

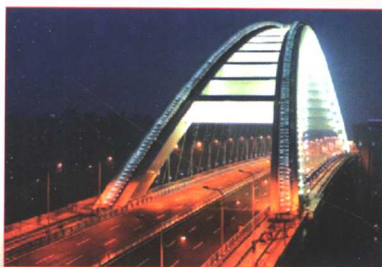


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

现代钢桥

(上册)

吴冲 主编
强士中 主审



人民交通出版社

China Communications Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Xiandai Gangqiao

现代钢桥

(上册)

吴 冲 主 编
强士中 主 审

人民交通出版社

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是土木工程专业(桥梁方向)、道路桥梁与渡河工程专业必修课教材,分上、上两册。全书系统介绍了各类钢桥的设计原理和构造原理、计算理论和方法。上册内容包括:概论、钢桥连接、桥面结构、钢板梁桥、钢箱梁桥、组合梁桥、钢桁梁桥七章。下册内容包括:钢拱桥、钢斜拉桥、钢悬索桥、钢桥疲劳、钢桥防腐、钢桥制作与安装六章。

本书主要作为高等院校土木工程专业(桥梁方向)、道路桥梁与渡河工程专业教学用书,同时也可供土木工程专业其他方向及从事桥梁工程的技术与管理人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

现代钢桥·上册/吴冲主编. —北京:人民交通出版社,
2006.9
ISBN 7-114-05889-6

I. 钢... II. 吴... III. 钢桥 IV. U448.36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 153609 号

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

书 名:现代钢桥(上册)

著 作 者:吴 冲

责任编辑:曲 乐

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)85285838,85285995

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京凯通印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:19

插 页:6

字 数:464 千

版 次:2006 年 9 月 第 1 版

印 次:2006 年 9 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-114-05889-6

定 价:34.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

序

钢桥是大跨度桥梁的主要形式。第二次世界大战后,预应力混凝土桥梁和斜拉桥以及它们的结合物——预应力混凝土斜拉桥的出现对传统的钢桥发出了挑战,而且在 300m 以下的中小跨度范围已经显现出优势,从而使钢桥被迫向更大跨度方向寻求发展。

钢桥和预应力混凝土在竞争中也出现了一种妥协的产物——结合梁桥。早在 20 世纪初,钢筋混凝土桥面板就替代了钢桥原来的木桥面板,继而通过剪力器使两种材料共同工作形成结合梁。工程师们也由此认识到在同一桥梁中因地制宜地使用两种甚至更多种材料形成一种新型的混合结构可能是相互取长补短,而且能更充分发挥各自材料性能的创新理念。因此,本书所介绍的钢桥应当指主要承重结构部件采用钢材的桥梁,其中也包括结合梁桥或采用结合梁桥面的各种大跨度钢桥。由于钢材自身性能的不断发展和提高,钢桥仍然是 500m 以上的大跨度桥梁,尤其是千米以上的超大跨度桥梁无可替代的桥梁形式。而在 500m 以下的桥梁中,钢材也往往因工厂化制造的优质以及运输和施工的方便而具有竞争力。特别是在铁路桥的领域中,钢桁架桥以及拱桁和索桁组合体系以其刚度大的优点也是首选的主要桥型。

进入 21 世纪后,中国桥梁界在建造大量越江工程中已积累了丰富的经验,取得了长足的进步,正在和发达国家同步进入跨海大桥工程建设的新时期。年青一代的桥梁工程师十分需要学习系统的现代钢桥知识,以便为未来工作中的机遇和挑战作准备。

本书主编同济大学桥梁工程系吴冲教授留学日本多年,对钢桥强国日本的技术和经验有深入的了解,又吸收了欧美关于现代钢桥的研究成果。和过去以前苏联教材为基本参考的旧教材相比,本书有了很大的更新和提高,相信一定会受到广大读者的欢迎,从而为 21 世纪中国桥梁的发展和进步做出贡献。

同济大学

项海帆

2006 年 4 月

前 言

《现代钢桥》是土木工程专业(桥梁方向)的一门必修专业课,是“桥梁工程”等系列主干专业课程的一个重要组成部分。本教材主要根据同济大学《钢桥》教学大纲编写,同时照顾了工程技术人员的学习需要,全书篇幅较大。按照教学大纲的要求,学生在学习了《材料力学》、《结构力学》、《钢结构基本原理》等必修课程的基础上,通过本课程的学习,必须掌握钢桥的材料特性、连接方法、国内外常用桥梁桥和钢与混凝土组合梁桥的设计和构造原理、计算理论和方法,了解钢拱桥、斜拉桥、悬索桥等复杂桥型的钢结构特点和计算要点,同时对钢桥疲劳、防腐、制作与安装等知识有初步的了解。

本书共分上、下两册。上册是学生必须掌握的内容,共有七章,教学中应重点讲授。下册共六章,主要作为学生对钢桥学习的进一步提高和工程技术人员的参考。本书是按作者的教学顺序编写,教师在使用本教材时,可以根据自己的教学安排决定先后次序,不必按照教材的章节顺序进行。《现代钢桥》作为“桥梁工程”等系列主干专业课程的一个组成部分,主要介绍钢桥设计、制作、安装、养护中必须考虑的问题和解决方法;关于桥梁体系和结构分析方法等与混凝土桥梁具有共性的部分,主要由“桥梁工程”课程讲授,本课程中不做重复。

在第一章概论中,主要介绍钢桥的发展概况、钢桥的主要结构形式与受力特点、钢桥设计中具有共性的一般要求与计算基本原则、钢桥的主要材料和容许应力。第二章为钢桥的连接,主要介绍钢桥的焊接和高强螺栓连接的构造与受力特点、构造要求、设计与计算原理。第三章主要介绍钢桥中常用的钢筋混凝土桥面板和钢桥面板的构造、设计和计算原理与方法以及构造细节和设计中应该特别注意的问题。第四章和第五章分别介绍工形钢板梁桥和钢箱梁桥的组成与总体设计、主梁设计与计算、横向联结系与纵向联结系的设计与计算。其中,腹板加劲肋的构造与计算原理在第四章中讲解,加劲受压板件以及横隔板的构造与计算原理在第五章介绍。第五章中还简单地介绍了钢箱梁弯剪与扭转分析方法。第六章为组合梁桥,共分六节。第一、二节重点介绍剪力传递器的构造、设计与计算的基本原理和方法;第三节简单介绍组合梁桥的一般计算原理;第四节介绍混凝土徐变收缩和温差对组合梁桥影响的计算方法;第五节介绍组合截面连续梁负弯矩的处理方法及其对受力的影响;第六节给出一个简单的计算示例。第七章为钢桁梁桥,主要介绍钢桁梁桥的组成、构造原理与施工特点、设计计算基本原理与方法。

本教材下册第八章主要介绍钢拱桥的结构形式、构造特点以及设计计算基本原理与方法。第九章和第十章主要以工程实例的形式介绍钢斜拉桥和悬索桥钢箱梁及其锚固结构的构造与受力特点、设计计算要点。关于斜拉桥和悬索桥的设计与施工方法、振动、斜拉桥的索力控制等复杂问题,本书未作介绍,需要进一步学习的同学和工程人员可以参考其他书籍和资料。第十一章为钢桥疲劳,简要介绍钢桥疲劳验算荷载与荷载谱、连接对疲劳的影响、防止疲劳损伤和破坏的构造措施、疲劳验算方法。第十二章简要介绍钢桥常用的防腐材料与方法。第十三章简要介绍钢梁加工制作方法与工艺、吊装方法、制作与安装误差要求等。

本书第一至第六章由吴冲编写,第七章由顾萍编写。全书由同济大学吴冲主编,西南交通大学强士中教授主审。由于编者水平有限,教材中不可避免有谬误之处,敬请读者批评指正,并将意见寄到上海四平路 1239 号同济大学桥梁系钢桥与组合结构桥梁研究室。同时,由于编写时间仓促,书中有部分图文不太清晰,给读者带来不便,恳请原谅。

吴 冲

2006 年 3 月

目 录

第一章 概论	1
第一节 钢桥的发展概况	1
一、国外钢桥的发展概况	1
二、我国钢桥的发展概况	9
第二节 钢桥的主要结构形式与受力特点	22
一、钢桥的主要结构形式	22
二、钢桥的主要特点	26
第三节 钢桥设计的一般要求与计算基本原则	27
一、钢桥设计一般要求和原则	27
二、钢桥的设计计算方法	29
第四节 钢桥的主要材料	34
一、钢桥的主要材料	34
二、钢材容许应力及其提高系数	39
习题	42
第二章 钢桥连接	43
第一节 钢桥的连接方式	43
一、焊接	43
二、螺栓连接	43
三、铆钉连接	46
第二节 焊缝连接	46
一、焊接方法	46
二、焊缝连接的形式	49
三、焊接符号及其表示方法	51
四、焊缝连接的缺陷、质量检验和焊缝级别	53
五、焊缝连接层状撕裂防止措施	54
六、焊接残余应力与残余变形	54
第三节 角焊缝的设计与计算	59
一、角焊缝的布置和受力性能	59
二、角焊缝尺寸的构造要求	61
三、角焊缝连接的计算	63
四、部分熔透坡口焊缝	63
五、计算示例	64

第四节 坡口焊缝的设计与计算	67
一、坡口焊缝的形式	67
二、坡口焊缝的布置和构造	67
三、坡口焊缝连接的计算	68
第五节 高强螺栓连接	68
一、高强螺栓连接的构造	68
二、摩擦型高强度螺栓受力性能和承载力	75
三、高强度螺栓连接的设计计算	78
四、计算示例	80
习题	83
第三章 桥面结构	84
第一节 概述	84
一、桥面分类	84
二、公路钢桥桥面	85
三、铁路钢桥桥面	86
四、桥面系梁格	88
第二节 钢筋混凝土桥面	89
一、钢筋混凝土桥面的构造	89
二、钢筋混凝土桥面板的受力特性	94
三、国外的钢桥钢筋混凝土桥面板设计计算方法	95
第三节 钢桥面	97
一、钢桥面的构造	98
二、钢桥面的连接	100
三、钢桥面板的力学特性与有效宽度计算	103
四、钢桥面板的计算方法	106
五、钢桥面板设计计算和构造细节处理中应该特别注意的几个问题	115
习题	116
第四章 钢板梁桥	117
第一节 钢板梁桥的组成与总体设计	117
一、钢板梁桥的结构形式与组成	117
二、横断面布置	120
三、平面布置	123
四、支座及临时支点布置	126
第二节 主梁	126
一、主梁构成	126
二、主梁梁高	128
三、主梁翼缘板设计	131
四、主梁腹板与加劲肋	136
五、主梁的截面变化	147
六、主梁连接	148

第三节 横向联结系与纵向联结系	154
一、横向联结系	154
二、纵向联结系	159
习题	162
第五章 钢箱梁桥	164
第一节 钢箱梁桥的结构形式与总体布置	164
一、结构形式	164
二、箱梁受力特点与构造措施	164
三、总体布置	168
四、钢箱梁桥的用钢量	172
第二节 主梁	173
一、主梁构造	173
二、主梁梁高与梁宽	177
三、主梁的截面变化	177
四、加劲肋	178
五、顶底板最小板厚与设计计算方法	181
第三节 横隔板	183
一、横隔板的作用与构造形式	183
二、横隔板间距	185
三、横隔板刚度	186
四、横隔板的应力验算	188
五、横隔板计算示例	190
第四节 钢箱梁受力分析	195
一、箱梁截面受力特性	195
二、弯剪分析	196
三、箱梁自由扭转	198
四、箱梁约束扭转应力	202
习题	204
第六章 组合梁桥	205
第一节 概述	205
第二节 剪力连接件	207
一、剪力连接件的结构形式	207
二、剪力连接件的构造要求	208
三、剪力连接件的容许承载力	208
第三节 一般计算原理	210
一、翼缘板有效宽度	210
二、组合梁换算截面几何特性	211
三、组合梁应力	212
第四节 混凝土徐变收缩和温差	213
一、混凝土的徐变	213

二、温差应力	220
三、混凝土收缩	221
第五节 组合截面连续梁	222
一、预加荷载法	222
二、调整支点高度法	223
三、预应力法	223
四、限制混凝土裂缝宽度方法	224
五、部分组合梁方法	226
第六节 简支组合梁桥计算示例	226
一、计算条件	226
二、桥面板顺桥方向局部应力计算	227
三、主梁计算	227
四、剪力连接件计算	232
习题	233
第七章 钢桁梁桥	234
第一节 概述	234
一、钢桁梁的组成	234
二、主桁架的图式及特点	235
三、连续桁梁及悬臂桁梁桥	239
第二节 桁梁桥构造	241
一、主桁杆件构造	241
二、桥面系梁格构造与连接	244
三、节点构造	249
四、联结系构造	254
第三节 桁梁桥的计算	257
一、概述	257
二、主桁架的计算	258
三、桥面系计算	262
四、节点计算	266
五、联结系的计算	269
六、钢桁梁的挠度与预拱度及横向刚度	272
七、算例	273
习题	276
附录 A 焊接材料	277
附录 B 钢桥总体布置图示例	插页
附录 C 钢板梁桥示例	插页
附录 D 钢箱梁桥示例	插页
附录 E 铁路钢板梁桥示例	插页
参考文献	281

第一章 概 论

第一节 钢桥的发展概况

一、国外钢桥的发展概况

从 19 世纪 20 年代,随着铁路蒸汽机车出现,人们开始修建铁路,铁路桥梁也随之发展起来。在历史上,当铁路桥开始修建时,造桥的材料还只限于木材、砖、石、铸铁,其后才有锻铁型材(板、角铁),早期的钢桥实质上是用铸铁和锻铁修建的铁桥。19 世纪 70 年代出现钢材,而钢材在桥梁上的广泛应用是在 19 世纪 90 年代以后。由于以内燃机为动力装置的汽车是在 19 世纪后叶(1875 年)方才出现,公路钢桥出现在铁路钢桥之后。但是,随着公路的蓬勃发展和多样化需要,20 世纪 30 年代,铁路钢桥原先占有的各种大跨度钢桥纪录逐步被公路钢桥取代,特别是第二次世界大战以后,德国、日本等国家由于战后重建的需要,修建了大量的公路钢桥。钢桥设计理论与制造技术得到不断完善,已建立起了较为系统和完善的设计规范与制造施工工艺。

从钢桥的建设、材料的应用和设计理论的发展来看,钢桥的发展大致可以分为以下四个阶段。

(一)铁桥和钢桥在 1890 年之前的发展

在 1890 年之前是以铁桥为主,使用的材料主要是铸铁和锻铁,钢桥很少。设计桥梁所需的力学知识,处在逐步形成、逐步完备之中。起初桥梁设计规范并没有被提上日程,钢桥设计主要依赖于建造桥梁的实干家的经验,稍有不慎,就会遭逢失败。铁桥的事故情况也特别多,平均每年发生铁路铁桥事故将近 4 件。将里程考虑在内,每年每 5 万公里出现铁路铁桥事故一次。例如,英国的 Chester 的 Dee 河桥,建成之后 6 个月于 1847 年 5 月 24 日因梁总体失稳而丧失承载力发生事故,死亡 5 人。该桥为 3×29.9 m 双柱式的简支桁梁桥。美国 Ash-tabula 铁桁梁桥(跨度 50.3 m),由于列车撞击和疲劳于 1877 年 12 月断裂倒塌。在梁桥倒塌之后,列车逐节下落,死亡 92 人,伤 64 人。英国 Tay 河口锻铁桁架梁桥,由于抵抗风力的支撑系不连续和用做支撑系的拉杆的铸铁件环眼质量不好,于 1879 年 12 月 28 日十三孔跨度 75 m 的桁梁,连同行驶于桥上的列车(机车及 6 节车厢)被风刮落桥下,旅客和车上工作人员共 75 人无一生还。

在这期间,一些创跨度纪录的大桥却因工程师们的殚精竭虑而终于建成,并且经受住了多年营运的考验。如今它们已经成为历史名桥,例如:

(1)英国 1850 年建成的 Britainia 锻铁巨型箱管连续梁桥。造桥材料是锻铁(当时用于造船),成桥的分跨是 $70+140+140+70$ (m),箱梁总高达 9.09 m,列车从箱中通行。该桥在享寿 120 年之际被烧毁。

(2)美国 1856 年建成的尼亚格拉河悬索桥。这桥的四条大缆是用平行锻铁丝在空中编制的

(Roebling 在 1841 年取得这一空中编制法的专利),塔是石砌的,加劲梁是木桁梁,跨度达 250 m。

(3)英国 1859 年建成的 Saltash 锻铁桁梁桥。该桥共计两跨,跨度都是 138.6 m,每一跨重量达 1060 t,其水下基础是用直径 10.6 m 的锻铁圆管形压气沉箱来施工的。该桥至今仍然健在。

(4)美国 1874 年建成的圣路易密西西比河无铰桁架钢拱桥。该桥共计三孔,跨度分别是 153 m、158 m 及 153 m。它是双线铁路及公路两用桥,上层公路,下层为铁路。美国人自豪地称该桥曾经创了五个纪录:①用压气沉箱下沉到水下 30.0 m,创了深度纪录;②在铁路拱桥方面,创了跨度纪录;③第一次在上弦和下弦都使用圆钢管;④在钢材质量还受怀疑的情况下,该桥的主体结构首先有一部分采用了高质量的合金钢;⑤在桥梁安装之中,第一次采用了悬臂拼装法。该桥至今健在。

(5)福斯湾铁路桥(Firth of Forth Bridge)。该桥全长 1625 m,其中包含两孔各 521.3 m 的长跨(图 1-1-1)。全桥用钢 54000 t,每米用钢量达 33.2 t(双线)。为增加对横向风力倾覆的抗力,该桥左、右两片桁梁向内斜置。采用悬臂拼装法施工,在悬挂跨和伸臂之间增添临时杆件,借此能从桁梁根部(桥塔)拼到跨中,在合龙之后再将临时杆件拆除,使结构体系转变为静定的悬臂桁架梁。

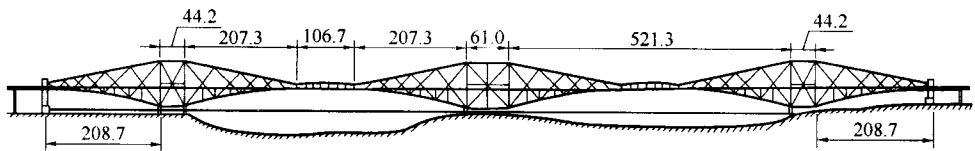


图 1-1-1 福斯湾铁路悬臂桁架梁桥(1890 年,尺寸单位:m)

(二)钢桥在 1890—1920 年间的发展

早在 1918 年之前,北美洲在钢桥建设方面就取得了巨大成就,简支和连续桁梁桥、钢拱桥等都有了很大的发展,创造了许多世界纪录。这期间钢材在桥梁上得到广泛应用,例如:

(1)美国 1916 年在伊利诺州建成的 Metropolis 简支桁梁桥,跨度 220 m。大多数杆件使用硅钢,拉杆有一部分使用眼杆,采用镍钢。

(2)美国 1917 年在俄亥俄州建成 Scioto 双线铁路下承式连续桁梁桥,跨度 2×236.2 m。活载是 Cooper E60 级,用钢量 12 000 t。

(3)美国 1917 年在纽约市建成 Hell Gate 四线(干线)铁路、道碴桥面、中承式双铰桁架钢拱桥。跨度 298 m,以拱的下弦为准,矢跨比是 1:4.5。两片桁架拱的中心距 18 m,用钢量 12000 t,钢的含碳量是 0.27%~0.34%,属于中碳钢,最重的杆件重量达 180 t,采用悬臂安装。

(4)加拿大 1918 年在魁北克建成双线铁路悬臂桁梁桥,历经两次重大施工事故之后,创造了钢桁梁桥跨径 548.6 m 的世界纪录,并保留至今。该桥 1900 年基础开工,第一次事故是 1907 年 8 月 29 日上午,当吊机向前一个节间行进时,9000 t 钢结构(悬臂连同悬挂跨的一部分)轰然坍塌,86 名在场工人只有 11 人幸免于难。事故主要原因是:受压弦杆的拼接铆钉和组装螺栓有一部分还没有装上去,由于角钢缀条过分单薄,不能将强大的腹板组合成一根杆件。这次事故之后,该桥主要杆件的钢材改为用镍钢,重新做设计,在工地将桥址中心线向南移动 20 m 重新修建基础。新的钢桁梁的锚跨和伸臂的制造和架设工作很顺利,其悬挂跨则是改用整体提升的方法来安装。1916 年 9 月 11 日上午 11 时,当悬挂跨已经提升 3.6 m 之后,位于扁担梁之上、用于支承该悬挂跨的 4 个十字状铸铁支座中的一个突然被压碎,悬挂跨

随即倾斜,由于它惯性大,挡具被撞毁,悬挂跨就滑落水中,13人当场死亡。一年之后另制一新的悬挂跨仍用整体提升方法,但将铸铁支座改为铅板,成功地完成了架设任务。该桥1918年开通,其立面图见图1-1-2。

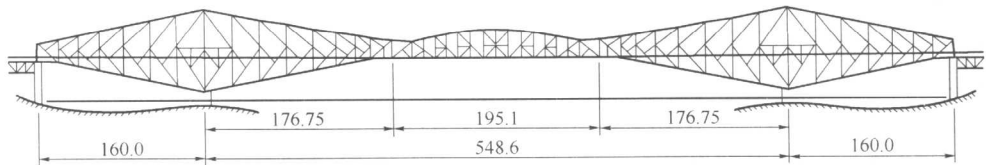


图 1-1-2 加拿大魁北克悬臂桁梁桥(1918年,尺寸单位:m)

(三)钢桥在1920—1945年间的发展

在20世纪二三十年代,钢桥的设计理论有了很大的发展。1923年,英国成立一个桥梁应力委员会,对节点刚性引起的二次应力、主梁和桥面系共同作用、荷载在桥面铺装层之中的扩散和冲击作用等问题进行了较为深入的探讨。以此为依据,英国在1929年将钢桥容许应力提高了12.5%。1926年,德国铁路颁布新的《铁结构规范》。1923~1933年,美国也成立了一个钢压杆研究专门委员会,进行了几十根大型钢压杆试验,并为钢压杆推荐了正割公式。1935年,美国在新版铁路钢桥规范中就采用了该公式。

公路钢桥的蓬勃发展是20世纪30年代以后。1931年在纽约市建成的跨度达1067m的华盛顿悬索桥,其原设计是在其上层设8车道公路桥,下层设4线电车道。但是在1931年开通时只修建了上层,1962年才将下层电车道改为汽车道并补建完成。

1936年,美国旧金山的海湾桥建成。将引桥包括在内,其结构的全长是7010m。该桥以中央一岛为界,包含东西两段。在东段内,有主跨是426.7m的悬臂桁梁桥;在西段内,有主跨都是704.1m的三跨悬索桥两联首尾衔接。这桥分两层:上层公路行车道净宽17.68m(原拟通行6线汽车,后改为5线);下层行驶有轨电车(上、下行各一线)及载货汽车。

1932年,澳大利亚在悉尼港建成一座跨度503m的两铰中承式桁架钢拱桥(图1-1-3)。其两拱片的中心距是30m。在桥的中央,设一宽度为17.4m的汽车道;在汽车道两侧分别设电车线各两条(这两条各有一条是设在拱的外侧),在电车线之外各设一宽3.05m的人行道。该桥的立面与美国Hell Gate桥相似,以下弦为准,拱的矢跨比是1:5。按铅垂线计量,拱的桁架高度在跨中是18.3m,在支承铰处则是57.3m。进行悬臂拼装时,锚系结构只使用钢丝绳。各钢丝绳是通过凿在岩层内的马蹄状隧道将锚系力传给基岩,钢丝绳的锚头全都是连接到拱桥端头的上弦节点。桁拱用钢量是38000t,主要是硅钢。



图 1-1-3 澳大利亚悉尼港中承式桁架钢拱桥(1932年)

(四)钢桥自20世纪50年代以来的发展

自20世纪50年代以来,在公路桥蓬勃发展的背景下,出现了现代钢桥。现代钢桥的特点是:(1)高强度低合金钢、预应力钢筋、高标号混凝土、聚合物等新材料的应用;(2)桥梁上部结构采用正交异性钢桥面板和钢与混凝土的组合结构,箱形梁、高次超静定的结构(多为连续梁

或直腿刚架、斜腿刚架、斜拉桥、各种组合体系结构等);(3)结构设计方面可以针对不同情况,按需要进行非线性(材料非线性、几何非线性)分析、空间分析、动力分析、可靠性分析;(4)施工工艺方面用钻孔桩机械(土层及岩层)、大直径桩、双壁钢围堰、自升式平台等修建深水基础,用焊接、高强度螺栓、预应力等方式进行连接;用悬臂施工(混凝土灌注及各种预制件的拼装)及整体架设等方法降低造价并压缩工期。

在 20 世纪 50 年代之前,许多桥梁,特别是那些创纪录的长跨桥,往往是在不计工本的情况下建造的。从 20 世纪 50 年代以来,工程结构就必须经济、耐用,要求对各种技术经济指标(省料、省工、省总造价、对环境的影响等)进行综合评估。钢桥形式逐渐多样化,例如:

(1)使用无碴无枕钢桥面板的连续箱形梁桥,如联邦德国在 1962 年建成的科布伦茨莱茵河双线铁路桥,跨度 $2 \times 113.1 \text{ m}$,箱梁的跨中高度只有 5.03 m 。

(2)钢斜拉桥,如南斯拉夫在 1980 年建成的萨瓦河双线铁路桥道碴桥面,主跨 253.7 m 。

(3)斜腿刚架桥,如南斯拉夫在 1966 年在 Neretva 建成一座主跨是 100 m 的单线铁路桥。(我国 1982 年建成陕西安康汉江铁路斜腿刚构桥,该桥全长 305.1 m ,两斜腿脚中心距为 176 m)

(4)联邦德国于 1987 年在杜塞尔多夫建成的跨度 $250.0+135.5 \text{ m}$ 的连续钢桁梁桥,但在其 250 m 的长跨采用拱加劲、跨越莱茵河的四线郊区铁路桥。钢桁梁为平行弦,桁高只有 15 m 。

(5)日本用于连接本州和四国的本四联络线,共有三条,其中的儿岛坂出线和神户大鸣门线南段,都是铁路新干线和公路两用桥,上层是公路,下层是新干线的电气客运铁路。在儿岛坂出线上,已建成主跨为 1100 m 和 990 m 的南、北备赞两悬索桥,主跨均为 420 m 的岩黑岛和柜石岛两斜拉桥。而大鸣门桥则是跨度 876 m 的悬索桥。1998 建成的明石海峡大桥(图 1-1-4)创造了钢悬索桥世界记录,跨径为 $960 \text{ m}+1991 \text{ m}+960 \text{ m}$,主梁采用钢桁梁。1999 建成的多多罗大桥(图 1-1-5)创造了钢斜拉桥世界记录,跨径为 $270 \text{ m}+890 \text{ m}+320 \text{ m}$,主梁采用扁平钢箱梁。

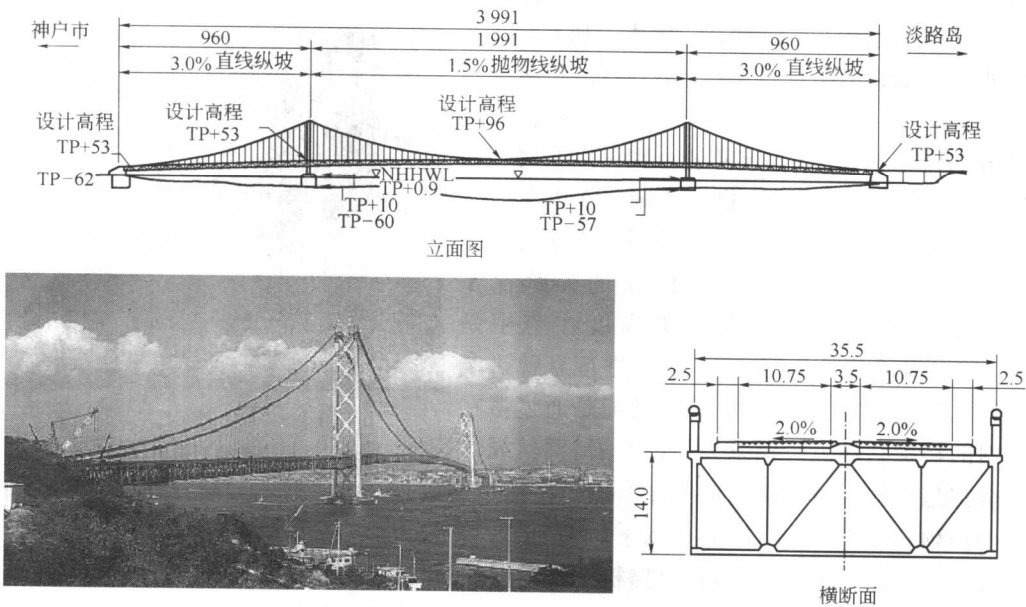


图 1-1-4 日本明石海峡大桥(1998 年,尺寸单位:m)

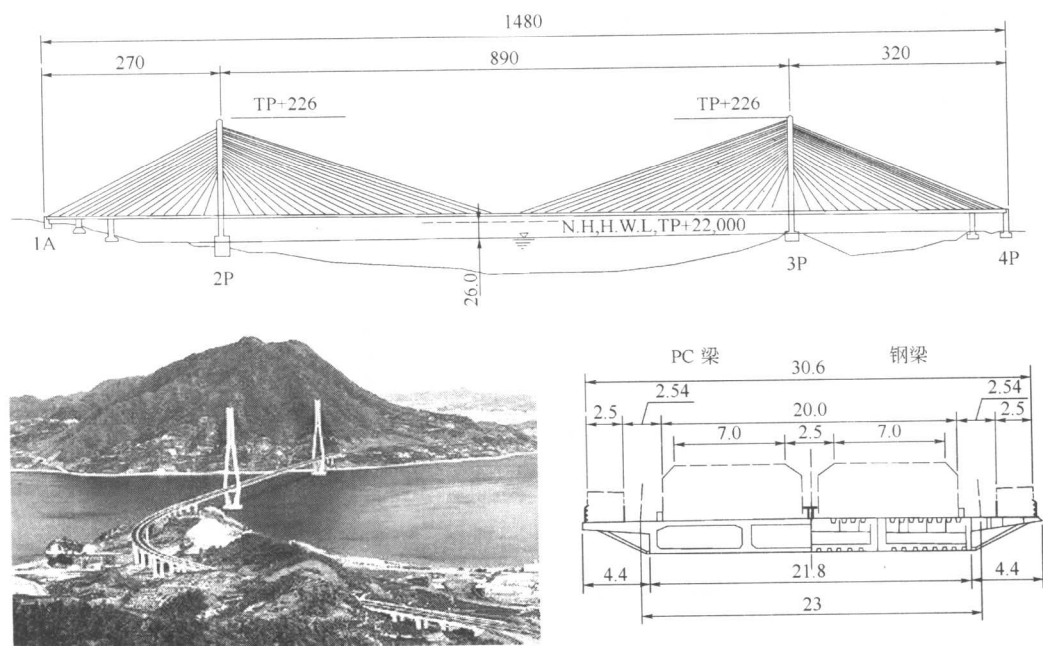


图 1-1-5 日本多多罗大桥(1999 年,尺寸单位:m)

(五)世界大跨度钢桥

1. 钢悬索桥(如表 1-1-1)

钢 悬 索 桥

表 1-1-1

序号	桥 名	国家	建成年代	跨径(m)	悬吊形式	主缆(mm)	桥塔高度(m)	加劲梁形式
1	明石海峡大桥	日本	1998	960+1991+960	3 跨双铰	PWS2×1120	297(钢)	钢桁梁
2	大海带桥	丹麦	1998	533+1624+535	3 跨连续	AS2×827	254(混凝土)	钢箱梁
3	润扬长江大桥	中国	2005	470+1490+470	3 跨连续	PWS2×868	209.9(混凝土)	钢箱梁
4	亨伯大桥	英国	1981	530+1410+280	3 跨双铰	AS2×684	155(混凝土)	钢箱梁
5	江阴长江大桥	中国	1999	369+1385+309	单跨双铰	PWS2×870	197(混凝土)	钢箱梁
6	香港青马大桥	中国	1997	355+1377+300	2 跨连续	AS2×1100	206(混凝土)	钢开空
7	韦拉扎诺桥	美国	1964	370+1298+370	3 跨双铰	AS4×897	207(钢)	钢桁梁
8	金门大桥	美国	1937	343+1280+343	3 跨双铰	AS2×924	210(钢)	钢桁梁
9	滨海高大桥	瑞典	1997	317.5+1210+287.5	3 跨连续	AS2×640	180(混凝土)	钢箱梁
10	麦基纳克桥	美国	1957	549+1158+549	3 跨双铰	AS2×622	157(钢)	钢桁梁
11	南备赞大桥	日本	1988	274+1100+274	3 跨连续	PWS2×1070	181(钢)	钢桁梁
12	博斯普鲁斯 II 桥	土耳其	1988	210+1090+210	单跨双铰	AS2×700	111(钢)	钢箱梁
13	博斯普鲁斯 I 桥	土耳其	1973	231+1074+255	单跨双铰	AS2×600	165(钢)	钢箱梁
14	乔治华盛顿桥	美国	1931	186+1067+186		AS4×914	170(钢)	钢桁梁
15	来岛二桥	日本	1999	250+1020+245		PWS2×650	173.5(钢)	钢箱梁
16	来岛三桥	日本	1999	260+1030+280		PWS2×640	183.9(钢)	钢箱梁
17	4 月 25 日桥	葡萄牙	1966	483+1013+483		AS2×586	181(钢)	钢桁梁
18	福斯公路桥	英国	1964	409+1006+409		AS2×603	149(钢)	钢桁梁

2. 钢斜拉桥(表 1-1-2)

钢 斜 拉 桥

表 1-1-2

序号	桥 名	国家	建成年代	跨径(m)	塔 型	塔高(m)	加劲梁形式
1	苏通长江公路大桥	中国	建设中	100+100+300+1088+ 300+100+100	倒 Y 形塔(钢)		钢箱梁
2	昂船洲大桥	中国	建设中	1018			钢箱梁
3	多多罗桥	日本	1999	270+890+320	倒 Y 形塔(钢)	220	钢箱梁,两端 105.5, 62.5 m 混凝土梁
4	诺曼底桥	法国	1995	547.8+856+737.5	倒 Y 形塔 (混凝土)	203	主跨钢箱梁 624 m, 其余混凝土梁
5	南京长江三桥	中国	2005	63+255+648+255+63	钢+混凝土	215	钢箱梁
6	南京长江 二桥南汊桥	中国	2001	58.5+246.5+628+ 246.5+58.5	倒 Y 形塔 (混凝土)	195	钢箱梁
7	武汉白沙洲 长江大桥	中国	2000	50+180+618+180+50	A 形塔 (混凝土)	175	钢箱梁,两端 87 m 混凝土梁
8	青州闽江桥	中国	2002	250+605+250	A 形塔(混凝土)	172	钢与混凝土结合梁
9	上海杨浦大桥	中国	1993	40+99+144+602+ 144+99+44	倒 Y 形塔 (混凝土)	204	钢与混凝土结合梁
10	名港中央大桥	日本	1997	290+590+290	A 形塔(钢)	190	钢箱梁
11	上海徐浦大桥	中国	1996	40+3×39+45+590+ 45+3×39+40	A 形塔(混凝土)	210	主跨钢与混凝土结合 梁,边跨混凝土梁
12	斯卡恩圣桥	挪威	1991	190+530+190	A 形塔(混凝土)	149	混凝土梁
13	汕头海湾二桥	中国	1999	47+47+100+518+ 100+47+47	A 形塔 (混凝土)	168	钢箱梁,两端 2×47 m 混凝土梁
14	鹤见航道桥	日本	1994	255+510+255	倒 Y 形塔(钢)	180	钢箱梁
15	厄列松桥	丹麦/挪威	2000	160+490+160	H 形塔(混凝土)	204	钢桁架
16	生口桥	日本	1991	150+490+150	菱形塔(钢)	123	主跨钢箱梁,边 跨混凝土箱梁
17	香港汀九桥	中国	1998	127+448+475+127	独柱塔(混凝土)	157	混凝土与钢结合梁
18	台湾高屏溪桥	中国	2000	180+330	倒 Y 形塔 (混凝土)	184	主跨钢箱梁, 边跨混凝土箱梁

3. 钢拱桥(表 1-1-3)

钢 拱 桥

表 1-1-3

序号	桥 名	国 家	建成年代	跨径(m)	类 型
1	卢浦大桥	中国	2003	550	城市公路
2	新河桥	美国	1977	518.2	
3	贝永桥	美国	1931	504	
4	悉尼港桥	澳大利亚	1932	503	公铁

续上表

序号	桥 名	国 家	建成年代	跨径(m)	类 型
5	弗里芝特桥	美国	1973	383	
6	曼港桥	加拿大	1964	366	
7	广州丫髻沙珠江大桥	中国	2000	360	钢管混凝土
8	塔歇尔桥	巴拿马	1962	344	
9	拉比奥莱特桥	加拿大	1967	335	
10	郎克恩桥	英国	1961	330	
11	兹达可夫桥	捷克	1967	330	
12	伯钦诺夫桥	津巴布韦	1935	329	
13	罗斯福湖桥	美国	1990	329	

4. 钢桁梁桥(表 1-1-4)

钢 桁 梁 桥

表 1-1-4

序号	桥 名	用途	跨径(m)	形式	完成	国名
1	生月大桥(Ikutuki)	公路	400	连续	1997	日本
2	Astoria	公路	376	连续	1966	美国
3	Patapsco	公路	366	连续	1976	美国
4	大岛大桥(Oshima)	公路	325	连续	1976	日本
5	天门桥(Tenmon)	公路	300	连续	1966	日本
6	黑之瀬户大桥(Kuronoseto)	公路	300	连续	1974	日本
7	Dubuque	公路	257	连续	1943	美国
8	Somerset	公路	256	连续	1964	美国
9	蒲刈大桥(Kamokari)	公路	255	连续	1979	日本
10	Brent Spence	公路	253	连续	1963	美国
11	Earle S. Clement(I)	公路	252	连续	1944	美国
12	Lincoln Trail	公路	252	连续	1966	美国
13	Earle S. Clement(II)	公路	251	连续	1956	美国
14	Cairo	公路	250	连续	1976	美国
15	Mathews	公路	247	连续	1953	美国
16	St. Louis Country	公路	245	连续	1944	美国
17	与岛桥(Yoshima)	公铁两用	245	连续	1988	日本
18	境水道桥(Sakai-Suido)	公路	240	连续	1972	日本
19	Nordostseekanal	公路	237	连续	1982	德国
20	Sciotoville	铁路	236	连续	1917	美国
21	Cooper River II	公路	232	连续	1966	美国
22	若松大桥(Wakamatsu)	公路	230	连续	1992	日本
23	Sewickley	公路	229	连续	1982	美国
24	Chester	公路	227	简支	1973	美国
25	早濑大桥(Hayase)	公路	222	连续	1973	日本