

公路桥梁养护维修中裂缝成因及处治对策

闫宏武

千阳县农村公路发展服务中心 陕西宝鸡 721100

DOI: 10.12238/ems.v7i3.12208

[摘要] 桥梁作为交通网络不可或缺的组成部分,其安全性和耐久性直接影响到交通运输系统的稳定性。然而,随着时间推移和环境因素的影响,桥梁结构内部不可避免地会出现裂缝等病害,这些裂缝不仅影响美观,更重要的是威胁到了桥梁的整体安全性。本文旨在深入探讨桥梁裂缝产生的根本原因,并提出相应的维护与修复策略,以期后续桥梁养护工作提供理论指导和技术支持。

[关键词] 结构完整性; 温度应力; 钢筋锈蚀; 灌浆法; 预防措施

引言:

在现代交通基础设施建设过程中,桥梁工程扮演着至关重要的角色,它不仅是连接两地的重要纽带,更是衡量一个国家或地区经济发展水平的关键指标之一。然而,随着使用年限的增长以及外界环境条件的变化,诸如温度变化、荷载作用等因素导致桥梁出现不同程度的损伤,其中最为常见的便是裂缝现象。这些裂缝若得不到及时有效的处理,将极大地削弱桥梁的承载能力和使用寿命,甚至可能引发严重的安全事故。

1 桥梁裂缝病害的成因及分析

1.1 温度应力引起的裂缝

混凝土材料在外界环境温度急剧波动时,由于热胀冷缩效应,结构内部会产生显著的温度应力。这种应力分布不均会导致混凝土构件内部出现微小裂纹,若长期累积则会形成宏观可见的裂缝。特别是在昼夜温差较大的地区,此类裂缝更为常见,因为温度变化加剧了材料内部应力集中现象的发生概率。温度应力不仅影响混凝土表面,还会深入其内部结构,导致深层裂缝的产生。当温度骤变时,混凝土内外层之间的膨胀或收缩速率不同,从而在界面处产生剪切应力,进一步加剧了裂缝的发展。

1.2 收缩引起的裂缝

混凝土硬化过程中伴随着体积收缩,特别是在早期阶段,水分蒸发速度快,导致内部湿度下降,从而引起干缩裂缝。这类裂缝通常表现为细而密集的状态,广泛存在于桥面板、墩柱等部位。值得注意的是,水泥水化反应期间释放大热量也会促使局部区域发生膨胀,继而引发非均匀收缩,进一步恶化了裂缝状况。在混凝土浇筑初期,水分迅速蒸发,导致毛细孔隙内压力降低,形成负压区,从而促使更多水分向该区域迁移并继续蒸发,这一过程加剧了混凝土的干缩效应。与此同时,水泥水化放热过程中产生的热量使得混凝土局部温度升高,冷却后又会发生收缩,这种非均匀的热胀冷缩效应会在结构内部产生复杂的应力场,导致裂缝的形成与扩展。

1.3 钢筋锈蚀产生的裂缝

桥梁钢结构暴露于空气中,特别是在潮湿环境下,容易遭受氧化腐蚀。一旦钢筋表面保护层受损,氧气和水分便会渗透至钢筋表面,启动电化学腐蚀过程。随着锈蚀产物逐渐积累,体积膨胀迫使周围混凝土破裂,形成典型的锈蚀裂缝。此类裂缝往往具有较强的扩展趋势,严重威胁到桥梁结构的安全性能。钢筋锈蚀不仅削弱了其自身的力学性能,还破坏了钢筋与混凝土之间的粘结力,降低了结构的整体承载能力。锈蚀产物的体积膨胀会对周围混凝土施加巨大的侧向压力,导致混凝土开裂甚至剥落。在极端情况下,锈蚀严重的钢筋可能会完全失去承载能力,使桥梁结构面临崩溃风险。

1.4 结构超载产生的裂缝

过大的交通流量或超出设计标准的车辆荷载作用下,桥梁结构承受着远超预期的压力。这种情况下,原本设计强度不足以抵抗额外负荷的部分可能出现塑性变形,进而发展成为贯穿性的裂缝。特别是对于那些服役多年的老桥,其结构刚度和承载能力已有所下降,更容易受到超载影响而产生结构性破坏。超载不仅增加了桥梁的静载荷,还可能引发动载效应,如车辆行驶过程中产生的振动和冲击力,这些动态荷载会进一步放大结构内部的应力水平,导致裂缝迅速扩展。在某些情况下,超载还可能导致局部结构失效,形成连锁反应,波及到其他未受损部分,最终导致整个桥梁结构的坍塌。

1.5 基础不均匀沉降引起的裂缝

地质条件复杂多变,某些区域土质松软或地下水位较高,极易造成基础部分发生不规则沉降。这种沉降差异会在上部结构中产生附加内力,最终反映为不同位置间的相对位移,导致裂缝生成。特别是在桥梁跨越河流或沟壑地段,两岸地质条件差异较大时,此类问题更为突出。基础不均匀沉降不仅改变了桥梁原有的受力模式,还在结构内部引入了新的应力分布,增加了裂缝产生的可能性。沉降差异较大的区域,桥梁支座和连接节点处易出现较大的变形,导致局部应力集中,形成裂缝。

2 养护维修中对裂缝的处治

2.1 表面封闭法对裂缝进行处治

针对宽度较小且深度较浅的表层裂缝,表面封闭技术成为一种高效且经济的修补方案。在实施过程中,需对裂缝周边区域进行全面清理,确保所有杂质与松散材料被彻底清除,以提供一个干净、坚实的基材表面。利用高压水枪或喷砂设备进行深度清洁,并辅以化学清洗剂去除顽固污渍,为后续密封材料的应用创造理想条件。接着,选用高粘结强度和优异耐候性的专用密封材料,通过精密涂覆工具将材料均匀填充至裂缝中,保证其与基材之间形成稳固的结合界面。此过程要求操作者具备精湛技艺,确保密封材料不仅能够完全覆盖裂缝,还能抵御外界恶劣环境的侵蚀,从而有效防止水分、盐分及其他腐蚀性介质的侵入,保障桥梁结构的长期稳定性和安全性。

2.2 低压灌浆法对裂缝进行处治

对于贯穿性裂缝或深层裂缝,低压灌浆修复手段显得尤为关键。该方法通过向裂缝内部注入低粘度、高强度的修补材料,使其充分填充并固化,恢复结构原有的连续性和整体性。在具体操作中,需精确控制灌注压力,以确保浆液能够均匀扩散至每一个细微角落,同时避免二次污染的发生。首先,采用专用钻孔设备在裂缝附近开设多个注入口,以便于浆液的均匀注入。随后,利用精密泵送系统将低粘度修补材料缓慢注入裂缝内,整个过程需实时监测压力变化,确保浆液能够在适宜的压力下平稳流动,避免过高的压力造成裂缝

扩展或其他结构损伤。为了进一步提升灌浆效果，还需在裂缝末端设置排气孔，及时排出裂缝内的空气和多余液体，确保修补材料能够完全填充裂缝空间。在整个灌浆过程中，必须严格遵守施工规范，防止因操作不当引发的二次污染问题，例如浆液溢出或污染周围环境。

2.3 粘贴碳纤维布对裂缝进行处治

鉴于碳纤维复合材料所具有的卓越力学性能和广泛适应性，将其应用于裂缝加固领域已成为现代桥梁维护的重要手段之一。作业时，需对原结构表面进行精细打磨处理，以去除表面浮尘及松散物质，形成粗糙且洁净的基层，从而增强环氧树脂胶黏剂的附着力。接下来，均匀涂覆一层高性能环氧树脂胶黏剂，确保其能够充分渗透到混凝土微孔隙中，形成坚固的粘结层。在此基础上，将预先裁剪好的碳纤维布紧密贴附于涂覆有胶黏剂的结构表面，使用专用滚筒反复碾压，排除气泡并使碳纤维布与基材紧密结合。碳纤维布的应用不仅能够大幅提升结构的抗弯强度，还能显著改善其耐久性和抗震性能。通过这种方式，原本脆弱的裂缝部位得以强化，增强了整体结构的承载能力和稳定性。为进一步提升加固效果，可在碳纤维布外层再涂覆一层保护层，以抵御紫外线辐射、酸雨等自然因素的侵蚀，延长加固材料的使用寿命。此外，还需对加固后的结构进行持续监测，评估其在实际运行中的表现，确保加固措施的有效性。

3 对桥梁裂缝的主动预防措施

3.1 确保梁体钢筋的混凝土保护层厚度

在设计阶段，针对梁体钢筋混凝土保护层厚度的设定需基于详尽的工程环境评估与结构力学分析。通过精确计算不同工况下混凝土保护层所承受的压力及应力分布情况，以确保其具备足够的抵御外界侵蚀的能力。同时，施工过程中必须严格遵守相关规范，采用高精度测量工具对每一处保护层进行检测，保证其厚度符合设计要求。此外，定期对既有桥梁的混凝土保护层厚度进行复查，利用先进的无损检测技术如超声波法或雷达扫描法，准确判断保护层的实际状况。一旦发现厚度不达标的情况，应立即采取补救措施，如局部修补或重新浇筑混凝土，确保钢筋始终处于最佳防护状态。在后续维护工作中，对于混凝土保护层的监测与修复同样至关重要。通过建立完善的数据库系统，记录每次检测的数据，以便长期跟踪保护层的变化趋势。结合数据分析结果，制定出科学合理的维护计划，避免因保护层失效而导致钢筋锈蚀等问题的发生。与此同时，还应针对混凝土材料本身进行优化处理，选择具有优良抗渗性和耐久性的高性能混凝土，进一步提升保护层的整体性能。

3.2 对桥梁关键部位进行定期检查

构建一套完备的桥梁健康监测体系，旨在及时掌握关键部位如支座、伸缩缝等的动态变化情况。该体系需涵盖从数据采集到分析处理的各个环节，运用高灵敏度传感器实时监测这些部位的工作状态，并将采集到的信息传输至中央控制系统进行综合分析。通过对比历史数据与当前检测结果，能够迅速识别潜在隐患并发出预警信号，为后续的维修保养提供依据。同时，借助诸如红外热成像仪、激光测距仪等先进设备，可以实现对桥梁内部结构的非接触式检测，减少对正常交通的影响，提高工作效率。为了确保桥梁的安全运行，还需要制定详细的巡检制度和应急预案。根据桥梁的具体情况，确定合理的巡检周期，并安排专业技术人员定期执行检查任务。巡检过程中不仅要关注表面可见的问题，还要深入排查隐蔽部位的潜在风险。例如，对于支座部分，除了观察其外观是否有明显损坏外，还需检查是否存在位移现象；而

对于伸缩缝，则需注意其是否保持良好的弹性及密封性。一旦发现问题，应立即启动应急预案，组织相关人员进行紧急处置，防止事态扩大化。

3.3 降低桥梁温差，减少温差裂缝

为缓解温度应力对桥梁结构造成的不利影响，可在设计阶段引入隔热保温材料铺设桥面。这类材料通常具备低导热系数和高反射率的特点，能够在一定程度上阻隔外界热量向桥体内部传导，维持较为稳定的温度环境。具体实施时，需根据桥梁所处地理位置及其周围气候条件，选择适合的保温材料类型，并严格按照施工工艺要求进行安装。此外，还可以考虑在桥面上方设置遮阳棚，利用其物理屏障作用调节局部小气候，减少阳光直射带来的温差波动。遮阳棚的设计需兼顾美观与实用性，既要满足防暑降温的需求，又要避免对桥梁整体造型造成破坏。智能控制系统的应用也为降低桥梁温差提供了新的思路。通过在桥体内外布置多个温度传感器节点，实时采集温度信息，并将其反馈至中央控制系统。中央控制系统则根据预设算法对采集到的数据进行分析处理，当检测到温度差异超过设定阈值时，自动启动相应的降温装置，如喷淋系统或通风设备，以达到平衡温度的目的。这种智能化管理模式不仅提高了温度调控的精准度，还减少了人工干预带来的不确定性。

3.4 加强运营管理，防止桥梁过度超载

严格执行交通法规，限制超限车辆通行是减轻桥梁日常运营负担的有效途径之一。为此，应在桥梁入口处设置称重设备，对过往车辆的重量进行实时监测。一旦发现超载嫌疑的车辆，立即予以拦截并责令整改。同时，完善桥梁信息管理系统，整合车辆重量、速度等相关参数，形成全面的监管网络。通过对海量数据的深度挖掘与分析，能够及时发现异常行为模式，并采取相应措施加以防范。例如，对于频繁出现超载情况的路段，可增加巡逻频次或增设固定监控点，强化现场执法力度。此外，加强对驾驶员的安全教育也是保障桥梁设施完好无损的重要环节。通过开展形式多样的宣传活动，普及交通安全知识，倡导文明驾驶理念，使每一位驾驶员都能自觉遵守交通规则。特别是在节假日等车流量高峰时段，更应加大宣传力度，提醒驾驶员合理规划行车路线，避免集中通行导致桥梁负荷过重。同时，鼓励公众积极参与到桥梁保护工作中来，设立举报热线，接受社会各界对违规行为的监督举报。

结论：

综上所述，桥梁裂缝作为一类普遍存在的病害类型，其成因复杂多样，涉及多个层面的因素交互作用。通过对裂缝产生机制的深入剖析，我们认识到只有从源头抓起，加强设计合理性、提升施工质量、强化运营管理等多方面协同努力，才能从根本上解决这一难题。同时，针对不同类型裂缝采取针对性的处治方案，并辅以必要的预防措施，亦是保障桥梁长期稳定运行的有效途径。在此过程中，不断引入新材料、新技术，持续优化养护工艺流程，无疑将有助于提高整个桥梁管理体系的科学性和有效性。

【参考文献】

- [1] 郭利利. 公路桥梁养护维修中裂缝成因及处治对策[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (02): 158-160.
- [2] 杨维军. 公路桥梁养护维修中裂缝成因的分析及处治措施[J]. 建材发展导向, 2023, 21(24): 39-41.
- [3] 刘耀. 公路桥梁养护维修中裂缝成因及处治对策[J]. 运输经理世界, 2023, (21): 139-141.