

一级除盐系统启停次数优化 最佳实践创新案例

（嘉兴新嘉爱斯热电有限公司）

一、背景与挑战

（一）行业背景

一级除盐系统作为热电厂锅炉补给水处理的核心工艺环节，其运行稳定性与可靠性直接影响机组的安全、经济及环保运行。该系统由阳离子交换器（阳床）与阴离子交换器（阴床）串联构成，通过离子交换反应深度去除水中溶解性盐类离子。当树脂交换容量达到饱和状态时，需采用酸、碱进行再生以恢复其性能，此“制水-失效-再生”的循环过程形成了系统的周期性启停。当前，在火电行业竞争加剧、环保要求日趋严格的背景下，降低水处理系统运行成本、提升系统运行可靠性已成为行业高质量发展的迫切需求。

（二）面临挑战

当前，频繁启停已成为制约化学水处理系统效能提升的关键问题。统计发现，2024年第四季度公司一级除盐系统月均再生次数高达39次，与公司要求的16次控制目标相差23次。频繁再生不仅导致酸碱消耗量增加、废水排放量上升、树脂使用寿命缩短及运行人员劳动强度加大，还存在因水质波动影响机组安全运行的潜在风险。

经现状调查分析，失效判断环节月均关联启停次数最多，占比达 92.3%，是影响系统启停频繁的核心环节。其中，阳床提前失效导致阴床进水 Na^+ 穿透是造成失效判断触发的根本症结，月均关联次数达 30 次，占总次数的 93.7%。

二、解决方案与创新点

针对“阳床制水周期缩短”这一核心症结，小组通过关联图分析识别出 8 个末端因素，经逐项确认，最终锁定三项要因：阳床树脂交换容量下降、再生酸浓度不足、阳床进水浊度高。围绕三项要因，制定并实施了以下创新解决方案：

（一）树脂体内复苏及补充新树脂

针对阳床树脂交换容量下降这一要因，小组提出了两种对策方案并进行对比评估。方案一为体外深度化学复苏，即将树脂从交换器中取出，运至专业厂家使用特定复苏液进行集中处理，该方案复苏效果较好，但需系统停运 7 至 10 天，外委费用高昂，且运输过程中存在树脂损耗风险。方案二为体内复苏+分层补充新树脂，即在交换器内直接对树脂进行化学复苏，同时排出上层老化破碎树脂、补充同型号新树脂。经试验验证，方案二可将树脂交换容量由 3.5 mmol/g 恢复至 4.6 mmol/g，且可在线实施、不影响正常生产。小组最终确定采用方案二。具体实施步骤分为以下三个步骤：

1. 基础物理净化：采用空气擦洗与反洗相结合的方式，利用压缩空气（0.1-0.2 MPa）对树脂层进行反复鼓泡擦洗，随后以大流量清水反洗，去除截留的悬浮物及破碎颗粒，直

至反洗出水清澈无泡沫。

2. 化学深度清创：采用 $\text{NaCl}+\text{HCl}$ 复合复苏液进行体内化学清洗，有效剥离树脂表面及孔道内积累的有机污染物和铁污染物。
3. 湿法装填补充新树脂：通过引流排气法，在罐底注入约 20cm 清水后，将树脂与水混合缓慢泵入，排出上层老化、破碎树脂，同步补充同型号新树脂，实现交换容量的阶梯式恢复。

技术创新点：首创“分层补新”与“体内化学复苏”协同工艺，在不停产条件下实现树脂性能的系统性恢复，避免了传统体外复苏需停运 7-10 天、外委费用高昂的弊端。

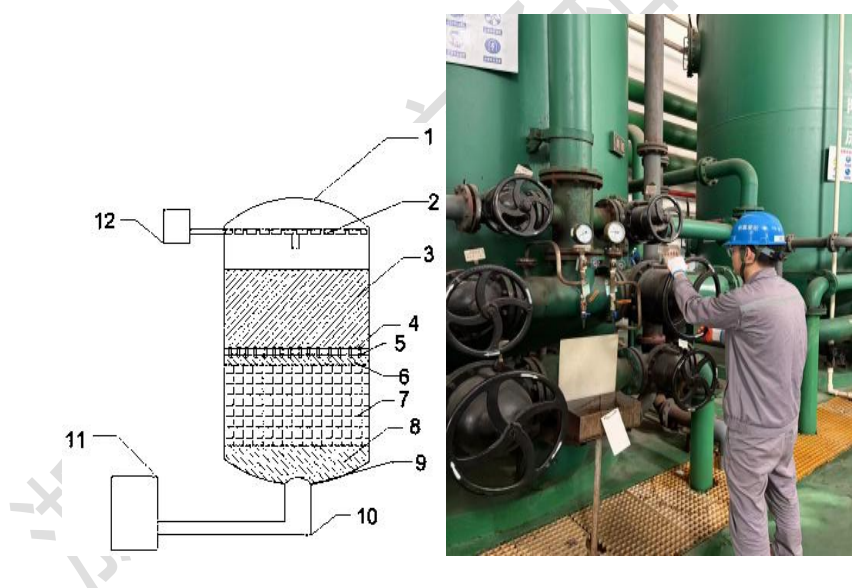


图 1 阳床清洗示意图图 2 现场清洗作业

（二）酸液自动配比与在线监测系统应用

针对再生酸浓度不足这一要因，小组提出了三种技术方案

进行比选。方案一为加强人工检测与调节，即每半小时由运行人员人工检测酸浓度一次，并根据检测结果手动调节进酸阀门，该方案无需新增设备投资，但人工操作强度大、调节滞后、浓度波动难以避免。方案二为基于流量计的比值调节，通过检测浓酸流量和稀释水流量并按设定比例进行配比，该方案响应速度快、成本适中、技术成熟，但属于开环控制，浓酸浓度波动时配比精度受限。方案三为电导率仪闭环反馈控制，通过在线检测再生液电导率并反馈至 PLC 进行自动调节，该方案抗干扰能力强、配比精度高，但初期投资相对较高。综合考虑技术成熟度、实施周期和成本因素，小组最终选用方案三。具体改造内容包括以下三个方面：

1. 选用基于流量计的比值调节方案，响应速度快、成本适中、技术成熟。
2. 配合 PLC 底层控制，进行可视化编程，方便操作人员实时监控和调节。
3. 实现再生酸浓度稳定控制在目标范围内，合格率达到 100%。

技术创新点：将传统的人工检测调节升级为自动化闭环控制，从根本上解决了酸浓度波动问题，与同行业优化实践方向一致。

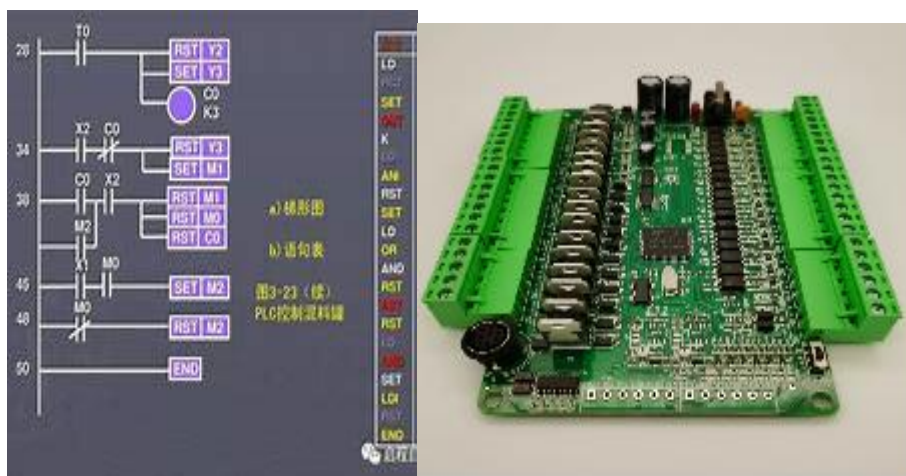


图 3 PLC 流程图图 4 PLC 线路板

(三) 无阀滤池结构改造

针对阳床进水浊度高这一要因，小组提出了三种对策方案。方案一为优化现有无阀滤池运行，即调整反洗频率、反洗强度并更换部分石英砂，该方案操作简单但效果有限，试验后出水浊度仍约 3.0 NTU，不能满足目标要求。方案二为改造无阀滤池结构，将单层石英砂滤料改造为双层滤料并优化配水系统。方案三为在无阀滤池后、阳床前加装高精度保安过滤器，该方案过滤精度高但滤芯更换频繁、运行成本高，且无法解决无阀滤池自身过滤能力不足的问题。经综合比较，小组确定采用方案二。具体改造内容包括两个方面。

1. 双层滤料改造：即清空原有单层石英砂滤料，重新铺设“无烟煤+石英砂”双层滤料结构——上层铺设 300 至 400 mm 大颗粒无烟煤，利用其高孔隙率特性截留水中的大颗粒悬

浮物和胶体杂质；下层铺设 500 至 600 mm 小颗粒石英砂，发挥精滤作用，确保出水水质。双层滤料的协同效应使滤池的纳污能力成倍提升，过滤周期可延长 30%以上。

2. 配水系统升级：配水系统升级，即将底部配水系统升级为 ABS 长柄滤头与底板组合结构，长柄滤头均匀布置于底板，反洗时水流分配更加均匀，有效避免了局部滤料膨胀不充分导致的清洗死角问题，反洗效果显著改善。

专利信息：专利名称“一种易于集群反洗控制的无阀滤池”，专利号 ZL 202233367042.8。



图 5 内部结构改造作业图 6 无阀滤池结构示意图

三、成果与效益

组成员统计了在 2025 年 8 月至 10 月 3 个月改进后的一级除盐系统启停次数对策实施后表计报废流程在 3 个月时间中，一级除盐系统启停次数降至 14 次，实施成果明显。

（一）质量安全成效

对策实施完成后，QC 小组成员对 2025 年 8 月至 10 月

共 3 个月改进后的一级除盐系统运行数据进行了系统统计。数据显示，一级除盐系统月均启停次数降至 14 次，低于课题目标值 15 次，相比活动前的 39 次减少了 25 次，降幅达 64.1%，课题目标顺利实现。

从症结解决程度来看，失效判断环节月均关联次数由实施前的 36 次降至 9 次，占比由 92.3%降至 64.2%，症结解决率达 85%，超出了课题设定 80%的预期目标。

从树脂性能恢复来看，实施后阳床树脂质量全交换容量由活动前的 3.28 至 3.50 mmol/g 恢复至 4.0 mmol/g 以上，周期制水量由约 15000 吨提升至 21000 吨以上，增幅达 40%，阳床提前失效问题得到根本性扭转，阴床进水 Na^+ 穿透现象基本消除，系统运行稳定性显著提升。

（二）经济效益

单次再生过程中，阳床再生消耗 31% 盐酸约 3.5 吨，阴床再生消耗 32% 液碱约 3.5 吨。以全年减少再生 420 次为基准，结合最新采购单价（盐酸 160 元/吨，液碱 940 元/吨）进行核算。每次再生需消耗除盐水约 120 吨用于冲洗及置换，同时产生等量废水需进行中和处置。除盐水制水成本为 4.7 元/吨，废水处置成本为 2.0 元/吨。按年节约再生 420 次计算，年节约用水及废水处置总量均为 50400 吨。

综上，直接经济效益（酸碱费用与水处理费用）合计年节约金额为：16.17 万元+33.77 万元=49.94 万元。项目实施过程中的一次性改造投入费用主要包括酸液自动配比与在

线监测系统、无阀滤池双层滤料改造、树脂体内复苏辅助设备等，一次性总投资约 18 万元。投资回收分析如下：

首年净效益：61.84 万元-18.00 万元=43.84 万元

次年起年净效益：稳定在 61.84 万元/年

静态投资回收期：18.00÷61.84≈0.29 年≈3.5 个月

上述数据表明，该项目在实施后不足四个月即可收回全部投资，具备显著的经济性优势。

（三）社会效益

节水减污效益——权威媒体报道佐证

1. 2026 年 2 月 3 日，《嘉兴日报》报道，浙江省科技信息研究院、浙江省工业和信息化研究院联合发布 2025 年度浙江省高新技术企业创新能力 500 强榜单，嘉兴新嘉爱斯热电有限公司首次上榜，位列第 153 位。报道指出：

“企业已斩获‘国家科技进“步二等奖”等 8 项省部级及以上奖项，累计拥有 118 项有效专利。”

“2025 年，该企业研发费用达 5585 万元，占营业收入的 4.67%。”

报道链接：<https://www.163.com/dy/article/KKQUCVTG05568WOA.html>

本次技术攻关形成的“体内复苏+补充新树脂”“无阀滤池双层滤料改造”“酸液自动配比+在线监测系统”三项核心技术，均已纳入企业技术体系并申请专利保护。该荣誉

从创新能力维度印证了企业技术成果的先进性，本次改造作为企业技术创新的重要组成部分，为高新技术企业创新能力提升作出贡献。

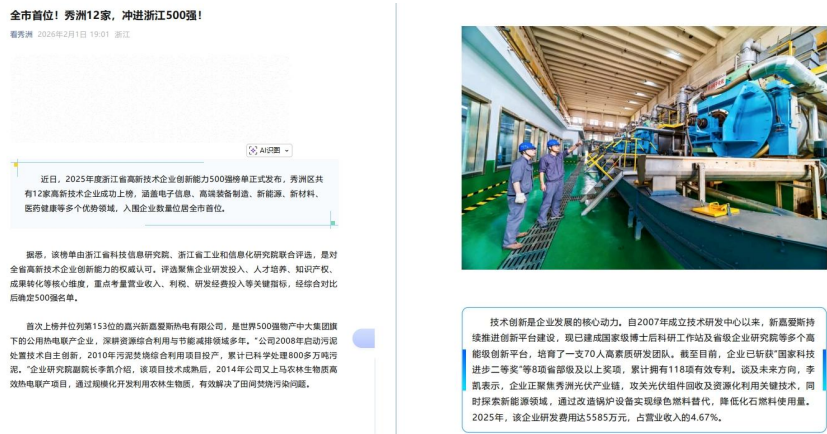


图 7、8 相关报道照片

2. 省级节水型企业复评通过（2025 年）

2025 年 5 月 6 日，浙江省经济和信息化厅、省水利厅等七部门联合公布 2024 年度浙江省节水型企业名单，嘉兴新嘉爱斯热电有限公司通过复评。文件要求“通过节水型企业的示范引领，指导和推动企业加强节水管理和技术进步”。

文件查询路径：浙江省经济和信息化厅官网→政策文件→《关于公布 2024 年度浙江省节水型企业名单的通知》

一级除盐系统作为化学水处理的核心环节，其用水效率直接决定企业整体节水水平。本次改造通过减少再生频次、降低废水排放，为持续保持省级节水型企业资质提供了关键技术支撑。

浙江省经济和信息化厅
浙江省住房和城乡建设厅
浙江省水利厅
浙江省节约用水办公室

浙经信绿色〔2024〕305号

浙江省经济和信息化厅 浙江省住房和城乡建设厅
建设厅 浙江省水利厅 浙江省节约用水
办公室关于公布 2024 年度浙江省
节水型企业名单的通知

各市经信局、住建局（建委），综合行政执法局、水利局、节
水办：

根据《关于开展节水型企业建设工作的通知》（浙经信资源

序号	企业名称	地区
156	嘉兴市华理纺织股份有限公司	嘉兴市
157	浙江上力生物科技股份有限公司	嘉兴市
158	浙江化工集团有限公司	嘉兴市
159	桐乡市中盛化纤有限公司	嘉兴市
160	浙江富丽华纺织有限公司	嘉兴市
161	明新地膜新材料股份有限公司	嘉兴市
162	平湖市德源能源有限公司	嘉兴市
163	浙江山鹰纸业股份有限公司	嘉兴市
164	嘉兴东方铝业集团有限公司	嘉兴市
165	嘉兴新嘉德热电有限公司	嘉兴市
166	嘉兴海盐纺织有限公司	嘉兴市
167	嘉兴南汇纺织有限公司	嘉兴市
168	嘉兴中德特种纸股份有限公司	嘉兴市
169	嘉兴南方水泥有限公司	嘉兴市
170	浙江亚细亚电子股份有限公司	嘉兴市
171	平湖石化有限责任公司	嘉兴市
172	浙江华鑫纤维股份有限公司	嘉兴市
173	三泰纺织（嘉兴）有限公司	嘉兴市
174	嘉兴基恩智能家居有限公司	嘉兴市
175	合盛铝业（嘉兴）有限公司	嘉兴市
176	浙江三星鞋业有限公司	嘉兴市
177	浙江普鲁爱药业股份有限公司	嘉兴市
178	嘉兴共和服装水洗股份有限公司	嘉兴市
179	浙江恒丰印染有限公司	嘉兴市
180	浙江茂源纺织有限公司	嘉兴市
181	浙江光华科技股份有限公司	嘉兴市
182	海宁永力电子陶瓷有限公司	嘉兴市

— 1 —

图 9、10 2024 年浙江省节水型企业名单通知

四、可复制性与展望

（一）技术可复制性

本案例形成的三项核心技术——“体内复苏+补充新树脂”“无阀滤池双层滤料改造”“酸液自动配比+在线监测系统”——均已纳入企业技术体系并申请专利保护，形成了完整的标准化操作流程和成果资料包（含 QC 报告、指导书、改造图纸、DCS 组态逻辑图、培训 PPT 等），具备良好的行业推广条件。

（二）推广策略

试点先行：执行“小范围试点→效果验证→全面铺开”原则，先选取一台设备及一套再生系统进行改造，跟踪 2 个完整制水周期验证效果后逐步推广。

培训赋能：安排专工进行为期 2 天理论+实操培训，确保相关人员掌握树脂交换原理、体内复苏实操、在线浓度计校验维护、再生参数优化调整等关键技能，培训后经考核合格方可上岗。

阶段，摒弃了经验主义的判断方式，而是基于客观运行数据进行分层分析。首先从运行全流程五个环节中找到“失效判断”这一关键环节，再从中锁定“阴床出口电导率超标”这一主要触发原因，最后深入挖掘出“阳床提前失效导致阴床进水 Na^+ 穿透”这一根本症结。层层递进、数据驱动的系统化诊断方法，确保了后续对策的精准性和有效性，避免了“头痛医头、脚痛医脚”的碎片化治理模式。

2. 多措并举协同治理，形成叠加效应：项目不是孤立地解决某一个技术问题，而是针对导致“阳床提前失效”的三项要因——树脂交换容量下降、再生酸浓度不足、进水浊度高——同步施策、协同治理。三项对策各有侧重又相互支撑：树脂体内复苏直接恢复交换容量，酸液自动配比保障再生质量，降低进水浊度减缓树脂二次污染速度。三项措施形成的叠加效应，使系统综合性能提升远大于单项改进的简单加和，实现了 $1+1+1>3$ 的治理效果。
3. 技术创新与标准化并重，确保成果传承：在攻克技术难题的过程中，项目团队始终注重将创新成果固化为标准化文件。完成树脂复苏方案后同步编制操作规程，酸液配比系统投运后同步更新运行手册，无阀滤池改造完成后同步修订检修规程，并申请专利保护。这种“技术创新—标准转化—推广应用”的闭环管理模式，确保了技术成果的可持续传承和跨部门、跨企业的可复制推广。
4. 注重投入产出比，体现精益管理导向：项目从立项之初就

注重经济性论证，在方案比选阶段对每个要因提出多种备选方案并进行技术经济比较，优先选择技术可靠、投资适中、回收期短的方案。最终以约 18 万元的总投资实现年节约近 62 万元的综合效益，投资回收期仅 3.5 个月，充分体现了精益管理的价值导向，也为成果在行业内的大范围推广奠定了坚实的经济性基础。

六、项目团队

单位名称：嘉兴新嘉爱斯热电有限公司				
成员情况				
姓名	性别	学历	职务	组内分工
李倩	女	硕士研究生	指导	技术指导
徐尧	男	大学本科	指导	技术指导
陶志宏	男	大学本科	组长	全面负责
胡斌	男	大学本科	副组长	课题实施
洪嘉丰	男	大学本科	组员	统计分析
金建荣	男	大学本科	组员	统计分析
曹允宁	男	大学本科	组员	统计分析
姚志伟	男	大学本科	组员	材料撰写
裘喆磊	男	大学本科	组员	材料撰写
吴国锋	男	大学本科	组员	统计分析