



钢 结 构 桥 梁 建 设 丛 书

钢箱梁桥

**Design
of Steel
Box Girder Bridges**

设计

贾高炯 ■ 编著



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

钢结构桥梁建设丛书

Design of Steel Box Girder Bridges

钢箱梁桥设计

贾高炯 编 著



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

内 容 提 要

本书根据钢箱梁桥梁的结构特点,理顺出十一个章节,使之成为一本有系统的、理论与实践并重的书籍。本书依托实际实施的工程项目,针对设计时需要确定的设计构造及细节连接进行详细地介绍,并列举了部分算例,帮助理解设计原理。第一章介绍钢箱梁桥的发展历史过程、结构特点和适用范围,第二章介绍钢材的性能和钢箱梁的合理选材,第三章介绍钢箱梁的设计方法,第四~八章介绍板单元的理论基础、钢箱梁的细节设计与构造,第九章介绍钢箱梁的制造与安装,第十章介绍钢箱梁的涂装与铺装,第十一章列举一个实例工程的算例。

本书可供桥梁工程设计人员使用,也可作为相关技术人员和高校师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

钢箱梁桥设计 / 贾高炯编著. —北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2016. 8

ISBN 978-7-114-13274-2

I. ①钢… II. ①贾… III. ①钢箱梁—箱梁桥—桥梁设计 IV. ①U448.212.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 189706 号

钢结构桥梁建设丛书

书 名: 钢箱梁桥设计

著 作 者: 贾高炯

责任编辑: 李 喆

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: 720×960 1/16

印 张: 12

字 数: 204 千

版 次: 2016 年 8 月 第 1 版

印 次: 2016 年 8 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-13274-2

定 价: 36.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

随着我国交通事业的发展,桥梁需要跨越的形式越来越多,钢箱梁桥由于其独特的优势,被广泛采用。我国对钢箱梁桥的研究起步较晚,但近 20 年来应用发展较快,由于对钢箱梁桥的认识不足,导致很多问题重复性出现。虽然交通运输部设立的西部交通建设科技项目“钢桥设计施工成套技术研究”在公路钢桥设计、施工、养护和检测技术方面取得了重要成果,并把相关成果写入我国《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64—2015)中。但这些成果并未被绝大多数桥梁设计人员所掌握,且部分核心技术主要掌握在一些大的设计院和科研院所。为了让更多从事桥梁设计及科研的技术人员了解关于钢箱梁桥发展的历史过程、核心技术和设计方法,编者调查了国际上已建成钢箱梁桥的情况,收集了国内外最新研究成果,汇集成书供大家学习和参考。

本书根据钢箱梁桥的结构特点,全书分为十一章,是一本理论与实践并重的书籍。本书依托实际的工程项目,针对设计时需要确定的设计构造及细节连接,进行详细介绍,并列举了部分算例,帮助理解设计原理。第一章介绍钢箱梁桥的发展历史过程、结构特点和适用范围;第二章介绍钢材的性能和钢箱梁的合理选材;第三章介绍钢箱梁的设计方法;第四章介绍钢结构的连接方法;第五~第八章介绍板单元的理论基础、钢箱梁各个组成构件(正交异性板、横隔板、腹板)的细节设计与构造;第九章介绍钢箱梁的制造与安装;第十章介绍钢箱梁的涂装与铺装;第十一章列举一个实例工程的算例。其中第二章由南昌市重点工程领导小组办公室钟曙亮完成,其余章节由华建通工程咨询有限公司总经理贾高炯完成。

感谢中国铁道科学研究院潘永杰博士、江西省公路科研设计院吴义林、钱济章、聂磊和龚汉清给予的技术帮助；感谢广东省交通规划设计研究院刘长海、中国铁道科学研究院李子睿、中国市政工程中南设计研究总院安徽分院赵国强给予的帮助。

人民交通出版社股份有限公司李喆编辑对本书进行了认真的审校，提出了许多很好的建议，从而提高了本书的出版质量，在此向他表示诚挚的谢意！我们期待这本书能在桥梁工程设计和建造中发挥良好的作用。

本书由于内容繁多，存在着一定的缺陷和错误，恳请读者批评指正。我们将会再版时加以修改补充，使本书进一步完善，惠及更多的桥梁设计及建设者。

贾马明

2016年6月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 钢箱梁桥发展概况	1
第二节 钢箱梁桥结构特点	10
第三节 钢箱梁桥应用范围	11
第四节 钢箱梁组成构件及结构体系	14
第二章 钢箱梁的材料	15
第一节 钢材的主要力学性能	15
第二节 决定和影响钢材性能的要素	19
第三节 钢材在复杂应力状态下的工作	24
第四节 钢材的脆性断裂与预防	26
第五节 钢的种类、牌号和钢材(板)选用及技术标准	28
第三章 钢箱梁的设计方法	34
第一节 钢箱梁设计方法的发展	34
第二节 概率论极限状态设计法	38
第三节 结构分析模型	43
第四节 钢箱梁计算要点和整体设计	46
第四章 钢箱梁的连接	49
第一节 钢箱梁的连接方法	49
第二节 钢箱梁焊接连接	52
第三节 高强度螺栓连接	56
第五章 板单元稳定理论基础	63
第一节 板单元受力屈曲分析	63
第二节 加劲肋加劲板的屈曲	73
第三节 板件的边界条件	77
第四节 初始几何误差和残余应力对板单元稳定的影响	78
第六章 钢箱梁正交异性桥面板设计	79
第一节 正交异性板概述	79
第二节 正交异性桥面板构造设计	81

第三节	正交异性钢桥面板分析方法	89
第四节	正交异性板疲劳及验算	97
第五节	正交异性钢桥面板构造细节改进	103
第七章	钢箱梁腹板设计	110
第一节	钢箱梁腹板构造设计	110
第二节	腹板抗屈曲验算	115
第八章	钢箱梁横隔板设计	119
第一节	钢箱梁横隔板受力分析	119
第二节	钢箱梁横隔板刚度及间距	125
第九章	钢箱梁制造与安装	134
第一节	板单元制造	134
第二节	钢箱梁节段拼装与运输	136
第三节	桥上架设与连接	137
第十章	钢箱梁涂装及桥面铺装设计	141
第一节	钢箱梁涂装设计	141
第二节	钢箱梁桥桥面铺装	146
第十一章	钢箱梁算例	156
参考文献		182

第一章 绪 论

第一节 钢箱梁桥发展概况

箱形梁桥诞生于 19 世纪中期。1850 年建成通车的布列坦尼亚桥(Britannia Bridge)是世界上用熟铁板铆接而成的第一座铁路箱形梁桥。该桥位于英国威尔士北部,由罗伯特·斯蒂芬森(Robert Stephenson)设计,其上部结构由两座平行的 4 跨连续箱形熟铁梁组成,如图 1-1a)所示,跨度为 $70\text{m}+140\text{m}+140\text{m}+70\text{m}$;箱形梁的横断面如图 1-1b)所示,列车在箱形梁内通过。



图 1-1 英国布列坦尼亚桥(Britannia Bridge)

自布列坦尼亚桥建成之后的 100 年间,由于静定钢桁梁的内力分析方法逐渐被工程界掌握,自重较轻的钢桁梁桥取代薄壁箱形梁桥,成为钢梁桥的发展主流,而薄壁闭口截面形式的桥梁则很少再被采用。第二次世界大战后,德国正式用钢桥面板(正交异性板)作为承受轮载的桥面,同时作为主梁翼缘参与主梁共同工作,建成了许多连续钢板梁桥和连续钢箱梁桥,由于其经济性较好,很快被世界各国采用。

1951 年德国建成的杜塞尔多夫—诺伊斯桥(Düsseldorf-Neuss Bridge)是跨度超过 200m 的第一座实腹钢梁桥,如图 1-2 所示。该桥主梁为 3 跨连续钢箱梁($103\text{m}+206\text{m}+103\text{m}$),采用正交异性钢桥面板。钢桥面板厚度 $14\sim 28\text{mm}$,纵

肋采用在中线剖开的轧制工字钢(剖开后的高度为 177~279mm),纵肋中心距 440mm;纵肋的跨度(即横肋中心距)1.91m。桥面总宽 30.13m,主梁为双箱单室,箱室宽 7.5m,梁高沿跨度变化,在中跨跨中为 3.3m,在中间桥墩处为 7.8m。钢箱梁腹板厚度为 12~16mm,用纵向肋和横向肋加劲。全梁分成许多部件,在工厂焊制完成,工地接头完全用铆接。全桥用钢量为 6 335t。



图 1-2 德国杜塞尔多夫—诺伊斯桥(Düsseldorf-Neuss Bridge)

20 世纪 60 年代,由于大型热轧钢板、自动化切割和焊接等技术的发展,钢箱梁技术得到了快速发展。如 1966 年德国科隆市建成的动物园桥(Zoo Bridge)主梁采用 4 跨连续钢箱梁(73.5m+259m+144.5m+119.7m),该桥由弗瑞兹·莱昂哈特(Fritz Leonhardt)担任结构工程师,是当时世界上跨度最长的钢箱梁桥,也是世界上第一座焊接高强度钢桥,如图 1-3 所示。



图 1-3 德国动物园桥(Zoo Bridge)

20 世纪 70 年代末期以后,伴随着薄壁结构计算理论、有限元理论和计算机技术的进步,钢箱梁桥的发展迈上了一个新台阶。如 1978 年德国巴登—符腾堡州建成的内卡河谷桥(Neckartal Bridge),主梁采用 5 跨连续钢箱梁(233.6m+3×134.3m+253.2m),如图 1-4 所示。该桥由弗瑞兹·莱昂哈特(Fritz Leonhardt)设计,充分体现了钢箱梁的特点,桥面总宽达 31.5m,钢箱宽度为 10.0m,高度为 6.0m,钢箱梁采用悬臂施工法架设。



图 1-4 德国内卡河谷桥(Neckartal Bridge)

目前世界跨度最大的连续钢箱梁桥为巴西 1974 年建成的里约—尼特罗伊桥(Rio-Niterói Bridge, 也称 President Costa e Silva Bridge), 跨度为 $200\text{m}+300\text{m}+200\text{m}$, 如图 1-5 所示。钢箱宽度为 6.86m , 正交异性钢桥面板采用 U 形纵肋, 腹板和底板采用板条纵肋, 加劲肋工地接头采用焊接连接; 横梁高 1.0m , 间距为 5.0m , 如图 1-6 所示。



图 1-5 巴西 President Costa e Silva 桥

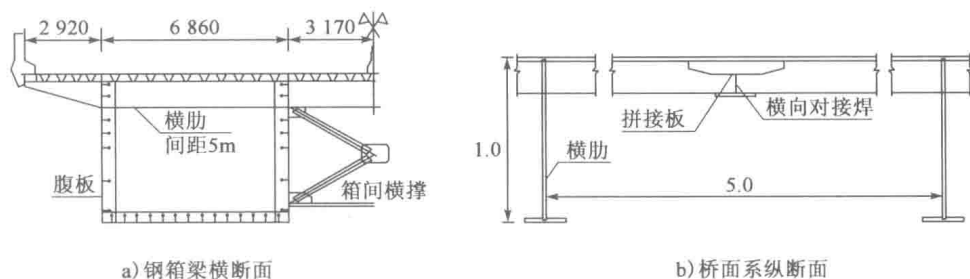
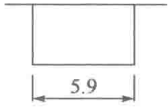
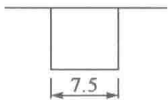
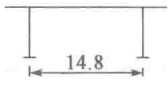
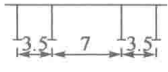
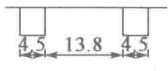


图 1-6 巴西 Costa, e Silva 总统桥钢箱梁细节构造(尺寸单位: mm)

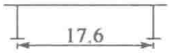
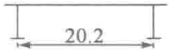
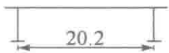
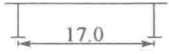
表 1-1 为德国的连续钢梁桥; 表 1-2 为日本连续钢梁桥; 表 1-3 为世界最大跨度的连续钢箱梁桥。钢桥面板主要用于桁梁桥、拱桥、悬索桥和斜拉桥。

德国建成的钢桥面板连续梁桥

表 1-1

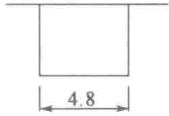
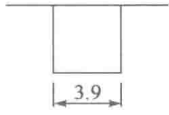
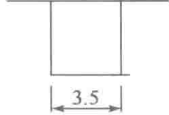
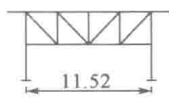
桥 名	建成 年代	跨度(m)	梁宽 (m)	梁高(m)	用钢量 (kg/m ²)	主梁断面(m)
Kurpfalz 桥	1950	56.1+74.8+ 56.1				面板厚 12~16mm
Düsseldorf- Neuss 桥	1951	103+206+ 103				面板厚 14~28mm
Parta 桥	1955	63.72+77.88 +106.2	14.0	3.5	258	
Sneyer 桥	1956	52+163.45+ 106.95	13.7	3.37~6.4		 面板厚 13~23mm; T 形纵肋; 框架横肋间距 1.75m,V 形横撑架间距 10.5~ 15.7m; 腹板厚 12~14mm
Aschaffen- burg-Main 河 桥	1965	82.5+118.0 +82.5	24.5	2.4~5.4	215	
Donall 河桥	1966	9 跨连续全长 930.15; L _{max} = 129.98	29.0	3.6~5.2	295	
Zoo 桥	1966	73.5+259+ 144.5+119.7	33.0	3.6~10.0		 面板厚 12~26mm; T 形纵肋,间距 300mm; T 形横肋,间距 1.5~ 1.65m; 腹板厚 10~36mm
Ruhrtal 桥	1966	19 跨连续梁, 全长 1 800.0, L _{max} =126.0	27.5	4.5	274	 面板厚 12mm

续上表

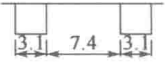
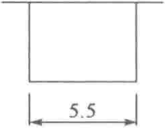
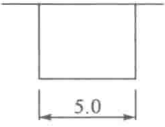
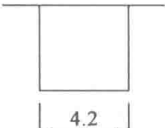
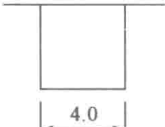
桥 名	建成年代	跨度(m)	梁宽(m)	梁高(m)	用钢量(kg/m ²)	主梁断面(m)
Hochheim-Main 河桥	1966	83+150+83	24.5	3.25~5.5	325	
Sinntal 桥	1968	60+80+5×110+80	30.0	4.2~5.2	271	
Grenzwald 桥	1968	65+100+120+120+125+120+120+100+65	30.0	4.0~5.8	260	
Hamburg 市 Rader Insel 桥	1972	77+80+111.73+221.54+111.73+5×84+3×104+88+75.5	29.5	5.0~9.5		 面板厚 12~16mm; U 形肋, 厚 8mm; 横肋间距 4.0m, 高 1.0m

日本建成的钢桥面板连续梁桥

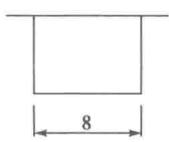
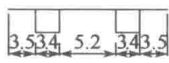
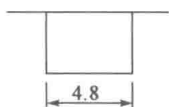
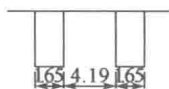
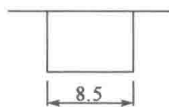
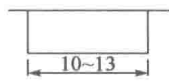
表 1-2

桥 名	建成年代	跨度(m)	梁宽(m)	梁高(m)	用钢量	主梁断面(m)
城凯岛桥	1959	70+95+70	车道宽 7.0	2.5~5.0	总重 899t	
琵琶湖桥	1964	4×41.82; 95+140+95; 20×41.82	车道宽 7.0	2.6~5.5	总重 2 696t	
米山桥	1966	67+93+67	车道宽 7.5	2.5~4.5	总重 1 381t	
新十三大桥	1966	90+90+89.5; 89.5+90+89.5 89.5+2×81	车道 13.5 全宽 19.0	3.0	295kg/m ²	 桁架式横梁, 间距 9.0m

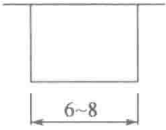
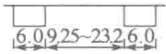
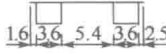
续上表

桥 名	建成年代	跨度 (m)	梁宽 (m)	梁高 (m)	用钢量	主梁断面(m)
多摩川桥	1968	79+132+79	车道 2×7.3	3.0	836kg/m ²	
京滨大桥	1971	89.12+130+ 89.12	车道 8.0	3.5~5.0	总重 1 679t	
河口湖大桥	1971	74.0+110.0 +130.0+74.0	车道 7.5	2.607~ 6.107	总重 2 152t	
广岛大桥	1973	4×86.85; 3×86.85; 100+150+ 100	车道 2×8.5	3.7~6.3	总重 2 906t	
千木松大桥	1973	78 + 150 + 95.5	车道 7.5	3.0~6.0	总重 1 342t	
片上大桥	1974	95+160+120 +100	车道 8.5	3.099~ 7.106	总重 1 817t	
第二摩耶 大桥	1975	75+210+75	车道 2×8.0; 全宽 18	2.8~7.5	685kg/m ²	 箱内小横肋间距 2.333m, 交叉大横 肋间距 7.0m; 两箱梁间分配横 梁间距 21.0m

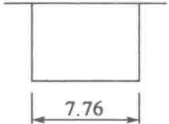
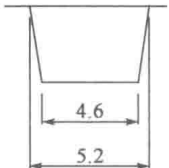
续上表

桥 名	建成年代	跨度 (m)	梁宽 (m)	梁高 (m)	用钢量	主梁断面(m)
八户大桥	1976	100.4+166+ 100.4	车道 2×7.0	4.0~6.5	总重 1 768t	 面板厚 12~26mm
门崎高架桥	1983	149.6+190.4 +190.4+149.6	车道 2×8.0; 全宽 18.25	4.6~8.32	582kg/m ²	
泊大桥	1985	91.2+170.0 +91.2	车道 2×7.25; 全宽 19.0		650kg/m ²	
饰磨临 海大桥	1986	71.9+165.0 +71.9	车道 8.5; 全宽 12.5	2.5~6.5	522kg/m ²	
札幌大桥	1988	3×72.3, 板梁; 90+150+90, 箱梁; 3×72.3, 板梁; 3×72.3, 板梁	车道 9.25; 全宽 13.0	3.0~7.0	495kg/m ²	 面板厚 12~16mm; U 形肋 320mm × 240mm × 6mm; 腹板厚 12~16mm; 下翼缘厚 12~34mm; 横肋间距 3m; 箱梁间横撑间距 6.0m
海田大桥	1989	148.5+250.0 +148.5	车道 2×7.75; 全宽 17.7	4.0~9.0	660kg/m ²	
有明西 运河桥	1993	92.5+125.5 +230+136, 梁—墩刚接连续 刚构; 平面为曲线, R=430m	车道 2×8.0; 全宽 18.2	3.5~10.0	737kg/m ²	 横隔板: $h \leq 4m$, 框架; $h > 4m$, V 形、X 形 撑架

续上表

桥 名	建成年代	跨度 (m)	梁宽 (m)	梁高 (m)	用钢量	主梁断面(m)
namihaya 大桥	1995	169.3+250.0 +159.4	车道 7.5~11.9; 全宽 11.75~16.15	最大梁高 9.1	698kg/m ²	
正莲寺川桥	1996	118.5+235.0 +179.4	全宽 27.25~ 45.25	3.0~9.5	697kg/m ²	 面 板 厚: 12mm、 20mm、25mm、30mm; 腹板厚: 14mm、 25mm; 下翼缘厚: 23mm、 41mm、48mm、50mm; 横隔板为框架、V 形、X 形,间距约 6m; 支点处为实腹板; 横肋间距 3.0m
东京湾桥	1997	100 + 110 +120; 130 + 140 + 190 + 2 × 240 + 140 + 130 + 120 +110; 100 + 90 + 9 ×80; 10×80; 6 × 80 + 2 × 76.45+81.5	车道 6×3.5; 全宽 29.9	3.0~10.5	698kg/m ²	 一箱三室 正桥:浅滩桥; 面板 12~25mm 或 12~16mm; 腹板 13~29mm 或 11~16mm; 翼缘 11~32mm 或 10~20mm
空港大桥	2003	80.0+30.0+ 110.0+140.0+ 150.0+160.0+ 150.0+140.0+ 110.0+30.0+ 80.0	车道 12.0; 人行道 3.0		585kg/m ²	

续上表

桥 名	建成年代	跨度 (m)	梁宽 (m)	梁高 (m)	用钢量	主梁断面(m)
第二留萌 川桥	2003	77.0+163.0 +77.0	车道 10.5; 全宽 11.5	3.0~6.0	658kg/m ²	
多摩川原桥 (Ⅱ期)	2004	114.7+160.0 +124.1	车道 7.5~10.0; 人行道 3.5		总重 3 399t	

世界上长大钢箱梁桥

表 1-3

国 家	桥 名	桥长(m)	最大跨度(m)	建成年代(年)
日本	东京湾桥	4 384.4	240	1997
新西兰	Auckland Harbour 桥	1 096	244	1969
德国	Necker Tal 桥	900	264	1978
巴西	Costa e Silva 桥	760	300	1974
德国	Zoo 桥	597	259	1966
日本	尻无川新桥	580	250	1996
日本	海田大桥	550	250	1989
日本	正莲寺川大桥	532.9	235	1996
前南斯拉夫	Sova 桥	480	261	1978
德国	Koblenz-Süd 桥	442	236	1975

钢箱梁在我国的发展起源于 20 世纪 60 年代,且多用于铁路桥梁。1968 年 9 月,原宝鸡桥梁工厂制成 1 孔跨度为 32m 的整孔焊接箱形梁,采用 16Mnq 钢,质量约 37t,架设在南同蒲线与陇海线的联络线潼河桥上。1982 年在陕西安康建成了跨径为 176m 的箱形截面栓焊结构铁路斜腿刚架桥,目前仍是该种桥型铁路桥的世界纪录保持者。1984 年,在广东建成了采用正交异性桥面板栓焊结构的钢箱梁桥。

20 世纪 90 年代,我国才开始大规模使用正交异性钢桥面板箱梁,但发展速度非常快,20 年间取得了辉煌成就,令世界瞩目。我国建成的部分钢箱梁

桥见表 1-4。2011 年年底建成通车的崇启大桥(主桥 $102\text{m}+4\times 185\text{m}+102\text{m}=944\text{m}$)是目前国内已建成的最大跨度的正交异性桥面板钢箱连续梁桥,如图 1-7 所示。



图 1-7 崇启大桥主桥

中国国内部分钢箱梁桥 表 1-4

序 号	桥 名	建造年代(年)	跨径布置(m)
1	旧大北窑桥	1986	
2	九圩港大桥	1992	50+80+50
3	新大北窑桥	2000	33+39+33
4	哈尔滨尚志大桥	2002	51+55+50+51
5	卢浦大桥引桥	2003	28+46+35
6	广佛高速公路跨线桥	2004	47+65+47
7	共和新路立交桥	2005	44+79+44+37
8	朱家村立交桥	2006	36+60+36
9	蓬岳路跨线桥	2007	2×35+45+2×35
10	人民路跨沪宁高速公路桥	2008	40+60+40
11	同集路东安桥	2009	30+33.5+30
12	崇启大桥	2011	102+4×185+102
13	新康立交桥	2011	46+74+74+46
14	九堡大桥高架桥	2012	42+65+42
15	港珠澳大桥	2012	6×110
16	苏州中环线跨沪宁高速公路桥	2013	44+70+35

第二节 钢箱梁桥结构特点

钢箱梁一般由顶板、底板、腹板、横隔板、纵隔板及加劲肋等通过焊接或栓接的方式连接而成。其中顶板为由盖板和纵向加劲肋构成的正交异性桥面板。