

斜拉桥的 拉索振动与控制

**Cable Vibrations
in Cable-Stayed Bridges**

[葡] 埃尔莎·德·萨·卡埃塔诺 著
张德祥 译
罗世东 校

中国建筑工业出版社





埃尔莎·德·萨·卡埃塔诺 (Elsa de Sá Caetano) 于 1965 年生于葡萄牙波尔图，1988 年获葡萄牙波尔图大学工程学院土木工程学士学位，1989 年任该校高级助教，从此一直致力于该校土木工程系振动与监测实验室的创新与研发。埃尔莎·德·萨·卡埃塔诺分别于 1992 年和 2001 年获得硕士和博士学位并于 2006 年任该校副教授。

其教学工作包括：数值和实验结构分析、钢与复合结构。其在结构动力领域的研究兴趣有实验动力学与监测、斜拉桥的拉索振动、人行天桥上人为因素引发的振动及其控制。在该大学的研究和咨询工作中，埃尔莎·德·萨·卡埃塔诺参与了桥梁和特殊结构的设计、验证或改造的多项数值和实验研究。



著作权合同登记图字：01-2011-3461号

图书在版编目(CIP)数据

斜拉桥的拉索振动与控制/(葡)卡埃塔诺著;张德祥译. —北京:中国建筑工业出版社, 2011.11

ISBN 978-7-112-13643-8

I. ①斜… II. ①卡…②张… III. ①斜拉桥-桥梁-振动-研究 IV. ①U448.27

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第204840号

Cable Vibrations in Cable-Stayed Bridges, Elsa de Sá Caetano/Copyright © 2007 by International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE)

All rights reserved. No part of this book may be reproduced in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without permission in writing from the publisher.

Reprinted in Chinese by China Architecture & Building Press (CABP)

Translation copyright © 2011 China Architecture & Building Press

本书经IABSE授权我社翻译出版

责任编辑:白玉美 率 琦

责任设计:赵明霞

责任校对:陈晶晶 赵 颖

斜拉桥的拉索振动与控制

Cable Vibrations in Cable-Stayed Bridges

[葡] 埃尔莎·德·萨·卡埃塔诺 著

张德祥 译

罗世东 校

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京嘉泰利德公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 10³/₄ 字数: 266千字

2012年4月第一版 2012年4月第一次印刷

定价: 36.00元

ISBN 978-7-112-13643-8

(21422)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

斜拉桥的 拉索振动与控制

Cable Vibrations
in Cable-Stayed Bridges

[葡] 埃尔莎·德·萨·卡埃塔诺 著
张德祥 译
罗世东 校



中国建筑工业出版社

前 言

世界各地斜拉桥不同的拉索振动现象，使人们必须对这些现象进行了解并加以控制。在过去 20 多年间，人们已经进行了大量的研究，并在设计实践中应用，与此同时，国家科研机构、编制结构安全设计与评估规程规范的部门所进行的学术研究项目，也已建立了一个解决问题的框架。

本书对有关拉索振动既有的知识进行了综述，主要集中在振动控制因素、评估振动影响的方法，以及振动控制设备的设计。

很显然，将研究成果付诸实施，并从实践中学习，激励了有经验的设计和咨询人员，根据其所参与的特定项目进行论文写作。在此，我想对下述提供意义深远的、内容丰富的研究报告的作者深表谢意，他们是：Yves Bournand 博士（VSL 国际）、Chris Geurts（荷兰应用科学研究院，TNO）、Carl Hansvold（Johs.Holt 公司）、Allan Larsen（丹麦科威公司）和 Randall Poston（WDP 及其联合事务所）。

我还要感谢全世界许多研究人员的支持与提供的材料，对他们的工作表示敬意。我要特别提到的是：Yozo Fujino 教授、Hoang Nam 博士、Masaru Matsumoto 教授及 Hiroshi Tanaka 教授，他们仔细审核了原稿并提供了重要的研究报告。我还要感谢以下人士提供的资料和图片，他们是：Hiroki Yamaguchi 教授及 Steen Krenk、Shaohong Cheng 博士、Olivier Flamand、Christian Cremona 及 António Pinto da Costa、Craig Winters 先生和 Philippe Duflo。

最后，我想感谢国际桥梁与结构工程协会（IABSE）提供机会并支持出版本书，并感谢编委会主席 Geoff Taplin 博士，因为有了他的承诺，才使得本书成功出版。

埃尔莎·德·萨·卡埃塔诺
葡萄牙波尔图大学工程系
2007 年 8 月于波尔图

第1章 概述

斜拉桥在 20 世纪下半叶业已确立，是一种既经典又新型的桥型。与悬索桥相比刚度相对较大，适合于在软土中进行平衡法施工，并为大跨度和中等跨度的桥梁提供有经济优势与显著美学特征的结构解决方案，使得这种桥跨结构的建设在全世界有了巨大增长。很自然，伴随这种增长，带来的是逐渐大型化和更为纤细的结构重大技术开发。斜拉桥要承受多种动荷载作用，如：交通、风、行人和地震作用，要描述这些荷载的效应相当复杂。此外，斜拉索是一种很柔性的结构构件，通常具有阻尼系数较小的特性，所以，这些构件极易受到振动是不难理解的。

以前关于拉索振动的报告提到法国的布鲁东纳（Brotonne）桥，可追溯到 1976 年^[1]。根据斯蒂梅尔（Stiemer）等人的监测^[2]，振动如此之大，以至于几乎平行的拉索，中心相距 1957mm，最长拉索还是发生相互碰撞。尽管在当时还不了解这些振动源，但通过在靠近桥面锚固端安装黏滞性阻尼器，可以解决这一振动问题。至那时起，全世界在很多桥梁上都发现了许多振动问题，从而引发了对各种振动现象的深入研究。对拉索振动的最初研究可追溯到 20 世纪 80 年代，尽管对某些复杂现象的控制机理还未获得充分的了解，但有关各种振动源的重要信息，引起了桥梁设计人员的广泛兴趣，预测和控制振动的可能方法，均可在文献中找到。

考虑到这些问题，本书旨在系统总结对拉索振动各种现象的最新研究成果，以及当今对潜在的拉索振动现象进行各种可能预测的方法和各种有效控制振动的方法。本书还附有公认的桥梁设计研究人员的研究应用实例。在附录中，探讨了斜拉索动力学的一些最相关问题。

第2章 正文的组成

本书分为7个章节，内容如下：

- 第1和第2章介绍斜拉桥的拉索振动问题，并提出了本书的目标和结构。
- 第3章简述了斜拉桥的历史。
- 第4章讲述了由风和（或）雨的直接作用引发的拉索振动现象，即：抖振，涡激振动，驰振，尾流干扰，风雨激振和最近发现的现象。
- 第5章讲述了间接激励现象，即：因拉索锚固端的振动在拉索上引发的振动现象。为方便研究起见，将这些问题分为两组，即所谓的外部激励和参数激励现象，并通过研究单根拉索来进行介绍。本章还探讨了拉索与结构的动力相互作用。
- 第6章专门讲述拉索的阻尼系统，并介绍被动阻尼器设计的简单方法。
- 第7章为世界上公认的桥梁设计人员完成的研究报告，主要针对特定桥梁上的具体振动问题及运用的解决方法。

正文之后有3个附录，其中所提出的一些理论和实际问题均论证了拉索振动研究。它们是：

- 拉索变形特征的说明（附录A）。
- 拉索动力学的基本原理介绍（附录B）。
- 拉索力和阻尼实用评估实验方法参考资料（附录C）。

目 录

第 1 章 概述	1
第 2 章 正文的组成	2
第 3 章 斜拉桥建设简史	3
第 4 章 由风和雨直接引发的振动现象	9
4.1 斜拉索上的风荷载	9
4.1.1 浸入均匀流体中的固定圆柱体	9
4.1.2 浸入湍流中的固定圆柱体	13
4.1.3 浸入湍流中的移动圆柱体	15
4.1.4 线性化运动方程	16
4.2 抖振	17
4.3 涡激振动	18
4.3.1 基本特征	18
4.3.2 振动幅度	20
4.4 驰振	24
4.4.1 基本原理	24
4.4.2 预测及控制措施	27
4.5 尾流效应	28
4.5.1 抖振共振	28
4.5.2 涡激共振	29
4.5.3 干扰效应	29
4.6 风雨激振	33
4.6.1 现象的识别	33
4.6.2 实验观测	34
4.6.3 解析和设计模型	39
4.6.4 失稳机理	44
4.6.5 风雨激振的其他可变因素	46

4.6.6	风雨激振实例及预防措施	46
4.7	阻力危机	48
第 5 章	间接激励	49
5.1	概述	49
5.2	外部激励	50
5.2.1	线性模型	50
5.2.2	拉索的线性响应	51
5.2.3	非线性模型	52
5.3	参数激励	56
5.3.1	一般方程	56
5.3.2	在斜拉索上的应用	59
5.3.3	外部/参数激励实例	60
5.4	拉索与结构的相互作用	61
第 6 章	斜拉桥的振动控制	63
6.1	概述	63
6.2	振动控制系统	63
6.2.1	振动的气动控制	63
6.2.2	振动的结构控制	64
6.2.3	振动的机械控制	65
6.2.4	主动控制系统	68
6.3	最佳被动阻尼器设计	69
6.3.1	概述	69
6.3.2	最新研究	69
6.3.3	问题公式化	70
6.3.4	实际应用	90
第 7 章	案例报告	96
7.1	斯卡恩圣特大桥(挪威)	97
7.2	普恩特皇家大桥(西班牙巴达霍斯)	98
7.3	老兵纪念碑大桥和弗雷德哈尔曼大桥(美国得克萨斯州)	100
7.4	伊拉兹马斯大桥(荷兰鹿特丹)	104
7.5	汲水门大桥(中国香港)	109
7.6	厄勒海峡大桥(丹麦-瑞典)	112
7.7	乌德瓦拉布隆大桥(瑞典)	114
7.8	摩擦阻尼器试验	116

附录 A 拉索的变形特征	119
A.1 目标	119
A.2 静态性状	119
A.2.1 一般假定: 弹性悬链线	119
A.2.2 弹性抛物线	123
A.2.3 数值模型	124
附录 B 拉索动力学的基本原理	132
B.1 目标	132
B.2 水平 - 拉索振动的线性理论	132
B.2.1 基本假定和平衡方程	132
B.2.2 固有频率和模态振型	133
B.3 斜拉索的振动线性理论	137
B.3.1 简化法	137
B.3.2 渐近线法	137
B.4 弯曲刚度效应	141
B.4.1 紧拉弦法	141
B.4.2 简化的松垂拉索法	141
附录 C 拉索力和阻尼的评估	144
C.1 概述	144
C.2 力评估的方法	144
C.2.1 用张拉千斤顶直接测量应力	144
C.2.2 环测力传感器或应变仪在钢绞线上的应用	144
C.2.3 拉索伸长率的测量	145
C.2.4 地形测量	145
C.2.5 振动方法	145
C.3 基于振动方法的力和阻尼评估	146
C.3.1 振动弦理论	146
C.3.2 弯曲和松垂效应	147
C.3.3 拉索频率的测量	147
C.3.4 拉索阻尼的估算	148
C.3.5 实际应用	150
参考文献	154

斜拉桥的拉索振动与控制

作为桥梁经典类型中的一种新型类别, 50多年的斜拉桥建设已经取得了长足的进步, 包括从概念到设计, 乃至材料、分析、施工、监测以及改造等等。日益增长的斜拉桥建设已经引起设计和研究人员对拉索振动问题的注意。过去20年间, 全世界对各类斜拉桥出现的为数众多的拉索振动实例进行了深入研究。

尽管对各种振动现象的认知在增加, 而且绝大部分成果及研究结论业已在各种期刊和会议文集上发表, 但目前由既有的规范规程所提供的资料仍很匮乏。

本书对拉索振动的主要现象进行了全面阐述, 包括与风和雨直接相关的作用(抖振、涡激振动、尾流效应和雨-风振动), 以及通过锚固振动的间接激励作用(外部和参数激励), 同时提出了评估这些现象所造成的影响的方法, 并用实例加以说明。书中还对拉索振动的控制进行了探讨, 并提出了设计被动控制装置的具有当代国际先进水平的研究成果。

本书附有反映实用方法的大量案例报告, 这些报告由下列经验丰富的设计及咨询人员所提供, 他们是: Yves Bournand (VSL INTERNATIONAL), Chris Geurts (TNO), Carl Hansvold (Johs.Holt), Allan Larsen (Cowi) 和 Randall Poston (WDP & Associates)。



责任编辑: 白玉美 率 琦

经销单位: 各地新华书店、建筑书店

网络销售: 本社网址 <http://www.cabp.com.cn>

网上书店 <http://www.china-building.com.cn>

博库书城 <http://www.bookuu.com>

图书销售分类: 城乡建设·市政工程·环境工程 (B20)

ISBN 978-7-112-13643-8



9 787112 136438 >

(21422)定价: 36.00 元