

XIELAQIAO

SHIJIYU

SHIGONG

斜拉桥设计与施工

斜拉桥设计与施工

[美] 小沃尔特·波多尔奈 合著
约翰 B. 斯卡尔兹

李 延 直 等 译校

中国建筑工业出版社

本书综合论述了有关现代斜拉桥设计与施工的具体问题和目前发展情况,并结合各国对这类桥梁工程实践与一些工程的特点,介绍了有关各种类型斜拉桥的设计数据与施工方法以及结构的构造细节等。

本书可供桥梁工程技术人员与科研人员和有关专业院校师生参考。

本书共分十二章。参加翻译的同志是:

第一、二章,李延直;第三、四章,黎宝松;

第五章,高言洁;第六章及附录A,徐兴玉;

第七、八章,姜维龙;第九章,杨祖东;

第十、十一、十二章,张乃华;全书译稿由李延直总校。

CONSTRUCTION AND DESIGN OF CABLE-STAYED BRIDGES

WALTER PODOLNY, JR., PH.D.

JOHN B. SCALZI, SC. D.

JOHN WILEY & SONS, INC-1976

斜拉桥设计与施工

李延直等译校

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本: 850×1168毫米1/32 印张: 16³/₈ 字数: 439千字

1980年2月第一版 1980年2月第一次印刷

印数: 1—8,640册 定价: 1.55元

统一书号: 15040·3723

译 者 的 话

近二十多年来，国际上斜拉桥工程技术的迅速发展，在我国桥梁界引起了普遍的注意。由于斜拉桥具有跨越能力大，结构性能好，施工简便，易于维修，外型轻巧，造价便宜，且能限制噪音等优点，已成为大跨度桥梁的一个发展方向。本书综合论述了有关现代斜拉桥设计与施工方面的具体问题和目前发展情况，并结合各国对这类桥梁的工程实践与一些工程特点，介绍了有关各种类型斜拉桥的设计数据与施工方法以及结构的构造细节等。它对于我国桥梁工程技术人员与科研人员和有关专业院校师生，有一定参考价值。为了实现我国桥梁建设的现代化，特别是扩大预应力钢筋混凝土桥梁的应用范围，按照“洋为中用”的方针，我们翻译了本书，以适应当前工作上的迫切需要。

译文中几点说明：

1. 为了使译文合乎我国文字语气，尽量采取了“意译”。原文中明显的错误地方，均予以改正。

2. 人名与地名译法，大部分采用商务印书馆最近出版的“英语姓名译名手册”与“世界地名译名手册”以及其他词典与地图等。凡是查不到现有的，则按各个文种音译。有关人名、地点、桥名与机构名称的译法，参见书后索引。所有人名后面均加一“氏”字，以别于地名和桥名等。译文中有关的技术词汇系按现有词典和惯例采用。

3. 有关“斜拉桥”译名问题，国内资料还有译为“斜张桥”、“斜缆桥”、“斜索桥”等的不同，目前尚无统一的译名。曾询问过中国土木工程学会有关同志，多数认为以“斜拉桥”译名为好。

因限于译者的水平和缺少经验，译文中难免有缺点错误，希读者指正。

一九七九年二月

前 言

在欧洲重建第二次世界大战时期毁坏的桥梁之际，为工程师们提供了采用新技术的机会，在桥梁设计方面发展了多年以前的斜拉桥设计构思。西德在五十年代时期，当重建多座跨越莱茵河的桥梁时，采用了各种型式的斜拉桥，从而，促进了斜拉桥的发展。

斜拉桥的原始构思，可回溯到1784年，但由于在早期发生过许多坍毁事故，以致被工程师们“束之高阁”，而舍弃不用。近年来为了建筑更为经济的桥梁；同时由于设计分析方法与施工方法的发展和高效能建筑材料的出现，因而，推动了桥梁工程师们发展现代的斜拉桥。

经济研究结果指出，斜拉桥可填补大跨度梁式桥与悬索桥之间的空隙。一些欧洲工程师们认为，在很多实际应用中，斜拉桥还可取代悬索桥。除了可能有的经济性以外，有些工程师们还认为，斜拉桥对于桥梁设计在美观上还增加了新的一面。

在美国的工程师们，虽然在本国文献中缺少有关斜拉桥方面的设计与施工数据，但已在规划和设计了一些斜拉桥结构，包括有人行高架桥、公路桥和管道桥。

本书的目的，是将各种类型的斜拉桥设计与施工方法的目前发展情况汇集成一册，以使有关的学院教师们、实践工程师们、各地区各州与联邦的桥梁工程师们，能有一本现成的有关斜拉桥设计数据与施工细节的参考文献。

本书论述了斜拉桥的一般原理和与技术设计有关的各个方面与具体的施工方法，以及可能有的经济性。

本书探索了斜拉桥的发展历史，从早年的首次应用到德国在战后时期的广泛使用，并扩大到在其他国家中的使用情况。对于

现代斜拉桥的主要特点，予以全面的描述，包括有几何形式、桥塔的类型与形式，以及使用各种不同材料与施工方法的各种桥面结构型式。

本书论述了在各国的斜拉桥工程实例，并对各个具体工程特点附以适当的细节图示与照片。

对于结构钢丝与钢丝绳和钢缆的制作与工艺过程亦予以阐述，以供不熟悉这些方面的设计与施工工程师们参考。

斜拉索与桥面结构和拉索与桥面及桥塔之间的连接型式与方法，均为斜拉桥设计上的一些最重要的问题。在本书中，对于各种连接方法予以论述，以使设计与施工的工程师们能依据美国的实践来评价这些技术问题，并希望能有所改进。

关于缆索理论与结构问题和分析方法，可参阅其他教科书，在本书中仅对于设计分析中的某些特殊考虑予以论述。其中包括：对于钢索一般性能的概述及对于钢索作为一种代换杆件的等价弹性模量的详细说明和对于风与空气动力作用的论述。因为，所有这些因素均影响到斜拉桥的设计问题。

由于制造与安装方法影响到设计特点与施工方法，在本书中也论述了几个有可能实现的技术问题。这些论述将有助于工程师们发展他们自己的构思和使有可能引出更为有效和经济的方法。

本书中的大部分材料都不是原始的，虽然对于很多材料来源不可能一一予以说明，但对于凡是能够辨别出来的原始材料，则均注明来源出处。

著者曾竭力来消除本书中的错误，但如读者还发现有何错误，请即通知著者。

著者希望此书能使其他国外的工程师们在他们自己的国家里在设计与建造斜拉桥方面具有信心和收到经济效果。

小沃尔特·波多尔奈

约翰 B. 斯卡尔兹

1976年2月

目 录

译者的话

前 言

第 一 章 斜拉桥的发展	1
1-1 现代的斜拉桥	1
1-2 近期在各国的应用	2
1-3 过去的经验	4
1-4 在美国的应用	13
1-5 何以在美国应用还不多?	15
1-6 正在施工中的桥	18
1-7 在美国早期的应用	22
第 二 章 桥梁各部分的型式	29
2-1 引言	29
2-2 横向钢索的布置	31
2-3 纵向钢索的布置	34
2-4 塔柱	40
2-5 钢索体系的汇总	43
2-6 上部结构类型	47
第 三 章 经济评价	50
3-1 引言	50
3-2 中等跨径	51
3-3 大跨径	53
3-4 刚度比较	54
3-5 缆索重量	58
3-6 与其他桥型的比较	63
3-7 锡特卡港桥	69
3-8 (美国) I-410号州际公路的新奥尔良支线	70
3-9 帕斯科-肯尼威克市际桥	71
第 四 章 混凝土上部结构	77
4-1 引言	77

4-2	马拉开波湖桥, 委内瑞拉	77
4-3	波尔采维拉高架桥, 意大利	85
4-4	瓦迪库夫桥, 利比亚	86
4-5	马格利安纳高架桥, 意大利	87
4-6	丹麦大海峡桥, 丹麦	92
4-7	福伊尔河桥, 爱尔兰	93
4-8	洲际和平桥, 阿拉斯加-西伯利亚	95
4-9	帕斯科-肯尼威克市际桥, 美国	97
4-10	查科/科连特斯桥, 阿根廷	98
4-11	美因桥, 西德	101
第 五 章 钢结构上部结构		106
5-1	引言	106
5-2	斯曹姆松特桥, 瑞典	106
5-3	西奥多尔-豪玉斯桥, 西德	108
5-4	塞弗林桥, 西德	110
5-5	北易北河桥, 西德	112
5-6	麦克萨莱茵河桥, 西德	113
5-7	怀河桥, 英国	116
5-8	里斯莱茵河桥, 西德	119
5-9	弗里德里克-艾伯特桥, 西德	120
5-10	路易港高架公路桥, 西德	123
5-11	尾道桥, 日本	127
5-12	杜伊斯堡-诺因坎普桥, 西德	128
5-13	克尼桥, 西德	131
5-14	帕比诺-勒布朗桥, 加拿大	134
5-15	丰里桥, 日本	136
5-16	厄斯金桥, 苏格兰	137
5-17	巴特曼桥, 澳大利亚	140
5-18	布腊迪斯拉发多瑙河桥, 捷克	142
5-19	锡特卡港桥, 美国	147
5-20	曼海姆-路易港北桥, 西德	152
5-21	库尔布兰德高架桥, 西德	156
第 六 章 人行桥		168

6-1	引言	168
6-2	西德展览厅人行桥, 布鲁塞尔展览会, 1958年	168
6-3	沃尔特-斯太格桥, 斯图加特-芒斯特, 西德	171
6-4	希拉大街跨线桥, 斯图加特, 西德	172
6-5	格拉西大街桥, 汉堡, 西德	174
6-6	洛德曼桥, 汉诺威, 西德	178
6-7	拉格斯大街桥, 奥地利	179
6-8	布厄斯河桥, 勒阿弗尔, 法国	182
6-9	中心运河桥, 奥布格, 比利时	183
6-10	巴文河人行桥, 澳大利亚	184
6-11	芒特街人行桥, 澳大利亚	184
6-12	梅纳蒙尼瀑布人行桥, 美国	185
6-13	王子岛人行桥, 加拿大	187
第 七 章	钢索的数据	190
7-1	引言	190
7-2	钢索应用的发展	191
7-3	钢索制造工艺	193
7-4	机械性能	195
7-5	钢索预拉	196
7-6	弹性模量	197
7-7	防护层	200
7-8	钢缆索和钢丝绳索的比较	201
7-9	平行钢丝索	202
7-10	一些措施	206
第 八 章	钢索的连接	208
8-1	引言	208
8-2	一般的考虑	209
8-3	索端的连接	210
8-4	索鞍	216
8-5	索夹	218
8-6	美因河桥, 西德	222
8-7	塞弗林桥, 西德	222
8-8	斯曹姆松特桥, 瑞典	229

8-9	加利可甬桥, 荷兰	231
8-10	乔治街桥, 英国	232
8-11	帕比诺-勒布朗桥, 加拿大	233
8-12	锡特卡港桥, 美国	234
8-13	麦克萨莱茵河桥, 西德	236
8-14	希拉大街人行桥, 西德	239
8-15	拉格斯大街人行桥, 奥地利	240
8-16	路易港桥, 西德	241
第九章 安装和制造		244
9-1	引言	244
9-2	安装方法	244
9-3	支架法	245
9-4	顶推法	252
9-5	悬臂法	263
9-6	制造	320
第十章 缆索的结构工作性能		330
10-1	引言	330
10-2	悬链曲线	330
10-3	抛物曲线	332
10-4	悬链线与抛物线的对比	333
10-5	分析中的假定	336
10-6	索的一般定理	336
10-7	具有斜弦的索	338
10-8	等价弹性模量	342
第十一章 设计考虑与分析		346
11-1	引言	346
11-2	设计考虑	346
11-3	分析方法	353
11-4	刚度参数	354
11-5	非线性问题	357
11-6	混合分析法—单索面	357
11-7	混合分析法—双索面	372
11-8	混合法摘要	382

11-9 拉索的非线性性能	382
11-10 影响线	396
11-11 活载应力	411
11-12 其他分析方法	412
第十二章 设计考虑——风的作用	415
12-1 引言	415
12-2 风的环境	425
12-3 风的静力作用	433
12-4 振动	438
12-5 风的气动作用	441
12-6 风洞试验	447
12-7 斜拉桥的稳定性	449
12-8 桥面的稳定性	452
12-9 施工安装时的稳定性	454
12-10 风洞研究	455
12-11 振动的容许度	466
附录A 典型人行桥	471
附录B 历年文献目录	490
桥名索引	502
人名索引	507
公司机构名称索引	511

第一章 斜拉桥的发展

1-1 现代的斜拉桥

斜拉桥的设想和在实际中的应用可回溯到十七世纪，威尼斯工程师弗兰第阿斯氏 (Verantius) ●，就曾建造过一座有几根斜拉铁链的桥^{1,2}。这一设想对以后若干世纪的工程师和建造者们引起了重视，经过继续不断的进行实践与发展以后，直到1950年乃在西德演变出来现代时期的斜拉桥形式。

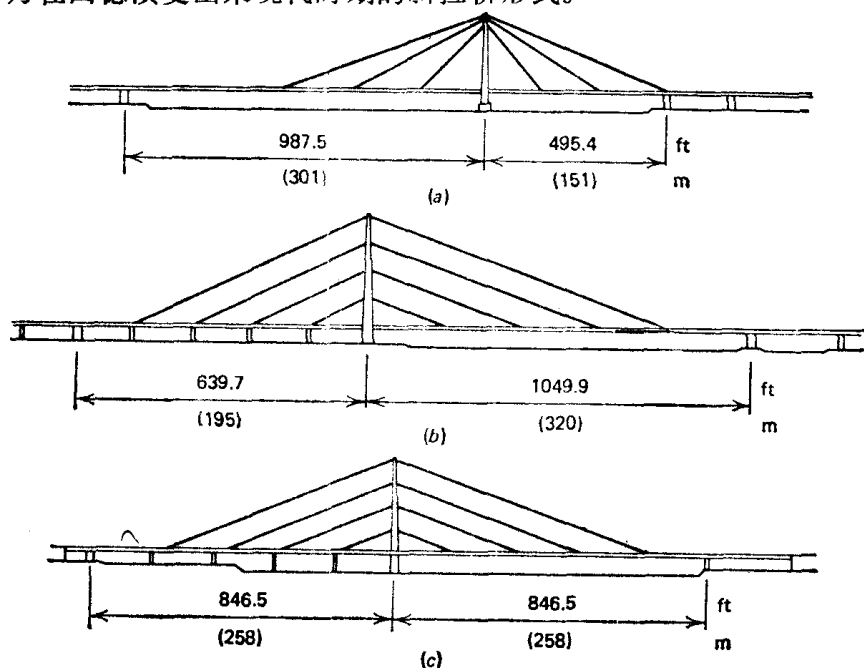


图 1-1 双跨斜拉桥结构实例

(a)科隆市塞弗林桥 (西德); (b)克尼桥 (西德); (c)杜塞尔多夫—上卡塞尔桥 (西德)

● 意大利威尼斯人福斯特·弗兰第阿斯 (Faustus Verantius) 工程师于1617年曾建造铁链斜拉桥，是为西欧早期出现的斜拉桥。——译者注

现代斜拉桥具有一个钢结构或钢筋混凝土结构的上部结构，使用钢索支承上部结构于一点或多点上，钢索由一个或多个塔柱上伸出，图1-1与1-2。

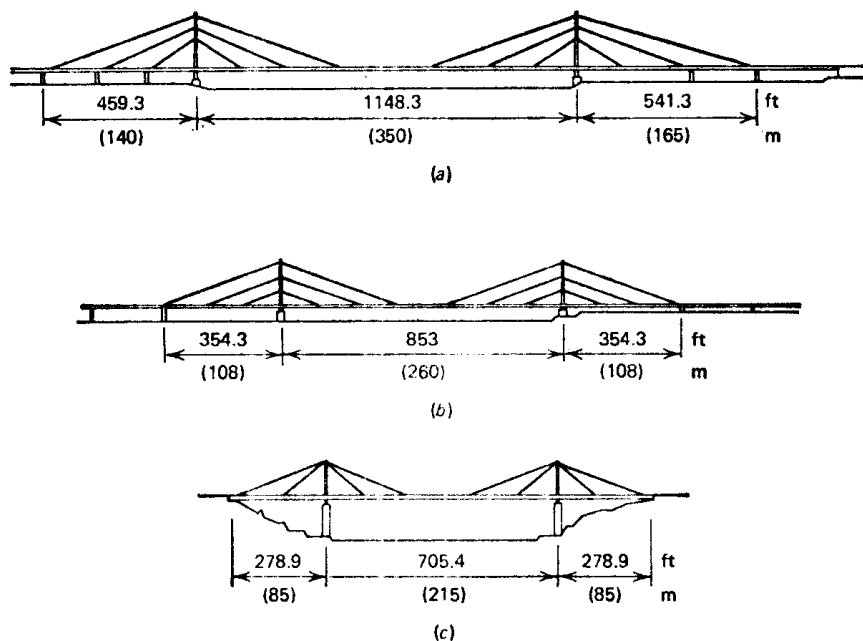


图 1-2 三跨斜拉桥结构实例

(a) 杜伊斯堡 (西德)，(b) 杜塞尔多夫北桥 (西德)，
(c) 尾道桥 (日本)

早期的斜拉桥使用铁链或杆件来作拉索。自从各种类型结构钢索出现以后，由于钢索具有高承载力和安装上的方便，促使设计与施工上用以代替了铁链或杆件。更以特定的描述术语，“斜拉桥”出现于文献中。

1-2 近期在各国的应用

第二次世界大战以后，西德调查出约有一万五千座桥梁在战争中破坏。因之，在战后时期重建这些跨越工程，为设计与建造者们包括承包商们，在设计与施工的新设想中提供了机会。在这

个时期，由于缺少钢材，对于能有最小重量的设计，予以很大的重视。由此重视的结果，发展了正交各向异性板的设计，这种设计与斜拉索设计相匹配，便产生了斜拉桥设计，在某些情况下较战前不使用斜拉索的设计重量减轻40%。材料的有效使用与安装的速度，使斜拉桥成为用以替换旧桥的最经济的结构类型。

第一座现代斜拉桥，斯曹姆松特桥（Strömsund Bridge）图 1-3，于 1955 年在瑞典建成。该桥是由西德承包商德马格（Demag）公司与德国工程师教授迪辛格氏（F. Dischinger）合作而建成的。

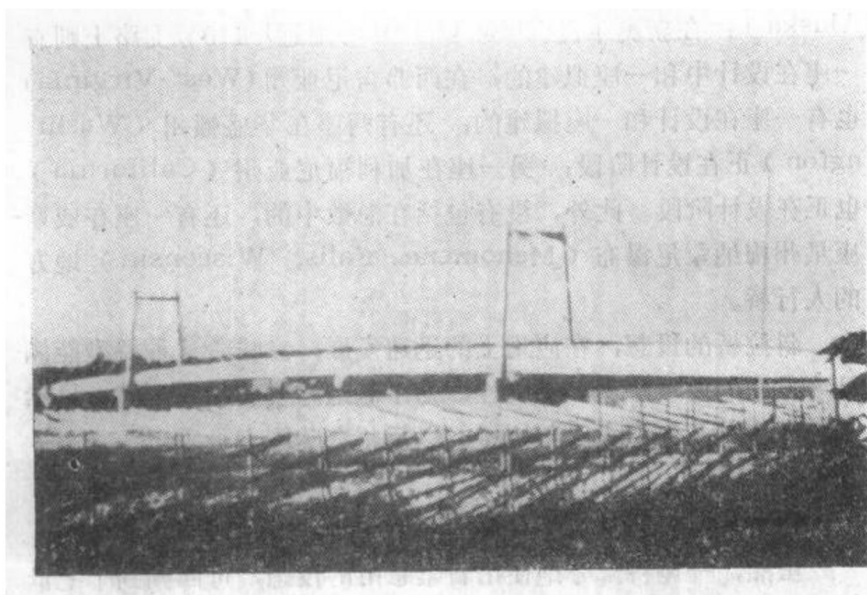
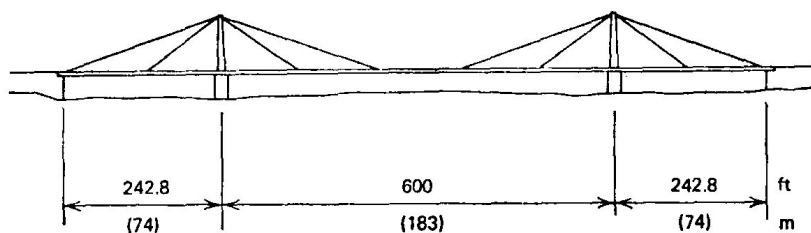


图 1-3 斯曹姆松特桥（瑞典）

在1955年至1957年的较短的时间里，约有60座斜拉桥建成或正在设计中作为公路交通上的使用。截至1974年，全世界的斜拉桥分布如下：

德 国	17	荷 兰	2
美 国	8	苏 联	2
日 本	7	奥 地 利	1
加 拿 大	4	丹 麦	1
英 国	3	印 度	1
意 大 利	3	利 比 亚	1
阿 根 廷	2	瑞 典	1
澳大利亚	2	委内瑞拉	1
法 国	2	赞 比 亚	1

在德国建造的斜拉桥，约占总数的三分之一弱。其余则遍布在世界上很多国家。美国在总数中的部分包括有八座桥：第一座完成的公路桥是在阿拉斯加州的锡特卡港（Sitka Harbor, Alaska），在新奥尔良（New Orleans）附近I-410号支路上则有一座在设计中和一座拟建的；在西弗吉尼亚州（West Virginia）也有一座在设计中和一座拟建的；还有两座在华盛顿州（Washington）正在设计阶段；另一座在加利福尼亚州（California）也正在设计阶段。此外，没有包括在总数中的，还有一座在威斯康星州梅纳蒙尼瀑布（Menominee Falls, Wisconsin）地方的人行桥。

斜拉桥的设想，在应用上的迅速发展，意味着这种桥型能满足多方面的要求，诸如经济性，易于制造与安装和美观等。显然无疑，多种几何型式的斜拉桥，以后将在美国大量采用。

1-3 过去的经验

虽然，一座桥部分地使用斜索悬吊的设想，可回溯到十七世纪的威尼斯（Venice），不过，仅用斜向拉索来悬吊一座桥的

设想则应归功于吕旭氏 (C. J. Löseher) ●。他是德国弗里堡 (Fribourg) 地方的一个木工, 曾于 1784 年建造一座完全使用木料的桥, 包括有斜拉杆和塔柱, 图1-4。然而, 随后并未有再引用斜拉桥概念, 直到1817年有两个英国工程师, 雷德帕斯氏与布朗氏 (Redpath and Brown), 建造的一座皇家草场 (King's Meadow) 人行桥, 桥的一跨约长110英尺, 曾使用连接在一个生铁塔柱上的斜向钢丝拉索, 作为悬吊杆件, 才又引出斜拉桥概念。

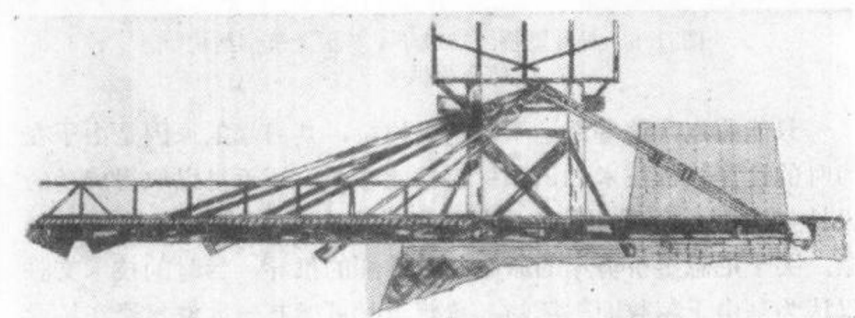


图 1-4 吕旭型木桥, 1784年 (英国建筑钢结构协会有限公司提供)

随着英国人的设计, 以后在工程师之间的技术情报广泛交流, 因而, 在1821年一个法国建筑师朴叶氏 (Poyet) 曾提出使用从高塔柱上吊起来的斜拉杆来作一座桥, 图1-5。

后来, 因有两座斜拉桥发生坍塌事故, 竟使斜拉桥的声名丧失。否则, 斜拉桥本可能成为一种传统的建造形式。其中的一座系在1818年坍塌, 该桥位于英国德瑞波夫—阿比 (Dryburgh-Abbey) 地方附近, 为跨越特威德河 (Tweed River) 长 259 英尺的人行桥, 在风力振荡的情况下, 致使斜链在节点处折断而出现事故。另一座桥则在1824年坍塌, 其原因相信是归咎于斜拉桥的超载使用。该桥的一跨长 256 英尺, 系在德国尼恩堡 (Nienburg) 附近, 跨越萨尔河 (Saale River) ⁶。

● 德国人吕旭, 另有资料记载为 Immanuel Löscher 于1784年曾建木制斜拉桥。——译者注

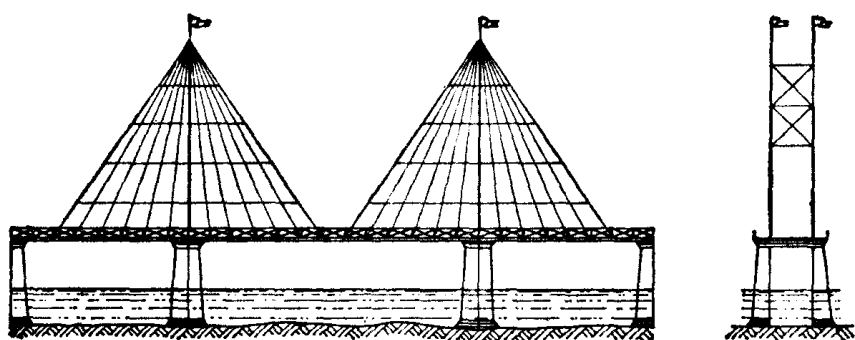


图 1-5 朴叶型桥，1821年（英国建筑钢结构协会提供）

只能假定，这些命运不幸的斜拉桥，其坍塌的原因是由于在当时的计算分析技术知识和材料性能方面，还不足以取得成功的设计与施工，而采用的斜向杆件又是铸铁拉杆或套环做成的链条。关于尼恩堡桥坍塌的原因并无详细的报导，当时的技术文献仅认为是由于超载而破坏的。猜想当时可能有一人群集聚在桥梁结构上，观看河上的节日或赛船，以致造成破坏，然而感到遗憾的是，其真实坍塌原因，并无记载。著名的法国工程师纳维氏（Navier）曾讨论过这些失败原因，而他的意见系反面评论，假定谴责斜拉桥的设想又比较模糊不清。不论是什么原因，但工程师们转而倾向于当时也正在出现的悬索桥，认为悬索桥是跨越河流的更为可取的桥梁类型。

采用斜索来支承桥梁上部结构的原理，在工程师们的构思中并未完全消灭。约翰·罗布令氏（John Roebling）在他的悬索桥设计中，就结合了斜拉桥的设想，例如，在尼亚加拉瀑布（Niagara Falls）附近的一座桥，图1-6；在美国匹兹堡（Pittsburgh）的旧街克雷尔桥（Oldst-Clair-Bridge）图1-7；跨越俄亥俄河（Ohio River）的辛辛那提桥（Cincinnati Bridge）图1-8；在纽约市的布鲁克林桥（Brooklyn Bridge）图1-9。除了竖向吊杆外，还加用斜向拉杆来支承桥梁上部结构。从这些工程的工作性能观测指出，斜拉杆与竖吊杆结合使用，彼此并不能