

# 桥梁与隧道工程的耐久性分析及维护管理策略

马世琛

云南航天工程物探检测股份有限公司 云南 昆明 650200

**【摘要】：**桥梁与隧道工程在交通运输体系内发挥着关键作用，具体可以发挥的作用受耐久性影响较大，应通过有效的维护管理予以确保。研究面向新形势，目的在于探讨桥梁隧道工程的耐久性分析与维护管理策略。经文献研究可知，桥梁与隧道工程的耐久性可能受到多元要素的影响，可能难以长时间维持预期水平。就现状而言，桥梁与隧道工程维护管理的现实价值仍然较为可观，同时实践中难免出现各类挑战。因而应正视桥梁与隧道工程的耐久性，围绕确保耐久性重新审视并创新维护管理，以便更加有效地提升维护管理质效，为工程耐久性的确保与提升创造有利的条件。

**【关键词】：**桥梁隧道；工程耐久性；耐久性分析；维护管理

DOI:10.12417/2705-0998.25.22.013

## 引言

在国内交通运输体系现代化发展的过程中，桥梁与隧道的建设数量持续增多，可以作为体系基本组成部分发挥积极作用。桥梁与隧道工程的耐久性较为关键，可能影响交通安全，也有可能作用于交通通畅度和驾驶员生命财产安全。随着使用年限增加，桥梁与隧道工程结构性性能的退化在所难免，出于确保交通安全的考量，解决耐久性问题显得尤为关键。建成并投入使用后，桥梁与隧道工程将会受到多方面影响要素的作用，在耐久性方面出现问题。因而可以从耐久性分析出发，全方位梳理可能影响桥梁与隧道工程耐久性的各类要素，采取针对性策略提升维护管理质效。

## 1 桥梁与隧道工程耐久性的影响要素分析

为更加深入地探讨桥梁与隧道工程的维护管理策略，应先从工程施工原料性能、工程的设计与施工、工程所在自然环境以及交通荷载持续增多等方面出发，分析影响工程耐久性的要素，为后续分析研究指明方向。

### 1.1 工程施工原料性能

分析目前高速公路桥梁和隧道的运营现状可知，工程施工所用原料的性能是影响工程耐久性的一大要素<sup>[1]</sup>。一方面是桥梁与隧道工程施工阶段所用原料本身性能不佳，使得工程投入使用后更易在耐久性方面遭遇问题。应用于桥梁与隧道工程的施工原料应具备较高性能，如沥青应兼具集料粘附性、低温抗裂性和高温稳定性，如水泥混凝土应在强度、抗冻性和抗渗性等方面达标，否则将会影响工程耐久性。另一方面是施工原料性能退化。如长时间暴露在空气中，工程混凝土容易在二氧化碳等气体的化学性侵蚀下出现碳化问题，威胁工程整体的耐久性。

### 1.2 工程的设计与施工

对于桥梁与隧道工程的耐久性而言，工程设计与施工同样关键，可以产生决定性的影响。在工程设计阶段，应综合考虑桥梁与隧道所在气候地质条件，合理提升结构选型与环境条件

的适配性，妥当处理计算参数取值，以确保工程可以应对服役期内的应力条件，预防耐久性风险。反之，工程设计将会显著影响耐久性。在工程施工阶段，应从严基于设计方案确保各作业环节有序落实，确保作业质量。如混凝土振捣密实度，如钢筋保护层厚度，再如防水层施工质量，把控不严时均会影响工程投入使用后的耐久性。

### 1.3 工程所在自然环境

桥梁与隧道工程所在自然环境有可能严重影响结构整体安全性和耐久性，甚至达不到设计寿命提前破坏，造成巨大经济损失和资源能源浪费<sup>[2]</sup>。相较于常规道路，桥梁与隧道工程所处的自然环境往往更为复杂，降水、温度变化和冻融循环等均会作用于工程耐久性，使得所用施工原料频繁处于干湿交替或是热胀冷缩等状态，更有可能出现结构裂缝。如冻融循环，在气候寒冷地区更容易使得工程混凝土内部孔隙中的水分反复冻结并融化，难免在结构内产生膨胀压力，破坏内部结构，降低结构强度，或是引发表面开裂剥落，对工程耐久性产生不利的影响。

### 1.4 交通荷载持续增多

随着各地开始关注并提升经济发展质量，交通运输量稳步提升带动交通运输网络持续拓展升级，通行车辆的数目与日俱增，难免为道路桥梁与隧道工程带来更大的交通荷载。尤其是重型工程机械及大型运输车辆等高载重车辆，更是会对桥梁与隧道工程的结构带来更高的荷载，对工程整体的耐久性产生威胁。更高的交通荷载既会推动桥梁与隧道工程的静态动态荷载增大，也会使得工程结构内部应力分布出现复杂的变化，有可能持续积累疲劳性的损伤，诱发施工原料性能退化问题，轻则出现裂纹或断裂等病害，重则引发工程整体的结构性问题。

## 2 桥梁与隧道工程维护管理的价值与挑战

实践表明，桥梁与隧道工程维护管理具备可观的现实价值，同时难免遭遇挑战，应更加全面地梳理工程维护管理的价值与挑战，为基于耐久性分析采取维护管理策略的尝试做足铺

垫。

## 2.1 桥梁与隧道工程维护管理的价值

### 2.1.1 确保并延长工程的使用寿命

桥梁与隧道工程维护管理极具现实价值，既可确保并延长工程的使用寿命，也可预防有可能发生的安全事故，提高结构的承载力和耐久性，防止产生裂缝和减少结构变形<sup>[3]</sup>。桥梁与隧道工程本身处在复杂的自然环境，需要面对同样复杂的受力，也容易受到施工原料方面的限制，难免产生病害问题。而通过有效开展维护管理，不仅可以在出现病害问题后及时修复和加固，增强工程的耐久性，还可以基于耐久性分析尝试开展预防性的维护与检修，直接规避病害问题的发生，确保并延长工程实际的使用寿命。

### 2.1.2 预防有可能发生的安全事故

在交通运输体系实际的运作过程中，桥梁与隧道工程发挥着关键作用，同时容易在环境、荷载等要素的作用下出现安全事故。而有效的维护管理包含定期检查监测，可以常态化确认工程运作状况，及早发现可能威胁工程耐久性的致命缺陷，通过及时检修维护预防有可能发生的安全事故。如桥梁，裂缝拓展、伸缩缝损坏、钢筋严重腐蚀、预应力筋松弛断裂等，均有可能构成安全事故的诱因。如隧道，背后空洞、渗透水加剧、围岩变形松动等，也会引发安全事故。有效维护管理则可在一定程度上控制上述病害的影响，为安全事故预防提供支持。

## 2.2 桥梁与隧道工程维护管理的挑战

现有普通干线公路桥梁与隧道普遍存在建设年代久远、设计标准低、耐久性不足的情况，以至于工程维护管理更容易遭遇多方面的挑战<sup>[4]</sup>。一方面是高质量技术人才。桥梁与隧道工程的维护管理更为复杂，需要技术人员具备较高的技术水平，而现阶段高质量人才多集中在工程的设计、施工和检测等环节，工程维护管理人才质量仍有待提升。另一方面是新型维护管理技术。在科技创新的驱动下，工程维护管理技术持续革新，可以为维护管理提供更为坚实的保障。而技术应用最终需要由技术人员落实，有可能出现技术应用效果不佳的挑战。

## 3 基于耐久性分析的桥梁与隧道工程维护管理策略

在实际地基于耐久性分析创新桥梁与隧道工程维护管理时，应优先把控工程加固原料以及工艺的选择，在检测分析耐久性并针对性维护管理的基础上，围绕耐久性分析开展预防性的维护，尝试采用多种技术手段修复已出现裂缝，探索如何推动工程维护管理实现智能化转型，更加科学地采取策略提升维护管理的质效，为桥梁与隧道工程耐久性提供保障。

### 3.1 把控工程加固原料以及工艺的选择

桥梁和隧道等民用基础设施性能的劣化已成为社会关注焦点，应重视配套维护管理中的加固作业，通过把控原料工艺

选择增强加固效果，确保工程耐久性可以达到预期<sup>[5]</sup>。桥梁与隧道工程加固主要是指发现结构损伤或出于提升承载力考量所开展的维护管理作业，可以有效恢复工程的耐久性，而实际作业效果同时受加固原料和加固工艺的影响。桥梁与隧道工程可能遭遇的结构损伤较为多样，应基于明确的结构损伤判定开展针对性加固。如可引入现代化的碳纤维加固工艺，选择碳纤维和树脂基胶结材料作为加固原料，充分发挥碳纤维在高强度和高模量方面的优势，结合工程实际情况分析当前的耐久性，针对性加固现有的混凝土结构，提升其承受力。为确保该加固工艺的落实情况，还应关注加固作业的细节化管理。如全面清理待加固部分的混凝土表面，确保无任何外露锈蚀钢筋。再如严格控制环境温湿度条件，确保加固原料可以正常固化。

### 3.2 检测分析耐久性并针对性维护管理

为基于耐久性分析结论创新优化桥梁与隧道工程维护管理，还应高度重视围绕工程耐久性的检测与分析，确保分析结论可以真实反映工程当前的耐久性，提升维护管理的针对性。一是应关注桥梁与隧道在正常交通和外力作用下的结构响应，明确分析其力学表现。二是应基于结构响应状况，评估桥梁与隧道在强风、地震或突发事故下可能出现的受损程度。三是应关注桥梁与隧道的构件耐久性，着重分析构件当前的疲劳状况。四是应关注影响桥梁与隧道的非结构性重要构件，如桥梁支座或斜拉桥的振动控制系统所处的功能状态。检测项目具体应同时覆盖钢筋分布、混凝土强度、钢筋锈蚀程度以及混凝土保护层厚度等，根据桥梁与隧道实际所处环境选择适配的技术手段开展检测，分析工程的耐久性，以便支持针对性维护管理的有效开展。

### 3.3 围绕耐久性分析开展预防性的维护

随着路桥隧的数量不断增加，众多路桥隧设施需要得到管养，以保障路桥隧的安全性和使用寿命<sup>[6]</sup>。桥梁与隧道工程耐久性分析可以真实反映工程当前所处状态，为技术人员开展预防性维护提供可参考的依据，通过预防病害或结构性问题控制其影响，确保并提升预防性维护的实效性。如可从表层防护出发开展预防性维护，针对桥梁的表层防护主要可以采用涂层、防水层和裂隙密封等技术手段，实现工程结构与外部环境要素的有效隔离。如防水层，可以将防水涂料喷涂于桥梁表面，通过形成防水涂膜增强桥面的防水效果和抗剪切能力。再如基于无损检测与渗透精准治理的隧道预防性维护，可基于探地雷达、红外热成像、超声断层扫描等手段检测隧道混凝土劣化情况，判断隧道当前的耐久性，以便基于隧道所在地水文地质模型预测可能的渗流路径，采用复合注浆法实现针对性的精准渗漏治理。

### 3.4 采用多种技术手段修复已出现裂缝

经桥梁与隧道工程耐久性分析可知，裂缝属于最为常见的

病害问题，既是进一步损伤结构引发安全事故的风险源，也是工程维护管理工作的重点内容。为基于耐久性分析优化维护管理，还应高度重视裂缝病害的有效修复。在实践中，填充法、灌浆法、喷涂法、粘结钢板法以及表面封闭法均是可选技术手段，应全面分析桥梁与隧道工程当前实际的耐久性，实事求是地选择更具适配性的技术手段修复裂缝，预防裂缝病害的负面影响进一步扩大。如针对普通裂缝，表面封闭法较为适用，可有效阻止水气或空气等继续侵入裂缝。

### 3.5 推动工程维护管理实现智能化转型

随着近年大型城市发展市政道路，桥梁、隧道在重要交通节点中发挥的作用越发可观<sup>[7]</sup>。为基于耐久性分析优化桥梁与隧道工程的维护管理，还应关注新型技术要素应用，通过推动维护管理智能化转型探索创新。如可整合特定工程既往的耐久性分析和维护管理等相关数据，构建基于耐久性分析的维护管理大数据，由此训练人工智能，确保人工智能可以基于后续输入的数据自动化分析工程的耐久性变化，同时智能化输出可供

技术人员参考的多套备选维护管理方案，帮助技术人员提升维护管理的质效和针对性。因而应持续跟进桥梁与隧道工程维护管理智能化转型相关的理论研究和实践经验，为提升工程耐久性提供技术支持。

### 4 结语

综上所述，在社会经济整体转向高质量发展的新形势下，各地开始关注区域经济的发展质量，带动区域内交通运输量不断攀升，难免对现有交通运输体系造成一定的冲击。道路桥梁与隧道工程是交通运输体系的重要组成部分，在很多地区发挥着独特的支撑作用，是保障交通运输的核心物质保障。而桥梁与隧道工程的耐久性容易受到多方面影响要素的作用，容易出现病害或结构受损，应高度重视耐久性分析，把握可能影响工程实际耐久性的要素。期间，工程的配套维护管理向来占据着关键地位，应基于耐久性分析重新审视维护管理现状，以确保耐久性为前提创新优化。

### 参考文献：

- [1] 彭涛,李彭.高速公路桥梁与隧道病害检测与维护措施[J].四川建筑,2023,43(01):86-88.
- [2] 刘志勇,周继元,户广旗,等.严酷环境下工程结构耐久性提升成套技术及应用[J].中国科技成果,2022,23(18):8-9.
- [3] 康超.公路桥梁隧道工程施工中灌浆法加固技术的应用[J].工程建设 (维泽科技),2023,6(04):135-137.
- [4] 杨润超,缴刚,付振宇.普通干线公路桥梁与隧道养护管理科学决策技术研究[J].北方交通,2023,(03):92-94.
- [5] 赵荣欣,王枫,吴华勇,等.桥梁病害自动检测研究综述[J].施工技术 (中英文),2023,52(09):1-6.
- [6] 钟娟娟,徐亮.路桥隧的运维集成和协同调度系统研究[J].现代信息科技,2022,6(24):104-107.
- [7] 辛奇峰.基于深度学习的目标检测技术在隧道运维中的应用研究[J].中国市政工程,2021,(03):66-70+124,125.