

古代桥梁结构裂缝的检测与成因分析

黄杰 谢锦 朱荣兴 李继伟 (通讯作者)

广州城市职业学院 智慧城建学院 广东广州 510641

【摘要】古代桥梁作为历史文化遗产的关键组成部分,承载着丰富的社会、文化和工程技术信息。然而,随着时间的推移,古代桥梁在自然环境与人为因素的双重作用下,逐渐出现了裂缝等结构性问题。对古代桥梁裂缝的检测与成因分析不仅是保护和修复工作的基础,也是理解古代桥梁工程技术的关键。基于此,本文分析了古代桥结构梁裂缝的检测方法,并进一步探讨了其成因,最后提出了古代桥梁结构裂缝的修复与加固策略,为今后的古代桥梁保护工作提供理论支持和实践参考。

【关键词】古代桥梁结构裂缝;检测;成因;策略

Detection and cause analysis of cracks in ancient bridge structures

Huang Jie Xie Jin Zhu Rongxing Li Jiwei (Corresponding author)

Corresponding author Guangzhou City Vocational College, Smart Urban Construction College, Guangdong, Guangzhou 510641

【Abstract】As a vital component of historical and cultural heritage, ancient bridges carry a wealth of social, cultural, and engineering information. However, over time, these structures have developed structural issues such as cracks due to the combined effects of natural conditions and human activities. The detection and analysis of these cracks are essential for both the protection and restoration of ancient bridges and for understanding the engineering techniques used in their construction. This paper analyzes the methods for detecting cracks in the structural beams of ancient bridges, explores their causes, and proposes strategies for repairing and reinforcing these cracks, providing theoretical support and practical guidance for future efforts to protect ancient bridges.

【Key words】ancient bridge structure crack; detection; cause; strategy

引言:

如今,许多古代桥梁面临着不同程度的损坏,裂缝的出现是最常见的结构性病害之一。裂缝不仅影响桥梁的美观,更可能影响其承载能力和使用寿命,因此及时有效地进行裂缝检测与成因分析,显得尤为重要。传统桥梁的结构形式和施工材料与现代桥梁存在很大差异,裂缝的成因也较为复杂。对于裂缝的检测,传统的人工检查和现代的非破坏性检测方法各有优缺点。通过对古代桥梁裂缝检测技术的研究与成因分析,可以为古代桥梁的修复和保护工作提供科学依据,确保其在现代社会中能够继续发挥历史价值。因此,深入探讨古代桥梁裂缝的检测方法和成因,对于延长桥梁的使用寿命、保护文化遗产具有重要意义。

1.古代桥梁裂缝的检测方法

1.1 传统检测方法

传统检测方法通常依赖人工检查与手工记录,是最常见的裂缝检测手段。通过目视观察,辅以标尺、千分尺等简单工具,可以识别出桥梁表面出现的裂缝并进行初步的记录。目视检查的优点在于操作简便、成本低,但也存在局限性,尤其在裂缝较为隐蔽或桥梁结构复杂时,难以全面发现裂缝的真相。例如,裂缝的深度和发展趋势往往需要借助其他技

术进一步确认。传统方法的另一个常见手段是几何测量,利用水准仪或全站仪对桥梁的几何形态进行检测,通过测量桥梁的倾斜度、沉降量和形变等来间接推测裂缝的存在。这种方法适用于发现桥梁结构性的变化,尤其对于桥墩和主梁等关键部位的裂缝有较好的检测效果,但也容易受到环境因素的干扰,因此多用于初步调查。

1.2 现代非破坏性检测技术

随着科技的进步,现代非破坏性检测技术已逐渐成为古代桥梁裂缝检测的主要手段。这些技术能够在不破坏桥梁本体的情况下,精确地定位和评估裂缝的性质和发展趋势。常见的现代检测方法包括激光扫描技术、超声波检测、声波检测以及红外热成像等。激光扫描技术可以通过高精度的三维激光扫描仪获取桥梁表面的点云数据,生成桥梁的三维模型,进而在模型中清晰地识别出裂缝的存在及其分布情况。这种技术特别适用于大范围、多角度的裂缝检测,能够提供高精度的数据,并且检测过程不受天气和外部环境的限制。超声波检测则利用超声波在不同介质中传播的特性,对桥梁的内部结构进行探测,能够精确识别出裂缝的位置和深度,特别适用于检测隐藏在桥梁内部的裂缝。红外热成像技术通过检测桥梁表面不同区域的温度变化,能够识别出裂缝区域,因为裂缝通常会导致热传导性发生变化,从而在热成像图上表现为明显的温度差异。

1.3 传统与现代检测方法的结合

尽管现代非破坏性检测技术具有较强的精确性和适应性，但它们也存在一定的局限性。例如，激光扫描和红外热成像在较大范围或复杂结构的桥梁中可能会受到环境因素的影响，导致数据不准确。为了弥补这些不足，越来越多的古代桥梁裂缝检测工作开始采用传统方法与现代技术的结合。如检测者可以在初步使用目视检查和几何测量发现裂缝的基础上，进一步使用激光扫描和超声波等技术进行精确定位和深度评估。这种结合方法能够充分利用传统方法的直观性与现代技术的高精度，确保裂缝的全面监测与分析。结合使用不同技术手段，不仅能够提高检测的可靠性，还能为后期的修复与加固提供更为全面的科学依据^[1]。

2. 古代桥梁裂缝的成因分析

2.1 材料老化与劣化

古代桥梁的建设材料多为石材、木材、古代混凝土等天然材料，这些材料虽然在当时具有较强的耐久性，但随着时间的推移，其物理性能不可避免地发生变化。石材随着长期的风化、腐蚀和水流冲刷，其结构逐渐松散，导致裂缝的出现。尤其是暴露在潮湿环境中的桥梁，石材的吸水性加剧了其劣化过程。木材作为另一种常见的桥梁材料，容易受到虫害、腐朽和水分变化的影响，时间久了，木材的强度和韧性下降，导致结构失稳和裂缝的产生。此外，古代混凝土的制作工艺相对简单，水泥与骨料的结合程度不高，随着时间的推移，水泥中的水分挥发，导致混凝土的微观结构发生变化，进而形成裂缝。

2.2 结构设计与施工工艺的缺陷

古代桥梁的设计和施工技术相比现代较为简陋，许多桥梁在建设过程中未能充分考虑到桥梁长期使用中的荷载与环境变化，因此，在设计和施工上存在一定的缺陷。如桥梁的荷载分布不均、支撑不合理等设计缺陷，会导致某些部位在长时间使用过程中产生应力集中，进而形成裂缝。此外，施工工艺上的不完善也是导致裂缝的重要原因。古代的桥梁建设没有现代化的材料配比、质量检测与控制手段，施工过程中可能出现材料不均匀、连接不牢固等问题，这些都可能成为裂缝的源头。桥梁的基础建设不牢固，或桥墩与桥梁本体的接触不紧密，也容易造成裂缝^[2]。

2.3 环境因素的影响

古代桥梁常年暴露在各种环境因素中，特别是水流、风蚀、温度变化等自然因素，会对桥梁的结构产生深刻影响。水流的侵蚀作用是造成古代桥梁裂缝的主要环境因素之一，尤其是那些横跨河流、湖泊或潮湿地区的桥梁。水流长期冲刷桥墩和桥面，可能导致材料的剥蚀、腐蚀，甚至使桥梁基础发生沉降，形成裂缝。在寒冷气候地区，冬季低温使得水分在桥梁结构内部凝结成冰，膨胀压力可能引发裂缝。而夏季高温时，温差剧烈变化会导致桥梁材料膨胀和收缩，频繁的热胀冷缩现象，也会对桥梁结构产生长期的应力，诱发裂缝的形成。风化、酸雨等自然灾害也会加速材料的劣化，从

而引发裂缝。

2.4 荷载作用与人为因素

随着历史时期的变化，古代桥梁的使用条件也发生了变化。桥梁初期设计和施工时，所承载的荷载通常是相对较轻的。但随着社会的发展，尤其是在商业繁荣和交通工具逐渐增多的时期，桥梁上承受的荷载逐渐增加，尤其是重型车辆和机械的通过，给古代桥梁带来了巨大的压力。荷载的增大超过了原设计承载能力，容易在桥梁的关键结构部位产生裂缝。此外，一些人为因素也加剧了裂缝的形成。随着桥梁使用年限的增加，维护保养工作可能不到位，导致裂缝问题积累。如果桥梁得不到及时的修复与保养，微小的裂缝将逐渐扩展，最终造成更严重的结构破坏^[3]。

3. 古代桥梁裂缝的修复与加固策略

3.1 综合评估与科学检测

古代桥梁的修复与加固工作首先需要通过科学的评估与检测，了解桥梁当前的结构状况及裂缝的分布情况。传统的目视检查与手工测量不能全面、准确地反映桥梁的实际病害状况，因此，必须引入现代非破坏性检测技术，以实现更为精确的评估。使用激光扫描、红外热成像、超声波、声波检测等技术手段，能够全面检测桥梁的裂缝、腐蚀、沉降及变形等问题。激光扫描技术通过精确的三维建模，可以准确获取桥梁的几何形态并定位裂缝，分析裂缝的宽度、深度和发展趋势。红外热成像则可通过热辐射分析，发现难以通过肉眼观察到的微小裂缝，尤其适合检测桥梁的表面裂缝和内部缺陷。超声波检测技术则通过声波的传播特性，评估桥梁内部材料的质量，揭示潜在的裂缝和空洞。通过这些现代技术的结合，能够全面了解桥梁的结构健康状况，为后续修复与加固工作提供科学依据。根据检测结果，修复和加固方案应结合桥梁的实际情况进行定制。不同的裂缝类型、不同的病害程度和不同的桥梁结构特点，决定了修复方式和加固措施的不同。因此，在进行桥梁修复之前，必须进行详细的评估，确保修复方案的科学性与可行性^[4]。

3.2 材料选择与修复技术

修复与加固古代桥梁的关键之一是选择合适的修复材料和技术。由于古代桥梁大多使用石材、木材等天然材料，这些材料在修复时需要特别注意材料的兼容性与耐久性。对裂缝、损伤或磨损部分的修复，首要任务是选择与原始材料性质相符的修复材料。石材修复时，优选与桥梁原有石材相似的石材，确保其物理和化学性质的匹配，这样才能有效恢复桥梁的承载力和耐久性。使用传统的石材修复工艺时，要通过切割、磨光等技术手段，使修复后的石材与原有部分无缝衔接，最大限度恢复桥梁的原貌。对于木材桥梁，修复时应考虑木材的防腐处理和结构加固。木材修复技术包括替换腐朽木材、加强木材的防腐处理和采取现代化的粘接技术。此外，还可以使用一些现代复合材料，如玻璃纤维或碳纤维材料进行加固，这些材料不仅具有较高的强度，而且能够与

木材材料的物理性能较好地兼容,增强桥梁的结构强度。另外,混凝土桥梁的修复则可以采用高性能的修复混凝土,或使用微细化的无机修复材料,如喷涂型修复砂浆,这类材料能够提高修复后区域的强度与耐久性。同时,还应考虑抗裂性与耐水性的增强,以延长修复部分的使用寿命。使用现代高性能修复材料,可以有效提高桥梁的抗压强度与耐久性,且不影响桥梁的原貌。

3.3 结构加固与现代技术应用

除了材料修复,结构加固是提高古代桥梁使用寿命的另一个重要方面。结构加固不仅可以增强桥梁的承载能力,还可以改善桥梁的抗震性、抗风性和抗冲击能力。现代结构加固技术,如外包钢筋加固、预应力加固、碳纤维布加固等,已成为常用的加固手段。钢筋加固法主要通过桥梁外部设置钢筋框架、钢板或钢梁,将外部的荷载传递到桥梁的其他部分,从而提高桥梁的整体强度。预应力加固是通过在桥梁中预拉伸钢筋或钢缆,增加桥梁的抗拉能力,减小裂缝扩展的风险。这种方法特别适合用于承载能力不足的桥梁,能够显著提高其使用性能。碳纤维布加固则是一种轻质且高强度的加固材料,可以粘贴在桥梁的表面,通过其强大的抗拉能力增强桥梁的抗震性和承载能力。碳纤维布的应用使得加固后的桥梁不仅强度大大增强,而且不会增加桥梁的负担,适用于大多数古代桥梁的加固需求。在桥梁的加固过程中,必须根据桥梁的具体结构类型和受损程度选择合适的加固方案。加固方案的设计应当遵循科学性与实用性相结合的原则,尽可能不破坏桥梁的原有结构和历史风貌。

3.4 定期维护与长期监测

古代桥梁的修复与加固是一项系统而复杂的工程,其中定期维护与长期监测是确保桥梁安全与延长使用寿命的关键策略。在实际操作中,定期维护不仅是对桥梁现状的检查与修复,更是对桥梁健康状况的持续跟踪与记录。为了有效开展定期维护,首先需要建立科学的桥梁检测体系,定期对桥梁进行全面检查,重点关注桥墩、桥面、支撑结构等易受

损部位,检查是否存在裂缝、变形、腐蚀等问题。通过结合传统的人工检查和现代化的检测技术,如激光扫描、超声波检测等,可以更精确地评估桥梁的受损程度,并及时发现潜在的安全隐患。长期监测则是在定期维护的基础上,借助传感器等设备实时收集桥梁的运行数据,如桥梁的振动、位移、温度变化等信息,进行动态监控。这些数据可以通过建立桥梁健康监测平台,实时分析和预测桥梁的健康状态,为桥梁修复和加固提供数据支持。针对发现的问题,定期维护还需要进行针对性的修复措施。例如,对材料老化严重的部分进行加固,使用现代工程技术如碳纤维布加固、钢筋混凝土包裹等方法,增强桥梁的承载能力。对于裂缝,可以通过裂缝灌浆、补漏等手段进行修复,避免水分进入进一步加剧结构损坏。定期维护和长期监测的结合,不仅能在早期发现桥梁的病害,还能够通过数据分析预测桥梁的使用寿命,从而为修复决策提供科学依据,避免过度修复或漏修的现象。通过这一系列的维护与监测措施,能够有效地延长古代桥梁的使用寿命,确保其在历史遗产保护和现代交通需求之间达到平衡,为古代桥梁的保护与传承提供保障^[9]。

结语:

古代桥梁修复与加固是一个综合性和系统性的工程,涵盖了从结构评估到修复材料选择,再到加固方案设计与长期监测等多个方面。通过现代科技的引入,传统桥梁的修复与加固技术得到了极大的提升。采用科学的检测手段和修复技术,不仅能够恢复古代桥梁的功能,还能保持其历史文化价值。在保护这些珍贵文化遗产的过程中,务必坚持“修旧如旧”的原则,确保桥梁的结构安全和历史风貌得到充分保护。同时,建立长期的桥梁健康监测体系,进行定期检查和维修,是保证古代桥梁安全运行、延续其文化价值的关键。

参考文献

- [1]吴治昊,刘苏行.桥梁施工中裂缝问题的预防策略研究[J].科技风,2024(31):57-59.
 - [2]谭强.混凝土桥梁结构裂缝分析及处理方法研究[J].工程建设与设计,2024(21):233-235.
 - [3]吴治昊,刘苏行.桥梁施工中裂缝问题的预防策略研究[J].科技风,2024(31):57-59.
 - [4]钱正刚.桥梁裂缝成因及预防研究[J].运输经理世界,2024(30):147-149.
 - [5]夏晋.鄂南地区现存古桥梁建筑的现状调查与分析[J].湖北社会科学,2014(07):73-78.
- 作者简介:黄杰(2004-),男,汉族,广东梅州人;
李继伟(1975-),男,副教授,博士后,汉族,吉林长春人,研究方向:桥梁检测、智能交通。
基金项目:广东省教育科学课题(2023GXJK021)《党的二十大精神融入“匠心-匠技-匠魂”三课堂探索与实践》、广东省普通高校重点科研平台和项目(2024ZDZX4112)《广东省古桥数智化建档和助力乡村振兴活化研究》、广州市哲学社会科学发展“十四五”规划常规课题(2024GZYB67)《广州市古代桥梁现状调研与活化研究》、广州市教育科学规划课题(2024110051)《“护古桥润乡心”基于文工交融的高职新工科课程思政探索与实践》、广州城市职业学院科研课题(KYCT2024016)《广东古桥现状调研与数字桥谱建档》、广州城市职业学院科研课题(KYBS2024006)《强震作用下岩石地下工程动力响应与灾变机理的产业化应用研究》