

缆索支承桥梁

—— 概念与设计 (第二版)

尼尔斯J. 吉姆辛(丹麦) 著
金增洪 译
戴 竞 审

人民交通出版社

缆索支承桥梁

概念与设计

(第二版)

尼尔斯 J. 吉姆辛(丹麦)	著
金增洪	译
戴 竞	审

人民交通出版社

Cable Supported Bridges—Concept & Design

Copyright © 1983, 1997 by John Wiley & Sons Ltd,

Baffins Lane, Chichester,

West Sussex PO19 1UD, England

著作权合同登记号:图字 01-2001-5368

图书在版编目(CIP)数据

缆索支承桥梁:概念与设计/(丹麦)吉姆辛著;金增洪译. —北京:人民交通出版社, 2001 .8
ISBN 7-114-04030-X

I. 缆... II. ①吉... ②金... III. 悬索桥—设计
IV. U448.25

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 055597 号

缆索支承桥梁—概念与设计

(第二版)

尼尔斯 J. 吉姆辛(丹麦) 著

金增洪 译

戴 竞 审

责任编辑:张征宇 吴德心

正文设计:孙立宁 责任校对:刘高彤 责任印制:张 凯

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

北京鑫正大印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:23.5 字数:584 千

2002 年 2 月 第 1 版

2002 年 2 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—3000 册 定价:68.00 元

ISBN 7-114-04030-X

U · 02941

第二版前言

缆索支承桥梁第一版手稿是在 1980 ~ 1982 年写作的。那时作者以顾问身分参加由主持大带桥设计与施工业主所组织的 Statsbroen Store Baalt 桥梁技术委员会—从 1976 ~ 1978 年的设计期间,对斜拉桥(跨径超过 850m)和悬索桥(跨径超过 1800m)大量的不同设计做了全面的调查研究,在那期间,要写一部涵盖斜拉桥和悬索桥两种桥型专著的想法已酝酿成熟。在 1979 年,丹麦政府决定延迟修建大带桥(Great Belt Bridge)并将设计工作停顿 5 年,准备手稿的时机终于来临了,这给我有充裕时间从事写作工作。

大带桥修建的第二次进展是在 1987 年,当时丹麦政府批准建立新的法人组织(AS Storebæltsforbindelsen)。作者被任命为技术顾问,能够再一次参加超大跨径缆索支承桥梁的设计工作,当时的形式为:跨径 900 ~ 1200m 的斜拉桥,和跨径 1000 ~ 1800m 的悬索桥。

新评估的结果,确定以主跨径为 1624m 的悬索桥,作为跨越大带海峡实际建设方案。但几年后,作者有机会设计一座重要斜拉桥,作为跨越分隔丹麦和瑞典之间的厄勒桑特(Øresund)海峡的桥梁。现在作者是设计组的成员,受 ASO 集团的委托,对跨越弗林纳特(Flint)航道的 490m 双层斜拉桥做出设计。

在 20 世纪 90 年代,与这些桥梁设计工作相平行的,两者都达到了实际施工阶段,我又有机会参加曾设想过的两座最大桥梁的改进设计。在 1986 ~ 1992 年间,我是跨越墨西哥(Messina)海峡跨径达 3300m 桥梁的国际设计委员会成员;1992 ~ 1993 年受联合国非欧经济委员会的委托为直布罗陀(Gibraltar)跨海桥梁方案做研究评估报告。这些桥梁研究,包括跨径 2000 ~ 5000m 的多跨悬索桥。

大带悬索桥的详细设计在 1993 年结束,而在 1993 年末至 1994 年初为厄勒桑特斜拉桥做基本设计。所以,这些有价值的经验,是参与构思和设计这些大跨缆索支承桥梁时获得的,奠定了这部关于缆索支承桥梁新书的基础,同时该书已付诸出版商印刷。

与修订第一版书相关工作的重要部分是于 1995 年早春在奥斯汀(Austin)的德克萨斯大学延期时完成的,同时这样的安排是作者的同事、德克萨斯大学教授勃岭(J. E. Breen)作出的,对此表示感谢。

在德克萨斯大学期间,全部经费支持来自克诺特-霍夏特基金(Knud Højgaard Foundation),而与第二版手稿准备有关的其它活动经费,在很大程度上靠作者于 1991 年所接受的萨克锡尔特奖(Saxild Price)。

第二版手稿准备任务,更应感谢丹麦科技大学结构工程系的支持,特别感谢琴逊(B. Jensen)夫人、玛敦斯(E. Martens)夫人和勃雷姆逊(C. Bramsen)先生为文字处理、绘图和照相复制所做的工作。

丹麦科技大学 尼尔斯 J. 吉姆辛(Niels J. Gimsing) 1996 年 8 月

译者的话

吉姆辛(Niels. J. Gimsing)是丹麦科技大学教授,丹麦运输部顾问,大带(Great Belt)桥与厄勒桑特(Øresund)桥的技术顾问,墨西拿海峡桥国际设计委员会成员,在国际桥梁工程界享有盛誉。

《缆索支承桥梁——概念和设计——》第二版是尼尔斯 J. 吉姆辛教授在大带桥和厄勒桑特桥设计过程中结合设计中提出的许多问题作了系统研究,不断深化构思写成此书。本书论述范围宽广,旁征博引的参考文献从 1932 年到 1995 年共计 158 件,涉及世界著名缆索支承桥梁达 101 座。在理论与实践方面,均有精湛阐述和分析。书中图文并茂,插图和照片共 835 幅,是一部有价值的桥梁工程专著。

近年来我国交通运输业发展迅速,为跨越大江大河、海湾和海峡,建造了或正在建造多座大型缆索支承桥梁。如主跨径 1385m 的江阴公路长江大桥、建设中主跨径达 1490m 的润扬长江公路大桥,在世界悬索桥行列中分别列第五和第三;主跨径达 628m 的南京长江二桥,在世界钢箱梁斜拉桥行列中列第三,即将建成的湖北荆州长江公路大桥,主跨径达 500m,在世界预应力混凝土斜拉桥行列中列第二。在这些重大桥梁的建设中,我们在理论上和实践上都积累了丰富和宝贵的经验。但我们仍需要与国际上多方进行交流,吸取国际先进技术和成熟的经验,使我国桥梁技术有更大的发展。《缆索支承桥梁》一书,介绍了许多国际桥梁理论和设计、施工、安装以及架设的成熟经验,对我国桥梁工作者是大有裨益的。因此,我们勉力翻译此书,以资交流。

原书在编排过程中出现的一些错误,译者尽最大的努力作了更正。

在翻译过程中,由于译者的学术水平和实践经验所限,错讹之处在所难免,谨请读者不吝指正。

茅以升桥梁大奖获奖者戴竞教授,为了将本书及早翻译推荐给读者,以九十高龄不辞辛苦积极与尼尔斯 J. 吉姆辛教授联系和商讨版权问题,以后又多次与英国约翰威尔出版社联系,终达成协议。在本书翻译过程中戴竞教授克服视力困难,亲自审阅译稿,并不吝指正。

中交公路规划设计院总工程师张喜刚和副总工程师鲍卫刚对翻译工作自始至终给予热情关怀和支持。

对上述同志在此一并表示衷心的感谢。

译者 2001/4/10

吉姆辛(尼尔斯 J. Gimsing)教授来信

Dear Mr. Dai Jing

Thank you very much for your letter of 18 May 2000 requesting authorization of publishing a Chinese translation of "CABLE SUPPORTED BRIDGES".

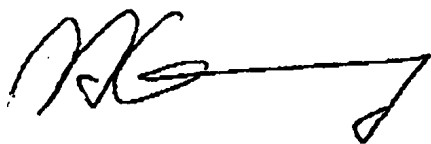
I should welcome very much to have the book printed in a Chinese version so you will have no difficulty in receiving my full approval.

I must, however, inform you that the copyright for this book does not belong to me but to the publisher John Wiley & Sons. Therefore, you have to reach an agreement with this company.

From the negotiations leading to publishing of a Japanese version of the book I know that John Wiley & Sons was very reasonable regarding the copyright free/royalty to be paid, so I would expect that you could get favorable conditions also for a Chinese edition.

I sincerely hope that you will be successful in your contact with John Wiley & Sons, so that you can proceed with the plan to publish "CABLE SUPPORTED BRIDGES" in Chinese.

Thank you and best regards

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized initials 'N' and 'J' followed by a long horizontal line that ends in a small hook.

Niels J Gimsing

31 May 2000

目 录

引言	1
1. 缆索支承桥梁的演进	5
2. 缆索	64
2.1 缆索的基本类型	64
2.2 防腐	75
2.3 机械性能	79
2.4 作为结构构件的单索	82
2.5 缆索的静力分析	93
2.6 缆索的弯曲	107
2.7 单索的动力特性	114
3. 缆索体系	119
3.1 悬索体系	130
3.2 扇形体系	145
3.3 竖琴体系	159
3.4 悬索和斜拉索组合体系	168
3.5 大跨径桥梁的部分地锚斜拉索体系	176
3.6 多跨缆索体系	178
3.7 横向荷载作用下的缆索体系	195
3.8 空间缆索体系	199
3.9 缆索体系的振动	204
4. 加劲梁	213
4.1 加劲梁的作用	213
4.2 支承条件	218
4.3 恒载弯矩分布	224
4.4 横截面	230
4.5 加劲梁的空气动力特性	250
5. 索塔	259
6. 缆索的锚固和联结	287
6.1 单索股的锚固	287

6.2 缆索和加劲梁之间的联结 294

6.3 主缆和吊杆之间的联结 299

6.4 缆索和索塔之间的联结 302

6.5 缆索和锚碇块之间的联结 308

7. 架设 317

参考文献 350

索引 361

引言

在桥梁体系的家族中,缆索支承桥梁以其征服大跨径的能力而著称。实际上,缆索支承桥梁对跨径从 200m 到 2000m(并可超出)的范围内具有竞争力,因此覆盖了现今跨径范围约 90%。

对绝大多数的缆索支承桥梁,结构体系可分为四种主要构件,如图 0.1 所示:

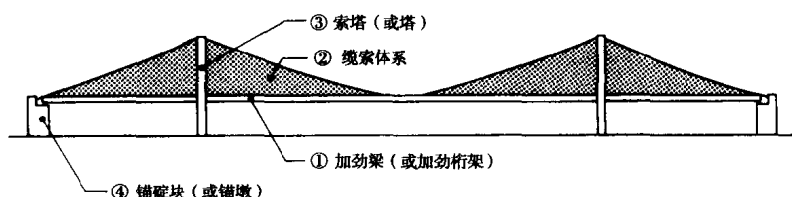


图 0.1 缆索支承桥梁的主要构件

- (1)具有桥面的加劲梁(或桁架);
- (2)支承加劲梁的缆索体系;
- (3)支承缆索体系的索塔;
- (4)竖向和水平支承缆索体系的锚碇(或锚墩),在极端情况下,只有竖向支承。

依据缆索体系的外形构造,缆索支承桥梁的不同类型具有不同的特征。

悬索体系(图 0.2)包括抛物线主缆和把主缆与加劲梁联结在一起的竖向(或微斜)吊杆(索)。

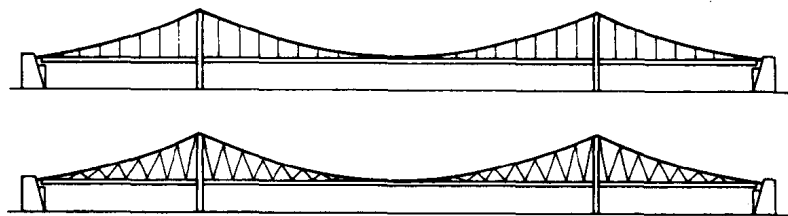


图 0.2 有竖吊杆(上)和有斜吊杆(下)的悬索桥

斜拉索体系(图 0.3)由联结加劲梁和索塔的许多直索组成。在扇形体系中全部斜拉索从塔顶扩散,而在竖琴体系中则采用平行的斜拉索。

除了两种基本斜拉索体系(扇形体系和竖琴体系)外,还经常有中间体系存在。因此为了分隔索锚点和简化构造细节,采用修正扇形体系,充分扩散在塔顶上的索锚点。

包含悬索和斜拉两体系的联合体系(图 0.4),早在 19 世纪就应用于桥梁建筑中,最著名的是布洛克林桥采用扇形斜拉索作为抛物线缆和竖吊杆的辅助体系。

缆索支承桥梁最普遍的形式是三跨桥梁,有一大的主跨和两侧较小的边跨,如图 0.5(a)。但在特殊的斜拉桥中,有一种非对称双跨布置,一较大的主跨和一较小的边跨[图 0.5(b)],或具有两相等主跨的对称布置[图 0.5(c)],这种体系也曾许多情况下使用。

到目前为止,只在极少情况下,才采用有几个相等主跨的多跨缆索支承桥梁(图 0.6)。

在现代斜拉桥中,一般选用较多数量的斜拉索,以致每一索可由单股索制成。这种索易于

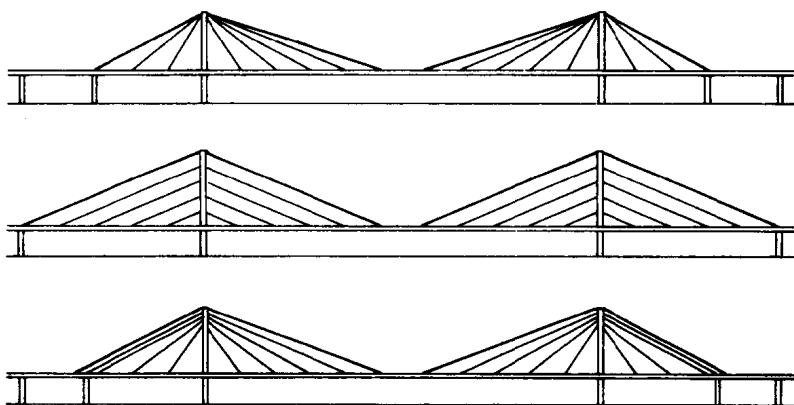


图 0.3 斜拉桥体系:(上):纯扇形体系;(中):竖琴体系;(下):修正扇形体系

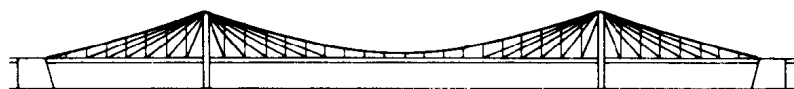


图 0.4 悬索和斜拉索组合体系

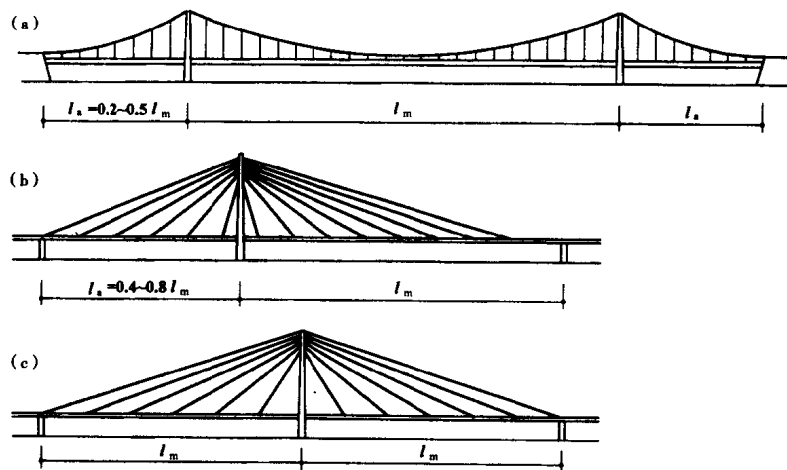


图 0.5 三跨和两跨缆索支承桥梁

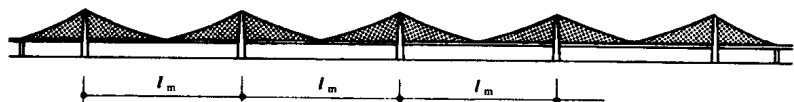


图 0.6 多跨缆索支承桥梁

安装,也特别容易替换,而且对加劲梁提供了连续支承(图 0.7)。

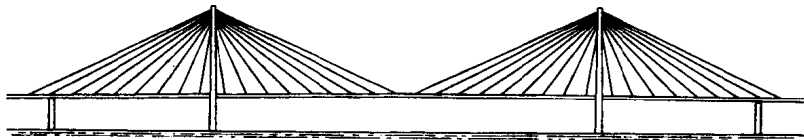


图 0.7 密索体系斜拉桥

除缆索的外形外,缆索支承桥梁也可用锚固在端部的缆索体系表现其特色。

在地锚体系中,缆索力的竖向和水平两分量传给锚碇[图 0.8(a)]。在自锚体系中,锚固索索力的水平分量传给加劲梁,而竖向分量由锚墩承受[图 0.8(b)]。

原则上地锚和自锚两种体系,既可应用于悬索桥上也可应用于斜拉桥上。但实际上地锚体系主要应用于悬索桥,自锚体系主要应用于斜拉桥。

在桥梁横向,缆索体系的布置可以采取许多不同方案。

在悬索桥中,所采取的布置,是沿桥面两边缘用两个竖向索面支承(图 0.9)。采取这种布置(也在许多斜拉桥中见到)使梁在竖向和扭转方向受到缆索体系的支承。

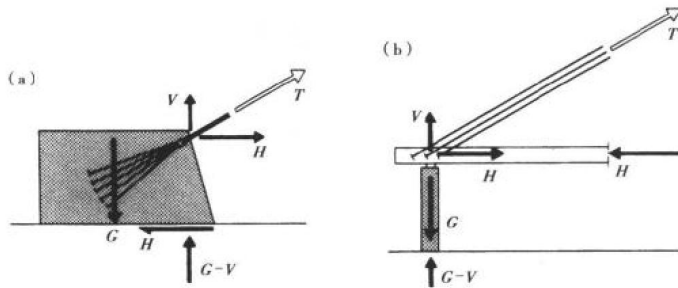


图 0.8 在地锚体系(a)和自锚体系(b)中,边跨拉索和锚墩(块)的连接

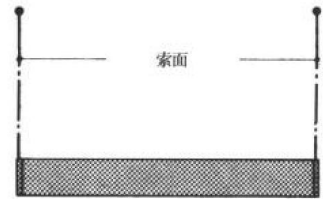


图 0.9 沿桥面梁边缘连结的两竖向索面体系

如果桥面被分成三个互相隔离的车行道,即中间为铁路或有轨电车带,两翼为道路带,两个竖向索面可布置在中间带和两翼之间[图 0.10(a)]。如果中间带承受重荷载而且索面沿桥面边缘悬挂,在梁的横向将引起很大弯曲,这种布置是特别应引起注意的。因而,有的桥将索面从边缘向桥面中间推移,缆索体系提供的抗扭支承极大地减小。索面从桥面边缘向中间适当推移,使悬臂部分作为自行车道和人行道[图 0.10(b)]。

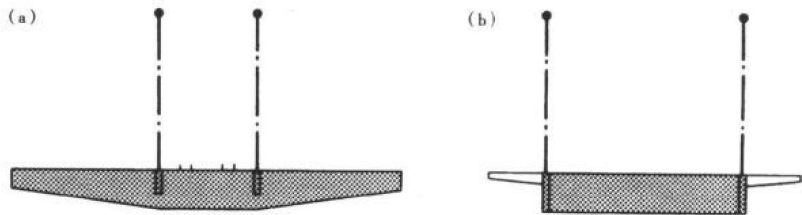


图 0.10 位于三个分隔车道间的双竖向索面体系

采用两个以上索面(图 0.11),可以从 19 世纪末和 20 世纪初美国一些大型悬索桥中看到。在具有宽大桥面的桥梁中,多于两个索面仍然是可以考虑的,因为承受横向荷载所需的材料可以大大减少。

在许多斜拉桥中只采用一个竖向索面(图 0.12)。采用这种布置,梁在竖向依靠缆索体系支承,因而扭矩必须通过加劲梁自身来传递,这要求采用具有很大大抗扭刚度的箱梁。

在 A 形索塔的斜拉桥中,斜向索面(图 0.13)与桥面边缘联结,并在顶部交汇。采用这种布置,梁在竖向和在扭转方向两者全由缆索体系承担。

总的说来,必须强调的是,要取得缆索支承的最大效率,必须采用能给予梁在竖向和扭转两者支承的密索体系。因此,一座真正的缆索支承桥梁,应当包含两(或更多)个索面与加劲梁边缘(或其附近)联结。

在承担车辆荷载的缆索支承桥梁中,通常,缆索体系的布置,首先要承担起支配作用的竖向荷载;但在承担管线的桥梁中,可采用既有竖向又有水平向支承作用的空间缆索体系(图

0.14)。对承受车辆荷载的桥梁,曾提出包括向外倾斜的索面或辅助的水平索面类似体系的建议,但这些建议,至今还未达到建造阶段。

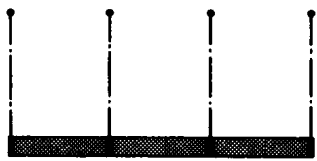


图 0.11 位于外侧和三个分割车道间的四个竖向索面体系

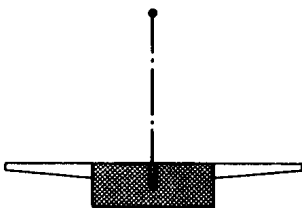


图 0.12 有一个中心索面的体系

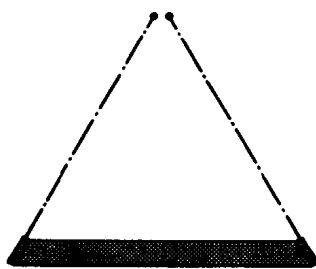


图 0.13 有两个倾斜索面的体系

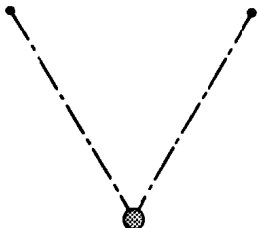
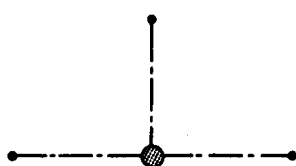


图 0.14 由两个倾斜索面或一个竖向和两个水平索面组成的空间缆索体系的管道桥



1. 缆索支承桥梁的演进

由悬挂的绳、链或缆索承担荷载,跨越某种障碍的原理自古以来就已使用。但一直到1823年,由法国人迈克·塞格英(Marc Seguin)用冷拔铁丝构成缆索支承首座永久性桥梁才在日内瓦建成,他是五个弟兄之一,在随后的20年里,在欧洲建成数百座悬索桥。所有这些桥梁都有合适的尺度,它们标志着迈向更动人结构的重要一步,为后人所仿效。

细钢丝应用于主要承载构件引起许多问题,特别是其耐久性。在那个时代一种有效的防腐方法尚未找到,因此,一些领导潮流的工程师,倾向于采用双眼铰接杆组成悬链作为主要承重构件来修建悬索桥。

这一原则为英国工程师托马斯·泰尔福特(T. Telford)首先应用在跨越通航远洋船只海峡的首座桥梁上,即门纳伊桥(Menai Bridge)。该桥是沟通英国本土与恩捷尔斯岛之间的桥梁(图1.1)。此桥主跨176m,由每根长2.9m的熟铁双眼杆装配起来形成的链来支承。该桥于1826年建成通车。

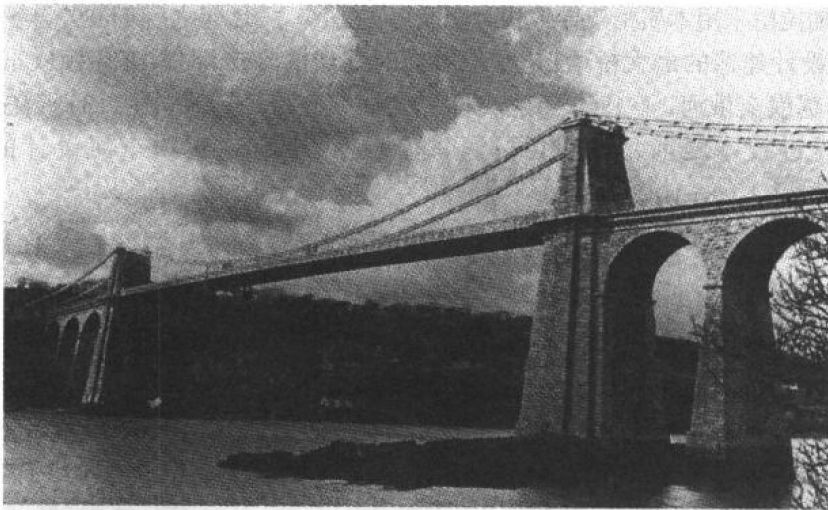


图 1.1 横跨门纳伊海峡的悬索桥

19世纪英国工程师通常喜欢链支承,而且建成许多有名的桥梁。其中最著名的有克列夫顿(Clifton)悬索桥,原为布鲁内(I. K. Brunel)所设计,但直到他去世后才真正建成。此桥在1864年开通,包括214m的主跨,这是一令人难忘的跨径,因为链的锻铁强度与密度之比,只有现代缆索钢材的1/5,甚至还要小(图1.2)。

为了安装眼杆链,必须建造一条从两塔顶支点到两锚碇之间的临时走道。就克列夫顿悬索桥的临时走道而论,它是由钢丝绳支承的,所以缆索支承原理已在施工中得到实际应用。

链式支承也应用于欧洲大陆的许多桥梁上,但这里,在较大程度上还是不能与缆索支承悬索桥相竞争。因此,几十年来,在欧洲发现最大跨径桥梁,是在瑞士弗里堡跨越莎林谷以钢丝支承的大吊桥(Grand Pont)。该桥在1834年建成,主跨273m,大吊桥的4根主缆由1000根以上

钢丝拧成 20 股组成主缆,每一股在场地上组装后单独提升就位。此桥服务了近一个世纪,直到 1923 年才最终毁坏。

在全世界范围内,瑞士的跨径记录,直到 1849 年才被建于美国跨越俄亥俄(Ohio)河的威林(Wheeling)悬索桥所打破。此桥主跨 308m,由总数 12 根平行钢丝索所承担,道路的每边各有 6 根钢丝索。

威林桥现仍存在,虽然并非是其原样。该桥完工五年后,于 1854 年被一阵猛烈狂风所吹倒,尔后重建,又于 1872 年进一步用扇形斜拉索体系加强。用斜拉索加强悬索桥的原理,原先是在建造跨越尼亚加拉峡谷悬索桥时引进的。此桥由著名桥梁设计者约翰·罗勃林(John A. Roebling)设计的,他出生在德国,于 25 岁时移居美国。

尼亚加拉桥在 1851 年到 1855 年间施工,而且是首座采用空中纺线法编缆的重要悬索桥,这一体系是由罗勃林发明的。

在当时,尼亚加拉桥并非是当时最大跨径的悬索桥,但由于该桥事实上承担了铁路和公路两种荷载,虽然跨径才 250m,这仍然是一项令人瞩目的成就。尼亚加拉桥最不寻常的特色是两桁架间的上层有铁路桥面,下层有公路桥面。

尼亚加拉桥另一不寻常的特色是使用木质桁架。这在今天似乎是一种笨拙的结构材料组合,但必须记住,那是北美铁路建设的草创时期,对跨越河流和峡谷的桥梁,木材是优先使用的材料。

由于尼亚加拉桥采用木质桁架导致相对寿命短,在服务了 42 年之后于 1897 年必然要更换。

罗勃林所设计建造的最大桥梁,是在他健在时建成的辛辛那提-康芬顿(Cincinnati-Covington)桥,该桥跨越俄亥俄河,于 1866 年建成,以 322m 突破跨径记录(图 1.3)。在他最先进的设计中,每采用先进技术之前,均通过试验。这就是为了跨越纽约东河设计的布洛克林桥(Brooklyn Bridge)。



图 1.2 克列夫顿悬索桥

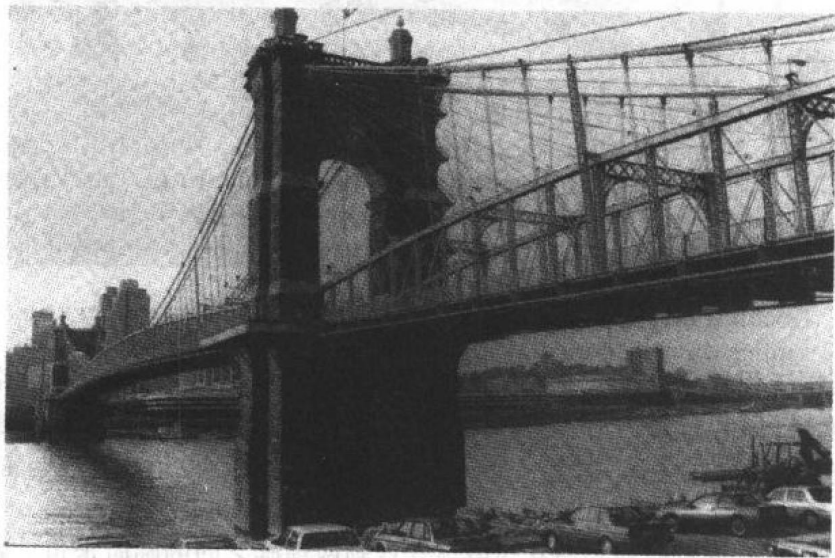


图 1.3 辛辛那提和康芬顿间跨越俄亥俄河的悬索桥

布洛克林桥

在曼哈顿岛和长岛之间跨越东河的布洛克林桥被誉为现代悬索桥的鼻祖,于 1869 年罗勃

林去世之前在很大程度上已做好了细部设计,不久后此桥开始建设,这是他事业中最大的桥梁。1883 年建成通车的布洛克林桥,主跨几乎达到 500m(486m)、边跨为 286m,缆索支承长度超过了 1km,或更确切是 1058m。

根据罗勃林在几座悬索桥设计和施工中的经验和通过他对事故的研究,例如对 1854 年威林桥垮塌事故的研究,罗勃林对空气动力问题已获得深刻的理解。这里清楚地指出他自己对布洛克林桥概念的描述:“但我的结构体系完全不同于从前的实践,我以一种特殊观点曾设计过东河桥(布洛克林桥的原有称呼)使其完全满足强风的破坏力。同样理由,在我计算必需的支承强度时,已分配一大部分内力给斜拉索以代替缆索的作用。”

这一描述,证明罗勃林深切知道斜拉体系比悬索体系刚劲,事实上布洛克林桥(图 1.4)的斜拉索承担了很大一部分荷载,这能从主缆在斜拉索承担很大一部分永久荷载部分的挠曲比唯一由主缆承担全部荷载的中心部位的挠曲要小的外形探测到。



图 1.4 跨越纽约东河的布洛克林桥

斜拉体系在布洛克林桥(图 1.5)中的功效,被罗勃林的如下意见清楚地所论证:“斜拉索单独支承力是 150MN;充分地支承起桥面荷载。如果将斜拉索移去,桥在中心部分会下沉,但不会掉下去。”

罗勃林开始从事工程事业,是在桥梁设计更多地考虑艺术的时期,直观和视野更重于科学,这使他有必要取得缆索支承桥梁结构特性的深刻理解。当他对结构性能提高了判断能力后,他就能设计极其复杂的结构,他能以相对简单的计算结合他的直觉理解,对所有结构构件给出适当的尺寸。

对布洛克林桥的情况,所采用的体系是高次超静定体系,每一根斜拉索都可能是赘余构件。根据所有构件之间建立起变形协调的弹性理论的精确计算,将涉及到实际上无法进行的大量数值计算工作,因而通过规定构件之间力的合理分配,并始终保证满足总体平衡,而需要抵抗破坏的安全度是可以达到的。

罗勃林后的一代的工程师受过教育,集中精力在计算工作上,需要有一个更严格的数学模型。由于高次超静定体系将导致无法逾越的大量数值计算工作,选择的结构方案,就要照顾到计算能力,这在许多方面后退了一步。其结果是,象布洛克林桥所采用的缆索体系,不得不用许多较简单的体系来替代。

在 19 世纪的后半叶里,悬索桥计算的有效理论全是一阶理论,例如,从 1858 年朗金

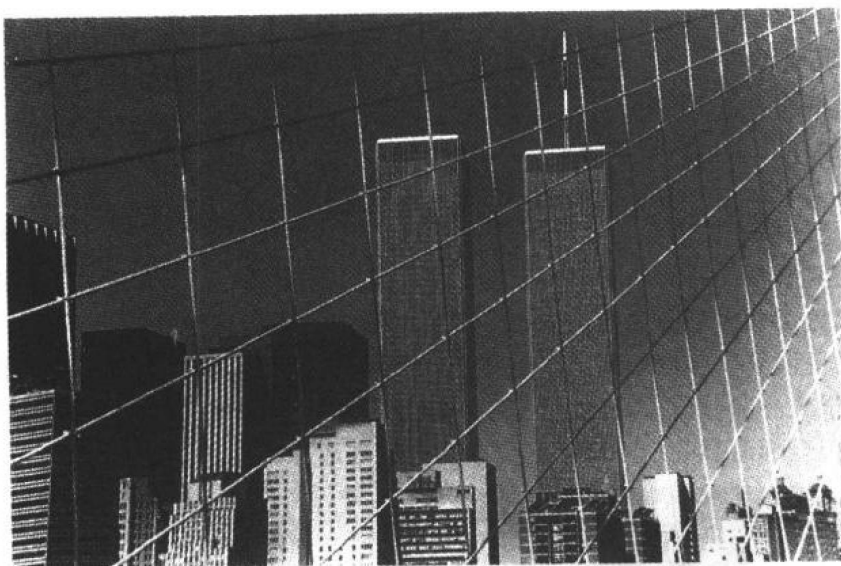


图 1.5 从桥面上看布洛克林桥的缆索体系

(Rankine)提出处理具有两铰和三铰加劲梁的悬索桥理论。这一理论首先合理地考虑缆索和加劲梁之间的相互作用。以后,在 1868 年的一阶理论中,错误地称谓“弹性”理论,莫里斯·列维(Maurice Levy)在其论文“刚性悬索桥计算实例”中作了进一步发展。

在威律姆斯伯格(Williamsburg)桥中可清楚地看出计算影响结构布置的倾向,这是纽约跨越东河的第二座桥梁(图 1.6),在 1903 年开放交通。此桥主跨 488m,正好比布洛克林桥的主跨径大 2m。



图 1.6 跨越纽约东河的第二座桥梁—威律姆斯伯格桥

使用实用数学模型的目的,反映在结构布置上无悬挂的边跨,唯一限定是悬挂的主跨是简支的,以及无任何象布洛克林桥所采用的附加斜拉索。加之加劲桁架的高度很大,为跨长的 $1/40$,可以看作力图获得与实际结构的性能相符的、仅考虑一阶效应的数学模型(忽略由于结点位移引起几何改变)。

威律姆斯伯格桥正好证明考虑用计算来控制设计时,并不能经常得到满意的结果,尤其是

与布洛克林桥相比较。斯泰曼(D. B. Steinman)在他写的桥梁及其建设者一书中关于威律姆斯伯格桥写道:“笨拙的塔设计和过高的桁架,结构呈现出圆滑和笨拙的外观,这标志着从一极端摆到另一极端;因此就存在相反的倾向,在以后悬索桥设计中趋向越来越追求柔细和优美观的倾向。”

布洛克林桥和威律姆斯伯格桥在外形上有相同之处,那就是在中跨主缆的布置与加劲桁架有关;在两桥中,主缆从桁架上弦下面通过,到达主跨中心时,一直通到下弦。这种布置正好是从经济观点出发,塔的高度和吊杆长度,在给定的主缆垂度下,减少了与桁架高度相等的一段距离,如图 1.7 所示。在现代悬索桥中,主缆一般在全跨范围内均布置在加劲桁架的上方,这样无疑地在外形上更胜一筹,因为主缆曲线更易被显示出来。在有细长加劲梁的现代悬索桥中,节约的部分要比其桁架高度占据主缆垂度 25% 的威律姆斯伯格桥小得多。

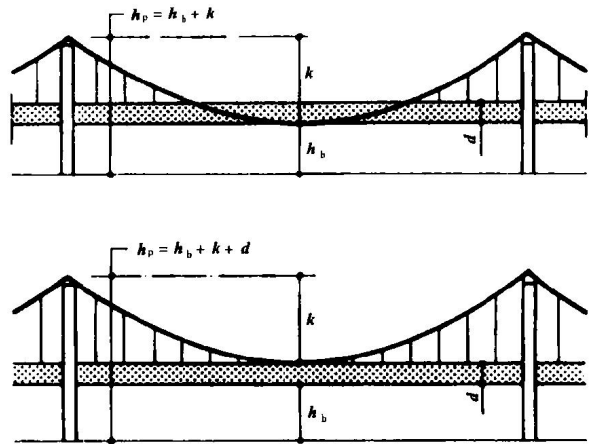


图 1.7 主缆相对于加劲桁架的位置:

上图是早期悬索桥优先布置方式;下图是现代悬索桥优先布置方式

跨越东河第三座悬索桥是摩伊塞夫(L. S. Moisseiff)设计的曼哈顿(Manhattan)桥,此桥于 1909 年建成通车(图 1.8)。

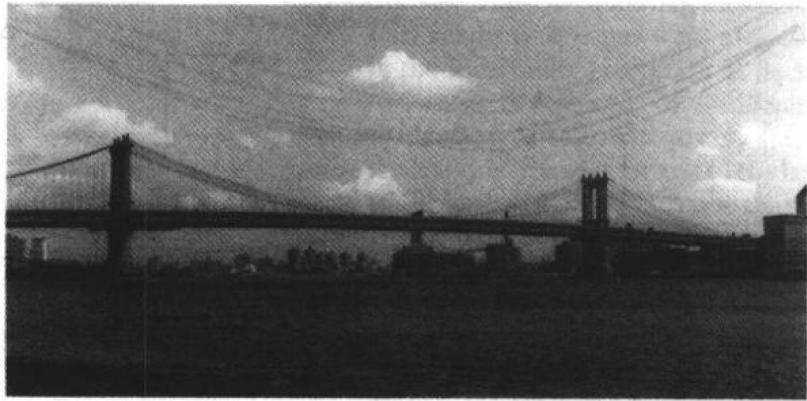


图 1.8 跨越纽约东河的第三座桥梁—曼哈顿桥

挠度理论

在悬索桥的演进中,曼哈顿(Manhattan)桥由于采用米兰(Melan)于 1888 年在维也纳提出的“挠度理论”进行分析的第一座重要悬索桥而著名。挠度理论是在车辆荷载作用下在计算加劲梁弯矩时考虑了主缆位移的二阶理论。因此对挠曲体系要比对初始恒载的几何体系建立平衡