

高等学校试用教材

隧道施工

(地下工程与隧道工程专业用)

于书翰 杜谟远 主编
周 熹 主审



人民交通出版社

U455
V-749

高等学校试用教材

隧 道 施 工

Suidao Shigong

(地下工程与隧道工程专业用)

于书翰 杜谟远 主编
周 婁 主审

人民交通出版社

图书在版编目(CIP)数据

隧道施工/于书翰,杜谟远主编. —北京:人民交通出版社,1999

ISBN 7-114-03254-4

I.隧… II.①于… ②杜… III.隧道工程-工程施工
IV.U455

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第03912号

高等学校试用教材

隧 道 施 工

地下工程与隧道工程专业用

于书翰 杜谟远 主编

周 熹 主审

插图设计: 佘文利 版式设计: 刘晓方 责任校对: 张 捷

责任印制: 孙树田

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街10号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷厂印刷

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 18 字数: 446千

1999年6月 第1版

1999年6月 第1版 第1次印刷

印数: 0001-4000册 定价: 23.00元

ISBN 7-114-03254-4

U·02318

前 言

本书根据 1996 年高等学校路桥及交通工程专业教学指导委员会制定的《隧道施工》教学大纲编写,适用于地下工程与隧道工程专业。

本书共分九章,第一章由于书翰(西安公路交通大学)、杜谟远(铁道部第一工程局)编写;第二章由陈小雄(铁道部第一工程局)编写;第三章由刘春、李际中(铁道部铁路工程总公司)编写;第四章由杜谟远、魏明才、张立国(铁道部第一工程局)编写;第五章由唐景彦(铁道部第一工程局)编写;第六章由曾令标(铁道部第一工程局)编写;第七章和第八章由于书翰编写;第九章由陈建勋(西安公路交通大学)编写。全书由于书翰、杜谟远主编,由周熹(重庆交通学院)主审。全书插图由铁道部第一工程局勘测设计院描绘。

1997/12/02

内 容 提 要

本书介绍修建隧道的施工方法、施工技术和施工组织管理的有关内容:山岭隧道,软土与水底隧道,浅埋隧道的施工方法和施工技术;特殊地质的隧道施工;隧道施工的风水电作业和通风防尘;隧道施工组织与管理等。

本书适用于作为高等学校交通土建工程地下工程和隧道工程专业课教材,也可供有关专业工程技术人员参考。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 隧道施工基本概念.....	1
第二节 隧道施工技术的发展.....	2
第二章 山岭隧道的常规施工方法	4
第一节 概述.....	4
第二节 开挖.....	7
第三节 出渣运输	30
第四节 初期支护	36
第五节 量测与监控	71
第六节 二次支护	89
第七节 传统的矿山法施工	98
第八节 辅助坑道.....	104
第三章 全断面掘进机施工	109
第一节 概述.....	109
第二节 开敞式掘进机基本构造.....	111
第三节 掘进.....	118
第四节 衬砌施工.....	120
第五节 不良地质地段施工.....	121
第四章 浅埋隧道施工	123
第一节 明挖法施工.....	123
第二节 地下连续墙施工.....	125
第三节 盖挖法施工.....	135
第四节 浅埋暗挖法施工.....	137
第五节 洞口及明洞施工.....	142
第五章 特殊地质地段的施工	146
第一节 概述.....	146
第二节 膨胀土围岩.....	147
第三节 黄土.....	149
第四节 溶洞.....	151
第五节 坍方.....	153
第六节 松散地层.....	155
第七节 流沙.....	156
第八节 岩爆.....	157
第九节 高地温.....	158

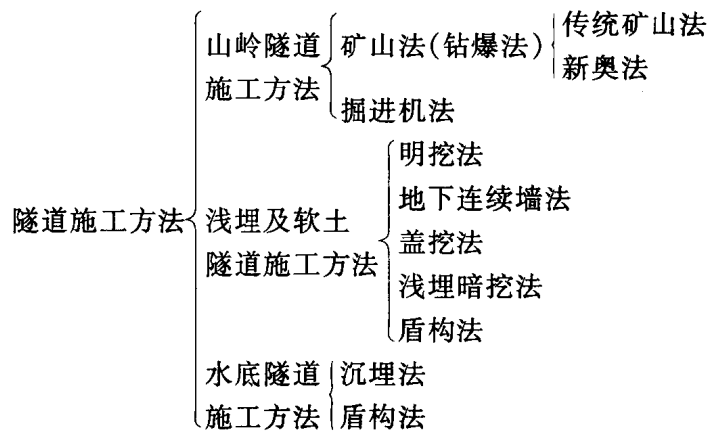
第十节 瓦斯地层·····	160
第六章 风水电作业和通风防尘·····	163
第一节 压缩空气供应·····	163
第二节 施工供水·····	165
第三节 供电及照明·····	168
第四节 通风与防尘·····	174
第七章 盾构法施工·····	183
第一节 概述·····	183
第二节 盾构的分类与构造·····	185
第三节 盾构施工的准备工作的·····	201
第四节 盾构的开挖和推进·····	205
第五节 盾构衬砌施工、衬砌防水和向衬砌背后压浆·····	211
第六节 地表下沉和隧道沉降·····	217
第八章 沉埋法施工·····	223
第一节 概述·····	223
第二节 干坞修筑和管段预制·····	226
第三节 基槽开挖和航道疏浚·····	231
第四节 管段浮运与沉放·····	232
第五节 管段水下连接·····	239
第六节 基础处理·····	242
第九章 施工组织与管理·····	247
第一节 施工准备·····	247
第二节 施工组织设计·····	248
第三节 施工方案·····	253
第四节 施工场地布置·····	254
第五节 施工进度计划·····	256
第六节 计划管理·····	265
第七节 技术管理·····	267
第八节 质量管理·····	269
第九节 经济管理·····	273
第十节 安全管理·····	275
主要参考书目·····	278

第一章 绪 论

第一节 隧道施工基本概念

隧道施工是指修建隧道及地下洞室的施工方法、施工技术和施工管理的总称。

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。根据隧道穿越地层的不同情况和目前隧道施工方法的发展,隧道施工方法可按以下方式分类:



隧道施工技术主要研究解决上述各种隧道施工方法所需的技术方案和措施(如开挖、掘进、支护和衬砌施工方案和措施);隧道穿越特殊地质地段时(如膨胀土、黄土、溶洞、塌方、流沙、高地温、岩爆、瓦斯地层等)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、风水电作业的方式方法和对围岩变化的量测监控方法。

隧道施工管理主要解决施工组织设计(如施工方案的选择、施工技术措施、场地布置、进度控制、材料供应、劳力及机具安排等)和施工中的技术管理、计划管理、质量管理、经济管理、安全管理等问题。

本课程将系统介绍隧道施工方法、施工技术和施工管理方面的知识。由于本课程涉及其他学科内容较多,要求学生在学习本课程之前,要具备以下基础课知识;工程地质、土质学与土力学、材料力学、结构力学、结构设计原理、道路建筑材料、基础工程、隧道勘察设计、隧道结构计算分析等。其中有些内容已在上述这些课程中讲述(如隧道竖井采用沉井法施工已在基础工程中讲述),本课程就不再详细介绍这方面的内容。

由于隧道施工是和工程实践有密切联系的课程,因此在学习本课程时应和生产实习紧密结合,使学生有一定感性认识才能加深对本课程所述及内容的理解。

必须指出,由于地质勘探的局限性和地质条件的复杂性及多变性,隧道施工过程中经常会遇到突然变化的地质条件、意外情况(如塌方、涌水等),原制定的施工方案、施工技术措施和施工进度计划等也必须随之变更。因此,作为一个隧道施工技术人员不能仅凭书本上的

知识,更重要的是将所学知识与丰富的工程实践经验相结合,详细制定出灵活多变的施工方案,以适应客观条件的变化。因而在学习本课程时除了系统学习书本上的知识,还必须学会结合工程实践经验掌握综合运用这些知识的能力,以便正确处理隧道施工中遇到的各种实际问题。

第二节 隧道施工技术的发展

伴随着 20 世纪世界科学、技术、经济的发展,交通运输、水利、水电、采掘,特别是城市地下交通及空间利用等,对隧道工程在数量和难度上提出了更高的要求。大规模的地下工程建设促进了隧道修建技术的进步。大量的锚喷支护工程实践和岩石力学的迅速发展,导致了现代支护理论的建立,在此基础上出现了新奥法、挪威法及浅埋暗挖法等更有效的施工方法;用现代技术装备的掘进机和盾构能够适应从坚硬岩层到软弱含水地层的各种掘进条件,其可靠性、耐久性、机动性及掘进的高速度,使其在隧道工程施工中得到日益广泛的应用;冲击钻头的改进及全液压钻孔台车的出现,大能力装渣、运渣设备的开发,新型爆破器材的研制及爆破技术的完善,改善围岩条件及支护技术的进步等,极大地改良了施工环境和提高了掘进速度,使钻孔爆破法的掘进技术得到更新;水底沉埋隧道施工技术的发展为穿越江河、海湾提供了新的有效手段。1984 年建成的日本横跨津轻海峡的青函隧道(长 53.85km)和 1991 年建成的英法海峡隧道(长 50.50km),无论从工程规模、复杂性,还是在应用新技术方面,都代表着 20 世纪世界隧道施工的水平。

我国隧道工程建设历史悠久,但在 1949 年以前,隧道规模较小,修建技术也比较落后。中华人民共和国建立后,随着各项建设事业的发展,修建了大量的隧道工程,施工技术也有了很大提高。目前我国隧道工程矿山法施工中已较普遍的采用了新奥法;岩石中隧道施工除采用钻爆法掘进外,也已开始采用掘进机施工;城市等浅埋隧道明挖或盖挖法施工中开始使用了地下连续墙,暗挖时采用的盾构法及浅埋暗挖法已具有较高的技术水平。我国拥有的铁路隧道数量已超过 4 000km,居世界第一位。我国也是以沉埋法修建水底隧道座数较多的国家之一。随着我国公路建设的发展,特别是高等级公路在我国的兴起,我国公路隧道在数量与规模上有很大发展,修建技术,特别是在克服复杂环境条件的能力上,有很大提高。1995 年开始修建的秦岭特长隧道(长 19.45km)将在我国隧道修建技术上取得新的突破。20 世纪后半期隧道修建技术与现代化管理方法的发展,为今后我国修建长大隧道及克服各种困难条件的隧道工程奠定了基础。我国是幅员广大、地质复杂、多山的发展中国家,城市化交通处于起步阶段,大规模的水利及交通事业方兴未艾,隧道事业必将有更大的发展。

隧道修建技术的进步为长大隧道工程发展和开发利用地下空间奠定了基础,同时,大规模地下工程的建设也必将对隧道修建技术提出新的更高要求。为了适应今后隧道工程大规模发展的需要,展望隧道施工的发展方向,隧道施工应着重开展以下方面的工作:

一、加强施工中隧道地质勘探工作

隧道设计阶段的地质勘察工作对制定方案具有重要意义,但在一般情况下,仅只是对隧址地质情况概括性的有限描述,它还不能完全指导施工,必须在施工中打开地层后进一步对地质进行勘探。因此,对施工中的地质超前预报技术的开发与完善和发展多种勘探手段,以迅速及时地获得尽量多的地质信息资料,对顺利进行施工极为重要。

二、加快隧道施工机械化

促进施工机械化是加快施工进度的重要手段,也是缩小我国与国外隧道施工技术差距的重要方面。在应用最广泛的钻爆法作业方面,建立以钻孔台车为先导的几条机械化作业线(开挖、出渣作业线;喷混凝土作业线;模筑混凝土衬砌作业线)可以使钻爆法适应性更强,投资效益明显;在特长隧道中采用全断面掘进机为核心的技术综合机械化(开挖、出渣、衬砌)以谋求长隧道施工中的高速、高效和高质量的突破;发展盾构和沉管施工的机械化、自动化施工将使城市地下交通和越江通道得到更快的发展。

三、加强应用施工新技术的研究

采用隧道施工新技术对施工质量的提高和施工进度的加快有着十分明显的作用。目前应着重以下方面的研究应用:

(一)钻孔作业使用能力更强的凿岩机或钻孔台车,冲击钻头采用更优良的合金材料和改进钻头形状以加快钻孔速度;开发更有效的爆破器材;研究优化爆破设计,经编程后由计算机控制钻孔;提高凿岩爆破能力;

(二)加强对湿喷混凝土及喷射钢纤维混凝土的应用研究,完善施工工艺,改善施工条件,提高支护质量、速度及效果;

(三)加强对预制拼装式衬砌的研究应用,使预制混凝土衬砌向高标号、尺寸误差小、拼装密封条件好的方向发展;

(四)进一步完善辅助工法,特别是加强注浆技术(注浆设备、材料、工艺、检验)的研究,以提高对付不良地质的应变能力。

四、加强隧道施工现代化管理

隧道施工采用现代化管理方式可最大限度发挥机械效率、确保工程质量和施工安全。这也是缩小我国与国外隧道技术差距的重要方面。

第二章 山岭隧道的常规施工方法

第一节 概 述

一、隧道设计施工的两大理论及其发展过程

本世纪以来,人类对地下空间的需求越来越多,因而对地下工程的研究有了一个突飞猛进的发展。在大量的地下工程实践中,人们普遍认识到,隧道及地下洞室工程,其核心问题,都归结在开挖和支护两个关键工序上。即如何开挖,才能更有利于洞室的稳定和便于支护;若需支护时,又如何支护才能更有效地保证洞室稳定和便于开挖。这是隧道及地下洞室工程中两个相互促进又相互制约的问题。其它工作都可以视为一种手段,是为这核心问题的解决和处理服务的。

在隧道及地下洞室工程中,围绕着以上核心问题的实践和研究,在不同的时期,人们提出了不同的理论并逐步建立了不同的理论体系,每一种理论体系都包含和解决(或正在研究解决)了从工程认识(概念)、力学原理、工程措施到施工方法(工艺)等一系列工程问题。

一种理论是20年代提出的传统的“松弛荷载理论”。其核心内容是:稳定的岩体有自稳能力,不产生荷载;不稳定的岩体则可能产生坍塌,需要用支护结构予以支承。这样,作用在支护结构上的荷载就是围岩在一定范围内由于松弛并可能塌落的岩体重力。这是一种传统的理论,其代表性的人物有泰沙基(K. Terzaghi)和普氏(М. Лромобьяконоб)等人。它类似于地面工程考虑问题的思路,至今仍被广泛地应用着。

另一种理论是50年代提出的现代支理论,或称为“岩承理论”。其核心内容是:围岩稳定显然是岩体自身有承载自稳能力;不稳定围岩丧失稳定是有一个过程的,如果在这个过程中提供必要的帮助或限制,则围岩仍然能够进入稳定状态。这种理论体系的代表性人物有腊布希维兹(K. V. Rabcewicz)、米勒—菲切尔(Miller-Fecher)、芬纳—塔罗勃(Fenner-Talobre)和卡斯特奈(H·Kastener)等人。这是一种比较现代的理论,它已经脱离了地面工程考虑问题的思路,而更接近于地下工程实际,近半个世纪以来已被广泛接受和推广应用,并且表现出了广阔的发展前景。

由上可以看出,前一种理论更注意结果和对结果的处理;而后一种理论则更注意过程和对过程的控制,即对围岩自承载能力的充分利用。由于有此区别,因而两种理论体系在原理和方法上各自表现出不同的特点。表2-1是对两大理论体系的比较说明。

应当注意的是,隧道工程都是在应力岩体中开拓的地下空间,我们在选择施工方法时,并不介意采用什么理论和方法,而应当根据具体工程的各方面条件综合考虑,选择最经济、最合理的设计和施工方案,甚至是多种方法的综合应用,这是一个受多种因素影响的动态的择优过程。

两大理论体系的比较说明

表 2-1

		松 弛 荷 载 理 论	岩 承 理 论
认 识		围岩虽然有一定的承载能力,但极有可能因松弛的发展而致失稳,结果是对支护结构产生荷载作用,即视围岩为荷载的来源	围岩虽然可能产生松弛破坏而致失稳,但在松弛的过程中围岩仍有一定的承载能力,对其承载能力不仅要尽可能地利用,而且应当保护和增强,即视围岩为承载的主体,具有三位一体特性*
力 学 原 理		土力学,视围岩为散粒体,计算其对支撑结构产生的荷载大小和分布; 结构力学,视支撑和衬砌为承载结构,检算其内力并使之合理; 建立的是“荷载—结构”力学体系以最不利荷载组合作为结构设计荷载	岩体力学,视围岩为应力岩体,分析计算应力—应变状态及变化过程,并视支护为应力岩体的边界条件,起控制围岩的应力—应变作用,检验作用的效果并使之优化; 建立的是“围岩—支护”力学体系以实际的应力—应变状态作为支护的设计状态
工 程 措 施	支 护	考虑到隧道开挖后,围岩很可能松弛坍塌,故分部开挖后及时用刚度较大的构件进行临时支撑;待隧道开挖成形后逐步将临时支撑撤换下来,而用整体式厚衬砌作为永久性支护	需要时,用锚杆和喷射混凝土等柔性构件组合起来进行初期支护,以控制围岩松弛变形的过程,维护和增强围岩的自承能力;初期支护作为承载结构的一部分,与二次衬砌(也包括围岩)共同构成复合式承载结构体系
	开 挖	隧道开挖常采用分部开挖,以便于构件支撑的施作。钻爆法或中小型机械掘进	隧道开挖常采用大断面开挖,以减少对围岩的扰动;钻爆法或大中型机械掘进
优 缺 点		构件临时支撑直观,容易理解,工艺较简单,易于操作; 围岩松散破碎甚至有水时,需满铺背材,也能奏效; 拆除临时支撑既麻烦,更不安全,不能拆除时,既浪费,又使衬砌受力条件不好	锚喷初期支护按需设置,适应性强,工艺较复杂,对围岩的动态量测要求较高; 围岩松散破碎甚至有水时,需采用辅助工法(如注浆)来支持,才能继续施工; 初期支护无需拆除,施工较安全,支护结构受力状态较好
理 论 要 点		1. 开挖隧道后,围岩产生松弛是必然的,但产生坍塌却是偶然的,故应准确判断各类围岩产生坍塌的可能性大小; 2. 即使围岩不产生坍塌,但松弛同样向支护结构施加荷载,故应准确确定荷载的大小、分布; 3. 为保证围岩稳定,应根据荷载的大小和分布,设计临时支撑和永久衬砌作为承载结构,并使结构受力合理; 4. 尽管承载结构是按最不利组合荷载来设计的,但施工时应尽量避免松弛的发展和坍塌的产生	1. 围岩是主要承载部分,故在施工中尽可能地保护围岩,减少扰动; 2. 初期支护和永久衬砌仅对围岩起约束作用,它应既允许围岩产生有限变形,以发挥其承载能力,又阻止围岩变形过度而产生失稳,故初期支护宜采用薄壁柔性结构; 3. 围岩的应力—应变动态预示着它是否能进入稳定状态,因此以量测作为手段掌握围岩动态进行施工监控和修改设计,以便适时提供适当支护,并先柔后刚,按需提供; 4. 整体失稳通常是由局部破坏发展所致,故支护结构应尽早封闭,全面约束围岩,尤其是围岩破碎软弱时,应及时修仰拱,使支护和围岩共同构成一个封闭的承载环

* 围岩的三位一体特性是指围岩既是产生围岩压力的原因,又是承受这个压力的承载结构,且是构成这个结构的天然材料。

二、山岭隧道的常规施工方法

山岭隧道的常规施工方法又称为矿山法,因最早应用于采矿坑道而得名。

在矿山法中,多数情况下都需要采用钻眼爆破进行开挖,故又称为钻爆法。从隧道工程的发展趋势来看,钻爆法仍将是今后山岭隧道最常用的开挖方法。

在矿山法中,坑道开挖后的支护方法,大致可以分为钢木构件支撑和锚杆喷射混凝土支护两类。

作为施工方法,人们习惯上将采用钻爆开挖加钢木构件支撑的施工方法称为“传统的矿山法”;而将采用钻爆开挖加锚喷支护的施工方法称之为“新奥法”。

前述“松弛荷载理论”就是在传统矿山法的基础上提出来的,而“岩承理论”则是在新奥法的基础上提出来的。

(一) 矿山法

传统的矿山法是人们在长期的施工实践中发展起来的。它是以木或钢构件作为临时支撑,待隧道开挖成形后,逐步将临时支撑撤换下来,而代之以整体式厚衬砌作为永久性支护的施工方法。

木构件支撑由于其耐久性差和对坑道形状的适应性差,支撑撤换工作既麻烦又不安全,且对围岩有所扰动,因此,目前已很少采用。

钢构件支撑具有较好的耐久性和对坑道形状的适应性等优点,施工中可以不予撤换,也更为安全。日本隧道界将以钢构件作为临时支撑的矿山法称为“背板法”。

钢木构件支撑类似于地上的“荷载—结构”力学体系。它作为一种维持坑道稳定的措施,是很直观和奏效的,也容易被施工人员理解和掌握。因此这种方法常被应用于不便采用锚喷支护的隧道中,或处理坍方等。由于衬砌的设计工作状态与实际工作状态不一致,以及临时支撑存在的一些缺陷等,在一定程度上限制了它的发展和应用。

(二) 新奥法

新奥法即奥地利隧道施工新方法(New Austrian Tunneling method——NATM),是奥地利学者腊布希维兹首先提出的。它是以喷射混凝土和锚杆作为主要支护手段,通过监测控制围岩的变形,便于充分发挥围岩的自承能力的施工方法。它是在锚喷支护技术的基础上总结和提出的。

锚喷支护技术与传统的钢木构件支撑技术相比,不仅仅是手段上的不同,更重要的是工程概念的不同,是人们对隧道及地下工程问题的进一步认识和理解。由于锚喷支护技术的应用和发展,导致隧道及地下洞室工程理论步入到现代理论的新领域,也使隧道及地下洞室工程的设计和施工更符合地下工程实际,即设计理论—施工方法—结构(体系)工作状态(结果)的一致。因此,新奥法作为一种施工方法,已在世界范围内得到了广泛的应用。

本章将重点介绍山岭隧道新奥法施工中的开挖、支护和量测等内容。传统的矿山法施工将在第七节简要介绍。

三、新奥法施工程序及基本原则

(一) 新奥法施工程序

新奥法施工程序可用以下框图(图 2-1)表示:

(二)新奥法施工的基本原则

新奥法施工的基本原则可以归纳为“少扰动、早喷锚、勤量测、紧封闭”。

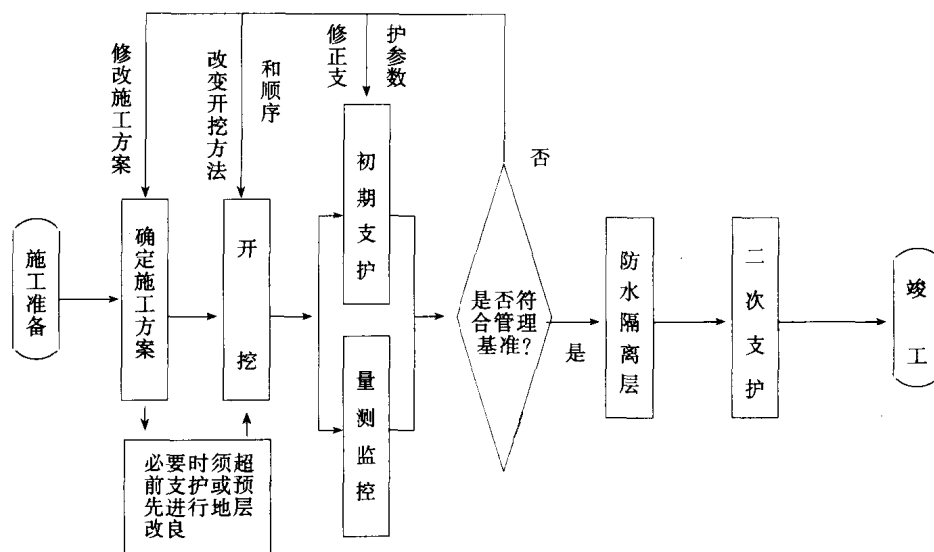


图 2-1 新奥法施工程序

少扰动,是指在隧道开挖时,要尽量减少对围岩的扰动次数、扰动强度、扰动范围和扰动持续时间。因此要求能用机械开挖的就不用钻爆法开挖;采用钻爆法开挖时,要严格地进行控制爆破;尽量采用大断面开挖;根据围岩类别、开挖方法、支护条件选择合理的循环掘进进尺;自稳性差的围岩,循环掘进进尺应短一些;支护要尽量紧跟开挖面,缩短围岩应力松弛时间。

早喷锚,是指开挖后及时施作初期锚喷支护,使围岩的变形进入受控制状态。这样做一方面是为了使围岩不致因变形过度而产生坍塌失稳;另一方面是使围岩变形适度发展,以充分发挥围岩的自承能力。必要时可采取超前预支护措施。

勤量测,是指以直观、可靠的量测方法和量测数据来准确评价围岩(或围岩加支护)的稳定状态,或判断其动态发展趋势,以便及时调整支护形式、开挖方法,确保施工安全和顺利进行。量测是现代隧道及地下工程理论的重要标志之一,也是掌握围岩动态变化过程的手段和进行工程设计、施工的依据。

紧封闭,一方面是指采取喷射混凝土等防护措施,避免围岩因长时间暴露而致强度和稳定性的衰减,尤其是对于易风化的软弱围岩。另一方面更为重要的是指要适时对围岩施作封闭形支护,这样做不仅可以及时阻止围岩变形,而且可以使支护和围岩能进入良好的共同工作状态。

第二节 开 挖

隧道施工就是要挖除坑道范围内的岩体,并尽量保持坑道围岩的稳定。显然,开挖是隧道施工的第一道工序,也是关键工序。在坑道的开挖过程中,围岩稳定与否,虽然主要地取决于围岩本身的工程地质条件,但无疑开挖对围岩的稳定状态有着直接而重要的影响。

因此,隧道开挖的基本原则是:在保证围岩稳定或减少对围岩的扰动的前提下,选择恰当的开挖方法和掘进方式,并应尽量提高掘进速度。即在选择开挖方法和掘进方式时,一方

面应考虑隧道围岩地质条件及其变化情况,选择能很好地适应地质条件及其变化,并能保持围岩稳定的方法和方式;另一方面应考虑坑道范围内岩体的坚硬程度,选择能快速掘进,并能减少对围岩的扰动的的方法和方式。

本节主要介绍一般山岭隧道施工的开挖方法、掘进方式及其选择原则,并较详细地介绍钻眼爆破掘进方式。

一、开挖方法

隧道施工中,开挖方法是影响围岩稳定的重要因素之一。因此,在选择开挖方法时,应对隧道断面大小及形状、围岩的工程地质条件、支护条件、工期要求、工区长度、机械配备能力、经济性等相关因素进行综合分析,采用恰当的开挖方法。尤其应与支护条件相适应。

隧道开挖方法实际上是指开挖成形方法。按开挖隧道的横断面分部情形来分,开挖方法可分为全断面开挖法、台阶开挖法,分部开挖法。

(一)全断面开挖法

全断面开挖法是按设计开挖断面一次开挖成型(图 2-2)。

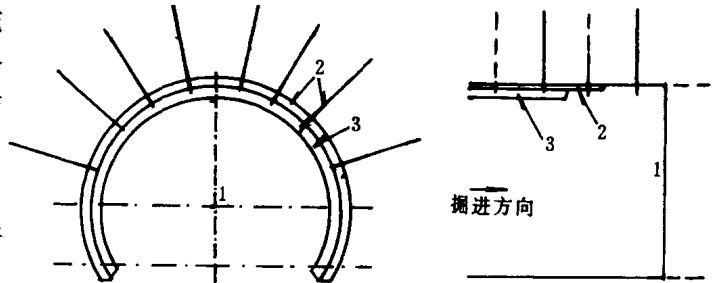


图 2-2 全断面开挖法

1-全断面开挖;2-锚喷支护;3-模筑混凝土衬砌

1. 全断面开挖法的优缺点

(1)全断面开挖有较大的工作空间,适用于大型配套机械化施工,施工速度较快,且因单工作面作业,便于施工组织和管理。一般应尽量采用全断面开挖法。但开挖面大,围岩相对稳定性降低,且每循环工作量相对较大,因此要求具有较强的开挖、出渣能力和相应的支护能力。

(2)采用全断面开挖,则有较大的断面进尺比(即开挖断面面积与掘进进尺之比),可获得较好的爆破效果,且爆破对围岩的震动次数较少,有利于围岩的稳定。但每次爆破震动强度却较大,因此要求进行严格的控制爆破设计,尤其是对于稳定性较差的围岩。

2. 采用全断面法开挖时应注意以下事项

(1)摸清开挖面前方的地质情况,随时准备好应急措施(包括改变施工方法),以确保施工安全。尤其应注意突然发生的地质条件恶化如地下泥石流。

(2)各工序使用的机械设备务求配套,以充分发挥机械设备的使用效率和各工序之间的协调进行,在保证隧道稳定安全的条件下,提高施工速度。

(3)在软弱破碎围岩中使用全断面法开挖时,应加强对辅助施工方法的设计和作业检查,以及对支护后围岩的动态量测与监控。

(二)台阶开挖法

台阶开挖法一般是将设计断面上半断面和下半断面两次开挖成型。也有采用台阶上部弧形导坑超前开挖的(图 2-3)。

1. 台阶开挖法的优缺点

(1)台阶开挖法可以有足够的工作空间和相当的施工速度。但上下部作业有干扰。

(2)台阶开挖虽增加对围岩的扰动次数,但台阶有利于开挖面的稳定。尤其是上部开挖支护后,下部作业就较为安全,但应注意下部作业时对上部稳定性的影响。

2. 台阶开挖时应注意以下事项

(1)台阶长度要适当。按台阶长短可分为长台阶、短台阶、微台阶三种。选用何种台阶,应根据两个条件来确定:其一是初期支护形成闭合断面的时间要求,围岩稳定性愈差,闭合时间要求愈短;其二是上半断面施工时开挖、支护、出渣等机械设备所需的空间大小的要求。

(2)解决好上、下半断面作业的相互干扰问题。微台阶基本上是合为一个工作面进行同步掘进;长台阶基本上拉开,干扰较小;而短台阶干扰就较大,要注意作业组织。对于长度较短的隧道,可将上半断面贯通后,再进行下半断面施工。

(3)下部开挖时,应注意上部的稳定。若围岩稳定性较好,则可以分段顺序开挖;若围岩稳定性较差,则应缩短下部掘进循环进尺;若稳定性更差,则可以左右错开,或先拉中槽后挖边帮。

(三)分部开挖法

分部开挖法是将隧道断面分部开挖逐步成型,且一般将某部超前开挖,故也可称为导坑超前开挖法。常用的有上下导坑超前开挖法,上导坑超前开挖法;单(双)侧壁导坑超前开挖法等(图 2-4)。

1. 分部开挖法的优缺点

(1)分部开挖因减少了每个坑道的跨度(宽度),能显著增强坑道围岩的相对稳定性,且易于进行局部支护,因此它主要适用于围岩软弱破碎严重的隧道或设计断面较大的隧道中。分部开挖由于作业面较多,各工序相互干扰较大,且增加了对围岩的扰动次数,若采用钻爆掘进,则更不利于围岩的稳定,施工组织和管理的难度亦较大。

(2)导坑超前开挖,有利于提前探明地质情况,并予以及时处理。但若采用的导坑断面过小,则施工速度就较慢。

2. 分部开挖时应注意以下事项

- (1)因工作面较多,相互干扰大,应注意组织协调,实行统一指挥。
- (2)由于多次开挖对围岩的扰动大,不利于围岩的稳定,应特别注意加强对爆破开挖的控制。
- (3)应尽量创造条件,减少分部次数,尽可能争取用大断面开挖。
- (4)凡下部开挖,均应注意上部支护或衬砌的稳定,减少对上部围岩及支护、衬砌的扰动和破坏,尤其是边帮部位开挖时。

二、掘进方式及岩体的工程分级

(一)掘进方式

隧道施工的掘进方式是指对坑道范围内岩体的破碎挖除方式。常用的掘进方式有钻眼爆破掘进、单臂掘进机掘进、人工掘进三种掘进方式。一般山岭隧道最常用的是钻眼爆破掘进。

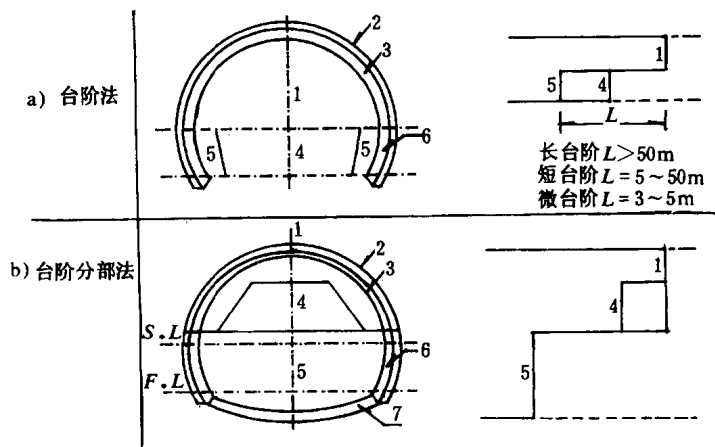


图 2-3 台阶及台阶分部开挖法(均省略了锚杆)

- a) 1-上半部开挖; 2-拱部锚喷支护; 3-拱部衬砌; 4-下半部中央部分开挖; 5-边墙部分开挖; 6-边墙锚喷支护及衬砌;
 b) 1-上弧形导坑开挖; 2、3-同上; 4-中核开挖; 5-下部开挖; 6-同上; 7-灌注仰拱

1. 钻眼爆破掘进

钻眼爆破掘进即是用炸药爆破坑道范围内的岩体。它对围岩的扰动破坏较大,有时由于

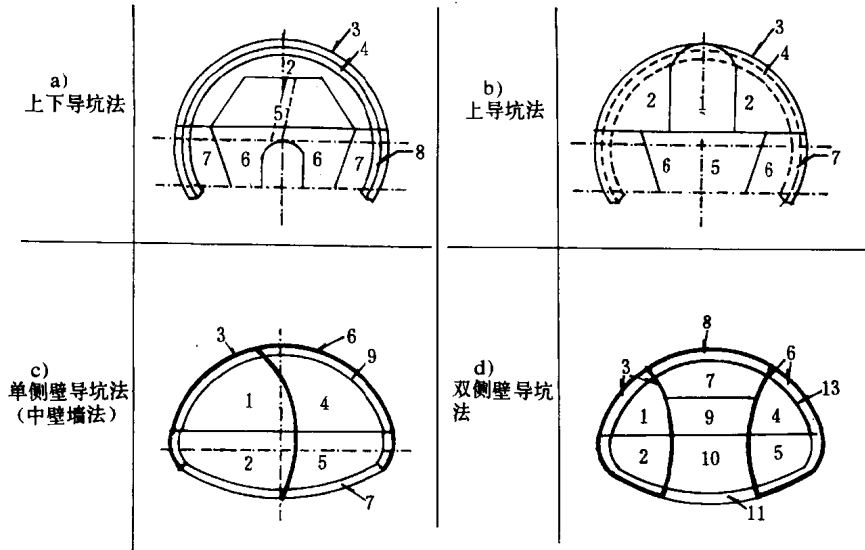


图 2-4 分部开挖法(均省略了锚杆)

- a) 1-下导坑开挖;2-上弧形导坑开挖;3-拱部锚喷支护;4-拱部衬砌;5-设漏斗,随着推进开挖中核;6-下半部中部开挖;7-边墙部开挖;8-边墙锚喷支护衬砌
- b) 1-上导坑开挖;2-上半部其它部位开挖;3-拱部锚喷支护;4-拱部衬砌;5-下半部中部开挖;6-边墙部开挖;7-边墙锚喷支护及衬砌
- c) 1-先行导坑上部开挖;2-先行导坑下部开挖;3-先行导坑锚喷支护钢架支撑等,设置中壁墙临时支撑(含锚喷钢架);4-后行洞上部开挖;5-后行洞下部开挖;6-后行洞锚喷支护、钢架支撑;7-灌筑仰拱混凝土;8-拆除中壁墙;9-灌筑全周衬砌
- d) 1-先行导坑上部开挖;2-先行导坑下部开挖;3-先行导坑锚喷支护、钢架支撑等,设置临时壁墙支撑;4-后行导坑上部开挖;5-后行导坑下部开挖;6-后行导坑锚喷支护、钢架支撑等,设置临时壁墙支撑;7-中央部拱顶开挖;8-中央部拱顶锚喷支护、钢架支撑等;9、10-中央部其余部开挖;11-灌筑仰拱混凝土;12-拆除临时壁墙;13-灌筑全周衬砌

爆破震动致使围岩产生坍塌,故一般只适用于石质隧道。但随着控制爆破技术的发展,爆破法的应用范围也逐渐加大,如用于软石及硬土的松动爆破。它是一般山岭隧道工程中常用的掘进方式。

2. 单臂掘进机掘进及人工掘进

单臂掘进机掘进及人工掘进均是采用机械方式切削破碎岩石并挖除坑道范围内的岩体。单臂掘进机掘进是采用装在可移动式机械臂上的切削头来破碎岩体的,人工掘进则是采用十字镐、风镐等简易工具来挖除岩体。单臂掘进机掘进和人工掘进对围岩的扰动破坏小,故一般适用于围岩稳定性较差的软岩隧道及土质隧道中。

钻眼爆破需要专用的钻眼设备及消耗大量炸药,并只能分段循环掘进。单臂掘进机可连续掘进,但只适用于软岩及土质隧道。人工掘进速度较慢,劳动强度大。

隧道施工中,掘进方式是影响围岩稳定的又一重要因素。因此,在选择确定掘进方式时,应根据坑道范围内被挖除岩体的坚硬程度、以及不同的掘进方式对围岩的扰动程度、围岩的稳定性、支护条件、机械设备能力、经济性等相关因素进行综合分析,选用恰当的掘进方式。在采用钻眼爆破方式掘进,则尤其应当实施控制爆破,以减少爆破震动对围岩的扰动破坏和对已作