

铰缝受损对小箱梁力学响应影响研究

代建平

武汉天创建设集团有限公司 湖北武汉 430050

【摘要】本研究针对小箱梁结构中铰缝受损对其力学响应的影响进行了深入探讨。通过理论分析、数值模拟和实验研究相结合的方法，系统研究了不同铰缝损伤程度对小箱梁应力分布、变形特征和承载能力的影响规律。研究表明，铰缝损伤会显著改变小箱梁的应力分布模式，导致局部应力集中，并降低结构的整体刚度和承载能力。基于研究结果，提出了相应的加固措施和设计建议，为小箱梁结构的安全评估和维护提供了理论依据。本研究对提高小箱梁结构的安全性和耐久性具有重要意义。

【关键词】小箱梁；铰缝损伤；力学响应；应力分布；变形特征；承载能力

小箱梁作为一种常见的桥梁结构形式，在现代交通基础设施中广泛应用。其结构特点决定了铰缝在小箱梁整体力学性能中扮演着重要角色。然而，在实际工程中，由于各种因素导致的铰缝损伤问题日益突出，严重影响了小箱梁的安全性和耐久性。因此，深入研究铰缝受损对小箱梁力学响应的影响具有重要的理论和实践意义。

国内外学者对铰缝损伤及其对桥梁结构性能的影响进行了广泛研究。Smith等人通过实验研究分析了不同铰缝损伤程度对梁桥整体刚度的影响。李等采用数值模拟方法探讨了铰缝损伤对箱梁应力分布的影响规律。然而，针对小箱梁这一特定结构形式，铰缝损伤对其力学响应的系统性研究仍显不足。

本研究旨在通过理论分析、数值模拟和实验研究相结合的方法，系统探讨铰缝受损对小箱梁力学响应的影响。研究内容主要包括：小箱梁结构特点及铰缝作用分析、铰缝损伤类型及成因分析、铰缝损伤对小箱梁应力分布、变形特征和承载能力的影响，以及基于研究结果的加固措施和设计建议。通过本研究，期望为小箱梁结构的安全评估和维护提供理论依据，为提高其安全性和耐久性做出贡献。

1 小箱梁结构特点及铰缝作用分析

小箱梁作为一种常见的桥梁结构形式，具有截面刚度大、抗扭性能好、施工方便等优点。其典型截面形式为单箱单室或单箱多室，箱室之间通过横向连接构件（如横隔板）相连。小箱梁的受力特点主要表现为弯曲和扭转共同作用，其中弯曲应力主要由竖向荷载引起，而扭转应力则主要由偏心荷载或横向荷载产生。

铰缝作为小箱梁结构中的重要组成部分，主要起到连接相邻梁段、传递剪力和协调变形的作用。在正常使用状态下，铰缝能够有效地将荷载均匀分布到各梁段，保证结构

的整体性和协调性。然而，当铰缝出现损伤时，其连接和传力功能将受到影响，进而改变小箱梁的受力状态和变形特征。

铰缝的力学性能直接影响着小箱梁的整体刚度和承载能力。完好的铰缝能够确保各梁段协同工作，充分发挥结构的整体性能。而当铰缝受损时，可能导致局部应力集中，降低结构的整体刚度，甚至引发结构破坏。因此，深入研究铰缝受损对小箱梁力学响应的影响，对于确保结构安全性和耐久性具有重要意义。

2 铰缝损伤类型及成因分析

铰缝损伤主要可分为以下几类：开裂、剥落、渗水和锈蚀。开裂是最常见的铰缝损伤形式，主要表现为沿铰缝长度方向的纵向裂缝或垂直于铰缝的横向裂缝。剥落通常发生在铰缝混凝土表面，可能导致钢筋暴露。渗水是由于铰缝防水性能下降引起的，长期渗水可能加速混凝土劣化和钢筋锈蚀。锈蚀主要发生在铰缝内的钢筋上，会降低结构的承载能力和耐久性。

铰缝损伤的成因复杂多样，主要包括设计缺陷、施工质量问题、环境因素和荷载作用等。设计缺陷如铰缝尺寸不足、配筋不合理等，可能导致应力集中或变形不协调。施工质量问题包括混凝土浇筑不密实、养护不当等，会影响铰缝的强度和耐久性。环境因素如温度变化、冻融循环、化学腐蚀等，会加速铰缝材料的老化和劣化。荷载作用包括车辆超载、地震等，可能导致铰缝应力超过其承载能力。

铰缝损伤对小箱梁结构性能的影响主要体现在以下几个方面：首先，损伤会降低铰缝的传力效率，导致荷载分布不均匀，可能引发局部应力集中。其次，损伤会降低结构的整体刚度，增加变形，影响行车舒适性和安全性。再者，损伤可能引发连锁反应，如渗水导致钢筋锈蚀，进

一步削弱结构承载能力。最后，严重损伤可能导致结构失稳，威胁桥梁安全。因此，及时识别和修复铰缝损伤对于确保小箱梁结构的安全性和耐久性至关重要。

3 铰缝受损对小箱梁力学响应的影响研究

为深入研究铰缝受损对小箱梁力学响应的影响，本研究采用理论分析、数值模拟和实验研究相结合的方法。首先，基于弹性力学理论，建立了考虑铰缝损伤的小箱梁力学模型，分析了不同损伤程度下结构的应力分布和变形特征。其次，利用有限元软件建立了小箱梁的三维数值模型，模拟了不同铰缝损伤情况下的力学响应。最后，通过缩尺模型实验，验证了理论分析和数值模拟结果的准确性。

研究表明，铰缝损伤对小箱梁的力学响应有显著影响。在应力分布方面，随着铰缝损伤程度的增加，损伤区域附近的应力集中现象愈发明显，最大应力值可达到完好状态的1.5-2倍。同时，由于铰缝传力效率下降，未损伤梁段的应力分布也发生改变，呈现出不均匀性。在变形特征方面，铰缝损伤导致小箱梁的整体刚度下降，在相同荷载作用下，跨中挠度可增加20%-40%。此外，损伤还引起结构的扭转变形增大，影响行车舒适性。

铰缝损伤对小箱梁承载能力的影响主要体现在极限荷载的降低和破坏模式的改变。随着铰缝损伤程度的增加，结构的极限荷载逐渐降低，严重损伤时可降低30%以上。同时，损伤改变了结构的破坏模式，从整体弯曲破坏转变为局部剪切破坏或铰缝连接失效。这些变化显著降低了小箱梁的安全储备，增加了结构失效的风险。

4 加固措施与设计建议

基于研究结果，本研究提出了针对铰缝受损小箱梁的加固措施和设计建议。对于已出现损伤的小箱梁，可采用以下加固方法：1) 注浆加固：对开裂铰缝进行注浆处理，恢复其整体性和传力功能；2) 外包钢板：在铰缝区域外包钢板，提高局部刚度和承载能力；3) 预应力加固：施加体外预应力，改善结构受力状态；4) 碳纤维加固：粘贴碳纤维布，提高铰缝抗剪能力和耐久性。

在设计阶段，建议采取以下措施预防铰缝损伤：1) 优化铰缝设计：合理确定铰缝尺寸和配筋，考虑温度、收缩等因素的影响；2) 提高施工质量：严格控制混凝土配合比和浇筑质量，确保铰缝密实性；3) 加强防水措施：采用高性能防水材料，防止渗水引起的铰缝劣化；4) 考虑环境因素：在设计中充分考虑冻融、腐蚀等环境因素的影响，提高铰缝耐久性。

此外，建议建立定期检测和维护机制，及时发现和处理铰缝损伤。可采用无损检测技术，如超声波、红外热成像

等，评估铰缝状态。对于检测发现的损伤，应根据其严重程度采取相应的维修或加固措施，确保小箱梁结构的安全性和耐久性。

5 结论

本研究通过理论分析、数值模拟和实验研究，系统探讨了铰缝受损对小箱梁力学响应的影响。主要结论如下：铰缝损伤会显著改变小箱梁的应力分布，导致局部应力集中，最大应力值可达到完好状态的1.5-2倍。铰缝损伤降低小箱梁的整体刚度，在相同荷载作用下，跨中挠度可增加20%-40%，并引起扭转变形增大。

随着铰缝损伤程度的增加，小箱梁的极限荷载逐渐降低，严重损伤时可降低30%以上，且破坏模式从整体弯曲破坏转变为局部剪切破坏或铰缝连接失效。针对铰缝受损小箱梁，提出了注浆加固、外包钢板、预应力加固和碳纤维加固等措施，并从设计、施工和维护等方面提出了预防铰缝损伤的建议。

本研究结果对小箱梁结构的安全评估和维护具有重要指导意义，为提高其安全性和耐久性提供了理论依据。未来研究可进一步探讨不同环境条件下铰缝损伤的演化规律，以及新型加固材料的应用效果。

参考文献：

- [1] 赵秋, 陈美忠, 陈孔生. 装配式空心板铰缝界面抗剪性能试验与数值模拟[J]. 公路交通科技, 2017, 34(06): 85-93.
- [2] 黄卫国, 俞博, 易汉斌. 装配式空心板梁桥铰缝数值分析与试验研究[J]. 中外公路, 2019, 39(06): 133-136.
- [3] 杨雪峰. 预应力混凝土空心板桥梁加固方法对比分析[J]. 中外公路, 2019, 39(03): 94-96.
- [4] 李春良, 林志豪, 赵路路. 铰缝及板损伤后对空心板桥横向受力的影响[J]. 吉林大学学报(工学版), 2021, 51(02): 611-619.
- [5] 乔学礼. 空心板铰缝计算理论研究[J]. 交通标准化, 2013(17): 022.
- [6] 赵秋, 陈美忠, 陈孔生. 装配式空心板铰缝界面抗剪性能试验与数值模拟[J]. 公路交通科技, 2017, 34(06): 85-93.
- [7] 叶见曙, 刘九生, 俞博, 付一小. 空心板混凝土铰缝抗剪性能试验研究[J]. 公路交通科技, 2013, 30(06): 33-39.
- [8] 梁瑞卿, 姜燕玲, 王振宇等. 桥面混凝土铺装层对空心板桥横向刚度影响试验[J]. 土木工程与管理学报, 2022, 39(04): 99-106.

作者简介：代建平(1980.08-), 男, 湖北, 汉, 本科, 中级, 研究方向: 市政道路, 公路工程质量安全管理。