

# 火电厂原水预处理系统自动控制现状与发展综述

田立<sup>1</sup> 薛昌刚<sup>1</sup> 魏尔敏<sup>2</sup>

1. 润电能源科学技术有限公司 河南 郑州 450001

2. 华润电力登封有限公司 河南 郑州 452783

**摘要:** 火电厂原水预处理系统保障生产用水安全、维持热力系统稳定高效运行,主要功能是去除原水中杂质,为后续用水提供合格水源。当前多数火电厂该系统依赖人工经验控制,存在水量调节波动大等问题,导致出水水质不稳定、加剧设备损耗与水资源浪费,制约节能降耗与智能化发展。本文梳理系统工艺流程与核心控制需求,分析自动控制技术应用现状、问题及研究进展,探讨关键技术瓶颈,结合智能化趋势提出未来发展方向,为系统自动化升级等提供参考。

**关键词:** 原水预处理;自动控制;污泥沉降比;加药控制

引言:电力工业是支柱产业,火电厂安全稳定高效运行关系能源供应。水是火电厂核心介质,水质影响关键设备寿命与效率。原水预处理环节处理效果决定后续水处理系统负荷与成本,是节水降耗关键。火电厂原水预处理系统处理不同来源原水,通过核心设备与辅助工艺去除杂质。传统人工控制模式难适应现代运行需求。国内学者与企业有研究进展,但核心技术存在瓶颈。系统梳理现状、问题及发展方向有重要意义,本文全面综述。

## 1 火电厂原水预处理系统工艺流程与控制需求

### 1.1 系统工艺流程

火电厂原水预处理系统核心目标是去除原水杂质、降低后续系统负荷、保障水质达标。通常采用标准化流程:来水→机械加速澄清池(机加池)→过滤器→清水箱→补充用水。机加池是核心设备,运行中需投加药剂,使杂质凝聚、絮凝,形成泥渣层吸附杂质、降低硬度,要避免泥渣层过厚影响效果。机加池设排泥系统,需定期排泥;排出的泥浆经浓缩后可资源化利用,或脱水后填埋处理。过滤器用于截留机加池出水中残留的细小悬浮物与泥渣颗粒,提升出水水质,常用类型有石英砂、活性炭、多介质过滤器等,运行中需定期反洗。新洁源环保将预处理工艺优化为“原水取水与水质监测→分级滤网过滤→高效混凝沉淀→多介质过滤深化”体系,分级滤网采用“粗滤+精滤”,精滤用改性纤维滤网,反洗周期延长30%;高效混凝沉淀用复合混凝剂,悬浮物去除率超95%;多介质过滤采用三层滤料,过滤速度提升,出水浊度稳定在1NTU以下。

### 1.2 核心控制需求

火电厂原水预处理系统控制核心是保障出水水质稳定、运行高效、能耗低,减少人工干预与运行成本。核

心控制需求包括:

(1) 进水水量控制:稳定控制进水水量,避免机加池翻池,保障出水水质。

(2) 污泥沉降比控制:实时、连续监测与精准控制污泥沉降比,维持在合理范围,保证出水水质稳定。

(3) 加药系统控制:根据原水水质、水量及污泥沉降情况,精准控制药剂投加量,避免浪费与二次污染,解决石灰加药堵塞问题,精准调节硫酸加药的出水pH值。

(4) 排泥系统控制:根据机加池泥渣层厚度、污泥浓度等确定排泥时间与量,避免排泥不足或过量。

(5) 过滤器反洗控制:根据运行时间、进出口压差等自动触发反洗,合理控制反洗时间与水量。

(6) 全流程协同控制:实现进水、加药、排泥、过滤等环节协同控制,构建全流程一体化自动控制体系。

## 2 火电厂原水预处理系统自动控制现状

国内火电厂原水预处理系统自动控制水平参差不齐,多数中小型火电厂以人工经验控制为主,自动化程度低;大型火电厂引入自动化设备与技术,但存在控制精度不足等问题。总体分为人工经验控制、半自动化控制、全自动化控制三个层次,半自动化控制是主流模式。

人工经验控制模式是传统控制方式,依赖运行人员经验手动调节原水预处理系统各环节,适用于中小型火电厂。部分小型火电厂或老旧预处理系统采用人工经验控制模式。运行人员需定时人工检测进水水量、污泥沉降比等参数,手动调节进水阀门、加药泵等设备运行状态。

半自动化控制模式是国内火电厂原水预处理系统主流方式。在人工经验控制基础上,引入部分自动化检测设备与控制装置,实现部分参数自动监测与部分设备自动控制。参数检测方面,配备在线浊度仪等设备,部分

电厂引入污泥浓度计；设备控制方面，采用PLC作为控制核心，实现加药泵等设备自动启停与频率调节。流动电流仪广泛应用于半自动化加药控制，可实时检测电荷强度，形成动态闭环控制，保证出水浊度稳定，延长设备寿命，节省混凝剂用量。

全自动化控制模式是原水预处理系统控制的发展方向，核心是构建全流程一体化自动控制体系，实现关键参数实时监测与设备自动协同控制，无人值守运行，主要用于大型、新建或对预处理要求高的电厂。其核心组成包括自动化检测、控制、执行三部分。

### 3 原水预处理系统自动控制现存问题与研究进展

#### 3.1 现存主要问题

结合运行实践，当前自动控制主要问题如下：

(1) 进水水量控制不稳定：多数电厂进水水量调节依赖人工或简单流量反馈，缺乏来水流量预测能力，原水来源变化时，进水水量易波动，导致机加池水流不稳、翻池，影响出水水质与后续工艺。

(2) 污泥沉降比监测技术不成熟：多数电厂人工取样检测，工作量大且无法实时监测，存在滞后性；部分用在线监测设备的电厂，设备精度低、稳定性差，易受干扰，现有在线监测技术未形成工业化产品。

(3) 石灰加药系统堵塞问题突出：石灰加药系统因消石灰特性易堵塞，导致加药不稳定、出水硬度高，增加检修频率与成本，影响系统稳定运行，解决方法多为定期清理，缺乏自动防堵、清堵技术。

(4) 排泥控制缺乏精准性：多数电厂排泥控制依赖经验或简单反馈，无法准确判断泥渣层情况，排泥不合理会影响机加池处理效果、浪费资源与药剂。

(5) 加药控制精度不足：加药剂量多根据单一参数调节，未综合考虑原水水质、水温等因素，加药不匹配会影响处理效果、增加成本与污泥处置压力，硫酸加药调节pH值不及时影响后续系统运行。

(6) 系统联动性差，缺乏全流程协同控制：原水预处理各环节相互关联，但多数电厂仅实现单一环节自动控制，缺乏联动机制，无法协同优化调节，导致运行效率低、出水水质不稳定。

(7) 水力负荷优化难度大：机加池水力负荷影响出水水质，新建电厂设计水力负荷小出水合格率高但成本大，已建电厂缺乏优化控制方法。

(8) 水温差影响控制不完善：进水水温差大易引起翻池，但研究仅分析危害，缺乏减小影响的具体方法。实施方法无法有效应对水温波动运行风险。

#### 3.2 相关研究进展

##### 3.2.1 污泥沉降比监测与控制研究进展

污泥沉降比监测是原水预处理系统运行控制关键与研究重难点。现有监测依赖人工就地取样检测，耗时费力，部分电厂不监测仅靠经验排泥，导致机加池出水合格率低等问题。

为解决此问题，国内学者提出多种自动监测方法，如机器视觉法、超声波法、激光法等。机器视觉法成研究热点，中国华电技术研究院有限公司2020年申请相关专利，但仅停留在理论研究，未研制实际仪器，无法工业化应用。超声波法实时性强、抗干扰能力较强，但受污泥浓度等因素影响大，精度待提升。激光法监测精度高，但设备成本高、易受杂质干扰，不适用于复杂水质。

##### 3.2.2 进水水温差影响与控制研究进展

进水水温差影响机加池运行稳定性，温差大时会导致水流扰动、破坏泥渣层，造成翻池。国内研究集中在危害分析，明确水温差与翻池关系，但减小影响的研究少且无具体方法。部分学者提出加热或降温调节水温、优化搅拌方式，但前者能耗高，后者效果有限。

##### 3.2.3 排泥控制研究进展

机加池排泥控制核心是根据泥渣层厚度等参数精准排泥，现有排泥靠电厂经验，精度低。为解决问题，提出多种控制策略，如基于污泥浓度的反馈控制等，例如在线监测污泥浓度，当污泥浓度超过设定阈值时自动开启排泥阀门，待污泥浓度降至合理范围。结合污泥沉降比与浓度构建闭环控制系统，实时调节排泥量与时间，精准控制排泥。部分学者引入机器学习算法，分析历史数据建立预测模型，精准预测与控制排泥，提升智能化水平。但此类研究有不足，如基于污泥浓度的反馈控制滞后，算法参数整定复杂，受水质水量波动影响大，部分控制策略需齐全在线监测设备，投资成本高，难在中小型火电厂推广。

##### 3.2.4 加药控制研究进展

加药控制是原水预处理系统自动控制核心，控制精度影响机加池处理效果与成本。当前机加池加药主要凭运行人员经验和小试确定，加药精度不足。为提升精度，学者提出多种控制策略与优化方法。混凝剂加药控制提出基于流动电流、zeta 电位等参数的反馈控制策略，流动电流仪是典型实践，可提升加药精度与混凝效果。石灰加药控制提出防堵、清堵方法及闭环控制策略，确保出水硬度达标并减少浪费。硫酸加药控制提出基于 pH 值的 PID 控制策略，部分学者引入模糊 PID 控制算法，提升稳定性与精度。新洁源环保精准配比复合混凝剂或采用生物混凝剂，提升混凝效果。但当前研究存在不

足,如多数策略仅考虑单一参数,石灰加药系统堵塞问题未彻底解决,加药系统与其他环节联动性不足。

### 3.2.5 水力负荷优化研究进展

机加池水力负荷影响出水水质与投资成本,当前研究主要针对新建电厂,设计水力负荷越小,出水水质合格率越高但投资成本越大。已建电厂缺乏有效优化控制方法。为解决此问题,学者提出多种优化方法,如优化机加池内部结构、搅拌速度与方式,结合进水水质水量动态调节。机加池运行参数可实现水力负荷动态优化。新洁源环保通过流体力学模拟优化多介质过滤器滤料级配,提升过滤速度,缓解机加池水力负荷压力,但该方法优化效果有限,对于水力负荷严重超标、机加池结构不合理的已建电厂,需结合其他技术改造升级。

### 3.2.6 全流程协同控制研究进展

针对原水预处理系统各环节联动性差问题,部分学者提出全流程协同控制策略,构建“进水→加药→排泥→过滤”一体化自动控制体系,实现参数协同优化调节,如建立数学模型、引入DCS系统。目前该研究处于初级阶段,存在数学模型精度低、协同优化算法设计难、投资成本高难以推广等问题。不过,随着智慧电厂建设推进,全流程集中综合监控成趋势,高级程序控制与一键启停技术为全流程协同控制提供技术支撑。

## 4 火电厂原水预处理系统自动控制发展趋势

### 4.1 精准化控制水平持续提升

精准化控制是解决出水水质不稳定、药剂浪费等问题的关键,未来将提升各关键环节控制精度。污泥沉降比监测方面,完善自动监测技术,构建多源数据融合监测体系;加药控制方面,引入多参数融合策略,建立精准预测模型,优化防堵清堵技术;排泥控制方面,构建智能控制模型,优化结构设计;精准监测设备应用将更广泛,结合算法提升加药控制精准度。

### 4.2 智能化控制技术广泛应用

能技术、大数据技术、物联网技术将融入原水预处理系统自动控制,实现智能化运行与管理。物联网技术实现设备互联互通,采集运行数据构建数据库,为决策提供支撑。大数据技术分析挖掘数据,识别运行规律,预测变化趋势,优化参数,预警诊断设备故障,如国家能源集团的系统提供范例。人工智能技术应用于控制策略优化,构建智能控制模型,提升系统性能,如用深度学习和模糊神经网络算法实现相关控制。机器视觉技术成熟,用于多方面监测,提升智能化水平。

## 5 展望

未来,随着自动化技术、物联网技术、大数据技术、人工智能技术的快速发展,火电厂原水预处理系统自动控制将朝着精准化、智能化、一体化、节能化、标准化的方向发展。重点需要突破污泥沉降比在线监测、石灰加药系统防堵清堵、全流程协同控制等核心技术,研制成熟的工业化应用设备;同时,推动人工智能技术、大数据技术在控制策略优化中的应用,构建智能控制模型,实现系统的自适应调节与无人值守运行;此外,建立标准化与模块化的控制体系,推动全自动化控制模式在中小型火电厂的推广应用,提升整个行业的自动控制水平。

## 参考文献

- [1] 王广珠,李军,张敏.火电厂原水预处理系统运行优化与自动控制研究[J].电力环境保护,2023,39(2):45-49.
- [2] 李娟,张宏,刘军.机加池污泥沉降比自动监测技术研究进展[J].水处理技术,2022,48(8):1-7.
- [3] 赵伟,王强,李娜.火电厂原水预处理加药系统优化控制研究[J].热力发电,2023,52(5):134-139.
- [4] 陈明,李丽,张强.机加池排泥系统智能控制策略研究[J].中国电力,2022,55(10):201-207.