

虎门大桥悬索桥架设

Humen Daqiao Xuansuoqiao Jiashe

机械研究与应用

Jixie Yan Yu Yingyong

武玉琴 编著

人民交通出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

虎门大桥县索桥架设机械研究与应用/武玉琴编著.
北京: 人民交通出版社, 2000
ISBN 7-114-03590-X

I. 虎… II. 武… III. 悬索桥-施工机具
IV. U448.255.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 13574 号

虎门大桥悬索桥架设机械研究与应用

武玉琴 编著

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街 10 号)

北京牛山世兴印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 12 插页: 2 字数: 307 千

2000 年 3 月 第 1 版

2000 年 3 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—3500 册 定价: 50.00 元

ISBN 7-114-03590-X

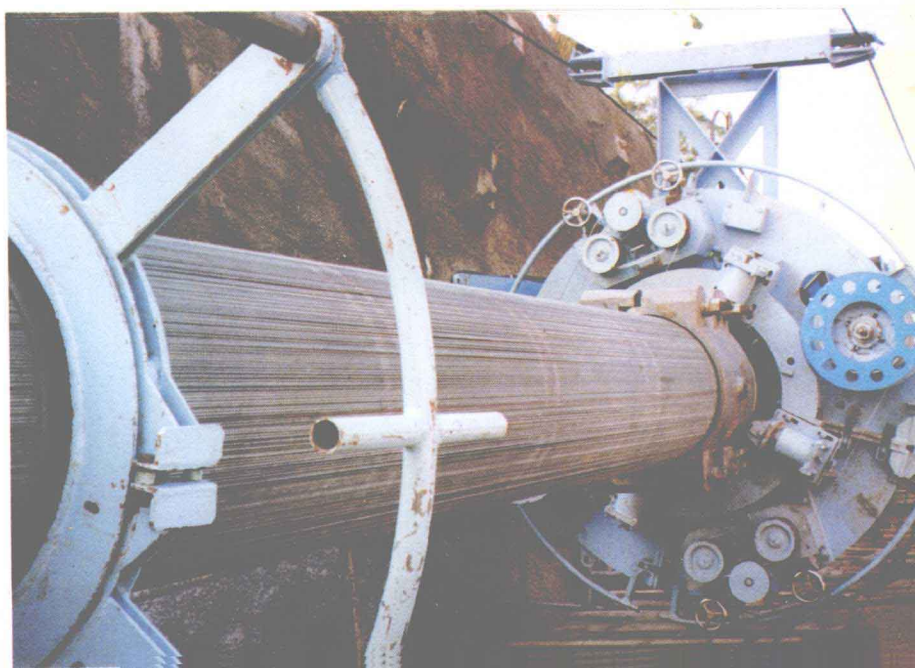
U · 02591



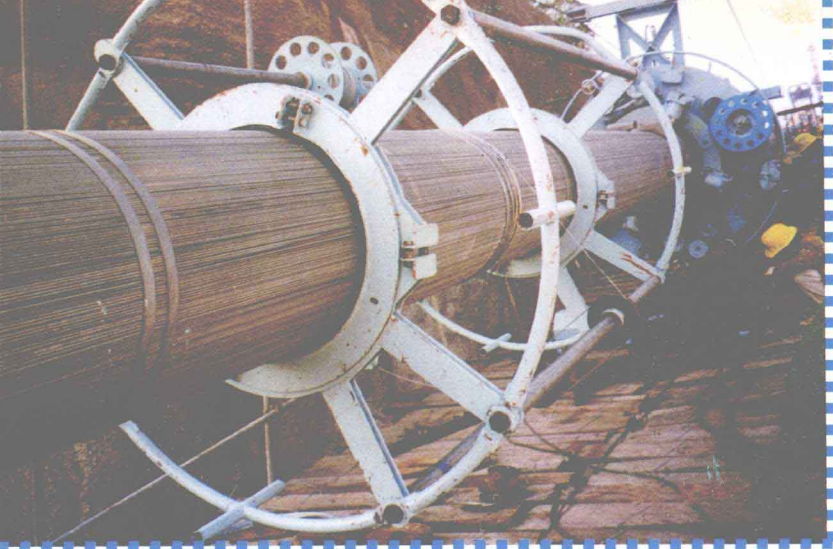
彩图 1 虎门大桥架设主缆夜景



彩图 2 紧缆后的主缆

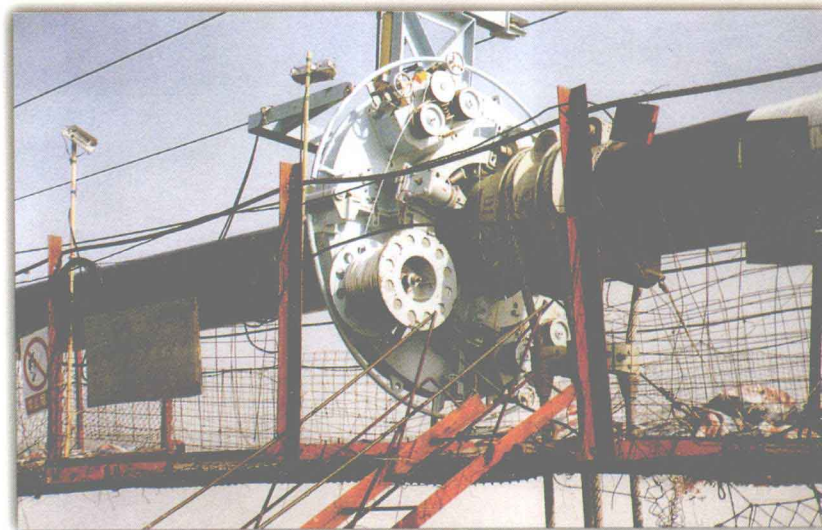


彩图 3 虎门大桥缠丝机



彩图 4 虎门大桥手动缠丝机

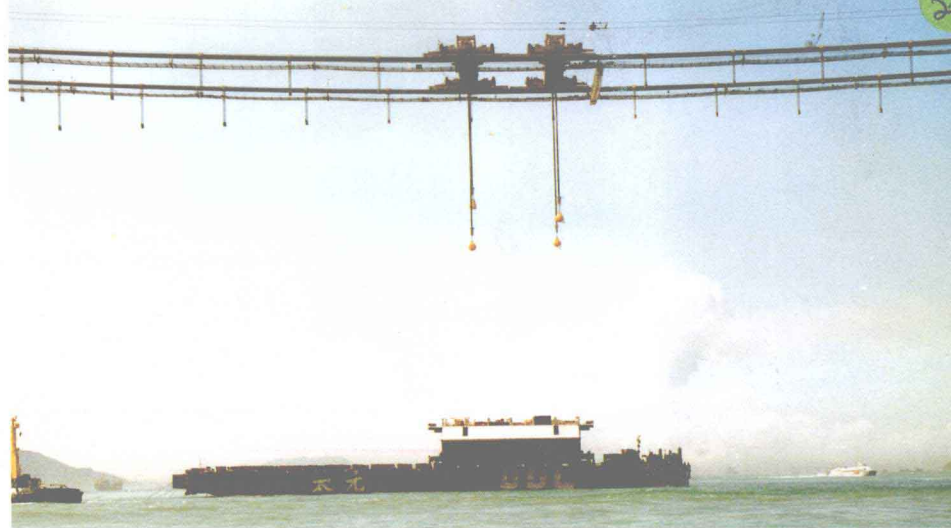
彩图 5 缠丝机在主缆上缠丝



彩图 6 液压提升跨缆
起重机提升钢箱梁



彩图7 青马大桥吊装钢桁架梁



彩图8 卷扬式跨缆起重机提升钢箱梁



彩图9 卷扬式跨缆起重机工作位置图



彩图 10 虎门大桥卷扬式跨缆起重
机吊装钢箱梁



彩图 11 已架设好的虎
门大桥

内 容 提 要

本书共分两篇:第一篇介绍了悬索桥主缆 PWS 法和 AS 法制索工艺与方法,重点介绍了紧缆机的研究方法、制造及施工工艺;缠丝机的性能和施工工艺;第二篇介绍了加劲钢箱梁的制造、吊装方法,重点介绍液压提升跨缆起重机和卷扬机提升跨缆起重机的研究方法、制造及施工工艺。

本书可供桥梁工程设计、科研、管理、养护、施工的工程技术人员及高等院校桥梁工程专业、起重运输机械专业师生阅读参考。

序

1992年虎门大桥正在建设施工当中,当时我经常到虎门大桥工地现场办公,认识了西安公路交通大学研究生毕业的武玉琴同志,在与她讨论大跨径悬索桥钢箱梁吊装机械设备问题时,觉得她勤奋、好学、肯钻研,有较高的理论水平。于是,我要求她将这些设备的研究方法、施工组织设计、施工工艺、方法及使用说明进行系统的归纳整理,并从理论上加以论述形成此书。又因为考虑到企业的利益及进一步完善问题,所以迟至今日才出版。

悬索桥代表了桥梁科学的最高水平。据不完全统计,迄今为止,全世界已建成跨度250m以上的悬索桥95座,其中500m以上的悬索桥50座,1000m以上的悬索桥16座。已有学者论证,当跨度超过600m时,悬索桥是最合理的桥型。当跨度超过2000m,悬索桥将是惟一可选择的桥型。可以说,悬索桥是一种最古老的桥型,也是发展前景最远大、建设规模最壮观、结构最精巧、潜力最大的桥型。这种桥型的诞生和发展史,也是人类征服江河湖海、深山峡谷、变天堑为通途的文明史,桥梁学者的聪明才智可以在悬索桥设计和施工中得到最充分、最完美、最精深的体现。虎门大桥为双向六车道、主跨径888m,是我国第一座自行设计、自行施工的悬索桥。该工程是我国现代化悬索桥的起步工程,其选型决策意义十分重大,它的建成标志着我国的建桥水平已步入世界先进行列。

现代悬索桥是在先进的理论指导下完成的,从1823年Navier首次发表悬索桥的弹性理论静力计算方法开始,到后来其他学者相继提出的“挠度理论”、“简单线性挠度理论”、“一般挠度理论”,这些都为悬索桥的建造奠定了理论基础,也为悬索桥向更大跨度发展准备了理论依据。悬索桥对材料,尤其对构成主缆的钢丝,其强度极限、耐腐蚀性等要求很高。这些参数的变化都将直接影响到悬索桥的建造长度、宽度及使用寿命。悬索桥用钢量大,大型钢构件的制造、加工精度和质量要求高、工艺复杂。特别是上部施工需要多种大型专用设备,施工难度大,这类大型专用设备在我国都属首次使用,为了提高我国建桥的技术水平,减少对国外技术的依赖,广东省交通厅将这些难度较大的工艺和设备,如制索工艺、牵索工艺、吊重设备、紧缆设备等申报了交通部重点科技攻关项目,经过五年的努力,虎门大桥的建设者们依靠自己的力量,设计研究出了一批先进的施工工艺及施工机械设备,在虎门大桥的施工中都得到了成功的应用,并且都通过了省、部级科技成果鉴定,其中某些设备的技术达到或超过了国际同类产品先进水平。

总结所取得的成绩和所走过的弯路,可为今后悬索桥施工提供宝贵的经验,也可使其他建桥者从中吸取经验教训。随着我国经济的发展,大跨悬索桥的增加,这本书的出版对悬索桥的施工有一定的指导意义。



1999年10月20日

前 言

大跨径悬索桥一般由锚碇、主塔、主缆(包括鞍座)、吊索(包括索夹)、加劲梁五大部分组成。这五个组成部分中,锚碇是大体积混凝土结构,主塔通常也采用混凝土建造。虽然这两个部分在施工方面有一定的难度,但均属于混凝土结构大型常规工程。其他的三个部分,一般称之为上部工程,属于特殊的大型钢结构工程,其制造、安装精度要求高,又多是高空作业,工艺复杂,技术要求高,施工难度大,许多施工工序的实施要依靠悬索桥专用的施工设备才能完成。本书以虎门大桥悬索桥为主,介绍了我国近期建成的大跨径悬索桥上部施工中的牵索制索施工工艺及各类大型专用悬索桥施工机械设备。

对于主缆施工方法,我国大陆近期建造的悬索桥都采用 PWS 法施工,为促进我国发展大跨径悬索桥的发展,本书还较详细地介绍了香港青马大桥 AS 法的主缆施工工艺及其他一些机械设备。

在本书的编写过程中,得到香港青马大桥总工程师刘正光博士,广东省交通厅曾跃汉、王文韶、王志仁、刘陌生、曾苏、董波、王树林、房金钱高级工程师,交通部水运科学研究所丁晓帆副研究员,交通部公路科学研究所高俊元副研究员的帮助和指导,在此表示感谢!

由于编者水平所限,本书难免有缺点和不足之处,敬请读者批评指正。

作者

目 录

总论	(1)
一、悬索桥的特点	(1)
二、悬索桥的发展	(1)

第一篇 主缆制作、架设与设备

第一章 综述	(5)
第一节 现代悬索桥主缆的组成材料和技术要求	(5)
一、主缆的组成	(5)
二、镀锌高强钢丝	(6)
三、主缆的施工质量要求	(7)
四、防腐要求	(7)
第二节 悬索桥主缆索股编制架设方法	(7)
一、现代长大悬索桥平行钢丝主缆编制架设方法	(7)
二、空中纺丝法(air strads)简称 AS 法	(7)
三、预制索股法(prepared wire strads)简称 PWS 法	(8)
四、AS 法与 PWS 法优缺点比较	(9)
第二章 PWS 法主缆制作与架设索股	(10)
第一节 概述	(10)
第二节 索股制作工艺与设备	(11)
一、索股制作	(11)
二、预制索股所需的主要机具	(11)
三、索股编制要求	(12)
四、编制索股的步骤及方法	(12)
第三节 架设索股工艺与主要设备	(17)
一、牵引系统	(17)
二、门架式牵引系统构造与设备	(20)
三、轨道小车牵引索股	(24)
四、牵引用卷扬机	(25)
第四节 索股架设	(31)
一、概述	(31)
二、索股架设工序	(31)
三、索股线形监控条件	(37)
四、索股绝对标高的调整	(37)

五、一般索股相对标高的调整	(40)
六、索股锚跨张力的调整	(42)
七、索股调整精度标准	(43)
第五节 整形器	(43)
一、初整形	(44)
二、连续整形	(44)
三、握索器	(45)
四、正六边形整形器	(46)
第三章 AS 法施工制作主缆工艺	(48)
第一节 概述	(48)
一、AS 法编制主缆索股的基本方法	(48)
二、索股支座的构造	(48)
三、施工主要设备及安装	(48)
第二节 AS 法施工一般步骤与方法	(50)
一、纺丝原理及施工过程	(50)
二、注意事项	(50)
三、钢丝的调整	(51)
第三节 纺丝制索股的一般方法(以青马大桥为例)	(52)
一、概述	(52)
二、空中送丝法	(52)
三、基本送丝过程	(54)
四、牵丝过程	(56)
第四章 紧缆设备	(68)
第一节 概述	(68)
第二节 国内外紧缆机简介	(68)
第三节 虎门大桥用紧缆机的结构特点及其参数的确定	(71)
一、结构特点	(71)
二、紧缆机主要技术参数的确定	(72)
三、虎门大桥悬索桥紧缆机技术指标的确定	(74)
第四节 虎门大桥悬索桥研制的紧缆机模拟试验	(75)
一、调试试验	(75)
二、模拟试验	(75)
三、试验结果	(77)
第五节 虎门大桥悬索桥紧缆机的使用	(78)
一、紧缆机使用的基本步骤	(78)
二、紧缆机的安装	(79)
三、紧缆机的使用	(79)
第六节 虎门大桥悬索桥紧缆机施工工艺	(82)
一、紧缆前的准备工作	(82)

二、预紧缆	(83)
三、正式紧缆	(85)
第五章 主缆防护与缠丝设备	(87)
第一节 主缆的防护措施与施工	(87)
一、各防护层的作用	(87)
二、主缆防护涂装实施	(88)
第二节 缠丝机概述	(90)
第三节 汕头海湾大桥缠丝机的结构特点	(90)
一、结构特点	(90)
二、缠丝机的主要技术参数	(92)
三、缠丝机性能	(93)
第四节 虎门大桥缠丝机尺寸和容量	(93)
第五节 缠丝试验	(93)
一、模拟在主缆倾斜的最大坡度上安装缠丝机	(94)
二、缠丝试验	(94)
三、张力试验	(94)
四、焊接试验	(95)
五、速度试验	(96)
六、跨越索夹试验	(97)
七、汕头海湾大桥缠丝机的试验	(98)
第六节 缠丝机的安装	(99)
第七节 缠丝前的准备工作	(100)
第八节 缠丝工艺	(102)
第九节 手动缠丝机	(106)
一、概述	(106)
二、手动缠丝机的结构	(106)
三、主要技术参数	(107)
四、基本原理	(107)
五、手动缠丝机的试验	(108)
第十节 总结	(108)
一、不能自动跨越索夹	(108)
二、缠丝机行走靠卷扬机牵引所存在的问题	(108)
三、缠丝机工作过程中出现的问题	(108)
四、缠丝机工作时速度不宜太快	(108)
五、安全措施	(109)

第二篇 加劲梁的制造、架设设备

第六章 悬索桥加劲钢箱梁制造、架设方法与设备	(110)
第一节 综述	(110)

一、悬索桥加劲梁一般构造与制造架设方法	(110)
二、主要施工设备	(111)
三、悬索桥加劲梁吊装方法	(111)
四、国外悬索桥采用垂直吊装加劲梁节段及架设设备	(113)
五、汕头海湾大桥悬索桥吊装设备	(115)
第二节 虎门大桥悬索桥加劲钢箱梁的架设方案	(117)
一、虎门大桥悬索桥加劲钢箱梁吊装工况	(118)
二、加劲钢箱梁吊装方案	(118)
第七章 液压式跨缆起重机	(129)
第一节 液压提升跨缆起重机的结构特点及设计参数的选择	(129)
一、结构特点	(129)
二、主要参数的选择	(132)
三、各部件技术性能及主要参数	(133)
第二节 液压跨缆起重机的工业性模拟试验	(134)
一、试验目的	(134)
二、试验方法	(134)
三、试验步骤	(134)
四、试验总结	(136)
第三节 液压提升跨缆起重机的安装	(137)
一、液压提升跨缆起重机的安装	(137)
二、液压提升跨缆起重机的纵移和定位	(141)
第四节 液压提升跨缆起重机的使用	(142)
一、起重机的移位	(142)
二、待吊前的准备工作及提升注意事项	(142)
三、停车待吊	(142)
四、吊装加劲钢箱梁	(143)
五、加劲钢箱梁到位及吊索的安装	(143)
第五节 吊装加劲钢箱梁的注意事项	(143)
第八章 青马大桥液压跨缆起重机	(146)
第一节 概述	(146)
第二节 液压提升跨缆起重机的设计	(146)
一、起升机构的设计	(146)
二、移动机构的设计	(147)
三、安全机构的设计	(148)
第三节 液压提升跨缆起重机的安装	(148)
第四节 吊装钢桁梁节段	(149)
第九章 卷扬机提升跨缆起重机	(151)
第一节 卷扬机提升跨缆起重机的结构特点及参数的确定	(151)
一、结构特点	(151)

二、跨缆起重机结构及性能参数	(151)
三、性能参数	(153)
第二节 4 吊点同步起吊及控制系统	(154)
第三节 跨缆起重机的移动与稳固机构	(156)
第四节 多层卷绕和大起重吊装系统	(158)
一、吊装用卷扬机	(158)
二、吊装钢箱梁卷扬机的使用要求	(159)
三、卷扬机的传动形式	(159)
四、卷扬机的技术参数	(159)
五、卷扬机的结构形式和特点	(159)
六、卷扬机的布置	(160)
七、卷扬机的维修与保养	(161)
第五节 卷扬机提升跨缆起重机的工厂制造	(161)
一、跨缆起重机制造中的主要工作和措施	(161)
二、技术重点、难点的控制	(161)
第六节 卷扬机跨缆起重机工业性模拟试验	(162)
一、工业性模拟试验的目的	(162)
二、工业性模拟试验的项目	(163)
三、试验所需设备	(163)
四、工业性模拟试验大纲	(164)
第七节 卷扬式跨缆起重机在主缆上的安装	(166)
一、卷扬机的布置及安装	(166)
二、安装平台	(168)
三、塔顶改向滑轮的安装布置	(168)
四、托辊托绳架的安装	(169)
五、跨缆起重机缆上部分的安装	(170)
第八节 卷扬式跨缆起重机的使用	(174)
一、卷扬机的使用	(174)
二、液压泵站的使用	(174)
三、行走、跨越索夹	(175)
四、停车待吊	(175)
五、起吊钢箱梁	(176)
第九节 卷扬式跨缆起重机的维修与保养	(176)
第十节 卷扬机提升跨缆起重机的拆除	(178)
参考文献	(180)

总 论

一、悬索桥的特点

(1) 悬索桥是一种能充分发挥材料受拉性能,比如高强镀锌钢丝作为主要承重结构的桥梁,因此它能跨越比较大的江河、峡谷、海湾,在施工和营运中均不或极少干扰通航,是较为理想的一种大跨径桥型。

(2) 悬索桥的两个主塔和两个锚碇一般可布设在岸上和浅水区,避免了大型深水施工和防撞措施。因此,可以减少桥梁基础施工的难度,有利于缩短工期,降低工程造价。

(3) 悬索桥悬吊系统构件如加劲梁依托主缆进行吊装,工期短,施工较为安全,这对沿海有台风危害地区建桥更具有特殊意义。

(4) 悬索桥外型较为美观,与环境比较协调。

(5) 悬索桥的造价跨径在 600m 以上可与斜拉桥竞争。但是,现代长大跨径悬索桥毕竟是一种超大型高科技最自然的建筑物,它较一般常规的桥梁涉及专业门类多,用钢量大,超大型的钢构件的制造、加工、精度和质量要求高,工艺复杂。特别是上部构造需要大型专用设备多,施工难度大,一般建造长大跨悬索桥必须具有强大的综合国力作为基础。

二、悬索桥的发展

(一) 悬索桥发展概况

悬索桥是古老的跨越交通障碍的结构物,在现代桥梁中,悬索桥代表了桥梁科学技术的最高水平。据不完全统计,迄今为止,全世界已建成跨度 250m 以上的悬索桥 95 座,其中 500m 以上的悬索桥 50 座,1000m 以上的悬索桥 16 座。已有学者论证,当跨度超过 600m 时,悬索桥将是最合理的桥型。当跨度超过 2000m 之后,悬索桥将是惟一可选的桥型,悬索桥的最大可能跨度可达 2620 ~ 4240m。因此说,悬索桥既是一种最古老的桥型,也是发展前景最远大、建设规模最壮观、结构最精巧、潜力最大的桥型。这种桥型的诞生和发展史,也是人类征服江河湖海、深山峡谷、变天堑为通途的文明史。桥梁学者的聪明才智可以在悬索桥设计和施工中得到最充分、最完美、最精深的体现。

(二) 古代悬索桥

举世公认,中国是古代悬索桥的发源地,古代悬索桥最初以藤索、竹索为承重结构,称之为藤桥或笮桥。有据可考的藤桥是我国云南藤龙川东江藤桥。史书记载,“系藤为桥于上以渡,桥阔十四五丈”。最早的竹桥应是举世闻名的由李冰建造的都江堰笮桥(公元前 256~251 年)。

中国是炼铁术出现最早的国家,据考证,“至迟在春秋晚期(公元前 6 世纪末),中国就可以锻造铁器”。因此,中国也是铁悬索桥出现最早的国家。据史书考证,远在神龟元年(公元 518

年)中国西域已建成铁索桥。史书云:“从钵卢勒国向乌场国,铁锁为桥,悬虚而度,下不见底,傍无挽捉”。最早的铁链桥出现在汉宣帝甘露4年,比欧洲1741年建成的英国Tees河桥早1800多年。我国1706年建成并使用至今而完好无损的四川泸定铁索桥(跨越大渡河,长100m,宽2.8m),更可以堪称古代铁链悬索桥的杰出作品。

英国最早的铁链悬索桥是1741年建成的Tees河桥,跨度21.34m,宽0.63m,使用61年之久。美国最早的铁索桥是1809年建成的新褒兰坡桥,主跨约62m,宽13m。法国是1821年,德国和沙俄是1824年才有铁索桥。无论建造年代、规模和技术水平都不及中国。

(三) 近代悬索桥

从18世纪中叶到19世纪末是近代大跨度悬索桥的产生和发展时期。在这个时期,欧美各国相继完成了工业革命,冶炼技术有了长足的发展。19世纪末汽车工业蓬勃兴起,为发展大跨度、大承载力的悬索桥准备了物质基础和社会要求。因此,从那时开始,悬索桥在美英等资本主义发达国家,得到很大的发展。这时期悬索桥的发展可概括为4个方面。

1. 奠定了悬索桥的计算理论

1823年Navier首次发表了关于悬索桥的弹性理论静力计算方法,1858年Rankine等学者相继完善了弹性理论计算方法,1887年至1888年间,Ritter和Melan等学者提出了“挠度理论”,对缆索的非线性变形问题进行了计算分析。1894年Godard注意到随着悬索桥跨度的增加,活载与恒载之比变小,由活载所产生的缆索水平拉力的增量所分担的荷载降低值也相对变小,进而论证了可以省略挠度理论中的基本微分方程的二次项,提出了简单的线性挠度理论。这些理论研究,为Steinman(1935年)和Timoshenko(1928年)创立“一般挠度理论”奠定了基础,也为悬索桥向长大化发展准备了理论依据。

2. 缆索型式和材料的改进

1816年J. Finley在美国建造Achuykill桥(跨度124.36m)时,首次采用三根直径9.53mm的黄铜丝作缆索。1823年欧洲开始用钢缆建造悬索桥,至1883年修建纽约Brooklyn桥时,开始使用高强钢丝做悬索桥的主缆。1896年G. S. Morrison在修建Hudson河铁路悬索桥时,提出采用封闭式钢绞线索代替平行线状钢缆,促进了缆索工厂化制造技术的产生。

3. 出现了新施工方法

最具代表性的是在19世纪中叶出现了平行钢丝缆索空中架线法。1831年C. Bender把空中架线法引进美国,后由J. A. Roebling予以改良和完善,于1855年应用此法建成了Niagara桥,而成为后来主缆架设的基本方法之一。

4. 出现了一系列大跨度公路悬索桥

可以作为近代悬索桥事例的有:

最早的钢缆悬索桥是J. Finley 1816年设计并修建的美国Schuykill桥,跨度124.36m。欧洲最早的钢缆悬索桥是H. Dufour于1823年建造的。近代悬索桥的代表作品是美国1883年建造的Brooklyn桥。该桥跨度组合为284m+486m+284m,桥总宽26.2m。采用4根钢缆,每根钢缆中采用了5282根直径4.57mm的钢丝,钢丝容许应力高达323.4MPa,该桥使用了百年之久,这是19世纪建成的跨度最大,使用年限最久的悬索桥。

(四) 现代悬索桥

20世纪后,特别是20世纪50年代至今的40年间,悬索桥以现代高科技新技术为基础,