一般是利用模板台车一体浇筑的，如图 1-1 所示。

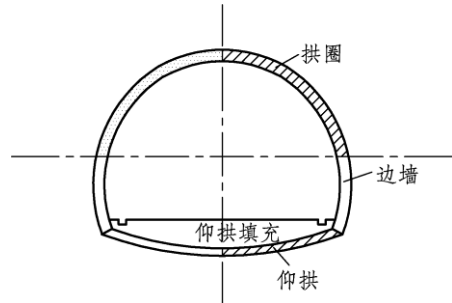


图 1-1 隧道拱墙

7. 仰拱栈桥

由于仰拱位于隧道底部，全幅施工时将产生临时道路的中断，影响掌子面施工车辆和人员的通行，进而影响整个隧道的施工进度。为此，必须采用栈桥的方式，以保证能在隧道施工道路正常通行的情况下施工仰拱。



栈桥

8. 掌子面

“掌子面”又称礅子面，是坑道施工中的一个术语，即开挖坑道（采煤、采矿或隧道工程中）时不断向前推进的工作面。它不是一个固定的面。开挖面有掌子面、边墙面和拱顶面。

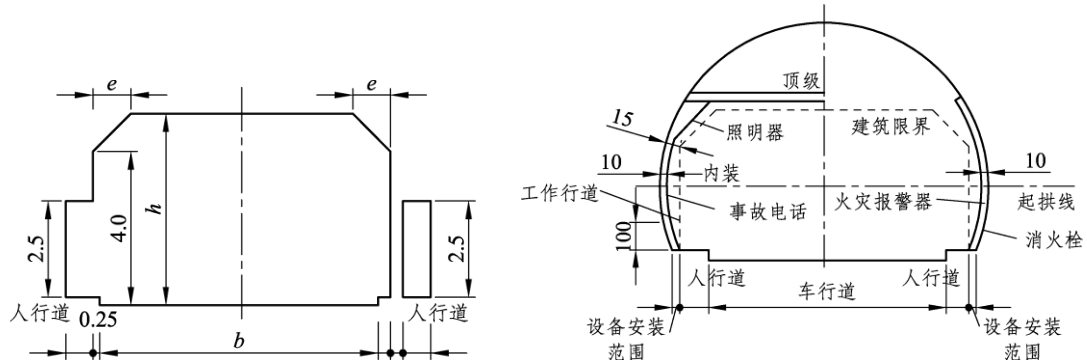
“掌子面”是民间的叫法，最早是从煤窑来的，老窑工们形容挖煤的工作面“只有巴掌大的地方”，时间久了就成了“掌子面”，后来也指隧道、井、矿等的作业面。

9. 隧道净空

隧道净空是指隧道内轮廓线所包围的空间，包括隧道建筑限界、通风及其他功能所需的断面面积，是根据“隧道建筑限界”确定的。

10. 隧道建筑限界

隧道建筑限界是指为了保证隧道内各种交通的正常运行与安全，而规定在一定宽度和高度范围内不得有任何部件（包括通风、照明、安全和内装饰等附属设施）侵入的空间范围，如图 1-2 所示。隧道建筑限界主要与公路等级、设计速度等有关。建筑限界高度：高速公路、一级公路为 5.0 m，二级公路为 5.0 m，三、四级公路为 4.5 m。



a公路隧道建筑限界单位m b隧道建筑限界基本情况单位cm

图 1-2 隧道建筑限界

11. 隧道长度

隧道长度是指隧道进出口（含与隧道相连的明洞）洞门端墙墙面之间的距离，即两端端墙面与路面的交线同路线中线交点间的距离。双线隧道按上、下行隧道长度的平均值计算。

12. 进尺

进尺是钻探或钻井工程的术语，用于反映采掘或钻探工作进展情况。钻进获得的以米为度量单位的长度数值，可以按每工作循环、昼夜、月、季、年度分别计算。一个作业班（8 h）内的钻进长度，称为班进尺，此外有日进尺、月进尺、年进尺等；一个钻头所钻的总深度，称钻头进尺。进尺是钻探或钻井的工作量指标，是钻探计划、统计、核算、定额等的一个基本项目。

二、隧道结构组成

隧道的结构组成是指隧道作为单位工程，其结构的组成部分及各部分在总体中所起的作用。隧道由围岩、洞身衬砌、洞门和附属设施四部分组成，如图 1-3 所示。



隧道的分类

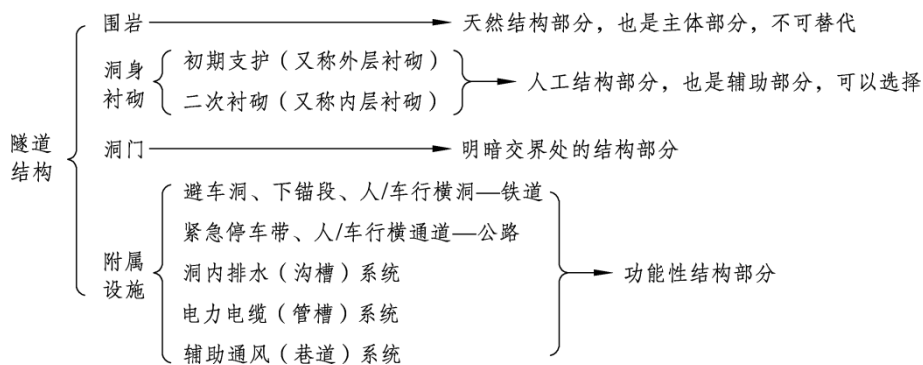


图 1-3 隧道结构组成

任务二 认知隧道洞身衬砌

【学习目标】

- (1) 掌握隧道衬砌的概念。
- (2) 理解隧道不同衬砌材料的特点。
- (3) 理解不同衬砌类型的特点。
- (4) 理解隧道衬砌构造的要求。

【任务描述】

通过对隧道洞身衬砌结构的学习，能根据隧道衬砌构造要求设计隧道衬砌结构；能够结

合工程实际情况选择衬砌类型，并采用合适的衬砌材料；能结合施工图纸理解隧道衬砌构造的要求。

【相关知识】

隧道开挖后，为了保持坑道的稳定，一般都需要在坑道周围修建支护结构。广义地说，可以把人工修筑的支护结构统称为衬砌。隧道支护示意如图 1-4 所示。

一、支护的方式

支护的方式主要有以下几种：

(1) 外部支护。外部支护即从外部支撑着坑道的围岩，如模筑混凝土整体式衬砌、砖石衬砌、装配式衬砌、喷射混凝土支护等。

(2) 内部支护。内部支护即对围岩进行加固以提高其稳定性，如锚杆支护、压入浆液等。

(3) 混合支护。混合支护即内部与外部支护混合在一起的衬砌，如喷锚支护。

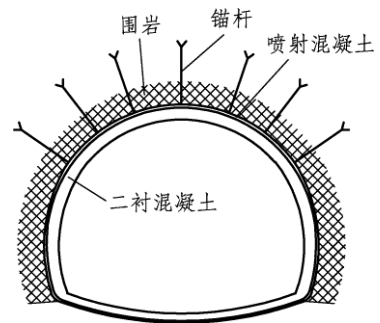


图 1-4 隧道支护

二、隧道衬砌结构分类

在现代隧道工程中，隧道衬砌结构被分为初期支护和二期支护（二次衬砌）。

初期支护是在隧道开挖后围岩自稳能力不足的条件下，为保证隧道在施工期间的稳定和安全所采取的工程措施。初期支护主要采用锚杆和喷射混凝土来支护围岩。初期支护施工后即成为永久性承载结构的一部分，它与围岩共同构成了永久的隧道结构承载体系。

隧道初期支护的主要形式为锚喷支护，采用锚喷支护可以充分发挥围岩的自承能力。

在永久性的隧道及地下工程中，常用的二次衬砌形式有整体式衬砌、复合式衬砌及锚喷衬砌。

三、衬砌材料

用来修建隧道衬砌的材料应具有足够的强度和耐久性；在某些环境中，衬砌材料必须具有抗冻性、抗渗性和抗侵蚀性；此外，从经济角度考虑，衬砌材料还应满足就地取材、降低造价、施工方便及易于机械化施工等要求。

1. 混凝土

混凝土的优点是整体性好，既可以在现场浇筑，也可以在加工场预制，而且可以机械化施工。可以在水泥中掺入外加剂，以提高混凝土的性能。其缺点是灌注后不能立即承受荷载，需要进行养生，达到预定强度才能拆模，占用的模板和拱架较多。普通混凝土的耐侵蚀能力较差。

2. 片石混凝土

为了节省水泥，岩层较好地段的边墙衬砌，允许采用片石混凝土（片石的掺量不应超过



总体积的 20%)。此外,当起拱线以上 1 m 以外部位有超挖时,其超挖部分也可用片石混凝土进行回填。

片石混凝土选用的石料要坚硬,其强度等级不应低于 MU40,有裂隙和易风化的石料不应采用,以保证质量。



片石块石
毛石小知识

3. 钢筋混凝土

钢筋混凝土是在混凝土中加入钢筋,其目的是提高混凝土抗拉、抗剪性能。

钢筋混凝土主要用于明洞衬砌及地震区、有偏压、断层碎带或淤泥、流沙等不良地质地段的隧道衬砌中。在特殊情况下可加入旧钢轨或焊接钢筋骨架进行加强。

4. 石料和混凝土预制块

石料衬砌的优点是可就地取材、降低造价,可保证衬砌厚度并能较早地承受荷载,可以节省水泥和模板,耐久性和耐侵蚀性能较好。其缺点是:整体性差,砌缝多容易漏水,防水性能较差;施工主要靠手工操作,难于机械化;费工、费时,施工进度较慢,而且砌筑技术要求高。

5. 喷射混凝土

喷射混凝土是将混凝土干拌和料、速凝剂和水,用混凝土喷射机高速喷射到洁净的岩石表面上凝结而成的。其密实性较高,能快速封闭围岩的裂隙;密贴于岩石表面,早期强度高,能很快起到支护作用。另外,在喷射混凝土中可加入纤维类材料提高其性能,从而形成一种理想的衬砌材料。

6. 立锚杆和钢架

锚杆是一种插入围岩岩体内的杆形构件,可加固围岩。

锚杆的杆体直径宜为 20~32 mm,杆体材料宜采用 HRB335、HRB400 钢;垫板材料宜采用 HPB235 钢。锚杆用的各种水泥砂浆强度不应低于 M20。钢筋网材料可采用 HPB235 钢,直径宜为 6~12 mm。

钢架是为了加强支护刚度而在初期支护或二次衬砌中放置的型钢支撑或格栅钢支撑。初期支护采用的钢架宜用 H 形、工字形、U 形型钢制成,也可用钢管或钢轨制成。

7. 装配式材料

衬砌材料也可采用一些装配式材料,如钢筋混凝土大型预制块、加筋肋铸铁预制块等。另外,为了提高洞内照明高度和视线诱导、加强防水和通风、美化或减少噪声等,可在衬砌内表面粘贴各种各样的装修材料。

四、衬砌类型

按照衬砌的施工工艺,可将隧道衬砌分为以下四种类型。

1. 单层衬砌(整体式模筑混凝土衬砌)

单层衬砌采用混凝土或钢筋混凝土为材料就地灌注而成,也称为模筑混凝土衬砌,按照传统松弛荷载理论设计和施作,如图 1-5 所示。其工艺流程为立模—灌注—养生—拆模。整

体式模筑混凝土衬砌的特点是对地质条件的适用性较强，易于按需要成型，整体性好，抗渗性强，并适用于多种施工条件，如可用木、钢模板或衬砌模板台车等。该衬砌类型技术成熟，适用于多种围岩条件，在隧道洞口段、浅埋段及围岩条件很差的软弱围岩中采用时较为稳妥可靠。

2. 装配式衬砌

装配式衬砌是将衬砌分解为若干块构件（也称管片），这些构件在现场或工厂预制，然后运到现场安装，如图 1-6 所示。这种衬砌的特点是拼装成环后立即受力，便于机械化施工，可改善劳动条件、节省劳力。目前，装配式衬砌多在使用盾构法施工的城市地下铁道中采用。

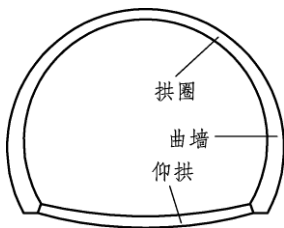


图 1-5 单层衬砌

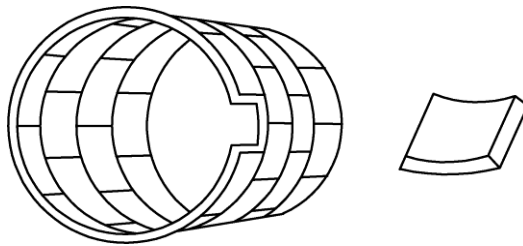


图 1-6 装配式衬砌

3. 锚喷式衬砌

锚喷式衬砌是指锚喷结构既作为隧道临时支护，又作为隧道永久结构的形式。

喷射混凝土是以压缩空气为动力，将掺有速凝剂的混凝土拌和料与水混合成为浆状，喷射到坑道的岩壁上凝结而成的。当岩壁不够稳定时，可加设锚杆、金属网和钢架，构成“锚喷式衬砌”，也称为“喷锚衬砌”，如图 1-7 所示。

在 IV ~ VI 级围岩中不宜单独采用喷锚支护作永久衬砌，一般考虑在 I、II 级等围岩良好、完整、稳定的地段中采用。

4. 复合式衬砌

复合式衬砌不同于单层厚壁的模筑混凝土衬砌，它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，如图 1-8 所示。

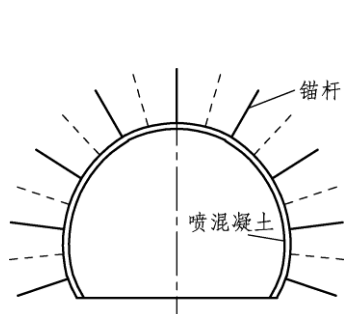


图 1-7 锚喷式衬砌

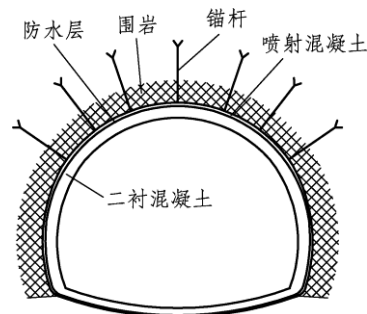


图 1-8 复合式衬砌

目前，在工程中常用的复合式衬砌都是外衬和内衬两层。外衬主要以喷射混凝土和锚杆



为基本组合形式；内层衬砌则有多种材料和构造形式，但以就地模筑混凝土为主。

复合衬砌按内、外衬的组合情况可分为喷锚支护与混凝土衬砌、喷锚支护与喷射混凝土衬砌、可缩性钢拱架（或格栅钢构拱架）喷射混凝土与混凝土衬砌、装配式衬砌与混凝土衬砌。

5. 隧道衬砌的其他构造要求

（1）隧道洞口段，应设置加强衬砌，并宜与洞身整体砌筑。铁路隧道一般单线隧道洞口应设置不小于 5 m 长的模筑混凝土衬砌，双线和多线隧道应适当加长；公路隧道洞口段模筑混凝土长度一般情况下两车道隧道应不小于 10 m，三车道隧道应不小于 15 m。洞口段及软弱围岩段的衬砌宜采用钢筋混凝土结构。

（2）围岩稳定性较差段的衬砌应向围岩较好地段延伸 5~10 m。

（3）偏压衬砌段应向一般衬砌段延伸，铁路规定偏压衬砌段应延伸至一般衬砌段内 5 m 以上，公路规定其一般不小于 10 m。公路隧道偏压衬砌一般宜采用钢筋混凝土结构。

（4）横通道、运营通风洞、联络通道等与主隧道连接处的衬砌设计应做加强处理，加强段衬砌应向各交叉洞延伸。公路隧道规定主洞延伸长度不小于 5.0 m，横通道延伸长度不小于 3.0 m。公路隧道一般要求交叉口衬砌采用钢筋混凝土结构。

（5）围岩稳定性较差地段应设仰拱，不设仰拱的隧道应做底板，单线隧道其厚度不得小于 20 cm，双线隧道其厚度不得小于 25 cm；不设仰拱的地段，衬砌边墙应置于稳固的地基之上。

（6）对衬砌有不良影响的硬软地层分界处，应设置变形缝。

任务三 认知隧道洞门结构

【学习目标】

- （1）了解隧道洞门的概念。
- （2）掌握隧道常用洞门形式和适用条件。

【任务描述】

通过对隧道洞门相关知识的学习，能在图纸中或现场正确识别不同隧道洞门形式；并能根据不同洞门的适用条件，结合现场情况选用适当的隧道洞门结构。

【相关知识】

一、隧道洞门结构概述

1. 洞门的概念

洞门（隧道门的简称，通常也泛指隧道门及明洞门），是隧道两端的外露部分，是隧道洞口用圬工砌筑，用以保护洞口、排放流水并加以建筑装饰的支挡结构物。它联系衬砌和路

堑，是整个隧道结构的主要组成部分，也是隧道进出口的标志。

2. 洞门的作用

(1) 减少洞口土石方开挖量，起到挡土墙的作用。

(2) 稳定边仰坡，减小引线路堑的边坡高度，缩小正面仰坡的坡面长度，从而使边仰坡得以稳定。

(3) 引离地面流水，把流水引入侧沟排走，保证了洞口的正常干燥状态。

(4) 装饰洞口，修建洞门也可以算是一种装饰。

二、洞门的类型

公路隧道洞门可根据所处的地形地质条件、自然环境、人文特点设计为墙式洞门或明洞式洞门。墙式洞门可采用端墙、翼墙、柱式三种基本形式，或由其变化的台阶式、城墙式、单圆弧形和多圆弧形等形式；明洞式洞门可采用削竹式、喇叭式、棚洞式三种基本形式，或由其变化的环框式及倒削竹式等形式。

墙式洞门适用于地形较为陡峭、偏压较大或横断面地形复杂条件下的洞口。

明洞式洞门适用于地形平缓、山体稳定或单侧边坡较高等地形条件下的洞口。

1. 环框式洞门

当隧道洞口仰坡极为稳固，岩层坚硬，节理不发育，不易风化（Ⅰ～Ⅱ级围岩），且地形陡峻，无排水要求时，可以将洞口段衬砌加厚，形成洞口环框，主要起加固洞口衬砌和减少洞口雨后滴水对洞口段侵蚀的作用，并对洞口作简单的装饰，不承载。

环框微向后倾，其倾斜程度与顶上的仰坡一致。环框的宽度与洞口外观相匹配，一般不小于 70 cm，突出仰坡坡面不少于 30 cm，使仰坡上流下的水不致从洞口正面淌下，如图 1-9 所示。

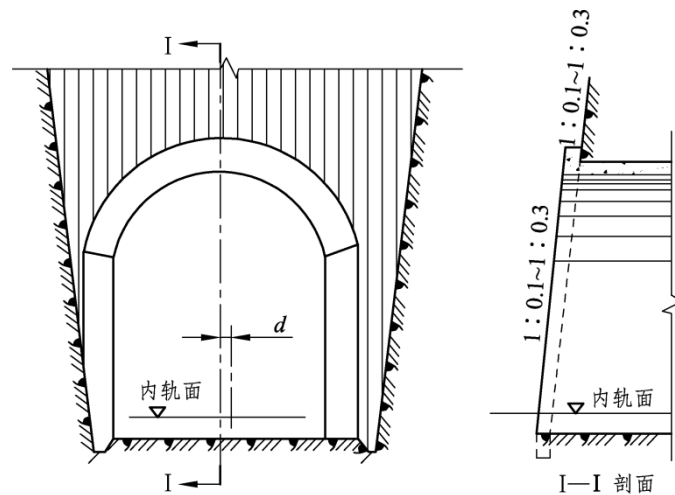


图 1-9 环框式洞门

2. 端墙式洞门

端墙式洞门俗称一字式洞门，它由端墙和洞门顶的排水沟组成，如图 1-10 所示。其中，



端墙起挡土墙的作用，主要抵抗山体纵向推力及支持洞口正面上的仰坡，保持其稳定；洞门顶排水沟用来将仰坡流下来的地表水汇集后排走。

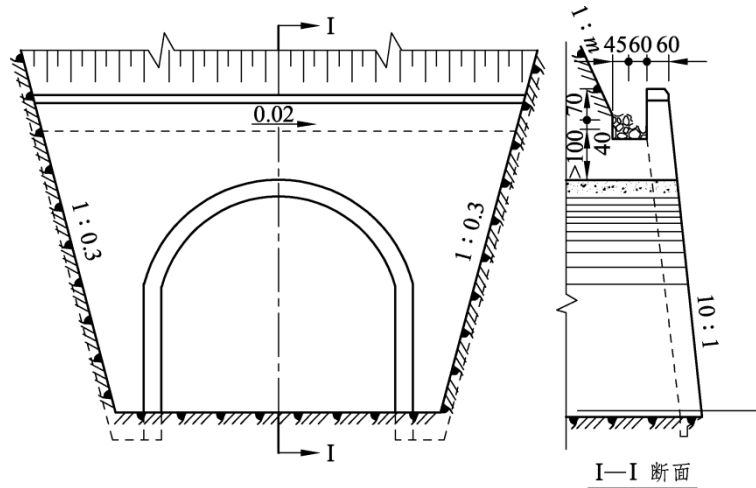


图 1-10 端墙式洞门

端墙式洞门适用于地形开阔、岩层较为坚硬完整的情况。

端墙式洞门具有结构简单、工程量小、施工简便的优点，在岩层较好时使用最为经济，也是最常见的一种洞门。唯其洞门顶排水条件稍差，当横向山坡一侧较低时，宜开挖沟槽横向引排。

3. 柱式洞门

柱式洞门是从端墙式洞门发展而来的，它实际上也是一种端墙形式的洞门，如图 1-11 所示。

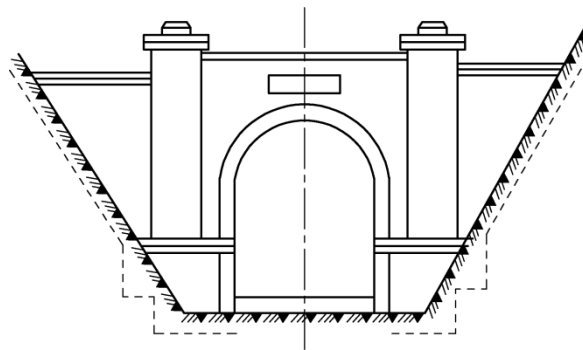


图 1-11 柱式洞门

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；或洞口地形狭窄，受地形或地质等影响不便设翼墙或不能设翼墙的地段。此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。

由于柱式洞门的墙面有凸出的线条，较为雄伟壮观，因此适宜在城市、风景区或有建筑装饰要求的地区采用，特别是对于较长较大的隧道，采用柱式洞门比较壮观。

4. 翼墙式洞门及耳墙式洞门

1) 翼墙式洞门

翼墙式洞门俗称八字式洞门，适用于地质条件较差的Ⅳ级以下围岩，山体纵向推力较大时，以及需要开挖较深路堑的地段。

翼墙式洞门由端墙及翼墙组成。翼墙是为了增加端墙的稳定性的而设置的，其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；其两侧面保护路堑边坡，起挡土墙作用。翼墙顶面通常与仰坡坡面一致，其上设置水沟，将洞门顶水沟汇集的地表水引至路堑侧沟内排走，如图 1-12 所示。

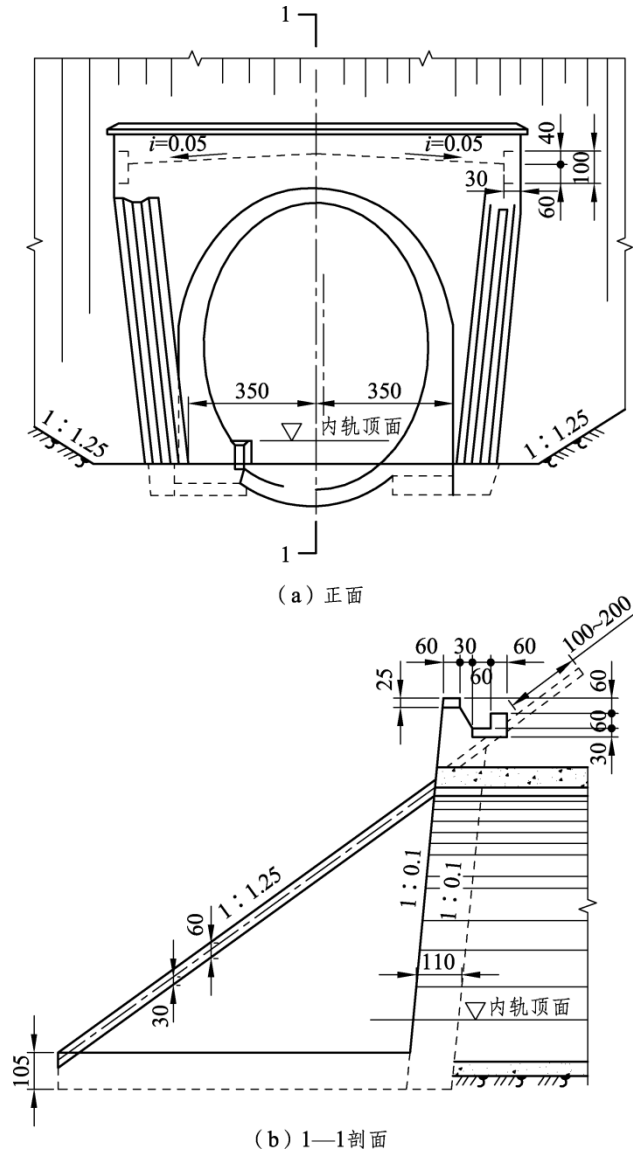


图 1-12 翼墙式洞门

翼墙式洞门的正面端墙一般采用等厚的直墙，微向后倾斜，斜度为 1:10。翼墙前面与端墙垂直，顶面斜度与仰坡坡度一致（顶面一般与仰坡的延长面一致），墙顶上设流水凹槽，将洞顶上的水从端墙后面沿预留的泄水孔引出墙外，然后沿凹槽流至路堑边沟内。

翼墙的基础应设在稳固的地基上，其埋深应与端墙基础相同。

2) 耳墙式洞门

耳墙式洞门，即带耳墙的翼墙式洞门。将翼墙式洞门的端墙两侧各接出一个耳墙至边坡

内，呈带耳墙的结构，即形成耳墙式洞门，如图 1-13 所示。

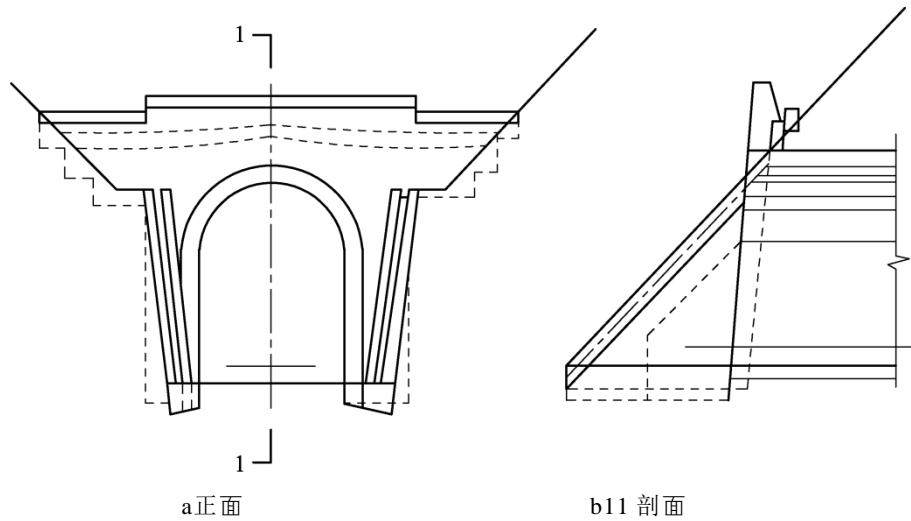


图 1-13 耳墙式洞门

这种洞门形式对排泄仰坡、边坡地表水汇水和阻挡洞顶风化剥落体效果良好，并可大大减少对坡面的冲刷，洞口显得宽敞，结构式样比较美观，而且对于边仰坡坡度不一致的洞口，设计时亦便于处理。

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，为减少仰坡高度及外露坡长，可采用将端墙一侧顶部改为逐步升级的台阶形式，以适应地形的特点，减少仰坡土石开挖量，此种洞门称为台阶式洞门。台阶式洞门一般会配合偏压隧道衬砌使用，故也称为偏压隧道门，如图 1-14 所示。

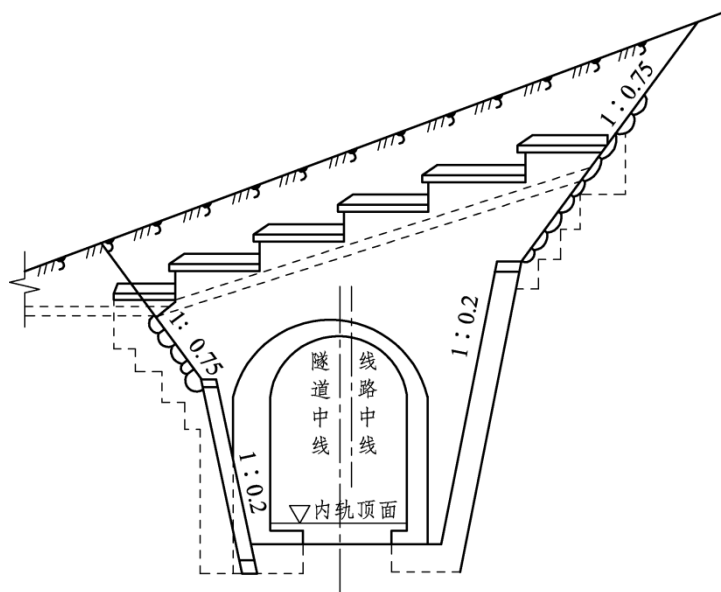


图 1-14 台阶式洞门

台阶式洞门在靠山侧通常需设置挡墙，以降低边坡的开挖高度，并压缩端墙的宽度；低山坡一侧如地质较差，地面较高，也可采用矮挡墙。选用台阶式洞门时，通常需要根据洞口的地形地质条件，与采用明洞或斜洞门作技术经济比较。

6. 削竹式洞门

当洞口为松软的堆积层时，通常应避免大刷边仰坡，一般宜采用接长明洞，恢复原地形地貌的办法，洞口宽敞的场合适合采用削竹式洞口。

削竹式洞门与环框式非常相似，但洞门坡面较平缓，一般应与自然地形坡度相一致。洞门两侧边墙与翼墙一样能起到保护路堑边坡的作用，洞门四周恢复自然植被原状，或重新栽植根系发达的树木等，以使边仰坡稳定。如果具备条件，在引道两旁边沟外侧可以栽植乔木，形成林荫道，对洞外减光十分有益。倾斜的洞门还有利于向洞内散射自然光，增加入口段的亮度。



零开挖
进洞理念



隧道洞门欣赏

任务四 认知隧道明洞

【学习目标】

- (1) 了解隧道明洞的修建场合。
- (2) 掌握隧道明洞的分类。
- (3) 掌握隧道常用明洞形式和适用条件。
- (4) 理解隧道明洞的构造要求。

【任务描述】

通过对隧道明洞相关知识的学习，能在图纸中或现场正确识别不同隧道明洞形式；并能根据不同明洞结构的适用条件，结合现场情况为隧道选用适当的明洞结构。

【相关知识】

明洞是用明挖法修建的山岭隧道部分，是在露天的路堑地面上或是在敞口的基坑内，先修筑结构物，然后再回填覆盖土石。

一、拱式明洞

拱式明洞是由拱圈、内外边墙和仰拱（或铺底）组成的混凝土或钢筋混凝土结构，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，整体性较好，能承受较大的垂直压力和侧压力。拱式明洞由于内外墙基础相对位移对内力影响较大，所以对地基要求较高，尤其是外墙基础必须稳固，必要时需要加设仰拱。

拱式明洞通常用作洞口接长衬砌的明洞，以及用明洞抵抗较大的坍方推力和支撑边坡稳定等。

拱式明洞分为路堑式拱形明洞（路堑式对称型）、偏压直墙式拱形明洞（路堑式偏压型）、偏压斜墙式拱形明洞（半路堑式偏压型）、半路堑单压式拱形明洞等。

1. 路堑式拱形明洞

路堑式拱形明洞适用于路堑边坡对称或接近对称，边坡岩层基本稳定，仅需防护边坡有少量坍塌、落石，或隧道洞口岩层破碎，覆盖层较薄而难以用暗挖法修建隧道的情况。

设置路堑式拱形明洞时，在挖出路堑的基面上，先修建与隧道衬砌相似的结构，然后在上部回填覆盖土石，夯紧并覆盖防水黏土层，层上留有排水的沟槽，以防止地面水的渗入。两侧墙外填以浆砌片石，使其密实。路堑式拱式明洞承受对称荷载，拱、墙均为等截面，边墙为直墙式。路堑式拱形明洞如图 1-15、图 1-16 所示。

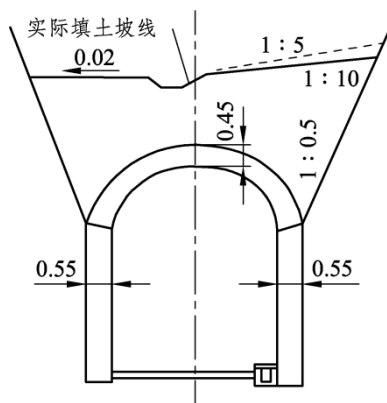


图 1-15 路堑式拱形明洞一单位m

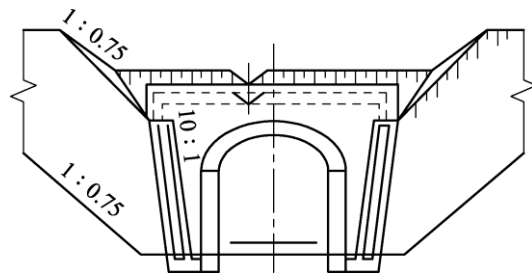


图 1-16 路堑式拱形明洞二

2. 偏压直墙式拱形明洞

偏压直墙式拱形明洞适用于两侧边坡高差较大的不对称路堑。其承受不对称荷载，拱圈为等截面，边墙为直墙式，外侧边墙的厚度大于内侧边墙的厚度，如图 1-17、图 1-18 所示。

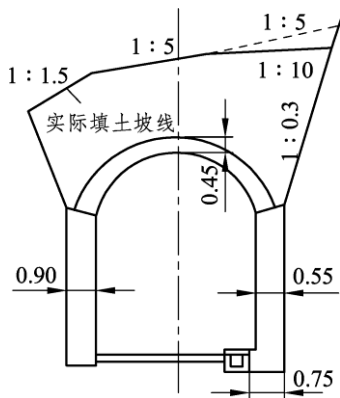


图 1-17 偏压直墙式拱形明洞一单位m

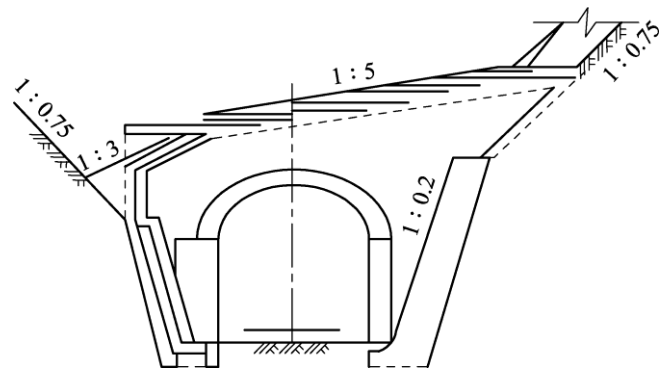


图 1-18 偏压直墙式拱形明洞二

3. 偏压斜墙式拱形明洞

偏压斜墙式拱形明洞适用于地形倾斜，低侧处的路堑外侧有较宽敞的地面供回填土石，以增加明洞抵抗侧向压力能力的情况。其承受偏压荷载，拱圈为等截面，内侧边墙为等厚直

墙式，外侧边墙为不等厚斜墙式，如图 1-19、图 1-20 所示。

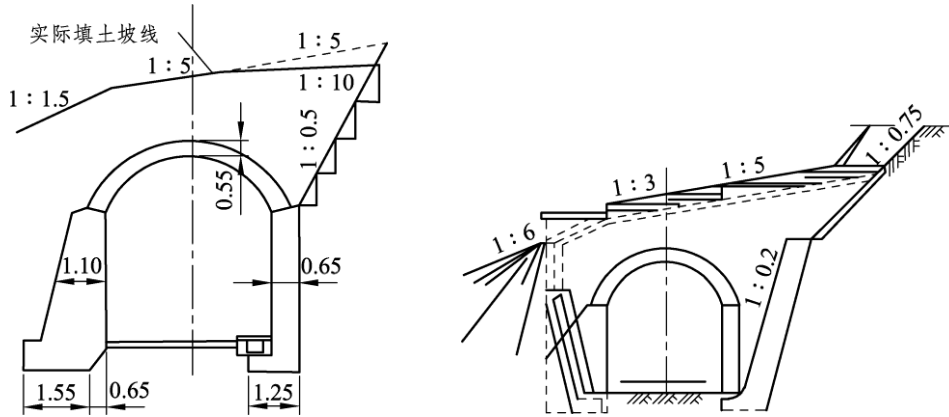


图 1-19 偏压斜墙式拱形明洞一单位m 图 1-20 偏压斜墙式拱形明洞二

4. 半路堑单压式拱形明洞

半路堑单压式拱形明洞适用于傍山隧道的洞口或傍山线路上的半路堑地段，如图 1-21、图 1-22 所示。

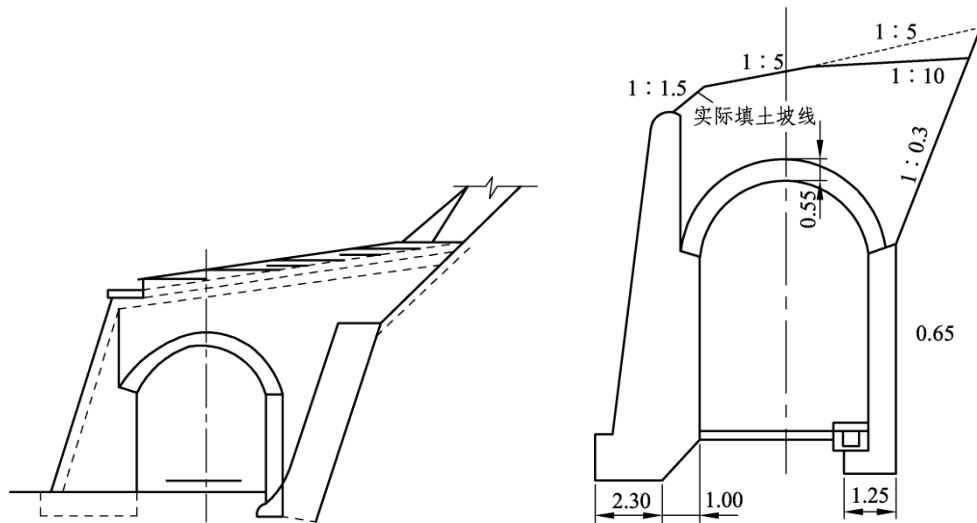


图 1-21 半路堑单压式拱形明洞一 图 1-22 半路堑单压式拱形明洞二单位m

其外侧因地形狭小，地面陡峻，无法回填土石以平衡内侧压力。

半路堑单压式拱形明洞受单侧压力，内侧边墙为等厚直墙，外墙为设有耳墙的不等厚斜墙，而且必须把基础放在稳固的基岩上。拱圈可采用等截面或变截面。

当外侧地形低，不能保持回填土的天然稳定坡度，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接高一段挡墙，用以拦截土石，此种明洞称为耳墙式拱形明洞。

当外侧边墙基底地质条件不好，不足以承受外墙传来的压力而必须把基础放到下方较深的基岩上时，外墙可以延伸直达基岩，形成内外墙不同、内短外长的结构，称为长腿式拱形

明洞，如图 1-23 所示。

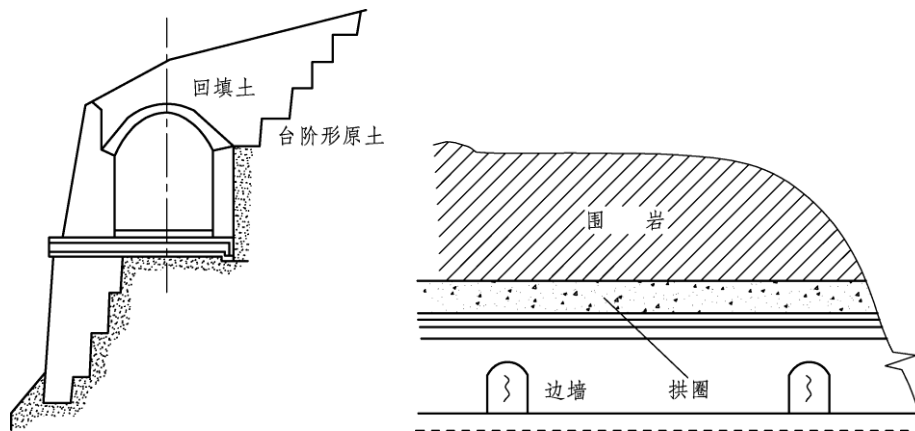


图 1-23 长腿式拱形明洞

明洞顶上的回填土石是为了缓冲落石对衬砌的冲击而设置的，它的厚度应视落石下坠的实际情况通过计算来确定，一般不应小于 1.5 m。在填土面上应留有不小于 1:1.5 的流水坡。填土的上面及拱顶上方都要做一层黏土隔水水层，以防水渗入。

如果基底地质较好，外墙可以做成连拱形，以节省圬工。如果明洞外侧覆盖土不厚，还可以掏成侧洞，使露天的光线射进来，外界的新鲜空气流进来，从而改善明洞内的环境条件。

拱式明洞是在露天施工的，不受地下坑道条件的限制，所以可以采用钢筋混凝土做拱圈。

当在隧道洞口有公路或水渠横越而又不宜做立交桥时，为了保证公路的畅通而不致中断灌溉农田的水道，可以修建带有渡槽的拱式明洞。当线路必须通过有滑坡的地方时，可以配合挡墙、抗滑桩修建抗滑明洞。

拱式明洞应设置横向贯穿的伸缩缝，其间隔一般为 6~20 m；如有侧洞，则在设置伸缩缝时应避开侧洞的位置。

二、棚式明洞

当山坡的塌方、落石数量较少，山体的侧向压力不大，或因受地质、地形限制，难以修建拱式明洞时，可以修建棚式明洞，简称棚洞。棚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

盖板式棚洞是由顶盖、内边墙、外边墙组成的简支结构。其顶上不是拱圈而是平的盖板，盖板上回填土石，以保护盖板免受山体落石的冲击，如图 1-24 所示。

盖板式棚洞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，因此它的基础必须放在基岩或稳定的地基上。当侧坡较陡，地面水量不大，坡面稳定而坚实，采用重力式内墙开挖量太大时，也可以采用钢筋混凝土锚杆挡墙的形式。

当外墙不承受侧向压力，仅承受梁和盖板的竖向荷载时，其要求的地基承载力较小，此

时外墙可以做得较薄；或可以根据落石情况的严重与否及地质情况，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。

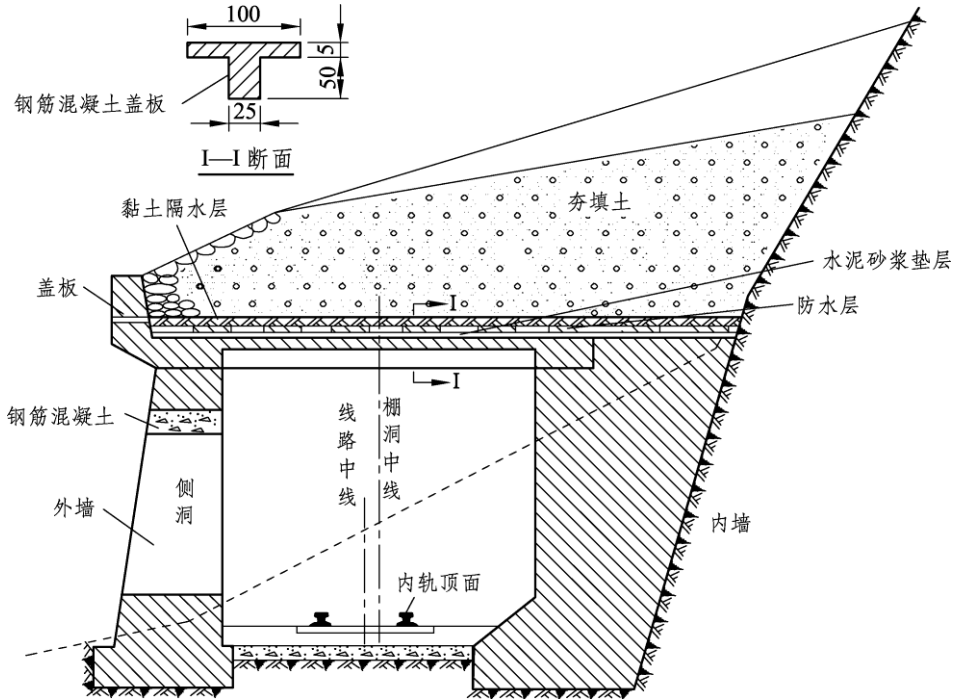


图 1-24 盖板式棚洞单位m

2. 刚架式棚洞

当地形狭窄，山坡陡峻，基岩埋置较深而上部地基稳定性差时，可将刚架式或长腿式外墙置于稳固的地基上，这种明洞称为刚架式棚洞。

刚架式棚洞由外侧刚架、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，盖板上应做防水层及回填土石处理，如图 1-25 所示。

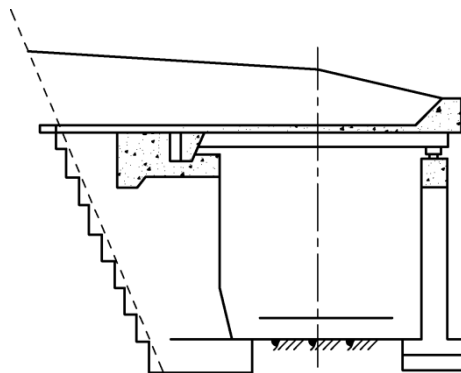


图 1-25 刚架式棚洞

3. 悬臂式棚洞

悬臂式棚洞适用于稳固而陡峻的山坡，外侧地形难以满足一般棚洞的地基要求，以及落

石不太严重的情况。

悬臂式棚洞的内墙为重力式，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在外荷载作用下的稳定性；同时，为了保证棚洞的稳定性，要求悬臂必须伸入稳定的基岩内，因为对内墙的稳定性要求很严，故施工时必须十分谨慎；又因其是不对称结构，所以选用时应十分谨慎。悬壁式棚洞如图 1-26、图 1-27 所示。

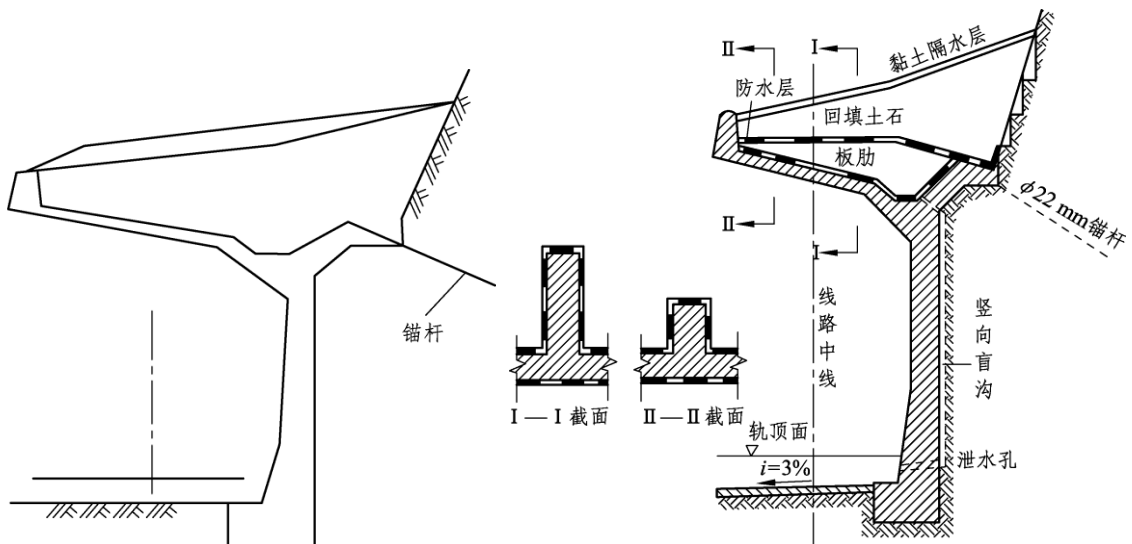


图 1-26 悬壁式棚洞一

图 1-27 悬壁式棚洞二

任务五 认知隧道附属建筑物

【学习目标】

- (1) 了解隧道主要附属结构。
- (2) 掌握隧道通风设施。
- (3) 理解隧道防排水原则。
- (4) 了解隧道防排水设施。

【任务描述】

通过对隧道附属建筑物相关知识的学习，能对隧道现场或施工图纸中的附属结构进行区分，并能了解不同附属结构的功能作用。

【相关知识】

隧道主体结构完成后，还不能保证车辆的安全通行。为了隧道能正常使用，还必须修建一些附属建筑物。它们包括：安全避让设施、电力通信信号的安放设施、防排水设施等。由于行驶的车辆不同，铁路隧道与公路隧道的附属建筑物有一定的区别。

一、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的安全，在隧道两侧边墙上交错均匀地修建洞室，用于躲避列车，故称之为避车洞。避车洞室根据其大小，分为大避车洞和小避车洞两种。

1. 避车洞的布置

1) 大避车洞

在碎石道床的隧道内，每侧相隔 300 m 布置一个大避车洞；在整体道床的隧道内，因人员待避行车较方便，且线路维修工作量较小，故每侧相隔 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为路堑，则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

无论是碎石道床还是整体道床，单线隧道，每侧边墙应间隔 60 m、双线隧道每侧边墙应间隔 30 m 布置一个小避车洞。布置时应结合大避车洞一起考虑，有大避车洞的地点就不需再设置小避车洞。同时，还应注意不得将避车洞设于衬砌断面变化处、不同衬砌类型衔接处或变形缝处。如隧道邻近有农村市镇，估计由隧道通行的人较多，或曲线半径小、视距较短时，小避车洞还可适当加密。大小避车洞平面布置的方式如图 1-28 所示。

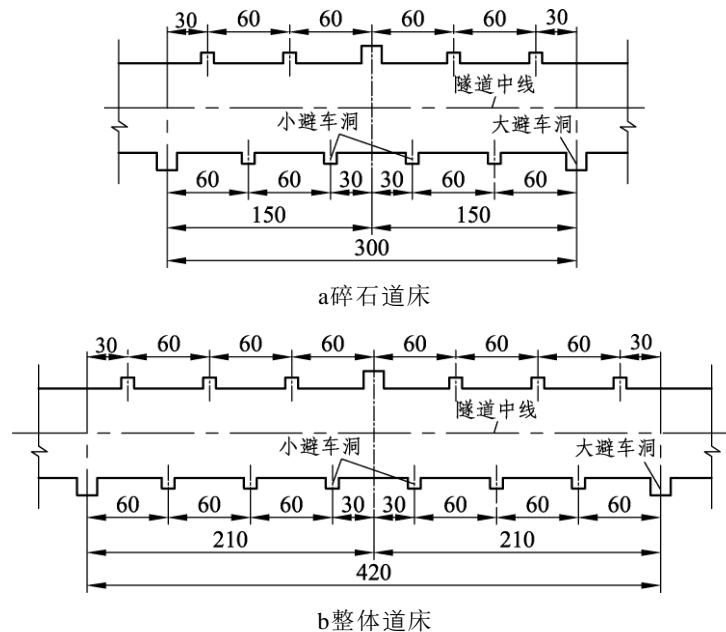


图 1-28 避车洞平面布置方式单位m

为了使避车洞的位置明显，应将洞内全部及洞周边 30 cm 宽粉刷成白色，并在洞的两侧各 10 m 处的边墙上标醒目的白色箭头指向避车洞。

2. 避车洞的净空大小及衬砌类型

避车洞的形状及基本尺寸见图 1-29，大避车洞的净空尺寸为 4.0 m（宽）×2.5 m（深）×2.8 m（中心高），小避车洞的净空尺寸为 2.0 m（宽）×1.0 m（深）×2.2 m（中心高）。避车洞的衬砌类型应和隧道衬砌类型相适应。

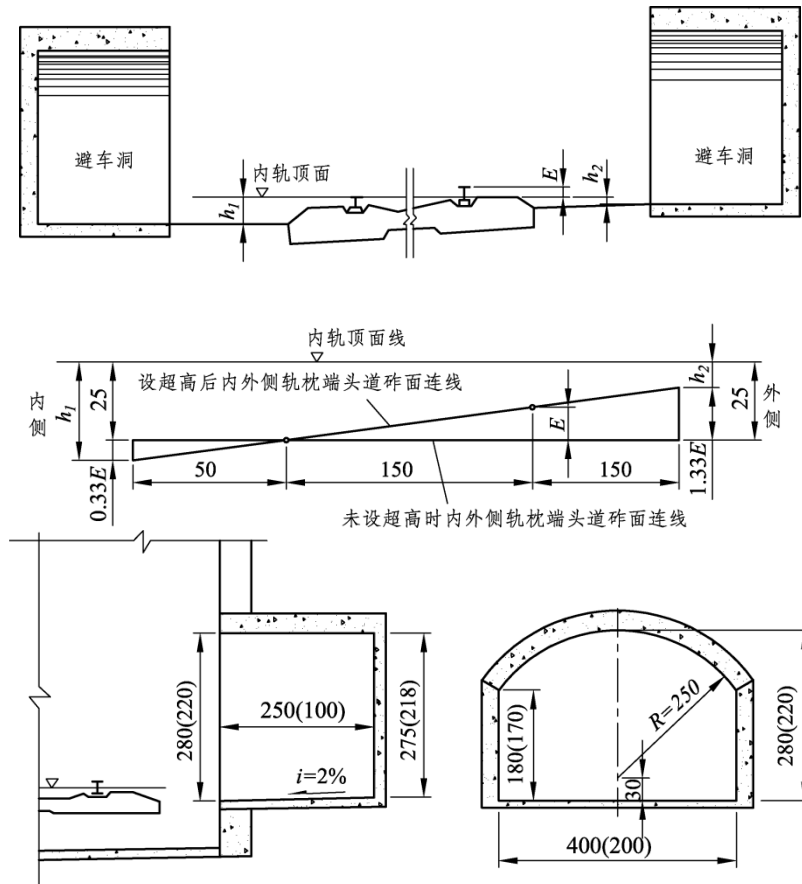


图 1-29 避车洞的形状及基本尺寸单位 cm

注：括号内数字为小避车洞尺寸。

二、紧急停车带

当隧道内中行驶的车辆发生故障时应及时离开干道避让，以免发生交通事故，紧急停车带就是专供紧急停车使用的停车位置。尤其是在长大隧道内，故障车必须尽快离开干道，否则必然引起交通阻塞，甚至导致交通事故。因此，高速公路、一级公路的特长和长隧道，应根据需要设置紧急停车带。

紧急停车带的间隔主要根据故障车的可能滑行距离和人力可能推动的距离而定。隧道内紧急停车带的间距一般可取为 500~800 m。

我国超过 2 km 以上的隧道必须考虑设置宽 2.5 m、长 25~40 m 的紧急停车带，间隔为 750 m，参见图 1-30。

三、行人、行车横洞和预留洞室

设计规范规定，行车方向分离的双洞公路隧道，当长度超过 400 m 时宜设置行人横洞，长度超过 800 m 宜设置行车横洞，以供巡查、维修、救援及车辆转换方向用。其设置的间距和尺寸如表 1-1 所示。当隧道长度为 400~600 m 时，可在隧道中间设一个行人横洞；当隧道长度小于 400 m 时，可不设行人横洞。当隧道长度为 800~1 000 m 时，可在隧道中间设一行车横洞；当隧道长度小于 800 m 时，可不设行车横洞。

表 1-1 横洞间距尺寸

名称	间距/m	尺寸/m	
		宽	高
行人横洞	200~300	2.0	2.2
行车横洞	400~500	4.0	4.5

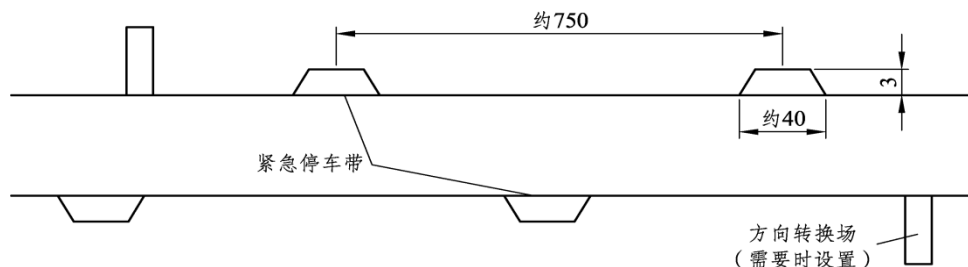


图 1-30 紧急停车带及方向转换场设置示意单位 m

横洞的衬砌类型，一般应和隧道相应部位衬砌类型相同，行人横洞的底面应与人行道或边沟盖板顶面平齐。行车横洞两端应与路缘顺坡，并设半径不小于 5 m 的转弯喇叭口。

另外，长度在 500 m 以上的高速公路、一级公路隧道，宜单独设置存放专用消防器材等的洞室，并做明显标志。

四、运营通风建筑物

隧道的通风方式分为自然通风和机械通风两种。按行车道空间的空气流动方式不同，隧道的通风方式归纳如图 1-31 所示。

在选择通风方式时，首先应确定隧道内所需的通风量，然后论证自然通风能否满足要求，如果不能，则应当采用机械通风。

从以往隧道实例来看，公路隧道长度在 200 m 以下，甚至 200~500 m 的对向交通隧道，在一定的交通量以下时，均可以考虑用自然通风。

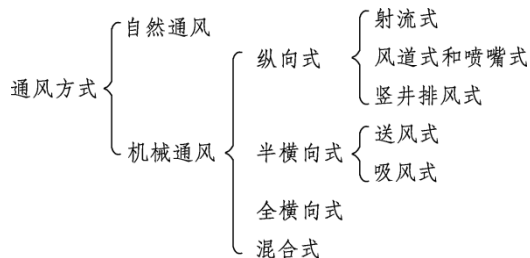


图 1-31 隧道的通风方式分类

我国《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》(JTG D70/2—2014) 规定，宜设置机械通风的条件为：

$$\text{双向交通隧道} \quad L \cdot N \geq 6 \times 10^5 \quad (1-1)$$

$$\text{单向交通隧道} \quad L \cdot N \geq 2 \times 10^6 \quad (1-2)$$

式中： L ——隧道长度（m）；

N ——设计小时交通流量（辆/h）。

《铁路隧道设计规范》（TB 10003—2016）规定：

- 电力机车牵引，长度大于 20 km 的高速铁路隧道及长度大于 15 km 的货运专线、客货共线铁路隧道应设置机械通风。
- 内燃机车牵引，长度大于 2 km 的铁路隧道宜设置机械通风。
- 有特殊要求的铁路隧道应设置机械通风。

1. 通风方式

1) 纵向式通风

在通风机的作用下，风流沿着隧道轴线方向流动的称为纵向式通风。采用纵向通风时，可以认为隧道内沿纵向流动的气流从入口至出口都是匀速的。这种通风方式使得空气的污染浓度由入口向出口方向成直线增加。如果自然风从出口吹入隧道（单向交通），则洞内空气污染浓度会增大。当洞内为双向交通时，交通风自然抵消，此时如有自然风吹入隧道，在下风方向的空气污染浓度也会增加。

纵向式通风的类型有射流式通风、风道式通风和集中排气式通风等，根据交通方式不同又可以有不同的具体设计。

（1）射流式通风。

射流风机均为轴流风机。因为采用的风机出口风速较大（在 30 m/s 左右），对隧道内的空气纵向流动起到了引射作用，故称为射流风机。射流风机的特点是体积小、风力大、风向可逆、设备费用少，但噪声大。它的基本构造见图 1-32，具设置与工作方式见图 1-33。

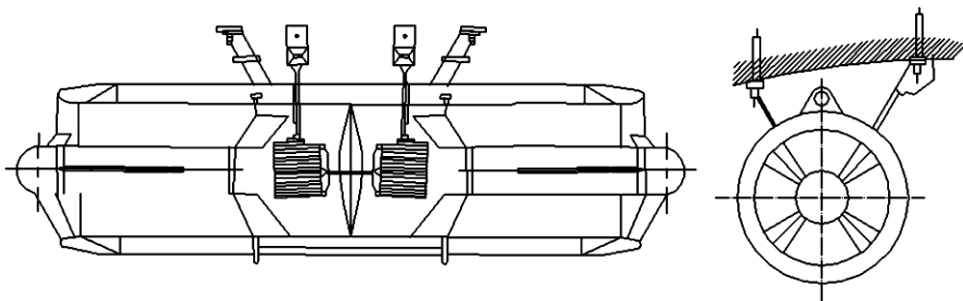


图 1-32 射流风机的基本构造示意

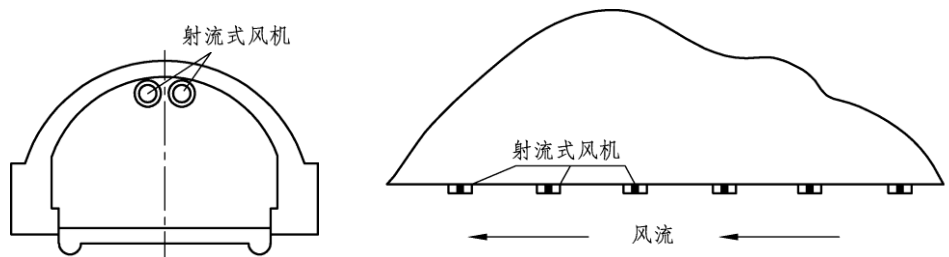


图 1-33 射流式风机纵向式通风设置与工作方式

射流风机要占用隧道断面空间，但省去了洞口风道式通风的风道与风机房。在铁路隧道中，射流风机的基本布置方式有两种。一种是沿隧道纵向等距离布置，其间距宜在 100~

150 m，可以保证风流均匀扩散，每个设置断面上设一至两台风机，一般悬于拱顶。在确定隧道建筑限界时，必须保证风机的位置。在电气化隧道中风机不能与拱顶的电力线路太靠近。另一种是集中布置在洞口。

在公路隧道中，当隧道断面为圆形或马蹄形时，将风机吊挂于拱顶；当断面为矩形时，将风机分别置于顶板两角。

射流式通风，在双向交通时，一般可用于长度在 1 km 以下的隧道；单向交通时，可用于长度在 2 km 左右的隧道。当然，具体还要看所需的通风量和车道上所允许的最大风速。规范要求，隧道行车道内由于机械通风产生的最大风速不宜超过 8 m/s，否则会令车乘人员不适，并影响行车的稳定性。如果交通量小，即使隧道再长一些也可运用。

(2) 有竖井的纵向式通风。

竖井用于排气时，起到了烟囱的作用，能收到很好的效果，但为了能达到稳定的通风效果，仍需安装风机。公路隧道的双向行车和单向行车，在竖井的设置位置上有所区别。双向交通的隧道，竖井宜设置在隧道中间；单向交通的隧道，则应设置在靠近洞口处，这样可以保证竖井正好位于污染浓度最大的地点，从而发挥最佳通风效果。当然，竖井的位置还要结合施工需要来综合考虑。

(3) 洞口风道式通风

这种通风方式是把通风机设置在隧道高洞口端处，通风道与隧道连通。列车车尾一出洞口，立即开动通风机（抽风），把已被活塞风挤到出洞口段内的污浊空气排出洞外。与此同时，洞外新鲜空气由低洞口端随着风流带进隧道内，从而完成一次通风作业。

为防止通风机工作时，新鲜空气从高洞口吸进隧道造成空气短路，降低通风效果，需在高洞口处设置一个用钢或钢木结构组成的框架式帘幕。它用轨顶电路与信号系统进行联锁，当列车驶向隧道时，帘幕自动提起，列车通过后即自动落下。图 1-34 所示为一座 3 km 长的隧道采用洞口风道纵向式通风时的布置图。

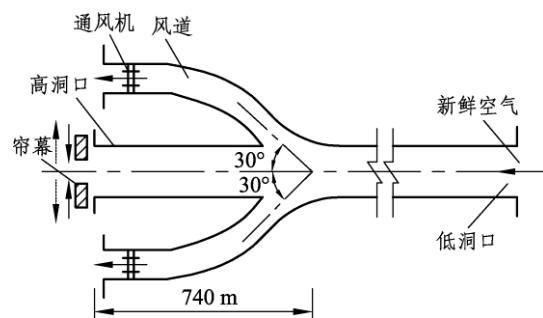


图 1-34 洞口风道式通风布置

由于帘幕笨重及起落时可靠性较差，在实际应用中，也采用无帘幕的洞口风道式通风，但会由于“空气短路”而损失一些风量。

此外，还可采用缩小风道口断面、减小吹入风流与隧道中线的夹角、提高吹入风速等办法来取代帘幕。下述喷嘴式通风就是这样一种方式。

(4) 喷嘴式通风。

对于列车运行密度大，且不太长的隧道，可采用环形风嘴式通风方式，如图 1-35 所示。它是在隧道洞门处的衬砌上方，设计一个汇集新鲜空气的空气室，空气室的尽端在衬砌周边上做成环形喷嘴通向洞内。开动通风机，洞外新鲜空气被压送到空气室，当积聚到一定压力时，由喷嘴将新鲜空气以高速和极小的交角喷进隧道内，形成稳定气流。洞口段可不做帘幕，新鲜空气不会从洞口溢出，

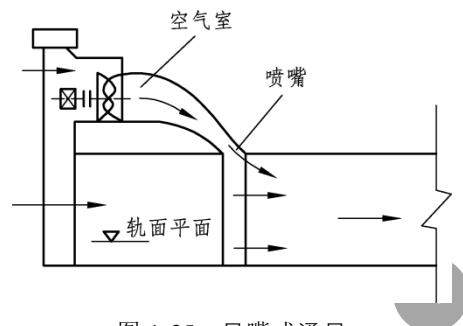


图 1-35 风嘴式通风

反而会由于高速风流引起的负压，带进一些新鲜空气。但这种通风形式结构复杂，施工工艺要求高，维修不方便，且能量大部分损失在喷嘴的阻力及喷入隧道时空气的非弹性冲击上面（动能转变为热能），因而设备效率不高。

2) 半横向式通风

纵向式通风的污染浓度不均匀，进风口处最低，出风口处最高。为使出口处的污染浓度保持在容许限度以下，只好加大通风量，但此时其他地方的污染浓度却相当低，这就既不经济，又使隧道内风速过大。

半横向式通风可使隧道内的污染浓度大体上接近一致。送风式半横向通风是半横向式通风的标准形式，新鲜空气经送风管吹向汽车的排气孔高度附近，直接稀释汽车排放的废气。如果洞内有行人，则可以吸到最新鲜的空气。污染空气在隧道上部扩散，经过两端洞口排出洞外，见图 1-36。

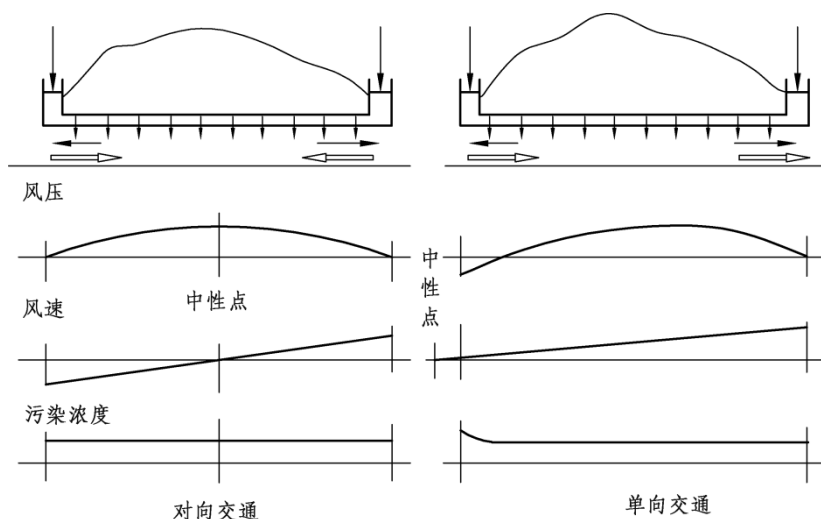


图 1-36 半横向式通风示意

双向交通时，不论是送风方式还是吸风方式，如果双方的交通流量相等，两洞口的气象条件也相同，则隧道内的风压分布为中间最大，两洞口排出或送入的空气量相等。因此，在隧道的中点，空气是静止的，风速为零，这一点称为中性点。除这一点以外，风速向两洞口呈直线增加。污染浓度在送风方式中各处是相同的，而在吸风方式中是中性点处最大。如果双向的交通流量不等，或两洞口的气象条件发生变化，则中性点的位置也随之变动。

单向交通时，送风方式的中性点多半移至进口之外，吸风方式的中性点则靠近出口；污染浓度和双向交通时一样，中性点附近污染浓度最高。

鉴于吸风方式的通风效率较低，且污染浓度非常不均匀，故一般不采用，而普遍采用送风方式。半横向式通风适用于 1~3 km 长的隧道。

3) 全横向式通风

在通风机的作用下，风流的方向与隧道轴线方向正交的称为横向式通风。上述几种通风方式都存在纵向风速较大和火灾时对下风侧不利的问题。所以，在长大隧道、重要隧道和水底隧道中，最好是采用全横向式通风。这种通风方式同时设置送风管道和吸风管道，隧道内基本上不产生沿纵向流动的风，只有横向的风流动，见图 1-37。

在双向交通时，车道的纵向风速大致为零，污染浓度的分布沿全隧道大体均匀。但是，在单向交通时，因为交通风的影响，在纵向能产生一定风速。污染浓度由入口至出口有逐渐增加的趋势，一部分污染空气会直接由出口排向洞外，这种排风量有时占很大比例。但通常情况下，可以认为送风量与吸风量是相等的，因而设计时也把送风管道和吸风管道的断面面积设计成一样。

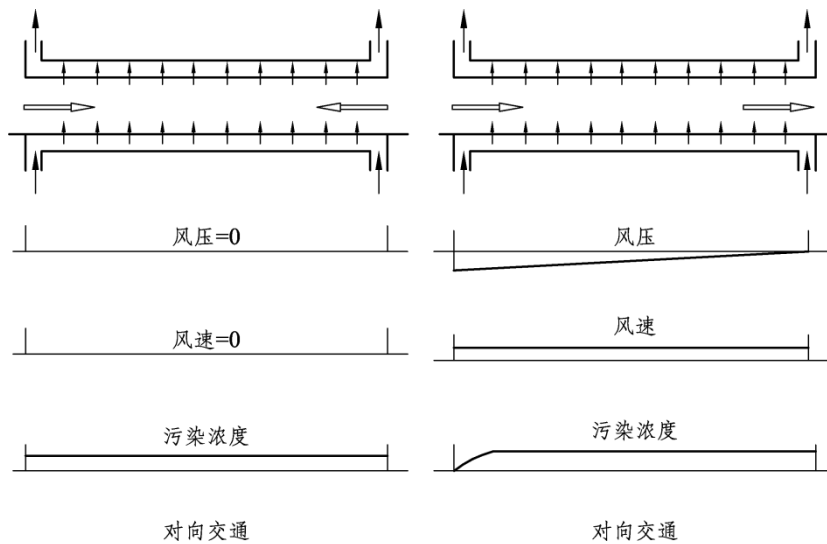


图 1-37 全横向式通风示意

4) 混合式通风

混合式通风没有固定的格局，可以由上述几种基本通风形式组合而成，一般都是用于公路隧道。

2. 不同类型的隧道与通风方式的关系

1) 水底隧道通风

水底隧道通风的要求比较高，从重要性和安全性上都宜采用可靠性高的全横向式通风。而圆形断面的水底隧道比矩形断面更适合采用这种通风方式，因为圆形断面除了车道空间外，还有多余的空间可以利用，可由车道板下面的空间送风，用顶棚以上的空间排风，其效果相当于半横向式通风的两倍。

2) 城市隧道通风

城市交通隧道的交通量一般都很大，且车流不稳定，而全横向式通风和半横向式通风不受交通状况的影响，所以这两种方式都可以用。如果在隧道内设置人行道和自行车道时，从安全和舒适的角度考虑，全横向式通风最为理想，其送风口通常设在两侧距车道面约 1 m 高的位置上，这就能保证行人最先呼吸到新鲜空气。全横向式通风沿隧道纵向几乎没有风流动，使行人感觉不到风速产生的不舒适，也可以保证自行车的稳定和安全。

3) 山岭隧道通风

山岭隧道通风要更多地考虑经济性，多半采用纵向式通风或者半横向式通风，一般不采用全横向式通风。

3. 通风风速与交通条件

1) 风速要求

当隧道纵坡大或很长时，所需的通风量会很大，因而可能使得车道空间沿隧道纵向流动的风速过大，对车辆产生不良影响，使人感到不舒服，此时应考虑改变通风方式或进行分段通风。此外，万一发生火灾，过大的风速会导致烟火迅速蔓延，危及下风方向的车辆和行人。所以对风速应当有一定的限制。我国规定单向交通隧道设计风速不宜大于 10 m/s，特殊情况可取 12 m/s；双向交通的隧道设计风速不应大于 8 m/s；人车混合通行的隧道设计风速不应大于 7 m/s。

2) 交通条件对通风的影响

单向交通时，车速越大，活塞作用越显著。例如车速为 50~60 km/h 时，大约可以产生 6 m/s 的交通风（活塞风）。这种情况以纵向式通风为宜。不过车速与交通量有密切关系，随着交通量的增大，往往容易发生交通阻滞，导致车速降低，从而影响活塞作用的效果。这时交通风处于不稳定状态，所以最好改用半横向式或全横向式通风。车道的平均截面积与隧道的过风面积的比值是直接影响活塞作用的参数，比值越小则活塞风越大。具体说来，大型车所占百分比大时，活塞作用相对较大。双向交通的隧道则因为风流效果互为抵消，故没有活塞作用。

五、运营照明设施

公路隧道要求长度超过 100 m 的高速公路、一、二级公路隧道设置昼夜不断的照明，而对于能通视、交通量较小、行人密度不大的短隧道可不设白天的照明。司机在开车接近、进入和开出隧道的过程中会遇到几种视觉问题，这些问题必须解决，否则将会导致严重的交通事故。

1. 照明区段的划分

白天，由于隧道内外的亮度差别极大，当汽车驶近洞口时，会感到洞口很黑，影响司机辨别洞口附近的情况，特别是从洞外进入洞内时，长隧道会看到“黑洞”，短隧道会看到“黑框”，这就是所谓的“黑洞效应”。

汽车由明亮的外部进入即使是不太暗的隧道以后，人要经过一段时间才能看清洞内的情况，这称为“适应的滞后现象”。

隧道内部由于汽车排放的废气很难迅速消散，形成烟雾，它可将汽车头灯发出的光吸收和散射，从而降低能见度。

当车辆从亮度低的洞内接近出口处时，由于外部亮度极高，出口看上去是个“白洞”，这就是所谓的“白洞效应”。开出洞外时，还会感到极强的眩光，司机的眼睛会感到很不适应。

解决这些视觉问题的方法是设置合理的灯光照明，长隧道的照明可以分为洞口接近段、入口段、过渡段、中间段、出口段五个区段，参见图 1-38。

2. 洞外接近段的减光建筑物与减光措施

1) 遮阳棚

遮阳棚设置在洞口外，是为减弱自然光亮度而建筑的拱棚状构造物。其顶棚为透光构造，形如网状结构，网孔大多为透空的，称为开放式构造；也有用玻璃封闭的，称为封闭式构造。

网孔应设计成不准阳光直接投射到路面上。设计遮阳棚应以当地日照图为依据，由太阳的高度角和方位角计算出遮阳棚的尺寸、间隔和倾斜角度。

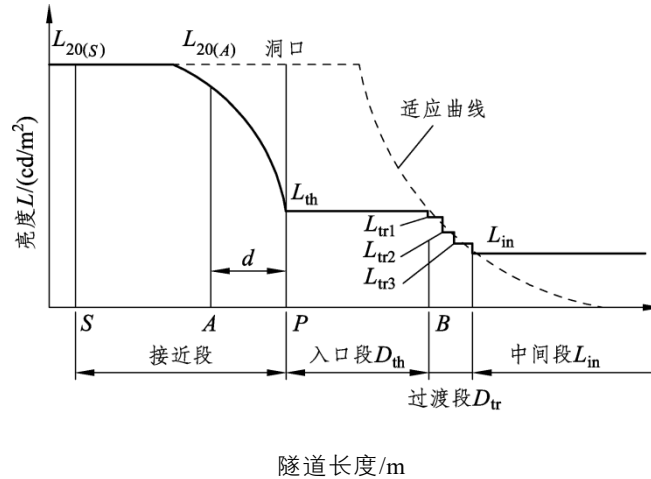


图 1-38 各照明段亮度与长度

P —洞口或棚口 S —接近段起点 A —适应点
 d —适应距离 $L_{20(S)}$ —洞外亮度 $L_{20(A)}$ —适应点亮度 L_{th} —入口段亮度
 $L_{tr1}L_{tr2}L_{tr3}$ —过渡段亮度 L_{in} —中间段亮度 $D_{tr1}D_{tr2}D_{tr3}$ —过渡段 123 分段长度

2) 遮光格栅

遮光格栅也是一种棚状减光建筑物，但构造较简单。其主要特点是允许阳光直接投射到路面上，这是它与遮阳棚的根本区别。

减光建筑物可以设置得很长，长度可达百米，给工程增加了很多造价，但长度过短时又起不到作用；所以除重要的大交通量公路隧道外，一般不予设置。

3) 其他减光措施

- (1) 从接近段起点起，在路基两侧种植常青树。
- (2) 采用削竹式洞门形式。
- (3) 大幅绿化坡面。
- (4) 洞口采用端墙形式时，墙面宜采用冷色调，其反射率应小于 0.17。

此外，在接近段起点处的 20° 视场中，天空面积小于 50% 时，不宜设置遮光棚。

六、电缆槽与其他设施预留槽

公路隧道的电缆槽与铁路隧道的电缆槽在构造上基本相同，但由于公路隧道的照明与通风标准比铁路隧道要求高，因此电缆槽所需空间通常要比铁路隧道大，并且应按动力电缆（又称“强电”）和通信电缆（又称“弱电”）分别放置在隧道两侧。

此外，公路隧道还需留有设置消防水管的位置；在城市地区的交通隧道，还可能需留有通过其他市政管道（如自来水管、排污管等）的位置。这类管道通常与通信电缆一起放置在隧道一侧。

七、防排水设施

保持干燥是隧道能够正常运营的重要条件之一。但隧道内经常会有一些地下水渗漏进来，且维修工作也会带来一些废水，致使隧道潮湿。洞内湿度大，会使钢轨及扣件易于锈蚀，木枕容易腐烂，从而降低设备的使用寿命。隧道漏水还会引起漏电事故和造成金属的电蚀现象。在严寒地区，冬季渗入洞内的水结成冰凌，倒挂在衬砌拱圈上，侵入净空限界，危及行车安全。有时道床冒水，结成冰膜，遮盖轨面，需要人工破冰。这些都增加了隧道维修养护的费用。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。

1. 治水原则与措施

隧道治水遵循“防、排、截、堵结合，因地制宜，综合治理”的原则。

(1) “防”：在隧道衬砌结构本身上下功夫，使其具有一定的防水能力。如采用防水混凝土使衬砌本身达到一定的抗渗强度，采用止水带封闭衬砌变形缝，等。大量采用的是设置防水层。

(2) “排”：将地下水通过暗管、盲沟排入隧道内，再经由洞内水沟排走，通过排水可以减少渗水压力和渗水量。但大量排水也可能引起负面效果，如将衬砌背后的砂砾淘空，形成空洞，还可能造成当地农田灌溉和生活用水困难等；因此在落实过程中，务必调查清楚。

(3) “截”：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：

□在洞口边仰坡开挖线 5 m 以外，设置排水沟（称为“截水天沟”），并加以铺砌。当岩石外露、地面坡度较陡时也可不设此水沟。仰坡上可种植草皮、喷抹灰浆或加以铺砌。

□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，不应妨害当地农田水利规划，做到因地制宜。

(4) “堵”：将地下水堵在围岩层中，不使其渗入隧道。普遍采用的方法是压浆，即向衬砌背后压注止水材料（水泥浆液、化学浆液等），用以充填衬砌与围岩之间的空隙，以堵住地下水的通路，并使衬砌与围岩形成整体，改善衬砌受力条件；还可采用压浆分段堵水，使地下水集中在一处或几处后再引入隧道内排出。

2. 隧道内排水建筑物

1) 排水沟

除常年干燥无水的隧道以外，一般的隧道都应设置纵向排水沟，以便将渗漏到洞内的地下水和铁路道床内或公路车道上的积水，顺着线路方向排出洞外。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。水沟应用预制的钢筋混凝土盖板遮盖，铁路隧道中盖板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，以便随时清理淤渣。水沟边墙上应预留足够的泄水孔。常见的铁路隧道排水沟如图 1-39，公路隧道排水沟如图 1-40 所示。

在严寒地区，为了不使流水冻结而堵死水沟，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。两层盖板之间用保温材料充填密实，其厚度不小于 70 cm。但当浅埋保温水沟不足以防止冻害时，可考虑设置中心深埋渗水沟，即利用地温本身的作用，达到保温防冻害之目的。

公路隧道电缆槽与水沟的相互位置与铁路隧道有所不同。铁路隧道中的水沟设置在靠近

衬砌边墙处，而电缆槽则设在靠轨道一方，这是为了让水沟更好地排除衬砌背后的地下水，同时也有利于保证电缆槽的干燥。而在公路隧道中，除了要排走衬砌后面的地下水外，还要排走道路清洁冲洗后的废水和下雨时汽车带进来的雨水，因此水沟一般设于靠车道一方，而电缆槽设于靠衬砌一方，正好与铁路隧道的设置方位相反，衬砌背后的地下水则由排水暗管排入水沟，见图 1-40。

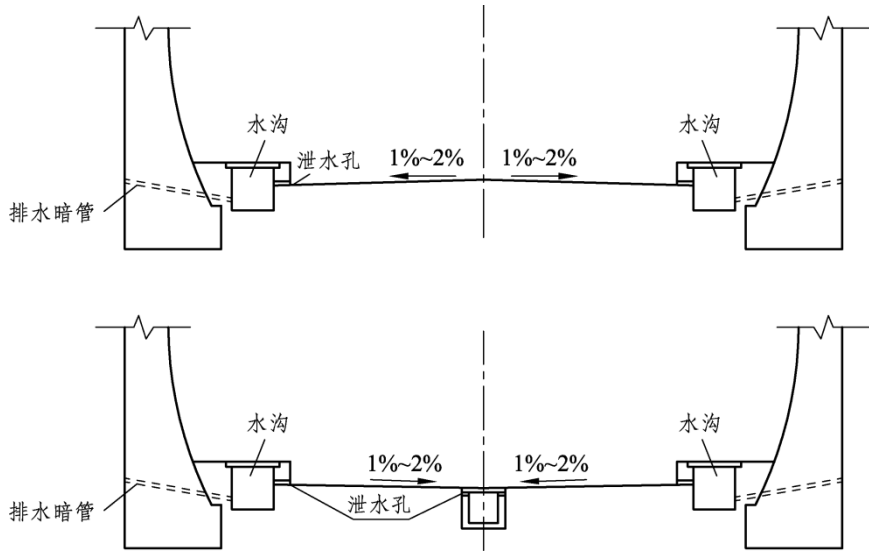


图 1-39 铁路隧道排水沟示意

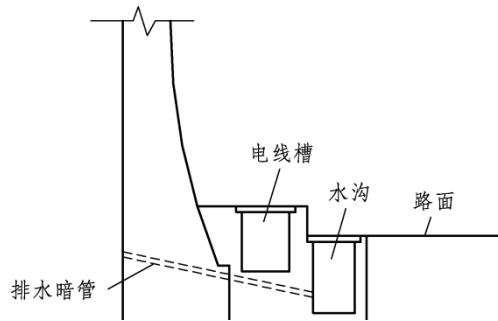


图 1-40 公路隧道排水沟示意

2) 盲沟

在衬砌背后砌筑片石盲沟或埋置弹簧软管盲沟。盲沟沿隧道环向设置，间距视水量大小而定，一般为 4~10 m。环向盲沟之间用纵向盲沟相连，汇集衬砌周围的地下水，引入隧道侧沟排出。

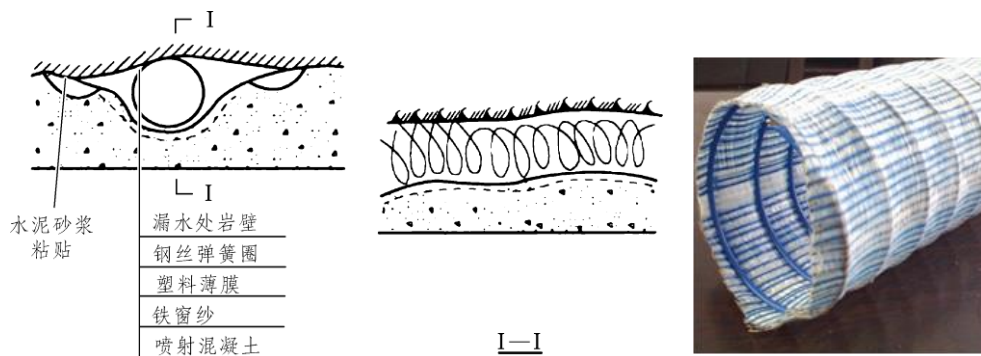


图 1-41 弹簧软管盲沟

(1) 弹簧软管盲沟。这种盲沟一般采用 10 号钢丝缠成直径为 5~6 cm 的圆柱形弹簧，或采用硬质又具有弹性的塑料缠成半圆形的弹簧，或采用带孔塑料管作为过水通道的骨架，安装时外覆塑料薄膜和钢窗纱，从渗流水处开始环向铺设并接入泄水孔。

(2) 化学纤维渗滤布盲沟。这种盲沟是以结构疏松的化学纤维作为水的渗流通道，其单面有塑料薄膜，安装时使薄膜朝向混凝土一面，如图 1-42 所示。这种渗滤布式盲沟质量轻，便于安装和连续加垫焊接，宽度和厚度也可以根据渗排量的大小进行调整，是一种用于汇集、引排大面积渗水的较理想的渗水盲沟。

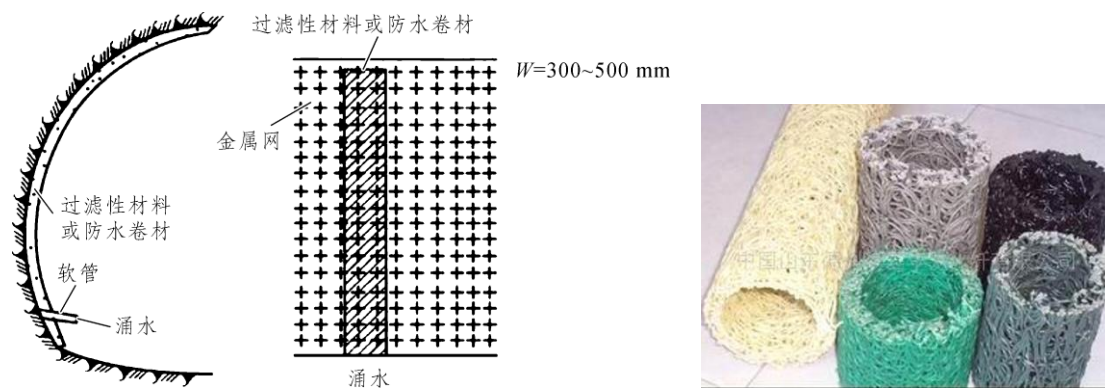


图 1-42 化学纤维滤布盲沟

任务六 认知隧道辅助坑道

【学习目标】

- (1) 了解隧道辅助坑道的作用。
- (2) 掌握不同辅助坑道的特点与要求。

【任务描述】

通过对隧道辅助坑道相关知识的学习，能根据不同辅助坑道的形式、作用、修建情况，

结合隧道现场条件，为隧道施工选择合适的辅助坑道。

【相关知识】

当隧道较长时，可选择设置适当的辅助坑道，如横洞、斜井、竖井、平行导坑等，用以增加施工工作面，加快施工速度，改善施工条件（通风、排水）。

设置辅助坑道可能使隧道工程造价提高；辅助坑道选择适当与否，会影响其作用的发挥。因此，在选择辅助坑道时应根据是否将其作为永久通风通道、工期要求、施工组织、地形条件、地质及水文地质情况、弃渣场地、具备的施工机具、经济性等各个方面综合考虑。其断面尺寸由地质及施工需要、机具情况而定，一般不宜过大。在无特殊要求时，辅助坑道的支护一般只要求能够保证施工期间的稳定和安全即可。

一、横洞

横洞是在隧道侧面修筑的与之相交的坑道。当隧道傍山沿河、侧向覆盖层较薄时，就可以考虑设置横洞。

横洞布置见图 1-43，为便于车辆运输，相交处可用半径不小于 7 倍轴距的圆曲线相连。运输方式可采用无轨运输或有轨运输。但应注意，横洞纵坡因考虑到便于排水及重车下坡运输方便，有轨运输时应向外设不小于 3% 的下坡，无轨运输时可视车辆情况而定。

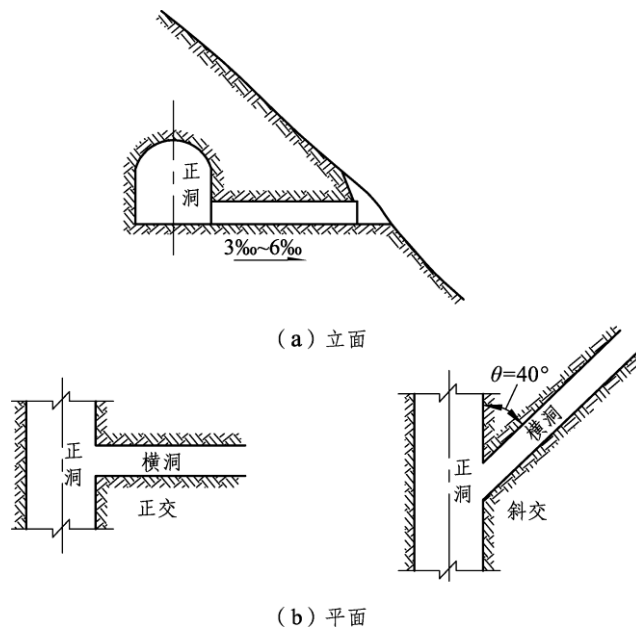
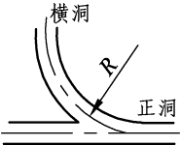
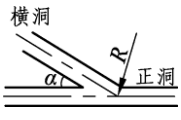


图 1-43 横洞布置示意

一般情况下，横洞不长，故较经济，因此在地形条件允许时，宜优先考虑采用横洞来增辟工作面。

横洞与隧道的交角一般不小于 60° ，地形限制时不宜小于 40° ，交角太小则锐角段围岩较易坍塌，斜交时最好朝向主攻方向。横洞与隧道的连接形式有双联式或单连式（表 1-2），相交处用半径不小于 12 m 的曲线连接。

表 1-2 横洞与隧道的连接形式

连接形式	图式	说明	连接形式	图式	说明
单连式	正交		双连式	正交	横洞与隧道的平面交 $40^\circ \sim 60^\circ$; R 不小于 7 倍机车车辆轴距 R 不小于机车车辆轴距; L 为 $15 \sim 25$ m
	斜交			斜交	

在考虑把横洞作为运营时的通风口的情况下，横洞断面大小应按通风要求及施工需要一并考虑，并宜修筑（至少在两端适当长度范围内）永久衬砌。

遇隧道洞口处桥隧相连影响施工，或地质条件差，地形条件不利，路堑开挖量大且尚未完工而需进洞等情况，并且又有条件在洞口近处设置横洞时，可利用横洞进入正洞以避免施工干扰和提前进洞加快施工速度。

二、平行导坑

平行导坑是与隧道平行修筑的坑道。对于长大越岭隧道，由于地形限制，或因机具设备条件、运输道路等条件的限制，无法选用横洞、竖井、斜井等辅助坑道时，为加快施工速度，及超前地质勘察，可采用平行导坑方案。但由于多开挖一个导坑会使工程造价提高，因此对于 3000 m 以上的隧道，无其他辅助导坑可设时才考虑平行导坑方案。大断面开挖的隧道，采用大型机具施工，干扰小，施工条件（如通风、排水、运输等）也好，因此一般不需采用平行导坑。

1. 平行导坑在隧道施工中的作用

平行导坑超前掘进，可进行地质勘察，充分掌握前方地质状况；平行导坑通过横通道与正洞联络，可以增加正洞工作面，加快施工速度，且构成巷道式通风系统、排水降水系统、进料出渣运输系统，可以将洞内作业分区段进行，减少相互干扰；此外还可以构成洞内测量导线网，提高测量精度。

2. 平行导坑设计及施工要点

(1) 平行导坑的平面布置如图 1-44 所示。平行导坑一般设于地下水流向隧道的一侧，以利用其进行排水，使正洞干燥，但同时也应结合地质情况及弃渣场地等条件综合确定。平行导坑与正洞之间的最小净距，应视地质条件、施工方法、导坑跨度等因素确定，并考虑由于导坑开挖而形成的两个“自然拱”不相接触为好，否则容易造成塌方。一般平行导坑距正洞约为 20 m。平行导坑底面标高应低于隧道底面标高 0.2~0.6 m，以有利于正洞的排水和运输。纵坡原则上与隧道纵坡一致，或出洞采用 0.3% 的下坡。

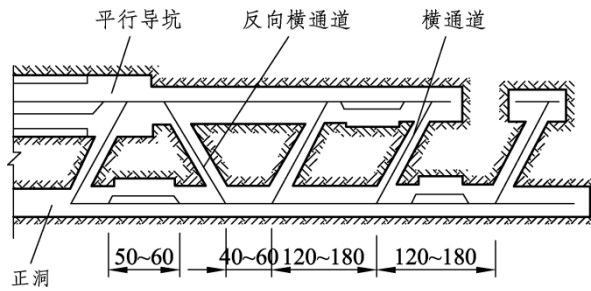


图 1-44 平行导航布置示意单位m

(2) 初进洞时可在适当长度(500 m左右)不设横通道,以后,每隔120~180 m设一个横通道,以便于运输。为方便运输调车作业,每隔3~4个横通道设置一个反向横通道(图1-44)。从维持围岩稳定和运输顺畅考虑,横通道与隧道中线的平面交角一般以 $40^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 为宜;夹角过小则夹角中围岩易坍,并且增加了横通道的长度;夹角过大则运输线路的运行条件差。横通道坡度则由正洞与平行导坑的高差而定。

(3) 平行导坑修筑衬砌与否,视地质情况而定,一般可不修筑;当考虑作为永久通风道或泄水洞时应施作衬砌。

(4) 为更好地发挥平行导坑增辟工作面的作用,以及利用平行导坑超前预测正洞经过地带的地质情况,平行导坑应超前正洞导坑两个横通道以上间距,但也不宜过大,以减少平行导坑施工通风等的困难。

(5) 平行导坑一般采用有轨运输。正洞的各项作业应分区分段进行,以减少干扰。分区分段长度应结合横通道及运输组织来选择。

在平行导坑中,一般都采用单道运输,为满足运输调车的需要,可每隔2~3个横通道铺设一个双道的会车站,其有效长度一般为50~60 m,如图1-44。

三、斜井

斜井是在隧道侧面上方开挖的与之相连的倾斜坑道。当隧道洞身一侧有较开阔的山谷且覆盖层不太厚时,可考虑设置斜井。

斜井设计、施工应注意以下事项:

(1) 当隧道埋深不大,地质条件较好,隧道侧面有沟谷等低斜井洼地形时,可采用斜井作为辅助坑道。斜井的平、剖面如图1-45。

(2) 斜井长度一般不超过200 m,以降低工程造价及保证运输效能。因此,在选用较长斜井方案时,应作经济性比较。

(3) 斜井井口位置不应设在洪水淹没处。洞口场地最小宽度一般不应小于20 m,以利井口场地布置及卸料出渣,井身避免穿越含水量大及不良地质区段。斜井设置位置应能使其充分发挥增辟工作面的作用。斜井仰角的大小,主要考虑斜井长度及施工方便,一般以不大于 25° 为宜,且井身不宜设变坡。斜井与

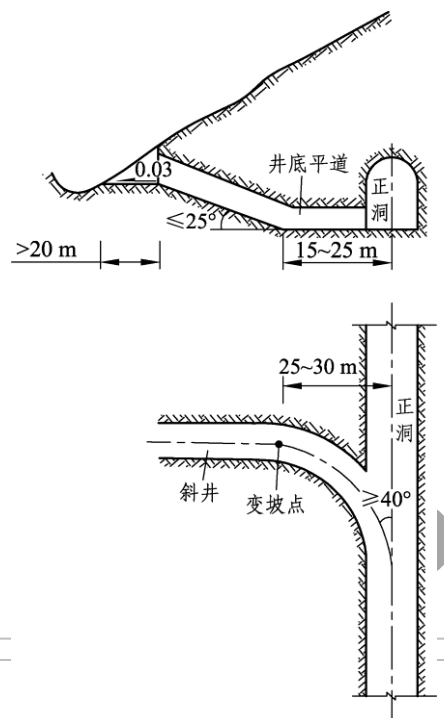


图 1-45 斜井布置示意

隧道中线的夹角不宜小于 40° ，并在与隧道连接处宜用 $15\sim 25\text{ m}$ 的水平道相连，以便于运输作业和保证运输安全。井口场地通常设有向洞外的不小于 0.3% 的下坡，以防车辆溜向洞内造成事故，且有利于排水。

(4) 斜井与隧道正洞的平面连接形式有单连式、斜双连式和正交双连式三种。采用单连式时，斜井与正洞中线的平面交角不宜小于 40° ，此连接方式施工比较简单，多在用皮带输送机或梭式矿车出渣时采用。图 1-46 为斜交双连式，特点是在对着斜井的井底车站前方，有一段安全岔线。即使斜井中发生溜车事故，也不会影响正洞施工的安全。其技术数据为：斜井井底变坡点与正洞中线的距离应不小于 $25\sim 30\text{ m}$ ；车站长度不小于 $8\sim 12\text{ m}$ ；安全岔线长度不小于 $8\sim 10\text{ m}$ ；连接曲线半径为 $7\sim 10$ 倍的车辆轴距；双通道与正洞平面交角为 $30^\circ\sim 35^\circ$ 。正交双连式的特点及基本数据与斜交双连式相同，不同的是安全岔线设于两通道中间的岩体之中，开挖爆破时容易引起坍塌，故必须加强支护。

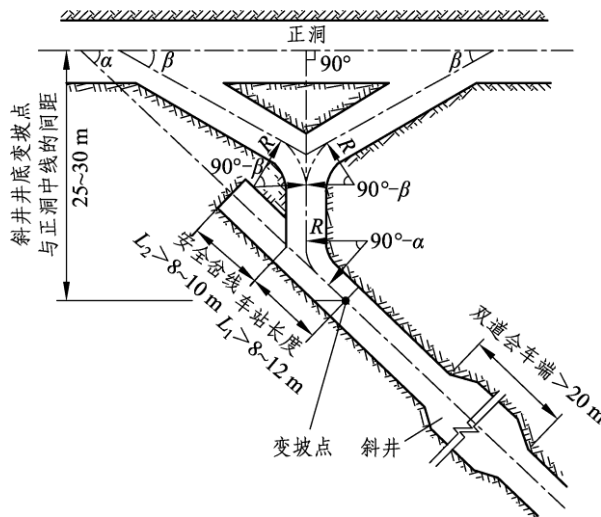


图 1-46 斜交双连式示意图

(5) 提升机械一般用卷扬机牵引斗车，坡度很小时亦可采用皮带输送或无轨运输，斜井内的轨道数视出渣量而定。坑道大小在为单线行车道时，一般底宽为 2.6 m ；为三轨双线行车道时，底宽为 3.4 m ；为双线行车道时，底宽为 4.1 m （以上均包括单侧设宽 70 cm 的人行道）。坑道高度通常 $\geq 2.6\text{ m}$ 。其中，以单线或三轨双线较为常用，并在斜井中部设有 $20\sim 30\text{ m}$ 的四轨双线错车道，这样可减少断面及节约运输器材。在斜井需作为通风道时，其断面大小应满足通风要求。

(6) 井口段应修筑衬砌，其他部分视地质条件及是否作为永久通风道等条件决定是否修筑永久衬砌。

(7) 施工期间应作好井口防排水工程，严防洪水淹没。卷扬机牵引斗车需防止钢丝绳中断或脱钩等事故。为此应严格控制牵引速度：斜井长小于 200 m 时，车速不大于 3.5 m/s ；斜井长超过 200 m 时，可适当提高车速。井口应设置安全闸（图 1-47），在斗车出洞后及时安好安全闸以防溜车。为防止斗车在坡道上因脱钩或钢丝绳断裂而下滑；可在斗车上或坡道上设置止溜沟，以阻止斗车继续下滑。也可以在斜井坡道终点或坡道中间适当位置设置安全

缆绳（图 1-47），由专人负责看守，在斗车经过后，即在坑道的两帮间缆以钢丝绳，万一斗车脱钩，也不致冲入井底车场而发生严重事故。此外，在井底调车场及井身每隔 30~50 m 宜设避险洞以保证作业人员安全。

（8）为保证施工安全，还应注意井底车场需加支撑，或修筑衬砌。为提高运输效率，可在井底调车场加设储渣仓，并尽量不在斜井口处进行摘挂作业。

四、竖井

竖井是在隧道上方开挖的与隧道相连的竖向坑道。

覆盖层较薄的长隧道或隧道在中间适当位置覆盖层不厚、具备提升设备、施工中又需增加工作面时，可用竖井增加工作面的方案。竖井深度一般不超过 150 m。

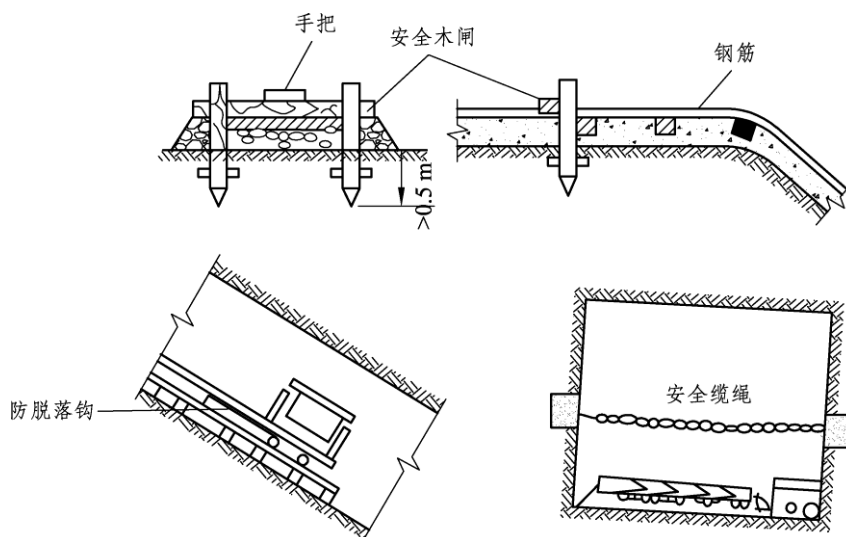


图 1-47 斜井安全设施

竖井的位置可设在隧道一侧，与隧道的距离一般情况下为 15~25 m；或设置在正上方。竖井设置在隧道一侧时，施工安全、干扰少，但通风效果差；竖井设在隧道正上方时，通风效果好，不需另设水平通道，但施工干扰大，施工中不太安全。圆形断面的断面利用率低，但施工较方便，且受力条件好，故常作为在压力较大的围岩中修筑的临时性竖井和简易竖井的截面。

竖井的位置、断面形状，应根据施工要求、通风、是否作为永久通风道、造价等因素综合考虑确定。

【任务实施】

根据提供的教学图纸，列出本隧道的洞门结构形式、洞门材料、衬砌支护结构类型、隧道附属结构等，初步认识隧道。

【复习与思考】

1. 围岩的定义是什么？

2. 隧道的结构组成有哪些？
3. 隧道的衬砌形式有哪些？各有什么特点？
4. 隧道的附属建筑物有哪些？
5. 隧道洞门有哪几种形式？各有什么特点？
