

现代斜拉桥

MODERN CABLE-STAYED BRIDGES

编著 严国敏 主审 劳远昌



西南交通大学出版社

责任编辑 李彤梅 林 贞
封面设计 郑 宏

ISBN 7-81022-953-2



9 787810 229531 >

ISBN 7-81022-953-2/T · 186

定价: 25.00 元

现代斜拉桥

MODERN CABLE-STAYED BRIDGES

编著 严国敏
主审 劳远昌

西南交通大学出版社

内 容 提 要

本书主要介绍斜拉桥的历史与发展、总体布置、主梁、桥塔、斜索、设计计算、抗风、抗震及施工,以及铁路斜拉桥、钢斜拉桥、混凝土斜拉桥、结合梁斜拉桥、混合梁斜拉桥及花色斜拉桥,并附国内外著名桥梁实例共计30座。本书可供设计、施工、科研、教学作参考,并具有工具书功能。

现 代 斜 拉 桥

严国敏 编著

*

西南交通大学出版社出版发行
(成都 二环路北一段 610031)
成都飞机工业公司印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 19.875
字数: 474 千字 印数: 1—2100 册
1996 年 7 月第 1 版 1996 年 7 月第 1 次印刷
ISBN 7-81022-953-2/T·186
定价: 25.00 元

序

自从 30 年代悬索桥在跨度数值方面创造了新的世界纪录以后,在半个多世纪的桥梁结构型式的演进过程中,最富于想象力而引人注目的桥型莫过于斜拉桥了。现在,斜拉桥已在全世界纷纷崛起,仅我国就有 40 多座。

实践证明,斜拉桥确有许多优点,与此同时它在设计与施工方面也提出了一系列新的技术问题,无怪乎在近年的科技文献中涌现了大量关于斜拉桥的论述。然而,其中绝大多数为分散在多种文字的浩瀚刊物资料中的专题单篇,书卷形式的、全面系统的斜拉桥专著则尚未多见。

为了满足我国桥梁工程界的这一迫切需要,本书作者以其扎实的专业知识,丰富的工程阅历,娴熟的多种外语阅读能力和惊人的工作毅力,博览群书,深入分析,系统总结,伏案数载,竟自写出了《现代斜拉桥》这一专著。本书比较全面地反映了许多国家的斜拉桥建设情况,包括过去在海外报道中较少出现的某些我国的有关动态。因此不难预料,即使在国际上本书也将引起同行们的深厚兴趣。

本书作者严国敏高级工程师(教授级)原籍浙江吴兴(湖州),1925 年生于上海,自毕业于北京清华大学土木系后,一直从事桥梁设计工作,曾任铁道部大桥工程局勘测设计院副总工程师。在 40 多年里,作者负责或主持过多座重大桥梁的设计,其中包括 50 年代我国首次兴建的预应力混凝土桥——陇海线新沂河大桥,九江长江大桥引桥预应力梁(箱形、无碴无枕),内昆线岷江大桥与金沙江 1 号大桥,川黔线白沙沱长江大桥以及重庆市嘉陵江城市大桥等。作者为国际桥梁及结构工程协会会员,兼任华中理工大学博士研究生导师及长沙铁道学院与长沙交通学院教授。

我与作者早在 50 年代参加我国第一孔预应力混凝土桥梁的研制工作时就已认识,近年来工作接触与学术交往较为频繁,对作者的敬业精神素感可贵。时下写书难,而出书则更难,今喜闻本书终于得以付梓,乃欣然写出此篇,聊以作序。

劳逸昌

1995 年 7 月 7 日

前 言

《现代斜拉桥》初稿是1986年编者为铁道部大桥局设计院内部讲座用而编写的一份讲义。1987年曾先后两次分别在长沙交通学院与长沙铁道学院作为短期讲学的内容。1988—1989年期间,铁道出版社刘启山副编审多次动员编者将它修订后争取正式出版。1991—1993年间,刘启山同志热情地又多次旧事重提,建议补充最新资料后争取列入出版计划,并多方联系,设法为编者申请铁道部出版基金资助。后由铁道部建设司(以单位名义)、铁路工程总公司李际中总工程师、铁道建筑总公司宋抗常副总工程师、西南交通大学劳远昌教授、铁路专业设计院邵厚坤设计大师等分别写出推荐书,随同申请表格一起上报。结果,由于某些原因,申报材料未能上达基金委员会审查。1994年初,承蒙西南交大几位教授对学术出版工作的大力支持,由强士中教授向编者表示西南交通大学桥地系愿意设法资助出版此书,希望从速改写供稿。故于1994年下半年利用全部业余时间投入改编重写工作,历时半年有余,将1995年以前的斜拉桥资料(包括1994年12月出版的国外期刊最新资料)尽量收入,乃成此书稿。脱稿后得到劳远昌教授的允诺,作为本书的主审,对本书的质量提高作出了宝贵的贡献。后来本书的出版又得到中国铁道建筑总公司的部分资助。

全书约40万字,分为十五章。首章谈历史与发展。第二章是总体布置与结构体系。第三、四、五章分别论述斜拉桥的三大构件,即,梁、索与塔。第六章列出设计计算中的一些问题并附各国规范的一些规定。第七、八两章为抗风与抗震问题。第九章是施工方法。大体上前九章为斜拉桥的基本内容,后六章则分门别类地介绍六类斜拉桥(铁路斜拉桥、钢斜拉桥、混凝土斜拉桥、结合梁斜拉桥、混合梁斜拉桥、花色斜拉桥),并附桥例共计30座。这些桥大半是世界名桥及在斜拉桥的发展史上起过重要作用的,具有较广泛的代表性。通过这些实桥的例子可以补充前九章的某些论述不足,同时又提供了各类斜拉桥的一些重要资料与数据,内容包括主要构件的截面与尺寸、工程数量、施工方法以及各自的特点,具有实用参考价值及工具书功能。

这里特别要提一下,在第十章铁路斜拉桥中有些编者个人的看法可能会引起持不同意见者的争鸣,我认为这应该是件好事。

本书既可供设计、施工、科研作为参考书与工具书(查找实桥资料)用,同时又可作为桥梁专业讲授与教学参考书用。

最后,在此衷心感谢资助本书出版的西南交通大学与中国铁道建筑总公司、本书的主审劳远昌教授、热心促成本书出版的强士中教授与奚绍中教授、以及曾为本书写过推荐书的上述各单位与个人。同时,还要特别感谢中国铁道出版社以及该社的刘启山同志,虽然本书最后未能在该社出版。此外,还要感谢大桥局设计院、武汉长江公路大桥工程指挥部、中美合资武汉DRC公司、江阴长江公路大桥联合设计处,为本书稿分别提供了文字打印与插图复制工作方面的大力支持。

编 者

1995年8月15日

目 录

第一章 斜拉桥的历史与发展	1
1.1 定义与名称	1
1.2 历史	1
1.3 发展的原因与条件	3
1.4 斜拉桥的现状	4
1.5 技术上尚待继续改进的主要问题	6
第二章 总体布置与结构体系	8
2.1 孔跨布置	8
2.1.1 双塔三跨式	8
2.1.2 独塔双跨式	10
2.1.3 单跨式	12
2.1.4 多塔多跨式	13
2.1.5 塔跨混合式	15
2.2 斜索布置	16
2.2.1 斜索在空间内的布置形式(索面位置)	16
2.2.2 斜索在索面内的布置形式(索面形状)	16
2.2.3 索距的布置(稀索与密索)	18
2.2.4 斜索截面的布置(股索的排列)	18
2.3 梁体布置	19
2.3.1 连续体系	19
2.3.2 非连续体系	19
2.3.3 梁高	20
2.4 桥塔的形式和布置	21
2.4.1 塔架的形式	21
2.4.2 桥塔的有效高度	23
2.5 锚拉体系与支承体系	24
2.5.1 斜索的锚拉体系	24
2.5.2 桥塔的支承体系	25
2.5.3 梁体的支承体系	26
2.5.4 结构体系与梁体轴力的关系	29
第三章 主梁截面	30
3.1 钢梁	30
3.1.1 双索面体系的钢梁截面形式	30

3.1.2 单索面体系的钢梁截面形式	36
3.1.3 扁平钢箱梁的单室与多室问题	38
3.2 混凝土梁	38
3.2.1 双索面体系的混凝土梁截面形式	38
3.2.2 单索面体系的混凝土梁截面形式	43
3.2.3 单、双索面均能适应的三角形箱梁截面	46
3.3 结合梁	46
3.4 混合梁	48
第四章 斜索的构造与锚固	49
4.1 斜索所用的材料	49
4.1.1 桥梁钢丝抗拉强度的发展	49
4.1.2 钢绞线用的钢丝	50
4.1.3 平行钢丝索用的钢丝	50
4.1.4 预应力钢材	51
4.2 斜索的要求与种类	51
4.2.1 封闭式旋扭钢绞线	51
4.2.2 螺旋形钢绞线	51
4.2.3 平行钢丝股索	52
4.2.4 平行钢丝索	53
4.2.5 超长节距索	53
4.2.6 螺旋形钢绞线索	53
4.2.7 平行钢绞线索	54
4.2.8 平行粗钢筋索	54
4.3 斜索的防腐	55
4.3.1 钢绞线	55
4.3.2 平行钢丝股索	56
4.3.3 压注浆体的斜索	56
4.3.4 非压浆斜索	56
4.3.5 斜索的色彩	56
4.3.6 早期防腐方法的小结	57
4.3.7 斜索防护的今后趋势	58
4.4 斜索端部的配件(锚头)	58
4.4.1 注铸的锚头(热铸锚)	58
4.4.2 高疲劳强度锚头(HiAm 锚、NS 锚及 DINA 锚)	58
4.4.3 由后张体系演变的斜索锚头	60
4.5 斜索的锚固结构	60
4.5.1 斜索与钢结构结构的锚固	60
4.5.2 斜索与混凝土结构的锚固	64
第五章 桥塔	69
5.1 桥塔与桥梁景观的关系	69
5.2 各种桥塔形式的特点	70

5.2.1 单柱形桥塔	70
5.2.2 双柱形桥塔	71
5.2.3 门形桥塔	72
5.2.4 H形桥塔	72
5.2.5 梯形桥塔	73
5.2.6 A形或倒V形桥塔	73
5.2.7 倒Y形桥塔	74
5.3 桥塔构件的截面	74
5.3.1 塔柱的截面形式	75
5.3.2 横梁及其他形式的塔柱连结构件	80
5.4 桥塔的附属建筑与设备	80
第六章 设计计算中的一些问题	82
6.1 计算图式与结构分析	82
6.2 荷载与荷载组合	83
6.2.1 荷载的种类	83
6.2.2 荷载的组合及其容许应力提高系数	84
6.3 非线性分析	86
6.4 斜索垂度的影响	87
6.5 冲击系数	89
6.6 斜索预应力与主梁内力的关系	91
6.7 塔的稳定和有效压屈长度	92
6.8 有效宽度	93
6.9 主梁斜索锚固点附近的应力集中	95
6.10 疲劳验算	99
6.11 应力验算	99
6.12 负反力、移动量及支座	102
第七章 斜拉桥的抗风	103
7.1 由风引起的结构物的行为	103
7.1.1 静态的行为	103
7.1.2 动态的行为	104
7.2 斜拉桥的风振	107
7.2.1 梁体的风振	108
7.2.2 桥塔的风振	109
7.2.3 斜索的风振	111
7.3 抗风设计的顺序和基本考虑	113
7.3.1 抗风设计顺序和基本考虑	113
7.3.2 风洞试验	113
7.3.3 抗风性能的评价	115
7.4 混凝土斜拉桥的抗风性能	115
7.5 斜拉桥的抗风措施	116
7.5.1 梁体的抗风构件	116

7.5.2 桥塔的抗风措施	118
7.5.3 斜索的制振措施	119
7.6 我国部分斜拉桥的抗风研究	126
7.6.1 武汉长江公路桥	126
7.6.2 珠海淇澳大桥	128
第八章 斜拉桥的抗震	129
8.1 抗震设计概要	129
8.1.1 新的震度法	129
8.1.2 动态分析法	130
8.2 从抗震设计角度来看斜拉桥的动力特性	131
8.3 考虑地震反应的修正震度法	132
8.4 动态分析的输入地震波	135
8.4.1 根据加速度反应谱来输入地震波	135
8.4.2 地震强度、周期和持续时间	137
8.5 长周期地震振动	138
8.6 大型基础结构的抗震性能	139
8.7 非线性影响	140
8.8 动态分析图式	142
8.9 其他考虑	142
8.9.1 对大地震的考虑	142
8.9.2 对双向地震力的考虑	143
8.9.3 对上部结构阻尼系数的考虑	143
8.10 大和川桥地震反应分析结果实例	143
8.11 我国部分斜拉桥的抗震研究	145
8.11.1 天津永和桥	145
8.11.2 广东南海九江桥	146
第九章 斜拉桥的施工方法	147
9.1 桥塔的施工	151
9.1.1 钢桥塔的施工	151
9.1.2 混凝土桥塔的施工	153
9.2 主梁的施工	156
9.2.1 钢主梁的架设	156
9.2.2 混凝土主梁的施工	158
9.3 斜索的架设	162
9.3.1 设置锚固部件	162
9.3.2 斜索的引架	162
9.3.3 斜索的张拉	164
9.3.4 斜索的防护与清场处理	166
9.4 斜拉桥的施工管理	169
第十章 铁路斜拉桥	172

10.1 斜拉桥用于铁路的现状	172
10.2 铁路斜拉桥的刚度要求	174
10.2.1 竖向刚度	174
10.2.2 横向刚度	176
10.2.3 抗扭刚度	178
10.3 铁路斜拉桥的冲击力	178
10.4 列车走行安全性与乘客舒适度	179
10.5 斜索的疲劳设计与应力限值	183
10.5.1 应力限值	183
10.5.2 设计疲劳强度的计算	183
10.5.3 斜索锚固点角度变化产生的二次应力计算	184
10.6 铁路斜拉桥的适用性	184
10.7 铁路斜拉桥及公铁两用斜拉桥的实例	184
10.7.1 红水河铁路斜拉桥	185
10.7.2 P—E 公铁两用斜拉桥	187
10.7.3 基辅第聂伯河公铁两用斜拉桥	190
10.7.4 日本第二千曲川铁路斜拉桥	192
第十一章 钢斜拉桥	196
11.1 钢斜拉桥的现状	196
11.2 钢斜拉桥的特点	197
11.3 钢斜拉桥的实例	198
11.3.1 山东东营黄河桥	198
11.3.2 法国圣·纳泽尔桥	201
11.3.3 泰国湄南河桥	203
11.3.4 日本横滨海湾桥	206
11.3.5 日本东神户航道桥	210
11.3.6 日本鹤见航道桥	213
11.3.7 日本名港中大桥	218
11.3.8 日本多多罗大桥	220
第十二章 混凝土斜拉桥	224
12.1 混凝土斜拉桥的现状	224
12.2 混凝土斜拉桥的特点	225
12.3 混凝土斜拉桥的实例	227
12.3.1 重庆石门桥	228
12.3.2 武汉长江公路桥	231
12.3.3 法国勃鲁东桥	234
12.3.4 西班牙卢纳桥	237
12.3.5 美国 P—K 桥	240
12.3.6 美国东亨丁顿桥	242
12.3.7 美国日照高架桥	245
12.3.8 美国 D—P (达姆坪) 桥	247

12.3.9 挪威斯卡恩斯特桥	251
第十三章 结合梁斜拉桥	255
13.1 结合梁斜拉桥的现状	255
13.2 结合梁斜拉桥的特点	255
13.3 结合梁斜拉桥的实例	258
13.3.1 加拿大安娜西斯桥	258
13.3.2 上海杨浦大桥	261
第十四章 混合梁斜拉桥	265
14.1 混合梁斜拉桥的发展与现状	265
14.2 混合梁斜拉桥的特点	265
14.3 混合梁斜拉桥的实例	266
14.3.1 瑞典焦恩桥	266
14.3.2 日本生口桥	270
14.3.3 法国诺曼底桥	274
第十五章 花色斜拉桥	291
15.1 花色斜拉桥的实例	291
15.1.1 日本S形曲线斜拉桥(母子桥塔)	291
15.1.2 美国休斯敦航道桥(Bay Town 桥)	295
15.1.3 法国吉利桥(转体施工斜塔桥)	297
15.1.4 西班牙阿拉米罗桥(无背索斜塔桥)	300
15.2 从花色变化展望斜拉桥的前景	303
参考文献	305

第一章 斜拉桥的历史与发展

1.1 定义与名称

斜拉桥的上部结构由梁、索、塔三类构件组成，它是一种桥面体系以加劲梁受压（密索）或受弯（稀索）为主、支承体系以斜索受拉及桥塔受压为主的桥梁。这种桥梁在各国文字中的名称如下：

中 斜拉桥（斜张桥）

英 Cable-stayed bridge

日 斜张桥

德 Schrägkabelbrücke (Schrägseilbrücke)

法 Pont à Haubans

俄 БАХТОБЛИТМОСТ

对斜拉板桥（如瑞士的 Ganter 桥、日本的名取川铁路桥、中国南昆线的清水河铁路桥）及斜拉杆桥（如日本的小本川铁路桥、中国大秦线汤河及大里营铁路跨线桥）则因它们与定义及名称中的索（Cable, Kabel, Hauban, БАХТА）无关，可以将它们视为斜拉桥的分支或变种，不列入正统的斜拉桥之中。

1.2 历史

斜拉桥的雏形远在几百年之前就出现过。老挝和爪哇很早就有原始的竹制斜拉桥，开始是斜吊在树上（图 1.1），后来发展为斜吊在竹柱上（图 1.2）。古代埃及的海船上出现过用绳索斜拉的工作天桥（图 1.3）。



图 1.1 老挝的竹斜拉桥

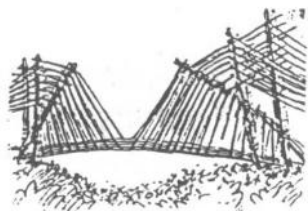


图 1.2 爪哇的竹斜拉桥

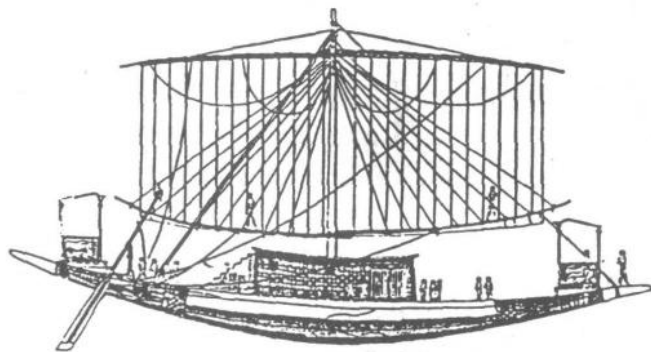


图 1.3 埃及海船上的斜拉天桥

1617 年意大利人 Fraustus Verantius 设计了一座用眼杆铁链吊拉的桥梁，近似于悬索桥

和斜拉桥的混合结构，其斜链的松弛垂度很明显。1784 年 Löscher 在德国设计过一座木斜拉桥（图 1.4）。1817 年在英国出现的 King's Meadow 桥（图 1.5）和 Dryburgh 桥（图 1.6）都初具斜拉桥的形式。但 Dryburgh 桥仍以悬索桥为主，其斜索仅起辅助作用。1868 年在捷克布拉格出现的 Franz Joseph 桥（图 1.7）也是混合结构。1873 年英国泰晤士河上的 Albert 桥（图 1.8）似已过渡到以斜拉为主的形式。法国 1907 年的 Cassagne 桥（图 1.9）与 1925 年的 Lezardrieux 桥（图 1.10）虽都有近代斜拉桥的形式，但前者有短竖索，后者则斜索有交错。在以上经历 300 余年的漫长时期中斜拉桥的发展是很缓慢的。此外，由于有几座早期的斜拉桥发生倒桥事故，因此在相当长一段时间内，斜拉桥的发展曾处于被人遗弃而成空白。

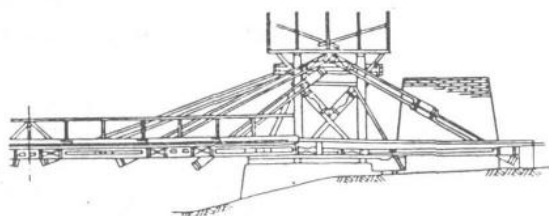


图 1.4 Löscher 的木斜拉桥

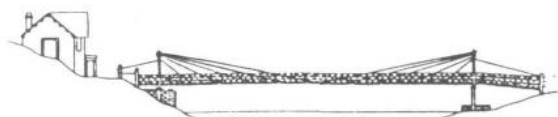


图 1.5 King's Meadow 桥



图 1.6 Dryburgh 桥



图 1.7 Franz Joseph 桥

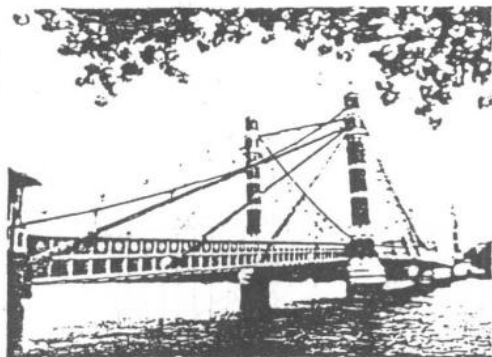


图 1.8 Albert 桥

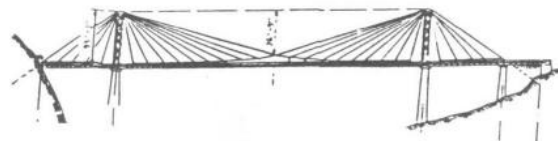


图 1.9 Cassagne 桥

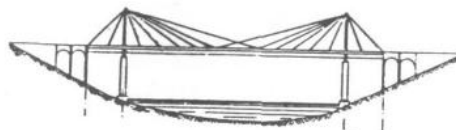
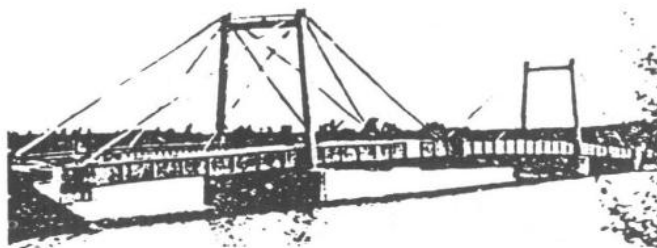


图 1.10 Lezardrieux 桥

1938 年德国的基辛格 (Dischinger) 首先重新认识到斜拉桥结构体系的优越性，并加以大力提倡。他指出对钢斜拉索必须施加足够高的应力来消除长索自重垂度带来的柔性影响，借以使梁体的变形保持在较低范围内。1955 年在瑞典建成主跨为 182.6m 的 Strömsund 桥（图 1.11 及照片）是第一座现代斜拉桥。接着，1958 年又在原联邦德国的杜塞尔道夫建成主跨为 260m 的 Theodor—Heuss 桥，它巩固了现代斜拉桥的地位。但以上两桥均采用稀索与钢加劲梁，这也是早期现代斜拉桥的共同特点。



图 1.11 Strömsund 桥



照片 Strömsund 桥

1.3 发展的原因与条件

1. 对 200~500m 跨度最有竞争力

钢梁的最大适用跨度由于钢材的强度与重量、梁高和架设等各种原因，目前基本上仍停留在 150~200 m 之间。而适用于大跨度的悬索桥当其跨度小于 400~500 m 时有活载影响太大和易于变形的缺点。处在上述两者之间的 200~500 m 跨度对斜拉桥来说恰巧是最适宜的经济跨度。斜拉桥在此范围内无论上与悬索桥相比或下与钢梁相比都有一定的优越性。

2. 景观方面的新颖感

斜拉桥的梁、索和塔，特别是索和塔，都各自可以有种种形式和布置方法。因此可以组合出很多的桥梁外形来满足景观上的要求。它的特点是突出直线感与柔细感，能显示出过去桥梁所没有的近代造型。

3. 新材料开发的配合

近年来高强钢材，特别是斜索卷材的发展有力地配合了斜拉桥的飞跃发展。螺旋形钢丝绳 (Spiral Rope) 是较早作为斜索的一种卷材。自从封闭式卷制钢绳 (Locked Coil Rope, 以下简称 LCR) 问世以来，在强度、抗腐蚀性及弹性模量等方面都较优越。以原联邦德国为中心的欧洲各国采用 LCR 较多。后来又出现平行钢丝索 (Parallel Wire Strand, 以下简称 PWS)，它在材料性能和施工技术方面不断得到进步，逐渐在全球成为斜索的主要材料。最近斜索都在工厂连同锚头和防腐体系一起制造成商品卷材提供架桥现场使用，在防腐处理方面也一再有所改进。

4. 设计理论和计算技术的进步

早期的斜拉桥都是稀索，结构体系的超静次数较少。由于电子计算技术的发达，计算高次超静结构已不是难事，因而密索体系得到不断的发展。除此之外，作为柔性结构，斜拉桥的抗风抗震问题比较突出。对大跨度斜拉桥还有非线性的问题。这些方面的计算理论也较复杂。但近年来由于计算理论的研究开发以及计算手段的进步，对斜拉桥的发展创造了一定的有利条件。

5. 施工技术的进步

由于伸臂架设法的开发和进步，斜拉桥可利用斜索来进行伸臂施工，索梁同时并进，甚

至塔、索、梁同时并进；还可利用斜索对主梁施加预应力来调整弯矩。架设后的最终状态可与成桥后所要求的线形基本吻合。

随着预应力工艺技术的进步，现代预应力张拉工艺已成功地运用在斜索的张拉作业中。斜拉桥的发展也已跳出钢结构的范围而同时在 PC 斜拉桥方面大显身手。

6. 整体桥面的开发与配合

早期的桥面梁体常由多种构件互相连接并顺次支承所组成，即主梁或主桁架支承横梁、横梁支承纵梁、纵梁支承桥面板，这种非整体性的梁体组合截面不利于发挥桥面梁体全截面的作用。特别是流线型扁平箱梁（无论是钢的或混凝土的）问世以来，斜拉桥如虎添翼，更能得心应手。

1.4 斜拉桥的现状

1. 密索取代稀索

稀索变密索可以说是斜拉桥在近 30 年中的最大变化。稀索在主梁上的间距一般为 30~60 m（钢梁）及 15~30 m（混凝土梁），故梁的弯矩及剪力仍相当大而需要较大的梁高。斜索的内力与截面相对来说也较大，因此对架设和施工也带来较多的困难。斜索锚固点的构造细节也较复杂，其附近常需作大规模的补强，耗料也多。图 1.12 为原联邦德国 Leverkusen 桥的钢重分布，图 1.13 为中国红水河铁路斜拉桥的混凝土重分布。由此可以看出稀索锚固点附近要投入大量的钢材或混凝土。

由稀索变为密索后，上述各点都可得到缓和，并且梁高可以减小，使斜拉桥的造型更加柔细。随之而来的是梁的内力有以轴力为主的倾向，这对发展预应力混凝土斜拉桥极为有利。

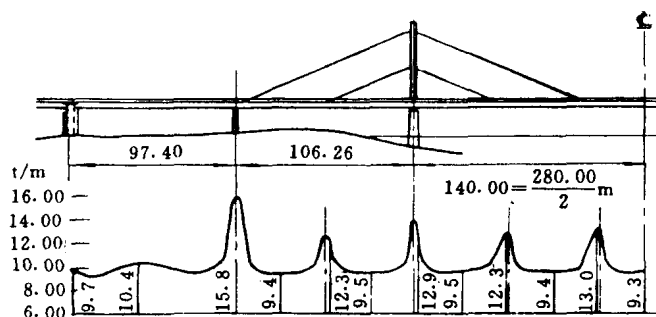


图 1.12 Leverkusen 桥的钢重分布

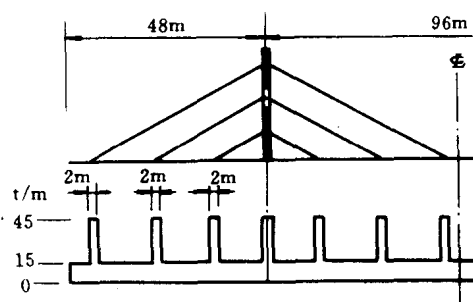


图 1.13 红水河桥的混凝土重分布

2. 预应力混凝土（PC）斜拉桥的兴起

60 年代只出现少数的几座 PC 斜拉桥，即 1962 年委内瑞拉的马拉开波（Maracaibo）桥与法国的东兹尔（Donzere）桥，1963 年前苏联基辅的第聂伯尔（Dniper）桥，以及 1967 年意大利罗马的马格里那（Magliana）桥。其中的马拉开波桥与马格里那桥为非正统的斜拉桥，东兹尔桥的跨度仅 81m，第聂伯尔桥主跨达 144m。

进入 70 年代以后，PC 斜拉桥大量兴起，其中在历史上创跨度纪录的有 1977 年的法国勃

鲁东(Brotonne)桥,主跨达 320 m;1983 年的西班牙卢纳(Barriers de Luna)桥,主跨达 440m,超过当时的钢斜拉桥最大跨度 404m(法国的圣·纳泽尔桥);1991 年的挪威斯卡恩圣特(Skarnsundet)桥,主跨达 530 m,为当时世界各类斜拉桥的跨度之冠。

除此之外,在 PC 斜拉桥中还出现了许多具有一定特色的世界名桥,如美国的日照高架(Sunshine Skyway)桥,P—K 桥,东亨丁顿(East Huntington)桥,达姆岬(Dames Point)桥,加拿大的 ALRT 桥,阿根廷的 P—E 桥,墨西哥的柯察科尔考斯(Coatzacoalcas)桥,马来西亚的槟榔屿桥,日本的青森桥以及挪威的赫尔格兰特(Helgeland)桥等。

中国在已建的斜拉桥中,除了少数钢斜拉桥与结合梁斜拉桥之外,基本上全是 PC 斜拉桥。

关于 PC 斜拉桥的经济比较,根据著名桥梁专家、美籍华人林同炎(T. Y. Lin)教授与日本方面研究分别得出的结论是:跨度分别大于 152 m 与 135 m 时 PC 斜拉桥比 PC 梁式桥经济。另外,德国斯多加特大学 W. Zellner 教授的研究认为:在一定的条件之下,当主跨小于 550 m 时 PC 斜拉桥比钢斜拉桥经济。以上的比较资料虽有一定的参考价值,但各国国情不同,以及技术在不断进步与变化,需要根据实情来加以修正。

3. 斜拉桥种类的多样化

近 40 年,斜拉桥在世界范围内已得到飞跃发展,其分布包括诸先进国家与发展中的国家。根据现有资料统计,全球已建成各类斜拉桥达 300 余座。斜拉桥的分类从用料上大致可分为钢斜拉桥、混凝土斜拉桥、结合梁(叠合梁)斜拉桥与混合梁(边跨混凝土梁与主跨钢梁联结)斜拉桥四类。从过桥的荷载来分则有人行桥、公路桥、铁路桥、水槽桥、各种管道桥、公铁两用桥与多用桥等。

钢斜拉桥目前已建成的最大跨度为日本横滨海湾桥的 460 m。但正在修建中的日本东神户桥(485 m)、鹤见桥(510 m)、名港中大桥(590 m)等不久都将建成通车。中国福州的闽江正在计划修建主跨 605 m 的钢斜拉桥。日本正在设计与施工中的主跨 890 m 的多多罗大桥乃是目前跨度最大的钢斜拉桥,也是各类斜拉桥的跨度之首。

混凝土斜拉桥的最大跨度目前仍为挪威的斯卡恩圣特桥的 530 m 所保持。结合梁斜拉桥的最大跨度已归中国上海杨浦大桥的 602 m 所有。混合梁斜拉桥的最大跨度目前暂以日本生口桥的 490 m 为首,但相信本书出版时已被法国诺曼底桥的 856 m 所取代。

迄今为止,斜拉桥用于铁路的实例甚少。不计斜拉板及斜拉杆形式的非正统斜拉桥,全球已建成通车的铁路专用斜拉桥只有 3 座(表 1.1),公铁两用斜拉桥计 7(9)座(表 1.2)。日本最近正在北陆新干线上计划设计的第二千曲川桥,跨度为 133.9+133.9m,是一座通过双线铁路荷载(P—16)的正统 PC 斜拉桥,预计 1997 年建成。

表 1.1 已建成的 3 座铁路专用斜拉桥

国 家	桥 名	建成年	主跨 (m)	规模	材料
英 国	林恩 (Lyne) 跨线桥		55+55	双线	PC
南斯拉夫	沙瓦 (Sava) 河桥	1980	254	双线	钢
中 国	红水河桥	1981	96	单线	PC