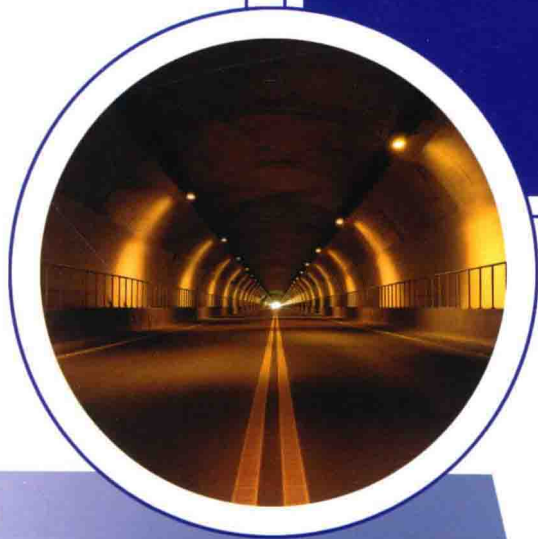




隧道施工质量控制 要点简析

SUIDAOSHIGONG ZHILIANG KONGZHI
YAO DIAN JIANXI

余 洋 徐秋达 主编



黄河水利出版社



隧道施工质量控制要点简析

主 编 余 洋 徐秋达

副主编 马为民 杨慧勤

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书主要阐述隧洞的施工管理和质量控制要点,全书共12章,主要内容包括隧洞施工组织设计、隧洞施工测量控制、隧洞施工测量控制、隧洞开挖技术的要求、隧洞衬砌与支护的质量控制、隧洞支护与衬砌的质量检验与竣工验收、隧洞主要工程地质问题、不良和特殊地质地段隧洞施工的质量控制、隧洞施工超前地质预报、隧洞施工中的动态管理、隧洞现场监控量测、工程地质测绘、隧洞施工的环境保护控制等。

本书可供从事隧洞设计、施工、管理、监理等工作的人员参考使用,也可供相关院校的师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

隧道施工质量控制要点简析/余洋,徐秋达主编. —郑州:黄河水利出版社,2014.9

ISBN 978-7-5509-0920-5

I. ①隧… II. ①余… ②徐… III. ①隧道施工-质量控制 IV. ①U455.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第216428号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:河南省承创印务有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:16.75

字数:408千字

印数:1—2 000

版次:2014年9月第1版

印次:2014年9月第1次印刷

定价:38.00元

前 言

随着我国建筑事业的快速发展,隧道(洞)(在本书中统一称为隧洞)工程的出现也急剧增多,使得隧洞工程的设计、施工、监理人员的需求量也迅速增加,对广大技术人员的要求也越来越高。为了帮助广大从事隧洞工程相关专业的工程技术人员能熟练地掌握隧道施工管理与质量控制技术,提高工程质量、加快工程建设,编者在总结了自己多年工程经验的基础上,结合具体的实例编写了本书。

本书主要阐述隧洞的施工管理和质量控制要点,全书共 12 章,主要内容包括隧洞施工组织设计、隧洞施工测量控制、隧洞施工测量控制、隧洞开挖技术的要求、隧洞衬砌与支护的质量控制、隧洞支护与衬砌的质量检验与竣工验收、隧洞主要工程地质问题、不良和特殊地质地段隧洞施工的质量控制、隧洞施工超前地质预报、隧洞施工中的动态管理、隧洞现场监控量测、工程地质测绘、隧洞施工的环境保护控制等。

本书可供从事隧洞设计、施工、管理、监理等工作的人员参考使用,也可供相关院校的师生参考使用。

本书编写任务及编写分工如下:河南省南水北调中线工程建设管理局余洋编写第一章和第四章,并编写相关附件;河南省水利第一工程局杨慧琴编写第二章和第九章;黄河建工集团有限公司李岩编写第三章和第八章第四节至第六节;河南省水利第一工程局马为民编写第五章和第十一章;河南省南水北调中线工程建设管理局徐秋达编写第六章和第七章;黄河建工集团有限公司苗培栋编写第八章第一节至第三节;黄河建工集团有限公司张文星编写第十章;黄河建工集团有限公司张存仲编写第十二章。全书由余洋、徐秋达担任主编,并由余洋负责全书的通稿工作,由马为民、杨慧琴担任副主编。

在本书的编写过程中得到了有关同仁的帮助,并参考了一些资料,在此向相关人员表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,希望广大读者批评指正。

编 者
2014 年 9 月

目 录

前 言

第一章 隧洞施工组织设计	(1)
第一节 编制施工组织设计前的准备工作	(1)
第二节 编制施工组织设计	(2)
第三节 隧洞施工方案、方法的选择	(4)
第四节 隧洞施工场地的布置	(5)
第五节 隧洞施工进度计划的编制与控制	(7)
第六节 隧洞施工技术管理与质量控制	(15)
第七节 隧洞工程施工经济与安全管理	(17)
第八节 隧洞施工组织设计实例	(21)
第二章 隧洞施工测量控制	(39)
第一节 控制测量的一般规定	(39)
第二节 隧洞外平面控制测量的要求	(40)
第三节 隧洞内施工测量的控制要求与贯通误差的调查	(42)
第四节 隧洞竖井高程传递施工测量要求	(44)
第五节 隧洞掘进中的断面测量要求	(49)
第六节 隧洞衬砌施工测量放样的控制	(50)
第七节 隧洞中的变形计沉陷观测要点	(52)
第三章 隧洞开挖的技术要求	(54)
第一节 隧洞开挖的基本方法与要求	(54)
第二节 隧洞开挖掘进方式的选择原则	(57)
第三节 爆破设计原则及注意事项	(58)
第四节 隧洞工程施工爆破的技术要点	(61)
第五节 出渣与运输的要求	(65)
第六节 隧洞支撑的技术要求	(68)
第四章 隧洞衬砌与支护的质量控制	(70)
第一节 隧洞衬砌施工的一般规定	(70)
第二节 模筑混凝土衬砌施工的质量控制	(70)
第三节 喷射混凝土作业的质量控制	(79)
第四节 锚杆、钢支撑作业的质量控制	(82)
第五节 钢纤维及钢筋网喷射混凝土施工的质量控制	(85)

第六节 防水隔离层及二次衬砌施工的主要技术要求	(87)
第五章 隧洞支护与衬砌的质量检验与竣工验收	(89)
第一节 喷射混凝土的质量检查和控制	(89)
第二节 混凝土衬砌施工的质量控制与检查	(95)
第三节 锚杆施工的质量控制与检查	(97)
第四节 锚喷支护的试验和测定方法	(97)
第五节 锚杆灌浆密实度的检测方法	(99)
第六节 衬砌厚度及背后空洞状态的检测方法	(100)
第七节 隧洞支护衬砌工程的竣工验收	(102)
第六章 隧洞主要工程地质问题	(102)
第一节 简 述	(103)
第二节 大断层带围岩失稳及涌水问题	(103)
第三节 岩溶及突水突泥问题	(111)
第四节 高地应力条件下软质围岩变形问题	(112)
第五节 岩爆问题	(117)
第六节 隧洞高地温问题	(128)
第七节 有害气体问题	(138)
第八节 有害水质问题	(139)
第九节 膨胀岩问题	(140)
第十节 放射性元素危害问题	(140)
第十一节 隧洞高外水压力问题	(142)
第七章 不良和特殊地质地段隧洞施工的质量控制	(147)
第一节 不良和特殊地质地段隧洞施工的注意事项	(147)
第二节 膨胀性围岩隧洞施工的质量控制	(149)
第三节 黄土地段隧洞施工的技术要求	(151)
第四节 松散地层施工的质量控制	(151)
第五节 穿过断层的隧洞施工质量控制	(155)
第六节 隧洞在溶洞地段施工的质量控制	(157)
第七节 隧洞施工遇有岩爆时的技术要求	(158)
第八节 隧洞施工坍塌处理措施的要点	(159)
第九节 隧洞施工遇有流砂的治理要点	(161)
第八章 隧洞施工超前地质预报	(163)
第一节 概 述	(163)
第二节 隧洞施工超前预报分类	(165)
第三节 超前预报方法与技术	(167)
第四节 超前探测中的若干问题	(184)

第五节 TBM 施工超前地质预报方法的选择	(187)
第六节 隧洞施工超前预报注意要点	(187)
第九章 隧洞施工中的动态管理	(190)
第一节 隧洞施工动态管理系统的构成与建立	(190)
第二节 测量与观察的要点	(194)
第三节 隧洞施工管理	(199)
第十章 隧洞现场监控量测	(202)
第一节 隧洞现场监控量测的一般规定	(202)
第二节 隧洞现场监测的内容与方法	(204)
第三节 监控量测数据的处理与应用	(217)
第四节 隧洞施工的监控量测管理	(221)
第十一章 工程地质测绘	(225)
第一节 概 述	(225)
第二节 准备工作	(225)
第三节 野外工作方法	(226)
第四节 工程地质测绘内容	(229)
第五节 工程地质测绘资料整理	(237)
第十二章 隧洞施工的环境保护控制	(239)
第一节 影响隧洞内环境的重要因素	(239)
第二节 施工通风、防尘、防有害气体的要求	(240)
第三节 振动与噪声、照明及视线的改善	(246)
第四节 作业环境的测定	(249)
第五节 控制施工对周边环境和结构物的影响	(252)
参考文献	(260)

第一章 隧洞施工组织设计

编制隧洞施工组织设计的目的是，保证工程按设计要求的质量、计划规定的进度，合理地设计预算，安全、优质、高效地完成施工任务。因此，施工组织设计贯穿于隧洞从施工准备阶段到竣工验收阶段全过程。应遵循科学管理、管理出效益的原则，并结合隧洞的断面尺寸、工期要求、地质条件、当地自然条件等制定合理的施工方法和切合实际的施工进度计划。

第一节 编制施工组织设计前的准备工作

在编制施工组织设计之前，首先应做好现场踏勘、调查研究、核对设计文件等工作程序。

一、现场调查研究

施工单位应当深入工地现场，进行以下调查工作：

- (1)施工场地布置与洞口相邻工程、弃渣利用、农田水利、征地等的关系。
- (2)可利用的电源、动力、通信、机具车辆维修、物资、消防、劳动力、生活供应及医疗卫生条件。
- (3)建筑物、道路工程、水利工程和通信、电力线等设施的拆迁情况和数量。
- (4)调查施工运输便道，进行方案比较。
- (5)调查地质、地层情况以及骨料的数量、质量鉴定及供应方案。
- (6)当地气象、水文资料及居民点的社会状况和风俗习惯，自然环境、生活环境情况及需要采取的保护措施。

二、现场核对设计文件

施工单位施工前应全面熟悉设计文件，会同设计单位、监理单位进行现场核对，做好以下施工准备工作：

- (1)重点复查对隧洞施工和环境保护影响较大的地形、地貌工程及地质、水文地质条件是否符合实际，保护措施是否适当。
- (2)会同设计单位、监理单位现场交接和复查测量控制点、施工测量用的基准点及水准点，并定期进行复核和做好护桩工作。
- (3)掌握工程的重点和难点，了解隧洞方案的选定及设计经过。
- (4)核对隧洞平面、纵断面设计，了解隧洞与所在区段的总平面、纵断面设计的关系。
- (5)核对洞门位置、式样、衬砌类型是否与周围环境相适应、相协调。
- (6)核对洞内外排水系统和设施的布置是否与地形、地貌、水文、气象等条件相适应。

(7)核对隧洞设计文件中确定的施工方法、技术措施与施工实际条件是否相符合。

三、编制隧洞施工组织设计所需的资料

(一)隧洞设计方面的资料

- (1)隧洞建设工程的初步设计、施工图和工程概(预)算资料。
- (2)业主及有关部门对建设工程的要求(如工期、环保要求等)。
- (3)隧洞工程地质及水文地质勘察资料。
- (4)有关隧洞施工技术手册、隧洞设计与施工经验总结等。
- (5)地形资料、地震资料、气象资料。

另外,还应结合工程规模、工期、地形特点、弃渣场地布置和水源等情况,本着因地制宜、充分利用地形、合理布置、统筹安排的原则,进行隧洞施工总体布置。

(二)技术经济方面的资料

- (1)当地可供利用的运输道路及交通工具等(如汽车、船只等)。
- (2)当地可供利用的建材及供应能力。
- (3)工地附近可供利用的场地、可借用的民房,及需要拆迁的建筑物和需要处理的青苗。
- (4)当地可利用的电源、水源、通信网等。
- (5)消防设施、商品供应及其他服务机构。

第二节 编制施工组织设计

施工组织设计是组织施工的基本文件,应在确保安全、经济的前提下,确定合理的施工方法,对施工工艺、机械配备、质量控制、监控量测、工序安排、劳动组织、材料供应、工程投资、场地布置等做出合理的计划,并提出组织措施,确保隧洞施工有条不紊地顺利进行。

一、施工组织设计主要内容

编制隧洞施工组织设计应包括施工方法、工区划分、场地布置、进度计划、工程数量、人员配备、主要材料、机械设备、电力和运输以及安全、质量、环保、技术经济等主要措施内容,并结合施工单位的技术条件和施工经验,对隧洞设计中需要改进或变更设计的地方向建设单位和设计单位提出合理化建议,然后按规定通过协商及时进行修改。施工场地布置、绘制工地总体布置图应按照充分利用地形、合理布置、统筹安排的原则。

二、编制隧洞施工组织设计的依据和原则

(一)依据

- (1)隧洞设计文件及变更设计文件等相关的资料。
- (2)建设单位有关指标、合同、技术条款。
- (3)工程建设单位指导性施工组织设计方案及要求。

(二)原则

在编制隧洞施工组织设计时，应根据工程的技术特性与经济特点，贯彻以下原则：

- (1)遵守水工隧洞施工相关技术规范和操作规程，确保工程质量及施工安全。
- (2)遵守签订的工程施工承包合同或上级下达的施工期限，保证按期或提前完成施工任务。
- (3)认真统筹布置施工场地，确保施工安全及方便职工、民工的生产和生活。
- (4)要贯彻就地取材的原则，尽量多利用当地资源。
- (5)充分利用现有设施，尽量减少临时工程，降低工程造价，提高投资经济效益。
- (6)尽量节约施工用地，少占或不占农田，注意水土保持和重视环境保护。
- (7)采用新技术、新工艺、新方法，不断提高机械化施工及预制装配化施工程度，降低成本和提高劳动生产率，统筹安排施工，做到均衡生产。
- (8)合理组织冬、雨季施工及建筑材料的运输和储备工作，力求降低冬、雨季施工的附加费用。

三、隧洞施工组织设计编制程序

编制隧洞施工组织设计时，应采用科学的方法，既要遵守一定的程序，还要按照施工的客观规律，协调和处理各因素的关系。隧洞施工组织设计的程序(见图 1-1)如下：

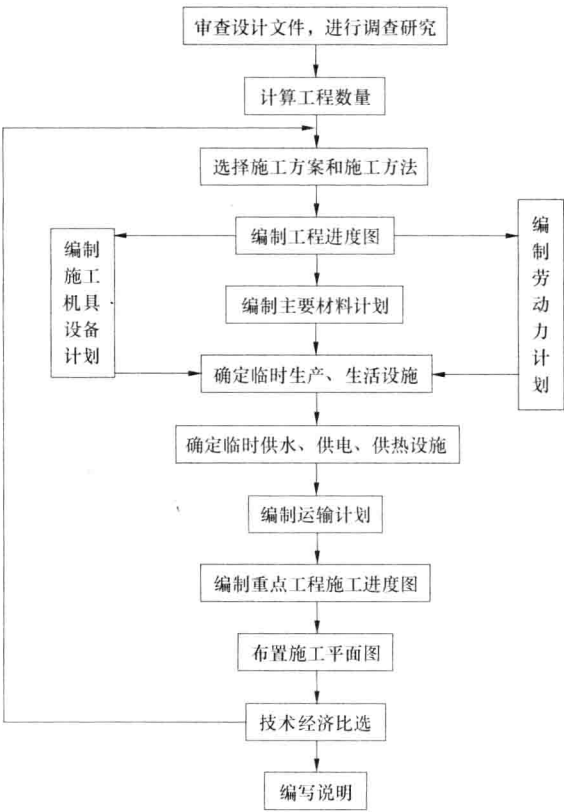


图 1-1 隧洞施工组织设计编制程序

- (1)隧洞施工调查和技术交底。
- (2)全面分析隧洞设计资料,拟订和选择施工方案及确定施工方法。
- (3)编制工程施工进度图。
- (4)按照施工定额计算劳动量(工日)、材料、机具的需要量,并制定供应计划。
- (5)制定临时工程及供水、供电、供热计划。
- (6)施工工地运输组织。
- (7)编制技术措施、施工计划及计算技术经济指标。
- (8)编制说明书。

第三节 隧洞施工方案、方法的选择

隧洞施工方案一般包括导坑辅助坑道方案,开挖方案,支撑与预加固方案,支护与衬砌方案,风、水、电作业方案,运输及场地布置方案,施工进度,劳动力安排,材料及机具设备计划等。施工方案是施工组织设计的重要环节,也是工程全局的关键,因此在选择施工方案、方法时,应全面了解设计文件,然后综合分析和合理确定。

选择施工方案的基本要求:优良、高速、安全、经济、均衡生产和文明施工。

选择施工方案的依据:根据工程所处的地理位置,工程地质和水文地质资料,坑道断面开挖的大小,隧道的长度,衬砌结构的类型,工期要求,施工技术力量,施工机械设备情况,施工中原材料供应情况,动力、电力、供水、排水情况,环境保护,工程投资,施工安全措施,地表沉降等因素综合研究和分析,并根据不同的施工类型进行选择。

一、辅助坑道方案的选择

辅助坑道方案的选择应根据隧洞长度、开挖断面、工期、地形、地质、水文、弃渣场地和机具设备等条件以及施工技术力量和施工通风等因素综合考虑研究确定。一般具体选择辅助坑道方案时,应作多方案比较,以便取得良好的效果。

二、施工场地布置方案的选择

隧洞施工场地布置时要综合考虑的项目很多,因隧洞内场地一般比较狭窄,而施工机械设备和出洞石渣及材料很多,施工前应根据洞口地形特点,结合劳动力安排、施工方法、工期要求、机械设备、弃渣场地位置等因素,统筹安排、全面规划、合理布置,避免相互干扰等。特别应注意安全,以使工地秩序井然,优质高效,并能充分发挥人力、物力和财力的最大效应。

三、隧洞施工方法的选择

隧洞的施工方法主要是指隧洞开挖方式、开挖方法、临时支护(支撑)方式和永久支护方式,一般可采用并列系列的方式表示,如图 1-2 所示。

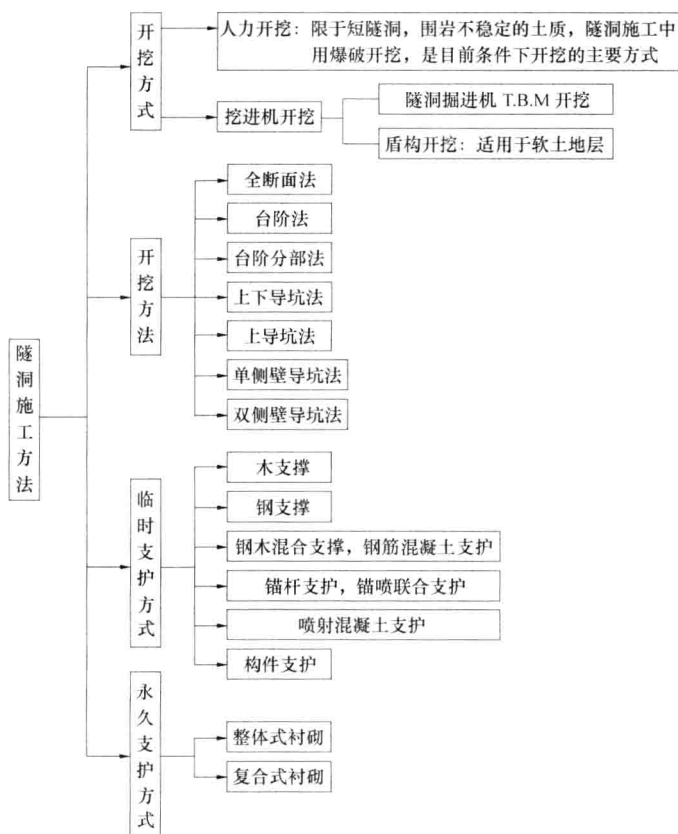


图 1-2 隧洞施工方法

应依据隧洞地形地貌条件、围岩条件、地质条件、工期要求、环保要求，结合施工单位的技术力量和机械设备等，合理选择山岭隧洞的施工方法。对于工程地质和水文地质条件变化较大的地区，应特别注意选用既具有较大适应性和安全性能又对进度影响小的施工方案。

总之，要结合现场情况合理、安全、有效变更施工方法，必须要适应隧洞地质条件的变化。

第四节 隧洞施工场地的布置

隧洞施工场地一般位于山区，大部分场地一般比较狭窄，因此施工前应绘制施工场地总体布置图，结合隧道工程规模大小、洞口地形特点、弃渣场位置和水源情况及工期要求，并结合劳动力安排、机械设备、材料用量、运输方式及能力、施工方法等因素，本着全面规划、统筹安排、合理布置、充分利用地形地貌、因地制宜的原则，编制施工场地布置图。

一、施工场地布置的一般要求

(1)合理布置大堆材料(砂、石料)、施工备品及回收材料堆放场地的位置。

(2)生活服务设施应集中布置,如宿舍、保健医疗及弃料废物场所等应分开,办公室场所要安静。

(3)运输的弃渣线、编组线和联络线,应形成有效的循环系统,方便运输和减少运距。

(4)机械设备、附属车间、加工场地应相对集中,仓库应靠近公路,并要设立专用线便道。并且要做到合理布局,形成网络。

(5)长隧洞外应有大型机械设备安装、维修和存放的场地。

(6)危险品仓库必须按照有关治安规定办理,一定要符合安全规定要求。

施工场地布置总的原则是,隧洞的场地布置要以洞口为中心,并应事先规划、分期安排,注意减少与现有道路的交叉和干扰。

二、施工场地布置的主要项目与技术要求

(一)弃渣场地与卸渣道路的布置

(1)场地容量应足够大,且出渣运输方便。应优先考虑弃渣作为洞外路基填方和桥头路堤填土,但其运距不应过远;顺沟弃渣而不致堵塞河道;防止抬高水位和恶化水流条件;填平山坡、荒地作施工场地而不致受山洪冲毁和危害下游农田或村庄。

(2)弃渣场上的卸渣线应不少于两条,应有前后两条以上的路线,以不影响弃渣车辆通行。

(3)不得占用其他工程场地和影响附近各种设施的安全,应注意保护环境。

(4)弃渣对不良地质和其他工程(如桥台、桥墩)不能有影响,不占或少占农田。

(二)大宗材料堆放地和料库的布置

大宗材料(如砂、石料、水泥、木材、钢材等)的存放地点及钢材、木材加工场地的布置应考虑运输方便、易于卸车、靠近使用地点,并做好防洪、防潮、防火等工作。

(三)施工生产房屋和生产设施的布置

(1)搅拌机应尽量靠近洞口,靠近砂、石料,便于装车运输等。

(2)施工机械场所的位置要求便道可直达,且用水、用电方便。

(3)通风机房和空压机房应靠近洞口,尽量缩短管道长度,以减少管道中能量损失,尤其要尽量避免出现过多的角度弯折。

(4)炸药和雷管要分别存放,其库房要选择离工地 300 ~ 400 m 以外的隐蔽地点,并安装避雷装置,周围要做好防护工作。

(5)工地项目部办公室可位于工地出入口附近,便于有效指挥隧道施工和管理。

(6)对于施工工地的临时道路,工地的主干道宜呈环状布置,次要道路可呈枝状布置,即有车辆调头场地。

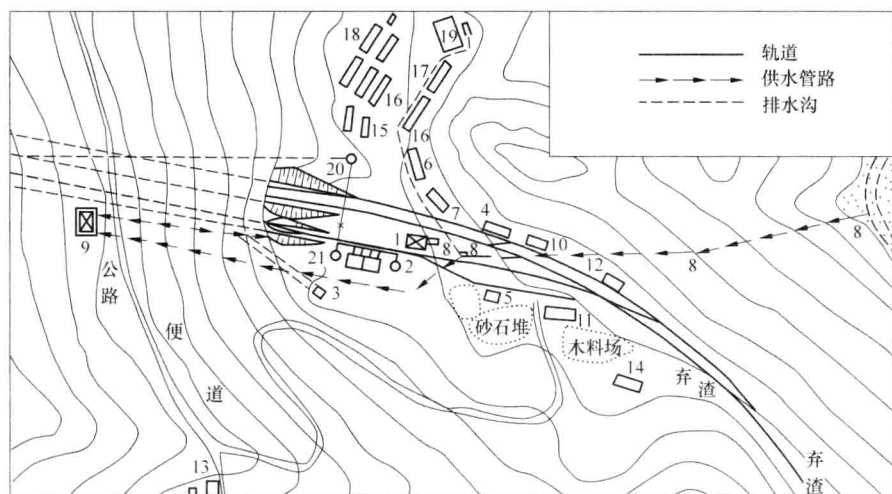
(四)隧洞工地生活房屋的布置

生活用房的布置与洞口保持一定的距离,以保证工人和工作人员有一个较安静的休息环境;但又不宜太远,以保证工人上、下班行走方便。行政管理 and 生活福利设施,应方便生产和工人生活。整个生活区要适当集中,以便学习和管理,并考虑职工有室外、室内的体育和文娱活动场所。要注意防洪防水,做好环境保护和卫生工作。

隧洞工地生活房屋布置的总的原则是,要尽量做到“占山不占地,占地不占田,修

路又造田”。重要的是，施工单位要通过现场的详细踏勘，对投标文件认真分析，充分考虑各种因素，本着合理、安全、实用、经济的原则，来进行隧道施工及场地平面布置。

图 1-3 所示为隧道施工场地布置示例。



- 1.9—空压机房；2—锻钎机房；3—通风机房；4—充电房；5—搅拌机；6—修配车间；
7—机房；8—抽水机棚；10—发电房；11—水泥库；12—材料库；13—炸药、雷管库；14—供应站；
15—卫生所；16—办公室；17—招待所；18—宿舍；19—食堂；20—配电室；21—变电站

图 1-3 隧洞施工场地布置

第五节 隧洞施工进度计划的编制与控制

隧洞施工进度计划主要包括两个方面：一是科学研究组织施工，合理加快施工速度的基本途径；二是施工进度与计划的表现形式。其主要原则是按照流水作业原则编制。

施工进度计划编制的总体思路是，必须根据隧洞的断面尺寸、各工区的地质条件、工期要求、所选用的施工机械设备、施工方案，并参照由计划部门提出的月、旬作业计划和平衡劳动力计划，以及材料部门调配材料、构件和设备部门安排的施工机具的调度及财务部门的用款计划等编制；各项计划均需以施工进度计划为基础，并且反映预定的施工准备、开工计划、竣工计划的全部施工过程，以及各方面之间的配合关系及各分部、工序之间的关系；应抓住关键，统筹全局，合理布置人力、物力，正确指导生产。

一、隧洞施工流水作业的原则

施工过程的组织主要是解决“施工空间组织”和“施工时间组织”这两个方面的问题。

施工过程的空间组织主要是解决施工单位的机构组织和人员配备问题，以及具体工程项目的各种生产、生活、运输、行政管理及临时设施的空间分布问题。

施工过程的时间组织主要是解决工程项目的施工作业方式和施工作业工序的安排及衔接问题。

隧洞施工作业的方式主要有三种：平行作业、顺序作业、流水作业。

(一)平行作业

线型隧洞工程施工的作业面很长，因此根据各分项工程和施工技术的需要，分为几段或几个施工点同时按程序施工。这种作业的方式可缩短工期，但隧洞施工仅有两个工作面，对于大而长的隧洞、坑道等，施工条件恶劣。为了加快掘进，需设置辅助坑道如横洞、斜井、竖井、平行导坑等，可以增加坑道开挖施工作业面和采用平行作业方式组织生产，加快施工速度及改善施工条件。

(二)顺序作业

按施工程序安排作业和工艺流程，即按先后顺序组织施工操作，如分项工程的程序是：放样、钻眼、装药、引爆、通风除尘、寻帮找顶、装渣、出渣等。

(三)流水作业

将隧洞工程划分为若干个施工段或工区，以施工专业化为基础依次在各施工段完成一道工序，使前一个工序迅速为后一个工序让出工作面，从而加快工程进度。流水作业可以连续均衡施工，合理调配劳动力、机具、材料，从而提高劳动生产效率和保证工程质量。

二、隧洞施工进度计划编制的表现形式

隧洞施工进度计划的表现形式主要是施工进度图，其又可分为 3 种，即横道图法、网络图法和垂直图法等。

(一)横道图

常用的隧洞工程施工进展横道图格式如图 1-4 所示，它由两大部分所组成，一部分是以分项工程为主要内容的表格，包括工程项目内容、单位、数量、定额、劳动量(工日)、每班平均人数、实际计划的工作日等；另一部分是指示图表，它是根据表格中的相关数据经计算得到的。用横向线条形象地表示各部分项工程施工进度，所划横线表示隧洞施工期限和位置，横线上的数值表示劳动力的数量，不同的符号表示作业队或施工段，并综合反映各部分项工程相互间的关系，而进行资源综合平衡调整。此种方法适用于绘制集中性的工程进度图、材料供应计划图或作为辅助性的图示。

(二)网络图

隧洞施工一个作业循环的网络图如图 1-5 所示，从图中可看出在每一个循环中各项工作的平行作业，且图中工程主次清晰，可以一目了然地找出从交接准备到放炮与通风除尘的关键线路。而且利用网络图可以进行隧洞施工工序分析和反映施工进度及各工序与项目相互关系，能表示隧洞施工中集中性工程或线型工程的进度，并可通过计算机对施工计划进行优化。网络图法是比较先进的工程进度图的表示形式。

(三)垂直图

垂直图是一种用坐标图的形式绘制而成的进度图，以横坐标表示隧洞长度和以百米表示里程，以纵坐标表示施工年、月、日，用各种不同的线型表示各项不同工序，每条斜线都反映某一工序的计划进度情况，即开工计划日期和完工计划日期，各斜线的水平方向间隔表示工序的距离，其竖直方向间隔表示各工序拉开的时间，各工序均衡推进表示在进度图上为各斜线之间相互平行。垂直图可用于隧洞设计施工组织进度分析和控制，如图 1-6 所示。

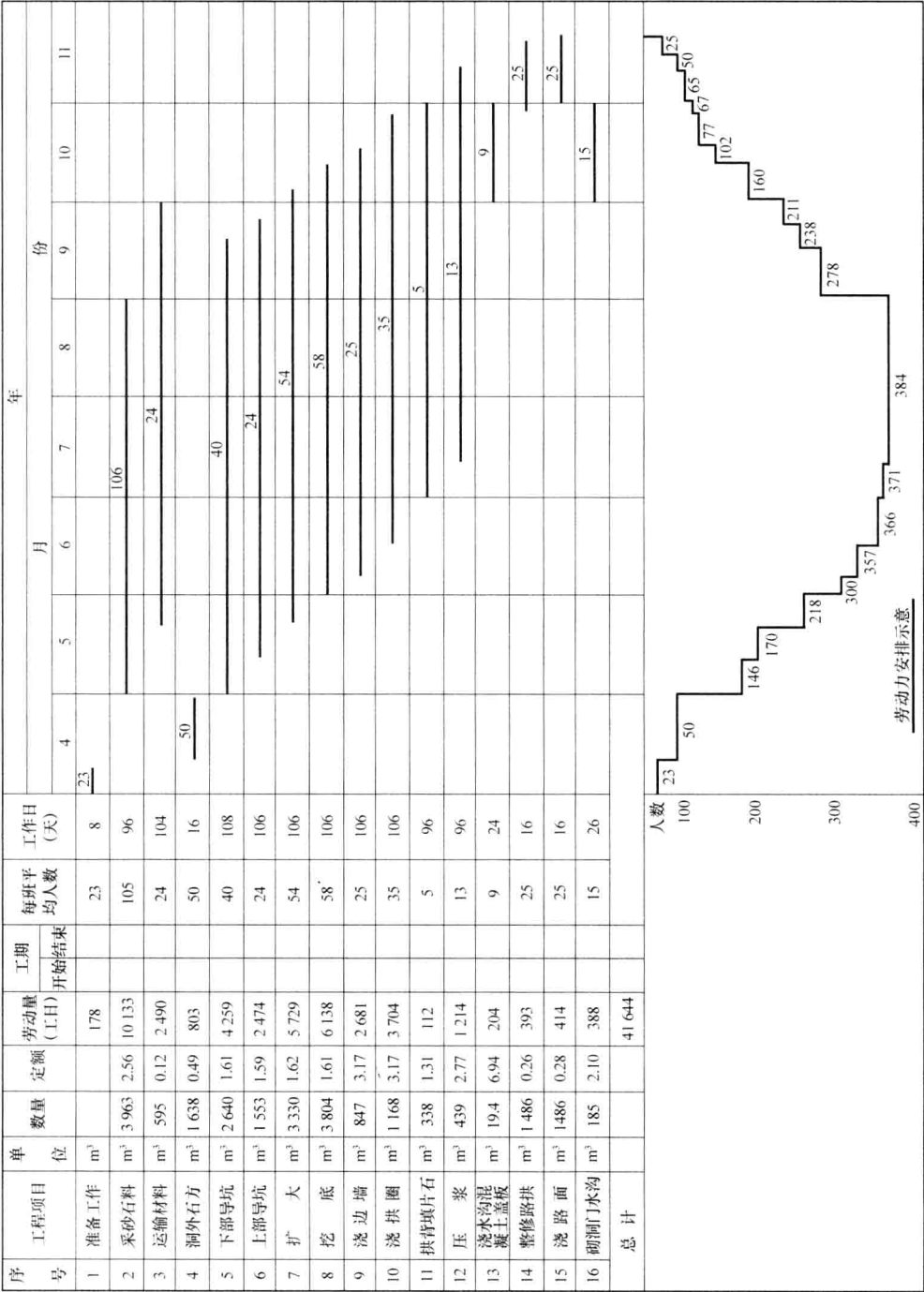


图 1-4 隧洞工程施工进度横道图

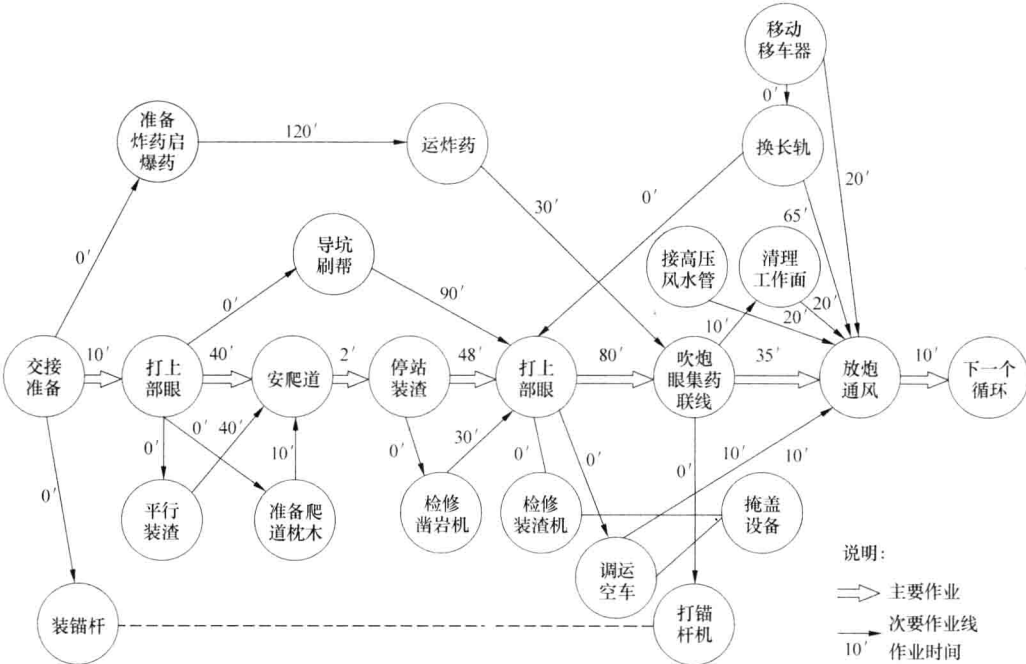


图 1-5 隧洞施工一个作业循环的网络图

三、隧洞施工进度计划编制的步骤

隧洞施工进度计划是在既定的施工方案基础上，按照流水作业原则编制，其具体步骤如下：

第一步 将隧洞工程分部项目的施工划分工序。

根据工程的特点，它一般可划分为如下工序：

(1)土石方工程：包括洞口排水系统，清除洞口上方有可能滑动的表土、灌木、山坡、危石等。

(2)洞口支挡工程：包括边坡、仰坡支挡。

(3)洞门工程：包括开挖进洞、基础开挖、墙端施工等。

(4)其他工程：包括绿化、洞门装饰施工等。

此项工序一般只包括现场施工工作，而不包括加工场的预制和运输工作。

第二步 计算各工序的工程量。

应根据隧洞施工图纸及有关工程数量的计算规则，按照施工顺序排列，分别计算各个施工过程的各项工程数量，并填入表格中。

第三步 计算各工序的劳动量和机械台班量。

第四步 计算各工序的生产周期。

因施工条件和要求的不同，其生产周期的具体计算方法有以下两种。

(1)根据工期要求来确定施工队(班组)人数或机械台数，一般按下式计算：

$$R=D/(t \cdot n) \tag{1-1}$$