



住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材
(经典精品系列教材)

桥梁工程

(第三版)

房贞政 陈宝春 上官萍 主编
范立础 主审

中国建筑工业出版社

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材
(经典精品系列教材)

桥 梁 工 程

(第三版)

房贞政 陈宝春 上官萍 主编
范立础 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

桥梁工程/房贞政,陈宝春,上官萍主编. —3版. —北京:中国建筑工业出版社,2018.12

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材.
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材 高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材(经典精品系列教材)

ISBN 978-7-112-22857-7

I. ①桥… II. ①房… ②陈… ③上… III. ①桥梁工程—高等学校—教材 IV. ①U44

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第242774号

本书主要根据近年来我国新修订的《公路工程技术标准》JTG B01—2014、《公路桥涵设计通用规范》JTG D60—2015、《城市桥梁设计规范》CJJ 11—2011及《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362—2018等对第二版教材进行了更新,增加了国内外桥梁最新的发展概况,同时各章增加了主要学习内容和复习思考题与习题,以便学生深入学习。本书主要内容包括:总论,简支板、梁桥上部结构,拱桥上部结构,桥梁支座、墩台与基础,其他桥梁等。

本书可作为高等学校土木工程、交通工程、桥梁工程等专业的教材,也可供从事桥梁工程设计和施工的工程技术人员参考使用。

本书作者制作了配套的教学课件,有需要的任课老师可以发送邮件至:jiangongkejian@163.com索取。

责任编辑:吉万旺 王 跃 齐庆梅

责任校对:焦 乐

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材
(经典精品系列教材)

桥 梁 工 程

(第三版)

房贞政 陈宝春 上官萍 主编
范立础 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

天津翔远印刷有限公司印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:20 $\frac{1}{2}$ 字数:512千字

2019年2月第三版 2019年2月第十五次印刷

定价:49.00元(赠课件)

ISBN 978-7-112-22857-7

(32969)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

出版说明

为规范我国土木工程专业教学，指导各学校土木工程专业人才培养，高等学校土木工程学科专业指导委员会组织我国土木工程专业教育领域的优秀专家编写了《高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材》。本系列教材自 2002 年起陆续出版，共 40 余册，十余年来多次修订，在土木工程专业教学中起到了积极的指导作用。

本系列教材从宽口径、大土木的概念出发，根据教育部有关高等教育土木工程专业课程设置的教學要求编写，经过多年的建设和发展，逐步形成了自己的特色。本系列教材曾被教育部评为面向 21 世纪课程教材，其中大多数曾被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材和普通高等教育土建学科专业“十五”、“十一五”、“十二五”规划教材，并有 11 种入选教育部普通高等教育精品教材。2012 年，本系列教材全部入选第一批“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

2011 年，高等学校土木工程学科专业指导委员会根据国家教育行政主管部门的要求以及我国土木工程专业教学现状，编制了《高等学校土木工程本科指导性专业规范》。在此基础上，高等学校土木工程学科专业指导委员会及时规划出版了高等学校土木工程本科指导性专业规范配套教材。为区分两套教材，特在原系列教材丛书名《高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材》后加上经典精品系列教材。2016 年，本套教材整体被评为《住房城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材》，请各位主编及有关单位根据《住房城乡建设部关于印发高等教育 职业教育土建类学科专业“十三五”规划教材选题的通知》要求，高度重视土建类学科专业教材建设工作，做好规划教材的编写、出版和使用，为提高土建类高等教育教学质量和人才培养质量做出贡献。

高等学校土木工程学科专业指导委员会
中国建筑工业出版社

第三版前言

《桥梁工程》第二版（2010年出版），至今已使用近8年，被评为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材和住房城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材。这期间中华人民共和国交通运输部发行了新的相关行业规范，主要包括《公路工程技术标准》JTG B01—2014、《公路桥涵设计通用规范》JTG D60—2015、《城市桥梁设计规范》CJJ 11—2011及《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362—2018等。与此同时，近10年我国的桥梁建设更是日新月异、发展迅速。第二版教材需要根据新规范以及本科教学的需求进行更新修订。

新修订的《桥梁工程》第三版，教材内容章节安排不变，教学学时不变。修订的主要内容包括依照现行规范的规定对全书相关内容进行更新；增加了国内外桥梁最新的发展概况；同时各章增加了主要学习内容和复习思考题，以便学生深入学习；参考文献中增加最新的设计和施工管理等现行的规范及相关规程与文献。参与本次教材修订的主要有房贞政、陈宝春、上官萍、陈永健等教师。希望广大使用本教材的师生继续提出宝贵的意见。

编者

2018年9月

第二版前言

本教材作为少学时的《桥梁工程》自 2004 年第一版发行以来，被许多高校采用，被列为普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材和高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材。近年来，我国的桥梁建设突飞猛进、日新月异，同时我国更新了某些桥梁工程的设计与施工规范。为体现我国桥梁建设的最新成果与发展趋势，并适应新规范的要求，特修编本教材。

本教材的第二版为延续原有教学的计划与安排，仍保持原有的章节结构。教材在桥梁技术、跨径纪录等方面体现最新的成果与发展趋势，各章中内容稍有调整。第三章的拱桥上部结构部分对传统的石拱、双曲拱、桁架拱等进行了调整，对近 20 年来应用较多的混凝土箱拱、钢管混凝土拱和钢拱增加了介绍的分量。第二版全书的编写均按新规范的要求，有关的算例亦按新规范重新编写。

教材的编写要反映工程建设的科学进步，同时教材又需要在教学过程中不断地完善，因此，我们衷心地感谢使用本教材的师生，并诚恳地希望能向我们提出宝贵的意见，使本教材日臻完善。

第一版前言

本《桥梁工程》教材是根据建设部高等土木工程专业教学指导委员会 2001 年审定的编写大纲编写的。本教材主要适用于土木工程专业少学时的桥梁工程课程。本书共有五章。

第一章总论主要介绍国内外桥梁建筑的发展概况、桥梁的组成与分类、桥梁的规划设计原则、桥梁的设计荷载以及桥面布置与构造。

第二章介绍简支板、梁桥上部结构的构造特点和设计计算方法。主要介绍简支板、梁桥上部结构的设计与构造、桥面板的设计与计算，重点介绍简支梁桥主梁内力的计算方法、荷载横向分布计算的原理和各种常用的横向分布的计算方法。另外简单介绍简支钢板梁和钢桁梁的构造特点和一般的设计计算方法。

第三章介绍拱桥的组成与分类、常见拱桥的构造特点、拱桥受力特点、主拱的设计计算要点、单跨悬链线无铰板拱的设计以及拱桥的施工。

第四章介绍桥梁支座、墩台、基础的作用与功能，常用支座、墩台、基础的构造形式，以及部分常用支座、墩台、基础计算的主要内容。

第五章简要阐述预应力混凝土连续梁桥、连续刚构桥、斜拉桥与悬索桥的结构体系、主要构造、计算要点与施工方法。

本书的第一章由房贞政编写，第二章由上官萍编写，第三章与第五章由陈宝春编写，第四章由郑振编写。全书由房贞政教授主编，同济大学中国工程院院士范立础教授主审。

限于水平，本教材中的不妥之处，请批评指正。

编 者

2003 年 3 月

目 录

第1章 总论	1
1.1 国内外桥梁发展概况	1
1.1.1 我国桥梁建筑的成就	1
1.1.2 国外桥梁建设简述和发展趋向	4
1.2 桥梁的分类、组成与主要桥型	6
1.2.1 桥梁的分类	6
1.2.2 桥梁的组成	7
1.2.3 桥梁的主要类型	9
1.2.4 城市立交桥	12
1.3 桥梁的规划与设计基本原则	13
1.3.1 桥梁的规划设计	13
1.3.2 桥梁纵、横断面设计和平面布置	16
1.4 桥梁所受的作用	19
1.4.1 桥梁作用的分类	19
1.4.2 规范中有关作用的规定	20
1.4.3 作用效应组合	26
1.5 桥面布置与构造	27
1.5.1 桥面铺装	28
1.5.2 桥面排水系统	29
1.5.3 伸缩缝与伸缩装置	31
复习思考题与习题	33
第2章 简支板、梁桥上部结构	34
2.1 简支板、梁桥上部结构的设计与构造	34
2.1.1 截面形式与分块方式	34
2.1.2 结构布置	40
2.1.3 钢筋构造	45
2.2 桥面板的设计与计算	50
2.2.1 桥面板的分类	50
2.2.2 车辆在板上的分布	51
2.2.3 桥面板的有效工作宽度	52
2.2.4 桥面板的内力计算	56
2.3 简支梁桥内力计算	59
2.3.1 主梁内力计算	59
2.3.2 荷载横向分布计算	66

2.3.3 结构挠度与预拱度计算	99
2.3.4 斜板桥的受力特点和构造简介	100
2.4 简支钢板梁和钢桁梁桥	104
2.4.1 钢桥概述	104
2.4.2 钢板梁桥	110
2.4.3 简支钢桁梁桥	117
复习思考题与习题	123
第3章 拱桥上部结构	127
3.1 概述	127
3.2 拱桥的分类	129
3.2.1 按行车道位置分类	129
3.2.2 按照结构体系分类	130
3.2.3 按照主拱的截面形式分类	132
3.3 常见拱桥的构造特点	133
3.3.1 钢筋混凝土拱肋与箱拱	133
3.3.2 钢管混凝土拱	139
3.3.3 钢拱	147
3.3.4 其他拱桥石板拱	150
3.4 单跨悬链线无铰板拱的设计	158
3.4.1 确定桥梁的设计标高和矢跨比	158
3.4.2 主拱圈截面尺寸的拟定	159
3.4.3 拱轴线选择	160
3.4.4 其他结构设计	166
3.5 拱桥受力特点与主拱的设计计算要点	169
3.5.1 概述	169
3.5.2 恒载内力计算	170
3.5.3 活载内力计算	172
3.5.4 温度变化、混凝土收缩和拱脚变位的内力计算	177
3.5.5 裸拱内力计算	180
3.5.6 公路圬工拱桥拱圈强度及稳定性验算	181
3.6 拱桥施工	186
3.6.1 概述	186
3.6.2 有支架施工	188
3.6.3 缆索吊装施工	192
3.6.4 转体施工法	195
复习思考题与习题	198
第4章 桥梁支座、墩台与基础	200
4.1 桥梁支座	200
4.1.1 支座的作用和要求	200

4.1.2 支座的布置	200
4.1.3 支座的类型与构造	202
4.1.4 支座的设计与计算	207
4.2 桥墩和桥台	210
4.2.1 墩台的作用与要求	210
4.2.2 桥墩的类型与构造	211
4.2.3 空心高墩的施工	215
4.2.4 桥台的类型与构造	216
4.2.5 墩台的设计与计算	219
4.3 桥梁基础	222
4.3.1 基础的作用与要求	222
4.3.2 基础的类型与构造	222
4.3.3 刚性扩大基础的设计与计算	229
4.3.4 桩基单桩竖向承载力的计算	231
复习思考题与习题	238
第5章 其他桥梁	240
5.1 预应力混凝土桥与连续刚构桥	240
5.1.1 概述	240
5.1.2 主要结构与构造	242
5.1.3 预应力混凝土连续箱梁计算要点	251
5.1.4 施工方法简介	258
5.2 斜拉桥	265
5.2.1 概述	265
5.2.2 斜拉桥的结构与构造	266
5.2.3 斜拉桥计算要点	281
5.2.4 斜拉桥施工方法简介	285
5.3 悬索桥	288
5.3.1 概述	288
5.3.2 悬索桥的结构与构造	290
5.3.3 悬索桥计算要点	302
5.3.4 悬索桥施工方法简介	306
5.3.5 桥例	308
复习思考题与习题	312
参考文献	314

第1章 总 论

桥梁建筑是跨越江河、山涧，供人、车行的人工构造物。桥梁建筑的发展与人类的文明进步密切相关，应当说它源自远古自然，或许一根树偶然倒下横过溪流，藤蔓从河一岸的一棵树到另一岸的一棵树，天然洞穴等就是最早的桥梁。大约公元前 4000 年，人类开始定居，过着部落生活，开始更多地考虑永久性的桥梁。早期的桥梁均利用天然材料，简易而跨越能力极弱，且不耐久。此后，砖的发明开始了人工材料应用的历史，而铁的发明一方面为开采石头扩大其应用提供了可能，同时铁用于桥梁带来了桥梁技术的极大进步。19 世纪混凝土的发明、钢的应用，使桥梁技术产生了革命性的飞跃，从此进入了预应力混凝土桥与钢桥并驾齐驱的新时代。

新材料的应用是桥梁技术前进的巨大动力之一，而计算理论的发展、计算机应用得到普及后计算方法的发展是桥梁技术进步的另一个重要因素。从远古的经验积累，到后来的材料力学、结构力学、弹塑性力学等计算理论，容许应力法、极限状态法以及全概率设计的设计理论，也不断地推动着桥梁技术的进步。施工技术的进步和不断创新更使得当今的桥梁结构日新月异。可以说：目前，桥梁建筑已经进入辉煌的时代。

1.1 国内外桥梁发展概况

1.1.1 我国桥梁建筑的成就

中国是四大文明古国之一，桥梁技术的发展在世界桥梁史中占有重要的地位。在公元纪元初期，梁、拱、吊这三大桥梁体系已在我国形成。据史料记载，在距今约 3000 年的周文王时代，我国就已经在宽阔的渭河上架过大型浮桥。由于浮桥的架设具有简便快速的特点，所以它常被用于军事活动。汉唐以后，浮桥的运用日趋普遍。现代桥梁中广为修建的多孔桩式桥梁，在我国春秋战国时期（公元前 332 年）就已普遍在黄河流域和其他地区采用，不同的只是古桥多以木桩为墩桩，上置木梁、石梁。

近代的大跨径吊桥和斜拉桥也是由古代的藤、竹吊桥发展而来的，在各国有关桥梁的史书上，大都认为我国是最早建造吊桥的国家之一。据记载，最迟在唐朝中期，我国就从藤索、竹索发展到用铁链建造吊桥，而西方在 16 世纪才开始建造铁链吊桥，比我国晚了近千年。保留至今的古代吊桥有四川泸定县的大渡河铁索桥（1706 年）、都江堰市的安澜竹索桥（1803 年）等。泸定桥跨长约 100m，宽约 2.8m，由 13 条锚固于两岸的铁链组成。安澜桥是世界上最著名的竹索桥，全长 340 余米，分 8 孔，最大跨径约 61m，全桥由用细竹篾编成粗 5 寸的 24 根竹索组成，其中桥面索和扶栏索各半。

在秦汉时期，我国已广泛修建石梁桥。现存的福建泉州万安桥（也称洛阳桥），建于 1053~1059 年，是一座具有很高技术成就的石梁桥。此桥长达 800m，共 47 孔，位于“波涛汹涌，水深不可址”的海口江面上。它以磐石遍铺桥位江底，是近代筏形基础的开

端,首次采用的浮运架梁方法至今仍在桥梁施工中得到应用。近千年前就能在这种艰难复杂的水文条件下建成如此长的桥,实为中外桥梁史上的一个奇迹。此外,该桥采用养殖海生牡蛎的方法胶固桥基,使之成为整体,在当时缺乏固结材料的条件下是一独具匠心的创造。

另一座令人惊奇、保存至今的石梁桥是1240年建造的福建漳州虎渡桥。此桥总长约335m,某些石梁长达23.7m,沿宽度用三根石梁组成,每根宽1.7m,高1.9m,重量达200t,在缺乏现代大型吊装设备的时代,如此重的石梁如何安装至今还是一个难解之谜。

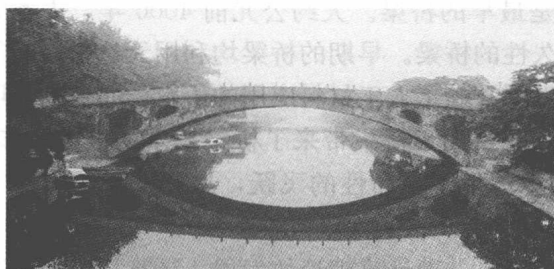


图1-1 河北赵县赵州桥(公元605年)

除赵州桥外,我国还有其他著名的石拱桥,如北京永定河上的卢沟桥、颐和园内的玉带桥和十七孔桥、苏州的枫桥等。

在我国古代桥梁建筑中,著名的还有广东潮安县横跨韩江的湘子桥(又名广济桥、济川桥)。此桥始建于宋乾道年间(公元1169~1173年),全长517.95m,共20个墩台19孔,上部结构有石拱、木梁、石梁等多种形式,西岸长137m,东岸长283m,而中间段以浮桥相连,长97m。桥定时启闭,以通行大船和排筏,是著名的开合浮桥。这座世界上最早的开合式桥,论石桥之长、石墩之大、桥型之多以及施工条件之难、工程历时之久,都是古代建桥史上所罕见的。

新中国成立后,1957年第一座长江大桥——武汉长江大桥建成,结束了我国万里长江无桥的状况,从此,“一桥飞架南北,天堑变通途”。大桥的正桥为三联 $3\times 128\text{m}$ 的连续钢桁梁。该桥为双层桥,下层铁路,上层公路,公路桥面宽18m,两侧各设2.25m人行道,包括引桥在内全桥总长1670.4m。该桥的大型钢梁的制造和架设、深水管桩基础的施工等,为发展我国现代桥梁技术奠定了重要的基础。

1969年我国又建成了举世瞩目的南京长江大桥(图1-2),这是我国自行设计、制作、施工,并使用国产高强度钢材的现代化大型桥梁。正桥除北岸第一孔为128m简支钢桁梁外,其余为9孔3联,每联为 $3\times 160\text{m}$ 的连续钢桁梁。上层为公路桥面,下层为双线铁路。包括引桥在内,铁路桥部分全长6772m,公路桥部分为4589m。桥址处水深流急,河床地质极为复杂,大桥桥墩基础的施工非常困难。南京长江大桥的建成,显示出我国的建桥事业已达到了世界先进水平,也是我国现代桥梁史上

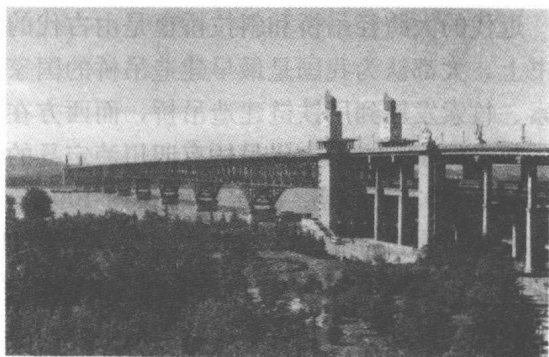


图1-2 南京长江大桥(1969年)

又一个重要标志。

我国还创造和推广了不少新颖的拱桥结构，如在 20 世纪 60 年代后期以“化整为零，集零为整”技术建造的双曲拱桥，它具有用料省、造价低、施工简便和外形美观的优点，同时由于其上部结构自重小，还适合于在软土地基上建造拱桥，对加快我国公路桥梁的建设速度，曾起到了很大作用。

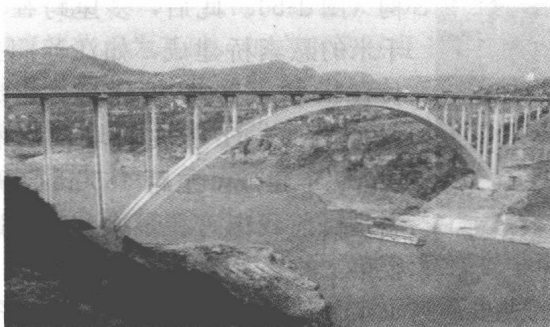


图 1-3 重庆万县长江大桥

对于大跨拱桥，目前已广泛采用斜拉悬臂施工、转体施工、劲性骨架施工法等。图 1-3 所示是国道 318 线上的万县长江大桥。此桥全长 856.12m，主跨为 420m 的钢筋混凝土拱桥，跨度居世界同类型桥梁之冠。我国不但继承了传统拱桥工艺，而且现代拱桥技术也在不断创新。目前，我国的各式拱桥已有多项世界跨越纪录：石拱桥 146m（山西丹河桥）、混凝土肋拱桥 312m（广西邕宁桥）、桁架拱桥

330m（贵州江界河桥）和箱式拱桥 420m（重庆万县长江桥）等。20 世纪 90 年代初我国开始修建钢管混凝土拱桥。钢管混凝土是在薄壁钢管内填充混凝土，使两者共同工作的一种组合材料，从而具有比普通混凝土大得多的承载力和跨越能力；施工时先架设钢管骨架，自重轻，施工方便。钢管混凝土拱桥目前最大的跨径是巫峡长江大桥的 460m。进入 21 世纪，我国修建了一些大跨径的钢拱桥，如主跨 550m 的上海卢浦大桥（钢箱拱）、主跨 552m 的重庆朝天门大桥（钢桁拱）。

20 世纪，钢筋混凝土与预应力混凝土的梁式桥在我国也获得了很大的发展。对于中小跨径的梁桥，已广泛采用装配式的钢筋混凝土及预应力混凝土板式或 T 形梁桥的定型设计，它不但经济适用，而且施工方便，加快了建桥速度。1976 年建成的洛阳黄河公路大桥，为跨径 50m 的预应力混凝土简支梁桥，全长达 3.4km。

除简支梁桥以外，近 30 年来我国还修建了许多现代化的大跨径预应力混凝土 T 形刚架桥、悬臂梁桥、连续梁桥和连续刚构桥。已建成的黄石长江公路大桥，全桥总长约 2580.08m，其中主桥长 1060m，为 $(162.5 + 3 \times 245 + 162.5)$ m 五跨预应力混凝土连续刚构桥。

我国于 1975 年开始建造斜拉桥。从最早的四川省云阳汤溪河桥到 20 世纪 90 年代的上海市的南浦大桥、杨浦大桥，我国的斜拉桥技术在短短的几十年时间内赶上了世界先进水平。至今我国已建跨径 400m 以上的斜拉桥 40 余座，其中预应力混凝土梁斜拉桥跨径已达 500m（湖北荆沙桥），组合式截面梁斜拉桥跨径达到 605m（福建闽江青州桥），钢箱梁斜拉桥跨径更是达到 1088m 的世界新纪录（江苏苏通长江大桥）。在世界跨径最大的 10 座斜拉桥中我国占有 8 座，成为世界斜拉桥的大国并向强国迈进。

悬索桥是目前具有最大跨越能力的桥型。我国现代悬索桥从广东汕头海湾大桥（1995 年建成，主跨 452m）开始，此后，采用钢箱加劲的湖北西陵长江大桥（主跨 900m，1996 年）和广东虎门大桥（主跨 888m，1997 年）建成（图 1-4），标志着我国进入能修建现代大跨度悬索桥国家的行列。



图 1-4 广东虎门大桥

江阴长江大桥是我国首座跨径超过千米的特大跨径桥梁。桥梁总长 3km，宽 36.9m，双向六车道。主跨采用 $336.5\text{m} + 1385\text{m} + 309.4\text{m}$ 的单孔简支钢悬索桥结构（图 1-5）。此后，多座跨径超千米的悬索桥建成，如江苏润扬长江大桥（2005 年建成，主跨 1490m）、浙江宁波西堠门大桥（2009 年建成，主跨 1650m），后者是目前我国跨径最大和世界跨径第二的悬索桥。

在桥梁基础工程方面我国也取得了很大的进步，例如苏通大桥的桩基采用 131 根直径 2.8m 或 2.5m 的钻孔灌注桩，水深 20~25m 以上，桩长 114~120m，基础为世界桥梁最深。再如，南京长江三桥，南塔的深水基础最深处在常水位条件下接近 50m，采用了定位船和两条导向船加上固定钢套箱组成浮动的水上施工平台的施工方案。



图 1-5 江阴长江大桥

随着我国交通事业的蓬勃发展，特别是改革开放 40 年以来，一些大规模的越江跨海的桥梁工程不断修建起来。已建成的有上海东海大桥（全长 31km）、浙江杭州湾跨海大桥（全长 36km）、上海长江口越江工程（桥梁部分全长 16.55km）、矮寨大桥（悬索桥，主跨 1176m）、北盘江大桥（亚洲第一高桥，主跨 388m，我国首座双向预应力混凝土加劲板梁）、泰州长江大桥（主跨 $2 \times 1080\text{m}$ 三塔双跨钢箱梁悬索桥，世界首创）、港珠澳大桥（全长为 49.968km，其中“海中桥隧”总长 35.578km）、青岛海湾大桥（大桥全长 36.48km）等；正在修建的有福建平潭海峡公铁两用大桥（世界上第一座真正意义上的公铁两用跨海大桥，全长 16.3km）等。随着经济技术的发展，还将有许多新型、大跨、大型的越江跨海桥梁诞生。

1.1.2 国外桥梁建设简述和发展趋向

在国外，欧洲的石拱桥可以说是世界古桥史上最光辉的篇章。早在罗马时代，石拱建

筑就得到了完美的应用。1855 年起,法国建造了第一批应用水泥砂浆砌筑的石拱桥。法国谢儒奈教授在拱架结构,拱圈砌筑方法以及减少圬工裂缝等方面的研究和改进,对现代石拱桥的发展起到了重要的作用。

大约在 1870 年时,德国建造了第一批采用硅酸盐水泥作为胶结材料的混凝土拱桥。20 世纪初,法国建成的戴拉卡混凝土箱形拱桥跨度达 139.80m。钢筋混凝土桥的崛起,要追溯到 1873 年法国的约瑟夫莫尼尔首创建成的一座拱式人行桥。由于有石拱桥的技术和建筑艺术为基础,加之钢筋混凝土突出的受压性能,所以钢筋混凝土拱桥的兴起,一开始就十分引人注目。从 19 世纪末到 20 世纪 50 年代间,钢筋混凝土拱桥无论在跨越能力、结构体系和主拱圈的截面形式上均有很大的发展。法国弗来西奈教授设计,于 1930 年建成的三孔 186m 拱桥和 1940 年瑞典建造的跨径 264m 的桑多桥,均达到了很高的技术水平。后者作为此种拱桥的跨度纪录,一直保持到 1964 年澳大利亚悉尼港柏拉马塔河桥(主跨 305m)的问世。鉴于修建钢筋混凝土拱桥时支架、模板的复杂性,加之耗费大量劳力,故在以后 10 多年中,国外较少采用。直至 1979 年,在前南斯拉夫(今克罗地亚)用悬臂施工方法建成了跨度达 390m 的克尔克(KRK-Ⅱ)桥(图 1-6),成为新的世界纪录。

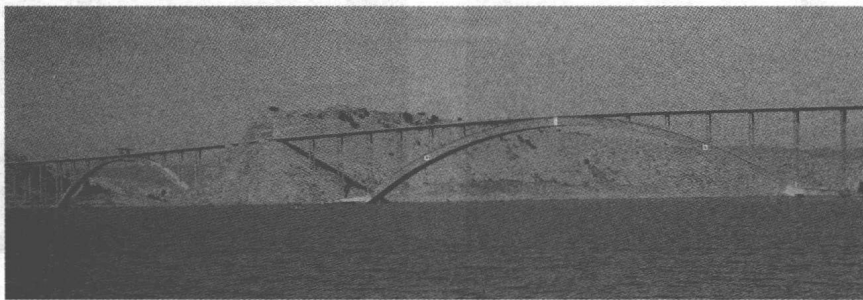


图 1-6 前南斯拉夫克尔克桥

国外在发展钢筋混凝土拱桥的同时,也修建了一批钢筋混凝土梁式桥,但限于材料本身所固有的力学特性,梁式桥的跨径远比拱桥小。1928 年法国著名工程师弗莱西奈经过 20 年研究使预应力混凝土技术得到实际应用后,新颖的预应力混凝土桥梁首先在法国和德国以异乎寻常的速度发展起来。德国最早用全悬臂法建造预应力混凝土桥梁,特别是在 1952 年成功地建成了莱茵河上的沃伦姆斯桥(跨度为 101.65m+114.20m+104.20m,具有跨中剪力铰的多跨刚架桥)后,这种方法就传播到全世界。10 年后莱茵河上另一座本道尔夫桥的问世,将预应力混凝土桥的跨度推进到 208m,悬臂施工技术也日臻完善。日本于 1976 年建成了当时世界上跨度最大的连续刚架桥——浜名大桥,主跨径为 55m+140m+240m+140m+55m。

斜拉桥是“二战”以来在世界桥梁建筑中发展最快的一种桥型,它是一种结构合理、跨越能力大且外形美观的先进桥型。1956 年德国工程师 Dischinger 在瑞典成功地建造了主跨 182.6m 的 Stroemsund 斜拉桥,1962 年委内瑞拉建成了宏伟的马拉卡波湖大桥(主跨跨径为 160m+5×235m+160m,总长达 9km),此后现代大跨度斜拉桥得到了蓬勃的发展。目前国外跨径最大的斜拉桥是法国的诺曼底大桥,全长 2141.25m,跨越塞纳河河口,主跨为 856m。

悬索桥是能够充分发挥钢材优越性能的一种桥型。美国在 19 世纪 50 年代从法国引进

了近代吊桥技术后,于19世纪70年代就发明了“空中架线法”编纺桥缆。1937年建成的旧金山金门大桥,主跨径1280.2m,曾保持了27年桥梁最大跨径的世界纪录(图1-7)。桥跨布置为 $342.9\text{m}+1280.2\text{m}+342.9\text{m}=1966\text{m}$,桥面宽27.43m。旧金山金门大桥的建成标志着现代大跨桥梁的建设成就,并成为一段时期内的桥梁模板。这种以钢桁架梁作为加劲梁的悬索桥通常被称为美式悬索桥,以此建成了不少大跨悬索桥。但是,塔科马大桥的倒塌事故说明了在风振影响下,悬索桥需要考虑的动力学问题。因此,英国率先设计建造了以流线型钢箱梁作为加劲梁的塞文桥(图1-8),1966年建成,是第一座用流线型钢箱加劲的悬索桥,跨径988m。以此作为英式悬索桥的代表。此后,大跨径悬索桥加劲梁的设计产生了两种不同的设计理念。第一种是采用刚度足够大的桁架加劲梁;第二种是采用闭口的流线型箱梁,通过减小风的作用来保证桥的稳定性。1998年丹麦的大贝尔特桥(东桥)[The Great Belt Link (East Bridge)]建成通车,主跨为1624m,名列当时世界第一,是目前英式悬索桥中跨径最大的一座。

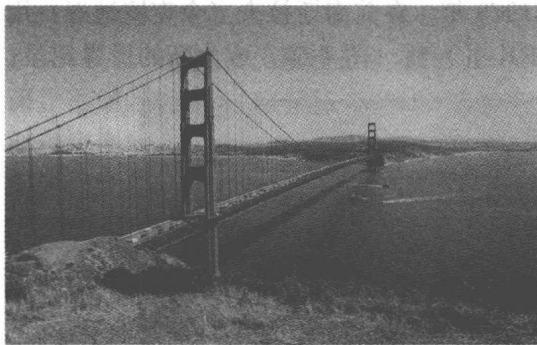


图 1-7 金门桥总体布置(1937年)

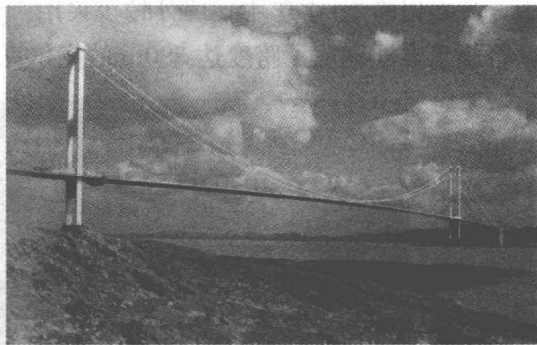


图 1-8 英国塞文大桥总体布置(1966年)

英国1981年建成的恒伯尔桥,主跨径1410m,是当时世界跨径最大的悬索桥。1998年完工的日本明石海峡大桥,全长3910m,主跨径1991m,桥跨布置 $960\text{m}+1991\text{m}+960\text{m}$,桥宽35.5m,是目前世界上跨径最大的桥梁。1997年,香港青马大桥建成,跨径1377m;我国2005年通车的江苏润扬长江大桥,跨度1490m;2009年建成通车的浙江舟山西堠门大桥主跨达1650m,成为我国已建跨径最大的桥梁(世界悬索桥跨径第二名)。

20世纪以来,国内外桥梁建设中最突出的成就应当是预应力混凝土技术的广泛应用。当今世界上70%以上的现代化桥梁都采用预应力混凝土技术。与此同时,计算机在土建领域得到了广泛的应用,给结构和力学理论注入了新的生命力。目前,不仅在结构线性、非线性的空间分析,稳定分析,动力分析,风和地震响应分析方面都有了深入的发展,而且随着其他工业的发展,科学试验手段更趋先进,特别是对结构防灾和科学实验方法的发展,使人类已经能够建造更大跨径的桥梁。

1.2 桥梁的分类、组成与主要桥型

1.2.1 桥梁的分类

桥梁的分类可按其功能、使用的材料以及结构形式等进行分类。按用途分类:公路

桥、铁路桥、公铁两用桥、人行桥、管道桥、水路桥。按跨越障碍分：跨河桥、跨谷桥、跨线桥（立交桥）、高架桥、栈道。按使用材料分：木桥、石桥、钢桥、钢筋混凝土桥、预应力混凝土桥、组合桥。按通道位置分：上承式、下承式、中承式。按桥梁的平面形状分：直线桥、斜桥、曲线桥。按结构形式分：梁桥、拱桥、悬索桥、斜拉桥、刚架桥等。桥梁的其他分类还有：开启桥、固定桥、军用桥、民用桥、浮桥、临时便桥、永久性桥等。

我国《公路工程技术标准》JTG B01—2014 还按跨径划分了特大、大、中、小桥和涵洞，见表 1-1。

桥梁按跨径分类 表 1-1

桥梁分类	多孔桥梁总长 L (m)	单孔跨径 L_k (m)
特大桥	$L > 1000$	$L_k \geq 150$
大桥	$100 \leq L < 1000$	$40 \leq L_k < 150$
中桥	$30 < L < 100$	$20 \leq L_k < 40$
小桥	$8 \leq L \leq 30$	$5 \leq L_k < 20$
涵洞	—	$L_k < 5$

1.2.2 桥梁的组成

1. 桥梁的基本组成部分

桥梁结构一般分为上部与下部结构。上部结构包括桥面、桥道系、承重结构以及连接部件；下部结构为支座、桥墩、桥台及基础。各部分的组成及其作用见表 1-2。

桥梁的组成部分及各部分的作用 表 1-2

桥梁的组成部分				各组成部分的作用
桥梁	上部结构	桥面	公（铁）路面、人行道	车辆或行人行走部分
		桥道结构	纵梁、横梁或其他形式	支承桥面，将荷载传给承重结构
		承重结构	主梁（拱或索）	架立在支座上，将荷载传给支座
		连接系	纵向的及横向的	位于主梁之间，承受水平荷载
	下部结构	支座	固定支座、活动支座 (全约束支座或鞍座)	1. 支承上部结构，将荷载传给墩台 2. 将上部结构固定在墩台上 3. 保证上部结构的伸缩、弯曲等变形
		墩、台	桥台（位于岸边） 桥墩（位于中间）	支承上部结构，将上部结构荷载传至基础（桥台兼起挡墙作用）
		基础	浅基础或深基础 (桩、沉井或沉箱)	将桥墩（桥台）传来的荷载分布到地基（土壤或基岩）中去

图 1-9 表示一座桥梁的概貌。从图中可见，桥梁一般由以下几部分组成：

（1）桥跨结构（或称桥孔结构、上部结构），是在线路遇到障碍（如河流、山谷或其他线路等）而中断时，跨越这类障碍的主要承载结构。

（2）桥墩、桥台（统称下部结构），是支承桥跨结构并将恒载和车辆活载传至地基的