企业热水供应系统的余热回收与节能应用

夏　飞

新疆众和股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830013

【摘　要】：企业热水供应系统存在连续基础负荷和分时峰值负荷，冷却水、冷凝热、空压机排热和清洗排水直接排散会增加补热能耗。本文概述企业热水供应余热回收应用边界，识别余热来源、换热端差、蓄热调节、热泵提温、水质衰减和节能核算的作用关系，提出以中间换热隔离污染风险、以蓄热水箱转移峰谷错位、以分项计量扣除辅助电耗的思路。系统优先承担冷水预热和基荷供热，峰值由蓄热与补热设备协调完成，以端差、压差和月度能耗复核维持效果。

【关键词】：企业热水供应；余热回收；节能应用；热泵耦合；换热器

DOI:10.12417/2811-0528.26.21.023

引言

企业热水供应覆盖员工淋浴、餐厨清洗、工艺补水和生活配套用水，负荷峰值常与班次和清洗时段重合。传统系统把冷水直接升温，厂区冷却水、冷凝热和排水余热却在相邻区域排放，冷热负荷被设备边界割裂。余热回收改造面对温度品位分散、介质洁净度不同、峰谷错位和换热器衰减，系统设计要同步控制热源、换热、蓄热、补热和计量，并把卫生安全、稳定水温和节能收益放在同一周期内判断。

1 企业热水供应余热回收应用概述

企业热水供应的余热回收是一项热量匹配工程。生产冷却水、空压机排热、制冷冷凝热和清洗排水的温度、流量和洁净度不同，可利用程度随供水温度、回水方式和用水时段变化[1]。生活热水要求连续安全供给，工艺清洗热水还受班次和卫生边界约束，余热侧缺少中间换热和旁通调节时，可能污染清洁水环路或造成温度波动。系统应用应把余热源调查、负荷曲线、换热设备、蓄热容量、补热设备和分项计量连成供热链，使回收热量稳定进入预热段或热泵蒸发侧。

2 余热回收节能应用技术要点

2.1 系统余热来源温度品位分级识别

余热来源识别要记录温度、流量、介质洁净度和排放时段。高于热水补水目标温度的冷凝热、蒸汽凝结水和高温冷却水可进入板式换热器，用于冷水预热；二三十摄氏度至四十摄氏度的排水和低温冷却水只能抬升入口水温，达到淋浴或清洗供水温度时要由水源热泵提温[2]。含油、含纤维或硬度较高的废水采用中间水环路和可拆洗换热器隔离。热源调查还要排除短时开机、温度剧烈波动或与热水峰值完全错开的排热点。多余热源连接关系见图 1。

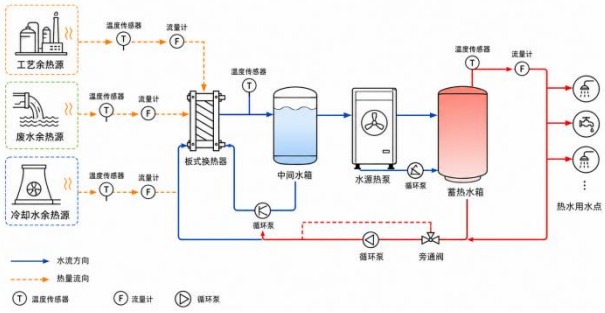


图 1 企业热水供应余热回收系统拓扑

图 1 中，工艺余热、废水余热和冷却水余热先经温度传感器和流量计识别，再通过板式换热器与清洁水环路隔离；水源热泵位于中间水箱和蓄热水箱之间，说明低温余热要提温后才能承担稳定热水供给。

2.2 企业热水负荷供回水参数动态匹配

热水负荷匹配应拆分用水峰值、基础循环损失和余热可用时段。员工淋浴和餐厨清洗在 8、20 附近形成高峰，工艺清洗可能与生产批次同步；冷却水和冷凝热多随主机运行出现，排水余热又滞后于用水过程[3]。0 至 24 的序位时段和 0 至 1.20 的相对负荷可表示参数响应，低谷余热可被蓄热水箱吸收，峰值缺口由蓄热和补热设备共同处理。曲线参数响应关系见图 2。

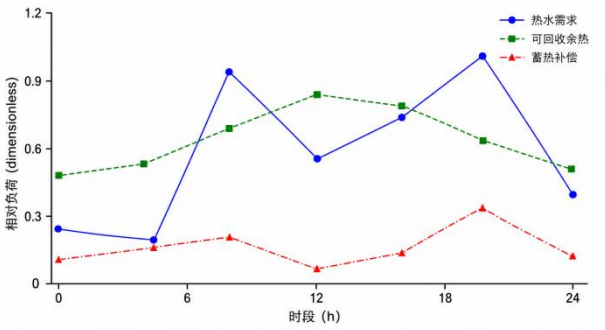


图 2 热水负荷与可回收余热匹配曲线

图 2 中，热水负荷在 8h 和 20h 附近形成两个峰值，可回收余热在 12h 至 16h 保持较高水平，蓄热补偿在 20h 峰值附近上升，说明蓄热水箱应把中午余热转移到晚间用水峰段。

2.3 高效换热器配置与端差控制方法

换热器配置决定余热能否以较小温差损失进入热水系统。板式换热器适合清洁冷却水、冷凝水或经预处理排水的中低温回收，管壳式换热器适合压力较高或污染风险较大的工艺侧[4]。端差过大说明换热面积不足、流量分配偏低或板片结垢；端差过小又会增加设备面积和泵耗。企业可把出入口温差、一次侧压降和二次侧流速作为控制量，端差连续偏离设计值时先核对过滤、旁通阀和循环泵频率，再安排拆洗。

2.4 蓄热水箱变流量运行协同调节

蓄热水箱把余热侧连续输出转化为用水侧可调供给。容积过小，晚间或交接班峰值仍由锅炉补热承担；容积过大，静置散热、消毒维护和占地成本增加。32 至 82℃入口温度、4 至 18h/d 可用时段、2.50 至 6m3/h 设计流量、4 至 8℃端差和 0.90 至 2.50kW 辅助电耗可组成热源配置参数。运行中采用高低温分层，热泵或换热器优先加热上部有效容积，回水从中下部进入，变流量泵依据水箱分层温度和末端回水温度调节。热源配置参数组合见表 1。

表 1 企业热水余热回收设计参数情景

余热类型	入口温度(℃)	可用时段(h/d)	设计流量(m^3/h)	控制端差(℃)	辅助电耗(kW)	应用位置
冷凝水余热	82	10	3	5	1.20	直接预热
制冷冷凝热	45	8	6	6	2.50	蓄热升温
空压机冷却水	38	12	5	7	2	热泵热源
清洗排水余热	32	4	4	8	1.80	中间换热
循环回水余热	50	18	2.50	4	0.90	回水再热
锅炉烟气余热	68	6	3.50	6	1.50	补水预热

表 1 中，高温冷凝水和制冷冷凝热的可用温度较高，适合承担直接预热或蓄热升温；低温排水和冷却水要热泵耦合，控制对象从单一换热转为流量、COP 和补热比例共同约束。

2.5 热泵耦合低温余热提升工艺条件

低温余热进入热水系统时，热泵耦合条件比单台设备名义 COP 更关键。蒸发侧水温过低或波动过快，压缩机压比增加，出水温度难以稳定；冷凝侧长期要求高供水温度，COP 下降，辅助电耗会抵消部分回收收益。低温余热先进入中间水箱，经板式换热器削弱水质风险，再由水源热泵提升到蓄热水箱要求温度。热泵承担低温余热基荷，峰段由蓄热水箱和原补热设备共同完成，可避免机组长期处于高温差低效率区间。

2.6 自动控制能耗计量精细管理方式

自动控制覆盖热源侧、换热侧、蓄热侧和用水侧。热源侧记录进出口温度和流量，判断余热启用条件；换热侧控制流量比和旁通阀开度，防止低温余热拉低补水温度；蓄热侧依据水箱上中下三点温度确定充放热状态；用水侧以供回水温差和末端温度约束循环泵频率。能耗计量分开记录热泵电耗、循环泵电耗、补热设备能耗和回收水侧热量，月度报表按补热比例和端差漂移区分热源不足、换热衰减和控制失配。

2.7 水质结垢与换热衰减控制措施

水质结垢会把初期节能效果逐步转化为运行衰减。补水硬度较高、排水侧含油含悬浮物或换热器局部流速偏低时，板片表面热阻增加，同一余热温度下出水温升下降，循环泵压差升高。0 至 12 个月的序位轴可比较未清洗和定期清洗对相对传热系数的影响；未清洗曲线由 1 降至 0.70，定期清洗曲线保持在 0.90 附近。排水换热前设置格栅、沉砂和过滤，补水侧配置软化或阻垢处理，端差连续 7d 高于设计值 2℃即可安排拆洗。传热衰减控制关系见图 3。

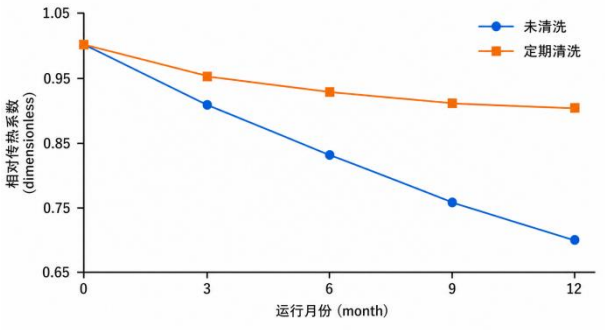


图 3 换热器结垢衰减控制曲线

图 3 中，未清洗曲线由 1 降至 0.70，定期清洗曲线仍保持在 0.90 附近，说明清洗周期直接影响换热器长期有效利用系数。

2.8 节能量核算运行维护优化方法

节能量核算应扣除热泵、循环泵和控制系统电耗，并与被替代的锅炉或电加热基准比较。直接换热方案按回收热量折算燃气、蒸汽或电能减量；热泵耦合方案纳入 COP、辅助泵耗和补热设备启停时长。运行维护围绕三个阈值展开：热源温度连续低于启用阈值 30min 时切回补热，换热端差连续 7d 高于设计值 2℃时安排清洗，蓄热水箱峰前上部温度低于设定值 5℃时提前充热。炼化和化工余热回收技术经济评价把设备效率、运行边界和改造成本共同纳入，热水系统按月复核节能量和补热比例。

3 结语

企业热水供应系统的余热回收应先确定热源品位和负荷时序，再配置隔离换热、蓄热水箱和热泵提温。中高温余热适合直接预热补水，低温余热适合进入热泵蒸发侧，峰段由蓄热和原补热设备共同承担。运行阶段以端差、压差、COP、泵耗和补热比例复核节能量，水质处理和定期清洗用于抑制传热衰减。只有把回收热量、辅助电耗和维护状态放在同一计量周期内核算，余热回收才能稳定服务企业热水节能。

参考文献：

[1] 王诗文.乙二醇装置余热回收与节能改造技术中的经济价值[J].中国化工贸易,2026,18(19):62-64.

[2] 武庆玲,庞勇汉.低能耗硫酸生产工艺优化及余热回收利用研究[J].当代化工研究,2026,(13):169-171.

[3] 马皓.化工生产过程中余热回收利用技术的应用研究[J].化肥设计,2026,64(4):33-36.

[4] 黄海林.95+加热炉余热回收技术在炼化行业中的应用[J].广东化工,2026,53(14):94-97+116.