

污水厂构筑物水池结构的优化设计分析

文 / 代向奎 中国市政工程中南设计研究总院有限公司

邹云鹤 中国市政工程中南设计研究总院有限公司

摘要：本文探讨了污水处理厂构筑物水池结构的优化设计，基于其基本要求及影响因素依次从结构稳定性、抗腐蚀性能、施工便捷性以及经济性等方面进行了分析，并通过实际案例进行了验证。研究表明，结构优化设计不仅可以提升水池的整体性能和使用寿命，还能有效降低建设和运营成本，为污水处理厂水池结构的设计优化提供新思路。

关键词：水池；污水厂构筑物；结构优化设计

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.09.115

引言

随着城市化进程的加快，污水排放量逐年增加，导致污水处理系统中以水池结构为核心的构筑物面临更大的挑战。然而，传统水池结构设计存在诸如结构稳定性较差、抗腐蚀性能不足、施工复杂以及经济性较低等一系列问题。因此，开展污水处理厂水池构筑物的结构优化设计研究，对于提高水池的综合性能、降低建设和运营成本，以及保障污水处理设施在长期运行中的高效性与稳定性具有重要的实践意义。

一、水池结构设计基础

（一）水池结构设计的基本要求

污水处理厂中水池的设计必须满足一系列基本要求以确保其功能性与经济性，除了需要足够的强度以承受预期荷载、良好的密封性以防止渗漏、合理的形状和尺寸以适应工艺流程，还应包括科学的布局设计，以便于日常维护和管理。此外，设计过程中还应充分考虑未来扩建的需求，并确保与周围环境的协调性，从而实现长期可持续的运营。

（二）影响水池结构设计的因素分析

水池结构设计受到多种因素的影响，主要包括地质条件、气候特征、使用功能、施工技术以及材料性能等。例如，在地质条件复杂的地区，需特别关注地基处理和抗震设计，以确保结构的稳定性；而在寒冷地区，则应充分考虑冻胀现象对结构的潜在影响，以采取有效的防护措施。此外，不同的使用功能（如沉淀池、反应池或储水池）对设计参数的要求也存在显著差异，因此需根据具体功能进行针对性的设计调整。

（三）水池结构设计中常用材料与技术

钢筋混凝土因其优异的力学性能和耐久性广泛应用于水池结构。随着新材料和新技术的发展，高性能混凝土逐渐被引入到水池结构中，以进一步提升结构的整体

性能与耐用性。在施工技术方面，除了传统的现浇施工方法外，预制构件的应用也日益增多，这不仅有助于提高施工效率和工程质量，还能有效降低施工过程中的不确定性。

二、水池结构设计优化原则

（一）结构稳定性的优化

结构稳定性是水池结构设计的首要考虑因素，优化设计应确保水池在各种荷载作用下具有足够的承载能力和稳定性，这通常涉及对水池形状、尺寸以及加固方式等多个方面的综合考量。例如，通过增加墙体厚度或采用加筋混凝土可以有效提高结构的抗压和抗剪能力，此外，合理的布局和有利的支撑系统设计也是保证结构稳定性的关键。

近年来，众多研究成果表明，采用高性能纤维增强复合材料作为加固材料，能够显著提高混凝土结构的抗压、抗裂等力学性能，同时还具有提高耐久性、延长使用寿命并降低维护成本等显著优势^[1]。此外，在建筑物与基础之间设置隔震层，可以有效地吸收和分散地震能量，从而减少地震对建筑物的破坏。尤其是在地震多发区域，使用隔震支座等先进减震技术也能有效提升建筑物的安全性^[2]。

（二）抗腐蚀性能的优化

由于长期接触含有腐蚀性化学物质的污水，水池结构材料的抗腐蚀性能尤为重要。为确保水池的长期使用和稳定运行，优化设计应选择合适的材料或涂层来提高结构的耐腐蚀性。例如，使用耐腐蚀性强的不锈钢或应用防腐涂料可以显著延长水池的使用寿命。众多实践案例表明，钢筋混凝土结构表面经环氧树脂涂层、纤维增强塑料等材料处理后，其使用寿命可比未经处理的结构延长一倍以上。

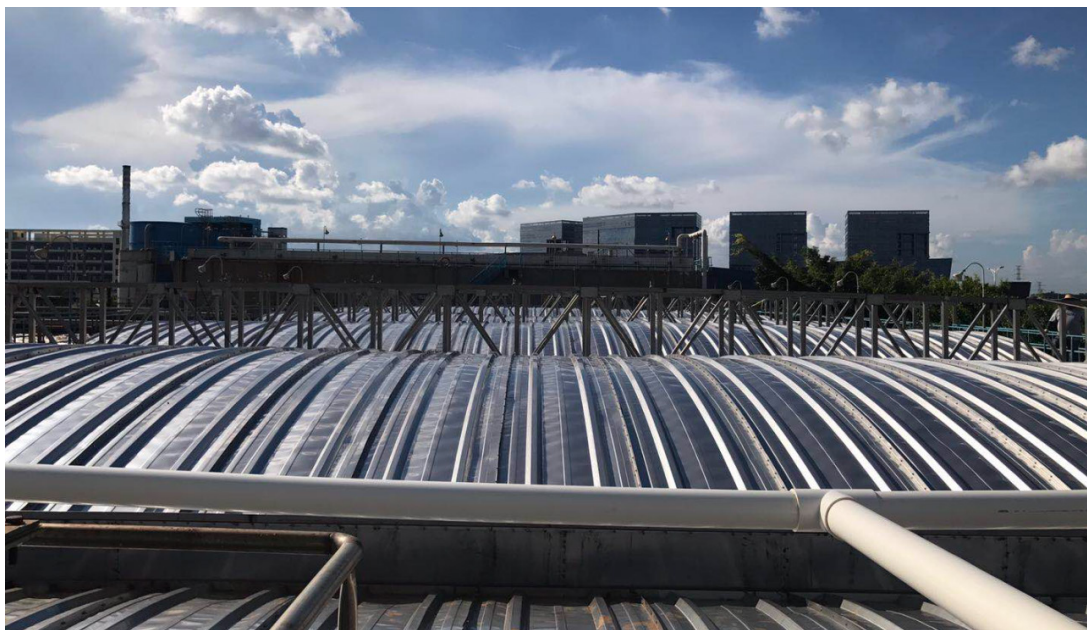


图1 不锈钢水池结构材料

（三）施工便捷性及高效管理的优化

施工便捷性直接影响到项目的进度和成本，优化设计应考虑到施工过程中的各种因素，如模板的选择、浇筑方法、养护条件等。采用预制构件可以大大缩短现场施工周期并提高工程质量。例如，某大型城市污水处理厂项目采用了全装配式钢结构建造模式，不仅将整体工期缩短了近40%，同时减少了大量土建工作量，降低了环境污染风险。此外，合理的施工顺序和高效的物流管理也是提高施工便捷性的关键措施，在规划阶段就充分考虑到材料运输路径与堆放场地布局可以避免因交通拥堵导致的工期延误；利用BIM技术进行三维模拟分析，则有助于提前识别可能遇到的问题并制定应对策略^[3]。近年来，随着物联网技术的发展，越来越多的污水处理厂开始引入智能监测系统，实时监控水质变化及设备状态，从而及时发现潜在问题并采取相应措施，进一步保障了设施的安全运行。

三、水池结构优化设计方案

（一）设计方案概述

某市新建污水处理厂设计处理能力为20万 m^3/d ，主要处理城市工业污水。此项目位于城市郊区，占地面积近50000 m^2 ，是当地重要的环保工程之一。设计团队提出的污水厂构筑物水池结构优化设计方案旨在通过综合考量结构稳定性、抗腐蚀性能、施工便捷性及经济性等因素，以达到提升污水处理效率和降低长期运营成本。

（二）结构形式与布局的优化

在结构形式与布局方面，首先根据工艺流程和处理需求确定了水池的具体尺寸和形状，并采用模块化设计理念，

将大型水池分解为多个小型单元池，每个单元池可以根据处理需求独立运作，这种设计不仅提高了系统的灵活性和可扩展性，还便于维护和检修。此外，通过合理规划水流路径和池体位置分布有效减少了水头损失，从而提高处理效率。在本案例中，通过采用模块化设计和优化水流路径，该污水处理厂的处理效率提升约了25%。

（三）配筋设计与抗浮措施的优化

水池结构设计中应根据水池的实际荷载情况和地质条件进行精确配筋计算并选用合理的抗浮措施，对于位于地下水位较高区域的水池结构来说，抗浮设计是重要考虑因素。该污水处理厂位于软土地区，地下水位对结构的浮力影响很大，除了考虑桩基抗浮外，还通过增加底板厚度并将水池埋深加大至地下水位以下2米处，成功解决了因地下水浮力导致的结构上浮问题。此外，对于尺寸较大的水池结构，其池壁配筋仅依靠传统的单板计算方法难以充分考虑复杂的受力情况，同步采用Midas有限元软件进行计算，并考虑到地上地下结构受温度作用的影响，进一步增加了池壁水平转角等关键部位的配筋量以提高结构的抗裂性能和承载能力。

（四）材料选择与防腐的优化

对于水池结构而言，应选用具有良好耐腐蚀性和力学性能的材料，在实际施工过程中还需要严格按照规范要求对原材料进行检验及成品保护工作以保证最终成品的质量符合预期目标。在该污水处理厂中，根据各构筑物中污水的腐蚀强度分别制定防腐防水措施，如事故调节池等强腐蚀环境下的水池内表面全部采用水泥基渗透结晶防水防腐涂料外加纤维增强塑料涂层；对弱腐蚀环境

下的水池结构内表面进行长期浸水区和水位变动区的划分，并采用不同的防腐做法来提高水池的耐久性和抗腐蚀性能，同时兼顾考虑了成本经济性。

（五）施工工艺的改进

在施工工艺方面，优化方案强调采用现代化施工技术和设备，采用现代施工工艺可以显著缩短建设周期、提高施工精度和质量控制，并降低成本^[4]。例如，使用滑模技术可以加快混凝土浇筑速度并提高表面质量；采用预制构件可以减少现场作业量并缩短工期；同时引入信息化工具如BIM技术可以实现施工过程的可视化管理以及提高施工精度和效率。另外，利用无人机进行施工现场的监控已成为一种趋势，它可以帮助管理者及时发现问题并作出调整以保证工程质量。在该污水处理厂中，通过部分预制构件和BIM技术的应用，该污水处理厂的建设周期缩短了15%，并且施工精度和质量控制得到了显著提升。

（六）优化设计效果分析

经过一段时间的运行测试，经过优化后的设计方案展现出良好的效果。首先，模块化设计使得水池的维护更加方便快捷，同时也为未来的扩建提供了可能。当某个单元出现问题时，只需针对该部分进行检修即可，而不影响整个系统的正常运行。另外，配筋优化设计及特定的防腐措施显著增强了水池的耐久性和抗腐蚀性能，预计其使用寿命较传统做法延长20%以上，这意味着在整个生命周期内所需的维修次数将大幅减少，从而降低长期运营成本。最后，通过使用建筑信息模型（BIM）软件进行三维模拟以及利用无人机巡检技术，工作人员能够更好地理解设计意图并提前发现潜在问题，实现对工地进度和安全状况的实时监控。该污水处理厂优化设计方案前后关键指标的预估效果如下表：

表1 优化设计方案效果评估与关键指标变化

指标	优化前	优化后	预估效果
维护便捷性	低	高	+30%
使用寿命	短	长	+20%
建设周期	长	短	-15%
劳动强度	高	低	-25%
安全风险	高	低	-30%

从表中可以看出，优化后的设计方案在多个关键指标上均有显著提升。特别是在维护便捷性和使用寿命方面，分别提高了30%和20%，这将大大减少未来的运维成本。同时，建设周期、劳动强度和安全风险均有一定程度的降低。结果表明，该优化设计方案在提高污水处理效率、降低运营成本以及延长设施使用寿命方面均取得了显著成效。

结语

本文从结构稳定性、抗腐蚀性能、施工便捷性以及经济性等方面对水池结构的设计优化进行了分析，并通过某污水处理厂实际案例探讨了结构设计优化中的具体方案，经分析可以得出以下结论：

1) 结构稳定性是优化设计中的首要考虑因素，合理的结构形式和布局设计能够有效提升水池的稳定性和承载能力。抗腐蚀性能在延长水池使用寿命方面有至关重要的作用，选择合适的材料和涂层是关键。

2) 施工便捷性直接影响项目的进度和成本，采用现代化施工技术和设备可以显著提高施工效率并确保工程

质量；经济性是评估设计方案优劣的重要标准之一，通过合理选择材料、优化结构形式及简化施工工艺等措施可以实现成本的有效控制。

3) 综上所述，污水厂中水池结构的优化设计涉及多方面问题，需要综合考虑各项因素并进行合理权衡。随着新材料、新技术和新工艺的不断发展和应用，未来污水厂构筑物的结构优化设计将会取得更加显著的成果。

参考文献

[1] 晏云潇, 杨鼎宜, 钱云峰, 等. 纤维对混凝土性能影响的研究现状 [J]. 土木工程, 2022, 11 (3): 459-473.

[2] 于健. 建筑隔震结构体系研究综述 [J]. 低温建筑技术, 2023, 45 (5): 117-121+126.

[3] 王淑婧, 王彬, 许思鹏. BIM技术在某市政水厂项目设计施工中的应用 [J]. 湖北工业大学学报, 2018, 33 (6): 109-112+117.

[4] 张朋, 魏时文, 刘长龙. 现代建筑工程管理与施工技术应用 [M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2023, 230-249.