

大跨度拱桥吊杆锈蚀状况检测与寿命评估初探

郭伟

湖北交投智能检测股份有限公司 湖北 武汉 430000

【摘要】：大跨度拱桥吊杆在长时间使用过程中，因受到环境因素和载荷作用，容易发生锈蚀，进而影响桥梁的结构安全性。本文提出了一种基于多种检测方法的吊杆锈蚀检测与寿命评估技术。通过结合视觉检测、声波检测、电化学方法和磁力探伤技术，准确评估吊杆锈蚀程度，并利用腐蚀模型对吊杆的剩余使用寿命进行预测。研究表明，锈蚀对吊杆的强度、刚度及疲劳性能产生显著影响，及时评估吊杆的锈蚀状况有助于制定合理的桥梁维护决策。本研究为大跨度拱桥的长期安全运行提供了科学依据与技术支持。

【关键词】：大跨度拱桥；吊杆锈蚀；检测方法；寿命评估；腐蚀模型

DOI:10.12417/2811-0528.26.03.046

引言

大跨度拱桥作为重要的交通基础设施，其结构安全性直接影响到人们的出行安全。在桥梁的各个结构中，吊杆作为承重和稳定的关键部件之一，随着时间的推移，其表面会受到环境因素的侵蚀，导致锈蚀现象的发生。吊杆的锈蚀不仅影响桥梁的承载能力，也缩短了其使用寿命。因此，如何对吊杆的锈蚀状况进行准确检测，并基于锈蚀状况评估吊杆的剩余寿命，成为桥梁工程中的重要课题。本文旨在探讨适用于大跨度拱桥吊杆的锈蚀检测方法，并结合寿命评估技术，为桥梁的健康管理与维护提供新的思路和实践依据。

1 吊杆锈蚀检测方法的研究与应用

吊杆的锈蚀往往表现为表面腐蚀、裂纹扩展以及内部腐蚀，这些都可能对桥梁结构的安全性产生深远影响。针对吊杆的锈蚀检测不仅要考虑表面腐蚀的程度，还需要关注锈蚀对吊杆内部结构的潜在破坏。常见的检测方法包括视觉检测、声波检测、电化学检测以及磁力探伤等。视觉检测是一种直观且常用的手段，但其仅能发现表面较为明显的锈蚀，且受限于检查人员的经验和检测环境的影响，容易出现漏检的情况。对于隐蔽部分，传统的检测方法存在一定局限性。为了克服这些局限，采用声波检测技术能够更好地探测吊杆内部的裂纹和腐蚀情况。声波检测通过发射超声波信号，测量波的反射时间与强度，从而判断吊杆的完整性和锈蚀深度，这对发现潜在的结构性缺陷具有较高的敏感性。

电化学检测方法则通过测量吊杆的电化学反应特性，评估其腐蚀情况^[1]。这种方法能够实时监测金属表面的腐蚀速率，并在一定程度上预测吊杆的剩余寿命。磁力探伤技术则适用于检测吊杆表面与内部的裂纹以及局部锈蚀的分布，利用磁场的变化来识别吊杆内部的损伤。这些检测技术在大跨度拱桥的应用中，能够为吊杆锈蚀评估提供准确的检测数据，进而帮助工

程师评估桥梁的安全状态，并制定相应的维护与加固策略。综合应用多种检测方法，可以大大提高锈蚀评估的准确性和可靠性，确保桥梁结构在长期使用中的安全性与稳定性。见图1所示。

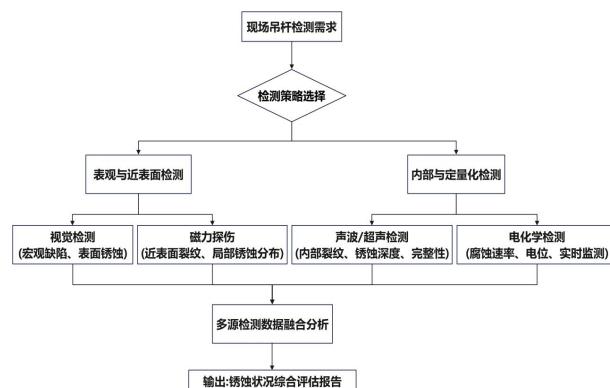


图1 吊杆锈蚀综合检测技术路线图

2 吊杆锈蚀对桥梁安全性的影响分析

吊杆的锈蚀对桥梁安全性的影响不可忽视，特别是大跨度拱桥在长时间使用过程中，吊杆作为承载与稳定的重要部件，锈蚀问题会引发一系列结构性安全隐患。锈蚀直接改变了吊杆的机械性能，降低了其承载能力。随着锈蚀进程的推进，吊杆表面金属层逐渐被腐蚀，形成微小的孔洞和裂缝，这些腐蚀损伤将导致吊杆的强度逐渐减弱，承载能力下降。长期的锈蚀甚至可能引发吊杆的断裂或失效，直接危及桥梁的整体稳定性。锈蚀对吊杆的疲劳性能有显著影响。在桥梁的使用过程中，吊杆不仅承受静载荷，还会受到车辆通过产生的动载荷。锈蚀区域的出现使得吊杆表面不再光滑，产生应力集中，从而加剧了疲劳裂纹的形成与扩展。随着锈蚀程度加剧，裂纹的扩展速度加快，吊杆的疲劳寿命明显缩短。这种情况一旦发生，吊杆在承受一定程度的荷载后可能会出现突发性破坏，严重威胁桥梁

的安全。

锈蚀还可能导致吊杆的腐蚀疲劳相互作用，形成更为复杂的损伤机制。腐蚀引发的裂纹不仅降低了吊杆的抗拉强度，也使得吊杆更容易受到外界环境和载荷的影响，造成更大的结构变形^[2]。腐蚀区域的扩展会导致吊杆的刚度和韧性降低，影响桥梁的整体变形性能和稳定性。当吊杆的受力情况发生变化时，可能引起桥梁结构的失稳或变形，进一步威胁桥梁的使用安全。对于大跨度拱桥来说，吊杆锈蚀对安全性的影响尤为突出。

3 吊杆锈蚀寿命评估及其应用于桥梁维护决策

吊杆锈蚀寿命评估是桥梁维护中的关键环节，通过对吊杆锈蚀过程的预测，可以为桥梁的维护决策提供科学依据。吊杆的腐蚀速率受到多种因素的影响，包括环境湿度、温度、盐雾以及交通荷载等。为了评估吊杆的剩余使用寿命，首先需要准确地测量其锈蚀深度和腐蚀速率。腐蚀模型的应用能够对这些因素进行量化，从而预测吊杆在未来一段时间内的损伤程度。目前，寿命评估通常依赖于电化学方法、结构损伤模型以及腐蚀速率的实时监测数据。电化学方法可以实时监测吊杆的腐蚀电流密度和电位，从而为腐蚀程度提供定量分析。这一方法结合吊杆的几何形状、金属材质及其所处的环境条件，能够准确估算吊杆的腐蚀速率。在此基础上，通过长期的监测数据，构建腐蚀预测模型，进而对吊杆的寿命进行评估。

结构损伤模型则侧重于模拟锈蚀对吊杆力学性能的影响。通过分析吊杆的应力状态和腐蚀程度，评估吊杆在不同荷载作用下的失效概率。通常，模型会结合金属的疲劳性能和腐蚀进程，得出吊杆在不同腐蚀状态下的剩余强度。这种方法能够帮助评估不同腐蚀条件下吊杆的安全使用期限，尤其在面对桥梁

长期负载和环境变化时，能够有效预测吊杆的使用寿命。寿命评估的过程还需要考虑到维修周期的因素。桥梁的吊杆虽然经历了长期的负载作用，但并不意味着其所有部件都会同时达到失效状态^[3]。综合考虑吊杆的局部腐蚀与整体寿命，评估模型可以帮助确定最佳的维护和加固时机。通过定期检测和评估，可以避免吊杆在未达到临界损伤状态之前发生突发性损坏，为桥梁的维护决策提供依据。

基于锈蚀寿命评估结果，桥梁管理者能够制定出合理的养护方案，确保桥梁在高风险条件下能够得到及时地维护与加固。若某些吊杆的腐蚀程度较严重且影响了结构的安全性，维护决策应优先考虑这些部分，进行必要的修复或更换。对于其他锈蚀较轻的吊杆，则可以延长其使用寿命，减少不必要的开支。在桥梁生命周期管理中，合理的维护决策不仅能够延长桥梁的使用寿命，还能显著降低事故发生的风险。桥梁的维护与管理工作需要依赖科学的技术手段与数据支持，通过对吊杆锈蚀寿命的精准评估，不仅能够提供对吊杆健康状态的全面了解，还能够在保证桥梁安全的前提下，优化资源配置和预算管理。通过定期的检测、科学的寿命评估以及合理的决策支持，能够大幅提升桥梁结构的稳定性与安全性，确保其长期服务于交通运输系统。

4 结语

吊杆的锈蚀问题对大跨度拱桥的安全性构成了重要挑战，通过有效的检测方法与寿命评估，可以为桥梁的维护提供科学依据。采用现代技术手段，结合腐蚀模型和结构损伤分析，能够精确预测吊杆的剩余使用寿命，进而为桥梁健康管理提供有力支持。随着对吊杆锈蚀及其影响机制的不断深入理解，将为桥梁的长期运行与安全维护提供更加可靠的技术保障。

参考文献：

- [1] 刘文硕,李昂,王海龙,等.大跨度坦拱桥拱脚钢-混结合段模型试验研究[J/OL].华南理工大学学报(自然科学版),1-9[2025-12-18].
- [2] 谢燕楠.吊杆锈蚀对大跨径钢箱系杆拱桥地震响应的影响[J].交通世界,2025,(25):168-170.
- [3] 唐熙,黄丹丹.吊杆锈蚀对吊杆拱桥承载能力影响分析[C]//广西网络安全和信息化联合会.第八届工程技术管理与数字化转型学术交流会论文集.四川眷诚土木工程有限公司;成都顺发恒基建筑工程有限公司,2025: 552-556.