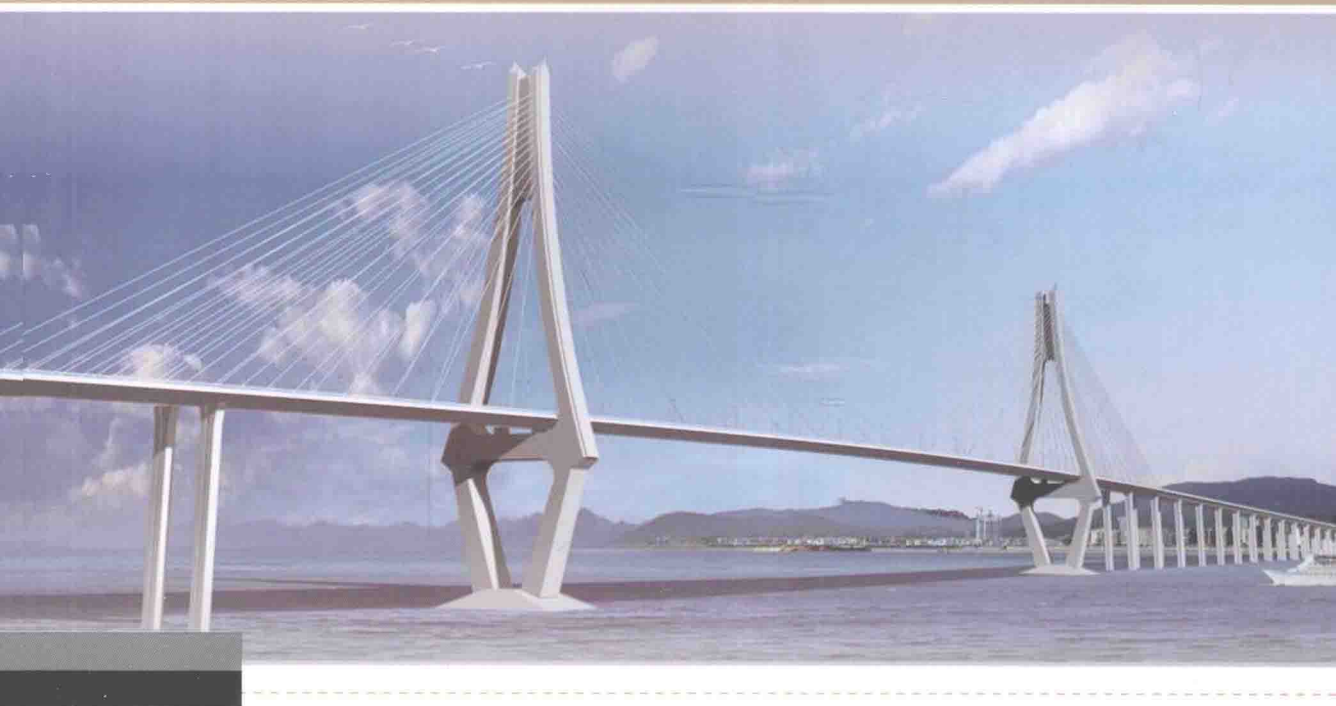


交通版

高等学校土木工程专业规划教材

JIAOTONGBAN GAODENG XUEXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



大跨度桥梁

陈从春 李国芬 黄小广 主 编
彭大文 主 审



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

交通版

JIAOTONGBAN GAODENG XUEXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



大跨度桥梁

Dakuadu Qiaoliang

陈从春 李国芬 黄小广 主 编
彭大文 主 审



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

《大跨度桥梁》是为高等学校道路桥梁与渡河工程(土木工程交通土建方向)本科专业教学编写的教材,全书共3篇17章。

本书以大跨度桥梁为线索,切合新规范,介绍了混凝土斜拉桥、悬索桥、钢—混凝土组合结构桥梁(包括钢管混凝土拱桥)以及轻轨桥梁的构造、设计与施工,针对每种桥型配有实例构造介绍。

本书除作为教材外,尚可作为土木工程专业的设计、施工、管理部门的工程技术人员及科研人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大跨度桥梁 / 陈从春, 李国芬, 黄小广主编. — 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2017.3
交通版高等学校土木工程专业规划教材
ISBN 978-7-114-13392-3

I. ①大… II. ①陈… ②李… ③黄… III. ①长跨桥—桥梁工程—高等学校—教材 IV. ①U448.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 247916 号

交通版高等学校土木工程专业规划教材

书 名: 大跨度桥梁

著 作 者: 陈从春 李国芬 黄小广

责任编辑: 张征宇 赵瑞琴

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京盈盛恒通印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 17.5

字 数: 435 千

版 次: 2017年3月 第1版

印 次: 2017年3月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-13392-3

定 价: 38.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

交通版

高等学校土木工程专业规划教材

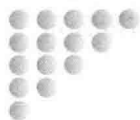
编委会

主任委员：戎 贤

副主任委员：张向东 李帼昌 张新天 黄 新
宗 兰 马芹永 党星海 段敬民
黄炳生

委 员：彭大文 张俊平 刘春原 张世海
郭仁东 王 京 符 怡

秘 书 长：张征宇



随着科学技术的迅猛发展、全球经济一体化趋势的进一步加强以及国力竞争的日趋激烈,作为实施“科教兴国”战略重要战线的高等学校,面临着新的机遇与挑战。高等教育战线按照“巩固、深化、提高、发展”的方针,着力提高高等教育的水平 and 质量,取得了举世瞩目的成就,实现了改革和发展的历史性跨越。

在这个前所未有的发展时期,高等学校的土木类教材建设也取得了很大成绩,出版了许多优秀教材,但在满足不同层次的院校和不同层次的学生需求方面,还存在较大的差距,部分教材尚未能反映最新颁布的规范内容。为了配合高等学校的教学改革和教材建设,体现高等学校在教材建设上的特色和优势,满足高校及社会对土木类专业教材的多层次要求,适应我国国民经济建设的最新形势,人民交通出版社组织了全国二十余所高等学校编写“交通版高等学校土木工程专业规划教材”,并于2004年9月在重庆召开了第一次编写工作会议,确定了教材编写的总体思路。于2004年11月在北京召开了第二次编写工作会议,全面审定了各门教材的编写大纲。在编者和出版社的共同努力下,这套规划教材已陆续出版。

在教材的使用过程中,我们也发现有些教材存在诸如知识体系不够完善,适用性、准确性不好,相关教材在内容衔接上不够合理以及随着规范的修订及本学科领域技术的发展而出现的教材内容陈旧、亟待修订的问题。为此,新改组的编委会决定于2010年年底启动了该套教材的修订工作。

这套教材包括《土木工程概论》《建筑工程施工》等31种,涵盖了土木工程专业的基础课和专业课的主要系列课程。这套教材的编写原则是“厚基础、重能力、求创新,以培养应用型人才为主”,强调结合新规范,增大例题、图解等内容的比例并适当反映本学科领域的新发展,力求通俗易懂、图文并茂;其中对专业基础课要求理论体系完整、严密、适度,兼顾各专业方向,应达到教育部和专业教学指导委员会的规定要求;对专业课要体现出“重应用”及“加强创新能力和工程素质培养”的特色,保证知识体系的完整性、准确性、正确性和适应性,专业课教材原则上按课群组划分不同专业方向分别考虑,不在一本教材中体现多专业内容。

反映土木工程领域的最新技术发展、符合我国国情、与现有教材相比具有明显特色是

这套教材所力求达到的目标,在各相关院校及所有编审人员的共同努力下,交通版高等学校土木工程专业规划教材必将对我国高等学校土木工程专业建设起到重要的促进作用。

交通版高等学校土木工程专业规划教材编审委员会
人民交通出版社股份有限公司

前言

QIANYAN



最近十余年我国城市化建设和公路交通发展迅速,桥梁建设又上了一个台阶。为了反映最近十余年桥梁建设的成就,同时反映《公路工程技术标准》(JTG B01—2014)、《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)、《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64—2015)、《公路钢管混凝土拱桥设计规范》(JTG-T D65-06—2015)、《公路悬索桥设计规范》(JTG/TT D65-05—2015)等规范的新要求,结合教材中的使用情况,对“交通版高等学校土木工程专业规划教材”《桥梁工程》(下册)相关内容进行了重编、补充、调整和修订,并根据课程名称设置,将原书上、下册分别更名为《桥梁工程》和《大跨度桥梁》。

本书延续彭大文等编《桥梁工程》指导思想,以培养学生桥梁专业基础知识和实践应用能力为主,融入现行新规范的内容,使学生通过对本课程的学习,能熟悉中等跨度及大跨度桥梁的设计、构造和计算知识,了解其施工方法,完善桥梁结构及大跨度桥梁知识体系。

本教材共3篇17章,第一篇介绍混凝土斜拉桥的设计计算和施工方法,并增加了悬索桥的相关内容;第二篇介绍了钢—混凝土组合结构桥梁的设计计算和施工;第三篇阐述了轻轨桥梁工程的一般设计原理。各章内容相对独立,可根据需要灵活讲授。

本书由彭大文、李国芬、黄小广编《桥梁工程》(下册)修订而来,原书分别由上海应用技术大学彭大文(第4、5篇)、福州大学林国华(第5篇第6章以及第6篇)、福州大学郑振飞教授主审。重编及修订工作主要由上海应用技术大学陈从春负责完成,其中第1篇第5章由上海应用技术大学艾辉林编写;全书由陈从春负责统稿,并对各章内容略有增减。

彭大文教授认真审阅了全部书稿,修改了书中的一些错误,并提出了许多宝贵的意见,使本书更加完善,对此表示衷心感谢!

鉴于作者水平有限,书中错误在所难免,如有疏漏,望不吝赐教,邮至 chencongchun@163.com,不胜感激!如需要授课PPT,也请致函此邮箱。

编者
2017.1

第一篇 斜拉桥与悬索桥

第一章 斜拉桥布置与结构体系	3
第一节 概述	3
第二节 总体布置	4
第三节 索塔布置	7
第四节 拉索布置	8
第五节 主要结构体系	10
第二章 斜拉桥的构造	14
第一节 主梁构造	14
第二节 索塔构造	18
第三节 拉索构造	20
第三章 斜拉桥的计算	28
第一节 概述	28
第二节 斜拉桥索力调整理论	29
第三节 斜拉桥的平面分析	33
第四节 斜拉桥的空间分析	36
第五节 斜拉桥的稳定性分析及局部应力计算	37
第六节 斜拉桥的抗震分析	40
第七节 斜拉桥的抗风计算	48
第四章 斜拉桥的施工	62
第一节 概述	62
第二节 索塔施工	62
第三节 主梁施工	68
第四节 斜拉索施工	72
第五节 斜拉桥的施工控制	76

第五章 悬索桥	83
第一节 概述	83
第二节 悬索桥的结构与构造	87
第三节 悬索桥计算要点	94
第四节 悬索桥施工方法简介	100
第六章 斜拉桥与悬索桥构造实例	106
第一节 斜拉桥构造实例	106
第二节 悬索桥构造实例	119

第二篇 钢—混凝土组合结构桥梁

第一章 概述	129
第二章 钢—混凝土组合梁	132
第一节 钢—混凝土组合梁的发展概况	132
第二节 钢—混凝土组合梁的特点与构造	133
第三节 组合梁截面的计算	136
第四节 抗剪连接件的设计	142
第五节 组合梁的截面设计	145
第六节 组合梁的施工	148
第三章 钢管混凝土拱桥构造	152
第一节 概述	152
第二节 钢管混凝土拱桥的形式	154
第三节 主拱圈构造	155
第四节 肋拱的横向结构与构造	159
第五节 桥面系	162
第六节 立柱与吊杆	165
第四章 钢管混凝土拱桥的计算	168
第一节 概述	168
第二节 钢管混凝土的材料性能	169
第三节 钢管混凝土拱桥的计算	173
第五章 钢管混凝土拱桥施工技术简介	183
第一节 钢管拱肋的制作	183
第二节 钢管拱的架设	185
第三节 管内混凝土的浇筑	196
第六章 钢管混凝土拱桥实例	198
第一节 中承式钢管混凝土系杆拱桥	198

第二节	下承式钢管混凝土系杆拱桥·····	203
第三节	上承式钢管混凝土桁架式拱桥·····	205
第四节	下承式钢管混凝土拱梁组合体系桥·····	209

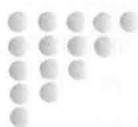
第三篇 轻轨桥梁

第一章	概述·····	217
第一节	轨道交通的发展·····	217
第二节	轻轨的特点·····	219
第二章	轻轨的规划与设计·····	222
第一节	规划设计原则·····	222
第二节	线路设计·····	224
第三节	轨道结构工程设计·····	228
第三章	轻轨的结构设计·····	238
第一节	轻轨车站的结构形式·····	238
第二节	断面设计与构造·····	246
第三节	轻轨桥梁上部结构设计·····	248
第四节	轻轨桥梁下部结构设计·····	252
第四章	轻轨桥梁结构的施工·····	254
第一节	轻轨桥梁下部结构施工·····	254
第二节	轻轨桥梁上部结构施工·····	256
第三节	轻轨高架车站施工·····	261
第五章	轻轨实例·····	262
参考文献	·····	267

第一篇

斜拉桥与悬索桥

第一章 斜拉桥布置与结构体系



第一节 概 述

斜拉桥主要由主梁、索塔和斜拉索三大部分组成。它是一种主梁受轴向力(密索体系)或受弯(稀索体系)为主、支承体系(斜拉索)受拉和索塔受压为主的桥梁。混凝土斜拉桥的主梁采用钢筋混凝土或预应力混凝土,索塔采用混凝土结构,而斜拉索则采用高强钢丝或钢绞线制成。

斜拉桥中荷载作用的传递路径是:斜拉索的两端分别锚固在主梁和索塔上,将主梁的自重作用和车辆作用传递至索塔,再通过索塔传至地基。因而主梁在斜拉索的支承下,像多跨弹性支承的连续梁一样,使弯矩值得以大大降低,这不但可以使主梁尺寸大大减小(梁高一般为跨度的 $1/50 \sim 1/200$ 或更小),而且由于结构自重显著减轻,既节省了结构材料,又能大幅度地增大桥梁的跨越能力。

斜拉桥属高次超静定结构,与其他体系桥梁相比,包含更多的设计变量。全桥总的技术经济合理性不能单从结构体积小、用料省或者满足应力等概念来衡量,这给选定合理的桥型方案和经济合理的设计带来一定困难,同时,拉索与主梁和索塔的连接构造较复杂,施工技术要求高。拉索索力的调整工序也较复杂。

1955 年,第一座现代斜拉桥——主跨 182m 的斯特罗姆桥(Stromsund)在瑞典建成(图 1-1-1)。接着在德国建成了主跨 260m 的杜塞尔道夫北莱茵河桥(Theoder Heuss),它们都采用稀索和钢主梁结构,这是早期现代斜拉桥的共同特点。此后,斜拉桥得到迅速发展,至今,全球已建成各类斜拉桥 400 余座,遍布 30 多个国家和地区。

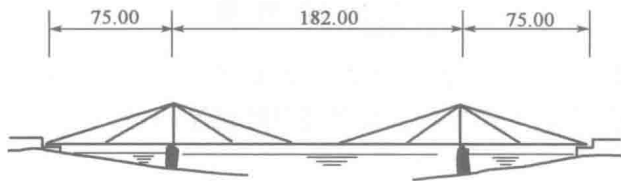


图 1-1-1 Stromsund 桥(尺寸单位:m)

1992年挪威建成的斯卡恩圣特桥,其主跨为530m的混凝土斜拉桥,梁高仅2.15m,至今仍保持混凝土斜拉桥最大跨径的纪录。1995年法国建成主跨为856m的诺曼底大桥,主跨采用钢箱梁,边跨采用混凝土梁,是较早的混合型斜拉桥。1999年日本建成的主跨为890m的多多罗大桥,主跨采用钢箱梁;我国于2008年建成主跨为1088m苏通大桥,俄罗斯于2012年建成的主跨1104m俄罗斯岛大桥,也是主跨为钢箱梁,边跨为混凝土梁的混合型斜拉桥。

斜拉桥之所以成为大跨径桥梁的最主要桥型之一,主要是由于斜拉桥结构的自身优点:由双索面或中央单索面配以各种不同造型的索塔,形成刚性塔和轻型飘浮桥面的风格,赢得了设计工程师们的青睐;斜拉索的水平分力可对混凝土主梁产生轴向预压作用,因此增强了主梁的抗裂性能,节约主梁中预应力钢材的用量;斜拉桥又可以利用主梁、拉索、索塔三者的不同组合形成不同的结构体系来适应不同的地形和地质条件;拉索的自锚特性,即使在江口海岸的软土地基上,也有建造大跨径斜拉桥的竞争优势;斜拉桥预制节段的悬拼或挂篮悬浇,使施工对航运的干扰最小,且安全可靠;斜拉桥本身良好的力学性能和经济指标,使斜拉桥在世界各国得以迅速发展。

现代斜拉桥的发展大致经历了以下三个阶段:

第一阶段:稀索布置,主梁较高,钢或混凝土梁体基本上为弹性支承连续梁,以受弯为主,拉索更换不容易。

第二阶段:中密索布置,主梁较矮,钢或混凝土梁体既是弹性支承连续梁,又承受较大的轴向力,可以更换拉索。

第三阶段:密索布置,梁体结构出现组合式、混合式、钢管混凝土等新形式,主梁向轻型化发展,梁高减小,并广泛采用梁板式开口截面。

根据国内外桥梁专家的研究分析,混凝土斜拉桥最大跨径可达700m,钢斜拉桥最大跨径可达1300m,结合梁斜拉桥(主梁为钢—混凝土结合梁)最大跨径可达1000m。混凝土斜拉桥经济合理的跨径在200~500m之间。

第二节 总体布置

斜拉桥的总体布置主要解决索塔布置、跨径布置、拉索及主梁的布置、塔高与跨径的关系等问题。

一、索塔布置

斜拉桥的结构特点决定了它跨越能力大,可以减少水中墩及深水基础,故总体布置时一般从经济角度考虑,宜采用独塔布置方案;根据桥位地形及跨径需要等各种因素,也可选用双塔布置或多塔布置方案。

二、跨径布置

与索塔布置相配合,现代斜拉桥最典型的跨径布置为双塔三跨式和独塔双跨式。特殊情况下也可布置成独塔单跨式、双塔单跨式及多塔多跨式等,见图1-1-2。

1. 双塔三跨式

双塔三跨式是斜拉桥最常见的跨径布置方式。由于主孔跨径较大,适用于跨越较大的河

流。从简化设计、方便施工考虑,双塔三跨式斜拉桥常布置成两个边跨相等的对称布置,也可采用两边跨不相等的非对称布置。

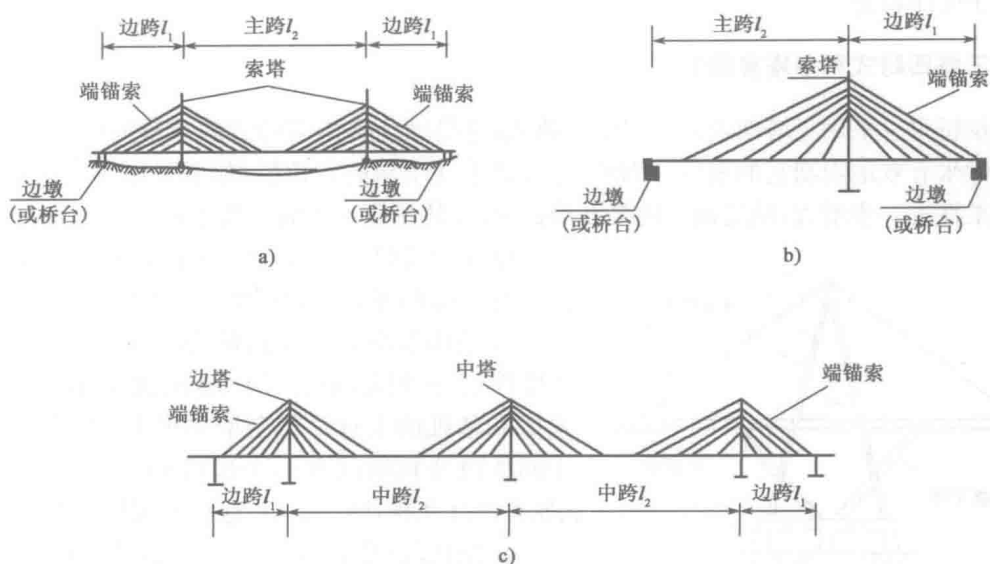


图 1-1-2 跨径布置
a)双塔三跨式;b)独塔双跨式;c)多塔多跨式

双塔三跨式布置的斜拉桥,其边跨与主跨的比例非常重要。从受力上看,边主跨之比与斜拉桥的整体刚度、端锚索的应力变幅有着很大的关系。一般来说,主跨上有汽车荷载作用时,会增加端锚索的应力,而边跨上有汽车荷载时,端锚索应力会减少。拉索的应力变化幅度则必须保持在钢拉索的疲劳强度安全范围内,所以拉索的疲劳强度是边中跨比允许比值的判断标准。当边中跨比为 0.5 时,可对称悬臂施工至跨中合龙,施工方便。但考虑到施工时长悬臂的稳定性及提高成桥后的刚度,很多情况下边中跨比宜取小于 0.5,边跨设置端锚索(边索),以使中跨有一段悬臂施工是在有后锚的情况下进行的。边跨较小时,边跨主梁的刚度较大,边跨拉索较短,刚度也就相对较大,因而此时边跨对索塔的锚固作用就大,主跨的刚度也就相应增大。大跨径斜拉桥为了减小中跨跨中挠度和提高全桥的刚度,常采用较小的边中跨比。对于汽车荷载比例较小的公路和城市桥梁,合理的边主跨之比为 0.40~0.45,钢斜拉桥的边跨应比相同跨径混凝土斜拉桥的跨径小。

在特殊的地形条件下,可以采用更小的边中跨比或边跨采用地锚式,如我国郧阳汉江桥边跨与中跨比值为 0.203,跨径布置为 85m+414m+85m。为此,边跨两端设置了重力式平衡桥台,将部分拉索以地锚方式锚固在重力式桥台中。

2. 独塔双跨式

独塔双跨式也是一种常用的斜拉桥跨径布置方式。由于它的主孔跨径一般比双塔三跨式的主孔跨径小,适用于跨越中小河流和城市通道。

独塔双跨式斜拉桥可以布置成两跨跨径相等的对称布置或两跨跨径不等的非对称布置。两侧跨径不对称布置时,边跨跨径 l_1 与主跨跨径 l_2 之间的比例关系一般为 0.5~0.8,但多数接近于 0.66;两跨相等时,由于失去了边跨及辅助墩对主跨变形的有效约束作用,故在受力与变形方面不能充分发挥斜拉桥的优势,因而这种形式较少采用。

我国最大跨径的独塔双跨式混凝土斜拉桥——重庆石门大桥采用不对称跨径布置,边跨与主跨比值为 $200\text{m}/230\text{m}=0.87$,在靠桥台 10m 范围内的主梁悬臂端设置了平衡重,使桥台始终处于受压状态。

3. 三塔四跨式和多塔多跨式

斜拉桥很少采用三塔四跨式或多塔多跨式,这是因为多塔多跨式斜拉桥的中间塔塔顶没有端锚索来有效地限制它的变位。因此,已经是柔性结构的斜拉桥,如果采用多塔多跨式,将使结构柔性进一步增大,随之而来的是变形过大,整体刚度不能满足要求的问题。

增加主梁的刚度可以在一定程度上提高多塔斜拉桥的整体刚度,但这样做会增加桥梁的自重。如果必须采用多塔多跨式斜拉桥时,则可将中间塔做成刚性索塔(如委内瑞拉的马拉开波桥,图 1-1-3),但索塔和基础的工程量将会增加很多;或用长拉索将中间塔顶分别锚固在两个边塔的塔顶或塔底加劲(如香港汀九桥,图 1-1-4),这种方式增大长索的下垂量,索的刚度较小,对抗风不利;还有一种方法是加粗尾索并在锚固尾索的梁段上压重,以增加索的刚度(如湖南洞庭湖大桥,图 1-1-5)。

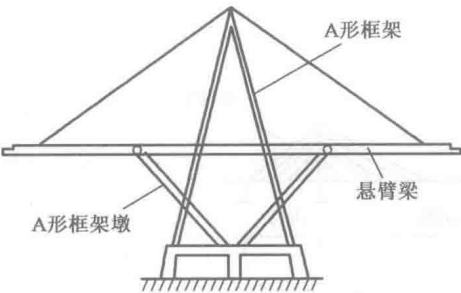


图 1-1-3 马拉开波桥 A 形塔 X 形墩

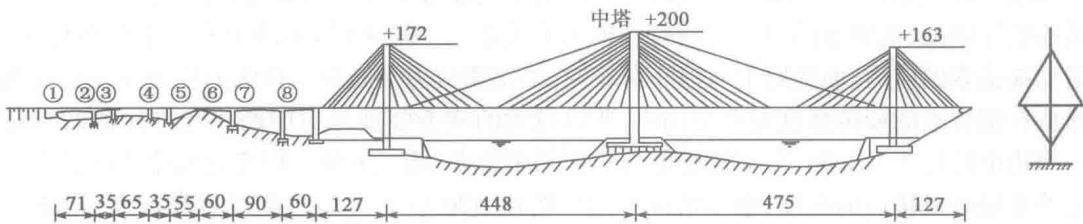


图 1-1-4 香港汀九桥(尺寸单位:m)

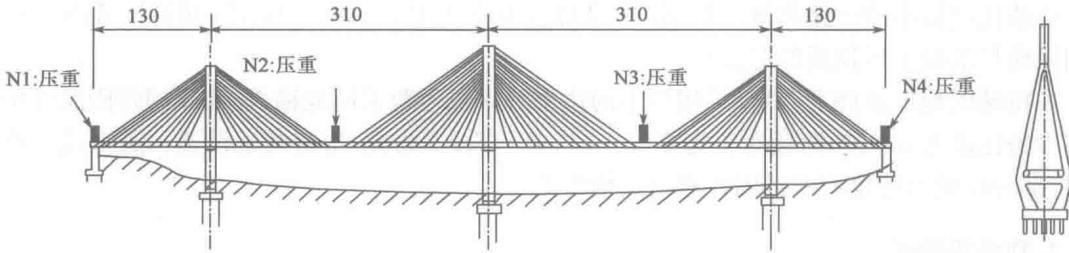


图 1-1-5 洞庭湖大桥(尺寸单位:m)

4. 辅助墩及外边孔

斜拉桥是否在边孔设置辅助墩,应根据边孔高度、通航要求、施工安全、全桥刚度以及经济和使用条件等具体情况而定。当斜拉桥的边孔设在岸上或浅滩,在边孔设置辅助墩,可以改善结构的受力状态,增加施工期的安全。当辅助墩受压时,减少了边孔主梁弯矩,而受拉时则减

少了中跨主梁的弯矩和挠度,从而大大提高了全桥刚度。

在边孔加设辅助墩的个数,应综合考虑结构需要和全桥的整体经济性确定。

辅助墩及外边孔设置构造示例见图 1-1-6。

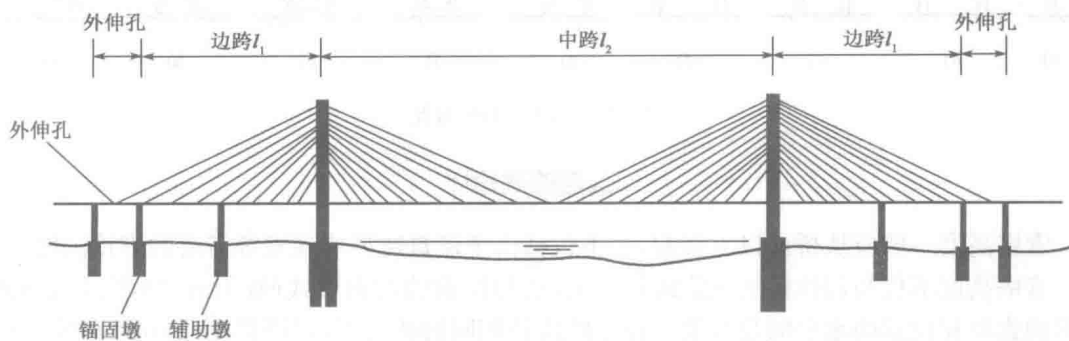


图 1-1-6 斜拉桥辅助墩的设置

第三节 索塔布置

一、索塔的形式

索塔是表达斜拉桥个性和视觉效果的主要结构物,因而对于索塔的美学设计应给予足够的重视。索塔设计必须适合于拉索的布置,传力简单明确,在结构自重作用下,索塔应尽可能处于轴心受压状态。单索面斜拉桥和双索面斜拉桥索塔塔架的纵、横向布置形式如图 1-1-7、图 1-1-8 所示。

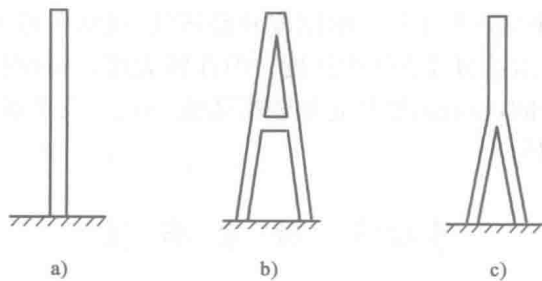


图 1-1-7 索塔的纵向布置

索塔沿桥纵向的布置有独柱式、A 字形、倒 Y 形等几种,单柱式主塔构造简单;A 字形和倒 Y 形在顺桥向刚度大,有利于承受索塔两侧斜拉索的不平衡拉力;A 字形还可减小搁置在塔上主梁的负弯矩。

索塔横桥方向的布置方式,可分为独柱形、双柱形、门形、H 形、A 形、宝石形或倒 Y 形等。

索塔纵横向布置均呈独柱型的索塔,仅适用于单索面斜拉桥。当需要加强横桥向抗风刚度时,则可以配合采用图 1-1-8g)或图 1-1-8h)的形式。图 1-1-8b)、c)、d)一般适用于双平面索的情况;图 1-1-8e)、f)和 i)一般适用于双斜索面的斜拉桥上。