

公路桥梁耐久性设计及其影响因素分析

白波

(中铁十一局集团第五工程有限公司, 重庆 400030)

摘要 为了延长桥梁的使用寿命, 提高其安全性, 本文将分析公路桥梁耐久性设计的原则、结构设计要点、材料选择与特性, 以及影响耐久性的多重因素, 结合理论分析与实际案例研究, 详细探讨公路桥梁耐久性设计的关键要素, 通过数据分析和案例对比, 量化不同因素对桥梁耐久性的影响程度。结果表明: 采用高性能混凝土和防锈钢筋可有效提升桥梁在恶劣环境下的耐久性, 延长使用寿命达 30% 以上, 提高桥梁的耐久性, 确保交通安全与经济效益的双重提升。

关键词 公路桥梁; 耐久性设计; 设计标准; 荷载等级; 环境因素

中图分类号: U442

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)07-0097-03

公路桥梁耐久性设计及其影响因素分析是当前工程建设领域的重要议题。随着经济的持续发展和城市化进程的加速, 在进行道路桥梁持久性设计的过程中, 架构设计的制定是首当其冲的考虑因素。这涵盖了桥梁跨度、负荷以及地理环境等要素, 以确保桥梁具备应对压力和保持稳固的能力。针对大跨径桥梁, 吊索桥或者斜拉式结构或许更合适。故此, 深化道路桥梁持久性设计研究, 并提升其使用周期及安全系数, 在确保交通流畅与人民生命财产安全方面起着至关重要的作用。

1 公路桥梁耐久性设计基础

1.1 耐久性设计的定义与原则

持久性设计的理念强调在预定使用期限内, 保障构筑物有足够能力对抗开裂(涵盖应力引起的腐蚀性开裂和氢引发的开裂)、侵蚀、热量衰退、剥落、损耗以及来自外界的损伤^[1]。耐久性设计的原则主要包括: 根据结构的设计使用年限、结构所处的环境类别和环境作用等级进行设计; 利用恰当的建筑形式、布局设计和建筑手法, 采取持久耐用的材料; 兼顾工具掉落、踏步、冰雹等在使用和维修过程中可能出现的小型冲击伤害, 一般来说会选择运用超越疲劳的静力规划方法。

1.2 公路桥梁的结构设计要点

各构件和整个桥梁结构在生产、搬运、建设和使用期间, 需要符合规定的抗压能力、硬度、稳定以及长期耐用性。基于安全性与功能性的满足, 设计桥梁应经济适用, 在限制花费与增加盈利间寻觅合理的平衡点。作为连通两地关键设施的桥梁, 在设计过程中

要考量其外形美观, 并且与周边环境融入一体。总体规划过程中需坚持“全面防御减少风险”方针, 通过恰当设置桥位、选择桥型、跨径以及施工方式等全局需求, 进而减少风险。

1.3 材料选择与特性分析

混凝土是高速公路桥梁施工过程中常使用的主要建筑材料之一, 桥梁的耐用性直接关系到其寿命和稳定性。混凝土桥梁持久力研究主要涉及以下两个方面: 一是从建筑材料的破坏机制方面出发, 分析桥面结构材料的损伤行为及其危险原因等; 二是从桥面构件的结构完整性方面考虑, 分析桥面耐久性能的设计、评价和对桥梁的保护方法等。

2 公路桥梁耐久性影响因素分析

2.1 设计标准与荷载等级

公路桥梁的耐久性设计标准主要涉及混凝土结构的设计, 包括对粗、细集料的要求, 以及在特定环境下(如临海环境)的耐久性设计要求^[2]。《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310-2019)是其中的一个重要标准, 它涵盖了混凝土结构耐久性的设计要求, 针对装配式混凝土桥梁的设计规范, 强调了安全、耐久、适用、环保、经济和美观的原则。桥梁荷载等级主要由车辆负载决定, 包括道路负载和汽车负载。全局结构受力计算需考虑道路负载, 局部结构计算则需考虑汽车荷载。桥梁负重可分为常态负载、变动性负载和偶发负载。常态负载在桥梁使用期间内数值基本不变, 变动性负载随时间流转而有所更动, 偶发负载则源于罕见事件。承重级别以车辆对桥梁产生的压强为分级标准, 包括道路稳定压强和车辆瞬间

施加的暂时压力。车道荷载用于桥梁整体结构受力分析，车辆荷载用于桥梁局部结构受力分析。

2.2 环境因素与化学侵蚀

在建设与使用的阶段，桥梁会因环境和有害化学物质的侵蚀而遭受压力，同时也需要抵挡汽车、风势、地震波动，毁损倦怠以及人为破坏等多种外部力量的冲击。特别是氯盐、酸雨、二氧化碳等侵蚀性介质的耦合作用对桥梁混凝土的耐久性造成了影响，这些因素需要在设计中得到考虑以保障和延长桥梁的服役寿命。氯离子侵蚀是影响桥梁耐久性的主要化学因素之一。时变可靠度随时间下降的桥梁承载能力数据见表1。

表1 时变可靠度随时间下降的桥梁承载能力数据

时间(年)	氯离子侵蚀下的时变可靠度	混凝土碳化下的时变可靠度(考虑平均锈蚀)
0	1.00	1.00
10	0.95	0.98
20	0.90	0.95
30	0.80	0.90
40	-	0.83
50	-	0.75

试验数据显示，伴随着氯离子的侵蚀作用，大桥的承重时效性可靠度会在大约30年后减少到设计目标水平。而如果将混凝土碳化以及平均腐蚀程度包含在内，则这种承重时效性可靠度的降低需要50年左右才能达到设计初衷。

2.3 施工质量与维护保养

提高桥梁施工的品质和安全性是关键的一步，有助于强化公路桥梁的耐用度和安全系数。这个步骤涉及保持恰当的建设周期，特别要重视项目质量与安全监督，在构建过程中不间断地进行实时检测，并推动有关桥梁质量与安全管理数字化的普及。改善建筑技术也是关键，如同引入质量生命周期责任制显然成为提升桥梁寿命必备之策略。公路桥梁护理应遵循“以预防为主，结合治理”的标准，强化道路桥梁的常规维护、预防性保养和管理措施。特别是对于桥面日常小型修补、排水设施的清洁活动，要对结构断裂和缺点进行时刻监管，以防止桥梁疾病发生以及不断扩大。护理人员必须对桥梁进行持续监测，旧式桥梁的检查应更频繁，并确保准确记录下所有数据以及情况，发现重要风险因素时无延迟地通知上级单位。过度负荷的车辆通过桥面时，科技性质方面需要对其进行必

需的强度测试、稳定性评估和刚性测算，在特殊状况下还要执行荷载试验。

耐久性设计也是关键，必须符合《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310-2019)的标准。同时，施工质量和后期的维护保养也同样重要，包括合理安排工期、加强工程质量安全监管、提升施工技术水平，以及定期进行桥面修补、保持排水设施清洁和及时发现并处理结构断裂等问题。

3 提高公路桥梁耐久性的策略与建议

3.1 优化设计理念与方法

致力于实行桥梁从设计到使用整个周期的勘测设计思维，激励高速公路桥梁勘查技术和设计理念的革新，保证安全、耐用、适应性、经济效益和视觉美感这几项原则的严格执行^[3]。这一准则意味着在桥梁的规划设构、建造进程和运营维护中，在所有环节都须考虑其长期稳定使用与性能保障。采取如增强型混凝土(HIPC)或是为混凝土添加抗腐剂如硅灰等方法来提升钢筋对腐蚀的防御力以及控制氧离子含量，针对不同服役环境下的混凝土材料性能提升方法也是关键。在设计时注意不同的构造形式和焊缝布置对钢结构桥梁疲劳寿命的影响，确保施工质量，根据桥梁的状况，基于对成本和效益的深度剖析，确保桥梁在规定的服务程度内能达到最优化的运营花费。桥梁全生命周期管理见图1。

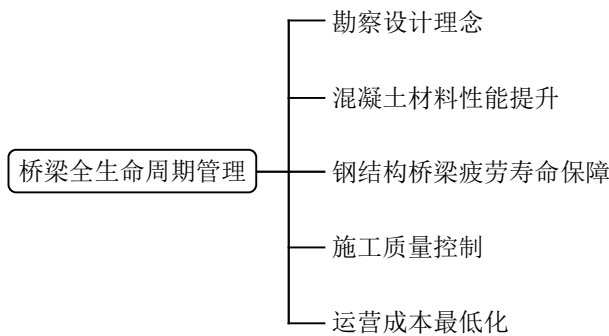


图1 桥梁全生命周期管理

例如，在临海环境中，应选用耐氯离子腐蚀的高性能混凝土和防锈钢筋，以减少氯离子对桥梁结构的侵蚀。数据显示，采用高性能混凝土和防锈钢筋的桥梁，在氯离子浓度较高的环境下，其使用寿命可以比传统材料延长30%以上。

3.2 加强施工质量控制

在执行建设任务时，必须遵循设计蓝图和施工准则来进行，以保证每一个阶段的工作都满足质量标准。

尤其是关于桥梁的重点部分，如桥根、桥面铺设等，应该更加专注于提升品质，确保建设水平。在施工期内加强对质量的监管和检查是必要的，以便即刻发现并解决出现在建造过程中的问题。对于不符合质量要求的工程部分，应坚决进行返工或整改，确保桥梁的整体质量。据统计，施工质量优良的桥梁，在使用寿命内出现耐久性问题的概率比施工质量差的桥梁低 60% 以上。

3.3 完善维护保养体系

在运营期间，道路桥梁无法避免地会受到各种环境和人为因素的冲击，从而降低其耐用性。需建立完善的维护保养体系，延长桥梁使用寿命、提高耐久性，维护保养体系应包括定期检查、预防性维护和应急性维修等多个方面。定期检查可以及时发现桥梁的潜在问题，如裂缝、锈蚀等，为后续维护提供依据。预防性维护可以通过对桥梁结构的加固、防水等措施，提前预防可能出现的耐久性问题。应急性维修则是在桥梁出现突发问题时，迅速进行修复，以减少对桥梁耐久性的进一步损害。数据显示，建立了完善维护保养体系的桥梁，其使用寿命可以比没有维护保养的桥梁延长 20% 以上。

4 案例分析与实践应用

4.1 成功案例分享与启示

在分享国内公路桥梁耐久性的成功案例时，需要考虑到各个层面。湖北省就大跨度的混凝土桥梁、钢制桥梁以及钢混结构桥梁所存在的安全与耐久问题，从技术实践和改善手段两个角度出发，进行了一系列如更改设计、改进建造方法以及利用新型材料的措施，此类改进措施均加强了公路桥梁的耐久能力^[4]。在加固工程中，设计团队秉承“合理、低碳、节约”的设计理念，通过详细的检测和分析，制定了针对性的加固方案。针对桥面铺装层的破损和老化，采用高性能混凝土进行修补和重铺，在桥面铺装层下增设防水层，对存在裂缝的梁板进行注浆加固，封闭裂缝，对承载力不足的梁板，采用粘贴钢板或碳纤维布的方法进行加固，采用扩大基础、增设桩基或加固承台等方式，提高墩台的稳定性和承载能力。在桥梁两侧增设护栏、防撞设施等，完善桥梁的排水系统，防止积水对桥梁造成损害。

其中，体外预应力钢束的加固方式，有效恢复了主梁的承载能力，这种加固方式具有可测、可调、可增、可换的特点，大大提高了桥梁的耐久性和使用寿命。

桥面铺装层的重新铺筑，使用了高性能的沥青混凝土，不仅提高了桥面的平整度，还增强了桥面的防水性能，有效防止了水分渗透对桥梁结构的腐蚀。在公路桥梁设计中，应注重耐久性设计，充分考虑桥梁在使用过程中的各种环境和荷载条件，选择耐久性好、性能稳定的材料和结构形式。

4.2 实践中的问题与解决方案

在实践过程中，乌金屯松花江大桥的维修加固工程也遇到了一些问题。其中，最主要的问题是施工过程中的技术难题和质量控制。由于桥梁结构复杂，施工难度大，需要高精度的施工技术和严格的质量控制来保证加固效果^[5]。针对这些问题，设计团队采取了多项解决方案，加强了对施工过程的质量监督和管理，确保了施工质量的稳定运行。

设计团队还注重与施工单位的沟通和协作，及时解决施工过程中出现的问题，在辅助大桥管理的同时，为桥梁养护及后期运营状况分析积累原始基础数据。此次加强令桥梁的承载力极限和状态强度保有更多余量，成功解决了面临大范围坑洞对车辆行驶安全的威胁。借助于细致入微的“二次”支座标高设计，实现平稳行车并有效降低汽车冲击力，进一步提防伸缩设备锚区域耐用性。在 2022—2023 年间，该桥技术评价等级持续为第 2 类，显示出桥梁运行表现优秀。

5 结束语

公路桥梁的耐久性设计不仅关乎结构安全，更直接影响着桥梁的使用寿命和经济效益。通过综合考虑设计、材料、环境及维护保养等多方面因素，能够更有效地提高桥梁的耐久性，确保交通安全，实现经济效益的最大化。未来，相关人员将继续深入研究，力求在桥梁耐久性设计领域取得更多突破。

参考文献：

- [1] 明星. 公路桥梁设计中的安全性和耐久性问题分析[J]. 门窗, 2022(22):85-87.
- [2] 周静. 公路桥梁混凝土结构的耐久性设计研究[J]. 工业建筑, 2023,53(01):17.
- [3] 高伟. 公路桥梁设计中的安全性和耐久性设计研究[J]. 工程建设与设计, 2022(12):110-112.
- [4] 王铁铮. 公路桥梁设计中的安全性及耐久性研究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022(08):23-25.
- [5] 王凯. 公路桥梁设计中的安全性和耐久性问题[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022(07):60-63.