

公路桥梁耐久性设计指标体系构建与应用分析

郭乾国

新疆维吾尔自治区交通运输厅规划设计研究中心 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 随着交通需求激增,公路桥梁耐久性设计愈发关键。本文聚焦公路桥梁耐久性设计指标体系,阐述其构建原则,涵盖科学性、系统性、动态性。明确核心指标,包括材料性能、结构设计、环境因素及使用维护指标。介绍构建方法,从确定评价目标到分析评价结果。探讨该指标体系的应用价值,指出其能提升桥梁设计水平、保障施工安全、延长使用寿命,推动桥梁管理科学化,为公路桥梁耐久性设计提供全面且系统的理论支撑与实践指导。

关键词: 公路桥梁;耐久性设计;指标体系;构建原则;应用价值

引言:公路桥梁作为交通基础设施的关键组成部分,其耐久性直接关系到交通运行的安全与效率。然而,受材料、设计、环境及使用维护等多因素影响,部分公路桥梁耐久性欠佳,出现早期损坏,不仅造成经济损失,还威胁公众安全。耐久性设计指标体系是保障桥梁耐久性的重要依据,科学构建该体系,可精准评估桥梁耐久性,指导设计与施工。因此,深入探究公路桥梁耐久性设计指标体系的构建与应用,对提升桥梁建设质量、保障交通畅通具有重要意义。

1 公路桥梁耐久性设计指标体系构建原则

1.1 科学性原则

科学性原则是公路桥梁耐久性设计指标体系构建的基石。它要求指标的选取、定义和计算方法必须基于科学理论和研究成果,符合桥梁工程学科的客观规律。指标应能准确反映桥梁耐久性的本质特征和内在机理,例如材料性能指标要依据材料科学原理确定,确保能真实体现材料对耐久性的影响。同时,指标体系构建过程要遵循严谨的科学方法,从数据收集、分析到模型建立,都要有科学依据,保证指标体系的科学性和可靠性,为准确评估桥梁耐久性提供坚实支撑。

1.2 系统性原则

系统性原则强调公路桥梁耐久性设计指标体系是一个有机整体。各指标之间并非孤立存在,而是相互关联、相互影响,共同构成一个完整的系统。指标体系应涵盖影响桥梁耐久性的各个方面,如材料、结构、环境和使用维护等,不能遗漏关键因素。同时,要合理确定各指标之间的层次结构和逻辑关系,使指标体系层次分明、结构清晰。通过系统性的指标体系,能够全面、综合地评估桥梁耐久性,避免片面性和局限性,为桥梁耐久性设计提供全方位的指导。

1.3 动态性原则

动态性原则考虑到公路桥梁耐久性会随时间、环境和使用条件的变化而改变。因此,指标体系不能是一成不变的,而应具备动态调整的能力。一方面,随着桥梁工程技术的不断发展和新材料、新工艺的应用,影响桥梁耐久性的因素也会发生变化,需要及时更新指标体系,纳入新的关键指标。另一方面,对于同一座桥梁,在不同使用阶段,其耐久性重点关注的方面也有所不同,指标体系应根据实际情况进行动态调整,以准确反映桥梁在不同时期的耐久性状况^[1]。

2 公路桥梁耐久性设计核心指标

2.1 材料性能指标

材料性能指标是公路桥梁耐久性设计的基础与关键。混凝土作为桥梁常用材料,其强度、抗渗性、抗冻性等指标至关重要。高强度混凝土可增强结构承载能力,良好的抗渗性能阻止有害物质侵入,抗冻性则保障在寒冷地区混凝土不受冻融破坏。钢材的屈服强度、抗拉强度、韧性等指标影响桥梁结构的安全性和耐久性,高强度且韧性好的钢材能更好抵抗荷载和环境作用。此外,外加剂和掺合料的质量也不容忽视,合适的外加剂可改善混凝土工作性能,优质掺合料能提升混凝土密实度和耐久性。

2.2 结构设计指标

结构设计指标对公路桥梁耐久性起着决定性作用。合理的结构形式是关键,如简支梁、连续梁、拱桥等不同结构形式,应根据桥梁跨径、地形地质等条件科学选择,以适应各种荷载和环境作用。结构尺寸设计要精确,保证构件有足够的截面尺寸和配筋率,增强结构承载能力和抗裂性能。细节设计也不容忽视,如伸缩缝、支座、连接部位等,这些部位易出现应力集中和病害,合理设计可减少病害发生。此外,结构的整体性和冗余度设计能提高桥梁在意外荷载或局部损坏时的安全性,

避免因局部破坏引发整体倒塌，通过优化结构设计指标，可有效提升桥梁的耐久性和安全性。

2.3 环境因素指标

环境因素指标是公路桥梁耐久性设计必须考虑的重要内容。气候环境方面，温度变化会引起桥梁结构的热胀冷缩，长期反复作用可能导致结构开裂和疲劳损伤；湿度变化会影响混凝土的碳化速度和钢材的锈蚀程度，高湿度环境会加速钢材锈蚀。化学环境方面，桥梁所处的土壤和水体中的化学物质，如氯离子、硫酸盐等，会侵蚀混凝土和钢材，降低结构耐久性。生物环境方面，某些微生物和植物的生长可能会对桥梁结构造成破坏。此外，交通荷载环境也会影响桥梁耐久性，频繁的重载交通会加速结构疲劳损伤。在设计时，需充分考虑这些环境因素，采取相应的防护措施，如采用耐腐蚀材料、设置防护层等，以减轻环境对桥梁耐久性的不利影响。

2.4 使用维护指标

使用维护指标对公路桥梁耐久性的保持和提升具有重要意义。合理的使用指标包括限制桥梁的荷载等级，避免超载车辆通行，减少因过载对结构造成的损伤；控制车速，降低车辆振动对桥梁的影响。维护指标方面，定期的检查是关键，通过全面细致的检查，及时发现桥梁结构的病害和损伤，如混凝土裂缝、钢材锈蚀等。根据检查结果制定针对性的维护计划，对于轻微病害进行及时修复，防止病害扩大；对于严重病害，需进行加固处理。同时，建立完善的桥梁管理档案，记录桥梁的设计、施工、使用和维护等信息，为桥梁的长期耐久性管理提供依据^[2]。

3 公路桥梁耐久性设计指标体系构建方法

3.1 确定评价目标

确定评价目标是构建公路桥梁耐久性设计指标体系的关键起始与核心导向。这一过程需全面综合桥梁用途、地理环境、设计使用年限及预期耐久性水平等因素。不同桥梁情况各异，评价目标也有所不同。交通要道上的大型桥梁，设计使用年限长，如100年，在高强度交通荷载与复杂环境耦合下，评价目标聚焦于保障结构在规定年限内的承载与耐久能力，降低维修频率与成本，像将维修频率控制在每10年一次以内。地处恶劣气候区的小型桥梁，设计使用年限50年，评价目标则侧重于抵御极端气候，如强风、暴雨、严寒等对结构的侵蚀破坏，保障基本使用功能。明确评价目标意义重大，能为后续指标选取、模型构建等环节指明方向，让指标体系围绕提升耐久性展开，使评价结果真实反映状况，为桥梁全生命周期管理提供科学支撑。

3.2 收集数据

收集数据作为构建公路桥梁耐久性设计指标体系的重要基石，其来源丰富多元。桥梁设计阶段的相关资料不可或缺，像结构设计参数、材料性能指标等，能清晰呈现桥梁的初始设计状态。比如某桥梁混凝土设计强度等级为C50，钢材屈服强度达400MPa，为后续分析提供基础。施工过程中的记录同样关键，施工工艺、质量控制数据等直接影响桥梁耐久性。如某桥梁混凝土浇筑时，振捣时间严格控制在20-30s，保障了混凝土密实性。运营期间的检测监测数据能实时反映桥梁状况，通过定期或实时检测，可获取结构性能、材料劣化程度等信息，某桥梁运营5年后混凝土碳化深度达5mm便是例证。此外，国内外规范标准、研究成果及类似桥梁耐久性经验数据也具有重要参考价值。

3.3 指标筛选与权重确定

指标筛选与权重确定在构建公路桥梁耐久性设计指标体系中起着关键作用。指标筛选要秉持科学性、系统性、动态性与可操作性原则，从众多影响桥梁耐久性的因素里，挑选出代表性、独立性与可量化性强的指标。可借助专家咨询，邀请10位以上桥梁工程领域专家评估；开展文献研究，查阅50篇以上相关论文报告；进行数据分析，对100组以上数据统计分析。通过这些方法去除冗余指标，让指标体系简洁且有效。权重确定体现各指标在评价桥梁耐久性时的重要程度。常用方法多样，层次分析法通过构建层次结构模型，将复杂问题分层，经两两比较确定相对重要性，如某桥梁耐久性评价中，以此确定各指标权重。熵权法依据指标数据变异程度确定，数据变异越大权重越高。

3.4 建立评价模型

建立评价模型是将筛选出的指标与确定的权重进行有机整合，以实现公路桥梁耐久性的量化评价。常见模型有多指标综合评价模型，如线性加权综合评价模型，它将各指标值乘以其对应权重后相加，得到综合评价得分，得分越高表明桥梁耐久性越好。例如，某桥梁材料性能指标得分为80分，权重为0.4；结构设计指标得分为70分，权重为0.3；环境因素指标得分为60分，权重为0.2；使用维护指标得分为90分，权重为0.1，则该桥梁综合评价得分为 $80 \times 0.4 + 70 \times 0.3 + 60 \times 0.2 + 90 \times 0.1 = 74$ 分。非线性加权综合评价模型考虑了指标间的非线性关系，能更精准地反映实际情况。模糊综合评价模型适用于处理具有模糊性的指标与评价问题，通过建立模糊隶属函数与模糊运算，得出桥梁耐久性的模糊评价结果。

3.5 评价结果分析

评价结果分析是对公路桥梁耐久性评价模型输出结果的深入解读与判断。首先要对评价得分进行科学分级,划分不同的耐久性等级,如优良、合格、不合格等,明确桥梁所处的耐久性状态。接着分析各指标对评价结果的贡献程度,找出影响桥梁耐久性的关键指标与薄弱环节。例如,若评价结果显示桥梁耐久性处于较低等级,且环境因素指标得分偏低,说明环境对桥梁耐久性产生了显著不利影响。针对分析结果,提出针对性的改进措施与建议,如优化结构设计、改进材料性能、加强环境保护等。同时,将评价结果反馈到桥梁的设计、施工与维护管理中,为后续类似桥梁建设提供经验参考,不断优化桥梁耐久性设计指标体系,持续提升桥梁的耐久性水平^[3]。

4 公路桥梁耐久性设计指标体系应用价值

4.1 提高桥梁设计水平

公路桥梁耐久性设计指标体系为桥梁设计提供了全面且科学的依据。在设计阶段,依据该指标体系,设计师能精准考量各种因素对桥梁耐久性的影响,如材料性能、结构形式、环境条件等。合理选择材料,优化结构布局,从源头上提升桥梁的耐久性。同时,指标体系明确了设计标准和要求,避免设计中的盲目性和随意性,促使设计更加规范、合理。这有助于提高桥梁设计的质量和可靠性,使桥梁在满足功能需求的同时,具备更好的耐久性能,适应复杂多变的使用环境。

4.2 保障桥梁施工安全

在桥梁施工过程中,耐久性设计指标体系发挥着重要的安全保障作用。施工人员可依据指标体系中的相关要求,严格控制施工质量。例如,按照材料性能指标选用合格材料,确保混凝土强度、钢筋质量等符合标准,避免因材料问题引发安全事故。同时,依据结构设计指标进行施工操作,保证结构尺寸精准、连接牢固,防止结构失稳。此外,对施工环境和工艺的把控也以指标体系为参考,减少施工中的安全隐患,为桥梁施工创造安全可靠的条件,保障施工人员的生命安全和工程的顺利进行。

4.3 延长桥梁使用寿命

公路桥梁耐久性设计指标体系聚焦于影响桥梁耐久性的关键因素,通过科学合理的设计和施工,能有效提升桥梁抵御各种破坏因素的能力。在材料方面,选用

耐久性好的材料,可减缓材料的劣化速度;在结构设计上,优化结构形式和构造细节,增强结构的整体性和抗裂性,降低结构损伤的概率。同时,考虑环境因素对桥梁的影响,采取相应的防护措施。这些措施综合作用,能有效延长桥梁的使用寿命,减少桥梁在服役期间的维修和加固次数,降低全寿命周期成本,提高桥梁的经济效益和社会效益。

4.4 促进桥梁管理科学化

公路桥梁耐久性设计指标体系为桥梁管理提供了明确的标准和依据,促进了桥梁管理的科学化。在桥梁检测监测中,可依据指标体系确定检测项目和频率,准确评估桥梁的耐久性状况。根据评价结果,制定针对性的维护计划和决策,合理安排维护资金和资源。同时,指标体系有助于建立桥梁管理档案,记录桥梁的设计、施工、检测、维护等信息,实现桥梁信息的动态管理和共享。通过科学的管理手段,及时发现和处理桥梁存在的问题,保障桥梁的安全运营,提高桥梁管理的效率和质量,推动桥梁管理向规范化、精细化方向发展^[4]。

结束语

公路桥梁耐久性设计指标体系的构建与应用,是保障桥梁安全、提升工程效益的关键举措。通过科学确定评价目标、全面收集数据、精准筛选指标与确定权重、合理建立评价模型,构建起一套完备的指标体系。其在提高桥梁设计水平、保障施工安全、延长使用寿命以及促进管理科学化等方面,展现出显著的应用价值。未来,随着技术不断进步与需求持续变化,需进一步优化指标体系,强化其适应性。持续推动该体系在公路桥梁领域的广泛应用,将为我国交通基础设施的可持续发展筑牢坚实根基。

参考文献

- [1]李伟,赵晨.混凝土桥梁耐久性研究现状及发展趋势[J].建筑科学,2023,39(4):56-62.
- [2]陈明,黄强.桥梁结构耐久性分析及优化设计研究[J].土木工程学报,2024,51(3):45-52.
- [3]王海,李敏.环境因素对桥梁耐久性影响的探讨[J].现代建筑,2024,30(1):24-30.
- [4]杨超.公路桥梁设计中的安全性及耐久性分析[J].住宅与房地产,2021(16):91-92.