

应力锚索提供了更大的锚固力，特别适合有明确滑动面的大型边坡。

另一重要发展方向是生态防护与喷锚技术的融合。大连交通大学研发的锚杆-喷混植生协同生态护坡新技术系统地研究了锚杆-喷混植生协同生态护坡机理，提出了协同生态护坡结构的设计流程和计算方法。该技术已在大量工程中推广应用，在保证边坡稳定的同时实现了生态环境的修复，产生了良好的社会、经济和生态效益。

4.2 生态友好型喷锚技术

随着生态文明建设的深入推进，铁路边坡工程对生态环保的要求日益提高，生态友好型喷锚技术成为重要发展方向。传统的喷射混凝土层虽然支护效果好，但破坏了植被生长环境，形成了视觉污染。为克服这一弊端，喷混植生、客土喷播等生态防护技术应运而生，并与传统喷锚技术有机结合。

生态友好型喷锚技术的核心理念是在保证边坡稳定的前提下，最大限度恢复与重建生态系统。在深圳地铁 7 号线深云车辆段岩质高边坡工程中，研究人员开发的防护与绿化复合结构成功实现了这一目标。该结构采用锚杆与注浆保证深层稳定，同时利用植生条与主动防护网稳固喷混植生基材，既满足了工程安全要求，又为植被生长提供了条件。

生态喷锚技术的施工工艺与材料配比均有特殊要求。喷射基质通常由土壤、有机质、肥料和种子等组成，需要保证良好的抗冲刷能力与适宜植物生长的特性。研究表明，加入适量黏结剂与稳定剂可提高基质的耐久性，同时不影响植物正常生长。选择适应当地气候的植物种类，并采用合理的配比组合，可形成稳定多样的植物群落，进一步提高边坡的长期稳定性。

4.3 智能化设计与施工

喷锚加固技术的另一重要发展趋势是设计施工过程的智能化、信息化。随着 BIM 技术、物联网监测与大数据分析等技术的发展，喷锚支护工程正从经验型向科学化、精准化转变。

智能化设计方面，基于地质模型与数值分析的专业软件可模拟喷锚支护的工作状态，优化支护参数。通过参数化设计，快速生成多种方案并进行比较，选择最优解。例如，西南交通大学通过模型试验^[9]，对不同的坡面坡度、有无锚杆支护、全长粘接式与自由式锚杆及锚杆预应力大小等对边坡稳定影响因素进行了全面分析。这些研究成果为智能化设计提供了理论基础与数据支持。

信息化施工是另一重要发展方向。通过安装在锚杆与

坡面上的传感器，实时监测支护结构的受力与变形状态，及时调整施工参数，实现动态设计与信息化施工。物联网技术的应用使远程监控与智能预警成为可能，大大提高了工程安全性与可靠性。

智能施工设备也逐步应用于喷锚支护工程。自动配料与喷射机械可精确控制混凝土配比与喷射厚度，提高施工质量；锚杆安装机器人可在危险边坡作业，降低安全风险；无人机巡检可全面掌握边坡状况，及时发现潜在问题。这些智能化设备的应用不仅提高了施工效率与质量，也降低了安全风险与人工成本。

5 结论

喷锚支护通过喷射混凝土层与锚杆系统的协同工作，能有效提高铁路边坡的稳定性与安全性。在湿陷性黄土路段，喷锚与挡土墙结合可使安全系数从 1.05 提升至 1.87；在软岩高边坡中，该技术能控制臃肿变形，减少松动区范围；在岩质陡坡处，喷锚与植生技术结合可实现防护与绿化的双重目标。喷锚支护具有施工便捷、适应性强、经济性好等综合优势，特别适用于地形复杂、空间受限的铁路边坡工程。与传统支护方式相比，喷锚技术可缩短工期 20%-30%，降低工程造价 15%-25%，同时在控制变形方面表现更为出色。

未来喷锚技术将朝着工艺组合优化、生态友好型及智能化方向不断发展。预应力锚索、挡土墙等与喷锚的结合可形成更加高效的复合支护系统；喷混植生等生态技术则实现了工程防护与生态修复的统一；而 BIM 技术、物联网监测与智能施工设备的应用将推动喷锚技术进入信息化、智能化新阶段。总之，喷锚加固技术在铁路边坡工程中具有广阔的应用前景，随着技术的不断进步与创新，必将在铁路基础设施建设中发挥更加重要的作用。

参考文献

1. 黄毅, 武进广, 魏海明, 等. 湿陷性黄土路堑高边坡稳定性分析[J]. 施工技术, 2023, 52(4): 34-38.
2. 邵新文. 喷锚网技术在高陡边坡防护中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2023(2): 45-49.
3. 李诚, 林增生. 用喷锚网加固高边坡[J]. 有色金属(矿山部分), 1984(1): 28-32.
4. 软岩高边坡喷锚挡护的试验研究[J]. 岩土力学, 1997, 18(4): 65-70.
5. 蔡虹. 预应力锚索桩板墙在渝怀铁路的应用[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2003.

Design of automation instrument transformation of dosing and sludge discharge system in domestic sewage treatment plant based on PLC

Yong Li

Zhongyuan Environmental Protection Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000, China

Abstract

Traditional domestic sewage treatment plants rely heavily on manual operations for chemical dosing and sludge discharge, resulting in low control accuracy, high energy consumption, and excessive chemical usage. To address these challenges, this study presents an automated instrumentation retrofit solution based on PLC (Programmable Logic Controller). The system integrates smart instruments including multi-parameter water quality analyzers, electromagnetic flow meters, and sludge level sensors, establishing a distributed control system with PLC as the core and industrial Ethernet as the communication framework. After implementation, the dosing system precisely controls chemical dosage based on influent water quality and flow conditions, while the sludge discharge system operates automatically in intermittent cycles according to sludge concentration and level height. Practical results demonstrate that this design reduces chemical consumption by 15%-20% and energy consumption in sludge discharge by 25%-30%. It not only enhances operational stability but also significantly minimizes manual intervention, providing a practical pathway for intelligent upgrades in sewage treatment plants.

Keywords

PLC control; domestic sewage treatment; dosing system; sludge discharge system; automation instrument

基于 PLC 的生活污水处理厂加药 – 排泥系统自动化仪表改造设计

李永

中原环保股份有限公司, 中国 · 河南 郑州 450000

摘要

传统的生活污水处理厂, 加药和排泥这两个环节大多靠人工经验来操作, 不仅控制精度低, 还存在能耗高、药耗大的问题。针对这些痛点, 本文设计了一套基于 PLC (可编程逻辑控制器) 的自动化仪表改造方案。这套系统整合了多参数水质分析仪、电磁流量计、泥位计等智能仪表, 搭建了以 PLC 为核心、工业以太网为通信架构的分布式控制系统。改造完成后, 加药系统能根据进水的水质和流量情况, 精准控制药剂投加量; 排泥系统则依据污泥浓度和泥位高度, 实现自动间歇式运行。实际应用效果显示: 这套设计能让药剂消耗降低 15%-20%, 排泥环节的能耗节省 25%-30%, 不仅提高了系统运行的稳定性, 还大大减少了人工操作的需求, 为污水处理厂的智能化升级提供了一条切实可行的路子。

关键词

PLC 控制; 生活污水处理; 加药系统; 排泥系统; 自动化仪表

1 引言

生活污水处理是城市基础设施里的重要部分, 它能不能稳定运行、处理效果好不好, 直接关系到水环境质量和大家的健康。在污水处理的整个流程中, 加药和排泥是两个关键步骤, 能保障出水水质达标, 还能让生化系统稳定运行。但现在国内很多传统污水处理厂, 这两个环节还严重依赖人

工经验操作, 存在控制滞后、精度不够、能耗和药耗都偏高的问题。现在自动化和控制技术越来越成熟, 基于 PLC (可编程逻辑控制器) 和智能仪表的分布式控制系统, 已经成了水处理行业升级改造的主流方向。PLC 的优势很明显, 可靠性高、抗干扰能力强, 而且编程灵活, 特别适合在污水处理厂这种潮湿、多尘的工业环境里长期稳定工作。本文就以一座日处理量 5 万吨的生活污水处理厂为背景, 针对它加药和排泥系统存在的这些突出问题, 设计了一套完整的自动化仪表改造方案。通过升级仪表、优化控制策略、整合系统, 让加药和排泥过程实现精准化、自动化运行, 最终达到节约

【作者简介】李永 (1983-), 男, 中国河南杞县人, 本科, 工程师, 从事电气自动化仪表及过程控制应用研究。

能耗和药耗、稳定出水水质、减少人工投入、提高效率的效果。

2 系统总体改造方案设计

2.1 改造目标与技术路线

这次自动化改造的核心目标，是搭建一个“监测-决策-执行”一体化的智能控制系统，具体要实现这几个效果：

加药更精准：根据进水的磷酸盐负荷和浊度变化，实时调节加药泵的运行频率，需要多少药就加多少，既保证出水总磷稳定达标，又能减少药剂浪费^[1]。

排泥更合理：基于泥界面高度和污泥浓度数据，自动控制排泥泵的启动、停止和运行时间，让生化系统保持最佳的污泥浓度，避免出现污泥膨胀或者污泥流失的问题。

监控更集中：在中央控制室就能实现对加药、排泥整个系统的全程监视，还能设置参数、管理报警信息、记录相关数据，不用工作人员频繁跑到现场操作。

效能再提升：通过自动化运行，减轻工作人员的劳动强度，同时让系统应对水质波动的稳定性更强，抗冲击能力也能提高。

技术路线是按照“感知层-控制层-执行层-监控层”的递进结构来的：感知层就是装在工艺关键位置的自动化仪表，负责实时采集水质数据和设备运行状态数据；控制层以一台主 PLC 和几个远程 IO 站为核心，主要做逻辑运算，然后下发控制指令；执行层包括变频加药泵、排泥气动阀、排泥泵这些设备，接收控制指令并执行；监控层通过人机界面（HMI）和组态软件，给操作人员提供一个可以交互的窗口，方便操作和管理。

2.2 系统网络架构

系统采用工业以太网和 PROFIBUS-DP 现场总线结合的混合网络架构，这样能保证数据通信又快又可靠^[2]。中央控制室里装了工程师站、操作员站和服务器，这些设备都连到核心的工业以太网交换机上。主 PLC（比如西门子 S7-1500 系列）也通过以太网模块接入这个网络，能和上位机高速交换数据。

现场控制层方面，加药间和污泥脱水机房里分别装了远程 ET200MP IO 站，这些 IO 站通过 PROFIBUS-DP 总线和主 PLC 通信。这种设计能大大减少控制柜和中央控制室之间的硬接线，既降低了布线成本，也减少了故障发生的概率。

设备层的话，像磷酸盐分析仪、电磁流量计这些智能仪表，支持 PROFIBUS-PA 协议或者能输出模拟量信号，通过链接器或 IO 模块就能接入系统。而变频器、电动阀这些执行机构，是通过数字量输出（DO）或模拟量输出（AO）模块来控制。

3 自动化仪表系统设计与选型

自动化仪表就像是闭环控制系统的“眼睛和耳朵”，能不能选对、配好这些仪表，直接影响到最终的控制效果。结合加药和排泥工艺的实际需求，下面说说关键仪表的设计和选型情况。

3.1 水质在线监测仪表

要想精准控制加药，得实时监测相关水质参数。我们在进水总管上装了电磁流量计，用来测瞬时进水流量，这个数据是前馈控制的关键。然后在生化池出水端（或者加药点前面）装了磷酸盐在线分析仪，能直接测出需要去除的磷酸盐浓度，这是反馈控制的核心依据。基于钼酸铵分光光度法的高精度分析仪，测量范围 0-10mg/L，分辨率能到 0.01mg/L，还带自动清洗和校准功能^[3]，不用频繁手动维护。

在反应池后段装了浊度仪，通过监测浊度值来看絮体形成的效果，这样能间接判断混凝剂投加量合不合适，作为辅助控制和工艺状态诊断的参考。选的是散射光式浊度仪，测量范围 0-100NTU，足够满足工艺需求。

为了给智能排泥提供数据支持，在好氧池末端装了污泥浓度计（MLSS 计），实时监测混合液里的污泥浓度。选的是基于红外散射原理的插入式传感器，测量范围 0-15g/L，输出 4-20mA 模拟量信号，这个数据是计算污泥负荷、评估污泥活性的重要依据。

在二沉池装了超声波泥位计，监测污泥界面的高度。泥位太高的话，污泥可能会跟着出水流失；泥位太低，又可能是排泥太多了。这种泥位计是非接触式测量，不用直接碰到污泥，维护量少很多。测量范围设定在 0-5m，精度能达到 $\pm 1\%FS$ ，数据挺准的。

3.2 排泥与加药执行仪表

排泥系统要实现自动化，得靠气动或者电动排泥阀。改造选气动刀闸阀，它的流阻小，特别适合用来控制含固体颗粒介质的通断。阀门配了双电控电磁阀，PLC 通过数字量输出点控制阀门的开关，能接收阀门开到位、关到位的反馈信号，形成闭环控制，确保阀门动作准确。

加药系统的核心执行设备是计量泵，这次改造选用机械隔膜式计量泵，还配了变频器来调节转速。PLC 会通过模拟量输出模块（比如 $\pm 10VDC$ 或者 4-20mA 信号）给变频器发速度指令，这样就能无级调节加药量，想加多少能精准控制。

4 PLC 控制系统硬件与软件设计

4.1 硬件配置

PLC 控制系统选硬件的时候，主要遵循三个原则：满足实际功能需求、保证运行可靠，同时稍微兼顾一点前瞻性。主站的核心控制器，我们选了西门子 S7-1500 系列的 CPU（比如 1516-3PN/DP 型号）^[4]。这个系列的 CPU 处理速度快，内存容量也大，支持用高级语言编程，还自带 PROFINET 接口，需要扩展 PROFIBUS-DP 网络。

远程 IO 站选的是 ET200MP 分布式 I/O 系统，分别装在加药间和污泥脱水机房里。它是模块化设计的，能根据实际需要的点数灵活配置，很方便。具体要配多少 I/O 点数，得先统计清楚现场仪表和执行器的数量来确定，通常包括这几种模块：

模拟量输入（AI）模块：用来接收 4-20mA 信号，像