

桥梁设计中安全耐久性问题及风险控制措施研究

刘 蔚

中南勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430070

[摘要]桥梁是交通运输的重要组成部分,在国民经济中占有极其重要的地位,而桥梁的设计质量又关乎着人民的生命安全和社会生产生活的稳定。文章梳理当前桥梁设计在安全性不足、耐久性薄弱、设计标准执行不规范、技术人员综合素养有待提升等方面的突出问题,从强化结构安全设计、提升结构耐久性能、规范设计管理、加强人才培养、优化团队协作、推广新型设计方法、健全运营管理机制等维度提出针对性解决措施,为桥梁工程建设质量提升提供参考。

[关键词]桥梁设计;安全性;耐久性;设计规范;运营管理

DOI: 10.33142/ec.v9i7.20064

中图分类号: U443.5

文献标识码: A

Research on Safety and Durability Issues and Risk Control Measures in Bridge Design

LIU Wei

Central South Survey Design Institute Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430070, China

Abstract: Bridges are an important component of transportation and play an extremely important role in the national economy. The design quality of bridges is also related to the safety of people's lives and the stability of social production and life. The article summarizes the prominent problems in current bridge design, such as insufficient safety, weak durability, non-standard implementation of design standards, and the need to improve the comprehensive literacy of technical personnel. Targeted solutions are proposed from the dimensions of strengthening structural safety design, enhancing structural durability performance, standardizing design management, strengthening talent training, optimizing team collaboration, promoting new design methods, and improving operational management mechanisms, providing reference for improving the quality of bridge engineering construction.

Keywords: bridge design; safety; durability; design specifications; operation management

引言

桥梁是交通运输系统的咽喉与血脉。其结构安全与使用寿命直接影响公共安全与交通运行效率。随着我国交通建设快速推进,桥梁数量持续增长、跨度不断加大、结构形式日趋复杂,设计难度与风险显著提升。但近年来桥梁安全事故仍时有发生,暴露出设计环节存在诸多缺陷。大跨径桥梁作为区域交通关键枢纽,其安全性不容懈怠,通过科学检测与设计优化可有效规避突发垮塌风险。因此,开展桥梁设计安全与耐久性研究,在设计阶段提前制定解决方案,具有重要的理论价值与现实意义。

1 提升桥梁综合性能的重要意义

桥梁整体性能的提高是国家经济社会发展顺利进行和公众安全有效防护的重要前提条件。由于各种车辆荷载越来越大、车流量越来越多,再加上天气异常恶劣的现象频繁出现等原因导致桥梁使用环境越来越恶劣复杂。桥梁出现安全事故造成的危害是惨重的,它会导致大量的人员

伤亡还有巨额财产损失以及交通堵塞,严重影响了国民经济的发展速度,在我国南方和西部地区的喀斯特地貌下,河流冲刷较深、坡度较大、地面水及地下水量丰富,适合建造大型的水利工程枢纽。提高桥梁整体综合性能就是在设计时就要兼顾结构的安全可靠性,耐久性、适用性和养护管理方便的程度使得桥梁能够在其整个使用寿命过程中都能稳定可靠地工作。唯有严格把控设计环节,确保桥梁的整体质量,才能真正守住公共安全的第一道防线,实现工程经济效益与社会效益的有机统一。

2 桥梁设计中存在的问题

2.1 安全性不高

桥梁安全问题是近几年来多次安全事故暴露出的一个十分严重的问题。自 2025—2026 年的两年间,我国接连发生了几起桥梁坍塌事件,凸显出设计环节的安全隐患。2025 年 11 月 11 日四川阿坝州马尔康市红旗特大桥出现坍塌现象,该工程勘测单位未按要求进行钻孔工作而谎称

已经进行,就在起始阶段埋下了巨大的安全隐患。勘测资料错误以及勘测不到位直接造成了设计图纸缺少可靠的地基条件,因此也就使桥梁整体的结构安全性能大大降低。以保障人民生命财产安全为宗旨的新《规范》的修改过程中加大了对桥涵自身结构及其交通通行的安全性能要求。在结构安全性方面,新《规范》新增了疲劳荷载以及桥梁钢结构疲劳的设计内容,在现行规范的基础上得到了一定的补充和完善,但是由于实际设计过程中一些设计者忽视了其安全余量问题,对于偶然作用下极端情况时结构的反应也没有做必要的验算分析,存在一定的安全隐患。

2.2 缺乏耐久性

耐久性设计长期以来得不到像安全性能设计一样应有的关注,致使桥梁提前进入老化、破坏状态。实际应用中发现我国公路桥涵设计时缺乏对桥体结构后期维护保养的要求,如部分桥梁部件难以检修或者难以接近。而混凝土碳化腐蚀、钢筋锈蚀、预应力损失、疲劳裂缝等耐久性损伤又是桥梁使用过程中最普遍存在的病害,但却在设计时只是大概地予以考虑或者是根本不予考虑^[1]。《指南》编制耗时 35 个月,经过了 6 轮大修、12 次小修,共收集到相关行业人士建议 23 条,总结出了包含 9 章主要内容及 5 个附件的完整的海工混凝土耐久性设计、材料选用、施工控制和质量检查等全过程的技术方法,这是针对跨海桥梁海工混凝土耐久性设计的一项全方位的技术指南。尽管跨海桥梁等专业领域已经开始关注耐久性的要求,但在普通的公路桥梁的设计里面,耐久性设计仍然是相对不足的部分。

2.3 桥梁设计规范性不强

设计标准是保证桥梁工程质量及安全的基本依据,然而目前的设计工作还存在缺乏设计标准的现象。一些设计公司为了方便省事,在进行设计时对于规范及标准不够严谨,有故意放宽设计条件,忽略一些构造细节的要求情况的发生。2026 年 2 月 2 日,江苏盐城响水县连申线月港大桥在建设期间发生系杆拱梁坍塌事件,此项目的主体虽然是由具有最高级别设计资质的大型企业来负责,但是实质上却是由“草包团”来进行建设,工程质量无从谈起。设计与实际施工相脱离的情况普遍存在,设计变更也缺少有效管控措施。桥梁土木工程往往处在干湿循环、反复冻融及盐分腐蚀等恶劣条件下,因此有的桥梁乃至是特大桥不需要大修的寿命才只有二三十年,有的甚至不到十年就

不得不进行大规模拆除重建了。由于相关标准存在缺漏或执行不严格,许多桥梁在未达到设计使用年限时,就已暴露出严重的结构病害。

2.4 工作人员综合素质问题

设计人员专业水平直接决定设计质量。部分人员对规范理解不透彻、缺乏新技术新材料新工艺应用能力、未树立全生命周期设计理念;大型项目中团队协作不畅、沟通滞后,易引发设计漏洞。同时,规范更新存在滞后性,部分项目急于推进导致图纸粗糙、缺乏复核把关,设计缺陷带入施工环节,最终引发安全事故。

3 桥梁设计中安全耐久性问题解决措施

3.1 桥梁设计安全方面

加强桥梁工程安全性设计,要从思想观念、设计方案、加载条件及安全余地等各个方面入手全面加强。设计中要坚持全寿命周期的思想,在桥梁的设计前期就要考虑到桥梁的整个使用寿命过程包括规划、设计、建设、使用、维修以及拆除等一系列环节,不仅仅要对规划设计建设加以重视,还要注重后期的使用维护甚至拆除工作。关于荷载的设计,在荷载的选择上也要结合实际的交通流量的增长趋势以及重型车的数量增多的因素来确定荷载等级,对于那些罕见的自然灾害,比如超级大洪水、超强地震以及台风之类的情况可以提高一些荷载标准以及相应的安全裕度从而提升桥梁自身的防灾能力。为了满足我国飞速发展的社会经济及不断增加的交通量的要求,近来我国持续加强桥梁规范标准的制定和完善工作。提高桥梁规范标准可以强化桥梁结构的安全可靠性及耐久性和抗灾性,使桥梁结构能够在其整个服役过程中稳定安全的工作。同时对于大型特殊桥梁,应当与桥梁设计的同时进行安全监测系统的布置。基于全寿命的设计理念,大桥结构安全监测系统需在结构设计的同时一并加以考虑^[2]。因此新《规范》提出:复杂的技术性大桥梁工程项目可根据实际情况增设适当的安全检测装置等。

3.2 桥梁设计耐久性方面

耐久性设计是保证桥梁能够实现设计使用寿命的重要手段。设计使用年限作为桥梁耐久性设计的基础同时也是全寿命周期设计理念中的重要参数,应当在选材、防腐、防水、防裂等方面共同发力来增强桥梁整体耐久度。新《规范》基于现行国家标准的要求,对公路桥涵主体结构以及可更换部位的设计使用年限进行了规定。下表总结了一些主要的耐久性设计方法和技术要点。

表 1 桥梁耐久性设计主要措施

措施类别	具体措施	技术要点	适用场景
材料选型	高性能混凝土、耐候钢	提高抗渗、抗冻、抗侵蚀能力	恶劣环境桥梁
混凝土耐久性	控制水胶比、掺加矿物掺合料	减少渗透性，提高抗化学侵蚀	海工、盐碱地区桥梁
钢筋防腐	环氧涂层钢筋、不锈钢钢筋	隔离腐蚀介质，延长钢筋寿命	沿海、除冰盐环境
防水体系	桥面防水层、排水系统优化	防止水分渗入造成钢筋锈蚀	全部桥梁
构造设计	增加保护层厚度、合理设缝	控制裂缝宽度，延缓碳化进程	混凝土桥梁
可更换设计	支座、伸缩缝、拉索等可更换	便于后期维修更换，降低全寿命成本	大跨径、特殊结构桥梁
预防性养护设计	可到达、可检查的细部构造	为养护提供便利，及早发现病害	全部桥梁

3.3 完善桥梁安全耐久性设计规范

规范是规划设计的基本准则，在此基础上建立完善的规范体系也是提高桥梁的安全耐久能力的重要基础内容。现在欧美日等国规范均是以基于可靠性的理论概率极限状态设计法。在现行规范下，新规范与国际接轨，在原规范的基础上进一步把概率极限状态设计法由理论转变为实践，应用到公路桥涵的设计之中。2025 年 12 月交通运输部出台了《公路桥梁加固设计规范》(JTG/T 5431—2025) 及《公路桥梁加固施工技术规范》(JTG/T 5531—2025)，从 2026 年 4 月 1 日起实施，为既有桥梁的加固设计提供更加系统的支撑。同时，《公路桥梁和隧道工程设计安全风险评估指南》(JTG/T 3302—2025) 也于同日实施，规定设计时要全面进行风险评估^[3]。今后还需要参考国外成功的做法，不断加大荷载安全系数，完善耐久性设计指标，把大量的工程实践经验及科研成果尽快地充实到规范里面去，使规范具有超前性与实用性。

3.4 提高工作人员综合素质

3.4.1 加强技术培养，提升前沿技能

桥梁设计师作为桥涵工程设计工作的核心执行者，其专业技术水平和职业责任心直接决定了工程方案的安全性、经济性与合理性。为此，设计单位应建立常态化、系统性的技术培训机制，定期组织桥梁工程师学习国内外最新的设计规范、标准图集及技术指南。培训内容应涵盖桥梁结构力学分析、荷载计算理论、抗震设计方法、耐久性设计策略等基础理论，同时重点强化对主流计算软件（如 Midas Civil、ANSYS、桥梁博士等）和辅助设计工具（如 AutoCAD、Revit、Civil 3D 等）的操作训练。此外，还应加强职业道德教育，培养设计人员严谨负责的工作态度，建立设计质量终身责任意识。通过理论培训、案例研讨、技能比武等多种形式，全面提升设计师的综合素质，确保其能够独立应对复杂桥梁工程的设计挑战。

3.4.2 推广 BIM 技术，实现数字孪生

随着桥梁建设向智慧化、信息化方向不断发展，BIM 技术的应用已贯穿项目规划、设计、施工及运维的全过程，

成为提升工程质量与管理效率的重要手段。针对传统二维设计图纸在表达复杂空间结构、异形构件及施工工序衔接方面存在的局限性，项目部应大胆创新，积极采用全生命周期 BIM 技术对所建桥梁进行“数字翻模”，即基于设计参数建立高精度的三维信息模型，并集成材料属性、施工时序、检测数据等多维信息，实现与实际工程完全一致的“数字孪生”模型。该模型不仅可用于设计阶段的碰撞检查、可视化交底与性能分析，还能为施工模拟、进度管理、成本控制及后期运维提供数据支撑。为此，设计单位需加大对 BIM、GIS、物联网等先进技术的应用研究，建立专门的 BIM 技术团队，开展定期培训与项目实践，提高设计人员的信息技术应用水平，推动桥梁设计从传统模式向数字化、智能化转型。

3.4.3 健全管理体系，严把质量与准入关

设计质量的持续提升不仅有赖于个人能力，更需要健全的制度保障。首先，应建立健全设计成果的审查与复核体系，明确各阶段设计文件的校核、审核、批准流程，推行“自校、互校、专审”三级审查机制。针对重大或复杂桥涵工程，可引入外部专家评审制度，确保设计成果在技术路线、计算假定、构造细节等方面经得起多方验证。同时，要加大设计质量问题的追责和惩罚力度，建立质量问题台账，对因疏忽、违规或能力不足导致的重大设计缺陷，依法依规追究相关责任人和单位的责任，并将其纳入信用评价体系。其次，应健全注册工程师制度，提升从业门槛^[4]。建议参照国际通行做法，完善桥梁工程方向的注册结构工程师考试与注册管理机制，要求设计项目负责人及主要计算人员必须持有相应执业资格。通过严格的资格准入、继续教育及定期考核，保证从业人员具备足够的专业知识、工程经验及职业素养，从制度源头上保障桥涵工程设计水平的整体提升。

3.5 团队建设

大体量复杂桥梁工程需要多学科协作，人员组织是很重要的一个环节。要组建起一个包含有结构、岩土、材料、交通工程等多种工种协同的设计队伍，防止由于各自为政

以及信息闭塞造成的缺陷。在组建这个团队的过程中,要形成一套完整的交流渠道与协调方式,保证各部分之间传递的设计参数及信息准确到位。提倡互相分享学习、相互传授经验的精神,创造良好学习、创新的环境氛围。对于重大项目可以设置顾问小组,在重要节点进行把关及决策。

3.6 桥梁设计现代化建设

3.6.1 推进数字化设计与 BIM 技术应用

推进桥梁设计科学化是提高设计水平与质量的有效方法。在设计过程中,设计人员应运用三维一体化软件对桥梁构件、管线及设备进行数字化“预拼装”,通过三维模型的可视化协同,提前发现并解决专业交接部位存在的冲突问题,有效避免传统二维设计中常见的“错、漏、碰、缺”等质量隐患,该方法已在多个复杂桥梁工程中成功避免了数千个专业交接部位的设计冲突,显著减少施工返工与成本浪费。在建设环节,针对钢桁梁悬臂架设、柔性拱“卧拼竖转”等重要施工节点,应利用 BIM 技术建立高精度施工模拟模型,并结合有限元分析工具进行精细化的受力计算与变形预测,通过虚拟仿真优化吊装顺序、临时支撑布置及合龙方案,从而实现数十万吨钢结构在合龙时的“毫米级”精准对接,大幅提升施工安全性与控制精度。此外,应在桥梁工程设计中全面普及 BIM 技术,逐步形成涵盖设计、建造、运维在内的整体信息化模型,该模型不仅承载几何尺寸与材料属性,还应集成施工进度、质量检测、维护记录等动态数据,为后续运营管理提供数字化底座,实现从传统图纸设计向智能建造与智慧运维的跨越。

3.6.2 优化材料、智能监测与性能化设计

在设计阶段应优先选用高强度、高耐久性的建筑材料(如高性能混凝土、耐候钢、纤维增强复合材料等),从源头提升桥梁结构的承载能力与耐久性能,同时结合设计预留预防性检查通道和检测接口,制定定期检测与维护计划,及早发现并处理裂缝、腐蚀、疲劳等病害,从而大幅度延长桥梁的实际使用寿命。在设计环节还需加强智能化监测系统的整合设计,预先布置应变计、加速度计、位移传感器、腐蚀传感器等传感器网络及其数据传输接口,桥梁施工完毕后依托物联网、大数据及云平台技术,对桥梁的挠度、振动、温度、应力等运行状态进行全天候实时监测并设置分级报警阈值,一旦监测数据异常,系统能够及时报警并推送至维护管理单位,为桥梁安全运营提供可靠的技术保障。同时,在设计过程中应全面推行基于性能的设计理念,依据桥梁的等级(如特大桥、大桥、中小桥)、重要性(如生命线通道、普通公路桥梁)以及服役所处环境(如沿海腐蚀环境、高寒冻融环境、地震高烈度区等)

进行区别化设计,通过合理设定强度、刚度、耐久性、抗震等级等不同性能目标,优化结构尺寸与材料用量,做到既安全又耐用,同时最大限度节约建设成本与全寿命周期成本。

3.7 建立健全桥梁运营管理制度

3.7.1 设计阶段衔接运营管理,完善养护制度

桥梁的设计不应仅仅停留在施工图纸的提交上,还需充分考虑桥梁建成后的运营管理要求。设计单位在进行桥梁设计时,应同步做好后期运营管理的准备工作,包括合理布置监测系统所需的传感器安装位置、预留维护检修通道、设置维修设备存放及操作空间等,确保设计中所设定的监测系统、维护道路、维修设备等设施能够在运营阶段得到有效运用,避免因前期设计缺失导致后期无法实施或改造困难。同时,应针对桥梁的定期养护工作制定科学合理的方案预案,明确各项检查、保养、维修工作的频次及执行标准,例如日常巡查的内容与周期、定期检测的项目与方法、专项检测的触发条件等,并规定不同构件(如支座、伸缩缝、拉索、桥面铺装等)的养护作业技术要求和验收标准,使养护工作有章可循、有据可依,从而在源头上为桥梁安全运营奠定坚实基础。

3.7.2 完善评定标准、信息化档案与运营机制

近日备受各界瞩目的《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21)2026 年新版报批稿已正式向社会公开征求意见,该标准是桥梁养护行业的重要法规文件,本次修订对 2011 版进行了彻底优化,实现了由以往的“综合性”评估向“精确化、分类治理”的转变,新增设的“结构耐久性损伤评价”“结构功能状态评估”“结构受力状况评定”等专门章节为桥梁精细化养护提供了坚实的技术基础。运营单位应积极对接新标准,在此基础上建设桥梁全寿命期信息化档案,完整记载桥梁从设计、建造、竣工验收、投入使用到维护修缮及加固改造的全过程信息,包括设计图纸、计算书、施工记录、材料检测报告、历次检查养护记录等,以数字化形式存储并接入桥梁管理信息系统,为基础养护工作提供准确、可追溯的资料依据。最后,要健全运营管理机制,明确管理责任主体、工作流程及监督考核办法,制定中长期维护计划与应急预案,通过制度化管理、标准化作业以及信息化手段,确保桥梁在设计使用期内始终保持安全可靠的运营状态,及时发现并消除安全隐患,切实保障人民群众生命财产安全。

4 结语

桥梁设计的安全与耐久性是保障公共安全与工程寿命的核心要素,当前仍存在安全性、耐久性、规范执行、

人员素养等方面的不足。需从多维度系统治理：安全设计上提升荷载标准、配置监测设备；耐久性设计上优选材料、采用可更换构造；规范体系上对标国际、加快更新；人才培养上强化培训与考核；团队建设上推进跨专业协作；技术应用上推广 BIM 与智能监测；运营管理上落实养护制度、建立跟踪机制。必须把安全、坚固、经济、环保的理念贯穿到整个桥梁的设计之中，才能够建造出真正意义上的安全坚固、经久耐用的现代化桥梁工程。

[参考文献]

[1]杨瑞军.桥梁设计中安全耐久性问题及解决措施分析[J].

工程建设与设计,2024(12):81-83.

[2]朱凡.公路桥梁设计的安全性和耐久性分析[J].江苏建材,2022(02):35-37.

[3]王敬云.桥梁设计中安全耐久性问题及解决措施分析[J].运输经理世界,2023(12):114-116.

[4]伊善姍.桥梁设计中存在的安全耐久性问题及对策研究[J].砖瓦,2020(4):80-82.

作者简介：刘蔚（1994—），男，汉族，湖北孝感市人，工程师，硕士，2020年6月于长安大学桥梁与隧道工程专业毕业，现主要从事新建及改扩建工程桥梁工程设计。