

基于动态地下水联动修复控制系统的研究

文/李洗明 罗君伟 王承刚
湖南新九方科技有限公司

对地下水动态监测及治理控制进行研究，该系统控制主要由两部分组成：注药系统和取样分析系统，通过PLC实现两套系统的独立和联动运行。独立运行适用于人工控制，联动运行适用于智能控制。可根据大数据库内数据优先进行加药量控制，在整个联动运行中实现了系统的全自动化运行。

随着“绿色发展”和“可持续发展”等概念的提出，我国对地下水的开发利用与保护也日趋重视。地下水是水资源的重要组成部分，其供水量占全国总供水量的20%，由于一些人为或天然的原因，导致重金属物质通过渗透、越流、径流进入地下水中，不仅对人们身体健康产生严重危害，而且对周边土壤环境、动物和植被产生严重破坏。本文主要通过一种新型的装置对重金属污染的地下水进行预处理，并抽取分析后送污水处理厂进行深化处理，监测分析数据一方面用来控制预处理量，另一方面作为污水处理厂进水参数；在整个系统运行过程中利用PLC实现联动控制，既保证系统实现自我调节控制，又保证地下水的彻底治理。

动态地下水联动修复系统工艺流程

动态地下水联动修复系统主要由两部分组成：注药系统和取样分析系统。

1. 注药系统

主要由制药箱（含搅拌机、液位计、进药电动阀、出药电动阀、加药箱上压力变送器P2、下压力变送器P1等）、注药泵、注药调节阀和循环井注药流量计等部件构成，图1为注药系统的工艺流程图。

2. 取样分析系统

包括深井泵、深井液位计、循环井出水流量计、止回阀、中间取样水箱、转输泵、六价铬分析仪、PH计和分析仪一拖六取样装置等，图2为取样分析系统的工艺流程图。

3. 工艺流程

（1）药剂制备

加药箱内药剂的制备有两种方式：液体和固体。

液体：外部槽车直接通过进料电动阀输送配置好的药剂。

固体：在加药箱顶部进料口投加固体，再控制进料电动阀加入一定量配比的清水，通过搅拌机混合均匀，通过加药箱上、下压力变送器监视配比的液体密度。

（2）药剂投加

选择需治理的井，并对应地打开电动调节阀，通过注药泵将药剂注入井内（首次投加时需通过计算设定注药量，后续通过水样分析得出的数据进行注药量自动控制），在注药过程中，根据各个井注药量不同，并结合注药管道流量计的累计值（即计算的注药总量），控制注药管道调节阀门开度。

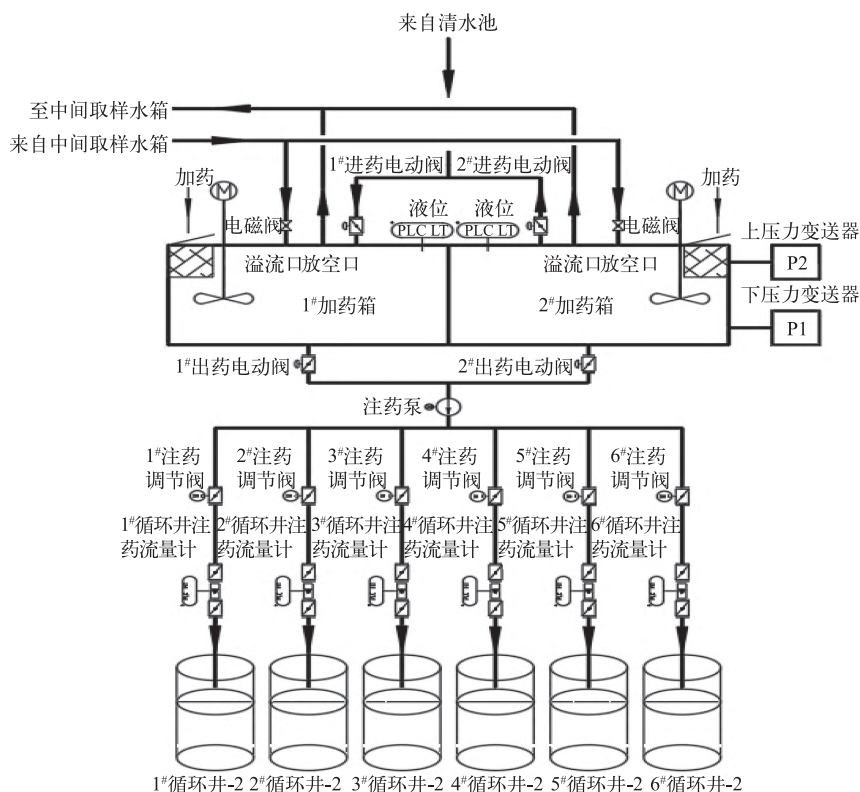


图1 注药系统的工艺流程图

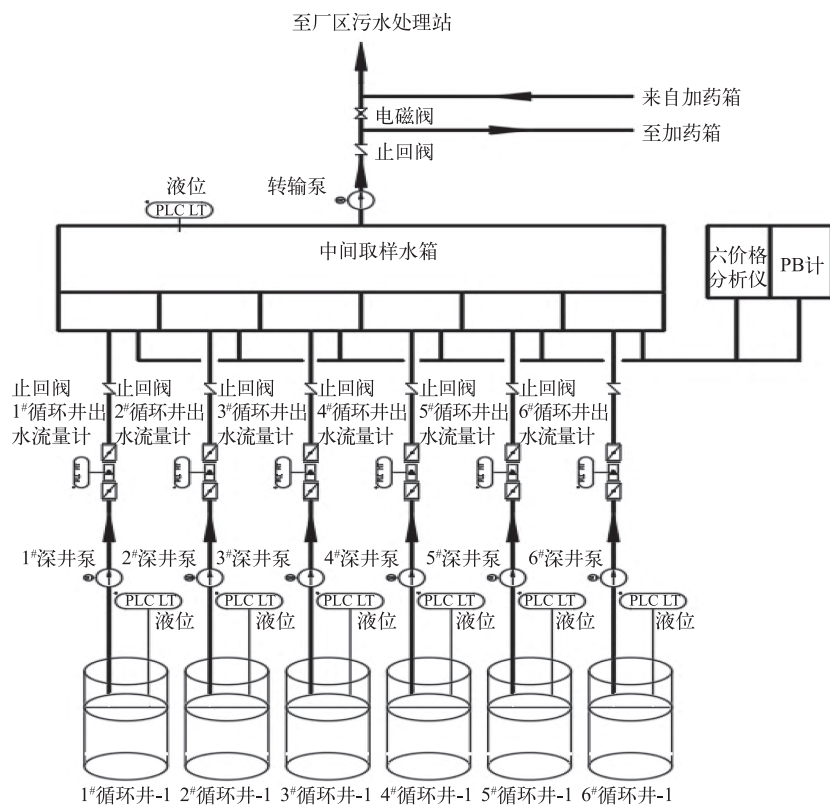


图2 取样分析系统的工艺流程图

(3) 水样抽取

循环井液位到达高液位时，运行各个循环井内深井泵，抽取地下水至中间取样水箱，通过底部进水，上部溢流的方式使水样不断更新；各个深井泵抽取的水样至取样水箱内是相互隔离的，溢流后混合。

(4) 水样分析

利用一台分析仪对多个水样进行分析，运用轮巡的方式，按照规定的顺序对水样进行轮回检测，分析处理后的数据列入对应循环井的水样参数。

(5) 水样转输

水样分析得出的数据达标后，直接转输至污水处理厂，若水样检测不达标，则回送至加药箱，通过注药泵重新注入至地下井并治理，转输泵通过中间取样水箱液位控制起停。

工艺操作流程如图3所示。

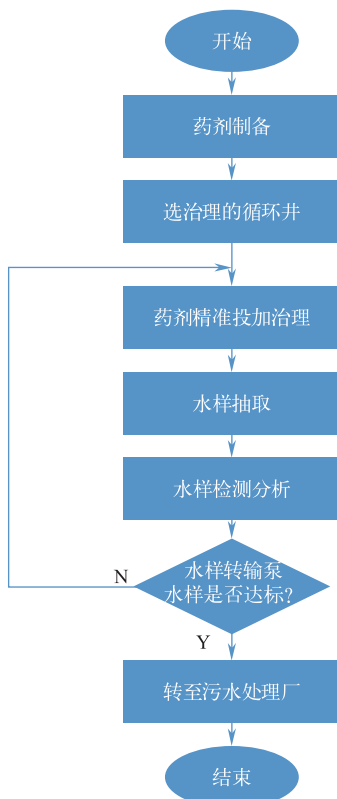


图3 工艺操作流程

控制系统

1. 控制系统构成

控制系统由两套PLC构成，分别控制注药系统

和取样分析系统，每套PLC系统内数据独立运算，在降低PLC系统的负载率同时，提高运算速率，两套PLC系统之间采用互联网进行数据交互，PLC系统选用西门子S7-200 SMART产品，其作为中间控制环节，起到承上启下作用，对下采集现场数据和控制设备运行，通过I/O模块、Modbus RTU通信等多种途径采集现场数据，对上传数据至中央控制站，两套PLC之间通过网络交换机实现数据的交互。

运用多层控制系统架构，集成高度自动化，实现PLC对工艺过程的集中操作、监视、管理、分散控制、远程联锁起停、顺序控制、绘制实时曲线、显示实时数据报表、上下限报警、查看历史趋势曲线等功能。

2. 硬件架构搭建

(1) 硬件架构组成

按照设备的功能和工作原理不同，将控制系统硬件架构自上而下大体分为三层：信息层、控制层和设备/现场总线层，三者之间通过数据链路实现交互，并根据控制的要求选用不同的连接方式，如图4所示。

信息层：中央控制站/操作员站，作为人机交换窗口，用于全方面监控整个系统运行。

控制层：PLC系统，采集现场监测设备的数据，经过分析、处理后，及时联锁操作现场控制设备的动作，同时将数据反馈到监控操作层网络中，保证系统的全自动化控制。为确保采集及控制信号准确、快速到达设备，需根据信号的强弱、抗干扰程度等特点选择合适的连接电缆。

设备/现场总线层：流量计、电动机、电动阀、电动调节阀、搅拌机、液位计和分析仪等作为最底层的执行和监测层，按照控制层的指令执行各种动作，反馈现场运行的各种实时状况。

(2) 硬件搭建原则

信息层与控制层采用工业以太网通信方式进行数据传输；控制层与设备层可根据数据的重要程度和需求，选用不同的数据连接方式。

1) 现场各种流量计、分析仪表等须同时显示瞬时值和累计值，通过Modbus RTU等通信方式向PLC系统上传数据，既保证能上传多种数据，又可避免数据在传输过程中出现误差。

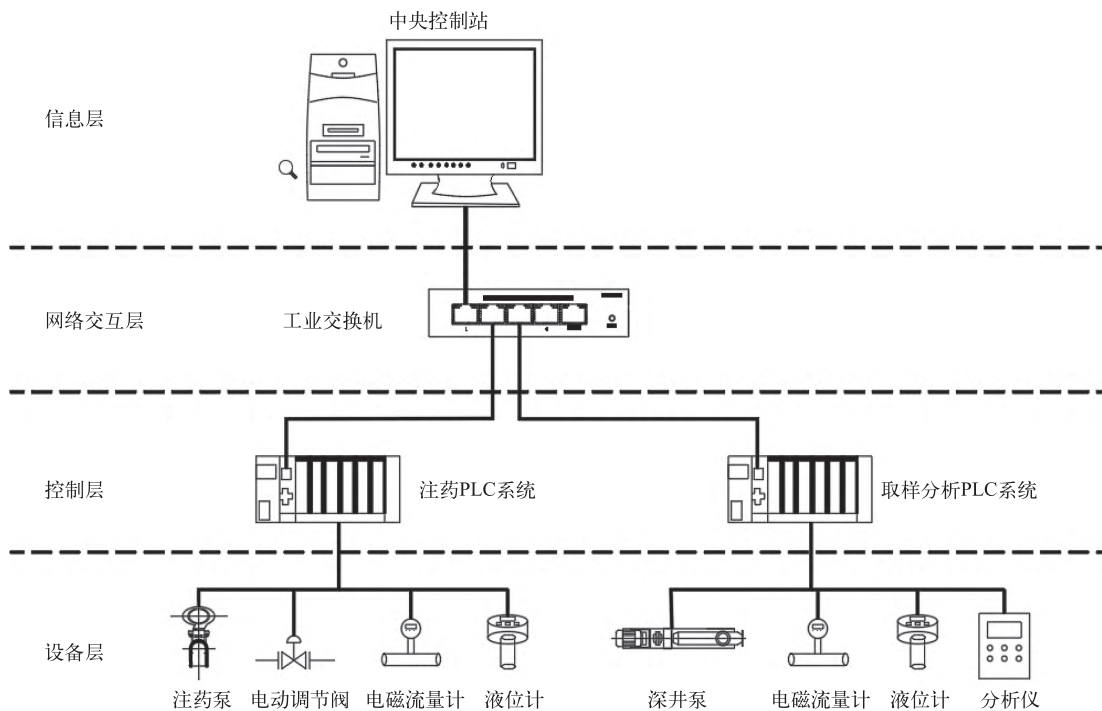


图4 控制系统架构图

2) 现场各种电动机、电动阀、调节阀的控制与PLC采用硬接线连接，通过I/O模块可靠稳定地实现设备控制和反馈。

3) 对于各种关键设备，采取冗余控制，通过PLC系统实现设备的自动联锁切换。

4) 联动控制，对于各种关键系统控制，可实现多重保护，多种条件互锁。

3. 软件系统

PLC作为控制系统的大脑，内部程序即为大脑内的控制思想，通过逻辑运算、顺序运算和算术运算，控制各种类型的机械或生产过程，实现智能自动控制。

通过对地下水样品的分析，提前对地下水水质情况进行预判，给出初始加药量，服务于注药系统的控制；通过取样分析系统获得处理后的水质数据，结合大数据分析和模糊算法，通过PID模型对加药系统实现精准调节和控制，当大数据库内数据积累到一定的量之后，即将各种离散的点汇聚成连续的平滑曲线，根据大数据库内数据优先进行加药量控制，以达到快速反应的目的，在整个联动运行中实现了系统的全自动化运行，大大降低了操作人员的劳动强度，同时避免了人为因素影响。

主要工艺逻辑控制

1. 注药系统联锁控制

(1) 注药量精准调节控制

- 1) 首次计算并设定注入地下井的药剂量。
- 2) 开启注药泵及全开回流电动调节阀进行药剂内循环。
- 3) 注入药剂时，全开需治理的地下井所对应的电动调节阀，同时关闭回流电动调节阀。
- 4) 注入流量计实时监测注入药剂量，并反馈至控制系统。
- 5) 当药剂注入量超过设定注入量的80%时，开始缓慢自动调节阀开度，进行精准控制。
- 6) 当调节阀开度调节至50%时，自动缓慢开启回流电动调节阀，并实时监测注入流量计。
- 7) 精准注药完毕后，自动关闭注药调节阀，全开回流电动调节阀。

(2) 注药量全自动闭环控制

根据取样分析系统得到检测的污染物浓度，内部通过工艺计算得出注入的药剂量，重复上述步骤，不断进行检测过程，加药量控制通过大数据分析得出的数学模型，结合模糊控制算法，对污染物进行提前预判，以PID调节控制注药量（如图5所示）。

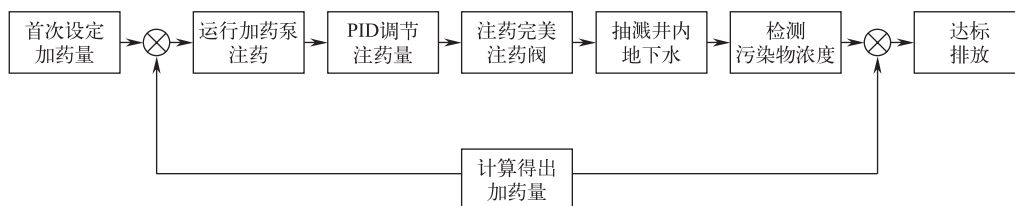


图5 注药量全自动闭环控制逻辑图

(3) 注药箱的无缝连锁切换

1) 当采用1[#]加药箱进行注药时，开启1[#]加药箱出口阀门。

2) 2[#]加药箱进行药剂制备或存储待用。

3) 1[#]加药箱液位降至0.3 m时，自动开启2[#]加药箱出口阀门，关闭1[#]加药箱出口阀门。

4) 2[#]加药箱液位降至0.3 m时，开启1[#]加药箱出口阀门，关闭2[#]加药箱出口阀门，重复之前步骤，自动切换至1[#]加药箱运行。

5) 当1[#]加药箱液位也处于低液位时（0.3 m以下），同时开启1[#]加药箱和2[#]加药箱出口阀门。

6) 当1[#]加药箱和2[#]加药箱液位任意一个降低至报警液位时（0.1 m以下），自动关闭注药泵运行。

7) 关闭1[#]加药箱和2[#]加药箱出口阀门。

2. 抽取分析系统控制

(1) 液位联动控制

1) 深井泵通过深井内液位实现联动控制，高液位启动，低液位停止。

2) 中间取样水箱转输泵通过中间取样水箱液位实现联动控制，高液位启动，低液位停止。

3) 中间取样水箱内液体通过分析仪结果判断传输位置，当内部污染物浓度较高时，传输至加药箱内，并由加药泵注入回井内，实现污染物内循环，当污染物浓度较低时，通过转输泵将污水传输至厂区污水处理厂。

(2) 分析仪轮巡取样分析

1) 控制系统检测深井泵状态（运行/停止）。

2) 控制系统按照深井泵运行顺序发送命令给取样分析仪。

3) 分析仪在中间取样水箱内抽取水样并进行检测，其结果作为注药系统的依据，并显示在工作界面上。

4) 当一个水样检测完成之后，再检测另外一个水样，为避免旧水样对新水样的干扰，需采用新水

样对检测进行一定时间的冲刷洗涤后，再进行数据检测分析。

5) 重复之前步骤，按深井泵运行顺序逐个进行轮巡水样分析。

结束语

综上所述，本控制系统采用一套中控系统，对两套PLC系统进行控制，PLC系统之间采用高速工业网络实现数据交互，每套PLC系统控制一个相对独立的子系统运行，可避免系统之间相互干扰，同时提高了控制的速率和精度，在控制系统软件程序中运用模糊算法、PID技术等多种先进控制技术，对系统进行精准调节，结合大数据库分析建立数据模型，对系统提前预判并提前控制，最终达到药剂的注入量与污染物反应的平衡，节约了药剂，同时也避免了药剂造成的二次污染。EA

参考文献

- [1] 黄超，薄翠梅，郭伟，等．工业污水处理溶解氧的双模糊控制系统研究[J]．控制工程，2019，26(2)：185-190．
- [2] 方泽文．组态王及西门子PLC在废水处理控制系统中的应用探究[J]．中国设备工程，2022(9)：269-271．
- [3] 阳启航，李家春，陈跃威，等．模糊控制在磷矿废水处理系统中的应用[J]．净水技术，2022，41(2)：81-86．
- [4] 王立军，章申，等．天然水中Cr(VI)与硫化物的氧化还原反应环境动力学研究[J]．环境科学学报，1983，9(3)：247-255．
- [5] 苏静．基于PLC的通风机监控系统设计[J]．电气应用，2021，40(3)：66-72．