



铁路工程施工技术

TIELU SUIDAO GONGCHENG
SHIGONG JISHU

高 军 主 编

铁路隧道工程 施工技术

下册

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路工程施工技术

铁路隧道工程施工技术

(下 册)

高 军 主编



中国铁道出版社

2014年·北京

内 容 简 介

为适应铁路隧道工程施工的需要,组织编写了《铁路隧道工程施工技术》(上册、下册),本书纳入了现行铁路隧道工程施工规范、规程、指南,选用了成熟的施工技术,内容上也力求与时俱进。

本书为下册,共有9章内容:特殊岩土及不良地质地段隧道施工,辅助坑道,附属设施施工,风水电供应,通风、防尘与降噪,TBM掘进,盾构施工,大断面铁路隧道施工方法,施工安全风险管理。

本书可作为工程技术人员、施工人员的施工技术资料用书。

图书在版编目(CIP)数据

铁路隧道工程施工技术.下册/高军主编.—北京:中国铁道出版社,2014.8
(铁路工程施工技术)

ISBN 978-7-113-18859-7

I. ①铁… II. ①高… III. ①铁路隧道—隧道施工 IV. ①U459.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第140886号

书 名: 铁路工程施工技术
铁路隧道工程施工技术(下册)
作 者: 高 军

策 划: 江新锡 曹艳芳
责任编辑: 曹艳芳 编辑部电话: 010-51873017
封面设计: 崔 欣
责任校对: 龚长江
责任印制: 郭向伟

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)
网 址: <http://www.tdpress.com>
印 刷: 北京尚品荣华印刷有限公司
版 次: 2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷
开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 13.5 字数: 338 千
书 号: ISBN 978-7-113-18859-7
定 价: 35.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

前 言

为适应铁路隧道工程施工的需要和工程技术人员的便利,在各铁路工程业主单位和施工单位的大力支持下,我们组织一批有丰富现场施工经验的技术人员编写了《铁路隧道工程施工技术》(上册、下册)。上册主要介绍了隧道技术标准、施工准备及测量、超前地质预报与监控量测、隧道掘进与支护、衬砌作业和施工防水;下册主要介绍了特殊岩土及不良地质地段隧道施工、施工辅助技术、TBM和盾构施工、大断面隧道施工以及施工安全风险管理等。各分册均纳入了现行铁路隧道工程施工规范、规程、指南,选用了成熟的施工技术,内容上也力求与时俱进。

本书为下册共有9章内容。内容包括:第1章特殊岩土及不良地质地段隧道施工;第2章辅助坑道;第3章附属设施施工;第4章风水电供应;第5章通风、防尘与降噪;第6章TBM掘进;第7章盾构施工;第8章大断面铁路隧道施工方法;第9章施工安全风险管埋。

本书撰写分工如下:武广高速铁路有限公司高军负责撰写第1章、第6章、第8章;武广高速铁路有限公司李利方负责撰写第2章;西安铁一院监理公司王熙东负责撰写第3章;中铁十一局娄良彪负责撰写第4章;武广高速铁路有限公司蔡荣喜负责撰写第5章;武广高速铁路有限公司杨海滨负责撰写第7章;武广高速铁路有限公司罗东青负责撰写第9章。本书由高军负责统稿整理。

在编写本书的过程中,石家庄铁道大学黄守刚、李向国、康拥政、吴景龙、周亮、张力霆、王建西、张慧丽、温少芳、孙海龙、吕希奎、王晨、孙明磊对本书的编写提出了宝贵意见,中国铁道出版社石家庄铁道大学发行分部赵春虎、于超、杨晓燕参与了本书的策划、资料搜集和校对工作,对此一并表示感谢。

限于编者水平有限,书中谬误之处敬请读者批评指正。

编者

2014年2月

目 录

第 1 章 特殊岩土及不良地质地段隧道施工	1
1.1 概 述	1
1.2 富水软弱破碎围岩	1
1.3 断 层	7
1.4 岩 溶	8
1.5 风积沙、含水砂层	10
1.6 瓦 斯.....	21
1.7 岩 爆.....	31
1.8 挤压性围岩和膨胀性岩层.....	32
1.9 黄 土.....	36
1.10 高原冻土	38
1.11 隧道坍方处理	40
第 2 章 辅助坑道	43
2.1 概 述.....	43
2.2 横洞和平行导坑.....	43
2.3 斜 井.....	45
2.4 竖 井.....	57
第 3 章 附属设施施工	71
3.1 附属洞室及联络通道.....	71
3.2 水沟、电缆槽	71
3.3 泄 水 洞.....	71
3.4 紧急出口及救援站.....	72
3.5 运营设施安装.....	72
第 4 章 风水电供应	74
4.1 施工供风.....	74
4.2 施工供水.....	78
4.3 施工供电.....	81
4.4 施工照明.....	86

第 5 章 通风、防尘与降噪	88
5.1 概 述.....	88
5.2 施工通风.....	88
5.3 防 尘.....	99
5.4 降 噪	102
第 6 章 TBM 掘进	105
6.1 概 述	105
6.2 全断面岩石隧道掘进机的构造	105
6.3 掘进机选型	113
6.4 掘进施工	117
第 7 章 盾构施工	119
7.1 盾构设备	119
7.2 掘进施工	120
第 8 章 大断面铁路隧道施工方法	136
8.1 钻 爆 法	136
8.2 机械开挖法	145
8.3 爆破与机械开挖相结合的施工方法	148
8.4 大断面隧道施工方法的选择	149
第 9 章 施工安全风险管理	150
9.1 施工安全风险识别	150
9.2 施工安全风险评估	159
9.3 施工安全风险控制技术	181
9.4 邻近不良地质地段安全风险预报技术	200
9.5 塌方风险预防与控制技术	201
9.6 逃生及救援	205
参考文献	210

第1章 特殊岩土及不良地质地段隧道施工

1.1 概 述

隧道通过松散地层、断层、溶洞、膨胀性岩层、岩爆等不良地质地段,在开挖、支护和衬砌过程中都可能发生大量坍塌,坑道受压变形,破坏衬砌结构,严重影响施工进度、安全和质量,因此,必须针对不良地质情况,正确选择施工方法,做好地质调查与预报工作,并贯彻先排水、短开挖、弱爆破、强支护、快衬砌、勤检查的防治措施。

施工前要认真研究分析工程及水文地质资料,结合现场实际情况,作出风险评估,制定完整的施工技术方案,并结合专项应急救援预案,做好人员组织、技术、物资、机械的储备,预防地质灾害的发生。软弱破碎围岩宜积极采用岩土控制变形分析法施工技术。软弱及不良地质隧道仰拱距开挖工作面距离宜控制在40 m以内,洞口段、浅埋段、断层破碎带,二次衬砌应及时施作。隧道施工中发生地质灾害时应立即启动应急救援预案。根据超前地质预报和监控量测的结果及时调整施工方案。

1.2 富水软弱破碎围岩

富水软弱破碎围岩的特点是结构松散、稳定性差,在施工中极易发生坍塌。在这类地层中施工,主要是减少对围岩的扰动,其常用的施工手段有:先护后挖,密闭支撑,边挖边封闭的办法。

(1)富水软弱破碎围岩隧道的开挖应符合下列规定:

1)根据超前地质预报分析结果,采取防塌预防措施,保证开挖工作面的稳定。

2)洞内涌水对周边生态环境影响较大时,宜采用注浆堵水措施。当隧道埋深在20 m以内时,可采用地表注浆;当隧道埋深超过20 m时,则应采用开挖工作面预注浆。

3)单线隧道宜采用台阶法预留核心土环形开挖;双线和多线隧道宜采用中隔壁法、交叉中隔壁法或双侧壁导坑法,并尽早使初期支护封闭成环。

4)开挖循环进尺宜为0.5~1.5 m。

(2)富水软弱破碎围岩隧道的二次衬砌施工应符合下列规定:

1)二次衬砌在初期支护完成后应尽快施作,并予以加强。

2)仰拱必须超前施作,尽早形成闭合结构。

在承压水地段,若容许限量排水,衬砌背后的排水管道必须顺畅地连接到隧道排水沟,防止地下水在衬砌背后聚集对其形成压力;若不容许排水,应修筑抗水压衬砌。

1.2.1 松散地层的超前支护

隧道开挖前,先向岩体内插入钎、管、板等构件,用以预先支护围岩、防止坑道掘进时岩体

发生坍塌。

1. 超前支护的类型

(1) 超前锚杆或超前小钢管

1) 悬吊式超前锚杆

采用这种方法是在爆破前,将超前锚杆或小钢管打入掘进前方稳定的岩层内,末端支承在拱部围岩内专为超前锚杆提供支点的径向悬吊锚杆,或支承在作为支护的结构锚杆上,使其起到支护掘进进尺范围内拱部上方,有效地约束围岩在爆破后的一定时间内不发生松弛坍塌,为大断面开挖与喷锚支护创造了条件。

施工中,因超前锚杆与悬吊锚杆外露端往往不易直接相交,故以 $\phi 22$ mm 的横向短钢筋焊在邻近的悬吊锚杆上,再焊在超前锚杆的末端上。

2) 格栅拱支撑超前锚杆

超前锚杆或小钢管的末端支承在格栅拱支撑上。

(2) 超前管棚法

适用于围岩为砂黏土、黏砂土、亚黏土(黏土含黏土粒一般大于 60%,砂黏土含黏土粒 10%~30%,黏砂土含黏土 10%以下)、粉砂、细砂、砂夹卵石夹黏土等非常松软、破碎的土壤,凿孔后极易坍塌的地层。

超前管棚法使用外径 $\phi 40$ mm、 $\phi 80$ mm、 $\phi 108$ mm 或其他直径的无缝或普通焊接钢管插入围岩,插入的倾角较超前锚杆略有减小。一般在十分软弱的地层可直接将管顶入,或借助于手动液压千斤顶、凿岩机、液压钻的冲击力,将钢管顶入末端开挖的地层中去。

(3) 超前小导管预注浆法

此法适用于中砂或粗砂、砾石层等空隙率较大的松散地层。钢管前端做成尖楔状,在管前部 2.5~4 m 范围内按梅花形布置,钻好 $\phi 6$ mm 的注浆孔,以便钢管顶入地层后对围岩空隙注浆。

2. 超前支护法的参数选择

(1) 超前锚杆(钢管)的长度(L)

超前锚杆(钢管)的长度计算示意图见图 1-1。

$$L = a + b + c$$

式中 L ——超前锚杆(钢管)的长度(m);

a ——开挖后留在围岩内的超前锚杆(钢管)长度(m),一般不小于 0.7 m;

b ——开挖总进尺(m);

c ——开挖前打入围岩的超前锚杆(钢管)外露的长度(m)。

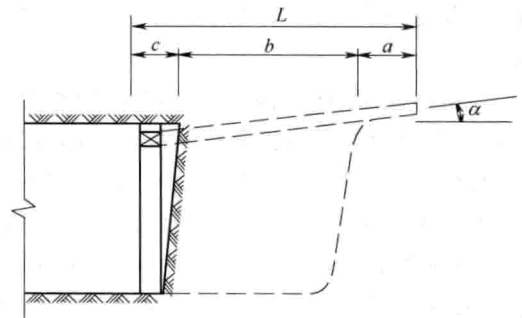


图 1-1 超前锚杆(钢管)的长度计算示意图

超前锚杆(钢管)的长度应根据地质情况、锚杆拉拔试验强度、钻孔机械类型、供给钢筋或钢管长度、开挖循环次数等因素综合考虑确定。一般锚杆(钢管)多采用 3.5~5.0 m。最短者 2.5 m,最长者 7.0 m。

(2) 超前锚杆(钢管)的倾角

一般选用 6° ~ 12° 。超前管棚的倾角,一般选用 5° ~ 10° 。超前小导管预注浆中的钢管倾角,一般情况下同超前管棚法,但若用于坍方处理,以注浆固结塌体形成人工护顶时,其倾角宜

选为 30° 。

(3)超前锚杆(钢管)的横向宽度(K_2)与横向间距(a)

一般情况下(K_2)等于内拱顶线(K_1)之半再加 2 m,见图 1-2。亦可根据地质情况适当增减其布置范围。为提高支护效果,在靠近拱脚部位的超前支护的方向常分别向左右酌情外插。

锚杆(钢管)的横向间距(a)系根据围岩情况而定,一般选为 0.2~0.4 m;若采用双层支护时,间距为 0.4~0.6 m,其上下层应错开排列。

(4)超前锚杆(钢管)的纵向间距

根据围岩类别、超前支护的长度、锚杆(钢管)的截面尺寸和横向间距等因素综合考虑确定之,一般超前锚杆(钢管)的纵向间距可取 100 cm 或 150 cm,最大不超过 200 cm。

3. 超前支护法的施工程序

由于支护类型及地质条件的不同,施工程序略有差异。其基本工序如下:

(1)对新开挖面结合出渣进行初次喷射混凝土,喷层厚度一般为 3~6 cm。

(2)架立网构钢架支撑,并做好纵向联结支撑。

(3)第一次测量,标出结构锚杆、悬吊锚杆和超前锚杆或超前钢管等孔的位置,并核对巷道净空。

(4)钻孔,插锚杆或钢管。

(5)挂钢筋网,焊接钢筋网、锚杆或钢管外露端、横向短钢筋、网构钢架支撑之相接处。

(6)清除工作面底部附近的浮渣。

(7)第二次喷射混凝土,喷至设计厚度。

(8)第二次测量,在开挖面画出下次开挖轮廓线,并标出炮眼位置。

(9)钻炮眼,装药,堵炮眼及爆破。

4. 超前支护法的开挖顺序选择

开挖顺序选择,主要是根据地质条件、隧道断面大小、使用机械设备和施工期限等因素综合考虑确定。目前双线隧道大多采用下列方法:

(1)先护顶,后做墙。在超前支护的保护下先开挖上半部,随即进行喷锚等支护,然后再开挖下半部。

(2)分层开挖,无论分几层开挖均须设置一层主台阶层,主台阶层的长度,可视地质情况确定,一般选用 35~50 m。主台阶层至顶部的开挖高度受装渣机高度和凿岩台车的长钻杆(5 m)向上垂直钻孔的要求所限制,可定为 6.5 m。如若遇地质条件很不好,需减小其开挖高度时,则可增加开挖层数。

(3)在极为软弱或破碎的地层,拱部环状开挖,留倒梯形核心土的方法。

1)可减小工作面的开挖高度,有利于增强顶部围岩和工作面的自稳能力。

2)能提供初期支护平台,便于架设钢架支撑、挂网和喷射混凝土。

3)为喷混凝土提供合适的喷射距离,减少回弹量和提高喷射混凝土的密实度。

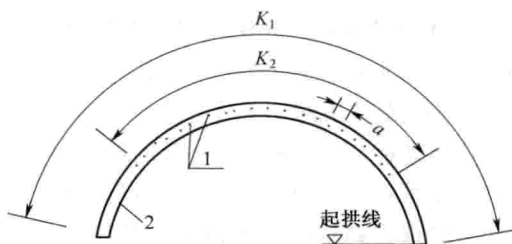


图 1-2 超前锚杆(钢管)布置示意图横向
1—超前锚杆(钢管); K_1 —内拱顶线;2—格栅拱支撑;
 K_2 —超前锚杆(钢管)横向布置宽度;
 a —超前锚杆(钢管)横向间距

4)倒梯形开挖法,可在出渣量较少的情况下及时地在梯形土体上架设钢架支撑,提前喷射上半部混凝土,缩短了围岩的暴露时间。

缺点:

由于留有核心土,无法及时用凿岩台车钻径向锚杆孔,推迟了锚固工作;倒梯形处的宽度较窄,不便停车,因而装渣距离较长。

5. 超前支护法的施工注意事项

(1)当遇砂、软土等过于松软的地层,应慎重选择支护方法及其参数,以免造成支护失效。

(2)悬吊锚杆和结构锚杆均应保证施工质量,并将各种锚杆(钢管)末端焊接牢固。

(3)应保证格栅拱的架设质量及拱脚处的地基有足够的承载能力。

(4)注浆锚杆的砂浆应达到设计强度后方可进行爆破。

(5)合理运用微震动爆破,以免引起围岩过大的扰动和破坏。

(6)喷锚支护既要及时,又要保证质量。

(7)当采用半断面掘进时,掘进长度不大于2倍洞径时就应施作临时仰拱。其构造可用16号工字钢加工成横向底梁,在钢架支撑拱脚处焊上 $L_1\ 000\text{ mm}\times 100\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 的角钢,使底梁与其顶紧;若地压大时采取焊接后,再喷射20 cm厚的混凝土。待下部开挖施作正式仰拱后再拆除。

(8)及时检查、量测,对有异状或变形量较大处进行加固。

1.2.2 松散地层的注浆加固

注浆加固是将松散地层固结为整体,再进行开挖。它是在松散地层中施工使用较多的一种方法,在砂夹砾石、粗砂且有侵蚀性水的地层中,采用水泥砂浆压注;在粉、细砂地层或有侵蚀性水时,可压注化学浆液。

在处理极其松散、破碎、软塑地层,或有大量涌水的软弱地段以及断层破碎带的隧道,通常采用注浆固结地层。先沿开挖断面周边布置压浆孔,其间距视围岩松散情况为0.6~0.8 m,压浆后要求在开挖断面外能有约0.1 m厚的加固层。

注浆数量控制:多采用定压和定量相结合的方法,其注浆数量及注浆压力基本是固定的,它是按需填充的孔隙量选定,以所处理围岩总体积的百分数表示。在砂层可高达40%,而裂隙岩体则仅5%。注浆率(N)具体计算公式如下:

$$N = Q / A = \eta \cdot a (\%) \quad (1-1)$$

式中 Q ——注浆总数量(m^3);

A ——围岩加固的体积(m^3);

η ——围岩加固的孔隙率(%),参见表 1-1;

a ——经实践采用的填充率(%),参见表 1-1。

表 1-1 围岩孔隙率及注浆填充率

土质 注浆目的 数值 项目		壤土	黏土	粉砂	砂					砂砾		
		堵水加固			堵水		加固		堵水			
孔隙率 (%)	范围值	65~75	50~70	40~60	46~50	40~48	30~40	46~50	40~48	40~60	38~40	22~40
	标准值	70	60	50	48	44	35	48	44	50	34	26
填充率 (%)	约数	40	30	20	60	60	50	50	40	60	60	60

为了做好预注浆工作,必须事先对需加固围岩进行土力学试验,查看围岩透水系数,土颗粒组成、孔隙率、饱和度、密度、pH值、剪切和抗压强度等,必要时还要做现场注水和抽水试验。

1.2.3 震松法及其辅助措施

(1) 震松法

在稍有黏结力的堆积层中,采用全断面开挖施工的关键在于掌握好爆破技术。震松法主要是减小爆破对围岩的扰动,达到不抛掷石渣而经震动松落成型之目的。

由于此法对围岩扰动小,在堆积层中适用大型机械设备进行全断面开挖,从而在加快工程进度、降低劳动强度、减少炸药、改善通风条件、节省支护与衬砌材料、降低工程造价等方面都具有优越性。

震松法的特点是,要求每一茬炮的参数都尽可能地符合实际地质情况,故每次爆破设计都需根据地质的变化和前一茬炮爆破的效果分析,以调整其炮眼分布和装药数量,必要时还采取辅助措施,以取得理想的效果。

(2) 震松法的辅助措施

震松法在特殊地质的应用往往不尽完善,还需一些辅助手段。如当坑道周边遇到大孤石时,则需配合“插筋支架法”——即在孤石上打若干深孔,插入 $\phi 22$ mm 钢筋,钢筋的另一端支撑在钢架支撑上,起挑梁的作用;再在其下打上若干炮眼,装少量炸药进行引爆,可避免爆破后,因大孤石震落而形成局部超挖过大或发生坍塌。当坑道周边遇有黏土层时,则需采用局部“周边隔空装药法”、“轮廓线钻眼法”加以处理。

(3) 震松法施工注意事项

- 1) 爆破参数需由现场开挖试验坑确定。
- 2) 推行专人负责制,指派一名爆破技术人员或熟练炮工负责指挥布孔及钻爆等作业。
- 3) 钻孔台车就位应保证炮眼方向和深度符合钻爆要求。
- 4) 严格控制台车钻眼的用水量,以减轻对地层的软化作用。
- 5) 喷混凝土、挂钢筋网、立钢架支撑等项工序应环环紧扣,并确保质量。
- 6) 注意围岩变形和浅埋地段的地表下沉观测工作,并将量测数据及时整理、分析,反馈于监控施工。

1.2.4 松散围岩分部开挖几种施工方法

当遇到松散破碎地层时,隧道施工多采用导坑领先的先拱后墙分部开挖法。根据围岩的松散程度、颗粒组成及自稳情况,在拱部常选用以下几种施工方法。

1. 分部开挖法

(1) 插钎法

适用于粒径较大的石块、碎石堆积层,或有黏砂土充填而胶结为中等密实的漂卵石地层。

导坑开挖时,用风锤或人力将2 m左右长的钢钎或短钢轨(入土一端锻尖),沿最前一排支撑上缘向工作面打入,方向略向上斜。其间距可根据具体地质情况而定。支撑顶部及两帮与坑壁间应以木板塞填密实。两侧是否打钎,可根据地层松散情况而定。如若在扩大部分仍需打钎,则可沿已架好的最前一排扇形支撑的外缘平行隧道轴线打入,也可由上导坑内垂直隧道轴线向两帮打入,逐步扩大。

(2) 插板法

适用于石屑堆积、沙层或软塑地层。

一般用宽 0.1 m 左右、长 0.8~1.0 m 的木板,前端劈尖,板与板间应相互抵紧或适当错搭。在横梁上的上下两块板间,以木楔楔紧。工作面设置护板,开挖时由上而下拆除,向前掘进。

(3) 钻钎护顶法

当遇颗粒大小不均,小者粒径几厘米,大者可达 150 cm,且无黏结物充填的漂卵石地层,极度松散,开挖时一触即坍。若采用一般插钎法,打入极端困难而且不易掌握方向,达不到护顶目的时,可运用钻钎护顶,不仅穿入地层速度较快,而且易于控制钻钎位置和方向。具体方法如下:

1) 导坑开挖

①开挖前将导坑掌子面用背柴或木板背紧,有砂部分用草袋堵塞。

②用凿岩机在横梁下缘向上倾斜(不小于 30°)钻入一排钢钎,钎长为 1.5~2 m,间距视卵石大小而定,一般为 20~25 cm,钎尾用铅丝系于横梁上,然后在钢钎护顶下,自上而下边挖边支,排架间距 50 cm。

2) 扩大和灌拱

①首先架设纵梁与立柱,然后在导坑两侧高于拱背的部位,钻入钢钎,每米约 3~4 根,钎长为 1.5~2.0 m,钎尾用铅丝系于纵梁上(图 1-3)。纵梁长度为 2.0~2.5 m,并与衬砌节段相适应。

②将导坑落底至起拱线附近。先抽换纵梁的立柱,再在高于衬砌断面处架设横撑,并将侵入衬砌断面的导坑立柱锯掉下半节(图 1-4)。

③紧接着向两侧继续进行扩大,采用扇形支撑,自上而下,边挖边支(图 1-5)。

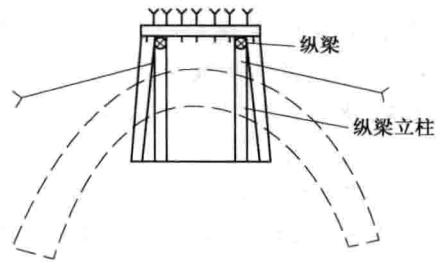


图 1-3 钻钎护顶开始扩大图

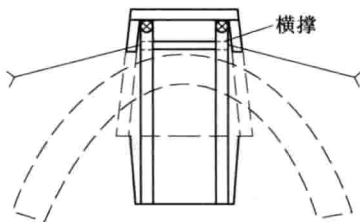


图 1-4 钻钎护顶导坑落底图

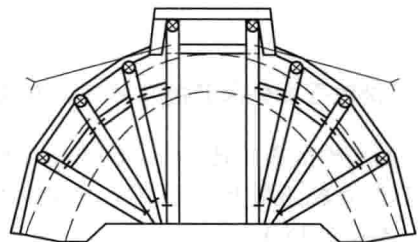


图 1-5 钻钎护顶扩大扇形支撑图

④灌拱,每节 2 m。拱背空隙用浆砌片石回填密实。

2. 分部开挖的施工顺序

插钎、插板和钻钎护顶法的开挖顺序如下:

(1)单线隧道宜采用上导坑先拱后墙法。起拱线以上用上导坑及分部扩大。起拱线以下用挖井法开挖边墙部位及灌注边墙;也可用短段拉中槽加背板和横撑的方法,分段施工边墙,并随即做好仰拱。

(2) 双线隧道则宜采用侧壁导坑先墙后拱法施工。

3. 分部开挖的施工注意事项

(1) 上导坑与扩大之间的距离应尽量缩短,拱部衬砌要紧跟。

(2) 在松散的碎石或砂层中开挖时,应准备草束或麻袋,随时堵塞缝隙,以免漏砂造成空洞,引起坍塌。

(3) 扩大后,灌拱前,拱脚基础应根据松散地层的承载能力分别采用夯实、垫木板,在拱脚部位向围岩打入横向钢钎或短钢轨、注浆加固等法加固,以防止开挖马口时发生坍塌。

(4) 用挖井法施工边墙时,井身断面尺寸,应以灌注 2 m 边墙为宜。井身及井口使用框架支撑撑紧。边墙拆模后,边墙脚与未挖核心土之间亦应以支撑撑紧或进行回填,以后随核心土一起挖掉。

(5) 支撑架设应预留沉落量。

(6) 衬砌应隔适当距离设置沉降缝。

(7) 不论松散地层中有无水,衬砌断面封后,均应向衬砌背后(包括仰拱下)压注水泥砂浆加固。

(8) 当在有地下水的砂层中施工时,挖底后仰拱未灌注混凝土前,为了防止流砂上翻,可进行抛压片石或以木板封闭(在两侧边墙脚处可打钢轨桩或锚杆),再分段砌筑仰拱。

1.3 断 层

1.3.1 断层对隧道施工的影响

隧道穿过断层地段,施工难度取决于断层的性质、断层破碎带的宽度、填充物、含水性和断层本身的活动性以及隧道轴线和断层构造线方向的组合关系(正交、斜交或平行)。此外,与施工过程中围岩的破坏程度、工序衔接的快慢、施工技术措施是否得当等,均有很大关系。

当隧道轴线接近于垂直构造线方向时,断层规模较小,破碎带不宽,且含水量较小时,条件比较有利,可随挖随撑。但当隧道轴线斜交或者平行于构造方向时,则隧道穿过破碎带的长度增大,并有强大侧压力应加强边墙衬砌,及时封闭。

1.3.2 断层地带隧道施工步骤

1. 探明断层地带情况施工前切实掌握所遇断层带的所有情况

当断层破碎带的宽度较大,破坏程度严重,破碎带的充填物情况复杂,且有较多地下水时,应在隧道一侧或两侧开挖调查导坑。利用调查导坑详细测绘地质状况后,应及时做好封闭衬砌调查导坑穿过断层后,宜在较好的岩层中掘进一段距离再转入正洞,开辟新的工作面以加快施工进度。如设有平行导坑时,可超前于正洞,预先了解正洞断层的实际地质情况,并有利于排水。

2. 选择合理的施工方法

在断层带的施工,应根据有关施工技术与机具设备条件、进度要求、材料供给等,慎重选择通过断层地段的施工方法。

当断层带内充填软塑状的断层泥或特别松散的颗粒时,比照松散地层中的超前支护,采用先拱后墙法。墙部的首轮马口,可用挖井法施工;如断层带特别破碎,则二、三轮马口应以扩井

法施工,最后挖去核心土,随即筑仰拱。

如断层地段出现大量涌水,则宜采取排堵结合的治理措施。

3. 施工注意事项

(1)防排水作业

1)如断层带地下水是由地表水补给时,应在地表设置截排系统引排。对断层承压水,应在每个掘进循环中,向巷道前进方向钻凿不少于2个超前钻孔,其深度宜在4 m以上,以探明地下水的情况。

2)随工作面的向前推进挖好排水沟,并根据岩质情况,必要时加以铺砌。如为反被掘进,则除应准备足够的抽水设备外,并应安排适当的集水坑。

3)坑壁或坑顶有水流出时,应凿眼安置套管集中引排,使其不漫流。

(2)施工工序

1)通过断层带的各施工工序之间的距离宜尽量缩短,并尽快地使全断面衬砌封闭,以减少岩层的暴露、松动和地压增大。

2)当采用上下导坑、先拱后墙法施工时,其下导坑不宜超前过多,并改用单车道断面,掘进后即将下导坑予以临时衬砌。上下导坑间的漏斗间距宜加大到10 m左右,并全部以框架框紧。

(3)开挖作业

1)采用爆破法掘进时,应严格掌握炮眼数量、深度及装药量。原则上应尽量减小爆破对围岩的震动。

2)采用分部开挖法时,其下部开挖宜左右两侧交替作业。如遇两侧软硬不同时,应用偏槽法开挖,按先软后硬顺序交错进行。

(4)支护作业

1)断层地带的支护应宁强勿弱,并应经常检查加固。

2)在断层地带中,开挖面要立即喷射一层混凝土,并架设有足够强度的钢架支撑。

3)当采用分部开挖,袭用以往木支撑时,要注意上导坑和扩大两工序间的支撑倒换工作,并需预留足够的支撑沉落量,防止因倒拆横、纵梁及反挑顶而引起坍方。这种坍方往往处理费事,且对安全威胁很大。此外,当拱圈封顶后应立即设置拱脚卡口梁,并应以木楔切实塞紧。

(5)衬砌作业

1)衬砌应紧跟开挖面。

2)衬砌断面应尽早封闭。

1.4 岩 溶

1.4.1 岩溶对隧道施工的影响

当隧道穿过可溶性岩层时,有的溶洞位于隧道底部,充填物松软且深,隧道基底难于处理;有的溶洞岩质破碎,容易发生坍塌;有时遇到大的水囊或暗河,岩溶水或泥砂夹水大量涌入隧道;有时遇到填满饱含水分的充填物溶槽,当坑道掘进至其边缘时,含水充填物不断涌入坑道,难以遏止,甚至地表开裂下沉,山体压力剧增;有的溶洞、暗河迂回交错、分支错综复杂、范围宽广,处理十分困难。

1.4.2 隧道遇到溶洞的处理措施

隧道在溶洞地段施工时,应根据设计文件有关资料及现场实际,查明溶洞分布范围、类型情况(大小、有无水,溶洞是否在发育中,以及其充填物)、岩层的稳定程度和地下水流情况(有无长期补给来源、雨季水量有无增长)等,分别以引、堵、越、绕等措施进行处理。

1. 引排水

(1)当暗河和溶洞有水流时,宜排不宜堵。在查明水源流向及其与隧道位置的关系后,用暗管、涵洞、小桥等设施,渲泄水流或开凿泄水洞,将水排出洞外。

(2)当水流的位置在隧道上部或高于隧道时,应在适当距离外,开凿引水斜洞(或引水槽)将水位降低到隧道底部位置以下,再行引排。

2. 堵填

(1)对已停止发育、径跨较小、无水的溶洞,可根据其与隧道相交的位置及其充填情况,采用混凝土、浆砌片石或干砌片石予以回填封闭,根据地质情况决定是否需要加深边墙基础。

(2)拱以上空溶洞,可视溶洞的岩石破碎程度采用喷锚支护加固,或加设护拱及拱顶回填的办法处理。

3. 跨越

当溶洞较大较深,可采用梁、拱跨越。但梁端或拱座应置于稳固可靠的基岩上,必要时用圬工加固。

隧道在不同部位遇到溶洞的跨越措施:

(1)当隧道一侧遇到狭长而较深的溶洞,可加深该侧的边墙基础通过。

(2)当隧道底部遇有较大溶洞并有流水时,可在隧底以下砌筑浆砌片石支墙,支承隧道结构,并在支墙内套设涵管引排溶洞水。

(3)当隧道边墙部位遇到较大、较深的溶洞,不宜加深边墙基础时,可在边墙部位或隧底以下筑拱跨过。

(4)当隧道中部及底部遇有深狭的溶洞时,可加强两边墙基础,并根据情况设置桥台架梁通过。

(5)溶洞上大下小,且有部分充填物时,可将隧道顶部的充填物清除,然后在隧道底部标高以下设置钢筋混凝土横梁及纵梁,横梁两端嵌入岩层。

(6)隧道穿过大溶洞,情况较为复杂时,可根据情况,以边墙梁及行车梁通过。

4. 绕行施工

施工中遇到一时难以处理的溶洞时,可采用迂回导坑绕过溶洞区,继续进行隧道施工,再行处理溶洞。

1.4.3 岩溶地段隧道施工注意事项

(1)隧道通过岩溶地区时,施工前应根据设计资料并结合施工现场情况,采用综合超前地质预报,探明溶洞的分布范围、类型、规模、发育程度、填充物、地下水的情况(有无长期补给来源、雨季水量有无增长等)及岩层的稳定程度等,按照以疏为主、堵排结合、因地制宜、综合治理的原则,分别以“疏导、堵填、注浆加固、跨越、宣泄”等措施进行处理。

(2)隧道岩溶地段施工应符合下列规定:

1)施工前应详细了解山顶地表水、出水地点的情况,有条件时采取地表注浆等措施对地表进行必要的处理。

2)应提早作好处理岩溶的方案,并准备足够数量的排水设备和物资。

3)对于岩溶发育地区的隧道,施工中应建立以长距离物探(地震波法)为宏观控制、钻探法为主,其他物探方式为辅,红外线探测连续施测的综合预报管理体系。

4)开挖方法宜采用台阶法,必要时采用CD法。在Ⅱ、Ⅲ级围岩条件下,且溶洞仅穿过隧道底部一小部分断面时,可采用全断面法。

5)爆破开挖时,按“密布眼、少装药”的原则进行,遇有渗漏水时应小心施爆。

6)当隧道只有一侧遇到溶洞时,应先开挖该侧,待支护完成后再开挖另一侧。

(3)岩溶地区隧道支护和二次衬砌应根据溶洞情况予以加强。

(4)二次衬砌施工前,应采用物探手段检查隧道周边环形加固层及层外围岩情况,重点检查拱部、底板、侧边墙5 m以内是否存在有害空洞,隧道底部是否密实。

1.5 风积沙、含水砂层

风积沙是指在风成沙性质上发育起来的土壤,呈松散堆积状态,级配不良,几乎无黏聚力、抗剪强度低,稳定性差,极易受扰动而发生塌方。当埋深较浅时,常伴随隧道开挖产生地表纵向及横向裂缝,当洞内滑沙、漏沙现象严重时,地表会形成规则的漏斗状地貌,衬砌结构变形速率快、变形量大,施工难度很大。因此,在风积沙地层中修建隧道应特别慎重,需经多方案比较,采取切实可行的方案保证施工安全和结构的耐久性和稳定性。

1.5.1 一般规定

隧道通过风积沙和含水砂层时,应将防水工作放在首位,含水砂层可采用注浆、冻结等方法止水、固结。

(1)风积沙和含水砂层隧道的开挖应符合下列规定:

1)风积沙层隧道开挖应遵循“先支护、后开挖”的原则;含水隧道开挖应遵循“先治水、后开挖”的原则。

2)砂层隧道根据隧道断面大小,宜采用交叉中隔壁法、中隔壁法或临时仰拱台阶法开挖,并应严格控制一次循环进尺长度。

3)开挖时应及时监测拱部支护的实际下沉量,当预留变形量过大或不足时,应及时调整。

(2)砂层隧道的支护应符合下列规定:

1)可采用注浆方法固结砂层,插板作超前支护。

2)支护应及时,边挖边喷混凝土封闭,遇缝必堵,严防砂粒从支护缝隙中漏出。

开挖地段的排水沟应铺砌、抹面,或用管、槽等将水引至已二次衬砌地段排出洞外。

风积沙和含水砂层隧道的二次衬砌应及早施作。

1.5.2 风积沙地层超前预支护技术

风积沙隧道超前支护方案的选择应以防漏沙、滑沙为主要目的,同时结合风积沙覆盖层厚度、隧道穿越风积沙段长度、施工开挖方案以及隧址区环境限制要求等因素综合考虑。施工中应根据固沙效果及时优化设计参数及设计方案。

1. 密排超前小导管

(1) 适用条件

本方法适用于对地表沉降无严格要求或部分洞身穿越风积沙地层的隧道。

(2) 施工工艺

1) 小导管制作

先把钢管截成需要的长度,在钢管的前段切割、焊接成10~15 cm长的尖锥状,在钢管后端10 cm处焊接 $\phi 6$ mm钢筋箍,以利套管顶进。

2) 喷混凝土封闭开挖面

为了防止小导管注浆时浆液沿隧道掌子面渗漏,需做止浆墙封闭开挖面,止浆墙采用喷射混凝土方法制作,厚度为5~10 cm。

3) 测量放样

通过测量放样,准确地将设计的小导管位置布置在施工断面上,做好标记,并设置必要的控制点,以便在钻孔时用来控制小导管的外插角度和方向。

4) 打管施工

沿隧道外轮廓线用YT-28型风动凿岩机钻孔,然后顶入导管。小导管顶进时控制打管偏差,横向和竖向的偏差均不得大于 1° 。小导管打入后,将小导管尾部与钢拱架焊接,使小导管钢拱架在开挖中起到棚架作用。

5) 注浆

导管打设完毕后,为减少孔内坍塌影响注浆效果,应及时进行注浆施工。注浆顺序由下到上,从最下面的小导管开始按顺序向拱顶逐根注浆。当注浆压力逐步升高到设计终压,并继续注浆10 min以上时即可结束该孔注浆。

(3) 施工技术要求

1) 应严格控制小导管施作角度、环向间距、打入长度及纵向搭接长度,以确保超前支护效果。

2) 注浆是超前支护过程中一个很重要的环节,决定着风积沙隧道超前支护效果,需要严格控制;注浆应从最下面的小导管开始按顺序向拱顶逐根注浆,严禁顺序颠倒。

3) 当堵沙效果不理想时可采用双层交错布置。

4) 小导管注浆参数应根据现场试验确定,注浆压力宜控制在1.0~1.5 MPa。

2. 超前大管棚

(1) 适用范围

本方法适用于对地表沉降无严格要求的风积沙隧道的拱部范围。

(2) 施工工艺

1) 大管棚加工

管棚沿两条垂直直径布设四排对称溢浆孔,相邻两排注浆孔成梅花形布置,管棚采用内外丝扣连接方式,即在每节管棚两端分别设10 cm左右内外丝,管棚安设时,每节管棚间通过丝扣连接成整体。

2) 导向墙设计与施工

导向墙可利用上台阶工作空间,以上台阶临时仰拱为基础,以相邻掌子面三品钢拱架为支架,厚度不小于100 cm,采用与初期支护同强度等级混凝土浇筑。无管棚施工工艺采用导向管直接安装在导向墙上,导向管大小、环向间距、径向外插角等根据大管棚设计确定。