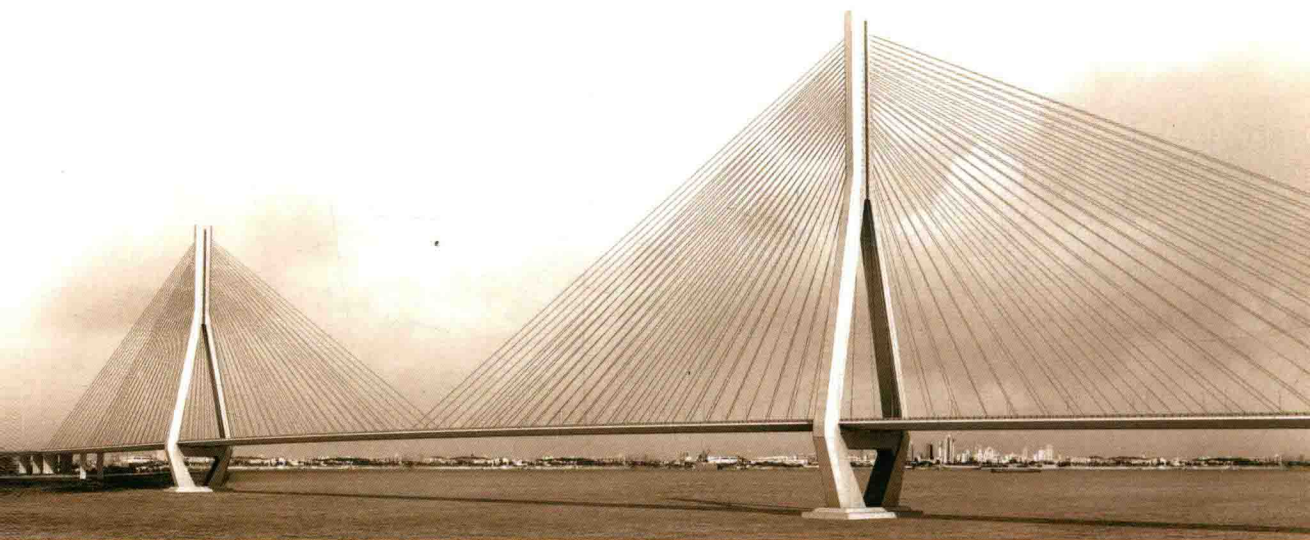




高等职业教育“十二五”规划教材

钢结构桥梁

赵 伟 张征文 主编



人民交通出版社
China Communications Press

高等职业教育“十二五”规划教材

Gangjiegou Qiaoliang
钢结构桥梁

赵 伟 张征文 主 编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书内容主要包括钢板梁桥、钢—混凝土组合结构桥梁、钢箱梁桥、钢拱桥、钢桥的连接、钢桥制作、钢桥架设技术和钢桥的防护等内容。重点结合规范叙述钢板梁桥、组合梁桥、钢箱梁桥和组合梁桥的构造,并结合实例总结了钢梁桥的制作和架设工艺。

本书可作为高等职业院校道路桥梁专业(方向)和钢结构相关专业(方向)教学用书,亦可供从事钢桥设计、安装及相关行业的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构桥梁 / 赵伟,张征文主编. — 北京:人民交通出版社, 2015.1

高等职业教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-114-11371-0

I. ①钢… II. ①赵… ②张 III. ①桥梁结构—钢结构—高等职业教育—教材 IV. ①U443

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 074654 号

高等职业教育“十二五”规划教材

书 名: 钢结构桥梁

著 作 者: 赵 伟 张征文

责任编辑: 任雪莲 周 凯

出版发行: 人民交通出版社

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: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京盈盛恒通印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 14.75

字 数: 336 千

版 次: 2015 年 1 月 第 1 版

印 次: 2015 年 1 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-11371-0

定 价: 38.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

道路桥梁工程技术专业建设委员会

主任委员：王怡民

副主任委员：金仲秋 李锦伟

编委：柴勤芳 屠群峰 兰杏芳 张征文

郭发忠 陈凯 王建林 彭以舟

陈晓麟 徐忠阳 贾佳 薛廷河

邵丽芳 钮宏 开永旺 赵伟

赵剑丽 单光炎(企业) 胡建福(企业)

刘芳(企业) 周观根(企业)

前言 Preface

随着我国钢材产量的增加,钢结构作为相对新兴的结构形式,以其质量可靠、轻质高强、抗震性能好、工厂化制作程度高、施工周期短和绿色环保等优点,在桥梁建设领域得到了越来越广泛的应用。为适应钢结构事业的蓬勃发展,我国相关高等职业院校先后开设了钢结构桥梁课程和钢结构相关专业(方向)。

为系统地总结一些钢结构桥梁构造、制作、架设和防护的知识,供类似工程借鉴;也为加强高等职业院校钢结构桥梁课程的教学,特立项并编写了本教材。

本书第一章由张征文撰写,第二章由董长春撰写,第三章、第四章、第五章、第六章由赵伟撰写,第七章由周观根、赵伟撰写,第八章由杭振园、赵伟撰写,第九章由张征文、赵伟撰写。全书由赵伟和张征文担任主编。

在本书编写的过程中得到了浙江交通职业技术学院的大力支持,在此表示感谢。书中部分内容引用了同行专业论著中的成果,在此对论著作者表示衷心的感谢。

本书力求注重理论与实际相结合,通过丰富的典型工程案例,图文并茂地介绍了适用于各种钢结构桥梁构造、制作、架设和防护的知识。但由于钢结构桥梁的飞速发展以及各种安装设备和技术不断创新,书中不能完全覆盖所有的钢结构桥梁知识;同时限于作者水平,书中难免存在错误或不足之处,欢迎读者批评指正,在此表示衷心的感谢。

编者

2014年11月

目 录 Contents

第一章 绪论	1
第一节 钢桥的发展	1
第二节 钢桥的材料	7
第三节 钢桥的主要类型	8
第四节 公路钢结构桥梁技术的发展趋势	10
复习思考题	10
第二章 钢板梁桥	11
第一节 钢板梁桥的结构形式和组成	11
第二节 钢板梁桥的横截面布置	12
第三节 钢板梁桥的平面布置	14
第四节 支座类型和布置	19
第五节 主梁的设计要点	24
复习思考题	30
第三章 钢—混凝土组合结构桥梁	32
第一节 概述	32
第二节 组合桥梁设计原则和一般规定	37
第三节 抗剪连接件设计	40
第四节 组合梁桥横向连接系设计	49
第五节 组合梁桥的构造和设计要点	51
第六节 简支组合梁桥设计实例	64
复习思考题	71
第四章 钢箱梁桥	72
第一节 概述	72
第二节 钢箱梁的总体布置	74
第三节 钢箱梁的注意事项	77
第四节 钢箱梁的构造与设计	81
第五节 工程实例	89
复习思考题	96
第五章 钢拱桥	97
第一节 概述	97
第二节 钢拱桥的类型	99
第三节 钢拱桥的构造与设计	104
第四节 主拱结构形式	113

复习思考题.....	126
第六章 钢桥的连接	127
第一节 钢结构的连接方法.....	127
第二节 焊接.....	127
第三节 钢结构的螺栓连接.....	138
复习思考题.....	145
第七章 钢桥制作	146
第一节 零件加工.....	146
第二节 钢箱梁制造.....	161
复习思考题.....	174
第八章 钢桥架设技术	175
第一节 架设方法分类.....	175
第二节 支架架设方法.....	176
第三节 拖拉施工法.....	187
第四节 顶推施工法.....	189
复习思考题.....	202
第九章 钢桥的防护	203
第一节 涂装分类.....	203
第二节 重防腐涂料防护技术(普通型)	203
第三节 热喷涂复合涂层防护技术(加强型)	205
第四节 涂装要求.....	211
第五节 涂装劣化.....	216
第六节 维修涂装和重新涂装.....	224
复习思考题.....	225
参考文献	226

第一章 绪 论

钢桥是各种桥梁类型中最具有竞争力的桥梁形式,特别是在修建跨越大江大河和跨越海峡的大桥时,钢桥以其轻质、高强、美观、快速架设及跨径大等优点成为首选桥型。钢结构由于具有轻质高强、塑性韧性好、工厂化程度高、安全可靠、便于无支架施工、工期短、结构拆除时产生的固体垃圾少、资源可回收率高、对交通影响小和节水环保等优点,已不仅是大跨径桥梁的主要结构形式,而且是高速公路和城市立交桥的主要结构形式,特别是在弯坡、斜坡和匝道等特殊桥梁中有广泛的应用前景。

第一节 钢桥的发展

一、铁路钢桥的发展

我国建设钢桥的历史可以追溯到一百多年以前,但新中国成立前所建的钢桥,标准杂乱,跨度都很小,建桥的钢材均为进口,自行设计建造的很少。我国自行建造钢桥的代表为1934~1937年,我国著名桥梁专家茅以升先生带领中国工程师设计并建造的钱塘江大桥,该桥主跨跨径65.84m,全长1453m(图1-1)。

1949年新中国成立后,各项建设蓬勃发展,桥梁建设也不例外。但改革开放以前,由于材料的原因,主要发展的是铁路钢桥。其发展过程可以概括为三个里程碑和一个新纪元。新中国成立初期,建桥用的材料主要靠进口,也没有建造大型复杂桥梁的经验。1956年,由苏联进口低碳钢材料并接受其技术指导,建成了京广铁路武汉长江公铁路大桥,首次在长江上实现了“一桥飞架南北,天堑变通途”。这是在长江上建造的第一座大桥,是我国桥梁史上第一个里程碑。武汉长江大桥全长1156m,结构为跨度128m铆接米字形连续钢桁梁(图1-2)。



图1-1 钱塘江大桥



图1-2 武汉长江大桥

20世纪60年代,为了连通京沪铁路,决定修建南京长江大桥以取代南京轮渡。为解决无低合金结构钢料的困难,鞍山钢铁公司于1962年成功研制了16锰低合金高强度桥梁钢16Mnq(Q345q),南京长江大桥除少部分仍用已进口的苏联产的低合金钢外,其余全部用国产钢材。南京长江大桥正桥钢梁全长1576m,结构为跨度160m的铆接米字形连续钢桁梁。这座桥是完全依靠我国自己的技术力量和国产材料建成的长江大桥,标志着我国的建桥技术进

入到了一个独立自主的新水平，所以南京长江大桥的建成是我国桥梁史上的第二个里程碑（图 1-3）。

1966 年底，在成都线的禄丰建成了我国第一座跨度 112m 的栓焊钢桥——迎水村大桥（图 1-4），其制造技术达到当时国际先进水平。栓焊工艺的采用，结束了我国长期使用铆焊钢梁的历史。栓焊钢桥比铆接钢桥可节约钢材 12% ~ 15%，可加快建桥速度，改善工人劳动条件和结构的传力状态。1993 年用 15 锰钒氮 C 级正火桥梁钢建成了九江长江公铁路大桥。该桥正桥钢梁全长 1806m，主跨是 216m 的刚性梁柔性拱，结构雄伟壮观，桥形秀丽。从此我国开始用国产高强度钢材建造大跨度栓焊钢桥，在材料、工艺、理论方面都已成熟，彻底地完成了铆接钢桥向栓焊钢桥的过渡，这是我国钢桥史上的第三个里程碑（图 1-5）。

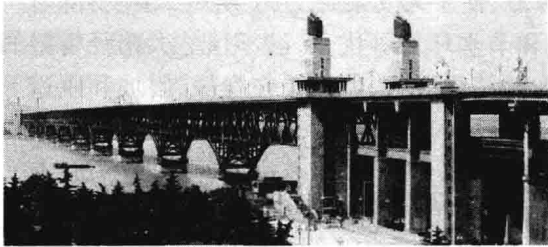


图 1-3 南京长江大桥

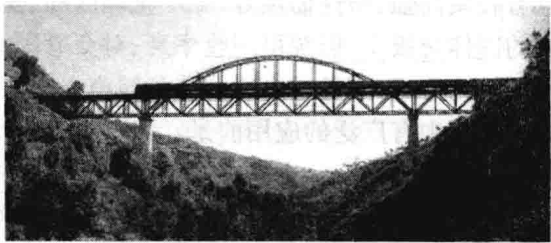


图 1-4 迎水村大桥

2000 年我国建成公铁两用桥的标志性工程——芜湖长江公铁路大桥（图 1-6），由于航运与空运的净空限制，该桥采用的是矮塔斜拉桥，主桁为无竖杆三角形桁架，桁高 12m，节间长度 14m，最大跨度 312m。这座桥与以前栓焊结构比较有以下几个特点：一是我国钢铁及钢结构焊接制造业的进步，采用了新开发的 14 锰钒正火桥梁钢，这种钢的韧性及可焊性好；二是在结构上将散装节点改为整体焊接节点，这可以加快施工速度，降低成本，提高工程质量；三是将公路混凝土桥面通过主桁节点的焊接栓钉与主桁结合成整体。芜湖长江大桥的建设开启了我国钢结构桥梁建设的新纪元，此后，我国相继建成了多座世界领先的桥梁，其中的优秀代表是京沪高速铁路上的南京大胜关长江大桥，该桥为主跨 336 m 的连续钢桁拱桥（图 1-7）。

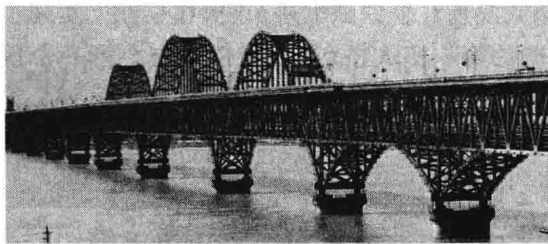


图 1-5 九江长江大桥

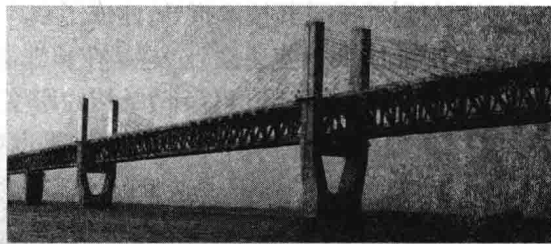


图 1-6 芜湖长江公铁路大桥

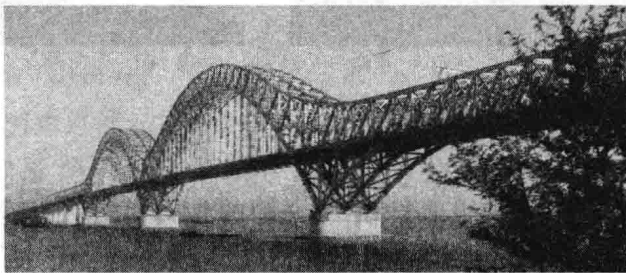


图 1-7 南京大胜关长江大桥

二、我国公路钢桥的发展

我国公路钢桥的发展经历了两个阶段。20 世纪 80 年代中期以前,由于钢材的缺乏和地方经济的制约,钢桥在公路桥中所占比例很小,桥梁结构形式不多而且跨度也不大。20 世纪 80 年代中期以后,随着经济的快速发展,对包括桥梁在内的交通工程的需要越来越迫切。同时,由于国家及交通部门加大对交通设施的投资力度,地方政府、外资、企业也提高了对桥梁建设的积极性,加之通过对外技术交流,学习世界各国先进桥梁设计技术,我国在钢材制造技术和施工技术等方面已具备了建造大跨度钢桥的能力。近十年来,我国大跨度公路钢桥飞速发展,突破了原来跨越大江大河建造桥梁的障碍,我国大跨度公路钢桥的跨度一再被刷新,从建造速度和桥梁规模等方面都已经在世界桥梁界产生很大影响。

1. 20 世纪 80 年代中期以前

我国这一期间建造的公路钢桥主要有板梁桥、桁梁桥、悬索桥、钢拱桥等桥梁形式,早期的中、小跨度公路钢桥以工形钢梁与钢筋混凝土桥面板构成的结合梁为主。其他结构形式像桁梁桥、钢拱桥、悬索桥等也多采用钢结构与钢筋混凝土桥面板组成的桥面。浙江省的黄岩桥主桥为 5 跨 32m 的钢板梁与钢筋混凝土桥面板构成的结合梁桥;跨越金沙江的川西 2 号桥(建于 1966 年)和川西 3 号桥(建于 1969 年)均为钢拱桥,计算跨径 180m,拱圈及纵横梁均采用 16Mn 钢,节段间采用高强度螺栓连接。我国早期建成的悬索桥绝大部分为单车道,1969 年建成的重庆朝阳大桥是一座主跨 186m 的悬索桥,行车道净宽为 7m,加劲梁为钢箱梁,预制 32 个钢箱梁节段,采用 16Mn 钢;建于 1984 年的拉萨河达孜桥是这一时期跨径最大的悬索桥,主跨为 500m,桥面净宽为 4.2m,车道桥面系是正交异性板结构。

2. 20 世纪 80 年代中期至今

20 世纪 80 年代中期以后,我国的桥梁建设事业经历了一个辉煌的发展时期,建成了一大批结构新颖、技术复杂、设计和施工难度大、现代化品位和科技含量高的大跨径桥梁。我国桥梁建设水平已跻身于国际先进行列。特别是在公路钢桥方面,建成了一大批跨越大江大河的大跨度标志性桥梁,在公路钢桥设计、制造、施工和质量检测方面积累了丰富的设计和施工经验,取得了举世瞩目的成就。公路钢桥发展较快的桥梁结构形式主要有钢管拱桥、斜拉桥、悬索桥。

上海南浦大桥(图 1-8)于 1991 年 11 月建成通车,是我国建成的第一座特大跨度钢—混凝土结合梁斜拉桥,该桥全长 8346m,主桥长 846m,浦东引桥长 3746m,浦西引桥长 3754m。主桥采用双塔双索面钢与混凝土结合梁斜拉桥。主跨跨径 423m,一跨过江,通航净空 46m,主桥桥面宽 30.35m,共 6 车道,车行道宽 23.45m,设计荷载汽车—超 20 级,全重 3000kN 平板车验算。主桥两侧各设 2m 宽人行道。车行道与斜拉索、人行道间设防撞栏杆。主桥塔高 150m,采用折线 H 型钢筋混凝土塔,双索面呈扇形布置。塔柱每侧索面各 22 对斜拉索,在塔柱中央设置一对垂直索,主梁在纵向为漂浮体系。主梁采用钢—混凝土结合梁构造,边跨设置辅助墩。主桥两端及边墩处设置 640mm 组合式大位移伸缩缝。南浦大桥的建成标志着我国大跨度钢斜拉桥进入了一个新的发展时期,随后相继建成的上海杨浦大桥(主跨 602m)、徐浦大桥(主跨 590m)和福建青州闽江大桥(主跨 605m)都采用了这种结构形式。

南京长江第二公路大桥(图 1-9)于 2001 年 3 月 26 日建成通车,全长 21337m,由南、北汉大桥和南岸、八卦洲及北岸引线组成。其中,南汉大桥为钢箱梁斜拉桥,桥长 2938m,桥面宽

38.2m,主跨为 628m,该跨径目前居同类桥型中国内第二、世界第四。主梁由 93 段钢箱梁现场悬吊、悬拼、焊接组成,钢箱梁先在工厂制成板单元,在钢箱梁预拼场地组装成标准节段,通过水上船舶运输至桥位处,36 段钢箱梁利用大型浮吊预先吊装到位,其余钢箱梁采用桥面液压吊机完成吊装。钢箱梁节段间除上顶板 U 肋接口采用高强螺栓连接外,其余采用全焊结构,钢箱梁节段的拼装精度要求高,焊接工艺复杂,对现场施工的条件要求极高。索塔为钻石形钢筋混凝土索塔,下塔柱为双向变截面,尺寸从 12m×7m 变化至 8.013m×4.785m,中、上塔柱为 7.0m×4.5m 的等截面,横梁为预应力钢筋混凝土,上塔柱设环向预应力。主塔高 195.41m。南汉大桥全桥有 160 根斜拉索,由高强度、低松弛的 $\phi 7$ 镀锌平行钢丝组成,最长索达 330m,钢丝有 265 根,重 30t。桥面铺装采用 5cm 的环氧沥青混凝土。



图 1-8 上海南浦大桥

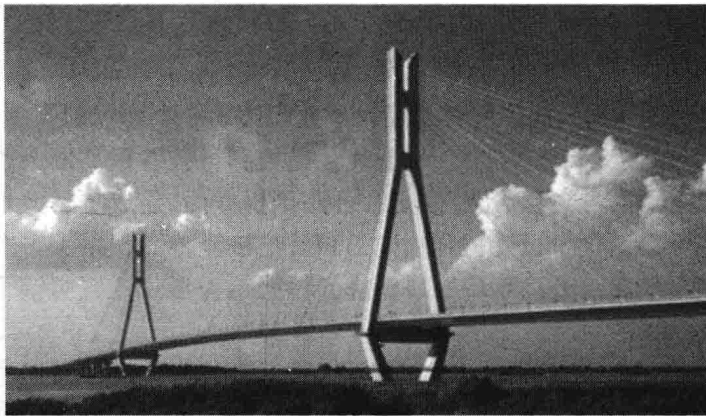


图 1-9 南京长江第二公路大桥

江阴长江公路大桥(图 1-10)为主跨 1385m 的大跨径悬索桥,于 1999 年建成,是我国目前跨径第二的悬索桥,名列世界第五位。我国 2005 年建成通车的润扬长江公路大桥,主跨 1490m,跃居世界第三位。该桥桥面布置为高速公路标准的双向 6 车道,设中央分隔带和紧急停车带,在主桥跨江部分的两侧各设 1.5m 宽的人行道。主跨桥道梁采用带风嘴的扁平钢箱梁结构,梁高 3m,总宽 37.7m。主缆的垂跨比为 1:10.5,由 $\phi 5$ 镀锌高强钢丝组成,采用平行钢丝束法(PWS 法)架设。桥下通航净高 50m。桥塔高约 190m,为门式钢筋混凝土结构。南塔位于南岸边岩石地基上。北塔位于北岸外侧的浅水区,采用筑岛施工的桩基础。南锚碇为重力式嵌岩锚碇结构。北边孔由多跨预应力连续刚构组成。南北引桥为预应力混凝土梁桥,引桥长分别为 132m 和 1365m。

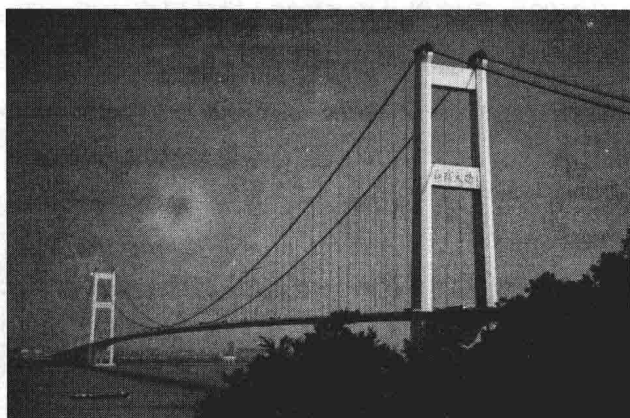


图 1-10 江阴长江大桥

广州丫髻沙大桥(图 1-11)于 2000 年 6 月建成,全长 1840m,桥面为 6 车道,主桥采用三跨连续梁自锚中承式钢管混凝土拱桥桥型,其主跨为 360m 一跨跨过珠江的主航道,在同类型桥中居世界第一位。采用竖转加平转相结合的方法,大桥平转转体每侧质量达 13680t。

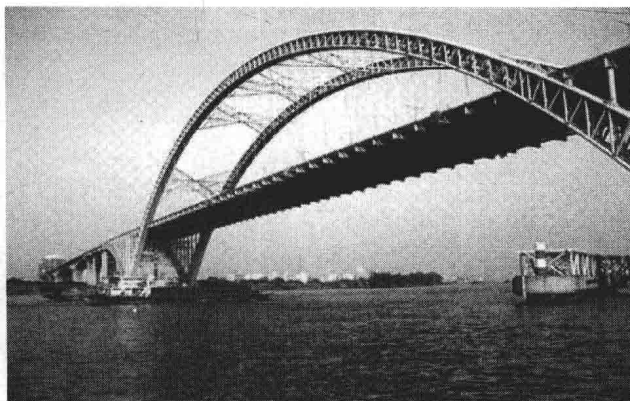


图 1-11 广州丫髻沙大桥

上海卢浦大桥(图 1-12)于 2003 年 6 月建成,全长 3900m,主桥为中承式钢箱拱桥,桥长 750m,桥面 6 车道,宽度 28.7m,桥下净高 46m。主桥跨径 550m,矢跨比为 1:1.5,拱肋拱脚截面高度 9m、拱顶 6m,位居世界同类型桥之首,被誉为“世界第一拱桥”。系梁采用钢箱结构,中心线处梁高 3m,梁宽 41m。为了减轻质量,中跨系梁底板被挖空,实际为开口截面,设有 28 对吊索。系梁处共有 16 根(每侧 8 根)水平拉索平衡拱的水平推力。拱肋和系梁均为全焊钢结构,主桥总用钢量 3.5 万 t,采用 S355N 钢材(相当于 Q345),仅拱肋焊接的焊条用量就达 120 多吨,焊缝严格按照美国 AWS D 钢结构桥梁焊接规范,100% 超声波探伤、100% 磁粉探伤和 25% X 射线探伤的检验。

2005 年 10 月建成通车的南京长江第三大桥(图 1-13),全长约 15.6km,其中跨江大桥长 4.744km,投资 33.63 亿元。南京长江第三大桥主桥为主跨 648m 钢箱梁斜拉桥,在同类型桥中居国内第一、世界第三。主桥索塔为“人”字弧线形钢与混凝土混合结构,桥面以上部分采用钢箱结构,桥面以下部分为混凝土结构,塔高 215m,用钢量 12000t。

2005 年 5 月 1 日建成通车的润扬长江大桥(图 1-14)由主跨 1490m 的悬索桥和 176m + 406m + 176m 的双塔双索面钢箱梁斜拉桥组成。悬索桥跨径为中国第一、世界第三。悬索桥

主塔高 215.58m,主缆长 2600m,钢箱梁总重 34000t,锚碇混凝土近 6 万 m^3 。润扬长江大桥全长 35.66km,主线采用双向 6 车道高速公路标准,设计时速 100km,工程总投资约 53 亿元。

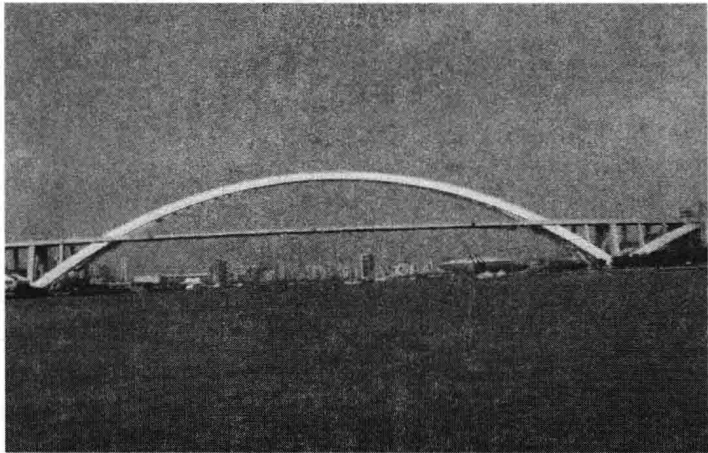


图 1-12 上海卢浦大桥

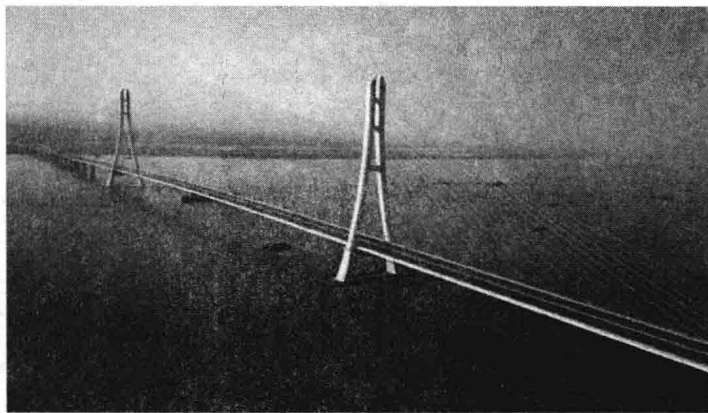


图 1-13 南京长江三桥

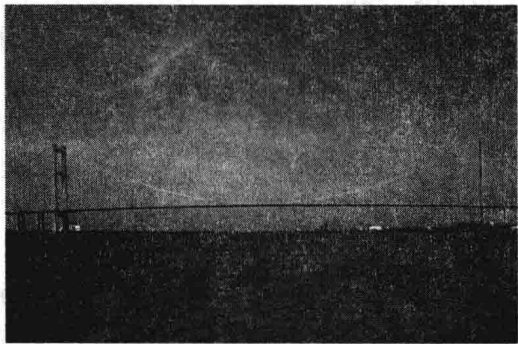


图 1-14 润扬长江公路大桥

2008 年 6 月 30 日通车的苏通长江公路大桥(图 1-15),起于通启高速公路的小海互通立交,终于苏嘉杭高速公路董浜互通立交,路线全长 33.21km,主要由北岸接线工程、跨江大桥工

程和南岸接线工程三部分组成。其主跨跨径达到 1088m,是世界第二大跨径的斜拉桥(截至 2013 年,最大斜拉桥主跨是俄罗斯的跨东博斯鲁斯海峡的俄罗斯岛大桥,其主跨 1104m);其主塔高度达到 300.4m,为世界第二高的桥塔(第一高桥塔为俄罗斯的跨东博斯鲁斯海峡的俄罗斯岛大桥,其桥塔高超过 320m)。

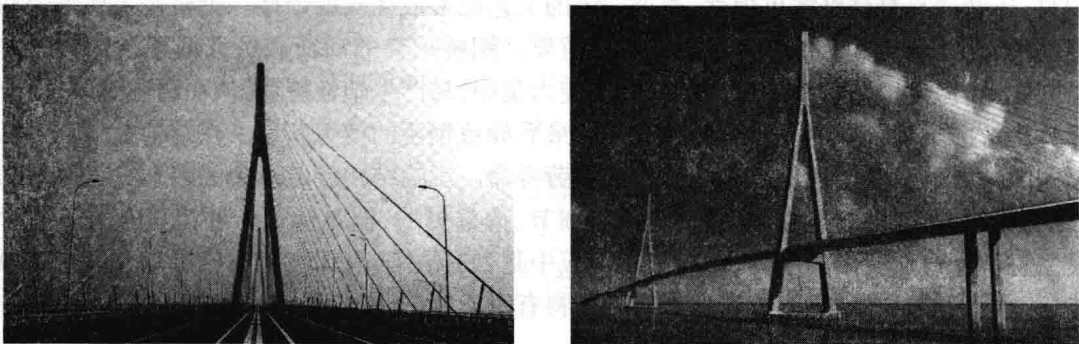


图 1-15 苏通长江公路大桥

第二节 钢桥的材料

桥主体结构所用的钢材主要是碳素钢和低合金钢。20 世纪 50 年代,我国钢桥主要采用碳素钢 A3 钢,该钢材由于含碳量较高(0.14% ~0.22%),可焊性差,只能进行铆接。用 A3 钢建造大跨度桥梁,构件截面尺寸大,从而增加用钢量并使钢桥的自重加大。因此,20 世纪 50 年代后期,我国开始研究在钢桥上采用能够焊接的国产高强度低合金钢 16q 钢和 16Mnq 钢,它比 A3 钢节约钢材约 15%。20 世纪 70 年代,我国又成功研制出强度更高的 15MnVNq 钢,又比用 16Mnq 钢材节省 10% 以上。21 世纪初,我国研制出另一种新型的桥梁用钢 14MnNbq 钢,该钢材的主要特点是可焊接的最大板厚可达 50mm。

为了和国际标准接轨,国家在上述钢材的基础上制定了《桥梁用结构钢》(GB/T 714—2008)和《铁路桥梁钢结构设计规范》(TB 10002.2—2005)(以下简称《桥规》),采用国标表钢号。国标的钢号是以屈服点命名的,如 Q235qD,钢号的第一个字母 Q 为汉语拼音屈服的首写字母,第二个数字为板厚 16mm 时的屈服点大小(以 MPa 或 N/mm² 为单位),第三字 q 为汉语拼音桥梁用钢首写字母,最后一个字母是钢材的等级。国标桥梁结构钢共有四个钢号,分别是 Q235q、Q345q、Q370q 和 Q420q。每一个钢号有 A、B、C、D、E 五个等级。根据现有的试验数据和国内外资料,暂时认为 Q235q 相当于过去的 A3 钢和 16q 钢,Q345q 相当于过去的 16Mnq 钢,Q370q 相当于 14MnNbq 钢,Q420q 相当于 15MnVNq 钢。表 1-1 给出了桥梁用钢设计时所采的基本容许应力。

钢材基本容许应力(MPa) 表 1-1

序号	应力种类	钢材牌号			
		Q235qC/D/E	Q345qC/D/E	Q370qC/D/E	Q420qC/D/E
1	轴向应力[σ]	135	200	210	230
2	弯曲应力[σ _w]	140	210	220	240
3	剪应力[τ]	80	120	125	140

钢桥在使用时,不仅要求钢材具有较高的强度,而且还要求其具有良好的塑性;对低温下工作的钢桥,要求钢材具有良好的低温冲击韧性;对于焊接钢桥,要求钢材具有可焊性。塑性好的钢材可以通过塑性变形使应力重新分布,避免结构的局部破坏而导致整个结构的失效。韧性不好的钢材,在低温或快速加载等不利的条件下,易使钢材发生脆性断裂。现代钢桥所用的钢材,还必须具有良好的可焊性,通过一定的工艺能形成优质的焊接。钢桥是主要承受动荷载的结构,钢材的抗疲劳性能对于桥梁十分重要。钢桥承受的动荷载虽远低于结构的静力强度承载能力,但由于结构中有微小的缺陷或应力集中,易产生塑性应变,从而萌生裂纹,随着外力循环次数的增加,微小的裂纹会逐渐扩展,最后导致钢桥的疲劳断裂。在结构上出现可以看得见的裂纹时的荷载循环次数称为结构的疲劳寿命。影响结构疲劳寿命的因素除材料的韧性外,还与材料的化学成分、强度、结构的构造细节、荷载类型、板厚及工作环境等有关。冷弯性能是钢材承受弯曲变形的能力,并能显示钢板中是否有缺陷、有无夹渣或分层。它既是一项工艺指标,也是一项质量指标,冷弯性能好的材料有利于制造。

第三节 钢桥的主要类型

钢桥可以根据不同的条件要求建成多种形式,其种类比其他材料制造的桥梁更多,主要分为梁式体系、拱式体系及组合体系。

一、梁式体系

按力学图式,梁式体系可分为简支梁、连续梁、悬臂梁,如图 1-16 所示;按主梁的构造形式可分为板梁桥、桁梁桥、结合梁桥。建造最早的是简支梁桥,简支梁桥是桥梁结构中最基本的结构形式。为扩大跨度,由简支梁发展到伸臂梁桥和连续梁桥,再继续发展就出现结合梁桥与组合梁桥。伸臂梁桥有锚孔、伸臂梁和悬挂孔,主孔可以比简支梁桥大,是静定结构,设计计算简单,基础下沉不影响上部结构的受力,所以国外在早期悬臂梁桥使用的较多,其缺点是伸臂梁与悬挂孔交接处结构的变形不协调,产生有折角,桥面不平顺。因此,伸臂梁桥逐渐被连续梁桥代替。连续梁桥是在人们认识了钢的弹性模量和弹性力学特性之后才出现的。我国在桥梁建设中,已认识到悬臂梁桥的缺点,所以没有采用过。结合梁是充分利用不同材料的性能,将其结合在一起,使不同材料发挥各自的优点,以加强桥梁的承载能力。如混凝土桥面板与钢梁结合,在运营中,混凝土桥面板承受压力,钢梁承受拉力,各自发挥混凝土受压与钢材受拉的优点,加大了桥梁的承载能力。

二、拱式桥

拱式桥按拱脚有无推力可以分为有推力拱和无推力拱(也称系杆拱桥),如图 1-17 所示;按照受力体系的不同可以分为三铰拱、两铰拱和无铰拱三类;按照拱肋的构造形式可以分为板式拱、桁架式拱和箱式拱三种。

三、组合体系

组合体系是用两种不同的结构组合为一个承载能力较大的结构,如图 1-18 所示。如将拉索与梁或连续梁组合为一个结构就是斜拉桥;将悬索、吊杆与梁组合为一个结构就是吊桥;将拱与梁组合就成为各种不同的系杆拱桥。吊桥和斜拉桥都是利用高强钢索来承重,吊桥(又

称悬索桥)的承重构件是高强度钢索,恒载小,跨越能力大。斜拉桥的承重构件是斜拉索和梁,其钢梁可以是板式、桁架式或箱式,恒载较小,风动力性能较吊桥好,故发展很快。

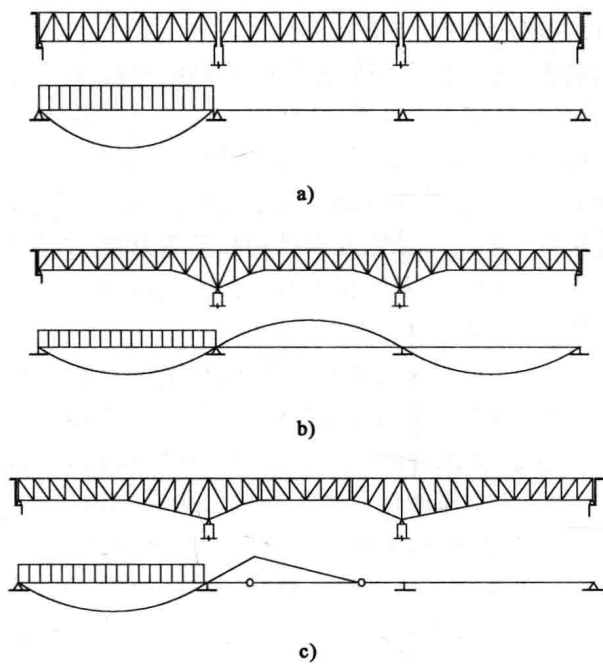


图 1-16 梁式桥梁
a)简支梁;b)连续梁;c)悬臂梁

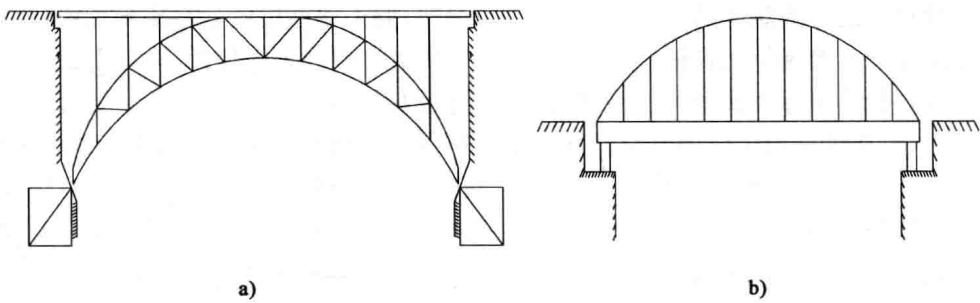


图 1-17 拱式桥
a)有推力拱;b)无推力拱

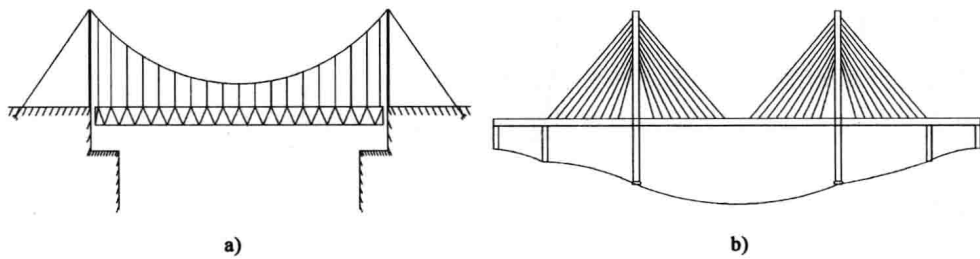


图 1-18 组合体系桥
a)悬索桥;b)斜拉桥

第四节 公路钢结构桥梁技术的发展趋势

公路钢桥技术的发展趋势主要有以下几点:

(1) 钢结构桥梁的健康监测系统不断完善。由于钢结构桥梁将向跨度更大、结构更柔的方向发展,由此将引发对各种新型组合体系、协作体系以及三向组合结构和混合结构等创新结构体系的研究,以充分发挥不同材料和体系的优点,并最终获得更高效的经济指标、可靠的结构细部连接和安全方便的施工工艺。随着钢桥跨度的增大、结构的变柔和行车速度的提高,钢桥在运营阶段可能出现较大的结构振动以及构件的疲劳等问题,这会危及钢桥的正常使用和安全运营。为对容易发生损伤的部位及时做出诊断和警报,需建立完善的健康监测系统对钢桥结构的健康状况进行评定,以保证钢桥的安全运营。

(2) 钢桥设计和计算理论不断进步。在设计理论和计算分析方面,借助计算机和非线性数值有限元方法的不断进步,使力学模型日益精细化,分析计算的仿真度日益提高。在设计阶段可以逼真地描述大桥在地震、强风、海浪等恶劣自然条件下的施工和运营全过程,如数值风洞的模拟开发等,将为决策提供动态的虚拟现实图像。研究钢桥概率统计的极限状态法可靠度分析和设计原则与美学设计新观念,重视桥梁美学和景观设计,重视环境保护,达到人文景观与环境景观的完美结合。开发新一代的桥梁减、隔震装置和支座。在抗风方面,考虑巨大的静风变形、几何非线性、由结构运动和紊流引起的气动力非线性,寻找更为合适的理论分析方法和气动力表达式以及相应的新型实验技术;进一步完善桥梁 CFD 技术,为建立“数值风洞”和“桥梁抗风虚拟现实”提供支持。

(3) 大型工厂化高精度制造钢桥节段和大型施工设备的整体化安装将成为钢桥施工方法的主流。计算机远程控制的建筑机器人将逐渐代替目前工地连接或分割成小型块件的拼装施工。在运用新技术的钢桥工程精细化施工中,工期的可控性大大加强,而且安全性也容易得到保证;材料、构件尺寸及质量等的检测与可控性检验技术将得到加强,使工程质量得到整体提高。同时,有条件采用抗腐蚀性能良好的复合塑料夹心钢材及采用标准化方法对钢结构进行防护性涂装,可提高钢材和结构的耐久性,延长钢桥的使用寿命,符合环境保护和可持续发展的科学发展观。中小跨组装钢桥方面,加强装配式钢桥的标准图设计,节省设计资源;形成规模化、标准化构件制造与拼装,有利于战备和国防,可提高施工质量,降低施工费用;应用高强度钢材,保证栓焊连接的性能等,以减轻结构自重,提高钢桥的跨越能力。

(4) 中小跨径钢结构桥梁快速普及。随着我国钢材产量的过剩以及越来越重视绿色环保、节水节能,将有越来越多的中小跨径钢结构桥梁出现在高等级公路和城市高架桥中。

复习思考题

1. 请简述国内钢桥发展的特点和给我们的启示。
2. 简述目前我国公路钢桥设计与建设中存在和亟须解决的一些问题。
3. 简述钢桥技术的发展趋势。
4. 简述钢桥的主要特点。
5. 简述钢桥主要材料的种类、表示方法和主要特点。
6. 简述钢桥的主要结构形式和受力特点。