

城市污水处理厂智慧水务系统应用浅谈

牛于晨¹ 桂跃武²

1. 合肥市第一中学; 2. 上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司

摘要:以城市污水处理厂综合管理平台为核心,通过新兴信息技术与传统水务技术的深度融合,将各类数据进行汇总存储、挖掘分析,实现数据格式化、流程标准化、应用集成化、决策科学化,以精细、动态、智能的方式提升污水处理厂管理、服务和决策工作,探索安全、高效的管理模式。

关键词:智慧水务; 物联网; GIS; 数据库; COD
【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.06.089

引言

水是人类生产生活的宝贵资源,随着人口增加、经济发展和城市化进程加快,大量水体受到污染对人们的生产和生活造成了严重的影响,污水处理厂的建设有效的缓解了水体环境污染问题。伴随着行业监管的加强、人工成本的上升和企业盈利的需要,云计算、大数据和物联网等信息技术的发展空间被打开,于是智慧水务应运而生。它是建设“智慧城市”的组成部分,以城市污水处理厂综合管理平台为核心的,通过新兴信息技术与传统水务技术的深度融合,将各类数据进行汇总存储、挖掘分析,实现数据格式化、流程标准化、应用集成化、决策科学化,以精细、动态、智能的方式提升污水处理厂管理、服务和决策工作,探索安全、高效的管理模式。

一、建设目标

智慧水务依托云计算、物联网、数学模型等新兴技术,构建基于水务大数据的综合管理平台,以污水处理厂的智慧生产、智慧运营、智慧服务为建设目标,全面提升管理人员的运营管控和决策分析能力。系统通过先进的传感和监测技术,实现污水处理厂进出水水质及各类工艺设备运行信息的全面实时感知,实现数据采集信息化、业务流程标准化、管理过程高效化、应急处理及时化等目标功能。具体建设目标为:

(1) 按照“少人、高效、智能”的原则,以污水处理厂的工艺流程和设备为服务对象,实时监控分析水质、电耗和能耗等参数指标,实现对水厂工艺设备和流程的最优控制,保障设备运行、降低生产成本。

(2) 通过对水务大数据的统计分析、深度融合,对污水处理厂的经营决策、计划调度、过程优化、故障诊断等进行综合处理,为污水处理厂稳定、高效的运行提供智能化的管理手段。

(3) 提升污水处理厂的服务水平,在数据资源共享的基础上建立标准化的服务工作流程,支持对水厂各类设备、资产的全生命周期的有效管理;建立智能辅助决策和专家诊断系统,提高突发事件、应急抢险的反应速度和处理能力。

二、系统架构

整个系统自底向上架构层次分别为:

设备感知层:基于物联网感知技术,获取污水处理厂前端各类设备实时运行数据。

自动化控制层:基于智能控制单元和前端各类传感器上传的数据信息,实现污水处理厂的自动化控制。

数据存储层:基于分布式存储体系存储污水处理厂生产运行的所有数据。

智慧应用层:由一系列业务功能组件和软件模块组成,能够结合海量数据及工艺优化的智慧化决策系统,优化污水处理厂的生产管理。

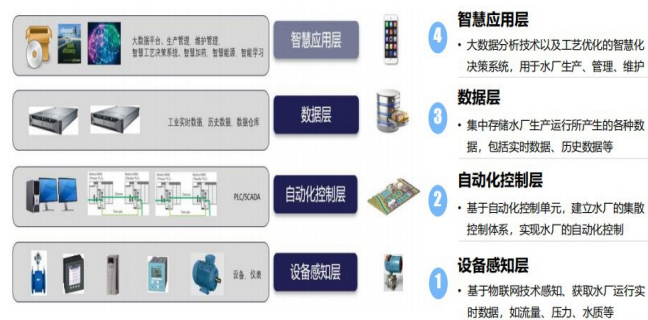


图2-1 智慧水务平台总体架构

三、建设思路

系统基于先进传感器、自动化元件、GIS、视频监控等数据信息,通过三维建模可视化技术实现污水处理厂全景实时管控,对整个污水处理厂以全面与直观的方式进行展示。通过对整个污水处理厂内设备情况进行实时监测和数据采集,形成完整、稳定的数据链路,经由分布式数据库存储于数据服务器内,并提供数据缓存服务为模型及业务逻辑提供数据支撑;当模型计算得出结论数据后,转存到历史数据库中,再反馈到业务前端展示出来。同时系统可接收到预警、报警信号,帮助用户快速定位问题所在,并以最快的速度作出响应。

四、基础功能

系统对污水处理厂进、产、排三个主要环节进行监控,将水量、水位、水质、电耗、药耗、设备状态等信息进行收集、整合、分析和处理,建立各个工艺环节的相互规约模型,分析生产环节水、电、药的消耗与进水、生产、排放之间的隐含关系,找出污水处理厂优化生产过程的管理方案,实现对污水处理企业生产过程的实时控制与精细化管理,达到智慧管理、节能降耗、减员增效的目的。

(一) 生产运营

系统根据采集的运行数据(包含水量、水位、水质、电耗、药耗、设备状态等),结合外部环境条件情况,通过多维度数据分析进行智能预报、自动控制 and 运行状态优化,为生产管理者提供决策支持,达到安全运行、出水达标、经济高效的目的。生产运营功能可提供的指标如下:

(1) 生产数据分析：水质达标率、水质在线指标、进出水污染物浓度等。

(2) 能耗数据分析：吨水电耗趋势分析、单日总电耗、吨水药耗趋势分析、单日总药耗、碳源消耗、碳源总消耗等。

(3) 运维数据分析：工单处理类型分布、工单处理效率趋势、班组效率排名等。

(4) 设备数据分析：运行状态、备品备件、参数指标、维保记录等。

(二) 设备运维

设备是污水处理厂的重要资产，是企业稳定运行的关键所在。通过信息化技术与现代化管理手段相结合，可以更加有效地利用设备资源。通过建立设备信息库以及设备在运行中自动采集的技术参数、操作日志等信息，实现设备全生命周期的信息化管理。

设备运维功能通过监测设备的运行状态、关键指标，经过综合管理平台多维度数据分析实现重要设备的运行异常预警，完成制定设备维保的工作计划、优化维保项目。在设备故障时能够帮助设备运维工作人员快速处理、按时完成设备维保任务。设备监控功能监测数据包括：

(1) 在线运行设备状态、故障设备、设备完好率及趋势、设备使用率及趋势。

(2) 设备能耗、设备类型能耗分布、构筑物中设备能耗对比分析、设备每日吨水电耗等。

(3) 故障类型分布、设备相关任务工单处理效率、当前急需维保设备等。

(三) 可视化巡检

可视化巡检以真实污水处理厂为蓝本，构建三维虚拟场景，结合三维模型、摄像头、传感器、控制单元、报警信号等一系列实时数据，实时判断各信号、图像，输出可疑预警、报警信息，能有效降低恶劣气候下人员巡检的频率。通过实时接入各类信号，用户可实时巡视厂区情况，并依托视觉信号、传感器信号、自控信号对现场设备进行远程判断及巡视。并经由系统通过摄像头不间断智能巡视，及时发现问题，保障工艺设备及巡检人员的安全。



图4-1 可视化巡检模块

(四) 应急决策

利用各类设备信息数据、水质信息数据以及实时动态监测信息，当有紧急情况发生时，系统可以在GIS地图上查询出险点并分析事故原因，提供抢险资源分布查询和应急决策分析等。平台利用已建好的模型和专家诊断系统，根据出险事故提供决策信息依据、应急预案、

物资储备情况以及救援车辆情况等因素，查看临近的工作人员或抢险队伍的分布情况与人员组成，并选择合理路径提供物资调运、队伍投入等最优方案。

(五) 数据中台

数据中台建设所涵盖的信息内容包括监测信息、业务管理信息、基础信息、空间信息、多媒体信息等内容，对应的数据库划分为监测数据库、业务数据库、基础数据库、空间数据库、多媒体数据库等。

数据中台主要提供数据信息服务，包括数据的整合，存储以及管理应用。

(1) 数据整合：由于数据种类和来源复杂，对数据采集和数据加工来的数据，选择合适的集成方式和数据转换工具进行数据整合工作，形成统一规范标准的数据。

(2) 数据存储：由于系统中数据源种类繁多，数据量大小不一，同时对数据访问的性能要求也不相同，因此在考虑数据存储的时候，可以对不同的数据采用不同的存储方式。对于结构化的水质信息、设备信息、水雨情信息等数据，由于访问的频率高，并发访问量较大，对数据的响应时间要求高，因此在数据存储选择数据库时，需要满足以下情况：支持海量数据的存储；支持大数据量的并发访问；提供完善的数据一致性机制和数据备份/恢复机制；具有完善的数据完整性机制和安全访问控制体系。

(3) 数据管理：包括目录管理、监控管理、服务分析评价和系统管理等。

(六) 移动APP

通过移动APP的建设有助于实时监测污水处理厂水质状况，获取各设备的运行信息，提高险情响应速度和险情处理效率。移动终端APP主要实现以下几项功能：

(1) GIS地图：以电子地图为基础，可查询污水处理厂各构筑物、工艺设备的地图功能。

(2) 水质信息查询：可实时查询污水处理厂各控制点水质信息。

(3) 设备监测：可查看水泵、闸门、风机等设备监测数据的分析结果，查看污水处理厂运行是否有异常情况。

(4) 移动办公管理：实现手机端业务流程的发起、申请、审批管理。

(5) 单位号簿查询，查询内部人员的电话号码，可以实现电话拨打和微信群发功能。

(6) 视频监控查询：可以根据权限，分层分级查询各个摄像头的实时和历史视频数据。

(7) 电子档案查询：通过关键字查询相关电子档案的信息，可以直接进行文件的浏览。

五、精准控制

为了降低成本、节约能耗，实现污水处理厂向高质量、高效能、精细化运行管理的转变，智慧水务系统对污水处理主要工序生化反应池的曝气和碳源投加实施精准控制。通过溶解氧的精准控制实现生化反应池同步硝化反硝化优势菌群的培养，避免人工调节滞后带来的出水水质不稳定及曝气能耗的浪费，同时通过溶解氧的分

区控制实现总氮强化反硝化去除，保证二级处理总氮去除效果，减少深度处理的脱氮负荷，保障出水总氮稳定达标。

(一) 精准曝气控制系统

通过智能控制算法实现曝气量的最佳预测，并通过调节各分支管道节流装置的开度和鼓风机组的台数、转速，使得生化反应池中的曝气量跟踪最佳值，从而提高污水处理效率、品质和节能效果。

以某污水处理厂为例，设计规模10万t/d，采用AAO工艺，处理流程为：粗格栅及进水泵房→细格栅及曝气沉砂池→AAO氧化沟→二沉池→中间提升泵房→反硝化深床滤池→臭氧接触氧化池→曝气生物滤池→高效沉淀池→转盘滤池→紫外消毒池→出水。出水水质要求达到地表准IV类水标准，即COD_{Cr}≤30 mg/L、BOD₅≤6mg/L、NH₃-N≤1.5mg/L、TN≤10(12) mg/L、TP≤0.3mg/L。

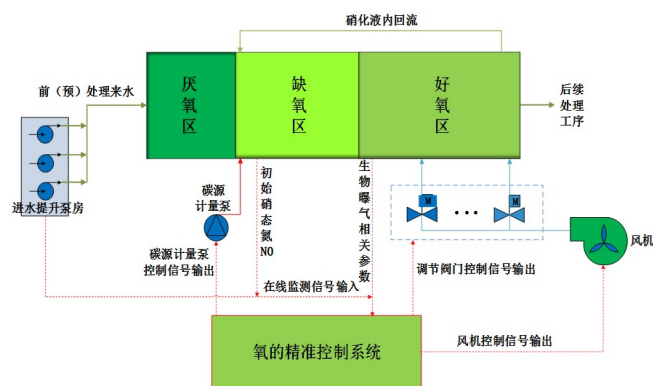


图5.1 精准控制系统逻辑图

精准曝气系统原理如图5.1所示，首先进水提升泵房、生化处理段各项检测仪表信号传输至管理平台，由生化需气量模块计算出实际需气量，然后将压力传感器、电动调节阀、热值式空气流量计和实际需气量信号传输至氧精准控制模块，最后由鼓风机控制模块、气量分配模块执行风机供风和气量的分配。

精准曝气系统主要功能：

- (1) 根据进水水质和水量，对鼓风机和各受控曝气单元的气量分配进行自动调节，按需曝气实现节能降耗；
- (2) 智能分配每个溶解氧控制区的溶氧量，自动调整气体流量设定值，为生物处理过程提供精准曝气；
- (3) 对生化处理系统进行工艺优化，提升脱氮效率，降低能源和碳源消耗，提升出水水质达标率；
- (4) 实现生化系统微生物的活性在线分析和监控预警，及时应对系统异常状况，降低运行安全风险。

(二) 碳源投加精准控制系统

系统实时监测进水硝态氮含量，调节碳源投加泵的频率和投运台数，将采集的进水硝态氮含量数据与碳源投加泵进行连锁，达到精准控制碳源投加，实现碳源利用率高、脱氮效果好的目的。碳源投加精准控制是在精准曝气系统的基础上，增加一个总氮精准控制模块，实现以下三点功能：

- (1) 根据进水流量、COD、缺氧区硝态氮等实时数

据，总氮精准控制模块自动分析脱氮所需碳源量，输出信号控制碳源计量泵的开启和调节，实现总氮去除的安全、节能及自动优化。

- (2) 核算溶氧值的设定值，以增强系统的反硝化脱氮能力；根据进水COD测定值将末端的溶氧值设置在合理范围内，既增加生化系统对COD的去除能力，又不影响外回流、内回流的溶解氧浓度对生化系统的冲击；

- (3) 通过对生化系统的全流程仿真模拟，对工艺运行参数进行优化调整，在生化反应池实现同步硝化反硝化，在精准投加碳源条件下，提高总氮的去除效果。

(三) 仪表、阀门设备配置

氧精准控制系统主要通过仪表采集生化反应系统数据，管理平台根据这些数据做出实际需氧量，并反馈给风机。同时根据空气流量计、电动调节阀、压力传感器等数据制定风机运行、风量分配策略。

- (1) 生化段设有污泥浓度测定仪，主要监测生物反应池污泥浓度，从而根据活性污泥耗氧速率值得出实际需氧量(需风量)。

- (2) 缺氧池设有活性污泥好氧速率测定仪，主要监测进入好氧池的混合液活性污泥耗氧速率，实时反馈好氧池真实需氧量。

- (3) 好氧池段设有溶氧仪，主要监测好氧池各区域溶解氧浓度，为好氧池按需曝气、好氧池末端区域硝化和反硝化切换提供数据。

- (4) 鼓风机总风管设有压力传感器及热式气体流量计，分支管末端设有压力传感器、电动菱形调节阀及热式气体流量计，用于风量的合理分配。

- (5) 缺氧区设有硝态氮在线测定仪，实时监控缺氧、好氧脱氮过程，实现生物脱氮的定量化控制。

六、总结

基于云计算、物联网、数学模型等新兴技术的城市污水处理智慧水务系统为污水企业安全管理、生产运营、水质化验、设备管理、日常办公等关键业务提供最优的运行策略、控制方式等，对企业实时生产数据、视频监控数据、工艺流程、日常管理等相关数据进行集中管理、统计分析、数据挖掘，为不同层面的生产运行管理者提供即时、丰富的生产运行信息，为辅助分析决策奠定良好的基础，为企业规范管理、节能降耗、减员增效和精细化管理提供强大的技术支持，从而形成完善的城市污水处理厂综合管理解决方案。

参考文献

[1] 弓勋. 城市智慧水务建设存在的问题及改进措施[J]. 住宅与房地产, 2020(30): 210-211.
 [2] 徐涛, 梁新华, 梅春雨. 智慧水务信息化系统建设[J]. 城乡建设, 2020(06): 54-55.
 [3] 宗延萍. 智慧水务系统在城市供水中的运用[J]. 智能建筑与智慧城市, 2022, (05): 178-180.

作者简介：牛于晨(2004-)，合肥市第一中学，学生。

指导老师：桂跃武(1972-)，上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司，教授级高级工程师。