

桥梁裂缝灌浆加固技术研究

黎志勇

广州市道路养护中心南城养护所

DOI: 10.12238/ems.v6i11.9966

[摘要] 本文深入研究了桥梁裂缝灌浆加固技术,详细分析了桥梁裂缝的成因及危害,阐述了灌浆加固技术的原理和施工工艺。通过对灌浆材料的选择与性能要求的探讨,以及对施工过程中各个环节的深入剖析,为桥梁裂缝的修复提供了科学有效的方法。同时,结合具体的例子,论证了该技术在提高桥梁结构安全性和耐久性方面的重要作用。

[关键词] 桥梁裂缝;灌浆加固;施工工艺;材料性能

Research on Grouting Reinforcement Technology for Bridge Cracks

Li Zhiyong

Guangzhou Road Maintenance Center Nancheng Maintenance Office

[Abstract] This article deeply studies the grouting reinforcement technology for bridge cracks, analyzes in detail the causes and hazards of bridge cracks, and elaborates on the principles and construction processes of grouting reinforcement technology. Through the exploration of the selection and performance requirements of grouting materials, as well as in-depth analysis of various links in the construction process, a scientific and effective method has been provided for the repair of bridge cracks. Meanwhile, with specific examples, the important role of this technology in improving the safety and durability of bridge structures has been demonstrated.

[Keywords] Bridge cracks; Grouting reinforcement; Construction technology; Material properties

一、绪论

随着我国交通基础设施的迅速发展,桥梁作为连接不同地区、推动经济交流的重要节点,展示了其不可替代的核心地位。然而,随着桥梁使用年限的逐渐增长、交通流量的扩大以及自然环境的侵蚀,桥梁的裂缝问题变得越来越严重。裂缝不仅会影响桥梁的整体美观,还会严重危及桥梁的结构安全性和使用寿命。近年来,桥梁裂缝问题已频繁成为引发安全事故的主要原因,对人民的生命和财产造成了沉重的损害。因此,深入探讨桥梁裂缝的灌浆加固技术具有重要的现实意义。

二、桥梁裂缝的成因及危害

(一) 裂缝的成因分析

桥梁裂缝的形成原因多种多样。首先,如果在设计阶段未能充分考虑桥梁结构的受力情况,可能会导致局部应力集中,从而在长期使用中引发裂缝。例如,设计过程中某些部位的配筋不足,可能会导致在荷载作用下出现裂缝。其次,施工质量不合格也是重要因素之一。如果混凝土浇筑时振动

不足,内部可能存在空洞,降低了混凝土的强度和密实度,从而在使用过程中容易出现裂缝。此外,环境因素也不容忽视。温度波动会导致混凝土的热胀冷缩,尤其在温差较大的地区,混凝土内部的温度应力可能会超过其抗拉强度,形成裂缝。这种现象在季节变化明显的地区尤为常见。例如,昼夜温差达到20℃时,混凝土可能会出现宽度为0.1mm至0.2mm的裂纹。再者,长期的车辆荷载和超载等动态荷载因素也可能使桥梁结构逐渐疲劳,产生裂缝,其中约35%的裂缝与荷载因素有关。

(二) 裂缝对桥梁结构的危害

裂缝对桥梁结构的破坏非常严重。首先,裂缝会降低桥梁的承载能力。裂缝的存在减少了桥梁有效的断面面积,减弱了其对弯曲和剪切的抵抗能力。其次,裂缝为水分和氧气进入桥梁内部提供了通道,加速了钢筋的锈蚀。钢筋锈蚀后体积膨胀,会进一步扩展裂缝,形成恶性循环。此外,裂缝还可能削弱桥梁的耐久性。在外界环境的侵蚀下,如酸雨和盐雾等,裂缝处的混凝土更容易受损,从而缩短桥梁的使用

寿命。裂缝还可能影响桥梁的防水性能，导致内部积水，对桥梁结构造成更严重的破坏。

三、桥梁裂缝灌浆加固技术原理

（一）灌浆材料的选择与性能要求

常见的灌浆材料包括水泥基灌浆材料、环氧树脂灌浆材料和聚氨酯灌浆材料，其性能对比如下表 1 所示。水泥基灌浆材料具有成本低和强度高的优点，但流动性较差，适合用于填充较宽的裂缝。环氧树脂灌浆材料具有高粘结强度和良好的耐腐蚀性，但价格较高，适合用于对粘结强度要求较高

的裂缝。聚氨酯灌浆材料则具有发泡和膨胀特性，能够填补微小裂缝，但其耐久性相对较差。

灌浆材料应具备良好的流动性，初期流动度不应低于 250mm，以确保能够充分填充裂缝。同时，材料需要具备较高的强度，例如水泥基灌浆材料在 28 天后的抗压强度应不低于 45MPa，以确保加固后的结构稳固。此外，灌浆材料还需具备良好的粘结性能，与混凝土的粘结强度应达到或超过混凝土自身的抗拉强度，以确保裂缝不会再次开裂。

表 1 常见灌浆材料性能对比

灌浆材料类型	初始流动度（mm）	28d 抗压强度（MPa）	粘结强度（MPa）	耐腐蚀性	适用裂缝宽度（mm）
水泥基灌浆材料	≥250	≥45	≥1.5	较好	≥0.5
环氧树脂灌浆材料	≥300	≥60	≥2.0	优良	0.2 - 0.5
聚氨酯灌浆材料	≥280	≥35	≥1.2	中等	0.1 - 0.3

（二）灌浆加固的原理与作用机制

桥梁裂缝灌浆加固的基本原理是将特定的灌浆材料注入裂缝中，使其固化形成固体，从而恢复桥梁结构的完整性和稳定性。其作用机制主要包括以下三个方面：

（1）填补作用：灌浆材料填充裂缝中的空隙，封闭裂缝表面，防止水分和氧气进入，从而减缓钢筋的腐蚀和混凝土的老化。

（2）粘接作用：灌浆材料与混凝土紧密粘结，将裂缝两侧的混凝土结合在一起，恢复结构的整体性。

（3）增强作用：固化后的灌浆材料具有较高的机械强度，可以增强桥梁的承载能力和抗变形性能，从而提高桥梁结构的安全性和耐久性。

四、桥梁裂缝灌浆加固施工工艺

（一）施工准备

在桥梁裂缝灌浆加固的准备阶段，首要任务是深入了解桥梁的设计图纸和相关技术要求。施工前，需全面掌握裂缝的分布情况、宽度和深度，以便制定科学、精准的施工方案。例如，对于宽度不超过 0.2mm 的小裂缝，应优先选择流动性较好的环氧树脂灌浆材料。而面对较深的裂缝，则可能需要采取增加灌浆压力等特殊施工措施。

施工团队在开工前需要接受详细的技术培训，确保每个施工步骤都有明确的操作标准和质量要求，确保团队能熟练掌握各种裂缝的处理方法。根据裂缝的具体情况，选择合适的灌浆材料，并准备好相关的施工设备，如稳压灌浆泵、高精度压力表以及能高效混合材料的搅拌机，以确保施工过程中设备性能良好。

此外，施工现场的准备工作也尤为重要。场地应平整、顺畅，以确保施工环境适宜。裂缝的位置要准确标记，方便施工人员快速识别并精确操作，提高施工效率和精准度。

（二）表面处理

在桥梁裂缝灌浆加固过程中，表面处理阶段是至关重要

的。首先，需要对裂缝表面进行彻底的清理。使用钢丝刷或毛刷等工具，仔细去除裂缝表面的灰尘、油渍及其他杂质，确保表面洁净无瑕。这一步骤为后续施工奠定了基础，因为表面上的任何杂质都可能削弱灌浆材料与混凝土之间的粘接力。

对于较宽的裂缝，采用开槽机对其进行开槽是一种有效的方法。开槽的目的是扩大灌浆材料与混凝土之间的接触面积，以提高加固效果。开槽的宽度和深度应根据裂缝的具体情况进行合理选择。一般来说，开槽的宽度应在 10 毫米到 15 毫米之间，深度应超出裂缝深度 50 毫米到 100 毫米。这种处理方式可以确保灌浆材料能够充分填补裂缝，并与混凝土层实现牢固结合。

密封裂缝是表面处理流程中的另一项关键步骤。应在裂缝区域施加适当的密封材料，例如环氧树脂胶泥或聚合物水泥砂浆，以减少灌浆材料的溢出。选择密封材料时，需要考虑裂缝所在环境和特定需求。例如，在潮湿环境中，选择具有良好抗水性的环氧树脂胶粘剂会更加合适。密封材料的厚度一般为 1 毫米到 2 毫米，涂抹时应保持均匀和连续，确保不会出现涂层渗漏的情况。

在涂抹密封剂后，需要检查其密封效果是否符合预期。可以通过用手触摸封闭材料的表面，检查是否有松动或脱皮的迹象，或使用小锤子轻轻敲击，通过声音判断其与混凝土的粘接强度是否足够。一旦发现密封材料存在缺陷或问题，应及时采取修复措施，以确保后续灌浆工作的顺利进行。这样可以保证施工质量，并确保加固效果达到最佳水平。

（三）灌浆施工

在灌浆施工的过程中，精确定位灌浆孔的位置至关重要。根据裂缝的尺寸，通常情况下，灌浆孔之间的间距应设定在 200 至 300 毫米之间。这样的间距既能确保灌浆材料充分填充裂缝，又能减少由于过度钻孔带来的施工成本和对桥梁结构的潜在风险。如果裂缝较大，可以适度缩小孔距至 150 至

200 毫米，这有助于提高灌浆的密实度，确保灌浆材料在裂缝中均匀分布，进一步优化加固效果。在确定灌浆孔位置时，应使用先进的测量仪器，确保定位准确，以避免偏差对后续施工产生不利影响。

钻孔是灌浆施工的核心操作。在选定的灌浆孔位置上，应使用电钻或风钻进行钻孔操作，钻孔直径一般为 10 至 16 毫米。这种直径范围不仅保证了灌浆嘴的稳固安装，还能将钻孔对桥梁结构的影响降至最低。为了确保灌浆材料能够充分渗透到裂缝内，钻孔的深度应比裂缝深度多出 50 至 100 毫米，以实现最佳的加固效果。在钻孔过程中，必须确保钻孔的垂直方向不受倾斜的影响，以避免对灌浆嘴的安装和灌浆效果产生负面影响。可以使用水平仪等工具进行测量，以确保钻孔的垂直度保持在适当范围内。

在安装灌浆嘴时，必须确保其牢固地粘附在钻孔的表面，并使用专用的密封胶进行密封，以防止灌浆时发生渗漏。这一过程对确保灌浆压力的稳定以及灌浆材料的顺利注入起到关键作用。选择密封胶时，应根据裂缝的具体情况和要求进行选择，确保其具备优良的封闭性和长期的耐用性。

在准备灌浆材料时，应严格按照材料手册的指导进行操作。对于水泥基灌浆材料，通常的水灰比在 0.3 到 0.4 之间，这样可以确保灌浆材料具有良好的流动性和抗压性能。如果选择环氧树脂或聚氨酯灌浆材料，则需按照产品说明书进行精确配比，以保证材料性能达到最佳状态。混合过程中应使用专门的搅拌设备，确保各类材料充分均匀混合。

在实际灌浆过程中，将已配置好的灌浆材料倒入灌浆泵，通过灌浆嘴将材料注入裂缝中。灌浆的压力范围通常控制在 0.2 到 0.4MPa 之间，对于深度较大的裂缝，可以适当提高灌

浆压力，但应确保其保持在合理范围内，以避免对桥梁结构产生超负荷的压力。在灌浆作业过程中，需密切观察裂缝表面的微小变化。如果发现裂缝表面有液体渗出，应立即中断灌浆，并用密封胶封闭渗漏点，以减少材料浪费并避免对周边环境造成污染。

完成第一次灌浆后，应进行二次灌浆，以确保裂缝得到彻底填补。在第一次灌浆材料固化后，可考虑进行第二轮灌浆。二次灌浆时，压力可以适度增加，但应防止超过 0.6MPa 的标准。在第二次灌浆过程中，需要密切关注裂缝表面的变化，确保灌浆效果达到最佳水平。

（四）质量检验

在桥梁裂缝灌浆加固项目中，质量检测是确保施工效果的重要环节。灌浆完成后，工作人员需对裂缝表面进行详细检查，确保裂缝已完全填充且表面平整光滑。若发现填充不足或表面不平整等问题，应立即进行修复，因为外观质量直接影响后续桥梁的耐久性和美观度。只有外观符合预期标准，桥梁才能在使用中保持稳定和安全。

强度和密封性能的检测同样至关重要。混凝土强度的检测可通过回弹仪或取芯技术进行，确保灌浆后的混凝土强度不低于原始混凝土强度的 80%，这是评估加固效果的重要标准。密封性能的检测则可通过压水试验或水渗透试验进行。在压水试验中，施加 0.3 至 0.5MPa 的压力，测试裂缝的密封效果，确保灌浆材料与混凝土结合紧密。水渗透试验应持续至少 24 小时，以准确评估裂缝的密封程度。

通过这些严格的检测，确保桥梁结构在经过加固后能够安全、耐用，且在长期使用中能够承受复杂的负荷和恶劣的环境条件。下表 2 是灌浆后质量检验标准。

表 2 灌浆后质量检验标准

检验项目	标准值	检验方式
外观	裂缝完全填充，表面平整	目视检查
强度	≥原混凝土强度的 80%	回弹仪或取芯法
密封性	无渗漏，压水试验 0.3-0.5MPa	压水试验或渗漏水试验
渗漏水时间	不少于 24 小时	渗漏水试验

五、结论

通过对桥梁裂缝灌浆加固技术的深入研究，可以明确该技术在解决桥梁裂缝问题上具有显著效果。经过对裂缝成因及危害的分析，深刻认识到裂缝对桥梁结构的安全性和耐久性构成严重威胁。而灌浆加固技术通过合理选择灌浆材料，严格遵循施工工艺，能够有效地填充裂缝、增强桥梁结构的整体性和强度。在施工过程中，从施工准备到质量检验的各个环节都至关重要。实践证明，桥梁裂缝灌浆加固技术能够提高桥梁的承载能力，减缓钢筋锈蚀，延长桥梁的使用寿命，为保障交通基础设施的安全稳定运行提供了可靠的技术支持。

【参考文献】

[1] 肖欢. 混凝土桥梁裂缝修补及加固技术[J]. 建筑机

械, 2017, (04): 108-110.

[2] 王立军. 农村公路桥梁裂缝修补施工技术要点[J]. 科学技术创新, 2023, (04): 149-152.

[3] 李锴. 市政桥梁结构裂缝及加固处理方法分析[J]. 科技创新与应用, 2020, (20): 58-59.

[4] 衣承昕. 公路桥梁隧道工程施工中灌浆法加固技术的有效应用研究[J]. 四川水泥, 2019, (11): 82.

[5] 于春生. 公路桥梁隧道工程施工中灌浆法加固技术要点研究[J]. 建筑技术开发, 2020, 47 (08): 28-29.

作者简介：黎志勇，男，1976 年 4 月 13 日，汉，广东省广州市，路桥工程师，本科，研究方向：公路桥梁养护维修。