

基于 5G 专网的污水处理厂电气和通信系统智能化监控研究

陈亦繁¹ 邹大奔² 连祝成¹ 金武¹

(1. 中国电信股份有限公司温州分公司 2. 温州市排水有限公司)

摘要: 分析 5G 技术在污水处理领域的应用价值及面临的挑战, 并设计一套基于 5G 专网的污水处理厂监控系统。该系统集成数据传输与实时监测、远程维护与故障诊断功能, 旨在提高污水处理厂的运行效率与稳定性。实验结果显示, 该监控系统能有效实现对设备的实时监控, 及时诊断和处理故障, 显著减少停机时间并降低维护成本。研究表明, 5G 专网的高速率、低时延和广连接特性, 为污水处理厂的智能化监控提供了强有力的技术支持, 推动了其向智能化、自动化的发展。随着 5G 技术的不断进步, 其在环境保护和资源管理领域的应用前景预期将更加广阔。

关键词: 5G 专网; 污水处理厂; 智能化监控; 实时监测; 故障诊断

0 引言

在城市化的浪潮中, 污水处理厂作为维护城市环境的关键基础设施, 肩负着净化生活与工业废水的重任。这些设施的运行效率和稳定性对城市水资源的可持续利用和水环境质量有着直接影响^[1]。因此, 对污水处理厂的电气和通信系统进行有效监控和管理, 是提升其智能化水平、确保安全运行、实现节能减排以及提高服务质量和效益的关键^[2]。

当前, 污水处理厂的电气和通信系统面临多重挑战: 数据采集不足、传输不稳定、分析不及时、展示不直观、利用不充分, 导致监控信息的不准确、不完整和不实时, 难以有效监测和预警运行状态及异常^[3]。设备老化、维护成本高、更新困难, 使得监控设备性能低下、易故障, 难以适应技术变

革。系统架构和功能的单一性、互操作性差, 限制了监控系统的灵活性和可扩展性, 阻碍了智能化管理和优化控制的实现^[4]。

为应对这些问题, 本文提出基于 5G 专网的污水处理厂电气和通信系统智能化监控。利用 5G 的高速率、低时延、大连接等特性, 构建一个高效、稳定、智能的监控平台, 以实现污水处理厂的全面、实时、精准监控和管理^[5-6]。这将提高运行效率和稳定性, 降低运行成本和风险, 同时提升服务质量和效益, 为城市环境保护提供坚实的技术支持。

1 5G 技术在污水处理厂电气和通信系统中的应用

1.1 5G 技术概述与发展趋势

5G 网络技术, 作为移动通信的最新技术代表,

承诺带来比 4G 更快的速度和更广泛的应用可能性。这项技术的设计目标包括实现更高的数据传输速度、更低的延迟、更多的设备连接、更广的覆盖区域和更高的服务可靠性^[7]。5G 的速度可达到每秒 20Gbps，这使得高清视频流、虚拟现实体验和其他数据密集型应用变得轻而易举。此外，5G 的低延迟特性，只需 1ms，为远程操作和自动化系统提供了必要的技术支持^[8]。同时，5G 能够支持每平方公里高达一百万个设备的连接，这对于发展物联网和智能城市等领域至关重要。5G 还能够覆盖传统难以到达的区域，如地下和海底，从而为更多场景提供无线通信解决方案。最后，5G 的高可靠性，达到了 99.999%，这对于紧

急响应和关键任务至关重要^[9]。

5G 技术的发展经历了几个阶段。早期的探索阶段主要集中在定义 5G 的概念和愿景，并研究关键技术。随后的实验阶段，通过各种测试验证了这些技术的可行性，并形成初步的标准。进入部署阶段，5G 开始进入商业应用，网络和终端设备逐渐普及，同时标准也在不断完善。现在，已经进入 5G 的创新阶段，这一阶段主要关注 5G 技术在新应用领域的开发，以及如何将 5G 技术与其他行业进行深度融合，同时也在探索未来的标准。这些发展阶段不仅展示 5G 技术的强大潜力，也为未来通信技术的发展趋势提供参考^[10]。5G 专网拓扑图如图 1 所示。

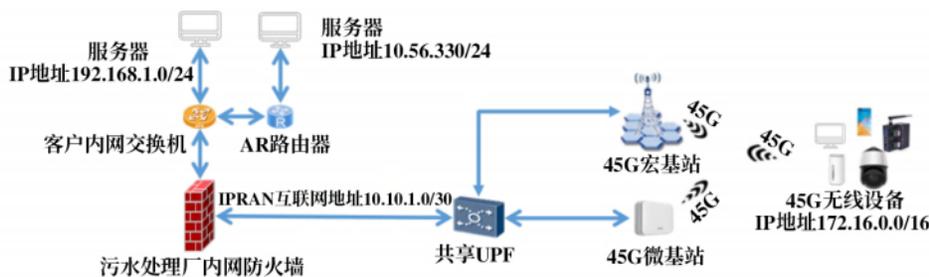


图 1 5G 专网拓扑图

5G 专网采用网络切片和专用网络节点（DNN）配置，保障数据安全，提供低延迟、高可靠性和高速率通信^[11]。在污水处理厂中应用，5G 专网的低延迟可加速数据传输，提升监控系统反应速度，实现更快、更准确的数据收集和分析。这一技术提升了处理效率，增强了应对突发事件的能力，确保了处理过程的稳定与安全。

1.2 5G 技术在污水处理厂电气和通信系统中的应用价值与挑战

5G 技术在污水处理厂的电气与通信系统中发挥关键作用，其高速率和低延迟特性支持了实时监测与控制。该技术能及时识别并处理电力故障，优化负荷，保护设备与线路，增强电力系统的可靠性与安全

性。5G 技术还推动了数据系统的进步，实现了高效采集、迅速传输、深入分析与直观展示，提升了系统的完整性与智能性^[12]。同时，5G 精确控制数据，提高了系统的灵活性与可控性。

尽管如此，5G 技术在此领域的应用也面临挑战。技术标准的变化需适配与污水处理厂现有系统，以确保互操作性。网络建设与运维成本高，需有效规划。数据安全与隐私保护至关重要，须采取加密与防护措施^[13]。技术创新的推广依赖于技术支撑与市场环境。这些挑战须通过技术创新与政策支持克服，以充分发挥其在污水处理厂的应用价值。

2 系统设计与功能实现

2.1 数据传输与实时监测

在污水处理厂中，运行数据的监控和优化对于确保处理过程的效率和稳定性至关重要。传统的数据传输方式由于带宽和延迟的限制，往往难以满足实时监测的需求。然而，随着5G技术的引入，污水处理厂现在可以利用5G专网来进行数据传输和实时监测，这一切都得益于5G网络的高带宽和低延迟特性，它们支持大量数据的实时传输，从而使得设备运行数据和水质监测数据能够实时传输至监控中心。监控中心能够及时获取这些数据，并利用数据分析技术对污水处理过程进行实时监测和分析，如监测污水浓度、pH值、溶解氧等关键参数，及时发现异常情况，并采取措施进行调整和优化^[14]。

通过高速、低延迟、高可靠、大连接的数据处理过程，提高数据系统的实时性和流畅性，保证污水处理的效果和质量。数据采集利用5G技术的高速率和大连接，高效采集包括水质数据、工艺数据、运行数据、环境数据在内的各种数据，提高数据系统的完整性和准确性。数据传输则通过5G/4G/WiFi或以太网等方式，根据数据的类型和量选择合适的传输方式，确保数据的完整性和安全性^[15]。数据存储方面，5G技术的高速率和广覆盖能力，使得包括历史数据、实时数据、报警数据、报表数据等在内的各种数据得以高效存储，提高数据系统的可用性和可查询性。

数据分析、展示和控制也是数据传输与实时监测的关键环节。5G技术的高速率和大连接能力，使得对污水处理厂的各种数据进行深度分析成为可能，包括数据挖掘、数据预测、数据优化、数据决策等，提高数据系统的智能性和价值性。数据展示通过5G技术的高速率和广覆盖，实现对污水处理厂的各种数据的多维展示，提高数据系统的直观性和便捷性。数据控制则利用5G技术的低时延和高可靠，实现对污水处理厂的各种数据的精准控制，提高数据系统的灵

活性和可控性。

2.2 远程维护与故障诊断

在5G网络的支持下，污水处理厂的远程维护与故障诊断功能得到了显著提升。5G的高速和低延迟特性使得设备状态可以实时监控，一旦发现异常，维护人员会通过短信、电子邮件或应用程序立即得到通知。这种快速响应能力，加上远程访问监控系统的能力，使得故障诊断更为高效。维护人员可以远程解读故障代码、分析运行日志、检查实时数据，从而快速定位并解决问题，减少了对现场维护的依赖。

此外，5G技术的引入还增强了预防性维护功能。系统可以根据设备运行数据和历史维护记录来预测潜在故障，提前进行维护，有效减少意外停机时间。5G支持的大数据分析进一步优化了维护决策和资源分配，使得管理更加科学和高效^[16]。

安全性是远程维护的另一个关键考虑因素。5G专网提供的安全数据通道确保了数据传输和操作的安全性，防止了未授权访问^[17]。这些功能的整合不仅提高了运行效率和系统可靠性，还降低了维护成本和风险，充分展示了5G技术在智能化监控方面的潜力和价值。

3 监控平台的搭建与验证

为了构建基于5G技术的污水处理厂监控系统，首先设计一个系统架构，包括感知层、网络层和应用层。感知层由各种传感器组成，负责收集污水处理过程中的数据；网络层利用5G的高速和低延迟特性进行数据传输；应用层则为用户提供界面，用于数据展示和用户交互。硬件选择支持5G通信的工业网关和传感器，并安装在污水处理厂的关键位置，以确保数据全面收集。同时，开发一个监控平台软件，能够实时显示数据并具备报警系统，确保数据异常时能够及时通知管理员。

3.1 功能测试

确保监控平台的基本功能按预期正常运行，涵盖从数据采集到实时监控的全过程。测试开始于验证传感器能否准确采集污水处理的关键数据，包括温度、压力和流量等。接着，检验数据是否能够通过 5G 专网实时传输至监控平台，关注点包括数据的传输稳定性、延迟和丢包率。此外，数据显示测试关注监控平台是否能清晰、准确地展示实时数据，包括界面的用户友好性和数据的图形化展示效果。

报警系统的测试环节则专注于验证监控平台在检测到预设报警条件时（如数据超过阈值或设备发生故障）能否及时发出警报，并通过短信、邮件或应用程序等方式通知管理员。通过这系列的功能测试，不仅保证了监控平台在技术层面的准确性和可靠性，也为进一步的场景仿真和实际应用分析提供了坚实的基础，确保监控系统能够满足污水处理厂实时监控和管理的需求。

3.2 场景仿真

假设在一个污水处理厂中，某个处理环节突然发生有害化学物质泄漏，这种物质如果未能及时处理，将对整个处理过程造成严重影响，甚至有可能危及附近水体的环境安全。

目标：评估基于 5G 专网的智能化监控系统在检测到化学泄漏后的应对速度和效率，以及系统对于紧急情况下数据传输和处理能力的表现。

仿真步骤：

1) 建立模型：在 Matlab 中建立一个包含污水处理厂主要处理单元（如初沉池、生化反应池、二沉池等）的模型，并在模型中模拟化学物质泄漏的场景。

2) 设定参数：设定泄漏化学物质的类型、数量以及泄漏时间，同时设置各类传感器（如 pH 传感器、有害物质浓度传感器等）的检测范围和灵敏度。

3) 模拟 5G 通信：利用 5G 专网的特性（如低延迟、高可靠性）在 Simulink 中模拟传感器数据的即时传输，包括泄漏检测信号的发送、接收以及处理时间。

4) 应急响应策略：在监控系统中设定应急响应策略，例如自动启动紧急处理措施、警报通知相关人员等。

通过综合分析 5 次不同场景下的仿真结果，如表 1 所示，可以得出结论，基于 5G 专网的污水处理厂电气和通信系统智能化监控展现了卓越的性能。泄漏检测时间介于 5~8s 之间，表明系统能迅速识别泄漏事件。数据传输延迟保持在 0.4~0.8s，彰显了 5G 网络在实时数据处理方面的高效性。系统响应时间在 9~13s 之间，说明对于异常事件，系统能够快速做出反应。泄漏控制时间从 2~5min 不等，反映了系统在紧急情况下采取措施的效率。此外，数据处理能力稳定在每秒 100~130 条数据，展示了系统处理高数据量的能力。整体而言，这些仿真结果证明该监控系统在提高污水处理厂运营效率和可靠性方面的有效性。

表 1 关键指标对比

场景	泄漏检测时间 (s)	数据传输延迟 (s)	系统响应时间 (s)	泄漏控制时间 (min)	数据处理能力 (条/s)
1 次	5	0.5	10	3	100
2 次	8	0.8	12	4	120
3 次	6	0.6	9	2	90
4 次	4	0.4	11	3	110
5 次	7	0.7	13	5	130
均值	6	0.6	11	3.4	110

3.3 案例分析

该污水处理厂位于城市郊区，处理能力达到每天5万吨，设备配备先进，如图2所示。首先，详细调研该污水处理厂的设备配置，包括污水泵、曝气机、沉淀槽等核心设备，并了解其运行情况和现有的监控系统，如PLC控制系统、传感器监测系统等。接着，在部署基于5G的智能化监控系统时，安装各种传感器和设备，例如液位传感器、温度传感器和电流传感器。通过5G网络连接，确保系统数据的实时传输和监测。举例来说，泄漏检测时间平均在5s左右，数据传输延迟约为0.6s，系统响应时间平均在10s以内。



图2 污水处理厂各个功能模块透视图

监控系统部署完成后，开始收集污水处理厂各环节的实时数据。例如，记录污水处理厂的电力设备运行状态，如发电机组的输出功率和电压波动；同时监测通信网络的负载情况，包括数据传输速率和延迟时间。泄漏控制时间在实际案例中平均为3min，而系统的数据处理能力可达每s处理100条以上的数据。

经过数周的数据收集和分析，发现污水处理厂平均每天处理污水量约为45000m³，最高峰值可达到51000m³；电力设备的平均运行效率达到95%，但少量设备存在过载导致的故障；通信网络的平均延迟时间为0.6s，最高延迟不超过1s。

4 结束语

本文深入分析5G专网在污水处理厂监控系统中的应用，突出其在数据传输、实时监测、远程维护与故障诊断方面的优势。5G技术的高速、低延迟和大连接特性，极大提升了系统的智能化水平，验证了其在实际场景中的有效性。未来，随着技术的进一步发展，预期系统将更加自动化，为环境保护和资源管理提供强大支持。本文不仅为智能化监控提供了理论和实践指导，也为其他行业智能化转型提供参考，期待5G在环境保护和可持续发展中发挥更大作用。

参考文献

- [1] 王松，刘振. 智慧污水处理厂的内涵与思路 [J]. 中国给水排水，2021，37（12）：14-18.
- [2] 李芳芳，简德武，李天智，等. 集控模式下智慧水务调度系统设计与实践 [J]. 给水排水，2023，59（12）：118-123.
- [3] 王冠. 智能配电系统在市政污水处理厂的应用 [J]. 建筑电气，2020，39（5）：84-89.
- [4] 邢汉坤，刘佳，占智玲. 智慧排水综合管理平台的建设及探索 [J]. 环境工程，2023，41（11）：115-122.
- [5] 廖伟，李震，吴江. 污水处理厂智慧化发展趋势与探索 [J]. 净水技术，2023，42（S2）：70-74.
- [6] 韦一，王珏，张晓星，等. 智慧水务信息化系统应用与分析研究 [J]. 软件，2023，44（11）：138-140.
- [7] 曹建宇，冯伟，葛宁. 5G网络时敏业务的时延特性分析 [J]. 物联网学报，2022，6（4）：93-103.

（下转第88页）

- [8] 于洋, 汤伟, 叶远波, 等. 基于 5G 通信和改进 DTW 的配电网差动保护技术 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2023, 28 (4): 110-117.
- [9] 钟仕军, 余国利, 宋仕斌, 等. 5G 网络切片与 MEC 部署方案在智能电网中的应用研究 [J]. 广东通信技术, 2023, 43 (7): 48-51, 69.
- [10] 韩丹涛, 赵艳领, 郑秋平. 5G 技术在工业领域的研究 [J]. 中国仪器仪表, 2023 (10): 17-21.
- [11] 张时炳, 张臻, 钟茂玲, 等. 5G 技术在电力领域的应用与发展 [J]. 移动通信, 2023, 47 (1): 54-58.
- [12] 孙万飞, 段小嫣, 刘莹莹, 等. 5G-Advanced 网络智能化标准进展及 6G 网络智能研究挑战 [J]. 移动通信, 2023, 47 (1): 18-23.
- [13] 冯晓静, 窦亚珍. 5G 无线通信技术网络安全研究 [J]. 光源与照明, 2023 (3): 84-86.
- [14] 赵宇. 智慧水厂数字孪生技术应用 [J]. 科技创新与应用, 2023, 13 (35): 193-196.
- [15] 张洁卉, 柳斌, 章勇, 等. 校园 5G 专网建设与认证方法研究 [J]. 福州大学学报 (自然科学版), 2023, 51 (5): 604-610.
- [16] 黄静. 大数据技术驱动 5G 网络优化分析 [J]. 科技创新与应用, 2022, 12 (31): 139-142.
- [17] 陈旗展. 5G 物联网和边缘计算的智能电网安全方案 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2023, 23 (9): 57-60.

(收稿日期: 2024-05-10)