



高等学校教材

桥梁工程

(上册)

QIAOLIANG GONGCHENG

(土木工程专业用)

范立础 主编
徐光辉 主审

人
民
交
通
出
版
社



高等学校教材

Qiaoliang Gongcheng

桥 梁 工 程

(上 册)

(土木工程专业用)

范立础 主编

徐光辉 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本教材分上、下册。上册共有三篇,第一篇总论;第二篇混凝土梁桥,包括钢筋混凝土和预应力混凝土梁桥;第三篇混凝土刚架桥。

本书为高等学校土木工程专业用教材,也可供从事桥梁工程建设的各级工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁工程. 上册 / 范立础主编. —北京: 人民交通出版社, 2001. 7

ISBN 7-114-03995-6

I. 桥... II. 范... III. 桥梁工程—高等学校—教材 IV. U44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 046178 号

高等学校教材

桥 梁 工 程

(上 册)

(土木工程专业用)

范立础 主编

徐光辉 主审

正文设计: 彭小秋 责任校对: 戴瑞萍 责任印制: 张 恺

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街10号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京平谷大华山印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 30 插页: 3 字数: 754千

2001年11月 第1版

2003年3月 第1版 第3次印刷

印数: 7001—10000册 定价: 42.00元

ISBN7-114-03995-6

U · 02913

前 言

《桥梁工程》原是桥梁工程专业的一门必修专业课,根据交通部路、桥专业教材编审委员会审定的《桥梁工程》教学大纲编写。第一版上、中、下册于1980年6月出版,肖振群、范立础主编;第二版上、下册于1987年6月出版,范立础主编。现《桥梁工程》作为土木工程专业的一门专业课,根据交通部路、桥及交通工程专业教学指导委员会1996年11月审定的《桥梁工程》编写大纲编写。上册由范立础主编,徐光辉主审;下册由顾安邦主编,范立础主审。

按照教学大纲的要求,学生在学习《结构力学》、《结构设计原理》等必修课程的基础上,通过对本课程的学习,掌握我国常用的大、中型混凝土桥梁的设计和构造原理,计算理论和分析方法,并熟悉有关桥梁施工方面的知识,初步具备解决大跨、较复杂桥梁问题的能力。

本教材分上、下册。上册共有三篇。在第一篇总论中,主要介绍国内外桥梁建筑在20世纪的发展概况;桥梁的组成与分类;桥梁各种结构体系以及桥梁设计荷载;桥梁的设计程序和设计基本原则,并简要阐述了桥梁的造型与美学,使学生在深入学习各章内容前对桥梁设计工作的全貌有一概括的了解。而属于混凝土桥梁共有的桥面布置与构造等内容也列入总论中介绍。

第二篇为混凝土梁桥,包括钢筋混凝土与预应力混凝土梁桥。第一章中,从静力体系和设计与施工特点等方面着手,介绍了梁桥各种体系的受力特点以及桥梁的适用条件,立面、横截面的布置原理与方法,并简要阐述了梁桥的配筋与构造特点,其中包括支座与下部结构——墩台。第二章简要介绍了梁桥的制造与施工,其着重点放在预应力混凝土梁桥的各种先进的施工方法上。第三章阐述梁桥的计算内容,主要讨论主梁恒、活载内力计算和桥面板计算。第四章介绍桥梁空间分析的实用理论,并对荷载横向分布的概念作了较详细的讨论,列举了常用的计算方法,并附有算例。第五章专门讨论超静定预应力混凝土梁桥的各项次内力的计算原理与方法。这是大、中跨径或较复杂的超静定预应力混凝土桥梁中的共性问题,讨论的对象是梁桥,而其计算原理亦适用于其他超静定体系桥梁的同类问题。第六章针对大跨径预应力混凝土梁桥箱形截面的受力特点作了较详细的分析。第四、五、六章内容涉及面较广,讲授上应抓住重点与原理,部分内容可让学生自学讨论,再由教师总结。第七章简要介绍了支座与墩台的计算方法。第八章对混凝土斜、弯桥的计算原理与方法作了极扼要的阐述,只要求学生了解初步的概念。第九章列举了国内外若干混凝土梁桥的真实桥例,以便了解其设计、构造特点,使学生开阔眼界,不要仅局限于一些典型设计的知识。讲授时尽可能应用先进的教学手段。

第三篇简要介绍了混凝土刚架桥的构造、设计计算与施工要点。

本教材在第二版的基础上做了修改补充,反映了在党的改革开放政策的指引下,我国交通与桥梁事业获得迅速发展,桥梁工程学科成就已达到发达国家的先进水平。

本教材上册全书由范立础主编,参加工作的主要有魏红一、陈忠延、王君杰、石雪飞、王志

强、胡世德、肖汝诚、郭文复、李国平等同事,并由长安大学徐光辉主审。

由于编写水平有限,教材中不可避免有谬误之处,敬请读者批评指正,并将意见寄上海四平路同济大学桥梁工程系。

编者

2001 年 1 月

目 录

第一篇 总 论

第一章 概论	1
第一节 桥梁在交通事业中的地位和国内外桥梁的发展概况.....	1
第二节 桥梁的组成与分类	17
第二章 桥梁设计程序和一般原则	20
第一节 桥梁设计程序	20
第二节 桥梁设计的一般原则	27
第三节 桥梁体系、造型与美学.....	34
第三章 桥梁设计荷载	36
第一节 永久荷载(恒载)	37
第二节 可变荷载	37
第三节 偶然荷载	45
第四节 荷载的作用与选定	46
第四章 桥面布置与构造	48
第一节 桥面组成与布置	48
第二节 桥面铺装及排水防水系统	50
第三节 桥梁伸缩缝	55
第四节 人行道、栏杆、护栏与灯柱	59

第二篇 混凝土梁桥

第一章 梁桥设计与构造	63
第一节 概述	63
第二节 梁桥立面布置	72
第三节 横截面设计	83
第四节 配筋设计原则与构造特点	97
第五节 其他构造	112
第六节 梁桥支座	117
第七节 梁桥墩台	124
第二章 梁桥的预制与施工	143
第一节 概述	143

第二节	梁桥的预制工艺	144
第三节	简支梁桥的运输、安装施工	161
第四节	梁桥的主要施工方法	165
第三章	梁桥计算	192
第一节	概述	192
第二节	主梁结构内力计算	192
第三节	预应力束计算	201
第四节	桥面板计算	203
第五节	结构挠度与预拱度计算	213
第六节	牛腿计算	221
第四章	梁桥实用空间理论分析	225
第一节	实用空间理论的基本原理	227
第二节	刚性横梁法	240
第三节	考虑主梁抗扭刚度的修正刚性横梁法	244
第四节	铰接板(梁)法	245
第五节	剪力荷载横向分布系数计算	253
第六节	边梁和内梁刚度不等的荷载横向分布计算	255
第七节	各种体系变截面梁桥的荷载横向分布计算	259
第八节	横梁计算	265
第五章	超静定预应力混凝土梁桥次内力计算	272
第一节	预加力引起的次内力计算	272
第二节	预应力混凝土连续梁由徐变、收缩引起的次内力计算	280
第三节	预应力混凝土连续梁因基础沉降引起的次内力计算	294
第四节	温度应力计算	295
第六章	箱梁分析	300
第一节	箱梁截面受力特性	301
第二节	箱梁对称挠曲时的弯曲应力	302
第三节	箱梁的剪力滞效应	304
第四节	箱梁自由扭转应力	311
第五节	箱梁约束扭转应力	312
第六节	箱梁的畸变应力	315
第七章	支座与墩台计算	322
第一节	支座的计算	322
第二节	桥梁墩台的计算	332
第八章	斜弯桥计算简介	346
第一节	整体斜板桥的受力特点和构造	346
第二节	整体式斜板桥的设计计算	351
第三节	斜梁桥的受力特点与实用计算方法	354
第四节	平面弯桥的受力特点和构造	362
第五节	平面弯桥的设计计算	373

第六节 预应力连续弯桥构造示例	388
第七节 异形桥梁的构造特点 and 设计原则	390
第九章 混凝土梁式桥实例简介	391
第一节 预应力混凝土简支梁桥	391
第二节 预应力混凝土 T 形刚构和连续刚构桥	397
第三节 预应力混凝土连续梁桥	419

第三篇 混凝土刚架桥

第一章 刚架桥的主要类型及构造特点	433
第一节 结构类型	433
第二节 构造特点	435
第二章 刚架桥计算简介	437
第一节 刚架桥的计算原则	437
第二节 刚架桥各项次内力计算	437
第三章 构造示例及施工	441
第一节 法国博诺姆桥	441
第二节 浊漳河桥	442
附录 I 桥梁初步设计及方案比较	444
附录 II 比拟正交异性板法(G-M 法)	448
附录 III G-M 修正法计算斜梁桥	466
主要参考文献	469
编后记	471

第一篇 总 论

第一章 概 论

第一节 桥梁在交通事业中的地位 and 国内外桥梁的发展概况

一、桥梁在交通事业中的地位

建立四通八达的现代化交通网,大力发展交通运输事业,对于发展国民经济,加强全国各族人民的团结,促进文化交流和巩固国防等方面,都具有非常重要的作用。在公路、铁路、城市和农村道路以及水利建设中,为了跨越各种障碍(如江河、沟谷或其他线路等),必须修建各种类型的桥梁与涵洞,因此桥涵是交通线中的重要组成部分,而且往往是保证全线早日通车的关键。在经济上,桥梁和涵洞的造价一般说来平均占公路总造价的 10%~20%。在国防上,桥梁是交通运输的咽喉,在需要高度快速、机动的现代战争中,它具有非常重要的地位。此外,为了保证已有公路的正常运营,桥梁的养护与维修工作也十分重要。

20 世纪 50 年代以来,由于科学技术的进步,工业水平的提高,社会生产力的高速发展,人们对桥梁建筑提出了更高的要求。现代高速公路上迂回交叉的立交桥、高架桥和城市高架道路,几十公里长的海湾、海峡大桥,新发展的城郊高速铁路桥与轻轨运输高架桥(Transit Guideway)等,这些新型桥梁不但是规模巨大的工程实体,而且犹如一条地上“彩虹”,将城市装扮得格外美丽。纵观世界各国的大城市,常以工程雄伟的大桥作为城市的标志与骄傲。因而桥梁建筑已不单纯作为交通线上重要的工程实体,而且常作为一种空间艺术结构物存在于社会之中。

我国幅员辽阔,大小山脉和江河湖泊纵横全国,东面临海,海湾、岛屿众多。20 世纪 80 年代后,我国实行改革开放政策以来,国民经济飞速发展,社会主义工业、农业、商业、国防和科学技术现代化正在逐步实现,全国高速公路、高速铁路、城市交通网络的建设方兴未艾。作为枢纽工程的桥梁建设的发展则突飞猛进。至 20 世纪末,我国已建成的各类现代化桥梁在世界桥梁跨径排名表上都进入了重要名次,甚至是名列前茅(表 1-1-1~表 1-1-4)。它从一个侧面反映了我国生产、经济与科学技术的发展高度。回顾过去,展望未来,我国广大桥梁工程技术与科学工作者将不断面临着设计和建造各类桥梁的光荣而艰巨的任务。

二、我国桥梁建筑的成就

我国文化悠久,是世界上文明发达最早的国家之一。我国有许多科学技术“往往远远超过同时代的欧洲,特别是 15 世纪以前,更是如此”(英国人李约瑟在他所著《中国科学技术史》序言中语)。其中就桥梁来说,我们的祖先也在世界桥梁建筑史上写下了不少光辉灿烂的篇章。

悬 索 桥

表 1-1-1

排 序	桥 名	主 跨 (m)	桥 址	年 份
1	明石海峡大桥(Akashi-Kaikyo)	1 991	日本本州四国联络线(神户—鸣门)	1998
2	大贝尔特东桥(Great Belt East)	1 624	丹麦	1997
3	汉伯桥(Humber)	1 410	英国	1981
4	长江江阴公路大桥	1 385	中国	1999
5	青马大桥(Tsing Ma)	1 377	中国香港特别行政区	1998
6	费拉赞诺桥(Verrazana-Narrows)	1 298	美国纽约	1964
7	金门大桥(Golden Gate)	1 280	美国旧金山	1937
8	霍加大桥(Hoga Kusten)	1 210	瑞典	1997
9	麦金内克桥(Mackinac)	1 158	美国	1957
10	塔盖司桥(Tagus)	1 104	葡萄牙里斯本	1960
11	南备赞瀬户大桥(Minami Bisan-seto)	1 100	日本本州四国联络线(兜岛—板出)	1988
12	塔蒂苏丹穆罕默德桥(Tatih Sultan-Mehment)	1 090	土耳其伊斯坦布尔	1988
13	博斯普鲁斯桥(Bosporus)	1 074	土耳其伊斯坦布尔	1973
14	乔治华盛顿桥(George Washington)	1 067	美国纽约	1931
15	来岛 3 号桥(Kurshima—3)	1 030	日本本州四国联络线(尾道—今治)	1999
16	来岛 2 号桥(Kurshima—2)	1 020	日本本州四国联络线(尾道—今治)	1999
17	里斯本大桥(Viute e Cinco de Abril)	1 013	葡萄牙里斯本	1966
18	福斯道路桥(Forth Road)	1 006	英国	1964
19	北备赞瀬户大桥(Kite Bisan-seto)	990	日本本州四国联络线(兜岛—板出)	1988
20	塞文桥(Severn)	988	英国	1966
21	下津井瀬户大桥(Shimotsui-seto)	940	日本本州四国联络线(兜岛—板出)	1988
22	西陵峡大桥	900	中国	1996
23	虎门大桥	888	中国	1997
24	大鸣门大桥	876	日本	1985
25	新脱科马桥(New Tacoma)	853	美国	1950
26	阿斯卡夫桥(Askøy)	850	挪威	1992

斜 拉 桥

表 1-1-2

排 序	桥 名	主 跨 (m)	桥 址	年 份	形 式
1	多多罗桥(Tatara)	890	日本本州四国联络线(尾道—今治)	1998	H
2	诺曼底桥(Normandie)	856	法国	1994	H
3	南京二桥	628	中国南京	2000	H
4	武汉三桥	618	中国武汉	2000	H
5	青州闽江大桥	605	中国福州	2000	C
6	上海杨浦大桥	602	中国上海	1993	C
7	中央名港大桥(Meiko-Chuo)	590	日本	1996	S
	上海徐浦大桥	590	中国上海	1997	H
8	斯卡圣德脱桥(Skarsundet)	530	挪威	1991	P. C.
9	汕头岩石大桥	518	中国汕头	1999	H
10	鹤见航路桥(Tsurumi Fairway)	510	日本	1991	S
11	长江荆沙大桥	500	中国荆州	2000	P. C.
12	生口桥(Ikuchi)	490	日本	1991	H
	弗莱圣德桥(Fresund)	490	瑞典	1999	S
13	东神户大桥(Higashi-Kobe)	485	日本	1993	S
14	塞黑桥(Seo Hae)	470	韩国	1999	
15	安娜雪丝桥(Annacis)	465	加拿大温哥华	1986	C
16	横滨海湾大桥(Yakohama Bay)	460	日本	1989	S
17	胡克来 2 号桥(Second Hooghly Br.)	457	印度	1992	C
18	塞文 2 号桥(Second Severn Br.)	456	英国	1996	C
19	昭菲亚桥(Chal Phaya/Rama IX)	450	泰国	1987	S
	伊丽莎白二世皇后桥(Queen Elizabeth II)	450	英国	1991	C
	达福特桥(Darford)	450	英国	1991	C
20	汀久桥(Ting Kau)	448	中国香港特别行政区	1998	C

注:表中 H:混合(Hybrid);C:复合(Composite);P. C.:预应力混凝土(Prestressed Concrete);S:钢(Steel)。

混凝土拱桥

表 1-1-3

排 序	桥 名	主 跨(m)	桥 址	年 份
1	万县长江大桥	420	中国万县	1997
2	克尔克 1 号桥(Krk—1)	390	南斯拉夫克尔克岛(Krk Island)	1980
3	江界河大桥	330	中国贵州	1995
4	邕江大桥	312	中国广西	1997
5	格莱兹维尔桥(Gladesville)	305	澳大利亚悉尼(Sydney)	1964
6	艾米赞德桥(Ponte da Amizade)	290	巴西巴拉圭巴拉那河(Parana River)	1964
7	布洛克兰斯桥(Bolukrans)	272	南非布洛克兰斯(Bloukrans)	1983
8	阿拉比达桥(Arrabida)	270	葡萄牙奥波托(Oporto)	1963
9	山多桥(Sando)	264	瑞典克拉姆福斯(Kramfors)	1943
10	拉兰斯桥(La Rance)	261	法国	1990

预应力混凝土桥

表 1-1-4

排 序	桥 名	主 跨 (m)	桥 址	年 份
1	斯托尔马桥(Stolma)	301	挪威	1998
2	拉脱圣德桥(Raftsundet)	298	挪威洛福坦(Lofoten)	1998
3	虎门辅航道桥	270	中国广东	1997
4	瓦罗德 2 号桥(Varodd—2)	260	挪威克里斯蒂安桑德(Kristiansand)	1994
	门道桥(Gateway)	260	澳大利亚布里斯班(Brisbane)	1986
5	奥波托桥(Oporto)	250	葡萄牙道罗河(Douro Eiver)	1991
	诺日姆伯兰海峡桥(Northum Berland Strait crossing)	250 (43 孔)	加拿大新布鲁斯维克(New Brunswick)	1998
	斯克夏桥(Skye)	250	英国斯克夏岛(Skye Island)	1995
6	黄石长江大桥	245	中国安徽	1996
7 *	科罗巴卜图瓦普桥(Koror-Babelthuap)	241	美国太平洋托管区(Pacific Trust)	1977
8	滨名大桥(Hamana)	240	日本静冈县(Shizuoka)	1976
9	彦岛大桥(Hikoshima)	236	日本山口县(Yamaguchi)	1975
10	诺达尔斯弗乔德桥(Norddalsfjord)	231	挪威索恩—弗乔丹(Sogn-Fjordane)	

注：* 该桥已于 20 世纪 90 年代中期坠毁。

我国山川河流众多,自然条件错综复杂,古代桥梁不但数量惊人,而且类型也丰富多采,几乎包含了所有近代桥梁中的最主要形式。

根据史料记载,在距今约 3000 年的周文王时,我国就已在宽阔的渭河上架过大型浮桥。鉴于浮桥的架设具有简便快速的特点,常被用于军事。汉唐以后,浮桥的运用日益普遍。现代桥梁中广为修建的多孔桩柱式桥梁,据历史考证,我国在春秋战国时期(公元前 332 年)已遍于黄河流域和其他地区,不同的只是古桥多以木桩为墩柱,上置木梁、石梁,而今则都用钢筋混凝土土代之。

近代的大跨径悬索桥和斜拉桥也是由古代的藤、竹悬索桥发展而来的。几乎在大部分有关桥梁的历史书上,都承认我国是最早有悬索桥的国家,迄今至少有 3 000 年左右的历史。据记载,至迟在唐朝中期,我国就从藤索、竹索发展到用铁链建造悬索桥,而西方在 16 世纪才开始建造铁链悬索桥,比我国晚了近千年。至今尚保留下来的古代悬索桥有四川泸定县的大渡河铁索桥(1706 年),以及灌县的安澜竹索桥(1803 年)等。泸定铁索桥跨长约 100m,宽约 2.8 m,由 13 条锚固于两岸的铁链组成,1935 年中国工农红军长征途中曾强渡此桥,由此更加闻名。安澜桥是世界上最著名的竹索桥,全长 340m 之多,分 8 孔,最大跨径约 61m,全桥由细竹蔑编成粗 0.167m 的 24 根竹索组成,其中桥面索和扶栏索各半。

天然石料是大自然赋予人类最早的、取之不尽用之不竭的建筑材料。一旦人们创造了强有力的加工工具,石梁、石柱、石拱等结构无疑就普遍发展起来;又鉴于石料的耐久性,因此几千年来修建较多的古代桥梁要推石桥居首。我国古代桥工巨匠的辛勤劳动曾对桥梁建筑做出了卓越贡献。

在秦汉时期,我国已广泛修建石梁桥。世界上现在尚保存着的最长、工程最艰巨的石梁桥,就是我国于 1053 年~1059 年在福建泉州建造的万安桥,也称洛阳桥。此桥长达 800m 之多,共 47 孔,位于“波涛汹涌,水深不可址”的海口江面上。此桥以磐石铺遍桥位江底,是近代筏形基础的开端,并且,独具匠心地将养殖海生牡蛎的方法胶固桥基使成整体,此亦是世界上绝无仅有的造桥方法。近千年前就能在这种艰难复杂的水文条件下建成如此长桥,实为中外桥梁史上一次勇敢的突破。

1240 年建造的福建漳州虎渡桥,也是最令人惊奇的一座梁式石桥。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,自重力达 2 000kN,该桥一直保存至今。历史记载,这些巨大石梁是利用潮水涨落浮运架设的,足见我国古代加工和安装桥梁的技术何等高超。

富有民族风格的古代石拱桥技术,结构的精心巧思,以及艺术造型的丰富多姿,长期以来一直驰名中外。举世闻名的河北省赵县的赵州桥(又称安济桥),就是我国古代石拱桥的杰出代表(图 1-1-1)。该桥在隋大业初年(公元 605 年左右)为李春所创建,是一座空腹式的圆弧形石拱桥,净跨 37.02m,宽 9m,拱矢高度 7.23m。在拱圈两肩各设有两个跨度不等的腹拱,这样既能减轻桥身自重、节省材料,又便于排洪、增加美观。赵州桥的设计构思和工艺的精巧,不仅在我国古代桥梁中首屈一指,据对世界桥梁的考证,像这样的敞肩拱桥,欧洲到 19 世纪中叶才出现,比我国晚了 1 200 多年。赵州桥的雕刻艺术,包括栏板、望柱和锁口石等,其上狮象龙兽形态逼真,琢工的精致秀丽,不愧为文物宝库中的艺术珍品。

除赵州桥外,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。我国石拱桥的建造技术在明朝时曾流传到日本等国,促进了世界各国人民的文化交流,并增进了友谊。



图 1-1-1 赵州桥

在我国古桥建筑中,尚值得一提的是广东潮安县横跨韩江的湘子桥(又名广济桥)。此桥始建于公元 1169 年,全长桥 517.85m,总共 20 个墩台 19 孔,上部结构有石拱、木梁、石梁等多种形式,还有用 18 条浮船组成的长达 97.30m 的开合式浮桥。设置浮桥的目的,一方面适应大型商船和上游木排的通过,并且也避免了过多的桥墩阻塞河道,以致加剧桥基冲刷而造成水害。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困难、工程历时之久,都是古代建桥史上所罕见。此桥自清代修复后,至今一二百年,历经天灾人祸,始终安如磐石,屹立于惊涛骇浪之中。我国解放后又进行了改建和扩建,使历史上屡圯屡修的这座古桥焕发了青春。

然而,封建制度的长期统治大大束缚了生产力的发展。1840 年鸦片战争后帝国主义列强的侵入和腐朽的社会制度,更使广大劳动人民处于水深火热之中,人民群众的无穷智慧被压抑和摧残。在桥梁建筑方面,大部分是外国投资,洋人设计,外商承包。解放前,我国交通事业落后,可供通车的里程很少,质量低劣。公路桥梁绝大多数为木桥,年久失修,破烂不堪。纵然当时我国自己也修过一些公路钢桁梁桥、悬索桥和钢筋混凝土拱桥等,但与当时世界上桥梁建筑的技术水平相比,已处于很落后的状态。

新中国成立后,我国人民以大无畏的英雄气概,迅速地医治了战争创伤,恢复了经济。我国建国初期修复并加固了大量旧桥,随后在第一、二个五年计划期间,在新建的铁路干线、公路网线和渡口,修建了不少重要桥梁,并取得了迅速发展。20 世纪 50 年代至 60 年代,修订了桥梁设计规程,编制了桥梁标准设计和桥梁设计计算手册,培养并形成了一支强大的桥梁工程设计与施工技术队伍。随着社会主义建设向前发展,桥梁建筑同其他各条战线一样,也出现了突飞猛进的局面。

(一) 钢桥

1957 年,第一座长江大桥——武汉长江大桥的胜利建成,既结束了我国万里长江无桥的历史,又标志着我国修建大跨度钢桥的现代化桥梁技术水平提高到新的起点。大桥的正桥为两联 $3 \times 128\text{m}$ 的连续钢桁梁,下层双线铁路,上层公路桥面宽 18m,两侧各设 2.25m 人行道,包括引桥在内全桥总长 1 670.4m。1969 年又胜利建成了举世瞩目的南京长江大桥(图 1-1-2)。这是我国自行设计、制造、施工,并使用国产高强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 3 联 9 孔为每联 $3 \times 160\text{m}$ 的连续钢桁梁。上层为公路桥,下层为双线铁路桥。包括引桥在内,铁路桥梁全长 6 772m,公路桥梁全长 4 589m。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,显示出我国的钢桥

建设已接近了世界先进水平,是我国桥梁史上又一个重要标志。

20 世纪 60 年代,在地势险要、山多谷深的成昆铁路线上,修建了各种体系的大跨径钢桥。桥梁钢材已普遍采用低合金钢(16 锰钢),结构连接已从早期的铆接逐步过渡到栓、焊连接。同时,在公路上也修建了一些大跨度钢桥,如 1966 年~1969 年在四川省建成的钢箱拱桥和钢桁拱桥,主孔跨径达 180m,并且采用了高强螺栓连接。1972 年建成的山东北镇黄河大桥,主桥采用 $4 \times 112\text{m}$ 的栓焊连续钢桁梁桥。迄今,长度更长(铁路部分长 7 657.4m,公路部分长 4 215.9m)、跨度更大(最大跨度为 216m)、施工更为先进的公铁两用特大钢桥——作为第二京广要隘的九江长江大桥,已于 1993 年雄姿勃勃横跨九江和黄梅两岸。

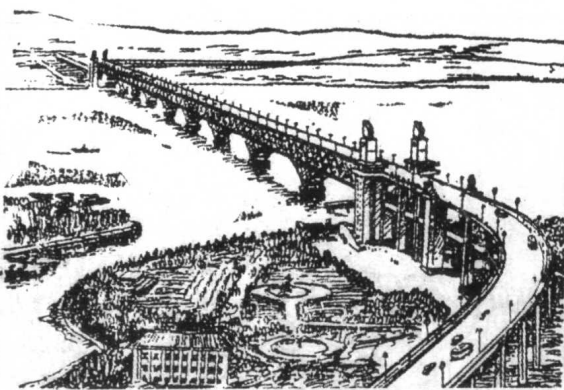


图 1-1-2 南京长江大桥

进入 20 世纪 80 年代,我国又发展了钢箱梁结构,1982 年在陕西安康建成箱形截面、栓焊结构的铁路斜腿刚架桥,跨径 176m,是目前该种桥型铁路桥的世界纪录。1984 年在广东省建成了采用正交异性板桥面、栓焊结构的钢箱梁桥。

我国钢桥建设铆接结构进展到栓焊结构,从钢桁架梁发展到正交异性板桥面的钢箱梁,研制了板厚效应小(56mm 厚),焊接性能和韧性好的 15MnVNq—C 桥梁钢,为我国建造大跨钢桁架桥、钢斜拉桥和钢悬索桥创造了条件。进入 90 年代后,我国经济的发展飞跃到新台阶,需要建设更大跨径的钢桥。现代化悬索桥的发展,国外走了百余年的历程,我国从第一座现代化悬索桥建设始至今只有 10 余年的历史。到 20 世纪末,已建成 4 座大跨悬索桥。钢桥中有代表性的新型桥梁如:

- 东营黄河公路钢斜拉桥,主跨 288m,1987 年;
- 九江长江公路铁路两用大桥,主跨 216m,1993 年(图 1-1-3);
- 上海黄浦江杨浦大桥(斜拉桥,主梁为钢混凝土结合梁),主跨 602m,1993 年(图 1-1-4);
- 长江西陵公路大桥(悬索桥,全焊钢箱梁结构),主跨 900m,1996 年;
- 珠江口虎门大桥(悬索桥,全焊钢箱梁结构),主跨 888m,1997 年;
- 香港青马大桥(悬索桥,全焊钢箱梁结构),主跨 1 377m,1998 年(图 1-1-5);
- 长江江阴公路大桥(悬索桥,全焊钢箱梁结构),主跨 1 385m,1999 年(图 1-1-6)。

2000 年建成的芜湖公铁两用长江大桥,为主跨 312m 的钢斜拉桥。正在规划的大跨钢悬索桥的主跨是 1 500~2 000m,钢斜拉桥主跨已超越 1 000m。正在修建的有跨长 550m 的上海卢浦大桥,为中承式钢箱拱桥。

(二) 预应力混凝土桥

20 世纪 50 年代,我国在修建大量小跨径钢筋混凝土梁桥的同时,开始对预应力混凝土桥梁进行了研究与试验,于 1956 年在公路上建成了第一座跨径 20m 的预应力混凝土简支梁桥。随后,预应力混凝土简支梁在公路上获得广泛采用,并提出了装配式预应力混凝土简支梁桥的系列标准设计,最大跨径达 40m。1970 年,河南省建成了跨径达 52m 的鱼腹形预应力混凝土简支梁桥。1976 年建成的洛阳黄河公路大桥,跨径为 50m,全长达 3 000m,是我国目前最长的公路桥。1985 年在浙江省建成了跨径 60m 的预应力混凝土简支梁桥。

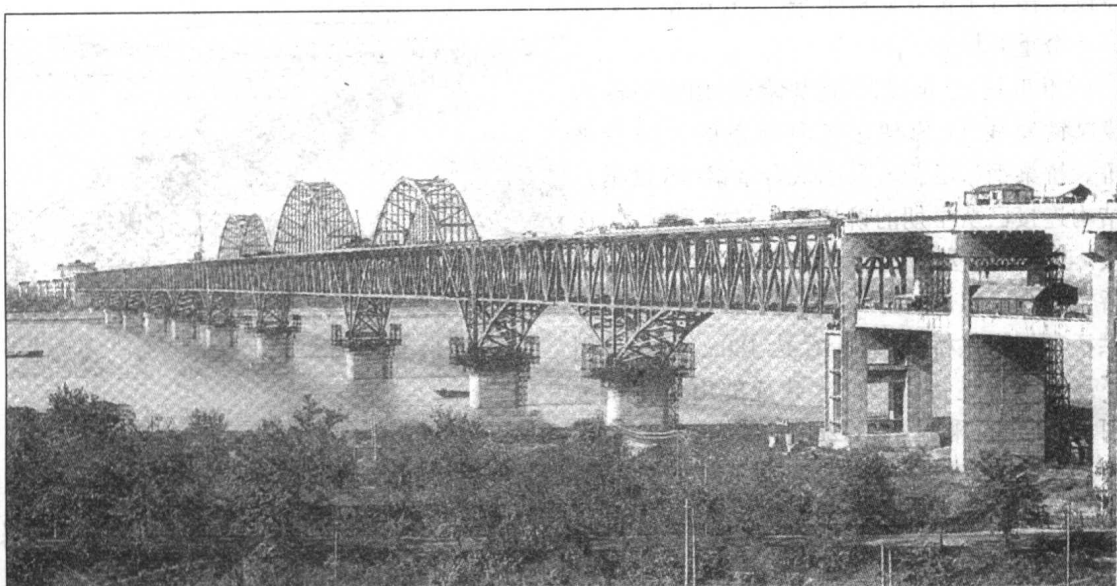


图 1-13 九江长江大桥

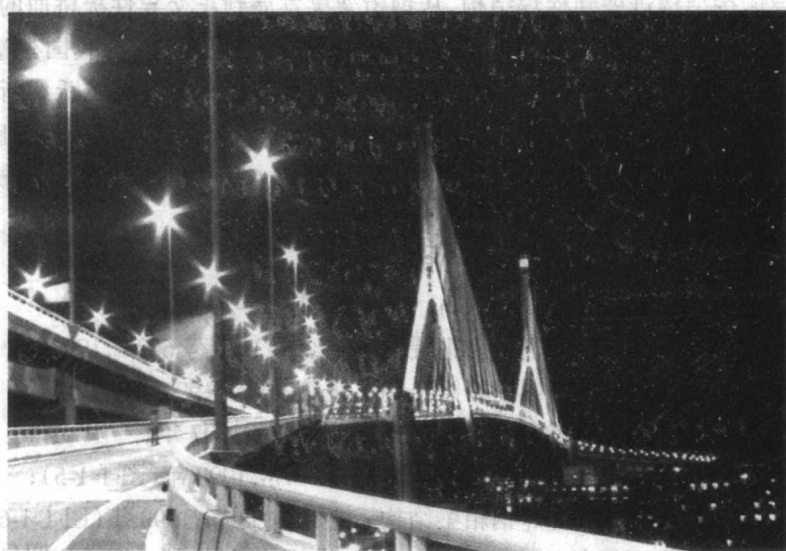


图 1-14 上海杨浦大桥

60年代中,我国首次采用了先进的悬臂施工方法,建成了第一座 T 形刚构桥,为我国修建大跨径预应力桥梁提供了成功的经验,开拓了发展前景。迄今已修建了 20 多座大中跨径的预应力混凝土 T 形刚构桥,1971 年建成的福建省乌龙江公路大桥,主孔跨径为 $3 \times 144\text{m}$;1980 年建成的重庆长江公路大桥,共 8 孔,总长 1 000m,最大跨径达 174m。

70 年代后,在桥梁建设上,各种体系的预应力混凝土桥获得了迅猛的发展。各国应用最多的预应力混凝土连续梁桥在国内开始兴建。近 20 年来,修建了大量的连续梁桥,掌握了各种先进的施工方法与技术,如顶推法、移动模架法、逐跨架设法等。并在国外承包修建了伊拉

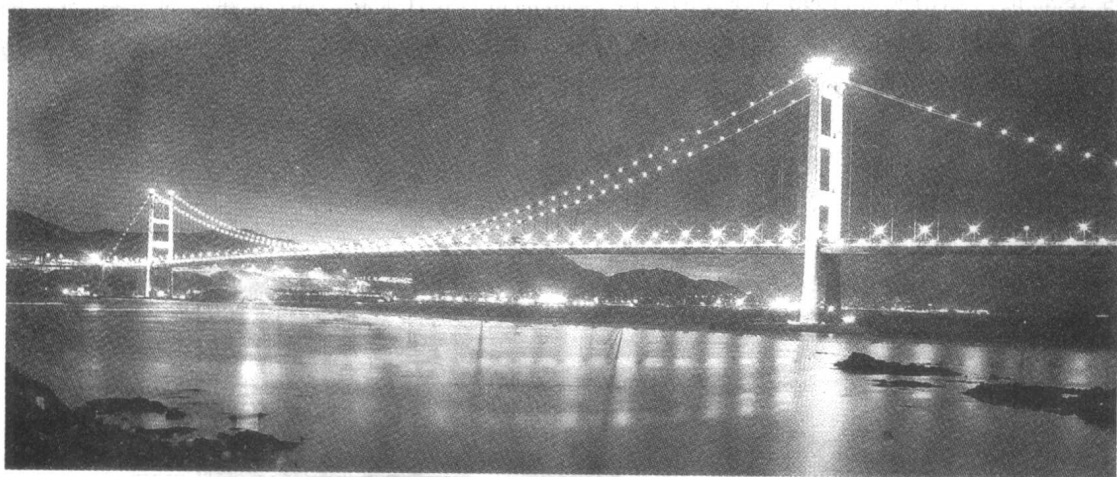


图 1-1-5 香港青马大桥

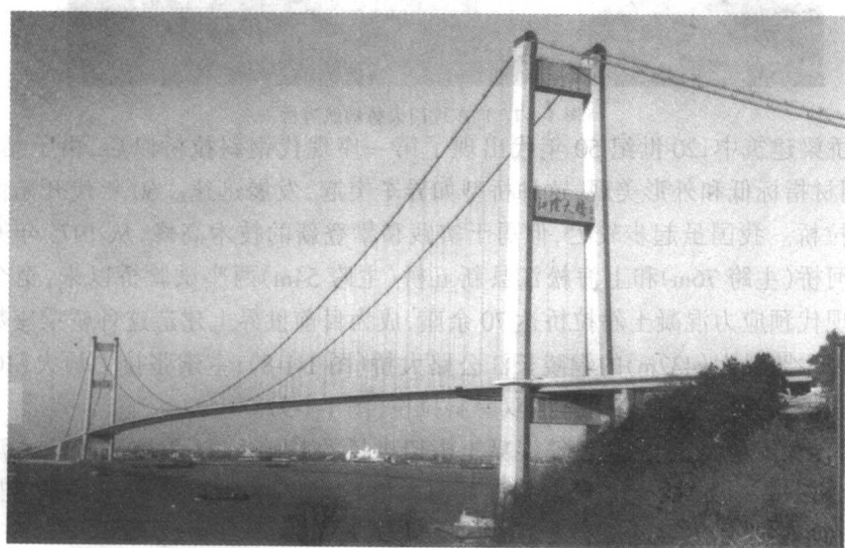


图 1-1-6 长江江阴公路大桥

克的摩索尔四号桥,全长 648m,主跨 56m 的一联 12 孔箱形连续梁;科威特的巴比延桥,全长 2 400m,主跨 54m 的新型空间桁式腹系箱形连续梁桥,施工速度和质量获得了良好的国际声誉。

进入 80 年代,用悬臂法施工的大跨径连续梁桥也获得了迅速发展。其中如 1984 年建成的广州珠海三桥,主跨为 $80\text{m} + 110\text{m} + 80\text{m}$;1991 年建成的杭州钱塘江二桥,为公铁两用桥,主桥为 18 孔一联预应力混凝土箱形连续梁,分跨为 $45\text{m} + 65\text{m} + 14 \times 80\text{m} + 65\text{m} + 45\text{m}$,连续长度达 1 340m,为目前国内之冠。最近正在修建的南京北汊桥为五跨预应力混凝土连续梁,主跨为 160m。

80 年代末至 90 年代初,预应力束锚固与张拉工艺的使用及施工设备的日益完善,促进了预应力混凝土桥向更大的跨径冲击,发展了双薄壁墩的连续—刚构体系。如 1989 年建成的主