

现代桥梁新技术丛书

桥梁 钢结构 细节设计

中铁大桥勘测设计院集团有限公司
赵廷衡 著



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

四川省 2011 年度重点图书
现代桥梁新技术丛书

桥梁钢结构细节设计

中铁大桥勘测设计院集团有限公司 赵廷衡 著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

桥梁钢结构细节设计 / 赵廷衡著. —成都: 西南交通大学出版社, 2011.10

(现代桥梁新技术丛书)

ISBN 978-7-5643-1300-5

I. ①桥… II. ①赵… III. ①桥梁结构: 钢结构—结构设计 IV. ①U445.47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 158237 号

现代桥梁新技术丛书

桥梁钢结构细节设计

赵廷衡 著

责任编辑	张 波
特邀编辑	杨 勇
封面设计	本格设计
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	四川森林印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm×240 mm
印 张	18.75
字 数	419 千字
版 次	2011 年 10 月第 1 版
印 次	2011 年 10 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-1300-5
定 价	54.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

序 言

第 一 章 概 况

赵廷衡教授级高级工程师参加设计工作 40 余年, 一直从事钢梁结构的桥梁设计, 技术经验丰富, 思路开阔, 不墨守成规。20 世纪 70 年代初文革期间作为主要骨干, 主持了九江长江公铁两用大桥的钢梁方案设计。以后又在孙口黄河铁路桥的钢桁梁设计中, 极力推动全桥采用整体节点结构的技术方案, 最终得到铁路部认可。从此使铁路钢桁梁桥节点告别了散装的落后技术年代。1990 年前后修建的武汉市汉阳大道与鹦鹉大道交叉处的人行天桥, 是当时国内首座跨度较大, 平面呈 X 形的全焊接正交异性板钢箱梁结构, 赵高工参与了该项目设计, 并入驻武昌造船厂监控制造工作。1995 年广东省汕头市礮石大桥采用了属国内首例的钢箱与混凝土箱混合成为主梁的斜拉桥, 主跨 518 m。赵高工既是钢箱梁的设计主持人, 又坚守工地为宝鸡桥梁厂首次介入钢箱梁制造进行工艺把关, 以及为钢箱梁节段吊装合拢发挥监控和指导作用。随后赵高工受聘为广东省湛江市海湾大桥建设公司的技术顾问, 承担该桥在建设中的工作。该桥仍属大桥设计院设计亦为混合梁斜拉桥, 主跨 480 m。钢箱截面采用底板为圆弧, 有别于一般的造型。斜拉索首次采用锚固于梁面。此桥完工以后, 即回到大桥院, 继续贡献余热。以上事实说明, 赵廷衡教授级高工在钢结构方面既具有较好的理论知识又有丰富的实践经验, 根据自己多年来的心得写成专著。诚如作者所期, 本著作定能对从事钢桥设计工作中的同行与青年才俊们有所裨益和启发。

中铁大桥勘测设计院具有悠久的历史建桥历史, 人才辈出。对桥梁技术的提高与发展, 一直敢为人先。各类优秀人物都是依靠自力更生的精神, 凝聚其各自取得的业绩。始终保持住不浮不夸的优良社会风气。

中铁大桥勘测设计院集团有限公司

教授级高级工程师

2011 年 5 月

前言

※ ■ 校 ■ 方 ■ 注

新中国建国以来，各类钢桥都得到了快速发展。近三十年来不仅发展更快，还出现了许多新型结构，使钢桥技术前进了一大步。在这个过程中，中铁大桥勘测设计院作为一个团队，在不断的设计实践中，积累了许多宝贵的经验。笔者在这个集体中也有许多心得和体会，本书的工作便是以实际运用为宗旨总结这些心得。希望本书能够对从事钢桥设计工作的青年朋友们有所裨益，若果能如此，笔者将感到十分荣幸。

书中包含钢桁梁、钢箱梁和钢拱桥三个部分，重点是钢桁梁。在钢桁梁部分，除用主要篇幅叙述结构细节设计外，还将与之相关的材料选择、高强度螺栓设计、焊接设计等也写在这一篇里，希望尽可能完善这个部分。当然，这些关于选材和连接设计的内容也同时适用于其他部分。

钢桁梁节点只讨论了整体节点，散装节点没有涉及。但整体节点是从散装节点发展过来的。从散装节点到整体节点的发展过程及两者的对比，在钢桁梁第三章第四节作了说明。整体节点及杆件的某些设计规范国内尚缺，为了方便使用，引用日本及英美等国规范作了补充。

在钢箱梁部分，结合细节叙述，也对相关规范作了简要说明。钢拱桥的吊杆刚性是广泛关注的问题，书中有专门讨论。

各部分还引用了许多国内外工程实例，并对实例进行了扼要说明。阅读和分析这些充满智慧的实际工程结构图，对读者了解具体的结构构成方法会有很大帮助。

稿子是在工作过程中断断续续写出来的，时间拖得很长。疏漏不足之处难免，希望同行们不吝指正。

书稿得到我院多位专家的支持和帮助，没有他们的帮助笔者不可能完成这个工作。

我特别感谢设计大师杨进先生，他在百忙中抽时间审阅了全书，还热情为本书作序。张强、肖海珠、郑修典、刘承虞四位专家分别对全稿进行了校审，提出了许多宝贵的建议和修改意见，他们的这些意见和建议都在书中得到了体现；郭子俊高工在文稿规划，内容组成和校阅等方面提供了很多帮助；徐科英工程师花费大量时间和精力对书稿进行了组织和编排。在此谨对他们一并表示衷心感谢！

本书的几位编辑为本书做了大量的、细致的工作，非常辛苦。他们对大多数插图都进行了重新绘制，对其他插图也进行了尽可能的美化，为本书增色不少。衷心地感谢他们。

作 者

2011年6月于中铁大桥勘测设计院集团有限公司

目 录

目 录

第一篇 钢桁梁

第一章 总体布置和计算	3
第一节 总体布置	3
第二节 桁式选择	5
第三节 横断面布置	9
第四节 结构计算和材料估计	12
第二章 钢桥选材	16
第一节 铁路钢桥选材	16
第二节 公路钢桥选材	25
第三章 主桁结构设计	26
第一节 弦杆杆件截面选择	26
第二节 腹杆截面选择	44
第三节 拱度设置	45
第四节 整体节点设计	46
第五节 弦杆拼接设计	54
第六节 斜腹杆与节点板的拼接	59
第七节 施工图规划与节点图参数化	66
第四章 工程实例	67
第一节 武汉长江大桥铆接钢梁及以后的技术进步	67
第二节 贝尔格莱德多瑙河大桥	69
第三节 奥本 (Auburn) 桥	71
第四节 切斯特 (Chester) 桥钢梁节点图	74
第五节 港大桥节点	76
第六节 黑之瀨户大桥	79

第七节	大岛大桥	84
第八节	天草一号桥	87
第九节	境水道大桥	88
第十节	Newburgh-Beacon 大桥	90
第十一节	新桂川桥	91
第十二节	孙口黄河大桥	94
第十三节	德国南腾巴赫美因河桥	97
第十四节	南京大胜关桥	101
第十五节	天兴洲长江大桥	105
第十六节	郑州黄河大桥	108
第五章	桥面系	111
第一节	铁路纵横梁	111
第二节	公路纵横梁	114
第三节	整体桥面	115
第四节	整体桥面上的应力	116
第五节	工程实例	116
第六章	联结系	122
第一节	横向联结系	122
第二节	桥门架	122
第三节	平面纵向联结系	123
第四节	工程实例	124
第七章	焊接设计	129
第一节	焊接基本知识	129
第二节	焊缝力学性能基本要求	132
第三节	实际情况	133
第四节	影响焊缝力学性能的主要因素	133
第五节	母材焊接性与制造工艺评定	135
第六节	对接焊	138
第七节	角接焊	141
第八节	角焊缝的有效传力长度	145
第九节	焊接应力与焊缝收缩	150

第八章 高强度螺栓连接	154
第一节 螺栓材料	154
第二节 多排螺栓问题	155
第三节 抗拉连接	157
第四节 同时承受拉力和抗滑力的螺栓	158
第五节 板厚公差影响	160
第六节 高强度螺栓施工	161
第九章 支 座	164
第一节 铸钢支座	164
第二节 盆式支座	169
第十章 工厂制造	170
第一节 制造工艺设计与工装	170
第二节 制造工艺规则	170
第三节 试拼装	171
第十一章 安 装	174
第一节 总体安装规划	174
第二节 安装计算、安装临时荷载	176
第三节 冲钉数量与拱度保证	178
第四节 伸臂安装的中间合拢问题	178
第五节 松扣问题	179
第六节 节点连接常见问题处理	180
第十二章 通车试验	181
第一节 试验计划	181
第二节 计 算	181
第三节 试 验	182

第二篇 钢箱梁

第十三章 钢箱梁总体设计	187
第一节 概 述	187
第二节 梁 高	187
第三节 梁 宽	188

第四节	截面类型	189
第十四章	桥面板与横隔板	196
第一节	桥面板	196
第二节	普通横隔板及其与纵肋交叉	200
第三节	支承横隔板	203
第十五章	纵腹板	206
第一节	纵腹板设置要求	206
第二节	纵腹板加劲	206
第十六章	特殊细节	208
第一节	斜拉桥钢箱梁混合接头	208
第二节	斜拉桥钢箱梁索梁连接	211
第十七章	斜拉桥钢箱梁安装	215
第一节	斜拉桥钢箱梁安装简述	215
第二节	斜拉桥钢箱梁中间合拢技术	216
第十八章	关于连续钢箱梁和板梁的补充	220
第一节	腹板加劲	220
第二节	关于式(2-18-1)和(2-18-2)	221
第三节	关于水平肋加劲的式(2-18-3)	223
第四节	关于竖向加劲肋间距	225
第五节	使用细节	226
第六节	大跨度钢箱梁的高跨比和腹板高度	227
第七节	高腹板加劲	228

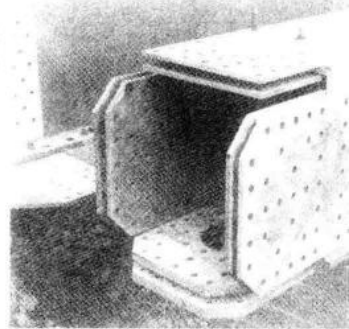
第三篇 钢拱桥

第十九章	概 述	237
第一节	拱桥与简支板梁	237
第二节	类 型	238
第三节	钢拱桥及拱桥选用	239

第二十章 拱轴线和拱肋刚度	240
第一节 拱轴线	240
第二节 拱肋与系杆刚度	241
第二十一章 拱的稳定	242
第一节 简 述	242
第二节 稳定近似计算	242
第二十二章 吊杆设计	245
第一节 控制风振的设计措施	245
第二节 刚性吊杆的长细比计算	246
第二十三章 工程实例与主要细节	247
第一节 美国科罗拉多河桥	247
第二节 泉大津大桥	249
第三节 长柄桥	250
第四节 大胜关长江大桥	251
第五节 神户大桥	252
第六节 大三岛大桥	255
第七节 美国 Fremont 大桥	256
第八节 朝天门大桥	260
附 录	262
附录 A 断裂力学和裂纹分析方法概要	262
附录 B 钢结构构件裂纹计算的 J 积分方法	266
附录 C 日本钢压杆纵向加劲肋设计标准简介	273
附录 D 栓群极惯性矩简化计算	276
附录 E 高腹板水平加劲肋算例	279
附录 F 已经建成的部分大型钢桁梁	281
附录 G 已经建成的大型钢箱梁桥	283
附录 H 已经建成的大型钢拱桥	285
参考文献与资料	287

第一篇 钢桁梁

钢桁梁的使用非常广泛，它是一种跨越能力非常强的桥梁结构，在桥梁钢结构中占有非常重要的地位。半个多世纪以来，以武汉长江大桥为代表，国内已经修建了数百座大型钢桁梁桥。当钢桁梁形成拱桁结构，或者作为加劲梁与缆索承重体系形成组合结构时，可以适应更大跨度。



第一章

总体布置和计算

第一节 总体布置

桥位环境、水文、地质、通航净空、主航道位置和范围、桥上铁道线路数、公路车道数等，均由总体统一考虑。但是，特大桥梁上部结构设计需对结构类型、总长和孔跨布置比例等提出建议，并进行协调。这是因为，特大桥梁除在结构设计、制造方面有特殊性外，在安装方面常常需要更周密的考虑。因此，只有总体设计与上部结构设计主动相互协调，才能将总体布置做得更好。

一、结构类型选择

桥梁结构类型非常多，钢桥结构类型也不少。但是，适合于具体某个桥位的桥式并不一定很多，甚至很少。这是因为，特定的桥位必定有特定的环境条件，只有相似，没有雷同。特定的环境条件很可能就只与某一个或某几个桥型相适应。这种例子是非常之多的。所以在选择桥型时，首先必须满足使用功能，然后结合桥址的地质、地形、水文、航运、气象及其他外部条件，将合适的桥式布置到桥位上，进行计算、分析、比较。从中选出技术先进、经济合理、与环境协调美观的方案作为推荐方案。

寻求经济合理的桥梁设计方案，是头等重要的工作。经济合理，这是方案研究的原则。这个观念不仅是在今天，今后也不会过时。也正是在这个观念的指导下，才可以说“适合于具体某个桥位的桥式并不一定很多”。如果把经济观念放到次要位置，把桥梁外形放到主要位置的话，方案选择就会失去一个重要原则，结果也就不一样了。最大的不一样就是花钱不一样。适宜的桥型与不适宜的桥型相比，造价会有很大差别，甚至是成倍的差别。因此，忽视经济原则，过分追求造型的奇特，是不应当提倡的。

大桥的建筑美感显然非常重要，设计者应当努力追求。但是，建筑美应当与结构受力的合理性相联系，合理的才是最美的。千万不要追求奇特和画蛇添足。

二、总 长

正桥上部结构总长一般是取决于河道两岸大堤之间的距离，但有很多例外。重要河流的大堤附近一般不容许修桥台。长江上的桥，黄河上的桥基本都是这样。这部分工作常常受到外部条件限制，需要进行许多外部条件的调查与协调。

三、跨度布置的比例

如图 1-1-1 所示，对于总长较大，布置成多孔连续桁梁，其中又有一两个较大通航孔（图中的 l_2 或 l_3 ）的桥，需要注意跨度比例。之所以要注意比例，是因为它显著影响到梁体的内力和刚度，显著影响到安装的难易程度。同时对各支座反力的分配也有明显影响。

如果不愿意让端支座出现负反力的话，端孔 l_1 就不可过小，次孔 l_2 不可过大。一般情况下， l_1 应不小于 l_2 的 60%。次孔如果太大，不仅梁的竖向刚度不匀顺，次孔的安装也将很困难。在伸臂安装情况下，次孔的安装应力和安装挠度都可能成为控制因素，从而增加安装投入。同时，端支点还可能出现负反力。

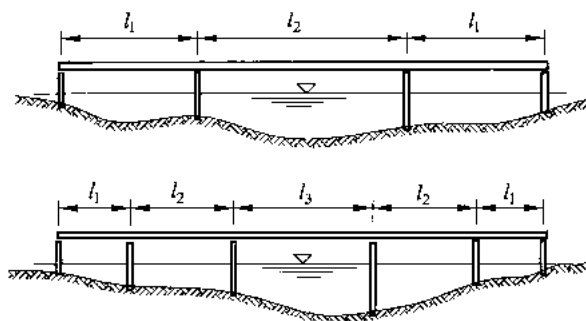


图 1-1-1 连续梁跨度布置比例示意

全桥跨度布置要比较匀顺，由通航大跨逐步过渡到边孔小跨，不能忽大忽小。当上部结构由几联连续梁组成，又要追求边跨小于中跨（受力合理）的效果，就会出现跨度不匀顺的矛盾。此时只得采用等跨布置。武汉、南京、枝城、九江等大桥的布置都是这样。

四、关于负反力支座的讨论

这个讨论只限于连续钢桁梁。

之所以在这里提出这个问题，是想引起大家的思考。

到目前为止，国内大型钢桥都还没有使用过负反力支座。有时遇到这种情况时，都是压重处理。原因当然是为了避免设计和施工抗拉支座的麻烦，也担心日后在运营中出现问题。

这样的想法当然是情理之中的事。但完全拒绝使用抗拉支座,是不是也有失偏颇。

在国外钢桥中,有很多钢桥采用抗拉支座的例子。现有的文献表明,日本和欧美各国在三孔连续梁或伸臂梁中,端支座使用负反力的例子实在不少。例如,日本的港大桥(235 m+510 m+235 m)、天草 1 号桥(100 m+300 m+100 m)、境水道大桥(96 m+240 m+96 m)、黑之濑户大桥(100 m+300 m+100 m)、Chester 桥(250 m+500 m+250 m),德国的南腾巴赫美因河桥(83.2 m+208 m+83.2 m)等。这些大桥的抗拉支座,既有固定支座,也有活动支座,总之都成功地设计了抗拉支座。可以认为,让连续梁端支点产生负反力是设计者的主观意图,而不是因条件所限的被动措施。

事实上,负反力的存在绝不仅仅是缺点,也有突出优点。在三孔连续结构中,设置端部抗拉支座后,可以显著减小边孔的正弯矩、挠度和梁端转角。边孔刚度改善的同时,也使中孔的竖向刚度得到提高。内力的减少当然也就节省了材料,是一举数得的事。因此,在必要的时候,使用抗拉支座是合理的,可以节省投资。支座会多花费一些材料,但数量十分有限。

抗拉支座,最好设计成无论什么荷载组合作用都是拉力,而不出现压力。拉力与压力交替作用的拉压支座,尽量避免采用。拉压支座会使支座设计更加复杂。

可想而知,固定支座抗拉比较容易,活动支座抗拉需同时考虑纵向移动和转角,比较困难一些。而连续梁的端支座几乎都是活动支座。

目前的问题是,抗拉支座还完全没有研究过。所以,究竟有多大设计困难,还不好说。但是可以肯定,抗拉支座是完全可以设计的,这不应当有疑问。如果有机会针对具体工点提出设计方案,进行具体的、有针对性的考虑就比较好。初步想想,可以考虑的抗拉构件类型有多种。支座上下摆间的抗拉连接、铰接拉杆、预应力钢丝束等,都可供选择。其中,支座上下摆间的抗拉连接还需增加支座上摆与钢梁节点的抗拉连接。

在后面的工程实例中,有少量抗拉设计的例子可供参考。已有的实际做法大致有 3 种情况:将抗拉结构做在端节点上;将抗拉结构做在端横梁上;将相邻孔的端支座设在具有负反力的节点上,用以平衡负反力。

第二节 桁式选择

一、桁 式

桁架结构的基本单元就是三角形,由三角形组成各种桁式。桁式与桁高、节间长度、杆件长度(与桥面纵横梁)紧密相关,必须联系在一起综合考虑。此外在桁架中,桁高、节间长度(联系纵横梁)和斜腹杆的斜度是相互关联的三个要素。在考虑其中某一个要素的取值时,必须同时兼顾另两个要素。综合考虑这三个要素并作出选择,也就决定了桁式。

所有常用桁式都是各有优缺点的，需要根据具体情况选择使用。

二、桁 高

在所述三要素中，桁高是最为重要的。它是决定桁架杆件内力和桁梁挠度的主要因素。规范规定，简支钢桁梁和连续钢桁梁的边跨，容许挠度为跨度的 $1/900$ ，中跨为 $1/750$ 。挠度限制是桁高的主要控制条件。在已建成的大桥中，3 跨及 3 跨以上的等跨连续桁梁，常用桁高 H 为跨度 L 的 $1/10 \sim 1/8$ 。如果用到 $1/10$ 的话，中间支点处常常还需要增加桁高。例如表 1-1-1。

当桁高很大时，华伦式桁架的斜杆往往很长，压杆折减明显。在大型钢桁梁单腹杆结构中，斜（单）腹杆长细比达 $70 \sim 80$ 时，对 Q345q 将折减 $40\% \sim 50\%$ ，对 Q420q 将折减 50% 以上。所以，对于很大桁高的情况，要着重考虑双腹杆体系或再分式体系。至于多腹杆体系，早年是用得较多的，现代钢桥已经看不到了。

表 1-1-1 高跨比举例

桥 名	跨度/m	桁高/m	高跨比	附 注
武汉长江大桥	3×128	16	$1/8$	
南京长江大桥	3×160	16	$1/10$	支点增加桁高 14 m
枝城长江大桥	4×160	16	$1/10$	支点增加桁高 14 m
孙口黄河大桥	4×108	13.6	$1/7.94$	

三、节间长度

节间长度与弦杆长度及其长细比、纵梁跨度、横梁内力、平面联结系斜撑杆长度直接相关，节间长度过大和过小都有弊端。过大时会受压弦杆折减过多，或者为使压杆折减不要太多而增加截面轮廓尺寸，同样也会造成钢料浪费。此外，还会引起纵横梁内力增加，以致增加纵横梁梁高。过小时，会增加主桁杆件的次弯矩。

钢板供货长度也需要适当考虑，国内最合适的供货长度是 $12 \text{ m} \sim 14 \text{ m}$ ， $16 \text{ m} \sim 18 \text{ m}$ 板件钢厂供应比较困难，但尚能协商供应。再长，就需要工厂对焊接长了。

特大型钢桁梁的节间长度往往比较大。这是因为这种钢梁的杆件内力非常大，杆件轮廓尺寸当然也很大，高宽尺寸可以达到 2 m 以上。对于这种情况，节间长度需要跟着适当加长。如果节间太小，主桁挠曲变形可能引起很大的节点次弯矩。这种情况下的节间加长因伴随着高宽加大，杆件长细比很容易控制在合理范围内。但是，由此所引起的纵梁跨度加大，导致纵横梁内力增加不可避免，只能用合理的纵横梁断面设计来适应。

一般情况下，中小跨度的钢桥，节间长度为 $8 \text{ m} \sim 10 \text{ m}$ ；大跨度钢桥用到 $12 \text{ m} \sim 15 \text{ m}$ ，