

工程机械 施工手册

7

隧道机械施工

铁道部隧道工程局 王梦恕 宋廷坤 王 潜 主编

中国铁道出版社

2001年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本手册是为施工技术人员、工程机械技术和管理人员合理选用施工机械,提高施工机械的使用和管理水平而编写的,包括起重机械、基础机械施工、混凝土机械施工、架梁及水上机械施工、土石方机械施工、铺轨架梁机械施工、隧道机械施工等分册。

本第七分册是隧道机械施工,分三篇共二十三章、三个附录、和一个附表,第一篇是隧道施工;第二篇是隧道施工机械;第三篇是隧道施工供电系统及设备。全书力求做到系统、先进、全面、准确。

本套手册自出版以来很受读者欢迎,很快售罄。由于成套重版成本甚高,加之人员变动未能实现。为了满足现场需求,只好按原书重印,仅对个别错字(句)予以更正。又,因个别规范(标准)的重新颁布,内容会有出入,请读者按现行规定执行。同时也请读者及时给出版社反馈信息,俟机修订。

图书在版编目(CIP)数据

工程机械施工手册.7,隧道机械施工/王梦恕、宋廷坤、王潜主编.
北京:中国铁道出版社,1992.12(2002.05重印)

ISBN 7-113-001088-1

I.工... II.①王...②宋...③王... III.①铁路工程-工程机械-技术手册②隧道工程-工程机械-技术手册 IV.TU6-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 52518 号

书 名:工程机械施工手册⑦隧道机械施工
作 者:王梦恕、宋廷坤、王潜 主编
出版·发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)
责任编辑:江新锡
印 刷:中国铁道出版社印刷厂
开 本:787×1092 1/16 印张:39.75 字数:948千
版 本:1992年12月第1版 2002年5月第2次印刷
印 数:2001~3000册
书 号:ISBN 7-113-01088-1/TU·237
定 价:79.00元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

编者的话

随着我国基本建设事业的迅速发展，工程施工机械化水平在不断提高，机械化施工流水作业线在不断涌现，并正向综合机械化配套方向发展。为了提高机械施工管理水平，合理选择和使用机械，搞好工程机械施工工作，提高施工的技术水平，原铁道部基本建设总局于1982年决定组织人力编写工程机械施工手册，以供土木工程技术人员、机械技术人员和管理人员，以及领导干部在实际工作中参考使用。

工程机械施工手册的编写要求，是将有关的机械资料全面汇集起来，将施工方法、步骤与机械的性能、规格等内容合编在一起，旨在使工程施工人员了解施工机械的性能；使机械技术人员知道土建施工概况。本手册的编写力求做到系统性、先进性、适用性和准确性。对于陈旧的、趋向淘汰的机型和施工技术不予编入。

本手册分起重机械、基础机械施工、混凝土机械施工、架梁及水上机械施工、土石方机械施工、铺轨架梁机械施工、隧道机械施工等分册。

本分册是隧道机械施工分册。初稿完成后，曾组织了编写组成员、聘请了有关专家，对初稿进行了认真的讨论，并作了大幅度、细致的修改。1990年3月在铁道部中国铁路工程总公司工厂机械处处长齐子宏、高级工程师汪鸿位的主持下，邀请了西南交通大学教授唐经世，北方交通大学教授张弥，铁路工程发包公司高级工程师齐景嶽，中国铁路工程总公司技术处高级工程师李志焯，铁道部第二工程局高级工程师甘振明、武宝文，铁道部隧道工程局高级工程师周秉礼，中国铁道出版社江新锡，对书稿内容再次进行了全面的审查。编写组的同志根据审查意见，对书稿又进行了修改。

本分册编写过程中，中国铁路工程总公司领导自始至终给予亲切的关怀和支持。铁道部隧道工程局领导在本手册的编写过程中给予大力支持和帮助，铁道部第一工程局、长沙铁道学院及路外有关单位提供了很多有用的技术资料，谨此表示感谢。

本分册由张鹰、白元、刘兴泉等绘图。

由于编者水平有限，参加编写人员较多，加之新技术不断发展，书中难免有不妥或错误之处，欢迎读者指正。

编者

1990年12月

本分册编写人员

主 编：铁道部隧道工程局副总工程师 王梦恕

副总工程师 宋廷坤

高级工程师 王 潜

编写人员（按姓氏笔划）：

编 者：王梦恕 王 潜 方新强 尹承跃 乐 宏 邓举富 刘招伟 刘东亮

向贤鹤 李飞鹏 李兰田 张荣华 张爱荣 杨元胜 郑春学 柯炳辉

高 雷 钟筠筠 龚宇澄 董含怡 韩亚莉 韩忠存

目 录

第一篇 隧道施工

| | | | |
|-----------------------|----|------------------------|-----|
| 第一章 喷锚构筑法施工 | 3 | 第五节 管段沉放 | 69 |
| 第一节 施工通则 | 3 | 第六节 水下连接 | 74 |
| 第二节 施工方法与机械配套 | 4 | 第七节 基础处理 | 78 |
| 第三节 开挖方法 | 8 | 第四章 盾构法施工 | 83 |
| 第四节 初次支护施工 | 12 | 第一节 概述 | 83 |
| 第五节 防排水施工 | 17 | 第二节 施工前的准备 | 86 |
| 第六节 斜、竖井施工 | 34 | 第三节 盾构的开挖、推进与出碴 | 91 |
| 第七节 二次模筑混凝土施工 | 35 | 第四节 衬砌、衬砌防水及背后注浆 | 94 |
| 第八节 量测监控 | 38 | 第五章 地下连续墙施工 | 101 |
| 第二章 浅埋暗挖法施工 | 44 | 第一节 概述 | 101 |
| 第一节 施工通则 | 44 | 第二节 导墙 | 101 |
| 第二节 竖井施工 | 45 | 第三节 护壁泥浆 | 103 |
| 第三节 开挖方法与机械配套 | 46 | 第四节 挖槽和接头管 | 105 |
| 第四节 辅助施工措施 | 47 | 第五节 清底、刷壁 | 108 |
| 第五节 管棚钢架超前支护 | 52 | 第六节 钢筋笼制作及吊装 | 108 |
| 第六节 开挖、装碴、运输作业线 | 53 | 第七节 浇筑水下混凝土 | 110 |
| 第七节 浅埋暗挖法施工要点 | 55 | 第八节 主要机械设备 | 111 |
| 第三章 沉埋管段法施工 | 56 | 第六章 施工通风及防尘 | 113 |
| 第一节 沉管隧道及沉管 | 56 | 第一节 施工通风方式及布置 | 113 |
| 第二节 干坞与管段施工 | 57 | 第二节 施工通风设计 | 116 |
| 第三节 基槽开挖及航道疏浚 | 65 | 第三节 通风机的选择及通风管理 | 125 |
| 第四节 管段浮运 | 67 | 第四节 粉尘污染及防治 | 126 |

第二篇 施工机械

| | | | |
|-------------------------|-----|--------------------|-----|
| 第一章 铁路隧道施工机械的选型配套 | 138 | 第四章 混凝土喷射机械 | 220 |
| 第一节 选型配套的必要性及一般原则 | 138 | 第一节 干式转子喷射机 | 221 |
| 第二节 选型配套实例 | 138 | 第二节 其它干式喷射机 | 230 |
| 第二章 凿岩机械 | 141 | 第三节 湿式喷射机 | 236 |
| 第一节 风动凿岩机 | 141 | 第四节 混凝土喷射机械手 | 245 |
| 第二节 液压凿岩机 | 151 | 第五节 混凝土喷射机组 | 251 |
| 第三节 钎子 | 160 | 第五章 注浆机械 | 259 |
| 第四节 凿岩台车 | 171 | 第一节 旋转式钻机 | 259 |
| 第三章 装药、锚杆、找顶及清底机械 | 199 | 第二节 冲击式钻机 | 264 |
| 第一节 装药器和装药台车 | 199 | 第三节 注浆泵 | 271 |
| 第二节 锚杆台车 | 206 | 第四节 搅拌机 | 276 |
| 第三节 找顶及清底机械 | 213 | 第五节 其它注浆机具 | 277 |

| | | | |
|-----------------------|-----|-------------------------|-----|
| 第六章 装碴机械 | 283 | 第三节 主要结构及工作原理 | 437 |
| 第一节 轮胎式装载机 | 283 | 第四节 使用及保养 | 443 |
| 第二节 履带式装载机 | 285 | 第五节 常见故障及排除方法 | 443 |
| 第三节 扒爪装岩机 | 291 | 第十二章 连续墙施工机械 | 450 |
| 第四节 耙斗式装岩机 | 299 | 第一节 抓斗 | 450 |
| 第五节 铲斗式装岩机 | 303 | 第二节 多头钻机 | 459 |
| 第七章 运输机械 | 309 | 第三节 履带吊车 | 462 |
| 第一节 自卸汽车 | 309 | 第十三章 盾构 | 471 |
| 第二节 电瓶车 | 317 | 第一节 几种盾构实例的主要性能参数 | 471 |
| 第三节 矿车 | 321 | 第二节 手工挖掘式盾构 | 471 |
| 第四节 矿车卸载机械 | 328 | 第三节 半机械化盾构 | 478 |
| 第八章 混凝土二次模注衬砌机械 | 333 | 第四节 泥水加压盾构 | 480 |
| 第一节 混凝土搅拌站 | 333 | 第五节 土压平衡盾构 | 484 |
| 第二节 混凝土搅拌运输车 | 345 | 第六节 网格挤压式盾构 | 488 |
| 第三节 混凝土输送泵 | 355 | 第十四章 砂石机械 | 490 |
| 第四节 全断面钢模板衬砌台车 | 366 | 第一节 破碎机械 | 490 |
| 第五节 混凝土施工辅助设备 | 370 | 第二节 颚式破碎机 | 491 |
| 第九章 通风机械 | 375 | 第三节 旋回式破碎机 | 496 |
| 第一节 轴流式通风机 | 375 | 第四节 圆锥破碎机 | 500 |
| 第二节 通风管及消声器 | 388 | 第五节 辊式破碎机 | 507 |
| 第十章 斜、竖井施工机械 | 395 | 第六节 锤式破碎机 | 509 |
| 第一节 斜井施工机械 | 395 | 第七节 反击式破碎机 | 512 |
| 第二节 竖井施工机械 | 417 | 第八节 筛分机械 | 515 |
| 第十一章 悬臂掘进机 | 435 | 第九节 破碎-筛分联合装置 | 524 |
| 第一节 概述 | 435 | 第十节 洗砂机 | 525 |
| 第二节 主要技术性能及参数 | 435 | | |

第三篇 供配电系统及设备

| | | | |
|---------------------|-----|-----------------------|-----|
| 第一章 概述 | 529 | 第一节 电力设备的选择 | 549 |
| 第一节 基本概念 | 529 | 第二节 电力设备的技术性能 | 551 |
| 第二节 常用供电系统 | 531 | 第三节 新装电器设备的交接试验 | 562 |
| 第二章 隧道施工供电及安全 | 533 | 附录一 工程机械油水技术和管理 | 571 |
| 第一节 施工供电 | 533 | 附录二 柴油机废气净化 | 587 |
| 第二节 施工照明 | 538 | 附录三 铁路隧道围岩分类 | 613 |
| 第三节 施工供电安全 | 543 | 附表 | 615 |
| 第三章 隧道用电力设备 | 549 | 参考资料 | 629 |

第一篇 隧道施工

隧道及地下工程已涉及到国民经济的各个领域，除铁路、公路、水利、水电、煤炭、冶金、彩矿、城市地铁、国防外，尚有商业地下仓库、城市地下车场、各种地下管道、过街地道、水底隧道等。根据其施工特点、隧道施工可分为五大类：

一、喷锚构筑法施工

主要用于单线、双线、多线的铁路、公路山岭隧道施工。开挖方式以钻爆法为主，用控制爆破以减少对围岩的扰动；掘进方式有全断面法、台阶法、分部开挖法等。施工时采用喷锚支护控制围岩变形。对长大隧道采用复合式衬砌结构，装碴机出碴，采用有轨或无轨运输，待地层变形基本稳定后再做模筑衬砌。

二、浅埋暗挖法施工

铁路隧道洞口、城市地铁及地下管网一般埋深较浅，地面不允许有过大沉陷时，多采用浅埋暗挖法施工，该方法多在第四纪软弱地层中应用。开挖方式多为正台阶法，单壁导坑法、中隔墙法、双侧壁导坑法等。

挖掘方式多用机械或人工，支护形式采用复合衬砌，初次支护由喷混凝土、网构钢架、钢筋网及锚杆组成，二次模筑衬砌采用钢筋混凝土结构或混凝土结构。

浅埋暗挖法的辅助工法较多，目前以注浆加固地层为主，以管棚、小导管支护地层为辅的综合措施。施工原则为管超前，严注浆，短进尺，紧封闭，强支护，勤量测。

该施工方法灵活多变，对地面建筑、道路、地下管网影响不大，拆迁少，不扰民，不污染城市，是近十年来国内外才发展起来的新方法。

三、地下连续墙施工

当采用明挖法修建地铁车站结构时需用地下连续墙作为基坑的支撑结构，将土和水挡在车站结构物以外，地下连续墙一般厚度为0.6~1.2m，深度为20~30m，用泥浆护壁法进行开挖。

该项施工技术发展较快，我国最早在水坝基础下，做成粘土式地下连续墙，近十年来逐渐被移植到地铁明挖法和盖挖法中，已成为城市地下工程明挖施工不可少的施工技术。

四、盾构法施工

盾构是在有水地层、软弱不稳定围岩中修建地下铁道区间隧道时，进行开挖支护和衬砌

的一种专用机械设备。

盾构一般为圆形断面，按隧道使用目的不同也可采用矩形、马蹄形或半圆形等。

盾构法施工具有不拆迁地面建筑及地下管网，施工期间无噪音、无振动，不影响地面交通等优点。

由于盾构法随地层的变化会产生不适应性，断面也不允许改变，制造盾构的成本较高，造价高昂，用浅埋暗挖法可以解决问题时，应尽量用该法代替盾构法施工。

盾构的种类很多，按其构造及开挖方式不同，常有下述类型的盾构可供选用：

1. 普通人力开挖盾构；
2. 网格式半封闭式盾构；
3. 封闭式半机械化盾构；
4. 机械挖掘式盾构；
5. 局部气压式盾构；
6. 泥水加压式盾构；
7. 土压平衡式盾构；
8. 泥水平衡式盾构；
9. 插刀式盾构。

在选择盾构类型时，要根据地质情况认真研究确定。

五、沉埋管段法施工

隧道穿越江河海峡时，将隧道置于水中，使隧道在水底通过，这样可缩短隧道长度，提高施工进度，降低工程造价。这种方法所用的水上起吊设备和挖沟设备较大，当这些条件具备时，应优先考虑该法。这种施工方法所用的技术涉及范围较广、难点较大，我国还刚刚起步。

本篇第六章重点介绍“通风与防尘”，使读者重视这方面的研究，重视改善地下工程的工作环境，使从事地下工作的职工能有一个良好的卫生环境。

第一章 喷锚构筑法施工

目前，铁路山岭隧道常用的以钻爆开挖、喷锚支护为主的施工方法称为喷锚构筑法，它与传统的矿山法施工有很大不同。

第一节 施工通则

隧道施工前，应组织人员进行现场调查，核对设计文件，以编制施工组织、确定施工方法、按要求尽快完成四通（水、电、道路、通讯）一平（平整场地）以及洞口仰坡处理、机械配备等工作。

一、四通一平

1. 水量及水压应满足大型机械的施工要求，在严寒地区，洞口风水管路应埋置在冻结线以下，或采取其他防冻保温措施。

2. 高压配电装置应设在离洞口 150~200m 范围内，对于长隧道，应确保高压进洞，变压器容量视机械配备而定，并尽量配备有两套独立的供电电源系统或采用Ⅰ级供电。

3. 临时道路应平顺，能双向行车，能常年畅通，不受季节气候变化的影响，能承受大型装碴机、汽车等重型设备的运行，以确保隧道快速施工的要求。

4. 应设立有线通讯系统，确保工地与外界及工地内部的指挥调度联系。

5. 平整场地（包括施工及生活所需场地），清除周围危石，选择山体稳定的场地修建生产、生活用房。易燃易爆物品应专门设置在安全偏僻处。

二、洞口工程施工

隧道洞口和与洞内施工有干扰的工程，均应力争在进洞前基本完成或配合洞内工程进度安排，分清缓急，分批分期进行。

1. 洞口地带多属浅埋软弱地层或破碎堆积物，极不稳定。因此，洞口仰坡及两侧边坡在清除危石、杂草后，应采用喷锚支护加固，必要时，可采用长导管或小导管超前支护，加固后方可开始洞口施工。洞口施工多用机械开挖或微振爆破法完成。

2. 天沟、边沟排水系统要在雨季前完成，洞口场地范围内的路堑、路堤等工程应提前完成。

三、机械配备

施工前除应按规定配备施工机械（包括凿岩、出碴、喷锚、模筑等配套机械）外，还应配备足够容量的空压机及水压大于 0.3MPa 的水源供给设备。

四、施工监控和反馈程序

喷锚构筑法施工与传统的施工方法的不同点之一是用现场量测的信息指导施工，通过对开挖面的地质条件和拱顶变形、净空收敛量测等来判断其支护结构的稳定性，并对隧道的施工方法、开挖步骤、顺序、初次支护参数进行合理调整，找出最佳的支护参数及安全快速的施工方案。主要施工反馈程序见图 1—1—1。

五、施工组织设计

施工前须根据工程特点、水文和地质条件、工程进度要求等编制施工组织设计，确定开挖方法、循环进尺、初次支护的施工顺序、监控量测内容、施工工艺、工序安排、通风防尘、劳力组织、机具配备、材料供应、场地布置等。同时，还须编制安全技术组织措施、可能出现问题的对策表、特殊工序施工细则要点等。编制施工组织设计应遵循以下原则：

1. 开挖方法应尽可能采用全断面或大断面开挖，以减少开挖对地层的扰动次数。
2. 重视辅助施工措施，当地层软弱、开挖面不能自稳时，在采用辅助措施加固围岩后，仍应采用大断面开挖。
3. 施工机械要配套，应选择适用于不同地层、不同断面的开挖、通风、喷锚、装运、防水、二次模筑衬砌作业的配套机械，为快速施工创造条件。
4. 现场监控量测与反馈是喷锚构筑法施工的核心，必须在施工组织设计中作为工序进行设计。
5. 工序安排要突出及时性，尤其是开挖后要及时喷射混凝土。
6. 要组织综合工班进行作业。
7. 喷射混凝土是初次支护的主要受力结构，对水泥、速凝剂等材料要严格保管，不能使用过期、受潮的不合格产品，以保证其强度并减少粉尘和回弹。
8. 施工中开挖、喷锚、装碴等工序将产生大量的粉尘和有害气体，因此，应加强通风、防尘措施及其管理，并设专人负责，做到文明施工。

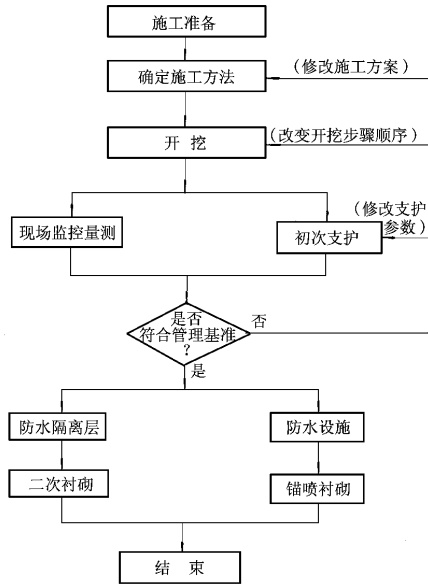


图 1—1—1 主要施工反馈程序

第二节 施工方法与机械配套

一、施工方法选择

施工前应根据工程水文地质条件、隧道埋置深度、断面结构形式，结合施工队伍的机械

配备和习惯，拟定几种不同形式的施工方法，要在确保安全、快速、高质量的前提下进行比较，选择能发挥自己特长、有较大适用性的施工方法，可在围岩发生变化时能较容易地快速转变成能和围岩相适应的其他施工方法。

二、施工方法的类型

采用喷锚构筑法施工时，常用的典型施工方法有全断面法、正台阶法和分部开挖法三大类型，以及由此派生出来的有以下几种局部变化的施工方法，见图 1—1—2。

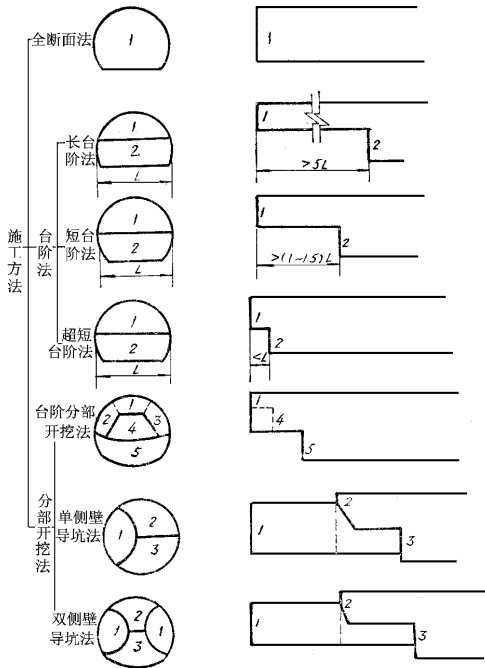


图 1—1—2 几种局部变化的施工方法

三、施工方法的适用范围

每一种施工方法都有自己的最佳适用条件及范围，须根据现场条件进行选择。全断面法适用于Ⅵ～Ⅳ类围岩地段；台阶法适用于Ⅰ～Ⅳ类围岩，但一般用于Ⅱ类及Ⅲ类较差围岩地段；Ⅲ～Ⅳ类围岩也可用超短台阶法、半台阶法、长台阶法施工，Ⅰ～Ⅱ类软弱围岩多用短台阶法施工（为稳定工作面，一般辅以小导管超前或环形开挖等措施）；分部开挖法适用于软弱围岩、特殊工程要求的地段。

四、施工方法与机械配套

采用上述各种施工方法时，其主要工序及相应的配套机械见图 1—1—3 及表 1—1—1。

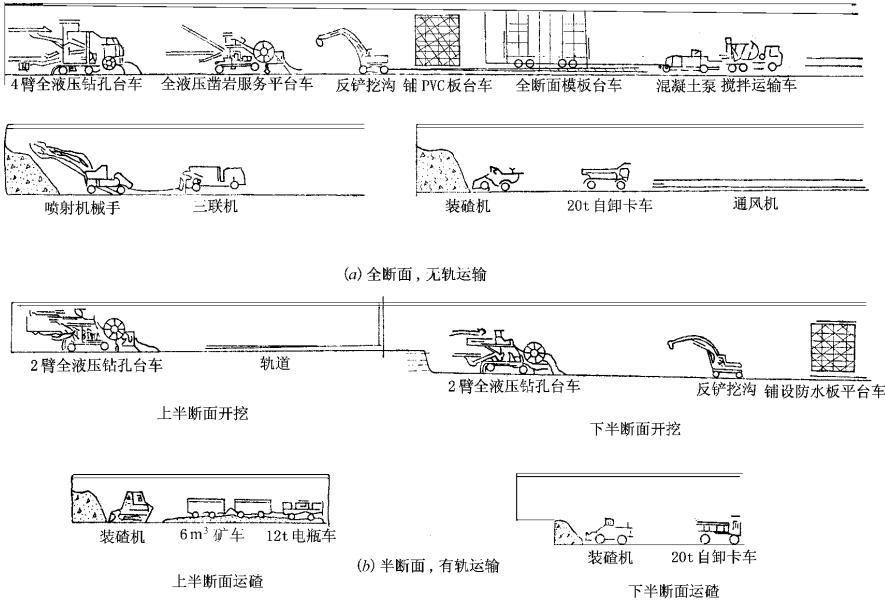


图 1—1—3 施工机械工序流程图

机械配套表

表 1—1—1

| | 机 械 名 称 | 型 号 | 规 格 | 制 造 厂 |
|-----------------------|-----------|--|--------------------------|-------------|
| 挖 装 运 | 轮胎式液压凿岩台车 | TH286 | 四臂 | 瑞典阿特拉斯 |
| | 轮式装载机 | 966D | 2.7m ³ /斗 | 美国卡特彼勒 |
| | 轮式装载机 | LM1614 | 2.6m ³ /斗 | 瑞典 VOLVO—BM |
| | 自卸汽车 | DP205 | 20t | 意大利佩尔利尼 |
| 喷 锚 支 护 | 混凝土喷射三联机 | B1.5—4.0 | 4.5~9.0m ³ /h | 瑞典斯特皮莱脱 |
| | 混凝土喷射机械手 | Robot75 | 14m×10m | 瑞典斯特皮莱脱 |
| | 混凝土喷射机 | PH-30 | | 国产 |
| | 混凝土喷射机 | 转子 II 型 | | 国产 |
| 混 凝 土 衬 砌 | 混凝土拌合楼 | M30 | 27m ³ /h | 意大利西发公司 |
| | 混凝土拌合运输车 | FV313JML | 6m ³ | 日本三菱—极东 |
| | 混凝土输送泵 | PTE—60S | 0~60m ³ /h | 日本 IHI 会社 |
| | 混凝土衬砌模板台车 | GKK | 12m (双线) | 日本岐阜工业公司 |
| 通 用 机 械 | 反铲挖掘机 | HD850G | 0.85m ³ | 日本加藤 |
| | 平板式工作平台车 | 黄河底盘 | 工作高度 8~9m | 国产 |
| | 液压臂式工作平台车 | 黄河底盘 | 载重 500kg/臂 | 国产 |
| | 通风机 | MFA100P ₂ —SC ₃ BHSH | 1000m ³ /min | 日本三井 |

无轨运输全断面施工主要工序有：1. 钻眼爆破作业；2. 通风作业；3. 找顶作业；4. 初次喷射混凝土作业；5. 装碴运输作业；6. 锚杆安装及二次喷射混凝土作业；7. 模筑混凝土作业（包括铺设防水隔离层）。

半断面施工的主要工序与全断面施工相似，但设备则有所不同。

在有条件时，应组织机械化作业线，以缩短循环作业时间、提高施工速度，为此，应选择合理的施工机械。

（一）凿岩机械

选择的凿岩机械应具备：凿岩速度快，能控制打眼精度，能适用不同的围岩，不污染（或少污染）作业环境，钻头、钻杆等主要零部件安装方便、使用寿命长，所需功率低等。

（二）装碴运输机械

选择的装碴机械应和运输设备相匹配，灵活方便，能适用于不同的开挖断面，单位小时产量高、污染少，维修费用低等。全断面开挖短隧道宜采用无轨运输，一般情况下应采用有轨运输，以减少污染，降低工程费用。

挖、装、运作业在隧道施工中约占总循环作业时间的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ ，因此，机械匹配良好非常重要。

（三）通风机械

应选择低噪音、大风量风机。以改善喷射混凝土及装碴运输作业环境。

（四）喷锚机械

选择的喷射混凝土机械应符合：设备紧凑，搬动方便，便于操作、维修、管理、易于控制喷射压力，能使砂、石含水率分别达到 7% 和 4% 而不产生堵塞现象等要求。喷射混凝土的拌合必须采用强制式拌合机，安装锚杆用钻孔机械应尽量采用凿岩机械。

（五）二次模筑衬砌机械

二次模筑衬砌作业机械包括：衬砌模板台车、混凝土拌合楼、混凝土运输车、混凝土输送泵等。选择的机械应互相匹配、单位小时产量高、拌合楼能掺外加剂、泵送机械能泵送较长距离并可以串连。

（六）其他机械

除上述机械设备外，还有反铲挖掘机、服务平台等设备的选择也应具有经济、快速、安全、适用性强、能耗低、不污染等特点。

五、落底及仰拱施工

在台阶法和分部开挖法施工中，必须在上半断面初次支护基本稳定后，才允许进行下半断面和仰拱的施工，且须做到以下几点：

1. 落底前检查上半断面初次支护的拱脚是否和围岩形成整体，纵向联系是否良好，否则应进行加固，符合要求后方可开始落底。
2. 采用纵向单侧交错落底，防止在同一断面上左右两侧同时悬空。
3. 采用沿隧道纵向推进式落底法，每循环开挖长度一般为 1~3m，决不允许大于 6m，杜绝跳挖马口的施工方法。
4. 落底和仰拱的施工要快，开挖后必须及时进行钢拱架联系和喷射混凝土工序。
5. 落底过程中量测工作必须紧密配合，当发现变位速率增大时，应及时处理并封闭

仰拱。

第三节 开挖方法

一、开挖方法的选择

隧道开挖方法有钻爆开挖法和非钻爆的机械开挖法、人工和机械混合开挖法等。应视围岩情况、环境条件、技术熟练程度、施工安全等条件合理选择。

非钻爆的机械开挖法、人工和机械混合开挖法适用于软岩 ($R_b \leq 30\text{MPa}$) 地层,对软土隧道及不能进行爆破开挖地层的隧道,我国目前多采用非钻爆的人工和机械混合开挖法。采用悬臂掘进机、盾构等机械开挖效果更好,但初期投资较大。

钻爆法开挖适用于各类围岩,是目前普遍采用的隧道开挖方法。为改善爆破效果,应采用光面爆破和预裂爆破技术。

二、钻爆开挖的一般规定

1. 进行爆破时,所有人员应移至安全地点以外。爆破工作面的安全距离与爆破方法、装药量及隧道掘进方式有关,根据实测资料,应符合下列要求:

- (1) 独头坑道内,当采用全断面深孔爆破时不小于 400m,其他情况不小于 200m。
- (2) 相邻上、下台阶间不小于 100m。
- (3) 相邻的平行坑道、横洞或横通道间不小于 50m。
- (4) 小规模爆破,如处理欠挖、孤石等不小于 50m。

2. 竖井、斜井等辅助坑道施工时,宜采用塑料导爆管非电起爆或火雷管起爆。

三、钻爆设计

采用钻爆法开挖,须根据地质条件、开挖断面、开挖方法、掘进循环进尺、钻眼机具和爆破器材等条件,在开挖前进行钻爆设计。其内容包括:掏槽方式及炮眼布置图(炮眼布置形式、炮眼数目、炮眼深度和角度)、钻爆参数表(每孔装药结构及装药量、起爆方法及起爆顺序)、主要技术经济指标及与设计施工有关的文字说明等。

为使开挖轮廓线平整圆顺、尽量减小超欠挖、减小爆破对围岩的扰动破坏,硬岩及中硬岩宜采用光面爆破、软岩宜采用预裂爆破,分部开挖时,也可采用预留光面层光面爆破。

(一) 炮眼布置

炮眼布置应遵循以下原则:

1. 掏槽眼应布置在开挖断面的中央。实际施工时,通常都交替布置在开挖断面的左下方和右下方;机械凿眼时,宜采用直眼掏槽,为保证掏槽效果,应采用大孔中空(如 $\phi 102\text{mm}$) 掏槽。

2. 周边眼应严格按设计位置布设。
3. 内圈眼与周边眼的距离应精确。
4. 辅助炮眼应交错均匀布置在内圈眼与掏槽眼之间。

5. 周边眼与辅助眼的眼底应在同一垂直面上,但掏槽炮眼应加深 10~15cm。
6. 底板眼应钻在设计标高上,装足药量,以防爆不下来形成台阶,影响施工速度。

(二) 光面爆破设计要点

1. 视围岩情况选择合理的周边眼间距 E 及其最小抵抗线 W 。
2. 严格控制周边眼装药量,宜采用小直径、低爆速炸药,并尽可能将药量沿炮眼全长均匀分布,可借助传爆线进行间隔装药,软岩爆破时,还应控制内圈眼的装药量。
3. 采用毫秒雷管起爆,应保证周边眼同时起爆,避免起爆间隔过大引起超欠挖。
4. 光面爆破和预装爆破参数应采用工程类比或根据爆破漏斗、成缝试验来选择,无条件试验时,可参照表 1—1—2、表 1—1—3 选用。

光面爆破参数表

表 1—1—2

| 围岩类别 | 饱和单轴抗压 极限强度 R_b (MPa) | 装药不偶 合系数 K | 周边眼间距 E (cm) | 周边眼最 小抵抗线 W (cm) | 相对距 E/W | 周边眼装 药集中度 q (kg/m) |
|------|-------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------------|--------------|----------------------------|
| 硬岩 | >60 | 1.25~1.50 | 55~70 | 70~85 | 0.80~1.00 | 0.30~0.35 |
| 中硬岩 | >30~60 | 1.50~2.00 | 45~60 | 60~75 | 0.80~1.00 | 0.20~0.30 |
| 软岩 | ≤30 | 2.00~2.50 | 30~50 | 40~60 | 0.50~0.80 | 0.07~0.15 |

预裂爆破参数表

表 1—1—3

| 围岩类别 | 饱和单轴抗压 极限强度 R_b (MPa) | 装药不偶合系数 K | 周边眼间距 E (cm) | 周边眼至内 圈眼间距 (cm) | 周边眼装 药集中度 q (kg/m) |
|------|-------------------------------|----------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|
| 硬岩 | >60 | 1.20~1.30 | 40~50 | 40 | 0.35~0.40 |
| 中硬岩 | >30~60 | 1.30~1.40 | 40~50 | 40 | 0.25~0.35 |
| 软岩 | ≤30 | 1.40~2.00 | 30~40 | 30 | 0.09~0.19 |

注:(1) 装药不偶合系数指炮眼直径与药卷直径的比值。

(2) 两表适用于炮眼直径 40~50mm,药卷直径 20~42mm,炮眼深度 1.0~5.0m(其中预裂爆破时,炮眼深度为 1.0~3.5m)。

(3) 装药集中度按 2[#]岩石硝铵炸药考虑,当采用其他炸药时,应进行换算。

(4) 周边眼间距 E 的取值:当断面较小、围岩软弱破碎、开挖成形要求高时应取较小值;周边眼抵抗线 W 的取值:一般情况下均应大于周边眼间距 E ,软岩在取较小的周边眼间距的同时,抵抗线应适当增大;周边眼的相对距离 E/W 的取值:软岩取小值,硬岩及断面小时取大值;开挖断面小于 8m² 或竖井开挖时,装药集中度宜相应增加 5~10%。

(5) 单位体积耗药量视围岩情况和循环进尺而定。光面爆破时,硬岩隧道采用全断面开挖、进尺为 3.0~5.0m 的深孔爆破时,其值为 0.9~1.5kg/m³;软岩隧道采用半断面和台阶法开挖,进尺为 1.0~3.0m 的浅孔爆破时,其值为 0.4~0.8kg/m³。当采用预裂爆破时,岩石单位体积耗药量较光面爆破大些。

6. 循环进尺应根据围岩类别、机具设备、工期要求等条件合理选择。中硬及以上完整性好的围岩,在有大型机具设备的条件时,可采用循环进尺为 3.0~5.0m 的深孔爆破,软岩时宜采用循环进尺为 1.0~3.0m 的浅孔爆破。

7. 施工前应根据各种炮眼(掏槽眼、掘进眼、底板眼、内圈眼、周边眼)的作用机理选择合理的爆破器材。为克服深孔爆破中的“管道效应”,应采用大直径药卷,但进行光面爆破、预裂爆破时,周边眼应采用低爆速、低密度、低猛度、高爆力、传爆性好的小直径药卷,目前国产光面爆破炸药见表 1—1—4。

采用国产 II 系列非电毫秒雷管及半秒雷管进行光面爆破和预裂爆破,由于起爆间隔时间太小且误差大等原因,爆破效果不甚理想。间隔为 200ms 的等差雷管与国产 II 系列毫秒雷管配合使用(掏槽眼采用 1~9 段毫秒雷管,其余炮眼采用等差雷管)对于减少爆破对围岩

的扰动破坏，控制超欠挖、改善岩石破碎度、节省炸药有较好的效果。各种系列雷管技术标准见表 1—1—5、表 1—1—6、表 1—1—7。

国产光面爆破炸药表

表 1—1—4

| 炸药名称 | 药卷直径 (mm) | 炸药密度 (g/cm ³) | 炸药爆速 (m/s) |
|-------------------|-----------|---------------------------|------------|
| Et-102 乳化油 | 20 | 1.05~1.30 | 3500 |
| 光爆 1 [#] | 22 | 1.00 | 2100~3000 |
| 光爆 2 [#] | 22 | 1.00 | 1600~1800 |

国产 II 系列毫秒雷管技术标准表

表 1—1—5

| 段 别 | 延期时间 (ms) | 段 别 | 延期时间 (ms) | 段 别 | 延期时间 (ms) |
|-----|---------------------------|-----|-----------|-----|-----------|
| 1 | ≤13 | 8 | 250±25 | 15 | 880±60 |
| 2 | 25±10 | 9 | 310±30 | 16 | 1020±70 |
| 3 | 50±10 | 10 | 380±35 | 17 | 1200±90 |
| 4 | 75 ⁺¹⁰ -15 | 11 | 460±40 | 18 | 1400±100 |
| 5 | 110±15 | 12 | 550±45 | 19 | 1700±130 |
| 6 | 150±20 | 13 | 650±50 | 20 | 2000±150 |
| 7 | 200 ⁺²⁰ -25 | 14 | 760±55 | | |

国产半秒雷管技术标准表

表 1—1—6

| 段 别 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 延期时间 (s) | ≤0.3 | 0.5±0.15 | 1.0±0.15 | 1.5±0.20 | 2.0±0.20 |
| 段 别 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 延期时间 (s) | 2.5±0.20 | 3.5±0.30 | 4.5±0.30 | 5.5±0.30 | 6.5±0.40 |

国产 200ms 等差雷管技术标准表

表 1—1—7

| 段 别 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 延期时间 (ms) | 400 ±50 | 600 ±50 | 800 ±50 | 1000 ±60 | 1200 ±60 | 1400 ±70 | 1600 ±70 | 1800 ±70 |

8. 爆破后石渣的块度和碴堆形状应与所使用的装碴机械相适应，否则应调整爆破参数。

9. 遇到极破碎围岩或有很大水压的软弱破碎围岩（如大断面）的特殊地段时，可采用留核心周边环形爆破，即沿开挖周边先爆出一一定宽度的沟槽，然后再爆核心部分，这样可减少爆破对围岩的扰动破坏。

四、钻爆施工

（一）钻前准备

钻眼前必须先画出开挖断面中线、水平线和断面轮廓线，标出炮眼位置，指挥台车就

位，经检验符合设计要求后方可钻眼。

（二）钻眼作业

钻眼应符合下列要求：

1. 掏槽眼：深度、角度按设计施工，眼口间距误差和眼底间距误差不大于 5cm。
2. 掘进眼：眼口排距、行距误差均不得大于 10cm。
3. 内圈眼：与周边眼的排距误差不大于 5cm。
4. 周边眼：炮眼间距误差不宜大于 5cm。外斜率不应大于 5cm/m，与内圈眼间最小抵抗线误差不应大于 10cm。由于周边眼的打眼精度直接影响爆破效果，经验表明：其间距误差大于 10cm 时，爆破效果明显不佳。采用大型液压凿岩台车时，一般采用 2~3° 的外插角，其外斜精度可控制在 5cm/m 以内，采用国产支架式凿岩机，其值也可控制在 3~5cm/m 以内。
5. 当开挖面凹凸较大时，应按实际情况调整炮眼深度，力求所有炮眼（除掏槽眼外）眼底在同一垂直面上。
6. 钻眼完毕，按炮眼布置图进行检查并做好记录，有不符合要求的炮眼应重钻。

（三）装药作业

装药前应将炮眼内的泥浆、石粉吹洗干净，检查炮眼达到设计要求后方可装药，装药时应严格按设计药量进行。装药后，所有炮眼均应堵塞炮泥。目前施工中，一般采用砂和粘土混合物作炮泥，堵塞长度不宜小于 20cm。

（四）起爆作业

目前隧道爆破中大多采用塑料导爆管非电起爆系统，该系统操作简便，使用安全。若采用电力起爆时，除严格遵循“TBJ404-87 铁路隧道施工技术安全规则”外，还应做到以下几点：

1. 装药前，电灯及电线应撤离工作面，装药时可用投光灯、矿灯、风灯照明。
2. 起爆主导线应敷设在电线和管路的对侧，若必须设在一侧时，与钢轨、管道等导电体的间距必须大于 1.0m，并悬空架设。
3. 多工序掘进依次放炮时，检查主线的连接，确认起爆顺序无误后，方可起爆。

隧道开挖质量评定表

表 1—1—8

| 序号 | 项 目 | 硬 岩 | 中 硬 岩 | 软 岩 |
|----|-----------------|-------|-------|-------|
| 1 | 平均线性超挖量 (cm) | 16~18 | 18~20 | 20~25 |
| 2 | 最大线性超挖量 (cm) | 20 | 25 | 25 |
| 3 | 两炮衔接台阶最大尺寸 (cm) | 15 | 20 | 20 |
| 4 | 炮眼痕迹保存率 (%) | ≥80 | ≥70 | ≥50 |
| 5 | 局部欠挖量 (cm) | 5 | 5 | 5 |
| 6 | 炮眼利用率 (%) | 90 | 90 | 95 |
| 7 | 爆破振动速度 (cm/s) | <15 | <10 | <5 |

注：表中平均线性超挖量是由凿岩台车的外插角而定的，孔深时取大值；两炮衔接台阶最大尺寸由线性超挖量决定；软岩隧道开挖时，炮眼痕迹保存率很难达标，所以软岩周边主要应以满足平整圆顺为要求；爆破振动速度是指离工作面两倍洞径处的质点振动速度；除满足上述要求外，岩面上不应有明显的爆破裂缝。