

关于建立健全交通基础设施长寿命安全保障体系的战略思考

杜彦良¹, 孙宝臣¹, 吴智深², 钱永久³, 高阳¹

(1. 石家庄铁道大学, 石家庄 050043; 2. 东南大学, 南京 210096; 3. 西南交通大学, 成都 610031)

摘要: 本文主要针对我国交通基础设施存在的结构病害严重、“短寿命”突出、“老龄化”日益凸显、长寿命安全服役面临严峻挑战等问题, 借鉴发达国家的先进经验, 提出了我国交通基础设施长寿命安全保障体系建设的总体目标、战略任务及相关建议, 并开展了交通基础设施长寿命安全保障体系的系统研究和建设工作, 对确保其长寿命安全服役和交通大动脉的安全畅通、支撑国民经济可持续发展、保障人民生活安稳有序、助力国家安全和社会稳定具有十分重要的战略意义。

关键词: 交通基础设施; 长寿命; 安全保障

中图分类号: TU201 **文献标识码:** A

Strategies for Establishing and Perfecting Long-Life Security Strategy of Transportation Infrastructure

Du Yanliang¹, Sun Baochen¹, Wu Zhishen², Qian Yongjiu³, Gao Yang¹

(1. Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China; 2. Southeast University, Nanjing 210096, China;
3. Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: China's transportation infrastructure is facing severe challenges such as serious structural defects, short life, aging, and the absence of a long-life security strategy. Therefore, this paper complies the advancements in developed countries regarding these issues and proposes the overall objectives, strategic tasks, and related recommendations for constructing a long-life security system for China's transportation infrastructure. It also presents systematic research into construction of long-life security systems for transportation infrastructure. This research has a very significant strategic significance in ensuring the safe long-life service of transportation infrastructure and safe and smooth traffic arteries, supporting sustainable development of the national economy, protecting people's lives in a stable and orderly manner, and contributing to national security and social stability.

Keywords: transportation infrastructures; long life; security

收稿日期: 2017-11-18; 修回日期: 2017-11-23

通讯作者: 杜彦良, 中国工程院, 院士, 石家庄铁道大学, 教授、博士生导师, 主要从事大型工程结构安全监测与可靠性评价的研究工作;

E-mail: du_yanliang@163.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“交通基础设施重大结构安全保障战略研究”(2015-XZ-28)

本刊网址: www.enginsci.cn

一、前言

交通基础设施是社会交通体系的核心部分，事关国计民生和国家安全，具有社会公益性、经济先导性和军事战略性等基本属性。改革开放以来，我国交通基础设施建设取得了令人瞩目的成就，其建设体量已跃居世界首位。截至2016年年底，我国公路总里程达到 4.6×10^6 km，其中高速公路里程超过 1.3×10^5 km，覆盖90%以上城镇；铁路总里程达到 1.24×10^5 km，其中高速铁路运营里程超过 2.2×10^4 km[1]。但是，由于材料性能退化、超载、自然灾害等因素，导致以桥梁、隧道、道路、地铁、交通枢纽等为代表的部分交通基础设施和重大工程结构，存在着安全隐患多、使用寿命短、各类事故频发、灾害损毁严重、“老龄化”显现、维护管理费用增加等突出问题。据不完全统计，在公路网中，2014年各类危桥数量达7.96万座，约占桥梁总数的10.5%[2]；仅重庆的187座高速公路的隧道中，就有1/3呈现渗漏水现象，从而导致隧道事故频发。因此，亟待开展交通基础设施长寿命安全保障体系的系统研究和建设工作，以全面提升长寿命安全保障和减灾防灾应急处治能力，确保交通基础设施的长寿命安全服役和交通大动脉的安全畅通。这对支撑国民经济可持续发展、保障人民生活安稳有序、助力国家和社会稳定，具有十分重要的战略意义。

二、我国交通基础设施面临的严峻形势和重大挑战

（一）结构病害严重，安全隐患增多，“短寿命”突出

交通基础设施经受着复杂环境（风、雨、雪、车辆荷载、海洋环境等）的长期作用，以及突发自然、

地质灾害侵袭（或恐怖袭击）等多因素致灾威胁，造成结构病害不断增多、承载力不断下降、功能不断丧失，甚至结构垮塌等突发事件；同时，由于结构设计不合理、施工组织与管理不当、材料性能缺陷、严重超载服役、病害诊治手段不足、养护维修不及时等，导致工程质量安全隐患增多，实际使用寿命远低于预期设计寿命，“短寿命”问题突出。如何创新工程施工管理措施和技术手段，使其保持长期性能、安全服役，成为当前亟待解决的重大问题。

以桥梁为例，我国1/4以上的桥梁存在结构性缺陷、不同程度损伤和功能性失效等安全隐患，60%的桥梁实际寿命不足25年；1999年以来，重大桥梁垮塌事故就有40多起，造成了巨大的财产损失、人员伤亡和恶劣的社会影响。随着桥梁运营时间的增加、材料与结构的自然劣化以及重载交通压力的持续增加，桥梁结构的运营安全及运营形势依旧十分严峻（见图1）[3,4]。

我国隧道病害严重，截止2015年年底，已建成运营的公路隧道总里程已经达到了12683.9 km。然而，随着隧道运营时间的增长，大量的隧道出现了各种病害，如渗漏、衬砌开裂、碳化腐蚀等。如浙江宁波境内国省道及县乡道的58座公路隧道中，发生病害的长度约占总长度的36.5%；京九铁路、漳龙铁路、京广铁路等的100余座隧道的病害率约为11.6%[5]。截至2016年1月，全国铁路隧道病害率为48.78%，其中合资铁路为37.46% [6]。

（二）“老龄化”问题日益凸显，长寿命安全服役面临诸多难题

交通基础设施的设计使用年限一般为50~100年。在实际使用过程中，除了部分存在“短寿命”问题外，还有相当数量的交通基础设施能够接近

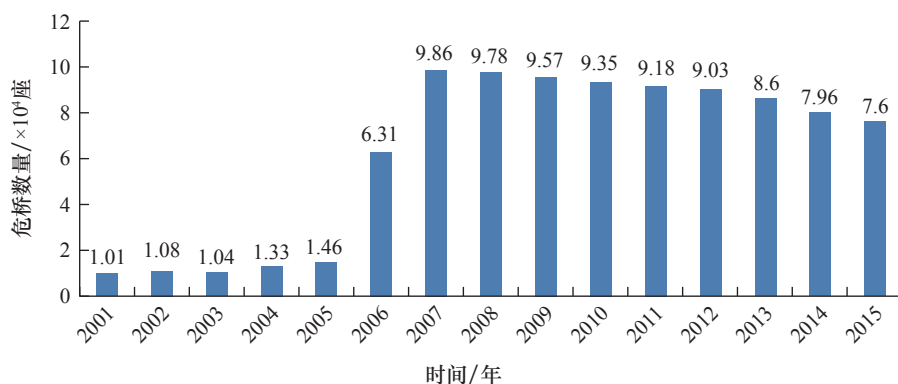


图1 2001—2015年我国的危桥数量

或达到设计使用寿命, 进入“老龄化”。预计未来 20~30 年, 我国交通基础设施“老龄化”问题将进入高峰期, 运营风险增大, 应提早制定科学合理的对策。例如, 我国早期建造的武汉长江大桥 [7]、大瑶山隧道 [8]、北京 1 号线地铁 [9] 等重大交通基础设施, 由于建造质量高、养护维修管理好, 即使达到设计使用寿命, 仍有可能维持正常使用功能并具有进一步延长使用寿命的潜在能力。

我国交通基础设施数量多、规模庞大, 是一笔巨大的社会财富和固定资产。对于已达到服役寿命而结构性能良好并具有一定使用功能的交通基础设施, 如果投入巨资拆除重建, 不仅会造成大量资源的浪费, 而且会因繁忙的交通、环境条件或地理空间等的制约而变得难以实现; 如果继续使用, 则面临着寿命评估预测、性能恢复提升、长寿命安全保障等诸多技术挑战。因此, 如何积极应对交通基础设施“老龄化”问题, 在确保安全的前提下延长使用寿命, 是摆在我国科技工作者面前的一项刻不容缓的重要任务。

(三) 国家层面尚未形成完善的长寿命安全保障体系

我国一直高度重视交通基础设施的安全保障工作, 在技术、管理、法规等方面形成了多种安全保障技术方法, 为保障交通基础设施的安全运行发挥了重要作用。

但是, 由于我国交通基础设施的设计、建设与管理存在行业和区域条块分割, 相关法律法规与技术标准不统一、不完善, 缺少统一的理念与认识, 导致长寿命安全保障体系不健全, 缺乏国家层面的顶层设计和系统规划, 与发达国家相比差距较大, “重建设、轻养护”观念比较突出。具体体现在: 在勘察、规划、设计、建造、运营、维护等过程中, 缺乏对长寿命安全保障的系统考虑, 安全状态和剩余寿命评估预测还缺乏必要的理论和技术支撑; 对重大工程结构性能的保持、提升与恢复, 从理论、技术和装备等诸方面均有待深入研究; 尚未形成完善的交通基础设施长寿命安全保障技术体系、管理体系、法律法规以及可持续设计建造及维护管理的精细化标准体系。

综上所述, 我国交通基础设施在长寿命安全服役方面面临严峻挑战, 安全形势不容乐观, 存在

着安全隐患多、服役寿命短、“老龄化”日益凸显、长寿命安全保障技术落后等突出问题。因此, 我国应提早规划并加强交通基础设施长寿命安全保障理论与技术体系的系统研究与建设工作, 逐步形成比较完善的长寿命安全保障体系, 确保交通基础设施的长寿命安全服役和交通大动脉的安全畅通。

三、发达国家在长寿命安全保障方面的现状及启示

在交通基础设施建设发展的过程中, 发达国家的大规模工程结构建设比我国起步早, “老龄化”程度比我国突出。为了充分挖掘既有工程结构的功能潜力、减少国家投入, 许多国家以结构经济耐久、绿色健康为目标, 制定了旨在提升交通基础设施长寿命安全服役能力的国家战略性规划或研究计划, 以全面保障交通大动脉安全长久运行, 支撑国家经济建设的可持续发展。

进入 21 世纪后, 美国、日本和欧洲等国家和地区已强力推进与延长桥梁寿命相关的科研工作和工程实践, 例如, 欧盟的可持续桥梁项目 [10] 和长寿命桥梁项目 [11], 日本的桥梁长寿命化维修计划 [12], 美国的公路战略研究计划二期 (SHRP 2) 和桥梁长期性能研究计划 (LTBP) 等 [13]。

1988 年美国实施了《路面长期使用性能研究》(LTPP) [14~17], 对典型路段开展了 20 年的跟踪观测, 加拿大等 20 多个国家参加了该项国际合作; 随之, 2008 年美国启动了 LTBP [18~20]: 计划用 20 年时间, 建立详细即时的桥梁健康数据库, 开展桥梁结构性能基础理论和应用技术研究, 最终提高桥梁安全性、可靠性和长寿命安全保障能力。2015 年日本发布了以“构筑长寿命安全保障体系、提高损伤抵抗能力”为目标的发展规划: 通过采取检测监控措施和预防性养护维修新理念, 推动现代监测技术等相关高新产业的发展, 使由性能退化导致的重大事故为零。韩国提出了“桥梁 200 计划”, 计划通过设计、施工、养护维修管理等技术的全面提升, 将桥梁设计使用寿命提升到 200 年以上。另外, 英国启动了“道路资产管理系统计划”, 计划投资 150 亿英镑用于改善 100 多条主干道路的安全状况, 实现长寿命安全服役。澳大利亚和新西兰启动了“资产维护管理计划”, 该计划提供关于

公路的整体发展、管理及运营的战略指导性[21]。

因此，国外发达国家均以“长寿命安全服役”为目标，制定了相应的国家战略性规划或研究计划，以全面支撑交通基础设施长寿命安全服役和国民经济的可持续发展。我国也应借鉴发达国家的先进理念和经验，从国家层面统筹规划，逐步形成与我国交通基础设施发展相适应的长寿命安全保障技术体系、管理体系和标准体系，确保交通基础设施的长寿命安全服役，并在该领域跻身国际先进水平。

四、构建交通基础设施长寿命安全保障体系的思路

针对我国交通基础设施存在的结构病害严重、“短寿命”突出、“老龄化”日益凸显、长寿命安全服役面临严峻挑战等问题，我国应借鉴发达国家在长寿命安全保障方面的先进经验，开展交通基础设施长寿命安全保障体系的系统研究，建立完善的“交通基础设施长寿命安全保障体系”。为此，提出我国交通基础设施长寿命安全保障体系建设的总体目标、战略任务及相关建议。

（一）总体目标

以我国交通基础设施可持续发展为导向，以经济耐久、绿色节能、安全可靠、健康长寿为目标，以信息化、标准化、专业化、精细化与智能化为切入点，从国家层面统筹规划，推进交通基础设施长寿命安全保障理论与技术体系的研究与建设，全面提升对重大工程结构的监控、诊治与防灾减灾应急处置能力，使我国工程结构的建养水平与服役寿命达到或超过国际先进水平。

（二）战略任务

（1）基于现代信息技术、检（监）测技术、评估预测与先进维护技术，通过长寿命安全保障理论与技术的科技攻关，突破服役性能长期保持、服役寿命显著提升和病害结构快速康复等技术瓶颈，推动我国工程结构新型设计理论、建造与再建造、工程科学与现代材料等相关学科的创新。构建以“健康监测、安全评估、寿命预测、先进养护与应急处置”为核心的重大工程结构长寿命安全保障体系，培育新兴产业发展，在面向工程结构现代

无损检（监）测、诊断技术与装备等方面占领世界制高点。

（2）通过对新理论、新材料、新结构、新装备、新工艺和新标准的研究，与互联网+、云计算、大数据、机器人与虚拟现实等信息技术深度融合，突破现有条块分割的“信息孤岛”壁垒，实现全寿命周期信息全覆盖。构建基于“勘察设计、建造施工、养护维修、运营管理”全寿命周期的管理决策体系，推进以预知性维修为主体的先进养护管理体制变革，显著降低重大工程结构的事故率。

（3）坚持技术创新、循环经济、资源节约、绿色环保与可持续发展的理念，系统梳理现有法规、标准、规范等制度，按照多规合一的新思想，建立可持续设计建造与维护管理全过程的重大工程结构长寿命安全保障政策法规与标准体系，加强本领域的学科建设与人才培养，推进我国科学管理、全面监控、应急高效的信息化、自动化、智能化的智慧交通，使我国从重大工程结构建设大国向“建养”强国迈进。

（三）具体建议

（1）尽快启动我国“交通基础设施重大工程结构长寿命安全保障体系”建设工作，统筹规划和制定中长期发展计划，确定战略发展目标、发展方向和重点科技任务，制定实施方案和发展路径。

（2）建议国家科学技术部将“交通基础设施重大工程结构长寿命安全保障体系”研究列入国家重点科技研发计划，持续开展长寿命安全保障理论与技术体系的科技攻关，逐步形成比较完善的长寿命安全保障体系，全面提升长寿命安全保障和减灾防灾应急处置能力。

（3）建议国家发展和改革委员会等相关部门设立“以交通基础设施长寿命安全保障为核心的维护管理战略性新兴产业振兴行动计划”，培育和推动相关新兴产业的快速发展，设立若干国家工程实验室以支持该项工作。

参考文献

- [1] 中华人民共和国交通运输部. 2016年交通运输行业发展统计公报[J]. 交通财会, 2017(5): 92-96.
Ministry of Transport of the PRC. 2016 transportation industry development statistics bulletin [J]. Transportation Finance, 2017 (5): 92-96.

- [2] 冯正霖. 我国桥梁技术发展策略的思考[J]. 中国公路, 2015 (11): 38-41.
Feng Z L. Thoughts on the development strategy of bridge technology in China [J]. China Highway, 2015 (11): 38-41.
- [3] 李爱群, 丁幼亮, 王浩, 等. 桥梁健康监测海量数据分析与评估——“结构健康监测”研究进展 [J]. 中国科学: 技术科学, 2012, 42(8): 118-130.
Li A Q, Ding Y L, Wang H, et al. Analysis and assessment of bridge health monitoring mass data—Progress in research of “structural health monitoring” [J]. Scientia Sinica Technologica, 2012, 42(8): 118-130.
- [4] 周建庭, 蓝章礼, 梁宗保. 大型桥梁安全监测评估新技术探索与实践 [J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2016, 35(S1): 61-71.
Zhou J T, Lan Z L, Liang Z B. Exploration and practice of new technology for safety monitoring and evaluation of large bridges [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University(Natural Science Edition), 2016, 35(S1): 61-71.
- [5] 张素磊. 隧道“生病”怎么办 [J]. 中国公路, 2016(19): 82-83.
Zhang S L. What about the tunnel “sick” [J]. China Highway, 2016(19): 82-83.
- [6] 邹文浩, 付兵先, 马伟斌. 朔黄铁路隧道基底结构病害分析 [J]. 铁道建筑, 2017(4): 68-71.
Zou W T, Fu B X, Ma W B. Analysis on the disease of the basement structure of the Shuohuang railway tunnel [J]. Railway Building, 2017 (4): 68-71.
- [7] 杜彦良, 苏木标, 刘玉红, 等. 武汉长江大桥长期健康监测和安全评估系统研究 [J]. 铁道学报, 2015, 37(4): 101-110.
Du Y L, Su M B, Liu Y H, et al. Study on the long-term health monitoring and safety evaluation system for the WuHan Yangtze River Bridge [J]. Journal of the China Railway Society, 2015, 37(4): 101-110.
- [8] 熊学军. 大瑶山隧道病害研究及治理 [J]. 中国铁路, 1997 (10): 39-42.
Xiong X J. Disease research and treatment of Da-yao mountain tunnel [J]. China Railway, 1997 (10): 39-42.
- [9] 钱丽芳, 谭喜堂, 申朝旭. 北京地铁1号线运能现状及提高措施 [J]. 城市轨道交通研究, 2012, 15(2): 69-73.
Qian L F, Tan X T, Shen Z X. Present Situation of the transport capacity on Beijing metro line 1 and improving measures [J]. Urban Mass Transit, 2012, 15(2): 69-73.
- [10] Olofsson I, Elfgrén L, Bell B, et al. Assessment of European railway bridges for future traffic demands and longer lives—EC project “Sustainable Bridges” [J]. Structure and Infrastructure Engineering, 2005, 1(2): 93-100.
- [11] 李亚东. 既有桥梁评估方法研究 [J]. 铁道学报, 1997, 19(3): 109-115.
Li Y D. Research on existing bridge assessment methods [J]. Journal of the China Railway Society, 1997, 19(3): 109-115.
- [12] 周建庭, 张劲泉, 刘思孟. 大中型桥梁加固新技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
Zhou J T, Zhang J Q, Liu S M. Large and medium-sized bridge reinforcement technology [M]. Beijing: China Communications Publishing House, 2010.
- [13] 李亚东. 既有桥梁结构的可靠性评估专题研究报告 [R]. 成都: 西南交通大学, 1996.
Li Y D. Reliability evaluation for existing bridge structures [R]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 1996.
- [14] 郝大力, 王秉纲. 路面长期性能研究综述 [J]. 国外公路, 1999 (1): 12-16.
Hao D L, Wang B G. Long-term pavement performance research program [J]. Journal of Foreign Highway, 1999 (1): 12-16.
- [15] 张小宁. LTPP 的后十年 [J]. 国外公路, 2000 (1): 26-29.
Zhang X N. The last ten years of LTPP [J]. Journal of Foreign Highway, 2000 (1): 26-29.
- [16] 单丽岩, 侯相深. LTPP 的进展综述 [J]. 中外公路, 2005 (5): 51-55.
Shan L Y, Hou X S. Progress of LTPP [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2005 (5): 51-55.
- [17] 石海涛, 徐凌. LTPP 最新研究进展综述 [J]. 公路交通科技(应用技术版), 2017, 13(3): 18-21.
Shi H T, X L. LTPP latest research progress [J]. Road Traffic Technology(Application Technology Edition), 2017, 13(3): 18-21.
- [18] Hamid Ghasemi. FHWA long term bridge performance program [R]. New Jersey: Fourth US Taiwan Bridge Engineering Workshop, 2008.
- [19] Ghasemi H. Update on the long term bridge performance program [R]. California: 2010 SCOBS Annual Meeting, 2010.
- [20] 朱从明, 张宇峰, 戴云峰. 美国桥梁长期性能研究计划及其启示 [J]. 现代交通技术, 2012, 9(2): 18-21.
Zhu C M, Zhang Y F, Dai Y F. American bridge long term performance research and its enlightenment [J]. Modern Transportation Technology, 2012, 9(2): 18-21.
- [21] Austroads. Strategy for improving asset management practice [R]. Sydney: Austroads, 1997.