

大跨度 桥梁施工技术



王武勤 编著
周纪昌 主审

Long Span Bridge Construction Technology



人民交通出版社

China Communications Press

大跨度 桥梁施工技术

王武勤 编著
周纪昌 主审

Long Span Bridge Construction Technology



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

本书分为斜拉桥、悬索桥、拱桥和梁桥等四篇。从桥式的发展概述入手,介绍了桥梁的各部分结构构造,论述了四类桥梁主要结构的施工方案、施工技术和工艺方法。

本书可供桥梁工程专业技术人员学习参考,同时也可作为高等院校相关专业师生学习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

大跨度桥梁施工技术/王武勤编著. —北京:人民交通出版社, 2006.10

ISBN 7-114-06229-X

I . 大 ... II . 王 ... III . 大跨度结构—桥梁工程—工程施工 IV . U448.435.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第128539号

书 名: 大跨度桥梁施工技术

著 者: 王武勤

责任编辑: 吴有铭 袁 方

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)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: 北京交通印务实业公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 20.75

字 数: 521 千

版 次: 2007年1月 第1版

印 次: 2007年1月 第1次印刷

书 号: ISBN 7-114-06229-X

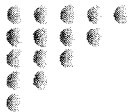
印 数: 0001 — 3000 册

定 价: 40.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

序言

XUYAN



国家改革开放的大好形势促进了交通事业的大发展,全球最大规模的交通基础设施建设极大地提高了路网的服务水平。

桥梁是架起来的路,飞越深沟峡谷、横跨江河湖海,使天堑变通途。我国现有桥梁总数的50%和桥梁总长度的66%是在过去15年里建造起来的。这一个时期建设的桥梁工程的特点是:桥梁类型多、跨径突破大、技术进步快。

在公路桥梁方面,上海卢浦大桥、重庆巫山长江大桥、万县长江大桥和山西丹河石拱桥等分别位于同类拱桥跨径的世界首位;重庆石板坡大桥跨径居梁式桥梁的世界第一;南京长江三桥和二桥分别居于世界斜拉桥跨径的第3和第4位;润扬长江大桥和江阴长江大桥分别居于世界悬索桥跨径的第3和第5位。在风大浪急、气候恶劣的海象条件下,成功地修建了32.5km长的东海大桥。此外,还有几座世界级的桥梁正在建设中,其中苏通长江大桥建成后将成为世界最大跨度的斜拉桥、舟山西堠门大桥将成为世界第二大跨度的悬索桥、重庆朝天门长江大桥将成为世界最大跨径的钢桁肋拱桥等。

在铁路桥梁方面,在武汉、南京、九江长江大桥基础上,芜湖长江大桥成为国内公、铁两用跨度最大的桥梁;在建的武汉天兴洲长江大桥和南京高速铁路长江大桥将成为世界上跨度最大、荷载最重的铁路桥梁。

应该说,我国桥梁建造技术达到了世界先进水平,进入了世界桥梁强国之列。

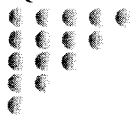
时代在前进,素质要提高,技术要创新。总结我国桥梁工程建设积累起来的成功技术和宝贵经验,探索桥梁建造技术创新的方向,无疑是非常必要的。本书分四种桥型,比较全面地介绍了大跨度桥梁的施工技术、工艺和工程实例,总结了我国现阶段的先进施工经验,具有一定的现实意义和工程价值,可供桥梁专业技术人员参考借鉴。

值此国庆、中秋双节来临之际,欣闻其书稿即将付印,特作序,以为鼓励。

交通部总工程师

凤懋润

2006年9月28日于北京



中国桥梁历史悠久,精湛的桥梁建造技术和艺术在古代就已闻名于世,它是中华民族绚丽多姿的文化瑰宝不可分割的重要组成部分。近二十多年来,随着综合国力的显著提高和交通事业的飞速发展,我国桥梁建设者获得了充分展示聪明才智的难得机遇,在神州大地上陆续新建了成千上万座桥梁,跨越江河湖泊、深沟峡谷、海峡岛屿。特别是在大跨度悬索桥、斜拉桥、拱桥和梁桥等方面,多座桥梁已跃居世界桥梁跨度前列,有的已居领先地位。可以毫不夸张地说,我国目前已堪称世界桥梁大国。

本书得益于目前桥梁施工的众多实例和丰富工程经验,力求总结提炼国内外近年来在大跨度桥梁施工方面的先进技术和工艺,继承和保留传统的实用技术和工艺,希望能对读者有所裨益。

全书分为斜拉桥、悬索桥、拱桥和梁桥等四篇。各篇先从桥式的发展概述入手,接着介绍桥梁的各部分结构构造,然后分桥梁的主要部位分别介绍主要的施工方案、施工技术和工艺,以及注意要点。为了能使读者更好地理解 and 参阅,对主要部位的施工都列举了实例,并对有些比较容易出现的质量和安全事故,也结合作者的经验和体会予以列举和强调。对一些关键部位的施工设计计算原理和方法,以及一些常用的主要机具设备也给予了介绍。总之,对涉及大跨度桥梁施工技术的主要方面都力求述及,但限于篇幅,本书未包含桥梁的基础施工技术部分。

本书作者根据自己多年的亲身工程实践经历,以及近年来受聘参加国内有关大跨度桥梁咨询和审查专家组所收集和了解的大跨度桥梁施工技术资料,并参考许多专家和学者的专业论文著作,利用业余时间历时近五年编著完成书稿。在此,特对有关的论著作者和桥梁建设工程师们表示崇高的敬意和衷心的感谢。中国交通建设集团有限公司的领导和同仁以及人民交通出版社的领导和编辑为本书的出版给予了很大的关心和支持,在此一并表示诚挚的谢意。

当前,我国的桥梁建设事业方兴未艾,正逐渐向桥梁强国的方向快速迈进,但愿本书的出版能为我国大跨度桥梁施工技术的发展尽一点绵薄之力。

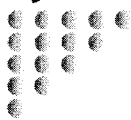
由于作者施工经历和技术水平有限,书中可能存在疏漏和错误,恳请读者批评指正。

来函请寄:北京市安定门外大街乙88号 中国交通建设集团有限公司 王武勤(邮编:100011,电话:010-64287236)。

编著者

2006年9月于北京

目录 MULU



第一篇 大跨度斜拉桥施工

第一章 斜拉桥概述	3
第一节 斜拉桥的发展	3
第二节 斜拉桥的结构构造	4
第二章 索塔施工	9
第一节 斜拉桥索塔的基本类型	9
第二节 混凝土索塔的施工	10
第三节 钢索塔的施工	18
第三章 主梁施工	28
第一节 斜拉桥主梁概述	28
第二节 斜拉桥混凝土主梁的悬臂浇筑施工	29
第三节 斜拉桥混凝土主梁的悬臂拼装施工	44
第四节 斜拉桥钢主梁悬臂拼装施工	47
第四章 斜拉索的安装	58
第一节 斜拉索概述	58
第二节 斜拉索的安装	61
第三节 斜拉索的调索与索力量测	75
第四节 斜拉索的更换及调索	85
参考文献	88

第二篇 大跨度悬索桥施工

第一章 悬索桥概述	91
第一节 悬索桥的发展简况	91
第二节 悬索桥的主要结构构造	95
第三节 大跨度悬索桥施工的主要机械设备	100
第二章 悬索桥主塔和索鞍施工	106
第一节 钢桥塔和混凝土桥塔的安装	106
第二节 悬索桥索鞍吊装施工	110
第三章 猫道和主缆架设施工	113

第一节 主缆架设的准备工作	113
第二节 主缆架设	122
第四章 加劲梁施工	135
第一节 钢桁梁加劲梁的架设	135
第二节 钢箱梁加劲梁的架设	136
参考文献	144

第三篇 大跨度拱桥施工

第一章 拱桥概述	147
第一节 拱桥的主要种类	147
第二节 大跨度拱桥的施工用缆索吊装设备	150
第二章 钢管混凝土拱桥	156
第一节 概述	156
第二节 钢管混凝土拱桥的结构形式和基本性能及特点	156
第三节 钢管拱肋的制作	161
第四节 钢管混凝土拱桥的架设	162
第三章 劲性骨架混凝土拱桥的无支架吊装施工	190
第一节 劲性骨架混凝土拱桥简介	190
第二节 劲性骨架混凝土拱桥的施工实例	191
第四章 钢箱拱桥施工	198
第一节 概述	198
第二节 施工技术及工艺	200
参考文献	206

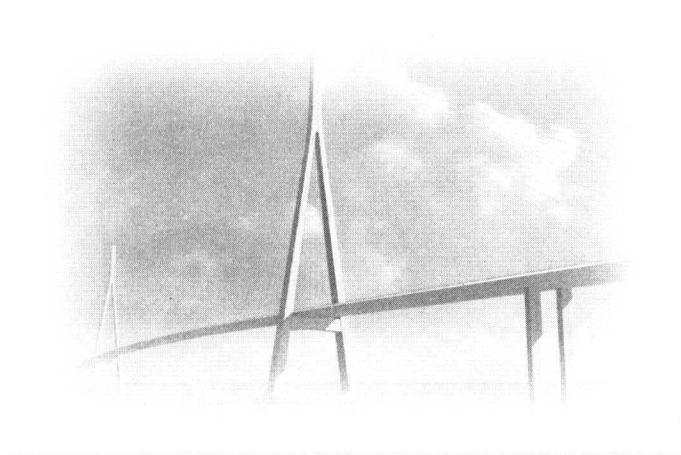
第四篇 大跨度梁桥施工

第一章 大跨度梁桥概述	209
第一节 大跨度预应力混凝土连续梁概述	209
第二节 大跨度梁桥的结构构造	212
第二章 大跨度预应力混凝土梁桥的悬臂灌注施工	222
第一节 移动式挂篮悬臂灌注施工	222
第二节 连续梁移动式桁梁悬吊模架法现浇施工与设计	239
第三节 分段悬臂现浇施工的其他方法	243
第四节 钢-混组合连续刚构桥施工	248
第五节 混凝土梁桥主要安全隐患和质量通病	253
第六节 悬臂现浇挂篮设计及施工实例	254
第三章 大跨度预应力混凝土梁预制悬臂拼装施工	262
第一节 预制悬臂拼装与悬臂浇筑的比较	262
第二节 悬臂拼装施工梁段的预制	263
第三节 梁段的运输和悬臂拼装的施工方法	268
第四节 预制拼装施工实例	274

第五节 悬臂拼装接缝的处理	276
第六节 悬拼预应力及悬拼质量的控制	279
第四章 大跨度钢桁架桥施工	282
第一节 钢桥概述	282
第二节 钢桁架桥的杆件制造	288
第三节 钢桁架桥的悬臂拼装施工	290
第四节 拖拉法架设钢梁	306
参考文献	320

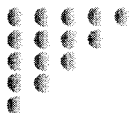
第一篇

大跨度 斜拉桥施工



第一章 斜拉桥概述

DIYIZHANG



第一节 斜拉桥的发展

斜拉桥是一种桥面体系主要受压、索体系受拉的桥式。

瑞典 1955 年建成的主跨 183m 的 Strömsund 桥,标志着世界现代斜拉桥修建的开始。

进入 20 世纪 90 年代以后,斜拉桥的设计施工技术发展迅速、结构形式也不断创新,已建成的钢主梁斜拉桥跨度已接近千米,在建的斜拉桥跨度已超过千米,表 1-1-1 是世界目前跨度前 10 位已建斜拉桥的情况。

世界已建成的前十位斜拉桥

表 1-1-1

编号	国家	桥名	跨径布置(m)	主梁	塔型/塔高(m)	完成年份
1	日本	多多罗桥	270 + 890 + 320	钢箱梁	倒 Y 形钢/220	1999
2	法国	诺曼底桥	547.8 + 856 + 737.7	钢箱梁	倒 Y 形混凝土/202.7	1995
3	中国	南京长江三桥	63 + 255 + 648 + 255 + 63	钢箱梁	人字形钢/215	2005
4	中国	南京长江二桥	58.5 + 246.5 + 628 + 246.5 + 58.5	钢箱梁	倒 Y 形混凝土/195.4	2001
5	中国	武汉白沙洲桥	50 + 180 + 618 + 180 + 50	钢箱梁	A 形混凝土/175	2000
6	中国	福建闽江大桥	90 + 200 + 605 + 200 + 90	结合梁	A 形混凝土/175	2001
7	中国	上海杨浦大桥	99 + 144 + 602 + 144 + 99	结合梁	钻石形混凝土/200	1993
8	中国	上海徐浦大桥	242 + 590 + 242	结合梁	A 形混凝土/210	1996
9	中国	舟山桃天门大桥	48 + 3 × 39 + 45 + 590 + 45 + 45 + 3 × 39 + 48	混合梁	A 形混凝土/151	2003
10	中国	汕头岩石大桥	47 + 47 + 100 + 518 + 100 + 47 + 47	混合梁	A 形混凝土/168	1998

综观斜拉桥的发展历史,基本上分为两个阶段:

(1) 20 世纪 80 年代以前,由于结构分析方法和钢材性能的限制,以及钢拉索防腐技术工艺的成熟,跨度突破不大,最大跨度是法国修建的 Saint-Nazaire 桥,跨径组成为 158 + 404 + 158(m),主梁采用正交异性箱梁桥面,A 形索塔,拉索为放射形。

(2) 20 世纪 90 年代以后,随着结构分析方法的成熟和完善,以及高强度钢材的应用和拉索防腐技术工艺的提高,斜拉桥的跨度产生了质的飞跃,最有代表性的已建斜拉桥是日本的多

多罗桥和法国的诺曼底桥,孔跨布置分别是 $270 + 890 + 320(\text{m})$ 和 $547.8 + 856 + 737.7(\text{m})$,至今位居世界已建成斜拉桥跨度的第一和第二。

第二节 斜拉桥的结构构造

一、主 梁

与其他梁式相同,斜拉桥的主梁也是直接承受车辆荷载的结构,其受力性能与塔的刚度、塔墩梁的连接方式、索的刚度、索形布置等都有关系。

主梁的梁高与主跨比一般在 $1/50 \sim 1/100$,当采用密索体系时,其高跨比可在 $1/200$ 以下。

主梁可采用钢梁、混凝土梁和结合梁,对于大跨度斜拉桥,一般采用钢梁或结合梁。主梁的截面形式有箱形、结合梁、边主梁等。

1. 钢箱梁

钢箱梁一般采用正交异性板,其典型截面分别如图 1-1-1 所示。

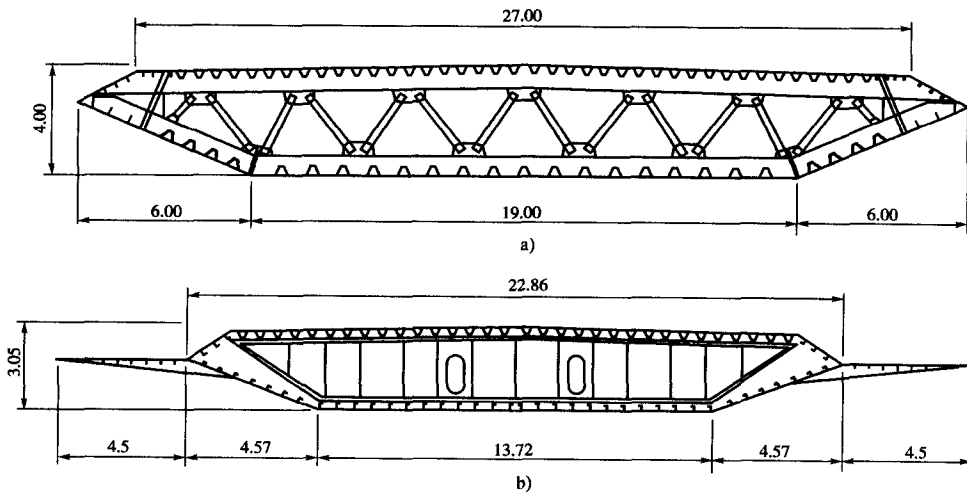


图 1-1-1 典型钢箱梁桥(尺寸单位:m)

2. 混凝土箱梁

混凝土箱梁作为斜拉桥的主梁,一般采用预应力结构,常为双向预应力结构,即纵向预应力和横向预应力。

图 1-1-2 为山东滨洲黄河斜拉桥的混凝土主梁截面。该桥是新建的 205 国道高速公路跨越黄河的重要桥梁。主桥是三塔预应力混凝土斜拉桥,跨度为 $42 + 42 + 300 + 300 + 42 + 42(\text{m})$ 。设计时速 120km/h ,主桥范围内全桥宽 38.2m ,其中桥面净宽 $2 \times 11.75\text{m}$,中央分隔带宽 3m ,两侧护栏 $2 \times 0.5\text{m}$,其余为拉束锚固区。设计荷载标准为:汽车-超 20 级,挂车-120。主梁及护栏底座采用 C55 混凝土;预应力钢绞线的标准强度为 1860MPa ,弹性模量为 $1.95 \times 10^5\text{MPa}$,符合 ASTM A416-92 的规定,普通钢筋采用 II 级钢筋。斜拉索采用直径 7mm 的镀锌高强度低松弛钢丝,拉索锚固点在边箱的边缘处。

主梁采用预应力混凝土箱梁。标准节段箱梁断面形式为半封闭式三角形断面,梁高 3m ,边箱斜腹板厚 25cm ,边跨直腹板厚 100cm ,中跨直腹板厚 35cm 。中跨主梁桥面板厚 30cm ,边跨

桥面板厚 40cm。横隔梁与斜拉索对应布置,即边跨间距 6m,中跨间距 7.5m,在边塔和中塔处适当加密。主梁在中塔处与中塔固结,边塔处半漂浮。主梁施工方法采取落地支架现浇与前支点挂篮悬臂浇筑结合,其中边跨现浇、中跨悬浇。

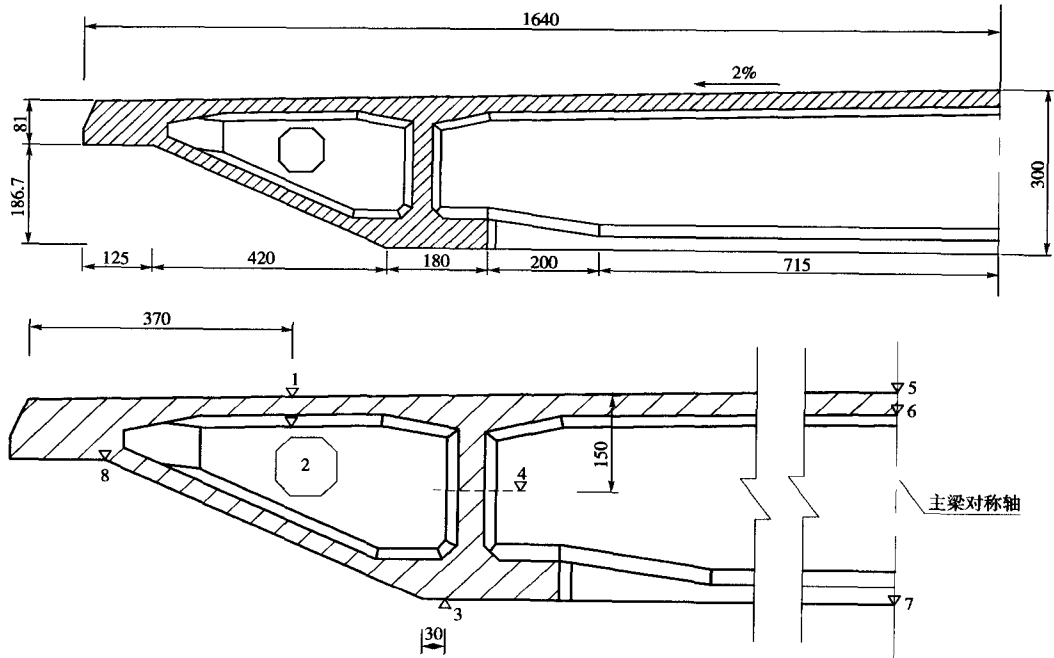


图 1-1-2 山东滨州黄河斜拉桥的混凝土主梁截面(尺寸单位:cm)

3. 结合梁

结合梁是相当于用预制混凝土桥面板代替钢箱梁的正交异性钢桥面板而形成的钢混结构,其相对于钢箱梁而言,节省钢材,同时刚度和抗风稳定性也优于钢梁。除此之外,由于桥面板采用混凝土,从而使桥面铺装层的设计和施工变得比较容易,而且不容易产生结合部位破坏,增强了耐久性。

我国的南浦和杨浦大桥均采用结合梁主梁。杨浦大桥的主梁截面如图 1-1-3 所示。

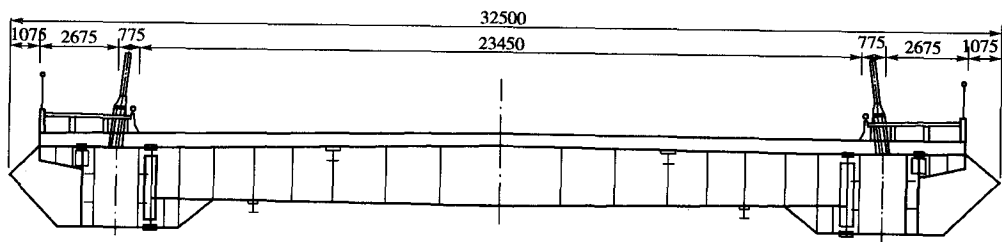


图 1-1-3 杨浦大桥典型断面(尺寸单位:mm)

杨浦大桥是一座双塔双索面漂浮体系斜拉桥,孔跨布置为:40+99+144+602+144+99+44(m),桥面宽度为 30.35 m,两箱型主梁的中心距为 25 m,标准索距为 9 m,工字形钢横梁间距为 4.5m,桥面主梁由钢主梁、横梁、小纵梁、小挑梁与混凝土桥面板等组成,钢和混凝土桥面板之间用抗剪焊钉联结在一起。

4. 混合梁

为了减少主跨内力和变形、减小或避免边跨端支座出现负反力,现代大跨度斜拉桥往往采

用主跨大部分或全部分为钢梁,边跨采用混凝土梁的方案。这种布置除了可以节省钢材外,也特别适用于边跨与主跨比值较小的情况。

由于混合梁结合部位结构的突变,往往是混合梁最容易出问题的地方,为了减小过渡段受力的不利情况,一般应将结合部位选在弯矩和剪力都比较小的地方,另外,要从构造措施上保证传力,如:两种不同性质的梁的重心尽可能地重合;在重叠部分的钢梁上焊接抗剪钉或设置抗剪器;在结合部位设置预应力等。

混合梁斜拉桥的典型实例有:法国诺曼底桥、日本多多罗桥、武汉白沙洲长江大桥、汕头岩石桥等。

二、拉 索

拉索承受桥面传来的恒载活载以及风载等,并将其传递到主塔上,它是斜拉桥的主要受力构件。

1. 拉索的纵向布置

拉索的纵向布置有辐射形、竖琴形、扇形和星形,如图 1-1-4 所示。

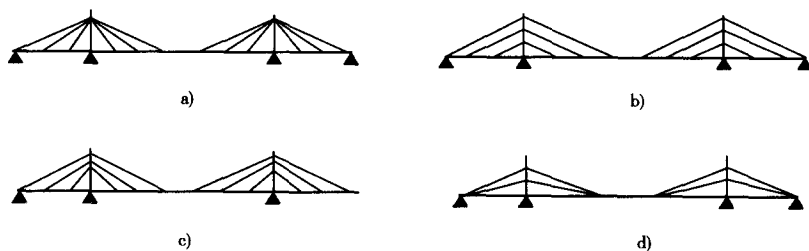


图 1-1-4 斜拉索立面布置

a)辐射形;b)竖琴形;c)扇形;d)星形

(1)辐射形索

辐射形索的所有索上端均锚固于塔顶,所以相对于其他布索方式而言,大部分索与主梁的夹角较大,因而对梁产生的水平分力较小,而且长索所产生的柔性对结构抗震也有利。但由于对于大跨度桥而言,过多的索集中锚固在塔顶是比较困难的,有时甚至是不可能的。所以,在适宜的中等或中等偏大的斜拉桥上比较适用。

辐射形布索因在一定的视角内拉索有交叉现象,虽然没有竖琴形布索美观,但对于大跨度斜拉桥而言,其对美观的影响不大。

(2)竖琴形(平行)索

竖琴形布索的特点是给人以均匀、顺畅、清晰的视觉美感,但从经济和技术角度,它并不是最佳的选择。

(3)扇形索

扇形索介于平行索和辐射形索之间,综合了平行索和辐射形索的一些特点,虽然在视觉效果上比平行索差,但比辐射形索在塔上的锚固则容易处理,而且拉索对主梁的支承效能变化不大,是大跨度斜拉桥比较理想的一种索布置形式。

(4)星形索

斜拉索在塔上的锚固是分开的,而在主梁上则集中在一个公共点上。显然,这种布索方式不太适宜大跨度斜拉桥。

2. 拉索的横向布置

拉索的横向布置形式主要有中心布索(单索面)、侧布索(双索面)和三索面三种体系,如图 1-1-5 所示。

(1)中心布索体系

单索面斜拉桥只能是中心布索。其具有整体视觉效果最佳,较大的桥面抗扭刚度可以有效地减小二次矩,同时增强结构的整体动力稳定和空气稳定性的优点。但由于这种结构的拉索破坏荷载较低,应限定拉索的应力变化。此外,桥面宽度过大时,这种结构会带来很大的扭矩,因而不宜采用。

(2)侧布索体系

对于较大桥面宽度的斜拉桥,基本上都采用侧布索体系。当索塔横向采用双柱形、门形结构时,索面为竖直布置,当采用倒 Y 形、A 形及菱形索塔时,一般采用斜索面布置,斜索面布置类似于空间刚架,能大大减小桥面结构的转动,而且空气动力性能好,但会带来桥面的净空问题,此外,侧布索会引起索塔产生弯矩,应在设计中考虑。

(3)三索面体系

三索面体系能避免由于桥面过宽而产生的较大的横向弯矩。以往由于力学和美学的双重原因,迄今为止尚无建成的实例。在建的只有我国武汉天兴洲公铁两用长江大桥的南汉主跨斜拉桥,如图 1-1-6 所示。

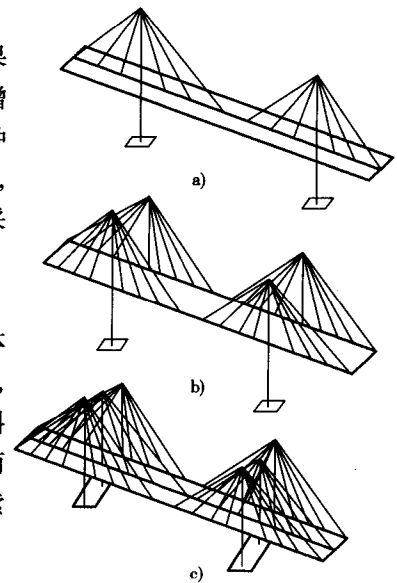


图 1-1-5 斜拉索横桥向布置
a)单索面;b)双索面;c)三索面

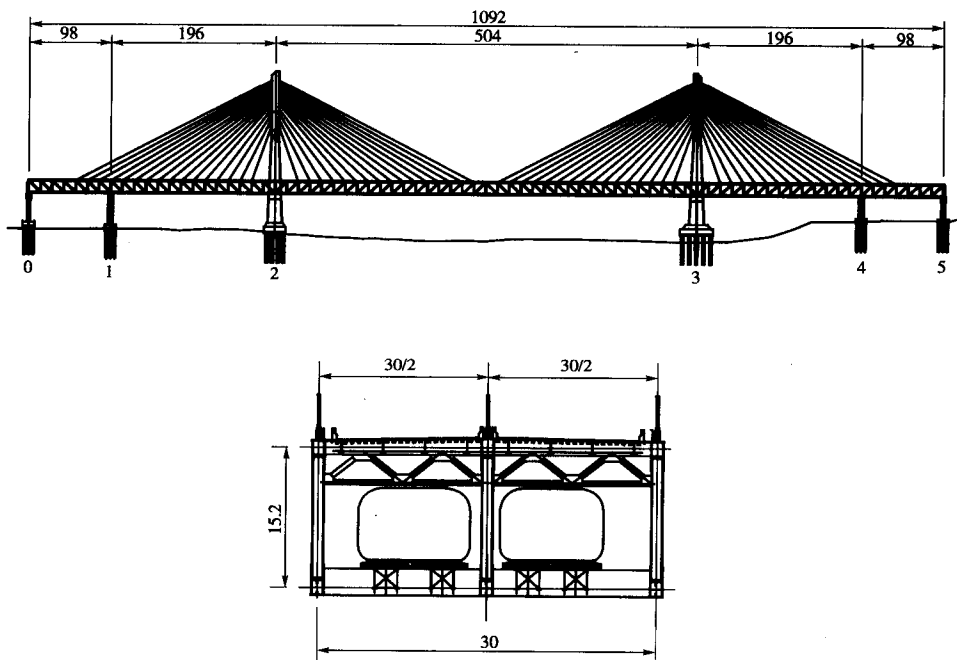


图 1-1-6 武汉天兴洲公铁两用长江大桥南汉主跨斜拉桥(尺寸单位:m)

武汉天兴洲公铁两用长江大桥正桥全长4657.1m。在天兴洲南汉公路、铁路合建。

①主桥梁立面布置。主桥为98+196+504+196+98(m)钢桁斜拉桥,上层为公路桥面,下层为铁路桥面。

②横断面布置。如图1-1-7所示,铁路四线,其中下游侧两线为I级干线,上游侧两线为客运专线;公路六车道,全宽27m。

③斜拉索体系。设计中比较了平行钢丝索及钢绞线索两种方案,两种方案均有成熟的技术和成功应用实例,按平行钢丝索体系设计。

④为适应速度目标,铁路桥面采用纵横梁体系、道碴桥面。为减轻恒载并为减小辅助墩反力,同意公路桥面系在主桁全联两端各126m采用混凝土结合板,中部840m采用正交异性板的方案。

⑤主梁为钢桁梁,N形桁架,三片主桁,桁宽30m,桁高15.2m,节间长度14m。主桁弦杆均采用箱形截面,部分斜杆采用箱形截面,其余斜杆、竖杆采用H形截面。主桁节点采用焊接整体节点,节点外拼接。斜拉索锚固于主桁上弦节点。钢梁采用Q370q-E钢。

⑥如图1-1-8所示,主塔采用钢筋混凝土结构,倒Y形,承台以上高度为188.5m;每塔两侧各有3×16根斜拉索;斜拉索为镀锌平行钢丝,最长索271m,最大索力约12500kN。公路桥面处索距14m,三索面间相邻索面中心距15m。

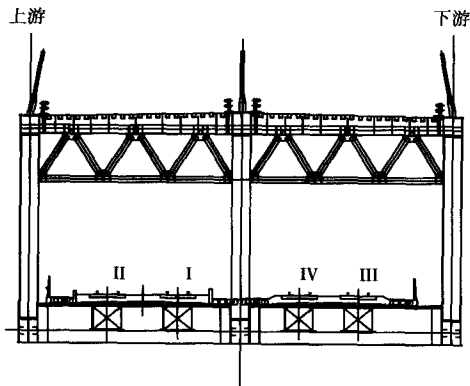


图 1-1-7 合建段主桥铁路桥面布置示意图

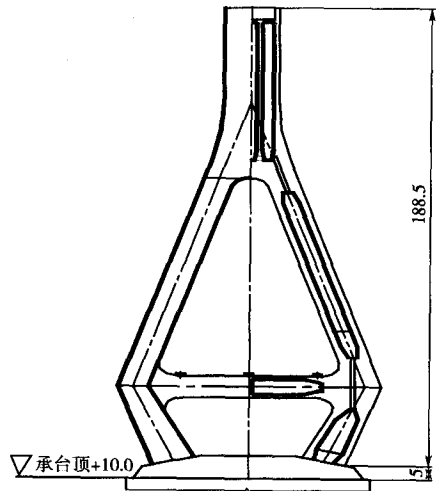


图 1-1-8 南汉主跨斜拉桥钢筋混凝土主塔
(尺寸单位:m;高程单位:m)

⑦结构体系。边墩、辅助墩以及主塔墩上均设有竖向支座和约束梁体横向位移的支座或构造,主塔与钢桁梁之间设约束梁体纵向位移的液压阻尼装置。