

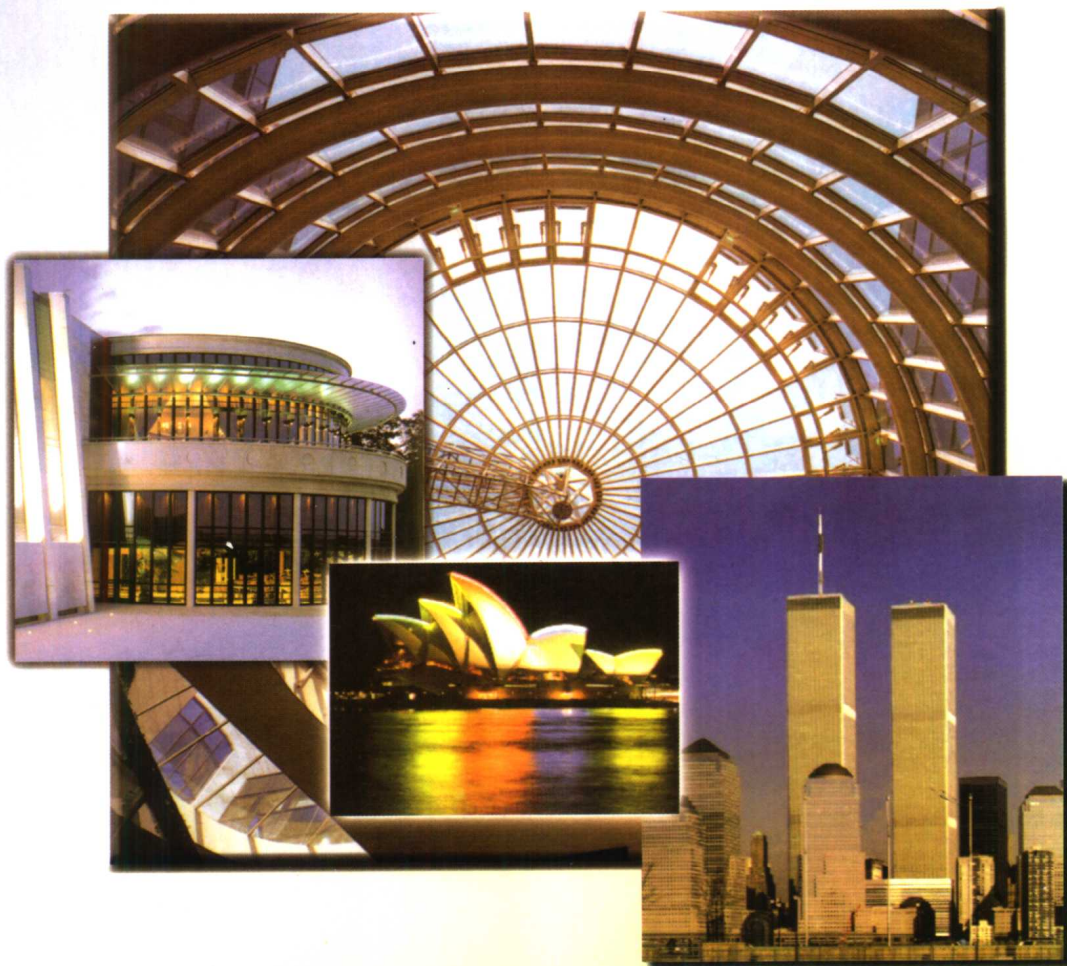
总主编 罗固源

桥梁工程

(上)

(46)

周水兴 向中富 主编



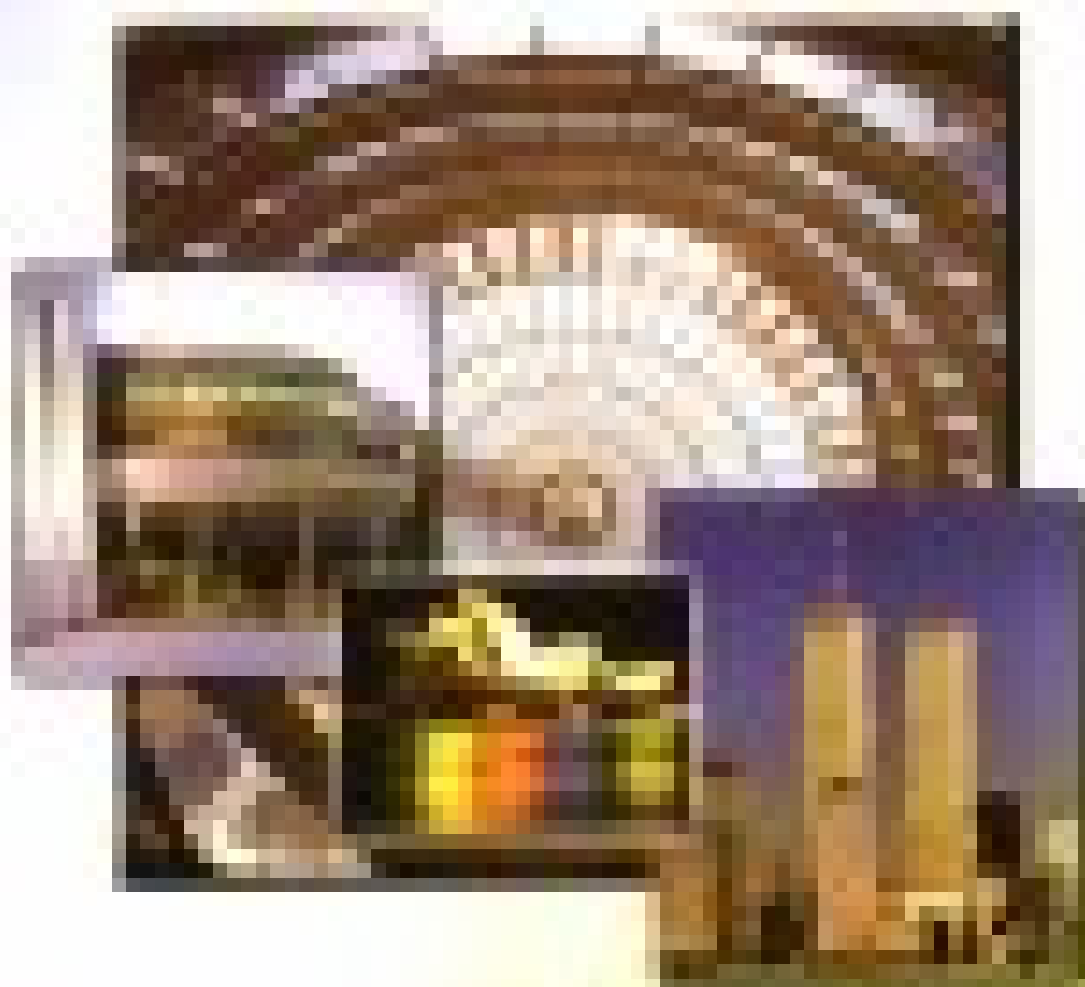
重庆大学出版社
新疆大学出版社

第 1 卷 第 1 期

桥梁工程

(C)

第 1 卷 第 1 期



中国公路学会桥梁工程分会
中国公路学会桥梁工程分会

桥 梁 工 程

(上)

周水兴 向中富 主编

重 庆 大 学 出 版 社
新 疆 大 学 出 版 社

内 容 提 要

本书是土木工程专业学生的专业课教材,分上、下册,共14章。全书系统介绍了梁式桥、拱式桥、刚架桥、缆索承重桥的构造原理、计算理论、计算方法以及施工要点。

本书除作为高等院校土木工程专业教学用书外,亦可供从事桥梁工程的技术人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁工程/周水兴,向中富主编. —乌鲁木齐:新疆
大学出版社;重庆:重庆大学出版社,2001.10
土木工程专业本科系列教材
ISBN 7-5631-1389-4

I. 桥... II. ①周...②向... 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 053483 号

桥梁工程

(上)

周水兴 向中富 主编
责任编辑 曾令维 郭千钧

*

重 庆 大 学 出 版 社 出版发行
新 疆 大 学 出 版 社
新 华 书 店 经 销
重庆华林印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:15.5 字数:387千
2001年10月第1版 2001年10月第1次印刷
印数:1—4 000

ISBN 7-5631-1389-4/TU·10 定价:46.00元(上、下)

前言

《桥梁工程》是土木工程专业的一门专业必修课。本教材是根据土木工程专业教材编审委员会审定的《桥梁工程》编写大纲编写的。通过本课程的学习,使学生掌握目前常用大中型桥梁的构造原理,计算理论和计算方法,熟悉有关施工方面的知识,初步具备解决大跨径桥梁设计、施工等问题的能力。

本教材共上、下册,分14章,上册为第1~6章,下册为第7~14章。第1章主要介绍国内外桥梁建设的发展概况、桥梁的组成与分类,桥梁的总体规划与设计原则。在桥梁的设计荷载中,分别介绍了交通部和建设部对设计荷载的不同行业规定。第2章介绍了桥面构造。着重介绍了目前广泛使用的几种伸缩缝构造。第3、4章介绍了各种梁式体系的构造、桥面板计算,荷载横向分布系数计算及主梁恒、活载内力计算,是本书讲授的重点之一。考虑到目前许多院校专门开设了施工课程,因此第5章仅简要介绍了梁式桥的施工。第6章介绍了刚架桥的构造与计算特点。第7、8章介绍了拱桥的组成与分类、拱桥的设计与计算,是本教材讲授的另一个重点。第9章介绍了拱式桥的几种主要施工方法。随着科学技术的进步,我国缆索承重桥梁得到很大发展,在第10、11章中介绍了缆索承重桥梁(斜拉桥和悬索桥)的构造、计算和施工特点。第12章介绍了目前常用的桥梁支座类型与构造,支座设计与计算。第13、14章则介绍桥梁墩台及基础构造、设计与计算等。书中给出了不同体系的桥梁实例,以便学生增强实感、开阔眼界,拓宽思路。

本教材首先从介绍每种体系的受力特点入手,然后再介绍桥梁的构造,使学生从结构受力要求的角度学习和掌握桥梁的构造、计算和施工方法,这是本教材与众不同之处。

桥梁工程是一门实践性很强的课程,结构构造比较复杂、抽象,学习中应尽可能多地接触实际,以增强感性认识。桥梁的发展与其施工技术发展密不可分,每一种新桥型的产生都与施工技术水平的提高有关,桥梁的内力计算也与所采用的施工方法有关,要对各种施工方法有一定的了解和掌握。

考虑到学生对桥梁工程知识掌握的全面性与系统性要求,教材内容较多,在教学中可根据实际情况采取重点讲授和学生自学的方法实施教学。

本书第 1、7、8 章,3.4~3.7 节由周水兴编写,第 5、9、10、11 章由向中富编写,第 13、14 章由邹毅松编写,第 6、12 章由王银辉编写,3.1~3.3 节、第 4 章由张永水编写,第 2 章由胡免缙编写。全书由周水兴、向中富主编。

由于编者水平有限,其中缺点、错误在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2001.7.30 于重庆交通学院

目录

第 1 章 总论	1
1.1 国内外桥梁发展概况	1
1.2 桥梁基本组成与分类	12
1.3 桥梁的总体规划与设计原则	20
1.4 桥梁纵、横断面设计及平面布置	22
1.5 桥梁的设计荷载	27
第 2 章 桥面构造	37
2.1 桥面组成与布置	37
2.2 桥面铺装	39
2.3 桥面排水设施	40
2.4 桥面伸缩缝	43
2.5 人行道、栏杆、防撞护栏与照明设施	48
第 3 章 梁式桥梁的构造与设计	53
3.1 梁式桥梁的组成与设计	53
3.2 简支板桥	57
3.3 简支梁桥	61
3.4 悬臂梁桥	81
3.5 连续梁桥	86
3.6 预应力混凝土 T 形刚构桥	95
3.7 预应力混凝土连续刚构桥	100
第 4 章 梁式桥梁的计算	109
4.1 概述	109
4.2 行车道板的计算	109
4.3 荷载横向分布计算	120
4.4 主梁内力计算	167
4.5 横梁计算	174

4.6	牛腿计算	180
4.7	梁式桥次内力计算	183
4.8	挠度、预拱度的计算	198
4.9	预应力配束计算与束界	200
第 5 章	梁式桥梁的施工	203
5.1	支架施工	204
5.2	预制安装施工	214
5.3	悬臂施工	218
5.4	顶推施工简介	231
第 6 章	刚架桥的构造及计算特点	234
6.1	概述	234
6.2	单跨刚架桥的构造特点	235
6.3	刚架桥的计算特点	241

第 1 章 总 论

1.1 国内外桥梁发展概况

1.1.1 桥梁工程的地位和作用

桥梁(Bridge)是跨越各种障碍(如河流、山谷或其他路线等)的结构物,采用砖、石、木材、混凝土、钢筋混凝土、预应力混凝土和各种金属材料建造,它不仅是一个功能性的结构物,而且也是一座立体的造型艺术工程,往往成为一个城市或地区标志性建筑。

桥梁工程在交通事业中占有重要地位。虽然桥梁所占路线总长度不大,但其工程造价一般占公路总造价的 10%~20%,在山区高等级公路上其比例更高,尤其在现代高速公路和城市高架桥中,常常是保证全线早日通车和正常使用的关键。国防上,桥梁是交通运输的命脉,在快速、机动的现代化战争中占有非常重要的地位。

我国交通部在长远规划中,将建成 3.5 万公里的高速公路和以一、二级汽车专用公路为主的快速通道。正在实施的西部大开发中首先是交通基础设施建设。西部地区地理、地形复杂,山高谷深,河流众多,必然要建造大量的桥梁。另外,数十公里长的海湾、海峡特大型桥梁的建设已经摆在我们面前。可以预见,21 世纪是一个不断创造特大跨度桥梁历史的时代。作为未来的桥梁结构工程师,将有幸肩负这一光荣而艰巨的任务。

1.1.2 我国桥梁建设的成就

我国桥梁类型繁多,数量惊人,无论是古代桥梁,还是当今的现代桥梁,都在世界桥梁史上写下了辉煌的篇章。

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设过大型浮桥。公元 35 年东汉光武帝时,在今宜昌和宜都之间,架设了长江上的第一座浮桥。之后,因战事需要,在黄河、长江上架设浮桥不下十余次。

在迄今三千多年以前,我国就开始建造吊桥(悬索桥),当时的主索由藤、竹编织而成。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吊桥,而西方在 16 世纪才开始建造铁链吊桥,比我国晚近千年。至今尚保留下来的古代吊桥有四川泸定县的大渡河铁链桥(1706 年)以及都江堰市的安澜竹索桥(1803 年)等。泸定铁索桥长约 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 m,分 8 孔,最大跨径约 61m,全桥用由细竹篾编成粗五寸的 4 根竹索组成,其中桥面索和扶栏索各半。

古代桥梁所用材料均为大自然赋予人类的天然材料,如树木、藤、石料,其中石料因其耐久性好,分布广,容易开采加工等优点,几千年来修建的古代桥梁中数石桥最多。

在秦汉时期,我国已广泛修建石梁桥。1053—1059年在福建泉州建造的万安桥,也称洛阳桥。此桥长达800m,共47孔,位于“波涛汹涌,水深不可测”的海口江面上。此桥以盘石铺遍桥位江底,是近代筏形基础的开端。用养殖海生牡蛎的方法胶固桥梁基础使其成整体,这是世界上绝无仅有的造桥方法。

富有民族风格的古代石拱桥技术,无论结构的精心巧思,还是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)。该桥在隋唐大业初年(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。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,比我国晚了一千二百余年。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。

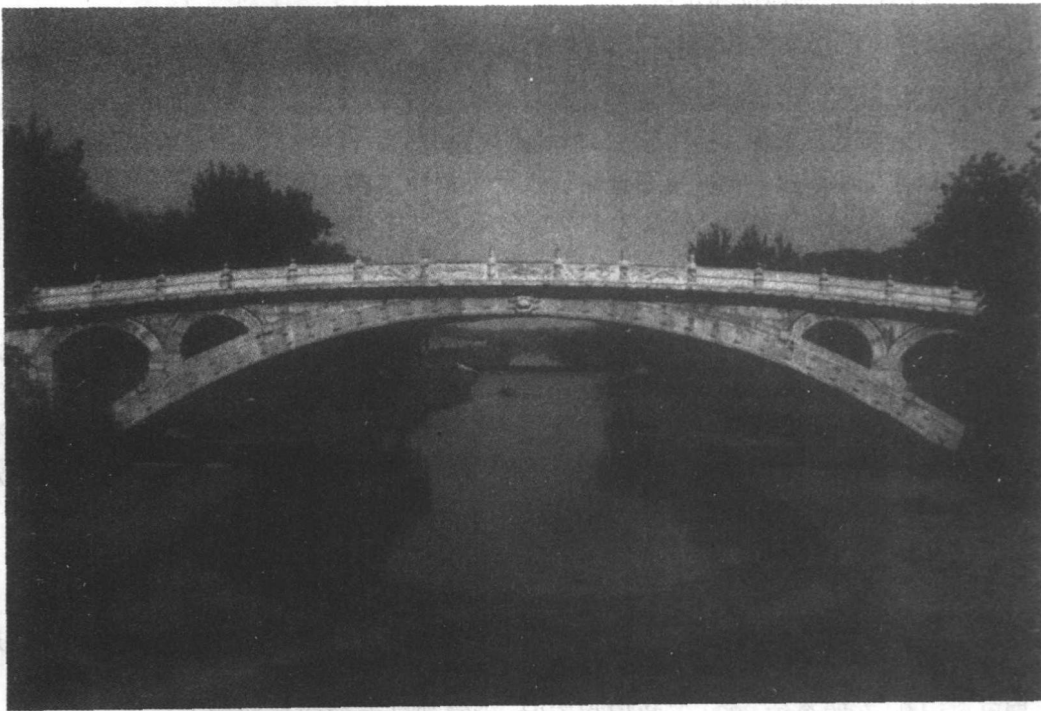


图1.1 河北赵县赵州桥

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

尚值得一提的是,建于公元1169年的广东潮安县横跨韩江的湘子桥,又名广济桥,此桥全长517.95m,共19孔,上部结构有石拱、石梁、木梁等多种结构形式,还有用18条浮船组成长达97.30m的开启式浮桥。这样,既能适应大型商船和上游木筏通过,又可避免过多的桥墩阻塞河道。这座世界上最早的开启式桥,其结构类型之多,施工条件之困难、工程历时时间之长,都是古代桥梁史上罕见的。

由于受到封建制度的长期统治,人民群众的无穷智慧被无情地摧残和压制。直到解放前,我国可供通车的公路里程很少,质量低劣,公路桥梁更少,且多数为木桥,年久失修,与当时世界桥梁建设相比,处于相当落后的状态。

新中国成立后,国民经济得到恢复和发展。建国初期修复和加固了大量旧桥,并在随后的第一、二两个五年计划中修建了铁路干线、公路网线、渡口和许多重要桥梁。20世纪50年代到60年代,修订了桥梁设计规范,编制了桥梁标准设计和桥梁设计计算手册,培养并形成一支强大的桥梁工程设计与施工技术队伍。进入20世纪80年代中期,我国的桥梁建设取得了前所未有的好成绩,设计和修建了许多世界一流的桥梁。

(1) 钢桥

1957年,第一座长江大桥——武汉长江大桥(公铁两用桥)胜利建成,从此结束了万里长江无桥的历史,标志着我国已具备修建现代化大跨度钢桥的技术水平。大桥的正桥为三联 $3 \times 128\text{m}$ 的连续钢桁梁,双线铁路,上层桥面宽 18m ,两侧各设 2.25m 人行道,包括引桥在内全桥总长 $1\,670.4\text{m}$ 。1969年建成的南京长江大桥(图1.2),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。包括引桥在内,铁路桥梁全长 $6\,772\text{m}$,公路桥梁全长为 $4\,589\text{m}$ 。正桥除北岸第一孔为 128m 简支钢桁梁外,其余为3联9孔,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。桥址处水深流急,河床地质极为复杂,桥墩基础施工非常困难,也就是在此,开创了钻孔灌注桩的施工新技术。

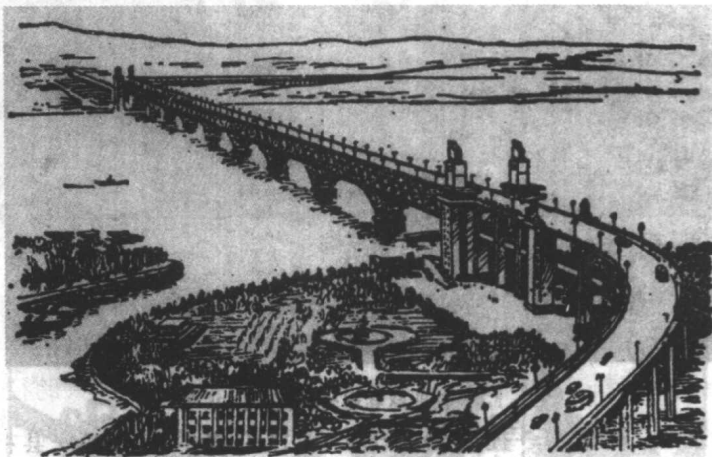


图1.2 南京长江大桥

作为第二京九线要隘的九江长江大桥,是目前长江上建成的长度最长(铁路部分全长 $7\,675.4\text{m}$,公路部分长 $4\,215.9\text{m}$)、跨度更大(全桥最大跨度为 216m)、施工更为先进的公路铁路两用特大钢桥。

据统计,目前长江上已建大桥近20座,在建桥梁9座,拟建桥梁10多座,如全部建成,长江上将会形成每70多公里就有一座长江大桥的新格局。

(2) 预应力混凝土桥

我国修建预应力混凝土梁桥起步较晚,但发展迅速。1956年在公路上修建成第一座跨径 20m 的预应力混凝土简支梁桥,此后,这种桥梁得到广泛推广,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年在河南建成跨径 52m 的鱼腹式预应力混

凝土简支梁桥,1976年建成的洛阳黄河公路大桥,67孔跨径为50m的预应力混凝土T形简支梁桥,全长3429m。1985年在浙江省建成跨径62m飞云大桥,是目前国内跨度最大的预应力混凝土简支梁桥。

悬臂施工法的采用,为大跨预应力混凝土连续梁桥、T形刚构和连续刚构桥的建设提供了强有力的保障。20世纪60年代,我国首次采用悬臂施工法建成了第一座T形刚构桥,1971年用该法建成福建乌龙江公路大桥,主孔跨径 $3 \times 144\text{m}$,为我国修建大跨度预应力混凝土桥梁迈出了坚实的一步。迄今已修建了十几座大、中跨径的预应力混凝土T形刚构桥,1980年建成的重庆长江公路大桥(图1.3),采用三向预应力,主跨为 $86.50\text{m} + 4 \times 138\text{m} + 156\text{m} + 174\text{m} + 104.5\text{m}$,总长1120m,其最大跨径(174m)和最大单悬臂长(69.5m)为国内之最。

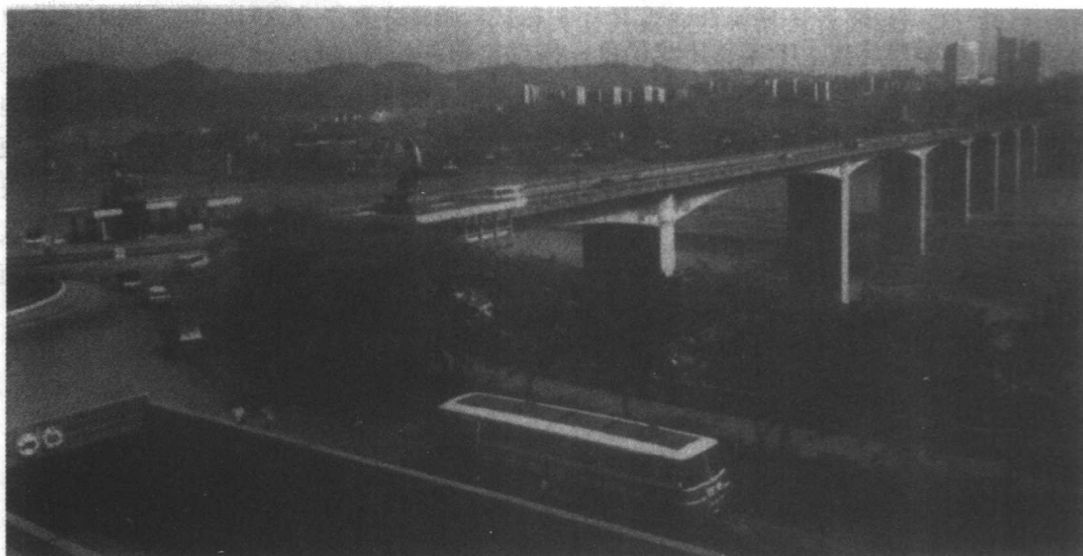


图 1.3 重庆长江大桥

由于T形刚构桥悬臂根部负弯矩大,伸缩缝多,桥面不平顺,不利于高速行驶等缺点,目前都转向采用连续刚构体系,并得到迅速发展和推广。1988年建成的广东省洛溪大桥,具有双薄壁墩和不对称连续刚构桥,主跨为 $65\text{m} + 125\text{m} + 180\text{m} + 110\text{m}$,其最大跨径180m居当时亚洲同类桥梁之最。1997年建成的广东虎门辅航道桥,主跨270m(图1.4),居世界同类桥梁前列。

我国修建大跨度预应力混凝土连续梁桥主要集中在20世纪80年代,迄今利用平衡悬臂法和顶推法建造了几十座桥梁,其中跨径在100m以上的桥梁有:1985年建成的湖北沙洋汉江大桥($62.4\text{m} + 6 \times 111\text{m} + 62.4\text{m}$,全长1819m),连续长度近800m。1986年建成的湖南常德沅水大桥($84\text{m} + 3 \times 120\text{m} + 84\text{m}$,全长1408m);1991年建成的云南六库怒江大桥($85\text{m} + 154\text{m} + 85\text{m}$),1996年建成的广东南海九江公路大桥($50\text{m} + 100\text{m} + 2 \times 160\text{m} + 100\text{m} + 50\text{m}$),是目前国内跨度最大的预应力混凝土连续梁桥。

(3) 斜拉桥和悬索桥

自20世纪50年代第一座现代斜拉桥问世以来,由于其结构合理、跨越能力大、用材指标低、外形美观等优点,斜拉桥技术迅速发展。我国从1975年开始修建重庆云阳汤溪河桥(主跨76m)和上海松江县新五桥(主跨54m)两座预应力混凝土试验桥以来,迄今已修建几十座斜拉桥,数量居世界第一。1982年建成济南黄河公路大桥(主跨220m),1994年建成主跨440m的湖



图 1.4 广东虎门辅航道桥

北郧县预应力混凝土斜拉桥,1997 年建成通车主跨 444m 的重庆长江二桥。

在发展预应力混凝土斜拉桥的同时,钢-混凝土结合梁斜拉桥也得到发展,最著名的就是上海的南浦和杨浦大桥,其中杨浦大桥主跨 672m(图 1.5)。



图 1.5 上海黄浦江杨浦大桥

据资料统计,全世界在建和已建的各类斜拉桥总数达 300 多座,其中跨径在 400m 或以上的总计约 32 座,而我国已有 10 座,占世界总数的 1/4 以上。迄今,我国是世界上建造斜拉桥最多的国家。

悬索桥,俗称吊桥,是目前跨越能力最大的桥梁。解放以来我国建成的公路悬索桥有十余

座,但跨径不大。进入 20 世纪 90 年代后,悬索桥得到了迅速发展,1995 年建成广东汕头海湾大桥,跨径 452m,双向六车道桥面,预应力混凝土加劲梁,开创了我国建造现代悬索桥的先河。随后,相继建成西陵长江大桥(900m,1996 年),广东虎门大桥(888m,1997 年),1998 年建成的江苏江阴长江大桥(图 1.6),主跨达 1 385m,排名世界第四,它的建成,标志着我国已具备设计和建造千米吊桥的能力。迄今,我国已在长江上建造 4 座悬索桥(重庆鹅公岩大桥、重庆丰都长江大桥、西陵长江大桥、江阴长江大桥)。

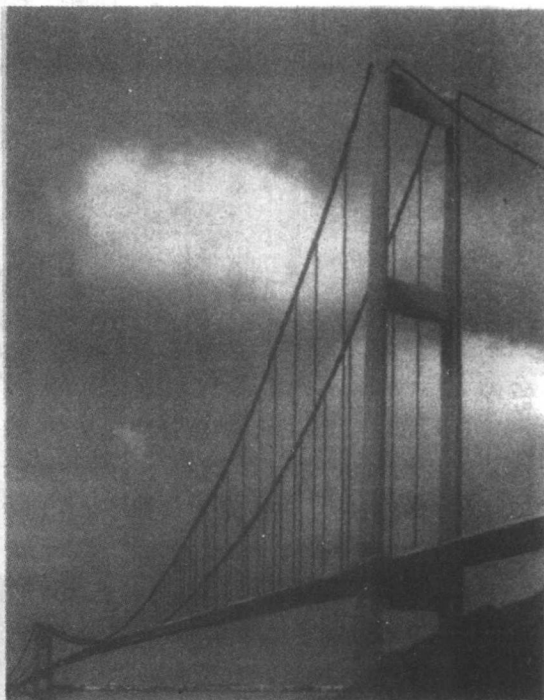


图 1.6 江苏江阴长江公路大桥

悬索桥与斜拉桥结合的吊拉组合桥,是未来超大跨桥梁的主要形式,我国在这方面走在世界前列,1998 年在贵州省建成世界上第一座吊拉组合桥——贵州乌江大桥(图 1.7),虽然该桥跨径不大,只有 284m,但它的建成,标志着这种桥型已从理论分析到工程实践的跨越。在 21 世纪跨海大桥中,将占主导地位。如土耳其准备在马尔马拉海东部修建的伊兹米特海湾桥,采用跨度为 600m + 2 000m + 600m 的自锚式斜拉桥和自锚式悬索桥的组合体系桥。

(4) 石拱桥、混凝土拱桥

石拱桥因其施工简便,造价低廉,建筑材料来源丰富,外形美观等优点,从古代到现在,建造了大量的石拱桥,而且结构形式也相当丰富。迄今我国已建造十余座跨径超过百米的石拱桥。

通常认为,石拱桥主要适用于板拱桥,在重庆、四川、湖南、贵州等地,因地制宜,发展了石肋拱桥,不但经济合理,而且外形美观。1991 年湖南省凤凰县建成 120m 的鸟巢河桥,是当时世界上同类跨径中最大的石拱桥(图 1.8)。2000 年建成的主跨 146m 的丹河大桥,其跨度居世界第一。

除石拱桥以外,我国还创造和推广了不少新颖的拱桥。如 1964 年创建的双曲拱桥,具有



图 1.7 贵州乌江大桥

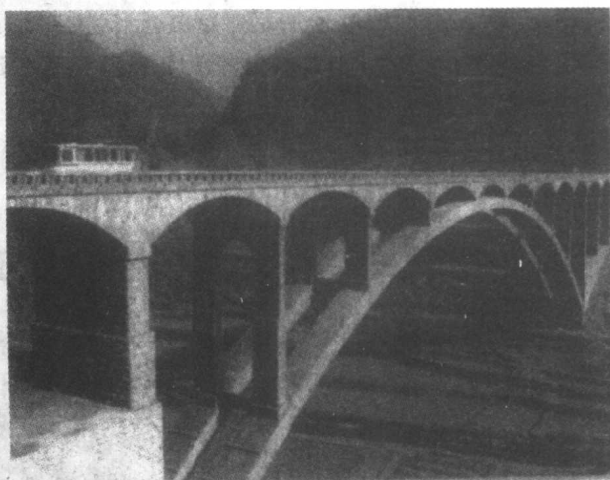


图 1.8 湖南省凤凰县乌巢河桥

材料省、造价低、施工简便、外形美观等特点,很快在全国获得推广和应用。据统计,在问世后的十多年间共建桥梁 4 000 余座,总长约 300 000m。其中跨径超过百米的双曲拱桥有 16 座,最大跨径达 150m(河南前河大桥)。湖南长沙湘江大桥,包括引桥在内全长 1 500m,这样规模的连续拱桥只用一年时间竣工通车,在世界建桥史上也是罕见的。此外江、浙、广东一带修建的钢筋混凝土桁架拱桥和刚架拱桥,以其上部结构自重轻、适宜于软土地基上建造,如广东清远县清远北江大桥,采用 $7 \times 75\text{m}$ 的刚架拱桥,全桥长 1 000 多米(图 1.9)。

采用劲性骨架和钢管混凝土复合材料作为主拱材料,是大跨径拱桥发展的方向,它先利用刚度大、质量轻的优点对型钢或钢管拱桁架进行转体或吊装施工,对钢管内填混凝土后,利用钢管混凝土作为主拱,钢管对混凝土的套箍作用又提高了主拱的强度,同时也提高了钢管壁的稳定性。1990 年建成的四川宜宾小南门金沙江大桥,采用型钢作为劲性骨架,主跨 243m;万县长江公路大桥(1997 年建成),采用钢管混凝土劲性骨架钢筋混凝土结构,主跨达 420m(图

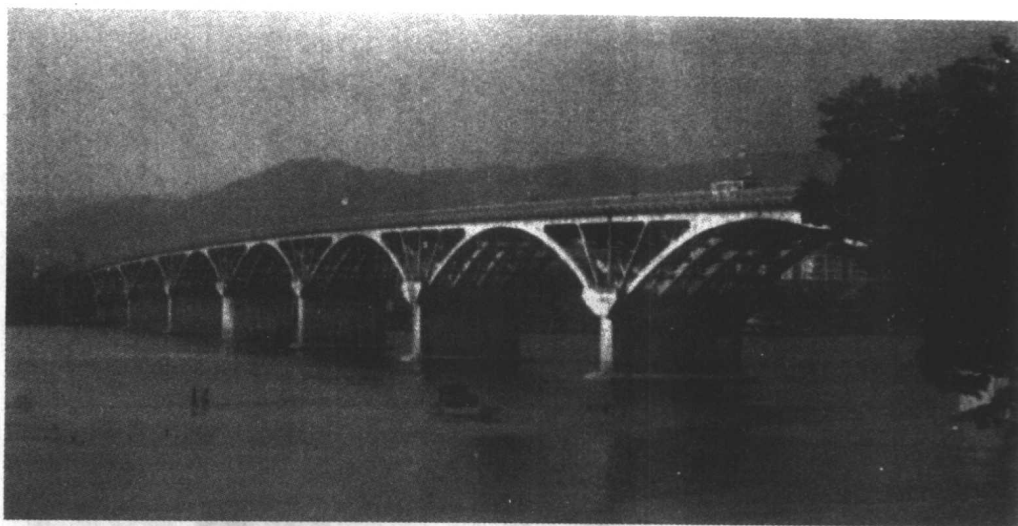


图 1.9 广东省清远北江大桥

1.10),居世界第一;广西邕宁邕江大桥,首次采用千斤顶斜拉扣挂技术,建成主跨 312m 的中承式劲性骨架钢筋混凝土拱桥;广西三岸大桥则采用钢管混凝土作为拱圈,跨径达 270m,2000 年建成的广东丫髻沙飞燕式钢管砼拱桥,主跨 312m,采用转体法施工。在建的重庆巫山长江大桥,为跨径达 460m 的钢管砼拱桥。

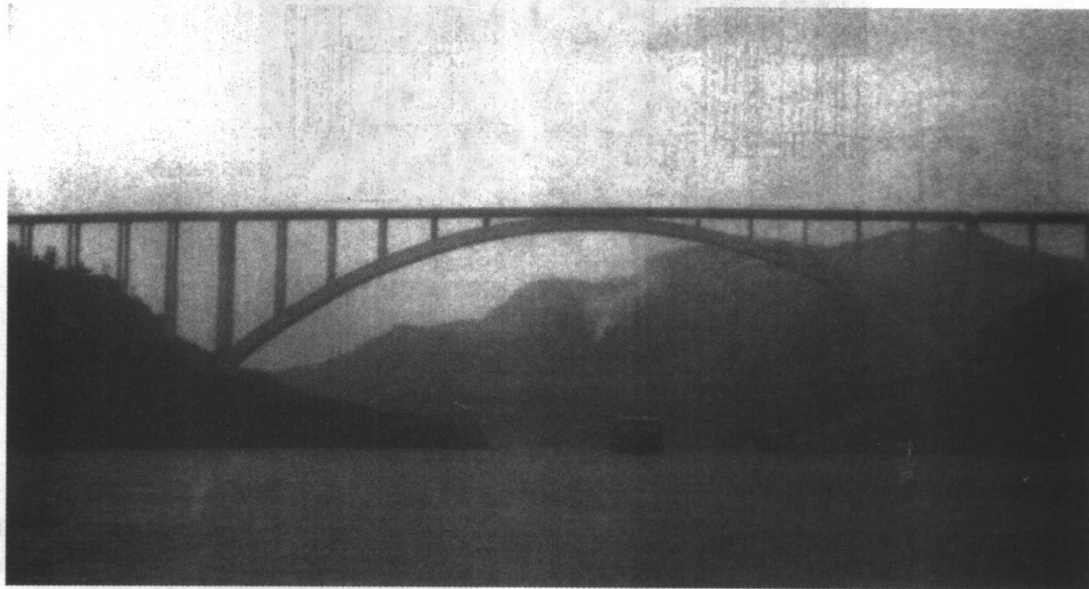


图 1.10 万县长江公路大桥

在拱桥的施工技术方面,除了有支架施工外,对于大跨径拱桥,已广泛采用无支架施工法,在四川、重庆、贵州、湖南等省采用转体施工法建成大跨拱桥。1990 年采用不平衡转体成功地建造了跨径为 200m 的重庆涪陵乌江大桥。

值得一提的是,在钢筋混凝土桁架拱桥的基础上,发展了预应力混凝土桁架拱,如 1985 年建成的贵州剑河大桥(主跨 150m),1992 年建成的四川自贡牛佛大桥(主跨 160m),1996 年建成的贵州江界河大桥,主跨达 330m。

(5) 桥梁基础工程

我国在深水急流中修建了不少桥梁,已积累了宝贵的深水基础工程的设计和施工经验。20 世纪 50 年代,我国修建武汉长江大桥时,在世界上首次采用了大型管柱基础。随后,这种先进的深水基础形式得到了推广和发展,管柱的直径由 1.55m 发展到 5.80m,最大埋置深度达 47.5m。在沉井施工方面,由于成功地采用了先进的触变泥浆套下沉技术,大幅度地减少了基础圬工数量,并使下沉速度加快 3~11 倍。此外,我国还广泛采用和推广了钻孔灌注桩基础。北镇黄河公路桥成功地采用这种基础施工方法,钻孔深度达 104m。

(6) 桥梁设计与科研

建国五十年来,我国公路、铁路、城市建设部门以及高等院校已形成了一支人数众多,力量雄厚的设计、科研队伍。从 1956 年开始制定公铁桥梁设计规范,并根据建桥经验不断进行修改,桥梁设计理论从容许应力法进展到极限状态设计方法,现已发展到可靠度设计理论。对中、小跨桥梁,已编制了大量标准化图纸。在桥梁设计中,对空间分析、结构复杂的次内力计算、稳定、振动与地震响应等方面进行了大量研究,取得了有实用价值的成果。桥梁静、动力模型试验、野外测试、风洞试验的研究,又为我国发展长大桥梁提供了科学依据。在软件开发方面,我国已编制了计算公路桥梁的大型综合程序和大量专用程序,桥梁 CAD 也在积极开发之中,已取得可喜成果。

1.1.3 世界各国桥梁建设现状与展望

纵观国外桥梁的发展史,早在古罗马时代,欧洲的石拱桥艺术已在世界桥梁史上写下过光辉的篇章。然而,国外桥梁得到发展,则得益于 18 世纪的工业革命。工业革命带来了生产力的大幅度增长,推动了工业的发达。而钢材和混凝土的出现,力学的发展和计算理论的完善,是国外桥梁建设的空前发展的保证。

1855 年法国建造了第一批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小圬工裂缝方面的研究与改进,推动了现代石拱桥的发展。

1870 年,德国开始建造用混凝土作为主要受力构件的混凝土拱桥,20 世纪初,法国建成跨度 139.80m 的箱形拱桥。从 19 世纪末到 20 世纪 50 年代,钢筋混凝土拱桥在跨越能力、结构体系和主拱圈的截面形式上都得到很大发展。法国于 1930 年建成三孔 186m 拱桥,瑞典在 1940 年建成跨径 264m 的桑独桥,1964 年澳大利亚建成悉尼港柏拉马塔河桥,跨径达 305m,由于该桥采用有支架施工,耗费了大量的人力物力,国外在以后的 10 多年中已较少采用。1979 年,南斯拉夫用无支架悬臂施工法建成跨度为 390m 的 KRK 桥(图 1.11),该桥的建成,标志着国外混凝土拱桥的技术已达到相当高的水平,其跨径记录一直到 1997 年才被我国的万县长江公路大桥(420m)打破。

钢筋混凝土梁式桥,因受到抗裂性能、刚度和承载能力的限制,发展缓慢,1940 年英国建成的纽华特洛桥,跨径为 77.02m(连续梁桥),仍是目前同类桥梁中跨径最大的桥梁之一。

预应力混凝土技术的出现与应用,克服了钢筋混凝土的缺陷,开创了混凝土桥梁的新纪元,与预应力技术高度一致的悬臂施工法和顶推施工法的创立,使预应力混凝土桥梁跨径达到 200~300m,其中,法国和德国开创了许多预应力混凝土桥新技术之最。前西德最早用全悬拼法建造预应力混凝土桥梁,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)后,该技术迅速传播到全世界。1962 年,德国又在莱茵河上建成 208m 的