

# Paradigm Shift in Air Preheater Material Management: The Role of IPS Full-Load Intelligent Anti-Clogging Technology

Chaoxia Lin<sup>1</sup> Zhiwei Li<sup>2</sup> Xiujin He<sup>2</sup> Jinli Cai<sup>3</sup> Hongming Cao<sup>3\*</sup>

1. Energy Construction Branch, China Huadian Engineering Corporation Limited, Beijing, 100160, China

2. Guilin University of Aerospace Technology, Guilin, Guangxi, 541010, China

3. Guizhou Yuanhao Power Generation Co., Ltd., Qianxinan, Guizhou, 552401, China

## Abstract

With the in-depth peak shaving of thermal power units and stringent environmental emission requirements, the problems of ammonium bisulfate (plugging) and low-temperature corrosion in rotary air preheaters have become prominent. These issues lead to unplanned material consumption and inventory pressure, which have become bottlenecks restricting the lean management of power plants. This study takes the IPS Full-Load Intelligent Triple Anti-Clogging Zero Ash Plugging Technology—developed to address the plugging and corrosion of rotary air preheaters—as the research object, exploring how this intelligent technology fundamentally reshapes the material management paradigm related to air preheaters. Through the triple defense mechanisms of IPS technology (source temperature control, AI prediction, and surgical ash cleaning) and its unique “one-click reset” safety design, the material management has achieved a paradigm revolution from “passive consumption” to “proactive precision”. This technology significantly reduces the consumption of heat transfer elements and flushing consumables through “material-free” design, eliminates the associated risks caused by technical transformation, and improves the stability and safety of the material management system. It provides a theoretical basis and practical path for inventory optimization and full-life-cycle cost control.

## Keywords

IPS System; Air Preheater; Plugging and Corrosion; Intrinsic Safety; Inventory Optimization

## 基于 IPS 全负荷智能三重防堵技术的空预器物资管理范式变革研究

林朝霞<sup>1</sup> 李志伟<sup>2</sup> 何秀锦<sup>2</sup> 蔡金利<sup>3</sup> 曹红明<sup>3\*</sup>

1. 中国华电科工集团有限公司能源建设分公司, 中国·北京 100160

2. 桂林航天工业学院, 中国·广西 桂林 541010

3. 贵州元豪发电有限公司, 中国·贵州 黔西南 552401

## 摘要

火电机组的深度调峰及严苛的环保排放要求,使回转式空气预热器的硫酸氢铵堵塞与低温腐蚀问题变得突出,引发了非计划性物资消耗与库存压力,称为制约电厂精益化管理的瓶颈。以针对回转式空气预热器的堵塞腐蚀问题开发的IPS全负荷智能三重防堵零堵灰技术作为研究对象,探究该智能技术如何从根本上重塑空预器相关的物资管理范式。通过该技术的IPS技术通过源头控温、AI预测与外科手术式清灰三重防御机制,及其独有的“一键复位”安全设计,使物资管理从“被动消耗”转变到“主动精准”的范式革命。该技术通过“去物资化”设计显著降低了传热元件与冲洗耗材的消耗,还根除技术改造产生的连带风险,提高了物资管理体系的稳定性和安全性,为库存优化与全生命周期成本控制提供了理论依据与实践路径。

## 关键词

IPS系统; 空气预热器; 堵塞与腐蚀; 本质安全; 库存优化

【基金项目】国家自然科学基金资助(项目编号: 22578454)。

【作者简介】林朝霞(1976–6),女,中国福建莆田人,本科,经济师,从事物资采购管理研究。

【通讯作者】李志伟(1970),男,中国河北秦皇岛人,博士,教授,从事火电厂节能减排研究。

## 1 引言

随着清洁能源的快速增长,火电机组正深度参与电网调峰,频繁处于低负荷运行状态<sup>[1]</sup>。这种运行模式使回转式空气预热器冷端温度经常处于降至酸露点以下,伴随环保要求的提高,容易引发硫酸蒸汽凝结并与逃逸的氨反应生成硫酸氢铵(ABS)。ABS在特定温度条件下容易粘附在空预

器的传热元件上，与烟气中的灰共同作用发生板结，造成空预器的堵塞与腐蚀问题，成为威胁机组安全、环保与经济运行的重大隐患<sup>[2]</sup>。

传统的空预器运维普遍采用“定期吹灰、高压水冲洗、故障后更换”的被动应对策略，这不仅导致备件库存成本高企、维护物资计划外采购频繁，更形成了高消耗、高库存、高成本的“被动响应式”物资管理范式。随着状态检修与智能运维理念在电力行业的普及<sup>[3]</sup>，探索一种能够从根源上解决问题的预防性技术，并系统评估其对后端物资管理体系的影响，具有重要的理论与现实意义。

“IPS 全负荷智能三重防堵零堵灰系统”代表了空预器清洁技术从“治疗”到“预防”的范式转变。然而，现有研究多集中于该技术的原理与节能效益，缺乏从其智能防御与本质安全特性出发，系统阐释其对物资管理范式变革的深层机理。尤其值得注意的是，任何技术改造本身都可能引入新的设备故障风险，若改造方案不可逆，其潜在的连带物资消耗可能远超其带来的收益。

因此，本研究引入“技术内在安全性”作为关键评估维度，核心研究问题是：IPS 技术，特别是其“一键复位”的本质安全特性，如何为物资管理范式的变革提供稳定性基础并驱动其走向精益化？本文将论证，“一键复位”功能是连接技术创新与物资管理优化的关键桥梁，它通过消除最大的不确定性——改造连带风险，确保了新范式的可行性与可持续性。

## 2 IPS 技术核心与物资管理的内在逻辑关联

IPS 系统与物资管理的关联，深植于其三级防御体系及其顶层安全设计之中，其逻辑框架如图 1 所示。

I 级防御（“I”，源头控温）与“去物资化”设计：该层级通过可调机构控制排烟温度，使其恒高于酸露点，从根本上杜绝了硫酸蒸汽凝结与 ABS 生成的必要条件<sup>[4]</sup>。从物资视角看，这是一种“去物资化”的设计哲学，旨在消除用于“治疗”问题的大量物资，如冲洗设备、化学药剂、因腐蚀而频繁更换的换热元件。

II 级防御（“P”，AI 预测）与“精准化”库存：该层级通过数字孪生与多参数融合算法，在积灰萌芽阶段即实现超早期预警与干预。这为物资管理引入了“精准化”和“可预见性”，其理念契合状态检修中基于设备健康预测进行维修资源优化的核心思想<sup>[5]</sup>。这使得备件采购与库存策略可以从静态安全库存模式转向动态按需预测模式。

III 级防御（“S”，外科手术式清灰）与“降损型”应急：对于已板结的积灰，该层级通过局部构建高温微正压环境，使 ABS 从内部分解、气化，实现了根除而非转移。这是一种“降损型”应急方案，替代了传统破坏性强的水压水冲洗，避免了物理损伤与水分带入，保护了核心资产，延长了物资生命周期。

“一键复位”安全设计与“风险隔离”原则：这是 IPS 技术区别于其他改造方案的核心，也是对物资管理影响最为深远的特性。它遵循“风险隔离”原则，通过独创旁路与“零切割、零焊接、零贴片”设计，确保在任何异常情况下可瞬间恢复空预器原始状态。此举彻底隔离了因改造系统故障而可能导致空预器本体严重受损的极端风险，避免了由此产生的、灾难性的、不可预估的物资紧急采购与巨额资产更换费用。它为物资管理范式的变革提供了最底层的安全基石，其重要性如同为供应链体系购买了“全额保险”。

## 3 范式变革的体现：安全性保障下的精益化管理

IPS 技术驱动范式变革，是在技术安全性得到绝对保障的前提下实现的。

### 3.1 “一键复位”对物资管理稳定性的决定性作用

在技术经济性评估中，任何不可逆的改造都意味着引入了新的、系统性的“未知风险”<sup>[6]</sup>。物资管理部门最担忧的，正是此类改造可能成为新的单点故障源，从而将空预器从一个“可管理的堵塞问题”推向“本体结构损坏”的灾难性局面。这种风险迫使管理体系必须为此类“黑天鹅事件”预留大量的应对能力和资金储备，这与精益化管理的目标完全相悖。

IPS 设置“一键复位”功能，一旦 IPS 发生风险，通过该功能，可以实现迅速恢复到空预器出厂的设置模式，它赋予了运营者在秒级时间内撤销改造、归零风险的绝对能力。这意味着：

物资管理不需要为改造的潜在失败风险预留储备资源，库存策略可以变得更为精益。

供应链的稳定性和可预测性两个方面大幅提高，不会发生改造引发意外停机而打乱采购计划的情况。

提高了全生命周期成本预测模型的置信度<sup>[7]</sup>，因为成本曲线不会发生本体损坏导致的“断崖式”跳涨。

### 3.2 新范式下的物资管理特征

在“一键复位”提供的安全基础上，物资管理呈现出从理念到实践的全面革新，其特征对比如下表所示：

表 1 传统范式与 IPS 新范式下的物资管理特征对比

管理维度	传统范式 (高风险、高消耗)	IPS 新范式 (本质安全、精益)
安全库存策略	高水位，为突发堵塞和改造连带风险双重备料	低水位，仅需考虑常规磨损，改造风险被隔离
成本结构	锯齿状、不可预测，含突发性巨额支出（如水洗、本体修复）	平滑且可预测，无意外大规模物资消耗
管理重心	应急响应，处理非计划停机与紧急采购	战略优化，基于数据驱动库存与采购决策
资产属性	传热元件为高价值周期性消耗品	传热元件为长寿命固定资产
信息依赖	依赖历史经验与固定周期	依赖实时状态数据与预测算法

## 4 结语

本研究论证了,IPS全负荷智能三重防堵技术驱动的物资管理范式变革,其成功与可持续性高度依赖于技术本身的内在安全性。该技术通过三重防御机制实现了物资的“去库存化”、“精准化”与“降损化”,而其独有的“一键复位”功能则为此变革提供了至关重要的稳定性保障。

该技术彻底隔离改造连带风险,消除了物资管理体系中最致命的不确定性,使得管理者能够可靠的推动库存优化与资金释放,实现真正的精益化管理。因此,“一键复位”不仅是设备安全的最高等级设计,使物资管理从高成本、高风险的被动响应范式,成功转向低成本、低风险精益主动范式,是该范式革命的关键前提和核心支柱。本研究表明,在未来评估工业技术改造时,必须将其对现有管理体系可能产生的连锁风险,以及该风险的可控性,纳入核心评判维度。

## 参考文献

- [1] 国家能源局. 新型电力系统发展蓝皮书[R]. 北京: 国家能源局, 2023.
- [2] 赵雪成, 何川, 马云龙,等. 硫酸氢铵对灰垢板结与疏松的影响研究[J]. 热力发电, 2023, 52(11): 159-64.
- [3] 夏杰, 史啸曦, 何骞,等. 1000MW火电企业设备状态检修管理系统. 国企管理, 2024(S1), 723-733
- [4] 高荣泽, 杨云, 袁斌彬,等. 回转式空气预热器积灰模型构建与积灰工况传热性能研究[J]. 西安交通大学学报, 2024, 58(10): 108-120.
- [5] Peng Jieyang, Andreas Kimmig, Wang Dongkun, et al. A systematic review of data-driven approaches to fault diagnosis and early warning[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2023, 34(8): 3277-3304.
- [6] 张少强, 孙晨阳, 余落杭,等. 燃煤发电机组灵活性改造的研究进展综述[J]. 南方能源建设, 2023, 10(02): 48-54.
- [7] 江淑芳, 王艳华. 企业资产全生命周期成本管理的数字化研究与实践应用[J]. 商业观察, 2025, 11(28): 68-71+75.