

老灌区改造中渠系建筑物结构安全评估与加固技术研究

文 / 罗才俊 海南铮光勘测设计咨询有限公司

摘要：老灌区渠系建筑物在长期使用中面临结构老化、耐久性下降等问题，影响了灌区的正常运行和水利功能。针对这些问题，结构安全评估和加固技术成为改造中的关键环节。采用现代评估方法，如荷载试验、变形监测和应力应变测试，能够准确评估建筑物的安全性和稳定性。碳纤维加固、纤维复合材料技术及喷射混凝土等新型加固材料的引入，提高了加固效果，并减少了对原结构的干扰。这些先进的加固技术不仅提高了建筑物的承载能力，还能延长其使用寿命，促进老灌区改造工程的高效实施，为灌区的可持续发展提供有力保障。

关键词：老灌区改造；渠系建筑物；结构安全评估；加固技术；水利工程

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.22.112

引言

老灌区渠系建筑物的安全性问题日益突出，尤其是在长期使用后，结构老化、荷载增加等因素使其承载力下降，影响了水利工程的正常运作。因此，对这些建筑物进行结构安全评估和加固成为亟待解决的课题。现有的加固技术和评估方法为改造提供了理论依据，但随着环境变化和水利需求的增长，传统技术面临许多挑战。新型加固材料和智能化技术的引入为提升建筑物的安全性和稳定性提供了新的可能。通过精准的安全评估和高效的加固措施，可以显著提高渠系建筑物的抗风险能力，确保其长期稳定运行。对加固技术和评估方法的持续研究和发展，将为老灌区改造提供更具前瞻性的解决方案。

一、老灌区渠系建筑物现状与结构安全问题分析

（一）建筑物老化的主要表现与影响因素

老灌区渠系建筑物老化问题突出，尤其使用年限长的建筑，主要表现为混凝土裂缝、钢筋锈蚀、基础沉降，影响整体稳定性，且年限越久耐久性越差，极端气候下老化更明显。老化主因是长期暴露于恶劣环境，水流侵蚀、冻融作用、化学腐蚀加速损坏；建筑材料质量差、施工工艺不规范、设计缺陷也关键，老灌区水泥和砂浆耐久性问题突出，易渗水、裂缝扩展，加剧老化。

（二）渠系建筑物常见的安全隐患与结构缺陷

渠系建筑物长期使用后，常暴露裂缝扩展、基础下沉、结构强度不足等安全隐患与缺陷，这与设计、施工、使用环境密切相关。老灌区混凝土结构因水泥质量差、施工配料不达标，抗压强度低，且施工粗制滥造、缺技

术支持，易致结构缺陷。此外，灌区水流量增加使渠道水位变动大，水流冲刷加剧，还可能引发堤防或建筑物局部失稳。

（三）影响结构安全性的环境与荷载变化因素

环境因素深刻影响渠系建筑物安全，气候变化使灌区极端天气增多，洪水、干旱、冻融等均对结构施压，尤其冻融循环中，水分渗入裂缝后冻胀，会致混凝土膨胀、裂缝扩大，削弱稳定性与强度。荷载变化也关键，灌区功能需求提升使水流量增加，原有建筑荷载加大，原设计标准难满足，无法承受更大水流压力与冲击。此外，渠道内泥沙沉积、植被生长会增水流阻力，影响安全运行。

二、老灌区渠系建筑物结构安全评估方法研究

（一）常见结构安全评估模型与方法

结构安全评估的核心任务是判断建筑物在不同荷载和环境条件下的安全性。常见的安全评估方法包括静力分析法、动力分析法、极限状态分析法等。这些方法能够有效地评估建筑物在当前状态下的安全性能。静力分析法通过计算建筑物在外部荷载作用下的变形和应力分布，判断其是否能承受所需荷载；而动力分析法则考虑建筑物在动态荷载下的响应，如地震、风力等因素的影响。极限状态分析法则则是通过对建筑物的极限承载能力进行分析，评估其在极端条件下是否能维持稳定。随着技术的发展，有限元分析（FEA）和三维建模技术也逐渐被引入到结构安全评估中，能够模拟复杂结构的受力与变形情况，为安全评估提供更精确的数据支持。见表1所示。

表1：常见结构安全评估方法对比

评估方法	特点	适用范围	优点	缺点	应用案例数量（个）	成本（万元/项目）
静力分析法	计算建筑物在外部荷载作用下的变形和应力分布	稳态荷载下的结构评估	精确、直观	无法考虑动态影响	50	20
动力分析法	考虑建筑物在动态荷载下的响应，如地震、风力等	动态荷载下的结构评估	能反映动态响应	计算复杂、数据要求高	30	30
极限状态分析法	分析建筑物的极限承载能力	极端条件下的结构评估	能评估极限状态下的性能	需要大量实验数据	20	40
有限元分析（FEA）	模拟复杂结构的受力与变形情况，提供精确数据支持	复杂结构的详细评估	精确、可模拟复杂情况	需要专业软件和知识	40	50
三维建模技术	可视化结构的受力与变形情况，辅助有限元分析	复杂结构的可视化评估	直观、辅助设计	对软件和硬件要求高	35	45

（二）评估指标的选择与权重分析

在进行安全评估时,选取合适的评估指标至关重要。常见的评估指标包括建筑物的承载能力、变形程度、裂缝宽度、材料腐蚀程度等。每一个指标都反映了建筑物在不同方面的安全状况。为了使评估结果更为科学和合理,需要对各个评估指标进行权重分析,确定各个指标在总体安全评估中的相对重要性。通过专家评审法或层次分析法(AHP),可以根据实际情况赋予每个评估指标不同的权重值。此举能够确保在评估过程中,关键因素被充分考虑,从而提高评估结果的准确性。最终,通过综合各个指标的权重值和评估数据,形成建筑物的安全等级,为加固和改造提供科学依据。

（三）结构安全性评价结果的应用与决策

结构安全性评价的最终目标是为老灌区渠系建筑物的改造和提升提供科学、可靠的决策依据。通过量化的安全评估,决策者能够清晰了解现有建筑物的安全状况,评估其是否满足当前和未来运行的需求。如果建筑物存在安全隐患,评估结果将帮助决策者判断是否需要进行加固或改造,或提出更具针对性的修复方案。评估结果还能为新建设或改建项目的设计提供数据支持,确保新建建筑符合安全标准。基于安全性评估结果,决策者可以选择不同的加固策略,制定局部或整体加固方案,甚至在某些情况下,决定替换部分结构,确保工程投资与加固效果之间的最佳平衡。长期的安全监测与评估也可以作为运维计划的重要参考,有助于及时发现潜在隐患,保障灌区在长期运行中的稳定性与安全性。

三、适用于渠系建筑物的加固技术与施工方法

（一）传统加固技术的优缺点分析

传统加固技术主要包括增设支撑、加固外包、增设钢筋等方法。这些技术在早期应用广泛,但随着建筑物安全要求的提升,传统方法的局限性逐渐显现。例如,增设支撑或加固外包虽然能提高建筑物的承载能力,但通常会影响到原有结构的使用功能,且施工过程较为烦琐,可能造成施工现场的干扰和安全隐患。加固钢筋的做法通常用于提高混凝土结构的抗拉强度,但这一方法需要对现有结构进行一定程度的破坏,增加了施工难度和成本。此外,传统加固技术往往忽视了长期环境变化对建筑物的影响,可能未能达到预期的加固效果。

（二）新型加固材料与技术的应用前景

材料科学与技术的进步推动了新型加固材料和技术在渠系建筑物加固中的应用。例如,碳纤维加固技术因其高强度、轻重量和优异的耐腐蚀性能,已在建筑领域得到广泛应用。这项技术能够在不增加结构自重的情况下,显著提高建筑物的承载能力。外包粘贴纤维复合材料技术,特别适用于混凝土结构的加固,能够增强结构的整体稳定性和耐久性。除此之外,喷射混凝土技术和预应力加固技术等新兴方法也在渠系建筑物加固中显示出巨大的应用潜力,能有效提高建筑物的抗震性与承载能力。新型材料和技术的应用,不仅能够显著提升加固

效果,还能减少施工过程中对原结构的干扰,降低加固对正常使用的影响。

（三）加固技术在不同类型建筑物中的选择与适配

不同类型的渠系建筑物在结构设计和需求上各具特色,因此在选择加固技术时,必须根据建筑物的具体情况进行精准分析。例如,对于基础较为坚实且结构完整的建筑物,可以通过增设钢筋或外包粘贴纤维复合材料等方式增强其承载能力,确保稳定性。而对于出现基础下沉或不均匀沉降的建筑物,则需要考虑采取注浆加固、基础调整等措施,恢复其结构平衡。加固技术的选择不仅要考虑建筑物的现有状况,还要综合工程预算、施工周期、环境因素等多方面要求,确保加固方案的合理性和经济性。

四、渠系建筑物加固效果评价与实施建议

（一）加固效果的定量评估方法

加固效果的定量评估是评估加固方案是否成功的核心步骤,通常需要通过精确的技术手段对比加固前后的建筑物性能指标(见图1)。荷载试验是常见的评估方法,通过模拟建筑物在正常运行状态下的荷载情况,测试其在各种荷载下的应力、变形及承载能力。通过这些测试,可以验证加固后建筑物是否能够满足设计要求,是否具备足够的安全性和稳定性。变形监测则通过传感器等设备实时监控建筑物的位移、裂缝宽度等信息,以便及时发现潜在的变形问题,确保建筑物在使用过程中能够维持正常运行。应力应变测试能够为建筑物的受力状态提供详细数据,帮助评估加固效果是否达到预期标准,从而为后续的改进和决策提供科学依据。

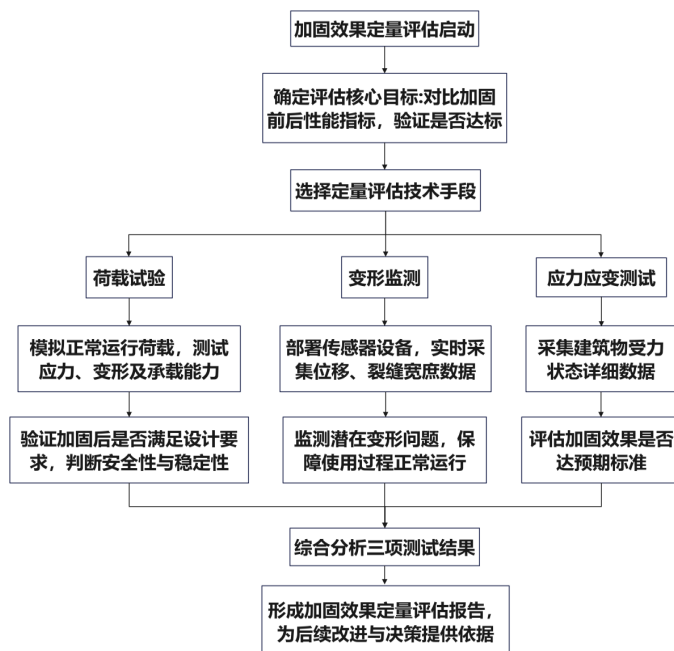


图1:老灌区渠系建筑物加固效果定量评估流程图

（二）加固施工中的常见问题与解决方案

加固施工过程中常遇到的问题主要包括施工周期长、质量控制难度大、原结构干扰等。施工周期延长通常是

由于加固技术复杂、需要多步骤操作所导致，影响了灌区的水利功能的正常运作。因此，在加固施工之前，制定科学合理的施工计划非常重要，确保所有操作流程得到充分论证，并在施工过程中严格执行。此外，施工质量不稳定是另一个常见问题，通常是由于施工管理不到位、人员技术水平不高或使用的加固材料质量不符合标准。解决这一问题需要通过强化施工过程的监管、加强施工人员的培训、确保加固材料的合格性等多方面的措施。

（三）提高加固效果的关键技术与管理措施

为了进一步提高加固效果，技术手段和管理措施必须协调配合。首先，加强加固方案的设计审查，确保选择的技术符合建筑物的具体情况和长期使用需求，避免因设计失误导致加固效果不佳。其次，施工质量的严格把控至关重要，需要在每个施工环节中实施严格的质量监控，确保每一步操作都达到标准，避免质量问题的发生。施工过程中，定期监测加固后建筑物的运行状况，及时发现潜在的问题，并采取相应措施进行调整，能够有效保障加固效果的长期稳定性。此外，项目结束后，制定详细的维护和监测计划，通过长期跟踪建筑物的使用状态，确保加固效果在建筑物的整个生命周期内都能维持良好，从而提高加固工程的整体效率和持久性。

五、老灌区渠系改造技术难点与发展方向

（一）当前技术难点与挑战分析

老灌区渠系建筑物的改造工作面临多方面的技术难点，首先，由于灌区中建筑物类型多样，结构复杂，不同建筑物的设计理念、施工工艺以及所处的地理环境差异，都使得加固方案的选择变得十分复杂。例如，有些建筑物是早期土建结构，存在材料老化及承载能力不足的问题，而一些较新建筑物可能面临荷载增大、设备更新等压力。其次，历史遗留的设计与施工问题，使现有建筑与当时技术标准存较大差异，加固方案需兼顾当下问题与早期设计缺陷。最后，随着改造工程范围扩大，导致施工质量控制与进度管理更复杂，需高效管理手段与精细执行力保障工程推进及效果。

（二）智能化与信息化技术在加固中的应用前景

智能化与信息化技术的引入为渠系建筑物加固提供了新的思路和手段。例如，大数据和云计算技术能够对建筑物的实时数据进行远程监控和分析，精确评估建筑物的健康状态，并及时预警潜在的风险。通过传感器、摄像头等设备，可以持续收集建筑物内部及周围环境的变化数据，从而对其结构安全进行动态监测，

减少突发事件的发生。此外，应用无人机进行高效的现场勘察，能够节省大量人工成本，并提升工作效率。机器人技术可以在复杂环境中执行精确的加固操作，减少人为干预与误差。虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术还能够提供施工前的可视化模拟，帮助设计人员更直观地优化加固方案，避免实际操作中的误差与不确定性。

（三）老灌区改造中安全评估与加固技术发展趋势

老灌区渠系建筑物改造正迈向智能化与自动化。未来结构安全评估将摆脱传统静态分析，更多采用动态监测技术，通过实时数据采集处理，持续追踪建筑健康状态，提供更精准及时的评估结果。加固技术上，除传统混凝土法，新型高性能纤维材料、智能纤维将成主流，其强度高、耐久性好且具自我修复能力，能提升建筑长期稳定性。同时，绿色环保加固技术将成趋势，减少环境影响。随着数字化发展，基于大数据的建筑全生命周期管理模式将成主流，借实时监测、数据分析与智能决策，保障建筑长期安全稳定，推动加固改造高效可持续。

结语

本文通过对老灌区渠系建筑物的结构安全评估与加固技术进行分析，探讨了现有技术 在改造中的应用现状和挑战。随着老灌区建筑物老化问题的日益严重，加固技术和评估方法的有效性和前瞻性变得愈加重要。新型加固材料和智能化技术的不断发展，为建筑物的加固与改造提供了更多的可能性。通过对结构的精准评估和高效的加固方案，可以有效提高建筑物的承载能力和耐久性，确保灌区长期稳定运行。未来，随着技术的进步和应用 的深入，老灌区的改造将更加高效和可持续，为水利工程的发展提供有力支持。

参考文献

- [1] 张博，王丽．渠系建筑物加固技术的研究与应用[J]．水利工程建设，2021，45(3): 89-95.
- [2] 李宇，陈强．老灌区渠系建筑物安全评估方法探讨[J]．水利科技，2020，38(6): 54-59.
- [3] 高峰，刘飞．基于智能化监测技术的灌区改造与加固研究[J]．建筑与结构，2022，48(4): 102-108.
- [4] 赵欣，黄文杰．新型加固材料在渠系建筑物中的应用分析[J]．现代水利工程，2020，52(2): 75-80.
- [5] 李涛，张蕾．渠系建筑物加固与耐久性分析方法的优化研究[J]．水利技术，2021，39(5): 66-72.

作者简介：罗才俊，1993-09，男，乐东黎族自治县人，汉族，本科，水工建筑工程师，研究方向：水工建筑。