

桥梁设计中的耐久性问题及优化对策

笪良宝

(安徽昌达路桥工程集团有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘要 为了提升桥梁设计的耐久性, 避免因耐久性不足引发的安全隐患等问题, 本文对桥梁设计中的耐久性问题展开研究, 综合考虑环境因素、材料腐蚀、设计缺陷、施工质量以及维护管理等多方面影响, 分析了桥梁设计中耐久性存在的主要问题, 并提出了定期监测与评估、选择耐腐蚀材料、改进设计理念、增强施工质量控制以及提升维护管理水平等优化对策, 以期为提高桥梁的耐久性和使用寿命提供参考, 进而保障桥梁的安全稳定运行。

关键词 桥梁设计; 耐久性; 腐蚀; 材料选择; 结构优化

中图分类号: U442

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.011.036

0 引言

桥梁作为交通基础设施的关键构成, 在连接区域、促进经济发展等方面发挥着不可替代的作用。其耐久性直接关乎桥梁的使用寿命、安全性与维护成本。随着交通量持续增长以及运营环境日益复杂, 桥梁结构承受着更加严峻的考验。在实际的桥梁设计中, 耐久性问题愈发凸显。环境因素如恶劣气候、腐蚀性介质侵蚀, 材料自身的腐蚀倾向, 设计环节存在的不合理之处, 施工过程中的质量瑕疵, 以及建成后维护管理的缺失等, 都严重威胁着桥梁的耐久性, 甚至可能引发安全事故。因此, 深入探究桥梁设计中的耐久性问题并寻求有效优化对策具有重要的现实意义。

1 桥梁设计中耐久性存在的主要问题

1.1 环境因素对桥梁耐久性的影响

环境因素对桥梁耐久性有着全方位、持续性的影响。在气候条件方面, 温度的剧烈变化会使桥梁材料热胀冷缩, 长期反复作用下, 材料内部产生疲劳应力, 加速结构老化。例如, 在昼夜温差大的地区, 桥梁混凝土表面易出现裂缝。湿度也是关键因素, 潮湿环境为各类化学反应提供了条件, 尤其是在沿海地区, 高湿度加上空气中的盐分, 大大加快了桥梁金属部件的腐蚀速度。此外, 暴雨、洪水等极端天气, 不仅直接冲击桥梁结构, 还可能导致基础冲刷, 削弱桥梁的稳定性。酸雨的侵蚀同样不容忽视, 酸性物质与桥梁材料发生化学反应, 降低材料强度, 破坏结构完整性。工业污染区排放的有害气体和颗粒物, 会附着在桥梁表面, 在一定条件下引发腐蚀或侵蚀, 长期累积严重影响桥梁的耐久性。

1.2 材料的腐蚀问题

腐蚀对桥梁结构的耐久性有很大的影响。钢筋锈

蚀是钢筋混凝土桥梁中普遍存在的一种病害。当混凝土保护层由于各种原因产生缺陷时, 外部氧、水入侵, 破坏钢筋表面钝化膜, 产生电化学腐蚀。锈胀引起钢筋体积膨胀, 导致混凝土开裂和剥落, 严重影响钢筋—混凝土间的粘结强度, 降低结构承载力。钢桥的钢结构易受大气和海水的侵蚀^[1]。空气中的氧气、水蒸气和工业废气中的有害物质与钢铁表面发生化学反应, 生成疏松的腐蚀产物, 不仅不能阻止钢筋的进一步锈蚀, 还会吸附湿气, 加速锈蚀进程。海洋环境下, 海水盐度高、电解质强, 导致钢结构锈蚀加速, 尤其在水位变化区, 干湿交替作用加剧锈蚀程度, 严重威胁其耐久性。

1.3 设计缺陷导致的耐久性不足

设计阶段若存在缺陷, 将从根源上影响桥梁的耐久性。一方面, 对桥梁使用环境和荷载的预估不准确是常见问题。如果低估了交通流量增长趋势或车辆荷载大小, 桥梁在实际运营中可能长期处于超载状态, 加速结构疲劳损伤。例如, 某些城市桥梁在设计时未充分考虑未来大型货车通行需求, 随着城市物流发展, 频繁的重载车辆通行导致桥梁出现过早的裂缝和变形。另一方面, 结构体系设计不合理也会降低耐久性。如结构的冗余度不足, 当某个关键构件出现问题时, 缺乏有效的传力路径, 易引发连锁破坏。同时, 在构造设计上, 若未合理设置排水系统、伸缩缝等构造措施, 雨水积聚、温度变形受阻等情况会对桥梁结构造成损害, 长期作用下影响桥梁的耐久性和使用寿命。

1.4 施工质量问题

施工质量的优劣直接关系到桥梁的耐久性。在混凝土施工中, 若配合比设计不合理, 水灰比过大, 会

导致混凝土强度不足、抗渗性差,容易受到外界环境侵蚀。混凝土浇筑过程中,如果振捣不密实,内部会形成蜂窝、孔洞等缺陷,这些缺陷不仅削弱了混凝土的承载能力,还为外界有害物质侵入提供了通道,加速钢筋腐蚀^[2]。对于钢结构桥梁,焊接质量至关重要。例如,焊缝存在夹渣、气孔、未焊透等缺陷,会使焊接部位成为结构的薄弱点,在荷载作用下易产生裂缝并扩展,降低钢结构的整体性能和耐久性。此外,施工过程中对材料的保护不到位,如钢筋露天堆放生锈、混凝土原材料受污染等,也会对桥梁的耐久性产生不利影响。

1.5 维护管理不足

桥梁建成后的养护管理是桥梁耐久性的重要组成部分,然而在实际工程中,养护管理不到位的现象普遍存在。由于缺乏对桥梁结构早期病害(如裂缝、材料锈蚀等)的检测,导致病害扩展,影响桥梁安全^[3]。由于日常的清扫和维护工作做得不好,桥面上长期堆积着灰尘和杂物,在雨水的冲刷下会形成腐蚀液,腐蚀桥梁结构。维修管理经费投入不足,使得必要的维修和加固工作未能及时展开。例如,桥梁伸缩缝如果不能及时更换,将使结构承受附加的应力,加速结构的老化。同时,由于养护管理手段落后,缺少专业维修人员及先进的检测设备,使得桥梁耐久状态难以准确评估与有效养护,影响了桥梁的长期安全运行。

2 桥梁设计耐久性优化对策

2.1 定期监测与评估

定期监测与评估是保障桥梁耐久性的关键手段。建立全面且科学的监测体系是首要任务,在桥梁关键部位,如主梁、桥墩、支座等,安装各类传感器,包括应变传感器实时监测结构应力变化,位移传感器精确测量桥梁变形,温湿度传感器掌握环境因素动态。同时,运用高清摄像设备定期对桥梁外观进行拍摄记录,重点关注混凝土表面有无裂缝、剥落,钢结构是否存在锈蚀、变形等状况。在监测数据收集基础上,启动专业的评估流程。利用先进的结构分析软件,结合桥梁设计参数与实际监测数据,对桥梁结构的承载能力进行评估。通过建立耐久性预测模型,综合考虑环境侵蚀、材料性能退化等因素,预测桥梁未来的耐久性状况。例如,依据钢筋锈蚀速率模型,结合混凝土碳化深度监测数据,预估钢筋混凝土结构中钢筋的锈蚀程度及剩余使用寿命^[4]。评估结果将为桥梁维护决策提供有力依据,若评估发现桥梁结构某些部位出

现病害早期迹象,可及时安排针对性维修。例如,对混凝土裂缝进行修补、对轻微锈蚀的钢结构进行防腐处理。通过定期监测与科学评估的紧密结合,能及时发现并解决桥梁耐久性隐患,确保桥梁安全稳定运行,延长其服役寿命。

2.2 选择耐腐蚀材料

防腐材料的选用是提高桥梁耐久性的重要依据,在混凝土材料方面,采用高性能抗渗混凝土,通过优化骨料级配,掺入高品质矿物掺和料及高效减水剂,能提高混凝土密实度,有效阻断外部侵蚀性介质入侵。在沿海和工业污染地区,采用纤维增强混凝土(如碳纤维、合成纤维等),可以显著提高混凝土的抗裂能力,降低因裂缝引起的耐久性问题。环氧树脂涂层钢筋是一种非常理想的钢筋材料,它表面的环氧树脂涂层,将钢筋与外界的腐蚀环境隔离开来,大大延缓了钢筋的腐蚀速度,保证了混凝土结构的长期使用性能。耐候钢在钢桥中得到了越来越多的应用,该类钢材能够在大气环境中形成致密、稳定的氧化膜,有效地抑制了钢材的腐蚀,显著延长了钢结构的使用寿命。针对跨海大桥等强腐蚀环境下的桥梁,采用热喷镀锌铝复合涂层,既具有优异的抗腐蚀性能,又能以牺牲阳极保护的方式保护钢结构,全面提高桥梁结构的耐久性性能。

2.3 改进设计理念

改进设计理念是保障桥梁耐久性的关键起始点。在设计前期,深入且全面的调研必不可少。设计团队需详细勘察桥梁所处地理位置的气候条件,如年温差、湿度变化、降水频率等,精准分析周边工业布局,评估废气、废水等污染对桥梁的潜在影响,同时对过往交通流量数据进行深度挖掘,结合城市未来发展规划,科学预估交通量增长趋势与车辆荷载变化。在结构体系设计环节,运用先进的力学分析软件,反复模拟不同工况下结构的受力状态,优化结构布置,合理增加结构冗余度^[5]。例如,在多跨连续梁桥设计中,设置备用传力路径,当某一跨出现意外损伤时,荷载能通过其他路径有效传递,维持整体稳定。构造设计方面,着重考虑排水与防水细节,精心设计桥面排水坡度,确保雨水能迅速排离,避免积水长期侵蚀;优化伸缩缝构造,选用优质伸缩缝装置,使其能更好适应桥梁因温度、车辆荷载产生的变形,防止因伸缩不畅导致结构损坏。此外,全面引入全寿命周期设计理念,综合考量桥梁从建设、运营到最终拆除各阶段的成本投

入与性能需求,在设计源头为桥梁长期稳定服役与良好耐久性提供坚实保障,让桥梁在全生命周期内始终保持可靠状态。

2.4 增强施工质量控制

增强施工质量控制是提升桥梁耐久性的核心环节。在混凝土施工中,严格把控配合比至关重要。依据设计要求精准称量水泥、骨料、外加剂等材料,精确控制水灰比,以此确保混凝土具备良好的强度与抗渗性能。在浇筑阶段,选用适配的振捣设备,遵循正确的振捣方法,使混凝土均匀密实,杜绝蜂窝、麻面等缺陷,降低外界侵蚀风险。在钢筋工程方面,对钢筋加工尺寸严格把关,保证其安装位置准确无误,尤其注重钢筋保护层厚度,利用垫块等措施使其符合设计标准,有效预防钢筋锈蚀^[6]。对于钢结构桥梁,焊接质量直接关乎结构安全。焊接人员必须经过专业培训,持有效证件上岗,严格依照既定的焊接工艺规程操作,仔细检查焊缝,避免夹渣、气孔等瑕疵。施工期间,妥善保护材料,钢筋分类存放并做好防锈处理,混凝土原材料置于干燥、清洁环境,防止受污染。同时,构建完善的质量管理制度,加强施工全程的质量检验与监督,层层把控,为桥梁的耐久性筑牢坚实基础。

2.5 提升维护管理水平

提升维护管理水平是保障桥梁耐久性的重要环节。首先,组建专业且高效的维护管理团队是基础。团队成员不仅要具备扎实的桥梁结构知识,熟悉各类桥梁病害特征与处理方法,还应掌握先进的检测与维修技术。例如,安排结构工程师负责评估桥梁结构健康状况,专业检测人员运用无损检测设备进行桥梁隐患排查,熟练的维修工人及时处理各类病害问题,确保团队具备全方位应对桥梁维护需求的能力^[7]。制定完善的维护管理计划是关键。依据桥梁类型、服役年限及所处环境,明确日常巡查、定期检查和专项检测的频率与重点。日常巡查侧重于桥梁外观,如桥面是否有杂物堆积、栏杆是否损坏等;定期检查则借助专业设备,深入检测桥梁结构内部状况,像混凝土强度、钢筋锈蚀程度等;专项检测针对特殊情况,如遭遇极端天气或重大交通事故后的桥梁安全评估。充足的资金投入是保障。合理分配资金用于桥梁清洁保养,及时清除桥面积水、灰尘及腐蚀性物质,防止其对桥梁结构造成侵蚀。同时,确保有足够资金用于病害维修与设施更换,一旦发现桥梁伸缩缝损坏、支座变形等问题,能迅速开展修复工作,避免小问题演变为大故障^[8]。

运用先进技术手段提升效率。利用无人机搭载高清摄像头,对桥梁进行快速全面巡检,获取难以到达区域的结构状况信息;借助智能传感系统,实时监测桥梁关键部位的应力、变形等参数,提前预警潜在安全隐患。建立信息化管理系统,整合桥梁建造、检测、维护等全过程数据。

3 结束语

桥梁设计中的耐久性面临着环境因素、材料腐蚀、设计缺陷、施工质量及维护管理不足等诸多挑战。环境的侵蚀、材料自身的腐蚀倾向,加上设计与施工环节的失误,以及后续维护管理的缺失,严重威胁着桥梁的耐久性与安全。然而,通过采取定期监测与评估、选择耐腐蚀材料、改进设计理念、增强施工质量控制以及提升维护管理水平等一系列优化对策,能够有效改善桥梁的耐久性状况。这些对策从设计、施工到运营维护的全流程出发,形成了一套完整的保障体系,为提升桥梁耐久性、延长其使用寿命、确保桥梁安全稳定运行提供了有力支撑,有助于推动桥梁建设事业的可持续发展。

参考文献:

- [1] 孙卓河.公路桥梁设计中的安全性和耐久性问题分析[J].运输经理世界,2024(26):131-133.
- [2] 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.
- [3] 赵莹,王建荣.新型材料在建筑和公路桥梁设计及检测中的应用[C]//《中国建筑金属结构》杂志社有限公司.2024新质生产力视域下智慧建筑与经济发展论坛论文集(四).哈尔滨市建筑工程研究设计院有限公司,北京特希达科技有限公司,2024.
- [4] 何童童.钢结构桥梁设计中的耐久性与腐蚀防护措施[J].新城建科技,2024,33(03):86-88.
- [5] 赵莹,王建荣.公路桥梁设计阶段的耐久性检测技术应用[C]//中国智慧工程研究会.2024工程技术与施工管理交流会论文集(上).哈尔滨市建筑工程研究设计院有限公司,北京特希达科技有限公司,2024.
- [6] 张峰.混凝土结构耐久性的公路桥梁变形安全控制方法[C]//中国智慧城市经济专家委员会.2023智慧城市建设论坛广州分论坛论文集.中铁一局集团第五工程有限公司,2023.
- [7] 朱喜.公路桥梁设计中的安全性和耐久性设计研究[J].运输经理世界,2022(24):117-119.
- [8] 韩新.公路桥梁设计中的安全性和耐久性问题分析[J].运输经理世界,2020(16):85-86.