

中国土木工程指南

中国土木工程学会

科学出版社

1993

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的各个专业领域,其中的土木工程标准、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的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

(京) 新登字 092 号

内 容 简 介

本书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, 既集中了各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。

中国土木工程指南

中国土木工程学会

责任编辑 杨家福 陈金凤

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100707

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

1993 年 4 月第一次印刷 印张: 111 1/8 插页: 2

印数: 1—5 000 字数: 2 622 000

ISBN 7-03-003168-7/TU·27

定价: 69.50 元

编 委 会

名誉主编 李国豪

顾 问 何广乾 吴中伟 高渠清 程庆国

主 编 许溶烈

副主编 李承刚 蓝 天 江见鲸

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 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

总 目 录

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	8
参考文献	27
第一篇 土木工程标准	29
1 概述	33
2 工程材料标准	40
3 工程勘察标准	49
4 工程地基与基础标准	55
5 建筑工程标准	60
6 公用工程标准	74
7 道路工程标准	83
8 铁路工程标准	91
9 港口与航道工程标准	98
10 工程防灾标准	102
第二篇 工程材料与制品	109
1 概述	113
2 水泥和沥青	115
3 金属材料	124
4 木材和石材	137
5 混凝土及其制品	143
6 墙体材料	168
7 防水和防火材料	184
参考文献	194
第三篇 土工与地基基础	197
1 概述	201
2 土的变形破坏机理和土力学计算理论问题	203
3 岩土工程勘察	215
4 土工试验	227
5 地基沉降及土体变形计算	241
6 地基和边坡的稳定性	262
7 挡土结构的土压力计算	280
8 浅基础	298

9 桩基础	311
10 地基处理	333
参考文献	349
第四篇 房屋结构及构筑物	355
1 概述	359
2 结构设计的理论和方法	361
3 各种材料结构	377
4 单层房屋结构	433
5 钢筋混凝土多层与高层房屋结构	457
6 空间屋盖结构	488
7 烟囱、水塔、皮带走廊、冷却塔、水池	508
8 高耸结构	534
参考文献	545
第五篇 道路工程	547
1 概述	552
2 公路分类与等级的选用	553
3 公路建设项目可行性研究与设计阶段	556
4 公路路线设计	561
5 公路路基设计	569
6 公路路面设计	575
7 公路交叉设计	584
8 公路沿线设施	593
9 城市道路类型与基本规定	597
10 城市道路路线设计	601
11 城市道路路基设计	614
12 城市道路路面设计	616
13 城市道路交叉	628
14 广场与停车场	639
15 城市道路交通设施	644
16 道路施工	647
参考文献	653
第六篇 铁路工程	655
1 概述	659
2 铁路选线与设计	662
3 车站设计	685
4 轨道结构	694
5 轨道几何形位	716
6 铁路轨道的几何状态与维修	736
7 轨道结构的发展及新型轨道	749

8 铁路路基工程	762
参考文献	774
第七篇 桥梁工程	777
1 概述	782
2 桥梁规划与设计	786
3 桥梁技术标准	801
4 桥梁孔径计算	819
5 圬工桥	831
6 钢筋混凝土桥	849
7 预应力混凝土桥	872
8 钢桥	901
9 悬索桥	927
10 斜拉桥	940
11 桥梁基础	951
12 涵洞	968
参考文献	976
第八篇 隧道及地下工程	979
1 概述	983
2 调查、勘测和围岩分类	985
3 铁路、公路隧道	997
4 水工隧洞	1019
5 城市隧道	1036
6 地下铁道隧道	1053
7 城市其它地下工程	1068
8 隧道及地下工程施工	1080
参考文献	1120
第九篇 港口工程	1123
1 概述	1127
2 自然条件和勘察要求	1129
3 港口总体设计	1141
4 荷载	1172
5 工程材料	1186
6 地基	1193
7 码头结构设计	1203
8 防波堤及护岸	1251
参考文献	1270
第十篇 给水排水工程	1273
1 概述	1278
2 水量和水质	1280

3	水源工程	1285
4	给水系统	1289
5	给水处理	1295
6	给水泵房	1312
7	给水设计的优化	1315
8	给水工程技术经济分析和评价	1318
9	废水量	1321
10	废水水质及排放标准	1324
11	废水处置	1327
12	排水系统	1330
13	废水处理	1341
14	废水污泥的处理和处置	1361
15	排水工程技术经济分析和评价	1363
16	给水排水工程常用仪表和自动化设施	1365
17	城市防洪工程	1369
	参考文献	1377
第十一篇 防护工程		1379
1	概述	1383
2	武器效应及工事防护原则	1384
3	防护结构荷载	1399
4	动力分析方法	1421
5	防护工程的结构设计	1433
6	事故爆炸的防护	1445
	参考文献	1457
第十二篇 土木工程抗震		1459
1	概述	1463
2	工程地震基础	1467
3	结构抗震计算理论	1475
4	地基	1488
5	钢筋混凝土房屋结构	1498
6	高层建筑钢结构	1511
7	砌体结构	1521
8	桥梁工程	1529
9	港口工程	1534
10	地下管线工程	1541
11	隔震与减震	1546
	参考文献	1551
第十三篇 计算机应用		1553
1	概述	1557

2 工程计算	1560
3 工程优化	1600
4 计算机辅助设计	1613
5 计算机辅助施工管理	1628
6 工程中的专家系统	1642
7 计算机仿真	1653
8 计算机软件	1657
参考文献	1670
第十四篇 工程招标承包与管理	1671
1 概述	1675
2 工程招标和承包的内容与方式	1677
3 工程招标和投标实务	1684
4 工程承包合同	1704
5 工程项目管理与监理	1717
6 工程咨询服务	1729
7 工程建设的资金、保险和纳税	1733
参考文献	1741
主题词索引	1742

绪 论

《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，本篇主要论述科学事实、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^[1~7]

纵观人类社会的历史，土木工程既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，模仿天然掩蔽物建造居住场所。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。在郑州发现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。我国的房屋建筑工程，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。更为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（Firenze）教堂（公元1420~1470年）的穹顶堪称世界之最，罗马的圣彼得（Saint 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78000km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、剖面和细部大样图。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，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像。

首先来看与人们生活最密切的公共建筑和住宅建筑。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、通讯乃至计算机联网等种种现代技术设备结成一体。至于具有特殊功能要求的各类特种工程结构，则更与现代科学技术紧密相联、相互依存。如核电站，在 80 年代初全世界上已有 23 个国家拥有 277 座，在建的还有 613 座，分布在 40 个国家。我国现在也有了自己的核电站。与核电站建设密切有关的安全壳就是一个防护功能要求很高的特种工程结构。再如海洋工程，目前世界上仅为采油需要的海上固定式钻井平台已达 300 多座。中国在渤海、南海等处也筑有钻井平台，正在开采海底石油。这种平台所处的环境险恶、荷载复杂、施工困难，而功能要求很高；这些都要求土木工程必须用现代科学技术进行武装，而反过来它又为促进现代科学技术的发展作出了贡献。

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。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，如剪力墙、筒中筒结构等。

城市道路和铁路已有很多建于地下和高空，城市地下铁道在近几十年得到进一步发展，车站与地下车库、地下商业街相连，形成了统一的地下服务网。电缆、给水排水、供热、通风等各种用途的地下管网密布在城市的地面以下，构成了城市的生命线网络。总之，现代化城市建设已经成为一个立体的、有机的系统，从而对土木工程各个分支以及它们之间的协调与发展提出了更高的要求。

高速公路虽于 1934 年首次在德国出现，而在世界各地进行较大规模修建，则是在第二次世界大战以后。到 1983 年，世界高速公路已达 $11 \times 10^4 \text{km}$ ，在相当大的程度上取代了铁路的职能。现在高速公路的里程数，已成为衡量一个国家现代化程度的标志之一。与此同时，铁路也出现了向高速化发展的趋势。日本东京至大阪的东海道新干线，行车时速达 210km 以上，从瑞士的日内瓦到法国巴黎的高速列车时速高达 260km。交通高速化又直接促进桥梁、隧道技术的发展。不仅穿山越江的隧道日益增多，而且出现了长距离的海底隧道。穿越日本津轻海峡的青函海底隧道长达 53.85km。在海平面下 100m 深处隧道长度为 38km 的贯通英吉利海峡的英法海底隧道，其服务隧道已于 1990 年 10 月打通；该工程由两条直径为 7.6m 的火车隧道和一条直径为 4.8m 的服务隧道组成，预计 1993 年可以

全部投入运行，届时人们仅用 35 分钟就能穿越英吉利海峡。

现代航空事业得到了飞速发展，航空港遍布世界各地，容量越来越大，功能越来越全。1974 年投入使用的巴黎戴高乐航空港，拥有四条跑道，混凝土道面厚达 40cm，占地面积 $2995 \times 10^4 \text{m}^2$ ，按旅客量 5000×10^4 人次/年、高峰小时起降 150 架次设计。可以与该航空港相提并论的还有美国的芝加哥国际航空港，港内设施齐全，布局严谨，年吞吐量为 4000×10^4 人次，高峰小时起降可达 200 架次，居世界首位。这样庞大的交通中心，对道路、房屋、导航设施等的要求是很高的，完成这样复杂的建设项目，没有现代土木工程技术与之配合是完全不可能的。

现代土木工程材料进一步轻质化和高强度。工程用钢的发展趋势是采用低合金钢。中国从 60 年代起普遍推广了锰硅系列和其它系列的低合金钢，大大节约了钢材用量，并改善了结构性能。高强钢丝、钢绞线和粗钢筋的大量生产，使长、大预应力混凝土结构在桥梁、房屋等工程中得以推广。

500~600 号的水泥已在工程中普遍应用，轻集料混凝土和加气混凝土已用于高层建筑。美国休斯敦的贝壳广场大楼，用普通混凝土只能建 35 层，改用陶粒混凝土后，自重大大减轻，用同样的造价建造了 52 层。现代化的大跨、高层、结构复杂的工程迫切要求混凝土进一步轻质高强度。

高强钢材和高强混凝土的结合，使预应力混凝土结构得到较大的发展。1981 年我国建成的济南黄河斜拉桥，正跨为 5 孔预应力混凝土连续梁斜拉桥，最大跨径达 220m，缆索以 121 根直径 5mm 的高强镀锌钢丝平行编成。采用冷铸锚头，工程十分壮观。至于在工业与民用建筑中，则广泛采用预应力混凝土屋架、吊车梁和空心板。

新材料的出现与传统材料的改进是以现代科学技术的进步为背景的。铝合金、镀膜玻璃、石膏板、建筑塑料、玻璃钢等一系列新的工程材料日益增多，并为土木工程所广泛采用。

第二次世界大战后，百废待举，百业待兴，大规模现代化建设促进了建筑标准化和施工过程的工业化。人们力求推行工业化的生产方式，在工厂中成批地生产房屋、桥梁的种种构配件、组合体等，然后运到现场装配。在 50 年代后期，这种预制装配化的潮流几乎席卷了以建筑工程为代表的许多土木工程领域。标准化在我国的建设事业中起了积极作用。我国在近 40 年内，单是住宅一项，在城镇中就完成了 $17.7 \times 10^8 \text{m}^2$ ，在农村完成了 $92 \times 10^8 \text{m}^2$ [6]。

在标准化向纵深发展的同时，种种现场机械化施工方法在 70 年代以后也得到了很大发展。采用同步液压千斤顶的滑升模板广泛用于高耸结构。1975 年建成的加拿大多伦多电视塔高达 553m，是迄今世界上最高的构筑物，施工时采用了滑模工艺，安装天线则使用直升飞机。如没有现代工业和现代科学技术，要完成这样的现代土木工程是不可想象的。与滑升模板同时发展起来的还有升板结构等。此外，钢制大型模板、大型吊装设备、混凝土自动化搅拌楼、混凝土搅拌运输车、输送泵等相结合所形成的一套现场机械化施工工艺，在高层、多层房屋建筑和桥梁工程中都部分地取代了装配化的施工方法。

现代技术使建造许多复杂的土木工程成为可能，如世界著名的中国宝成铁路有 80% 的线路穿越山岭，桥隧相连。日本的山阳线，新大阪至博多段的隧道占 50%。我国的川藏公路、青藏公路直通世界屋脊。这些复杂工程的完成都是与现代技术的应用分不开的。

理论上的成熟和进步,是现代土木工程的一大特征。一些新的理论与分析方法,如计算力学、结构动力学、动态规划、网络、随机过程、波动理论等已深入到土木工程的各个领域。特别是随着计算机的问世和普及,其测试手段、分析方法、数据处理、动态管理等展现了一幅全新的图景。许多复杂的工程过去不能分析,也难以模拟,现在由于技术和计算机的应用,以往存在的问题也逐步得到了解决。1981年英国建成单跨达1410m的亨伯(Humber)悬索桥。1983年西班牙建成单跨达440m的卢塞纳(Lucena)预应力混凝土斜张桥,同年我国建成济南黄河斜张桥等,这些桥在设计过程中均作了电算分析。

从50年代开始,美国等将可靠性理论引入土木工程领域。我国近年来陆续颁布的工程结构设计标准,都已将基于概率分析的可靠性理论应用于工程实际。计算机的应用也远不只是用于结构的力学分析,而是渗透到土木工程的各个领域,如计算机辅助设计、辅助制图、现场管理、网络分析、结构优化及至人工智能,将土木工程专家个体的知识和经验加以集中和系统化而构成了专家系统等。凡此种充分说明了现代土木工程在理论上已经达到相当高的水平,与其它现代科学相比毫不逊色。

2 中国土木工程的成就和发展

我国现代土木工程的发展^[4~9],大致是在1949年以后起步的,重要的因素是从那时起我国才真正摆脱了半封建、半殖民地的屈辱状态,从而为土木工程创造了飞速发展的环境和条件。

2.1 土木工程材料

土木工程材料^[10~12]在土木工程中是关键因素之一,是工程的物质技术基础。每当出现新的优良工程材料时,土木工程的发展就会出现进步和飞跃。

自1949年以来,随着生产力的发展,我国土木工程材料有了大幅度的增长。单是非金属建材产品,目前已能生产5500多个品种,可以满足工程建设的需要,有的产品性能和质量已跃居世界先进行列。其发展大致分为三个阶段。50年代到60年代,我国针对当时大量的重工业建设任务,重点研究和发展木材、钢材和水泥等主要结构材料的节约代用技术,开展工业废料如粉煤灰等的利用;在70年代,重点研究量大面广的墙体材料,采用多种技术途径开发新型墙体材料;80年代以来,随着大批高级公共建筑的兴建及人们对提高居住水平的需求,各种装饰、防水、保温、隔热等功能材料如内外墙涂料、壁纸、高级石材、陶瓷产品、铝合金门窗、高级建筑玻璃等有了很大的发展。经过40年的发展,我国已成为世界建材生产大国。1988年全国建材工业总产值超过了 500×10^8 元。