

桥梁混凝土细微裂缝自修复技术研究与应用

Research and Application of Self-repair Technology of Fine Cracks in Bridge Concrete

邵洪清¹ 黄达佳¹ 苏茂琼¹ 罗燕荣¹ 罗畅²

Hongqing Shao¹ Dajia Huang¹ Maoqiong Su¹ Yanrong Luo¹ Chang Luo²

1. 茂名职业技术学院 中国·广东 茂名 525000

2. 广东衡达工程检测有限公司 中国·中国 广东 茂名 525000

1. Maoming Polytechnic, Maoming, Guangdong, 525000, China

2. Guangdong Hengda Engineering Testing Co., Ltd., Maoming, Guangdong, 525000, China

摘要: 随着中国基础设施建设的快速发展,桥梁工程在国民经济和社会发展中发挥着越来越重要的作用。然而,桥梁混凝土结构在长期的使用过程中,由于各种因素的影响,容易出现细微裂缝。这些裂缝如不及时修复,可能导致桥梁结构的安全隐患。近年来,桥梁混凝土细微裂缝自修复技术的研究与应用逐渐成为中国和其他国家的研究热点。

Abstract: With the rapid development of infrastructure construction in China, bridge engineering is playing an increasingly important role in the national economic and social development. However, the bridge concrete structure in the long-term use process, due to the influence of various factors, easy to appear subtle cracks. If these cracks are not repaired in time, they may lead to potential safety risks of the bridge structure. In recent years, the research and application of self-repair technology has become a research hotspot in China and other Countries.

关键词: 桥梁; 混凝土细微裂缝; 自修复技术

Keywords: bridge; concrete fine crack; self-repair technology

DOI: 10.12346/etr.v5i12.8858

1 引言

桥梁是交通运输的重要组成部分,而混凝土是桥梁结构的主要构建材料。然而,由于各种外部和内部因素的作用,桥梁混凝土易出现细微裂缝,这些裂缝对桥梁结构的安全和稳定性造成了威胁。因此,桥梁混凝土细微裂缝的修复技术研究与应用具有重要的意义。

2 桥梁混凝土细微裂缝形成机理分析

2.1 混凝土裂缝的分类与特点

混凝土裂缝根据成因不同,大致可分为结构性裂缝、非结构性裂缝和特殊裂缝。结构性裂缝主要由荷载效应引起;非结构性裂缝主要由变形(温度、收缩、不均匀沉陷)引起;特殊裂缝则可能由碱集料反应、混凝土渗透性变化等引起。这些裂缝一般较宽,深度和长度不一,其中细微裂缝是常见

的类型。混凝土细微裂缝的特点是宽度微小,通常在0.02mm以下,由于数量众多,整体效应减弱了结构承载能力,增加了结构损伤的可能性。这些细微裂缝通常不易被肉眼察觉,但却是桥梁结构中的潜在隐患^[1]。

2.2 混凝土裂缝的形成机理

混凝土裂缝的形成主要与水泥水化、混凝土收缩、温度变化、荷载作用等因素有关。水泥水化过程中产生的热量和混凝土内部湿度变化会引起混凝土体积变化,导致裂缝产生。混凝土收缩是由于水泥水化、混凝土内部水分蒸发以及混凝土内部应力分布不均等原因引起的。温度变化会导致混凝土内部应力分布发生变化,从而引发裂缝。荷载作用会使混凝土承受的应力超过其抗拉强度,导致裂缝产生。

2.3 混凝土细微裂缝对桥梁结构的影响

混凝土细微裂缝的存在对桥梁结构可能产生以下几方面

【作者简介】邵洪清(1976-),女,中国广东茂名人,本科,高级工程师,从事道路交通规划、公路市政勘测设计研究。

的影响：①结构安全性：细微裂缝的存在会导致桥梁结构材料的损伤，降低了其抗拉、抗压等性能，从而可能对桥梁结构的安全性产生不利影响。②结构耐久性：细微裂缝的存在会使得混凝土结构的防水性能减弱，从而导致混凝土内部钢筋的锈蚀和混凝土材料的老化，降低了桥梁结构的耐久性。③使用寿命：细微裂缝的存在会使得桥梁结构受损加剧，从而缩短了桥梁结构的使用寿命。

3 桥梁混凝土细微裂缝的诱发原因

3.1 由水分收缩而引起的道桥工程混凝土裂缝

在桥梁结构中，混凝土中的水分是一个重要的因素。在施工过程中，为了保证混凝土的流动性和坍落度，往往需要较大量的水。随着混凝土凝固，其中的水分会逐渐蒸发或被吸收到混凝土中，这就导致混凝土的收缩。当混凝土受到收缩时，很容易出现微裂缝，进而影响其力学性能和耐久性。

3.2 荷载明显

桥梁结构在使用过程中所承受的荷载作用也是导致混凝土细微裂缝产生的重要原因。长期的荷载作用会导致混凝土结构内部的微观损伤逐渐积累，并最终导致裂缝的形成。细微裂缝的产生不仅影响了混凝土结构的美观，更严重的是会降低混凝土结构的承载能力和耐久性，进而影响桥梁的使用寿命和安全性。因此，研究桥梁混凝土细微裂缝的自修复技术，对于提高混凝土结构的抗裂性和延长桥梁的使用寿命具有重要意义^[2]。

3.3 收缩所造成的裂缝

在混凝土的制作和施工过程中，由于水泥水化过程、温度变化等因素，混凝土会出现收缩现象，从而导致细微的裂缝（见图1）。尤其是在施工过程中养护不当，温度和湿度控制不当，往往会加剧混凝土收缩裂缝的产生。



图1 桥梁裂缝测量

4 桥梁混凝土细微裂缝自修复技术

4.1 健全桥梁施工材料质量监督与保证管理体系

桥梁混凝土施工材料的质量直接影响到桥梁的使用寿命

和安全性，因此健全桥梁施工材料质量监督与保证管理体系是解决桥梁混凝土细微裂缝自修复问题的首要任务。

建立健全的供应商管理体系：在选材的过程中，要严格审核供应商的资质和质量管理体系，确保所选材料符合标准和规定。

严格执行材料检验标准：对供应商提供的原材料进行严格的检验，确保材料的质量达到标准要求。同时，还要建立桥梁混凝土施工材料的质量监督与保证管理台账，对每批次材料的检测结果进行记录和保存，以备查阅。

加强施工材料的质量追溯：对每一批次的施工材料都要进行质量追溯，确保材料的来源可追溯，保证桥梁混凝土施工材料的质量和可靠性。

4.2 合理控制施工条件

除了严格管理施工材料的质量外，合理控制施工条件也是解决桥梁混凝土细微裂缝自修复问题的关键。

施工环境的控制：在进行桥梁混凝土施工时，要尽量避免在高温、低温、潮湿等不利施工环境下进行施工，以免对混凝土的质量造成影响。

施工工艺的规范：严格按照施工方案和工艺流程进行操作，确保混凝土搅拌、浇筑和养护等过程的规范。

严格控制施工进度：在进行桥梁混凝土施工时，要保证施工进度能够与施工条件相适应，避免因施工周期过长而导致混凝土裂缝。

4.3 通过混凝土浇筑法来进行裂缝的修复

混凝土浇筑法是一种比较常见的桥梁混凝土细微裂缝自修复技术，其原理是通过在裂缝处重新浇筑混凝土，填充裂缝，使得裂缝处重新形成整体，从而达到自修复的目的。这种方法需要先清理裂缝处的杂物和脱落混凝土，然后通过添加适量的水泥、砂浆等材料来浇筑裂缝处，最后进行养护，使得新浇筑的混凝土与原有混凝土形成良好的结合。这种方法的优点是操作简单，成本低廉，但需要注意浇筑质量和养护时间，以确保修复效果^[3]。

混凝土浇筑法是一种简单有效的桥梁混凝土细微裂缝修复技术，该技术通过在裂缝处倒入新鲜混凝土，从而填充和修复裂缝。首先，需要清理裂缝表面，并确保其干燥。其次，准备好新鲜混凝土，将其倒入裂缝，填补裂缝并与原混凝土表面平整。最后，在浇筑完成后，需要对浇筑部位进行适当的养护，以确保修复后的混凝土与原混凝土有良好的结合。这种修复技术简单易行，成本较低，能够快速修复混凝土细微裂缝。

4.4 压力灌浆水泥灌注法

压力灌浆水泥灌注法是一种新型的桥梁混凝土细微裂缝自修复技术，其原理是在裂缝处注入特制的水泥浆料，并通过一定的压力使其充分填充裂缝和周围空隙，形成固化体，从而实现裂缝的自修复。这种方法需要利用专用的设备和材料，如压力泵、水泥浆料等，通过对裂缝进行准确定位和处

理,然后进行压力灌浆作业,最后进行养护,以确保修复效果。这种方法的优点是修复效果好,操作相对简单,但需要较高的设备和材料投入。

压力灌浆水泥灌注法是另一种常用的桥梁混凝土细微裂缝修复技术,它主要通过压力将水泥浆料注入裂缝中,从而填补并修复裂缝。首先,需要清理裂缝表面,使其清洁并干燥。其次,使用专用设备将水泥浆料通过压力注入裂缝中,直到填满整个裂缝并达到设计要求。最后,在灌注完成后,需要对修复区域进行适当的养护以保证修复效果。这种方法操作简便,填补效果好,修复后的效果较为持久。

5 桥梁混凝土细微裂缝自修复技术的研究与应用

5.1 有机硅树脂封装修复技术

有机硅树脂封装修复技术是一种利用有机硅树脂材料进行封装修复的技术。有机硅树脂具有优异的粘结性和渗透性,可以有效地渗透到微裂缝中进行修复。修复过程中,首先需要将微裂缝表面清理干净,然后使用注射器将有机硅树脂注入微裂缝内部,待有机硅树脂充分渗透固化后,微裂缝得以修复。有机硅树脂封装修复技术具有施工简便、修复效果显著、成本较低等优点。而且有机硅树脂的渗透性和粘结性较好,可以有效防止水分、盐分等有害物质侵入微裂缝,延长桥梁结构的使用寿命。在有机硅树脂封装修复技术的应用中,需要先对混凝土表面进行处理,去除浮灰、油污等杂质,然后涂抹有机硅树脂,并进行固化。有机硅树脂在固化过程中,会与混凝土中的水泥发生化学反应,形成硅酸盐凝胶物,从而使裂缝得到修复。

5.2 环氧树脂灌缝修复技术

环氧树脂灌缝修复技术是一种利用环氧树脂材料进行灌缝修复的技术。环氧树脂具有良好的抗压、抗冲击性能,能够有效地提高微裂缝区域的承载能力。修复过程中,先将微裂缝表面进行清理、打磨,然后采用压力泵将环氧树脂灌注到微裂缝内部,待环氧树脂固化后,微裂缝得到修复。环氧树脂灌缝修复技术具有修复效果持久、抗腐蚀性好、施工快捷等特点。此外,环氧树脂具有较好的自流平性,可以有效填充微裂缝并提高混凝土表面的平整度和光洁度。在环氧树脂灌缝修复技术的应用中,需要先对裂缝进行清洗,去除缝内的灰尘和杂物,然后使用注射器将环氧树脂注入裂缝中。环氧树脂在固化过程中,会与混凝土中的水泥和骨料发生化学反应,形成新的凝胶体,从而使裂缝得到修复。

5.3 纳米材料修复技术

纳米材料是近年来发展起来的一种新型材料,其具有较小的尺寸和高表面积,能够在微观尺度下穿透混凝土的微裂缝,并在其中发挥自修复作用。目前,常用的纳米材料主要包括纳米氧化钛、纳米氧化硅等。具体应用上,可以通过将纳米材料加入混凝土中,使其在混凝土固化后形成网状结

构,能够自主识别和填充微裂缝。此外,纳米材料还能够与混凝土中的水反应产生胶凝物,从而增强混凝土的自修复能力。

纳米材料因其特殊的物理和化学性质,被广泛应用于混凝土材料的改性和修复中。纳米材料的高比表面积和优异的渗透性使得其能够在混凝土微观孔隙中形成稳定的凝胶体系,从而填充和修复细微裂缝。例如,石墨烯在混凝土修复中能够通过其高导热性和高机械强度,促进混凝土内部微裂缝的修复和增强混凝土的抗压强度;纳米二氧化硅则能够填充混凝土的微观裂缝,提高混凝土的致密性和抗渗性;纳米氧化铁在混凝土中的应用可以有效改善混凝土的韧性和耐久性。这些纳米材料的应用为桥梁混凝土细微裂缝的自修复提供了新的思路和方法。

5.4 自愈合材料修复技术

自愈合材料是一种具有自愈合功能的新型材料,其在混凝土中的应用可以实现对微裂缝的快速自修复。目前,常用的自愈合材料主要包括蓝藻、微生物、水凝胶等。具体应用上,可以将自愈合材料添加到混凝土中,当混凝土内部出现微裂缝时,这些材料会因受到外界压力而释放出自愈合剂,填充裂缝并逐渐固化,最终实现对混凝土的自修复作用。

自愈合材料是近年来兴起的一种新型修复技术,通过在混凝土中引入微观级别的囊或通道,使得混凝土在裂缝处能够自动启动修复过程。微胶囊自愈合材料的原理是将微小的胶囊掺入混凝土中,当混凝土发生裂缝时,这些胶囊破裂释放内部的修复物质填充裂缝,起到自动修复效果;而微通道自愈合材料则是通过混凝土内部微通道的设计,使得裂缝处的修复物质能够通过这些通道流动并填充裂缝。这些自愈合材料的使用不仅能够修复混凝土的微裂缝,还能够提高混凝土的韧性和抗压强度,延长桥梁的使用寿命。

6 结论

综上所述,桥梁混凝土细微裂缝自修复技术的研究与应用对保障桥梁结构的安全和稳定性具有重要意义。通过适当的技术手段和管理措施,可以有效减少桥梁混凝土裂缝的产生,并修复已有的裂缝,延长桥梁的使用寿命,提高桥梁的安全性和稳定性。希望未来能够进一步加强对桥梁混凝土细微裂缝自修复技术的研究和应用,为中国桥梁建设的发展贡献更多的技术力量。

参考文献

- [1] 付振鹏.桥梁施工中混凝土裂缝控制技术的研究[J].华东科技(综合),2021(7):1.
- [2] 谢泽涛,凌立群.桥梁混凝土施工及裂缝控制技术[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2021(8):2.
- [3] 练文明,王粉喜,练粉宝.一种自修复桥梁裂缝的复合材料及其制备方法:CN202310334076.7[P].2023-11-10.