

核电厂生活污水自动处理设备的自动化控制

秦敏, 潘进

南京中电环保水务有限公司, 江苏南京

摘要: 随着工业生产和社会发展的不断推进, 各行各业和生产生活对电力的需求也在急剧增加。传统火电对燃煤有着巨大的需求, 原材料的价格和质量往往会严重影响电厂发电量及环境, 逐渐不能满足生产生活的电力需求。核电作为一种清洁能源, 具有多方面独特优秀, 核电厂的投建数量不断增加。核能发电作为一种清洁能源, 发电过程中大大减少了温室气体、二氧化硫等污染物的排放, 不产生烟尘, 对环境保护、提高空气质量及缓解气候变暖等都有很大的积极作用。核电具有高效、稳定的特点, 对运行安全也有着极为严格的要求。核电厂需要各种运行、安全、维护人员对电厂设备进行监管和控制。厂区内各个系统的生活污水处理自然也成为核电厂水处理系统中的重要一环。

关键词: 核电厂; 自动化; 生活污水; 清洁能源; 污染

Automatic Control of Automatic Treatment Equipment for Domestic Sewage in Nuclear Power Plants

Min Qin, Jin Pan

Nanjing CLP Environmental Protection Water CO., LTD., Nanjing, Jiangsu

Abstract: With the continuous advancement of industrial production and social development, the demand for electricity in all walks of life and production and life is also increasing sharply. Traditional thermal power has a huge demand for coal burning, and the price and quality of raw materials will often seriously affect the power generation and environment of power plants, and gradually fail to meet the power demand of production and life. As a kind of clean energy, nuclear power is unique and excellent in many aspects, and the number of nuclear power plants invested and built is increasing. As a kind of clean energy, nuclear power generation greatly reduces the emission of greenhouse gases, sulfur dioxide and other pollutants in the process of power generation, and does not produce soot. It has a great positive effect on environmental protection, improving air quality and alleviating climate warming. Nuclear power has the characteristics of high efficiency and stability, and it also has very strict requirements for operation safety. Nuclear power plants require all kinds of operation, safety and maintenance personnel to supervise and control power plant equipment. The domestic sewage treatment of each system in the plant naturally becomes an important part of the water treatment system of the nuclear power plant.

Keywords: Nuclear power plant; Automation; Domestic sewage pool; Clean energy; Pollution

1 引言

核电厂生活污水自动处理系统的高效运行离不开先进的自动化控制技术。该系统通过集成多种传感器、执行机构和智能控制算法,实现了对生活污水处理的全程自动化监控与管理。自动化控制系统能够实时监测污水的水质指标,如悬浮物浓度、化学需氧量等,并根据预设的处理标准自动调节处理工艺参数,确保出水水质达标。同时,系统还能对处理过程中的能耗进行优化控制,降低运行成本,提高整体能效。此外,自动化控制系统还具备故障诊断与预警功能,能够及时发现并处理潜在的设备故障,保障核电厂生活污水处理系统的安全稳定运行。

2 核电厂生活污水自动处理设备介绍

核电厂因其在安全、选址等方面的需求,厂内配套的生活污水处理设备也与常规污水处理有所不同。核电厂建在海边,海边潮湿的海风、暴晒的阳光对设备的腐蚀影响积极大。因此,核电厂的生活污水处理设备主体大多采用地埋式,既能有效降低设备腐蚀的影响,又能减少占地。系统内除加药装置、污泥脱水装置、曝气风机、电气控制设备外,其余设备基本均为“地埋”。“地埋”设备建造完成后上方预留必须的操作口,其余全部回填并种植草皮。整个生活污水处理区域建成为花园形污水处理站,环境优美。

核电厂生活污水处理流程主要包括:预处理、生物处理、混合加药、过滤消毒、污泥处理等环节。预处理阶段安装机械格栅,对污水中的较大杂物进行初步打捞。生物处理阶段分为厌氧池、缺氧池、接触氧化池、沉淀池,通过培养微生物,对生活污水进行降解。降解产生的污泥采用板框压滤机进行脱水,产生的泥饼可用于堆肥活焚烧。降解后产生的水再进行二次过滤和消毒,最终出水达到生活污水排放标准,回用于核电厂内的绿化灌溉等。

此外,核电厂生活污水自动处理设备还具备高度自动化的特点。通过集成先进的传感器、控制器和执行机构,整个处理过程可以实现远程监控和自动调节。例如,系统能够根据水质监测结果自动调整加药量,确保处理效果稳定;同时,通过智能算法优化曝气风机的运行,既保证了微生物的

活性,又节约了能源。这种高度自动化的处理方式不仅提高了工作效率,还降低了人工操作的风险和成本[1]。

3 核电厂生活污水处理系统控制对象及控制方式

(一) 电气设备

核电厂生活污水处理系统电气设备包括:机械格栅、污水提升泵、曝气风机、潜水搅拌机、污泥回流泵、反洗水泵、回用水泵、PAM加药装置、PAC加药装置、板框压滤机、污泥泵、二氧化氯发生器、刮泥机、空压机等。PAM加药装置、PAC加药装置为成套撬装设备,配套有控制柜。污泥泵配套变频器控制,变频器采用ABB品牌ACS510系列,可自动调节板框压滤机进泥量,变频器安装在就地GGD控制柜中。其余工频电机的供电及控制配有MCC柜。MCC柜为MNS2.0抽屉柜,可分别对每一个电机进行就地启停控制。所有MCC及就地成套控制柜的信号均采用硬接线形式送至生活污水处理系统PLC柜,实现远程自动控制。

格栅槽、调节池、污泥池为地下钢筋混凝土构筑物,一体化污水处理设备埋设于地下。

控制柜、加药装置、鼓风机等安装在地上建筑物内。

在控制逻辑上,电气设备通过PLC(可编程逻辑控制器)实现自动化控制。PLC作为核心控制器,接收来自现场传感器的信号,如液位计、流量计等,根据预设的程序逻辑判断执行相应的控制动作。例如,当污水提升泵的液位达到预设高位时,PLC会自动启动污水提升泵,将污水提升至后续处理单元;当液位降至低位时,则自动停止污水提升泵,以避免空转和能耗浪费。

曝气风机和潜水搅拌机则根据污水处理工艺需求进行定时或按需启停控制,以保证污水中的溶解氧含量和混合均匀度。污泥回流泵和反洗水泵则根据污泥浓度和过滤器的堵塞情况自动调节运行频率和时长,以实现污泥的有效回流和反洗效果。

对于PAM加药装置和PAC加药装置,PLC根据进水水质和水量自动调节加药量,确保处理效果的同时避免药剂的浪费。板框压滤机的进泥量通过污泥泵配套的变频器实现自动调节,以保证压滤效果

和污泥含水率的稳定。

此外,所有电气设备的运行状态、故障报警等信息均通过PLC实时上传至监控系统,便于运维人员远程监控和管理。同时,系统还具备故障自诊断功能,一旦检测到设备故障或异常情况,能够立即发出报警信号并采取相应的保护措施,确保污水处理系统的安全稳定运行[2,3]。

(二) 热控设备

核电厂生活污水处理系统热控设备包括:风机水泵出口设就地压力表。板框压滤机进泥口设隔膜式压力变送器,用于控制板框压滤机进泥量。地埋式生化池设溶氧仪及投入式液位计,用于测量生化池含氧量及液位,调节生化菌种培养。调节水池设PH计、远传温度计及出水电磁流量计,PH计可调整调节池酸碱度,远传温度计、出水电磁流量计监测调节池即生化池进水温度。改性沸石过滤器设一体化电动阀,可实现过滤器的自动正洗、反洗及排污等。过滤器出水设在线监测浊度仪、COD表、PH计,用于检测出水水质,水质合格即可排入清水池回用,水质不合格则回流重新过滤。

地埋式MBR膜生物反应器设跨膜压差变送器及膜池液位计,跨膜压差变送器用于监测MBR膜污染程度,及时清洗或更换膜组件,以保证出水水质和膜的使用寿命;膜池液位计则用于控制MBR膜生物反应器的液位,确保生化处理的连续性和稳定性。鼓风机进风口设空气过滤器,可有效防止空气中的杂质进入鼓风机,保护鼓风机正常运行。此外,鼓风机出口还设有风量控制阀,可根据生化池需氧量自动调节鼓风机风量,实现节能降耗。

核电厂生活污水处理系统设一面PLC控制柜,柜内配置一套西门子S7-1500模块及一面10寸彩色触摸屏,详细设备清单见表1:

因生活污水PLC与上层网距离较远,生活污水PLC控制柜内设置一台多模光纤收发器,将以太网RJ45通讯口转换为多模光口,用于两系统通讯连接。PLC模块网络组态图见图1:

(三) 自动控制步骤

整套系统的自动控制由两部分组成:污泥脱水系统自动控制、生活污水系统自动控制。

以污泥脱水系统为例,污泥脱水系统自动控制步骤如表2:

生活污水处理系统自动运行逻辑需要实现一定的系统内设备联锁保护,主要包括:

集水井提升泵(2台)与集水井液位计联锁,高启、低停;1用1备。当液位高位报警,两台泵同时开启。

污水调节池污水提升泵(3台)与调节池液位计联锁,高启、低停;2用1备,#2污水调节池污水提升泵为备用泵。当#1污水调节池提升泵故障时开启#1联络阀,并开启#2污水调节池提升泵。当#3污水调节池提升泵故障时开启#2联络阀,并开启#2污水调节池提升泵。

曝气风机(3台)与污水提升泵联锁,2用1备,8h换风机;污水提升泵停运后延时1h停风机。当溶氧仪显示数值小于2mg/L时,启动3台风机。

污泥回流泵(2台),系统正常运行状态下3天排一次泥,每次5分钟(具体运行时间、间隔时间,可根据实际情况调整)。

中间水池过滤提升泵(2台)与中间水池液位计联锁,高启、低停;1用1备。

过滤器电动阀正常运行状态下,开启合格水排放阀,当COD(设定值50mg/L)和浊度(设定值5NTU)有一项不合格时,开启不合格水排放阀后关闭合格水排放阀。正洗阶段,开启不合格水排放阀,当COD和浊度均合格时,开启合格水排放阀后关闭不合格水排放阀[4,5]。

(四) 控制画面

核电厂生活污水处理系统上位机控制器采用一台10寸彩色触摸屏。触摸屏主画面包含全部系统控制设备及仪表。从触摸屏主画面上可以直接监控系统内各设备、仪表、阀门的使用状态、运行数据及故障情况等。

此外,控制画面还具备报警功能,一旦系统内的设备、仪表或阀门出现故障或异常状态,会立即在触摸屏上显示报警信息,并发出声音或光信号,提醒操作人员及时采取措施。操作人员可以通过触摸屏上的操作按钮,快速切换至不同的控制画面,实现对系统内各个区域的全面监控和管理。同时,触摸屏还支持数据记录功能,能够实时记录系统内各设备、仪表、阀门的运行数据,为后续的故障排查和数据分析提供有力的支持。

核电厂生活污水处理系统触摸屏主界面见图2:

表1 详细设备清单

1	CPU模块	6ES7 511-1AK02-0AB0	套	1	西门子
2	DI模块	6ES7 521-1BL10-0AA0	套	4	西门子
3	DI模块	6ES7 521-1BH10-0AA0	套	1	西门子
4	DO模块	6ES7 522-1BL10-0AA0	套	3	西门子
5	AI模块	6ES7 531-7KF00-0AB0	套	2	西门子
6	AI模块	6ES7 531-7QD00-0AB0	套	1	西门子
7	AO模块	6ES7 532-5HD00-0AB0	套	1	西门子
8	网络模块	6ES7 543-1AX00-0XE0	套	1	西门子
9	安装导轨	6ES7 590-1AF30-0AA0 (530mm)	套	1	西门子
10	电源模块	6ES7 505-0KA00-0AB0	套	1	西门子
11	前连接器	6ES7 592-1BM00-0XB0	套	3	西门子

表2 生活污水污泥脱水系统控制步序表

步序	设备、阀门名称						操作条件
	#1污泥泵	#2污泥泵	板框压滤机	反洗泵	空压机	压滤机进气阀	
初始状态							
污泥脱水	×		×				
冲洗				×	×	×	
停运							
操作说明	由压滤机PLC控制启停，并与浓缩池泥位计连锁，低液位停泵，1用1备						

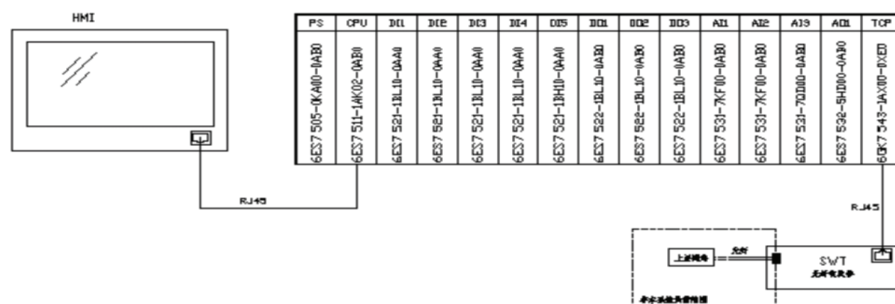
- 说明：
- 1、空格表示阀门、泵机等设备处于关闭状态，×表示阀门、泵机等设备处于开启状态。
 - 2、进入操作步序前所有手动阀门、泵机等设备已处于备用状态。
 - 3、浓缩池泥位计泥位L（池底标高-0.3m、池顶标高5.6m），说明：L：L1=1.5m（低位报警）。
 - 4、干粉制备装置液位L=0.2m（低位报警）（设定值）。
 - 5、只需给板框机控制柜启停信号，压滤机控制柜内PLC控制压滤机相关操作。
 - 6、污泥泵的启停与压滤机联锁控制，压滤机启动平稳后将发出允许污泥泵启动的信号；系统停运时，先停污泥泵和计量泵，再发送压滤机停运信号，进入冲洗阶段。

监控仪表数据统一排列在右侧，数据动态实时显示，所有数据定时计入数据报表。主画面最下行位菜单行，设有各分菜单按钮。通过点击和操作各个功能按钮，用户能够顺利地进入不同的子系统界面，在这些界面中，可以对系统的各项参数进行深入和详细的设定。此外，报警界面被设计得非常人性化，它能够以详细和滚动的方式展示所有的报警

项，确保用户不会错过任何重要的报警信息。

4 总结

核电厂生活污水自动处理设备的自动化控制实现了远程监控和管理，运行人员在集中控制室同时监控多系统的运行状况，统一调度。自动化控制大大降低了运行人员的抄表、记录、统计等工作，自



核电生活污水处理系统

工业水管来水 → 干粉投加 → PAC加药 → 助凝剂加药 → 压滤机反洗水箱 → 板框压滤机 → 空压机

去消毒池 → 二氧化氯装置 → A除臭器 → B除臭器

A系列：厌氧池、缺氧池、接触氧化池、沉淀池

B系列：厌氧池、缺氧池、接触氧化池、沉淀池

污泥浓缩池 → 过过滤器 → 中间水池 → 清水池 → 消毒池

含格水回用

A调节池出口流量	12.3 m ³ /h
B调节池出口流量	12.3 m ³ /h
回用水泵出口流量	12.3 m ³ /h
污水调节池pH	12.3
污水调节池温度	12.3 °C
过滤器出口pH	12.3
过滤器出口COD	12.3 mg/L
过滤器出口油度	12.3 NTU
A接触氧化池溶氧	12.3 mg/L
B接触氧化池溶氧	12.3 mg/L
污水调节池液位	12.34 M
集水井液位	12.34 M
刮泥机泥位	12.9 M

格栅井 集水井 调节池 厌氧池 缺氧池 接触氧化池 沉淀池 中间水池 清水池 消毒池

A列运行 B列运行 过滤系统 压滤系统 加药系统

仪表 报警