

跨海悬索桥结构危险性分析

张强¹, 马敬海²

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

[摘要] 阐述了桥梁结构危险性分析的方法论, 根据危险性分析服务对象和目的, 确定了跨海悬索桥结构危险性分析的内容和方法。在总体危险性分析层面确定需要控制的桥梁结构风险, 在单元危险性分析层面确定如何对这些风险的控制, 同时将特殊事件和维修等因素也纳入危险性分析, 保证了桥梁生命周期内所有风险的无遗漏分析和控制。

[关键词] 悬索桥; 结构危险性分析; 桥梁管理

[中图分类号] U448.25 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2010)07-0061-03

1 前言

如何保证桥梁百年设计寿命, 除了精心设计与施工外, 还需要科学的管养。回顾百年来桥梁事故案例, 特别是近年来发生的桥梁安全事故案例, 可以更多地反思桥梁的安全问题。这些桥梁事故除了一些是设计的问题外, 很多都是桥梁养护管理不当或不足造成的。随着越来越多的跨度跨海悬索桥的建设, 给悬索桥的维护管理工作提出了新的挑战。这种挑战主要来自两个方面: 一是数量庞大的既有悬索桥, 他们中的大多数已经度过了“壮年期”, 如何进行科学维护管理, 使得他们“保持或者重新焕发青春”; 二是对于新建的悬索桥, 如何采取科学合理的养护管理策略, 避免悬索桥历史中的一些危及结构安全和服务水平的事件重演。我国正处于悬索桥建设的高峰期。借此东风, 笔者尝试在跨海悬索桥安全管理系统开发中引入风险管理的理念。而桥梁风险管理的基础课题, 就是桥梁结构危险性分析。

2 桥梁结构危险性分析概要

所谓结构危险, 是指结构在其生命周期内由于材料老化、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^[1,2]。桥梁结构危险性分析的目的是通过分析结构在其全寿命期间可能发生的所有危险及危害程度, 为制定科学合理的标准化、规范化人工巡检养护管理方案服务。

跨海悬索桥危险性分析主要工作包括: 结构解析、巡检通道规划、危险源识别、总体危险性分析、单元危险性分析等, 在总体危险性分析和单元危险性分析中应包括相应的对策、施工缺陷危险性分析及对策、事故危险性分析及对策、特殊维修危险性分析及对策^[3]。

3 总体危险性分析

总体危险性分析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, 他们可能来自材料的老化、结构本身、特殊事件、不恰当的维修养护等。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, 从而确定需进行风险管理的具体对象。

[收稿日期] 2010-04-23

[基金项目] 国家科技支撑计划课题(2008BAG07B05)

[作者简介] 张强(1968-), 男, 四川成都市人, 高级工程师, 主要研究方向为桥梁养护管理系统; E-mail: jzhang416@163.com

3.1 结构解析

结构解析就是按照一定的原则将桥梁离散为不同类型的结构单元。结构解析需遵守以下原则:

a. 环境一致;b. 材料一致;c. 结构形式一致;d. 破坏方式一致。

3.2 巡检通道

对巡检通道的识别可以筛选出哪些构件是人可以直接到达进行巡检的,哪些构件是需要借助工具到达进行巡检的,哪些构件又是无法进行人工巡检的。在危险性分析中,这些无法进行人工巡检的危险度高的构件或者结构部位需要制定专门的管理策略,如:为这些构件增设巡检通道,或者增加相应的传感器进行监测。

3.3 危险源识别

桥梁生命周期中可能遭遇的危险源于多方面,在危险性分析之前,将根据桥梁的技术文件和所处的自然社会环境,进行危险源识别,甄别出桥梁在生命周期内可能对结构安全构成威胁的结构外部和内部原因,现简述如下:

1)材料老化:包括混凝土材料和钢材耐久性问题等。

2)结构:在外部荷载的持续作用下,结构发生退化,导致承载能力不足或者刚度不足。

3)特殊事件:主要包括地震、阵风、车辆撞击、船撞、火灾等。

4)施工缺陷:施工过程中由于各种原因产生的缺陷可能影响桥梁运营期的结构安全,故这部分危险也应考虑在内。

5)特殊维修:如支座更换、伸缩缝维修、吊杆更换等都会对结构产生影响,危险性分析也将这部分危险纳入其中。

3.4 结构危险性定义

结构危险性评价指标为结构危险度,其定义为:危险度 = f (严重度, 概率)。其中,严重度为危险发生后对结构影响的严重程度;概率为危险发生的几率。

3.5 总体危险性分析步骤

1)建立危险矩阵:在结构解析的基础上,以危险度、概率为指标建立危险分析矩阵。

2)专家调查、评分:将危险矩阵以表格的形式分发给各专家,告知评分原则,由各专家分别打分,综合各专家调查结果,确定危险评分。

3)危险控制:根据总体危险性分析结果,对于

评分较高的关键性危险,给出相应的控制措施,以期将危险控制在允许范围之内。

总体危险性分析还包括对危险探测性的分析,对于危险度较大又不可探测的危险,应制定监测机制进行控制。

4 单元危险性分析

单元危险性分析是针对每种类型的结构单元,针对总体危险性分析中识别的关键危险,分析其损伤发生的部位即巡检点可能的表现形式,考虑不同类型的损伤的成因和发展特点确定巡检的频率,根据我国现行的养护规范来确定评分方法、损伤出现后的养护措施、检查的通道和方法、特殊事件危险性分析。

4.1 巡检频率

巡检频率即巡检的时间间隔,不同类型的危险发生的时机及间隔是不同的,应分别考虑。在制定巡检频率时,按照材料老化、结构性危险、施工缺陷和特殊事件等导致的危险和时间的关系来确定(见图1~图4)。

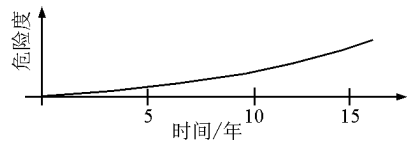


图1 材料老化危险度随时间变化规律
Fig. 1 Risk change of material aging with time

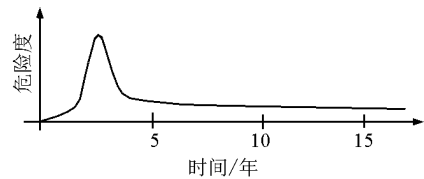


图2 结构性危险度随时间变化规律
Fig. 2 Risk change of structure with time

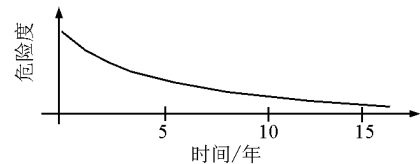


图3 施工缺陷危险度随时间变化规律
Fig. 3 Defect risk change of construction with time

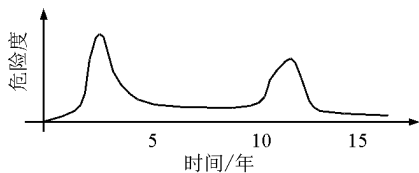


图4 特殊事件危险度与时间关系

Fig. 4 Risk change of special event with time

4.2 定义控制点

以总体危险性分析为基础,根据各单元自身特性,首先确定单元控制点,然后对每个控制点,定义如何检查(包括巡检通道、巡检工具、巡检频率、以及养护管理策略)。巡检点包括如下三类,a. 材料巡检控制点;b. 结构巡检控制点;c. 特殊事件后巡检点。

5 特殊事件危险性分析

特殊事件是指桥梁可能遭遇的一些偶然事件,如阵风、地震、车撞、火灾、特殊车辆过桥等。特殊事件不但影响桥梁正常运营,而且可能危及行车安全,对人的生命构成严重威胁,甚至威胁桥梁结构局部或者整体的安全。因此,必须根据特殊事件的特点,制定针对性的应对策略,包括预防措施、交通管制、以及事件后特殊巡检养护等措施。

6 特殊维修危险性分析

和新建桥梁施工过程不同的是,所有的维修都是在既有桥梁上进行的,有可能在封闭交通的条件下维修,也可能是在保持部分交通的状态下进行维修。如果不对这些特殊维修过程进行仔细的分析,找出可能危及结构安全的施工步骤和方法,维修的结果则可能达不到预期的目的,而且还会给结构带来潜在的危險。特殊维修危险性分析就是识别出维修过程中的危险源,制定相应的特殊维修注意事项,用于指导维修方案设计和施工。

7 施工缺陷危险性分析

桥梁在施工过程中不可避免会出现一些缺陷,这些缺陷有可能已经被维修,但是维修过和没有维修的缺陷随着时间的发展都可能对结构产生不同程度的影响,他们可能对未来桥梁技术诊断的合理解释有影响。在施工缺陷危险性分析中需要尽可能追踪施工记录,并分析这些施工缺陷可能带来的结构风险和管理策略。

8 西堍门大桥结构危险性分析

西堍门大桥主桥为主跨 1 650 m 的两跨连续钢箱梁悬索桥,孔跨组合为(578 + 1 650 + 485) m。按照前述的结构危险性分析内容和方法论,对该桥开展了结构危险性分析工作。现将这项工作的内容和成果简述如下。

1) 将结构划分为锚碇、桥塔、主缆系统、吊索等 4 个大类,最终确定 27 类结构单元。

2) 共识别出 35 类结构危险源。

3) 构筑了全桥总体危险性分析的矩阵,共分析了 $27 \times 35 = 945$ 种风险。确定了 213 种风险需要控制。

4) 为 27 类单元进行了详细的单元危险性分析,确定了每类单元由于材料、结构、外部事件、人为因素等造成结构损伤的单元控制点,每个控制点的内容包括损伤部位、巡检通道、巡检方法、损伤类型、巡检频率、触发养护策略巡检。

5) 分析了阵风、地震、车辆撞击、火灾和特种车辆经过等事件的危险性,并制定了事件的管理程序以及事件后特殊检查的内容。

6) 分析了特殊维修的危险,明确了特殊维修中需要严格控制的要点。

7) 在结构危险性分析的基础上,为西堍门大桥编制了巡检养护手册和巡检养护管理软件。

9 结语

文章构建了一种用于桥梁结构危险性分析的方法论。结合跨海悬索桥安全监测和管理系统的开发,将这种方法论运用于西堍门大桥的结构危险性分析,并将分析成果用于定制该桥的巡检养护管理,从而实现了桥梁全寿命期的风险管理机制。基于桥梁结构危险性分析的桥梁管理系统代表着桥梁管理发展的方向,如何更加科学合理地评估危险的危险度,使之能兼容已发生事件的观测结果和危险发生的科学规律,是值得进一步研究的课题。

参考文献

- [1] 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
- [2] Flaig K D, Lark R J. A risk - based decision - support system for bridge management [A]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers[C]. Guildford:Bridge Engineering, 2005
- [3] 上海思索建筑咨询有限公司. 南京第三长江大桥巡检养护手册[R]. 南京,2005

(下转 89 页)