



测·绘·科·学·与·技·术 著作系列

特大桥钢索塔建造 精密测控技术

黄 腾 梅 红 著



科学出版社

测绘科学与技术著作系列

特大桥钢索塔建造 精密测控技术

黄 腾 梅 红 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书以我国首创的南京长江第三大桥钢索塔建造为背景,系统地介绍钢索塔节段制造、加工、节段立式匹配以及桥位现场塔柱拼装整个过程中的精密测控技术,同时对相关的测控理论、方法、试验做了详细的论述。书中理论方法研究和工程实际介绍并重,分析问题和实例介绍深入细致,论述的内容源于作者参与南京长江三桥工程实践以及多年从事精密工程测量研究成果。

本书可作为高等院校测绘工程和桥梁工程研究生和高年级本科生教学参考书,也可供测量工作者以及相关专业的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

特大桥钢索塔建造精密测控技术/黄腾,梅红著. —北京:科学出版社, 2012

(测绘科学与技术著作系列)

ISBN 978-7-03-035950-6

I. ①特… II. ①黄… ②梅… III. ①公路桥-斜拉桥-钢索-桥塔-桥梁施工-施工控制网-南京市 IV. ①U448.143.38

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第260595号

责任编辑:童安齐 王 钰 / 责任校对:马英菊

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年12月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2012年12月第一次印刷 印张:18

字数:348 000

定价:66.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换<双青>)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62137026 (BZ08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

序

20 世纪 80 年代初，我国迎来了改革开放的新时期，随着经济的复苏、综合国力的增强，桥梁工程也进入了建设的大发展时期，各种新型的大跨径跨江、跨海特大桥应运而生。在现代桥梁建造中，设计更加注重桥梁建筑的艺术造型、景观设计和美学因素；施工更加注重新工艺、新方法的应用；管理更加注重精品工程、高效率工程。这些都给施工测量提出了新的要求和标准，必须研究和应用先进的测量技术来解决工程施工中的测量问题。所以，桥梁科学技术的发展也同时推动了测绘技术和理论的发展。

黄腾同志长期从事工程测量领域的理论和技术研究，负责和参加过南京长江二桥、南京长江三桥和润扬长江大桥等数座特大型桥梁建设中的测量和施工控制工作，为解决工程中的难题和关键技术，他深入进行了相关理论研究和技术开发，有效地解决了一系列测量关键技术，确保了这些工程优质、高效的建成，因此有多项研究成果获得了省、部级科技进步奖。

南京三桥是我国首座钢索塔斜拉桥，科技含量高，新技术应用多，测控在其中发挥着重要作用。本书总结了作者参加南京三桥钢索塔建造的工程测量经验，并汇集了作者多年实践积累和开拓性的方法，既有简要理论论述，又有丰富的实例介绍，内容全面、新颖和实用，对桥梁工程的测量和施工人员，将有很好的参考应用价值。

中国工程院院士
中国工程设计大师
中铁大桥局集团有限公司副总工程师



2009 年 3 月 5 日

前 言

索塔是现代新型桥梁斜拉桥和悬索桥的关键构件，通过拉索的联系承担桥梁全部的静、动荷载。高耸的索塔通常采用混凝土材料建造，随着技术的进步，新材料、新工艺、新方法不断涌现，钢索塔因其具有工厂化加工、体积小、自重轻、施工进度快、外形美观、环保等特点，已在日本、美国及欧洲等国得到广泛应用。而在我国，钢索塔刚刚起步，南京长江第三大桥（以下简称南京长江三桥）就是我国首座钢索塔钢箱梁斜拉桥。

钢索塔的建造方式是首先在工厂内进行节段制造和加工，并进行预拼装和测控，然后将节段成品运抵桥位现场架设。建造过程中的各道工序都在精密测量控制下进行，其间涉及工业测量和工程测量技术，所以，钢索塔的建造给测控技术带来了众多新的技术难题，传统的测控技术已经无法满足其要求，特别是在测控方法、精度和测值的可靠性、综合精度管理、自动化测控和数据处理等方面都提出了新的要求。南京长江三桥作为国内首座钢索塔桥梁的建设，无可供参考的测控技术资料可寻，特别是“人”字弧形钢索塔的立式匹配和安装测控技术不仅在国内，而且在国际上都是空白。因此，为了解决索塔建设中的问题，需要探索和研究新的测控技术，采用新的测控设备、方法和措施。在南京长江三桥钢索塔建造中，针对钢节段加工制造、立式匹配、钢-混结合段的安装、塔柱拼装架设、自动化监测、综合精度管理等进行了一系列精密测控技术开发。本书以南京长江三桥工程为背景，系统地介绍钢索塔建造过程中的精密测控理论、方法、试验，其内容源于作者参与南京长江三桥工程实践以及多年从事精密工程测量研究成果。

全书共分9章，按照钢索塔建造流程组织章节内容，前5章重点介绍钢节段工厂内加工制造过程中的精密工业测控关键技术问题，内容包括节段制造组拼及钢锚箱制造定位组装的测控方法；节段端面机加工精密测量和精度控制，以及应用现代API精密激光跟踪测量系统进行端面机加工、测量划线技术和加工中节段状态的控制方法；塔柱节段立式匹配检测、标志线刻画、节段拼装测控特征点标定和测量方

法；专用无基座手持棱镜的研制设计；同时针对钢节段加工制造中的各种误差所采用的二维和三维模拟装配精度管理方法进行了研究，并论述钢塔累积精度管理系统的应用。在后4章中重点介绍桥位现场钢塔柱拼装架设过程中的精密工程测控关键技术问题，内容包括塔柱架设专用控制网的设计；大型哑铃状钢围堰下沉施工测控方法；钢-混结合段所采用的从粗调到精调逐步归化的精密定位测控方法；钢索塔拼装架设的内控和外控相结合的测控技术；同时针对钢塔架设中影响测控精度因素进行了试验和分析，如夜间大气垂直折光变化规律试验研究及减弱措施的研究、提高大高差单向精密三角高程测控精度的研究、基于测量机器人快速测量的机载程序开发和自动化监测研发。

本书所介绍的钢索塔精密测控技术可广泛应用于现代同类型桥梁建设，也为我国今后特大桥施工测量规范的修订，以现代新技术指导施工测控提供了重要的参考价值和依据。

由于作者水平有限，书中不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

2011年9月

于南京

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 课题背景	1
1.2 工程概况	2
1.3 钢索塔的特点	4
1.4 南京长江三桥钢索塔结构形式	4
1.5 南京长江三桥钢索塔施工的测控流程及解决的关键技术	8
第 2 章 钢塔节段制造	12
2.1 概述	12
2.2 钢索塔节段制造的工艺流程	14
2.2.1 节段制造的工艺流程	14
2.2.2 节段加工板单元和块体的划分	14
2.2.3 节段制作收缩量的预留	14
2.3 塔柱节段的加工制造	16
2.3.1 板单元件制造及组拼	16
2.3.2 块体组装	18
2.3.3 节段箱体组装	19
2.4 钢锚箱制造及定位组装	24
2.4.1 锚箱制造的技术难点	25
2.4.2 工艺流程	25
2.4.3 锚箱定位组装	26
2.4.4 锚箱焊接变形约束方法	26
2.4.5 锚箱定位难点的技术处理方法	27
2.5 横梁节段制造	29
2.5.1 单元的对接	30
2.5.2 横梁组装	30
2.5.3 装饰段组装	31
第 3 章 钢节段端面机加工及精密测量	33
3.1 概述	33

3.2	节段端面机加工流程及技术难题	34
3.2.1	节段端面机加工流程及精度要求	34
3.2.2	节段端面加工的主要技术难题	35
3.3	端面机加工的关键设备	36
3.3.1	TrackerⅢ型激光跟踪测量系统	36
3.3.2	端面机加工专用铣床	38
3.3.3	数控液压支撑定位系统	39
3.4	影响 API 测量精度的主要因素及减弱对策	40
3.4.1	振动	40
3.4.2	测量环境温度变化	40
3.4.3	仪器初始化	40
3.4.4	转站	41
3.4.5	仪器摆放位置	42
3.4.6	测量数据处理	43
3.4.7	测量精度试验	43
3.4.8	机床导轨的检测	43
3.4.9	其他因素	43
3.5	端面机加工及检测的 API 测量划线技术	44
3.5.1	节段端面机加工前 API 测量划线	44
3.5.2	端面机加工后的轴线重划和测控特征点标注	46
3.5.3	节段端面机加工找正及定位	47
3.5.4	划线和加工中节段状态的控制	48
3.5.5	机加工精度检测	49
第 4 章	塔柱节段立式匹配检测	52
4.1	概述	52
4.2	节段立式匹配检测流程及精度要求	52
4.3	立式匹配的关键工艺技术	54
4.4	立式匹配检测及标志线刻画	55
4.4.1	垂直度及轴线偏移量检测	55
4.4.2	金属接触率测量方法	57
4.4.3	温度的测量	59
4.4.4	对位线刻画及临时匹配设置	60
4.5	带横梁节段与横梁水平预拼装	60
4.5.1	工艺流程	60
4.5.2	匹配预拼及检测	61

4.5.3	节段与横梁预拼装工艺要点	62
4.5.4	横梁装饰段试装	63
4.6	多节段水平预拼装	63
4.7	节段拼装测控特征点标定及测量	64
4.7.1	测控特征点的标注方法	65
4.7.2	微型控制网建立	66
4.7.3	立式匹配施测	66
4.7.4	坐标系统的转换	67
4.8	专用无基座手持棱镜的研制	68
4.8.1	专用手持棱镜设计原理	68
4.8.2	比对法测定棱镜常数	69
4.8.3	棱镜的可靠性检验	70
第5章	钢索塔制造精度管理	72
5.1	概述	72
5.2	钢塔累积精度管理的内容及流程	73
5.3	二维模拟装配精度管理方法	74
5.3.1	精度管理参照系的确定	74
5.3.2	轴线偏移累积误差计算方法	75
5.4	三维模拟装配精度管理方法	80
5.4.1	塔柱坐标系的确定	80
5.4.2	立式匹配所测的轴线偏差	81
5.4.3	完成装配过程	82
5.5	钢塔累积精度管理系统的应用	82
5.5.1	累积精度管理结果指导钢塔节段的加工	82
5.5.2	用精度累积管理结果指导钢塔节段的立式匹配	83
5.5.3	累积精度管理系统应用结果	83
5.6	三维仿真与累积精度管理系统	84
5.6.1	南京长江三桥钢塔制造精度标准及要点	84
5.6.2	钢塔柱加工和预拼装中应用的数学模型及其应用	87
5.6.3	钢塔柱垂直度的累积精度管理方法	90
5.6.4	应用计算机三维仿真分析实现钢塔柱预拼装的方法	95
5.7	三维仿形分析计算与实体预拼的结果比较	99
第6章	大跨度桥梁施工控制网的设计与建立	109
6.1	桥梁施工平面控制网	109
6.1.1	平面控制网的布设形式	109

6.1.2	桥梁施工平面控制网精度设计	111
6.1.3	控制网基准设计	114
6.1.4	网形设计与选点埋石	116
6.1.5	桥梁控制网观测设计与实施	118
6.1.6	数据处理方法	118
6.1.7	平面控制网的加密	124
6.1.8	平面控制网的复测	125
6.2	桥梁施工高程控制网	125
6.3	大跨度桥梁首级平面工程控制网设计精度分析	127
6.4	南京长江三桥首级施工控制网设计与建立	131
6.4.1	引言	131
6.4.2	控制网坐标系统	134
6.4.3	控制网的精度设计	135
6.4.4	控制网的测量	138
6.4.5	控制网平差计算	141
6.4.6	控制网平差精度统计	143
第7章	精密高程传递测量	145
7.1	概述	145
7.2	三角高程测量的基本理论	145
7.2.1	归化至过仪器中心水准面的计算公式	145
7.2.2	归化至椭球体面上的计算公式	147
7.2.3	用高斯平面上的距离计算高差的公式	149
7.2.4	用倾斜距离计算高差的公式	149
7.2.5	将竖直角和斜距归化至标志中心的计算公式	150
7.2.6	垂线偏差的影响	152
7.3	近地面大气折光的特点	154
7.3.1	近地面大气变化的特点	154
7.3.2	大气的垂直稳定度	156
7.3.3	大气折射率与折光系数	158
7.4	大气折光系数 K 的测定	161
7.4.1	测定气象元素以估计 K 值	161
7.4.2	以精密水准及三角高程计算 K	164
7.4.3	双目标法估算折光系数	165
7.4.4	三种方法的评价	169
7.5	三角高程大气折光误差及处理	170

7.5.1	三角高程测量对向观测的精度	170
7.5.2	中间法高程测量的精度	172
7.5.3	大气垂直折光差 ΔK	173
7.6	精密跨江高程施测	175
7.6.1	跨江高程传递的测设	175
7.6.2	折光的影响分析	179
7.6.3	折光方差的试验	179
7.6.4	实测结果	181
7.7	夜间大气垂直折光变化规律的研究	181
7.7.1	试验方法	182
7.7.2	精度估算	183
7.7.3	试验数据分析	184
7.7.4	在钢索塔拼装测控中的应用	186
第8章	钢索塔拼装架设精密测控	188
8.1	钢索塔基础大型双壁钢套筒施工测量技术	188
8.1.1	引言	188
8.1.2	钢套筒初步定位	189
8.1.3	浮动状态下大型双壁钢套筒接高测量	191
8.1.4	钢套筒上口轴线对称特征点的找寻方法	193
8.1.5	钢护筒下放和钢套筒精确就位的施工测控	193
8.2	索塔上部结构施工的精度要求和控制系统	194
8.2.1	上部结构施工的精度要求	195
8.2.2	上部结构施工的控制系统	195
8.3	钢-混结合段安装测控技术	199
8.3.1	钢-混结合段的结构形式	199
8.3.2	钢-混结合段定位精度要求	200
8.3.3	钢-混结合段定位专用控制网的建立	201
8.3.4	钢-混结合段定位	205
8.4	钢塔柱架设测控技术	215
8.4.1	钢索塔架施工的技术标准及工艺流程	215
8.4.2	钢索塔节段安装内外控结合技术	217
8.4.3	全站仪精密三维坐标法精度分析	219
8.4.4	T1 节段架设	224
8.4.5	T2~T21 段拼装测量	229
8.4.6	钢塔柱安装线形控制	231

8.5 钢索塔架设的精度管理和质量评定	233
8.5.1 钢索塔架设的精度管理	233
8.5.2 钢索塔拼装测量的质量评定	236
第9章 测量机器人自动监测系统开发	245
9.1 概述	245
9.1.1 TCA2003 测量机器人简介	246
9.1.2 ATR 原理	247
9.1.3 LOCK 功能	248
9.1.4 多种测量模式	249
9.2 ATR 自动识别系统的测角精度研究	250
9.2.1 室内试验	250
9.2.2 实地试验	251
9.2.3 全天候观测测试	253
9.2.4 试验结论	255
9.3 ATR 三维观测精度研究	255
9.3.1 变形监测网概况及观测方案	255
9.3.2 ATR 测量精度分析	257
9.3.3 可靠性检验	259
9.3.4 作业效率分析	260
9.3.5 研究结论	261
9.4 系统开发环境	261
9.4.1 GeoBasic 简介	261
9.4.2 GeoCOM 接口技术	262
9.4.3 程序开发过程	265
9.5 系统开发目标、组成和软件的模块设计	266
9.5.1 系统开发目标	266
9.5.2 监测系统的组成	267
9.5.3 系统功能模块	268
9.6 系统观测数据的气象改正方法	271
9.6.1 气象模型法	272
9.6.2 差分改正法	272
9.7 视场多目标(棱镜)的处理方法	273
9.8 数据分析	274
9.9 结语	275
主要参考文献	276

第 1 章 绪 论

1.1 课 题 背 景

在 20 世纪 60 年代以前,较大跨度的悬索桥几乎全是用钢材制造的。钢索塔的发展当以美国为代表,有众多闻名于世的悬索桥,从 20 世纪 30 年代建成的乔治·华盛顿桥、旧金山奥克兰海湾桥、旧金山金门桥到 1964 年维拉扎诺海峡桥,无一不是采用钢索塔。20 世纪 60 年代之后,随着高耸结构的混凝土浇筑技术,特别是它的模板技术的发展,在大跨度悬索桥建造中,从欧洲开始逐渐兴起了用混凝土索塔,如 1959 年法国在主跨为 608m 的坦卡维尔桥首先采用混凝土索塔,其后有 1970 年丹麦的小贝尔特桥 (600m)、1981 年英国的恒伯尔桥 (1410m),以及在 20 世纪 90 年代中修建的世界众多大跨径悬索桥,如瑞典高海岸桥 (1210m) 以及丹麦大贝尔特东桥 (1624m) 等都相继采用混凝土索塔。

但是,相对混凝土索塔而言,钢索塔因具有工厂化加工、体积小、自重轻、施工进度快、外形美观、环保等特点,自 1955 年世界第一座斜拉桥面世以来,在欧洲、美国、日本等发达国家仍有广泛应用。例如,1955 年建造的瑞典斯曹姆松特桥 (182.6m),1959 年德国西奥多尔-豪玉斯桥 (260m)、塞弗林桥 (301m),1965 年德国弗库森桥 (280m),1968 年澳大利亚巴特曼桥 (205m),1975 年法国圣·纳泽尔桥 (404m),1977 年南斯拉夫萨瓦铁路桥 (253.7m),1987 年泰国湄南河桥 (450m),1992 年印度加尔各答胡格利河二桥 (457m),2004 年俄罗斯涅瓦河桥等均采用钢索塔。

日本是一个钢材生产大国与地震频繁出现的国家,出于其本国国情,不仅悬索桥和斜拉桥的索塔,就是一般大跨度桥梁的上部结构,也是优先采用与发展钢结构。这是因为钢结构轻于混凝土结构,在发生地震时结构自重产生的惯性力较小,采用钢索塔对抵抗大地震是极其有效的措施之一。另外,由于日本的高度工业化,在钢索塔的制造和安装架设方面可以采用高强优质钢、优异的栓焊技术以及利用大型浮吊整体吊装和各种先进机具施工,在一定程度上可加快工期与减少劳力。所以,日本在 20 世纪 80 年代后期修建的众多悬索桥和斜拉桥的索塔均采用钢索塔,如大跨度钢索塔悬索桥有大明门桥 (876m)、下津井桥 (940m)、南备赞桥 (1100m)、北备赞桥 (990m)、因岛桥 (560m)、彩虹桥 (570m)、北海道的白鸟桥 (720m)、世界第一大跨度 (1991m) 的明石海峡桥和来岛第一

(600m)、第二(1020m)及第三(1030m)等大跨度悬索桥;大跨度钢索塔斜拉桥有大和川桥(335m)、港西桥(405m)、柘石岛·岩黑岛公铁两用桥(420m)、横滨海湾桥(460m)、生口桥(490m)、冬神户桥(485m)、鹤见航道桥(510m)、明港中桥(590m)和多多罗桥(890m)等。

20世纪80年代之后,随着我国交通事业的蓬勃发展,我国桥梁建设得以飞速发展,各种新型特大桥梁相继涌现,如香港青马大桥(1377m)、江阴长江大桥(1385m)、南京长江第二大桥、润扬长江公路大桥等,但无论是斜拉桥还是悬索桥,其高耸的索塔无一例外均采用混凝土结构。出于技术创新,考虑到南京长江三桥处于深水河床,为了减轻索塔自重,利于其基础采用高桩承台,减少建造深水基础的难度;同时为了提高施工控制精度,改善斜拉索锚固条件,并有效缩短工期,南京长江三桥首次尝试采用钢索塔结构。

新型桥梁的建设必然会遇到新的技术难题。测控技术就是桥梁施工的关键技术之一,它是桥梁建设质量和安全的重要保证。传统的测控技术已经无法满足现代特大桥梁施工的要求,特别是在精度、测值的可靠性、自动化监测、数据处理等方面是传统的测控技术难以实现的。另外,对于国内首座钢索塔桥梁的建设,我国尚无可供参考的测控技术,例如,钢索塔的立式匹配、钢-混结合段的安装、钢索塔节段的拼装、自动化监测等,特别是“人”字形钢索塔的立式匹配和安装测控技术不仅在国内,而且在国际上都是一片空白(国外只有“A”字形和倒“Y”字形等直线形钢索塔)。因此,为了解决这些新的技术问题,需要研究新的测控技术,采用新的测控设备、方法和措施。本课题以南京长江三桥为研究对象,针对钢索塔节段的工厂加工制作、预拼装及桥址区现场拼装等相关的测控技术进行了一系列的技术开发研究。

1.2 工程概况

南京长江三桥是上海至成都国道主干线的重要组成部分,位于南京长江大桥约19km处的大胜关,起点为长江南岸绕城公路刘村互通立交,终点为长江北岸的宁合高速公路张店,全长约15.6km。其中跨江大桥长4.744km,主跨为648m双塔双索面钢索塔钢箱梁斜拉桥;南岸接线长3.083km,北岸接线长7.773km。全线按6车道高速公路标准设计,设计车速为100km/h;设计荷载为:汽车——超20级,挂车——120。全线共设4座互通立交,分别为刘村互通立交,天后村互通立交(预留),高旺互通立交和张店互通立交,工程概算投资30.9亿元,交通部核批工期4年。

南京长江三桥主桥为钢索塔钢箱梁双索面5跨连续斜拉桥,其跨径布置为 $63\text{m}+257\text{m}+648\text{m}+257\text{m}+63\text{m}=1288\text{m}$,采用半漂浮结构体系,纵向设弹性

约束以限制活载及风载作用下的钢箱梁纵向漂移。桥梁结构形式如图 1-1 所示。

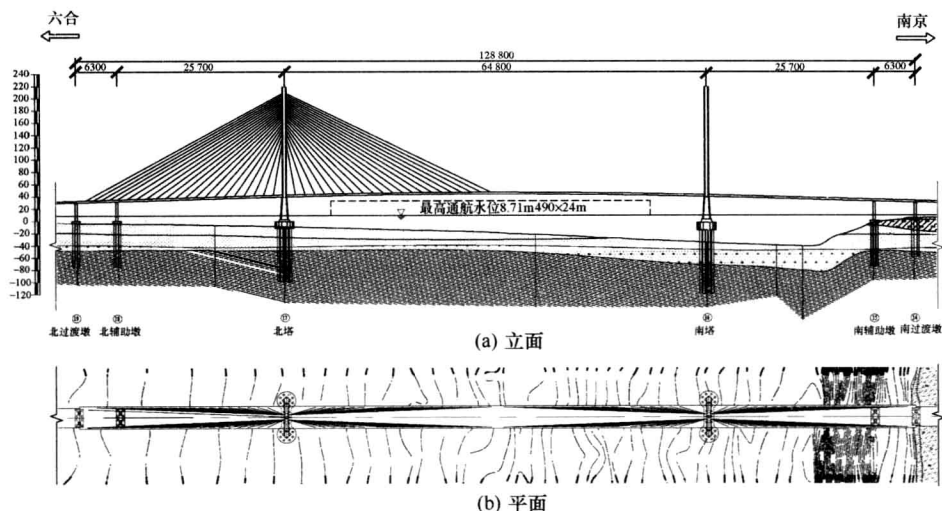


图 1-1 南京三桥主桥

注：本图尺寸除注明者外，余均以 cm 为单位。

索塔设计为“人”字形，塔柱高 215m，外侧圆曲线部分半径 720m，设四道横梁，其中下塔柱及下横梁为钢筋混凝土结构，其他部分为钢结构，钢塔柱高 178.696m。

主桥下部结构共有 6 个桥墩，墩号自南向北为 14~19 号墩。16 号、17 号墩为南、北主索塔墩，14 号、19 号墩为南、北过渡墩；15 号、18 号墩为南、北辅助墩。

南、北主索塔承台呈哑铃形，平面尺寸为 84.00m（横桥向）×29.00m（顺桥向），南索塔承台厚 7.50m，北索塔承台厚 7.00m。承台圆形部分的直径为 26.00m，系梁宽 10.80m。每个基础共有 30 根钻孔灌注桩。南索塔基础，每个圆形部分布置有 12 根直径 3.00m 的桩，系梁部分布置有 6 根直径为 2.50m 的桩；北索塔基础，桩径均为 2.90m，其中每个圆形部分布置有 12 根，系梁部分布置有 6 根。

过渡墩和辅助墩基础采用直径 3.00m 的钻孔灌注桩，其中南过渡墩墩位处布置有 8 根，其余各墩墩处布置有 10 根。南岸过渡墩桩尖高程为 -66.50m，其余各处墩桩尖高程为 -75.00m。承台设计为整体式承台，南过渡墩承台平面尺寸为 27.60m（横桥向）×12.60m（顺桥向），其余各墩承台平面尺寸为 30.20m（横桥向）×12.80m（顺桥向），每个承台均厚 4.50m。墩身采用分离式矩形截面空心墩，通过系梁在墩顶处将墩身连接。墩身截面横桥向长 7.00m（横桥向），辅助墩顺桥向宽 3.50m（顺桥向），过渡墩顺桥向宽 3.00m，壁厚 0.80m。为减小船撞对结构的影响，在辅助墩及北过渡墩墩身挖空部分填 15 号混凝土。考虑美观，墩身顺桥向中间设有装饰槽。

南京长江三桥体现当代建桥风貌,具有国际先进水平、工程规模大、技术含量高、质量要求严、建设速度快。2002年12月24日举行奠基仪式,2003年5月主桥施工队伍进场,同年8月主桥工程全面开工建设;2004年4月3日北索塔基础承台完成,同年6月25日南索塔基础承台完成;2004年8月30日北索塔下横梁完成,同年10月26日南索塔下梁完成;北索塔2004年9月8日开始钢索塔节段安装,同年12月29日封顶;南索塔2004年11月1日开始钢索塔节段安装,同年12月29日封顶;2004年12月12日开始安装钢箱梁安装,2005年5月22日合龙。2005年10月全桥通车,实际的施工工期不到两年半,比原计划提前了近两年。

南京长江三桥采用钢索塔,属国内首创。在设计、制造和安装过程中,汇聚了国内外专家的智慧,充分发挥了各路参战人员的主观能动性,使其成为精品工程,屹立于万里长江之上。

1.3 钢索塔的特点

斜拉桥和悬索桥是由梁、索塔、索三种基本构件组成的桥梁结构体系。索塔是主要的受力部件之一,具有建筑高度大、空间结构复杂等特点。它的外形对全桥景观至关重要,在美学上几乎起决定性的作用。同混凝土索塔比较,钢索塔有以下特点:

(1) 从设计计算上讲,由于钢材材质较均匀,计算应力与实测应力间关系较明确且容易掌握;钢材弹性模量固定,变形计算精确;各种不利因素(比如收缩、徐变)较少,计算结果与实际情况接近。

(2) 从制造上讲,由于在机加工厂房内分节制作,且进行节段预制与试拼装,尺寸精度可以控制到非常精确,但对加工工厂的设备、加工精度及检测手段要求很高。

(3) 从安装上讲,由于构件较轻,可分段吊装;施工工期短,现场工作量与高空作业量较少,但对构件定位和拼装精度要求较高,且作业空间狭小,干扰较大,对现场精密工程测量提出了非常高的要求。

(4) 从使用上讲,由于结构较轻,对抗震有利,也可以减轻下部结构的规模。

1.4 南京长江三桥钢索塔结构形式

南京长江三桥是国内首次采用塔柱为全钢、下塔柱为混凝土的钢-混凝土混合形式的钢索塔钢箱梁双索面五跨连续斜拉桥,钢索塔外形为“人”字形塔,线形流畅,造型新颖,生动活泼,雄伟挺拔,整体比例和谐,与桥址区环境协调。

主桥斜拉桥有南、北两座索塔，南索塔基础编号为 16[#]，北索塔基础编号为 17[#]。虽然因两索塔基础处的河槽形状、标高、地质和水文等情况有差异，基桩直径和长度不一致，但通过调整承台厚度和塔座厚度，使得南、北两索塔的塔顶面标高均为+2.000m，南、北两索塔的高度、有关尺寸及有关标高完全一致。

索塔高 215m，设四道横梁，下塔柱及下横梁为钢筋混凝土结构，高 36.318m；其他部分为钢结构，钢索塔高 178.682m。索塔外侧线性由倾斜直线段、圆曲线段及坚直直线段组成。钢筋混凝土塔与钢索塔的圆曲线段半径分别为 300m 和 720m，每个索塔上共设置拉索 42 对，如图 1-2 所示。

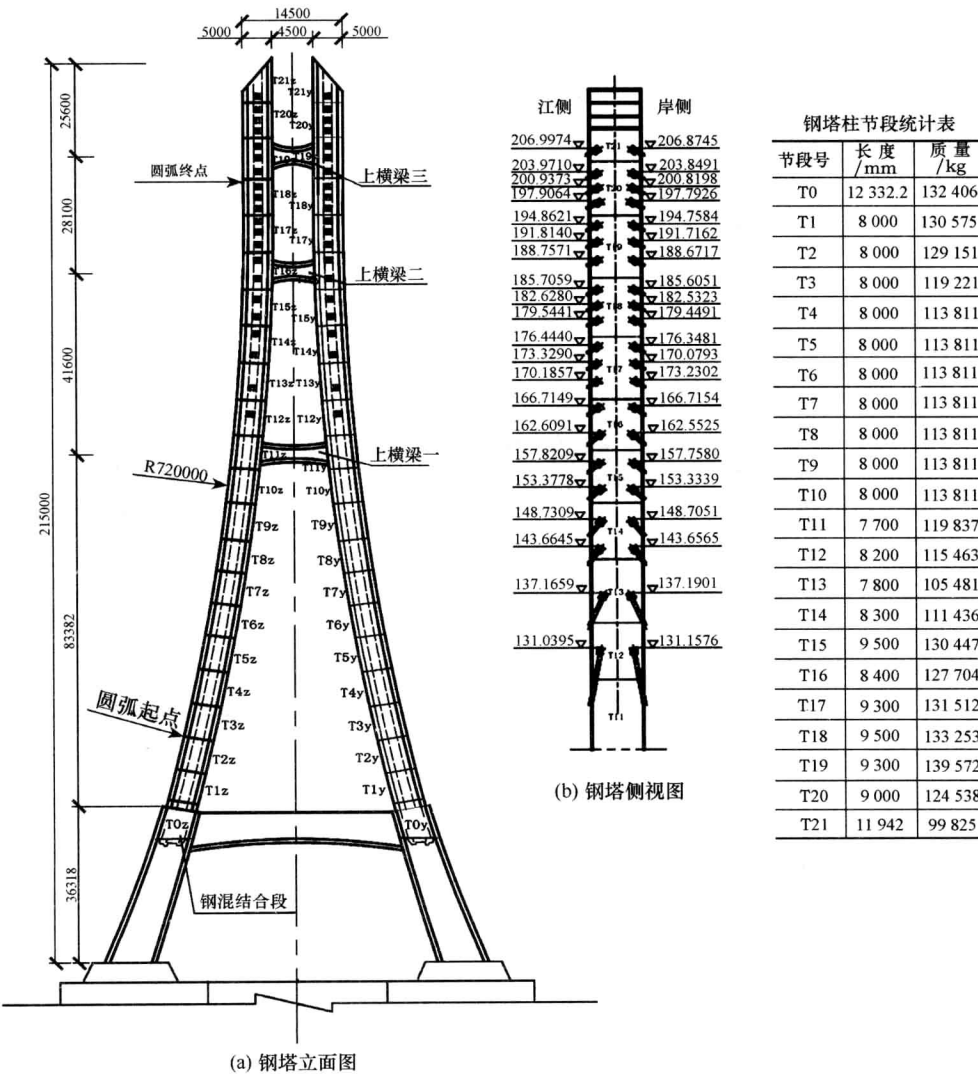


图 1-2 南京三桥钢索塔构造图 (单位: mm)