



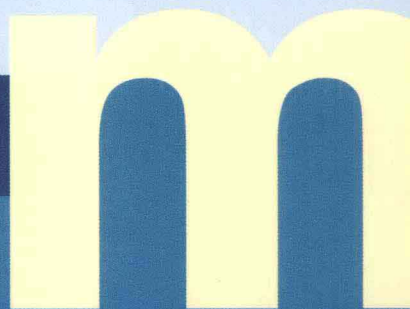
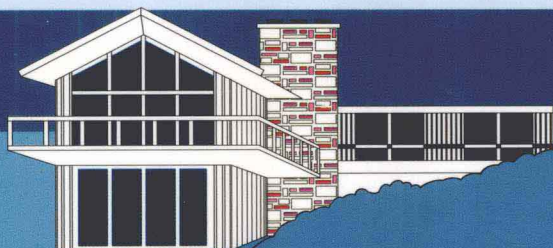
普通高等教育土木类专业“十二五”规划教材

DAKUADU QIAOLIANG



大跨度桥梁

●主审 李清富
●主编 魏建东



郑州大学出版社



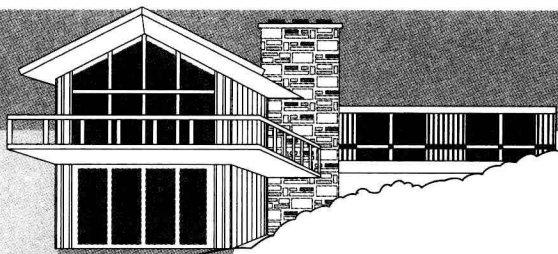
普通高等教育土木类专业“十二五”规划教材

DAKUADU QIAOLIANG



大跨度桥梁

●主审 李清富
●主编 魏建东



郑州大学出版社

郑 州

图书在版编目(CIP)数据

大跨度桥梁/魏建东主编. —郑州:郑州大学出版社,
2011.9

ISBN 978-7-5645-0391-8

I. ①大… II. ①魏… III. ①长跨桥-桥梁工程 IV. ①U448.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 264913 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:王 锋

全国新华书店经销

新乡市凤泉印务有限公司印制

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:15

字数:364 千字

版次:2011 年 9 月第 1 版

邮政编码:450052

发行电话:0371-66966070

印次:2011 年 9 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-5645-0391-8

定价:28.00 元

本书如有印装质量问题,请向本社调换

本书作者

Authors

主	审	李清富
主	编	魏建东
编	委	(以姓氏笔画为序)
		邓苗毅 向天宇
		张俊平 宗周红

前言

Preface

.....

在改革开放前,由于中国桥梁工程以中小跨径桥梁为主,没有大跨度桥梁这门课。从20世纪90年代开始,随着中国桥梁事业的进步,大跨度桥梁得到迅速的发展,我国修建的斜拉桥和悬索桥数量剧增,且随着时间的推移,大量已修建的斜拉桥和悬索桥需要管理、养护、检测和维修加固。国家需要大量这方面的专业技术人员,因此桥梁方向的本科生学习该课程是很有必要的。

为了适应时代的需要,我校在道路桥梁与渡河工程专业本科教学中设置了大跨度桥梁这门必修课。该教材内容包括第一篇——斜拉桥,第二篇——悬索桥。针对这两种桥型,讲解了它们各自的发展历史、结构体系、构造特点、设计计算和施工方法等内容。并在第一篇的最后一章介绍了当今世界上最大跨径的斜拉桥——苏通大桥,在第二篇的最后一章介绍了当今世界上最大跨径的钢箱梁悬索桥——舟山西堠门大桥。

本书由魏建东(郑州大学)主编,具体分工如下:第5章,邓苗毅(郑州航空工业管理学院);第8章,宗周红(东南大学);第10章,向天宇(西南交通大学);第11章,张俊平(广州大学);其余各章由魏建东编写。全书由魏建东通稿。郑州大学水利与环境学院道桥系李清富教授担任本书主审,为本书的出版提出了许多建设性的建议,在此表示感谢。

该书可作为土木工程专业、道路桥梁与渡河工程专业、交通工程专业等相关专业桥梁方向本科生教材,也可作为研究生进行相关研究前的自学教材,以及其他希望系统学习与了解大跨度桥梁知识的技术与管理人员参考用书。

限于编者水平有限,虽慎之又慎,书中仍难免有不当之处,敬请各位读者批评指正。

编者

2010年10月

目录

CONTENTS

▷▷▶ 1

第一篇 斜拉桥

第1章 概述	3
1.1 大跨度桥梁的概念	3
1.2 斜拉桥的发展历史	4
第2章 斜拉桥的结构体系	7
2.1 概述	7
2.2 孔跨的布置	8
2.3 斜拉索的布置与锚固张拉体系	10
2.4 桥塔的形式和桥塔的支承体系	13
2.5 主梁的支承体系	16
2.6 矮塔斜拉桥	20
第3章 斜拉桥的构造	23
3.1 斜拉索的构造	23
3.2 主梁的构造	39
3.3 索塔的构造	46
3.4 附属工程	50
第4章 斜拉桥的设计与计算	53
4.1 斜拉桥的设计	53
4.2 斜拉桥的设计计算方法	58
4.3 斜拉桥的静力计算	66
4.4 斜拉桥的抗风问题	68
4.5 可养护检修设计	70
4.6 斜拉索的精确设计计算	71
第5章 斜拉桥的施工	74
5.1 主塔的施工	74
5.2 主梁的施工	77
5.3 斜拉索的施工	85
5.4 施工控制	89

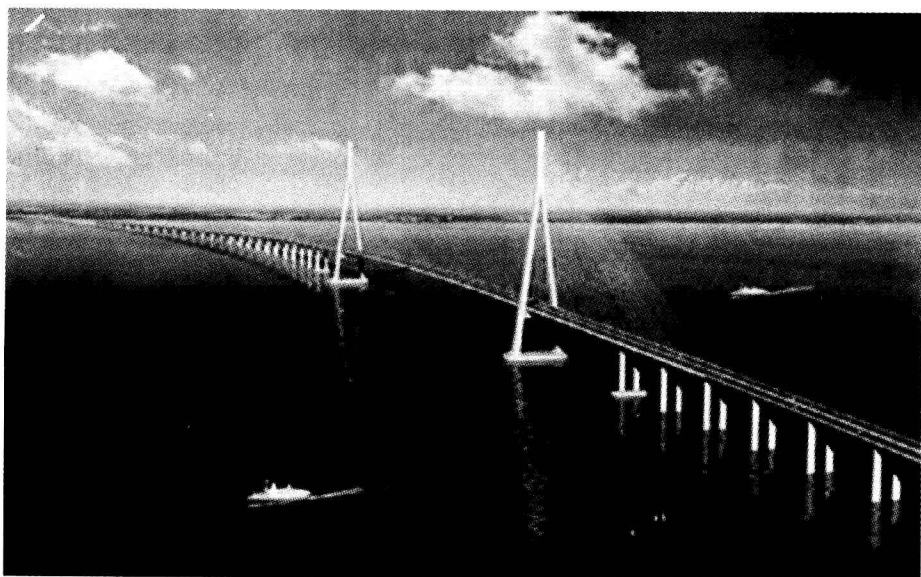
第6章 斜拉桥桥例——苏通大桥	93
6.1 工程概况	93
6.2 设计标准	94
6.3 基础与承台	95
6.4 索塔	96
6.5 斜拉索	98
6.6 钢箱梁	100
6.7 施工控制	103

第二篇 悬索桥

第7章 悬索桥概述	107
7.1 悬索桥的结构特点	107
7.2 悬索桥的结构体系	110
7.3 悬索桥的发展历史	112
7.4 我国悬索桥的发展	119
第8章 悬索桥的构造	121
8.1 主缆	121
8.2 桥塔	128
8.3 锚碇	131
8.4 索鞍	133
8.5 吊索及索夹	137
8.6 加劲梁	142
第9章 悬索桥的设计与计算	148
9.1 主缆的曲线形状的确定	148
9.2 悬索桥的总体设计	155
9.3 主缆的设计	159
9.4 吊索和索夹的设计	163
9.5 索鞍的设计	169
9.6 锚碇的设计计算	172
9.7 桥塔的设计计算	173

9.8 加劲梁的设计计算	174
第10章 悬索桥的施工	177
10.1 锚碇的施工	177
10.2 桥塔与索鞍的施工	180
10.3 猫道的架设	187
10.4 主缆的架设	192
10.5 加劲梁的施工	204
10.6 钢桥面铺装	212
第11章 悬索桥桥例——舟山西堠门大桥	213
11.1 工程概况	213
11.2 设计标准	214
11.3 双箱断面方案	215
11.4 吊索及索夹的制造	218
11.5 主缆	219
11.6 桥塔	222
11.7 锚碇	223
11.8 索鞍	225
11.9 约束系统及伸缩装置	227
11.10 加劲梁的架设	227
参考文献	229

第一篇 斜拉桥



第 1 章 概述

1.1 大跨度桥梁的概念

桥梁的上部结构中,通过铺装层承受荷载的主梁一般采用简支式或连续式。前者一般是跨中截面抗弯能力控制设计,从材料的利用来讲效率很低;后者利用支点处的卸载弯矩减小跨中的弯矩,使主梁跨内的弯矩分配更合理,以同等抗弯能力的构件截面就可扩大两支点间距离,从而提高了材料的利用效率。

梁桥就直接以主梁作为桥梁的主要受力构件,以它的抗弯能力来承受荷载,则最大跨度受到限制。目前,陆地上的预应力混凝土简支梁桥跨度在 50 m 左右,海上因可采用大型浮吊,最大跨度为 70 m 左右。再大幅度增加已不大可能,因为此时恒载产生的跨中弯矩已占跨中截面设计极限弯矩的绝大部分。预应力混凝土连续梁桥和连续刚构桥采用连续式主梁作为主要受力构件,目前前者的最大跨度为 160 m 左右,后者也只能达到 300 m 左右,且似乎也达到了极限跨度。

拱桥以拱作为主要受力构件,主梁通过立柱支撑在拱上,或通过吊杆将主梁悬挂在拱上。拱结构主要承受压力,是压弯构件,拱截面受到的压力较为均匀,材料的利用率得到极大的提高。可以利用廉价且抗压能力强的石材、混凝土与钢筋混凝土来修建。但随着跨度的增加,拱结构就存在失稳问题,特别是施工期间,稳定性更差。目前跨度最大的钢管混凝土拱桥的跨度为 460 m,钢拱桥的最大跨度为 550 m。

在材料截面利用率高的受力形式中,除受压外还有受拉,且受拉构件不像受压构件那样存在失稳问题。目前预应力钢材的抗拉强度极高,因而可以辅助主梁实现更大的跨度,对应的桥型称为缆索承重桥,主要有斜拉桥和悬索桥。

斜拉桥采用倾斜的拉索,直接将主梁受到的力传递到塔的上部,同时也对主梁产生一压力。斜拉桥的梁体用拉索多点拉住,好像多跨弹性支承连续梁。悬索桥采用吊杆先将主梁上的荷载传给主缆,再由主缆传给锚碇,在传递过程中也传给桥塔一压力。斜拉桥中的传力路径更直接,效率更高。但斜拉桥的桥塔比悬索桥的更高(约为其两倍),受压后更容易失稳,且随着跨度的增加,受压的主梁也存在失稳问题,因而跨度受到限制,目前的最大跨度为我国苏通大桥的 1 088 m。预测的斜拉桥极限跨度为 1 500 m 左右。

悬索桥主梁不存在受压失稳问题,桥塔也较低,施工中不存在大的失稳问题,因而可达到更大的跨度。目前的最大跨度为日本的明石海峡大桥,跨度 1 991 m,规划中的意大利摩西拿海峡大桥的主跨为 3 300 m。因此,目前的悬索桥跨度远未达到极限,且采用新型轻质高强复合材料制作主缆,可使极限跨度进一步增加。



目前,在 250 m 以上的跨径范围,缆索承重桥具有竞争力。对于 600 m 以上的跨径,缆索承重桥是唯一的选择。其中,1 100 m 以上的跨径,悬索桥是唯一的选择。

现行的《公路桥涵设计通用规范》中规定:主跨为 40 ~ 150 m 的称为大桥,主跨大于 150 m 的称为特大桥。这种规定是为了便于对现有桥梁的管理,本教材的大跨度桥梁专指斜拉桥和悬索桥。

在改革开放前,由于中国桥梁工程以中小跨径桥梁为主,没有大跨度桥梁这门课。从 20 世纪 90 年代开始,随着中国桥梁事业的进步,大跨度桥梁得到迅速的发展,我国修建的斜拉桥和悬索桥数量剧增,且随着时间的推移,大量已修建的斜拉桥和悬索桥需要管理、养护、检测和维修加固,国家需要大量这方面的专业技术人员。

1.2 斜拉桥的发展历史

远古时代,人们便利用天然材料修造跨越沟坎的结构物。斜拉桥也在其中,采用的一般是天然的藤蔓,或者用藤蔓编成的绳索。近代人们用钢拉杆或拉链修建了近百米的斜拉桥,风致振动使拉索断裂,以及人群超载导致的桥梁垮塌,使人们逐渐放弃了斜拉桥这种桥型。

1938 年,德国的狄辛格(F·Dischinger)首先认识到斜拉索必须施加足够的预张力来消除自重垂度带来的柔性影响,使主梁的变形保持在较低的范围。随着高强钢材的普及和发展,二次世界大战后,在欧洲桥梁重建中,开始采用斜拉桥。1955 年,狄辛格设计的第一座现代斜拉桥——斯特姆松德桥(Stromsund Bridge)在瑞典竣工,该桥主跨一举达到 182.6 m,如图 1-1 所示。紧接着德国在桥梁重建中大量采用了斜拉桥方案,如图 1-2 所示的为主跨 260 m 的杜塞尔道夫北莱茵河桥。它们都采用疏索和钢主梁结构,这也是早期现代斜拉桥的特点。

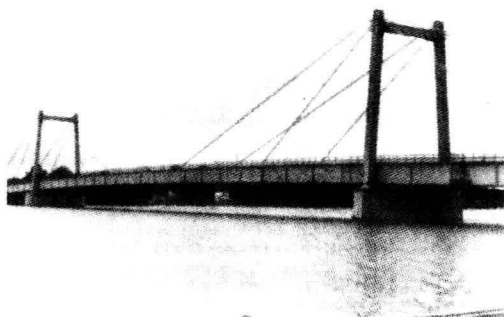


图 1-1 第一座现代斜拉桥——斯特姆松德桥

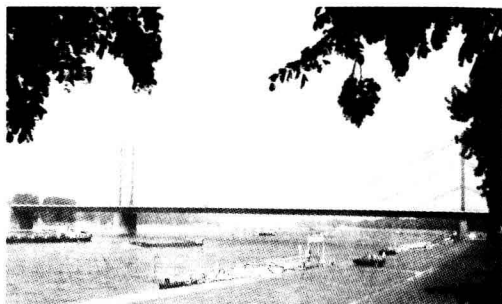


图 1-2 北莱茵河桥

1962 年建成的马拉开波桥是第一座大跨度混凝土斜拉桥(图 1-3),该桥为六塔双索面稀索体系双箱单室预应力混凝土箱梁斜拉桥,共有 5 孔,跨径 235 m,宽 17.4 m,塔高 86.6 m,梁高 5.4 m,最高处距水面 45 m。



早期现代斜拉桥采用疏索,一方面反映了当时对斜拉桥的认识和设计意图是仅用几根少量的拉索代替梁式桥的中间支墩;另一方面则是受到所能求解的超静定结构的赘余数的限制(不多于4~5次)。稀索体系要求较大的主梁刚度和额外的施工架设辅助设备,并导致拉索锚固区的构造复杂和补强、换索困难等问题,不能充分发挥斜拉桥的跨越能力和经济性的优势,特别不适宜于混凝土主梁。

随着计算机和有限元技术的发展,高次超静定结构的力学分析开始变得简单易行。1967年,联邦德国建成了主跨280 m的Friedrich Ebert桥,从此拉开了密索体系斜拉桥建设的序幕。主梁上的索距由原先的50 m降到10 m左右,使得采用双悬臂平衡施工法成为可能,方便预制吊装,也方便直接利用施工节段前端的拉索牵拉现浇施工挂篮的前端。这种施工方法也扩大了斜拉桥的适用场合,加速了斜拉桥的推广和应用。此后,斜拉桥在全世界得到迅速的发展。

我国的斜拉桥建设起步较晚,1975年建成第一座试验性斜拉桥——四川省云阳汤溪河桥(图1-4),孔跨布置为34.91 m+75.84 m+34.91 m,全长153.12 m,桥面净空为净3.1 m+2×0.25 m栏杆带,每塔的三对斜拉索由钢芯缆索组成。

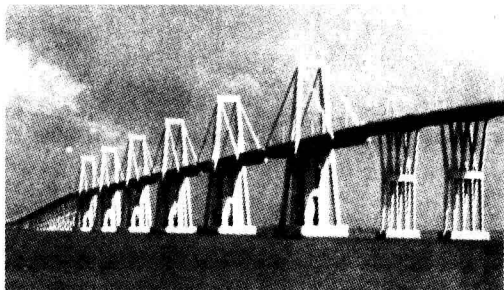


图1-3 马拉开波桥



图1-4 汤溪河桥

20世纪80年代我国已建成的斜拉桥,不计人行桥和渡槽桥,共有20余座。其中只有东营黄河公路桥为钢斜拉桥,跨度288 m,其余全部为混凝土斜拉桥,且最大跨度都没有超过300 m。20世纪90年代后我国斜拉桥跨度直接进入400~500 m,1991年12月建成主跨423 m的上海南浦大桥,1993年9月建成主跨602 m的杨浦大桥(图1-5)。该桥为双塔双索面组合梁斜拉桥,其跨度当时在世界同类型斜拉桥中雄居第一。

中国至今已建跨径400 m以上的斜拉桥20余座。其中预应力混凝土梁斜拉桥跨径已达500 m(湖北荆沙桥),排名世界第二,排名第一的是挪威斯卡恩圣特桥,跨度530 m;组合梁斜拉桥跨径达到605 m的福建青州闽江桥(图1-6);2005年建成主跨为648 m的钢箱梁斜拉桥南京长江三桥(图1-7);于2008年6月建成目前世界最大跨径的斜拉桥——苏通大桥,主跨1 088 m(图1-8)。

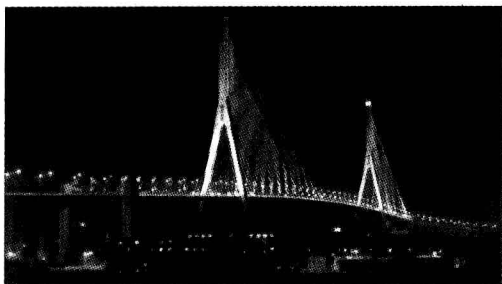


图 1-5 杨浦大桥



图 1-6 青州闽江大桥

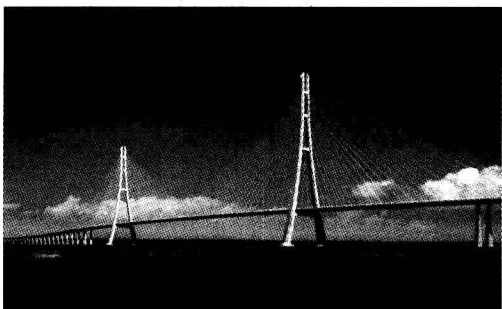


图 1-7 南京长江三桥



图 1-8 苏通大桥

目前,世界前 10 名的大跨度斜拉桥:①苏通长江公路大桥,主跨 1 088 m,2008 年建成,钢梁;②香港昂船洲桥,主跨 1 018 m,2009 年 12 月建成,钢梁;③日本多多罗桥,主跨 890 m,1999 年建成,钢梁;④法国诺曼底桥,主跨 856 m,1995 年建成,钢混混合梁;⑤南京长江三桥,主跨 648 m,2005 年建成,钢梁;⑥南京长江二桥,主跨 628 m,2001 年建成,钢梁;⑦武汉白沙洲大桥,主跨 618 m,2000 年建成,钢混混合梁;⑧青州闽江桥,主跨 605 m,2001 年建成,钢混结合梁;⑨上海杨浦大桥,主跨 602 m,1993 年建成,钢混结合梁;⑩日本名港中央大桥,主跨 590 m,1997 年建成,钢梁。

中国一跃成为斜拉桥王国,已成为世界上修建斜拉桥最多的国家,积累了丰富的经验。世界 10 大著名斜拉桥,中国占 7 座。我国斜拉桥整体水平居国际先进行列,许多成果已达到国际领先水平。

第 2 章 斜拉桥的结构体系

2.1 概述

首先介绍几个概念:

(1) 混凝土梁斜拉桥 主梁为钢筋混凝土或预应力混凝土结构的斜拉桥。

(2) 钢梁斜拉桥 主梁与桥面板均为钢结构的斜拉桥。

(3) 组合梁斜拉桥 主梁为钢结构,桥面板为混凝土结构,主梁与桥面板组合共同承载的斜拉桥。

(4) 混合梁斜拉桥 边跨的一部分或全部采用混凝土梁,主跨的大部分或全部采用钢梁或组合梁的斜拉桥。要着重解决两种不同材料梁之间的良好连接和力的平稳传递问题。

斜拉桥结构受力特点:斜拉桥是由主梁、索塔、斜拉索及基础等构成的组合体系,在边跨内可根据需要设置辅助墩。在竖向荷载作用下,主梁受压、弯作用,索塔以受压为主,而斜拉索承受拉力。斜拉索相当于增大了偏心距的体外索,充分发挥抵抗负弯矩的能力,节约钢材。斜拉索的水平分力相当于混凝土的预压力。斜拉桥主梁受力模式上可以理解为弹性支承连续梁,高跨比小,自重轻,提高跨径,可以实现较大的跨越能力。斜拉桥是具有较高超静定次数的复杂结构。图 2-1 为斜拉桥中拉索对其他构件的作用力。

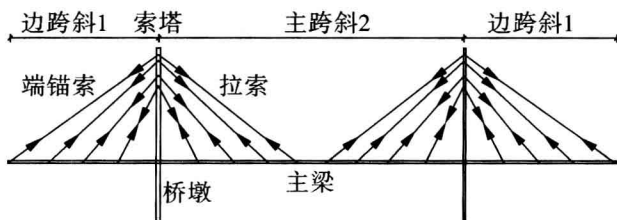


图 2-1 斜拉桥中拉索对其他构件的作用力示意图

斜拉桥结构体系研究的目的是了解不同体系下桥梁结构受力及变形特点,在设计时选择合适的体系,以改善结构在静力、动力荷载作用下的反应,减小伸缩缝、支座等装置的位移量和动力磨损。

从不同的角度出发,可得到不同的结构体系分类。常见的如根据主梁与其他构件的连接情况,可分为漂浮体系、竖向支撑体系、固结体系、弹性约束体系和阻尼约束体系等。



2.2 孔跨的布置

影响斜拉桥孔跨的因素很多,主要是桥位处的地形、地质、水文条件、通航要求以及技术条件。

主塔与相邻主塔间距离为主跨径,或称主跨;边索塔中心线至最外一根斜拉索最近的墩中心线间的距离称为边跨径;为提高结构整体刚度,改善结构受力而在边跨内设置的桥墩称为辅助墩。

主要的孔跨结构布置形式是双塔三跨式和独塔双跨式,其他形式还有单跨式、多塔多跨式以及混合形式。

2.2.1 双塔三跨式

这是常见的结构形式,示意图如图 2-1 所示,桥例如图 1-4 ~ 图 1-8 所示。结构可对称和非对称,边跨可设一个或多个辅助墩。主跨一般要满足通航净空要求的宽度,桥塔位置要求水深较浅且便于施工。增加辅助墩可减小边跨施工难度,增加结构刚度,有利于主跨的悬臂施工。

增加辅助墩的另一个好处是可减小端锚索中的拉力大小即变化幅值。在没有辅助墩的情况下,当活载作用在主跨时,端锚索应力增加较大,当活载作用于边跨时,端锚索的应力又大幅度减小。为防止端锚索疲劳破坏,需采用较粗拉索。而增加辅助墩,端锚索的这种受力状态就得到改善。

斜拉桥的辅助墩应根据全桥整体刚度、结构受力、边孔通航要求、施工期安全以及经济适用条件进行设置。

2.2.2 独塔双跨式

结构形式如图 2-2 所示,桥例如图 2-3 所示的泸州泰安长江大桥。可两跨跨河也可一跨跨河,可采用对称和不对称形式。一般是用主跨跨越主河道,边跨直达岸上。两跨比常取 $L_2/L_1 = 1.2 \sim 2.0$ 。

同样,也可在边跨增加辅助墩,桥例如图 2-4 所示。

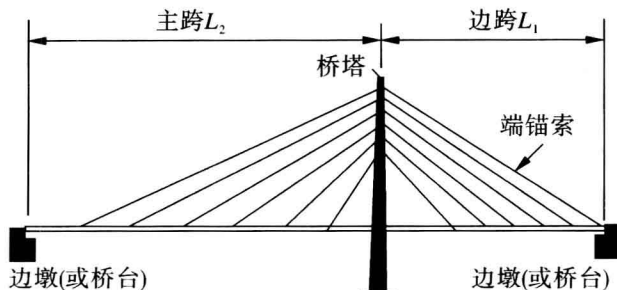


图 2-2 独塔双跨式

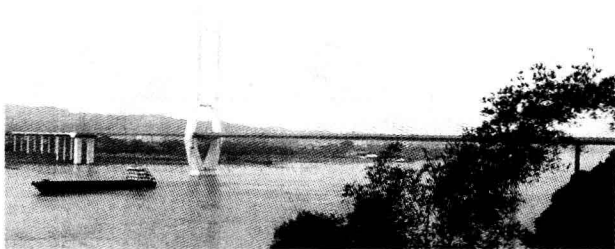


图 2-3 泸州泰安长江大桥

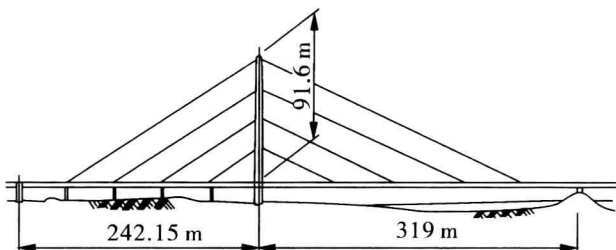


图 2-4 德国 Kine 桥

2.2.3 多塔多跨式

多塔指 3 塔及以上。适用于需要跨越较宽河流,两岸地质条件较差,不适宜修建悬索桥,且跨中水深较浅,便于修建河中索塔的情况。

桥例如图 2-5 所示的岳阳洞庭湖大桥,其跨度组合为 $130\text{ m}+2\times 310\text{ m}+130\text{ m}$ 。

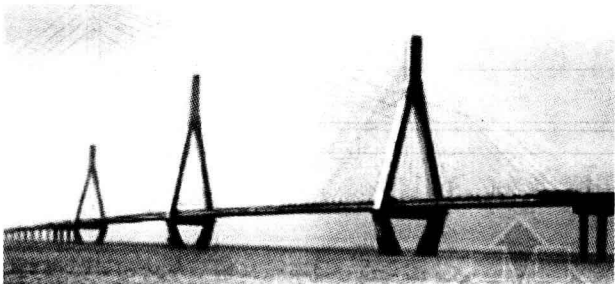


图 2-5 岳阳洞庭湖大桥

多塔形式的一个主要结构特点是中间索塔没有端锚索来有效地限制塔顶的水平变位,在一侧活载作用下会在主梁和索塔中产生很大的弯矩和位移,增加结构的柔性。为提高中间塔刚度,可增大主梁刚度,或采用纵向 A 字形索塔提高塔本身的刚度,边跨增设辅助墩。另外,最有效的是用拉索将中塔顶部锚固在相邻塔的墩上(图 2-6),这样就相当