

现代桥梁设计理念与技术创新

张喜刚 刘高 赵君黎

(中交公路规划设计院有限公司 北京 100088)

摘要:桥梁建设向大跨径、深水域、近海和崇山峻岭发展,面临着巨大的技术挑战。在回顾了苏通大桥等一批桥梁的技术难点之后,归纳总结了大跨径桥梁的技术创新,提出了大跨径桥梁的关键技术问题,针对量大面广的中小桥梁提出了集成设计的理念;分析了桥梁防灾减灾技术的热点问题;探讨了桥梁结构健康监测及养护的策略。

关键词:桥梁 设计 设计理念 技术创新 防灾减灾 风险 健康监测

1 概述

随着桥梁建设将不断向大跨径、深水域、近海和崇山峻岭发展,这些跨越大江、大河、海湾或高山峡谷的桥梁工程设计建造难度非常大,而且处于复杂恶劣的环境中,维护难度将大大增加,这些技术难题迫切需要科技创新解决,有巨大的科技需求。如我国即将要建设的港珠澳通道、渤海湾通道等工程,处于外海、深水环境中,在深水基础、上部结构架设和专用施工设备等方面急需进行深入研究。在当今世界科技发展日新月异下,以信息技术和新材料技术等为代表的高新技术,对经济发展与社会进步起到了巨大的推动作用,也必将为世界桥梁新的跨越创造条件。

改革开放以来,我国的桥梁建设事业经历了一个辉煌的发展时期,建成了一大批结构新颖、技术复杂、设计施工难度大、现代化品位和科技含量高的大跨径桥梁,积累了丰富的桥梁设计和施工经验。特别是进入20世纪90年代,中国桥梁工程界在自主创新的旗帜下出现了全国范围内建造大跨度桥梁的高潮,并以空前的规模和速度为五纵七横的国家高等级公路网建造了数以百计的大跨度悬索桥、斜拉桥、拱桥和梁式桥,以跨越大江大河、海湾和深谷,大大改变了中国的交通面貌,取得了令世人瞩目的成就。随着社会的发展、设计理念的进步,技术创新在中国桥梁上大放异彩,使得中国大桥建设不但在规模上和速度上让世人称羡和惊异,而且在设计理念、创新设

计、先进施工技术和工程质量方面也能赢得国际同行的尊重和赞誉。中国已经成为桥梁大国,正向桥梁强国迈进。

2 大跨径桥梁的关键技术问题

随着世界经济的快速发展,大跨径桥梁的建设在20世纪末进入了一个高潮时期。自1956年瑞典建成世界上第一座现代斜拉桥——Stromsund桥(主跨182.6m)以来,斜拉桥经过了短短50多年的发展,跨度不断攀升,由200m左右已跃进到1000m以上,见图1和表1。1883年建成的位于纽约跨越伊斯特河的Brooklyn桥(主跨486m)是近代悬索桥的开端,在20世纪20年代悬索桥的建造达到了一个高峰。自1931年主跨为1066米的跨越哈得逊河的George Washington桥成为第一座主跨长度达到1000m的桥梁以来,世界上已建成了几十座超千米的悬索桥,见图2和表2。

苏通大桥位于长江下游,是国家高速公路网中跨越长江口的咽喉工程,是国家科技支撑计划支持的首个重大公路交通工程,是我国自主设计和建造的世界首座突破千米跨径的斜拉桥。苏通大桥主孔跨径1088米,水文条件复杂、地质条件差、气象环境恶劣、航运密度大,千米级斜拉桥其技术要求超越了国内外现行标准、规范规定,工程建设面临着极大的挑战。通过长达18年的研究与实践,建设者博采众长、自主创新,开展了100多项科研专题攻关,研究了结构抗风、抗震、防船撞、防冲刷等技术,攻克了千米级斜拉桥结构体系、深水急流中施工平台搭设及群桩基

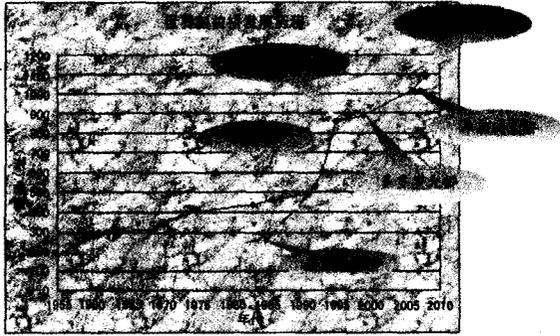


图1 国内外斜拉桥主跨跨径纪录发展历程

表1 世界排名前10位的大跨斜拉桥

桥名	主跨 (m)	国家	建成时间
1 苏通大桥	1088	中国	2008
2 昂船洲大桥	1018	中国	在建
3 鄂东长江大桥	926	中国	在建
4 多多罗大桥	890	日本	1999
5 诺曼底大桥	856	法国	1995
6 荆岳大桥	816	中国	在建
7 Incheon-2	800	韩国	在建
8 上海长江大桥	730	中国	2009
9 闵浦大桥	708	中国	2009
10 宁波象山港大桥	688	中国	在建



图2 国内外悬索桥主跨跨径纪录发展历程

表2 世界排名前10位的大跨悬索桥

桥名	主跨 (m)	国家	建成时间
1 明石海峡大桥	1991	日本	1998
2 西堍门大桥	1650	中国	2009
3 大海带桥	1624	丹麦	1998
4 Gwangyang Bridge	1545	韩国	在建
5 润扬长江大桥	1490	中国	2005
6 南京四桥	1418	中国	在建
7 Humber Bridge	1410	英国	1981
8 江阴长江大桥	1385	中国	1999
9 青马大桥	1377	中国	1997
10 Hardanger Bridge	1310	挪威	在建

础施工、基础冲刷防护和高塔、长索、大跨结构施工控制等十余项世界级关键技术难题，发展了基于寿命周期和性能设计的桥梁设计理论与方法，创新了静力限位和动力阻尼组合的桥梁结构体系，研发了具有自主知识产权的设计软件，编制了千米级斜拉桥设计指南，形成了千米级斜拉桥设计核心技术，创造了1088米的最大跨径、300.4米的最高桥塔、131根直径2.8米120米深的最大群桩基础、577米的最长拉索等四项世界纪录。目前已获得15项省部级科技进步奖、29项授权专利、22项工法。苏通大桥的建设关键技术和自主创新成果已在国内外多座桥梁工程中推广应用，科技部原部长徐冠华院士赞誉“以苏通大桥为代表的中国桥梁建设是我国自主创新的一面旗帜”。

其它一些国内外著名斜拉桥也针对各自建设条件和技术特点开展了大规模技术创新。昂船洲大桥（跨径1018m）解决了独柱形桥塔的静力和动力稳定性、组合、混合桥塔的设计和施工、耐久性和管理维护的考虑（实现120年）、分离箱梁的静动力设计等问题；鄂东长江大桥（跨径926m）解决了大直径长嵌岩桩施工技术、超大跨径混合梁斜拉桥施工控制、主桥边跨PC宽箱梁防裂、耐久及施工技术、钢砼结合段箱梁的安全、可靠、耐久性保证等问题；南京长江第三大桥首次在国内桥梁建设中采用钢塔柱，并探索了索塔钢砼结合段设计与施工难题；希腊Rion-antirion桥为四塔五跨的全飘浮连续斜拉桥，其抗风、抗震设计技术、深水复合基础设计与施工、结构体系等问题为建设者所关注；法国Millau桥为七塔八跨的连续斜拉桥，其特点是高山峡谷桥梁设计与施工技术。目前，斜拉桥的跨径已经突破了1000m，专家学者都在研究斜拉桥的极限跨径到底有多少，跨径的极限是和我们的材料、技术水平紧密相关的。中交公路规划设计院有限公司承担国家科技支撑项目，明确了基于苏通大桥核心技术的斜拉桥跨越能力可提升到1500m左右。

舟山西堍门大桥为最大跨径的钢箱梁悬索桥，日本明石海峡大桥为最大跨径的钢桁梁悬索桥。舟山西堍门大桥的关键技术研究也得到了国

家科技支撑项目的支持,它重点解决了三个关键技术方面的难题,1650m两跨连续钢箱梁悬索桥、分离式钢箱断面设计、独特抗风性能的研究;泰州长江大桥的技术挑战为三塔体系跨径、三塔悬索桥体系特性及优化、大型水中沉井的设计与施工。

从世界桥梁的发展来看,桥梁在向跨度更长、规模更大,向跨越海峡工程、外海海洋工程的方向发展。目前世界范围内规划或在建或建成的大型跨海通道有意大利墨西拿海峡通道工程、日本津轻海峡通道工程、土耳其伊兹米特海湾通道工程、印尼苏门答腊海湾通道工程、直布罗陀海峡通道工程、白令海峡通道工程等;国内目前规划或在建或建成的大型跨海通道有港珠澳大桥、琼州海峡跨海通道工程、渤海湾跨海通道工程、台湾海峡跨海通道工程等。随着桥梁建设环境越来越复杂,技术难度越来越高,需要解决的技术问题非常多,为了保证桥梁的可靠性、耐久性、行车舒适性和施工简易性,大量的工作要做,需要研究者继续努力,博采众长,共同攻克这些技术难题。

总的来说,现代桥梁面临的挑战主要有:一、超深水基础的结构形式和施工技术研究;二、超大跨径桥梁的结构体系和特殊力学问题;三、轻质、高强、耐腐蚀、高性能材料的研究,材料的进步决定了桥梁技术发展的水平;四、大跨径桥梁如何解决减灾抗灾以及途径的问题;五、超大跨径桥梁的施工控制,如何保证建成后的设计线形、受力状态能够达到设计的要求;六、超大跨径桥梁的经济性问题。优化管养,耐久性,人性化设计,管养规划,优化管养技术,降低全寿命周期的成本,如何保证可检、可修、可维护、可更换,对这些要求的考虑和实现将是对现有设计技术的革命。

3 中小跨径桥梁的技术发展

中小桥梁的数量非常巨大,今后的技术趋势上要体现在集成设计方面,集成设计就是充分考虑桥位处建设条件的要求,把设计和施工紧密结合起来,转变设计理念。进行标准化设计,采用工厂加工制作和现场大型机械施工,在施工过程

或者建成以后通过自动化技术进行检测,从而形成运营过程中一种系统化的管养技术。

自1951年德国工程师Finsterwalder在Lahn河上建造了第一座悬臂浇筑施工的预应力混凝土桥梁,形成了现代意义上的悬臂浇筑施工法。二十世纪六十年代,法国工程师在节段悬臂浇筑施工方法基础上形成了预制节段悬臂拼装施工方法,将节段预制与平衡悬臂施工相结合,加快了施工进度,提高了施工质量。1962年在巴黎南部塞纳河上建成的Choisy-Le-Roi桥是最早采用预制节段悬臂拼装的混凝土桥,该桥采用浮吊悬臂拼装施工,首次采用长线法偶配浇筑施工预制节段。自此预制节段拼装施工技术开始在世界各国陆续发展起来。随后对预制节段拼装施工技术最大的革新是在施工过程中引入了移动式拼装支架。1966年建成的法国Oleron海峡大桥,首次采用上行式移动拼装支架进行节段悬臂拼装施工。初期在剪力键形式上均采用单键。由于施工过程中所受剪应力较大,单键易损坏。针对此问题70年代法国研究人员开发了复合剪力键形式。在1974年建成的巴西Rio-Niteroi桥上首次采用了复合剪力键(Multiple-key)形式,并取得了良好的效果。复合剪力键因其良好的抗剪性能得到了工程界的认可,并在随后的预制节段桥梁中得到了广泛的应用。到70年代末,体外束防腐问题的逐步解决使得体外预应力技术开始被大量应用,随之出现了预制节段拼装的体外预应力桥梁。

在我国,对预制节段拼装预应力混凝土桥梁的研究应用始于60年代。1966年竣工的成昆铁路旧庄河一号桥采用预制节段悬臂拼装施工法;孙水河4号桥等7座桥采用预制节段逐跨拼装施工法。随后在津浦线子牙河大桥和九江长江大桥引桥中应用了节段逐跨拼装施工法,但受当时施工设备的制约,只能采用万能杆件军便梁逐跨拼装架设施工。1997年建成的石长线湘江铁路大桥是我国首次采用专用移动式拼装支架进行节段悬臂拼装施工。在我国公路部门,最早采用预制节段逐跨拼装施工法是在1990年通车的福建洪塘大桥引桥,采用了与Long Key类似的体外预应力结构。随后在闽江大桥、珠海淇澳大桥、夷陵长江

大桥等采用预制节段悬臂拼装施工法,体内束、单键胶接缝。2001年建成的嘉浏高速公路新浏河大桥是我国首次采用专用移动支架实现预制节段逐跨拼装法施工,部分体外束。上海沪闵高架桥二期和北京跨四环高架桥也采用部分体外束和预制节段逐跨拼装法施工。

近些年,国内外相继建成了一些有影响的长桥。杭州湾大桥全长36km,水文气象条件非常复杂,有的地方是滩涂,施工非常困难。其50m跨径的连续梁采用整孔预制、整孔吊装,它的运输是在已经建成的桥梁上通过设备滑移到现场安装位置。70m跨径的连续箱梁采用整孔预制吊装,运架一体化的工艺体现了现代桥梁发展的一种机械大型化的发展趋势。东海大桥是全长32km的跨外海大桥,桥墩和梁体全部采用预制安装的方法,用先进设备和机械仅花了3年时间就完成了施工。正在建设的京沪高速铁路,全长1318km,80%都是预制梁段进行安装,这样能够保证质量,快速安装,体现了大跨径桥梁规模化制作、施工的发展方向。2000年建成的泰国曼谷曼纳高速公路高架桥,全长55km,耗资10亿美元,平均跨度42m,整个工程预制节段39570个,全部采用体外预应力、干接缝、逐跨拼装技术,整个工程施工工期仅26个月。曼纳高架不仅是世界上最长的桥梁,而且也是最大规模采用预制节段逐跨拼装施工的桥梁。

4 桥梁防灾减灾技术和风险决策

现代桥梁防灾减灾技术的热点问题主要有桥梁抗风设计数值化和精细化、基于性能的桥梁抗震设计、跨海桥梁抗台风浪耦合、桥梁防船撞等4个方面。

桥梁抗风设计数值化和精细化,主要通过理论分析、CFD数值模拟手段,对桥梁风振机理及流体-固体耦合作用进行更深的研究,进一步提高和完善CFD技术,建立“数值风洞”和“桥梁抗风虚拟现实”技术,实现“全物理、全系统、三维、高分辨率、高逼真”的桥梁结构气动弹性数值模拟。

基于性能的抗震设计思想综合考虑了各种影响因素并采用“投资-效益”分析的多级抗震设

防思想,体现结构目标性能的“个性化”,即要求在不同地震设防水准作用下,所设计结构满足各种预定的性能目标要求,从而在最经济条件下,确保人员伤亡和经济损失均在预期可接受的范围内。基于性能的抗震设计理论受到了世界各国学术界和工程界的广泛关注,被美国、日本等抗震研究比较先进的国家作为结构抗震设计的未来发展方向,是21世纪桥梁抗震设计的大潮流。

跨海桥梁跨径大,桥位处水深浪高,气候、水文、地质、地震等海洋环境因素异常复杂。台风以及台风掀起的巨浪破坏力极大,而且两者之间在强度、方向以及频谱等方面具有复杂的相关关系,对跨海桥梁的作用具有强烈的动态特性、随机特性和耦合性。在传统设计中,将瞬态的强风和波浪激励看作等效静力作用。但对于跨海桥梁,台风以及台风掀起的巨浪动态特性显著,具有强烈的耦合效应。因此,考虑台风以及巨浪这种破坏性环境荷载的实际动力特征、随机性和耦合性,将显著提高跨海桥梁的设计水平,而与之相应的结构抵抗台风浪耦合作用的结构构造措施及振动控制技术将成为跨海桥梁建设面临的一项关键技术挑战。

国内外每年都有大型桥梁因船舶撞击而倒毁或遭受严重破坏,严重地威胁着跨航道桥梁的安全。船撞桥梁可以造成桥梁、通行的车辆、船舶、人员等的巨大的直接损失和其他间接损失。我国的桥梁船撞问题研究主要通过结合南京长江(第三、第四)大桥、江阴长江大桥和杭州湾跨海大桥等项目进行了一些工作,初步解决了特定桥梁的防撞问题。但是,目前我国桥梁的防船撞研究和设计还缺乏系统化、规范化及标准化。为了满足我国桥梁设计和建造的需要,开展桥梁船舶撞击理论和设计规范的研究是项迫切的工作,对于指导我国桥梁的防船撞设计以及对旧桥、危桥进行防船撞加固都具有重要意义。

公路桥梁建设及运营阶段存在着诸多的不确定性因素,其设计、施工和运营过程中的任一环节的错误或疏忽,都会大大降低结构的安全性,以至于导致各类工程事故的发生。包括车辆超载

压垮桥梁、船舶误航撞垮桥梁、正在修建中的拱桥和梁桥垮塌,甚至加固后的桥梁也产生突然垮塌的情况等。面对越来越多的桥梁事故和趋于增长的生命财产损失,需要结合我国实际情况,完善桥梁建设和运营管理体制,同时制定应对桥梁安全风险的有效措施,以达到提高桥梁安全性的目的。因此,为加强对建设项目的安全监管,建立桥梁工程设计、施工和运营安全风险评估制度,推动行业安全技术标准建设,开展桥梁工程风险评估研究已是一件非常紧迫的任务。

在我国国内,政府主管部门、社会知名人士、桥梁专家和学者均已对桥梁工程建设和运营相关的安全风险评估技术、管理办法以及实际操作等方面的问题给予了高度关注。针对国内实际情况,应通过分析安全风险评估标准、流程、方法、工程应用情况等,对基础理论和评估方法中若干关键问题中进行深入研究和讨论,优化补充评估体系,从而形成新的可操作性强的工程应用方法,对桥隧工程中常见的风险问题形成相对稳定、合理的评估流程,完善基本的评估模型,以提高具体问题的风险评估的效率和水平。

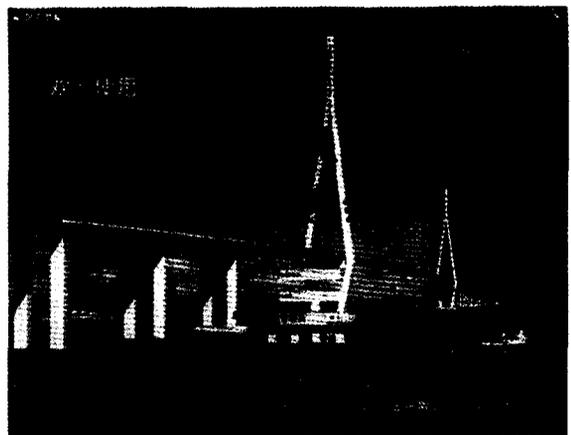
建设和运营过程中的安全风险评估体系对于中国公路桥梁工程领域来说还是一个新生事物,当前中国公路桥梁建设空前高涨的客观条件,为安全风险评估体系的建立提供了一个很好的发展条件,同时也对它的发展提出了迫切的要求。

安全风险评估是公路桥梁工程建设和运营过程中的一个重要环节,全面、客观、科学、准确的评估体系对于实现工程安全建设和运营目标至关重要。它既是政府主管部门和建设业主获取工程建设和运营反馈信息,改进安全施工、安全运营管理、保证工程质量的重要依据,又是设计方、施工方调整设计方案、改进施工方法、提高施工安全性的有效手段。

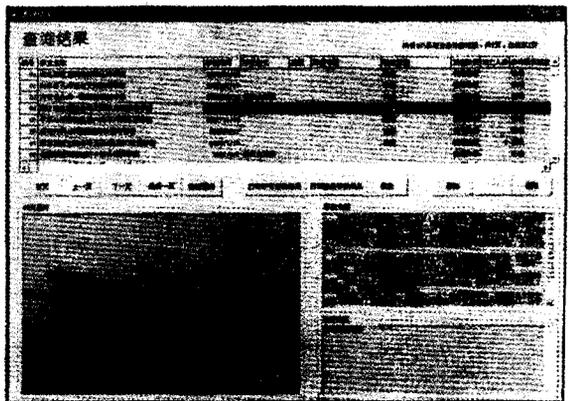
公路桥梁工程安全风险评估体系是一个纷繁复杂的系统,由很多建设条件、技术、管理等层面构成,并依赖于成熟的模型和评估标准以实现正常运行。在2008年,由中交公路规划设计院有限公司(HPDI)承担了交通部西部交通建设科

技项目“西部地区公路桥隧工程风险评估研究”,该项目在深入分析了国内外关于工程风险评估研究的基础上,针对当前科学的研究趋势,系统地开展了公路桥梁工程风险评估研究,并初步建立了我国公路桥梁工程安全风险评估体系。

为更好地促进风险评估的研究和应用的进步,中交公路规划设计院有限公司进行了公路桥梁风险评估应用系统开发(图3),该系统是基于VB+ACCESS平台的数据库系统,系统功能有:(1)桥梁风险事故的统计分析;(2)已有桥梁风险评估案例信息的存储及查询;(3)在前面两个功能的基础上运用风险评估的理论和方法进行桥梁安全风险评估。



a) 系统初始界面图



b) 事故查询结果

图3 公路桥梁安全风险评估管理系统

我国的桥梁风险评估研究仍存在一系列的问题,该风险评估应用系统将随风险评估研究的深入进一步的改进和完善,同时系统也会反过来促进风险评估研究,将风险评估过程中所涉及的诸

多理论和方法有机结合起来,形成一个统一的整体,使得风险评估研究更加系统、规范、客观。

5 桥梁结构健康监测及养护

桥梁是一种有寿命期的工程结构物,由于先天的缺陷、外部环境的影响、荷载的长期作用、自身材料的老化以及不恰当的养护维修,其健康安全不可避免地发生衰退。这种衰退会直接威胁到结构的安全和正常营运,如果没有一种科学、经济、高效的方法来管理结构衰退带来的危险,必然会影响结构物的正常服务水平和结构的长期安全性,造成巨大的经济开销,并可能造成巨大的负面社会影响。

养护维修的类型分为退化性(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),见图4。更正性维修称之为被动维修,它是等待问题严重到会危及局部或者整体的安全时才来实施维修;条件性维修称之为主动维修,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。主动维修和被动维修对结构状态的影响和维修费用的影响可见图5。

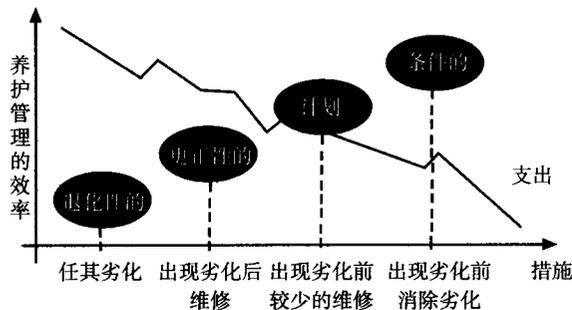
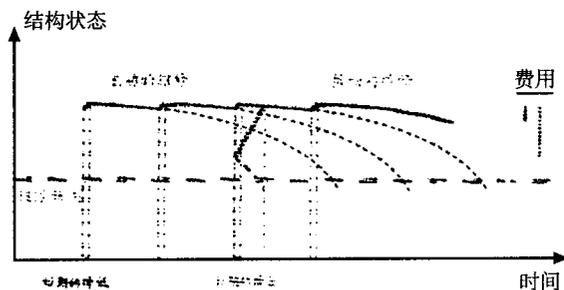


图4 维修分类



★ 尽早发现损伤能显著节约维修费用,并能通过养护活动使结构始终处于良好的状态和较高的服务水平

图5 养护策略效用分析图

从以上两图可以看出,在结构物的全寿命周期内,实施主动的维修策略不仅将大大降低业主的经济投入同时能使结构始终处于良好的状态和较高的服务水平,而且能够最大限度地延长结构物的服役期限;被动的维修虽然降低了养护维修的频度,但却需要花费更多的费用并导致结构的服务水平较低,而且不能保证结构物的寿命,从而降低了业主资产的价值。

桥梁结构安全监测系统是从运营状态的桥梁结构中获取并处理数据,评估结构的主要性能指标。它结合了无损检测(NDT)和结构特性分析(包括结构响应),目的是为了对桥梁结构的异常状态进行及时的预警,并诊断结构中是否有损伤发生,估计损伤的程度以及损伤对结构将要造成的后果。

桥梁结构安全监测系统并不是传统的桥梁检测技术的简单改进,而是运用现代传感技术、电子工程技术、网络通讯技术、信号分析与处理技术、数据管理方法、计算机软件、系统模式识别、预测技术、结构分析理论和决策理论等多个领域的知识,极大地延拓了桥梁检测领域,实时地监测桥梁运营阶段在各种条件下的结构响应,获取反映结构状况和环境因素的各种信息,并由此分析结构的健康状况、评估结构的运营情况。

我们将结构的危险分为结构损伤和结构状态的不利性改变两大类,并根据目前的技术水平提出针对不同危险情况采取不同的监测和巡检养护手段策略。结构状态的不利性改变主要通过自动化传感测试子系统进行监测,监测的目标是保障结构安全承载,重在桥梁及其附属设施整体的内在使用性能及状态变化的掌控;而结构表现的损伤则主要通过电子化人工巡检子系统来发现,其巡查对象为桥梁构件及其附属设施可视的损伤或病害,重在按巡检养护软件上既定的巡检程序和设定的巡检内容来检查桥梁构件、非结构物及附属构造的表观损伤或病害,目标是保障其能够得到及时、经济合理的维护和维修。从保障桥梁安全运营的角度出发,这两个部分从内而外,由表及里必不可少且功能互为补充,见图6。

(下转第15页)

(1) 与其他构件一样, 构件母材材料质量、中间的生产环节, 对构件的质量、耐久性等都有直接的影响, 为此提出本条文;

(2) 在单根张拉、整体调索过程中, 或在温度、汽车等活荷载作用下, 拉索与分丝管相贴处将有相对滑移的趋势, 为了防止分丝管刮伤拉索, 影响拉索的使用寿命和安全受力, 故而提出该条文;

(3) 如图4所示, 拉索张拉后索底将与分丝管下侧内臂密贴, 因此如果分丝管直线段向上偏差, 将导致拉索在分丝管端部受剪, 在拉剪荷载作用下将有可能导致拉索断裂, 因此分丝管的直线段不得上折或上翘。但是考虑到施工焊接条件, 允许直线段与理论位置有不大于2mm的向下偏差。理论上向下稍微偏差对钢绞线的受力反而更为有利(因为拉索本身有垂度效应, 拉索与分丝管端部理论夹角不为 0° , 而为一个向下的偏角);

(4) 如果分丝管整体中心与锚垫板中心偏差大于3mm, 则将导致一侧分丝管内的钢绞线的受力状态为拉剪, 影响拉索的安全, 因此提出该条文, 并且将误差严格调整为2mm;

(5) 如果分丝管的平弯大于3mm, 其后果与条文说明4一致, 因此提出本条文, 并且要求

避免整体平弯现象; 如果整体平弯, 将产生横桥向的水平力作用于塔柱上, 使塔柱由纯受压变为压弯的受力状态, 影响塔柱的耐久性;

(6) 为了防止出厂的分丝管与塔上拉索锚固装置相冲突, 规定分丝管的长度制造误差, 避免返工等工程浪费现象;

(7) 为了保证分丝管与设计的线型一致, 避免分丝管的圆曲线半径较设计的大或小, 使圆曲线与直线基本处于相切的状态, 避免拉索在圆直点处受剪, 故而提出该条文。

5 结语

该文介绍的用于该桥的分丝管检验标准, 使得潮白河大桥施工时, 分丝管施工及验收有据可依, 确保了用于该桥的分丝管不会影响此桥的安全受力以及斜拉索索体的耐久性。目前京承高速已经全线贯通, 并且该桥已经运营了4年, 运营状态良好。

希望本文介绍的用于潮白河大桥分丝管检验标准, 能够对桥梁工程师从事矮塔斜拉桥建造起到有益的启示。

参考文献

- [1] 京承高速公路(高丽营~沙坨沟段)第18#标段. 潮白河大桥施工图设计. 北京市市政工程设计研究总院. 2004年5月

(上接第8页)

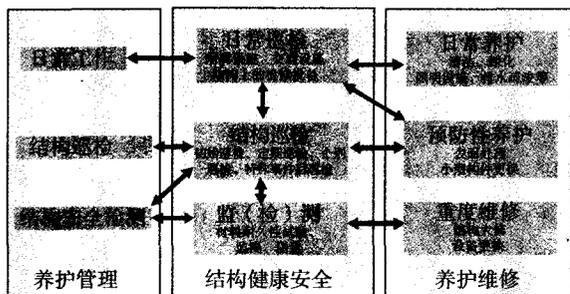


图6 巡检(检测)、监测技术相结合

6 总结

在20世纪桥梁工程取得了大发展的基础上, 我们更能畅想21世纪的宏伟蓝图。在世界经济全球化的推动下, 沟通洲际之间, 国家之间和本土与岛之间以及跨海湾工程显得越来越迫切。交通事业得到了快速的发展, 是一个发展的机遇, 也是一个挑战, 惟有充分发掘现代桥梁技术理念和

技术创新的优势, 大力加强技术储备, 才能抓住机遇, 应对挑战。

参考文献

- [1] 张喜刚, 袁洪, 裴岷山. 苏通长江公路大桥设计关键技术介绍[J]. 公路, 2009(05)
- [2] 黄剑波, 邱文珊, 许志豪. 建设中的昂船洲大桥[C]. 第十八届全国桥梁学术会议, 2008-05
- [3] J Combault, A Pecker Rion-Antirion Bridge, Greece-Concept, Design, and Construction-Structural engineering international, 2005
- [4] M Virlogeux The Millau cable-stayed bridge-Recent development in bridge engineering
- [5] 黄融, 过震文, 黄少文. 毕桂平跨海大桥的一体化施工-东海大桥海上非通航孔一体化施工的构想及实践[J]. 世界桥梁, 2004(12)
- [6] 王仁贵. 杭州湾跨海大桥总体设计[J]. 公路, 2009(05)
- [7] 闻家明, 周仙通. 深圳湾公路大桥结构健康监测系统的实现[J]. 世界桥梁, 2008(06)