

基于风险管理的跨海悬索桥养护管理

郭健¹, 张强², 马敬海²

(1. 浙江省舟山连岛工程建设指挥部, 浙江舟山 316000; 2. 上海思索建筑咨询有限公司, 上海 201114)

[摘要] 基于结构危险性分析方法论和管理科学的量化管理, 将悬索桥风险管理细化为单元层次上的标准化巡检养护管理子过程, 通过定义该单元巡检养护的全部内容以及特殊事件和特殊维修的管理策略, 实现了基于风险管理的跨海悬索桥养护管理, 同时还介绍了基于风险管理的养护管理系统的组成。

[关键词] 悬索桥; 巡检养护; 桥梁管理系统; 风险管理

[中图分类号] U448.25 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2010)07-0064-04

1 前言

桥梁管理系统是国民经济高速发展和交通运输大幅度增长后, 对道路和桥梁安全使用和适时实施维护管理而提出来的。桥梁管理系统经历了从简单到复杂, 从单项数据处理到多项数据、多知识综合处理的人工智能的发展过程。经过近半个世纪的努力, 目前, 美国、加拿大、南非、英国、丹麦、澳大利亚、日本以及我国等国家和地区已经建立了成熟的桥梁管理系统。这些系统对于改善桥梁维护和管理水平, 确保车辆和行人桥上通行安全, 最合理地利用有限的维护资金起到了很好的作用^[1~7]。

面对桥梁养护管理工作这一复杂的系统工程, 这些工程应用仍没有有效克服如下关键问题:

1) 功能较为简单, 不能适应跨海悬索桥养护管理模式和业务流程。

2) 缺乏一套严格遵照规范的病害描述用语, 导致后期数据库检索效率低下、数据统计可信度不足。

3) 没有提出针对桥梁具体部件病害影响程度评估的系统方法, 相关工作仍然需要依赖于检测工程人员基于经验和理论素养的主观判断来进行。由此导致桥梁评分值上下浮动空间较大, 桥梁等级确

定较为随意化。

4) 虽然是电子化管理系统, 但实质是传统的基于经验的巡检养护管理的简单电子化, 仍然没有摆脱管理目标不明确, 管理内容不标准, 管理程序不规范的弊病。

风险管理理念在军事、原子能以及航空航天领域应用广泛。威胁桥梁结构安全并影响其发挥使用功能的是桥梁在生命周期内面临的来自于材料老化、结构退化、特殊事件、人为因素等的危险, 只要为这些危险建立科学合理的管理机制, 就能够实现预期的目的, 即保障桥梁的结构安全, 并使桥梁能正常发挥其使用功能。

2 巡检养护管理模式

养护维修的类型分为退化性维修(任其劣化, 没有维修)、更正性维修(出现劣化后维修)、计划性维修(出现劣化前较少的维修)和条件性维修(出现劣化前消除劣化), 如图1所示。更正性维修又称为被动维修, 因为它是等待问题严重到会危及局部或者整体的安全才来实施维修; 条件性维修又称为主动维修, 根据损伤、结构评分和经济指标来设定条件, 一旦条件满足就实施维修。

[收稿日期] 2010-04-09

[基金项目] 国家科技支撑计划课题(2008BAG07B05)

[作者简介] 郭健(1973-), 男, 甘肃兰州市人, 高级工程师, 博士, 研究方向为桥梁结构分析及监测、工程控制及管理;
E-mail: guoj@vip.163.com

按照国外的研究和工程应用成果,综合考虑桥梁的服务水平(与技术状态密切相关)和维修费用,科学合理的巡检养护的原则是:制定合理的预防性养护和条件养护频率,使常规保养以最低的经济成本达到合格的养护标准。根据以往的巡检养护积累的数据,其具体指标为条件性维修占维修总量的80%,计划性的养护维修占维修总量的15%,更正性维修占维修总量的5%,而且原则上只能由特殊事件触发。

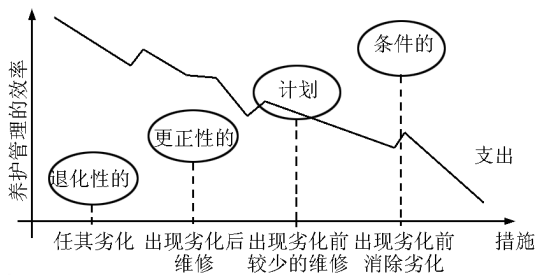


图1 桥梁维修分类

Fig. 1 Bridge maintenance classification

3 桥梁风险管理

所谓结构危险,是指结构在其生命周期内由于结构材料老化、结构退化、外部荷载的作用、外部特殊事件和人为破坏等对结构安全和生命安全带来损失的不确定性。危险概率是指危险发生的可能性,危险的严重度则是指每种危险发生导致的危害程度,通常可以用对结构安全的影响程度和范围以及人生命的影响来度量^[8,9]。

通过分析桥梁在其生命周期内危险发生的概率及其危害程度,评估桥梁危险的关键度,并根据危险的关键度来制定相应的管理策略,从而实现桥梁的风险管理。桥梁风险管理机制的制定,需要开展以下工作。

1) 桥梁结构危险性分析。危险性分析中将运用最新的结构损伤机理的知识并结合跨海悬索桥大桥的环境特点和结构构造特征来进行。危险性分析包括总体危险性分析和详细危险性分析。总体危险性分析的目的在于识别跨海悬索桥所有结构物在生命周期内可能遭受的所有危险,在此基础上,根据危险对结构的影响程度、发生的可能性和可探测性来度量这些危险的水平,进而识别出每种类型结构单元最关键的危险,然后定义适用的控制措施。

详细的危险性分析是针对每种类型的结构单元,按照识别的关键危险分析其损伤发生的部位即巡检点可能的表现形式,考虑不同类型损伤的成因

和发展特点确定巡检频率,根据相关规范确定评分方法、损伤出现后的养护措施、检查的通道和方法。

危险性分析还要分析施工缺陷对结构的影响,特殊事件和特殊维修过程(易损件的更换)等对结构安全的影响,这样才能实现桥梁生命周期的全部危险的无遗漏分析,进而实现桥梁生命周期的全部危险的无遗漏管理。

2) 将结构危险性分析与量化管理理念运用于桥梁结构巡检养护管理。量化管理理论是一种从目标出发,使用科学、量化的手段进行管理组织体系设计和为具体工作建立标准的理论,它涵盖策略制定、组织体系建设、对具体工作进行量化管理等多个方面,是一种整体解决具体问题的系统性的量化管理理论。

根据桥梁巡检养护管理的目标,将全桥巡检养护管理分解到全部单元的巡检养护管理,再进一步细化每类单元的管理,即在可操作的结构单元层次上建立整个结构的巡检养护方案,每种类型的单元可能发生的危险、发生危险的部位和特征、描述损伤的方法和参数、巡检的方法和通道以及工具、巡检的频率、易损件的更换、特殊事件的响应和检查方法。

3) 定义桥梁养护管理的其他内容。这些内容是实现桥梁风险管理的基本保障,他们包括但不限于:桥梁巡检养护管理的组织、参与人员和公司的职责及要求、巡检养护的安全制度等。

4 养护管理系统

基于风险管理的跨海悬索桥养护管理系统由巡检养护手册和电子化巡检养护管理系统组成。巡检养护手册是巡检养护系统的纲领性文件,对所有内容进行定义和描述。电子化巡检养护系统是巡检养护手册的电子化版本,它的主要功能在于记录和管理桥梁损伤信息,分析报告桥梁的技术状况。跨海悬索桥电子化人工巡检系统的实施是个复杂的工程,其总体设计流程图见图2。

开发跨海悬索桥养护管理系统主要工作分为以下4个部分:

1) 结构解析和资产清单。根据大桥的工程特点,将结构离散为主缆、吊索、索夹、鞍座、加劲梁、桥塔、锚碇、索塔、支座和伸缩缝等不同类型的单元(根据青岛海湾大桥桥梁结构形式不同,分别进行结构解析),在此基础上,扩展为资产清单。

2) 结构危险性分析。在结构解析的基础上,首

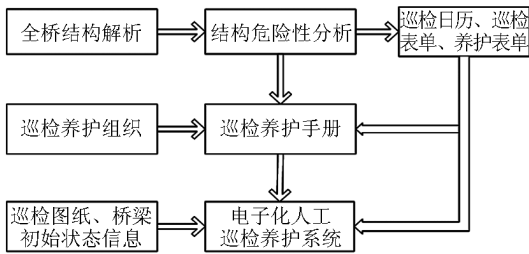


图2 系统总体设计流程图

Fig. 2 System overall design flow chat

先进行总体危险性分析,进而进行详细的危险性分析,定义巡检类型,以及每种单元的巡检频率和巡检养护表单,建立桥梁损伤的评分系统等。

3) 巡检养护手册。包括大桥的工程描述、巡检通道的定义、巡检养护组织、施工巡检记录、各种类型的巡检、特殊事件后的巡检、非结构物的巡检养护等,集中体现了风险管理的理念和成果。

4) 电子化巡检养护系统集成。前期工作是数据库准备,主要包括硬件系统的架设。电子化人工巡检系统的定制、巡检图纸的绘制、巡检养护表单以及大桥初始状态信息等资料,后期进行中心数据库的录入,以及软件调试、直至系统成功投入使用。

5 巡检养护手册

巡检养护手册是巡检养护管理的指导文件,是结构危险性分析的成果,巡检养护手册必须包括以下内容。

1) 桥梁工程概况:对桥梁所有结构进行详细描述,并提供了全桥的设计信息,实现从设计施工到运营过程的数据信息的传递,用于理解和回顾设计标准,为后续养护工作提供所需的信息。

2) 巡检养护基础知识:结构解析的原则以及结构风险评估理念,阐述桥梁巡检通道,定义了桥梁巡检的类型,桥梁技术状况评定体系。

3) 初始巡检、日常巡检、定期巡检、专项巡检的检查内容和方法,巡检所需信息和巡检的具体要求。

4) 特殊事件管理策略:这部分内容是在结构风险评估的基础上制定的,用于指导大桥管理人员在桥梁发生特殊事件后应该如何响应。同时针对可预测事件的安全控制措施也需要规定。这些内容应根据已获得的类似事件的处理经验进行定期更新。

5) 特殊维修管理策略:这部分内容提供了现有特殊维修程序和养护工作的关键步骤。目的在于避免不当的维修操作给结构带来新的损伤。

6) 巡检养护管理的组织:这部分内容作为养护管理的整体组织框架,记录业主为了实现巡检养护

而实施的管理工作。

6 电子化巡检养护系统

电子化巡检养护系统是巡检养护手册的电子化版本,系统包括软件和配套数据库。通过这套系统,可以实现从巡检养护管理过程中所有信息的采集、分析和整理,建立桥梁养护管理的电子档案。

软件系统的核心物理构成分为两部分,系统服务器和平板笔记本电脑。系统服务器上部署有基础信息维护管理、巡检管理、报告分析。巡检用平板电脑上部署有现场巡检模块。

电子化人工巡检养护管理系统软件的数据库划分为:结构基本信息库、损伤知识库、损伤库、养护措施库、评分准则库、同时包括图纸、照片、参考文档等文件数据资料。系统模块主要功能为:

1) 管理模块:对桥梁的原始静态数据如文档基本数据,运营期间的动态数据如损伤信息和管理信息进行归档查询。

2) 巡检管理模块:定义巡检任务日历,查询巡检任务,新建巡检任务,传输任务到巡检笔记本,合并任务数据到中心数据库。

3) 现场巡检模块:运行在现场巡检笔记本上,主要用于记录损伤的信息包括损伤描述,CAD 图纸、损伤照片。

4) 报告分析模块:主要包括损伤查询分析,损伤评分和任务结构报告,可以对损伤进行统计分析并输出多种格式报告。

电子化人工巡检养护系统改变了过去人工巡检存在的各种问题,做到:目的、对象明确,巡检内容及项目一目了然;通过损伤库和巡检表格实现了损伤的规范化记录管理,彻底摒除了损伤记录中的经验性和随意性,保证了数据的规范;损伤判断及损伤程度判别实现标准化,可以对结构单元或全桥进行基于损伤的巡检结果的状况评分;巡检结果存储有序,可视化程度高;巡检结果可通过笔录式笔记本直接传输到中心数据库,大大加快了数据融合的速度;可以在巡检结束后迅速生成巡检报告,亦可迅速生成维修计划建议及费用报告。

7 工程应用

西堍门大桥的巡检养护管理系统是基于风险管理理念构建的,通过结构危险性分析,总共评估了 945 种结构风险,并确定了 213 种风险需要采用相

应的措施来实施控制。

在单元层次的危险性分析中,为 27 类单元建立了风险管理策略,并且对阵风、地震、车辆撞击、火灾和特种车辆通过等外部事件和易损件的更换建立了风险管理流程,在此基础上,形成了西堍门大桥巡检养护手册和电子化系统。

8 结语

基于风险管理的跨海悬索桥养护管理运用结构危险性分析技术来评估桥梁生命周期内的所有危险,并将全桥的养护管理目标分解到单元层次,采用管理科学中的量化管理概念,定义了一些单元层次上的巡检养护管理策略,同时还对于影响桥梁结构安全的所有其他因素进行了分析并定制了管理策略和为实现这些目标的管理体制。在此基础上,编撰了巡检养护手册,并将巡检养护手册内容电子化,借助开发的知识库,实现了跨海悬索桥风险管理的标准化、规范化手段。

参考文献

[1] Nordengen P A, De Fleuriot E. The development and implementation of a bridge management system for South African road and rail authorities[A]. Transport '98 Conference Investing in Transport hosted by the ARRB Transport Research and New South Wales

Traffic Authority[C]. Australia: Sydney, 1998. 1 - 11

[2] Small E P, Philbin T, Fraher M, et al. Current status of bridge management system implementation in the United States[A]. 8th International Bridge Management Conference [C]. Washington D C, 2000. 1 - 16

[3] Hammad A, Yan J, Mostofi B. Recent development of bridge management systems in Canada[A]. Annual Conference of the Transportation Association of Canada Saskatoon [C]. Canada: 2007. 1 - 20

[4] Bjerrum J, Knudsen A. DANBRO + internet - based management system for cable - supported bridges and other major structure [A]. ISCBOC, 4th international Cable Supported Bridge Operators' Conference[C]. Copenhagen, 2004. 16 - 19

[5] Miyamoto A, Kawamura K, Nakamura H. Bridge management system and maintenance optimization for existing bridges[J]. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2000, (1) : 45 - 55

[6] Miyamoto A, Kawamura K, Nakamura H. Practical applications of a bridge management system in Japan [A]. 5th International Bridge Engineering Conference[C]. Tampa, 2004. 14 - 25

[7] 贾丽君, 郭瑞, 许俊, 等. 城市桥梁信息管理系统(2.0 版)的研究与开发[J]. 同济大学学报, 2004, 32(1):24 - 26

[8] 阮欣, 陈艾荣, 石雪飞. 桥梁工程风险评估[M]. 北京: 人民交通出版社, 2008

[9] Flaig K D, Lark R J. A risk - based decision - support system for bridge management [A]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers[C]. Bridge Engineering, 2005, 15:101 - 106

Cross-sea suspension bridge maintenance management based on risk management

Guo Jian¹, Zhang Qiang², Ma Jinghai²

(1. Zhejiang Provincial Construction Headquarters of Zhoushan Islands Link Project, Zhoushan, Zhejiang 316000, China; 2. Shanghai Sisuo Project Management Co., Ltd., Shanghai 201114, China)

[Abstract] Based on structural risk analysis methodology and quantitative management theory, the inspection and maintenance management of trans-oceanic suspension bridge is broken down to sub procedures on the element level. The risk management of the bridges is realized by defining all contents of the inspection and maintenance strategies of every kind of element including the management of the special external events and special heavy maintenances. Also the components of management system were introduced in the paper.

[Key words] suspension bridge; inspection and management; bridge management system; risk management