

保障我国桥梁安全的战略思考

周建庭, 郑丹

(重庆交通大学土木工程学院, 重庆 400074)

摘要: 随着我国桥梁服役期的不断增长, 其安全性、耐久性及其维护管理的问题日益严重, 安全保障问题也日益突出。本文调研了国内外桥梁结构安全保障科技发展的现状与趋势, 阐述了我国桥梁安全保障领域的现状与面临的挑战, 分析了我国桥梁安全保障技术、措施和政策的现状、优势以及与国外的主要差距, 并在此基础上提出关于我国桥梁安全保障政策、技术和措施方面的思考。本文的研究结果可为我国重大基础设施结构安全保障计划的制定提供参考。

关键词: 公路桥梁; 安全; 保障; 技术

中图分类号: TU47 **文献标识码:** A

Safety of Highway Bridges in China

Zhou Jianting, Zheng Dan

(School of Civil Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: With the continuous increase in bridge service life, problems regarding the safety, durability, and maintenance management are becoming increasingly serious. Safety guarantee issues will become increasingly prominent. In this study, the current safety situation and trends in bridge structure are investigated, along with domestic and foreign scientific and technological developments. The present situation of bridges in China in the field of safety and its challenges are also discussed in this paper. The status and advantages of China's bridge security technologies, measures, and policies, as well as the main differences between China and foreign countries are analyzed. Furthermore, policies, technologies, and measures for bridge safety and security are proposed. This paper can provide a reference for the development of a major infrastructure security plan.

Keywords: highway bridge; safety; guarantee; technology

一、前言

桥梁的安全性能和安全保障能力对交通大动脉的畅通至关重要, 一旦损毁, 将严重影响交通功能的正常发挥和人民群众的生命财产安全, 甚至可能会导致重要交通干线或城市交通瘫痪。

桥梁等交通基础设施重大结构在环境长期作用下始终面临着性能的退化或致灾(地震、泥石流、冰雪冻融等自然灾害, 恐怖袭击、局部战争、交通工具撞击等人为因素致灾)。对于发生在任一站点、线路或是区域上的灾害, 由于其具有突发性、难以预见性和扩散性, 成灾时对交通生命

收稿日期: 2017-11-18; 修回日期: 2017-11-28

通讯作者: 周建庭, 重庆交通大学土木工程学院, 教授、博士生导师, 主要从事桥梁检测、加固和安全性评价等方面的研究;

E-mail: jtzhou@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); 国家重点研发计划(2017YFC0806007); 国家杰出青年科学基金(51425801)

本刊网址: www.enginsci.cn

线和人民群众的生命财产都将造成巨大的损失且会产生不良的社会影响。因此,开展桥梁结构安全保障研究对我国建设智慧型的现代化交通具有重大意义。

二、桥梁安全的现状与问题

(一) 我国桥梁发展的现状

经过20余年的交通大建设,截至2016年年底,全国公路桥梁达 8×10^5 座,铁路桥梁为 2×10^5 座;至2020年每年还将新建桥梁近 $2 \times 10^4 \sim 3 \times 10^4$ 座[1]。公路、铁路桥梁往往所处的地形、地质、水文条件复杂,气候环境多变,加上地震、断层破碎带、滑坡、泥石流等多种灾害频发,以及近年来交通量的猛增,超载、超重影响和桥梁本身的自然老化等因素,桥梁的安全隐患大。桥梁的安全风险问题将越来越受到人们的重视,迫切需要建立合理的安全风险预测、评估和保障机制,以提高桥梁的抗风险能力,保证桥梁在运营期间的安全[1]。

根据交通运输部2001—2015年发布的《交通运输行业发展统计公报》统计,全国公路网中的危桥数量较大,如图1所示。

从图1中可以看出,随着近年来交通量的猛增,超载、超重的影响以及桥梁本身的自然老化等因素,大量桥梁结构处于亚健康或危险状态。据2009年铁道部秋检资料统计,我国铁路桥梁和涵渠劣化等级达到A级(严重)病害的分别占总座数的24.8%和7.8%,旧桥的安全现状不容乐观。

(二) 影响桥梁安全的因素

影响桥梁安全的因素很多,总的来说可以归结为两类,即人为因素和自然因素。人为因素包括设计和施工失误,船舶、车辆撞击,超载和故意破坏等;自然因素包括地震、洪水、风雨、漂流物撞击、环境恶化以及其他未知因素等。

1. 地震

地震灾害是人类所面临的主要自然灾害之一。在地震荷载作用下,桥梁下部结构易发生断裂和损伤,从而导致上部结构的破坏和倾覆。同时,由于其具有不可预测性,对桥梁带来的破坏程度远远大于其他自然灾害。

2. 地质灾害(崩塌、滑坡、泥石流等)

我国是世界上泥石流活动区域分布最多的国家之一,广泛分布在西南、西北及华北等山区。据统计,我国泥石流活动区域的面积高达 $4.80 \times 10^6 \text{ km}^2$,共有1583个县(市)长期受到泥石流灾害的困扰[2]。

3. 气候灾害(洪水、风灾)

雨季期间,强降雨所引起的山洪和高强度的地质灾害对当地公路、桥梁等基础设施构成了极大的威胁。据不完全统计,自1975年以来,全国每年因洪水类地质灾害引起的桥涵损害经济损失达数百元以上,且呈逐年上升趋势。

4. 交通工具和漂浮物撞击

自1987年以来,我国严重的船舶撞击桥梁事故平均每年发生约一起,而且近年来呈逐渐上升趋势,值得引起人们重视。

5. 设计、施工不合理

由于桥梁所处地理位置和环境比较复杂,在

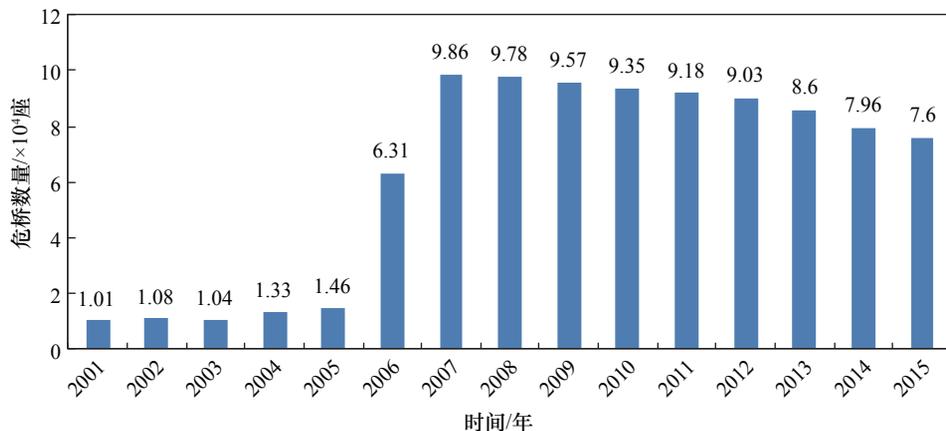


图1 我国公路网中的危桥数量(2001—2015年)

设计和施工中如果对某一影响桥梁安全的因素欠考虑,则有可能引发桥梁事故。

6. 桥梁自身老化、养护不足和超载

在多年寒冬酷暑、暴雨烈日、洪水冲刷、车船撞击等的影响下,许多桥涵产生了各种大大小小的病害,如桥面破损、栏杆断裂、伸缩缝损坏、墩台基底冲空、桥头路基冲塌、河床护底冲翻以及河道被冲刷后严重变迁而危及桥头路基等,破坏了桥涵的正常使用状态。这些不良状态,除了大大缩短桥涵的使用寿命外,也威胁着过往行人和车辆的安全。

(三) 国内外桥梁事故调查分析

为了研究各种不利因素对桥梁事故的影响,通过查阅大量的文献、书籍共收集了国内外 916 例桥梁事故资料,其中,国内桥梁为 376 例,国外桥梁为 540 例,并对这些数据进行了初步的统计分析 [3,4]。

从图 2 中可以看出,设计、施工、碰撞、水害、超载形成了诱发事故的主体,而且诱发桥梁事故的原因往往是多种不利因素的共同作用。

国内外桥梁事故原因基本相同,施工、碰撞、超载和水害所占比例最大。国内因施工、超载以及水害导致的桥梁事故比例均高于国外,说明我国桥梁事故治理的压力更大。

图 3 所示为 1900 年以来国外桥梁事故的次数统计。从图 3 中可以看出,随着第二次世界大战后交通基础设施的大规模建设,桥梁事故次数有明显增加。

图 4 为 1900 年以来国内桥梁事故的次数统计。从图 4 可以看出,20 世纪 60 年代以前的事故数量极少,随着国家交通基础设施建设的发展,桥梁事故开始增多。尤其是在 2000—2010 年,桥梁事故次数急剧增加,远高于同时期国外的桥梁事故。因此,我国的桥梁安全形势异常严峻。

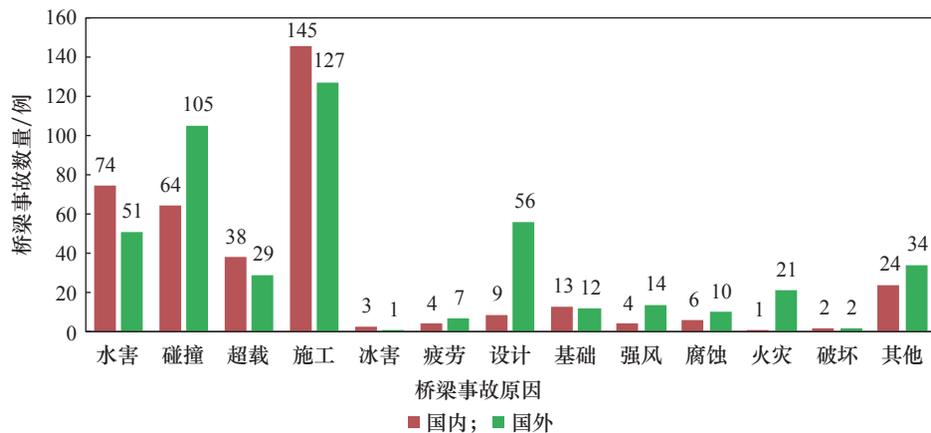


图 2 桥梁事故统计 [3,4]

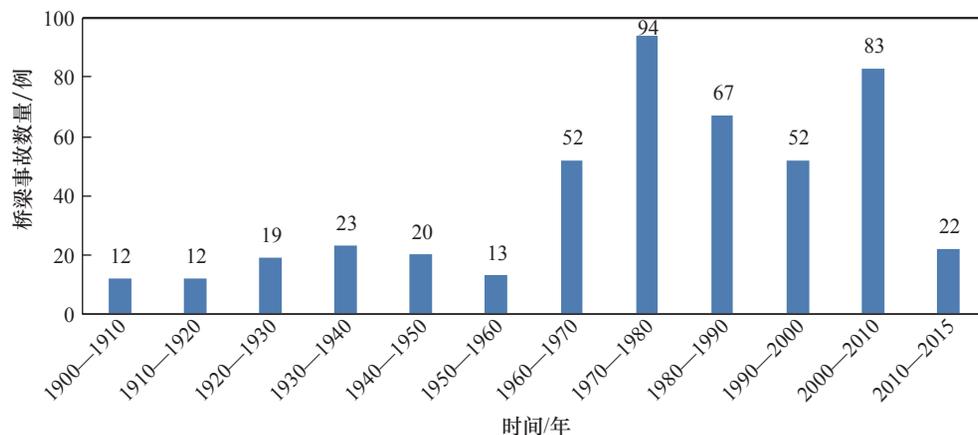


图 3 1900—2015 年国外的桥梁事故次数统计 [3,4]

国内外不同类型的桥梁（梁桥、拱桥、斜拉桥）事故统计分析如图5所示。

国内外常规桥梁（跨度较小者）的事故次数最多，超过50%，国内拱桥事故数量明显高于国外，而国外悬索桥事故数量远高于国内。同时，国外未知结构类型的桥梁事故数量高于国内。造成拱桥事故数量差异的主要原因是我国拱桥的数量明显高于国外；而造成悬索桥桥梁事故数量差异的主要原因是国外悬索桥的发展早于我国，在发展初期由于设计经验相对不足，以及运营时间长、经历桥梁事故风险较多等原因，导致国外悬索桥出现较多事故。

选择有明确开通年份和事故年份的国内桥梁172座，国外桥梁147座，绘制出事故桥梁的服役时间图，如图6所示。

从图6可以看出，国内桥梁破坏时服役时间超

过50年的约占5.8%，服役时间超过100年的只占0.6%，远低于国外桥梁。同时这些桥梁的平均服役时间仅为23.8年，远不及国外事故桥梁的平均服役时间（40年），还不到设计寿命（按100年计）的1/4。

由于拉索构件长期裸露于自然环境中，加上设计、施工周期短而考虑不足、后期管理养护不力等，极易造成拉索承载力发生退化，最终导致拉索不能继续承载而必须将其早于设计基准期更换。表1为既有斜拉桥换索情况统计，可以看出所有已换索斜拉桥拉索平均寿命约为13年，最短为6年，远小于现有斜拉桥的设计基准期（100年）。

三、我国现有桥梁技术状况与宏观发展预测

为进一步摸清我国服役桥梁的技术等级状况，

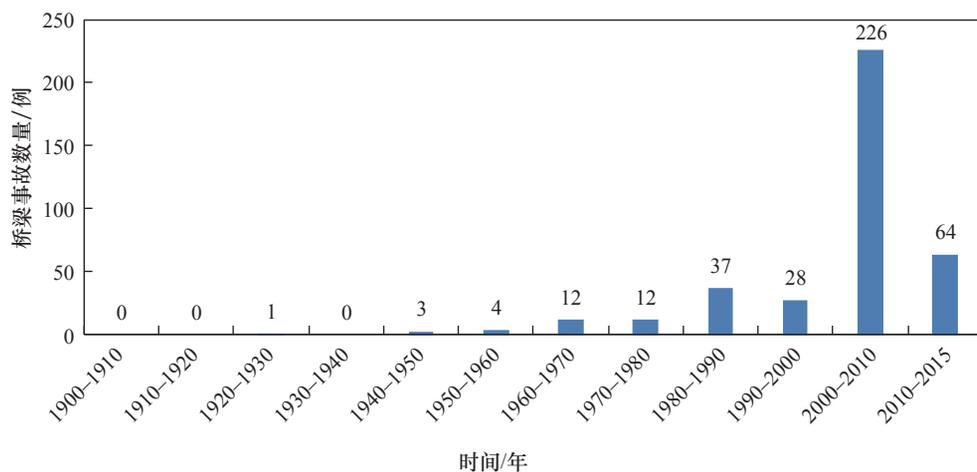


图4 1900—2015年国内的桥梁事故次数统计 [3,4]

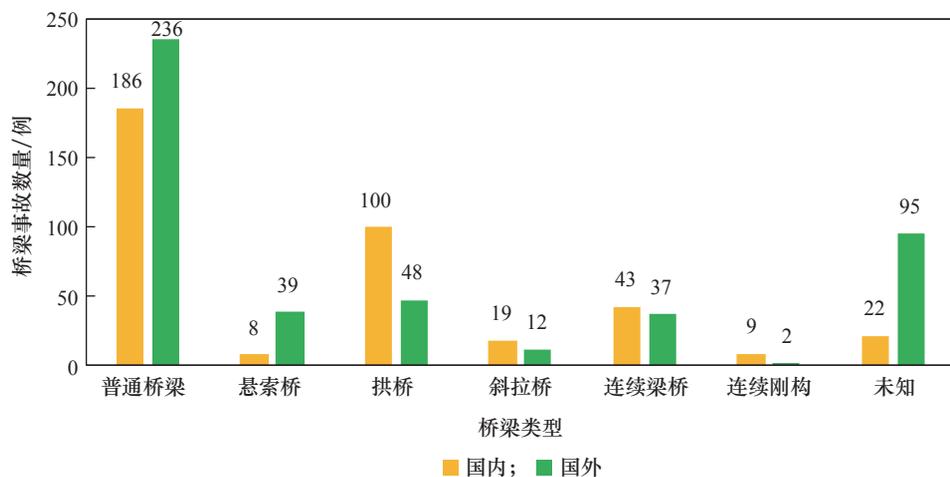


图5 国内外不同类型的桥梁事故统计 [3,4]

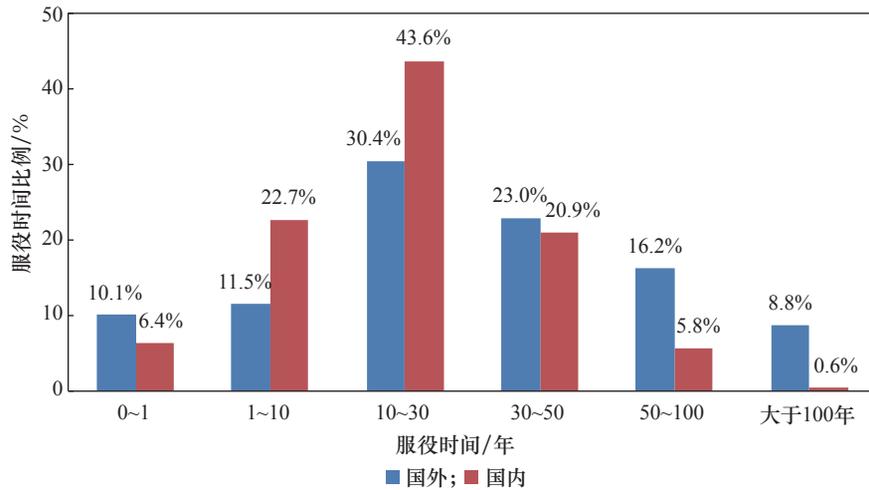


图6 国内外桥梁发生事故时的服役时间占比 [3,4]

表1 我国斜拉桥换索时间统计表

名称	使用时间 / 年	名称	使用时间 / 年
九江大桥	10	八一大桥	10
海印大桥	6	上海新五桥	16
黄河公路大桥	13	红水河铁路斜拉桥	10
犍为岷江大桥	10	富密灌区渠首斜拉桥	11
白沙大桥	13	上海恒丰路斜拉桥	14
章镇斜拉桥	24	三原新龙斜拉桥	19
淇澳大桥	7	壶西大桥	12
西樵大桥	16	三达地怒江大桥	10
永和大桥	18	嘉陵江石门大桥	17

并深入分析我国桥梁面临的安全风险，本文以公路桥梁为例，统计了全国公路桥梁的技术等级状况，如表2所示。表2中数据为不同建设年份、不同技术状况等级的桥梁数量，即在某一年代建设的桥梁，通过限制的技术状况调查得到的等级情况。

预测桥梁技术状况退化的方法主要有：①基于桥梁结构历年技术状况统计数据，采用概率统计等数学方法预测桥梁退化状况；②通过研究影响桥梁结构技术状况因素与桥梁退化的时变关系，从而预测桥梁结构的退化情况。本文主要采用基于逆矩阵的方法对状态转移概率矩阵进行计算，求解公式如下：

$$[\pi] = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} & P_{15} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} & P_{25} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} & P_{35} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} & P_{45} \\ P_{51} & P_{52} & P_{53} & P_{54} & P_{55} \end{bmatrix} = A^{-1}B \quad (1)$$

式(1)中， p_{ij} 为状态转移概率矩阵， A 和 B 都为5

阶概率矩阵。

《公路桥涵养护规范》(JTG H11-2004)根据缺损状况将桥梁构件分为五个等级，根据构件等级计算出桥梁的状态评分。因此，在得到结构的初始状态并确定退化概率矩阵后即可计算任意时刻结构的状态。

假设我国现有桥梁管理养护政策和措施保持不变，那么桥梁技术水平的弱化程度和趋势应该总体保持不变。根据上述分析，可以以目前桥梁的技术状况为起点，预测若干年后我国桥梁的技术状况等级，具体计算公式如下：

$$P(t_i) = P(t_0)[\pi]^{t_i - t_0} \quad (2)$$

式(2)中， $P(t_i)$ 为预测结果， $P(t_0)$ 为目前的桥梁技术状况， $[\pi]$ 为转移矩阵。计算结果如图7所示。

从图7中可以看出，如果保持现有的桥梁建设速度和技术手段，并且维持当前的桥梁管理养护措施及投入，我国现役桥梁整体技术状况随着时间

表 2 全国公路桥梁技术状况等级表

时间 / 年	一类	二类	三类	四类	五类	合计
1950 以前	1 199	1 420	1 509	315	232	4 675
1950—1959	932	1 577	1 247	330	209	4 295
1960—1969	3 781	6 624	4 999	1 812	1 155	18 371
1970—1979	9 867	16 804	15 810	5 518	3 697	51 696
1980—1989	12 057	21 833	19 264	6 747	4 656	64 557
1990—1999	24 712	46 034	20 916	5 354	3 188	100 204
2000—2009	89 317	97 282	21 783	4 112	1 948	214 442
2010 至今	83 129	17 653	2 245	128	83	103 238

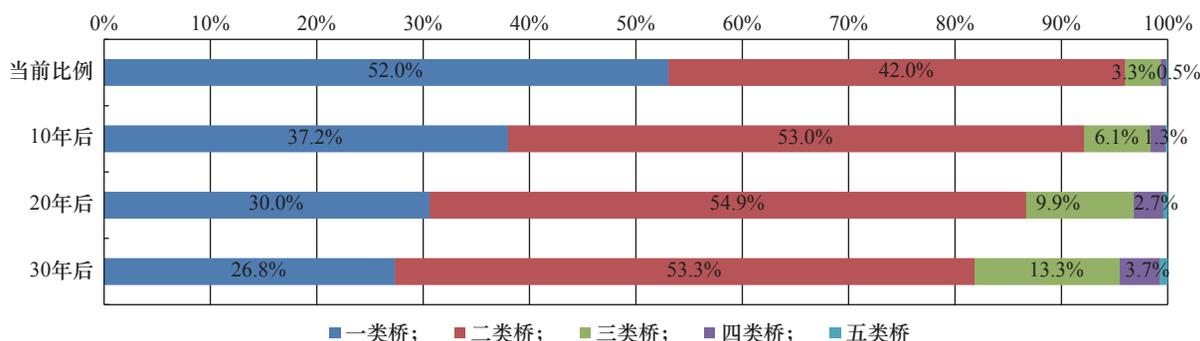


图 7 桥梁技术状况预测

的推移，大量桥梁劣化效应显著，技术状况等级会严重下降。30年后，一类桥所占比例将由当前的52.0%下降至26.8%，减少了近1/2；一部分一类桥劣化成二类，而当前二类桥又有一部分劣化成了三类，这样“一增一减”使得总体上二类桥的变化幅度较小；而三类桥从3.0%迅速增加至13.3%；三、四、五类桥梁所占比例将超过全国国道桥梁总量的20%，说明此时全国接近1/4的桥梁存在病害较多或承载能力不足的状况，保障桥梁安全运营的形势十分严峻。

四、国内在役桥梁现有安全保障体系

为保证桥梁在服役期的正常使用，我国在设计、施工、运营、管理养护等各阶段都出台了相应的规范和技术措施 [3,4]。

（一）在役桥梁安全保障的相关政策、法规和措施

为加强公路桥梁的管理养护工作，保持桥梁处于正常的使用状态，保证行车畅通、安全，我国在管理养护方面出台了一系列桥梁安全保障制度和措施。

1. 安全保障的政策法规

我国按照“统一领导、分级管理”的原则建立公路管理体制，公路建设、养护和管理的事权均以地方为主。桥梁后期的管理养护制度是保证桥梁安全使用的基础，根据《中华人民共和国公路法》以及各部委颁布的管理条例，我国桥梁管理体制主要由交通运输部，各省、自治区、直辖市交通厅，地市级交通局以及县级公路段四部分构成，如图8所示。

我国从20世纪70年代开始了对旧桥加固改造技术的研究。《公路桥梁技术状况评定标准》于2011年9月实施，对公路桥梁的养护、检查、评定、加固技术都做了较全面的说明。图9为现有桥梁检测、评定与加固规范（规程）体系。

桥梁养护检测与监测是保障桥梁安全运营的重要措施。对桥梁定期检测是保障桥梁安全运营的重要制度和措施。同时桥梁监测已作为定期检测的重要补充措施，得到了行业内的广泛应用。

在应急保障方面，依据《中华人民共和国公路法》《中华人民共和国安全生产法》《中华人民共和国道路交通安全法》和国家交通运输部的《公路桥梁养护管理工作制度》，为有效应对公路桥梁可能出现的重大事故，及时采取应急控制措施，保障人

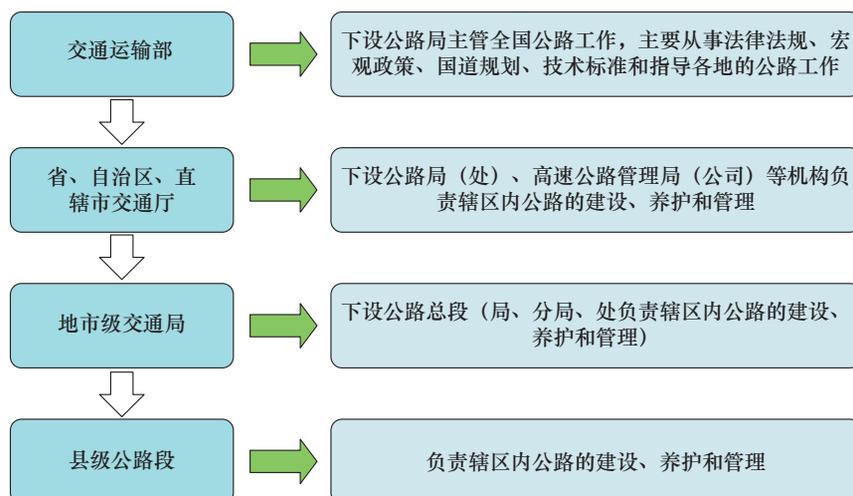


图8 我国桥梁管理体制

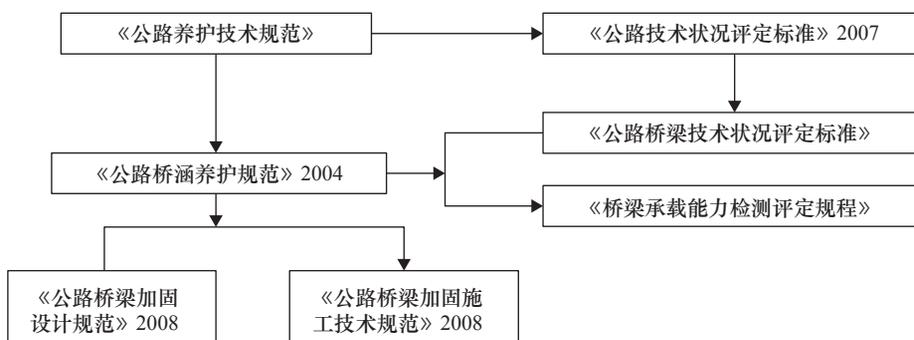


图9 现有桥梁检测、评定与加固规范（规程）体系

民群众的生命财产安全，各地方政府和管理部门根据自身情况制定了相应的应急预案和配套措施。

2. 桥梁安全保障技术措施

桥梁结构的安全保障方法主要包括桥梁检查与技术状况评定、桥梁养护管理、桥梁检测与承载力评估、桥梁维修加固和结构健康监测等。

(1) 桥梁检查与技术状况评定

桥梁检查与技术状况评定是一项为了了解桥梁投入使用后桥梁技术状况的工作。主要通过对桥梁缺陷和损伤进行检查，从而分析其产生的主要原因以及评价其对桥梁质量和承载能力的影响。桥梁检查主要分为经常检查、定期检查和特殊检查。

(2) 桥梁检测与承载力评估

桥梁检测与承载力评估技术是判定桥梁安全性的重要手段和依据，也是桥梁评定的最核心内容，主要涉及检测、荷载试验、评定方法、检测仪器设备及桥梁承载力评估等内容。

(3) 桥梁的维修与加固

近年来，随着桥梁技术状况评定、结构检测与

承载力评估技术的逐步量化、科学化，桥梁的维修与加固技术也取得了长足的发展与进步，形成了较成熟的旧桥维修与加固计算方法和技术手段。

(4) 桥梁结构健康监测

建立桥梁结构长期健康监测系统，获取桥梁结构的工作环境信息，实时了解包括环境温度、风荷载和车辆荷载的变化；获取桥梁结构的响应特征信息，实时掌握桥梁结构的工作状况和健康状况，是保证桥梁结构安全运营的有效方法。

桥梁健康监测系统是近年来国内外土木工程领域的研究热点，我国桥梁监测技术已得到了广泛应用，我国大部分已建和在建的大型跨江、跨海大桥均安装了桥梁健康监测系统。

(二) 现有桥梁安全保障措施存在的问题

总体来看，我国桥梁安全保障政策、法规和技术均发挥了良好的作用，但和发达国家相比还有一定差距，如表3所示。具体体现在：①目前针对桥梁外观缺陷做法多，但对于桥梁内部缺陷的检测和

评估不够；②桥梁的人工检测、检查居多，而系统化、信息化、网络化保障不足；③针对个体桥梁检测、检查居多，而宏观角度的区域桥梁整体安全性判别、寿命预测不足；④针对个体桥梁提出专门的加固方案与研究居多，但从国家战略高度启动全面装备化、快速提升桥梁承载力的计划不足。同时，我国从事公路桥梁安全保障的技术人员不足，执法力度不够，也使得安全保障的相关规章制度和监管难以顺利推行。

五、国外桥梁安全保障计划的启示

本文对美国和日本等发达国家和地区的安全保障措施进行了调研，借鉴国外桥梁安全保障计划的长处，结合我国实际情况进行分析。

（一）美国桥梁的安全保障计划情况

2008年，联邦公路局下属的基础设施研究与发展办公室与美国各州的交通部门、其他联邦机构等发起了“桥梁长期性能研究计划”(LTBP)。计划用20年时间建立详细的桥梁健康数据库，开展桥梁结构性基础理论和应用技术研究，从而提高美国公路运输资产的安全性、长寿命和可靠性。2015年12月，奥巴马签署的《修复美国地面交通法》将为美国2016至2020财年的交通基础设施建设提供3050亿美元融资，法案中加大了对LTBP的支持力度[5]。

该计划主要用于资助研究桥梁性能劣化机理，促进桥梁劣化和预测模型的发展，促进无损检测和评估技术发展，量化桥梁的养护维修和加固效率，优化桥梁养护作业，孕育下一代桥梁养护管理系统，为政府制定相关政策提供依据等。

（二）日本桥梁的安全保障计划情况

2013年11月，日本政府针对桥梁、堤坝、学

校等公共设施的老化情况，制定保障基础设施的“基础设施长寿命化基本计划”。如图10所示，该计划要求日本各省厅及自治体于2016年之前制定整体的维持管理体制及中长期行动计划，一方面通过检查、修缮确保安全；另一方面因为人口减少等原因，对于确定不需要的基础设施就应立即废止或拆除。该计划特别指出了采用传感器、机器人、非破坏性检查技术等提高检查和修补的水平，以保证在2030年时，由性能退化所导致的重要基础设施的重大事故为零[6]。

（三）启示

通过收集美国桥梁不同时间的病害情况，可以分析实施LTBP前后美国桥梁的技术状况，如图11所示。

从图11可以看出，美国桥梁在20世纪90年代的状况并不乐观，存在结构病害的桥梁平均占8%，存在功能缺陷的平均占20%，平均超过1/4的桥梁存在不同程度的病害。近年来，美国桥梁中存在结构病害的比例逐渐降低，特别是实施LTBP后，纳入国家高速公路系统(NHS)数据库管理桥梁的结构病害被控制在3%~4%，这说明，只要对桥梁的安全保障足够重视，并提出切实可行的解决方案，就能够保障桥梁的安全。

可以看出，发达国家通过对桥梁等基础设施的情况调查分析，针对自身的经济发展特点和建设技术，重视桥梁安全保障、充分利用旧桥的承载潜力，积极采取先进的技术和方法，尽量掌握目前桥梁安全状况，分别提出了各自的桥梁安全保障和长寿命计划，从目前来看，实施效果良好。

我国在桥梁检测、监测和加固等方面也积累了大量的经验，通过进一步实施桥梁安全保障战略，从制度、法规、规范、管理养护、检查评估和人才储备方面，加大国家投入，深入开展科学研究，保障我国服役和新建桥梁的安全。

表3 我国桥梁安全保障措施存在的问题

桥梁保障体系现状	不足
表观缺陷检测多	内部缺陷、隐蔽工程检测、评估不够
人工检测、检查居多	信息化、网络化保障不够
个体桥梁检测、检查居多	桥梁整体安全性判别、寿命预测不足
个体桥梁加固居多，“头痛医头，脚痛医脚”	国家战略，全面装备化快速提升桥梁承载力计划不足
常规桥梁养护多	大型非常规结构桥梁监管养护经验不足
养护人员技术水平不高	专业机构和从业技术人员相对较少

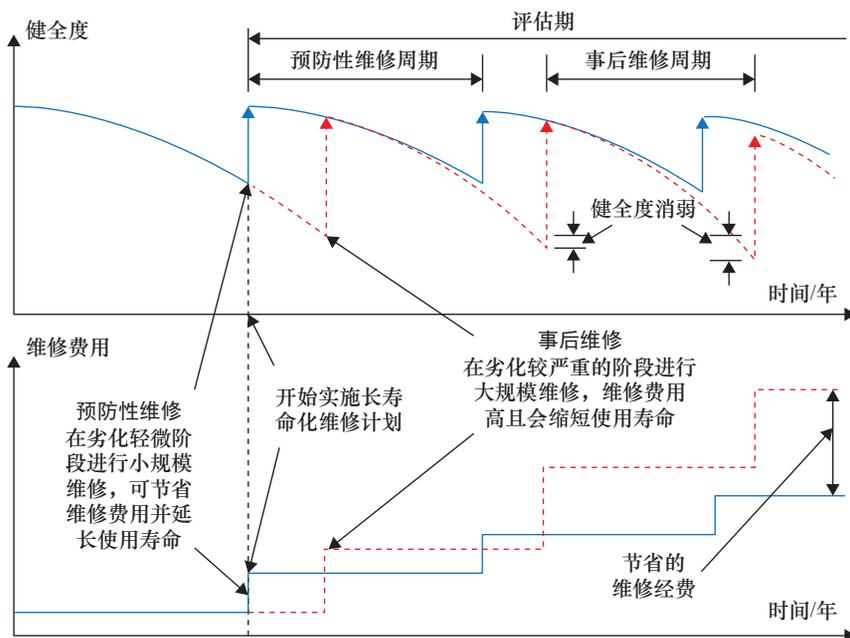


图 10 日本的预防性养护方法

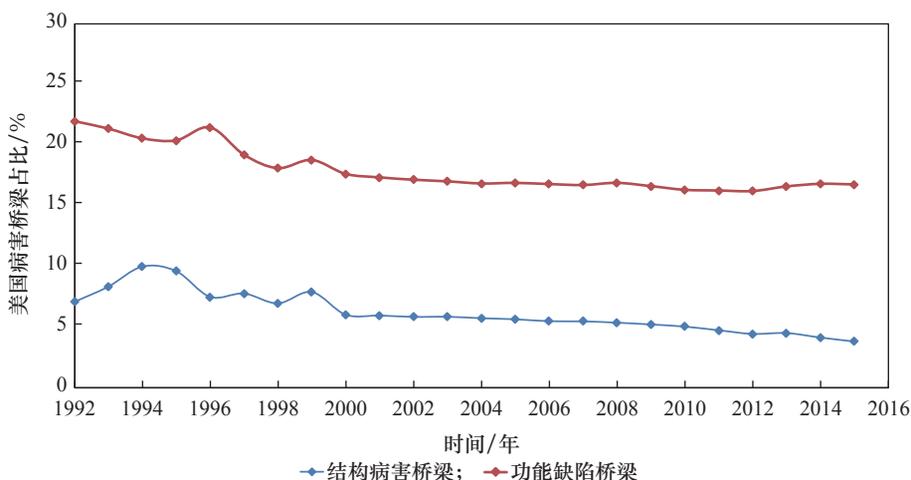


图 11 美国 NHS 数据库管理桥梁结构病害比例

六、我国桥梁安全保障面临的挑战

桥梁作为高速公路的咽喉是经济发展的重要纽带之一。近年来，随着我国经济的迅猛发展，交通量和大吨位车量也随之增加，桥梁也担负着日益沉重的荷载和交通量。因此，交通运输对桥梁安全通行能力的要求也越来越高。

(一) 基础设施“高龄化陷阱”

国外的统计资料表明，美国和欧洲的桥梁事故从 20 世纪 60 年代起开始增多，桥梁垮塌多出现在服役的 50~100 年，大量基础设施结构逐步达到

设计寿命，老化、劣化现象逐步显现。测算表明，按照现有维护管理理念和技术，由于费用的急剧增长，2020 年后日本将没有任何新建基础设施的经济能力。美国的桥梁结构劣化严重，维护、改修及更新费用急剧膨胀，也面临如何合理解决对一万亿美元的公路桥梁资产进行可持续维护管理的问题。

我国的交通基础设施规模世界第一，基础设施建设投资占 GDP 比例远高于发达国家，面临的“基础设施陷阱”问题更加突出。根据《“十三五”现代综合交通运输体系发展规划》，至 2020 年，预计我国还将兴建大、中、小桥梁约 20 万座，总长

度超过 1×10^4 km, 其中大跨径桥梁也将超过百座。由于设计标准的差异、桥龄老化和运输量快速增长等原因, 我国 20 世纪六七十年代修建的大量桥梁随着结构的老龄化, 将面临较大的垮塌风险。

（二）桥梁建设标准不统一，建设质量参差不齐

国外的桥梁设计规范相对较为统一。我国自 20 世纪 50 年代开始采用《公路工程设计准则》到 2015 年采用的《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015), 一共使用了 6 版规范。特别是 20 世纪 80 年代前依据旧标准建设的在役桥梁, 技术标准低, 重建轻养, 技术改造资金不足, 技术状况普遍偏差。

新规范调整了荷载标准, 提高了我国公路桥梁的安全水平, 但部分桥梁设计荷载不能反映实际运行车辆的荷载特征, 在一定程度上给桥梁的养护管理带来了不便, 也给桥梁带来一定的安全隐患。根据《公路桥涵设计通用规范》, 国道桥梁设计标准以超汽-20 和公路 I 级荷载为主, 但低于汽-20 级的桥梁有 4355 座, 所占比例为 3.8%; 省道桥梁荷载等级分布比较均匀, 但低于汽-20 级的桥梁有 9629 座, 所占比例为 10.8%; 县道桥梁基本以汽-20 和公路 II 级荷载等级为主, 低于汽-15 级的桥梁有 9062 座, 所占比例为 8.0%^[7]。

另外, 早期修建的桥梁(少筋混凝土结构等), 如壳体桥、少筋微弯板组合梁桥、二铰板拱和双曲拱桥等, 均存在结构上的先天不足, 也带来了一定的安全隐患。

（三）超载现象严重，地区差异大，劣化规律难以掌控

我国公路的超载现象普遍存在, 超载会增加桥梁结构的负担, 带来了一系列的疲劳与耐久性问题, 容易造成桥梁结构损伤、早期破坏, 甚至压垮桥梁。

我国地域辽阔, 沿海地区存在钢筋锈蚀、保护层离或剥落等耐久性问题; 西北、华北地区季节性河流多、温差较大, 存在桥梁下部结构磨蚀等问题; 东北等寒冷地区存在混凝土桥梁结构的冻融损伤等问题; 南方地区存在基础冲刷和水毁问题。不同服役环境下桥梁的结构劣化趋势不同, 很难准确预测, 加大了我国桥梁安全保障的难度。

（四）信息化程度偏低、桥梁数据库资料不完善

虽然桥梁信息化建设取得了很多成就, 但目前我国缺乏全国统一的桥梁信息化管理系统, 缺乏公开的桥梁事故数据库系统, 缺乏统一的监测系统设计标准和规范, 结构健康状态评价理论尚不完善。桥梁安全保障的基础就是摸清现状, 我国信息化程度偏低, 也给桥梁安全保障带来一定的难度。

综上所述可以看出, 我国仍处于交通快速发展时期, 新建的众多交通基础设施空间体系愈加复杂, 而且随着既有基础设施服役期的不断增长, 病害和人为破坏不断增加, 灾害破坏形式和致灾行为与后果更为多变, 影响桥梁安全因素多, 形势严峻。因此, 我国公路桥梁的长寿命安全保障问题是亟待解决的重大问题。

七、关于我国桥梁长寿命安全保障的 2035 战略思考

根据本文的调研和分析结果, 结合我国桥梁的实际情况, 对我国公路桥梁长寿命安全保障提出如下思考。

（一）总体目标

到 2035 年, 全面建成管理科学、应急高效的智能化、信息化、立体化桥梁安全保障体系, 全面提升重大桥梁结构的综合安全保障能力和抗风险能力。力争通过“三步走”实现总体目标。

第一步: 摸清现状阶段(2018—2022 年)。分区域、分桥型、分建造年代, 以百年(重要桥梁 120 年)桥梁为目标, 摸清现有在役桥梁与百年桥梁之间的差距, 明确提升性能和延长寿命的需求。

第二步: 性能提升阶段(2023—2027 年)。以百年桥梁为目标, 在第一阶段的基础上, 全面实施桥梁性能提升计划, 在重点技术领域取得重大突破, 桥梁安全保障整体水平明显提高。

第三步: 2028—2035 年, 全面建成智能化、立体化、信息化的桥梁安全保障体系, 桥梁安全保障综合实力进入世界强国前列。

（二）具体措施

(1) 推动桥梁养护理念由注重建设向管理养护

并重转变

针对我国服役桥梁养护管理和桥梁资产保全增效的技术需求,转变桥梁养护理念,发展桥梁预防性养护技术,完善桥梁信息管理系统,推行养护工程师制度,提升桥梁机械化养护能力,构建符合我国国情的桥梁养护技术及装备体系,以促进我国桥梁技术向“建养并重”转型。

(2) 构建信息化、立体化的桥梁检(监)测、评估、加固一体化的桥梁维护体系

针对我国桥梁的检测需求,发展并构建服役桥梁高精度化无损检测技术及装备体系;针对我国桥梁长期性能研究和长大桥梁运营管理的技术需求,研发高性能智能传感器,发展并构建桥梁健康诊断以及性能和抗力衰变监测技术体系与标准;针对服役桥梁养护科学决策的技术需求,进一步完善和发展桥梁技术状况评定、承载能力和减灾防灾能力的鉴定方法,构建桥梁安全可靠性和使用寿命预测等的理论体系及技术方法;针对服役桥梁病害处置和提高使用荷载等级的实际需求,要完善加固设计理论与方法,研发快速可靠的加固技术,发展模式化加固技术和整体替代技术,提高加固后桥梁的安全可靠性。

(3) 提高我国桥梁的应急保障能力及水平

加强对极端和偶然桥梁风险因素的预警,构建桥梁在地震等极端条件下的智能化预警评估处置系统;针对灾后应急抢通和保通的需求,提升桥梁应急装备跨越和承载能力,拓展桥梁应急装备的品种,增强桥梁应急装备的施工便捷性,以提高我国公路桥梁的应急保障能力及水平。

(4) 完善我国桥梁的管理制度

加大特大型桥梁的管养与监测,确保重要桥梁的运营状况实时可控;完善桥梁运营安全管理系统,健全桥梁管理制度、加大对超载等行为的执法力度,最大限度杜绝人为因素的安全隐患;引入桥梁事故第三方评价机制;建立健全桥梁事故分析处理数据库。

八、结语

本文通过分析我国桥梁的技术状况和国内外桥

梁事故案例,指出我国桥梁安全保障领域所面临的问题和挑战,以及我国桥梁安全保障技术及措施存在的不足,并在此基础上提出了我国桥梁安全保障战略方面的思考。

随着时间的推移,大批桥梁工程结构物老化与性能退化的现象将日益突出,部分重大结构将陆续达到设计使用寿命。因此,建议尽快在我国实施“桥梁等基础设施结构安全保障计划”,构建适合我国国情的桥梁安全保障技术体系和标准,这对于确保我国桥梁结构安全和人民群众的生命财产安全具有十分重大的意义。

参考文献

- [1] 张喜刚,刘高,马军海,等.中国桥梁技术的现状与展望[J].科学通报,2016(Z1):415-425.
Zhang X G, Liu G, Ma J H, et al. Status and prospect of technical development for bridges in China [J]. Chinese Science Bulletin, 2016(Z1): 415-425.
- [2] 谢洪,钟敦伦,韦方强,等.我国山区城镇泥石流灾害及其成因[J].山地学报,2006,24(1):79-87.
Xie H, Zhong D L, Wei F Q, et al. Debris flow hazards and their formation causes in mountain urban area of China [J]. Journal of Mountain Science, 2006, 24(1): 79-87.
- [3] 冯正霖.我国桥梁技术发展战略的思考[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.
- [4] 张劲泉,冷艳玲,李万恒,等.中国公路桥梁承载能力评定规程的可靠性水准[J].公路交通科技,2015,32(4):59-63.
Zhang J Q, Leng Y L, Li W H, et al. Reliability level of load-bearing capacity evaluation specification of highway bridges in China [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2015, 32(4): 59-63.
- [5] 韩依璇,张宇峰.美国桥梁长期性能研究计划进展及其思考[J].现代交通技术,2014,11(3):30-32.
Han Y X, Zhang Y F. Research progress and thinking of long-term bridge performance program of U.S.A modern transportation technology, 2014, 11(3):30-32.
- [6] Frangopol D M, Soliman M. Life-cycle of structural systems: Recent achievements and future directions [J]. Structure and Infrastructure Engineering, 2016, 12(1): 1-20.
- [7] 程寿山,李万恒,张劲泉,等.公路桥梁耐久性状况调查分析报告[R].北京:交通运输部公路科学研究院,2006.
Cheng S S, Li W H, Zhang J Q, et al. Investigation and analysis on the durability situation of highway bridges in China [R]. Beijing: Research Institute of Highway Ministry of Transport, 2006.