

# 基于 DCS 控制系统的工业水处理总体设计与智能应用

白玉铃, 史玉乾\*, 罗兴隆, 薛达  
甘肃银光化学工业集团有限公司, 甘肃 白银 730900  
DOI: 10.61369/EAE.2025010012

**摘要 :** 随着现代工业快速发展, 对水资源需求呈现日益增加态势, 同时也对水处理质量和效率提出更高要求, 由此行业内对基于分布式控制系统 (DCS) 的工业水处理总体设计方案进行深入探究。基于此, 本文研究中将首先对 DCS 控制系统进行概述, 随后结合具体案例, 对工业水处理 DCS 控制系统设计方案进行探究, 并对其具体智能应用要点进行探究。

**关键词 :** DCS 控制系统; 工业水处理; 设计

## Overall Design and Intelligent Application of Industrial Water Treatment Based on DCS Control System

Bai Yuling, Shi Yuqian\*, Luo Xinglong, Xue Da  
Gansu Yinguang Chemical Industry Group Co., Ltd. Baiyin, Gansu 730900

**Abstract :** With the rapid development of modern industry, the demand for water resources is increasing, and higher demands are being placed on the quality and efficiency of water treatment. This has led to a deeper exploration of the overall design of industrial water treatment systems based on Distributed Control Systems (DCS). In this study, we first provide an overview of DCS control systems, then explore the design of DCS control systems for industrial water treatment through specific case studies, and delve into the key points of their intelligent applications.

**Keywords :** DCS control system; industrial water treatment; design

### 引言

水是工业生产中不可或缺的资源, 其质量直接对产品质量和生产过程安全造成影响。随着工业规模逐渐扩大和环保要求提高, 传统水处理方法已难以满足现代工业的需求, 因此开发高效、智能的工业水处理系统占据重要地位。分布式控制系统 (DCS) 作为成熟的工业自动化控制技术, 以其高可靠性、灵活性和扩展性, 在工业水处理领域得到广泛应用。行业内技术人员工作中对基于 DCS 的工业水处理系统进行深入研究, 通过集成先进的控制策略和智能算法, 实现对水处理过程的精确控制和优化管理, 以此实现水处理过程中的关键参数进行实时监测, 还可根据水质变化自动调整处理工艺, 从而保证出水质量, 提高水资源的利用率。此外, 智能应用引入进一步提升系统智能化水平, 为工业水处理可持续发展提供技术支撑。

### 一、DCS 控制系统概述

DCS (Distributed Control System, 分布式控制系统) 本质为一种高度集成、模块化、分布式的自动化控制系统, 其被广泛应用于工业领域生产过程和设备控制中。该系统核心思想为, 将控制功能分散到各现场控制站或控制器上, 同时通过网络通信技术将相关控制站进行连接, 以此实现数据的实时传输、处理和监控等目标<sup>[1]</sup>。

DCS 控制系统通常由现场控制站 / 控制器、操作员站 / 人机界面 (HMI)、工程师站以及通信网络组成。现场控制站负责采集传感器数据, 执行控制算法并输出控制信号到执行机构, 通常分

布在生产线或工艺设备的关键位置。操作员站提供图形化的用户界面, 使操作员可对生产过程、调整控制参数、查看报警信息等进行实时监控, 通常位于中央控制室。工程师站用于系统组态、编程、调试和维护, 可以加载、修改和下载控制算法、数据库和画面组态等信息。通信网络将相关站点连接起来, 实现数据的高速、可靠传输, 常用通信协议包括以太网、MODBUS、PROFIBUS 等。

DCS 系统具备分散控制和集中管理的特点, 既能提高系统可靠性和灵活性, 又能为对生产过程整体进行监控和管理提供便利条件支持, 从而优化生产流程、提高生产效率。系统采用标准化的硬件和软件接口, 具有开放性和良好的可扩展性, 可根据生产

作者简介: 白玉铃 (1996.10—) 女, 汉族, 甘肃武威, 工程师, 本科, 工业水污染防治技术与自动化  
通讯作者: 史玉乾 (1974.06—), 男, 汉族, 甘肃靖远, 高级工程师, 本科, 工业水污染防治技术开发与工程融合, shiyuqian88@sohu.com.

需求增加控制站或扩展功能。DCS系统还采用冗余设计，如冗余控制器、冗余电源、冗余通信等，确保系统在恶劣环境下的稳定运行。此外，系统模块化设计使得维护和升级难度大幅下降，只需替换或升级有问题的模块，而无需对系统整体进行大规模改动<sup>[4]</sup>。

当前，DCS控制系统被广泛应用于石油、化工、电力、冶金、造纸、制药等工业领域，其可有效实现复杂生产过程的自动化控制，提高产品质量、降低生产成本、增强生产安全性。

## 二、化工水处理 DCS 控制系统设计方案

### (一) 案例概况

为深入探究化工水处理 DCS 控制系统设计要点，本文中选取具体案例进行详细阐述。案例工程为某电厂二期百万千瓦机组“上大压小”扩建工程，该工程的化学水处理系统主要负责为#3和#4两台百万千瓦机组提供生产供水及生活用水。整个水处理设施由加药装置、净水站、综合水泵房、锅炉补给水处理单元、循环水处理系统、中水回用装置、污水处理设施以及凝结水精处理装置等八大子系统组成。

### (二) DCS 控制系统架构

#### 1. DCS 控制系统架构

DCS 控制系统主要采用三级分层控制模式，具体内容主要包括过程管理层、过程控制 I 级以及过程控制 II 级。过程管理层配置工程师工作站、操作员终端及打印设备，主要承担全厂生产过程实时监控、运行操作及系统控制功能。过程控制 I 级主要承担数据处理任务，接收上位机指令并向过程控制 II 级发送控制信号；过程控制 II 级作为现场设备执行层，主要完成现场数据采集和设备操作指令的执行工作。

#### 2. FF 现场总线网络连接方案

案例工程设计中主要采用 Ovation 分布式控制系统架构，FF-H1 总线网络通过专用接口模块实现与 DCS 控制器的数据交互。各 FF 接口模块具备双通道设计，可同时接入两条独立的 FF-H1 总线网络。系统配置中，FF 模块输出端需连接电源调节装置，经该装置转换后接入现场接线端子箱。FF-H1 总线采用多级串联方式，主干线路可并联多个接线端子箱，网络末端必须安装 FF 专用终端匹配器，整体形成树状拓扑结构连接现场智能仪表设备，具体连接方式如图 1 所示。

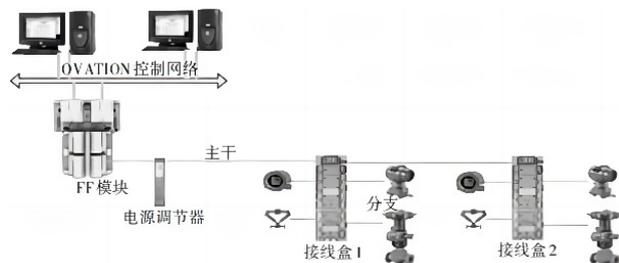


图 1 FF 网络架构

#### 3. Profibus-DP 总线网络拓扑方案

Profibus-DP 工业总线网络通过 DP 通讯模块与 DCS 控制器建立连接，单个 DP 模块支持双路 Profibus-DP 网络接入。系统

采用标准 DB9 接口连接器实现 DP 模块与现场总线的物理连接，网络架构采用典型的线性总线拓扑。当传输距离超出标准范围时，需通过光电转换设备延伸至本地总线配电箱，随后以总线型结构连接现场设备。需重点关注的是，Profibus-DP 网络末端必须接入带有电源供应的终端电阻模块以确保信号完整性。

#### 4. 硬件 I/O 配置方案

凝结水精处理工程主要包括预处理过滤装置、离子交换装置以及再生装置等子系统，采用三组互为备份的控制单元进行管理。在规划阶段，预留各工艺环节 I/O 模块的备用通道，并对硬件接点进行了合理布局。技术人员工作中选用 16 通道数字信号采集输出模块，采用 8 通道模拟信号及温度传感器输入模块，并配置 8 通道模拟信号输出模块，以确保各组控制单元管理的总硬件接点数不超过 400 个。现场仪表分为总线式仪表和传统仪表两类，传统仪表通过硬线连接至 I/O 接口单元。现场常规监测参数包括模拟信号采集、模拟信号输出、开关信号采集及开关信号输出。具体数据如表 1 所示。

表 1 硬件 I/O 配置表

系统 I/O 类型	HAI	HAO	DI	DOX	DOX	RTD	合计
精处理系统	32	12	182	98	14	1	339
再生及共用系统	24	2	224	56	70	2	378
合计	56	14	406	154	84	3	717

DROP1/DROP51 代表互为备份的 DCS 控制单元，精处理系统配置双套控制机架。主控机柜 DROP1 与扩展机架 EXTI-1 共同构成控制单元，每套冗余控制器最大支持 16 个本地站和 4 个远程 I/O 节点。具体分布为：DROP1 机柜包含 A1-A4、B1-B4、C1-C5、D1-D8 共 8 组本地站；EXTI-1 机架设有 A1-A4、B1-B4、C1-C3、D3-D4 等接口。各本地站最大允许安装 8 个功能模块，以 DROP1 的 A 站为例，其模块编号范围为 A1 至 A8。详细硬件配置如表 2 所示。

表 2 机柜卡件配置表

DROP1		精处理系统							
CTRL1/51 正面	位置	A1	A2	A3	A4				
	模块类型	HAI	HAO	HAO	HAI				
	位置	B4	B3	B2	B1				
CTRL1/51 反面	模块类型	HAI	HAO	HAO	RTD				
	位置	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	模块类型	DI	DI	DI	DI	DI			
EXTI-1 正面	位置	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1
	模块类型	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI
	位置	A1	A2	A3	A4				
EXTI-1 反面	模块类型	DOC	DOC	DOC	DOC				
	位置	B4	B3	B2	B1				
	模块类型	DOC	DOC	DOC	DOC				
EXTI-1 反面	位置	C1	C2	C3	C4				
	模块类型	DP	FF	FF					
	位置	D4	D3	D2	D1				
模块类型	DP	FF							

### (三) 系统程序设计

#### 1. 前置过滤装置运行规范要求

精处理系统配备的前置过滤装置包括 A 系列、B 系列及旁通

管路系统，两套过滤设备可并行运作，但反冲洗操作必须错时进行。当旁通管路压差超过120Kpa且旁通阀处于完全开启状态时，需切断A系列进出口阀门；若A系列入口流量突破1200t/h且旁通阀全开，同样需要关闭A系列进出口阀门；当A系列进出口压差高于120Kpa并伴随旁通阀全开工况时，必须立即切断A系列进出口阀门。在A系列进水阀、增压阀或出水阀任一处于非关闭状态时，其反冲洗进水阀、排污阀、进气阀及排气阀均不得开启；反之，当反冲洗相关阀门任一未完全关闭时，常规运行阀门组也禁止操作。

### 2. 前置过滤器旁路控制逻辑

在双套过滤器同时运转情况下，旁路阀门处于完全关闭状态；若仅单套过滤器投入运行，则旁路阀门开启至50%开度；当两套装置均停止工作时，旁路阀门将完全开启。当检测到系统入口主管道压力超过4.5MPa时，旁路阀门自动全开；当入口介质温度突破70℃阈值时，旁路阀门同样执行全开动作。此外，在旁路压差超过120Kpa、入口流量突破1200t/h或进出口压差达到120Kpa等工况下，旁路阀门均会采取全开操作模式。

### 3. 凝结水精处理监控系统

系统界面可实时展示整套控制系统中各类设备、管路及阀件的连接关系与运行参数，为操作人员提供直观便捷的远程操控平台。系统运行期间，监控画面会动态更新各设备的实时状态信息。人机交互界面布局如图2所示。

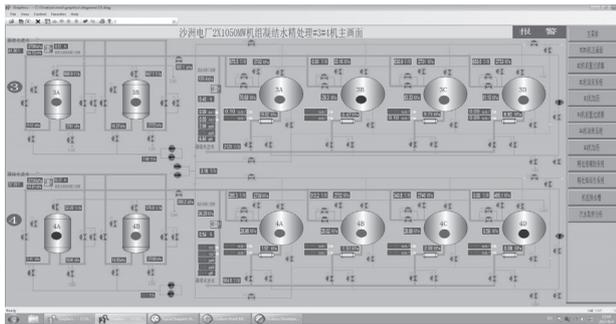


图2 人机监控界面

## 三、基于DCS控制系统的工业水处理系统智能应用

### (一) 智能监测与预警系统

智能监测与预警系统是DCS控制系统的关键智能应用方向之一。该系统可实时采集水处理过程中的关键参数，并运用先进

的数据分析算法进行实时监测和分析。在检测到异常数据或潜在故障时，系统将立即发出预警信号，提示操作人员及时采取措施进行干预<sup>[3]</sup>。以水质监测为例，智能监测与预警系统可对水的浊度、pH值、余氯等关键指标进行实时监测，并依据预设阈值范围进行评估，若水质指标超出正常范围则立即发出预警，并明确指出超标指数以及超标程度，协助操作人员迅速定位问题并采取适当的处理措施。

### (二) 智能控制策略优化

工业水处理系统在DCS控制基础上，集成了智能控制策略优化技术。传统控制策略通常基于固定数学模型和参数设置实现，难以有效应对水处理过程中复杂多变的工况。而智能控制策略可依据实时数据和水质变化对参数和工艺流程进行自动调整，确保出水质量稳定性和处理效率<sup>[4]</sup>。如在凝结水精处理过程中，智能控制策略可根据前置过滤器运行状况和进出口压差，自动调整反冲洗时机和频率。当过滤器压差增大或流量减少时，系统会判断过滤器可能堵塞并自动启动反冲洗程序进行清洗。此外，系统还可根据反冲洗过程中的数据反馈，持续优化反冲洗策略，以提升清洗效果和延长过滤器的使用寿命。

### (三) 智能故障诊断与排除

基于DCS控制系统工业水处理系统还具备智能故障诊断与排除功能。通过集成先进的故障诊断算法和专家系统，该功能可迅速定位和诊断系统故障，并提供相应解决方案<sup>[5]</sup>。此不仅显著提升故障处理效率，还大幅减少因故障导致的停机时间和生产损失。在系统水泵出现故障时，智能故障诊断与排除系统可迅速检测到异常信号，并分析故障的潜在原因，随后根据故障类型和严重程度提出有针对性的处理建议，如停机检修、更换备件等。同时系统还可结合故障信息和历史数据进行深度学习和分析，以提高未来故障预测和诊断的准确性。

## 四、总结

综上所述，DCS控制系统在化工水处理中发挥重要作用，行业内在实际发展中应注重对DCS控制系统架构以及系统程序设计等关键环节进行深入把握，同时积极加强对智能监测与预警系统、智能控制策略优化、智能故障诊断与排除等方面的重点关注，以此为提升化工水处理成效提供有力保障。

## 参考文献

- [1] 叶明辉, 刘香桂, 胡晓军. 智能化控制系统在水处理领域的应用与发展趋势 [J]. 智能城市应用, 2024, 7(4): 79-81.
- [2] 张平. 发电厂化学水处理系统中的控制技术应用 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(6): 204-205.
- [3] 石明璇. 轧钢厂水处理自动控制技术分析 [J]. 冶金与材料, 2022(005): 042.
- [4] 许童童, 刘强, 李娜. 黄骅港水处理集控系统 HMI 及接口程序的设计与实现 [J]. 能源科技, 2020, 18(3): 5.
- [5] 曹渊, 宋杰, 朱彬, 等. 浅析电厂水处理设备自动化控制系统设计 [J]. 科技资讯, 2021, 19(21): 3.