

中国土木工程学会

第二版

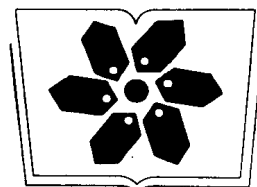
中国土木工程 指南



科学出版社

TU-62
04-2

00007317



中国科学院科学出版基金资助出版

中国土木工程指南

第 二 版

H/K71/03

中国土木工程学会



科学出版社

2000



C0483207

内 容 简 介

本书为《中国土木工程指南》一书的修订版,由中国土木工程各专业领域的学科带头人及有关学者集体撰写而成,主要介绍各专业的设计要求、基本方法和理论依据,因而是一本具有指南性的系统专业读物。本书力求反映国内外土木工程界的最高学术水平,既有实际经验的高度概括,又有工程理论的深刻阐述,既集中了有关手册和规范的精华而具有实用性,又突出了各专业的发展方向而具有指导功能。

本书可供土木工程各专业领域的广大科技人员和大专院校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国土木工程指南 / 中国土木工程学会. 第二版 - 北京: 科学出版社, 2000
ISBN 7-03-007590-0

I. 中… II. 中… III. 土木工程-中国-指南 IV. TU-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 37423 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1993 年 4 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

2000 年 1 月第 二 版 印张: 119

2000 年 1 月第三次印刷 字数: 2 800 000

印数: 9 019—12 018

定价: 190.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈科印〉)

编 委 会

名誉主编 李国豪

顾 问 何广乾 吴中伟 高槩清 程庆国

主 编 许溶烈

副主编 李承刚 蓝天 江见鲸 崔京浩

编 委 (以姓氏笔划为序)

卢 谦	卢肇钧	石 衡	江见鲸
朱伯芳	许溶烈	张 琳	邵卓民
李承刚	陈肇元	沈聚敏	杨家福
林治远	罗祥麟	施仲衡	钟淳昌
徐 渭	夏靖华	龚洛书	崔京浩
蒋协炳	蓝 天	戴 竞	

编 辑 办 公 室

主 任 崔京浩

成 员 杨家福 陈金凤 顾莉珠

第二版前言

自1993年《中国土木工程指南》出版以来已经6年了,这6年是20世纪末和即将跨入21世纪的6年,又是中国改革开放不断深化的6年。时间虽然不长,但中国土木工程事业却有了长足的进步,形势的发展要求我们对《中国土木工程指南》进行修订。

这次修订贯彻以“新”为主的原则,努力将6年来的新发展、新理论、新标准、新形式、新品种、新成果、新方法等反映进去,删去过时的比较陈旧的内容,字数和篇幅比原版略有增加。

参加修订的成员基本上是原编写人员,个别篇章有调整和变动的,均在各篇的目录页中做了相应变动。

值我国建国50周年之际,我们谨以本修订版向祖国大庆献礼。期望修订后的《中国土木工程指南》能够受到广大读者欢迎,也诚恳希望读者对本书的不足或欠妥之处提出宝贵意见,以备今后再次修订时改正。

中国土木工程学会

1999年9月

前 言

当今世界,科学技术日新月异,并迅速向生产力转化,愈益成为现代化生产中最活跃的因素和最重要的推动力量。中国的科技事业四十多年来经过全国广大科技工作者的艰苦奋斗,已经形成了持续发展的局面,对推动我国经济发展和社会进步产生了巨大作用。在这一大好形势下,为了充分发挥科学技术的生产力作用,促进科技与经济的密切结合,力促科技人才的成长与提高,中国土木工程学会组织和邀请 100 多位土木工程界的知名专家、学者和专业科技人员,经过近三年的努力,编写了这本《中国土木工程指南》。

本书是一本实用性强、学术水平较高的权威性专业科技参考书,着重介绍了土木工程各专业领域的设计要求、基本方法及理论依据,以简明、扼要、新颖、实用的内容,帮助广大土木科技工作者了解当前我国土木工程的成就及发展方向,以便他们掌握和运用新技术、新成果指导自己的工作。本书力求反映国内外土木工程学科的最高水平,既有国内实际经验的高度概括,又有基本理论的深刻阐述;既集中了各有关规范和手册的精华而具有实用价值,又突出了各分支学科的发展方向而具有指导功能。

在编写过程中,我们注意了各篇彼此协调,在叙述方式、思维逻辑、繁简程度等方面努力保持一致。但由于各篇学术内容不同,因而每篇又自成体系,独具风格。因此,读者不但可从本书中查阅并掌握本专业范围的技术关键问题,还可获得各相关专业的知识要点,使之从专业分工的局限性中开拓思想,扩大视野。

全书共分十四篇,基本包括了土木工程各个专业领域,其中土木工程标准、防护工程、计算机应用及工程招标、承包与管理等篇是依据土木工程的发展而列入的。由于水利工程在土木工程的发展进程中已经成为独立的学科领域,所以本书未立篇论述。另外,因篇幅所限,本书还未能囊括土木工程的所有分支。

本书所用计量单位,除个别注明者外,均采用以国际单位制为基础的我国法定计量单位。由于本书撰写人较多,所用符号,仅在本篇中保持统一。

值本书出版之际,谨向本书编委会和全体编写人员、编审人员,以及支持编写本书的各单位、各部门,致以诚挚的谢忱,并向给予本书编辑出版工作大力支持清华大学土木工程系和科学出版社表示感谢。当前,国内外虽已出版了众多有关土木工程方面的手册,但系统地编写这样一本具有指南作用的专业书籍还是第一次。敬请广大读者对本书提出宝贵意见,对疏漏错误之处予以指正。

中国土木工程学会

1992 年 12 月

总 目 录

第二版前言

前言

绪论	1
1 土木工程发展简史	1
2 中国土木工程的成就和发展	9
参考文献	30
第一篇 土木工程标准	31
1 概述	35
2 工程材料标准	41
3 工程勘察标准	53
4 工程地基与基础标准	62
5 建筑工程标准	68
6 公用工程标准	89
7 道路工程标准	100
8 铁路工程标准	110
9 港口与航道工程标准	118
10 水利与水电工程标准	123
11 工程防灾标准	137
第二篇 工程材料与制品	149
1 概述	153
2 水泥和沥青	155
3 金属材料	165
4 木材和石材	182
5 混凝土及其制品	188
6 墙体材料	211
7 防水和防火材料	222
参考文献	231
第三篇 土工与地基基础	233
1 概述	237
2 土的变形破坏机理和土力学计算理论问题	239
3 岩土工程勘察	251
4 土工试验	262
5 地基沉降及土体变形计算	275
6 地基和边坡的稳定性	295

7 挡土结构的土压力计算	311
8 浅基础	327
9 桩基础	339
10 地基处理	360
参考文献	377
第四篇 房屋结构及构筑物	383
1 概述	387
2 结构设计的理论和方法	389
3 各种材料结构	404
4 单层房屋结构	457
5 多层与高层房屋结构	487
6 空间屋盖结构	510
7 烟囱、水塔、运输机通廊、冷却塔、水池	533
8 高耸结构	556
参考文献	566
第五篇 道路工程	569
1 概述	574
2 公路分级	575
3 公路建设项目可行性研究与设计阶段	578
4 公路路线设计	585
5 公路路基设计	592
6 公路路面设计	605
7 公路交叉设计	614
8 公路交通工程及沿线设施	623
9 城市道路类型与基本规定	631
10 城市道路路线设计	635
11 城市道路路基设计	645
12 城市道路路面设计	647
13 城市道路交叉	655
14 广场与停车场	664
15 城市道路交通设施	669
16 道路计算机辅助设计	672
参考文献	677
第六篇 铁路工程	679
1 概述	683
2 铁路选线与设计	686
3 车站设计	710
4 轨道结构	718
5 轨道几何形位	738

6	铁路轨道的几何状态与维修	763
7	新型轨道结构	775
8	重载铁路和高速铁路	783
9	铁路路基工程	814
	参考文献	827
第七篇	桥梁工程	831
1	概述	835
2	桥梁规划与设计	840
3	桥涵技术标准	858
4	桥梁孔径计算	883
5	圬工桥	894
6	钢筋混凝土桥	910
7	预应力混凝土桥	934
8	钢桥	964
9	悬索桥	989
10	斜拉桥	999
11	桥梁基础	1009
12	涵洞	1034
	参考文献	1043
第八篇	隧道及地下工程	1047
1	概述	1051
2	调查、勘测和围岩分类	1053
3	铁路、公路隧道	1070
4	水工隧洞	1096
5	城市隧道	1113
6	地下铁道隧道	1131
7	城市其它地下工程	1148
8	隧道及地下工程施工	1162
	参考文献	1203
第九篇	港口工程	1207
1	概述	1211
2	自然条件和勘察要求	1213
3	港口总体设计	1226
4	结构可靠度设计原则和实用方法	1255
5	荷载	1263
6	工程材料	1275
7	地基	1282
8	码头结构设计	1293
9	防波堤及护岸	1347

参考文献	1365
第十篇 给水排水工程	1367
1 概述.....	1372
2 水量和水质.....	1374
3 水源工程.....	1377
4 给水系统.....	1380
5 给水处理.....	1385
6 给水泵房.....	1400
7 给水设计的优化.....	1403
8 废水量.....	1405
9 废水水质及排放标准.....	1408
10 废水处置	1411
11 排水系统	1415
12 废水处理	1426
13 废水污泥的处理和处置	1446
14 给水排水工程技术经济分析与评价	1449
15 给水排水工程常用仪表和自动化设施	1452
16 城市防洪工程	1456
参考文献	1464
第十一篇 防护工程	1465
1 概述.....	1469
2 武器效应及工事防护原则.....	1471
3 防护结构荷载.....	1488
4 动力分析方法.....	1513
5 防护工程的结构设计.....	1524
6 偶然性爆炸与撞击.....	1537
参考文献	1550
第十二篇 土木工程抗震	1553
1 概述.....	1557
2 工程地震基础.....	1561
3 结构抗震计算理论.....	1569
4 地基.....	1583
5 钢筋混凝土房屋结构.....	1596
6 高层民用建筑钢结构.....	1614
7 钢骨混凝土结构.....	1626
8 砌体结构.....	1636
9 桥梁工程.....	1645
10 港口工程	1651
11 管网系统	1660

12 隔震与减震	1665
参考文献	1672
第十三篇 计算机应用	1675
1 概述.....	1679
2 工程计算.....	1682
3 工程优化.....	1722
4 计算机辅助设计.....	1735
5 计算机辅助施工管理.....	1753
6 工程中的专家系统.....	1769
7 计算机仿真.....	1780
8 计算机软件.....	1787
参考文献	1801
第十四篇 工程招标承包与管理	1803
1 概述.....	1807
2 工程招标和承包的内容与方式.....	1808
3 工程招标和投标实务.....	1814
4 建设工程合同.....	1842
5 工程咨询服务与项目管理.....	1855
6 建设监理.....	1868
7 工程建设的资金、保险和纳税	1874
参考文献	1887

绪 论

国务院学位委员会在学科简介中为土木工程所下的定义是：“土木工程(Civil Engineering)是建造各类工程设施的科学技术的统称。它既指工程建设的对象,即建造在地上、地下、水中的各种工程设施,也指所应用的材料、设备和所进行的勘测、设计、施工、保养、维修等专业技术。”

《中国土木工程指南》在土木工程技术方面既是一本指导性读物,又是一本手册性的工具书。遵照这个原则,本绪论主要论述科学事实、技术成就,并给出有关的重要数据资料,力图使读者对土木工程的发展历史和中国土木工程的成就有一个概括性了解。

1 土木工程发展简史^[1~8]

英语中“Civil”一词的意义是民间的和民用的,而“Civil Engineering”一词最初是对应于军事工程(Military Engineering)而诞生的。它是指除了服务于战争的设施以外的一切为了生活和生产所需要的民用工程设施的总称。后来这个界限就不那么明确了,它是一个比机械工程等传统学科诞生得更早的工程学科。

土木工程虽然是一个古老的学科,但它在几个世纪的发展和演变中也不断注入了新的内涵,其中材料的变革和力学理论的发展起着最重要的推动作用。土木工程所用的材料最初基本是天然材料如土、木、石等,以后则有烧制的砖瓦,炼制的生铁和熟铁,19世纪发明了现代炼钢法和水泥混凝土,20世纪又出现了预应力技术的各种构件,以及高强钢材、高性能混凝土和工程塑料等。土木工程的科学理论核心——力学也经历了不同阶段的发展。特别是随着计算工具的进步,实验方法、解析方法所碰到的困难逐渐被数值方法所克服,以现代计算机为依托的力学迅猛发展,使土木工程这一古老学科不断更新内涵,充满着时代气息。所以说土木工程是随着人类的出现而诞生,又随着人类社会的进步而发展,至今已演变成为大型综合性学科。

土木工程的发展可划分为三个阶段。第一阶段为古代土木工程阶段,自公元前5000年新石器时代出现原始的土木工程活动开始,至16世纪末意大利文艺复兴,导致土木工程走上迅速发展道路为止。第二阶段为近代土木工程阶段,从17世纪中叶开始,至20世纪40年代爆发第二次世界大战为止,土木工程进入了定量分析阶段。20世纪中叶以后则为第三阶段,虽然只有半个世纪,但土木工程却进入了现代化发展阶段。

1.1 古代土木工程

早在远古时代,由于居住与交往的需要,人类开始了掘土为穴、架木为桥的原始土木工程活动。大约在新石器时代,原始人使用简单的木、石、骨制工具,伐木采石,模仿天然遮蔽物建造居住场所。在我国黄河流域的仰韶文化遗址(约公元前 5000 年至前 3000 年)和西安的半坡村遗址(约公元前 4800 年至前 3600 年)均发现有供居住用的浅穴和直径为 5~6m 的圆形房屋。这两处遗址证明原始的基础工程和屋面工程已在那时萌芽,如洞内填有碎石片和鹅卵石,洞顶修饰得比较平整。在尼罗河流域的埃及住宅遗址,发现有用密排原木或芦苇束做的屋顶,在低洼的江河湖海附近甚至发现了栽桩架屋的干栏式建筑。我国浙江吴兴钱山漾遗址(约公元前 3000 年),是在密桩上架木梁、上铺悬空的地板。在浙江余姚河姆渡新石器时代遗址(约公元前 5000 年至前 3300 年),竟发现榫卯结合的木结构结点,这在当时没有金属工具的条件下实在是一大奇迹。那时所用的材料都是天然的,如茅草、竹、芦苇、树枝、树干、砾石、泥土等。仅在新石器时代后期,由于人们懂得了简单的锻烧加工技术,才出现红烧土、白灰粉及混合土等复合材料。

随着生产力的发展,农业、手工业开始分工,大约在公元前 3000 年至前 2000 年,人们掌握了原始的冶炼技术,开始使用青铜、铁制工具,进而出现了简陋的施工机械,而烧制技术的进步则导致了砖瓦的出现。这些都为土木工程摆脱原始萌芽时期创造了客观条件。

公元前 5 世纪至前 4 世纪,在我国河北的临漳,西门豹主持修筑了引漳灌邺工程。到公元前 3 世纪中叶,在今四川灌县,李冰父子主持修建了都江堰,解决了围堰、防洪、灌溉以及水陆交通问题;该工程被誉为世界上最早的综合性大型水利工程。由于城市防护工程和交通工程的发展,形式多样的桥梁也应运而生。公元前 12 世纪初,我国已在渭河上架设浮桥。为了满足跨越大河与行船的需要,都江堰工程首次采用了索桥。与此同时,我国的夯土技术和夯土工程得到了较大发展。在郑州发展的商朝中期版筑城墙遗址和安阳殷墟(约公元前 1100 年)的夯土台基,都说明当时的夯土技术已相当成熟。春秋战国时期,由于战争的需要,广泛采用了夯土筑城。我国著名的万里长城,就是秦代在魏、燕、赵三国夯土筑城的基础上进一步修筑和贯通,后又经历代多次修筑、加固,留存至今的举世杰作。我国的房屋建设工程,以木构架结构为主的宫殿庙堂建筑,已被我国发现的商代和西周时代的宫室遗址和出土文物所证实,那时已开始使用柱、额、梁、枋、斗拱等构件,陶制版瓦、筒瓦以及陶制下水管等的使用,则标志着那个时期的烧制技术已和建筑材料同步得到发展。

埃及在公元前 27 世纪至前 26 世纪,建造了世界最大的帝王陵墓建筑群——吉萨金字塔群,在公元前 16 世纪至前 4 世纪,在底比斯等地兴建了凯尔奈克神庙建筑群。希腊则在公元前 5 世纪建成了雅典卫城。这些建筑大都结构精美、构造准确、施工精细、规模宏大,显示了很高的艺术、技术水平。

值得一提的是,在同一时期人们已经开始注意总结经验,运用简单的科学技术知识。早在公元前 5 世纪,我国就已出现了以记述木工、金工等工艺为主且兼论城市、宫殿、房屋建筑规范的土木工程专著——《考工记》(春秋末齐国记录手工业规范的官书);公元前 3 世纪,埃及人在兴修水利等工程中已运用并积累了一些几何学和测量学方面的知识。这说明土木工程已开始由感性阶段上升到理性阶段,从实践中总结出理论了。

伴随着铁制工具的普遍采用,由于工效提高,人们从形式到内容,从数量到质量都对土木工程提出了更高的标准。大规模营建宫殿寺庙、兴修道路桥梁,促使专业分工更为细致、技术日益精湛,从此古代土木工程进入了它的发达兴旺时期。

首先在房屋建筑工程方面,我国和欧洲沿着两种不同的结构体系发展,各自取得了辉煌的业绩。

中国的古代房屋建筑主要采用木结构体系,并逐渐形成与此相适应的建筑风格。早在汉代,在结构方式上就派生出抬梁、穿斗、井干三种,而以抬梁最为普遍。平面布局多呈柱网,柱网之间视需要砌墙和安设门窗。墙是填充墙,不传递屋面荷载。对宫殿庙宇等高级建筑,在柱上和檐枋间安装有逐次悬挑的斗拱,层次分明。公元8世纪在山西五台山兴建的南禅寺正殿和公元9世纪兴建的佛光寺大殿,均属历史悠久且又较完整的中国木构架建筑的典范。公元14世纪在北京修建的故宫。历经明清两代,则是世界上现存最大、最完整的古代木结构宫殿建筑群,占地 $72 \times 10^4 \text{m}^2$,有房屋8700余间,总建筑面积达 $15 \times 10^4 \text{m}^2$ 。整个建筑按南北中轴线对称布局,层次分明,主次有序,做工精美,宏伟而壮观,严谨而华丽,体现了中国古代建筑的优秀传统文化和独特风格,堪称世界一绝。

高层木结构的发展与佛塔的建造有着密切的关系。公元2世纪末,徐州的浮屠寺塔就已体现了楼阁式的特点,而到公元11世纪建成的山西应县佛宫寺释迦塔(应县木塔)已经是一个典型的蔚为壮观的木结构高层建筑了。该塔高67.3m,呈八角形,底层直径30.27m,每层用梁柱斗拱组合为自成体系的完整而稳定的构架,是世界上现存最高的木结构之一。

当然,这一时期砖石结构在我国的应用也取得了很大成就。约自公元1世纪东汉时期起,已有用拱券砌筑的陵墓。到公元4世纪北魏中期,砖石结构已用于砖塔、石塔建筑以及石桥等。公元6世纪建于河南登封县的嵩岳寺密檐砖塔,是中国现存最早的地面砖石结构。

与此同时,欧洲以石拱结构为主的古代房屋建筑也达到了很高的水平,取得了辉煌成就。

公元前2世纪,罗马人已懂得采用石灰和火山灰的混合物作胶凝材料,制成天然混凝土,广泛用于各种建筑和构筑物,并有力地推动了古罗马拱券结构的发展,由早期的一般拱券发展为穹顶,其跨越的尺度和覆盖的空间比梁柱体系要大得多。公元120~124年修建的万神庙,其圆形正殿屋顶的直径达43.43m,是古代最大的圆顶庙。这一时期,古罗马兴建了大量以石拱结构为主的公共建筑,其类型之多,结构设计之合理,施工技术之精美,样式手法之丰富,在全世界是少有的。更令人们称颂的是该时期已初步建立了土木建筑方面的科学理论。古罗马建筑师维特鲁威(Vitruvius)著的《建筑十书》(公元前1世纪)就是一个典型代表,它奠定了欧洲土木建筑科学的体系。

进入中世纪以后,拜占廷继承了古希腊、古罗马的土木建筑技术,在方形平面柱网上使用穹顶取得了开敞的内部空间。建于公元532~537年的圣索菲亚(Hagia Sophia)教堂以及8世纪兴建的一些阿拉伯建筑,均属这一风格的代表作。此后,西欧各国继承并发展了古罗马的建筑技术和建筑风格,如意大利的比萨(Pisa)大教堂建筑群(公元11~13世纪)、法国的巴黎圣母教堂(公元1163~1271年),均为这一时期的著名建筑。这些建筑使用二圆心尖券和尖拱,并用飞券扶壁抵挡拱脚的侧推力,构成了哥特式教堂建筑的结构体

系。

公元 15~16 世纪进入了辉煌的意大利文艺复兴时期,著名的佛罗伦萨(Firen ze)教堂(公元 1420~1470 年)的穹顶堪称世界之最,罗马的圣彼得(Sant Peter)大教堂(公元 1506~1626 年)更集中反映了意大利在这一时期建筑结构和施工的最高成就。

在房屋建筑大量兴建的同时,其它方面的土木工程也取得了重大成就。秦朝统一中国后修建的以咸阳为中心通向全国的驰道,主要线路宽 50 步,形成了全国规模的交通网。而在欧洲,罗马比我国秦朝早些也修建了以罗马城为中心,包括有 29 条辐射主干道和 322 条联络干道,总长达 78 000km 的罗马大道网。

随着道路的发展,桥梁建筑也取得了很大成就。据史籍记载,秦始皇为了沟通渭河两岸的宫室,兴建了一座 68 跨咸阳渭河桥,是世界上最早和跨度最大的木结构桥梁。此外,隋代还修建了世界著名的空腹式单孔圆弧石拱桥——赵州桥,净跨达 37.02m。

这一时期的水利工程也取得很大成就。公元前 3 世纪,我国秦代在今广西兴安开凿了灵渠,总长 34km,落差 32m。约在同时,古罗马采用拱券技术筑成隧道、石砌渡槽等城市输水道 11 条,总长 530km。公元 7 世纪初,我国隋代开凿了世界历史上最长的大运河,共长 2500km。

在土木工程工艺技术方面,这一时期的分工日益细致。工种已分化出木作,瓦作、泥作、土作、雕作、旋作、彩画作和窑作(烧砖瓦)等。在公元 15 世纪,意大利已出现了早期的建筑师和工程师。这一时期出现了最早的仪器和度量设备,如抄平水准设备,度量外圆、内圆及方角的“规”和“矩”,已能绘制平面、立面、剖面 and 细部大样图。许多优秀的土木工程著作如我国北宋李诫编纂的《营造法式》、意大利文艺复兴时期阿尔贝蒂(Alberti)撰著的《论建筑》等,均为这一时期的代表作。

1.2 近代土木工程

古代土木工程尽管取得了极其辉煌的成就,但大都局限于王室、宗教所利用,表现为一些单个的具体作品,土木工程远没有构成为一门独立学科。然而,从 17 世纪中叶开始,土木工程产生了质的飞跃。1638 年,意大利学者伽利略(Galileo)发表了“关于两门新科学的对话”(Two New Sciences and His Dialogue),首次用公式表述了梁的设计理论。1687 年,牛顿总结出力学三大定律,为土木工程奠定了力学分析基石。1744 年,瑞士数学家 L. 欧拉(Euler)发表了“曲线的变分法”,建立了柱的压曲公式。1773 年,法国工程师 C.-A. de 库仑(Coulomb)发表了著名论文“建筑静力学各种问题极大极小法则的应用”,阐述了材料强度的概念以及挡土墙的土压力理论。另外,18 世纪下半叶,以瓦特发明蒸汽机为标志而开始的产业革命,又为土木工程提供了多种性能优良的建筑材料及施工机具,同时也对土木工程,首先是在材料、交通、厂房等方面提出了新的要求。

1824 年,英国人 J. 阿斯普丁(Asptin)发明了波特兰水泥。1856 年,转炉炼钢获得了成功,为钢筋混凝土结构和钢结构打下了充分的物质基础。1875 年,法国的 J. 莫尼埃(Monier)主持建造成第一座长 16m 的钢筋混凝土桥。1886 年,美国芝加哥用框架结构建成了一座高达 9 层的保险公司大厦,被誉为是现代高层建筑的开端。1889 年,法国巴黎建成高 300m 的埃菲尔(Eiffel)铁塔,使用熟铁近 8000t 之多。

蒸汽机和电动机在抽水、打桩、挖土、轧石、压路、起重等作业上的应用,开创了土木工程施工机械化和电气化的进程。1825年,英国首次使用盾构开凿泰晤士(Thames)河河底隧道,成为机械化施工十分成功的范例。

产业革命对交通工程提出了新的需求。苏伊士运河于1869年、巴拿马运河于1914年相继凿成通航;1825年,G.斯蒂芬森(Stephenson)建成了第一条从斯托克顿至达灵顿的铁路,长21km;1869年,美国建成横贯北美大陆的铁路;20世纪初,俄国修建了西伯利亚大铁路。一时铁路已成为不少国家的经济大动脉。1863年,英国伦敦建成了世界上第一条长7.6km的地下铁道。在公路方面,1819年,英国的麦克亚当(McAdam)筑路法阐明了碎石路的施工工艺和路面结构理论,为近代公路的发展奠定了理论基础。而1885年德国本茨汽车的问世以及1908年美国福特汽车公司采用传送带生产的大量汽车,则迫切要求社会大规模兴建公路。毫无疑问,铁路和公路的空前发展,促进了桥梁、隧道工程的进步。1825年,英国T.特尔福德(Telford)用锻铁建成了跨度177m长的威尔士的梅奈悬索桥;1890年,英国在苏格兰的福斯(Forth)湾建成了两孔主跨达518m的悬臂式桁架梁铁路桥。

第一次世界大战以后,由于汽车具有快速和机动灵活的特点,道路工程日益被人们所重视,沥青和混凝土开始用于铺筑高级路面。1931~1942年,德国首先修筑了长达3860km的高速公路网。20世纪初,随着飞机的出现和大量运营,飞机场工程也迅速发展起来。钢铁质量和产量的提高,使建造大跨度桥梁成为现实。1937年,美国在旧金山修建了跨度1280m、全长2825m的金门悬索桥,成为公路桥的代表性工程。

工业的发达和城市人口的集中,使工业厂房和公共建筑向大跨度发展,而民用建筑则向高层发展,日益增多的电影院、体育馆和飞机库等都要求采用大跨度结构。1925~1933年,法国、苏联和美国分别建成了跨度达60m的圆壳、扁壳和圆形悬索屋盖。1931年在美国纽约落成的帝国大厦,共102层,高378m,结构用钢超过 5×10^4 t,内装电梯67部,还有各种复杂的管网系统,可谓集当时技术成就之大成,它保持世界房屋最高纪录达40年之久。

1928年,法国土木工程师弗雷西内(Freyssinet)研制成功预应力混凝土,并于1933年首次用于港口的站台获得成功,1938年又发明了张拉高强钢丝的设备,从而大大推进了预应力混凝土的广泛使用。

近代土木工程的实践,必然促进理论的发展。在这一时期,力学、静力学、结构动力学逐步形成,各种静定和超静定桁架内力分析方法和图解法得到了很快发展。1825年,C. L. M. H. 纳维建立了结构设计的容许应力分析法;19世纪末,G. D. A. 里特尔等人提出了钢筋混凝土理论,应用了极限平衡的概念;1900年前后,钢筋混凝土弹性方法被普遍采用。与此同时,各国还制定了各种类型的设计规范。1906年美国旧金山大地震和1923年日本关东大地震推动了结构动力学和工程抗震技术的发展。在弹性理论成熟的同时,塑性理论、极限平衡理论也得到了发展和应用。理论上的突破又极大地促进了工程实践的发展,促使土木工程学科日臻完善和成熟。

人类随着生活水平的提高,对文化、艺术、美学等方面的需求也日益增长,从而促使土木和建筑在19世纪中叶逐渐开始分成为各有侧重的两个学科分支。

这一时期的中国,由于当时的政府实行闭关锁国政策,近代土木工程进展缓慢,直到

清末出现洋务运动时,才引进了一些西方技术,陆续建成了一些典型工程。1909年,詹天佑主持建成京张铁路,全长约200km,达到了当时的世界先进水平,全路有四条隧道,其中八达岭隧道长达1091m;1894年建成用气压沉箱法施工的滦河大桥;1901年,全长1027m的松花江桁架桥竣工;1905年,建成全长3015m的郑州黄河桥。1865年上海开始供应煤气。1879年旅顺建成中国第一个近代给水工程。1929年中山陵建成。1931年建成广州中山纪念堂。1934年,在上海建成了24层钢结构的国际饭店。1937年建成公路铁路两用的钢桁架桥——钱塘江桥,全长1453m,采用沉箱基础。在材料方面,1889年在唐山建立了中国第一个水泥厂;1910年开始生产机砖。这些工程建设在中国近代土木工程史上都具有一定的代表性。

中国土木工程教育事业和学术团体也在这一时期初步形成。1895年创办了天津北洋西学学堂;1896年在唐山创办了北洋铁路官学堂;1912年成立中华工程师会,詹天佑任首届会长,并在1936年起分设了中国土木工程师学会。到第二次世界大战结束时,中国土木工程已初步形成了高等教育体系和学术团体,并拥有一支较其它自然科学强一些的技术力量。

1.3 现代土木工程

第二次世界大战以后(1945年),许多国家经济起飞,现代科学日益进步,从而为土木工程的进一步发展提供了强大的动力和雄厚的物质基础。一个以现代科学技术为强大后盾的现代土木工程时代开始了。

现代土木工程的特征之一,是工程设施同它的使用功能或生产工艺紧密地结合在一起。为了满足人们生产和生活所需的各种特殊功能要求,现代土木工程早已超出了原来意义上的挖土盖房、铺路架桥的范围,它与各行各业紧密相连、相互渗透、相互支持、相互促进,构成一幅人类在高科技水平上共同迈进的宏伟景象。

以人们生活最密切的公共建筑和住宅建筑为例,它已不再仅是徒具四壁的房屋了,而要求同采暖、通风、给水、排水、供电、供热、供气、收视、通信计算机联网智能技术等现代高科技密切联系在一起。

随着世界经济的复苏,各国都大量投资于各种基础设施。欧洲、美国和日本的高速公路,德国莱茵河和法国塞纳河上的许多斜拉桥,欧、美、日等许多大城市高层建筑和地铁的发展,大跨飞机库、体育馆、航空港站、核电站,以及由日本和丹麦两个岛国从60年代起率先启动的跨海工程,如海底隧道和跨海大桥都纷纷兴建,构成了现代土木工程的辉煌时期。

随着经济的发展和人口的增长,城市用地更加紧张,交通更加拥挤。这就迫使房屋建筑和道路交通向高空和地下发展;高层建筑几乎成了现代化城市的象征。1973年美国芝加哥建成高达443m的西尔斯(Sears)大厦,其高度比1931年建造的纽约帝国大厦高出65m左右。1996年马来西亚建成高450m的吉隆坡双塔楼;我国1997年上海金茂大厦采用钢筋混凝土和钢结构混合结构,高421m,居中国第一、世界第三;在建的上海环球金融中心为460m的钢结构,建成后将居世界之首。由于设计理论的进步和材料的改进,高层建筑出现了许多新的结构体系,如框架-剪力墙,框架-筒体、筒中筒结构等。