



斜拉桥施工监理

张 军 主 编
谢成远 副主编



中国科学技术出版社

斜拉桥施工监理

张 军 主 编
谢成远 副主编

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

斜拉桥施工监理/张军主编. —北京:中国科学技术出版社,2005. 12

ISBN 7-5046-4226-6

I. 斜... II. 张... III. 斜拉桥-工程施工-监督管理 IV. U448.27

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 136722 号

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

电话:010-62103210 传真:010-62183872

<http://www.kjpbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行 各地新华书店经售

北京长宁印刷有限公司印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:19.5 插页:2 字数:370 千字

2005 年 12 月第 1 版 2005 年 12 月第 1 次印刷

印数:1-3000 册 定价:68.00 元

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)



图 1 重庆云阳桥



图 2 济南黄河大桥

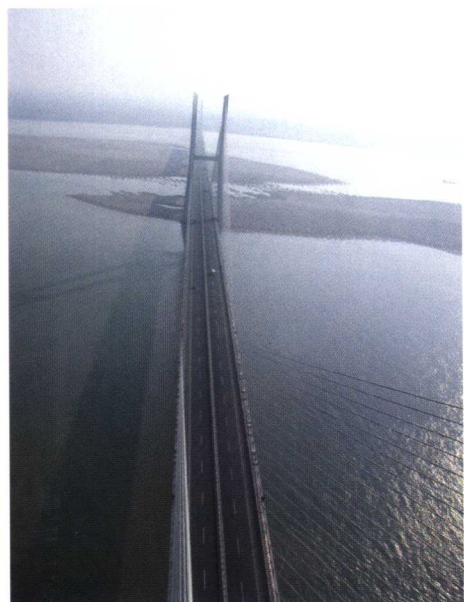


图3 荆州长江公路大桥 500m 主跨

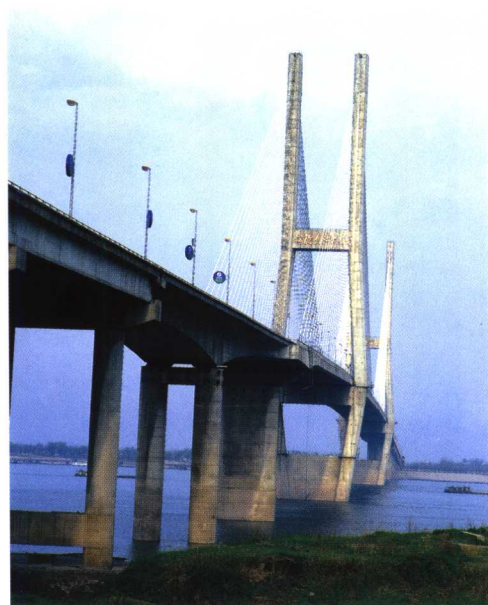


图4 铜陵长江大桥



图5 荆州长江公路大桥

图6 鄂黄长江大桥

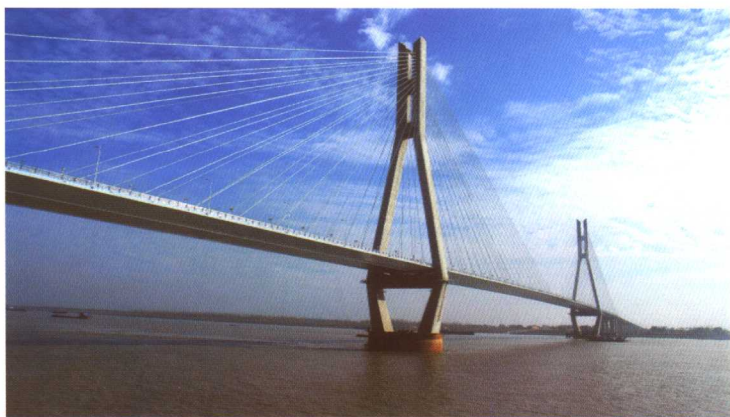


图7 安庆长江
公路大桥



图8 湘江北大桥

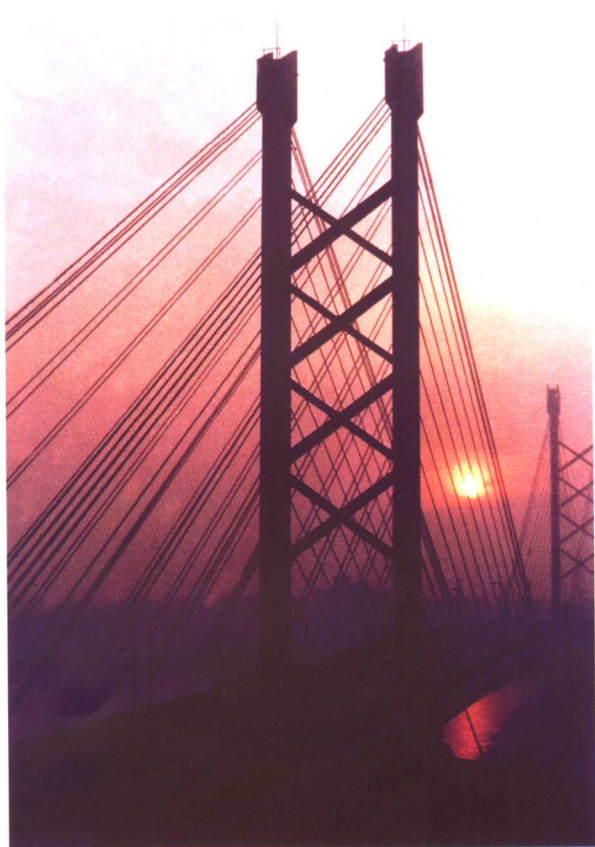


图 9 上海浏港大桥



图 10 郧阳汉江大桥

内 容 提 要

随着我国交通基础设施建设的高速发展,斜拉桥以其优美的造型、较大的跨越能力、良好的结构受力性能,在高等级公路和城市道路跨越江河的桥梁建设中占据了重要地位,得到了广泛应用。本书从斜拉桥施工监理中技术管理的角度探讨质量控制的方法,力求解决斜拉桥施工监理过程中分项工程施工方案及施工工艺中存在的问题,指出质量控制的重点与难点,对承包人员提出明确要求,从而达到确保工程质量的目标。本书适合斜拉桥施工监理从业人员参考阅读。

主 编 张 军

副主编 谢成远

主要编写人员（按姓氏笔画顺序）

许 玲 陈宇啸 张 军

张金成 杨春海 谢成远

主 审 李 良 刘士林

责任编辑 吕 鸣 侯小梅

责任校对 赵丽英

责任印制 王 沛

封面设计 姜 冲

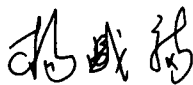
序

斜拉桥作为一种全新的桥梁结构形式,诞生仅有半个世纪。我国自 20 世纪 70 年代以来,在学习和借鉴国外设计理念和施工经验的基础上开始建造斜拉桥。起初,由于受桥梁建筑材料性能、施工设备、计算技术等多方面因素的制约,斜拉桥推广与发展较慢。80 年代,随着国家的改革开放与经济发展,同国外的技术交流逐渐增多,斜拉桥设计与施工技术也不断地被引进和吸收。在此期间,我国尝试修建了多座中等跨径的斜拉桥。进入 90 年代后,计算机技术得到了迅速发展,材料性能不断提高,为大跨径斜拉桥的建造创造了条件。由于斜拉桥结构新颖、跨越能力大等优点,在近 30 年的时间里,斜拉桥已在我国得到了快速发展,与古老的悬索桥一同作为跨越大江大河的首选桥型方案之一。至今,国内已建造了各种结构形式的斜拉桥,建设速度超过了任何一个国家。

斜拉桥结构受力复杂、施工难度大,不同材料的受力与变形性能不同,对施工监理的技术水平要求高。先期修建的斜拉桥在工程质量保证方面主要依靠施工企业的自检体系,同时辅以政府的监督与检查。20 世纪 80 年代中后期,我国引入了国际上普遍采用的监理工程师制度。FIDIC 条款与我国公路建设具体情况相结合的工程监理制开始实行,为我国交通基础设施建设管理模式创新以及逐步与国际接轨创造了条件。我作为我国第一条跨省市、利用世界银行贷款并且采用国际惯例 FIDIC 条款进行施工监理的京津塘高速公路项目的总监理工程师,参与了这项工程建设的全过程,深深感受到了工程监理制度对完善我国基本建设程序、提高投资回报率、保证工程质量发挥了不可替代的作用。然而,就目前国内公路工程施工监理的现状来看,监理制度在我国的实施由于受到从业人员素质、管理理念、宏观经济体制、投资方式等诸多因素的影响,至今仍处在不断地规范当中。

西安方舟工程咨询有限责任公司作为我国交通行业创建较早的监理公司之一,以其较强的技术实力、良好的市场信誉、优质的技术服务先后承担了国内十多座独立斜拉桥的施工监理任务。在这些桥梁中,跨越大江大河的桥梁就有近十座。在长期的斜拉桥监理实践中,他们及时总结、不断进取、积极探索适合我国斜拉桥施工监理服务的新模式,使施工监理的技术服务不断向设计、监控等方面的咨询服务延伸,积累了丰富的经验。

这本《斜拉桥施工监理》是西安方舟工程咨询有限责任公司对多年来从事斜拉桥施工监理经验的总结,也是他们对斜拉桥施工监理过程中技术服务和质量控制的认识。希望这本书的出版能对我国特大型桥梁施工监理技术服务模式的探索发挥应有的作用,使监理咨询服务更加适合中国的国情。同时,也为从事斜拉桥施工监理的从业人员提供参考。



2005 年 10 月

前 言

随着我国国民经济的快速发展,交通基础设施建设也随之进入了高速发展时期。斜拉桥以其优美的造型、较大的跨越能力、良好的结构受力性能在高等级公路和城市道路跨越江河的桥梁建设中占据了重要的地位,得到了广泛的应用。特别是20世纪90年代至今,我国建造了各种结构形式、跨径从几十米至超千米的斜拉桥数以百计,已完全步入了斜拉桥建造大国的行列。

斜拉桥系塔、梁、索三者组成的空间结构,受力复杂,施工难度相对较大。结构设计中的静力分析要求不同荷载组合下内力与变形的协调计算工作量大。塔、梁、索三者在不同荷载工况下的内力均匀与变形协调要求设计者具有较高的理论水平和丰富的设计经验。加之塔、梁局部受力复杂、构造设计难度较大以及确保结构处于稳定平衡的动力分析等均给斜拉桥的设计增加了很大的困难和不确定因素。因此,斜拉桥施工过程中存在较多风险。虽然经过多年的探索与研究,斜拉桥施工技术取得了长足的进步,但仍然没有达到完善的地步,施工方法与施工工艺中值得改进的地方不少,这个任务就必然落到了承包人和监理单位身上。

西安方舟工程咨询有限责任公司是国内最早从事特大桥施工监理工作的咨询企业,先后承担了11座斜拉桥的施工监理任务,所监理的工程受到了有关部门的高度评价。为了更好地总结经验,西安方舟工程咨询公司组织了参与斜拉桥施工监理工作的部分技术人员,历时两年之久,专门编写了《斜拉桥施工监理》一书。

本书试图从斜拉桥施工监理中技术管理的角度探讨质量控制的方法,力求解决斜拉桥施工监理过程中分项工程施工方案及施工工艺中存在的问题,指出质量控制的重点与难点,为承包人提出明确的要求,从而达到确保工程质量的目标。在内容的编排上,以常见的桩基础工程、塔柱工程,以及不同结构形式和不同材料的主梁施工监理为主线,简要介绍了施工方法,重点阐述了监理在质量控制方面应做的工作及应重点控制的环节。部分章节结合了作者在斜拉桥施工监理中的工程实例,力图使读者从具体的问题出发,了解监理在技术管理中的做法。附录中简要介绍了部分不同结构形式、不同时期建设完成以及在建斜拉桥的基本情况,以便参考。

全书共分十章。其中第一章、第二章第三、五节、第三章及第四章第八节由张军编写;第二章第一、二节及第六章由谢成远编写;第二章第四节、第四章第一~五节及第十章由许玲编写;第四章第六、七、九、十节及第五章由陈宇啸编写;第七、八章由杨春海编写;第九章由张金成编写;附录由丛丽丽编写。全书由西安方舟工程咨询有限公司总工程师张军主编,副总经理谢成远任副主编,并由西安方舟工程咨询有限公司总经理李良教授级高工、中交第一公路勘察设计研究院党委书记刘士林教授级高工担任主审。本书在编写过程中得到了西安方舟工程咨询有限公司董事长吴明先以及中交第一公路勘察设计研究院领导的大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中缺点和错误之处在所难免,恳请读者不吝批评指正。

西安方舟工程咨询有限公司
029-88490680/81/82

编 者
2005年9月

目 录

第一章 斜拉桥施工监理概论	1
第一节 国内斜拉桥建设及施工监理概述.....	1
第二节 斜拉桥施工监理规划.....	7
第三节 监理单位与相关各方的配合	11
第二章 基础工程施工监理	12
第一节 斜拉桥基础工程的常见形式	12
第二节 钢围堰及钢管桩平台的施工监理	12
第三节 钢围堰(套箱)的封底施工监理	31
第四节 钻孔灌注桩施工监理	33
第五节 承台的施工监理	42
第三章 塔柱施工监理	46
第一节 塔柱的组成及形式	46
第二节 塔柱的施工监理	50
第四章 斜拉索	63
第一节 斜拉索的构造	63
第二节 斜拉索的加工制作	65
第三节 锚具的构造与加工	69
第四节 锚具的检验	71
第五节 斜拉索的超张拉	72
第六节 斜拉索的运输及安装	73
第七节 斜拉索的张拉	79
第八节 单根斜拉索的变形特性	80
第九节 斜拉索挂索及张拉过程中常见质量问题的控制	90
第十节 斜拉索的减振	91
第五章 预应力混凝土斜拉桥上部构造施工监理	94
第一节 常见的几种主梁断面形式	94
第二节 施工挂篮	95
第三节 0#块的施工监理	103
第四节 主梁悬臂施工的监理.....	108
第五节 边跨合龙的施工监理.....	122
第六节 主跨合龙的施工监理.....	125
第六章 钢箱梁斜拉桥上部构造的施工监理	130
第一节 钢箱梁结构特点.....	130
第二节 钢箱梁的制造过程.....	132

第三节	前期准备工作的监理	143
第四节	钢箱梁零部件制造的监理	146
第五节	钢箱梁拼装的监理	149
第六节	钢箱梁涂装的监理	151
第七节	钢箱梁制造监理控制重点和难点分析	153
第八节	钢箱梁的存放、运输、吊装的监理	162
第九节	钢箱梁定位与安装监理	168
第十节	桥位处钢箱梁匹配对接施工监理	172
第十一节	边跨合龙施工控制	177
第十二节	中跨合龙	179
第十三节	钢箱梁斜拉桥箱体锚固区的静动荷载试验	183
第七章	钢-混凝土混合箱梁斜拉桥主梁施工监理	184
第一节	钢-混凝土混合梁斜拉桥的特点	184
第二节	混凝土主梁段施工监理	184
第三节	混合梁斜拉桥钢结构制造监理	189
第四节	钢管混凝土主塔施工与监理	192
第五节	混合梁主跨钢箱梁安装监理	194
第六节	合龙段施工监理	197
第八章	钢-混凝土叠合梁斜拉桥	199
第一节	钢-混凝土叠合梁斜拉桥的特点及施工方法	199
第二节	桥面板的预制	200
第三节	主梁施工监理	202
第四节	合龙	206
第九章	斜拉桥施工中的测量监理	207
第一节	测量监理概论	207
第二节	控制网复测与加密	209
第三节	施工测量、放样方法及其精度确定	219
第四节	桥梁基础施工测量监理	221
第五节	塔柱施工测量监理	224
第六节	主梁施工测量监理	228
第七节	变形监测	231
第八节	测量误差及其减弱措施	236
第十章	斜拉桥混凝土施工监理	249
第一节	斜拉桥混凝土的配合比设计程序及监理	249
第二节	斜拉桥混凝土施工中的材料监理	251
第三节	斜拉桥混凝土施工的过程控制	260
第四节	斜拉桥桩基水下浇注混凝土的施工监理	265
第五节	钢围堰封底混凝土的施工监理	272

第六节	斜拉桥承台大体积混凝土的施工监理.....	275
第七节	斜拉桥索塔混凝土的施工监理.....	278
第八节	斜拉桥主梁混凝土的施工监理.....	283
附录		287
主要参考文献		298

第一章 斜拉桥施工监理概论

斜拉桥作为缆索承重桥梁之一,由于斜拉索的存在,使得桥梁上部构造主梁恒载及车辆活载产生的效应绝大部分通过斜拉索传给塔柱,塔柱将其传给基础,而非其他桥梁按主梁结构形式、主梁及墩身刚度、活载分布等对其效应在各墩台之间分配。因此,斜拉桥跨越能力大。在满足上部结构主梁基本刚度及抗风稳定性要求的前提下,可实现主梁的等高度,因而结构轻巧,节约了上部结构主梁的材料用量,达到了美观与经济的统一。

斜拉桥结构体系中刚度大的塔柱和柔度较大的主梁使斜拉桥较其他结构桥梁的特点更加明显。同时,由于斜拉索只承受拉力,不能承受压力,斜拉索的索力变化及变形对主梁和塔柱的内力与变位影响大。因此,斜拉桥施工工序繁多,施工工艺复杂,施工难度大。施工过程中除基础工程的施工工艺同其他桥梁基本相同外,其余绝大部分施工工艺明显具有斜拉桥的特点,需严格加以控制。

斜拉桥施工监理除严格执行程序外,必须对斜拉桥的结构特点和施工工艺有较深入的了解,对结构体系中各组成部分在施工过程中的受力与变形,以及施工中可能出现的质量问题应有清醒的认识。监理工程师应从施工组织设计和施工方案的审查入手,制定详细的工程质量策划及重要分项工程的监理细则,有重点、有层次地对工程质量加以控制,同时,过程控制中的测量和试验数据是质量控制的基础。总之,斜拉桥施工监理应做到施工方案严格审查、施工工艺成熟可靠、过程控制重点突出、临时设施安全有效。

第一节 国内斜拉桥建设及施工监理概述

1.1 国内斜拉桥建设情况

我国建造斜拉桥的历史距今约 30 年。第一座斜拉桥为 1975 年建成的重庆云阳桥(见文前图 1)。当时由于受材料、施工技术、计算手段以及设计经验的限制,该桥虽跨径达到了 75.84m,但宽度仅 3m,且采用稀索结构。重庆云阳桥的建设带有一定的试验性质,它的建成为我国斜拉桥的建设积累了经验。

在我国斜拉桥建设史上,真正具有里程碑意义的当数 1982 年建成通车的山东济南黄河大桥(见文前图 2)。该桥为双塔双索面 PC 梁斜拉桥,主跨跨径 220m,上部结构主梁采用悬臂浇注施工。在此之后,随着计算机技术及材料性能的不断发展,在学习并借鉴国外斜拉桥先进的设计理念及经验的基础上,我国的斜拉桥设计逐步走向了成熟,施工经验也日趋丰富。到目前为止,我国已先后在长江、黄河等较大的河流上建起了几十座各种结构形式的斜拉桥。其中,较为著名的如上海南浦大桥(主跨 423m 叠合梁斜拉桥)、上海杨浦大桥(主跨 602m 叠合梁斜拉桥)、上海徐浦大桥(主跨 590m 混合梁斜拉桥)、安徽铜陵长江大桥(主跨 432m PC 梁斜拉桥)、湖北荆州长江大桥(主跨 500m PC 梁斜拉桥)、江苏南京长江第二大桥(主跨 628m 钢箱梁斜拉桥)、湖南岳阳洞庭湖大桥(三塔 PC 梁斜拉桥,两主跨跨径 312m)。这些不同结构形式的斜拉桥在其设计与施工过程中,均代表了当时国内的一流水平,在世界斜拉桥建设史上具有重要地位。

我国目前正在建设中的江苏苏通长江大桥系双塔双索面钢箱梁斜拉桥,主跨跨径达 1088m,其设计水平与施工技术接近世界先进水平。该桥计划 2007 年建成通车。届时,我国斜拉桥设计理论和施工技术将步入世界先进行列。在我国斜拉桥建设近 30 年的时间里,20 世纪 80 年代至 90 年代中期,由于经济条件的限制,斜拉桥主梁多采用混凝土结构,塔柱全部采用混凝土结构,充分利用了混凝土结构抗压性能高的特点和斜拉桥主梁几乎全断面受压的结构特点,使混凝土结构斜拉桥得到了长足发展。2002 年建成通车的荆州长江公路大桥,以 500m 的跨径居混凝土斜拉桥亚洲第一,是世界上最大的肋板式混凝土斜拉桥(见文前图 3)。20 世纪 90 年代中后期,随着我国国民经济的快速发展,钢结构及钢-混凝土组合结构在斜拉桥建设中不断应用,从而为大跨径斜拉桥建设创造了条件,缩短了建设周期。

斜拉桥以其较大的跨径,轻巧的主梁结构在跨越江河大跨径桥梁中显示了巨大的优势。目前,我国已建成的跨越主要河流并且主跨在 200m 以上的斜拉桥已达 80 多座。而且随着城市建设的不断发展,斜拉桥以其高耸的塔柱和优美的索面在市政桥梁中也占有了一定比例,尤其是在跨越铁路编组站、城市内河等桥梁中较多采用,使桥梁在满足使用功能的前提下,与周围景观更加协调。

然而,由于设计经验的相对不足以及片面追求新型桥梁的景观效果,加之施工质量控制不严,在国内已建成的斜拉桥中不乏劣质工程。随着桥梁使用年限的增长,斜拉桥质量问题时有发生,给桥梁的正常使用造成了潜在的隐患。这就要求斜拉桥建设过程必须做到充分论证、完善设计、精心施工、严格监理、科学管理,使桥梁更好地服务于我国的经济的发展。

1.2 斜拉桥的发展及建设前景

缆索承重桥梁中,斜拉桥的出现较悬索桥晚。世界上第一座现代化的斜拉桥为瑞典 1955 年建成的斯特朗姆桑德桥(Stromsund Bridge),该桥建成至今已有 50 年。在这 50 年的斜拉桥发展过程中,斜拉桥的设计及施工技术研究取得了巨大的进步,加之高强钢丝的出现和计算机技术的飞速发展,也为大跨径斜拉桥的设计与建设创造了必要条件。在此期间,世界各国先后建造的 200m 以上跨径斜拉桥达 200 余座,其中我国占据了 1/3 以上。

斜拉桥系塔、梁、索三者组成的空间结构,受汽车荷载、风荷载以及地震力作用的影响。要使结构体系始终处于稳定平衡状态,结构稳定和稳定内力分析必不可少,并且在结构设计中占有愈来愈重要的地位。我国的桥梁理论研究紧追世界先进国家的步伐,近 20 多年来斜拉桥建设的速度和数量是任何国家都无法比拟的,但也要看到我国桥梁理论研究还未处于领先地位,施工技术、大型施工设备的设计与制造、特种材料(如高强钢丝、特种钢材等仍依赖进口)落后于发达国家,这些不利因素制约和限制着大型斜拉桥的设计与建造,也使桥梁建设费用大大增加。我国目前在世界桥梁发展中仍处于大国地位,尚未跻身强国的行列。鉴于此,大型斜拉桥的建设应本着注重实用、确保安全、不断创新、服务经济的原则。

随着科学技术的不断进步、桥梁理论研究的深入以及高强高性能材料的出现,斜拉桥的设计与施工技术必将取得重大突破,超大跨径斜拉桥的建设也将成为可能。据国外桥梁专家预测,在未来 30 年内,建造跨径 3000m 的斜拉桥从理论和施工技术方面是有可能的。

1.3 国内斜拉桥施工监理状况

我国从 20 世纪 80 年代中期引入国际通行的土木工程监理制度。当时国家经济正处于计划经济向市场经济的转型期,计划经济仍占主要地位。那时斜拉桥在国内已修建近十座,其中,山东济南黄河大桥以 220m 主跨 PC 梁在国内桥梁界颇具影响,工程建设过程中没有监理工程师,工程建设模式为设计施工任务由政府主管部门直接下达。监理工程师制度是在市场

经济不断成熟的过程中逐渐实施的。实施初期,由于招投标制度尚不完善,监理任务的承接主要由业主与具有设计及施工经验的单位直接协商确定,即议标形式。1995年建成通车的安徽铜陵长江大桥(双塔双索面PC梁斜拉桥,主跨跨径432m,建成时居同类桥梁亚洲第一,见图4-1)即由交通部主持,中交公路规划设计院设计,湖南路桥总公司施工,中交第一公路勘察设计院监理,其任务均由交通部直接下达。

随着我国经济运行模式逐渐向市场经济转化,工程监理制度也逐渐成为工程建设过程的必要环节。国家行业主管部门结合我国土木工程建设的特點,不断规范建设各方行为,使之向国际接轨。20世纪90年代中期以来我国经济快速发展,高等级公路建设以及市政道路建设的步伐加快,桥梁建设的速度和数量超乎寻常。斜拉桥以其优美的造型、较大的跨越能力在大跨径桥梁中成为有力的竞争者。在长江上已建成或正在建设中的80多座桥梁中,斜拉桥已占据了一半以上的份额,而且拟建中的桥梁,斜拉桥也均作为比选方案之一,可见斜拉桥的建设任务还相当繁重。在已建成的斜拉桥中,监理工程师发挥了很大作用,为工程质量的保证和投资的控制作出了贡献。

在交通行业200多家甲级监理公司中,可以独立承担斜拉桥施工监理的公司并不多,这主要与咨询监理公司的人员构成有关。交通行业工程咨询监理企业人员构成中缺乏20世纪80年代中后期毕业的大学生。年长的工程师毕业于20世纪60年代初中期,当时国际上斜拉桥处于理论研究及探索阶段,国内没有斜拉桥设计的概念。因此,设计经验和施工经验很少。近十年毕业的年轻工程师由于经验缺乏,也无法作为主要人员在斜拉桥施工监理中发挥主导作用,从而导致了目前交通行业监理中可以单独承担斜拉桥监理的企业较少,某种程度上影响了斜拉桥建设过程中的各环节控制,也使业主的选择余地变小。

斜拉桥施工及施工监理涉及结构、工程力学、工程地质、机械加工、化工、电子、材料学、管理等多学科,是一个综合性的系统工程。要确保施工监理任务的完成,全面、科学地对工程实施全过程、全方位的控制,必须全面提高从业人员的技术素质和综合应变能力。针对国内斜拉桥施工监理方面存在的问题和不足。就技术服务方面,监理工程师应具有以下的素养:

(1)充分掌握国内外斜拉桥建设情况,对斜拉桥的结构形式、力学特点、建筑材料、施工技术有较全面的了解。

(2)斜拉桥系塔、梁、索组成的空间结构,三者的变形协调才能保证斜拉桥安全地运营,使之发挥其功能。斜拉桥的结构体系不同,受力特点也不同。因此,监理工程师必须对斜拉桥不同结构体系的力学特点有基本认识,使施工过程中的关键工艺服从和服务于结构力学特点,从而有效地保证工程质量。

(3)与其他梁式桥相比,斜拉桥最主要的特点即斜拉索和塔柱的存在。斜拉索作为只能承受拉力的柔性结构,监理工程师对其在施工和成桥阶段的变形规律应有所了解。塔柱作为斜拉桥重要的组成部分,在施工和成桥阶段受力与变形不同,监理工程师除对结构静力分析中各工况的受力与变形规律要了解外,还要对其结构稳定平衡状态的临界条件有所了解。

(4)作为斜拉桥的监理工程师,必须熟悉斜拉桥的施工技术,并对施工工艺中的关键技术有较深入的掌握。

1.4 斜拉桥常见的结构体系及监理要点简述

斜拉桥结构体系划分方法较多,但主要依据是主梁与塔柱和墩身的相互关系及其结构力学特点。

1. 全漂浮体系