

桥梁健康监测

Health Monitoring of Bridges

[奥地利] 赫尔穆特·文策尔 著

伊廷华 叶肖伟 译

中国建筑工业出版社
CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

014032251

U446
02

桥梁健康监测 Health Monitoring of Bridges

[奥地利] 赫尔穆特·文策尔 著
伊廷华 叶肖伟 译



中国建筑工业出版社



北航 C1720548

U446
02

01403521

著作权合同登记图字：01-2010-5540号

图书在版编目(CIP)数据

桥梁健康监测/(奥)文策尔(Wenzel, H.)著;
伊廷华,叶肖伟译. —北京:中国建筑工业出版社,
2013.10

ISBN 978-7-112-15698-6

I. ①桥… II. ①文… ②伊… ③叶… III. ①桥梁
结构-监测-研究 IV. ①U446

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第183713号

Health Monitoring of Bridges/Helmut Wenzel-9780470031735

Copyright © 2009 John Wiley & Sons, Ltd

Chinese Translation Copyright © 2013 China Architecture & Building Press

All rights reserved. Authorized translation form the English language edition published by
John Wiley & Sons, Ltd. This translation published under license.

没有 John Wiley & Sons, Inc. 的授权, 本书的销售是非法的

本书经英国 John Wiley & Sons, Ltd. 出版公司正式授权翻译、出版

责任编辑:刘婷婷 董苏华

责任设计:董建平

责任校对:张颖 刘梦然

桥梁健康监测

[奥地利] 赫尔穆特·文策尔 著

伊廷华 叶肖伟 译

*

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

北京科地亚盟排版公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:32 字数:835千字

2014年3月第一版 2014年3月第一次印刷

定价:108.00元

ISBN 978-7-112-15698-6

(24504)

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)

译者的话

交通运输关系国计民生和经济命脉，而大型桥梁则是确保交通能够畅通无阻的关键载体。然而，桥梁在其长达几十年、甚至上百年的服役期间，环境侵蚀、材料老化和动静力荷载的长期效应、疲劳效应以及突变效应等不利因素的耦合作用，都将不可避免地导致结构的损伤累积和抗力衰减。为了保障大型桥梁结构的安全性、完整性、适用性和耐久性，结构健康监测技术应运而生。结构健康监测是指利用现场的、无损的、实时的方式采集结构与环境信息，分析结构反应的各种特征，获取结构因环境因素、损伤或退化而造成的改变。伴随我国结构健康监测领域第一部行业标准《结构健康监测系统设计标准》(CECS333:2012)于2013年3月开始正式实施，结构健康监测技术必将迎来更加广泛的应用前景。

《桥梁健康监测》(Health Monitoring of Bridges)一书由国际著名学者赫尔穆特·文策尔(Helmut Wenzel)教授倾注多年的心血撰写而成，本书全面系统地论述了桥梁健康监测的基本原理和方法，深入浅出地讲解了监测数据处理的理论知识与要点，简明扼要地综析了国内外著名的工程应用实例以及监测系统设计准则，是一部优秀的学术著作。赫尔穆特·文策尔教授是结构振动监测领域的国际领军者，有着深厚的桥梁监测理论知识和丰富的工程实践经验，他主持开发的“桥梁监测系统”(BRIMOS)，是业界知名的大型桥梁监测软件，在世界范围内有着广泛的应用。

译者受邀承担本书的翻译工作，一方面倍感荣幸；另一方面又诚惶诚恐，唯恐自己才疏学浅而贻误了读者，纠结之余，唯有倍加努力。无奈译者水平有限，书中难免有疏漏、不足，甚至错误之处，衷心希望读者批评指正。

本书的出版得到了中国建筑工业出版社的大力支持，在此表示衷心感谢！

2013年11月

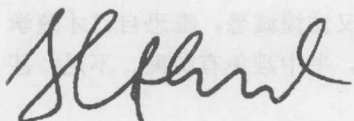
To Chinese Readers

奇山青碧

The past decade has witnessed substantial progress towards the application of structural health monitoring (SHM) technology, and a considerable amount of SHM systems have been devised and implemented on landmark large-scale civil structures worldwide. What motivated me to write the book 'Health Monitoring of Bridges' was the desire to enable extraction of information from data, to give justification for the investment and to share the state-of-the art and practice of structural health monitoring of bridges with others.

I am glad to hear that the China Architecture and Building Press has recently bought the copyright from Wiley for publication of this book in Chinese. There is no doubt that this activity will benefit professionals and students in China a lot and impel more young researchers and students to be interested in SHM. Therefore, I would like to recommend two excellent young scholars (Dr. Ting-hua Yi of Dalian University of Technology, China and Dr. Xiao-wei Ye of Zhejiang University, China) to translate this book into Chinese in recognition of their outstanding achievements in the field of SHM.

Yours sincerely,



Dr. Helmut WENZEL

Professor for Structural Health Monitoring

University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Austria

President of VCE-Vienna Consulting Engineers Holding GmbH

Vienna, Austria

致中国读者

言 录

在过去的十年里，结构健康监测技术的应用取得了长足的发展。在世界范围内，许多标志性的大型土木工程结构已设计并安装了结构健康监测系统。本人撰写《桥梁健康监测》一书的初衷是为从监测数据中获取有用的信息提供指导，为土木工程基础设施的投资给出判断，以及与各位同行分享桥梁结构健康监测的研究与工程实践进展。

欣闻中国建筑工业出版社从 Wiley 出版社购买了该书在中国的出版版权。毫无疑问，这一举措将为中国的业界同行和莘莘学子带来诸多益处，同时也有利于激发更多的年轻学者和学生对结构健康监测产生兴趣。我非常高兴推荐两位优秀的中国青年学者（大连理工大学的伊廷华博士和浙江大学的叶肖伟博士）将该书翻译成中文，他们在结构健康监测领域已经做了很好的研究工作。

赫尔穆特·文策尔博士
结构健康监测专业教授

自然资源与生命科学大学，维也纳，奥地利
奥地利维也纳工程顾问公司（VCE）主席

序 言

香彩国中娃

桥梁是社会赖以生存的交通基础设施中的重要建筑物。随着桥梁龄期的增长，其运营和维护已变得越来越复杂。结构健康监测作为一种全寿命管理手段，刚刚经历了一段非常重要的发展时期。为了维护和发展高质量、高水准的公众服务，了解结构全寿命过程中的性能以确保其能够保持较长的服役周期和耐久性至关重要。

桥梁结构健康监测涉及诸多方法和内容，单凭一部著作很难将其完全覆盖。因此，本书着重于目前动态监测中的方法和实践，研究了采用动力特性来表示结构健康状态的理论。

在其他领域，例如机械工程和航空领域，结构特性都是已知的且是在一种可控的条件下运行的。然而，土木工程却要面临许多非线性问题和一些能够隐藏有用信息的主要环境因素。这导致了监测结果具有一定的不确定性，而这种不确定性需要有效的解决方法。随着未来研究工作和解决方法的不断发展，某个或某些方法将极有可能被否决。因此，为了便于将来应用新的方法进行计算，或与未来监测结果进行定量比较，任何监测工作的原始数据都应该被妥善保存。

另外需要提到的是，桥梁管理方法易受到一些政治因素或桥梁倒塌事故的影响，这些或许会阻碍一些较好的方法的应用。必须认识到，目前关于桥梁管理措施的研究正在进行，这或许会引起一些现有方法的调整和改进。

桥梁结构健康监测是一种基于网络且具有用户友好界面的集成决策支持系统。它主要包括：

- 基于 GIS 环境，可通过网络报告结构实时状态的显示装置
- 带网络接口的数据库
- 长期的和可移动的监测元件
- 数据处理、传输和净化程序
- 用于统计比较的相关知识和历史数据库
- 包含自动模型修正程序的动态桥梁模拟数据库
- 通过计算用于制定决策所需建议的实例推理系统
- 与现有桥梁数据库及相关规范、标准的接口

桥梁监测成功的关键在于高质量的数据、可靠的识别模型以及由定量监测所得到的结构性能退化规律。监测输出的结果既可以是可靠性指标、安全级别、图形符号，也可以是桥梁业主所需要的其他输出变量。由于健康监测项目非常复杂，且存在一定的局限性，因此需与工程实际判断相结合，这说明结构健康监测系统要想超过资深桥梁工程师的经验还有很长的路要走。在土木工程领域，人力完全被计算机代替并不合理，而两者的有效结合更值得推荐。结构健康监测系统可以看作是桥梁工程师的工具和判断依据，也可以看作是桥梁业主遇到紧急情况时是否需要邀请专家的指示器。

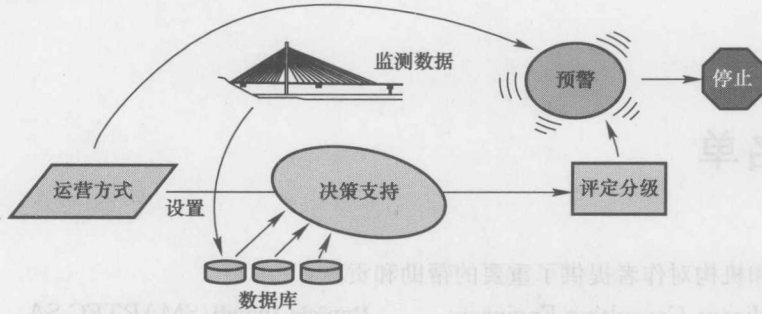
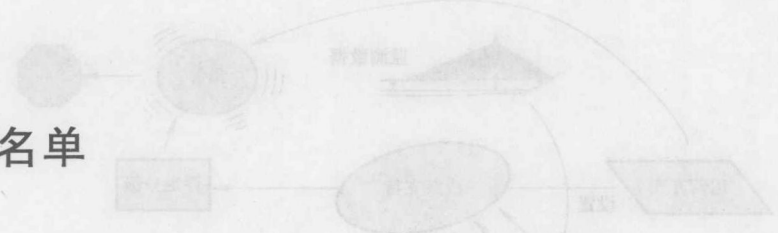


图 1 VCDECIS (决策支援与专家知识整合型系统) 的系统结构图

在实际中，结构健康监测需要一种结构化的方法，但往往整个过程只有一部分功能被采用。下面 12 项工作所包含的问题如果都能得到解决，则健康监测将会取得理想的和令人满意的结果。

1. 结构健康监测的概念 (明确的目标!) 和设计
2. 优化和成本效益分析
3. 硬件
4. 软件
5. 通信和网络接口
6. 调试和启动
7. 报告的组成
8. 定期报告
9. 分析和专家评定
10. 阈值和预警值
11. 定期维护
12. 系统升级

并不是所有的事情都必须由同一位专家处理，通常来说团队合作才是成功之路。



贡献者名单

以下人员和机构对作者提供了重要的帮助和贡献:

- Günther Achs**, Vienna Consulting Engineers
- A. Emin Aktan**, Drexel Intelligent Infrastructure and Transportation
- P. Barras**, CETE du Sud Ouest, Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées
- Andrea Bergamini**, Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research
- T. Bolle**, Infokom
- James Brownjohn**, University of Plymouth
- L. K. Cheng**, TNO TPD
- Guido DeRoeck**, Katholieke Universiteit Leuven
- Rainer Flesch**, Arsenal Research GmbH
- C. -P. Fritzen**, University of Siegen
- Peter Furtner**, Vienna Consulting Engineers
- Georg Gutenbrunner**, Vienna Consulting Engineers
- Karim Hariri**, University of Technology at Braunschweig
- Olaf Huth**, Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research
- Daniele Inaudi**, SMARTEC SA
- Raid Karoumi**, Royal Institute of Technology
- Anne S. Kiremidjian**, Stanford University
- J. M. Ko**, Hong Kong Polytechnic University
- S. Lesoille**, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
- Andrea Mordini**, Vienna Consulting Engineers
- Bart Peeters**, LMS International
- Udo Peil**, University of Technology at Braunschweig
- Rolf Rohrmann**, Federal Institute for Materials Research and Testing
- Dominique Siegert**, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
- Hiroshi Tanaka**, University of Ottawa
- Robert Veit-Egerer**, Vienna Consulting Engineers
- Johan Wiberg**, Royal Institute of Technology

GEOCISA.

Geodetic and Geophysical Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences,

RAMBØLL.

Swedish National Road Administration,

TRL Limited.

前 言

对桥梁结构健康监测的需求是从美国 Silver Creek 大桥（1976 年）和维也纳 Reichsbrücke 大桥（1976 年）倒塌事件发生之后才逐渐得到认同。从 20 世纪 90 年代开始，随着计算机和相关硬件技术的发展，土木工程健康监测变得具有可行性，目前这一问题在桥梁工程领域得到了广泛的认同。在土木工程领域历次学术会议和论坛中，结构健康监测这一议题都令人瞩目，在美国斯坦福大学举办的两年一届的结构健康监测国际研讨会上，研究人员通过互相交流，探讨该领域取得的最新进展及未来发展的方向。

在 2005 年的斯坦福研讨会上，撰写结构健康监测各分领域书籍的想法得到了广泛的讨论。本书仅探讨土木工程结构中的重要构筑物——桥梁结构。这一领域非常具有挑战性，因为每一座桥梁的构造都是不同的，在其他领域通用的风险评估模式在桥梁上并不适用。为了展示桥梁结构健康监测应用的广泛性，本书包含了欧洲研究项目（SAMACO）收集的大量工程实例，以及一些学术论文、术语汇编和公式。

值得一提的是，该领域目前仍在快速发展，因此书中的一些内容或许已经过时。本书的目的是为桥梁集成决策支持系统的未来发展提供基础知识。

致 谢

言 前

本书的完成离不开同事、同行和家庭的建议、支持和理解。作者非常清楚，没有他们的帮助不可能做到这些。该书是对过去这些年实际桥梁研究和性能评估工作的总结。我特别感谢那些给我机会的欧盟的同行们，他们是 Katalagarianakis 先生，ASFINAG 的 Fink 先生、Ritzberger 先生，NÖ-LR 的 Talmann 先生，ÖBB 的 Presle 先生，BMVIT 的 Breyer 先生和 Eichinger 女士。

特别感谢公司研发部的同事们，他们的名字是 Peter Furtner 先生，Robert Veit-Egerer 先生，Martin Stöger 先生，Ernst Forstner 先生，Andrea Mordini 先生和 Bianca Mick 女士。Hiroshi Tanaka 教授编写了第 12 章。一些宝贵的信息和与国际该领域专家富有成效的讨论对本书的完成注入了大量的灵感和具体的建议，包括 Yozo Fujino（东京大学），Emin Aktan（爵硕大学），Dan Frangopol（理海大学），Anne Kiremidjian（斯坦福大学）和 Aftab Mufti（加拿大 ISIS 网络）。

本书的完成离不开科研项目的支持，特别是欧盟框架计划第五和第六期项目的支持，项目名称为 SAMCO (GIRDCT-2001-05040) 和 SAFE PIPES (NMP-CT-2005-013898)，这两个项目资助我完成了本书中的许多工作。国家项目如 BRIMOS 和 HOT SPOT（受 BMVIT 和 FFG 支持）资助了一些工程应用方面的研究。

作者还要感谢那些桥梁的业主，以及从事现场工作的研究人员和同事们。没有他们的帮助和工程实践，可以说连一半的成功都无法取得。最后，我还要感谢所有那些没有提到名字的人。

目 录

译者	刘惠波	2.2
致中国读者	张世英	2.2
序言	胡学斌	2.2
贡献者名单	胡学斌	2.2
前言	胡学斌	2.2
致谢	胡学斌	2.2
第 1 章 引言和目的		1
1.1 健康监测		1
1.2 客户的需求与动机		1
第 2 章 桥梁管理和健康监测		5
2.1 桥梁管理哲学		6
2.2 结构健康监测		6
2.3 桥梁管理系统示例		10
2.4 保护桥梁免受人为或自然灾害		13
第 3 章 桥梁等级与风险评估		15
3.1 检测等级		15
3.2 BRIMOS 分级		18
3.3 结构健康监测中的概率方法		30
3.4 自然灾害风险		32
3.5 车辆和轮船撞击		46
3.6 人为灾害		51
第 4 章 损伤检测与评估		56
4.1 薄弱点检测和疲劳评估		56
4.2 频率分析中的条件补偿		93
4.3 模型修正和系统识别		98
4.4 性能评估(阻尼, 时程)		98
4.5 结构健康监测原理的讨论		105
4.6 安全性评估		108
第 5 章 决策支持系统		112
5.1 结构健康监测的决策支持系统		112
5.2 系统结构		112
5.3 操作模式		113
5.4 监测系统和数据库		114

5.5	系统现状	124
5.6	数据处理	124
5.7	数据存储	125
第6章	桥梁寿命评估	128
6.1	寿命评估程序	128
6.2	热点检测	129
6.3	统计模式识别	130
6.4	应用实例: 钢桥	152
6.5	正在进行的研究和发展的项目	152
第7章	桥梁健康监测方法	156
7.1	环境振动监测	156
7.2	挠度和位移监测	210
7.3	通过监测进行疲劳评估	211
7.4	腐蚀、碳化和亚硝酸盐含量	211
7.5	荷载传递	211
7.6	材料特性	216
第8章	桥梁结构健康监测商业案例	219
8.1	桥梁结构健康监测的动机	219
8.2	桥梁结构健康监测的成本	219
8.3	结构健康监测商业的未来	220
8.4	典型的结构健康监测服务目录	220
第9章	应用实例	253
9.1	奥地利 Melk 大桥	253
9.2	奥地利维也纳 Porr 大桥	255
9.3	奥地利 Warth 大桥	258
9.4	德国柏林 Putlitz 大桥	260
9.5	德国柏林 Westend 大桥	262
9.6	德国齐陶 Neisse 高架桥	264
9.7	美国特拉华河 Commodore John Barry 大桥	266
9.8	瑞士布兹伯格 BE 109/21 大桥	268
9.9	泰国曼谷 RAMA IX 大桥	270
9.10	西班牙马德里 Titulcia 钢桁架桥	272
9.11	匈牙利杰尔 Széchenyi 大桥	275
9.12	德国巴德贝文森 ESK 551 大桥	277
9.13	瑞典斯德哥尔摩 The New Årsta 铁路桥	280
9.14	瑞典 The New Svinesund 大桥	282
9.15	瑞士 Koppigen-Utzenstorf Z24 大桥	285
9.16	法国桑利斯 Roberval 大桥	287
9.17	法国波尔多 Saint-Jean 大桥	290
9.18	丹麦—瑞典 Øresund 大桥	291

9.19	中国香港汀九桥	294
9.20	丹麦 Skovdiget 大桥 (桥墩)	297
9.21	丹麦 Skovdiget 大桥 (上部结构)	299
9.22	俄罗斯莫斯科 Bolshoj Moskvoretsky 大桥	302
9.23	瑞士 Versoix 大桥	304
9.24	中国香港青马大桥	307
9.25	英国 A14 Huntingdon 铁路高架桥	309
9.26	德国 BW91 公路桥	311
9.27	德国吕贝克 Herrenbrücke 大桥	313
9.28	新加坡 Pasir Panjang 半高速公路桥	315
9.29	新加坡 Pioneer 大桥	317
9.30	新加坡—马来西亚 Tuas 第二通道	319
9.31	美国新墨西哥州 I 40 桥	320
9.32	瑞典哥德堡 Källösund 大桥	322
9.33	奥地利因斯布鲁克 Europabrücke 大桥	324
9.34	奥地利维也纳圣马克思大桥	326
9.35	中国台湾台中大桥	329
第 10 章	基于监测反馈的设计	335
10.1	真实荷载	335
10.2	环境状态	335
10.3	保守的设计	335
10.4	基于监测的设计	335
第 11 章	结构健康监测指南及建议	336
11.1	前言	336
11.2	指南的目的和大纲	336
11.3	结构响应分析	337
11.4	结构的诊断	342
11.5	损伤识别	352
11.6	测试人员资格条件	357
11.7	传感器分类、应用和经验	358
11.8	桥梁交通荷载识别	359
11.9	历史建筑状态监测	362
11.10	局部损伤识别及其对结构的影响	364
11.11	运用动态参数识别钢桥损伤	367
第 12 章	桥梁健康监测术语和派生标准	371
12.1	高频使用术语	371
12.2	动力学数学方程	392
12.3	桥梁的风致振动	438

第 1 章

引言和目的

桥梁是重要的土木工程基础设施，由于它们的安全冗余较低且整个结构处于公众视野范围内，因此受到了工程界的广泛关注。无论是从中国到古罗马、再到南美的印加，早期的桥梁都是这些强盛帝国的道路中枢。如今，交通基础设施更是直接关系到一个国家的经济繁荣。桥梁结构不仅因其功能受到广泛称赞，它的美学影响也甚为广泛。很难想象如果纽约没有了桥梁、日本没有了本州岛—四国岛间桥梁交通系统或者欧洲没有了大贝尔特桥，会是什么样子。本书主要为了这些重要桥梁的保护和维护而写。

1.1 健康监测

全球高速交通运输网络大约涵盖了近 250 万座的桥梁。当前的桥梁管理系统通过各种方法和途径对这些桥梁进行分级评估，于是产生了各种各样的统计数据。美国联邦公路局（FHWA）于 2005 年公布：在美国的 595000 座桥梁中，约有 28% 的桥梁存在着缺陷，但只有 15% 存在结构缺陷。在欧洲，存在结构缺陷的桥梁约为 10%；亚洲目前还缺乏这方面的数据统计。尽管如此，如果按照平均约 10% 来计算，全球约有 25 万座桥梁需要进行结构健康诊断、改造和监测。由于结构健康监测主要是在桥梁失效前作为一种预防性的手段，因此它的应用范围远远高于所估计的约占 10% 存在结构缺陷的桥梁。

结构健康监测是一种对土木工程基础设施进行损伤识别的策略。损伤是指材料性质的改变以及结构体系几何属性的改变，包括边界条件和系统连接状态的改变。因此，它会影响结构体系目前和将来的性能。

损伤识别过程通常分为以下几步：

- 损伤检测，检测是否存在损伤。
- 损伤定位，确定损伤的位置。
- 损伤定型，确定损伤的类型。
- 损伤程度，评估损伤的严重程度。

在过去 20 年间，涌现出了关于结构健康监测的大量文献资料。随着一些原理逐步得到广泛认同，该领域逐渐变得成熟起来，尽管这些原理仍在被不断地探索和研究。众所周知，机械工程和航空领域所采取的研究方法与土木工程领域并不太相同，这是由于土木工程结构都是不同的原型结构，因此必须采用不同的方法进行研究，但这两个领域的研究方法可对土木工程提供一些借鉴。

1.2 客户的需求与动机

建筑业是一个传统的行业，新技术的应用需要得到业主和经营者的认同。众所周知，目前

结构健康监测技术在实践中还不能满足缩减预算和延长建筑寿命的需求，但是它们能够满足现行的规范和标准。在新技术没有得到广泛应用之前，应使客户充分了解它们的功能和目的，并能够经得起反复论证。

结构健康监测技术的推广源于三方面的驱动力，主要包括：

- 责任驱动：推动新技术使其变为规范、标准和准则所推荐的方法。
- 经济驱动：如预算不足或结构超过其设计使用年限，须使某一类的结构进行相应的改造和修复。
- 好奇心驱动：主要包括客户想要更多地了解重要且复杂的结构，因为这有助于他们未来能够更好地设计结构。

从上述结构健康监测的动机分析可以得出以下几点要求，这些也是技术人员需要提供的服务：

- 建筑物满足标准、规范和准则设计要求的证明文件可以说是主要的商机。由于一些建筑物已经考虑延长其使用年限，因此可以实施健康监测。在欧洲，工程师出具建筑物满足要求的证明文件是司空见惯的，然而世界上许多其他国家或地区并没有实施这一制度。这项制度曾在欧洲引起了桥梁技术的深刻变革，并被推向世界。此外，这项制度也为高质量工程建设创造了环境。

- 随着大规模的私有化，建筑技术与经营方面的责任和义务发生转移的情况时有发生。客户们有条不紊地把建筑物的股份转移到私人手里，而新客户一般乐于接受结构健康监测这种可提高创新和保持经济效益的新技术。

- 特殊的建筑物一般都需要进行健康监测。每个地区的顶级专家都应能提供基于最新技术（如健康监测）的解决方案，尽管并不是每位业主及经营者都能得到顶级专业技术的支持。

- 由于能够进行桥梁日常维护和评估工作的人力资源匮乏，这为健康监测带来了新的机遇。由于这些工程通常需要进行招标，因此健康监测这种新技术可能会有经济和技术上的优势。

- 遇到紧急情况或事故时，业主希望能够确保建筑物的安全。与专家的主观评估相比，业主更青睐于基于监测结果的客观评估。如果建筑物处于实时的监测和评估中，业主们就可以高枕无忧了。

- 对于不确定的和紧急情况的特定评估属于结构健康监测的应用领域。由于以往主观的和传统的评估方法会对结构产生许多负面影响，且结果难以令人信服，因此，迫切需要这种量化的评估方法。

- 维修方案的优化也需要开展结构健康监测的工作。通过监测获取的数据越多，维护方案越容易设计和实施。降低潜在的风险有助于制定出安全冗余性小的方案。

- 通过基于测量的量化指标来确定维护的优先次序，可以使得日益增长的需求和缩减的预算得到满足。这种评估措施能够给出理想结果，即最大限度地减少需要立即维护的建筑物的数目；同时，评估结果也能为投资规划提供依据。每次新的测量都能进一步完善数据库，这本身就能够提高测量结果的质量、并为制定决策提供支持。

- 确定全寿命周期的费用有助于做预算时延长其使用周期。可以按照一个建筑物或一群建筑物的整个寿命周期来估算修复或维护的费用。

- 结构健康监测有助于在建筑物性能与运营之间建立直接联系。通常情况下，交通系统

中的最优速度或频率的相关信息可由交通基础设施操作人员通过监测数据来确定，并通过远程设备与司机取得联系。

- 如果结构出现了薄弱位置或严重的累积破坏，这时就需要采用热点识别技术。客户希望了解从哪里可以入手来解决问题及引发这些现象的成因是什么。

- 预测未来的承载能力也是结构对健康监测需求的一种。当预测到结构发生非线性变化时，专家的鉴定就非常必要。

- 当建筑物数量庞大时，需要采用列队观测的方式来提高评估的质量。列队观测可根据信息需求程度的不同而细分成许多等级。

如何选择合适的观测方式主要取决于外界因素，这包括待观测建筑物的数目以及经费的预算情况。为此，必须根据实际情况选择相关服务来提高质量等级。等级可细分为对建筑物进行现场定期、长期和在线评估，它们各自的特点是：

- 现场观测指仅带有少量仪器的快速观测活动。它可以提供建筑物的基本情况信息以便划分等级。

- 定期观测是指每隔一段特定时间后进行重复观测，从而可以得到建筑物的性能变化情况。定期观测可能会持续一段相当长的时间。

- 当建筑物的某些功能失效时，长期的观测和评估就显得十分必要。通过长期观测获得的数据有助于对建筑物的性能进行细致的评估，也有利于快速地制定一些决策。

- 在线观测和评估主要通过电子媒介提供预警，它可以通过手机短信的方式进行预警也可以通过互联网实时传递结构的响应。计算机可根据观测的结果对建筑物的性能作出评定，这类系统一般用于非常重要的建筑物。

总之，客户需要结构健康监测这项技术但不希望实施起来过于复杂，因此，结构健康监测这项技术需要不断改进。此外，信息政策方面的相关法规在客户一咨询顾问中也起着非常重要的作用。结构健康监测作为一种新技术，相对来说较为复杂，它需要工程师深入了解结构动力特性、物理和测量技术。由于业主所在的工程技术部门缺乏这样的专家，因此对这种新技术的应用会有所顾虑。

此外，由于客户投入了大量资金，因此他们会经常关注项目的进展情况和相关结果，这就要求我们在技术方面必须做到切实可行，客户能够随时获取他们需要的数据。目前，相对简单的报告技术已经取得了相当的成功，例如以电子邮件形式接收发送的包含单页信息的定期报告就是一种较好的选择。图 1.1 给出了一份典型的以星期为单位的报告。从图中可以看到，中间的窗口给出了主要的信息，并给出标准化的阈值上下限，这一周期的观测结果都分布在阈值内。客户看到这张表会非常满意，因为他们可以轻松知道所有指标是否正常并且观测是在长期进行着的。

定期观测报告需要在一页中提供下列信息：

- 一张简单且可以快速识别的结构照片和监测系统图片。
- 有一个能够显示在一定时期内周期性观测结果的窗口，该窗口能够显示相应的阈值。
- 用于显示客户特殊信息需求的第二窗口，如风速信息或其他数据信息。
- 能够根据报告期内的测量结果对结构进行评级。通过评级结果，客户可以立刻知道建筑物的性能是否发生了改变。
- 如果有充分的数据记录，可以提供一个关于建筑物剩余使用寿命的说明。