

岩巷工程施工

支护工程

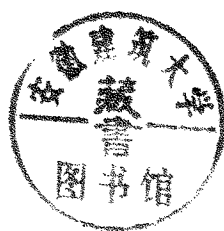
孙延宗 孙继业 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

岩巷工程施工 支护工程

孙延宗 孙继业 编著



北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2011

内 容 提 要

岩巷工程施工共有两册——掘进工程与支护工程。本书介绍支护工程,共分7章,主要内容包括:绪论、建筑材料、初期支护工程、现场监控量测、模筑混凝土支护工程、防水工程、注浆工程等,力求突出规范性、实用性、可操作性,并具有一定的系统性。

本书可供从事采矿工程、铁道隧道工程、公路隧道工程、水利水电隧洞工程、岩土工程、地下工程施工的工程技术人员学习和使用,也可作高等院校相关专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

岩巷工程施工:支护工程/孙延宗,孙继业编著. —北京:
冶金工业出版社,2011.7

ISBN 978-7-5024-5539-2

I. ① 岩… II. ① 孙… ② 孙… III. ① 支护工程 IV. ① TU94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 108458 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbbs@cnmip.com.cn

责任编辑 廖 丹 程志宏 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-5539-2

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2011 年 7 月第 1 版,2011 年 7 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;37.25 印张;902 千字;581 页

100.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

序

1991年,在日本东京召开的“城市地下空间利用国际会议”发表的宣言认为:“19世纪是桥的世纪,20世纪是高层建筑的世纪,21世纪将是人类开发利用地下空间的世纪。”20世纪过去了,尽管有些人还热衷于建造摩天大楼,但是地下空间却悄悄地越来越广泛地得到利用。《岩巷工程施工》便是比较全面、比较详细阐述构筑地下空间施工的一本著作。

地下建筑物和构筑物与地面建筑物不同,地面建筑物是在空间中建造的实体,它一目了然;地下建筑物和构筑物则是实体中建造的空间,只有置身于其中,才能观察到它的一部分。正如老子所说:“有之以为利,无之以为用。”构筑地下空间,首先须开挖地层,扰动原有地层的平衡状态,然后加以支护、衬砌,再达到新的平衡,才能得到可以利用的稳定空间。这种开挖(或称之为破碎岩石)是地面建筑施工中所没有的。先开挖后支护是地下工程施工的特点。实际上,在开挖时也得注意其稳定、平衡;在支护、衬砌时,要充分发挥地层固有的自稳能力,防止围岩破碎冒落,这些都是地下工程施工中的重要问题。

学校里的专业课程,只讲授开挖和支护的基本知识。当学生开始接触到工程实际时,往往无从下手。这固然是由于学生缺少实际工作经验,但也与没有合适的施工指导书籍有关。工程施工不只是要有基本理论知识,还要讲究技术标准和施工规范,而学生和新涉及地下工程施工的技术人员很难去广泛收集和研读有关文献资料。本书编著者积多年地下空间利用的实际工作之经验,深感有沟通这两方面知识之必要。退休之后,花五年时间编著了《岩巷工程施工》,没有功利动机,只希望帮助后生解决遇到施工实际而发憊的困难,难能可贵。

有些施工技术,仅凭讲道理是很难弄通的,比如爆破岩石,在施工中要靠深入观察、试验,及时调整参数,反复实践,才可得到好的效果。施工离不开机械设

II 序

备、工具和材料,《岩巷工程施工》汇集了许多新近的这方面资料,说明其工作原理、选用原则和检验方法,还引用了多种标准和规范,以备手头翻阅参考。章后附有参考文献,书后附有名词索引,以供进一步查阅研究。

地下空间被许多行业所利用,诸如采矿、水力、水电、交通(公路、铁道、地铁)以及人防、军工等。由于历史原因,这些行业各有各的行政归属,各有各的研究设计机构,各有各的学校及教材,以致造成相互难以通气,名词术语不尽相同,技术标准和规范也不一致。《岩巷工程施工》尽可能并蓄兼容,相互借鉴,取长补短。相信随着体制改革的深入发展,地下空间的日益广泛利用,岩巷工程施工在技术上将会逐渐融合成一体。

本书未有竖井、斜井、天井等岩巷施工的内容。在施工组织管理、经济核算、评估、行政法规方面,也是少有涉及,在这些领域读者还应参考其他文献。

徐小荷

2010年8月于东北大学

前 言

矿山行业的井巷工程、铁路和公路行业的隧道工程、某些城市在岩体中修建的地下铁道工程、水利水电行业的隧洞工程、人防事业的坑道工程及其他行业的岩土工程等,虽然不同行业的名称、规格不同,用途各异,但它们都是在岩石中掘进通道或洞室,本书将这些工程统称为岩巷工程。岩巷工程的主要施工方法基本相同。掘进与支护是岩巷工程施工最主要的两大工序,本书只介绍支护工程,掘进工程包括辅助作业将在《岩巷工程施工——掘进工程》中介绍。喷锚支护和模筑混凝土支护都是以混凝土为主要原材料,本书将混凝土材料单独列为一章,作为它们的基础。同样,注浆技术用于加固围岩和堵水,为了避免内容重复,也将其单列一章。

本书力求突出规范性。岩巷工程施工的基本要求是遵守有关的国家或行业标准、规范的规定。由于历史原因,岩巷工程各行业隶属于不同的行政管理部门,除岩巷的作用及要求不尽相同外,各自的施工规范在共同方面有的相差很大。本书力求依据各相关行业最新版本的标准、规范进行综合介绍,做到各行业之间的有益“渗透”,以求各行业的读者能够相互借鉴,取长补短,利于岩巷工程施工技术今后的发展。同时,对标准和规范的一些规定提出编者的看法,以供读者作进一步独立思考。为了保证岩巷工程施工质量,与其他建设工程一样,必须加强岩巷工程的质量验收。因此,本书章节的顺序按岩巷工程项目的建设程序排列,并按验收的分部工程或分项工程编排,同时介绍相应的施工质量标准。由于竣工验收的组织形式、验收程序等的规定涉及各行业施工质量验收规范的适用问题,因此本书未予列出。此外,岩巷工程施工是一项高危险的作业,尤其是爆破工程,书中较详细地介绍了有关施工安全方面的要求。

本书力求突出实用性和可操作性,并具有一定的系统性。本书不作更多的

IV 前 言

理论阐述,只是为了深入理解施工的有关要求,介绍一些必要的基本概念和基础理论知识,以期做到“知其然,知其所以然”,希望以此提高保证施工质量的自觉性。同时,书中还介绍了一些国外的先进施工技术和设备。考虑到部分工程技术人员缺少实际操作经验,书中简要介绍了一些操作要求。此外,对于一些专业名词、术语尽量给出严谨的定义或解释;对一些较生僻的概念或术语(主要是标准、规范中出现的)则以脚注的形式予以简要介绍,以求无需再去查阅有关参考书籍,做到“无师自通”。

本书可供从事采矿工程、铁道隧道工程、公路隧道工程、水利水电隧洞工程、岩土工程、地下工程施工的工程技术人员学习和使用,也可作高等院校相关专业的教学参考书。

本书是在东北大学徐小荷教授的热情鼓励和大力支持下完成的。徐老师不顾年事已高,几次审查书稿,对一些理论概念予以指正,并提出了许多有益的建议,同时提供了很多宝贵的资料。姜永清教授为本书提供了大量资料,并审查了第3章的部分书稿。作者在此一并表示衷心的感谢。本书在编写过程中参考和引用的已公开发表的有关文章、资料和书籍的内容及插图等文献,均列入各章后面的参考文献中,在此向这些文献的作者和编者深表谢意。

由于岩巷工程施工涉及多个专业,限于编者水平,虽尽最大努力,但书中疏漏、不足之处在所难免,敬请同行专家和读者批评指正。

编 者

2010年7月于沈阳

目 录

第1章 绪论	1
1.1 岩巷种类	1
1.1.1 矿山巷道	1
1.1.2 交通隧道	2
1.1.3 水利水电隧洞	5
1.1.4 防护坑道与地下空间开发	5
1.2 岩巷工程施工特点	7
1.3 岩巷工程施工技术与标准规范	7
1.3.1 岩巷支护及发展	7
1.3.2 施工标准规范	8
第2章 建筑材料	9
2.1 混凝土组成材料	9
2.1.1 水泥	9
2.1.2 砂	21
2.1.3 石子	24
2.1.4 混凝土用水	29
2.1.5 矿物掺合料	30
2.1.6 常用混凝土外加剂	35
2.2 混凝土主要性能	49
2.2.1 新拌及早期混凝土性能	49
2.2.2 混凝土强度	55
2.2.3 混凝土耐久性	56
2.3 混凝土配合比设计	58
2.3.1 普通混凝土配合比计算	59
2.3.2 普通混凝土配合比的试配、调整与确定	63
2.3.3 掺矿物掺合料混凝土配合比设计	66

VI 目 录

2.3.4 有特殊要求的混凝土配合比设计	67
2.3.5 混凝土配合比的质量检验	71
2.4 常用特殊品种混凝土	72
2.4.1 防水混凝土	72
2.4.2 预拌混凝土	79
2.4.3 钢纤维混凝土	80
2.5 钢筋	87
2.5.1 钢筋品种及规格	88
2.5.2 钢筋主要性能	93
2.5.3 钢筋锈蚀及防护	98
2.6 建筑材料保管与质量检验	98
2.6.1 水泥的验收与运输保管	98
2.6.2 骨料的验收与骨料的运输和堆放	99
2.6.3 矿物掺合料的验收与运输保管	101
2.6.4 外加剂的验收与保管	102
2.6.5 钢筋质量检验与保管	102
参考文献	108
第3章 初期支护工程	111
3.1 喷锚支护机理与新奥法	111
3.1.1 支护作用与分类	111
3.1.2 喷锚支护机理	114
3.1.3 喷锚支护形式及参数	120
3.1.4 新奥法	127
3.2 喷射混凝土支护工程	135
3.2.1 喷射混凝土施工工艺与机具	135
3.2.2 喷射混凝土原材料与配合比	145
3.2.3 喷射混凝土施工	148
3.2.4 喷射钢纤维混凝土	158
3.2.5 喷射混凝土施工质量	163
3.2.6 喷射混凝土施工防尘与安全	171
3.3 锚杆支护工程	173
3.3.1 锚杆种类与选用	173
3.3.2 锚杆施工	185
3.3.3 预应力锚索及施工	197
3.3.4 锚杆施工质量	202
3.3.5 锚杆施工安全	207
3.4 钢拱架支护工程	207
3.4.1 钢拱架种类	208

3.4.2 钢拱架施工	214
3.4.3 钢拱架施工质量标准	217
3.4.4 钢拱架施工安全	218
参考文献	218
第4章 现场监控量测	221
4.1 传感器与量测仪器	221
4.1.1 常用传感器工作原理及特点	221
4.1.2 探头和仪器的性能与选择	226
4.2 监控量测要求	228
4.2.1 监控量测概述	228
4.2.2 监控量测项目	228
4.2.3 监控量测要素	232
4.3 监控量测方法及安全	238
4.3.1 洞内外观察	238
4.3.2 净空变化(收敛)量测	239
4.3.3 拱顶下沉和地表沉降量测	244
4.3.4 围岩内部位移量测	246
4.3.5 应力、应变及内力量测	250
4.3.6 接触压力量测	257
4.3.7 其他量测	260
4.3.8 监控量测安全	265
4.4 围岩稳定性判别与工程对策	265
4.4.1 量测数据处理与分析	265
4.4.2 控制基准及施工安全评价	270
4.4.3 工程对策	273
参考文献	277
第5章 模筑混凝土支护工程	279
5.1 模筑混凝土支护的要求与施工准备	279
5.1.1 模筑混凝土支护的一般要求	279
5.1.2 施工准备	281
5.2 模板工程	281
5.2.1 拼装式拱架模板和模板台车	282
5.2.2 模板安装与拆除	292
5.2.3 模板施工质量标准	296
5.2.4 模板施工安全	297
5.3 钢筋工程	298
5.3.1 钢筋配料与加工	299

5.3.2 钢筋连接与安装	306
5.3.3 钢筋施工质量标准	309
5.3.4 钢筋施工安全	312
5.4 混凝土工程	315
5.4.1 混凝土制备与运输	315
5.4.2 混凝土浇筑与振捣	327
5.4.3 混凝土养护与拆模时间	340
5.4.4 模筑混凝土质量缺陷及处理	342
5.4.5 模筑混凝土施工质量	345
5.4.6 混凝土质量无损检测	348
5.4.7 模筑混凝土背后空洞的处理	354
5.4.8 模筑混凝土施工安全	356
5.5 冬期施工	357
5.5.1 冬期施工规定	358
5.5.2 冬期钢筋工程	358
5.5.3 冬期混凝土工程	360
5.5.4 混凝土冬期施工质量检验	367
5.5.5 冬期施工安全与防火	368
参考文献	369
第6章 防水工程	371
6.1 防水等级和设防要求	371
6.1.1 防水原则	371
6.1.2 防水等级与设防要求	371
6.1.3 岩巷结构防水	373
6.2 施工防排水	374
6.2.1 施工防排水	374
6.2.2 突水预防和处理	375
6.3 喷射混凝土防水与盲管排水	377
6.3.1 喷射混凝土防水与处理	377
6.3.2 排水盲管	380
6.4 模筑混凝土防水	388
6.4.1 结构自防水	388
6.4.2 塑料防水板防水	398
6.4.3 变形缝防水	403
6.5 渗漏水治理	415
6.5.1 渗漏水产生原因与形式	415
6.5.2 查找渗漏水部位	416
6.5.3 喷锚支护渗漏水治理	417

6.5.4 模筑混凝土渗漏水治理	417
6.5.5 渗漏水治理施工质量标准与施工安全	425
参考文献	426
第7章 注浆工程	428
7.1 注浆种类	428
7.1.1 预注浆	428
7.1.2 后注浆	433
7.1.3 注浆种类选择	434
7.2 注浆材料与设备	434
7.2.1 注浆材料与选用	434
7.2.2 注浆设备与系统	442
7.2.3 钻孔设备与水平高压喷射注浆设备	446
7.3 注浆施工	448
7.3.1 注浆方案和施工准备	448
7.3.2 工作面预注浆施工	452
7.3.3 后注浆施工	460
7.3.4 注浆施工质量	465
7.3.5 注浆施工安全与环境保护	467
参考文献	467
附录 A	469
A.1 水泥净浆凝结时间和水泥安定性检验	469
A.2 混凝土抗水渗透等级测定	481
A.3 喷射混凝土与围岩黏结强度试验和抗压强度测定方法	483
A.4 钢筋代换	486
A.5 钢筋下料长度计算	488
A.6 钢筋连接	492
A.7 回弹法测区混凝土强度换算表和回弹值修正	501
A.8 掺防冻剂混凝土在负温度下的混凝土强度	506
A.9 涂料防水	507
A.10 水泥砂浆防水层防水	519
附录 B	523
B.1 正态概率纸目测法	523
B.2 拱架用型钢	529
B.3 木支架支护	537
B.4 55 型组合钢模板	540
B.5 脚手架支架	544

X 目 录

B. 6 混凝土外观质量缺陷及处理 549

B. 7 混凝土振动器 557

B. 8 卷材防水 559

B. 9 柔性止水带类型与规格 566

B. 10 现行防水工程材料现场抽样复验和标准 570

B. 11 建筑气候区划 573

名词索引..... 575

第1章 绪 论

矿山巷道、铁路和公路隧道、水工隧洞和地下水利发电厂房、某些城市在岩体中修建的地铁、人防坑道以及其他行业的岩土工程等,虽然它们的用途和规模不同,但都是在岩体内开挖的具有一定断面积和尺寸并有较大延伸长度的地下空间,其主要施工方法也基本相同。与一般构筑物相反,它们不是空间中的实体,而是实体中的空间。故本书将它们统称为“岩巷”,它们的建设工程统称为“岩巷工程”。目前,世界各国日益注重地下工程和地下空间的开发利用。国际上一种普遍的观点是:“19 世纪是桥的世纪,20 世纪是高层建筑的世纪,21 世纪则是人类开发地下空间的世纪”(1991 年城市地下空间利用国际会议宣言)。当前,许多发达国家都把地下空间当成一种新型的国土资源。

1.1 岩巷种类

岩巷的种类繁多,从不同角度可有不同的分类。按其用途分类主要有矿山巷道、交通隧道(铁路隧道和公路隧道)、地铁、水利水电隧洞和地下厂房、人防坑道与地下空间等。

1.1.1 矿山巷道

采矿是一个古老的行业,有着悠久的历史。开采地下矿床时,从地表向地下开掘一系列通达矿床的岩巷,形成运输、通风、排水和动力供应等系统,为全矿井、全阶段或若干采(矿)区服务的矿山井巷,称开拓巷道。开凿在岩体或矿层中不直通地表的水平通道,称为平巷(水平巷道);在地层中开凿的直通地表的水平通道,则称为平硐。图 1-1 所示为矿山巷道。

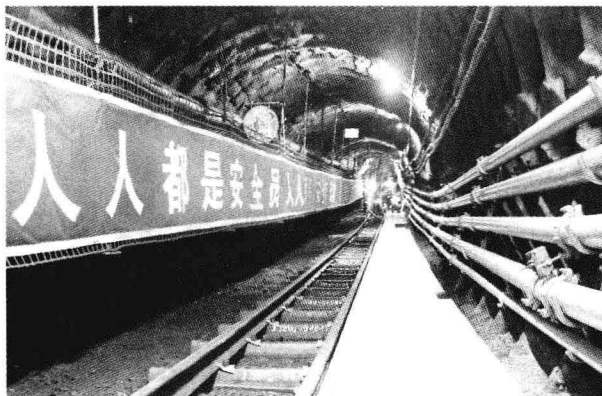


图 1-1 矿山巷道

巷道施工历来是矿井建设和矿井生产过程中量大面广的工程,仅我国统配煤矿每年施工的巷道工程量就大约有 7000 km。

1.1.2 交通隧道

交通隧道包括铁路隧道和公路隧道。它们多处于地质条件复杂多变的岩体中,开挖断面大,服务年限长,施工质量要求高。同时,它们的断面规格标准,机械化程度高,地面大型施工车辆可以进洞作业。

1.1.2.1 铁路隧道

台湾狮球岭隧道(又称刘铭传隧道)是我国最早建成的铁路隧道。1887 年从南北两端同时开工,于 1890 年建成,全长 261m,现已成为台湾著名的旅游景点。八达岭隧道是我国自行设计和施工的第一座越岭隧道,位于(北)京包(头)铁路青龙桥车站附近,全长 1091m。它由我国杰出的工程师詹天佑规划督造,1907 年开工,仅用 18 个月,于 1908 年竣工。

铁路穿越山区由于限坡平缓而无法拔起,同时限于地形又无法绕避时,采用桥隧方案是最合理的。改革开放以来,我国铁路隧道的发展进入了一个新时期。截至 1999 年,我国修建铁路隧道 6876 座,长度 3670 km,居世界首位。其中,长 20.05 km 的乌鞘岭特长隧道和长 27.839 km 的亚洲第一特长铁路隧道——太行山隧道已相继贯通运营。海拔 4905 m 的青藏铁路风火山隧道全长 1338 m,位于可可西里无人区,是世界最高的铁路隧道。在 2000 ~ 2009 年的十年中,我国新建铁路隧道的长度达到近 400 km,已成为世界上隧道工程最多、地质条件最复杂、发展最快的国家。现代铁路隧道如图 1-2 所示。

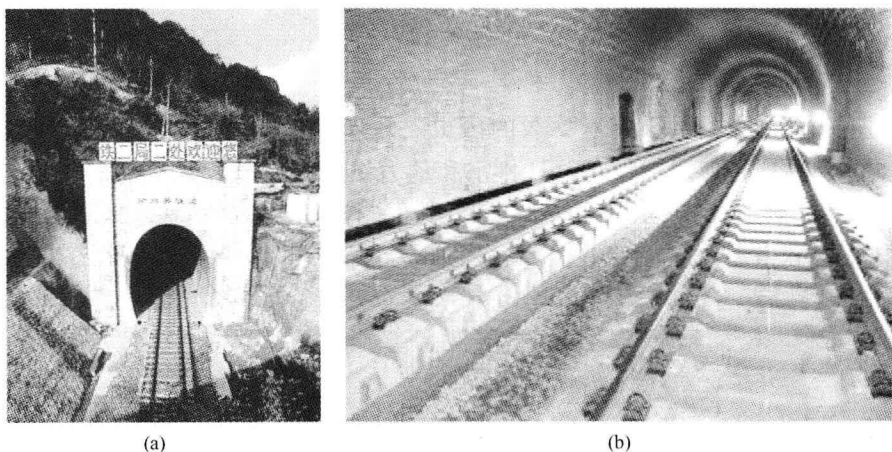


图 1-2 铁路隧道
(a)单轨隧道洞口;(b)双轨隧道

日本青函海底隧道连接日本本州和北海道,是世界上最长的一条公路、铁路混用隧道(见图 1-3a)。它由 3 条隧道组成,主隧道全长 53.85 km,其中海底部分长 23.3 km,位于水下约 249 m 处。1964 年 5 月破土动工,于 1983 年完成。

位于瑞士中部阿尔卑斯山区的戈特哈德铁路隧道于 2010 年 10 月 15 日全线贯通,全长 57 km,是目前世界上最长的铁路隧道。

英吉利海峡隧道(正式名称为“欧洲隧道”),由三条长 50.45 km 的平行隧洞组成,总长度 153 km,其中海底部分长度为 37.9 km,是目前世界上最长的海底隧道(见图 1-3b)。两侧铁路隧道衬砌后的直径为 7.6 m,开挖洞径为 8.36 ~ 8.78 m。1994 年正式对公众开通,方便了伦敦、巴黎和布鲁塞尔间的联系。运行列车分为“客滚”列车(混运旅客、小汽车和大型货车)和旅客列车(高速和普通)。

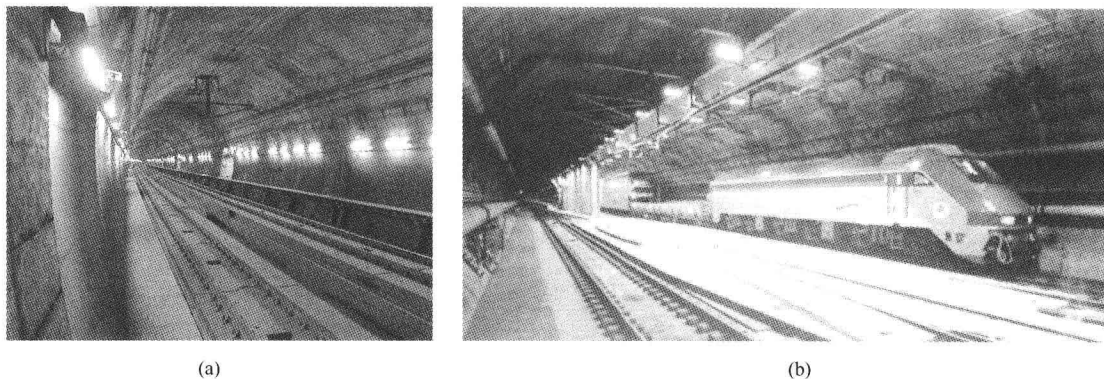


图 1-3 海底隧道

(a) 日本青函隧道; (b) 英吉利海峡隧道

1.1.2.2 公路隧道

公路对限制坡度和最小曲率半径的要求没有铁路严格,以往国内修建山区公路,为降低工程造价,常常是绕行而避免修建造价高昂的隧道。改革开放之初,我国只有公路隧道 374 座。由于高速公路的快速发展,它要求线路顺直、平缓、路面宽敞,于是在穿越山区时,常常采取隧道方案。至 2002 年底,我国已修建公路隧道 1700 余座,总长 704 km。截至 2007 年底,则迅速增至 4673 座,总长近 2556 km。

秦岭终南山公路隧道长 18.02 km,居亚洲公路隧道长度第一、世界第二。隧道为双孔四车道,于 2002 年 3 月开工,2007 年 1 月 20 日通车。在大跨隧道方面,我国已建成广州龙头山隧道、深圳雅宝隧道、重庆白鹤嘴隧道等多条双孔八车道隧道。广州龙头山隧道最大的开挖跨度 21.4 m、高度 13.6 m,净跨 18 m。图 1-4 所示为公路隧道洞口。

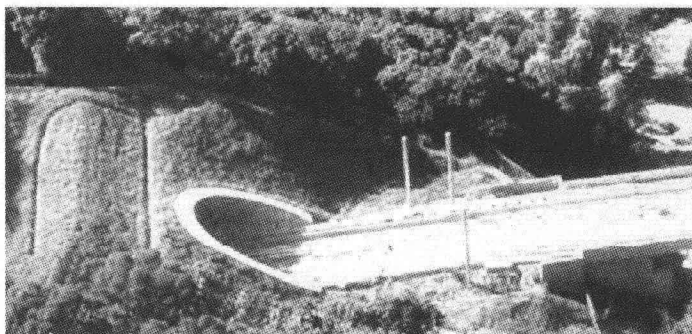


图 1-4 公路隧道洞口

武汉长江隧道是万里长江上的第一条全程过江公路隧道,总长约 3630 m,为双孔四车道,车道净高 4.5 m(见图 1-5)。它于 2004 年 12 月开工,2008 年 12 月底竣工通车。

厦门翔安隧道是我国内地第一条海底公路隧道,经4年8个月施工,于2010年4月26日正式通车。它全长6.05 km,其中海底段隧道长约4.2 km,最深处位于海平面下约70 m。翔安隧道为双向六车道(单洞三车道),主洞开挖跨度13.5 m、高5 m,最大开挖断面达170.7 m²,为世界断面最大的海底隧道。青岛胶州湾海底隧道全长7.8 km,其中海底段隧道长约3.95 km,为世界排名第三的海底隧道,已于2010年4月28日实现主隧道贯通(见图1-6)。



图 1-5 武汉长江公路隧道

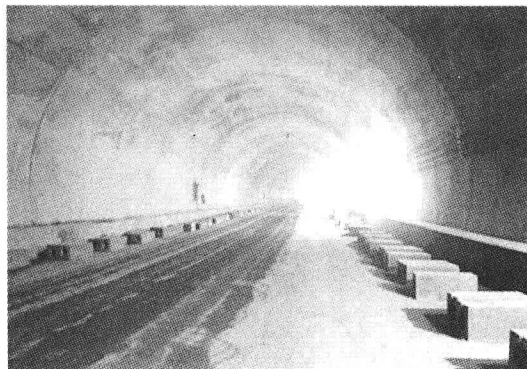


图 1-6 青岛海底隧道主隧道

1.1.2.3 地铁

地铁是解决大城市交通拥挤,大量快速运送乘客的一种城市轨道交通设施。它不占用地面,使很大一部分地面客流转入地下,又无平面交叉,可高速行驶。在战时还可起到人防工程的功能。至20世纪末,全世界共有43个国家的117座城市建有地铁,总运营里程近6000 km。在一些经济发达国家,大城市的地铁网络已基本形成。图1-7所示为国外的几座不同风格的地铁车站。



(a)



(b)

图 1-7 国外地铁车站

(a)俄罗斯地铁站;(b)某地铁站

目前,我国已有北京、天津、上海、广州、深圳、南京、沈阳、成都等城市的地铁在运营(见图1-8a)。它们为改善城市交通状况发挥了很大作用。在建地铁的有哈尔滨、佛山(广佛)、西安、大连、郑州、长沙、武汉、杭州、青岛、重庆、南昌、福州、昆明等城市。