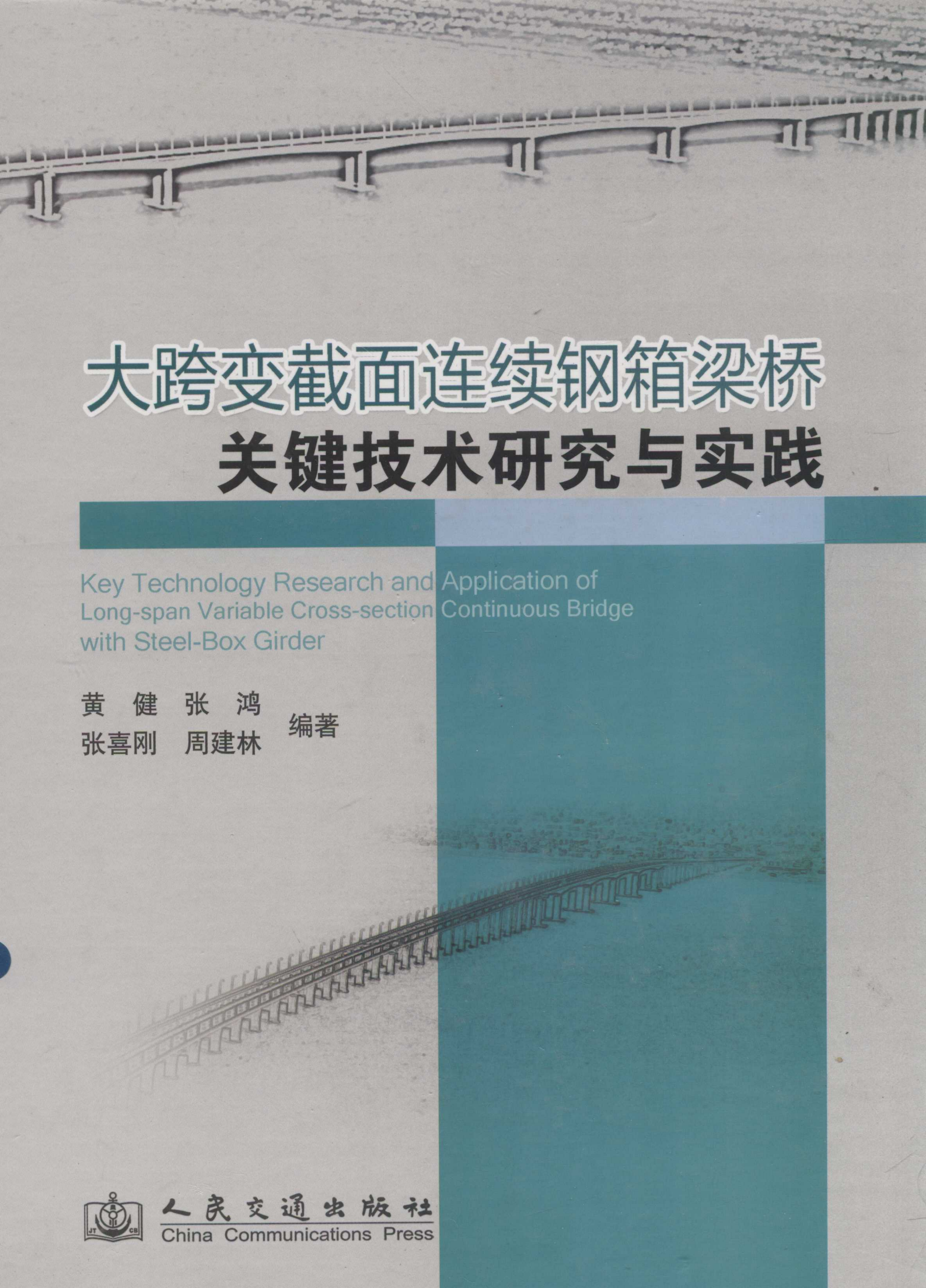




大跨变截面连续钢箱梁桥 关键技术研究与实践

Key Technology Research and Application of
Long-span Variable Cross-section Continuous Bridge
with Steel-Box Girder

黄 健 张 鸿 编著
张喜刚 周建林



人民交通出版社
China Communications Press

014037899

U448.21
22

大跨变截面连续钢箱梁桥 关键技术与实践

Key Technology Research and Application of
Long-span Variable Cross-section Continuous Bridge
with Steel-Box Girder

黄健 张鸿 编著
张喜刚 周建林



人民交通出版社
China Communications Press



北航

C1723666

U448.21
22

内 容 提 要

本书以国内最大跨径连续钢箱梁桥——崇启大桥为依托,介绍了大跨变截面连续钢箱梁桥在结构设计、变截面钢箱梁制造、整跨箱梁装船运输、架设、施工控制、抗风减振及措施等方面的关键技术和实践经验。

本书可作为从事该领域研究、设计、施工和施工控制的工程技术人员及相关专业学生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大跨变截面连续钢箱梁桥关键技术研究与实践/黄健等编著. —北京:人民交通出版社,2013.6

ISBN 978-7-114-10464-0

I. ①大… II. ①黄… III. ①长跨桥—连续箱梁桥—研究 IV. ①U448.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 052177 号

书 名:大跨变截面连续钢箱梁桥关键技术研究与实践

著 者:黄 健 张 鸿 张喜刚 周建林

责任编辑:韩亚楠 崔 建 潘艳霞

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.ccpres.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:北京市密东印刷有限公司

开 本:880×1230 1/16

印 张:13

字 数:340 千

版 次:2013 年 6 月 第 1 版

印 次:2013 年 6 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-10464-0

定 价:65.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



Key Technology Research and Application of Long-span Variable Cross-section Continuous Bridge with Steel-Box Girder

序

Preface

19 世纪中期,国外开始了连续钢箱梁桥的建造工作。由于经济、技术和材料等原因,20 世纪末,国内仅修建了少量的跨度 100m 以内的连续钢箱梁桥,大跨度连续钢箱梁桥的建设尚未开始。自 21 世纪初,我国在缆索支承的扁平钢箱梁的设计、制造、架设、施工控制和抗风减振等方面取得了令人瞩目的成就,形成了具有一定特色的技术体系。连续钢箱梁桥与缆索支承桥梁的扁平钢箱梁在结构受力、抗风、制造工艺、装船及运输、架设方案等方面均存在显著区别,大跨连续钢箱梁桥的建设面临着新的挑战。

崇启大桥是江苏与上海直接对接的首座特大型长江大桥,主桥采用双幅变截面的六跨连续钢箱梁桥($102\text{m}+4\times 185\text{m}+102\text{m}=944\text{m}$),跨径和联长均居国内同类桥型首位。该桥的成功建成开创了我国大跨度变截面钢箱梁桥建设的先河,提升了我国连续钢箱梁桥的建设水平,促进了我国桥梁建设的“大型化、工厂化、装配化、标准化”,代表了我国大跨变截面连续钢箱梁桥建设的最新水平。

《大跨变截面连续钢箱梁桥关键技术研究与实践》以崇启大桥为依托,介绍了大跨连续钢箱梁桥在结构设计、制造、装船运输、架设、施工控制、抗风减振及措施等方面的难点和特点,展示了现场科研人员和工程技术人员在崇启大桥建造过程中的卓越奉献所取得的智慧结晶。

中国工程院院士: 吕志伟

2013 年 1 月 16 日



Key Technology Research and Application of Long-span Variable Cross-section Continuous Bridge with Steel-Box Girder

前言

Foreword

连续钢箱梁桥具有跨越能力大、自重轻、抗震性能好、可靠性能高、耐久性好等显著特点。对于主跨在 100~300m 的公路桥梁而言,连续钢箱梁桥具有较强的竞争力。以往大跨度连续钢箱梁桥在国内建成较少,主要原因是该桥型的设计和施工经验较少,建设中对加工、运输、架设等施工技术和架桥设备的要求较高。随着国内经济的快速持续发展,钢材的材质和施工技术有了极大的提高。近年来,国内跨江、跨海工程的逐步实施,以及施工技术及架桥设备的不断发展,大跨度连续钢箱梁桥的优势逐渐显现。

本书是作者从事大跨度连续钢箱梁桥理论研究和工程实践的成果总结,重点讨论了崇启大桥建造过程中所面临的技术问题及所取得的科技成果,这些成果在大桥建造中得到了成功应用。本书第 1 章对大跨连续钢箱梁桥的国内外发展现状和技术问题进行了概述;第 2 章着重介绍大跨变截面连续钢箱梁桥设计,涉及结构设计、稳定性和扭转等方面;第 3 章阐述了大跨变截面连续钢箱梁制造关键技术,包括尺寸精度控制和整跨梁段拼装技术;第 4 章介绍了大跨变截面钢箱梁整跨梁段装船运输的关键技术;第 5 章阐述了大跨变截面连续钢箱梁桥架设技术,包括整跨梁段吊装及调位技术;第 6 章介绍了大跨变截面连续钢箱梁桥的施工控制体系;第 7 章讨论了大跨变截面钢箱梁桥抗风安全及结构减振措施。

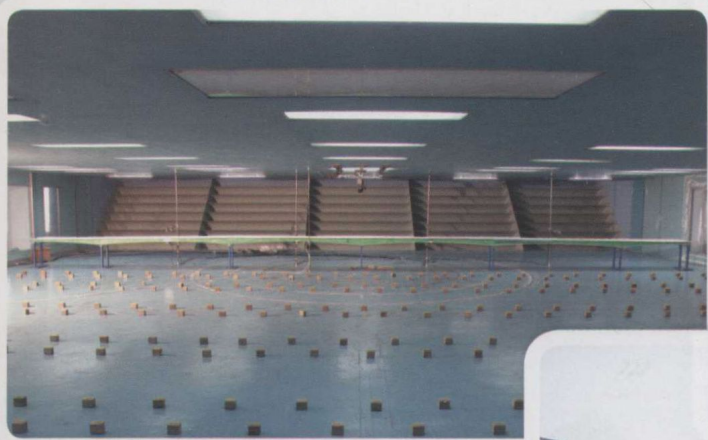
在本书编写过程中,张永涛、许春荣、周伯明、李镇、高纪兵、曹东威、顾雨辉、黄灿、朱浩、李铭、王志诚等参加了部分内容的编写工作。

衷心感谢江苏省交通工程建设局、崇启大桥建设现场指挥部、中交第二航务工程局有限公司、中交公路规划设计院有限公司、江苏中泰桥梁钢构股份有限公

司、中铁山桥集团有限公司、同济大学、西南交通大学、中国铁道科学研究院等单位在理论研究与工程项目实施中所提供的支持。本书中用到上述单位提供的部分图、表和照片，在此一并致谢。

由于时间仓促，书中存在不妥之处在所难免，望读者见谅。

编著者
2013年1月



<< 崇启大桥主桥气弹模型试验

钢箱梁节段制造拼装 >>



<< 整跨梁段（长185m）总拼

整跨钢箱梁滚装上船 >>





<< 整跨钢箱梁水上运输

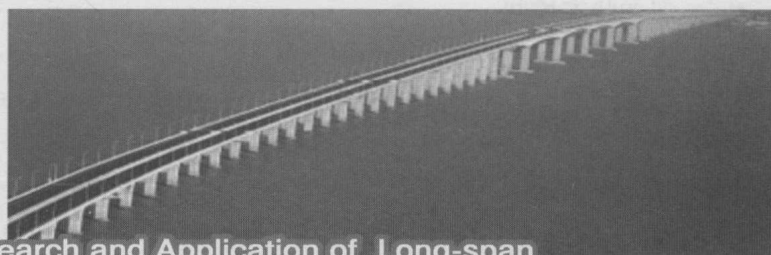
整跨钢箱梁现场吊装 >>



<< 最后一节段钢箱梁吊装

崇启大桥成桥全景 >>





Key Technology Research and Application of Long-span Variable Cross-section Continuous Bridge with Steel-Box Girder

目录

Contents

1 绪论	1
1.1 连续钢箱梁桥结构特点	1
1.2 连续钢箱梁桥发展现状	2
1.3 大跨连续钢箱梁桥技术问题	6
1.4 崇启大桥工程	7
1.5 大跨变截面连续钢箱梁桥关键技术	10
2 大跨变截面连续钢箱梁桥设计	12
2.1 概述	12
2.2 总体设计及关键参数影响分析	12
2.3 大跨变截面连续钢箱梁桥稳定性	19
2.4 大跨变截面连续钢箱梁桥扭转	47
2.5 小结	55
3 大跨变截面连续钢箱梁桥制造	56
3.1 概述	56
3.2 板单元划分及制造精度	56
3.3 曲线形底板单元制造	62
3.4 桥面块体精度控制	69
3.5 整跨梁段拼装制造	75
3.6 关键技术实施效果及验证	82
3.7 小结	84
4 大跨变截面钢箱梁整跨梁段装船运输	85
4.1 概述	85
4.2 整跨梁段装船运输方案比选	85
4.3 滚装上船平板车布置方案	88
4.4 装船过程体系转换	90
4.5 整跨梁段滚装装船	92

4.6	船舶状态控制	95
4.7	整跨梁段绑扎	98
4.8	装船运输全过程应力监控系统	101
4.9	小结	108
5	大跨变截面连续钢箱梁桥架设	109
5.1	概述	109
5.2	整跨梁段吊装	110
5.3	船舶抛锚定位	122
5.4	梁段调位	138
5.5	接缝连接及匹配措施	145
5.6	小结	147
6	大跨变截面连续钢箱梁桥控制	148
6.1	概述	148
6.2	总体控制体系及内容	150
6.3	准备阶段控制系统	152
6.4	制造阶段控制系统	162
6.5	架设阶段控制系统	170
6.6	小结	177
7	大跨变截面钢箱梁桥抗风安全与减振	178
7.1	概述	178
7.2	全过程结构动力特性及抗风能力数值分析	178
7.3	节段模型风洞试验	182
7.4	主桥成桥状态涡激振动特性气弹模型试验	185
7.5	结构减振措施	188
7.6	小结	193
8	总结与展望	194
	参考文献	195

1 绪 论

国外大跨径连续钢箱梁桥的建设起步较早,在发展历程中经历了诸多经验和教训。20 世纪 50 年代,英国有数座该类桥梁因构造设计不当发生施工垮塌事故,结合这些事故,欧洲众多学者对该类桥梁进行了全面研究,并最终完善了英国 BS5400 规范。日本在 20 世纪 80 年代修建了大量的连续钢箱梁桥,并在构造和材质方面进一步完善和突破,在常规的低合金钢的基础上,逐步采用耐候钢,以减少后期养护工作量和养护费用。

随着国内经济的增长,国内钢材产量位居世界首位,钢材的种类和质量有了极大的丰富和提高。大跨度连续钢箱梁桥主梁自重较轻,可减少下部结构工程规模,提高结构的抗震性能,适用于各种桥位地质条件;钢箱梁桥施工具有制造工厂化、现场架设机械化等特点,简化施工环节,工序少、精度高、速度快,工程质量易于保证。目前,大跨度连续钢箱梁桥已成为跨径为 100~300m 非常有竞争力的桥型。

1.1 连续钢箱梁桥结构特点

连续钢箱梁桥为超静定结构,在均布荷载作用下的等跨径连续梁中,各跨跨中呈正弯矩,边跨正弯矩最大,中支点处呈负弯矩。例如,五跨连续梁在均布荷载作用下的弯矩示意图如图 1.1 所示。

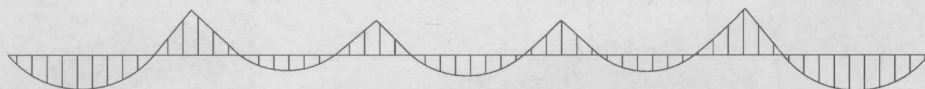


图 1.1 五跨连续梁在均布荷载作用下的弯矩示意图

连续钢箱梁桥的力学特性主要表现在:

- (1) 连续钢箱梁在支点位置的负弯矩和跨中位置的正弯矩均较大,可采用合适的截面尺寸,充分利用钢材优良的抗拉、抗压性能,来承受截面应力。
- (2) 在中心竖向荷载作用下,主梁弯曲引起的顶底板应力(垂直于横断面的应力)和剪应力并存。闭合箱梁断面的剪应力计算属于超静定结构体系。
- (3) 在偏心竖向荷载作用下,可将偏心荷载分解成通过断面中心的中心荷载和扭矩,如图 1.2 所示。

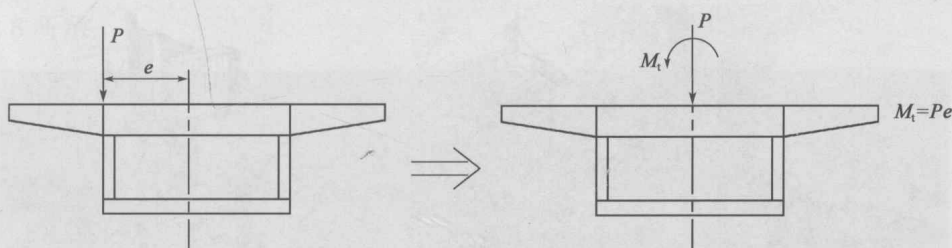


图 1.2 偏心荷载的分解

连续钢箱梁桥主梁是由带纵横肋的上、下翼缘和腹板组成的“薄壁”钢箱结构。主要断面形式如图 1.3 所示。

钢箱梁的结构特点主要表现在:

- (1) 无论是垂直偏心荷载或是水平横向荷载,钢箱梁是作为立体结构抵抗这些外力,各构件都能发挥其力学性能。例如,箱梁的上翼缘,可把车辆轮载传递给主梁,也作为主梁的上翼缘抵抗垂直荷载的

弯曲,同时又作为闭合的薄壁断面抵抗扭转。

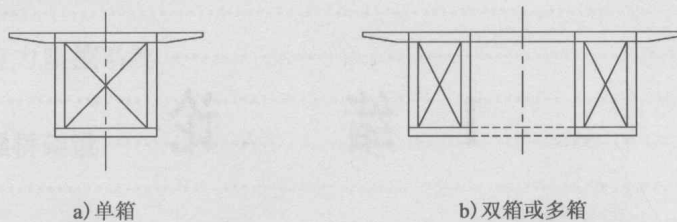


图 1.3 典型钢箱梁截面

(2)由于钢箱梁有很强的扭转刚度和扭转强度,在竖向偏心活载作用下,横向荷载分配较好;箱梁桥的翼缘较宽,通过加劲的设置,使较薄的翼缘抵抗弯曲应力。

1.2 连续钢箱梁桥发展现状

1.2.1 国外连续钢箱梁桥发展

连续钢箱梁桥诞生于 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,其上部结构由两座平行的四跨连续箱形熟铁梁组成,如图 1.4a) 所示,跨径布置为 $70\text{m}+140\text{m}+140\text{m}+70\text{m}$,箱形梁的横断面如图 1.4b)所示。梁段的熟铁板件在工地预制,组装成箱形梁后,借助趸船将每孔重 $1\,285\text{t}$ 的箱形梁主跨浮运至桥位,如图 1.4c)所示,然后用放于墩上的巨型液压千斤顶提升就位,如图 1.4d)所示。该桥于 1970 年因火灾而受到严重破坏,造成主跨严重下垂,后来在原址重新修建了新桥。

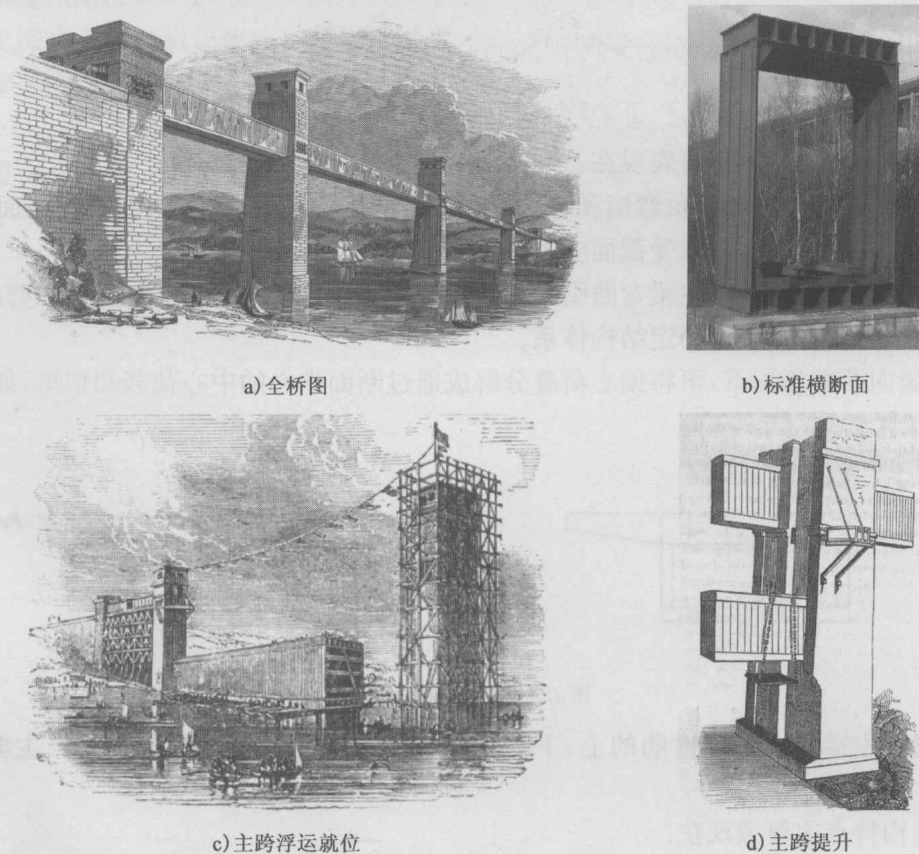


图 1.4 布列坦尼亚桥

自布列坦尼亚桥之后的 100 年间,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已成为当时钢梁桥的发展主流。第二次世界大战后,德意志联邦共和国采用钢桥面板(正交异性板)作为承受轮载的桥面,同时将其作为主梁翼缘参与主梁共同受力,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 的第一座实腹钢箱梁桥,如图 1.5 所示。该桥为三跨连续钢箱梁桥($103\text{m}+206\text{m}+103\text{m}$),主梁采用钢正交异性板作为桥面板,以减轻桥面自重,让钢面板和纵肋共同作为主梁的上翼缘;采用左右幅钢箱梁,每箱宽 7.5m。梁高沿跨度变化,中跨跨中达到 3.3m,是跨度的 1/62,中间桥墩处为 7.8m。钢箱梁腹板厚度为 12~16mm,采用纵向肋和横向肋加劲。全梁许多部件在工厂焊制,工地接头方式采用铆接。



图 1.5 杜塞尔多夫—诺伊斯桥

20 世纪 60 年代,由于大型热轧钢板、自动化切割及焊接等技术的发展,钢箱梁技术得到了广泛应用。如 1966 年德国科隆市建成的动物园桥(Zoo Bridge),由弗瑞兹·莱昂哈特(Fritz Leonhardt)担任结构工程师,采用四跨连续钢箱梁桥($73.5\text{m}+259\text{m}+144.5\text{m}+119.7\text{m}$),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 1.6 所示。



图 1.6 德国动物园桥

20 世纪 70 年代末期,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 1974 年巴西建成的里约—尼特罗伊桥(Rio-Niterói Bridge),为目前世界跨度最大的连续钢箱梁桥,跨径布置为 $200\text{m}+300\text{m}+200\text{m}$,如图 1.7 所示。钢箱宽度 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,横梁高度 1.0m,间距 5.0m,如图 1.8 所示。



图 1.7 里约—尼特罗伊桥

1978 年,德国巴登—符腾堡州建成内卡河谷桥(Neckartal Bridge),该桥采用五跨连续钢箱梁($234\text{m}+3\times 134.3\text{m}+264\text{m}$),如图 1.9 所示,由弗瑞兹·莱昂哈特(Fritz Leonhardt)设计。该桥充分体现了钢箱梁的结构特点,桥面总宽达到 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。

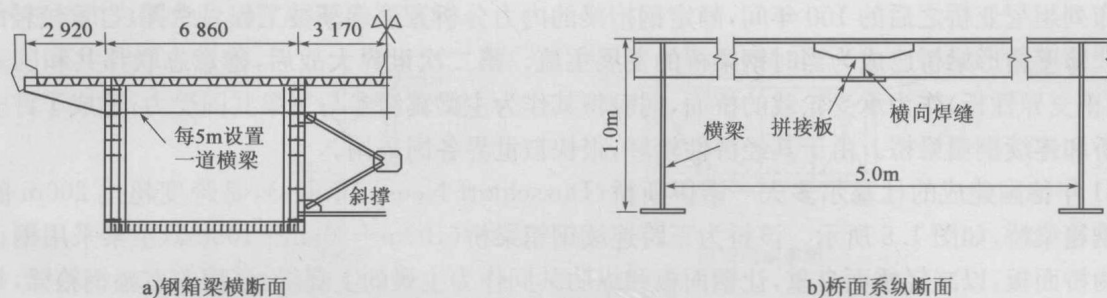


图 1.8 里约—尼特罗伊桥钢箱梁细节构造

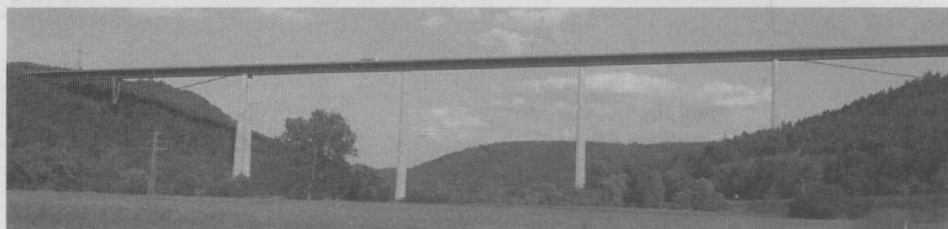


图 1.9 内卡河谷桥

1995 年,日本建成东京湾公路桥(Trans-Tokyo Bay),上部工程为多跨变截面连续钢箱梁结构,其中最大跨径为 240m,结构布置如图 1.10 所示。该桥采用起重船架设整跨钢箱梁,运营期通过设置 TMD 来抑制钢箱梁涡激振动。

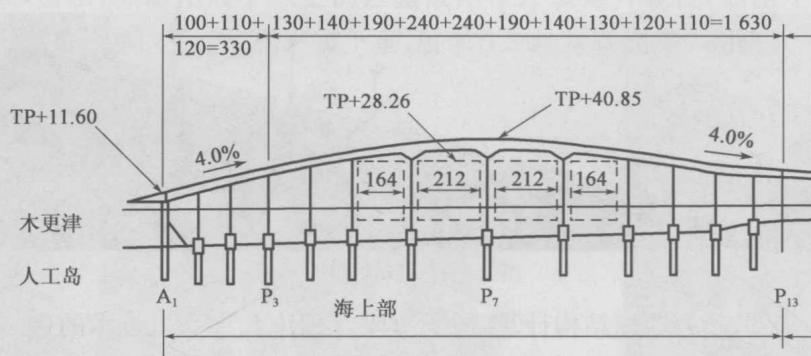


图 1.10 东京湾公路桥(尺寸单位:m)

1998 年,丹麦修建了大贝尔特桥,引桥为等截面连续梁桥,主梁由 $19 \times 193\text{m}$ 、 $2 \times 62\text{m}$ 、 $1 \times 140\text{m}$ 、 $1 \times 143\text{m}$ 等组成。其中,193m 跨径梁高 7.1m,重约 2380t,如图 1.11 所示。

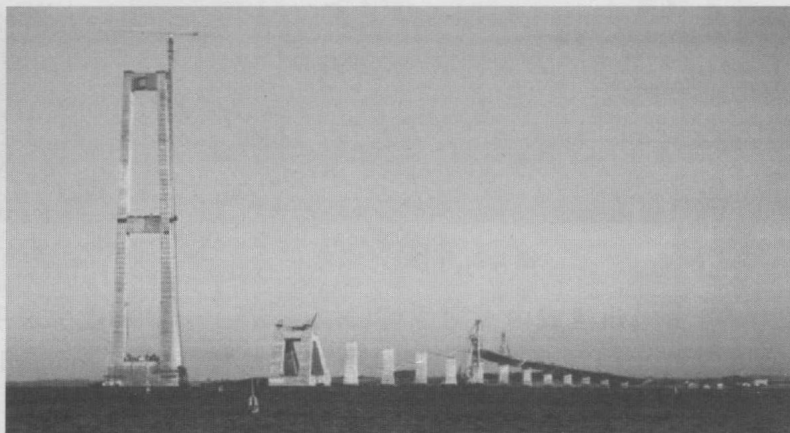


图 1.11 大贝尔特桥引桥

目前,国外大跨连续钢箱梁桥如表 1.1 所示。

国外大跨连续钢箱梁桥统计表

表 1.1

桥 名	主跨跨径 (m)	桥宽 (m)	梁高(m)		建成时间 (年)	国 家
			跨中	支点		
Rio-Niterói Bridge 里约—尼特罗伊桥	300	26.6	7.5	13	1974	巴西
Neckartal Bridge 内卡河谷桥	263	31.5	—	—	1978	德国
Save I 萨瓦河 I 号桥	261	18	4.5	9.6	1957	前南斯拉夫
The Deputy Darcy Castelo de Mendonca Bridge 维多利亚 III 号桥	260	—	—	—	1989	巴西
Zoo Bridge 动物园桥	259	33	3.6	10	1966	德国
Namihaya Bridge 尻無川新桥	250	11	5	9	1994	日本
Kaita 海田大桥	250	16.5	—	—	1991	日本
Auckland Harbour 奥克兰海湾大桥	244	10.6	—	—	1969	新西兰
Save II 萨瓦河 II 号桥	250	27	—	—	1970	前南斯拉夫
Trans-Tokyo Bay 东京湾公路桥	240	22.9	3	10.5	1997	日本
Koblentz-Sud	236	29	—	—	1974	德国
Shorenjigawa 正莲寺川桥	235	27.25~42.25	4.9	9.5	1989	日本
Konrad Adenauer	230	39.7	4.2	9	1972	德国
Ariake West Canal 有明西运河桥	230	18.2	4.5	10	1993	日本
San Mateo Hayward	229	24.4	—	—	1967	美国
Amagasaki Port 尼崎港大桥	223	27.25~36.22	6.2	7.3	1991	日本
Rader Insel	222	30.5	5	9.5	1972	德国
Mosel Valley	218	30.5	—	8.5		德国
Milford Haven	214	10.5	—	—	1975	英国
Dai-2 Maya 第二摩耶大桥	210	18	2.8	7.5	1975	日本
Oslava River	207	—	—	—	—	捷克
Düsseldorf-Neuss Bridge 杜塞尔多夫—诺伊斯桥	206	28	3.3	7.8	1951	德国
Wiesbaden-Schierstein	205	24.5	4.2	7.9	1962	德国
Weisenau-Mainz	204	24.5	—	—	1962	德国
San Diego-Coronado	2×201	20.2	—	—	1969	美国
Benodet	200	11.5	—	—	1972	法国
大贝尔特桥引桥	193	31.0	7.1	—	1998	丹麦

1.2.2 国内连续钢箱梁桥发展

近 15 年来,国内大跨钢斜拉桥、悬索桥、拱桥等有了较快的发展,屡次破同类桥型世界纪录,但大跨连续钢箱梁桥在国内发展较为缓慢。

我国现代连续钢箱梁桥的发展起源于 20 世纪 60 年代。1968 年 9 月,国内制造了一孔跨度为 32m 的整孔焊接箱形梁,采用 16Mnq 钢,重量约 37t,架设在南同蒲线与陇海线的联络线潼河桥上。1979 年,制造了一孔跨度为 40m 的整孔焊接箱形梁,架设在北京西北环线上。

北京地铁 5 号线工程立水桥站至立水桥北站高架桥部分采用钢箱梁结构。跨径布置为 42m+70m+42m,全长 154m。钢箱梁采用“倒梯形”全封闭截面,梁高在距中支点 14m 左右时从高 1.814m 逐渐变为 3.07m。钢箱梁的最大制作长度 28.52m,最大宽度 4.52m,最大制作重量约为 130t。

上海中环线的共和新路立交第四层匝道桥采用 44m+79m+44m+37m=204m 的连续钢梁桥,主梁中支点附近梁高由 2.6m 渐变至 4.0m。钢箱梁单件加工长度最长 40m,吊装重量最大 192t。

南通市九圩港大桥为 50m+80m+50m 的双幅变截面连续钢箱梁桥,单幅桥宽 18.3m,主梁采用单箱双室截面,中间支点处梁高 3.2m,中跨跨中梁高为 2.0m,九圩港大桥钢箱梁吊装如图 1.12 所示。

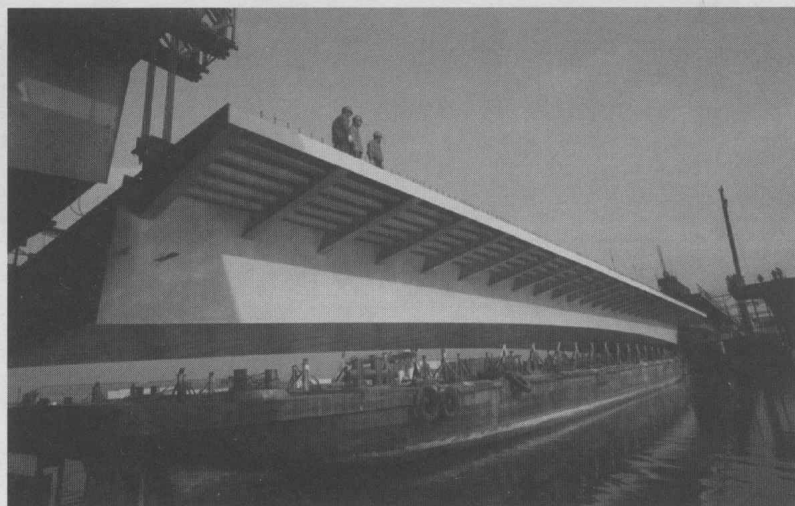


图 1.12 九圩港大桥钢箱梁吊装

随着我国钢箱梁加工制造水平的提高和大型工程设备的发展,开始修建大跨连续钢箱梁桥,最具代表的是 2009 年开工建设的崇启大桥,主桥采用 102m+4×185m+102m 六跨变截面连续钢箱梁桥,整跨梁段长度达到 185m,最大吊装重量达到了 2700t。

1.3 大跨连续钢箱梁桥技术问题

连续钢箱梁桥的发展过程并非一帆风顺。由于早先工程师对钢结构受力特性的认识有限,以及计算分析手段较为落后,连续钢箱梁桥在发展历程中也出现了一些事故和问题。

1.3.1 连续钢箱梁桥的压屈失稳

1969 年 11 月 6 日,奥地利第四多瑙河桥(Fourth Danube Bridge)在边跨简支向中跨悬臂架设时,由于环境温度变化引起的箱梁温差应力与架设时自重应力叠加,使箱梁下翼缘在横向对接焊缝处压溃。

1970 年 6 月 2 日,英国威尔士的 Milford Haven 桥简支悬臂拼装时,在 6 号墩处折溃导致垮塌。研究认为:6 号墩处支承横隔板的强度和稳定性不能满足施工时受力要求是导致这一垮塌事故的原因。

1970 年 10 月 15 日,澳大利亚墨尔本的西门桥(West Gate)在焊接边跨箱梁纵向接缝时,钢箱梁上翼缘压屈失稳。

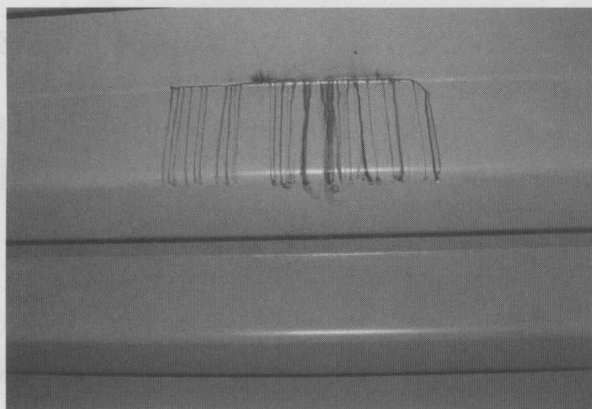
1971 年 11 月 10 日,德国科伯伦兹的莱茵河桥(Koblenz Bridge)悬臂拼装时,在弯矩反弯点处中跨钢箱梁下翼缘压溃。该处截面为最薄弱处,且下翼缘纵肋嵌补段在梁段对接处,未与下翼缘焊接。

这一系列事故的发生引起了工程界的高度重视。为此,英国成立了以 Merrison 教授为首的事故调查委员会,在约 5 年的时间里开展了一系列的调查和试验,重点研究了钢箱梁的受力性能及带肋板的局

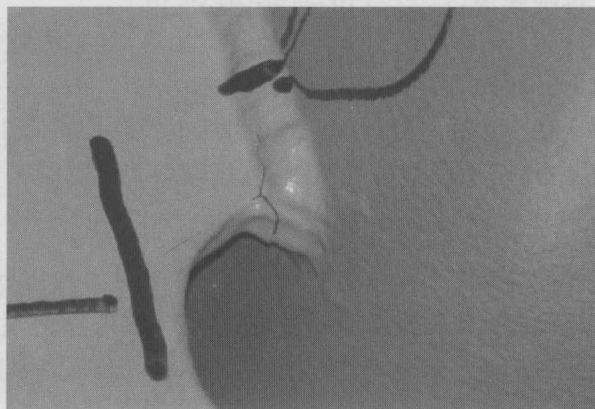
部稳定问题,其成果列入了英国 BS5400 规范。

1.3.2 正交异性钢桥面板的疲劳开裂

正交异性钢桥面板是由纵、横加劲肋和盖板共同承受荷载的桥面结构。桥面板纵向加劲一般采用 U 肋,其间距与车轮宽度相当,横桥向一般不设加劲,而直接支撑于横隔板之上。因此,就桥面板本身而言,其刚度在相互垂直的方向上各不相同,造成受力行为上的各向异性,称为正交异性板。正交异性钢桥面板焊缝多、构造复杂,且直接承受车轮荷载,若构造处理不善、焊接质量不高,易发生疲劳开裂。连续钢箱梁采用正交异性钢桥面板,与其他钢桥的钢桥面板一样,也存在发生疲劳开裂的风险。裂纹主要发生在桥面板与 U 肋焊接位置、横隔板与 U 肋焊接位置等,如图 1.13 所示。



a) U肋与顶板焊缝位置裂纹



b) 横隔板弧形缺口位置裂纹

图 1.13 正交异性钢桥面板裂纹

1.3.3 大跨连续钢箱梁桥风致振动

大跨度连续钢箱梁桥结构轻、阻尼低、气动断面钝、自振频率低,当大气边界层中近地风绕过桥梁时,可能会产生流动分离和周期性的漩涡脱落,使结构上下或左右两侧表面出现交替变化的正负压力和力矩,引起结构横风向或扭转方向有限振幅的振动,即涡激振动。涡激振动带有自激性质,但振动的结构反过来会对涡脱落形成反馈作用,使得涡振振幅受到限制,因此,涡激共振是一种带有自激性质的风致限幅振动。尽管涡激振动不同于颤振、弛振,属于发散的毁灭性振动,但是起振风速低、频度大,长时间的持续振动同样会导致结构局部发生疲劳,过大的振幅(涡激共振)也足以影响行车安全。因此,在施工或成桥阶段避免结构涡激振动(共振)或限制其振幅在可接受的范围之内具有十分重要的意义。日本的东京湾横断桥、矢田川桥、巴西里约—尼特罗伊桥(Rio-Niterói Bridge)等施工完成后均出现明显的主梁涡激共振,特别是巴西里约—尼特罗伊桥(Rio-Niterói Bridge)运营阶段频繁出现一阶竖向大振幅涡激振动,极大地影响了正常使用。日本东京湾横断道路桥后增设机械阻尼减振装置,抑制振动。

因此,对于大跨连续钢箱梁桥来说,要特别关注其风致振动,必要时采取阻尼装置或气动措施来抑制振动。

1.4 崇启大桥工程

崇启大桥跨越长江口北支,连接上海市崇明县和江苏省启东市,是上海至西安国家高速公路的重要组成部分,地理位置如图 1.14 所示。崇启大桥全线按双向 6 车道高速公路标准建设,其中,跨江大桥设计速度 100km/h,桥梁宽度 33m,设计汽车荷载等级为公路—I 级。