内蒙古某地浸矿山自动化系统组成及上位机优化

庄治旭，李喜龙，滕 飞，周文蒙，冯小刚

（中核通辽铀业有限责任公司，内蒙古 通辽 028000）

摘要：根据内蒙古某地浸矿山生产和管理需求，在自动化系统上位机增加矿区总貌图、采区运行图，优化了变频器远程参数调节及报警画面，开发了一键启停、一键给定频率等功能，实现了在控制调度中心对地浸采铀生产各环节的严格把控。通过对 WinCC 上位机优化，直观展示设备及生产运行情况，进一步简化了对仪表运行参数的调整，提高了操作人员工作效率，降低了生产成本。

关键词：地浸矿山；上位机优化；仪表参数；调整

中图分类号：TP278；TD868 **文献标志码**：A **文章编号**：1000-8063(2023)01-0040-06

DOI：10.13426/j.cnki.yky.2022.04.12

地浸矿山存在井场钻孔数量大，集控室位置分布广，各工艺同时作业，生产管理单元多等问题[1]。以内蒙古某地浸矿山为例，一期项目建设完成后，井场系统包含流量计近千台、变频器数百台；水冶系统各类气动阀门、流量计、液位计、压力变送器等仪器设备近千台，各类仪器仪表安装位置分散，人工操作不便。

矿山自动化涉及自动化、仪器仪表、电子通信、计算机等相关专业，是多学科融合技术。地浸矿山自动化系统可通过计算机模拟地浸采铀环境，实时展示地浸采铀矿山的总貌以及地浸采铀运行过程。

目前，地浸矿山自动化系统存在对仪器仪表运行参数采集与监控不完善的现象[2]，通过对原有自动化系统的下位机程序及上位机操作画面的优化，利用计算机和网络通信技术对地浸采铀各组成部分（井场、水冶、集配液、气体站等）进行集散控制、信息数字化贮存，将数字信息融入矿区生产管理体系，进一步推动精细化管理[3]；达到实时记录生产系统各设备运行数据，判断生产情况，以及按照工艺要求对运行参数进行及时有效调整的生产管理需求。

1 地浸矿山自动化系统功能

地浸采铀矿山自动化系统，可通过控制中心实现集中生产调度管理，使各生产车间生产配合更便利，可减少现场生产人员，降低生产安全隐患，改善员工作业条件[4]。本矿山在综合办公楼设置控制调度中心，由技术管理人员及操作人员共同完成矿山生产调度，提高工作效率，保障生产稳定运行[5]。

自动化系统功能包括：1）对所有运行抽液钻孔、注液钻孔瞬时流量、累计流量的高频率实时读取，在自动监控系统运行稳定的情况下，人员无须进入各集控室进行抄表即可完成数据采集存储；2）控制调度中心可对单一或多个抽液钻孔变频器运行参数进行远程调节，保证抽液量正常、受控，防止浸出液外溢污染环境；3）对水冶吸附、淋洗、合格液酸化、沉淀、板框压滤等生产环节的液位、流量、压力等参数进行自动监控；4）使用 WinCC 上位机组态软件，对水冶子系统所有气动阀门进行远程控制。

2 某地浸矿山主工艺自动化系统组成

内蒙古某地浸矿山主要由井场、水冶、集配液、气体站、盐酸库等子系统组成。各子系统通过光纤以太环网将信号传送至监控调度中心，实现自动化集散控制，可远程实时监控各运行参数，数据库归档变量可为矿山生产管理提供详实、可靠的数据[6]。

收稿日期：2022-04-29

第一作者简介：庄治旭（1995—），男，辽宁丹东人，学士，助理工程师，主要从事原地浸出采铀自动化技术工作。

从系统结构层面可将自动化控制系统分为上位机、下位机 2 部分。上位机设立于监控中心，采用工业控制计算机，安装上位机组态软件；下位机安装在各子系统控制柜内，采用 SIMATIC S7 系列 PLC，主要以 S7-1500、S7-400 为主[7]。自动化控制系统组成如图 1 所示。

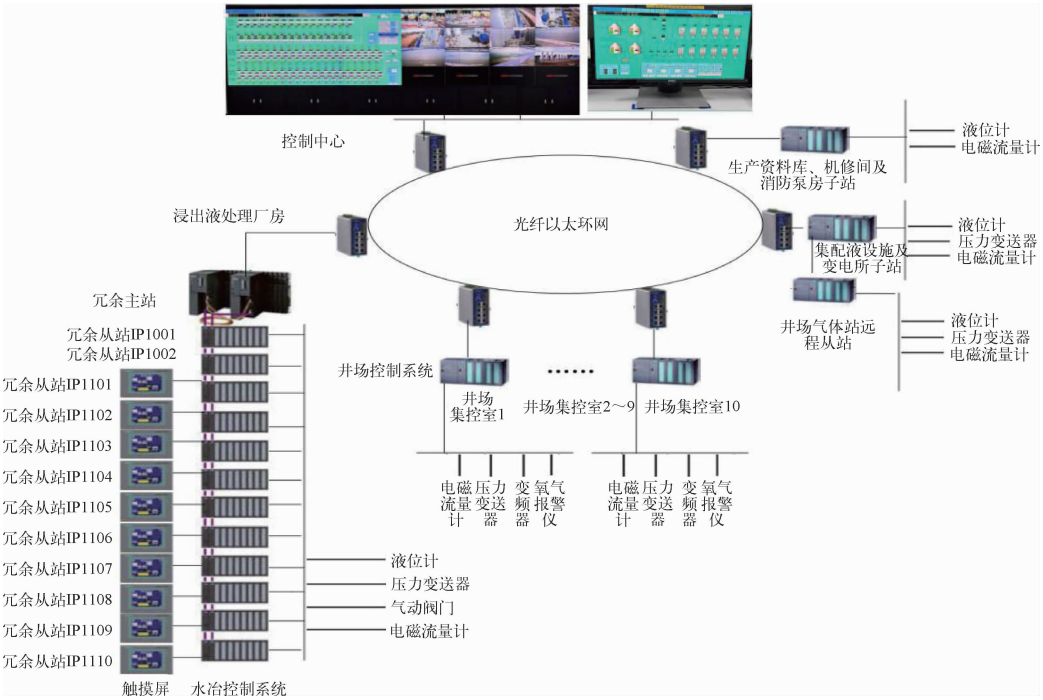


图 1　内蒙古某地浸采铀矿山自动化系统组成

Fig. 1　Composition of automation system for in-situ leaching uranium mining in Inner Mongolia

2.1　井场子系统

井场子系统一期共设立 10 个集控室（C1～C10），每个集控室自动化系统由控制柜（包含 S7-1500 可编程控制器及 I/O 模块）、设备供电柜、电磁流量计、压力变送器、氧气报警仪等组成。

2.1.1　井场子系统自动化控制内容

结合井场子系统的生产需求，实时在线监控并采集生产过程中的浸出液和浸出剂的瞬时流量、累计流量，自动监测注液压力、注氧压力、氧气报警仪状态；通过上位机组态软件进行阈值设定，实现联动报警；对变频器进行远程监控[8]，实时观测变频器运行频率、运行状态，通过远控操作界面实现频率调节以及远程启停功能[9]。控制内容见表 1。

表 1　井场子系统自动化控制内容

Table 1　Automatic control content of well site subsystem

控制项目	控制内容
注液主管	注液主管流量的自动检测、累计与记录，各个采区注液主管压力自动监测与报警
注液孔	注液孔的注液流量自动检测、累计与记录
抽液孔	抽液孔的抽液流量自动检测、调节、累计、记录与报警
变频器	抽液孔潜水泵变频自动控制与工作状态自动监测
氧气主管	氧气主管流量自动检测、累计与记录

2.1.2 井场子系统上位机画面

上位机采用西门子 WinCC 组态软件开发人机操作界面，实现工艺流程、工艺参数、报警的实时显示，工艺设备的远程控制及状态监视，历史趋势、报表查询存储及打印等功能[10]。井场采区流程画面可动态展示采区抽液、注液工艺流程、设备工作状态，点击弹出式控制面板实现变频器、电磁阀等设备的远程控制。同时可直观显示某采区实时的运行状态，包括运行抽液孔、注液孔的数量，各钻孔的运行瞬时流量及累计流量，变频器运行的工作频率等相关参数。

2.2 水冶子系统

结合生产实际情况，为减轻劳动强度、提高工作效率、改善工作环境，在水冶厂房设置 1 套 DCS 控制子站，与仪器、仪表及电气控制装置共同构成 DCS 控制系统。由光纤环网接入监控中心，提高水冶厂房自动化水平[11]。

2.2.1 水冶子系统 DCS 结构

DCS 控制系统从结构上可划分为过程控制层、数据采集层、数据传输层 3 部分[12]。水冶 DCS 控制子系统的功能：1）对需要集中显示的压力、液位、流量等模拟量信号进行实时显示；2）对本子系统各类泵、搅拌槽、风机等工艺设备进行状态监视，动态显示设备运行、停止、远程备妥状态，以及其他成套设备自带控制系统的信息采集显示；3）通过上位机对本子系统内各泵、搅拌槽、风机等设备进行远程启停。水冶子系统 DCS 结构示意如图 2 所示。

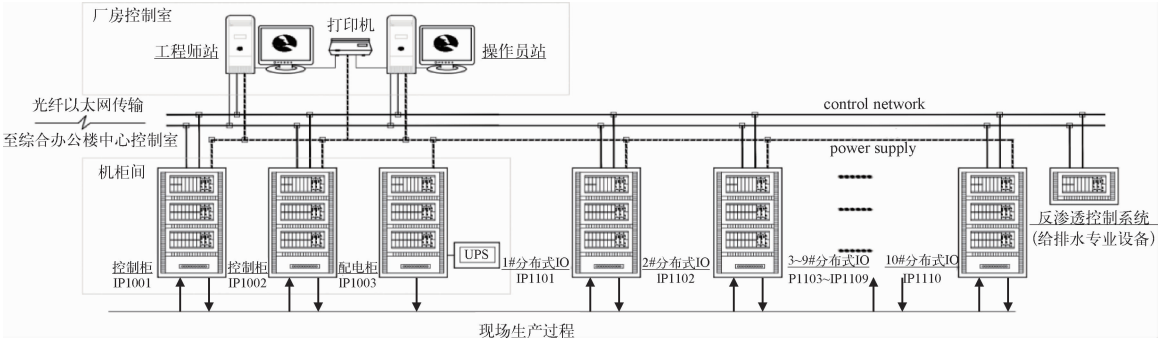


图 2 水冶子系统 DCS 系统结构示意图

Fig. 2 DCS system structure diagram of hydrometallurgical subsystem

2.2.2 水冶子系统上位机画面

水冶子系统上位机画面主要由工艺总貌图、吸附淋洗流程图、淋洗剂配制流程图、沉淀及板框压滤流程图组成。

工艺总貌图可多方面、全覆盖、直观展示该地浸矿山的整套工艺流程。由于水冶子系统设备繁多且进行多组塔串联吸附，为避免其对操作人员形成视觉干扰，将吸附淋洗分为南线、北线，南线、北线画面独立显示及控制。水冶子系统南线吸附、淋洗流程监控画面中，吸附塔以 2 个单塔为 1 组串联运行，共包含 4 组吸附塔、4 个淋洗塔。

按照现场管线和设备安装位置构建水冶子系统上位机画面，所有变频器、阀门均可点击画面相应位置进行单独控制（如：变频器频率调节、远程启停，气动阀门开关），使得调节各类设备运行状态的时间大幅减少，稳定性更好。

2.3 集配液子系统

该子系统由 4 个集液罐、5 个配液泵、4 个集液泵、2 个过滤间组成。集配液子系统主要监控内容包括：集液罐液位指示与报警，集、配液泵出口压力指示与报警，袋式过滤器出入口压差指示与报警。

2.3.1 集液区上位机画面

集液监控画面主要是实时监测集液罐液位，其安全稳定运行液位为 3.6～4.8 m，当液位不在该范围时，系统自动报警提示。操作人员可通过调节原液泵运行频率，控制管道内流量大小，从而使液位保持在安全范围内。在上位机画面中，可远程开关二氧化碳控制阀门，调整进气量。浸出液通过过滤间过滤后，被传送至水冶厂进行下一工序处理。

2.3.2　配液区上位机画面

配液区工作原理与集液区类似，与其他地浸矿山不同的是，本矿山配液区无配液池，配液由水冶厂管道传送至配液区，直接通过配液泵加压后经井场各集控室调配，由注液孔注入含铀矿层。

结合安全环保要求，井场采区应保证抽液量与注液量平衡，通过在界面调节注液泵频率，进行实时控制，保证抽液量大于注液量 3‰～5‰[13]。

3　WinCC 上位机优化

原有的上位机界面无法完全满足实际生产需求。为此，对整套自动控制系统的上位机画面进行了优化。

3.1　增建矿区总貌图

将原有的登录画面调整为新建的矿区总貌图（图 3），利用 GPS 定位，确定各子系统的位置，根据 GPS 坐标进行画面绘制，保证画面与实际子系统位置的还原性。总貌图对所有主管道位置进行了标注，并将子系统上位机画面的切换也放入总貌图中，操作员只需点击各场景即可跳转至相应采区或子系统的详细界面，使得操作更简单、逻辑更清晰。

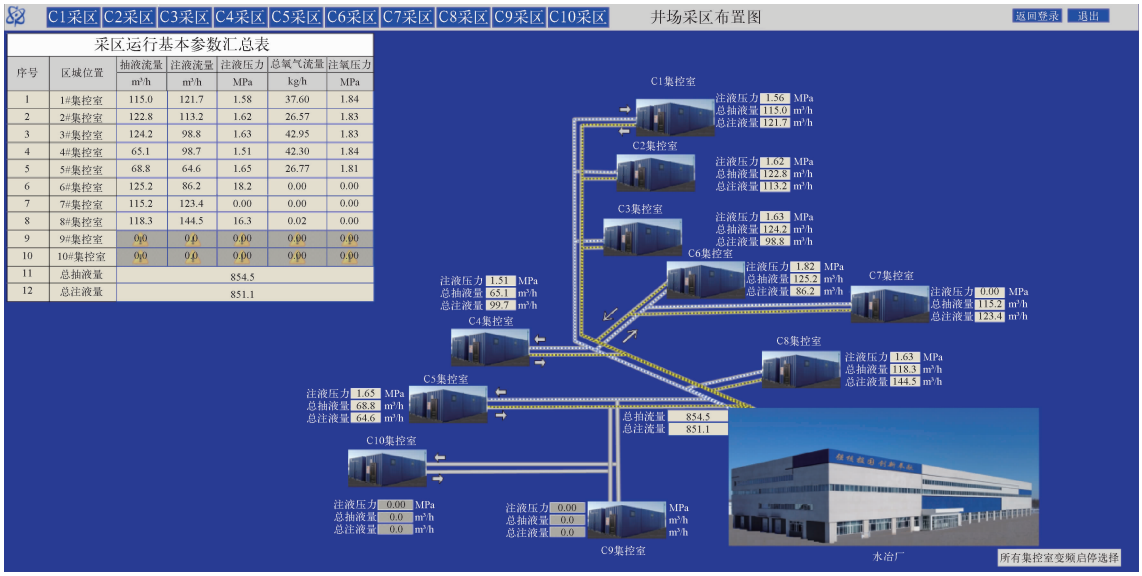


图 3　内蒙古某地浸矿山总貌图

Fig. 3　General view of an in-situ leaching mine in Inner Mongolia

3.2　井场子系统上位机优化

结合生产需要，对所有井场子系统集控室的注液孔、抽液孔、变频器运行状态进行优化更新。

3.2.1　添加采区运行图

原有的采区运行图是工艺设计提供的 CAD 图，主要包括各钻孔的运行状态（瞬时流量、累计流量）以及平米含量等信息。优化后的井场子系统添加了采区运行图（图 4）。可以看出，在所有钻孔附近添加其瞬时流量的变量链接，实时展示钻孔运行流量，无需人工手动更新各钻孔运行状态，减少了大量重复性更新钻孔运行数据的工作。集控室运行状态画面以采区运行图方式展示，更为直观。

3.2.2　变频器远程启停控制优化

在原有集控室画面中，无法实现变频器批量调节，只能手动点击每个变频器图标，进行启停控制或频率调节。

当遇到供电线路临时停电或恢复供电时，手动点击工作量大、速度慢、重复率高，操作不及时会导致设备故障。为解决这一问题，对变频器操作画面进行了优化。变频器与 PLC 之间采用 Modbus 通讯[14]，在下位机编写一键启/停程序，并建立相应的状态地址；上位机添加按钮链接一键启/停变量，通过点击鼠标直接控制。当遇到临时停电时，点击一键关停对所有变频器进行关停；当恢复供电时，可实现一键启动，所有潜水泵以 30 Hz 低频率启动，后续远程调节至原运行频率。

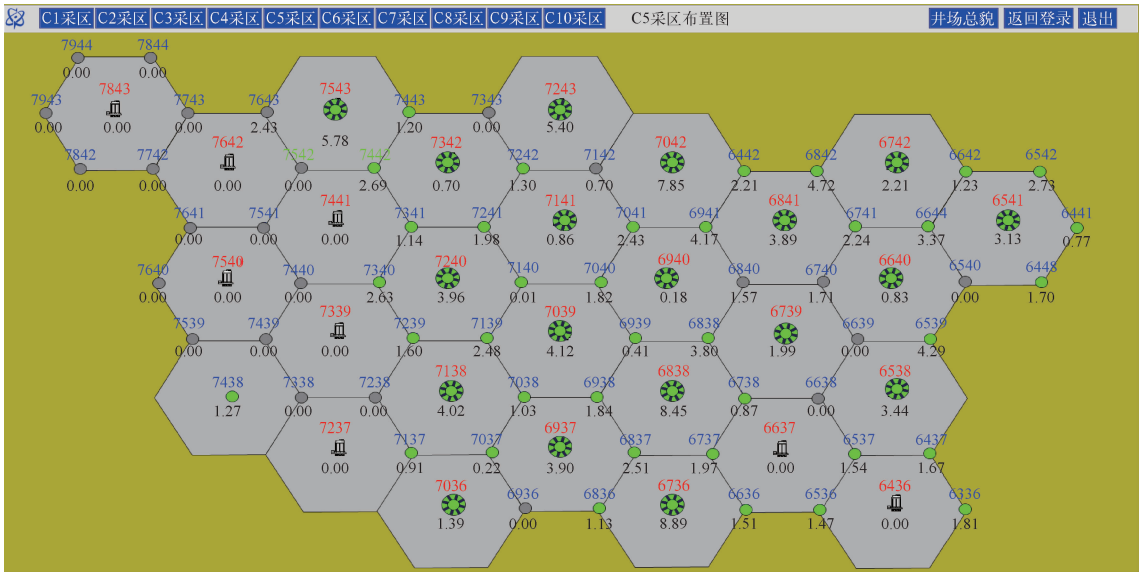


图 4 采区运行图

Fig. 4 Working diagram of mining area

为防止变频器同时启动造成的负载过大，在博途下位机程序中加入定时器指令，保证每个变频器间隔 5 s 顺序启动。统计了现场手动控制、上位机远程鼠标单击控制、上位机一键启/停控制对井场区域内所有变频器启停消耗的时间，见表 2。通过对比 3 种不同控制方式可看出，发生供电异常时，变频一键启/停控制方式的消耗时间少、效率高。

表 2 变频器启停消耗时间统计

Table 2 Statistics of frequency converter startup and shutdown consumption time

变频器控制方式	井场变频器全部启动耗时/min	井场变频器全部关停耗时/min
现场手动控制	210	150
上位机远程鼠标单击控制	50	50
上位机一键启/停控制	27	5

3.3 上位机报警界面优化

对原系统报警画面内容单一、画面单调问题进行了优化。通过手动设定阈值，当运行钻孔流量波动较大时，进行画面报警，可快速定位异常钻孔及孔号。在下位机编写程序，对变频器、压力变送器、液位计等设备运行状态进行判断。报警信号的变量类型选用布尔型，当发生异常时变量“Alarm_Voice_Start”状态为真，过程画面进行报警弹窗，弹窗调用 WinCC AlarmControl 控件，在控件组态中将消息列表日期、时间、编号、状态、错误点、WinCC 消息文本勾选可见，实现自动化子系统设备运行异常时的弹窗报警[15]。

当系统出现异常报警时，监控中心值班人员可及时联系维修班组进行故障排查及维修，极大地提高了工作效率，降低了发生异常事件的风险。

4 结论

通过下位机 DCS 系统、上位机 WinCC 组态软件开发，结合各类现场仪表及执行机构，采用光纤以太环网通讯，构建地浸铀矿自动化控制系统，实现了地浸矿山对井场、水冶、集配液等子系统工艺流程的远程监控。

优化 WinCC 上位机画面后，提高了监控调度中心操作的直观性、便捷性、有效性，保障了设备运行的安全稳定性，达到了上位机操作的实用性与美观性，为实现现场无人化值守、工艺流程全

自动化运行打下坚实的基础。

参考文献：

[1] 侯录，侯江，伍宪玉，等. 地浸铀矿山井场数字化集控室研究与应用[J]. 铀矿冶，2022，41(3)：271-277.

[2] 伍宪玉，侯江，侯录，等. 地浸铀矿山自动化和信息化系统融合设计及应用[J]. 湿法冶金，2021，40(6)：523-526.

[3] 丁武，桂增杰. 内蒙某地浸铀矿山自动化现状与展望[J]. 铀矿冶，2017，36(S1)：17-22.

[4] 李德，陈国贞，于长贵，等. 地浸矿山智能化管理平台建设与应用[J]. 铀矿冶，2017，36(S1)：7-11.

[5] 李喜龙. 内蒙古某铀矿数字化矿山建设的思考[C]//中国核学会. 中国核科学技术进展报告，(第六卷)——中国核学会 2019 年学术年会论文集：第 2 册. 北京：中国核学会，2019：43-48.

[6] 王怀杰，万利平. 铀地浸井场自动监控系统的数据采集与处理[J]. 铀矿冶，2005，24(4)：194-197.

[7] 王鑫. 浅谈电气自动化系统的应用及未来发展研究[J]. 科学技术创新，2019(34)：156-157.

[8] 刘玲玲，刘德平，李保强，等. 基于 Modbus 协议的变频器远程控制器的研究[J]. 仪表技术与传感器，2010(6)：33-35.

[9] 王怀杰，李智，岑秉聪. 地浸井场自动化监控系统的设计与实现[J]. 铀矿冶，2003，22(3)：148-154.

[10] 廖天伟，唐学涛，季扬威. 内蒙某地浸铀矿自动化控制的应用与改进[C]//中国核学会. 中国核科学技术进展报告(第六卷)——中国核学会 2019 年学术年会论文集：第 2 册. 北京：中国核学会，2019：38-42.

[11] 伍宪玉，侯江，施建明，等. 计算机自动监控在通辽某地浸采铀系统中的应用研究[J]. 铀矿冶，2013，32(4)：189-194.

[12] 董宏真. 浅谈某铀矿水冶数字化建设[C]//中国核学会. 中国核科学技术进展报告(第五卷)——中国核学会 2017 年学术年会论文集：第 2 册. 北京：中国核学会，2017：14-19.

[13] 连国玺，李梦姣，汤庆四，等. 某地浸井场抽大于注比例与地下水环境影响关系的研究[J]. 铀矿冶，2017，36(2)：144-150.

[14] 侯录，侯江，兰天，等. 基于 Modbus 现场总线优化地浸采铀生产过程自动监控系统[J]. 铀矿冶，2015，34(3)：194-198.

[15] 伍宪玉，张彩萍，施建明，等. 计算机自动监控在新疆某地浸采铀系统中的应用[J]. 铀矿冶，2010，29(3)：138-144.

Composition of Automation System and Optimization of Host Computer in an In-situ Leaching Mine in Inner Mongolia

ZHUANG Zhixu, LI Xilong, TENG Fei, ZHOU Wenmeng, FENG Xiaogang

(Tongliao Uranium Co., Ltd., CNNC, Tongliao 028000, China)

Abstract: According to the production and management requirements of an in-situ leaching mine in Inner Mongolia, the general view diagram of the mining area and the operation diagram of the mining area were added to the host computer of the automation system, the remote parameter adjustment and alarm screen of the frequency converter were optimized, and the functions such as one key start and stop, one key given frequency were developed to realize the strict control of all links of in-situ leaching uranium production in the control and scheduling. Through the optimization of WinCC host computer, it can more intuitively display the equipment and production operation, further simplify the adjustment of instrument operation parameters, improve the working efficiency of operators and reduce production costs.

Key words: in-situ leaching mine; optimization of WinCC host computer; instrument parameters; adjustment