



SUIDAO SHIGONG JI
ZUZHI GUANLI ZHINAN

隧道施工及 组织管理指南

吴焕通 崔永军 主编
李书源 主审



人民交通出版社

China Communications Press

Suidao Shigong Ji Zuzhi Guanli Zhinan

隧道施工及组织管理指南

吴焕通 崔永军 主编
李书源 主审

人民交通出版社

内 容 简 介

本书阐述了国内外隧道工程施工的先进技术、施工方法、施工工艺流程及适用条件和要求;快速施工的现代化施工组织与管理的理论、方法及实例。本书理论联系实际、操作性强。突出了掘进机(TBM)的施工技术及工作流程;隧道地质超前预报技术及方法;隧道软弱地质条件下施工的辅助措施;特殊地质地段施工方法的选择;隧道施工实施性施工组织编制方法及实例;隧道施工安全技术措施及施工成本管理和控制,由浅入深、通俗易懂。

本书主要内容包括隧道工程施工技术及施工组织优化和动态施工管理的理论、方法及实例,内容丰富、实用性强,适合工程技术人员及管理人员的实际操作与应用,也可作为大专院校学生的参考教材及成人教育教材。

图书在版编目(CIP)数据

隧道施工及组织管理指南 / 吴焕通, 崔永军主编.

北京:人民交通出版社,2004.11

ISBN 7-114-05358-4

I.隧... II.①吴...②崔... III.①隧道工程-工程施工②隧道工程-施工管理 IV.U455

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第117386号

书 名: 隧道施工及组织管理指南

著 者: 吴焕通 崔永军

责任编辑: 赵 蓬

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)85285656,85285838,85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京凯通印刷厂

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 36

字 数: 902千

版 次: 2005年1月第1版

印 次: 2005年1月第1版第1次印刷

书 号: ISBN 7-114-05358-4

印 数: 0001~4000册

定 价: 68.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

随着我国经济的迅速发展,交通建设投资不断增加。近几年来,山岭隧道数量增加很快,隧道施工难度随之增加,对隧道施工工程技术人员提出了更高的要求。隧道施工管理在隧道工程中占有重要的地位。再先进的技术也必须有科学先进的管理做保证,特别是隧道施工有如下特点:动态性、施工空间狭小、多工序、多工种同时作业,这就在客观上要求隧道的施工组织与管理要满足隧道施工的特点,才能安全高效,保质、保量地完成施工任务。近年来工程项目实行投资包干及投标报价总价包干等,发包与承包双方实行合同管理,这样就对承包方的管理水平提出了更高的要求,否则可能会出现隧道项目施工的亏损。本书还重点介绍了隧道施工成本管理与控制方法程序及责任成本管理。目前我国高等教育中土木工程等技术专业学生在校期间缺少隧道施工组织与管理 and 经济理论的知识教育和学习,单纯地学习隧道施工技术理论知识,毕业后,走上工程技术岗位时,难免会忽略隧道施工组织与管理的优化和动态管理。为此,本书为他们提高隧道施工技术与管理水平,解决实际问题的能力,提供了理论和实践知识。

本书共分八章,三十五节。第一章隧道工程施工概论、第二章隧道工程施工方法及实例、第三章隧道工程施工准备阶段工作、第四章隧道工程施工阶段工作,第五章隧道工程洞内永久性附属工程施工,第六章隧道工程竣工阶段的工作,第七章隧道工程施工组织优化,第八章隧道工程施工管理。

本书由中铁十三局总工吴焕通、崔永军主编,石家庄铁道学院李书源教授主审。

第一章、第二章一、二、五节、第四、五章由吴焕通编写,第二章三、四节沙明元编写,第三章、第七章一、二节田育虎编写,第六章、第七章三、四节、第八章崔永军编写。

本书在编写过程中,得到兄弟单位和有关专家的支持和帮助,人民交通出版社赵蓬同志的指导,在此一并致谢。

作 者
2004.6

目 录

第一章 隧道工程施工概论	1
第一节 隧道工程施工概述.....	1
第二节 隧道工程施工与隧道施工成本的关系.....	3
第三节 隧道工程施工组织与管理的特点.....	5
第四节 隧道工程施工要点.....	6
第二章 隧道工程施工方法及实例	8
第一节 隧道工程施工方法及施工工艺流程.....	8
第二节 隧道工程新奥法施工介绍.....	19
第三节 隧道施工无爆破法—掘进机施工.....	27
第四节 隧道工程施工超前地质预报技术.....	61
第五节 隧道工程施工方法的优化及实例.....	85
第三章 隧道工程施工准备阶段的工作	96
第一节 隧道工程施工临时工程设计与要求.....	97
第二节 隧道工程施工的“三管、两路”施工及要求.....	107
第三节 隧道工程施工现场平面布置要求及实例.....	114
第四章 隧道工程施工阶段的工作	116
第一节 隧道工程施工测量.....	116
第二节 隧道洞口工程施工及要求.....	135
第三节 隧道工程开挖.....	137
第四节 隧道工程开挖工作面辅助稳定措施.....	162
第五节 隧道开挖后初期支护.....	170
第六节 隧道衬砌混凝土施工.....	210
第七节 隧道工程铺底、水沟及电缆槽施工.....	233
第八节 隧道工程围岩动态监控—量测.....	234
第九节 隧道工程通过不良地质地段及各种地质灾害施工.....	253
第五章 隧道工程洞内永久性附属工程施工	335
第一节 隧道洞内永久通风施工.....	335
第二节 隧道洞内永久性照明施工.....	335
第三节 隧道洞内排水工程施工.....	336
第四节 隧道洞内装饰工程施工.....	336
第六章 隧道工程竣工阶段的工作	337
第一节 隧道竣工测量.....	337
第二节 清理隧道施工现场.....	338
第三节 整理施工资料和编制竣工文件.....	339

第四节	隧道工程竣工验收前的检查	340
第五节	交工验收标准及程序	341
第七章	隧道工程施工组织优化	342
第一节	隧道工程施工组织优化的意义	342
第二节	隧道施工组织的内容及优化	343
第三节	隧道施工组织设计	345
第四节	隧道工程施工组织设计实例	371
第八章	隧道工程施工管理	452
第一节	隧道工程施工管理概述	452
第二节	隧道工程技术管理	456
第三节	隧道工程施工计划管理及进度控制	457
第四节	隧道工程施工质量管理与控制	467
第五节	隧道工程施工安全管理与控制	478
第六节	隧道工程施工成本管理与控制	487
第七节	隧道工程施工机械设备、材料管理与控制	559
参考文献		564

第一章 隧道工程施工概论

第一节 隧道工程施工概述

一、我国隧道工程发展现状及作用

我国是一个地域辽阔,多山的国家,交通运输发展很快,新修建的铁路、公路为缩短建设里程,改善线路走向及保护环境,那种逢山绕着走、坡陡、曲线半径小的现象将被隧道工程所代替。隧道工程既能保证行车安全又可防止滑坡、泥石流及提高行车速度和安全的可靠性,还能与周围环境相协调,保证自然景观的完善。

随着我国改革,不断的深化,国民经济日益向上,蓬勃发展,交通运输能力不足日益突出,直接影响国民经济的增长速度,特别是落后地区、边远地区的经济发展更加需要交通运输。有句谚语:“要想富,先修路”,足以说明,交通运输道路修建的重要性和必要性。

我国位于欧亚大陆的东部,太平洋西岸,背靠大陆、面向大海。山地、丘陵和崎岖的高原,占总国土的 2/3,平原仅占 1/10。西部为世界屋脊的青藏高原,东部为平原丘陵,整体形状成三个台阶状。座落着四大高原(即青藏、内蒙、黄土、云贵高原)、四大盆地(即四川、塔里木、准葛尔、柴达木盆地)与三大平原(即东北、华北、长江中下游平原)在这辽阔的大地上,分布着许多山脉、河流、湖泊和纵横的沟壑,构成发展交通运输网建设的障碍。因此,隧道工程建设尤为重要。只有发展隧道工程,才可使交通路网的行车速度加快,建设速度加快,从而促进国民经济的迅速发展。特别是带动了落后地区的经济发展。

20 世纪 80 年代开始,由于交通事业的迅速发展,公路事业也得到了迅速的发展,通车里程大幅增加,技术等级不断提高,一个以高等级国家干线为主骨架,连接大、中、小城市,辐射乡村的公路网正在我国大地上形成,对振兴经济,提高全国各族人民的物质文化生活水平,起到了重大的作用。近几年来铁路到不了的地方公路先到。为加快高等级公路建设,形成从南到北、从西到东;贯通全国的公路网,修建千米以上大隧道 40 余座。如正在建设中的秦岭公路隧道。在铁路上为提高行车速度,加快建设进度,保证行车安全可靠,也在一些主要修建的铁路干线上,选择隧道通过山岭,如已通车的内昆线和正在修建的渝怀线隧道总长都要占线路总长的 50% 以上。交通建设带动了国民经济持续上升,加快了基础设施的建设和发展。到 2000 年我国已有公路隧道 1684 座总长达 628km,到 1998 年底铁路运营隧道约 5336 座,总长达 2565km。除隧道数量增加外,隧道长度也有所突破,长度超过 12km 的朔黄线长梁山隧道,西康线上的 18.6km 秦岭隧道,正在修建的终南山公路隧道等。

国外隧道工程施工水平比我国先进。主要是隧道工程施工方法比较先进,机械化、自动化程度比较高,建设速度快。新奥法施工,无轨运输,无爆法隧道掘进等都比我国发展的早。隧道地质的超前预测,地质灾害监测和警报等在我国的发展也相对比较落后。因此必须加快我国隧道工程施工水平的提高,争取在短时间内赶超国际水平。

二、隧道工程施工

隧道工程施工包括,隧道施工方法、隧道施工技术和隧道施工管理。

(一)隧道工程施工特点

隧道工程是属于地下结构物,地下结构是多种多样的,构筑地下结构的施工方法和技术也是多种多样的。施工方法和技术形成与发展与地下结构物的特点有关。其特点是纵向长度从几米到十几公里,断面相对比较小,一般高5~6m,宽5至十几米的纵长地下结构物。

隧道工程施工特点:

1. 隐蔽性大,未知因素多。
2. 作业空间有限,工作面狭窄,施工工序干扰大。
3. 施工过程作业的循环性强,因隧道工程是纵长的,施工严格地按照一定顺序循环作业,如开挖就必须按照“钻孔—装药—爆破—通风—出渣”的顺序循环。
4. 施工作业的综合性强,在同一工作环境下进行多工序作业(掘进、支护、衬砌等)。
5. 施工过程的地质力学状态是变化的,围岩的物理力学性质也是变化的,因此施工是动态的。
6. 作业环境恶劣,作业空间狭窄,施工噪声大,粉尘、烟雾,潮湿,光线暗,地质条件差及安全问题等给施工人员带来了不利的工作环境。
7. 作业风险性大。风险性是和隐蔽性和动态性相关联的,在施工过程中,施工人员必须随时关注隧道施工的风险性。

(二)隧道工程施工方法

隧道工程施工中最重要的是合理选择施工方法,施工方法选择的是否合理,直接影响到隧道工程施工的速度、安全、质量和环境。

隧道工程施工的方法是多种多样的,目前我们在公路、铁路、水底隧道中常采用的方法有:

1. 矿山法(爆破法):台阶法、全断面法、分部开挖、新奥法。
2. 掘进机法(无爆法)
3. 浅埋及软土隧道施工方法:
明挖法与浅埋暗挖法,地下连续墙法、盖挖法、盾构法和半盾构法;
4. 水底隧道施工方法:(海峡、江河)
预制管段沉埋法(沉管法),盾构法。

目前在公路、铁路隧道施工方法中最多的采用台阶法,其次是全断面法。在大断面隧道施工中,为保证施工安全采用单侧壁导坑(中隔壁法)和双侧壁导坑(眼镜法)。施工机械的发展和开发,辅助工法的应用,使得施工方法向全断面法施工发展,特别是全断面法与超短台阶法相结合的方法是当前隧道施工方法发展的趋势。

(三)隧道施工技术

隧道施工技术,主要是研究解决隧道工程各种施工方法所需的技术方案和技术措施,特殊地质、不良地质地段的施工手段,隧道工程施工过程中的爆破、衬砌、支护、通风、防尘、防瓦斯、防有害气体,及照明、水、风和电的作业方式及操作技术标准和要求,围岩变化的测量监控方法等等。施工技术是确保所选择的施工方法的实施,随机性强。

隧道施工技术应遵循的基本原则:

1. 隧道的围岩,是隧道的主要承载单元,在隧道施工过程中应充分保护和维持围岩,避免

过度破坏和损伤遗留围岩的强度,使暴露围岩尽量保留既有的状态。这是在施工技术上是重要的基本原则。为此,在施工技术体现了改进爆破技术,采用光面爆破新技术,及围岩测量监控措施,保证遗留围岩强度。

2.为了充分发挥围岩的结构作用,应容许围岩有可控制的变形。可从两个方面进行控制,一方面容许变形但达不到在围岩中形成的松弛量级,另一方面必须限制容许变形,使围岩不会过度松弛而丧失或大大降低承载能力,必须在施工过程及时做好临时支护和初期支护以及衬砌与开挖保持合理的距离等措施。

在浅埋或地表下沉受到控制的条件下,要及时的控制变形和松弛及其发展是非常重要的。

3.变形控制主要是通过支护阻力的效应达到的。所以,在施工中必须合理地确定支护结构的类型,支护结构参与工作的时间,各种支护手段的相互配合,断面封闭时间,一次掘进长度等。

4.在隧道工程施工过程中,实地测量监控,及时提出可靠的、足够数量的测量信息,指导施工。测量的监控技术有仪器测量和观察测量等方法。

5.在选择支护手段时,原则上选择面积牢固与围岩及时紧密接触的设施和应变能力强的支护手段。因此,多采用喷混凝土、锚杆、金属网联合使用;有时地质条件特差的,喷混凝土与钢支撑或钢格栅等联合使用。在仰拱施工时,临时仰拱的支护也是很重要的,是不容忽视的支护手段。

6.隧道施工过程中,要特别注意围岩力学状态的不断变化的情况及过程。减少开挖暴露时间,从而减少因暴露时间过长而引起的围岩内的应力变化和围岩松弛,特别是在地下水丰富地段更应加以注意。

7.在任何情况下都要保证隧道断面能在较短的时间内闭合,这是很重要的原则。坚硬岩石隧道施工中,围岩的结构作用能“自封闭”;而在软弱围岩隧道施工中,必须改变“重视上部,忽视底部”的观点,应尽量采用能先修筑仰拱(或临时仰拱)或底板的施工顺序,使断面及早封闭。

8.在二次衬砌的隧道施工中,为保证二次衬砌的质量和整体性,不论在任何情况下,衬砌的施工顺序都应采用先墙后拱的顺序。

9.隧道施工过程中,必须适应设计—施工检验—地质预测—测量反馈—修正设计的一体化的施工技术、管理系统,才能不断地提高和完善隧道施工技术。

(四)隧道施工管理

隧道施工管理主要是如何按着施工组织设计的原则、施工方案和施工进度要求组织施工。包括技术管理,计划与进度的动态管理,施工质量管理,施工安全管理,施工成本控制与管理,通过科学的施工管理,才能实现施工组织设计的要求。

第二节 隧道工程施工与隧道施工成本的关系

一、隧道工程施工成本的概念

隧道工程施工成本是在施工过程中施工耗费的总和,以货币形式表现的称之为施工成本。总耗费主要是指人工的耗费、材料的耗费和机械设备及工具的耗费。概括为对施工资源的耗费,用货币的形式表现为人工费用、材料费用和机械费用(包括机械使用费和折旧费)。其特点

是隧道工程在施工过程中形成的。

二、隧道工程施工成本的构成

从隧道工程施工成本的概念及行业概预算编制规定出发,施工成本主要由两大费用组成即直接费和间接费。直接费主要包括人工费、材料费、机械费和其他直接费等,间接费主要包括管理费等。

三、影响隧道工程施工成本的因素

影响隧道工程施工成本的因素,据分析应从隧道施工过程中找出影响施工成本的因素。施工过程体现在施工方法、施工技术和施工管理等方面。有主观因素和客观因素两个方面,主观因素是人为的可以克服和改善的因素,客观因素是客观存在的人们是不可抗拒的因素。

主观因素表现为:

1. 施工方法的选择是否得当是否影响施工成本

例如:坚硬岩石选择全断面开挖,先墙后拱既能保证质量又可加快施工速度,可降低成本。软弱岩石不能选用全断面开挖方法,必须根据岩石条件和情况选择比较安全的方法如台阶开挖,否则会引起坍方,一方面影响工程质量和进度,另一方面又增加了施工成本。

2. 隧道开挖过程中的超开挖对施工成本的影响

隧道施工过程能否控制超开挖是影响施工成本的主要因素。超挖超过隧道施工允许的误差值(一般 10%)必须回填,回填数量越大,施工成本费用增加的越多。开挖值超过允许值时,必须在衬砌前予以处理,处理超开挖需要人工、材料,必然使施工成本费用增加。

3. 隧道施工过程中由于操作不当引起坍方,对施工成本的影响

在隧道施工过程中往往为赶进度,炸药用量太多或考虑不周造成的坍方,直接增加施工成本。因为坍方出现后必然影响施工进度。为赶进度必然增加资源,增加施工费用;清理坍方恢复正常施工,必然也要投入人力、材料、机械,从而使施工成本增加。

4. 支护混凝土的施工质量对施工成本的影响

支护混凝土包括模注混凝土和初期支护混凝土(喷混凝土等)。模注混凝土的强度必须保证,否则会引起掉拱事故,处理这类质量事故会大大增加施工成本。喷混凝土施工过程控制回弹量的技术措施不利时,会造成大量的回弹,浪费人工、材料和机械台班费用,使施工成本直接费用增加。

5. 施工方案对施工成本的影响。

一般我们在制订隧道工程施工方案时,是根据工期要求,决定进行现场施工的人工、机械和材料数量,以及采取的作业方式(即两班制或三班制)。生产资源的投入多少影响施工成本的高低,因此,资源的优化组合是降低成本的关键。

6. 施工现场平面管理是否科学有序也直接影响隧道施工成本。施工现场是隧道施工的重要场所,由于隧道施工的特点,决定了施工现场平面管理的重要地位。施工现场管理混乱、施工就干扰大,不能充分发挥各工作面投入资源的工作效率,还有可能因施工干扰中断工作,使得工序施工不连续、工人施工不连续、机械施工不连续,从而降低人工、机械的工作效率,投入同量的资源,不能得到同量的产出,势必出现投入的多,产出的少,效益低,从而使施工成本增加。

7. 材料采用、供应、使用、管理对施工成本的影响。

隧道工程材料费用占直接费的 60% 左右,因此,材料成本的高低对施工成本的高低有决定性影响,事关重要。大批量材料的数量、质量的控制,材料采购成本及储存数量的控制,按消耗标准使用,科学管理杜绝浪费,才能做到使材料费用按照设计概(预)算要求使用,否则材料费用会大量增加,使施工成本大幅增加。

8. 间接费的控制对施工成本的影响。

影响间接费的主要因素是非生产管理人员和非生产用车辆的多少。隧道工程项目部的非生产管理人员的素质高,降低做到一专多能,可减少非生产人员数量;项目部控制车辆的使用,可减少开支,降低施工成本。

客观因素影响隧道工程施工成本。

从隧道工程施工特点看,客观上存在着许多不可预见的风险,一旦出现就会使施工成本大大地增加。首先是隧道工程设计的地质、水文资料不全或不准确,造成施工过程中的坍方、地下水涌出等施工风险,处理这些出现的风险,必须要投入大量的人工、机械、材料,使施工成本超过设计概预算。如果是总价承包工程,这些风险要由承包方承担。否则,可以通过变更设计,修改设计概预算来弥补风险出现增加的施工成本。其次是隧道在施工过程中是动态的,地质的变化是常有的。因此,必须在施工过程中根据岩石性质的变化,修改衬砌的厚度。否则会因岩石比设计硬而衬砌厚度仍保持原设计厚度,使实际使用衬砌混凝土数量增加。或者因岩石比设计软而原设计衬砌厚度不够增加厚度使实际使用混凝土数量增加。混凝土数量增加,费用增加,意味着施工成本中的直接费增加。不管岩石如何变化,总是影响隧道断面的开挖尺寸,断面开挖要消耗火工材料和人工、机械台班,这都关系到直接费的增加。以上这些风险在施工中是不可避免的,也是客观存在的。

隧道工程施工过程中影响施工成本的因素主客观上都存在。因此,要求在隧道施工过程中控制上述的各种不利因素,尽量避免或采取各种技术措施将风险降低到最少的程度。

四、隧道工程施工与施工成本的关系

隧道工程施工包括施工方法,施工技术与施工管理(前面已叙述)三个方面。从影响施工成本各种因素的分析可看出施工方法、施工技术与施工管理存在的问题对施工成本中的直接费和间接费用影响是很重要的。隧道施工和隧道施工成本是互相依赖性和相互制约的。隧道施工过程中考虑的越细致、周密,那么预见性就越强,出现问题就能够及时处理,将隧道施工风险降低,损失减少到最低限度。隧道施工包括的三个方面,都不可缺少和忽视,必须从三个方面进行整体优化与控制,才可达到控制施工成本的目的。以最少的投入,获得最多的产出,取得隧道工程施工最好的经济效益。

第三节 隧道工程施工组织与管理的特点

隧道施工环境恶劣,在恶劣的环境,有限的施工空间,组织好综合作业,达到循环作业,减少施工干扰,减少风险,安全施工,减少投入资源,科学组织与管理势在必行。进行施工组织与管理的理念是,从隧道施工特点出发运用现代化管理理论、方法和手段,组织和优化资源,进行科学管理。

1. 建立正规循环作业

隧道施工过程,规定各工序作业时间。各工序在规定作业时间内各自完成作业,保证工序

施工的不间断和连续性。

2. 确定多种作业的形式和关系

开挖与衬砌是平行作业,风、水、电的供应和维修与开挖、衬砌是平行作业,开挖、通风除尘、出渣运输是顺序作业等。只有明确多种作业的关系,才能在有限施工空间科学地组织综合作业的施工。

3. 根据隧道工程的长短和合同工期的要求组织多班作业(两班制或三班制)。多班作业是隧道施工空间有限,工期限制所决定的。组织多班作业必须完善班与班的交接班制度,尽量减少停工时间。

4. 建立健全现场施工调度系统

隧道施工空间狭窄、多工种综合施工,必然产生施工干扰,建立健全现场施工调度,统一指挥,协调、平衡施工过程中出现的矛盾,做到有序施工。

5. 建立动态组织与管理系统

隧道施工是动态的。因此,应根据施工的动态变化相应的修改和完善施工组织和管理。在施工过程中出现问题,要根据问题性质及时调整施工组织。如资源的增减,任务的安排都要及时调整,符合现场实际情况。那么,相应的管理就要跟上去。动态的组织与管理系统可保证隧道施工的动态变化,使得施工顺利进行。

6. 建立健全各种责任制度

责任制包括管理制度和岗位责任制。管理制度是规范施工人员的施工行为和协调施工人员之间关系的准则,岗位责任制度是规范个人参加施工行为的准则。管理制度和岗位责任制是统一的整体。根据隧道施工特点,建立健全各种责任制度是很重要的。多工种,多工作面,多种作业组织形式,同时在有限的空间,狭窄的工作面进行施工,必然产生施工相互干扰。因此,建立和规范施工人员施工行为的制度,可以明确责任,达到减少施工干扰和相互之间产生矛盾,保证施工进度、质量及施工安全并降低成本。

7. 加强施工过程中的分工协作

隧道工程施工是多工种作业的,工种之间有明确的分工还要有密切的协作。分工和协作,二者是密不可分的,只有二者紧密结合才能形成新的生产力。只分工不协作,各自为事,那么,就会一事无成。如开挖工作包括打眼—装药—爆破—通风排烟—出渣等五个工种组成。上道工序要为下道工序服务,也就是说上道工序不合格下道工序不能进行,这也是一种管理制度,它协调了相邻两工序之间的衔接关系,保证开挖循环的正常进行。否则,各行其事不考虑五个工种相互联接的关系(即协作的关系),就不能按着规定开挖循环时间完成一个循环的工作量,会直接影响施工进展。建立健全各种责任制对隧道工程施工管理显得特别重要。

第四节 隧道工程施工要点

隧道施工必须坚持的施工要点有:

1. 施工过程中维护和保护围岩

隧道施工要穿过岩体,尽量做到不损伤或少损伤遗留围岩的固有支护能力,为此,通过采用机械开挖技术(无爆破)和控制爆破技术(光面爆破,控制装药量,周边眼加密,少装药或不装药),及各种技术措施、手段和方法,如采用临时支护、加固或预加固技术以及各种辅助施工技术增强围岩的自支护能力。

2. 隧道圬工工程做到内实外美

隧道圬工工程是指混凝土、喷混凝土、干砌和浆砌工程。

内实关键是保证“六密实”即混凝土捣固要密实、喷混凝土要密实、喷混凝土与围岩结合要密实、二次衬砌与初期支护要密实、喷混凝土与钢结构支护、围岩三者结合要密实、回填石料要密实。外美即混凝土外露表面要美。其中内实是关键。

3. 隧道施工要重视环境

隧道施工环境包括内部环境和外部环境。内部环境指隧道施工作业的环境。由于隧道施工空间小,多工种同时施工对作业环境产生污染,直接危害施工人员的身心健康,因此,施工过程要不断改善作业环境。外部环境,是指隧道施工对周边环境的影响。如施工污水、弃渣处理,施工噪声扰民等。重视环境保护是社会进步的要求,环境技术是随着社会发展而发展的,在隧道施工过程中许多标准要求是根据环境保护的要求而制定的。

4. 隧道施工是动态施工

隧道施工穿过山体,因此,隧道施工过程中的地质条件是不断变化的,其岩石的力学状态也是不断变化的,施工过程的地质不可能是一成不变的。要求我们在施工过程中采用各种不同的施工方法和技术,适应这种变化的状态。隧道施工决策都是建立在施工阶段的地质技术,对围岩的量测技术,及质量控制基础之上的,体现了动态施工的基本含义。

上述四个要点也是我们隧道工程施工的基本原则。

第二章 隧道工程施工方法及实例

第一节 隧道工程施工方法及施工工艺流程

一、隧道工程施工方法选择的原则

隧道工程施工最重要的是合理选择施工方法。在我国隧道工程(铁路、公路)施工实践中,积累了丰富的施工经验和理论,逐渐形成了具有中国特色的隧道施工方法体系。施工方法是多种多样的,目前常采用的是矿山法,矿山法也是爆破施工方法。但也有用无爆破的施工方法,即掘进机施工方法。如西康线秦岭隧道,西安到合肥的西合线上的桃花铺隧道,是我国第一次引进掘进机施工方法进行施工的隧道工程。

选择隧道工程施工方法的原则是:除了考虑隧道工程的地质条件外,还要强调施工方法必须符合快速、安全、质量及环境的要求。而且环境因素有时成为选择施工方法的决定性因素。如在地质条件适合的条件下选用大型的掘进机施工方法,这种方法机械化、自动化程度高,它可满足快速、安全、质量的要求,但是由于洞口现场平面狭窄,无法组拼大型掘进机的环境,限制了大型掘进机的施工方法,这时环境决定了施工方法的选择。

二、隧道工程施工方法选择应考虑的基本要素

选择隧道工程施工方法应考虑的基本要素有:

1. 施工条件

施工条件包括施工队伍的施工能力,施工人员素质,及施工管理水平,装备水平。在选择施工方法时,应充分考虑这个因素。如隧道地质条件允许采用全断面开挖法,但施工装备满足不了。一般全断面开挖选用钻孔台车打眼一次性钻孔完毕,若没有这种装备,最好选用短台阶开挖法。

2. 地质条件

地质条件包括岩石级别、地下水及不良地质现象等,岩石级别是隧道工程围岩性质的综合判断,对施工方法的选择起着重要的甚至决定性的作用。在隧道施工过程中岩石的级别发生变化时,必须变换施工方法。按 III—IV 岩石选择全断面结合超短台阶法的施工方法,但在施工过程中,岩石级别变为 II 级,这时施工方法相应地改变为上导坑、中槽马口开挖方法。

3. 隧道断面积

隧道断面尺寸和形状,对施工方法的选择有一定的影响。铁路单线和双线隧道、公路的双车道隧道,越来越多地选择采用全断面法和台阶法施工。目前,隧道断面有向大断面方向发展的趋势,如公路隧道修建 3 车道,至 4 车道隧道,水电工程中 大断面洞室更是屡见不鲜。所以施工方法必须适应其发展。大断面隧道工程施工中,目前一般是先采用各种方法开挖小断面导坑,再扩大形成全断面的施工方法。

4. 埋深

隧道埋深与围岩的初始应力场及多种因素有关。一般将埋深分浅埋和深埋两类,浅埋又分为超浅埋和浅埋两类。在同样的地质条件下,由埋深不同施工方法有很大差别。一般浅埋隧道往往采用先将地面挖开,修筑完成支护结构后再回填土石明的挖施工。如隧道进出口埋深比较浅时常采用明挖施工。深埋隧道则采用不挖开地面的暗挖法施工,即在地下开挖及修筑支护结构。

5. 工期

隧道工程合同工期的要求,在一定程度上会影响基本施工方法的选择。隧道工程施工中,工期决定了在均衡生产条件下,对开挖衬砌、运输等综合生产能力的基本要求,对施工方法,施工均衡进度,机械化水平和管理模式的要求。相同地质条件下,工期短的隧道要比工期长的隧道机械化程度高,管理更加科学、严格。

6. 环境条件

隧道施工会对周围环境产生爆破振动,地表下沉,施工噪声,地下水的变化,绿色覆盖的变化等不良影响,这时,环境条件将成为选择隧道施工方法的重要因素之一。特别是在城市隧道施工,环境条件成为选择施工方法的决定因素。

三、隧道工程施工常遇到的问题

目前隧道施工,基本上采用矿山法修筑,出现的问题表现如下:

1. 施工阶段地质判断技术不完善,缺乏有效的判断方法和手段。如地质超前预报技术和设备,还没有推广和应用。

2. 在施工过程中,人们没有牢固树立“保护围岩、爱护围岩”的观点和理念,造成不能有效地控制对遗留围岩的损伤和松弛。如,为加快施工进度,在掘进时装药不按爆破设计用药量装药,随意增加药量,使遗留围岩损伤严重,或初期支撑不在要求时间内支护完毕,使得遗留围岩暴露时间过长,使围岩松弛。这些现象都是造成隧道施工塌方的隐患。

3. 隧道施工方法工厂化程度不高。特别是软弱破碎围岩的施工方法的工厂化程度更加有待提高。工厂化程度可使施工快速,及时使围岩形成自应力,有效避免塌方。

4. 隧道圻工工程“重外美,轻内实”,圻工结构存在严重的隐患。如衬砌厚度不够,欠控不处理,使得衬砌厚度严重不足;衬砌背后填允不按规定施工,靠近衬砌先用浆砌片石填允,余下超挖空间再用干砌片石填密,因此,留下空洞;衬砌初期开裂普遍存在;拱脚、基底清理不彻底灌注混凝土;拱部和边墙接触不密,形不成衬砌整体作用,基底与隧道铺底工程分离,运营后出现翻浆、冒泥现象等。

5. 隧道施工过程中,地下水处理始终是薄弱环节,防止工程施工质量存在问题,造成隧道成洞地段衬砌渗水、洞水现象常有发生。

6. 施工阶段工程质量的检测体制不完善,更重要的是缺乏有效的检测手段和方法。贯彻ISO9000质量管理标准流于形式,施工操作不按作业指导书去做,甚至有的不编写作业指导书。

7. 环境意识薄弱。洞内施工作业环境欠佳,施工高压风、水管漏水,通风管漏风,粉尘含量超过标准,机械、车辆废气超标准等。洞外控制对周边环境和结构物的影响措施不利。

8. 参加施工人员(技术人员、管理人员及职工)的应变能力不强;没有对不良施工灾害的预测,一旦出现施工灾害,有时束手无策。

9. 没有真正地实现隧道的动态施工和动态管理。如隧道施工的地质条件经常变化,如何

根据施工实际情况,改变施工方法适应变化的地质条件,同时相应的改变施工组织适应施工方法并加以控制做的不够。

10. 隧道洞内施工干扰普遍存在,如何统一调度,缺少现代化的管理方法和手段。

从上述存在的问题衡量我国的施工技术水平和管理水平,与世界一些发达国家相比,还存在差距。但这些问题存在是多方面的原因,有设计、施工、业主、监理方面的原因。解决好这些问题,才能提高隧道施工技术和施工管理水平。

四、隧道工程施工方法及工艺流程

隧道施工方法的分类各有不同,大体有以下几种:

(一)按是否爆破开挖分

隧道施工按是否爆破开挖可分为爆破法和无爆破法施工。

1. 爆破法施工主要是指常用的矿山法

在矿山法中,坑道开挖后的支护方法,一般分为钢木构件支撑和锚杆喷射混凝土支护两类。作为隧道施工方法,习惯上将采用钻爆开挖加钢木构件支撑的施工方法,称为“矿山法”。

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,待隧道开挖成型后,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,支撑撤换工作较麻烦和不安全,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(可采用装配式周转重复使用)及对坑道形状的适应性较好等优点,施工中亦可以不予撤换,并更为完全可靠。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有效的,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。

矿山法施工的基本原则是:少扰动、早支撑、快衬砌。

(1)少扰动,是指在进行隧道开挖时,要尽量减少对围岩的扰动次数、扰动强度、扰动范围和持续时间。采用钢支撑,可以增大一次开挖断面的跨度,减少分部开挖次数,采用预裂爆破技术,从而达到减少对围岩的扰动次数。

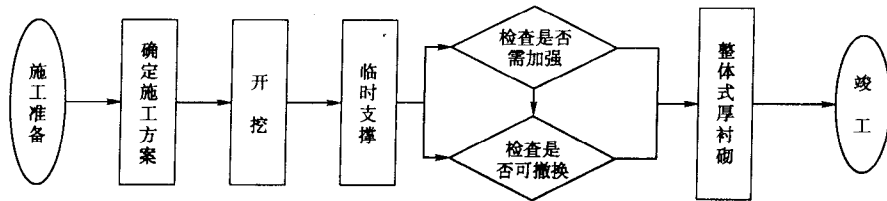
(2)早支撑,是指开挖坑道后应及时施作临时构件及支撑,使围岩不致因变形松弛过度而产生坍塌失稳,并能承受围岩松弛变形产生的压力—早期松弛荷载。并进行定期检查支撑的工作情况,若发现变形严重或出现损坏征兆,应及时增设支撑予以加固和加强。作用在临时支撑上的早期松弛荷载大小,可比照设计永久衬砌的计算围岩压力大小来确定。临时支撑的结构设计,亦采用类似于永久衬砌的设计计算方法,即结构力学方法。

(3)快初砌,指拆除临时支撑时要及时修筑永久性混凝土衬砌,并使其能尽早承载参与工作。若采用的是钢支撑又不必拆除,或无临时支撑时,亦应尽早施作永久性混凝土衬砌,防止坑道壁裸露时间过长风化侵蚀围岩、强度降低、产生变形过大等情况的发生。

矿山法施工工艺流程图见图 2-1。

新奥法。新奥法即新奥地利隧道施工方法的简称,原文是 New Austrian Tunneling Method,简称为 NATM。新奥法概念是奥地利学者腊布希维兹(L. V. Rabcewicz)教授于 20 世纪 50 年代提出的。它是以隧道工程施工经验和岩体力学的理论为基础,将锚杆和喷射混凝土组合在一起作为主要支护手段,通过监测控制围岩的变形,充分发挥围岩的自承能力的施工方法,经过奥地利、瑞典、意大利等国的许多隧道与地下工程实践和理论研究及科学论证。于 20 世纪 60 年代取得专利权并正式命名为新奥法(NATM)。之后新奥法在欧洲、美国和日本等国家许多隧道与地下

工程中获得极为迅速的发展,已成为现代隧道工程新技术的标志之一。我国近 30 年来,通过科研、设计、施工相结合,在 100 余座公(铁)路隧道工程修建中,根据中国的特点成功地应用了新奥法,取得了较多的经验,积累了大量的数据,现已进入普遍推广使用阶段。目前,新奥法几乎成为在软弱的破碎围岩地段修建隧道的一种基本施工方法。



新奥法与传统的矿山法相比,不仅仅是手段上的不同,更重要的是工程理念、力学概念和设计原理的不同,人们对隧道及地下工程问题进一步的认识和理解。新奥法是一个体现应用岩体动态性质较完整的力学概念,科学性较强的隧道施工方法。因而不能单纯地将它仅仅看成是一种施工方法或是一种支护方法,也不应片面理解仅用锚喷支护就认为是采用新奥法,新奥法的内容及范围相当广泛、深入,它既包括隧道工程设计,又包括隧道工程施工,还包括隧道和地下工程的科学范畴的大系统工程。新奥法应用岩体力学的理论,以维护和利用围岩的自承能力为基点,采用锚喷为主要支护手段,达到及时控制围岩的变形和松弛,使围岩亦成为支护体系的组成部分,并通过对围岩和支护结构的测量、监控来及时而正确的指导隧道和地下工程设计施工的方法。

由于新奥法的应用和发展,使隧道及地下工程理论进入现代理论的新领域和高水平,从而使隧道及地下工程的设计和施工更符合地下工程实际,将设计理论—施工方法—结构(体系)工作状态(结果)做到一致,因此,新奥法已在世界范围内得到广泛的应用。

2. 无爆法施工

隧道工程无爆破法施工,即盾构法及掘进机开挖。这种方法施工速度快,机械化、自动化程度高,施工安全。但要求的技术水平高,施工人员的素质高,施工成本高。目前在我国还未普遍推广,我们将在本章第三节专门介绍。

(二)按衬砌的施工顺序不同分

矿山法按衬砌的施工顺序不同分为先墙后拱法和先拱后墙法。

1. 先墙后拱法(又称为顺作法)

它通常是在隧道开挖成形后,再由下至上施工模筑混凝土衬砌。先墙后拱法施工速度较快,施工各工序及各工作面之间相互干扰较小,衬砌结构的整体性较好,受力状态也比较好。

2. 先拱后墙法(又称为逆作法)

它是先将隧道上部开挖成形并施工拱部衬砌后,在拱圈的掩护下面再开挖下部并施工边墙衬砌。先拱后墙法施工速度较慢,上部施工较困难。但是当上部拱圈完成之后,下部施工就较安全和快速。先拱后墙法施工衬砌结构的整体性较差,受力状态不好。并且拱部衬砌结构的沉降量较大,要求的预拱度较大,增加了开挖工作量。

施工流程见图 2-2。图 2-2 中 a)是先墙后拱法施工,b)、c)、d)为先拱后墙法施工。

(三)按隧道工程开挖方法不同分

按着隧道工程开挖方法的不同,可分为明挖法和暗挖法。

暗挖法施工的特点是:施工时全部在地下进行,即在地下开挖坑道、支撑和衬砌修筑隧道