

山东高速青岛胶州湾大桥建设丛书

结构监测巡检

养护系统

邵新鹏 主 编

孙宗光 副主编
周哲峰



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

山东高速青岛胶州湾大桥建设丛书

结构监测巡检养护系统

■ 邵新鹏 主 编

■ 孙宗光 副主编
周哲峰



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书为青岛胶州湾大桥建设系列丛书之一。全书共有6章,系统介绍了胶州湾大桥结构监测巡检养护系统的方案设计、设备选型、系统实现、结构预警和评估、养护手册等方面的内容,阐述了大桥结构监测巡检养护管理系统工作对大桥安全运营提供的支持和作用。

本书可作为跨海大桥结构监测系统设计、软硬件实施、巡检养护体系建立的参考资料,为大型桥梁全寿命周期提供科学的管理、养护提供一定的参考。

图书在版编目(CIP)数据

结构监测巡检养护系统 / 邵新鹏主编. —北京 :
人民交通出版社股份有限公司, 2015. 10

(山东高速青岛胶州湾大桥建设丛书)

ISBN 978-7-114-12413-6

I. ①结… II. ①邵… III. ①跨海峡桥—桥梁结构—
青岛市 IV. ①U448.19

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 177296 号

山东高速青岛胶州湾大桥建设丛书

书 名: 结构监测巡检养护系统

著 作 者: 邵新鹏

责任编辑: 张征宇 刘永芬

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)59757969, 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: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 15.5

字 数: 346 千

版 次: 2015 年 10 月 第 1 版

印 次: 2015 年 10 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12413-6

定 价: 58.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

《山东高速青岛胶州湾大桥建设丛书》

编审委员会

主任：孙 亮

副主任：李 萍 周 勇 艾贻忠

委员：姜言泉 陈代级 钱 洪 于 潜 董淑喜

刘殿君 杨振平 邵新鹏

编辑工作委员会

主任：姜言泉

副主任：邵新鹏

成员(以拼音为序)：

蔡建军 程建新 崔 峰 董君玲 段爱忠

盖国晖 郭保林 季 辉 季锦章 荆玉才

鞠锦慧 刘国强 马士杰 彭 霞 商 晨

宋吉刚 王存毅 王行耐 王明军 王 麒

王晓昆 王晓乾 王兆星 韦晓霞 吴 健

徐 强 闫宗山 于 坤 于天胜 于长河

翟文琦 张 莉 赵建刚 赵世超 周 斌

周焕涛 庄纪文

《结构监测巡检养护系统》

编 委 会

主 编：邵新鹏

副 主 编：孙宗光 周哲峰

编写人员(以拼音为序)：

查正军	盖国晖	郭保林	季 辉	姜云峰
荆玉才	李传夫	李德月	李 军	李启乾
刘国强	刘 平	刘 学	罗艳利	彭 霞
王行耐				

序

山东高速青岛胶州湾大桥(以下简称胶州湾大桥)是我国北方冰冻海域特大桥梁工程,是青岛市规划的东西跨海通道“一路一桥一隧”中的“一桥”。大桥全长 41.58km,为山东半岛蓝色经济区战略的重要交通枢纽,对进一步完善青岛市东西跨海交通联系,为城市的深度发展拓展出崭新的空间。

胶州湾大桥由青岛市人民政府采取特许经营权模式,进行公开招标。山东高速集团凭借良好的信誉、雄厚的资金和技术实力、丰富的建设管理经验,一举中标成为项目法人。

胶州湾大桥早在 1993 年 4 月就开始前期工作,经历了规划、预可、工可、初设、施工图设计和招投标等严格的建设程序,共历时 13 年零八个月。这期间,包括两院院士、长江学者在内的数百名中外专家、学者为大桥付出了心血和汗水。

胶州湾大桥开工建设以来,国家有关部委,山东省委、省政府以及青岛市委、市政府等各方面高度重视,要求建设者高标准、高质量建成精品工程。全体建设者露宿风餐、无私奉献、奋勇攻关,确保了工程质量、建设进度和施工安全,整个工程建设过程中,未出现一起质量、安全事故,没有发生一起违法违纪事件。

胶州湾大桥建设者始终坚持创新引领,攻克了许多特大型跨海大桥的技术难题,他们发明的“水下无封底混凝土套箱技术”为世界首创;“稀索斜拉桥索塔的耳板锚固方式”具有独创性;兼具防雾和景观功能的 LED 桥梁护栏节能灯为世界首创;应用 4D 技术和 4D 管理理念实现了项目管理的集成化和可视化管理;并且在结构耐久性的研究和长寿命评估方面,实现了大桥全寿命周期的过程控制。从而全面提高了胶州湾大桥的运营效率、降低了运营成本,延长结构的实际使用寿命,为海上桥梁的耐久性设计提供了数据基础和理论依据。

胶州湾大桥于 2011 年 6 月 30 日全线通车,它结构新颖,造型独特,气势恢弘,美观大气,像一条玉带飘荡在蔚蓝色的大海上。它也为冰冻海域的大型桥梁建设提供了一个可资借鉴的经验和样板。

鉴于胶州湾大桥在科技创新、工程美学价值、与自然环境的协调统一等各方面的成绩,很有必要编写这套丛书。而且就在本书即将付梓的时候,今年 6 月,在美国匹兹堡举行的世界桥梁大会上,胶州湾大桥荣获组委会颁发的“乔治·理查德森大奖”。这个奖项是专门授予那些在技术创新、工艺造型、工程质量、人才培养等方面都有卓越表现的大型桥梁工程,也为中国桥梁工作者赢得了荣誉。

借此机会,向胶州湾大桥所有的建设者表示祝贺!

胡希捷

2013.7.1

前 言

青岛胶州湾大桥是我国北方首座特大型跨海大桥,其运营期结构的安全性受到政府、业主及广大人民群众的关注,对其结构关键安全信息进行监测,是保证大桥结构安全的重要手段,能够为大桥安全运营和日常养护管理提供详实的数据支持和科学的决策依据。

为了给大桥的运营养护工作提供可操作性的指导,本书系统介绍了青岛胶州湾大桥结构监测巡检养护系统的监测内容、布点设计、结构安全信息获取、数据分析处理方法以及预警与评估体系等,并概要介绍了为胶州湾大桥独身订制的养护管理手册,编写本书的出发点和落脚点是提高我国桥梁的结构安全和管理养护水平。

本书是《山东高速青岛胶州湾大桥建设丛书》中的一册;分6章进行编写,第1章介绍了桥梁结构监测的起源、发展过程,简述了系统概况和总体规划;第2章详细介绍了系统监测内容和布点设计等内容;第3章介绍了结构信息获取的渠道,从总体框架、各模块设置介绍了整个系统的构架;第4章介绍了结构预警与评估,重点阐述了相关预警与评估的理论和方法及相关实现手段;第5章主要介绍了系统软件的设计、开发思路及实现的相关功能;第6章主要介绍了养护手册的相关内容。

本书内容包括了参与“青岛海湾大桥运营期结构监测巡检养护管理系统”项目相关实施单位的主要研究成果。第1章由邵新鹏、周哲峰编写;第2章由邵新鹏、孙宗光编写;第3章由周哲峰、查正军、季辉、荆玉才、李德月、刘国强编写;第4章由盖国辉、刘学、李传夫、罗艳利、李启乾编写;第5章由李军、姜云峰、彭霞、刘平编写;第6章由邵新鹏、郭保林、李启乾、王行耐编写。全书由邵新鹏审校。

限于编写时间及编写者水平,本书难免存在不当之处,恳请同行指正。

编 者

2014年12月

目 录

第1章 概述	1
1.1 国内外研究现状	1
1.2 系统概况	3
1.3 系统总体规划	6
第2章 监测内容及布点设计	8
2.1 设计原则	8
2.2 结构危险性分析	8
2.3 监(检)测内容规划	18
第3章 结构安全信息获取	28
3.1 总体框架	28
3.2 传感器模块	29
3.3 数据采集和传输模块	50
3.4 数据处理与控制模块	76
3.5 基于电子化的人工巡检	86
第4章 结构预警和评估	89
4.1 总体思路	89
4.2 基本理论及方法	90
4.3 数据处理	91
4.4 预警体系	92
4.5 评估体系	94
4.6 构件评级体系	96
4.7 耐久性评估	101
第5章 软件系统设计与开发	106
5.1 业务功能	106
5.2 软件系统划分与设计	127
5.3 软件安全性、可靠性	164
第6章 青岛胶州湾大桥养护手册	168
6.1 总则	168
6.2 养护管理制度	169
6.3 大桥结构构件编码	179
6.4 上部结构检查养护	181

6.5 下部结构及基础检查养护	213
6.6 涂层检查与养护	219
6.7 特殊检查	225
6.8 大桥评定	232
参考文献	235

1.1 国内外研究现状

1.1.1 国外桥梁结构监测发展状况

自 1940 年美国 Tacoma 大桥发生风毁事故后,桥梁结构安全监测的重要性就引起人们的重视,但是由于受科学技术发展的限制及对自然认识的不足,早期仅有一些直观的监测手段,其应用价值一直受到相当的限制。20 世纪 80 年代以来,在北美、欧洲和亚洲的一些国家和地区,相继发生了一些桥梁结构突然断裂的事故,引起社会舆论强烈反响,同时,也使人们意识到对桥梁结构的健康诊断的重要性的迫切性。80 年代后期,国外明确提出了桥梁结构健康监测的新思路和概念,并先后开始在一些重要的大跨度桥梁上建立了结构健康监测系统,如英国的 Foyle 钢箱梁桥、美国的 Sunshine Skyway 斜拉桥、挪威的 Skarmsundet 斜拉桥,丹麦的 Great East 悬索桥、日本明石海峡大桥、香港的青马大桥等。

1.1.2 国内特大型桥梁结构监测开展现状

进入 20 世纪 90 年代以来,随着中国经济的腾飞,交通基础设施建设进入了一个前所未有的高速发展时期,中国桥梁建设技术得到了飞速发展,建成了许多世界级的桥梁,仅跨越长江的特大桥就有数十座。随着这些特大型桥梁的建成,部分桥梁也出现了一些意料不到的异常现象。同时,在养护管理过程中,管理者越来越发现,若是不全面了解结构整体内在的健康状况、各种不利因素对桥梁的损伤程度以及桥梁自身的老化情况,单靠以前的以目测辅以简单器具的表面巡检已无法满足对特大桥梁的养护需要;同时,綦江彩虹桥事件、宜宾南门大桥垮塌事件等也要求人们加强对桥梁的健康监测。我国自 20 世纪 90 年代中期开始桥梁健康监测的研究,在国家科委攀登计划“重大土木与水利工程安全与耐久性的基础研究”项目、国家自然科学基金资助的“桥梁结构健康监测与状态评估”等多个项目的支持下,对大型桥梁结构病害调查、传感器布点、结构损伤识别、系统识别、结构理论模型修正、结构可靠度评定等方面开展了深入研究,先后在江阴长江大桥、南京长江第二大桥、东海大桥、上海长江隧桥、上海闵浦大桥、苏通大桥等建立了不同规模的结构健康监测系统。

1.1.3 国内已建成桥梁监测系统的特点

国内已建成的桥梁监测系统,具有以下共同特点:

(1)通过采用传感器测量装置获取结构行为的直接记录,同时强调对结构环境条件的监测和记录分析。

(2)采用在通车运营后连续或间断监测结构状态,力求获得结构信息连续、完整。并结合桥梁施工统一考虑传感器布设。

(3)监测系统具备了快速大容量的数据采集、通信与处理能力,可实现数据网络共享。

(4)许多新的设备如光栅传感器、MEMS 和 GPS 等逐渐被广泛应用。

(5)建立了许多结构响应的损伤识别方法,大多数方法已被数值模拟或被实验室验证。

(6)通过对部分桥梁的监测,已经获得了关于环境条件和运营载荷对桥梁振动特性影响的试验结果。

但是,由于我国结构监测系统的开展起步较晚以及受目前科学技术与理论研究的限制,还有很多地方需要完善:

(1)由于受传感器等硬件自身寿命的影响,设备的实用性和兼容性尚不够。在通信手段、数据库结构等方面,尚难以保证系统的长期稳定性。

(2)健康安全评价系统尚不成熟。以某大桥为例,目前该桥建了一套完整的数据监测系统,收集了大量的数据,但对采集数据如何处理与分析,以作为健康与非健康评判的标准,目前尚难以实现。

(3)检测项目的选择、测点、监测模式及手段尚不足;目前国内仅根据理论分析,对部分重点部位进行了监测,数据采集频率和精度均受到一定的限制。

(4)需要使桥梁结构状态评估和常规的养护结合起来,同时需要根据监测结果不断对数据库进行补充修正。要充分结合国内桥梁维护技术力量的现状,使系统便于使用、维护和升级。

1.1.4 我国桥梁结构健康监测的发展趋势

目前我国的桥梁建设技术已达到世界领先水平,桥梁建设事业得到了前所未有的发展;随着大型桥梁的不断建成,如何做好桥梁的运营、养护,随时了解桥梁结构的健康情况,及时对桥梁的安全进行评价已成为迫切需要解决的课题。目前对于在建及建成的上海闵浦大桥、上海长江隧桥、苏通大桥等特大桥开始了结构健康监测的研究,充分吸纳了当前国内研究力量和国内、外最先进的技术、设备,建立了各自的健康监测系统。综合国内几座特大型桥梁健康监测系统的特点,得出我国今后桥梁结构健康监测发展的趋势为:

(1)由单一的、有限范围的主体结构监测向全桥全面、系统的监测发展,最终形成统一管理系统。由于桥梁结构体量较大,受投资、技术条件等限制,很难对桥梁各个部位进行全面实时监测,目前国内大多针对主体工程的关键部位进行监测。随着经济的发展,人们更希望 and 有能力对桥梁有一个全面详细的了解。同时,结构健康监测也将成为日常养护管理系统的一个组成部分,形成一个统一的桥梁运营管理系统。

(2)由单一的数据采集、保存转向数据后期处理与分析。随着现代分析手段发展和理论的成熟,桥梁结构健康监测系统将不仅仅限于目前的数据采集,而是通过数据处理和相应的健康评估系统,提供出一个可靠的评估结果,为管理者决策。

(3)随着科技的发展,各种设备的性能参数将进一步提高,数据采集的传感器、数据传输设备、处理设备及综合分析设备的精度、使用寿命和稳定性将大大提高,数据容量和处理能力也将大大增加。

(4)科技的进步要求综合管理系统具备较好的开放性,根据管理者的需要可以进行数据更新、功能调整、联网和集成等方面的系统升级或扩充。同时,国际间的合作将更加普遍,不同国家的技术人员将通过网络数据共享,实现专家会诊或进行多种形式的学术交流。

(5)具备更好的操作界面和实用性,更能适合我国国情和养护技术人员的实际操作需要。虽然目前我国很多大型桥梁均建立了一定规模的结构健康监测系统,但实际上大多数仍处于研究阶段,以基本数据采集为主。目前的系统维护大多依靠开发的专业人员,一般技术人员尚无法掌握和使用。随着各种软硬件的开发,用户界面将更加友好、简单易用,可以被一般技术人员广泛采用,真正具备实用价值。

1.2 系统概况

青岛胶州湾大桥是青岛市道路交通网络布局中胶州湾东西岸跨海通道的重要组成部分,也是山东省“五纵四横一环”公路网主框架的重要组成部分。青岛胶州湾大桥主线全长 28.047km,其中跨海大桥 25.171km,包括沧口航道桥、红岛航道桥和大沽河航道桥、海上非通航孔桥和青岛、黄岛及红岛接线工程。沧口航道桥采用双塔钢箱梁斜拉桥方案,红岛航道桥采用钢箱梁独塔斜拉桥方案,大沽河航道桥采用独塔自锚式悬索桥方案。

青岛胶州湾大桥运营期结构监测巡检养护管理系统(以下简称“结构监测巡检养护管理系统”)通过测量反映青岛胶州湾大桥环境激励和结构响应状态的信息,实时监测、定期检测桥梁结构的工作性能,定时、定量地评价桥梁结构的健康状态,以保证青岛胶州湾大桥的安全运营,为青岛胶州湾大桥的养护、维修提供科学依据。

该项目工作内容包括青岛胶州湾大桥运营期结构监测巡检养护管理系统设计与实施工作。其中结构监测的范围包括沧口航道桥、红岛航道桥以及大沽河航道桥。电子化人工巡检养护管理范围包括青岛胶州湾大桥主桥工程 K8+190 至 K34+947.319 段和红岛连接线(HK0+000 至 HK1+310)段内所有可到达的桥梁结构物。

1.2.1 系统设计原则

青岛胶州湾大桥运营期结构监测巡检养护管理系统是一个集结构分析计算、计算机技术、通信技术、网络技术、传感器技术等高新技术于一体的综合系统工程。为使结构监测巡检养护管理系统成为一个功能强大并能真正长期用于结构损伤和状态评估,满足青岛胶州湾大桥养护管理的需要,同时又具经济效益的结构监测巡检养护管理系统,遵循如下设计原则:

- (1) 统一设计,统一采购,统一实施,统一维护,统一管理。
- (2) 遵循简洁,实用,性能可靠,经济合理的指导思想。
- (3) 系统设置首先需满足青岛胶州湾大桥养护管理的需要,立足实用性原则第一,兼顾考虑科学试验和设计验证等方面因素。
- (4) 根据结构危险性分析的结果及养护管理的需求进行监测点的布设。
- (5) 危险性分析原则考虑以下方面:
 - ① 不同类型的结构受力特点、构件的工作特征。
 - ② 设计时不同类型结构的控制断面、控制点。
 - ③ 结构不同类型材料的特性、使用特性。
 - ④ 结构受外部环境及荷载影响后最易损伤部位。
 - ⑤ 基于同类型既有结构已发生的损伤部位。
 - ⑥ 目前阶段尚未有足够资料验证的关键部位。
- (6) 监测与结构安全性密切相关的内容,主要监测一些有代表性的结构、必须进行监测的重要结构以及日常养护无法检查或检查非常困难的结构。
- (7) 运用人工巡检手段,加强对不易自动监测及自动监测性价比低的易损部位的定期检测,以丰富用于结构状态评估的数据。
- (8) 从动力、静力、耐久性方面对结构进行监测,力求用最少的传感器和最小的数据量完成工作。
- (9) 以结构位移监测为主,以力、应力、模态分析为辅。
- (10) 系统应具有稳定性、可扩展性。

1.2.2 系统总体特征

青岛胶州湾大桥运营期结构监测巡检养护管理系统的本质是结构养护管理系统,养护决策所需的数据通过传感器的自动采集监测和人工定期巡检两种手段获取,并通过统一的集成的数据处理模块,进行有针对性的结构健康指标及结构特性的分析,得到结构状态在线评估的相关结论,得到结构健康指标及突发事件的及时预警信息,为结构养护决策提供支持,为进一步专家级的离线评估提供支持。

系统的建设目标是建立一套符合当前技术发展水平的具有可持续发展能力的结构监测巡检养护管理系统。结构监测巡检养护管理系统需要一个结构状态评估模型作为核心支持引擎,该模型是系统可用性的基础和保证。但是本类系统是对实桥运营状态的监测评估系统,而且传感器量测的结果大多是相对量,这就意味着任何设计理论、实验室、同类桥型的经验在对青岛胶州湾大桥应用时均有可能产生偏差,从而不能准确评估结构状态及指导养护。为此需采取以下措施应对。

1.2.2.1 数据挖掘

针对以上情况,有必要对实桥在运营期的行为进行分析,而这类分析的实质是数据挖掘,分析数据本身及数据间的规律,使用的主要方法是相关性分析。基于此目的,初始阶段的监测布点不宜太少,且需要大量收集建设期的施工监控数据和荷载试验数据,尤其是荷载试验数据需作为本系统初次标定的依据。

1.2.2.2 模型进化

在系统中,结构状态评估模型应是不断进化的模型。在系统初始化过程中,可使用规范及设计值作为模型参数取值的依据,但由于规范值或设计值本身的含义和实测值的含义会有较大的差别,有必要通过不断的模型进化来弥补这个差距。模型进化应该是个长期持续的过程,以适应结构本身的变化。

1.2.2.3 分层评估体系

受损伤识别技术和评估技术发展的限制,自动损伤识别及评估是本系统的远期目标,当前需要的是设置分层评估体系,将人工和自动评估两种模式进行结合。具体来说,我们建议采用类似医院看病的模式,系统本身作为一台检测设备,定期对结构各类监测、检测数据进行分析,并对预设的多项结构健康指标进行自动评分,还可按照预设的总体评估模式给出结构状态的初步分析结果;但这个结果仅作为专家进行进一步离线评估的依据,结构安全性、耐久性的最终评估结果由专家通过定期或不定期的离线评估方式给出。

结构监测巡检养护管理系统的总体设计、实施及运营的总体流程为:总体方案设计→方案验证→施工图设计→采购→安装→调试→试运行→验收→运营→优化。总体设计流程为:结构危险性分析→监测区段、监测内容、监测布点、监测数据要求设计→传感器模块设计→数据采集传输模块设计→数据处理与控制模块设计→巡检养护系统设计→预警评估系统设计→软件设计→系统初始化设计(含评估模型及具体参数)。方案验证可采用小型实验室系统,但作为实际应用系统,应尽量选用业界成熟的产品和成熟的系统架构,以减少设备本身及设备间兼容性的问题。

1.2.3 系统实施情况

上海巨一科技发展有限公司作为青岛胶州湾大桥运营期结构监测巡检养护管理系统的设计、施工承包单位,在 2008 年 11 月 30 日成立上海巨一科技发展有限公司青岛胶州湾大桥结构监测巡检养护管理系统项目部,同期开始各项前期准备工作,系统方案的设计工作也同步展开。整个系统设计方案经过 3 次专家评审。两次修改优化后,于 2009 年 7 月获得通过,进入实质性操作阶段。2009 年 5 月~2010 年 3 月完成系统的施工图设计工作,施工图分预埋预设、传感器布点位置及编码图、各子系统图(共 3 册)。2009 年 12 月—2011 年 3 月分阶段完成了软件系统的概要设计、预警评估系统的详细设计、软件构件的架设、编程、调试优化等步骤。以下为系统现场实施的主要节点:

2009 年 6 月~2010 年 9 月完成大沽河航道桥索塔侧三角撑应力变形监测的传感器安装工作,开始在大沽河钢箱梁吊装过程中,对大沽河航道桥索塔侧三角撑应力变形进行监测,至 2010 年 9 月大沽河航道桥成桥后,分期分段共计出具了 6 期监测报告。

2009 年 7 月~2011 年 4 月根据桥梁的施工进度分步完成了下部结构混凝土耐久性关键数据参数监测的相关传感器的埋设工作。

2009 年 12 月开始锚索计的安装工作,至 2010 年 8 月 3 座航道桥 40 个锚索计安装完成。

2010 年 3 月~6 月完成系统的小型实验室的建设及相关实验验证工作。

2010 年 5 月开始红岛航道桥桥塔上部传感器安装工作,至 2011 年 4 月完成全部桥塔部分的传感器安装工作。

2010 年 10 月开始箱梁内部传感器安装工作,至 2011 年 5 月完成全部设备安装工作。

2010 年 6 月完成 3 座航道桥设备单调工作。

2011 年 6 月完成监控中心相关服务器设备的安装调试工作。

2011 年 6 月完成全桥通信网络的布线及调试工作,具备设备联调的条件。

2011 年 6 月 11 ~ 15 日完成 3 座航道桥荷载试验期间的系统数据获取工作。

2011 年 7 月 ~ 8 月完成系统的联调工作。

2011 年 9 月 ~ 11 月完成系统的试运行工作。

2011 年 12 月具备系统移交运行条件。

1.3 系统总体规划

1.3.1 系统功能总框架

青岛胶州湾大桥结构监测巡检养护管理系统的软件功能总体框架如图 1.3-1 所示。

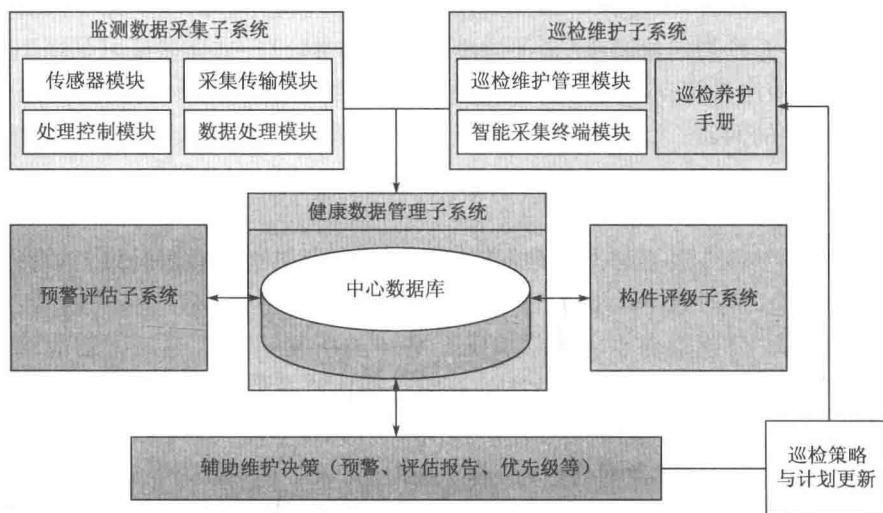


图 1.3-1 结构监测巡检养护管理系统总体业务功能框架

按照系统的基本框架及系统物理分布情况,将本系统划分为 5 大功能子系统。

1.3.1.1 监测数据采集子系统

监测数据采集子系统的主要目的是自动化采集预警、评估、评级等所需要的数据。通过该子系统负责所有在线及离线检测数据的采集、传输、处理及控制。

1.3.1.2 巡检维护子系统

建立专门针对结构外观损伤、病害进行检查和评估的管理子系统,以配合基于自动化传感测试和信号分析控制的监测数据采集子系统,实现大桥全覆盖管理。该子系统以巡检养

护手册为指导,辅以智能化采集终端,实现流程化、标准化和规范化的巡检数据的录入、存储、查询及显示,提供基于巡检数据的结构技术状况评定功能。

1.3.1.3 构件评级子系统

根据外观巡检的定性数据,通过构件评级子系统,确定各构件的危险性、易损性和外观性的级别,在此基础上确定桥梁构件的综合评级,进一步实施巡检优先级排序,配合健康评估的结果即可制定合理的巡检养护计划。

1.3.1.4 预警评估子系统

根据监测数据采集子系统、构件巡检养护子系统的数据输入,结合健康评级子系统针对性外观检查信息的处理和评定信息,实现结构危险状态预警与性能评估。

1.3.1.5 健康数据管理子系统

数据管理模块是整个系统的数据管理平台,实现对中心数据库所有数据的管理功能。同时通过用户界面模块提供友好、专业、灵活配置的用户界面,突出 WebGIS 的交互式图形用户界面、菜单级用户按钮权限和报警推送模式。

1.3.2 系统应用模式

青岛胶州湾大桥运营期结构监测巡检养护管理系统为 B/S 模式(图 1.3-2),系统用户可在授权允许的情况下,通过局域网或 Internet 访问本系统,客户端不需安装任何软件,使用 IE 即可访问。

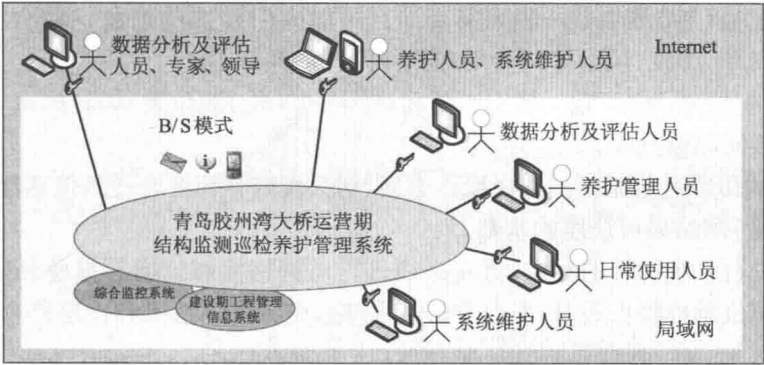


图 1.3-2 结构监测巡检养护管理系统应用模式

系统主要应用对象是日常使用人员、系统维护人员、养护人员、数据分析和评估人员、养护管理人员、专家、领导等,数据分析及评估人员和专家还可下载系统提供的在线和离线分析工具包进行专业分析。

外场作业人员(如养护人员、系统维护人员)还可通过便携式电脑及 PDA 维护系统数据。结构健康指标预警信息及突发事件预警信息可通过电子邮件、系统消息及手机短信等模式及时通知相关人员。

监测内容及布点设计

2.1 设计原则

桥梁结构监测内容的选取遵循传感器实时监测和人工巡检相结合的原则,监(检)测内容应能够满足结构安全及综合评估(结构耐久性、安全性和使用性)、结构状态及损伤识别的功能要求。布设传感器之前,需注意以下4个方面基本原则。

(1)正确的力学模型。首先需对桥梁的内力分布和变形特征作全面的分析,如结构在各工况下的内力包络图。

(2)合适的监(检)测参数。确定需要而且可能监(检)测的参数,如索力、梁挠度、外界环境的影响(日照、湿度、风力等)、全局和构件的振动频率等。

(3)恰当的监(检)测位置。确定必要和最佳的监(检)测位置,如斜拉索、正负挠度峰值点、振型曲线区间峰值点等。

(4)可靠的传感通信系统。选择操作方便、耐久性好且精度合适的传感器和通信处理系统是保证监(检)测结果可信度的基础。

因此,在进行系统设计的时候,首先必须进行结构特性和结构易损性分析,得知结构受力特点、易损部位及危险点后,再根据分析结果结合桥梁实际情况和传感器本身的特点确定监(检)测内容、监(检)测点和监(检)测方法。

2.2 结构危险性分析

危险性分析基于以下两个要点进行:

(1)关注重点不是桥梁在极限状况下的受力和变形状况,而是在各个活载工况下的内力和形状的变化幅度。桥梁设计和复核基本保证了结构上不会出现受力破坏,还具有一定的安全储备,所以对于保证桥梁健康运营更有意义的是监测较大的应力变化幅度,以计算疲劳效应。对于变形来说也是如此,恒载作用下的变形在监测开始前已经完成,实际监测到的都是活载引起的变形变化,而不是所有工况下的变形值。

(2)活载的组合不再考虑。