

高等学校教材

隧道

SUIDAO

李德武 主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书主要介绍了隧道位置的选择、隧道的平纵断面设计、隧道构造设计、隧道开挖后围岩的力学行为、支护体系的设计计算方法、隧道施工方法、隧道施工组织设计与施工管理、隧道养护等内容。

本书除了可作教学用书外,还可供从事隧道设计、施工及养护的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

隧道/李德武主编. —北京:中国铁道出版社,2004.4

高等学校教材

ISBN 7-113-05777-2

I. 隧… II. 李… III. 隧道工程—高等学校—教材 IV. U45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 024076 号

书 名:隧道

作 者:李德武 主编

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门内街8号)

责任编辑:李丽娟

封面设计:蔡 涛

印 刷:北京市兴顺印刷厂

开 本:787mm×960mm 1/16 印张:22.5 字数:452 千

版 本:2004 年 4 月第 1 版 2004 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1~3 000 册

书 号:ISBN 7-113-05777-2/TU·768

定 价:28.50 元

版权所有 侵权必究

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。

编辑部电话(010)51873135 发行部电话(010)63545969

出版说明

近年来,兰州交通大学认真贯彻落实教育部有关文件精神,不断推进教育教学改革。学校先后出资数百万元设立了教学改革、专业建设、重点课程(群)建设、教材建设等项基金,并制定了相应的教学改革与建设立项计划、项目管理及奖励办法等措施。根据培养“基础扎实、知识面宽、能力强、素质高”的高级专门人才的总体要求,学校各院(部)认真组织广大教师积极参加教学改革与建设,开展系统的研究与实践,取得了一系列教学改革与建设成果。

通过几年来的深化改革,各学科专业制定了新的人才培养目标和规格,构建了新的人才培养模式和知识、能力、素质结构,不断修订完善专业教学计划和教学大纲。教学内容和课程体系的改革是教学改革的重点和难点,学校投入力量最大,花费时间最长,投入精力最多,取得的成效也最为显著。突出反映在教材建设方面,学校在各学科专业课程整合、优选教材的基础上,制定了“十五”教材建设规划,积极组织教材编写工作,通过专家论证和推荐,优化选题,优选编者,以保证教材编写质量,最后由学校教材编审委员会审定出版,确保出版教材教育思想的正确性、内容的科学性和先进性、形式的新颖性以及面向使用专业的针对性和适用性。近年来,通过广大教师的努力,相继编著了一批高水平、高质量、有特色的教材(包括文字教材和电子教材)。这些教材一般是由一些学术造诣较深、教学水平较高、教学经验比较丰富的教师担任主编,骨干教师参编,同行专家主审而定稿的。在教材中凝聚了编著教师多年的教学、科研成果和心血,这是他们在教学改革和建设中对高等教育事业做出的重要贡献。

本教材为学校“十五”教材建设资助计划项目,并通过了学校教材编审委员会审定。希望该教材在教学实践过程中,广泛听取使用意见和建议,适时进一步修改、完善和提高。

兰州交通大学“十五”规划
教材编审委员会

2003年4月

兰州交通大学“十五”规划教材

编审委员会

主 任:任恩恩

副主任:王晓明 盖宇仙

委 员:(按姓氏笔划排名)

王 兵 王起才 朱 琨

陈宜吉 吴庆记 谢瑞峰

主 编:李德武

前 言

近几年来,随着国民经济的迅速发展,无论是铁路还是公路,在线路等级或行车速度方面都有了更高的要求,这无形中提供了很多修建隧道的机会,一些长大难隧道陆续建成,在修建隧道的施工中积累并总结了许多新理论、新技术和新方法。为了及时地把这些新知识系统地介绍给学生和隧道工作者,在兰州交通大学教材十五规划的资助下,结合土木工程专业本科教学的特点,我们汲取了已经出版的有关隧道教材或隧道科技图书中的精华部分,将隧道设计、施工和养护技术系统地归纳到一起,编写了《隧道》一书。该书可作为大学本科土木工程专业隧道的教学用书,同时也可作为从事隧道设计、施工及养护的技术人员的参考书。

本书共分八章。主要介绍了隧道位置的选择、隧道的平纵断面设计、隧道构造设计、隧道开挖后围岩的力学行为、支护体系的设计计算方法、隧道施工方法、隧道施工组织设计与施工管理、隧道养护等内容。

本书由李德武主编,王兵主审。参加编写工作的有李德武(绪论、第三章、第七章、第八章)、高峰(第一章、第六章)、严松宏(第二章、第四章、第五章),谢飞鸿参加了第六章第二节的部分编写工作。

由于编者水平有限,书中难免出现缺点和错误,敬请读者批评指正。

编 者

2004 年 1 月



目 录

绪 论	1
第一章 隧道勘测及隧道位置的选择	10
第一节 隧道勘测	10
第二节 隧道位置的选择	14
第三节 隧道方案比较	30
第四节 隧道洞口位置的选定	35
思考题	40
第二章 隧道平纵断面设计	41
第一节 隧道平面设计	41
第二节 隧道纵断面设计	42
第三节 公路隧道的平面线形和纵断面线形	46
思考题	48
第三章 隧道构造设计	49
第一节 隧道衬砌的形式及适用条件	49
第二节 隧道衬砌的一般构造要求	51
第三节 隧道洞身支护结构的构造	62
第四节 明洞的构造	68
第五节 隧道洞门结构的构造	73
第六节 隧道附属建筑物	80
第七节 隧道内部装饰	94
第八节 洞内噪声的降低措施	96
思考题	99
第四章 隧道工程的地质环境	100
第一节 概 述	100
第二节 围岩的工程性质	101
第三节 围岩的初始应力场	111
第四节 隧道围岩分级及其应用	115
思考题	125



第五章 隧道结构体系设计原理与方法	127
第一节 概 述	127
第二节 围岩的二次应力场和位移场	129
第三节 隧道围岩与支护结构的共同作用	142
第四节 支护结构的设计原则	150
第五节 围岩压力	155
第六节 隧道结构体系的计算模型	165
第七节 隧道结构体系设计计算方法	168
第八节 隧道衬砌结构杆系有限元分析	181
第九节 隧道衬砌结构可靠度分析	190
思考题	195
第六章 隧道施工方法	197
第一节 概述	197
第二节 新奥法	201
第三节 超欠挖与塌方	239
第四节 隧道施工量测与信息反馈	245
第五节 其他施工方法	262
第六节 隧道施工过程中的地下水控制	280
第七节 隧道施工过程中的通风与防尘	286
第八节 隧道施工预支护措施	290
思考题	298
第七章 隧道施工组织设计与施工管理	299
第一节 隧道的施工组织设计	299
第二节 隧道施工管理	309
思考题	319
第八章 隧道养护	320
第一节 隧道运营阶段的养护工作	320
第二节 隧道档案的建立	326
第三节 隧道水害及整治措施	328
第四节 衬砌裂损及整治措施	335
第五节 衬砌侵蚀及整治措施	343
第六节 隧道冻害及整治措施	345
思考题	348
参考文献	349



绪 论

一、隧道的基本概念及工程概述

为达到各种不同的使用目的,在山体内或地面下修建的建筑物,统称之为“地下工程”。在地下工程中,用以保持地下空间作为运输孔道的,称之为“隧道”。一般来说,隧道的修建总是先在地下开挖出一个洞穴并延伸成为一个长形的孔道,称之为“导坑”,然后以导坑为基础逐步扩大到所需要的空间。由于地层被挖开后容易变形、塌落或是有水涌入,所以除了在极为稳固地层中且没有地下水的地方以外,大都要在坑道的周围修建支护结构,有时也称之为“衬砌”。衬砌的内轮廓应能满足使用上的要求,同时也无须无谓的放大。衬砌的形状和尺寸,应能使结构受力状态最为合理,既不浪费又能稳固。通常以圆形、椭圆形、马蹄形和卵形为多。衬砌的用料应适合施工和养护的要求。通常用坚固、耐久、耐腐蚀,能防水、防火,价廉、便于就地取材的材料。

以交通为用途的隧道,两端均从地面引入。隧道端部外露面,一般都修筑为保护洞口和排放流水的挡土墙式结构,称为“洞门”。如果洞口容易坍塌或有落石的危险时,还要在洞门与洞身间修筑明洞。洞身衬砌、洞门和明洞组成了隧道的主体支护结构,作用是保持岩体的稳定和行车安全。此外,为了保证隧道的正常使用,还需设置一些附属建筑物。隧道的附属建筑物是为了运营管理、维修养护、给水排水、储蓄发电、通风、照明、通讯、安全等而修建的,包括:为工作人员在隧道进行维修或检查时,能及时避让驶来的列车而在隧道两侧开辟的大小避车洞;为了保证隧道洞口的稳定与安全而修建的边仰坡;为了引导洞口边仰坡地表水流而修建的排水天沟;为了排除隧道内渗入的地下水,保证列车正常运行而设置的防水设备及排水设备;为了净化隧道内机车所排出的烟尘和有害气体而设置的通风系统等。隧道的主体支护结构和隧道的附属建筑物组成了隧道建筑物。

隧道工程修建时,首先要把施工地区的地质和水文情况勘察清楚,将勘察到的资料结合工程使用的要求,进行结构设计和施工方法的抉择。然后通过施工组织设计的指导,有步骤地进行施工,并在施工的过程中,随时进行各种量测,不断有针对性地修正支护结构设计和施工方案,使之更趋于合理。在隧道建成交付使用以后,还要定期检查,并按检查出的问题或病害,作出养护计划,分轻重缓急予以维修或大修,务使工程建筑物时刻处于良好状态,正常发挥它的工作效能。



二、隧道的种类及其作用

1970年OECD(世界经济合作与发展组织)隧道会议从技术方面将隧道定义为:以任何方式修建,最终使用于地表面以下的条形建筑物,其空洞内部净空断面在 2 m^2 以上者均为隧道。从这个定义出发,隧道包括的范围很大,且种类繁多,从不同的角度来区分,就有不同的分类方法。从隧道所处的地质条件来分,可以分为土质隧道和石质隧道;从埋置的深度来分,可以分为浅埋隧道和深埋隧道;按国际隧道协会(ITA)定义的隧道横断面积的大小划分标准可以分为极小断面隧道($2\sim 3\text{ m}^2$)、小断面隧道($3\sim 10\text{ m}^2$)、中等断面隧道($10\sim 50\text{ m}^2$)、大断面隧道($50\sim 100\text{ m}^2$)和特大断面隧道(大于 100 m^2);根据隧道的长度可以分为短隧道(铁路隧道规定: $L\leq 500\text{ m}$;公路隧道规定: $L\leq 250\text{ m}$)、中长隧道(铁路隧道规定: $500<L\leq 3\,000\text{ m}$;公路隧道规定: $250<L<1\,000\text{ m}$)、长隧道(铁路隧道规定: $3\,000<L\leq 10\,000\text{ m}$;公路隧道规定: $1\,000\leq L\leq 3\,000\text{ m}$)和特长隧道(铁路隧道规定: $L>10\,000\text{ m}$;公路隧道规定: $L>3\,000\text{ m}$);从隧道所在的位置来分,可以分为山岭隧道、水底隧道和城市隧道;按照用途来分,可以分为交通隧道、水工隧道、市政隧道、矿山隧道等。本书主要介绍交通隧道的设计和施工方法。

(一) 交通隧道

交通线上的隧道(交通隧道)是隧道中为数最多的一种。它的作用是提供交通运输和人行的通道,以满足交通线路畅通的要求,一般包括有以下几种:

1. 铁路隧道——我国内地大多是山区,地势起伏、山峦纵横,铁路穿越这些地区时,往往会遇到高程障碍。而铁路限坡平缓,无法拔起需要的高度,同时,限于地形又无法绕避,这时,开挖隧道直接穿山而过最为合理。它既可使线路顺直,避免许多无谓的展线,使线路缩短,又可以减小坡度,使运营条件得以改善,从而提高牵引定数,多拉快跑。所以,在铁路线上,尤其是在山区铁路线上,隧道的方案常为人们所选用,修建的数目也越来越多。我国铁路采用隧道克服山区地形的范例是很多的。例如,川黔线上的凉风垭隧道,在穿越分水岭时,拔起高度小,展线短,线路顺直,造价也低,越岭高度降低了 96 m ,线路缩短了 14.7 km ,并避开了不良地质区域。宝成线宝鸡至秦岭一段线路上密集地设有48座隧道,总延长为 17.1 km ,占线路总延长的 37.75% 。

2. 公路隧道——公路的限制坡度和限制最小曲线半径都没有铁路那样严格。所以,过去在山区修建的公路为节省工程造价,常常选择盘山绕行,宁愿多延长一些距离,而避开修建费用昂贵的隧道,因而公路隧道为数不多。但是,随着社会经济和生产的发展,高速公路的大量修建,对道路的修建技术提出了较高的标准(要求线路顺直、坡度平缓、路面宽敞等),于是在道路穿越山区时,也出现了大量的隧道方案。隧道的修建在改善公路技术状态,缩短运行距离,提高运输能力,以及减少事故等方面起到了重要的作用。例如穿越秦岭的终南山隧道,全长 18.1 km ,它将翻越秦岭的道路缩短了 60 km ,时间缩短2个多小时。



3. 水底隧道——当交通线路需要跨越江、河、湖、海、洋时,一般可以选择的方案有架桥、轮渡和隧道。当采用架桥方案时,需要考虑河道通航的净空要求,而桥梁受两端引线高程的限制,一时无法抬起必要的高度时,就难以克服净空限制这一矛盾。而轮渡方案限制了通行量,此时,采用水底隧道方案就可以解决净空限制和通行量小的矛盾。水底隧道方案的优点是不受气候影响,不影响通航,引道占地少,战时不暴露交通设施目标等,越来越受到人们的青睐。我国上海横跨黄浦江、全长 2 793 m 的延安东路南线越江水底隧道,把黄浦江两岸的交通联接起来,这在一定程度上改变了遇水架桥的思维定式。水底隧道方案的缺点是造价较高。

4. 地下铁道——地下铁道是解决大城市交通拥挤、车辆堵塞等问题,且能大量快速运送乘客的一种城市交通设施。它可以使很大一部分地面客流转入地下而不占用地面面积。它没有平面交叉,因而可以高速行驶,且可缩短车次间隔时间,节省了乘车时间,便利了乘客的活动。在战时,还可以起到人防的功能。我国北京、上海、广州、天津等城市已经建成的地下轨道交通系统,为改善城市的交通状况、减少交通事故起到了重要的作用。其他城市,如深圳、南京、武汉、重庆、哈尔滨、成都等已在规划或正在修建地下铁道。

5. 航运隧道——当运河需要越过分水岭时,克服高程障碍成为十分困难的问题。一般需要绕行很长的距离。如果层层设立船闸则建设投资很大,运转和维修的费用也很高,而且过往船只延误时间很多。如果修建航运隧道,把分水岭两边的河道沟通起来,既可以缩短航程,又可以省掉船闸的费用,航运条件就大为改善了。

6. 人行地道——在城市闹区和横跨十字路口处,行人众多,往来交错,为了提高交通运送能力及减少交通事故,除架设街心高架桥以外,也可以修建人行地道来穿越街道或跨越铁路、高速公路等。这样可以缓解地面交通,少占用地面空间,同时也大大减少交通事故。

(二) 水工隧道

水工隧道是水利工程和水力发电枢纽的一个重要组成部分。水工隧道包括以下几种:

1. 引水隧道——引水隧道可进行水资源调动或把水引入水电站的发电机组,产生动力资源。引水隧道有的内部充水因而内壁承压,有的只是部分过水,因而内部只受大气压力而无水压,分别称之为有压隧道和无压隧道。

2. 排水隧道——指把发电机组排出的废水送出去的隧道。

3. 导流隧道或泄洪隧道——它是水利工程中的一个重要组成部分。它可疏导水流并起补充溢洪道流量超限后的泄洪作用。

4. 排沙隧道——用来冲刷水库中淤积的泥沙,并把泥沙裹带运出水库。有时也用来放空水库里的水,以便进行库身检查或修理建筑物。

(三) 市政隧道

指城市中为安置各种不同市政设施的地下孔道。由于城市不断发展,工商各业日

趋繁荣,人民生活水平逐步提高,对公用事业的要求也越来越高。从城市空间的合理利用角度考虑,把某些市政设施安置在地下,既不占用地面面积,又不损伤市容的整齐。市政隧道有:

1. 给水隧道——城市自来水管网遍布市区,必须要有合理规划和布置的地下孔道来安置这些管道,地下孔道既不破坏市容景观,也不占用地面,并且可避免遭受人为的损坏。

2. 污水隧道——城市污水除一部分可以净化返用外,大部分的污水需要排放到城市以外的河流中去。这就需要有地下排污隧道。这种隧道可能是本身导流排污,此时隧道的形状多采用卵形;也可能是在孔道中安放排污管,由管道排污。一般排污隧道的进口处,多设有拦渣隔栅,把漂浮的杂物拦在隧道之外,不致涌入造成堵塞。

3. 管路隧道——把供给煤气、暖气、热水等的管路放置在地下孔道中,经过防漏及保温措施,把这些能源送到目的地。

4. 线路隧道——城市中,多数输送电力的电缆以及通讯的电缆都安置在地下孔道中,这样既可以保证不为人们的活动所损伤或破坏,又免得悬挂高空,有碍市容景观。这些地下孔道多半是沿着街道两侧敷设的。

在现代化的城市中,将以上四种具有共性的市政隧道,按城市的布局 and 规划,合建为一个大大隧道,称之为“共同管沟”。共同管沟是现代城市基础设施科学管理和规划的标志,也是合理利用城市地下空间的科学手段,是城市市政隧道规划与修建发展的方向。

5. 人防隧道——为战时的防空目的而修建的防空避难隧道。城市中建造人防工程,是为了预防战争空袭的需要。人防工程是在紧急情况下,人们避难所用的,因此,在修建时应考虑对生活环境的一般要求,除应设有排水、通风、照明和通讯设备以外,还应考虑储备饮水、粮食和必要的救护设备,此外在洞口处还需设置各种防爆装置,以阻止冲击波的侵入。同时,要做到多口联通、互相贯穿,在紧急时刻,可以随时找到出口。

(四) 矿山隧道

在矿山开采中,常设一些为采矿服务的隧道,从山体以外通向矿床,并将开采到的矿石运输出来,主要有:

1. 运输巷道——向山体开凿隧道通往矿床,并逐步开辟巷道,通往各个开采面。运输巷道是地下矿区的主要出入口和主要的运输干道。此种巷道多用临时支撑,仅供作业人员进行开采工作的需要。

2. 给水隧道——送入清洁水为采掘机械使用,并将废水及积水通过泵,抽排出洞外。

3. 通风隧道——地下巷道穿过许多地层,将会有多种地下气体涌入巷道中来,再加上采掘机械不断排出的废气,和工作人员呼出的气体,使得巷道内空气变得十分污浊。如果地层中的气体含有瓦斯,在含量达到一定浓度后,将会发生危险。轻者将人窒息,





重则引起爆炸。因此,为净化巷道中的空气,创造良好的工作环境,必须设置通风巷道,用通风机及时把有害气体和污浊空气排除出去,并把新鲜空气补充进来。

三、隧道的发展历程

隧道的发展历程与人民生活的水平和生产能力密切相关。古代的隧道都是修筑在可以自身稳定而无需支撑的岩层里,靠人的双手和原始的简单工具开挖。一座隧道往往需要十几年或几十年的漫长时间才能完成。自从发明安全炸药以后,人们就用爆破的方法取代了人工挖凿。机械钻孔出现以后,又进一步以钻机钻取炮眼,取代人力锤击钢钎这种落后方式。混凝土这一建筑材料出现后,支护坑道的方法就由砌筑的砖石结构改为就地浇灌的混凝土衬砌。铁路的兴起,推动了铁路隧道的发展。许多国家都在铁路跨越山岭的地方以隧道的方式穿过,有效地改善了铁路线路的技术条件,提高了运输能力。以后,由于贸易的发展,国际间内河交通日趋联系密切,于是航运隧道也应运而生。城市交通越来越繁忙以致经常堵塞,又出现了地下铁道。近期,为了充分利用地下空间,又出现了各种用途的地下工程。在人们居住的地下,又开辟了一层新的世界。

(一) 隧道工程的历史

隧道的产生和发展是和人类的文明历史发展相呼应的,大致可以分为如下4个时代:

1. 原始时代——即人类的出现到纪元前3000年的新石器时代,是人类利用隧道来防御自然威胁的穴居时代。人们利用天然洞穴作为栖身之所,并且逐步会在平原地区自己挖掘类似天然洞穴的窑洞来居住。此时的隧道用兽骨、石器 etc 工具开挖,修筑在可以自身稳定而无需支撑的地层中。

2. 远古时代——从纪元前3000年到5世纪,即所谓的文明黎明时代,这是一个为生活和军事防御目的而利用隧道的时代。这个时代隧道的开发技术形成了现代隧道开发技术的基础。我国古代的帝王将相均在地下修建坟墓陵寝,如长沙的楚墓、洛阳的汉墓等,其中明朝的定陵更是壮丽堂皇,成为今人游览的名胜。我国古籍《左传》中曾有“隧而想见”和“晋侯……以隧”的记载,说明当时已经有通道式的隧道了。又如,古埃及金字塔的建筑就属地下建筑。纪元前2200年的古代巴比伦王朝为连接宫殿和神殿而修建了约1 km长的隧道,断面为3.6 m × 4.5 m,施工期间将幼发拉底河水流改道,采用明挖法建造,该隧道是一种砖砌建筑。

3. 中世纪时代——约从5世纪到14世纪的1000年左右。这个时期正是欧洲文明的低潮期,建设技术发展缓慢,隧道技术没有显著的进步,但由于对地下铜、铁等矿产资源的需要,开始了矿石开采。

4. 近代和现代——即从16世纪以后的产业革命开始。这个时期由于炸药的发明和应用,加速了隧道技术的发展。如对有益矿物的开采,农田灌溉,运河、公路和铁路隧道的修建,以及随着城市的发展修建地下铁道、上下水道等,使得隧道的设计和施工技

术得到极大地发展,其应用范围迅速扩大。

(二) 我国隧道工程的发展和成就

解放前,我国经济不发达,隧道修建得不多。我国最早的交通隧道是位于今陕西汉中县的“石门”隧道,建于公元 66 年,是供马车和行人通行的。我国第一座铁路隧道修建在台湾,是基隆到台南的铁路线上一座长仅 261 m 的窄轨净空隧道。1907 年在京包线上修建了八达岭隧道,这是由我国工程师詹天佑主持施工的。他是我国铁路工程界最早的卓越人才。

建国之初,正处于国民经济恢复时期。在短短的三年之内,有关部门把全国原有铁路线上被破坏和发生病害的所有隧道都一一进行了修复。在成渝线上修复了 13 座隧道,在宝天线上改建了 136 座隧道,并完成了天兰线上的 48 座隧道,把当时支离破碎、断断续续的铁路基本修整完好。

1952 年修建沙丰一线,线路通过险峻的山区,需要修建密集的隧道。该线全长 100.6 km,有 56 座隧道,总延长为 27.03 km,隧道总延长占全线线路总长的 27%。稍后,在宝成线上修建了总延长为 84.4 km 的 304 座隧道。其中在三个马蹄形一个 8 字形的复杂展线区段,就集中了 48 座隧道,占全线总长的 37.7%,成为以隧道克服山区高程障碍,完成复杂展线的典型范例。

以后,修建隧道的技术又有进步。过去不敢尝试的长隧道一个接一个地打通了。宝成线上的秦岭隧道长达 2 363 m;上鹰线上的夹马石隧道长 2 387 m;川黔线上的凉风垭隧道长为 4 270 m;成昆线上的沙木拉打隧道长为 6 379 m;京原线上的驛马岭隧道长为 7 032 m;衡广复线上大瑶山隧道长为 14 295 m;秦岭终南山公路隧道(双洞、单向、双车道)长为 18 100 m(是目前我国最长的公路隧道);西安安康线上的秦岭隧道长为 18 456 m;兰武二线上的乌鞘岭隧道长达 20 050 m。一个比一个长,一个比一个质量好。

在克服不良地质的困难条件方面,已经取得了修建各种隧道的主动权。在海拔 5 070 m 的高原上修建了全长 1 338 m 的风火山铁路隧道,该隧道轨面标高为 4 905 m;在零下 40℃ 的严寒地区修建了枫叶岭隧道;在黔桂线上,克服了 2 000 m³/h 大量涌水的困难,修建了东山坪隧道;在京广线上,克服了流沙滚冒的困难,修建了长沙隧道;在贵昆线上,面对瓦斯量达 60 m³/h 的威胁,修成了岩脚寨隧道。实践证明,我国已经能够在各种不良地质条件下修建隧道了。

在隧道施工机械化方面,早已抛弃了原始的人工开凿方法,机械钻孔已由人力持钻改进到支腿架钻,又进而采用风动和液压的钻孔台车。修建衬砌已由砖石垒砌,改进为用混凝土就地模筑,混凝土泵泵送,又进而改进为采用喷射混凝土的柔性衬砌,近期,又出现了双层模筑混凝土衬砌。开挖程序已由小导坑超前,进而采用少分块的大断面开挖;从木支撑、钢木支撑,进而采用喷锚支撑。施工方法上,从传统矿山法逐步过渡到新奥法,以量测信息指导并修正施工,不但在硬岩中,同时在软弱围岩和一些困难条件下成功地修建了各种类型的地下工程。近期在西安—安康铁路 18 456 m 长的秦岭隧道的



修建中使用了包括全断面掘进机在内的现代隧道施工机具,实现了隧道施工的机械化。公路隧道和地下铁道使用了半机械化盾构和机械化盾构,上海隧道工程公司使用直径为 10.2 m 的挤压式盾构于 1970 年修建了穿越黄浦江的第一条水下隧道。采用沉管法修建了珠江的南沙隧道和甬江隧道,这些水下隧道的成功修建,在很大程度上改变了“遇水架桥”的思维定式。

在隧道工程的理论方面,分析结构内力的方法,已经从结构力学计算转到以矩阵分析的方式用电子计算机计算,并进一步用有限元方法进行分析;从把地层压力视为外力荷载,到把围岩和支护结构组成受力统一体系共同作用理论;从过去认为地层岩体为松散介质,进而考虑岩体的弹性、塑性和黏性,以及各种性质的转变,拟出各种能进一步体现岩性的模型,进行受力的分析;在隧道的设计计算理论中已经引入了不确定性的概念,现正向可靠度设计过渡。

隧道工程发展的近期,除了以交通为目的的隧道以外,又扩大到其他多方面用途的地下工程。由于地下建筑物不占地面面积,具有抗震稳定性,且在国防上有隐蔽性等优点,于是充分利用地下空间逐渐为人们所重视。在工业方面建成了许多地下仓库、地下工厂、地下电站、地下停车场、地下粮仓等。在人民生活方面,建造了形成网络的防空洞、地下影院、地下招待所、地下游乐场、地下体育中心、地下街、地下餐厅、地下会堂和地下养殖场等。到目前为止,地下工程已经发展到国民经济的各个部门中,成为人们活动的又一层世界。

(三) 国外隧道的发展情况

在国外,最早的地下工程是矿山的开采。用于交通线上的第一座隧道是纪元前 2180 年在巴比伦城中幼发拉底河下修造的一条地下人行道。以后,为了灌溉农田,修了少量的给水隧道。随着生产工具和生产资料的进步,修建隧道的技术也相应提高,又为内河运输的需要,继续修建了一些航运隧道。位于法国的马赛至罗纳的水路干线,本来需要绕过地中海,但修了罗佛(Rove)航运隧道以后,航程缩短为 7 km,而且快速平稳,巨型内河航船可以双向行使,十分便利。

铁路事业兴起以后,对交通隧道起了很大的推动作用。蒸汽机车牵引的第一座铁路隧道,就是 1826 年 ~ 1830 年在美国利物浦至曼彻斯特的铁路上修建的隧道,全长 1 190 m。之后,陆续出现了更多的铁路隧道。火药的改进和钻眼工具的研制,促使修建隧道的技术有了明显的提高。以前不敢修的长隧道也一一完成了。1857 年 ~ 1871 年间,建成了联接法国和意大利的仙尼斯山隧道,长为 12 850 m;1898 年意大利又修建了辛普伦隧道,长达 19 700 m;1971 年日本在新干线上修建了大清水隧道,全长为 22 230 m;1988 年日本建成了位于本州和北海道两大岛之间横跨津轻海峡的铁路干线上的青函隧道,全长 53 850 m,在目前是最长的铁路隧道。

除了山区的铁路隧道以外,又发展修建了一些在城市附近跨越河海的水底隧道。美国修建的宾夕法尼亚东河水底隧道,长为 7 190 m。日本修建的新关门隧道,长达



18 675 m;长 53 850 m 的青函海底隧道,仅海底部分就有 23 300 m,是目前世界上最长的水底隧道。

由于欧洲汽车运输量急剧增长,迫切需要扩大公路网,因而随之出现了不少的公路隧道。奥地利修建了阿尔贝格(Arlberg)公路隧道,长为 13 927 m;瑞士修建了圣哥达(St. Gothard)公路隧道,长为 16 918 m;挪威修建的 Aurland—Laerdal 公路隧道,长度达 24 500 m,这是目前最长的公路隧道。

自从城市发展以来,城市地面交通繁忙,车辆拥挤,地下铁道随之兴起。1863 年英国伦敦修筑了第一条地下铁道。美国纽约的地下铁道已修成 393.5 km,英国伦敦也修筑了总长为 387.9 km 的地下铁道。而且把地上、地下的交通联接起来,成为城市中的立体交通网。地下铁道的建筑,也一天比一天规模宏大,雄伟壮观。德国慕尼黑地下铁道的卡尔广场车站建筑就上下深达六层。第一层是人行通道及商店餐厅;第二层作为货栈及仓库;三、四层为地下停车场,可同时容纳 800 辆汽车;第五、六层才是车站集散厅及车道。华盛顿的地下铁道已经用电脑指挥和控制列车运行了。

近期以来,隧道工程的科学技术得到了相应的发展。在原有的技术基础上,钢拱支撑、喷射混凝土衬砌、锚杆加固围岩等已普遍使用。引进新奥法来指导并调整施工,也已大量推广。用有限元的方法来分析地下结构的受力状态,也已为人们所接受。

在钻进工具方面,出现了联合掘进机。使用液压凿岩的效率高、噪音低,能改善工作环境。以后又加上了高压射水,以高压水结合滚刀综合破岩,大大地提高了机械效率,而且由于不需要太大的推力,有可能把掘进机的机身变得更轻巧。

最近欧洲开始使用预切施工法,以链条式的切割机切出沟槽,然后在其内部断面进行爆破开挖。与此类似,有所谓扩挖法。先爆破出 80% 的断面,然后用履带式的扩孔机挖出整齐的周边,即可减少超挖,又可最少地扰动围岩。在日本采用冻结法的实例很多。在城市地区,为了不危及临近建筑物的安全,常常人工把围岩冻结起来,再进行开挖。瑞士的苏黎士城公路隧道,在密集建筑群的地下仅 6~8 m 的薄土层下,开挖了一个断面面积为 $12.1\text{ m} \times 14.3\text{ m}$ 并且不允许地面有较大沉陷条件下的公路隧道,这就是采用了冻结法的成功范例。近年来,日本还研制出一种静态破碎剂,可以进行安全而无公害的爆破。对于在城市建筑物群中,拆除某建筑物或地下洞室扩挖时,使用它最为合适。它不发生爆破冲击的噪音,不产生有破坏力的震动,可以破碎任何种类的岩石。

1974 年成立的国际隧道协会(ITA),汇集了各国的专家学者,集思广义,切磋交流有关隧道的各种问题。每年召开一次年会,宣读并讨论各国提供的论文。

科研方面在如何解决城市内开挖地下工程所引起的地层沉陷问题上已经取得了可喜成绩,现在正在探讨地下工程施工对城市繁华街道的干扰如何减至最小的问题,地下工程施工时如何保护环境的问题,地下工程的可持续发展以及开发建设过程中的技术立法问题和保证正常使用的前提下如何降低造价的问题。

最后应该指出,虽然近年来隧道工程已经取得了一定的成就和相应的发展,但是还



存在着许多问题和缺点。从总体来看,隧道结构还比较粗大厚实,施工环境还很恶劣,工人劳动强度还很大,工程进度较慢和工程造价较高。具体说,截止到目前,我们对围岩的性质还没有摸透,计算模型的选用和计算理论还不完全符合实际,施工技术水平和
管理方法还比较落后,人力和物力的消耗和浪费都较大,所有这些都有待隧道工作者去研究和解决。今后应当加强隧道环境和地质的现场量测及实验室的试验,以便对各种不同性质的围岩能模拟出较为符合实际的计算模型和计算理论;施工方面要进一步提高开挖技术和支护方法,配备完善的施工机械,从目前的半机械化程度,提高到全机械化,再进一步达到洞内无人,洞外遥控的高度安全化;要提倡采用科学的管理方法,用调查的信息,制订施工计划,又用实测的信息反馈不断调整计划,达到最优方案,实现质量高、进度快、浪费少、造价低的目的。总之,认识事物并改造事物使之为人服务是我们责无旁贷的责任,只要我们不断地去实践,不停地向前探索,就一定会把隧道的建设事业推向前进。

第一章 隧道勘测及隧道位置的选择

第一节 隧道勘测

一、隧道勘测的一般规定

隧道勘测资料是勘测设计人员通过各种勘测手段,对隧道所处的位置、地形、地质等自然条件具体认识的反映,也是隧道位置的选择、工程布置、结构设计、计划工程投资等整个设计工作的依据,因而勘测资料必须按照设计要求进行搜集。隧道勘测的一般规定如下:

1. 制定勘测计划

在勘测前,应根据隧道所通过地区的地形、工程地质及水文地质等条件,综合考虑勘测的阶段、方法、范围等,编制相应的勘测计划。

勘测计划包括对既有资料的收集和调查、地质勘察、环境调查、施工条件调查、调查采取的方法等内容。勘测计划应按不同调查阶段,针对提出的要求并考虑隧道的规模、特点等编制。编制时应对调查项目、调查方法、精度要求、范围和顺序、成果等作出明确规定。

在勘测过程中,当发现实际地质情况与预计的情况不符时,应及时修改勘测计划。

2. 勘测资料应完备

隧道勘测工作一般包括搜集已有资料,地形、地质的调查测绘,工程地质及水文地质勘探及试验等工作。勘测工作依据设计阶段的不同,其任务、目的和设计要求也不同,工作的范围、内容和精度也不相同。因此,隧道工程勘测时,应根据不同设计阶段的任务、目的和要求,针对隧道工程的特点,确定应搜集勘测资料的内容和范围,并认真地进行调查、测绘、勘探和试验,做到搜集资料齐全、准确,满足设计要求。

3. 勘测的两个阶段

隧道勘测分为设计阶段勘测和施工阶段勘测。各阶段的勘测内容、范围、精度等应根据隧道规模及其使用目的确定,并应符合有关规定的要求。

在勘测时,首先进行大致、大范围的以全貌为目的的调查,依次整理出由调查所判明的事项等,提出调查的重点,接着在先前调查已获得成果的基础上用以后进行的调查成果不断地加以评价、修正,使之更趋完善。