

**STAYED
BRIDGES:** 40 Years of
Experience Worldwide



斜拉桥

——世界范围内40年的理论和技术

[德] Holger Svensson / 著

张戎令 王学伟 王 亚 冷 冰 / 译

杨子江 / 审



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

斜拉桥

——世界范围内 40 年的理论和技术

[德] Holger Svensson 著
张戎令 王学伟 王 亚 冷 冰 译
杨子江 审



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

内 容 提 要

本书由德国德累斯顿大学 Holger Svensson 教授编著,其国际桥梁领域具有很高的知名度,原版于 2012 年由威利出版社出版。本书总结了世界范围内 40 多年来斜拉桥的发展,系统介绍了斜拉桥的发展概述、发展历史、斜拉索、斜拉桥的一般设计、斜拉桥的施工、典型斜拉桥实例,并对斜拉桥未来的发展进行展望。

本书可作为桥梁工程技术人员的参考书,也可供相关技术人员和大专院校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

斜拉桥——世界范围内 40 年的理论和技术 /
[德] Holger Svensson 著;张戎令等译. —北京:
人民交通出版社股份有限公司,2018. 10

ISBN 978-7-114-13828-7

I. ①斜… II. ①Holger… ②张… III. ①斜拉桥
①U448.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 312180 号
著作权合同登记号 图字:01-2018-6624

书 名:斜拉桥——世界范围内 40 年的理论和技术

著 作 者:[德] Holger Svensson

译 者:张戎令 王学伟 王 亚 冷 冰

责任编辑:李 喆

责任校对:刘 芹

责任印制:张 凯

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.ccpres.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:北京印匠彩色印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:34

字 数:797 千

版 次:2018 年 10 月 第 1 版

印 次:2018 年 10 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-13828-7

定 价:265.00 元

(有印刷、装订质量问题,由本公司负责调换)

作者简介

Holger Svensson 在工程设计、施工,以及世界各地的斜拉桥和其他大跨度桥梁的监理等方面拥有丰富的经验。

在德国,他参与了 Kocher 峡谷桥的校核和 Flehe 斜拉桥的详细设计。

在美国,他设计了几座斜拉桥:帕斯科—肯纳威克大桥(混凝土桥)、东亨廷顿大桥(混凝土桥)、阳光大道桥(组合结构桥)、伯灵顿大桥(组合结构桥)和跨越休斯敦航道的贝敦大桥(组合结构桥)。

在挪威,他负责海尔格兰大桥的设计;在苏格兰,他为利文河大桥的设计提过建议。两桥均为混凝土斜拉桥。

在瑞典,他曾担任过 Höga Kusten 悬索桥(主跨 1210m)、Sunningsund 桥和 Ume Älv 组合斜拉桥的监理工程师。

在澳大利亚,作为澳大利亚国际发展署的成员,他为格里布岛悉尼混凝土斜拉桥和越南 My Tuan 桥的设计提过建议。

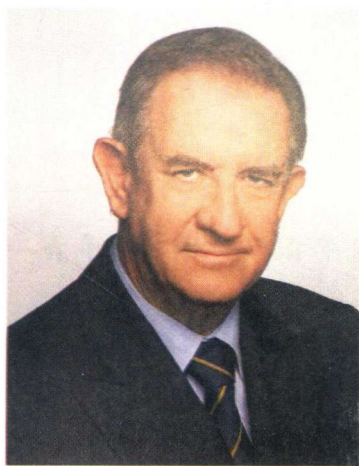
作为亚洲开发银行的国际专家成员之一,他评估了由亚洲开发银行资助建设的破纪录的组合结构斜拉桥杨浦大桥(主跨 602m,中国上海)的设计与施工。

在中国香港,他对大屿山机场的汲水门大桥的设计和施工提出了建议。他也负责德国和其他地方几座主要梁桥和拱桥的设计。

任职

现任:柏林德国工程师协会会员;美国职业工程师;英国资深注册工程师。

曾任:南非土木工程学会会员;加拿大职业工程师;中国香港工程师协会会员;澳大利亚昆



Prof. Dipl.-Ing. Holger Svensson

职业工程师,注册工程师,结构工程资深专家

1945 年出生于德国汉堡

1969 年毕业于德国斯图加特大学

2009—2011 年间任讲师,2012 年至今是德国德累斯顿大学斜拉桥领域的教授

1970—1971 年在南非和博茨瓦纳的投资人瑞格那里任职

1972—2009 年 LAP 的设计顾问工程师和监理工程师,主要是斜拉桥方面

1992—2009 年任执行理事

1998—2008 年任执行委员会发言人

2009 年任董事长

2010 年开始任独立的顾问工程师

士兰注册专业工程师;马来西亚职业工程师。

会员身份

2003—2011 年任国际桥梁与结构工程协会副主席;德国铁路桥梁顾问委员会委员;德国桥梁奖评审委员;德国结构工程奖委员;德国修道院建筑文化委员。

出版物

发表了 100 多篇文章,进行了 180 多场学术报告。

《斜拉桥——世界范围内 40 年的理论和技术》的作者,该书德文版在 2011 年由 Ernst & Sohn 出版社出版,英文版在 2012 年由 Wiley-Blackwell(威利)出版社出版。

荣誉

1999 年获英国土木工程师学会詹姆斯·瓦特奖章;

2000 年获伦敦结构工程师学会亨利赫斯本德奖;

2011 年获德国混凝土协会 Emil Mörsch 纪念勋章。

译者简介



张戎令,1984 年出生,内蒙古人。工学博士,教授,硕士生导师。

获甘肃青年五四奖章。

入选青年人才托举工程、飞天学者特聘计划——青年人才和陇原青年创新人才。

陇原青年创新人才(团队)项目——干寒大温差地区材料耐久性与结构全寿命关键技术及应用学术带头人。

甘肃省高校协同创新科技团队——干寒地区道桥灾害防治技术学术带头人和首席专家。

兰州交通大学西北干寒地区材料与结构耐久性优秀科研团队学术带头人。

长江学者和创新团队发展计划滚动支持项目主要参与人。

主持或参与省部级科研项目 11 项、国家自然科学基金 4 项、工程建设科研服务项目 18 项、参加各种混凝土工程技术攻关和应用 20 余项。

先后获得省部级鉴定和验收成果 9 项、获得省部级以上科研奖励 7 项(第一完成人 2 项,甘肃省教学成果一等奖 1 项,省级科技进步二等奖 1 项和三等奖 2 项,中国铁道学会科学技术二等奖 1 项和三等奖 1 项,中国铁道建筑总公司三等奖 1 项)。

参与科研项目“新建兰新铁路第二双线工程(新疆段)”获中国土木工程詹天佑奖和创新集体奖。

获批授权专利 8 项(发明专利 3 项)。

参编《既有混凝土结构耐久性评定标准》国家标准和《铁路桥梁钢管混凝土结构设计规范》行业标准各 1 部、出版专著 1 部。

发表学术论文 123 篇,被 SCI、EI 收录 19 篇。

参与西北地区多项重大基础设施建设科研攻关。如兰新高铁、库格铁路、白明高速公路、敦当高速公路、青藏高速公路等工程的重难点项目的科技攻关,并取得了良好的社会经济效益。

主要研究领域:干寒大温差地区材料耐久性与结构全寿命关键技术及应用。

致 谢

作者非常感谢德累斯顿大学提供举办关于斜拉桥讲座的机会,尤尔根·斯特兹科教授是这一讲座的最早发起者。感谢混凝土结构研究所所长曼弗雷德教授与钢结构和木结构研究所所长理查德·施特勒特曼教授两位教授长期以来的支持和帮助,同时感谢在讲座视频录制准备工作中乌维罗伊特博士和硕士生彼得所做的大量工作。

在数据资料收集过程中,作者非常感激同事们给予的慷慨帮助:美国的查尔斯博士提供了关于尼恩堡桥的信息,雅克·康博特先生提供了关于安提利翁大桥的信息,让·玛丽·克莱莫先生提供了关于本阿罕和米劳大桥的信息,圭多摩根罕教授提供了关于昂船洲和苏通大桥的信息,克劳斯博士提供了关于法国早期斜拉桥的信息,米歇尔·维洛热先生提供了关于诺曼底大桥的信息。工程师维尔纳·布兰德(德国),张先生(韩国),汉斯·鲁道夫·甘兹博士(瑞士),埃里克·梅利耶先生(法国),克里斯蒂安·布劳恩博士(德国),马塞尔博士(瑞士),弗里德·黑尔姆先生(英国)及田中由人博士(日本)等提供了大量的斜拉桥的信息。书中提及的其他资料,尤其是图示和照片都来源于作者和 LAP 的档案资料。

出版商威廉·埃尔恩斯特索恩和布莱克·威利的克劳迪娅·奥济梅克编辑给予了大量有益的支持,苏菲女士在排版工作中做了大量工作,尤塔贝亚特·穆茨女士为书籍的印刷做了大量工作。

除了圭多摩根罕教授所完成的动力学部分,作者将这本书其他章节翻译成英文。英国的保罗·贝弗利先生对翻译内容进行了审查和完善。完整的德语和英文版由伊娃·加斯曼女士打印并且所有的图表和英文翻译是由米蕾·拉博伊特尔女士完成;作者衷心感谢他们不可或缺的技能 and 耐心。

英文版前言

在世界范围内,当前斜拉桥正处在一个快速发展的阶段。截至 1986 年约有 150 座斜拉桥,但到 2012 年,斜拉桥数量增加到 1000 多座。斜拉桥跨径也有较大的突破,1975 年,斜拉桥跨径可达 404m,1995 年跨径达到 856m,目前斜拉桥最大跨径为 1104m,但该跨径还远未达到其极限跨径,如今已设计出主跨达 1800m 的斜拉桥。由于大跨悬索桥在工程造价上的局限性,斜拉桥已成为世界范围内桥梁工程师们关注的焦点。

本书面向有经验的工程师和学生。该书是自 2009 年以来,由德累斯顿大学第七、八学期的桥梁工程系学生在斜拉桥课程讲义的基础上发展而来的。

本书基于作者 40 年的工程经验,编著内容涵盖了设计、施工和作者认为比较重要的现场施工的一些工程处理方法。另外通过 350 个引用给出了更多细节方面的信息。

这本书讲述的重点内容可分为以下几部分:

- 斜拉桥的发展历史;
- 斜拉桥的重要组成部分:梁、塔、索的细部构造;
- 斜拉桥的初步设计,给出了合理的受力分布、容许的设计尺寸及设计校核;
- 斜拉桥的安装阶段与成桥阶段具有同等重要的作用。

除涉及斜拉索尺寸的标准外,没有涉及其他标准。由于涉及的桥梁分布在世界范围内,其设计标准有所不同,包括德国标准、欧洲标准、美国标准、英国标准及其他标准。在世界范围内,设计因素的控制法则是相同的。

斜拉桥的选择较为主观。该书主要包括的斜拉桥种类有:

- 作者参与或 LAP 参与的斜拉桥。
- 具有独特构造细节的斜拉桥;
- 创造跨径纪录的斜拉桥。

该书探讨了已建成的斜拉桥结构,关于他们所关心的问题和建议不在本书范围内。

本书含有近 1300 张图,大部分为彩图,作者认为一张好的图片比任何描述都有意义,特别是桥梁外观和结构形式。

作者作为一名桥梁工程师,参与了许多桥梁的设计与建设,这将有助于提高工程师们的共识,然而这一点却常被工程师们所忽视。可靠的工程师通常也是被公认的参考文献的作者。当然一座桥不是一个人的工作,需要一个团队的配合,为了成功地完成一项桥梁工程项目,需要业主工程师和现场工程师相互信任。

Holger Svensson, Zeuthen

2012 年

中文版前言

作为一本旨在简明、易懂地传授斜拉桥知识的著作,这本图书一经出版就流行于世界各地,不仅被翻译成各种语言,还被许多高等院校、研究院等用作研究生的教学教材和设计人员设计斜拉桥的参考书。

2015年,译者开始对《Cable-Stayed Bridges 40 Years of Experience Worldwide》进行翻译,并于2017年完成初稿,将其译名定为《斜拉桥——世界范围内40年的理论和技术》。本译本根据《Cable-Stayed Bridges 40 Years of Experience Worldwide》的原文进行翻译。本次翻译除了正文内容外,还翻译了其他介绍章节、附录等。但为了保证原参考文献便于参考和索引,原书中的参考文献没有翻译而保持原样。

本书的翻译过程中并非一蹴而就,关于书的选取,译者在加拿大访学期间,对大量书籍进行了筛选,所选书籍近千本,由于该书厚重的知识积累、图文并茂的解释说明、桥梁形式囊括了世界上典型的斜拉桥以及原著作者博学的知识和丰富的工作经历深深地折服了译者,因此选择了本书进行翻译。由于该书近500页,涉及系统的斜拉桥发展、经历和相应的技术,翻译工作量非常大,同时由于译者的水平有限,翻译过程一直持续了两年多。为了保证翻译的质量和效果,对本书进行了多次校对,同时由原著的黑白印刷改为彩色印刷,虽在出版成本上增加了很多,但考虑到本书是原著者一生的学术积淀和凝练以及对读者的受益程度,译者认为是非常值得的。

本书共7章和1节附录,张戎令进行了全书的初稿翻译。其中第3章、第4.1节~第4.3节、第6章由张戎令完成;第2章、第4.5节由王学伟完成;第1章、第7章、附录由王亚完成;第4.4节、第5章由冷冰完成。全书由张戎令统稿,杨子江教授对本书进行了审核。

本书在翻译过程中,得到了中国科协青年人才托举工程、飞天学者——青年学者、陇原青年创新人才扶持计划、中国博士后科学基金资助项目(2016M602892)、长江学者和创新团队发展计划(IRT_15R29)、甘肃省高校协同创新科技团队支持计划(2017C-08)、甘肃省基础创新群体项目(145RJIA332)、陇原青年创新人才(团队)项目和兰州交通大学(201606)诸多优秀平台的共同资助。翻译期间,薛彦瑾、熊赳、李浩师、顾晓宇、杨志莹等研究生对书籍图表、文字的校对和排版投入了大量时间;在多次校对过程中人民交通出版社股份有限公司李喆进行了非常认真的修改和校对;我的博士后导师杨子江、博士导师王起才给予了大量的指导和帮助;同时在加拿大渥太华做访问学者期间得到驻加拿大使馆公使衔教育参赞杨新育、加拿大渥太华大学 Z. Jason Zhang 教授的支持,在此一并表示深深的感谢!

由于译者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请读者指正,译者邮箱:zhangrl@mail.lzjtu.cn。

译者
2018年10月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 设计原则	1
1.2 桥梁设计的美学特征	21
第2章 斜拉桥的发展	41
2.1 斜拉桥的起源	41
2.2 钢斜拉桥	57
2.3 混凝土斜拉桥	81
2.4 组合梁斜拉桥	101
2.5 特殊体系斜拉桥	120
第3章 斜拉索	142
3.1 概述	142
3.2 封闭式钢索	143
3.3 平行钢拉索	149
3.4 平行钢丝拉索	150
3.5 平行钢绞线	159
3.6 斜拉索锚具	165
3.7 拉索标准	169
3.8 斜拉索动力特性	175
3.9 斜拉索安装	191
第4章 斜拉桥的一般设计	205
4.1 作用力等效	205
4.2 实际体系的作用力	218
4.3 桥梁动力学	234
4.4 桥梁防船撞保护	280
4.5 初步设计计算	297
第5章 斜拉桥的施工	339
5.1 工程案例	339
5.2 工程施工	364

第 6 章 典型斜拉桥实例	381
6.1 预制混凝土梁斜拉桥	381
6.2 CIP 混凝土斜拉桥——海尔格伦桥梁	406
6.3 钢斜拉桥——斯特拉松德二桥	423
6.4 组合斜拉桥——贝城大桥	443
6.5 混合斜拉桥——诺曼底大桥	459
6.6 连续斜拉桥	470
第 7 章 斜拉桥未来的发展	486
桥索引	489
图片索引	493
文献索引	496
附录 40 年世界各地斜拉桥建设的经验	514
参考文献	527

第 1 章 绪 论

1.1 设计原则

1.1.1 综述

如图 1.1 所示为斜拉桥及其他桥型的跨径和造价比较,其跨径比连续梁桥和拱桥大,比悬索桥小。

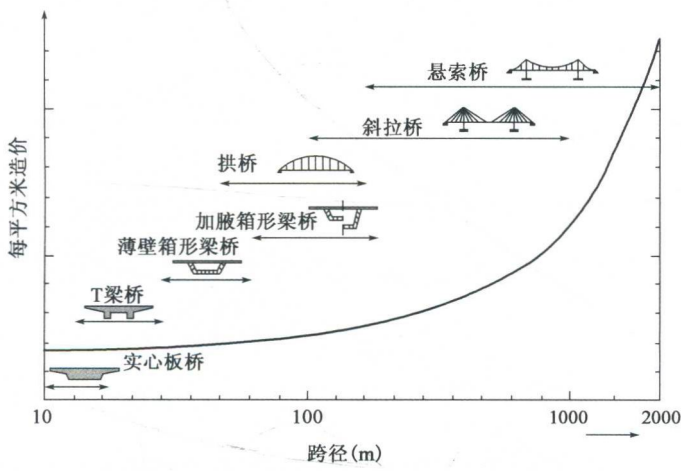


图 1.1 斜拉桥及其他桥型的跨径和造价对比

从经济角度而言,跨径 100m 左右时可以采用单塔式斜拉桥,1000m 左右时可以采用双塔式斜拉桥。

斜拉桥的主要优点:

首先,通过斜拉索的荷载传递,主梁弯矩大大减小,见图 1.2。通过安装预设长度精确的斜拉索,可以得到由斜拉索锚点支撑的主梁边界条件,这可使永久荷载产生的力矩减小,如图 1.3 所示。

即使在活载作用下,斜拉索对主梁的弹性支承也会使其弯矩值保持在较小的变化范围内。

在主塔竖向支座的上方会产生负的活载弯矩(包括在主塔附近的区域),该活载弯矩可通过斜拉索的支撑来抵消。最大的正、负弯矩位于边跨近桥墩的位置,由于该处剪力较小,该位置需要特殊处理措施。

边索索力在水平向产生的荷载最大,如图 1.3 所示,因此,主梁轴向力在主梁端部增加较快,靠近主塔位置时增长速度相比主梁端部慢,且在此处达到最大。压应力对混凝土梁是利

的。在桥梁中心位置处由索力引起的主梁轴向压力较小,需要设置后张拉预应力,同时需要克服摩擦力、制动力等。

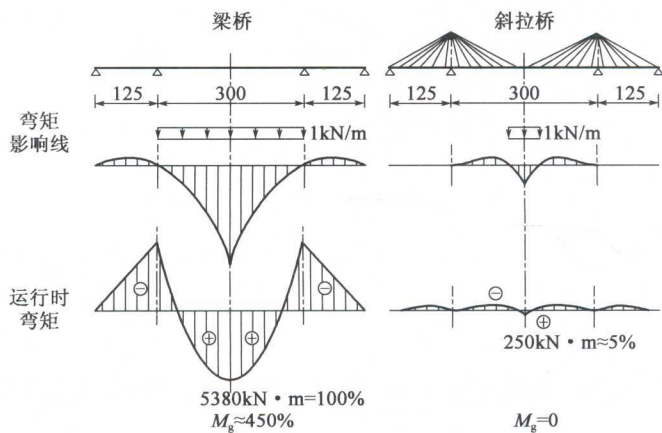


图 1.2 两种梁的受力对比(尺寸单位:m)

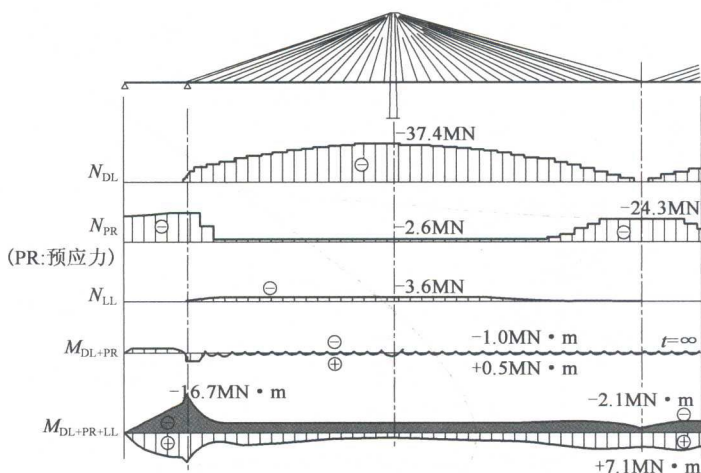


图 1.3 斜拉桥主梁的弯矩和轴力

钢梁横截面只需要很少的构造措施即可满足主梁的整体压应力要求。斜拉桥的另一个优点是易建造,见图 1.4。在拱桥安装到合龙及水平支承锚固前,大跨径拱桥整体结构处于不稳定状态,必须设置临时支承,如辅助墩或临时搭背。自锚式悬索桥适用于当水平锚固处于恶劣的地质条件,其工程造价不经济的情况,其需设置临时支承来支撑主梁,直到主索安装就位。对于斜拉桥而言,主梁自由悬臂施工节段的应力分布与主梁完成以后的受力基本相同。对主塔两侧的自由悬臂及主跨的自由悬臂而言,其也存在相同的应力分布形式。斜拉桥的第三个优点是整体刚度较悬索桥大。对于纵向偏心荷载而言,此优势显而易见。在偏心荷载作用下,悬索桥在不增加索力(无应力变形)的情况下可以重新达到平衡状态。但斜拉桥需要通过增加索力来承担施加的荷载。

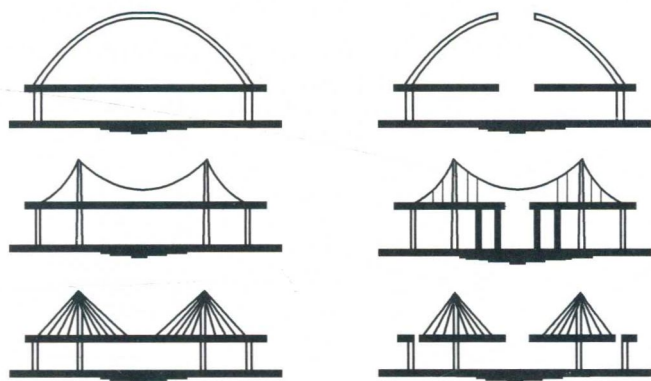


图 1.4 拱桥、自锚式悬索桥和斜拉桥的安装体系

因此,悬索桥一般不适合承受高速铁路活载,在此荷载下,其变形会很大。

斜拉桥的固有频率明显高于悬索桥,不考虑边拉索的弹性,通过采用 A 形塔,扭转频率可以进一步提高,这对于在空气动力作用下的安全性尤为重要,见图 1.5。



图 1.5 悬索桥和斜拉桥的振动模式

斜拉桥的初始临界风速比悬索桥高。一座典型的 500m 跨径的斜拉桥的临界颤振风速为 200km/h,而同等情况下,悬索桥的临界颤振风速仅为 100km/h,见图 1.6。

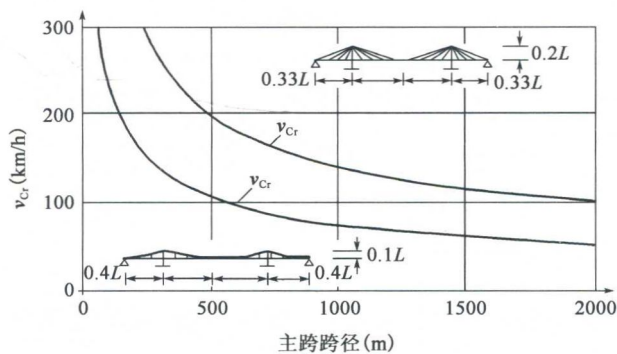


图 1.6 悬索桥和斜拉桥的临界风速

自 1970 年以来,斜拉桥的以上优点在世界范围内被广泛认同,与此同时,斜拉桥的建造数量突飞猛进,如表 1.1 所示。当前世界范围内的斜拉桥总数已达到 1000 座。

世界范围斜拉桥建造数量 表 1.1

国家	年份(年)						总计
	1900—1950	1960	1970	1980	1990	2000	
日本	—	—	—	1	8	12	21
中国	—	—	—	—	—	17	17
德国	—	2	5	6	2	—	15
美国	—	—	—	2	7	4	13
荷兰	—	—	—	2	1	2	5
法国	—	—	—	2	—	2	4
英国	—	—	—	1	1	2	4
其他	—	—	—	3	9	21	33
总计	0	2	5	18	29	62	116

斜拉桥主跨跨径的增加也非常显著,目前最长跨径达 1088m,见图 1.7^[1.1]。

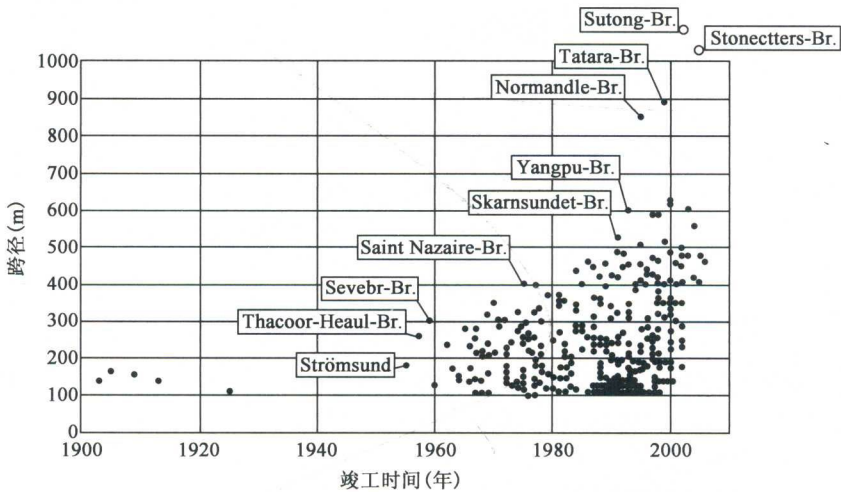


图 1.7 已建成的斜拉桥主跨长度

自 1970 年以来,Fritz Leonhardt 和他的合作者一直在世界范围内通过学术报告和出版物的方式论述以上优点^[1.2-1.9]。

1.1.1.2 全桥体系

1.1.1.2.1 拉索布置

斜拉桥每个主塔上至少要有一根前拉索和一根端锚索。前拉索像是在主跨上省去了两个桥墩。

20 世纪 50 年代,在第一个跨越莱茵河的斜拉桥上使用了相对较简单的拉索体系,主要由

几根封闭拉索组成,梁上拉索锚固间距为 40 ~ 60m。这使得拉索的防腐保护措施较为困难,因此在施工阶段需要增加辅助系梁来克服拉索之间距离较大的问题。

桥梁设计师霍姆·伯格 (参见下章图 2.77),在伯恩北桥中采用了单个距离为 4.5m 的拉索,这样有利于构造细节的设计和施工,如图 1.8 所示,这种设计在斜拉桥的发展过程中是比较创新的。

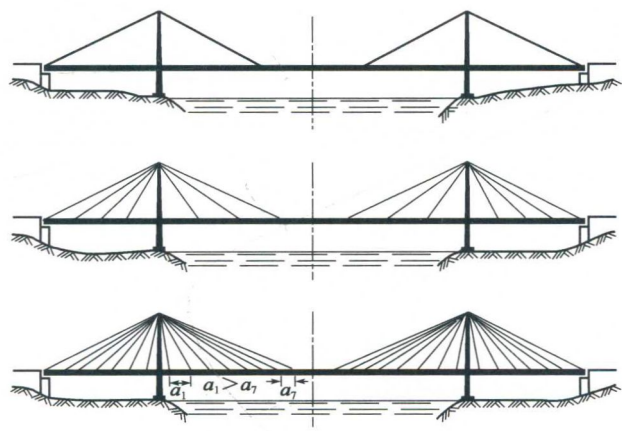


图 1.8 多拉索式斜拉桥的发展

拉索距离越小使得拉索在主梁和主塔上的锚固变得越简单。随着斜拉索的承载能力增加(最大可达 20MN),即使对于宽幅主梁斜拉桥,梁上拉索锚固的间距可在 5 ~ 15m 范围内变化,最大可达 20m。较小的拉索间距使得采用悬臂法施工的过程中可以不再设置辅助梁。

近年来拉索间距的变化如图 1.9 所示。

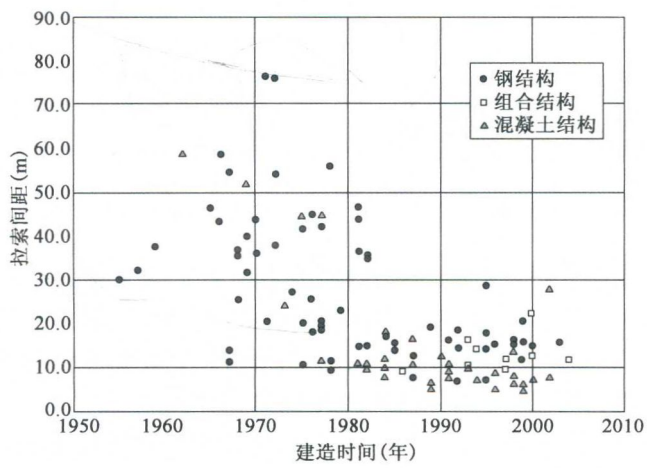


图 1.9 拉索间距的发展

斜拉桥索面的基本布置形式分为三种:扇形拉索布置、竖琴式拉索布置、扇形—竖琴折中式拉索布置。

扇形拉索布置如图 1.10 所示,所用拉索均在塔顶连接。竖琴式拉索布置如图 1.11 所示,