



世纪高等教育土木工程系列规划教材

隧道工程

陈秋南 主编
张永兴 主审

Tunnel Engineering Series Guihua Jiaocai



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



U45/4

2007

21 世纪高等教育土木工程系列规划教材

隧 道 工 程

主 编 陈秋南

副主编 包 太 徐泽沛

参 编 胡 兴 王小敏 黄胜平 周国华

主 审 张永兴



机 械 工 业 出 版 社

本书根据教育部土木工程专业的课程设置指导意见以及《公路隧道设计规范》(JTG D70—2004)并结合编写人员多年的教学和实践经验编写而成。本书主要内容包括:绪论、隧道工程的勘测设计、隧道主体及附属建筑结构、隧道围岩分级及围岩压力、隧道支护结构计算、隧道施工方法、隧道设计中的有限元法、隧道施工组织设计、隧道运营管理与养护及典型隧道工程简介。

本书可作为高等院校土木工程专业及相关专业隧道工程课程的教材,也可供从事隧道及地下工程设计和施工的专业技术人员及科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

隧道工程/陈秋南主编. —北京:机械工业出版社, 2007. 8

21 世纪高等教育土木工程系列规划教材

ISBN 978-7-111-21933-0

I. 隧… II. 陈… 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 (2007) 第 111044 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:马军平 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:张 静 责任印制:杨 曦

北京机工印刷厂印刷 (兴文装订厂装订)

2007 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 9.75 印张 · 377 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-21933-0

定价: 28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379711

封面无防伪标均为盗版

序

随着 21 世纪国家建设对专业人才的需求,我国工程专门人才培养模式正在向宽口径方向转变,现行的土木工程专业包括建筑工程、交通土建工程、矿井建设、城镇建设等 8 个专业的内容。经过几年的教学改革和教学实践,组织编写一套能真正体现专业大融合、大土木的教材的时机已日臻成熟。

迄今为止,我国高等教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大贡献。但据 IMD1998 年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标世界排名在第 36 位,与我国科技人员总数排名第一的现状形成了极大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员,特别是工程应用型技术人才供给不足。

科学在于探索客观世界中存在的客观规律,它强调分析,强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学理论和技术手段去改造客观世界的客观活动,所以它强调综合,强调实用性,强调方案的优选。这就要求我们对工程应用型人才和科学研究型人才的培养实施不同的方案,采用不同的教学模式,使用不同的教材。

机械工业出版社为适应高素质、强能力的工程应用型人才培养的需要而组织编写了本套系列教材,目的在于改革传统的高等工程教育教材,结合大土木的专业建设需要,富有特色、有利于应用型人才的培养。本套系列教材的编写原则是:

- 1) 加强基础,确保后劲。在内容安排上,保证学生有较厚实的基础,满足本科教学的基本要求,使学生日后发展具有较强的后劲。
- 2) 突出特色,强化应用。本套系列教材的内容、结构遵循“知

识新、结构新、重应用”的方针。教材内容的要求概括为“精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通“大土木”教学内容的基础上,挑选出最基本的内容、方法及典型应用实例;“新”指在将本学科前沿的新技术、新成果、新应用、新标准、新规范纳入教学内容;“广”指在保证本学科教学基本要求前提下,引入与相邻及交叉学科的有关基础知识;“用”指注重基础理论与工程实践的融会贯通,特别是注重对工程实例的分析能力的培养。

3) 抓住重点,合理配套。以土木工程教育的专业基础课、专业课为重点,做好实践教材的同步建设,做好与之配套的电子课件的建设。

我们相信,本套系列教材的出版,对我国土木工程专业教学质量的提高和应用型人才的培养,必将产生积极作用,为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

江见鲸

前 言

本书是根据教育部土木工程专业的课程设置指导意见及《公路隧道设计规范》(JTG D70—2004)、《公路路线设计规范》(JTG D20—2006),并结合编写人员多年的教学和实践经验编写而成,是普通高等院校土木工程专业的专业课教材。本书系统地介绍了隧道勘测选址、线路和纵横断面设计、隧道主体及附属建筑结构的形式、隧道围岩分级、衬砌结构的种类和计算方法、隧道的施工方法等基础知识和基本理论。

在本书编写过程中,除强调反映本学科的传统知识外,力求反映国内外隧道工程设计理论和方法的发展水平,如对隧道施工的数值分析方法、新奥法和典型隧道的设计和施工工艺等作了简单的介绍,同时力求做到编写内容比较全面,既能满足普通高等院校的教学要求,又能供从事隧道及地下工程设计和施工的专业技术人员及科研人员自学和参考。

本书由湖南科技大学陈秋南任主编,贵州大学包太、长沙理工大学徐泽沛任副主编。编写分工:湖南科技大学陈秋南编写第1、2章和第8章;贵州大学包太编写第4、5章;长沙理工大学徐泽沛编写第3、6章和第10章;贵州大学胡兴编写第7章;贵州大学王小敏编写第9章;湖南科技大学黄胜平、周国华等参与了部分章节的编写和校稿。

本书由陈秋南统稿,重庆大学博士生导师张永兴教授审阅了本书,提出了许多宝贵的意见和建议,在此谨表谢意。

在本书的编写过程中得到了重庆大学靳小光博士后、王桂林博士

以及其他许多兄弟院校、科研院所的老师以及公路、铁路设计和施工单位的关心与支持，提出了许多宝贵意见，同时也参考了国内外许多前辈和同行的著作，在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免有不足和错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 隧道工程的基本概念	1
1.2 隧道的分类及其作用	1
1.3 隧道工程的发展趋势	6
思考题	8
第 2 章 隧道工程的勘测设计	9
2.1 隧道的工程调查	9
2.2 隧道位置选择	15
2.3 隧道线路设计	23
2.4 隧道横断面设计	27
2.5 隧道勘测设计文件的内容和组成	34
思考题	36
第 3 章 隧道主体及附属建筑结构	38
3.1 隧道衬砌材料与构造	38
3.2 隧道洞身衬砌结构	40
3.3 隧道洞门结构	43
3.4 隧道明洞结构	47
3.5 隧道附属建筑设施	50
3.6 隧道防排水设施	74
思考题	81
第 4 章 隧道围岩分级及围岩压力	82
4.1 岩石的地质特征	82
4.2 岩体的物理、力学性质	86
4.3 隧道围岩分级	96
4.4 围岩压力计算	102
思考题	110
第 5 章 隧道支护结构计算	111
5.1 隧道施工过程的力学特性	111
5.2 隧道衬砌受力计算	119
5.3 半衬砌结构计算	123

5.4 直墙式衬砌结构计算	129
5.5 曲墙式衬砌结构计算	135
5.6 隧道洞门计算	140
5.7 衬砌截面强度验算	143
思考题	145
第6章 隧道施工方法	146
6.1 传统矿山法	146
6.2 新奥法	148
6.3 新奥法的施工技术	156
6.4 洞口段及明洞施工方法	164
6.5 辅助施工方法	167
6.6 特殊地质地段的施工方法	172
6.7 钻爆开挖和装渣运输	185
6.8 隧道支护施工	195
6.9 隧道掘进机施工	202
6.10 隧道施工现场监控量测	208
思考题	219
第7章 隧道工程设计中的有限元方法	220
7.1 概述	220
7.2 有限元法基础	222
7.3 隧道围岩弹塑性有限元分析	228
7.4 工程实例分析	235
思考题	241
第8章 隧道施工组织设计	242
8.1 隧道施工组织设计的准备工作	242
8.2 隧道施工组织设计	243
8.3 隧道施工进度计划	247
8.4 隧道施工组织设计文件组成	254
思考题	255
第9章 隧道运营管理与养护	256
9.1 隧道运营管理与养护的意义	256
9.2 隧道养护的一般规定	260
9.3 公路隧道运营阶段交通监控与管理	273
思考题	278
第10章 典型隧道工程简介	279
10.1 概述	279
10.2 连拱隧道	280
10.3 小净距隧道	286

10.4 长大隧道	290
思考题	300
参考文献	301

第 1 章

绪 论

1.1 隧道工程的基本概念

隧道 (tunnel) 是一种修建在地下, 两端有出入口, 供车辆、行人、水流及管线等通行的工程建筑物。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, 最终使用于地表以下的条形建筑物, 其空洞内部净空断面在 2m^2 以上者均为隧道。隧道工程 (tunnel engineering) 包含两方面的含义, 一方面是指从事研究和建造各种隧道及地下工程的规划、勘测、设计、施工和养护的一门应用科学和工程技术, 是土木工程的一个分支; 另一方面是指在岩体或土层中修建的通道和各种类型的地下建筑物。

以交通为用途的隧道, 其两端将自地面引入。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”。此外, 为了保证隧道的正常使用, 还需设置一些附属建筑物: 如为工作人员在隧道内进行维修或检查时, 能及时避让驶来的列车而在隧道两侧开辟的“避车洞”; 为了保证车辆正常运行而设置的照明设施; 为了排除隧道内渗入的地下水而设置的防水设备及排水设备; 为了净化隧道内车辆所排出的烟尘和有害气体而设置的通风系统等。

1.2 隧道的分类及其作用

隧道的种类繁多, 不同角度有不同的分类方法。按隧道所处地层分, 可以分为土质隧道和石质隧道; 按埋置的深度分, 可以分为浅埋隧道和深埋隧道; 按断面形式分, 可分为圆形、马蹄形、矩形隧道等; 按隧道所在位置分, 可分为山岭隧道、水底隧道和城市隧道。按国际隧道协会 (ITA) 定义的断面数值划分标准分, 可分为特大断面 (100m^2 以上)、大断面 ($50 \sim 100\text{m}^2$)、中等断面 ($10 \sim 50\text{m}^2$)、小断面 ($3 \sim 10\text{m}^2$ 以上)、极小断面 (3m^2 以下)。通常按用途分

类比较明确。

1. 交通隧道

这是隧道中为数最多的一种。它们的作用是提供运输的孔道。

(1) 铁路隧道 从 1888 年我国台湾省修建第一条狮球岭铁路隧道至今, 隧道建设有近 120 年的历史。20 世纪 50 年代初, 限于当时技术水平, 采用迂回展线来克服地形障碍, 宝成铁路翻越秦岭的一段线路采用短小隧道群, 在该段路上有 34 座隧道, 最长的秦岭隧道长仅 2363m。我国修建 10km 以上长度的隧道是从 14.295km 长的双线隧道——大瑶山隧道开始的, 施工中采用凿岩台车、衬砌模板台车和高效能的装运工具等机具配套作业, 实现全断面开挖。20 世纪 90 年代末, 在西(安)(安)康铁路上采用全断面掘进机等现代隧道施工机械修建 18.456km 长的秦岭隧道。该隧道的建成标志我国已经掌握现代隧道修建技术。

近 10 年来我国修建了大量的铁路工程, 南昆铁路全长 898.7km, 隧道 263 座, 总长 195.363km, 占线路总长的 21.7%; 渝怀铁路全长 625km, 桥隧 562 座, 其中隧道长 241km, 占线路总长的 38.56%。表 1-1 所示为我国部分 5km 以上的铁路隧道。

表 1-1 我国铁路 5km 以上隧道一览表

序号	隧道名称	所在线路	隧道长度/m	建成年月	备 注
1	秦岭 I 线	西康	18456	2000.05	
2	大瑶山	衡广复线	14294	1987.12	双线
3	长梁山	朔黄	12782	2000.03	
4	米花岭	南昆	9392	1996.09	
5	军都山	大秦	8460	1988.08	双线
6	云台山 II 线	侯月	8178	1996.06	
7	云台山 I 线	侯月	8144	1994.03	
8	中央	台湾南回	8070	1991.12	双线, 轨距 1067mm
9	观音	台湾北回	7757	1979.12	轨距 1067mm
10	分水关	横南	7252	1995.12	
11	驿马岭	京原	7032	1969.10	
12	松河	水柏	6905	2000.05	
13	寺铺尖	朔黄	6407	1999.10	双线
14	沙马拉达	成昆	6383	1966.11	竣工时长 6379m
15	八盘岭	溪田	6340	1992.09	
16	寺则河	神延	6216	2000.11	
17	平型关	京原	6190	1971.07	

(续)

序号	隧道名称	所在线路	隧道长度/m	建成年月	备 注
18	关村坝	成昆	6187	1966.05	竣工时长 6107m, 1973 年昆明端接建明洞 80m
19	奎先	南疆	6152	1978.06	
20	大竹林	株六复线	6067	2000.04	位于贵昆线
21	南岭	衡广复线	6062	1987.12	双线, 竣工时长 6060.33m
22	红旗	京通	5848	1975.07	
23	蛇口峁	神朔	5804	1993.03	双线
24	彭莫山	焦柳	5608	1973.12	竣工时长 5592m, 1995 年为安设射流风机接建引风洞 16.4m
25	大巴山	襄渝	5334	1972.12	
26	黄莲坡	内昆	5306	2000.05	
27	南澳	台湾北回	5286	1979.12	轨距 1067mm
28	六盘山	宝中	5240	1994.12	
29	武当山	襄渝	5226	1973.05	
30	朱嘎	内昆	5194	2000.10	
31	平关	盘西支线	5140	1970.04	
32	白家湾	大秦	5058	1987.08	双线
33	长乐	洛湛线	6381	2007.10	单线, 2005 年 10 月开工
34	乌鞘岭	兰新	20050	2006.06	我国最长铁路隧道 (双线)

(2) 公路隧道 公路的限制坡度和最小曲线半径都没有铁路那样严格, 在经济不发达年代, 为节省工程造价, 山区公路多修建盘山公路穿越山岭, 延长公路距离, 而不愿修建费用高昂的隧道。随着经济的高速发展, 高速公路不断涌现。它要求线路顺直、平缓、路面宽敞, 因此在穿越山区时, 常采用隧道方案, 缩短运行距离。此外, 在城市附近, 为避免平面交叉, 利于高速行驶, 也常采用隧道方案。这类隧道在改善公路技术状态和提高运输能力方面起到很好的作用。全球 10km 以上的部分公路隧道见表 1-2。

表 1-2 世界上 10km 以上的公路隧道

国家	隧道名称	隧道长度/m	开通年代
挪威	Laerdal	24510	2000
瑞士	St. Gotthard	16918	1980
奥地利	Arlberg	13972	1978
中国	Qinglin	18020	2006
中国台湾	Xueshan	12900	2006

(续)

国家	隧道名称	隧道长度/m	开通年代
法国-意大利	Fréjus	12895	1980
法国-意大利	Mont-Blanc	11660	1965
挪威	Gudvanga	11428	1991
挪威	Folgefonn	11130	2001
日本	Kan-etsu	11010	1990
日本	Kan-etsu	10926	1986
日本	Hida	10750	2010
意大利	Gran Sasso (东向)	10176	1984
意大利	Gran Sasso (西向)	10121	1995
法国	Le Tunnel Est	10000	2004 ~ 2006

铁路与公路隧道按长度分类见表 1-3。

表 1-3 铁路与公路隧道按长度分类

隧道分类	特长隧道	长隧道	中隧道	短隧道
铁路隧道/m	> 10000	10000 ~ 3000	3000 ~ 500	≤ 500
公路隧道/m	> 3000	3000 ~ 1000	1000 ~ 500	≤ 500

(3) 地下铁道 自 1863 年伦敦建成世界上第一条地下铁道以来, 世界各大城市的地下铁道有了很大发展, 特别是近 40 年来, 地下铁道已经成为城市交通的重要组成部分。地下铁道是大量快速输送乘客的一种城市轨道交通运输设施, 能缓解和解决大城市中交通拥挤、车辆堵塞问题。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。地下铁道是现代化的交通工具, 具有运送能力大, 运行速度快、准点、安全、成本低和环境污染小等优点, 节省了乘车时间, 便利了乘客的活动。地下铁道在地下构成独立的线路图, 不受地面交通干扰。在战时, 还可以起到人防的功能。迄今为止, 我国内地已有北京、上海、广州、天津、深圳等多座城市有地下铁道在营运, 它们为改善城市交通状况、减少交通事故起了重要作用。

(4) 水底隧道 交通线路横跨江、河道时, 可以采用架桥、轮渡或修建海底隧道通过。但架桥受净空、战争的限制和约束, 轮渡又受天气影响和通行量限制, 采用水底隧道可以较好地解决上述问题。它不但避免了风暴天气轮渡中断的情况, 而且在战时不致暴露交通设施的目标, 是国防上的较好选择。我国自 20 世纪 60 年代开始研究用盾构法修建黄浦江水底隧道, 并于 80 年代建成通车。1993 年建成的广州珠江水底隧道, 是我国第一条采用沉埋法修建的隧道(地铁与公交、市政管道共用, 长 1.23km); 1995 年又在宁波甬江建成了第二条

沉管水底隧道（高速公路，长1.019km）；拟动工修建的京沪高速铁路在跨越长江时，亦准备采用长16.674km的沉管隧道方案。

（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。修建航运隧道，可以把分水岭两边的河道沟通起来，减少绕行距离，既可以缩短航程，又可以节省修建多级船闸的费用，河道顺直，大大改善了航运条件。

（6）人行地道 在城市闹市区中，需要穿越车辆密集的道路、高速公路、高速铁路以及交通事故易发路段，通常采用修建人行地道的办法缓解地面交通压力，尽量避免或减少交通事故。

2. 市政隧道

在城市中为规划安置的各种不同市政设施而在地面以下修建的各种地下孔道称为市政隧道。它与城镇居民的工作、生产和生活有着密切联系，是城市的生命线工程。它既可以充分利用地下空间，又不致扰乱高空位置和破坏市容的整齐。市政隧道类型有：

（1）给水隧道 为满足城市自来水管网系统需要而修建的隧道，它既不占用地面，也避免遭受人为的损坏。

（2）污水隧道 城市中有大量的人口和工厂，每天需要排放大量的生活污水和工业废水，这些污水需要排放到污水处理中心进行集中处理，这就需要地下的排污隧道。这种隧道可能是本身导流排送，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。

（3）管路、线路隧道 城市中的煤气、暖气、热水等都是通过埋在地下管路隧道，经过防漏及保温措施处理，把这些能源送到城市居民家中去，确保居民生活正常进行。输送电力的电缆以及通信的电缆，都安置在地下孔道中，称为线路隧道，这样既可以保证电缆不为人们的活动所损伤或破坏，又免得高空悬挂，有碍市容市貌。线路多半是沿着街道两侧附设的。

在当今现代化的城市中，把上述四种具有共性的地下管道（隧道），按城市规划总体要求，建成一个共用地下孔道，简称“城市共同管沟”。

（4）人防隧道 为了战时的防空目的，城市中需要建造人防隧道。在受到空袭威胁时，市民可以进入安全的庇护所。人防隧道除应设有排水、通风、照明和通信设备以外，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，并要做到多口联通、互相贯穿，在紧急时刻，可以随时找到出口。

3. 水工隧道

它是水利枢纽的一个重要组成部分。水工隧道有：

（1）引水隧道 引水隧道是将河流或水库中的水引入带动水电站的发电机组运转产生动力资源的孔道。引水隧道有内壁承压的称有压隧道；有的只是部

分过水，内部水压小只受大气压力的称无压隧道。

(2) 尾水隧道 尾水隧道是水电站把发电机组排出的废水送出去的孔道。

(3) 排沙隧道 排沙隧道是用来冲刷水库中淤积的泥沙，把泥沙裹带送出水库大坝的孔道。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。

(4) 导流隧道或泄洪隧道 导流隧道或泄洪隧道是水利工程中的一个重要组成部分。由它疏导水流并补充溢洪道流量超限后的泄洪作用，如举世瞩目的三峡工程即建有导流隧道。

4. 矿山隧道（巷道）

在矿山开采中，从山体以外修建一些隧道（巷道）通向矿床而进行开采活动，达到采矿作业的目的。

(1) 运输巷道 向山体开凿隧道通到矿床，并逐步开辟巷道，通往各个开采面。前者称为主巷道，为地下矿区的主要出入口和主要的运输干道。后者分布如树枝状，分向各个采掘面。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，并通过泵及时将废水及积水排出洞外的通道。

(3) 通风隧道 矿山地下巷道穿过各种地层，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废气，还有工作人员呼出气体，使得巷道内空气变得污浊。如果地下气体含有瓦斯，在含量达到一定数值后，将会发生危险，轻者致人窒息，重则引起爆炸。因此，必须及时把有害气体排除出去。采用通风机把矿山下巷道中污浊空气抽出去，并把新鲜空气补进来的通道称通风隧道。通风隧道既可以利用原有巷道，也可以单独修建。

1.3 隧道工程的发展趋势

隧道工程是一门古老的学科，几千年前人类就掌握了开挖隧道的技术。现代隧道开挖技术的产生是在火药的发明和 19 世纪的产业革命后出现的，尤其是铁路的出现对隧道建造起到了很大的推动作用。第一座隧道是用蒸汽机车牵引的铁路隧道，建于 1826—1830 年，在英国利物浦至曼彻斯特的铁路线上，全长 1190m。以后又陆续修建了更多的铁路隧道。火药的改进和钻眼工具的创制，促使隧道的修建技术有了显著的提高，其中比较有影响的是 1898 年建成了穿越阿尔卑斯山的辛普郎隧道。在该座隧道中，第一次应用了 TNT 炸药（硝化甘油）和凿岩机。1857—1871 年间，建成了连接法国和意大利的仙尼斯山隧道，长为 12850m；1989 年意大利又修建了辛普伦隧道，长达 19700m；1971 年日本新干

线上修建了大清水隧道,全长 22230m,是目前世界上最长的铁路山岭隧道。

隧道工程又是一门快速发展中年轻的科学,因为近 30 多年来随着长大隧道和特殊地质状况隧道的增多、综合化机械化施工技术的采用和相关学科的发展,现代隧道设计、施工理念和方法发生了重大变化和改观。如新奥法施工理念的提出和应用,以可靠度理论为基础的概率极限状态设计法引入隧道结构计算,使得隧道设计施工理论不断得到补充和完善。

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丰富经验。如已经通车的海拔 4600 ~ 4900m 的高原多年冻土地带的青藏线上修建昆仑山、风火山隧道;在零下 40℃ 的严寒地区修建了枫叶岭隧道;在渝怀线上,克服了 2000m³/h 大量涌水的困难,修建了园梁山隧道(11068m);在南昆线上,防止了瓦斯量达 60m³/h 的威胁,修成了家竹箐隧道。实践证明,我国已经能够在各种不良地质条件下修建隧道。

进一步提高隧道施工机械化施工水平。20 世纪 80 年代在大瑶山隧道施工中开始应用大型全液压的钻孔台车。修建衬砌已由砖石垒砌,进而用混凝土就地模筑,混凝土泵送,又进而采用喷射混凝土的柔性衬砌,目前已普遍推广使用双层复合式衬砌。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,进而采用锚杆支撑。施工方法上,从矿山法逐步过渡到新奥法,以量测信息指导并调整施工。20 世纪 90 年代中期,又引进全断面掘进机(Tunnel Boring Machine, TBM)用于西康线的秦岭隧道(长 18.5km)施工中。而在广州、上海、南京、深圳等城市的地下铁道建造中,已普遍开始使用机械化盾构。

完善和提高隧道工程的理论分析和计算水平。分析隧道结构内力的方法,已经从结构力学计算转到以矩阵分析的方式用计算机计算,并进一步应用有限元、数值流形等方法进行分析;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的共同作用理论;从过去认为地层岩体为松散介质,进而考虑岩体的弹性、塑性和粘性,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。

隧道工程还要进一步做好地质勘测和发展完善地质超前预报技术。由于隧道工程穿越的地质条件复杂,有许多不可预见的因素,其建筑风险比地面工程大,使得地质勘测对隧道预算、选线极为重要。超前投入地质勘测资金是为了减少隧道工程建设阶段的资金投入和施工中的风险。地质雷达和 TSP 超前探测技术取得了良好的工程效果,今后不仅要完善超前探测仪器的性能,而且还要进一步提高超前预报地质条件的判释水平。

应当指出,尽管近年来隧道工程建设取得了一定的成就,但是还存在着许多问题和不足。从总体来看,隧道结构还比较粗大厚实,施工环境还很恶劣,