

南水北调跨渠道桥梁检测方法及维修处理措施分析

孙鲁楠¹ 张西珂² 王梦杰³ 董 通³

1. 南水北调东线山东干线有限责任公司 山东 济南 250109

2. 山东环发工程管理有限公司 山东 济南 250100

3. 山东润鲁工程咨询集团有限公司 山东 济南 250100

摘 要: 本文以南水北调工程中典型跨渠道桥梁为研究对象, 系统分析其常见病害类型与成因, 提出一套融合多种技术手段的综合检测方法, 并结合实际案例探讨维修加固策略。通过实地调研、无损检测与结构评估等手段, 验证了所提方法的有效性。分析表明, 采用多源信息融合的检测体系能够显著提升桥梁健康状态识别的准确性, 为后续维护提供科学依据。

关键词: 南水北调; 跨渠道桥梁; 结构检测; 维修加固; 健康监测

引言: 南水北调工程作为我国战略性水资源配置项目, 意义重大且影响深远。其配套的跨渠道桥梁如同工程的脉络, 在保障输水安全方面扮演着举足轻重的角色。这些桥梁承载着输水线路上的交通往来, 确保了渠道的正常运行以及周边区域的交通顺畅, 是南水北调工程不可或缺的组成部分。

1 长期以来, 跨渠道桥梁面临着诸多严峻挑战

1.1 环境侵蚀方面, 桥梁常年暴露在自然环境中, 遭受雨水、风沙、温度变化等因素的侵蚀。例如, 在一些雨水充沛的地区, 桥梁结构频繁受到雨水冲刷, 混凝土表面逐渐被侵蚀, 钢筋也面临着锈蚀风险; 在寒冷地区, 冻融循环对桥梁结构的破坏作用显著, 反复的冻结和融化使得混凝土内部产生微裂缝, 随着时间的推移, 裂缝不断扩展, 严重影响结构的耐久性。荷载作用上, 交通流量的日益增加以及重型车辆的频繁通行, 使得桥梁承受的荷载不断增大。一些桥梁在设计时的承载标准已无法满足现今的交通需求, 导致结构出现疲劳损伤, 进而引发各种病害。施工缺陷也是不可忽视的因素, 部分桥梁在施工过程中, 由于施工工艺不达标、质量控制不严格等原因, 存在混凝土浇筑不密实、钢筋布置不合理等问题, 这些隐患在桥梁长期运行过程中逐渐显现出来, 成为病害产生的根源^[1]。

1.2 在这样的背景下, 桥梁结构易出现裂缝、沉降等问题, 严重威胁工程运行安全。裂缝的出现不仅影响桥梁的外观, 更重要的是削弱了结构的承载能力, 使得水分和有害物质容易侵入结构内部, 加速钢筋锈蚀和混凝土劣化; 沉降问题则会导致桥梁结构的不均匀受力, 引发更大的安全隐患。当前, 传统检测方法如人工肉眼观察、简单量具测量等, 存在效率低、精度差等局限。

人工巡检主观性强, 不同检测人员的判断标准和经验不同, 容易出现漏检和误判; 且对于一些隐蔽性病害, 传统方法难以发现, 难以满足复杂环境下桥梁的精细化管理需求。因此, 构建一套高效、智能的桥梁检测与维修技术体系迫在眉睫, 这对于支撑南水北调工程的可持续运行, 保障国家水资源战略的顺利实施具有至关重要的意义。

2 桥梁病害类型与成因分析

南水北调沿线跨渠道桥梁形式多样, 主要包括简支梁桥、连续梁桥和拱桥等。不同形式的桥梁在结构特点和受力方式上存在差异, 因而所面临的病害类型和成因也各有特点。

2.1 混凝土开裂

混凝土开裂是跨渠道桥梁中极为常见的病害之一。裂缝的形式多种多样, 有表面裂缝、贯穿裂缝等。从成因上看, 设计方面, 结构构造的受力不合理是一个重要因素。例如, 在一些桥梁设计中, 对某些部位的应力集中问题考虑不足, 当桥梁承受荷载时, 这些部位就容易产生裂缝。施工技术与工艺的限制也不容忽视。在混凝土浇筑过程中, 如果振捣不充分, 会导致混凝土内部存在空隙, 降低结构的密实性, 从而在后续使用中容易引发裂缝; 混凝土早期养护工作没有做到位, 导致混凝土干缩, 也是裂缝产生的常见原因。环境因素同样会对混凝土开裂产生影响, 桥梁周围环境中的温度湿度的骤变, 会使混凝土产生热胀冷缩和干湿变形, 当这种变形受到约束时, 就会产生裂缝; 车辆的超载行驶也会使桥梁结构承受过大的应力, 进而引发裂缝^[2]。

2.2 钢筋锈蚀

钢筋锈蚀会严重降低钢筋与混凝土之间的粘结力,

削弱结构的承载能力。其主要原因包括混凝土保护层厚度不足,使得钢筋容易暴露在外界环境中,与空气中的氧气、水分等发生化学反应;混凝土碳化也是导致钢筋锈蚀的重要因素,随着时间的推移,混凝土中的碱性物质逐渐被中和,碳化深度不断增加,当碳化层到达钢筋表面时,钢筋就会失去碱性保护,开始锈蚀;此外,南水北调工程中的渠道水含有各种化学物质,如果桥梁结构防水措施不到位,这些化学物质就可能渗透到混凝土内部,加速钢筋锈蚀。

2.3 支座老化

支座作为桥梁结构中连接上部结构和下部结构的重要构件,起着传递荷载和适应桥梁变形的作用。支座老化的表现主要有支座材料性能下降,如弹性恢复力和承载能力减弱,使得支座不能有效地承受桥梁的荷载;支座结构出现裂缝、变形脱落等破损现象,这将直接影响桥梁的稳定性和安全性。支座老化的原因主要是长期受到桥梁上部结构的荷载作用以及外界环境因素的影响,如温度变化、湿度变化、化学腐蚀等。随着桥梁使用时间的增长,支座材料逐渐老化,其性能也随之下降^[3]。

2.4 基础沉降

基础沉降会导致桥梁结构的不均匀受力,引发上部结构的裂缝和变形。造成基础沉降的原因主要有设计承载力不足,在桥梁设计时,对地基承载力的估算不准确,或者没有充分考虑到后期可能出现的荷载变化,导致基础设计无法满足实际需求;施工质量控制不严,如基础施工过程中,地基处理不彻底,桩基础的施工质量不符合要求等;外部环境因素如地下水水位变化、地震等也会对基础产生影响,导致基础沉降。例如,在一些地下水位较高的地区,地下水的长期浸泡会使地基土的力学性能下降,从而引发基础沉降。

3 桥梁检测方法研究

为了准确、高效地检测出跨渠道桥梁的病害,需要综合运用多种检测方法。每种检测方法都有其独特的优势和适用范围,相互配合能够实现对桥梁结构的全面检测。

3.1 常规人工巡检

常规人工巡检是最基础的检测方法,通过检测人员用肉眼观察、使用简单工具(如锤子、钢尺等)进行检查。这种方法适用于初步排查表面损伤,能够直观地发现桥梁结构表面的裂缝、剥落、变形等明显病害。然而,人工巡检存在明显的局限性,主观性强,不同检测人员的经验和判断标准不同,可能会导致对病害的判断出现偏差;效率低,对于大型桥梁或结构复杂的桥梁,

人工巡检需要耗费大量的时间和人力;而且人工巡检难以发现一些隐蔽性病害,如内部钢筋锈蚀、混凝土内部缺陷等。

3.2 无损检测技术应用

无损检测技术在桥梁检测中具有重要作用,它能够在不破坏桥梁结构的前提下,对结构内部的缺陷进行检测。超声波检测利用超声波在混凝土中的传播特性,当混凝土内部存在缺陷时,超声波的传播速度、振幅等参数会发生变化,通过检测这些参数的变化来判断混凝土内部是否存在缺陷以及缺陷的位置和大小;雷达探测利用电磁波在不同介质中的传播特性,能够快速检测出混凝土结构内部的钢筋分布、缺陷等情况;红外热成像则是根据物体表面温度分布的差异来检测结构内部的缺陷,当混凝土内部存在缺陷时,其表面温度会与正常部位产生差异,通过红外热成像仪可以直观地显示出这种温度差异,从而发现缺陷。无损检测技术具有检测速度快、精度高、不破坏结构等优点,能够有效地识别桥梁内部的缺陷,但对于一些复杂的病害,可能需要结合其他检测方法进行综合判断。

3.3 无人机辅助检测

无人机辅助检测在跨渠道桥梁检测中具有独特的优势。它可以快速到达桥梁的高空部位和难以到达的区域,如桥梁的拱顶、桥墩的高处等,提高检测效率与安全性。无人机搭载高清摄像头和其他传感器,能够实现图像自动采集与处理。通过对采集到的图像进行分析,可以清晰地观察到桥梁结构表面的病害情况,如裂缝的分布、宽度等。无人机还可以对桥梁进行定期巡检,通过对比不同时期的图像,及时发现病害的发展变化情况^[4]。

3.4 BIM与GIS集成监测系统

BIM(建筑信息模型)与GIS(地理信息系统)集成监测系统为桥梁结构状态动态监控提供了有力的技术支持。BIM技术能够构建桥梁的三维数字模型,将桥梁的结构信息、材料信息、施工信息等集成到模型中,实现对桥梁结构的可视化管理;GIS技术则能够结合地理信息,将桥梁的位置信息、周边环境信息信息与BIM模型相结合,实现对桥梁结构状态的动态监控。通过在桥梁结构关键部位布置传感器,实时采集结构的应力、应变、位移等数据,并将这些数据传输到BIM与GIS集成监测系统中,与模型进行对比分析,从而及时发现结构的异常情况,预警潜在风险^[5]。

4 维修加固措施探讨

根据检测结果,对桥梁病害进行分级,针对不同等级的病害制定相应的维修方案,以确保桥梁结构的安全

性和耐久性。同时,建立“检测—评估—维修”闭环管理体系,能够实现对桥梁养护的智能化管理,提高养护效率和质量。

4.1 轻微病害

对于轻微病害,如表面裂缝宽度较小、混凝土表面轻微剥落等,可以采取表面封闭、防水涂层修复等非结构性补强措施。表面封闭是采用密封胶等材料对裂缝进行填充,防止水分和有害物质侵入结构内部,从而延缓病害的发展;防水涂层修复则是在桥梁结构表面涂刷防水涂层,增强结构的防水性能,保护结构不受外界环境侵蚀。例如,对于宽度小于0.2mm的表面裂缝,可以采用环氧树脂密封胶进行封闭处理;对于混凝土表面轻微剥落的部位,可以先清理表面,然后涂刷防水涂层,提高结构的耐久性。

4.2 中度损伤

当中度损伤时,如构件出现明显裂缝、钢筋锈蚀但未严重影响结构承载能力等,采用碳纤维布加固、外包钢加固等方式增强构件承载力。碳纤维布加固是将碳纤维布粘贴在构件表面,利用碳纤维布的高强度特性,提高构件的抗弯、抗拉能力;外包钢加固则是在构件外部包裹型钢,通过型钢与原构件共同受力,增强构件的承载能力。例如,对于出现纵向裂缝的主梁,可以在裂缝两侧粘贴碳纤维布进行加固;对于桥墩表面混凝土剥落、钢筋锈蚀的部位,可以采用外包钢加固的方法,提高桥墩的承载能力^[6]。

4.3 严重破坏

当桥梁结构出现严重破坏,如主梁断裂、基础严重沉降等,考虑更换构件或整体重建。在更换构件时,应选择与原构件性能相同或更优的材料,确保新构件的质量和性能满足要求;在整体重建时,需要重新进行设计和施工,充分考虑桥梁的使用功能、结构安全性以及耐久性等因素。必要时引入高性能混凝土或新型复合材料提升结构性能,如采用高强度、高耐久性的混凝土,或者使用纤维增强复合材料等新型材料,提高桥梁结构的

承载能力和抗腐蚀性能。

4.4 建立“检测—评估—维修”闭环管理体系

建立“检测—评估—维修”闭环管理体系,是实现桥梁养护智能化发展的关键。通过定期检测,及时发现桥梁结构的病害和安全隐患;利用科学的评估方法,对桥梁的技术状况进行全面评估,确定病害的严重程度和发展趋势;根据评估结果制定合理的维修方案,并及时进行维修处理。维修后,再次进行检测和评估,验证维修效果,形成一个完整的闭环管理流程。同时,利用信息化技术,建立桥梁养护管理数据库,将检测数据、评估报告、维修记录等信息进行整合,实现对桥梁养护的信息化、智能化管理,为桥梁的长期安全运行提供保障。

结束语

本研究构建了一套适用于南水北调跨渠道桥梁的综合检测与维修技术体系,通过对桥梁病害类型与成因的深入分析,提出了多种检测方法和维修加固措施,并通过典型案例验证了该技术体系的有效性,提升了桥梁运维的科学化水平。未来研究应聚焦于智能感知设备的集成优化,进一步提高检测的准确性和效率。

参考文献:

- [1]王茂鑫,赵超超.新时期道路桥梁施工管理养护及加固维修分析[J].中华建设,2025,(07):43-45.
- [2]杨红海.高速公路桥梁路面养护与维修技术探究[J].建材发展导向,2025,23(11):58-60.
- [3]林云,黄华琪.跨输水渠道改扩建桥梁水质保护措施及应急蓄毒池设计研究[J].科技与创新,2020,(18):42-43.
- [4]吕鸿翔,林志梁.南水北调东线长沟节制闸通航安全防护设计[J].山东水利,2021,(02):16-17.
- [5]张东霞.南水北调济南市暗涵段输水工程检测分析[J].山东水利,2021,(02):58-59.
- [6]刘朝凤,郑科学.智能建造技术在无棣拦河闸施工中的应用[J].山东水利,2025,(02):46-48.