

跨越
中国大型桥梁
建设工程技术总结丛书 ★ ★ ★ ★ ★

特大跨钢桁拱桥建造技术

CONSTRUCTION TECHNOLOGY
OF LARGE SPAN STEEL TRUSS ARCH BRIDGE

主 编 王 俊 向中富
副主编 王福敏 徐 伟 汪存书
吉敏廷 魏云祥



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

跨越 中国大型桥梁 建设工程技术总结丛书



特大跨钢桁拱桥建造技术

主 编 王 俊 向中富

副主编 王福敏 徐 伟 汪存书

吉敏廷 魏云祥



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书依托世界最大跨径拱桥——重庆朝天门大桥,介绍特大跨钢桁拱桥的建设规划、结构体系与构造设计、钢结构加工与制造、结构安装建设与控制等成套建造技术及相关试验与研究。

本书对同类桥梁建设具有重要的参考价值,可供桥梁设计、制造、施工及科研人员借鉴,也可供高等学校相关专业学生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

特大跨钢桁拱桥建造技术 / 王俊,向中富主编. —
北京:人民交通出版社股份有限公司,2014.7

(跨越:中国大型桥梁建设工程技术总结丛书)

ISBN 978-7-114-11507-3

I. ①特… II. ①王… ②向… III. ①长跨桥—钢桁
架桥—桁架拱桥—桥梁工程 IV. ①U448.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 142676 号

跨越——中国大型桥梁建设工程技术总结丛书

书 名:特大跨钢桁拱桥建造技术

著 作 者:王 俊 向中富

责任编辑:卢俊丽

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:36.25

字 数:850 千

版 次:2014 年 7 月 第 1 版

印 次:2014 年 7 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-11507-3

定 价:110.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前言

FOREWORD

重庆朝天门大桥主桥采用主跨552m的中承式连续钢桁架系杆拱桥,是世界最大跨径拱桥,其建设无实例可以借鉴,为此,开展了特大跨钢桁拱桥结构体系与构造设计、整体受力性能(静力、动力、疲劳)及施工全过程仿真、特大型杆件加工制造、14 500t球形支座、安装架设及其过程控制等研究与试验。重庆朝天门大桥主桥采用适合公轨两用的特大跨钢拱桥的三跨连续钢桁架系杆拱结构体系;上层系杆为钢制杆件,下层系杆采用“刚性系杆+辅助系索”的组合式系杆;上层桥面系为整体正交异性钢桥面板,下层桥面采用组合式桥面系;在国内首次大批量采用Q420q钢材;采用临时墩辅助边跨钢桁梁悬臂架设,利用斜拉扣挂进行中跨钢桁拱结构悬臂架设,借助临时系杆进行中跨刚性系杆安装;实现钢桁拱和刚性系杆的高精度无应力合龙(纵向、横向及竖向误差2~9mm)。依托重庆朝天门大桥研究与建设实践,解决了特大跨径钢桁拱桥设计、制造及施工关键技术,形成了特大跨径钢桁拱桥成套建造技术。2009年,世界最大跨径拱桥——重庆朝天门大桥建成,在世界上产生了巨大影响,进一步拓展了钢桁拱桥应用空间,为钢结构桥梁技术规范的修订提供了理论与实践依据,为同类桥梁设计、施工提供了成功范例。

本书在相关设计、施工及试验研究资料基础上编写而成,包括4篇24章。第一篇:规划与设计,包括特大跨钢桁拱桥方案研究与设计、结构设计、施工设计及设计技术创新;第二篇:加工与制造,包括高强厚板桥梁钢焊接技术、特大型杆件加工与制造、钢桁结构试拼装以及防腐、15 000t级球形支座研究与制作;第三篇:架设与控制,包括特大跨径钢桁拱桥施工方案确定、桁拱结构架设与控制、刚性系杆架设及控制、钢桥面板安装与控制;第四篇:试验与研究,包括结构架设施工仿真及稳定性分析、板桁温差效应测试研究、结构静力模型试验、钢桁架节点疲劳试验研究、结构动力性能试验研究、结构抗震性能试验研究等。

本书由王俊、向中富担任主编，王福敏、徐伟、汪存书、吉敏廷、魏云祥担任副主编，由向中富、董荧统稿。其中，第一篇由王福敏、徐伟、段雪炜、李军、袁毅、姚建军、康晋、尚军年、王俊编写；第二篇由仇艳萍、权红烈、黄鑫、宋红飞、魏云祥编写；第三篇由汪存书、罗锦刚、王天广、彭强、刘小勇、包雪巍、向中富编写；第四篇由向中富、董荧、王俊、黄海东、张雪松编写。在此，谨向为重庆朝天门大桥建设做出贡献的各参建单位、研究单位以及为本书编写提供资料的所有单位表示衷心感谢！

编 者
2013 年 10 月

目 录

CONTENTS

第一篇 规划与设计

第1章 概述	3
1.1 国外钢桁架桥梁建设与发展	3
1.2 国内钢桁架桥梁建设与发展	6
1.3 特大跨钢桁拱桥技术特点	8
1.4 特大跨钢桁拱桥特点	9
1.5 重庆朝天门大桥技术创新	9
第2章 特大跨钢桁拱桥方案研究与设计	11
2.1 概述	11
2.2 主要技术标准和建设条件	12
2.3 工程初步方案	14
2.4 结构体系设计	30
2.5 架设流程设计	34
第3章 特大跨钢桁拱桥结构设计	36
3.1 概述	36
3.2 结构材料选用	36
3.3 主桁结构设计	39
3.4 联结系结构设计	51
3.5 桥面系结构设计	52
3.6 吊索及辅助系杆设计	59
3.7 桁拱的拱度设计	63
3.8 结构力学行为分析	64
3.9 钢梁防腐涂装设计	83
第4章 特大跨钢桁拱桥施工设计	86
4.1 概述	86

4.2	架设流程与钢梁安装设计	86
4.3	架设过程体系转换设计	92
4.4	成桥状态跨度及几何、受力控制思想与允许范围	93
4.5	主要工况下的结构预控分析	94
第5章	特大跨钢桁拱桥设计技术创新	96
5.1	概述	96
5.2	三跨连续体系与支承设计	96
5.3	高强钢板材应用	97
5.4	基于焊接收缩变形及板桁温差的部分板桁结合桥面设计	98
5.5	先拱后梁架设工艺设计	99

第二篇 加工与制造

第1章	概述	103
1.1	钢桥制造技术发展	103
1.2	重庆朝天门大桥钢结构工程特点	107
1.3	重庆朝天门大桥钢桁结构制造技术创新	109
第2章	高强厚板桥梁钢焊接技术	111
2.1	高强厚板桥梁钢	111
2.2	超低碳贝氏体桥梁钢 Q420q 试验	111
2.3	Q420q 钢焊接工艺评定试验	120
2.4	Q420q 钢应用	147
第3章	特大型杆件加工与制造	148
3.1	概述	148
3.2	特大型变截面杆件制造技术	149
3.3	节点板制造技术	156
3.4	横梁制造技术	158
3.5	钢桥面板块拼装技术	163
3.6	整体钢拱座制造技术	171
第4章	试拼装技术	181
4.1	概述	181
4.2	试拼装技术	182
4.3	试拼装方案	183
4.4	拼装工艺流程及技术标准	184
4.5	精度控制	192

4.6 试拼装技术应用	193
第5章 桥梁钢结构防腐	194
5.1 概述	194
5.2 钢桥防腐体系	197
5.3 钢桥防腐影响因素与对策	206
5.4 钢桁结构涂装工艺及质量控制	212
5.5 附属设施防腐	221
第6章 15 000t 级球形支座研究与制造	222
6.1 前言	222
6.2 15 000t 级球形支座设计	222
6.3 支座设计计算	225
6.4 支座钢结构焊接技术要求	232
6.5 支座黏结技术要求	233
6.6 支座试验检测	234

第三篇 架设与控制

第1章 概述	241
1.1 大跨径拱桥建造工法	241
1.2 重庆朝天门大桥结构及架设施工特点	242
第2章 特大跨钢桁拱桥施工方案研究	245
2.1 施工方案比选	245
2.2 架设施工总体方案与实施流程	252
2.3 架设施工关键技术	259
2.4 特大跨钢桁拱桥架设施工控制原则、内容与方法	260
2.5 大型设备施工设计	261
第3章 架设施工过程结构分析	269
3.1 概述	269
3.2 基于空间梁索单元的施工全过程结构分析	270
3.3 非线性对施工过程影响分析	281
3.4 施工全过程弹性、弹塑性稳定分析	283
3.5 施工初始缺陷对结构性能影响分析	289
3.6 分析结论与创新	294
第4章 特大跨钢桁拱桥桁拱架设与控制	295
4.1 桁拱架设施工设计	295

4.2	码头栈桥预拼场设计	296
4.3	边跨安装辅助临时墩	298
4.4	中跨架设辅助斜拉扣挂系统	302
4.5	钢梁架设预偏状态(位置)确定	309
4.6	钢梁架设	309
4.7	钢桁拱合龙施工	318
4.8	临时墩脱空控制	322
4.9	抗倾覆技术措施	324
4.10	斜拉扣挂扣索索力施加与控制	326
4.11	桁拱状态调整及线性控制	333
第5章	中跨刚性系杆架设及控制	342
5.1	中跨刚性系杆架设施工设计	342
5.2	临时系杆索设计、安装及索力控制	342
5.3	刚性系杆安装与合龙控制	350
第6章	钢桥面板安装与控制	353
6.1	桥面系安装工艺	353
6.2	钢桥面板焊接及变形控制	355

第四篇 试验与研究

第1章	概况	363
1.1	试验研究内容	363
1.2	主要试验研究成果	363
第2章	结构静力模型试验	368
2.1	概述	368
2.2	试验模型设计与制作	368
2.3	静力模型有限元分析	376
2.4	结构安装主要工况和运营阶段模拟试验	394
2.5	结构安装主要工况和运营阶段关键构件安全性评估	402
2.6	结语	408
第3章	结构动力性能试验研究	410
3.1	概述	410
3.2	模态分析与试验研究	410
3.3	车桥耦合振动分析	424
第4章	风洞试验	454
4.1	前言	454

4.2	结构动力特性分析	455
4.3	节段模型试验研究	461
4.4	全桥气弹模型试验研究	465
4.5	风洞试验结论	473
第5章	结构抗震性能试验研究	474
5.1	概述	474
5.2	主桥抗震性能理论分析	474
5.3	振动台模型试验	482
5.4	结构抗震试验研究结论	496
第6章	钢桁架节点疲劳试验研究	498
6.1	概述	498
6.2	疲劳试验结构分析	500
6.3	疲劳荷载的制订	505
6.4	疲劳试验设计	513
6.5	疲劳试验结果分析	520
6.6	拱桁交叉节点连接构造使用寿命分析	524
6.7	主桁与横梁连接节点连接可靠性评价	526
第7章	板桁温差效应测试研究	528
7.1	板桁温差的发现	528
7.2	测试内容	528
7.3	温度场测点布置	529
7.4	温度传感器选择	529
7.5	桥道结构上层构件温度测试	533
7.6	桥道结构上缘主桁上弦杆温度	548
7.7	桥道结构下层构件温度测试	552
7.8	桥道结构下缘主桁下弦杆温度	554
7.9	下层系杆杆件温度	558
7.10	温差结果分析	558
7.11	测试研究结论与成果应用	566
参考文献		568

规划与设计

第1章 概述

1.1 国外钢桁架桥梁建设与发展

18 世纪英国的工业革命中,铸铁和锻铁的工业化生产使铁的产量极大提高,大量工业用铁应用于桥梁结构之中。最著名的铁拱桥有 1779 年跨越英国 Coalbrook dale Severn 河,由五个半圆弧拱肋并列组成净跨度为 30m 的单拱铸铁拱桥;1877 年在葡萄牙波尔图跨 Douro 河的 PiaMaria 桥,跨径为 160.13m,为双铰镰刀形内倾双肋桁拱。1856 年贝塞麦发明了转炉炼钢法,1861 年西门子(W. Siemens)和马丁(E. Martin)推广了平炉法,桥梁发展进入钢桥时代。钢材首次大量应用于桥梁的是 1874 年修建的美国 Missouri 跨越 St. Louis 的伊兹(Eads)桥,该桥为三跨(153m+158m+153m)的钢桁架拱桥,采用了悬臂架设法。在钢桁拱桥中最经典的是建于 1917 年的美国纽约的狱门(Hell Gate)桥,跨径为 297m,它对钢桁拱桥的发展起了重要的作用。在国外的大跨径钢拱桥中,跨径超过 500m 的有三座,它们分别是建于 1932 年澳大利亚的悉尼港大桥(主跨径为 503m)建于 1931 年、美国的贝永(Bayanne)桥(跨径为 504m)和建于 1977 年的新河谷(New River Gorge)桥(跨径为 518.3m)。

1) 悉尼港湾桥

悉尼港湾桥(图 1-1-1)位于澳洲悉尼港,是公铁两用钢桁架拱桥,桥面设有两条城市电车道,该桥于 1923 年动工兴建,于 1932 年建成通车(图 1-1-1)。拱肋采用双铰桁拱,两铰设置在拱肋下弦的两端。钢拱跨长为 502.9m,矢高为 107m,桥面高出海平面 134m,大桥下允许万吨轮船出入,两拱肋中心间距为 48.8m。拱肋的高度是变化的,拱桁高度在拱顶处为 18m,在拱脚处为 57m。

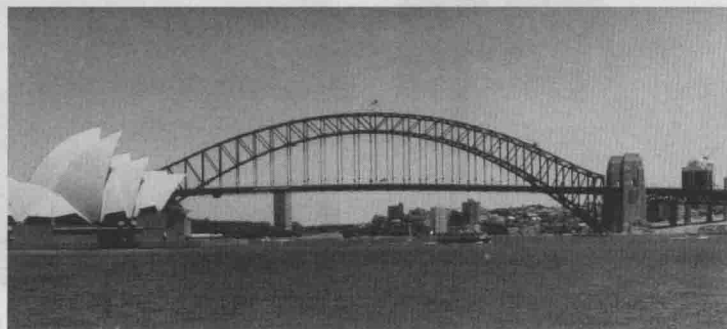


图 1-1-1 悉尼港湾桥

悉尼拱桥的设计者是澳大利亚昆士兰州的工程师布雷施菲尔德和弗里曼等人。他们把这座桥的拱肋设计成由弧形钢梁桁架和许多根钢铁吊索组成。施工时,钢拱用悬臂法拼装,



拱架端部拉撑之一是由 129 根直径为 70mm、长约 366m 的钢缆临时锚于天然基岩上。钢拱支承于桥墩的硅钢支座上,每个硅钢支座承受的推力达 197 000kN,由于靠近拱趾处的下弦受力较大,拱的推力几乎全由下弦承受,所需的截面面积远远大于其他的下弦杆。为了拼接方便,所有下弦杆的截面宽度应相等,同时还应考虑到减少杆件的受风面积,并加强弦杆的侧向刚度,故下弦杆选用了四块腹板组成的箱形截面。除了中间的拱桥部分外,大桥的两端还各修建了 5 孔钢梁引桥,这座桥共用了 52 000t 钢。悉尼港湾桥外形很像一个衣架,高悬在港口上,所以人们把它称为“大衣架”。

2) 巴拿马塔歇尔桥

巴拿马运河上的塔歇尔桥(图 1-1-2),建造年份是 1959~1962 年。此桥并不是纯粹的拱桥,其中央为跨度 259m 的系杆拱,它支承在跨度为 170m 的边跨悬臂上,从而使中央跨长达 343m。该桥的车道宽为 12.80m(4 车道),一侧为宽 0.6m 的缘石,另一侧为宽 1.20m 的人行道。拱上弦杆的顶点高出路面顶点 49m,高出水面上约 117m。梁下净空在运河的平均水位上为 61m,宽度随着水位在 150~240m 之间变化。中跨系杆拱在一侧桥墩附近突出的悬臂端上沿纵向固定,在另一伸臂端上则沿纵向可滑动。这部分的最大支承反力为 1 540t,用半径为 50cm 的枢轴,摆式支承。两主拱之间宽度为 14.3m,中跨为 343m 的上部结构,在拱系杆的平面内与连接于桥墩伸臂下弦杆的平面内之间设有纵向联结系。上部纵向联结系设于拱上系杆的平面内,桥上的风荷载传往设在两侧桥墩的桥门架上。全桥共用钢 13 000t。

3) 英国朗克恩桥

英国朗克恩桥(图 1-1-3)于 1961 年 7 月建成通车,是当时欧洲最大跨度的拱桥。桁肋拱部分的跨度为 76.25m+330m+76.25m,车道宽 10.07m,两侧人行道各宽为 1.83m,两侧主拱间距为 16.47m。具有对称边跨的两铰拱用纵向和横向联结系连接起来,以 10~12m 的间距配置锁口式钢缆的吊杆支撑着桥面系结构。包括拱与桥面系的上部结构全部钢重计 5 600t,约一半为高强度钢。此桥设计中重视拱的曲线美,拱的下弦杆处在半径约为 238m 的圆弧上(矢高为 77.11m),拱的上弦杆的圆弧段与直线段之间用凹曲线过渡。而且在中间桥墩上的拱节间部位,竖杆形成图 1-1-3 所示的倾斜角。桁架拱肋的高度在起拱点为 32.31m,到拱顶逐渐过渡至 10.74m。

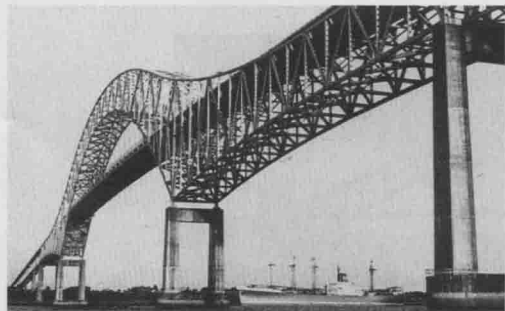


图 1-1-2 巴拿马塔歇尔桥



图 1-1-3 英国朗克恩桥

4) 韩国傍花大桥

韩国傍花大桥(图 1-1-4)是韩国首尔汉江上的第 27 座桥,建成于 2000 年。桥梁全长为 2 559m,主桥长度为 540m,对称的钢桁拱肋象征着一架飞机正在起航。在傍花大桥下部结

构施工中,由于桥址处于 20m 厚的堆积层,而持力层位于地下 36~40m 深处,因此,河床处采用沉井基础(沉井截面直径为 7~10m),岸跨采用 395 根现浇混凝土桩(直径为 1500mm),953 根管桩。根据上部结构的宽度、经济性、美观性、通航净空和施工难度确定了桥墩的形式。在桥墩的施工过程中温度和热应力被严格跟踪,同时为了减少内外混凝土的温度差别,在混凝土内埋设了水管以减少水化热导致的温度应力,除此之外整个过程并未使用其他的导热方式。引桥和纵坡的施工采用临时支撑分段架设方法。为缩短工期并确保吊装过程的安全,拱肋的施工方法采用分段悬拼法。每片吊装质量为 100~200t,吊装设备为 200t 的浮吊起重机。



图 1-1-4 韩国傍花大桥

钢桁架拱桥的技术进步,从其跨径来看,从 1874 年跨径 158.6m 的圣路易桥到 1916 年跨径 297m 的狱门桥,42 年中跨径增加了约 90%;到 1931 年跨径 504m 的贝永桥,15 年中又增加了 70%;到 1977 年跨径 518.3m 的新河谷桥,45 年仅增加 3%,此后,国外再未有大跨度钢桁架拱桥的修建。可以肯定,在钢桁架拱桥的设计和建造方面,近期的技术突破很少。表 1-1-1 为国外大跨度钢架拱桥的一览表。

国外大跨度钢拱桥一览表

表 1-1-1

序 号	桥 名	国 家	建成年份(年)	跨径(m)
1	新河谷桥	美国	1977	518.2
2	贝永桥	美国	1931	504
3	悉尼港湾桥	澳大利亚	1932	503.3
4	弗里芒特桥	美国	1973	383
5	曼港桥	加拿大	1964	366
6	塔歇尔桥	巴拿马	1962	344
7	拉比奥莱特桥	加拿大	1967	335
8	郎克恩桥	英国	1961	330
9	兹达可夫桥	捷克	1967	330
10	伯钦诺夫桥	津巴布韦	1935	553
11	罗斯福湖桥	美国	1990	329



1.2 国内钢桁架桥梁建设与发展

钢桥的建设首先需要钢材的材质获得突破,否则很难有所发展。1956年借用原苏联进口的低碳钢和技术,建成武汉长江大桥(主跨为128m)。1968年靠自己的力量炼出16Mnq国产钢建成南京长江大桥(主跨为160m)。20世纪60年代中期,为了加快铁路建设,在西南的成昆铁路修建中,系统地研究发展了栓焊钢新技术,一举建成各种不同结构形式的栓焊钢桥44座,结束了在我国使用了近百年的铆接钢桥历史,为我国栓焊钢桥技术发展开创了新纪元。1993年炼出高强度新钢材15MnVNq厚板,建成九江长江大桥(主跨为214m),2000年炼出14MnNbq钢建成了芜湖长江大桥(主跨为312m)。

在60~70年代的钢拱桥方面,我国的铁路建设兴起了一些拱桁组合拱桥—刚性桁梁柔性拱圈。例如在成昆线上建造了迎水河桥、桐模甸二号桥、泸沽安宁河桥、拉旧桥这四座跨度为112m的钢拱桥,又在内蒙古黄河大桥(跨度为132m)、九江长江大桥(主跨为214m)采用了此类型桥。随着我国经济和交通的发展、钢产量的提高、新钢种的不断研发,钢材在桥梁工程的应用亦日益增多。特别是2000年后,我国大跨度钢拱桥的建设掀起高潮,最具代表性的就是2003年建成的上海卢浦大桥(图1-1-5),主跨为550m,被誉为“天下第一拱”。该桥两边跨端横梁之间布置强大的水平拉索,以平衡中跨拱肋的水平推力。加劲梁通过吊杆或立柱支承于拱肋之上。边跨加劲梁分别在中跨和边跨的拱梁交汇处与拱肋固结。中跨加劲梁的两端支承于中跨拱梁交汇处的横梁上,端支承为纵向滑动支座,横向和纵向分别设置阻尼限位装置。

2006年通车的广州新光大桥(图1-1-6)的桥梁造型与景观功能都达到世界一流水平,既有完善的交通功能,又具有较高的艺术观赏性及美学价值(具有本身的结构美和造型美),桥型与周边环境协调一致。该大桥拱部曲线优美轻柔,梁部直线刚劲挺拔,构成飞雁式三跨中承拱桥。桥的动势,赋予了桥的生命力,桥的整体恰似一支从珠江腾飞而起的大雁,象征着广州的发展腾飞。这是我国,也是世界上第一座由钢拱与V形钢构组合而成的飞雁式三跨中承式拱桥,其优美独特的造型已成为广州的标志。



图1-1-5 上海卢浦大桥



图1-1-6 广州新光大桥

2007年通车的重庆菜园坝长江大桥主桥(图1-1-7)采用刚构与提篮式钢箱系杆拱、桁梁的组合结构,创六个桥梁之最:Y形混凝土刚构与提篮式钢箱系杆拱和钢桁梁组成的主跨420m的“公路+轻轨”两用桥跨度,居世界同类桥梁之首;主桥采用特殊智能化主动控制体

系,确保主体结构施工的内力和稳定,该技术在国内是首次应用;独特的主桁体系和安装方法为全国首创,其中钢梁整体节段拼装,节段最大重 360t;Y 形刚构施工难度及支架工程规模,居全国之首;边侧孔钢桁梁安装支架难度和规模属全国第一;用于起吊的缆索吊机达 152m,从地面起算达 202m,跨度达 420m,规模居全国第一。

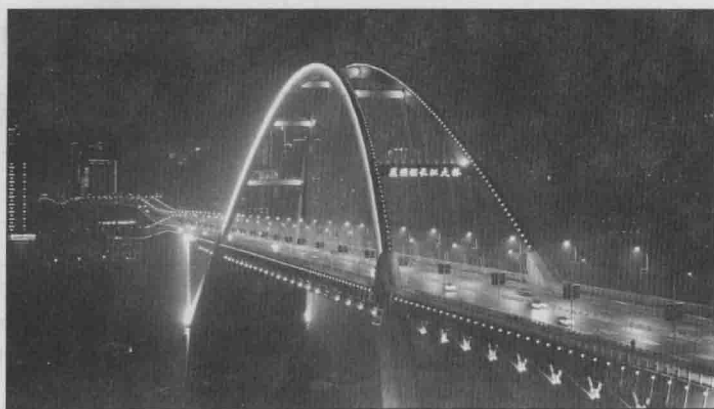


图 1-1-7 重庆菜园坝长江大桥

在铁道桥梁上,2004 年建成通车的万州长江大桥采用 168m + 360m + 180m 三跨连续钢桁拱—桁梁组合结构桥,两侧边跨为平弦钢桁梁,中跨为刚性拱柔性梁的钢桁拱桥。边跨主桁桁式采用有竖杆的三角形桁式,其中主跨达 360m,是国内最大跨度的铁路桥梁,也是目前世界上同类型桥梁中跨度最大的重载铁路桥梁。该桥的建设过程中,在国内首次运用最新研制的 BWQ-35 型拱形爬坡吊机吊装,采用了世界领先水平的拱连续钢桁梁技术。万州铁路长江大桥是三峡库区第一条千米以上的长江铁路大桥。

南京大胜关长江大桥(图 1-1-8)全长 9 273m,是京沪高速铁路、沪汉蓉铁路的共用过江通道,同时预留搭载南京城市轨道交通(双线)搭载条件,其中京沪高速铁路设计速度达 300km/h,沪汉蓉铁路为 I 级干线,客货共线,客车设计行车速度是 200km/h,南京地铁行车速度是 80km/h。主桥采用双孔六跨钢桁拱桥方案,中跨达 336m,钢桁拱矢高 84m,矢跨比 1/4,拱顶跨中处高 12m,支点处高 53m,边跨钢桁连续梁桁高 16m,节间长均为 12m。主桥横桥向采用三桁承重结构,桁宽 2 × 15m。采用正交异性整体桥面。该桥共有 239 孔,240 个墩,基础均为钻孔桩。其中,三个主墩采用 12.0m × 40.0m 圆端形空心墩,基础桩径为 2.8m,桩长为 105 ~ 112m。大胜关长江大桥



图 1-1-8 南京大胜关长江大桥

上铺有 3 种 6 条不同的平行铁轨,成为世界首座多线轨道交通桥梁,该桥同时也是目前世界上设计荷载最大的高速铁路桥梁,被誉为中国桥梁史的第五个里程碑。

以上钢拱桥的建设,充分证明了我国在大跨径钢拱桥建设方面已经有了长足的进步。表 1-1-2 和表 1-1-3 分别为我国大跨度钢桁梁桥和钢拱桥的一览表。