

GONGLU SUIDAO SHIGONG

公路隧道施工

王东杰 主 编
郝 锋 副主编
李辅元 主 审



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

GONGLU SUIDAO SHIGONG

公路隧道施工

王东杰 主 编
郝 锋 副主编
李辅元 主 审



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

全书共十一章；按照现行的规范和规程进行编写。内容主要包括：绪论、公路隧道结构构造、围岩压力、山岭公路隧道的传统矿山法施工、公路隧道新奥法施工、公路隧道现场监控量测、盾构法施工、沉管法施工、浅埋隧道施工、隧道施工辅助稳定措施和隧道施工辅助作业。本书符合高等职业教育理论必须、够用和以学生为主体的原则，每章后附有本章小结和习题。

本书可作为高等职业技术学院隧道及地下工程、公路与城市道路、桥梁工程专业的教学用书，同时也可供交通中等职业教育师生及各类培训人员学习使用，还可供从事公路隧道监理、施工的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

公路隧道施工/王东杰主编. —北京：中国电力出版社，2010

ISBN 978-7-5083-9866-2

I. ①公… II. ①王… III. ①公路隧道—隧道工程—工程施工—高等学校：技术学校—教材 IV. ①U459.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 226751 号

中国电力出版社出版发行

北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>

责任编辑：王晓蕾 责任印制：陈焊彬 责任校对：朱丽芳
航远印刷有限公司印刷 · 各地新华书店经售

2010 年 2 月第 1 版 · 第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16 · 15.75 印张 · 392 千字

定价：35.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

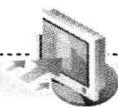
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本社购书热线电话 (010-88386685)

前言

公路隧道施工



随着我国公路建设事业的迅速发展，对交通职业教育提出了更高的要求。为了满足交通高等职业技术教育实用型人才对公路隧道基础知识的需求，根据现行规范编写了此书。书中涉及的规范主要有：《公路隧道设计规范》（JTG D70—2004）、《公路工程技术标准》（JTG B01—2003）、《公路隧道施工技术规范》（JTJ 042—1994）、《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80/1—2004）、《锚杆喷射混凝土支护技术规范》（GB 50086—2001）等。

本书在编写过程中坚持以培养学生职业能力为核心，在内容选择上注重实用性、时效性和可操作性，密切联系工程实际，及时快速地反映交通行业对工程专业技术人员的需求变化。对于围岩的分级，只介绍了我国现行公路隧道围岩分级法，其他围岩分级方法并没有介绍，以减少篇幅。另外，本书注重新方法、新技术和新工艺的应用，比如，盾构技术越来越多地应用到隧道施工中，因此本书对应用盾构技术修建隧道作了比较详细的介绍，从而使本书的内容更加实用。

本书深浅适度，重点突出。同时，每章后附有本章小结和习题，方便学生更好地掌握书中内容。任课教师可根据各自院校的实际情况，在教学过程中可对书中内容作适当的删减。

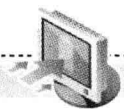
本书由吉林交通职业技术学院王东杰主编，陕西交通职业技术学院郝锋副主编，吉林交通职业技术学院李辅元主审。编写人员有：吉林交通职业技术学院王东杰编写绪论、第2章、第3章，陕西交通职业技术学院郝锋编写第4章、第6章、第9章、第10章，吉林交通职业技术学院郭梅、姜仁安编写第5章，吉林省高速公路管理局四平管理处王海军编写第7章。吉林交通职业技术学院张旭、刘仲波编写第8章，吉林交通职业技术学院申建编写第11章。

由于编者水平和经验所限，书中难免有谬误和疏漏之处，请读者批评指正。

编者

目 录

公路隧道施工



前言

第 1 章 绪论	1
1.1 隧道的概念、作用及特点	1
1.2 公路隧道施工方法	2
1.3 隧道工程的发展情况	3
1.4 我国公路隧道的发展情况	4
第 2 章 公路隧道结构构造	6
2.1 隧道建筑限界及内部轮廓	6
2.2 衬砌材料与构造	8
2.3 明洞.....	14
2.4 洞门.....	16
2.5 内部装饰、顶棚及路面.....	19
2.6 隧道的附属设施.....	22
2.7 防排水设施.....	30
本章小结	32
习题	32
第 3 章 围岩压力	33
3.1 隧道围岩分级.....	33
3.2 围岩压力及成拱作用.....	38
3.3 深埋隧道围岩压力的确定.....	41
3.4 浅埋隧道围岩压力的确定.....	43
3.5 围岩压力量测简介.....	47
本章小结	47
习题	48
第 4 章 山岭公路隧道的传统矿山法施工	49
4.1 隧道施工的基本方法.....	49
4.2 隧道矿山法施工.....	53
4.3 隧道开挖.....	60
4.4 隧道支撑.....	88
4.5 隧道衬砌施工.....	93
本章小结	98
习题	98

第 5 章 公路隧道新奥法施工	99
5.1 隧道新奥法的基本原理与施工程序	99
5.2 新奥法施工的基本方法	102
5.3 隧道施工开挖	107
5.4 锚杆施工	108
5.5 喷混凝土施工	112
5.6 钢架制作与安设	117
5.7 防水层及二次衬砌施工	120
本章小结	131
习题	131
第 6 章 公路隧道现场监控量测	133
6.1 隧道监控量测的意义及作用	133
6.2 隧道监控量测的实施	135
6.3 隧道监控量测数据的处理与应用	148
本章小结	152
习题	152
第 7 章 盾构法施工	153
7.1 盾构法概述	153
7.2 盾构的分类与构造	155
7.3 盾构施工的准备工作和开挖和推进	166
7.4 盾构衬砌施工	174
本章小结	180
习题	181
第 8 章 沉管法施工	182
8.1 沉管法的概述	182
8.2 干坞修筑和管段预制	184
8.3 基槽开挖和航道疏浚	189
8.4 管段浮运、沉放及水下连接	190
8.5 基础处理	197
本章小结	201
习题	201
第 9 章 浅埋隧道施工	202
9.1 明挖法施工	202
9.2 盖挖法施工	205
9.3 浅埋暗挖法施工	207
本章小结	212
习题	212

第 10 章 隧道施工辅助稳定措施	213
10.1 概述	213
10.2 适用施工辅助措施的围岩及地形条件	214
10.3 辅助稳定措施的施工	218
本章小结	224
习题	224
第 11 章 隧道施工辅助作业	225
11.1 施工通风	225
11.2 压缩空气供应及施工给排水	228
11.3 供电与照明	233
11.4 施工用辅助坑道	237
本章小结	243
习题	244
参考文献	245

第 1 章 绪 论

隧道是一种修建在地下的工程结构物。随着人类文明及现代工程技术的发展,隧道以其位于地下这一特点,已被广泛地应用于交通、矿山、水利及国防等领域,现已成为土木工程的一个重要分支。交通运输类隧道与其他用途的隧道相比,不仅长度长、数量多而且在施工中遇到的工程地质和水文地质条件也比较复杂,对其平面、纵断面、横断面及形状、尺寸有较为严格的要求。

1.1 隧道的概念、作用及特点

隧道一般是指用作地下通道的工程建筑物。通常可分为两大类:一类是修建在岩层中的,称为岩石隧道;一类是修建在土层中的,称为软土隧道。岩石隧道修建在山体中的较多,故又称为山岭隧道;软土隧道常常修建在水底和城市立交,故称为水底隧道和城市道路隧道。埋置较浅的隧道,一般采用明挖法施工;埋置较深的隧道则多采用暗挖法施工。用作地下通道的有公路隧道、水底隧道、城市道路隧道、地下铁道、铁路隧道和航运隧道等。本书主要讨论公路(道路)隧道。

隧道在山岭地区可用来克服地形或高程障碍、改善线形、提高车速、缩短里程、节约燃料、节省时间、减少对植被的破坏、保护生态环境;还可用来克服落石、坍方、雪崩、崩塌等危害。在城市可减少用地、构成立体交叉、解决交叉路口的拥挤阻塞和疏导交通;在江河、海峡、港湾地区,可不影响水路通航。修建隧道能使路线平顺、行车安全、节省费用,能提高舒适性,战时能增加隐蔽性和提高防护能力,并且不受气候影响。

隧道是地下工程建筑物,为保持坑道岩体的稳定,保障交通安全,需要修筑主体建筑物和附属建筑物。前者包括洞身衬砌和洞门建筑,后者包括通风、照明、防排水、安全设备等。

洞身衬砌的作用是承受围岩压力、结构自重和其他荷载,防止围岩塌落、风化、防水、防潮等;洞门的主要作用是防止洞口塌方落石、保持仰坡和边坡的稳定。通风、照明、防排水、安全设备等的作用是确保行车安全、舒适。

隧道衬砌在结构计算理论和施工方法两方面与地面结构物相比有很多不同之处,最主要的是埋置在地层里的衬砌结构所承受的荷载比地面结构复杂。所以在设计衬砌时,除计算复杂多变的围岩压力外,还要考虑围岩的自承能力以及衬砌与围岩之间的相互作用。

隧道施工与地面建筑施工也不同,空间有限、工作面狭小、光线暗、劳动条件差,给施工增加了难度。隧道在勘察设计时地质条件是重要依据之一。从规划设计初期开始,就应该在较大范围内把地质调查工作摆在头等重要位置上,做好详细的工程地质调查和水文地质调查,以便选择合理的隧道位置,考虑好与引线的接线方式,判断可能的断面形状和施工方法以及可能遇到的问题等。

1.2 公路隧道施工方法

隧道施工方法是指隧道开挖、支护与量测方法、施工技术和施工管理的总称。

根据隧道穿越地层的不同地质条件和施工技术水平的的发展,公路隧道施工方法分为以下几类:

(1) 山岭公路隧道施工方法。

1) 矿山法(钻爆法)。

①传统矿山法。

②新奥法。

2) 掘进机法。

(2) 浅埋及软土隧道施工方法。

1) 明挖法。

2) 浅埋暗挖法。

3) 地下连续墙法。

4) 盖挖法。

5) 盾构法。

(3) 水底隧道施工方法。分为沉埋法和盾构法。

隧道施工方法的选择主要依据工程地质和水文地质条件,并结合隧道断面尺寸、长度、衬砌类型、隧道的使用功能和施工技术水平等因素综合考虑研究确定。

隧道施工技术主要研究解决各种隧道施工方法所需的技术方案和措施,隧道穿越特殊地质和不良地质地段时的施工手段,隧道施工过程中的通风、防尘、防有害气体及照明、风水电作业的方式和围岩变化的量测监控方法等。

隧道施工管理主要解决施工组织设计(含施工方案选择、施工场地布置、施工技术措施、施工进度控制、材料供应、劳动力和机具安排等)和施工中的技术管理、计划管理、质量管理、经济管理、安全管理等。

由于隧道工程遇到的地质条件的复杂性及多变性,加之地质勘探的局限性,因而在隧道施工过程中经常会遇到地质突变情况,意外塌方或涌水等问题,使原来制定的施工方案、技术措施和进度计划等也必须随之改变。因此,在隧道施工中应详细制定出灵活多变实用的隧道施工方案,以适应客观条件的变化,及时正确地处理隧道施工中所遇到的各种实际问题。

1.3 隧道工程的发展情况

人类很早以前就知道利用自然洞穴作为住处。当社会发展能制造挖掘工具时，就出现了人工挖掘的隧道。

在我国最早有文字记载的地下人工建筑物，出现在东周初期（约公元前七百年）。《左传》中有“……掘地及泉，隧而相见……”的记载。最早用于交通的隧道为“石门”隧道（见《中国大百科全书》交通卷第164页“公路隧道”条目），位于今陕西省汉中市褒谷口内，建于东汉明帝永平九年（公元66年）。用作地下通道的还有安徽亳州城内的古地下坑道，建于宋末元初（约十三世纪），是我国最早的城市地下通道。

在其他古代文明地区有很多著名的古隧道，如公元前2180~2160年前后，在古巴比伦城幼发拉底河下面修筑的人行隧道，是迄今已知的最早用于交通的隧道，为砖砌构造物。古代最大的隧道建筑物可能是那不勒斯与普佐利（今意大利境内）之间的婆西里勃隧道，完成于公元前36年，至今仍可使用。它是在凝灰岩中凿成的垂直边墙无衬砌隧道。

约于公元7世纪，我国隋末唐初时的孙思邈在《丹经》一书中记载了黑火药的制法。公元1225年以后传入伊斯兰国家，13世纪后期传到欧洲，17世纪初（1627年）奥地利的工业家首先用于开矿。1866年瑞典人诺贝尔发明黄色炸药达纳马特，为开凿坚硬岩石提供了条件。

近代隧道兴起于运河时代，从17世纪起，欧洲陆续修建了许多运河隧道。法国的兰葵达克（Languedoc）运河隧道，建于1666~1681年，长157m，它可能是最早用火药开凿的隧道。1830年前后，铁路成为新的运输手段。随着铁路运输事业的发展，隧道也越来越多。1895~1906年已出现了长19.73km穿越阿尔卑斯山脉的最大铁路隧道。目前最长的铁路隧道已达53.85km。较为完善的水底道路隧道建于1927年，位于纽约哈德逊河底的Holland隧道。现在世界上的长大道路隧道（2km以上）和长大水底隧道（0.5~2.0km）将近百条。

目前，世界上的科技发展正在开拓着两个引人注目的领域，一个是宇宙空间，一个是地下空间。隧道工程将会起着越来越重要的作用。

隧道工程的施工条件是极其恶劣的，尽管各种地下工程专用工程机械越来越多，在新奥法理论指导下使施工方法得到了根本性的改变，这得益于科技的发展，但体力劳动强度和施工难度仍然很高。历史上为了减轻劳动强度，人们曾经做过不懈的努力。在古代一直使用“火焚法”和铁锤钢钎等原始工具进行开挖，直到19世纪才开始钻爆作业，至今大约有一百多年的历史。在此期间发明了凿岩机，经过将近一个世纪的努力，发展成为今天的高效率大型多臂钻机，使工人们能从繁重的体力劳动解放出来。和钻爆开挖法完全不同的还有两种机械开挖法。一种是用于开挖软土地层的盾构机，发明于1818年，经过一个半世纪的不断改进，已经从手工开挖式盾构，发展到半机械化乃至全机械化盾构，能广泛用于各种复杂的软土地层的掘进；另一种是用于中等以上坚硬岩石地层的岩石隧道掘进机。首次试掘成功的隧道掘进机，诞生于1881~1883年，到现在已有一个多世纪的时间。目前，已经发展成大断面（直径10m以上）的带有激光导向和随机支护装置的先进的掘进机，机械化程度大大提

高,加上辅助的通风除尘装置,使工作环境得到了很大改善。目前应用高压水的射流破岩技术已经过关,它能以很快的速度在花岗岩中打出炮眼,再在坑道周边用高压水切槽,然后爆破破岩。优点是减少超挖,可以开凿出任意断面形状的坑道,保护围岩,降低支护成本,并能增加自由面以减少炮眼数和降低炸药消耗量。但消耗功率较大,设备成本较高,技术上还未达到十分成熟的程度。

20世纪初,普氏(普洛托季雅克诺夫)以均质松散体为基础,提出了地层压力的计算方法,但他把岩石假定为松散体,并把复杂的岩体之间的联系用一个似摩擦系数描写,这种做法显然过于粗糙,在工程中也常常出现失败的情况。不过,直到现在普氏理论还在应用着,因为这个方法比较简单。即使对不熟悉地质或不了解现场地质条件的人,也能运用普氏系数来进行设计。

新奥法是20世纪40年代开始发展起来的,它是以喷射混凝土和锚杆为主要支护手段的一种方法。这种方法把坑道的支护和衬砌与围岩看作是相互作用的一个整体,既发挥围岩的自承能力,又使支护起到加固围岩的作用。在确保坑道稳定的基础上,使设计更加合理、经济。目前这种方法还处于经验设计阶段,需要在实施过程中根据现场量测数据加以修正。新奥法与传统的矿山法相比,更能充分利用地层地质条件。随着理论上的日臻完善,将会在地下工程中得到更加广泛的应用。

1.4 我国公路隧道的发展情况

在全国解放后,我国公路隧道数量仅有30多座,其总长约为2.5km左右,其平均长度不足百米。1964年在北京至山西原平的四级公路上修建了两座200m以上的公路隧道,已经是非常大的工程。在改革开放后,高等级公路迅猛发展,出现了为数不少的长大、特长乃至超长隧道。据不完全统计,1993年全国有将近七百座二级以下公路隧道。2000年,我国公路隧道已达1684座,里程达628km。其中特长隧道为54km/15座、长隧道为207km/135座。2004年,全国已拥有公路隧道2495座,总长1245571m。随着高等级公路的继续发展,还会有更多的公路隧道出现。在高等级公路网中公路隧道发挥了突出的作用,使公路变得通畅、舒适,大大缩短了里程,对国民经济的发展起到了极大的促进作用,为用户提供了安全、方便、快捷、经济的交通运输条件。

今后,随着能源问题的矛盾日益尖锐,隧道因其在节能中的特别作用会越来越受到用户的欢迎。

隧道在为用户提供了方便的运输条件的同时,也增加了营运成本。为了使用户享有各种便捷舒适的交通环境,往往在设计过程中选择低线位,从而使路线大大减少了爬坡路段的长度,同时也节省了油耗,用户获得了最大限度的受益。但营运管理部门却不得不付出最高的成本,在交通量尚未达到足够数量之前,往往入不敷出。为此,有的甚至基本上不使用通风机,更有甚者连最基本的照明灯具也不能开启,使问题走向了反面。此外,营运安全性也变得越来越小,因为隧道越长安全隐患也越多,救援与疏散也越困难,设施的附加成本也越高。由于隧道是线状结构物,从设备的合理设计上考虑,长度大于2~2.5km以上的隧道,

无论供电、消防、供水都会变得不经济或变得很困难，不得不增加许多附加设备，从而增加了成本。设备越多，营运、养护管理也越困难，成本也越高，尤其像秦岭那样金字塔形的纵断地形。长度过大的隧道会带来许多问题，技术性的难题用多投入建设成本尚可解决，安全隐患却难以克服，如果没有足够的管理应急预案，将会产生灾难性后果。

公路隧道工程是一门综合性学科，作为一名公路隧道工程的工程师需要具备相当多的基础知识，除一般土木工程知识外，还应具备一定的交通工程、通风、照明、机电（强电、弱电）、营运管理等方面的知识。为了更好地掌握本学科的内容，读者有必要在有关学科中获得必要的补充知识。

第2章 公路隧道结构构造

知识要点

1. 隧道建筑限界及内部轮廓;
2. 衬砌材料种类与洞身衬砌类型;
3. 明洞的类型和适用条件;
4. 洞门的类型和适用条件;
5. 隧道的内部装饰、顶棚及路面;
6. 隧道的附属设施;
7. 隧道的防排水设施。

2.1 隧道建筑限界及内部轮廓

2.1.1 公路隧道建筑限界

为了保证车辆在隧道内安全地运行,隧道必须具有一定的限界空间,这个空间称为隧道

净空。隧道净空若不足,则不能保证车辆安全通行;净空若大了,则增加隧道开挖和衬砌工程数量,影响造价等。因此,必须从使用上、经济上和施工等方面综合考虑,并按公路等级决定隧道的建筑限界。

公路隧道建筑限界应符合《公路工程技术标准》(JTGB01—2003)第2.0.7条关于公路建筑限界的规定。公路隧道建筑限界净空尺寸主要是指净宽和净高。公路隧道建筑限界一般规定如图2-1所示。

在隧道建筑限界内,不得有任何部件侵入。特长、长及中长隧道,应根据需要按《公路工程技术

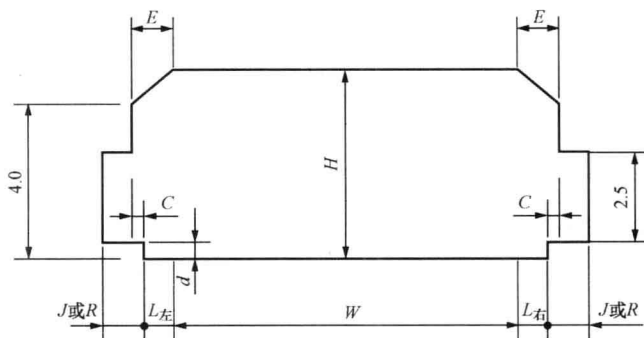


图 2-1 公路隧道建筑限界

W—行车道宽度; C—当设计速度大于100km/h时为0.5m,等于或小于100km/h时为0.25m; J—隧道内检修道宽度; R—隧道内人行道宽度; d—隧道内检修道或人行道高度; E—建筑限界顶角宽度; 当 $L \leq 1\text{m}$ 时, $E=L$; 当 $L > 1\text{m}$ 时, $E=1\text{m}$;
H—净空高度,一条公路应采用同一净高,高速公路、一级公路、二级公路的净高应为5.00m,三级公路、四级公路的净高应为4.50m

标准》第3.0.6条的规定设置紧急停车带。四级公路当采用4.5m的单车道路基时，应在适当距离内设置错车道。错车道应设在能使驾驶员看到相邻两错车道间相互驶来的车辆。设置错车道路段的路基宽度不小于6.5m，有效长度不小于20m。各级公路的行车道宽度，一般规定按《公路工程技术标准》表3.0.2布置。公路隧道按其长度分为四类，见表2-1。各级公路隧道建筑限界横断面组成最小宽度规定，见表2-2。

表2-1 隧道按长度分类

隧道分类	特长隧道	长隧道	中隧道	短隧道
隧道长度 L/m	$L > 3000$	$3000 \geq L > 1000$	$1000 \geq L > 500$	$L \leq 500$

注：隧道长度系指进出洞门端墙端面之间的距离，即两端洞门端面与路面的交线同路线中线交点间的距离。

表2-2 公路隧道建筑限界横断面组成最小宽度 (单位：m)

公路等级	设计速度 /km/h	车道宽度 W	侧向宽度 L		余宽 C	人行道 R	检修道 J		隧道建筑限界净宽		
			左侧 L_L	右侧 L_R			左侧	右侧	设检修道	设人行道	不设检修道、人行道
高速公路 一级公路	120	3.75×2	0.75	1.25			0.75	0.75	11.00		
	100	3.75×2	0.5	1.00			0.75	0.75	10.50		
	80	3.75×2	0.5	0.75			0.75	0.75	10.25		
	60	3.50×2	0.5	0.75			0.75	0.75	9.75		
二级公路	80	3.75×2	0.75	0.75		1.00				11.00	
	60	3.50×2	0.5	0.50		1.00				10.00	
三级公路	40	3.50×2	0.25	0.25		0.75				9.00	
四级公路	30	3.25×2	0.25	0.25	0.25						7.50
	20	3.00×2	0.25	0.25	0.25						7.00

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

2. 连拱隧道的左侧可不设检修道或人行道，但应设50cm（120km/h与100km/h时）或25cm（80km/h与60km/h时）的余宽。
3. 设计速度120km/h时，两侧检修道宽度均不宜小于1.0m；设计速度100km/h时，右侧检修道宽度不宜小于1.0m。

公路隧道横断面设计，除应符合隧道建筑限界的规定外，还应满足洞内路面、排水设施、装饰的需要，并为通风、照明、消防、监控、营运管理等设施提供安装空间，同时考虑围岩变形、施工方法影响的预留富裕量，使确定的断面形式及尺寸符合安全、经济、合理的原则。

2.1.2 隧道内部轮廓

隧道内部轮廓的类型，从使用、受力及施工三个方面的要求，分别介绍如下：

1. 使用方面要求

隧道衬砌的轮廓，应尽量接近隧道净空，以使开挖的土石方数量及衬砌的材料数量为最小。

2. 受力方面要求

隧道衬砌的内部轮廓，应尽力符合衬砌结构的受力状态，即尽力适应衬砌结构应力分布情况。在良好的地质条件下，衬砌结构承受荷载较小时，可采用直边墙（称直墙式），如图 2-2（a）所示；在地质较差的条件下，衬砌结构承受荷载较大时，一般多采用曲边墙（称为曲墙式），如图 2-2（b）所示；当隧道底部可能会引起基础沉陷时，可以采用带仰拱的封闭形式，如图 2-2（c）所示。

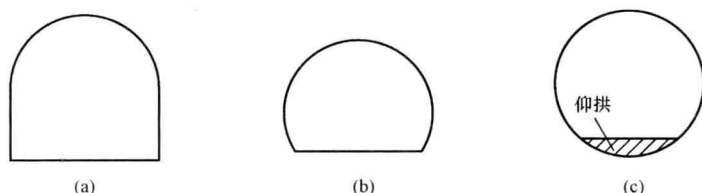


图 2-2 隧道衬砌的形式
(a) 直墙式；(b) 曲墙式；(c) 封闭式

3. 施工方面要求

隧道衬砌内部轮廓应当便于施工，因此要求衬砌内部轮廓在各种条件下（如有不同的加宽值时），变化尽量小或不变化，这样可使拱架、模板能重复周转使用。为了便于不同衬砌断面的衔接，拱圈与边墙的分界高度（称为起拱线）也最好采用同一数值，衬砌内部轮廓线的曲率要尽量一致。

2.2 衬砌材料与构造

2.2.1 衬砌材料

隧道是埋藏在地层深处的工程建筑物，其衬砌通常需要承受较大的围岩压力、地下水压力，有时还要受到化学物质的侵蚀，地处高寒地区的隧道往往还要受到冻害等。所以，要求用于衬砌的材料应具有足够的强度、耐久性、抗渗性、耐腐蚀性和抗冻性等。另一方面，隧道是大型工程构造物，每延米隧道都需要大量建筑材料，工程量很大。所以，从经济观点看，衬砌材料应价格便宜、能够就地取材、便于机械化施工。通常采用以下材料：

1. 混凝土

这种材料的优点是整体性好，既可以在现场浇筑，也可以在加工厂预制，而且可以机械化施工。其本身密实性较好，具有一定的抗渗性。如果在水泥中掺入密实性外加剂，可以提高混凝土的密实度，从而改善混凝土的防水性能。或者使用减水剂，提高混凝土的密实程度，改善混凝土的抗渗性能。混凝土可以根据需要加入其他外加剂，如低温早强剂、常温早强剂、速凝剂、缓凝剂、塑化剂、加气剂等，来满足使用和施工上的需要。

配制混凝土还可以根据需要选择合适的水泥，例如具备快硬、高强特性的有快硬硅酸盐水泥，具备快硬、早强特性的有硅酸盐膨胀水泥和石膏矾土膨胀水泥，具备抗渗防水特性的

有大坝水泥和防水水泥,具备抗硫酸盐侵蚀的抗硫酸盐硅酸盐水泥,以及塑化水泥、加气水泥等。

配制有抗冻要求的混凝土时,在寒冷地区水泥强度不小于 42.5MPa,在严寒地区不宜低于 52.5MPa。

混凝土材料的缺点是灌筑后不能立即承受荷载,需要进行养护,达到一定强度才能拆模,占用的模板和拱架较多,同时普通混凝土的耐侵蚀能力较差。

2. 钢筋混凝土

隧道施工时,暗挖部分就地绑扎钢筋比较困难,通常是在不得已时才采用现浇钢筋混凝土。而在很多情况下是采用格栅钢架并加上连接钢筋和钢筋网等作为临时支护,在完成临时支护之后,则延用为永久支护。这样就取代了钢筋绑扎过程,起到“一举两得”的效果。在明挖地段可以采用现场绑扎方式,也有采用废旧钢轨等材料的。采用混凝土的强度等级应满足《公路隧道施工技术规范》(JTJ 042—1994)的要求。

3. 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。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,能很快起到封闭岩面和支护作用,是一种理想的衬砌材料。

4. 锚杆与锚喷支护

锚杆是用机械方法加固围岩的一种金属材料,种类很多,通常可分为机械型锚杆、粘结石型锚杆以及顶应力锚杆。围岩不够稳定时,还可以张挂金属网。设置锚杆再加喷混凝土时,即为锚喷支护。

5. 石料

在隧道衬砌中不得使用裂隙和风化的石料,块石砌体、片石砌体、砂浆等的强度等级及抗压强度设计值应符合《公路隧道设计规范》(JTJ D70—2004)的要求。石衬砌材料的优点是材料来源广,可以就地取材,砌好后能较早地承受荷载,可以节省水泥和模板。不过目前已很少使用石料直接作为衬砌材料,尤其是在公路隧道中更无工例可寻。其缺点是砌缝多,容易漏水,施工主要靠手工操作,费工费时,需要大量熟练工人,目前还不能机械化施工。但洞门挡墙、挡土墙、明线路缘石等仍可使用。超挖部分可以使用片石混凝土回填砌筑。

6. 装配式材料

在软土地区修筑隧道时,常用盾构法施工,其衬砌材料往往采用装配式材料,如钢筋混凝土大型预制块,有加劲肋的铸铁预制块。在修筑棚式明洞(简称棚洞)时,可用预制板或梁,即装配板式棚洞或梁式棚洞。用新奥法施工时,为了防水、防落石和美观要求,还可以加设离壁式结构。

2.2.2 洞身衬砌类型

山岭隧道与软土隧道、水下隧道相比,由于其受力、施工方法等存在差异,在结构形式上也有很大差别。即使山岭隧道,也因人们对围岩压力和衬砌结构所起作用的深入认识,而使结构形式发生很大变化。尤其是在 20 世纪中叶以后新奥法的发展,给隧道结构带来了深

刻影响，使衬砌结构概念产生了根本改变。以下介绍的是矿山法（传统法）施工条件下的衬砌结构形式，虽然现在已经很少单独使用，但是作为一个历史发展阶段介绍它还是很有必要的。况且在新奥法施工工艺中还是不可或缺的组成部分，所以仍然有必要了解它。

1. 直墙式衬砌

直墙式衬砌形式通常用于以垂直围岩压力为主要计算荷载、水平围岩压力很小的情况，一般适用于Ⅱ、Ⅲ级围岩，有时也可用于Ⅳ级围岩。对于公路隧道，直墙式衬砌结构的拱部，可以采用割圆拱、坦三心圆拱或尖三心圆拱。三心圆拱指拱轴线由三段圆弧组成，其轴线形状比较平坦（ $R_1 > R_2$ ）时称为坦三心圆拱，形状较尖（ $R_2 > R_1$ ）时称为尖三心圆拱，若 $R_1 = R_2 = R$ 时即为割圆拱（图 2-3）。

2. 曲墙式衬砌

通常在Ⅳ级以下围岩中，水平压力较大，为了抵抗较大的水平压力把边墙也做成曲线形状。当地基条件较差时，为防止衬砌沉陷，可设置仰拱，使衬砌形成环状封闭结构，如图 2-4 所示。

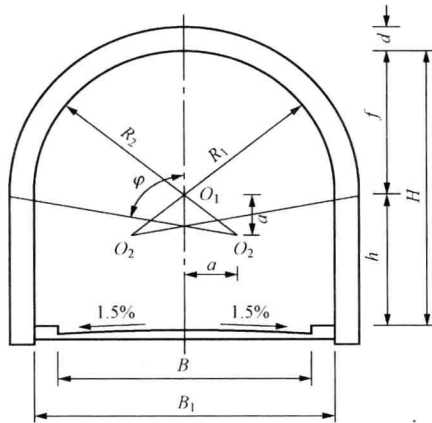


图 2-3 直墙式衬砌

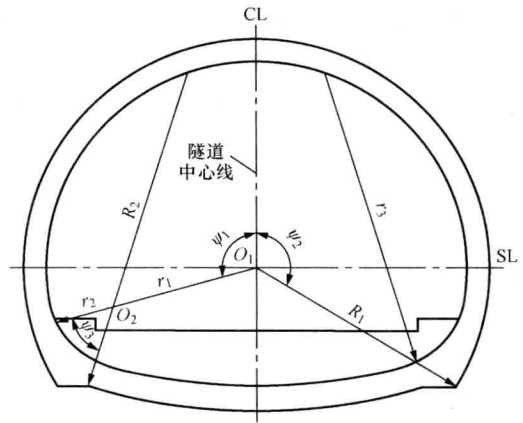


图 2-4 曲墙式衬砌

3. 喷（混凝土）锚（杆）衬砌及复合式衬砌

这些衬砌与上述传统的衬砌方法有本质上的区别，关于这方面的概念，将在第 5 章阐述，这里仅介绍其结构形式，如图 2-5 (a) 所示。

为了使混凝土结构的受力状态臻于理想化，要求用光面爆破开挖以使洞室周边平顺光滑，成型准确，减少超挖欠挖。然后尽快地喷混凝土，即为喷混凝土衬砌。

根据实际情况，需要安装锚杆的则先装设锚杆，再喷混凝土，即为锚喷衬砌。如果以喷混凝土、锚杆或构件支撑的一种或几种组合作为初期支护，对围岩进行加固，维护围岩稳定，防止有害松动，待初期支护的变形基本稳定后，进行现浇混凝土二次衬砌，二者合称复合式衬砌。为使衬砌的防水性能可靠，保持无渗漏水，采用防水板作复合式衬砌中间防水层是比较适宜的，如图 2-5 (b) 所示。

上述岩石隧道衬砌结构，往往需要进行内部装饰，关于装饰的详细内容将在本章第 5 节介绍。