

普通高等教育“十二五”规划教材

# 土木工程概论

李文虎

代国忠

主编

曹平周

主审

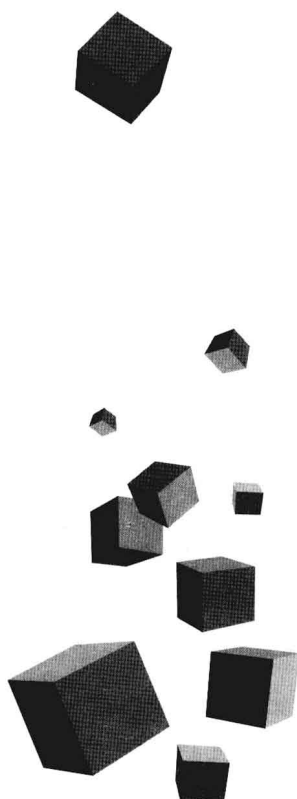
TUMU GONGCHENG  
GAILUN



普通高等教育“十二五”规划教材

# 土木工程概论

李文虎 代国忠 主 编  
苏永强 梁 鑫 汪邦坤 副主编  
曹平周 主 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书密切结合土木工程专业规范和专业人才培养目标,较为详细地介绍了土木工程各个分支学科所涉及的内容。具体包括土木工程材料、土木工程的力学和结构概念、勘察与基础工程、房屋建筑工程、交通土建工程(道路、铁路、机场)、桥梁工程、港口工程与海洋工程、隧道及地下工程、水利水电工程、给水排水工程、土木工程的施工与管理、土木工程防灾与减灾、数字化技术在土木工程中的应用等方面的内容。本书力求内容充实、先进和创新,语言通俗易懂、简明扼要,突出实用性,强调专业的知识性和学习的兴趣性。

本书主要作为普通高等学校土木工程专业(建筑工程、交通土建、岩土工程等专业方向)本科的教学用书,亦可供其他专业师生及工程技术人员参考及使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

土木工程概论/李文虎,代国忠主编. —北京:化学工业出版社, 2011.2

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-09843-6

I. 土… II. ①李…②代… III. 土木工程-高等学校-教材 IV. TU

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第214052号

---

责任编辑:满悦芝

文字编辑:郑直

责任校对:战河红

装帧设计:尹琳琳

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京白帆印务有限公司

装订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张15¼ 字数409千字 2011年1月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519386) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:29.80元

版权所有 违者必究

# 前 言

我国高等学校土木工程专业教育已经逐渐形成了宽口径的“大土建”专业发展模式。新制定的《土木工程专业规范》已明确提出，高等学校土木工程本科专业是培养适应社会主义现代化建设需要，德智体美全面发展，掌握土木工程学科的基本原理和基本知识，获得工程师基本训练，能胜任建筑、桥梁、隧道等各类土木工程设施的设计、施工与管理，具有扎实基础理论、较宽厚专业知识和良好实践能力与一定创新能力的高级专门人才。

本教材密切结合土木工程专业规范和专业人才培养目标，较为详细地介绍了土木工程各个分支学科所涉及的内容。具体包括土木工程材料、土木工程的力学和结构概念、勘察与基础工程、房屋建筑工程、交通土建工程（道路、铁路、机场）、桥梁工程、港口工程与海洋工程、隧道及地下工程、水利水电工程、给水排水工程、土木工程的施工与管理、土木工程防灾与减灾、数字化技术在土木工程中的应用等方面的内容。各章后有复习题。

本书由常州工学院李文虎教授、代国忠教授担任主编，河海大学曹平周教授担任主审。本书由李文虎教授负责编写第1、2、3、10章；代国忠教授负责编写第4、6、8、9、11章；华北科技学院苏永强副教授负责编写第5、12章；广西工学院梁鑫讲师负责编写第7、14章；华东冶金地质勘查局汪邦坤高级工程师（常州工学院特聘副教授）负责编写第13章，并参与了第8章的编写工作；常州工学院李雄威博士参与了第4、10章的编写工作，鲁业红副教授参与了第12、14章的编写工作。

限于编者水平有限，书中不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者  
2010年12月

# 目 录

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 1 绪论 .....                | 1  |
| 1.1 土木工程内涵及属性 .....       | 1  |
| 1.1.1 土木工程内涵 .....        | 1  |
| 1.1.2 土木工程范围 .....        | 1  |
| 1.1.3 土木工程属性 .....        | 2  |
| 1.2 土木工程发展简史 .....        | 2  |
| 1.2.1 古代土木工程 .....        | 2  |
| 1.2.2 近代土木工程 .....        | 4  |
| 1.2.3 现代土木工程 .....        | 7  |
| 1.3 土木工程的未来 .....         | 9  |
| 1.4 土木工程概论课任务与学习建议 .....  | 12 |
| 复习题 .....                 | 13 |
| 2 土木工程材料 .....            | 14 |
| 2.1 土木工程材料性质与分类 .....     | 14 |
| 2.1.1 土木工程材料一般性质 .....    | 14 |
| 2.1.2 土木工程材料的分类 .....     | 16 |
| 2.2 主要土木工程材料介绍 .....      | 17 |
| 2.2.1 砖、瓦、砂、石、灰 .....     | 17 |
| 2.2.2 木材 .....            | 19 |
| 2.2.3 钢材 .....            | 20 |
| 2.2.4 水泥 .....            | 22 |
| 2.2.5 混凝土与砂浆 .....        | 24 |
| 2.2.6 建筑塑料 .....          | 28 |
| 2.3 土木工程材料的发展 .....       | 28 |
| 2.3.1 高强混凝土 .....         | 28 |
| 2.3.2 建筑功能材料 .....        | 29 |
| 2.3.3 绿色建材 .....          | 29 |
| 复习题 .....                 | 30 |
| 3 土木工程的力学和结构概念 .....      | 31 |
| 3.1 荷载的定义和种类 .....        | 31 |
| 3.2 土木工程的力学概念 .....       | 32 |
| 3.2.1 力、力矩和平衡 .....       | 32 |
| 3.2.2 应力与应变 .....         | 33 |
| 3.3 工程结构的设计方法 .....       | 36 |
| 3.3.1 结构的基本功能 .....       | 36 |
| 3.3.2 结构的失效形式 .....       | 37 |
| 3.3.3 结构的极限状态 .....       | 37 |
| 3.3.4 结构的失效概率与可靠度指标 ..... | 37 |
| 3.3.5 工程结构的设计方法 .....     | 38 |
| 3.3.6 建筑工程结构的设计步骤 .....   | 39 |
| 复习题 .....                 | 40 |
| 4 勘察与基础工程 .....           | 41 |
| 4.1 工程地质勘察 .....          | 41 |
| 4.1.1 工程地质勘察基本概念 .....    | 41 |
| 4.1.2 工程地质测绘 .....        | 41 |
| 4.1.3 工程地质勘探方法 .....      | 43 |
| 4.1.4 原位测试及室内土工试验 .....   | 46 |
| 4.1.5 工程地质勘察报告 .....      | 48 |
| 4.2 浅基础工程 .....           | 49 |
| 4.2.1 地基与基础的概念 .....      | 49 |
| 4.2.2 浅基础类型 .....         | 50 |
| 4.2.3 浅基础的材料 .....        | 52 |
| 4.2.4 浅基础设计内容 .....       | 53 |
| 4.3 深基础工程 .....           | 53 |
| 4.3.1 桩基础 .....           | 53 |
| 4.3.2 沉井 .....            | 57 |
| 4.3.3 地下连续墙 .....         | 58 |
| 4.4 地基处理 .....            | 60 |
| 4.4.1 地基处理的含义和目的 .....    | 60 |
| 4.4.2 地基处理方法的分类 .....     | 61 |
| 复习题 .....                 | 64 |
| 5 建筑工程 .....              | 65 |
| 5.1 建筑工程的概念与类别 .....      | 65 |
| 5.1.1 建筑工程的概念 .....       | 65 |
| 5.1.2 建筑工程的类别 .....       | 65 |
| 5.2 建筑物的基本构件 .....        | 66 |

|                          |            |                        |     |
|--------------------------|------------|------------------------|-----|
| 5.3 常见建筑工程举例 .....       | 69         | 5.3.3 特种结构 .....       | 77  |
| 5.3.1 单层与多层建筑 .....      | 69         | 5.4 建筑工程展望 .....       | 80  |
| 5.3.2 高层与超高层建筑 .....     | 74         | 复习题 .....              | 82  |
| <b>6 交通土建工程 .....</b>    | <b>83</b>  |                        |     |
| 6.1 道路工程 .....           | 83         | 6.2.3 高速铁路 .....       | 96  |
| 6.1.1 道路工程引言 .....       | 83         | 6.2.4 城市轨道交通 .....     | 98  |
| 6.1.2 道路的分类 .....        | 83         | 6.2.5 磁悬浮铁路 .....      | 102 |
| 6.1.3 道路的线形组成 .....      | 84         | 6.3 机场工程 .....         | 103 |
| 6.1.4 道路结构组成与建设要求 .....  | 87         | 6.3.1 机场发展概况 .....     | 103 |
| 6.1.5 高速公路 .....         | 91         | 6.3.2 机场跑道 .....       | 104 |
| 6.2 铁路工程 .....           | 93         | 6.3.3 停机坪与航站楼 .....    | 106 |
| 6.2.1 铁路发展概况 .....       | 93         | 6.3.4 机场维护区及环境 .....   | 107 |
| 6.2.2 铁路的结构组成 .....      | 94         | 复习题 .....              | 108 |
| <b>7 桥梁工程 .....</b>      | <b>109</b> |                        |     |
| 7.1 桥梁工程概况 .....         | 109        | 7.2.3 刚架桥 .....        | 116 |
| 7.1.1 桥梁工程基本概念 .....     | 109        | 7.2.4 斜拉桥 .....        | 117 |
| 7.1.2 桥梁的组成 .....        | 109        | 7.2.5 悬索桥 .....        | 119 |
| 7.1.3 桥梁工程分类 .....       | 110        | 7.2.6 组合体系桥 .....      | 121 |
| 7.1.4 桥梁设计基本原则 .....     | 111        | 7.3 桥墩、桥台与桥梁基础 .....   | 122 |
| 7.1.5 桥梁工程设计要点 .....     | 111        | 7.3.1 桥墩 .....         | 122 |
| 7.1.6 桥梁技术的发展方向 .....    | 112        | 7.3.2 桥台 .....         | 123 |
| 7.2 桥梁结构型式 .....         | 113        | 7.3.3 桥梁基础 .....       | 123 |
| 7.2.1 梁式桥 .....          | 113        | 复习题 .....              | 124 |
| 7.2.2 拱式桥 .....          | 115        |                        |     |
| <b>8 港口工程与海洋工程 .....</b> | <b>125</b> |                        |     |
| 8.1 港口工程概念及发展简史 .....    | 125        | 8.4 港口中的主要建筑物 .....    | 129 |
| 8.2 港口分类与组成 .....        | 126        | 8.5 海洋工程概况 .....       | 135 |
| 8.3 港口规划与布置 .....        | 127        | 复习题 .....              | 137 |
| <b>9 隧道及地下工程 .....</b>   | <b>138</b> |                        |     |
| 9.1 隧道工程 .....           | 138        | 9.2.4 人防工程 .....       | 151 |
| 9.1.1 隧道的概念及分类 .....     | 138        | 9.3 隧道及地下工程的施工方法 ..... | 152 |
| 9.1.2 公路隧道 .....         | 140        | 9.3.1 明挖法 .....        | 152 |
| 9.1.3 铁路隧道 .....         | 142        | 9.3.2 矿山法 .....        | 153 |
| 9.1.4 水底隧道 .....         | 144        | 9.3.3 新奥法 .....        | 155 |
| 9.2 地下工程 .....           | 148        | 9.3.4 盾构法 .....        | 156 |
| 9.2.1 地下工业建筑 .....       | 148        | 9.3.5 其他施工方法 .....     | 157 |
| 9.2.2 地下贮藏建筑 .....       | 150        | 复习题 .....              | 159 |
| 9.2.3 城市地下综合体 .....      | 150        |                        |     |
| <b>10 水利水电工程 .....</b>   | <b>160</b> |                        |     |
| 10.1 水利水电工程概况 .....      | 160        | 10.2 农田水利工程 .....      | 162 |
| 10.1.1 水利水电工程基本概念 .....  | 160        | 10.2.1 灌溉与排水 .....     | 162 |
| 10.1.2 我国水利水电工程现状 .....  | 161        | 10.2.2 取水工程 .....      | 163 |

|                                     |     |                                   |     |
|-------------------------------------|-----|-----------------------------------|-----|
| 10.2.3 灌溉泵站与排水泵站 .....              | 164 | 10.3.3 水电站工程举例 .....              | 173 |
| 10.2.4 渠道工程与渠系建筑物 .....             | 165 | 10.4 防洪工程 .....                   | 175 |
| 10.3 水电工程 .....                     | 167 | 10.4.1 防洪规划 .....                 | 175 |
| 10.3.1 水能资源的开发方式及水电站的<br>基本类型 ..... | 167 | 10.4.2 防洪工程设施 .....               | 176 |
| 10.3.2 水电站建筑物及其作用 .....             | 171 | 复习题 .....                         | 177 |
| <b>11 给水排水工程</b> .....              | 178 |                                   |     |
| 11.1 给水排水工程概况 .....                 | 178 | 11.2.2 建筑给水工程 .....               | 180 |
| 11.1.1 给水排水工程分类 .....               | 178 | 11.3 排水工程 .....                   | 182 |
| 11.1.2 给水排水工程特征 .....               | 178 | 11.3.1 城市排水工程 .....               | 182 |
| 11.2 给水工程 .....                     | 178 | 11.3.2 建筑排水工程 .....               | 183 |
| 11.2.1 城市给水工程 .....                 | 178 | 复习题 .....                         | 185 |
| <b>12 土木工程的施工与管理</b> .....          | 186 |                                   |     |
| 12.1 土木工程的建设程序 .....                | 186 | 12.3.1 工程项目管理的基本概念和<br>主要内容 ..... | 199 |
| 12.1.1 建设程序基本内容 .....               | 186 | 12.3.2 工程项目招投标 .....              | 201 |
| 12.1.2 建设法规 .....                   | 187 | 12.3.3 工程合同管理 .....               | 201 |
| 12.2 土木工程施工 .....                   | 187 | 12.3.4 建设监理 .....                 | 203 |
| 12.2.1 土木工程施工特点 .....               | 187 | 12.4 房地产开发与物业管理 .....             | 204 |
| 12.2.2 施工准备 .....                   | 188 | 12.4.1 房地产开发项目投资决策 .....          | 204 |
| 12.2.3 施工组织设计 .....                 | 188 | 12.4.2 房地产开发经营管理 .....            | 205 |
| 12.2.4 建筑工程施工 .....                 | 190 | 12.4.3 物业管理的基本知识 .....            | 206 |
| 12.2.5 预应力混凝土工程施工 .....             | 198 | 复习题 .....                         | 207 |
| 12.3 工程项目管理 .....                   | 199 |                                   |     |
| <b>13 土木工程防灾与减灾</b> .....           | 208 |                                   |     |
| 13.1 工程灾害与预防 .....                  | 208 | 13.2 工程结构灾害检测与加固 .....            | 218 |
| 13.1.1 地震灾害 .....                   | 208 | 13.2.1 灾害材料学 .....                | 218 |
| 13.1.2 风灾 .....                     | 212 | 13.2.2 工程结构灾害检测与鉴定 .....          | 218 |
| 13.1.3 火灾 .....                     | 213 | 13.2.3 工程结构改造与加固 .....            | 218 |
| 13.1.4 地质灾害 .....                   | 214 | 13.2.4 意大利比萨斜塔加固实例 .....          | 219 |
| 13.1.5 工程事故灾害 .....                 | 217 | 复习题 .....                         | 221 |
| 13.1.6 固体废弃物污染 .....                | 217 |                                   |     |
| <b>14 数字化技术在土木工程中的应用</b> .....      | 222 |                                   |     |
| 14.1 计算机在土木工程中的应用 .....             | 222 | 教学 .....                          | 226 |
| 14.1.1 计算机辅助设计 CAD .....            | 222 | 14.2 信息化与智能化在土木工程中的<br>应用 .....   | 227 |
| 14.1.2 工程结构计算机仿真分析与<br>计算 .....     | 224 | 14.2.1 信息化施工 .....                | 227 |
| 14.1.3 工程项目管理中的计算机<br>应用 .....      | 224 | 14.2.2 智能化建筑 .....                | 227 |
| 14.1.4 土木工程中的计算机辅助 .....            |     | 14.2.3 智能化交通 .....                | 227 |
|                                     |     | 复习题 .....                         | 229 |
| <b>附录 某高校土木工程本科专业培养方案（节选）</b> ..... | 230 |                                   |     |
| <b>参考文献</b> .....                   | 238 |                                   |     |

# 1 绪 论

## 1.1 土木工程的内涵及属性

### 1.1.1 土木工程的内涵

(1) 中国古代哲学观点 五行学说认为世界万物由“金、木、水、火、土”组成。工程建设材料主要是土和木。

“土”包括：岩石、沙子、泥土、石灰、砖、瓦、陶瓷等；“木”包括：木材、茅草、藤条、竹子等。由此，“土木”组成了工程建设所用的材料，故以此作为工程建设的代名词。

中国历代封建王朝改朝换代之后，都要大修宫廷庙宇、皇家园林等，即为“大兴土木”。

(2) 西方国家观点 土木工程，英语为“civil engineering”，直译为民用工程，指除服务于战争的工程设施外，所有服务于生活和生产需要的民用设施。目前，将军用战壕、掩体、碉堡、浮桥、防空洞等防护工程也归入 civil engineering 范畴。

(3) 国务院学位委员会学科定义 中国国务院学位委员会在学科简介中定义：土木工程是建造各类工程设施的科学技术的总称，它既指工程建设的对象，即建在地上、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、维修等技术。土木工程包括下列两层含义。

第一层含义：是指与人类生活、生产活动有关的各类工程设施，例如房屋、道路、铁路、运输管道、隧道、桥梁、运河、堤坝、港口、电站、飞机场、海洋平台、给水和排水以及防护工程等；第二层含义：是指为了建造工程设施应用材料、工程设备在土地上进行过的勘察、设计、施工等工程技术活动。

(4) 土木工程专业的学科基础 土木工程主干学科是结构工程、岩土工程、桥梁与隧道工程；相关学科有市政工程，供热、供燃气、通风及空调工程，防灾减灾及防护工程，水工结构工程，港口、海岸及近海工程等。土木工程重要基础支撑学科有数学、物理学、材料科学、计算机科学与技术等。

### 1.1.2 土木工程的范围

土木工程的范围非常广泛，它包括房屋建筑工程，公路与城市道路工程，铁道工程，桥梁工程，隧道工程，机场工程，地下工程，给水排水工程，港口、码头工程等。国际上，运河、水库、大坝、水渠等水利工程也包括于土木工程之中。

土木工程对人类生存、国民经济、社会文明等方面的发展举足轻重。它是关乎人类生存的基础性产业，是国民经济发展的带动性行业。

人类生活离不开衣、食、住、行。“住”在房屋建筑中，与土木工程直接有关；“行”则需要建造铁道、公路、机场、码头等交通土木建筑工程，与土木工程直接有关；“食”需打井取水，筑渠灌溉，建水库蓄水，建粮食加工厂、粮食储仓等，与土木工程间接有关；“衣”的纺纱、织布、制衣要在工厂内进行，与土木工程间接有关。各种工业生产要建厂房，航天

业要建发射塔架和航天基地等基础设施。建筑工程如图 1.1 所示，道路与桥梁工程如图 1.2 所示，水利工程如图 1.3 所示，港口工程如图 1.4 所示。

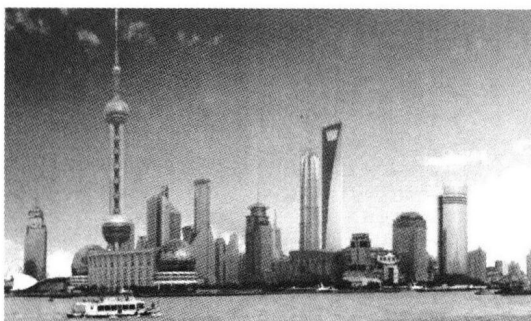


图 1.1 建筑工程

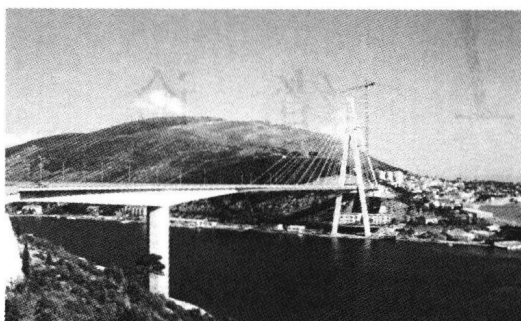


图 1.2 道路与桥梁工程

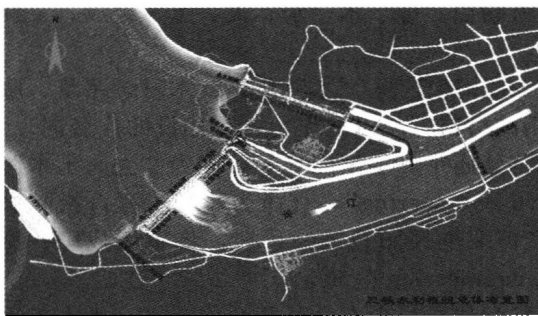


图 1.3 水利工程



图 1.4 港口工程

### 1.1.3 土木工程的属性

土木工程具有以下四个基本属性。

- (1) 社会性 随社会不同历史时期的科学技术和管理水平的发展而发展。
- (2) 综合性 运用多种工程技术，进行勘测、设计施工工作。
- (3) 实践性 由于影响土木工程的因素错综复杂，使土木工程对实践的依赖性很强。
- (4) 技术、经济 and 艺术的统一性 为人类需要服务，是每个历史时期技术、经济、艺术统一的见证。

## 1.2 土木工程的发展简史

根据土木工程在各个不同发展时期的理论基础、设计水平及施工技术，可将土木工程的发展分为古代、近代和现代三个阶段。

### 1.2.1 古代土木工程

土木工程发展第一阶段：公元前 5000 年开始至 17 世纪中叶时期，为古代土木工程阶段。

土木工程的古代时期是从公元前 5000 年开始的。人们在早期只能依靠泥土、木料及其他天然材料从事营造活动，后来出现了砖和瓦这种人工建筑材料，使人类第一次冲破了天然建筑材料的束缚。中国在公元前 11 世纪的西周初期制造出瓦。最早的砖出现在公元前 5 世纪至公元前 3 世纪的战国时代。砖和瓦具有比土更优越的力学性能，可以就地取材，而又易

于加工制作。

砖和瓦的出现使人们开始广泛地、大量地修建房屋和城防工程等。由此土木工程技术得到了飞速的发展。直至 18~19 世纪,在长达两千多年时间里,砖和瓦一直是土木工程的重要建筑材料,为人类文明做出了伟大的贡献,甚至在目前还被广泛采用。

古代土木工程缺乏基本设计理论依据,主要依靠实践经验施工;生产工艺和施工机具也很简单,主要采用斧、锤、刀、铲、石夯等施工机具。

古代土木工程有代表性的建筑举例如下。

(1) 埃及金字塔 胡夫金字塔(如图 1.5 所示)建于埃及第四王朝第二位法老胡夫统治时期(约公元前 2670 年)。胡夫金字塔的 4 个斜面正对东、南、西、北四方,误差不超过圆弧的  $3'$ ,底边原长 230m,由于塔外层石灰石脱落,现在底边减短为 227m,倾角为  $51^{\circ}52'$ 。胡夫金字塔原塔高为 146.5m,因年久风化,顶端剥落 10m,现高 136.5m。塔身是用 230 万块石料堆砌而成,大小不等的石料重达  $1.5\sim 160\text{t}$ ,塔总重约为  $6.84\times 10^6\text{t}$ ,它的规模是埃及迄今发现 108 座金字塔中最大的。整个金字塔建筑在一块巨大的凸形岩石上,占地约  $52900\text{m}^2$ ,体积约  $2.6\times 10^6\text{m}^3$ 。

(2) 土耳其伊斯坦布尔的索菲亚大教堂 索菲亚大教堂位于土耳其伊斯坦布尔(如图 1.6 所示),建于公元 532~537 年间。索菲亚大教堂是拜占庭建筑风格的代表作,其设计者为小亚细亚人安提美斯和伊索多拉斯。教堂占地面积约  $5400\text{m}^2$ ,主体呈长方形,中央大穹窿圆顶直径 33m,顶部离地 55m。



图 1.5 埃及胡夫金字塔



图 1.6 索菲亚大教堂

(3) 中国西安半坡村遗址 半坡遗址(如图 1.7 所示)位于陕西省西安市东郊灞桥区浐河东岸,是黄河流域一处典型的原始社会母系氏族公社村落遗址,属新石器时代仰韶文化,距今 6000 年左右。其于 1952 年发现,1954~1957 年发掘,面积约  $5.0\times 10^4\text{m}^2$ ,已发掘出



图 1.7 中国西安半坡村遗址

45 座房屋、200 多个窖穴、6 座陶窑遗址、250 座墓葬，出土生产工具和生活用品约 1 万件，还有粟、菜籽遗存。其中房屋有圆形、方形半地穴式和地面架木构筑之分。半坡遗址是我国首次大规模发掘的一处新石器时代村落遗址，1957 年建成博物馆。

(4) 都江堰水利枢纽 始建于约公元前 256~公元前 251 年(战国时期)的四川都江堰大型引水枢纽(如图 1.8 所示)，是历史上最大的无坝引水工程。此工程以灌溉为主，兼有防洪、水运、供水等多种效益，一直沿用至今。其规模之大，规划之周密，技术之合理，均为前所未有。

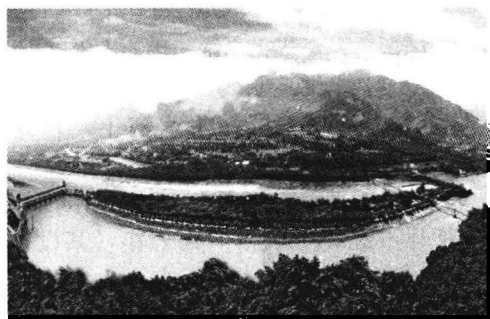


图 1.8 都江堰水利枢纽



图 1.9 山西应县木塔

(5) 山西应县木塔 应县木塔(如图 1.9 所示)，建于辽清宁二年(1056 年)，距今已有 900 多年的历史，是我国，也是世界上现存最古老、最高的木构建筑。全塔高 67.31m，底层直径 30.27m，外观九层，可用空间只有五层，谓“明五暗四”。各明层外柱均立在下层外柱的梁架上，并向塔心收进半柱径，使塔的外观轮廓构成一条优美的逐层收分的曲线。整座塔比例适当，巍巍耸立，蔚为壮观。

此外，北京故宫、天坛、万里长城、河北赵州桥、京杭大运河、西藏布达拉宫等宏伟建筑都是中国古代土木工程杰出的代表。

### 1.2.2 近代土木工程

土木工程发展第二阶段：从 17 世纪中叶至 20 世纪中叶的 300 年间。

近代土木工程阶段是土木工程发展史中迅猛前进的阶段，其主要特征如下。

① 有力学和结构理论作指导。材料力学、理论力学、结构力学、土力学、工程结构设计理论等学科逐步形成，设计理论的发展保证了工程结构的安全和人力物力的节约。

② 砖、瓦、木、石等建筑材料得到日益广泛的使用；混凝土、钢材、钢筋混凝土以及早期的预应力混凝土得到发展。

③ 施工技术进步很大，建造规模日益扩大，建造速度大大加快。

土木工程在这一时期的发展可分为奠基时期、进步时期和成熟时期三个阶段。

(1) 奠基时期 17 世纪到 18 世纪下半叶是近代科学的奠基时期，也是近代土木工程的奠基时期。伽利略、牛顿等所阐述的力学原理是近代土木工程发展的起点。

(2) 进步时期 18 世纪下半叶，瓦特对蒸汽机做了根本性的改进。规模宏大的产业革命，为土木工程提供了多种性能优良的建筑材料及施工机具，促使土木工程技术以空前的速度向前迈进。1824 年英国人 J. 阿斯普丁取得了一种新型水硬性胶结材料——波特兰水泥的专利权，1850 年左右开始生产。

1886 年，美国芝加哥建成 9 层家庭保险公司大厦(如图 1.10 所示)，初次按独立框架设计，并采用钢梁，是现代高层建筑的开端。

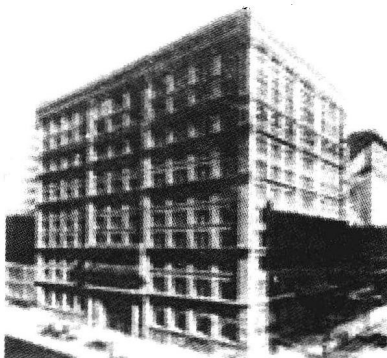


图 1.10 美国芝加哥家庭保险大厦



图 1.11 法国埃菲尔铁塔

1889 年法国建成高 300m 的埃菲尔铁塔（如图 1.11 所示），使用熟铁近 8000t。

近代土木工程逐渐发展到包括房屋、道路、桥梁、铁路、隧道、港口、市政、卫生等工程建筑和工程设施，不仅能够在地面，而且还能在地下或水域内修建。

1825 年在英国人斯蒂芬森在英格兰北部斯托克顿和达灵顿之间修筑了世界第一条长 21km 的铁路。1863 年在伦敦又建造了世界第一条地下铁道（如图 1.12 所示）。此后，美、法、德、俄、日等国大城市相继建设地铁网。

1890 年由贝格设计并建成的福斯桥位于英国爱丁堡市（如图 1.13 所示），两孔主跨达 521m，耗钢 50000t，属于悬臂式桁架梁桥。



图 1.12 英国伦敦地铁

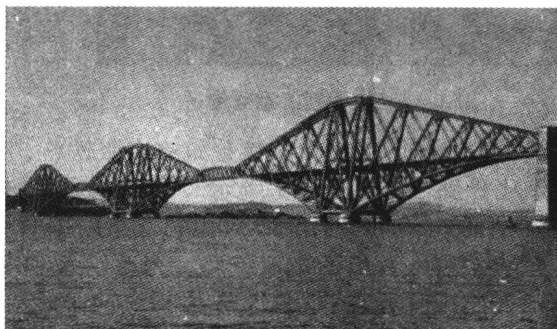


图 1.13 英国爱丁堡的福斯桥

（3）成熟时期 第一次世界大战以后，近代土木工程发展到成熟阶段。

1931 年，美国纽约建成了帝国大厦（如图 1.14 所示），大厦有 102 层，高 378m（雄居世界最高 40 年），钢骨架重 5 万多吨，用了 67 部电梯。该大厦在美国经济最萧条、最不景气的时候，以仅仅不到 2 年的时间建成。

在交通运输方面，由于汽车在陆路交通中具有快速和机动灵活的特点，道路工程的地位日益重要。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（如图 1.15 所示），美国和欧洲其他一些国家相继效法。

20 世纪初出现了飞机，飞机场工程迅速发展起来。钢铁质量的提高和产量的上升，使建造大跨桥梁成为现实。1932 年，澳大利亚建成悉尼港桥（如图 1.16 所示），为双铰钢拱结构，跨度 503m，是当时世界最大跨度钢拱桥；1937 年美国旧金山建成金门悬索桥（如图 1.17 所示），跨度 1280m，全长 2825m，是公路桥的代表性工程。



图 1.14 美国纽约帝国大厦



图 1.15 德国早期的高速公路网

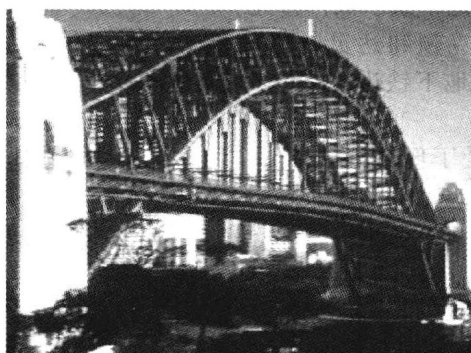


图 1.16 澳大利亚悉尼港桥



图 1.17 美国旧金山金门悬索桥

我国近代土木工程代表性建筑有京张铁路、钱塘江大桥、上海国际饭店等。

京张铁路（如图 1.18 所示）起始自北京丰台柳村，经居庸关、八达岭、河北的沙城、宣化至张家口，全长约 200km，是中国首条不使用外国资金及人员，由中国人自行建设完成、投入营运的干线铁路。当时清政府委派詹天佑为京张铁路局总工程师（后兼任京张铁路局总办）。京张铁路在 1905 年 9 月 4 日开工，1909 年 8 月 11 日建成，同年 10 月 2 日通车，施工时间比原定缩短了两年；而建造成本比原来预算（729 万两白银）节省了 35 万两白银。



图 1.18 京张铁路及建成时情景



图 1.19 钱塘江大桥

钱塘江大桥（如图 1.19 所示）位于浙江省杭州市六和塔附近，是由我国桥梁工程专家茅以升主持建设的第一座公铁两用双层钢结构大桥。该桥全长 1453m，宽 9.1m，高 71m。钱塘江大桥于 1935 年 4 月动工，1937 年 9 月 26 日建成通车。

1906 年美国旧金山大地震，1923 年日本关东大地震，这些自然灾害推动了结构动力学和工程抗震技术的发展。

### 1.2.3 现代土木工程

土木工程发展的第三阶段：20 世纪中叶至今，为现代土木工程阶段，其主要特征如下。

（1）土木工程功能化 土木工程日益同它的使用功能或生产工艺紧密结合。公共和住宅建筑物要求建筑、结构、给水排水、采暖、通风、供燃气、供电等现代技术设备结合成整体。

工业建筑物往往要求恒温、恒湿、防微振、防腐蚀、防辐射、防火、防爆、防磁、防尘、防高（低）温、耐高（低）湿，并向大跨度、超重型、灵活空间方向发展。

发展高新技术和新技术对土木工程提出高标准要求。如发展核工业需要建造安全度极高的核反应堆和核电站；研究微观世界需要建造技术要求极高的加速度工程；发展海洋采、炼、贮油事业要求建造多功能的海洋工程，如海上钻井平台、海上炼油厂、海底油库等。

#### （2）城市建设立体化

① 高层建筑的大量兴起 由于城市人口大量聚集，人口密度猛增，造成城市用房紧张、地价昂贵，因此就迫使建筑物向空中发展，不少国家的高层建筑物几乎占整个城市建筑面积的 30%~40%。美国的高层建筑数量最多，高度在 160~200m 的建筑就有 100 多栋。近十年来，中国、阿拉伯联合酋长国、马来西亚、韩国的高层建筑有了很大的发展。目前，世界最高的建筑是位于阿拉伯联合酋长国的哈利法塔（即迪拜大厦），162 层，总高 828m，比中国台北 101 大厦高出 320m。哈利法塔（如图 1.20 所示）由美国建筑师阿德里安·史密斯（Adrian Smith）设计，由韩国三星公司负责营造，2004 年 9 月 21 日开始动工，2010 年 1 月 4 日竣工启用。

中国目前已建成的最高建筑是上海环球金融中心，是世界第三高楼（世界最高的平顶式大楼），楼高 492m，地上 101 层。正在建设中的中国第一高楼为上海中心大厦，预计 2014 年竣工，上海中心大厦设计总高度达 632m，建成后将与金茂大厦、上海环球金融中心形成“品”字形超高层建筑群（如图 1.21 所示），成为上海“新地标”。



图 1.20 阿拉伯联合酋长国的哈利法塔



图 1.21 上海超高层建筑群

② 地下工程的高速发展 如地下铁路、地下商场、地下停车场、地下体育馆、地下影剧院、地下工业厂房、地下仓库等，在有些城市已形成规模宏大的地下建筑群。

③ 城市高架公路、立交桥大量出现 1974 年 10 月, 中国第一座城市立交桥在北京复兴门建成, 是城区最早建成的苜蓿叶形互通式立交桥, 标志着我国城市公路桥梁设计建设跨上了一个新台阶 (如图 1.22 所示)。中国已建成的城市立交桥不计其数, 目前我国在建的最大立交桥是天津复兴路立交桥 (如图 1.23 所示), 该立交桥占地  $15\text{hm}^2$ , 桥梁面积  $65680\text{m}^2$ 。



图 1.22 北京复兴门立交桥

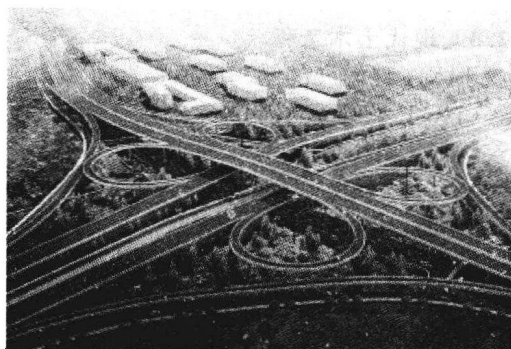


图 1.23 天津复兴路立交桥

### (3) 交通运输高速化

① 高速公路的大规模修建 到 2009 年底, 全世界已有 80 多个国家和地区拥有高速公路, 通车总里程超过了 23 万公里。目前, 美国拥有约 10 万公里高速公路, 居世界第一, 约占世界高速公路总里程的一半, 连接了所有 5 万人以上的城镇。到 2009 年底, 中国高速公路的通车总里程达 6.5 万公里, 居世界第二。1988 年 10 月 31 日, 上海至嘉定 18.5km 高速公路建成通车, 使中国内地有了高速公路。此后, 我国高速公路建设突飞猛进, 2004 年 8 月底突破了 3 万公里。

② 铁路电气化的形成和大量发展 1964 年 10 月, 世界第一条高速铁路——日本东京至大阪的“新干线”建成, 它的行车速度达  $210\text{km/h}$ , 为普通铁路的三倍。1983 年建成的法国巴黎到里昂的高速铁路运行速度达  $270\text{km/h}$ , 把高速铁路的发展推向新阶段。中国第一条高速铁路——京津城际铁路 (商业平均运营速度约  $230\text{km/h}$ ) 于 2008 年 8 月 1 日开通运营。2008 年 4 月 18 日, 京沪高速铁路全面开工建设。京沪高速铁路是世界上建成线路最长、标准最高的高速铁路, 由中国自主建设。京沪高速铁路自北京南站至上海虹桥站, 新建双线铁路全长  $1318\text{km}$ , 设计速度为  $350\text{km/h}$ 。到 2020 年, 中国时速在  $200\text{km/h}$  以上的高速铁路里程将会达到 5 万公里。

③ 长距离海底隧道的出现 如日本越过津轻海峡的青函海底铁路隧道长达  $53.85\text{km}$ , 1988 年 3 月 13 日正式通车, 是世界上最长的海底铁路隧道, 它的埋深为  $140\text{m}$ 。1990 年贯通的英法海峡隧道长  $50.5\text{km}$  (如图 1.24 所示), 它的最浅处埋深为  $45\text{m}$ , 海水深度  $60\text{m}$ 。我国 1970 年建成通车的第一条水底隧道 (上海黄浦江隧道) 全长  $2.76\text{km}$ 。2009 年 8 月, 中国长江上隧道长度最长 (总长约  $6.2\text{km}$ )、盾构直径最大 (近  $15\text{m}$ )、工程难度最高的“万里江隧”——南京长江隧道全线贯通。

④ 航空、航海业飞速发展 目前, 航空港遍布世界各地, 北京首都机场 2005 年年吞吐量达 4100 万人次, 超过美国芝加哥国际机场。近 30 年, 航海业迅猛发展, 世界上的国际贸易港口超过 2000 个, 并出现了大型集装箱码头。中国的塘沽、上海、北仑、广州、湛江等港口也已逐步实现现代化, 其中一些还建成了集装箱码头泊位。在现代土木工程出现上述特征的情况下, 构成土木工程的三个要素 (材料、施工和理论) 也出现了新的趋势。

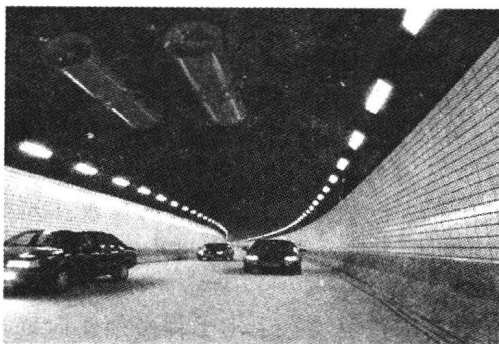


图 1.24 英法海峡隧道

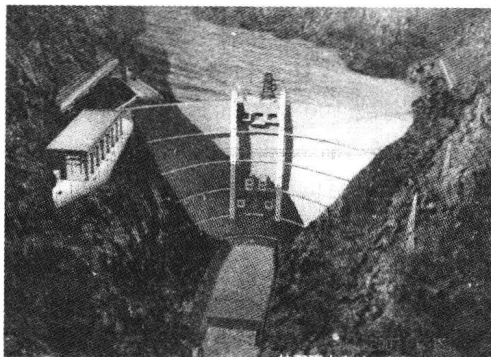


图 1.25 青海龙羊峡拱坝

(4) 工程设施大型化 为满足能源、交通、环保及大众公共活动需要,很多大跨度桥梁、体育馆、展览馆、储油罐、核电站、水利枢纽等大型工程陆续建设。

20 世纪中叶以来,由于设计理论和施工技术的提高,水利工程建筑速度加快,规模增大,200m 以上的高坝不断出现。最高的重力坝是瑞士的大狄克逊坝,坝高 285m;最高的拱坝是前苏联于 1981 年建成的英古里坝(位于格鲁吉亚英古里河上),坝高为 271.5m;最高的土石坝是塔吉克共和国的罗贡坝,坝高 325m。新中国成立以来我国共兴建了 86000 多座水库,是世界上水库最多的国家之一,已建成的青海龙羊峡混凝土重力拱,坝高 178m(如图 1.25 所示)。2006 年 5 月,全长 2309m 的长江三峡大坝建成(设计高程海拔 185m),是世界上规模最大的混凝土重力坝。

(5) 建筑材料的轻质、高强度 建筑材料正向轻质、高强度方向发展。尤其发展迅速的是普通混凝土向轻骨料混凝土、加气混凝土和高性能混凝土方向发展,使结构性能得到很大改善。此外,钢材也向低合金、高强度方向发展;一批轻质高强度材料,如铝合金、建筑塑料、石膏板、玻璃钢也得到迅速发展。中国从 20 世纪 60 年代起普遍推广了锰硅系列和其他系列的低合金钢,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,使预应力混凝土结构(先张法和后张法)在桥梁、房屋等工程中得以推广使用。

(6) 施工过程工业化 土木工程的施工出现了在工厂里成批生产房屋、桥梁的各种构配件、组合体,再将它们运到建设场地进行拼装的方式。此外,各种先进的施工手段,如大型吊装设备、混凝土自动搅拌输送设备、现场预制模板、土石方工程中的定向爆破也得到很大发展。

(7) 设计理论的精确、科学化 表现为理论分析由线性分析到非线性分析,由平面分析到空间分析,由单个分析到系统的综合整体分析,由静态分析到动态分析,由经验定值分析到随机分析乃至随机过程分析,由数值分析到模拟试验分析,由人工手算、人工做方案比较、人工制图到计算机辅助设计、计算机优化设计、计算机制图。此外,土木工程各理论,如可靠度理论、土力学和岩体力学理论、结构抗震理论、动态规划理论、网络理论等也得到迅速发展。

### 1.3 土木工程的未来

土木工程目前所面临的形势如下。

① 世界正经历工业革命以来的又一次重大变革，就是信息工业（计算机、通信、网络等）的迅猛发展，这将使人类的生产、生活方式发生重大变化。

② 地球上居住人口激增，到 2009 年底，世界人口已达到 67 亿，预计到 21 世纪末，世界人口将突破 100 亿。而地球上的资源是有限的，并且因过度消耗而日益枯竭。

③ 航空、航天事业等高科技事业将不断发展，月球上已经留下人类的足迹，对火星及太阳系内外星空的探索已取得重大进展。

④ 人类生态环境受到严重破坏，如森林植被破坏、土地荒漠化、河流海洋水体污染，城市垃圾成山、空气混浊、大气臭氧层破坏等。工业不断发展、科技不断进步，人类的生存环境却日益恶化。

由此可见，人类为争取生存，为了争取比较舒适的生存环境，土木工程必须要向更宽、更高、更深、更远等领域发展，并应走可持续发展之路。

(1) 重大工程项目将陆续兴建 在我国除了建设标志性的大厦以外，还要大量建设商品住宅。目前我国城市人均住房面积  $10\text{m}^2$  左右，而发达国家多在  $20\text{m}^2$  以上。考虑到我国人口基数大，加上城市化进程加速，对住宅的需求压力是很大的。这也就为今天的土木工程专业学生、明天的土木工程师们提供了广泛的就业机会和施展才能的舞台。

(2) 未来房屋将向更高发展 在一些大城市，高层、超高层建筑将不断兴建，世界第一高度大厦的纪录将不断被刷新，日本拟建的 SKY CITY 未来房屋，高 2000m，可容纳 100 万人居住（如图 1.26 所示）。

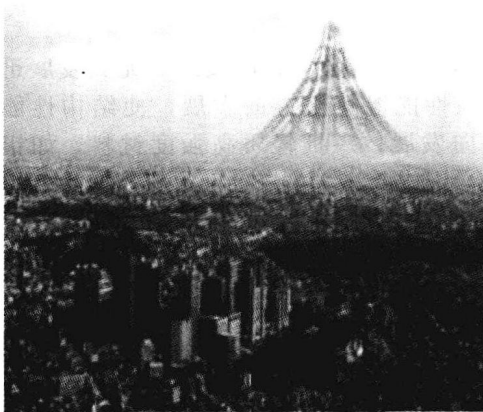


图 1.26 日本拟建的 SKY CITY 房屋造型

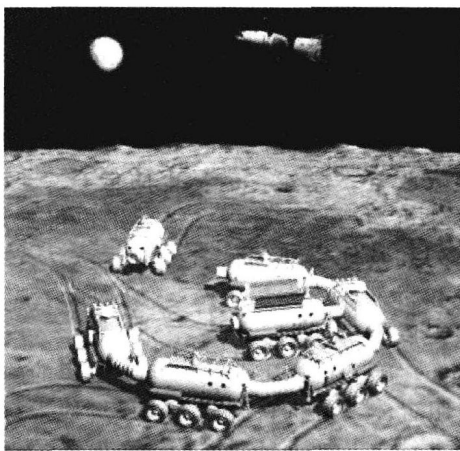


图 1.27 美国拟建的月球基地

未来的房屋将再也找不到砖、瓦等古老的材料，而是用各种各样的塑料、玻璃、轻金属以及许多新型轻金属材料建造的。建筑材料大都是预制的，用机器人盖房子将成为可能。将研制出打不碎并不沾尘的玻璃；根据温度差改变色彩的墙壁；接通室外垃圾箱的中央吸尘装置；具有通气性能的微孔地面，可自动开启便于采光通风的屋顶等。

(3) 土木工程将向太空、海洋、荒漠地带发展 向太空发展是人类长期的梦想，在 21 世纪这一梦想可能变为现实。美籍华裔科学家林柱铜博士利用从月球带回来的岩石烧制成了水泥。可以设想，只要带上的氢、氧到月球就能化合成水，则可以在月球上就地制造混凝土。2006 年 12 月，美国宇航局对外公布了“重返月球”计划，其核心目标是 2024 年在月球上建立永久基地，月球南极有望成为选址地点。建成后的月球基地上将有探测车和生活区，能够实现电力供应，保证宇航员在月球上长期生活（如图 1.27）。与地球相似的是火星，但火星上缺氧，如何使火星地球化，人们设想利用生物工程特制氧微生物及低等植物移