

▶▶▶ XIELAQIAO
JIANZAOJISHU

斜拉桥建造技术

陈明宪 编著

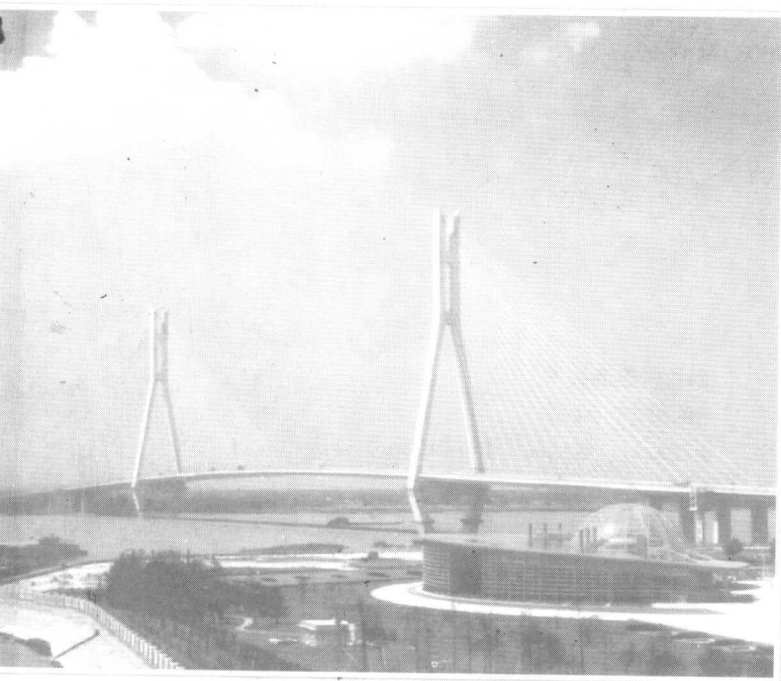


人民交通出版社

▶▶▶ XIELAQIAO
JIANZAOJISHU

斜拉桥建造技术

陈明宪 编著



人民交通出版社

内 容 提 要

本书概述了斜拉桥的发展历程和斜拉桥设计施工中的若干理论,系统介绍了斜拉桥的建造技术,着重总结了斜拉桥的施工工艺和施工实例,并全面、系统地表述了世界上大跨径斜拉桥的相关技术资料。全书共分四篇二十二章,其中第一篇为总论、第二篇探讨了斜拉桥的若干理论问题、第三篇阐述了斜拉桥的施工技术、第四篇是实例。

图书在版编目(CIP)数据

斜拉桥建造技术/陈明宪编著. —北京:人民交通出版社,2003.6

ISBN 7-114-04623-5

I. 斜... II. 陈... III. 斜拉桥-桥梁工程
IV. U448.27

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 055237 号

斜拉桥建造技术

陈明宪 编著

正文设计:孙立宁 责任校对:戴瑞萍 责任印制:张 恺

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷有限公司 印刷

开本:787×1092 1/16 印张:51.75 字数:1312千

2003年12月 第1版

2004年3月 第1版 第2次印刷

印数:5001—8000册 定价:120.00元

ISBN 7-114-04623-5

序

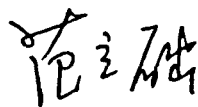
1955年,瑞典建成了世界上第一座现代斜拉桥。此后不到半个世纪,斜拉桥已普及到世界各地。斜拉桥的复兴被称为20世纪下半叶世界桥梁界最重要的事件。

我国斜拉桥建设起步较晚,但发展很快。1977年在重庆云阳建成第一座试验性斜拉桥,现在已是世界上斜拉桥最多的国家。世界前50座跨径最大的斜拉桥中,中国就占了一半。

进入新世纪以来,我国桥梁界面临着更大跨径的跨江跨海大桥建造技术的挑战。及时、系统地总结斜拉桥的建造技术,在此基础上开展斜拉桥在跨海工程建设中的创新技术研究,是桥梁科技工作者义不容辞的责任。

在长期的施工实践中成长起来的桥梁专家陈明宪,先后主持或参与建造了多座斜拉桥。有早期的预应力混凝土斜拉桥,如广东南海的独塔斜拉桥、双塔单索面的长沙湘江北大桥,其后又主持建造了肋板式的安徽铜陵长江大桥、湖南岳阳的洞庭湖三塔斜拉桥。这些桥梁在当时有的是国内、有的是国际上同类型桥梁之最。2000年竣工的南京长江第二大桥主梁是钢箱梁结构,为目前国内跨径最大的斜拉桥,其施工质量受到了国内同行的一致好评。

由陈明宪编著,刘光栋、涂萍等审定的,集湖南大学、中南大学、长沙交通学院、湖南省路桥建设集团总公司、湖南省交通规划勘察设计院等单位的专家学者撰写的这本《斜拉桥建造技术》,理论与实践结合紧密,内容丰富、可读性强。特别在施工工程实践方面有其独到之处,反映了我国当前斜拉桥建造技术的发展水平,特予推荐。



2003年5月

前言

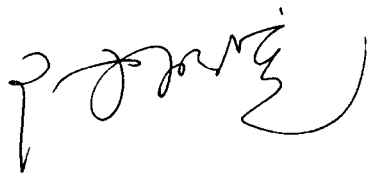
2000年11月,中国土木工程学会桥梁与结构工程分会第十四届年会在南京召开,来自全国桥梁界的专家和学者饶有兴致地参观了即将竣工的南京长江第二大桥。其间,桥梁界泰斗、两院资深院士、同济大学名誉校长李国豪教授对我建议,可否能将多年来斜拉桥施工实践中的创新技术和经验体会编写出来,给桥梁界的工程技术人员提供参考。李校长的厚爱与提示给了我极大的鼓励,此后,我即开始留意收集、整理资料。2002年5月,湖南大学的老校长刘光栋教授再次找到我,认为湖南在现代化桥梁建设方面做出了很大贡献,不仅在省内外,而且在国内外建造了诸多有影响的世界级桥梁。在设计、施工、教学、科研方面出了成果,也出了人才。同时认为我主持和参与主持建造了十几座大桥,尤以斜拉桥居多,应该将自己的建桥经验加以总结提高,出一本斜拉桥建造技术方面的专著。正好李校长建议在先,刘教授与我的思路不谋而合。现在,经过一年多的殚精竭虑,伏案笔耕,《斜拉桥建造技术》一书终于与读者见面了。

本书概述了斜拉桥的发展历程和斜拉桥设计施工中的若干理论,系统介绍了斜拉桥的建造技术,着重总结了斜拉桥的施工工艺和施工实例,并全面、系统地列具了世界上大跨径斜拉桥的相关技术资料。

本书共分四篇二十二章。其中第一篇第一章由陈明宪编写,第二章由邵旭东编写,第三章由胡建华编写;第二篇第一章由颜东煌编写,第二章、第三章由陈政清编写,第四章由方志编写,第五章由陈明宪编写;第三篇、第四篇的第一、二、三、四、五、六、七章由陈明宪编写,第八章由颜东煌编写。全书由陈明宪统一修改定稿。

本书编写过程中得到了同济大学、湖南大学、中南大学、长沙交通学院、湖南省交通厅、湖南省交通规划勘察设计院、湖南路桥建设集团等单位的大力支持;李国豪、王光远、项海帆、范立础、林元培等资深专家对本书的编写给予了重要指导和帮助;范立础院士热忱为本书作序;蒋响元、祝志文、杨晓玲、钱敬、彭力军、田启军、郭建安、陈定平、曾杰、陆尚武、杨遵俭、刘乐辉、彭簪芳、卢国林、吴建军等参加了本书的组稿工作;刘光栋、涂萍、楼庄鸿、上官兴、高征铨、陈元喜、朱若常、李仁、吴同鳌、许曦、崔冰、张贵明、廖建宏、向建军等专家参加了本书的审稿工作;杨高中、杨健、李文琪、贾哲奎、陈志兵、刘晓东、张勇、唐宜波、陈临安等也对本书的编写和出版提供了帮助。在此谨表谢意。

因为时间仓促,愚知浅见,错误与疏漏在所难免,敬请广大读者批评指正。



2003年6月

目 录

第一篇 总 论

第一章 斜拉桥的发展	3
第一节 斜拉桥的演变历史	3
一、我国古代的吊桥	3
二、东南亚地区的原始藤竹索桥	3
三、欧美国家近代斜拉桥的演变	4
第二节 国外斜拉桥的发展概况	10
一、综述	10
二、发展概况实例	15
第三节 我国斜拉桥的发展概况	23
一、综述	23
二、发展概况实例	26
第四节 斜拉桥的发展展望	39
一、斜拉桥的建设发展展望	39
二、斜拉桥建造技术将出现重大突破	40
三、建筑美学、环境因素将成为斜拉桥建设的重要评价指标	41
参考文献	43
第二章 斜拉桥的结构体系	44
第一节 孔跨布局	44
一、双塔三跨式	44
二、独塔双跨式	45
三、三塔四跨式和多塔多跨式	45
第二节 结构体系	48
一、飘浮体系	48
二、半飘浮体系	49
三、塔梁固结体系	49
四、刚构体系	50
五、T构体系	50
六、部分地锚体系	51
七、矮塔部分斜拉桥体系	52
第三节 索塔布置	52
一、索塔的形式	52

二、塔的高跨比	53
第四节 拉索布置	54
一、索面位置	54
二、索面形状	54
三、索距的布置	55
参考文献	55
第三章 斜拉桥的构造	56
第一节 主梁的构造	56
一、混凝土梁	56
二、钢梁	61
三、组合梁	63
四、混合梁	65
五、斜拉桥三种主梁截面形式的比较	67
第二节 索塔	68
一、索塔构件组成	68
二、混凝土塔	69
三、钢塔	70
四、钢、混凝土结合型塔	70
第三节 拉索	70
一、拉索的构造	70
二、拉索的锚固	72
三、拉索的防腐	75
四、拉索的应力	77
五、拉索的减振	77
参考文献	79

第二篇 斜拉桥的若干理论问题

第一章 斜拉桥的结构计算	83
第一节 概述	83
第二节 斜拉桥结构分析理论	83
一、平面杆系结构的线弹性有限元法	84
二、平面杆系结构的几何非线性问题	84
第三节 合理成桥状态的确定	89
一、综述	89
二、最小弯曲能量法	89
三、影响矩阵法	91
四、分步算法	93
五、其它方法	99
第四节 施工状态确定	100
一、综述	100

二、合理施工状态	100
三、确定合理施工状态的计算方法	100
参考文献	106
第二章 斜拉桥的动力特性与抗震	108
第一节 地震对斜拉桥的危害	108
一、地震成因与地震动特性	108
二、地震震级与烈度	110
三、地震对斜拉桥的危害	112
第二节 斜拉桥动力特性分析模式与计算	113
一、斜拉桥动力特性计算模式	113
二、斜拉桥动力特性计算与特征	117
第三节 斜拉桥抗震计算方法	118
一、反应谱法	118
二、时程分析法	120
第四节 斜拉桥地震反应分析实例	122
一、岳阳洞庭湖大桥地震反应分析	122
二、重庆大佛寺长江大桥动力特性和地震响应分析	130
第五节 斜拉桥结构体系比选与抑震措施	133
一、斜拉桥抗震结构体系比选	134
二、主梁纵向限位与弹性约束的抑震性能	136
参考文献	137
第三章 斜拉桥抗风	139
第一节 自然风与风效应	139
一、自然风	139
二、风与桥梁的相互作用	141
第二节 风的静力作用	141
一、气动三分力	141
二、风致静力失稳	142
第三节 风的第一类动力作用——自激型颤振与驰振	142
一、颤振	142
二、三维颤振分析的 M-S 法	146
三、驰振	151
第四节 风的第二类动力作用——抖振	152
一、抖振	152
二、大跨度桥梁抖振有限元分析	153
第五节 拉索振动及其控制	159
一、拉索风致振动	159
二、斜拉索振动特性	162
三、拉索参数激振	163
四、拉索的振动控制	166

第六节 风洞试验	172
一、风洞	172
二、风洞试验的相似准则	175
三、颤振导数测试的强迫振动法	176
第七节 数值风洞技术	184
一、控制方程和数值方法	185
二、气动导数和颤振临界风速计算	186
三、工程算例	187
参考文献	189
第四章 斜拉桥的施工检测与施工控制	192
第一节 概述	192
第二节 斜拉桥施工控制的基本理论	195
一、斜拉桥施工控制的能控性和能观性	195
二、预测控制理论的基本算法原理	195
三、预测模型的建立	197
四、斜拉桥施工控制过程参考轨迹的确定	200
五、参数识别	203
第三节 斜拉桥施工控制的实施	204
一、挂篮立模标高的确定	205
二、斜拉索初张力的确定	207
三、施工过程中的测试	211
四、施工控制的实施	211
五、灰色预测控制系统的实际应用	212
六、预测控制系统的特点	213
第四节 斜拉桥的施工检测	215
一、施工检测的主要内容	215
二、施工检测的实施	215
三、斜拉索的索力测试	216
第五节 混凝土斜拉桥的温度效应	227
一、温度效应的计算原理	227
二、斜拉桥温度效应的实测与理论分析	228
参考文献	231
第五章 混凝土斜拉桥裂缝控制与处理	232
第一节 概述	232
第二节 变形裂缝	233
一、温度裂缝	233
二、收缩裂缝	234
三、沉降裂缝	235
四、控制混凝土变形裂缝的措施	235
第三节 荷载裂缝	236

一、荷载裂缝的概念、特征	236
二、荷载裂缝的成因	237
三、易发生荷载裂缝的部位	237
四、控制混凝土荷载裂缝的措施	238
第四节 常见裂缝处理方法及工艺	238
一、表面处理法	238
二、结构补强法	238
三、裂缝处理施工工艺	239
第五节 裂缝实例分析及控制实践	240
一、湖北荆州长江公路大桥北汉北塔下塔柱裂缝成因分析	240
二、广东某斜拉桥索塔的裂缝成因分析	240
三、加拿大安那西斯桥混凝土桥面板裂缝成因分析	241
四、上海南浦大桥主桥混凝土桥面板裂缝控制	242
五、江西九江湖口大桥主梁裂缝的分析与处理	243
六、浙江宁波招宝山大桥主梁裂缝的分析与处理	244
参考文献	247

第三篇 斜拉桥的施工技术

第一章 施工测量	251
第一节 工程测量技术的发展	251
一、工程测量仪器技术发展概述	251
二、工程测量理论方法发展概述	253
第二节 斜拉桥常规施工控制测量	254
一、斜拉桥常规施工控制测量的主要特点	254
二、平面控制测量	254
三、常规高程控制测量	256
第三节 常规施工放样	258
一、综述	258
二、极坐标测量法提高精度的措施	258
三、钢围堰锚碇系统的施工放样	259
四、钢围堰下沉着岩的施工放样	259
五、墩台基础及墩身、墩帽的施工放样	259
六、斜拉桥高塔柱、斜拉索锚固钢套管的精密定位	260
七、斜拉桥钢箱梁安装精密定位	263
第四节 斜拉桥变形观测	265
一、索塔变形观测	265
二、斜拉桥合龙段的状态控制	267
第五节 GPS 定位技术在斜拉桥建造中的应用	269
一、斜拉桥 GPS 测量控制网	269
二、斜拉桥 GPS 施工放样	274

三、斜拉桥 GPS 实时变形监测	275
四、连续运行 GPS 参考站系统	277
参考文献	280
第二章 基础施工	281
第一节 大型钢围堰与桩基复合基础	281
一、钢围堰的构造形式	281
二、圆形双壁钢围堰的计算	282
三、大型钢围堰施工	288
四、大型施工设施布置	292
五、大型钢围堰锚碇系统的布设	294
六、大型钢围堰的拼接及下沉	298
七、大型钢围堰的清基	301
八、围堰封底混凝土浇筑	301
九、堰内抽水	301
十、钢围堰的切割回收	301
十一、钢围堰的精度控制	302
十二、大型钢围堰的渡洪	307
第二节 深水大直径钻孔灌注桩施工	307
一、钻孔灌注桩的施工平台	308
二、自浮式套箱钻孔平台介绍	309
第三节 沉井基础施工	313
一、就地制作沉井的施工	313
二、浮式沉井施工	315
三、沉井施工的精度控制	318
四、沉井施工中常出现的问题及处理措施	318
第四节 打入式钢管桩施工	320
一、打入式钢管桩的发展概况	320
二、打入钢管桩的优点	320
三、打入钢管桩的适用范围	320
四、打入钢管桩的施工	320
第五节 水下承台施工	323
一、综述	323
二、承台钢套箱的施工	323
三、套箱的受力分析和计算原则	327
第六节 大体积混凝土施工的温度控制	328
一、大体积混凝土施工的温度问题	328
二、温度及温度应力的分析	328
三、温度控制技术	335
四、混凝土温度和温度应力的监测	345
五、温度控制技术在斜拉桥基础施工中的应用	345

参考文献	346
第三章 索塔施工技术	347
第一节 概述	347
第二节 钢筋混凝土索塔	348
一、起重设备的选用与安装	349
二、塔座施工	350
三、下塔柱、中塔柱施工	350
四、上、下横梁施工	358
五、拉索锚固段施工	359
六、斜拉桥的索鞍施工	361
第三节 钢索塔	363
一、钢索塔的制作	363
二、钢索塔现场架设	368
三、现场涂装	374
第四节 钢—混凝土混合索塔	376
一、综述	376
二、施工	377
第五节 索塔的养护与维修	378
一、混凝土索塔的维护	378
二、钢构件的维护	381
三、维护涂装中几个问题的探讨	382
参考文献	382
第四章 主梁施工	384
第一节 预应力混凝土梁施工	384
一、国内几种不同结构形式的斜拉桥主梁及其施工方法介绍	384
二、悬臂浇筑法	386
三、悬臂拼装法	394
四、其它施工工艺	395
五、施工控制及体系转换	397
第二节 钢箱梁施工	398
一、综述	398
二、施工工艺	398
第三节 结合梁施工	408
一、综述	408
二、施工工艺	409
第四节 钢混凝土混合式主梁施工	414
一、综述	414
二、施工工艺	414
第五节 钢管混凝土空间桁架组合式主梁施工	418
一、综述	418

二、施工工艺	418
参考文献	424
第五章 斜拉索施工	426
第一节 概述	426
一、平行钢丝拉索	426
二、钢绞线拉索	427
三、平行钢丝拉索与钢绞线拉索的比较	428
第二节 平行钢丝拉索的施工	430
一、平行钢丝拉索的制作	430
二、拉索的吊装、运输和进索的方法	436
三、拉索在桥面上的移动	438
四、拉索的挂设	438
五、拉索的张拉与索力调整	443
第三节 钢绞线拉索施工	446
一、拉索挂设	446
二、拉索的张拉	448
三、拉索的防护	450
第四节 部分斜拉桥拉索的施工	453
一、拉索的受力特点	453
二、拉索体系的构造	453
三、拉索的制作与安装	454
四、拉索的张拉与控制	455
五、拉索防护设施的安设	456
第五节 拉索的减振	457
一、辅助索的减振措施	458
二、安装阻尼器减振措施	459
三、施工期间临时减振措施	461
四、减振措施的比较	462
第六节 拉索的更换	463
一、拉索更换的原因	463
二、拉索更换前的准备工作	465
三、平行钢丝拉索的更换	466
四、钢绞线拉索的更换	468
五、换索过程监测与竣工测试	470
参考文献	471
第六章 常用大型施工设备	473
第一节 基础及索塔施工设备	473
一、桩工机械	473
二、起重设备	486
第二节 主梁施工设备	505

一、悬臂浇筑施工设备	505
二、悬拼施工设备	506
三、斜拉索专用张拉设备	512
四、运梁车	514
第三节 混凝土施工设备	515
一、混凝土搅拌机	515
二、混凝土搅拌站	517
三、混凝土输送泵	523
第四节 其它设备	525
一、空气压缩机	525
二、龙门吊和架桥机	526
三、钻孔用泥浆泵	533
参考文献	534

第四篇 实 例

第一章 铜陵长江公路大桥主桥设计与施工实例	537
第一节 建设条件	537
一、概述	537
二、桥位	537
三、水文	537
四、气象	538
五、航运	538
六、地质	538
第二节 设计介绍	538
一、主要技术标准	538
二、主桥总体布置	539
三、主桥结构设计	539
第三节 施工工艺	545
一、特大型双壁钢围堰的制作新工艺	546
二、钢围堰结构及施工状态验算	550
三、钢围堰定位采用全铁锚锚碇系统	565
四、钢围堰的接高、下沉、着床与质量控制	574
五、首次采用深水水下控制爆破新技术达到围堰嵌岩的目的	575
六、企口钢管桩围堰技术	577
七、围堰堰壁压浆	577
八、深水大直径钻孔桩施工	577
九、钢围堰大体积水下混凝土封底	581
十、承台施工	581
十一、索塔无支架裸塔爬模施工技术	582
十二、8m 大节距全断面整体悬浇混凝土前支点挂篮施工技术	584

十三、斜拉桥的施工控制	588
十四、斜拉索安装	589
十五、斜拉桥 1152m 七孔连续梁合龙及施工工艺转换	589
十六、桥面调坡施工技术	597
参考文献	598
第二章 南京长江二桥	599
第一节 建设条件	599
一、工程概况	599
二、桥位及地形地貌	599
三、水文	600
四、气象	600
五、航运	600
六、地质	600
第二节 设计介绍	600
一、主要技术标准	600
二、桥跨总体布置	601
三、主桥结构设计	602
第三节 施工工艺	611
一、施工要点概述	611
二、大型钢围堰、钻孔灌注桩复合基础	612
三、索塔施工	619
四、钢箱梁施工	629
五、钢桥面铺装	650
第四节 桥梁试载与验收	653
一、桥梁荷载试验的目的和内容	653
二、试验结论	654
三、交工验收质量评价	655
参考文献	655
第三章 岳阳洞庭湖大桥三塔斜拉桥	656
第一节 建设条件	656
一、工程概况	656
二、河床地质	656
三、地震	657
四、气象	657
五、水文	657
第二节 设计介绍	657
一、设计理论研究及设计技术创新	657
二、主要技术标准	658
三、桥跨整体布置	658
四、斜拉桥结构设计	660

第三节 施工工艺	662
一、工艺难点及施工新技术	663
二、斜拉桥主墩基础施工	663
三、倒 Y 型索塔施工	672
四、主梁施工	676
五、主梁的施工控制	687
六、实施效果	699
第四章 杭州钱塘江三桥	700
第一节 概述	700
第二节 设计介绍	700
一、主要技术标准	700
二、总体设计	701
第三节 施工工艺	703
一、基础施工	704
二、主梁施工	713
参考文献	720
第五章 武汉市江汉四桥	722
第一节 建设条件	722
一、工程概况	722
二、桥位地形地貌	722
三、航运	723
四、地质概况	723
第二节 设计介绍	723
一、主塔墩基础	724
二、索塔	724
三、主梁	726
四、拉索	727
五、边跨辅助墩及拉力支座	727
第三节 施工工艺	727
一、施工要点概述	727
二、空间结构的三维数字化测量技术	728
三、基础施工	728
四、索塔施工	730
五、主梁施工	731
第四节 综合评述	736
一、动静载实验	736
二、桥面损坏的成因探讨	737
参考文献	737
第六章 上海杨浦大桥	738
第一节 概述	738

第二节 设计介绍	738
一、桥跨总体布置及其特点	738
二、主墩	739
三、主塔	739
四、主梁	740
五、斜拉索	740
六、主梁内拉索锚固	740
七、尾段钢主梁与混凝土横梁的设计	742
第三节 施工工艺	743
一、基础施工	743
二、主塔施工	744
三、主梁安装施工	746
四、斜拉索施工工艺	751
五、主桥混凝土桥面板施工	752
六、合龙段安装工艺	754
第四节 结束语	754
参考文献	755
第七章 荆州长江公路大桥	756
第一节 建设条件	756
一、桥区选址	756
二、桥位处自然条件	756
第二节 设计介绍	757
一、设计技术标准	757
二、总体设计	757
三、斜拉桥结构设计	758
第三节 施工工艺	761
一、基础施工	761
二、索塔施工	770
三、主梁施工	773
参考文献	786
第八章 其它有影响的斜拉桥	788
第一节 多多罗大桥	788
一、概况	788
二、设计	788
三、施工	792
四、与诺曼底大桥的比较	792
第二节 芜湖长江大桥	794
一、概况	794
二、设计	794
三、施工	797