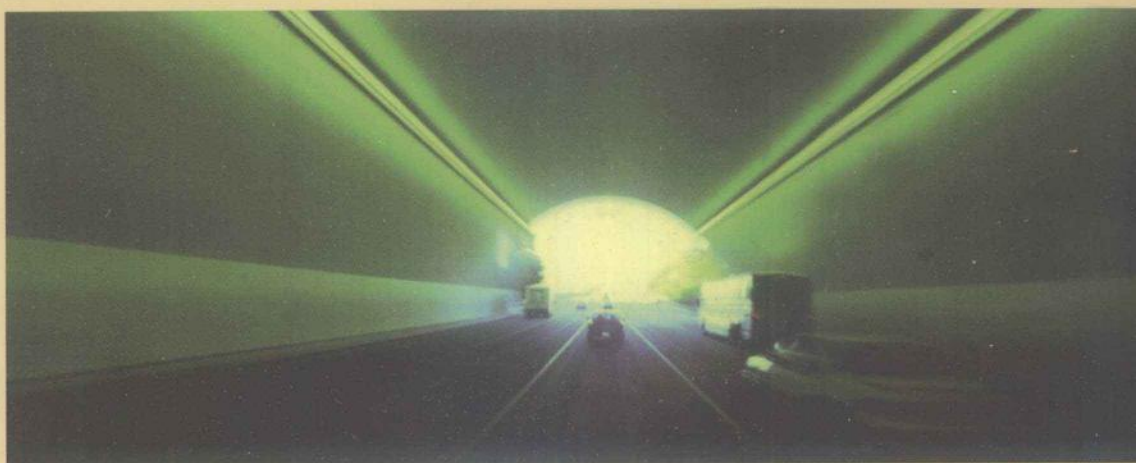


新世纪土木工程专业系列教材



地下结构工程

DIXIA JIEGOU GONGCHENG

(第2版)

穆保岗 陶 津 主编
穆保岗 陶 津 编著
童小东 缪林昌
龚维明 主审

东南大学出版社

新世纪土木工程专业系列教材

地下结构工程

(第2版)

穆保岗 陶 津 主编

穆保岗 陶 津 编著

童小东 缪林昌

龚维明 主审

东南大学出版社

·南京·

内 容 提 要

本书是土木工程专业的专业课程教材,主要内容分为15章。主要讲述地下结构工程的基本理论;深基坑支护工程;岩土地下工程的设计与施工,包括沉井法、顶管法、盖挖法、盾构法、新奥法、TBM法等各种隧道的设计与施工;还介绍了地下工程的降水与防水,以及地下工程的环境保护。全书均采用现行规范,内容密切联系不断发展的工程实际,并列出了部分工程实例,供读者参考。

本书可作为土木工程专业高年级本科生或研究生教材或教学参考书,也可供设计单位、施工单位、建设单位的土木工程技术人員参考使用。

(为更好地支持本课程的教学,对采用本书作为教材的教师提供教学素材资料,需要者请登录网址:
<http://www.seupress.com>)

图书在版编目(CIP)数据

地下结构工程/穆保岗,陶津主编.—2版.—南京:
东南大学出版社,2012.2

新世纪土木工程专业系列教材
ISBN 978-7-5641-3271-2

I. ①地… II. ①穆…②陶… III. ①地下工程:
结构工程—高等学校—教材 IV. ①TU94

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第014029号

出版发行:东南大学出版社

社 址:南京四牌楼2号 邮编 210096

出 版 人:江建中

网 址:<http://www.seupress.com>

电子邮件: press@seupress.com

经 销:全国各地新华书店

印 刷:扬中市印刷有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:26.25

字 数:638千

版 次:2004年2月第1版 2012年2月第2版

印 次:2012年2月第6次印刷

书 号:ISBN 978-7-5641-3271-2

印 数:1~3 000册

定 价:47.00元

新世纪土木工程专业系列教材编委会

顾 问 丁大钧 容柏生 沙庆林

主 任 吕志涛

副主任 蒋永生 陈荣生 邱洪兴 黄晓明

委 员 (以姓氏笔画为序)

丁大钧 王 炜 冯 健 叶见曙 石名磊 刘松玉 吕志涛

成 虎 李峻利 李爱群 沈 杰 沙庆林 邱洪兴 陆可人

舒赣平 陈荣生 单 建 周明华 胡伍生 唐人卫 郭正兴

钱培舒 曹双寅 黄晓明 龚维明 程建川 容柏生 蒋永生

序

东南大学是教育部直属重点高等学校,在 20 世纪 90 年代后期,作为主持单位开展了国家级“20 世纪土建类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践”课题的研究,提出了由土木工程专业指导委员会采纳的“土木工程专业人才培养的知识结构和能力结构”的建议。在此基础上,根据土木工程专业指导委员会提出的“土木工程专业本科(四年制)培养方案”,修订了土木工程专业教学计划,确立了新的课程体系,明确了教学内容,开展了教学实践,组织了教材编写。这一改革成果,获得了 2000 年教学成果国家级二等奖。

这套新世纪土木工程专业系列教材的编写和出版是教学改革的继续和深化,编写的宗旨是:根据土木工程专业知识结构中关于学科和专业基础知识、专业知识以及相邻学科知识的要求,实现课程体系的整体优化;拓宽专业口径,实现学科和专业基础课程的通用化;将专业课程作为一种载体,使学生获得工程训练和能力的培养。

新世纪土木工程专业系列教材具有下列特色:

1. 符合新世纪对土木工程专业的要求

土木工程专业毕业生应能在房屋建筑、隧道与地下建筑、公路与城市道路、铁道工程、交通工程、桥梁、矿山建筑等的设计、施工、管理、研究、教育、投资和开发部门从事技术或管理工作,这是新世纪对土木工程专业的要求。面对如此宽广的领域,只能从终身教育观念出发,把对学生未来发展起重要作用的基础知识作为优先选择的内容。因此,本系列的专业基础课教材,既打通了工程类各学科基础,又打通了力学、土木工程、交通运输工程、水利工程等大类学科基础,以基本原理为主,实现了通用化、综合化。例如工程结构设计原理教材,既整合了建筑结构和桥梁结构等内容,又将混凝土、钢、砌体等不同材料结构有机地综合在一起。

2. 专业课程教材分为建筑工程类、交通土建类、地下工程类三个系列

由于各校原有基础和条件的不同,按土木工程要求开设专业课程的困难较大。本系列专业课教材从实际出发,与设课群组相结合,将专业课程教材分为建筑工程类、交通土建类、地下工程类三个系列。每一系列包括有工程项目的规划、选型或选线设计、结构设计、施工、检测或试验等专业课系列,使自然科学、工程技术、管理、人文学科乃至艺术交叉综合,并强调了工程综合训练。不同课群组可以交叉选课。专业系列课程十分强调贯彻理论联系实际的教学原则,融知识和能力为一体,避免成为职业的界定,而主要成为能力培养的载体。

3. 教材内容具有现代性,用整合方法大力精减

对本系列教材的内容,本编委会特别要求不仅具有原理性、基础性,还要求具有现代性,纳

人最新知识及发展趋向。例如,现代施工技术教材包括了当代最先进的施工技术。

在土木工程专业教学计划中,专业基础课(平台课)及专业课的学时较少。对此,除了少而精的方法外,本系列教材通过整合的方法有效地进行了精减。整合的面较宽,包括了土木工程各领域共性内容的整合,不同材料在结构、施工等教材中的整合,还包括课堂教学内容与实践环节的整合,可以认为其整合力度在国内是最大的。这样做,不只是为了精减学时,更主要的是可淡化细节了解,强化学习概念和综合思维,有助于知识与能力的协调发展。

4. 发挥东南大学的办学优势

东南大学原有的建筑工程、交通土建专业具有 80 年的历史,有一批国内外著名的专家、教授。他们一贯严谨治学,代代相传。按土木工程专业办学,有土木工程和交通运输工程两个一级学科博士点、土木工程学科博士后流动站及教育部重点实验室的支撑。近十年已编写出版教材及参考书 40 余本,其中 9 本教材获国家和部、省级奖,4 门课程列为江苏省一类优秀课程,5 本教材被列为全国推荐教材。在本系列教材编写过程中,实行了老中青相结合,老教师主要担任主审,有丰富教学经验的中青年教授、教学骨干担任主编,从而保证了原有优势的发挥,继承和发扬了东南大学原有的办学传统。

新世纪土木工程专业系列教材肩负着“教育要面向现代化,面向世界,面向未来”的重任。因此,为了出精品,一方面对整合力度大的教材坚持经过试用修改后出版,另一方面希望大家在积极选用本系列教材中,提出宝贵的意见和建议。

愿广大读者与我们一起把握时代的脉搏,使本系列教材不断充实、更新并适应形势的发展,为培养新世纪土木工程高级专门人才作出贡献。

最后,在这里特别指出,这套系列教材,在编写出版过程中,得到了其他高校教师的大力支持,还受到作为本系列教材顾问的专家、院士的指点。在此,我们向他们一并致以深深的谢意。同时,对东南大学出版社所作出的努力表示感谢。

中国工程院院士



2001 年 9 月

再 版 前 言

《地下结构工程》一书,自2004年首次出版以来,在东南大学和其他兄弟院校的土木专业中广泛使用,并在使用过程中提出了很多中肯的意见和建议,我们近期组织编写了该教材的第2版,力争反映近期地下工程技术最新进展。

在第1版的基础上,第2版对书中部分章节的顺序进行了修订,并对全书的内容作了补充和调整,教材内容更加丰富。补充了土和岩石地下结构的计算理论,丰富了盾构隧道设计理论,增加了整体式隧道结构的设计计算理论,介绍了最新的地下结构工程的环境保护原理和理论,并对地下结构工程的防水和降水进行了系统的阐述。第2版更加注重章节之间的逻辑性,充实了更多的关于地下结构方面的基本理论阐述,尽量与现行规程、规范保持一致,并注意与不断发展的工程实践相结合,力图提供给读者更多的有效信息。

第1版教材中,编写者为龚维明、童小东、缪林昌、穆保岗,由蒋永生教授主审。第2版教材中,第1、3、4、5、6、7章由穆保岗负责调整和编写,第2、8、9、10、11、12、13、14、15章由陶津负责调整和编写,全书由龚维明教授主审,硕士研究生龚丛强不辞辛苦的承担了文字录入工作。

本书编写过程中参考了很多同行的现行教材、专著、图片资料等,在此表示感谢,并期望得到同行的宝贵意见,以利于我们教材水平的不断提高。限于作者的水平与经验,书中可能尚有不妥之处,敬请读者指正。

本教材出版获得了“江苏省高校优势学科建设工程”资助。

穆保岗 陶 津

2011年10月

前 言

地下结构工程是土木工程专业的主干课程之一。根据教育部新的普通高等学校本科专业目录,原建筑工程、交通土建工程、桥梁工程、地下工程等多个专业合并为土木工程专业。当前人才培养模式已向宽专业口径发展,原有教材远远不能满足现在专业要求。为了适应土木工程专业课程教学的要求,编写本书。

由于地下结构工程涉及面广,不同地下结构有各自的规范。本书力图考虑学科发展新水平,结合新规范,着重从基本概念、基础理论角度讲解主要的地下结构,反映地下结构的成熟成果与观点。全书重点突出,深入浅出,加强了各章之间的相互衔接,各章还附有习题及思考题。同时,由于相关专业的参考书籍也较多,学习时可以结合参考文献课外阅读其他的专著。

本书第1、2、3章由龚维明编写,第4、7、8章由童小东编写,第5、9章由穆保岗编写,第6、10、11章由缪林昌编写。本书由龚维明主编,蒋永生主审。

希望读者在使用过程中多提意见,使本书日臻完善。

龚维明

2003.6

目 录

1 绪论	1
1.1 地下结构的用途	1
1.2 地下结构型式	2
1.3 设计内容	5
1.4 计算原则	6
1.5 本课程的内容和任务	8
2 地下结构的计算理论	9
2.1 概述	9
2.2 弹性地基梁理论	14
2.3 地层-结构计算理论	25
2.4 地层与结构的共同作用和数值模拟	42
3 深基坑工程概述	77
3.1 概述	77
3.2 基坑支护结构设计原则	79
3.3 支护结构方案及选择	80
3.4 支护结构上的作用	83
3.5 基坑工程地下水的作用与处理	89
4 常见基坑支护形式	92
4.1 大开挖基坑工程	92
4.2 排桩	96
4.3 水泥土重力式围护墙	103
4.4 土钉墙	110
4.5 土层锚杆	115
4.6 型钢水泥土搅拌墙	121
4.7 地下连续墙	126
4.8 逆作拱墙	129
4.9 逆作法施工	131
5 工程实例	134

5.1	工程概况	134
5.2	工程地质概况	134
5.3	围护结构设计	135
5.4	基坑开挖施工工况	137
5.5	土方开挖与降水	137
5.6	计算书	138
5.7	附件:基坑支护施工图	147
6	沉井法施工	152
6.1	引言	152
6.2	沉井的分类、组成及其施工方法	154
6.3	沉井的下沉阻力	158
6.4	沉井的结构设计计算	161
6.5	沉井的封底计算	165
6.6	南京长江四桥北锚碇沉井的下沉简录	167
7	顶管法施工	174
7.1	引言	174
7.2	顶管的关键技术	175
7.3	顶管的工程设计	175
7.4	常用顶管工具管	181
7.5	中继环	184
7.6	管道及其接口	185
7.7	顶管法施工主要技术措施	187
8	盖挖法隧道结构	191
8.1	概述	191
8.2	盖挖顺作法	191
8.3	盖挖逆作法	193
8.4	工程实例	195
9	盾构法隧道结构	199
9.1	概述	199
9.2	盾构的基本构造	202
9.3	盾构机的类型及选择	207
9.4	盾构法隧道设计	216
9.5	盾构法隧道施工	235

9.6	工程实例	243
10	新奥法隧道结构	255
10.1	新奥法	255
10.2	钻爆法	266
10.3	锚喷支护结构	279
10.4	钢拱架支护	288
10.5	超前支护	289
11	隧道掘进机(TBM)法隧道结构	294
11.1	概述	294
11.2	TBM 的分类	295
11.3	TBM 的构造	297
11.4	采用 TBM 法的基本条件	302
11.5	TBM 法的支护技术	305
11.6	TBM 施工工程实例——引黄入晋水工隧洞	306
12	整体式隧道结构	312
12.1	概述	312
12.2	半衬砌结构	314
12.3	直墙拱结构	318
12.4	连拱隧道结构	323
13	沉管结构	327
13.1	概述	327
13.2	沉管结构设计	329
13.3	接缝管段处理与防水措施	337
13.4	沉管隧道施工过程	339
13.5	工程实例	341
14	地下工程的降水与防水	348
14.1	地下工程防水设计(隧道工程)	348
14.2	地下工程防排水系统	351
14.3	地下工程防水材料	351
14.4	地下工程混凝土结构防水	353
14.5	盾构隧道结构防水	355
14.6	地下工程降水方法	357

14.7 地下工程降水设计计算.....	360
15 地下结构工程的环境保护.....	367
15.1 基坑工程引起的环境问题.....	367
15.2 盾构掘进引起的环境问题.....	378
15.3 隧道施工对邻近建筑物的影响.....	387
15.4 顶管施工引起的环境问题.....	393
15.5 地下水对环境的影响.....	395
参考文献.....	404

1 绪论

本章简单介绍了地下结构的用途、地下结构型式,设计的内容与设计的原则,从而了解本课程的主要内容和学习要求。

1.1 地下结构的用途

地下结构是指保留上部地层(山体或土层)的前提下,在开挖出能提供某种用途的地下空间内修建的结构物,统称为地下结构。

地下空间的利用为各类建筑工程的选址开辟了广阔的前景。当前,地下空间已开始作为极其重要的自然资源加以开发,在我国各领域已有大量使用,特别是人口密集和交通繁忙的市区,地下空间的开发与日俱增。从 1863 年英国伦敦建成世界上第一条地铁开始,国外地下空间的发展已经历了相当长的一段时间,国外地下空间的开发利用从大型建筑物向地下的自然延伸发展到复杂的地下综合体(地下街)再到地下城(与地下快速轨道交通系统相结合的地下街系统),地下建筑在旧城的改造再开发中发挥了重要作用。同时地下市政设施也从地下供、排水管网发展到地下大型供水系统,地下大型能源供应系统,地下大型排水及污水处理系统,地下生活垃圾的清除、处理和回收系统,以及地下综合管线廊道(共同沟)。

各个国家的地下空间开发利用在其发展过程中形成了各自独有的特色。与旧城改造及历史文化建筑扩建相随,在北美,西欧及日本出现了相当数量的大型地下公共建筑:有公共图书馆和大学图书馆、会议中心、展览中心、体育馆、音乐厅、大型实验室等地下设施。地下建筑的内部空间环境质量、防灾措施以及运营管理都达到了较高的水平。地下空间利用规划从专项规划入手,逐步形成系统的规划。其中以地铁规划和市政基础设施规划最为突出。一些地下空间利用较早的国家,如芬兰、瑞典、挪威、日本、加拿大等,正从城市中某个区域的综合规划走向整个城市和某些系统的综合规划。

以日本为例,日本国土狭小,更加重视利用地下空间。大深度地下空间开发利用等形成了特色鲜明的地下空间开发利用的日本模式。日本的第一条地下街是 1930 年建成的东京上野火车站地下街道,现在地下街分布在日本的 21 座主要城市,其总面积约为 110 万 m^2 ,其中有 80% 集中在东京、大阪和名古屋 3 大都市圈内。日本地下街的建设一般可以分为四个阶段:第一阶段(1955—1964 年),地下街围绕车站布局,主要配建地下停车场,疏解地面人流,置换原地面广场商业摊贩;第二阶段(1965—1969 年),地下街发展的规模化阶段,地下街逐渐成为规模更大、连接更广、用途更多的地下城市空间;第三阶段(1970—1980 年),地下空间向城市公共空间的转化阶段。地下街在完善防灾、安全等技术和法规要求的同时,成为城市公共空间的重要组成部分;第四阶段(1990 年至今),地下街与城市空间整合为新的城市空间。通过地下空间开发,整合城市交通枢纽、商业设施、开放空间、公园绿地等城市要素,形成地上地下一体化、复合化的新型城市公共空间。

按照不同用途,地下工程可分为下列九类:

- (1) 交通隧道,如铁路隧道、公路隧道、城市地下铁道和水底隧道等;
- (2) 水工隧洞,如水力发电站的各种输水隧洞,为农业灌溉开凿的输水隧洞以及给水排水隧洞等;
- (3) 矿山巷道,如各类矿山的运输巷道及开采井巷等;
- (4) 地下仓库,如粮食、油料、酿酒和水果、蔬菜等的储藏库,鱼肉食品的冷藏库,车库以及核废渣封存库等;
- (5) 地下工厂,如水力和火力发电站的地下厂房以及各种轻、重工业的地下厂房等;
- (6) 地下民用与公共建筑,如地下商店、图书馆、体育馆、展览厅、影剧院、旅馆、餐厅、住宅及其综合建筑体系——城市地下街等;
- (7) 地下市政工程,如给水工程、污水、管路、线路、废物处理中心等;
- (8) 人防工程,如人员隐蔽部、指挥所、疏散干道、连接通道、医院、救护站及大楼防空地下室,根据以战为主,平战结合的原则,这些建筑物平时可以作为办公室,会议室、工厂仓库、食堂和招待所等;
- (9) 国防地下工程,如飞机库、舰艇库、武器库、弹药库、作战指挥所、通信枢纽、军医院和各类野战工事以及永备筑城工事等。

另外,近年来我国兴建了大量高层建筑及许多大型市政地下设施,由此产生了大量深基坑工程。基坑工程开挖、围护设计理论及施工技术是我国基本建设迫切需要发展的综合技术学科。

1.2 地下结构型式

地下结构的形状和尺寸根据其用途、地形、地质、施工和结构性能等条件差异而不同,通过勘测和初步设计来加以选用。按照其相对于地表面的位置,地下结构可以是水平的(称为水平坑道)、倾斜的(称为斜井)和竖直的(称为竖井)。按水平坑道埋置深度的不同,又可以分为浅埋和深埋两种。土层中的浅埋结构根据个别地区经验,一般是指覆土厚度仅为 5 m 以内而不采用暗挖法修建的结构。

结构型式首先由受力条件来控制,即在一定地质条件的土水压力下和一定的爆炸与地震等动载下求出最合理和经济的结构型式。地下结构断面可以有如图 1-1 的几种型式。矩形隧道的直线构件不利于抗弯,故在荷载较小,即地质较好、跨度较小或埋深较浅时常被采用。圆形隧道受到均匀径向压力时,弯矩为零,可充分发挥混凝土结构的抗压强度,当地质较差时应优先使用。其余四种型式按具体荷载和尺寸决定,如顶压较大则采用直墙拱形,大跨度结构可用落地拱,底板常做成仰拱式。



图 1-1 地下结构型式

结构型式也受使用要求的制约,一个地下建筑物必须考虑使用需要,如人行通道,可做成单跨矩形或拱形结构;地下铁道车站或地下医院等应采用多跨结构,即减少内力,又利于使用;飞机库因中间不能设柱而常用大跨度落地拱;作为工业车间时矩形隧道接近使用状况;当欲利

用拱形空间放置通风等管道时,亦可做成直墙拱形或圆形隧道。

施工方案是决定地下结构型式的重要因素之一,在使用和地质条件相同情况下,由于施工方法不同而采用不同的结构型式。

综合地质、使用、施工三方面的因素,地下结构常见的型式有以下几种:

(1) 附建式结构:是房屋建筑下面的地下室,一般有承重的外墙、内墙(地下室作为大厅时则为内柱)和板或梁板式平底结构,如图 1-2 所示。

(2) 浅埋式结构:平面呈方形或长方形,当顶板做成平顶时,常用梁板式结构。如平面为条形的地下铁道等大中型结构,则常做成矩形框架结构,如图 1-3 所示。

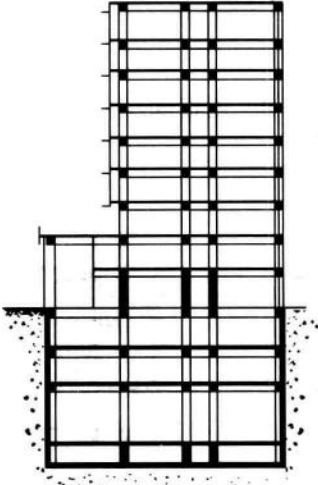


图 1-2 附建结构

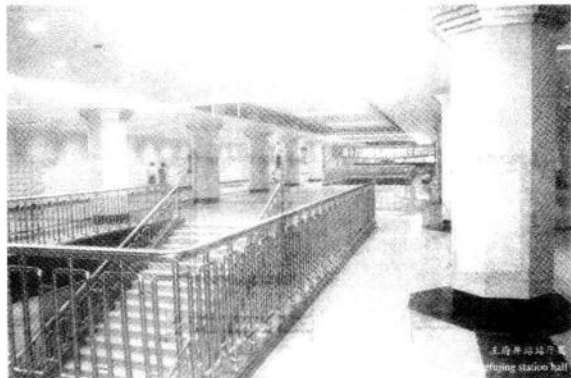


图 1-3 浅埋式结构(王府井地铁站)

(3) 地道式结构:采用矿山法暗挖施工,有直墙拱形结构(图 1-4)或曲墙式结构。

(4) 沉井法结构:沉井施工时需要在沉井底部挖土,顶部出土,故施工时的沉井为一开口的井筒结构,水平断面一般做成方形,也有圆形,可以单孔也可以多孔,沉至要求标高后再做底板、顶板,如图 1-5 所示。

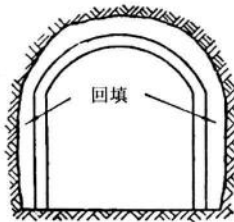


图 1-4 地道式结构

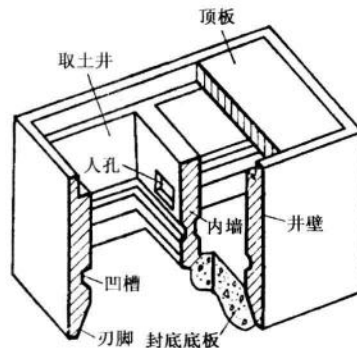


图 1-5 沉井

(5) 盾构法结构:盾构推进时,以圆形为最好,故常采用装配式圆形衬砌,也有做成方形和半圆形的,如图 1-6 所示。

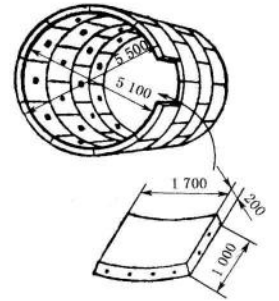
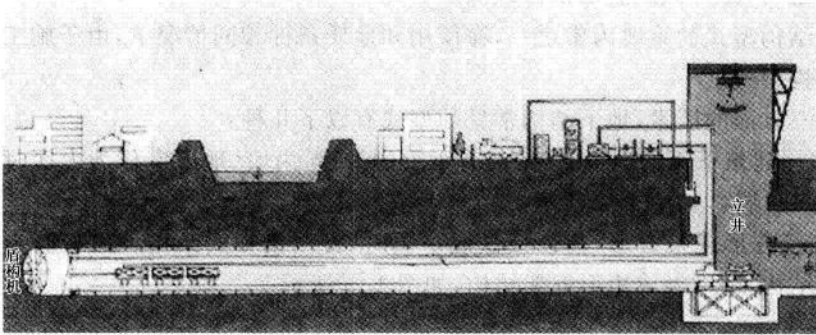


图 1-6 盾构

(6) 连续墙结构: 先建造连续墙, 然后在中间挖土, 修建底板、顶板和中间楼层, 如图 1-7 所示。

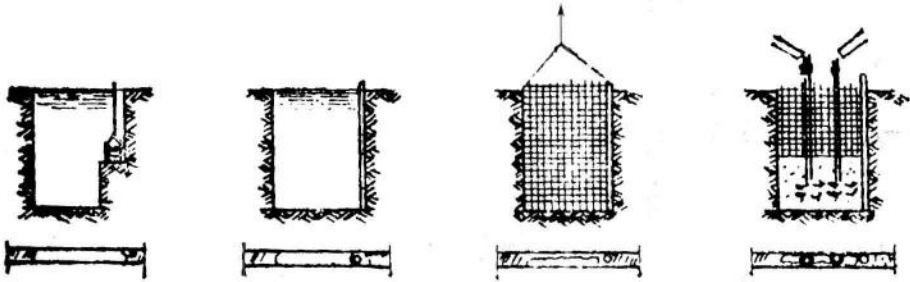


图 1-7 地下连续墙结构

(7) 顶管结构: 以千斤顶顶进就位的地下结构称为顶管结构。断面小而长的顶管结构一般采用圆形结构, 断面大而短时可采用矩形结构或多跨箱涵结构。图 1-8 是顶管结构的一种典型形式。

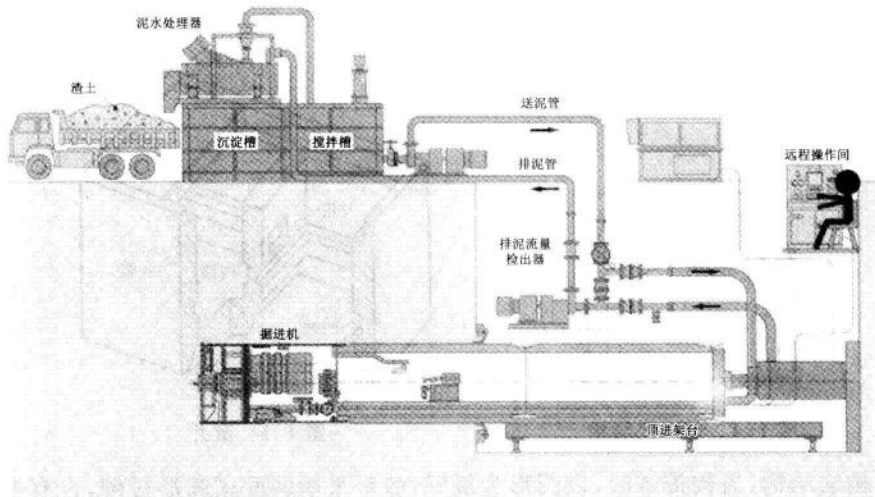


图 1-8 顶管

(8) 沉管法结构:一般做成箱型结构,两端加以临时封口,运至预定水面处,沉放至设计位置,规模宏大的港珠澳大桥的沉管隧道初步设计如图 1-9 所示。

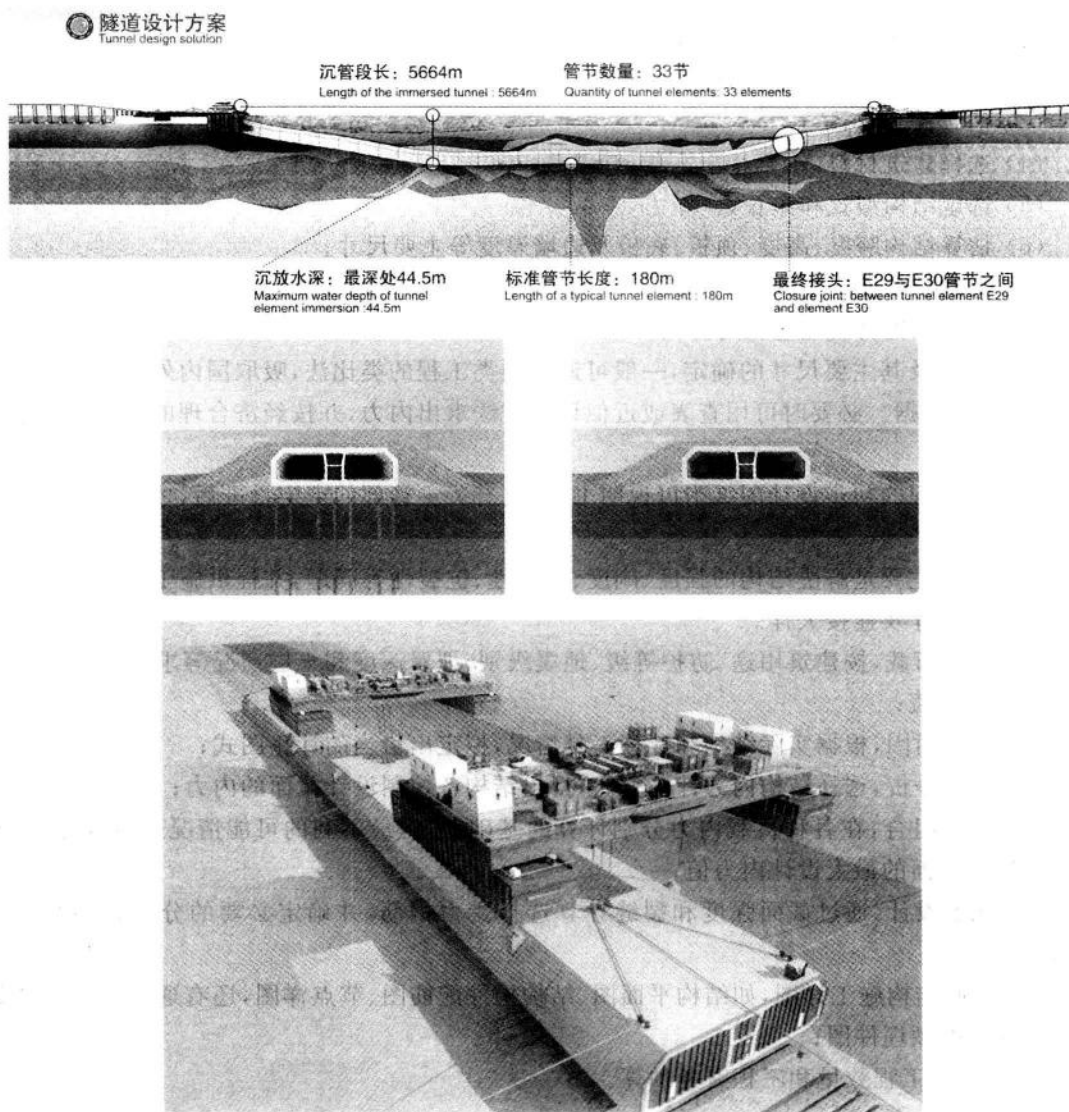


图 1-9 港珠澳大桥沉管部分的设计设想

(9) 基坑工程:由地面向下开挖的一个地下空间,四周一般为垂直的挡土结构。

1.3 设计内容

修建地下结构工程,必须遵循基本建设程序,进行勘察、设计与施工。设计分工艺设计、规划设计、建筑设计、防护设计、结构设计、设备设计等。结构设计工作一般分初步设计和施工图设计两个阶段。