

# 洁净厂房余热回收系统设计与能效评估

苏晓伟

中国电子系统工程第四建设有限公司 河北 石家庄 050051

**摘要：**洁净厂房余热来源广泛，温度区间多样且释放稳定，回收价值显著，涵盖经济、环境等多方面。其回收系统设计核心环节包括余热源精准识别分类、回收设备合理选型匹配及系统流程科学设计优化。能效评估需从能量回收、运行适配及综合效益等维度展开。未来优化方向为强化系统与工艺协同设计，提升智能化调控水平，完善能效评估动态机制，通过“评估-优化-再评估”闭环管理，不断提升系统能效，实现能源高效利用。

**关键词：**洁净厂房；余热回收系统；系统设计；设备选型；能效评估；节能降耗

引言：在工业领域，洁净厂房因环境控制与工艺生产需求，产生大量余热，其具有温度区间丰富、释放稳定等特性，回收价值显著，涵盖经济、环境等多方面效益。然而，要实现余热的高效回收与利用，需科学设计回收系统并精准评估其能效。这涉及余热源精准识别分类、回收设备合理选型匹配、系统流程优化设计等关键环节，以及能量回收效率、运行适配性、综合效益等多维度评估。同时，为适应系统复杂多变的运行状况，还需探索优化方向，以提升系统性能，推动洁净厂房能源的高效利用与可持续发展。

## 1 洁净厂房余热的特性与回收价值

洁净厂房的余热来源与行业特性及工艺流程紧密相关，主要集中于两类典型场景。（1）在环境控制系统方面，洁净空调作为维持厂房内洁净度和温湿度环境的关键设备，其新风处理机组在对引入的新风进行温度、湿度调节时，会通过冷热交换产生多余热量；回风换热设备在对室内回风进行热回收处理过程中，同样会有热量剩余。这些热量若不加以回收利用，不仅会造成能源浪费，还可能影响空调系统的运行效率。（2）工艺生产设备也是余热的重要来源。生产线上的加热装置，如各类烘箱、熔炉等，在加热物料过程中会向周围环境散发热量；冷却系统在对设备或物料降温时，会排出携带热量的冷却介质；电机及真空泵等动力设备在运转过程中，由于机械摩擦、电磁转换等原因，会以散热、排气等形式释放出可观的热量。（3）这些余热具有显著特性。温度区间丰富多样，涵盖低温、中温及高温范围，可满足不同用热需求；释放过程持续稳定，受生产工艺连续性的影响，余热产生量的波动较小，为回收利用提供了稳定可靠的条件。（4）从回收价值来看，洁净厂房余热回收具有多重积极意义。经济上，回收的余热可替代部分外部能源，用于厂房供暖、工艺预热、热水制备等，直

接减少能源采购支出，降低能源消耗成本。环境方面，减少余热直接排放可降低空调系统的散热负荷，有效缓解厂房周边热环境压力；同时，能源消耗的降低意味着碳排放的减少，契合当下严格的环保要求。此外，余热回收系统的应用能提升洁净厂房能源利用的综合效率，助力企业实现节能目标，推动可持续发展战略的实施，增强企业在市场中的竞争力<sup>[1]</sup>。

## 2 洁净厂房余热回收系统设计核心环节

### 2.1 余热源识别与分类

余热源的精准识别与合理分类是构建高效余热回收系统的基石。需紧密结合洁净厂房的工艺流程与设备配置情况，全面细致梳理余热的产生位置、形式及特性。（1）识别过程：深入现场调研并结合工艺分析，确定各余热源的热量释放方式。常见方式有：空气散热，如洁净空调系统运行中，空气经冷热交换后携带热量散失，一般每平方米空调面积每小时散失热量约50-100W；液体散热，像工艺冷却水在循环过程中向环境释放热量，循环流量为100m<sup>3</sup>/h的工艺冷却水系统，每小时可能释放2000-5000kJ热量；废气散热，生产过程中产生的废气蕴含热量，如某电子厂生产废气温度可达80-120℃，携带大量热能。（2）余热分类：依据温度水平科学分类。高温余热温度通常高于300℃，可直接换热利用；中温余热温度在100-300℃之间，需借助换热设备提升品质后利用；低温余热温度低于100℃，可用于满足低品位热量需求场景。同时评估热量稳定性与可及性，优先将热量持续稳定、回收路径便捷的余热源作为核心回收对象<sup>[2]</sup>。

### 2.2 回收设备选型与匹配

回收设备选型要兼顾余热特性、利用需求及洁净厂房特殊要求，确保设备运行效率与系统适配性。（1）设备选型：针对不同形式余热选对应设备。空气类余热常用板式换热器（换热效率可达80%-90%）、翅片式换热

器；液体类余热可采用壳管式换热器（换热面积可达10-1000m<sup>2</sup>）或套管式换热器；含湿量较高的废气余热需配备除湿装置，如转轮除湿机，可将废气相对湿度从80%降至20%以下。（2）设备匹配：重点关注容量与洁净度匹配。容量匹配方面，根据余热产生量与目标利用量确

定设备参数，如换热面积为50m<sup>2</sup>的换热器，处理流量约50-100m<sup>3</sup>/h，避免设备容量过大导致投资浪费或容量不足影响回收效率。洁净度匹配方面，与工艺区域直接关联的设备需具备抗污染、易清洁特性，如采用304不锈钢材质，表面粗糙度Ra ≤ 0.8μm。

表1 余热系统“收集-传输-利用-调控”全链条流程设计与优化表

设计/优化方面	具体内容
流程设计-余热收集	设计专用收集通道：针对设备散热，采用封闭罩或导流风道将热量集中引入回收设备；针对空调系统余热，通过回风管道改造，将多余热量导入换热装置
流程设计-热量传输	合理规划管路布局，缩短传输距离，管路长度控制在50-200m以内；对传输管路进行保温处理，如采用50mm厚的岩棉保温层，降低热量损耗30%-50%
流程优化-余热利用	设计余热利用多路径方案，根据厂房不同时段热量需求切换利用方向：冬季用于供暖，可满足5000-10000m <sup>2</sup> 厂房供暖需求；夏季用于预热处理，可提升工艺水温10-20℃
流程优化-安全保护	设置安全保护回路，在换热器进出口安装温度、压力监测装置，当温度超出150℃或压力超过1.6MPa时，自动触发旁通或停机保护
流程优化-系统兼容	考虑与洁净厂房现有系统兼容性，确保接入后不干扰原有空调、工艺设备正常运行

### 3 洁净厂房余热回收系统能效评估维度与方法

#### 3.1 能量回收效率评估

能量回收效率作为评估系统核心性能的关键指标，精准反映了系统对余热资源的利用程度，其本质是衡量系统实际回收的有效热量与理论可回收热量之间的比值。在开展评估工作时，要紧紧密结合系统运行数据，深入剖析影响效率的关键因素。换热效率是重要一环，需仔细检查换热器的热交换效果，查看是否存在结垢、堵塞等情况，这些因素会显著降低换热性能，进而影响能量回收效率。传输效率也不容忽视，通过精确监测管路进出口温度差，能够清晰评估热量在传输过程中的损耗状况，为优化管路设计提供依据。此外，匹配效率同样关键，要深入分析余热产生量与利用需求的匹配程度，判断是否存在余热浪费或利用不足的问题。通过多维度、全方位的分析，准确明确系统能量回收效率的现状，精准识别效率提升的潜在空间。

#### 3.2 系统运行适配性评估

系统运行适配性评估着重考量余热回收系统与洁净厂房生产、环境控制之间的协同程度，旨在确保系统运行不会对厂房正常运营造成负面影响。在工艺兼容性方面，需细致检查系统运行是否会干扰工艺设备的温度、湿度控制。例如，余热回收过程中若热量传递不当，可能引发工艺参数波动，影响产品质量，因此要保证系统与工艺设备运行互不干扰。环境适配性上，要全面评估系统运行是否会产生噪声、振动或污染物。洁净厂房对环境要求严苛，系统运行必须符合其环境标准，避免对洁净度、人员健康等造成危害。负荷适应性也不容忽

视，当生产负荷或余热产生量发生变化时，系统需具备快速调整运行状态的能力，以维持稳定的余热回收效果，防止因负荷波动导致系统频繁启停，保障系统长期稳定运行<sup>[3]</sup>。

#### 3.3 综合效益评估

综合效益评估作为全面且深入衡量余热回收系统应用价值的核心环节，需从经济与环保两个关键维度精准且系统地推进。（1）在经济效益评估层面，要全方位考量系统的全生命周期成本。初始投资是系统启动的基石，包含设备采购、安装调试等一系列费用，其合理性直接影响项目的启动可行性。运行成本则关乎系统日常运行的稳定性与经济性，涵盖能耗、维护保养等费用，持续且稳定的运行成本管控是保障系统长期效益的关键。节能收益体现为因能源替代而节省的费用，是经济效益评估的重要增量部分。通过细致入微地对比成本与收益，能精准判断系统的经济可行性，明确投资回报周期，为企业决策提供坚实有力的支撑，助力企业在市场竞争中做出科学合理的投资选择。（2）环保效益评估聚焦于系统运行对环境产生的积极影响。一方面，量化减少的能源消耗所对应的碳排放量，以直观的数据展现系统在节能减排方面的显著成效；另一方面，评估降低的余热排放对周边环境热污染的缓解程度，凸显系统对改善生态环境的突出贡献，推动企业积极践行绿色、可持续发展理念，实现经济效益与环境效益的双赢。

### 4 洁净厂房余热回收系统设计与评估的优化方向

#### 4.1 强化系统与工艺的协同设计

优化余热回收系统，强化其与工艺的协同设计至关

重要。例如，某电子洁净厂房在规划初期，就将余热回收纳入整体能源规划。根据生产工艺布局，提前预留出换热器、储热装置等余热回收设备的安装空间，并合理规划好连接各余热源与回收设备的管路接口，为后续系统安装和高效运行创造了良好条件。随着技术发展，该厂房的贴片设备更新换代。由于新设备加热方式改变，余热产生位置和温度特性发生变化。项目团队迅速启动动态调整机制，重新对余热源进行识别，发现新设备排出的高温废气余热更为集中。据此优化回收方案，更换了更适配的换热器，提高了余热回收效率。考虑到生产工艺存在间歇性，设计了一套智能柔性余热回收流程。当工艺停机时，系统自动切换至低能耗运行模式，将收集的余热储存起来，待生产恢复时再合理利用，有效避免了能源浪费，实现了能源高效利用与系统稳定运行。

#### 4.2 提升系统智能化调控水平

智能化调控是提升余热回收系统能效与运行稳定性的核心举措。(1)构建智能化余热回收系统，需引入高精度传感器、高性能控制器与集成化监控平台。传感器分布于系统各关键节点，实时采集余热源的温度、流量等参数，以及利用端的热量需求数据，为系统调控提供精准依据。(2)控制器接收数据后，运用先进算法进行分析处理，动态调整换热设备的运行参数，如换热功率、换热时间等，同时精准控制管路阀门开度，确保热量供需实现精准匹配，减少能量浪费。(3)系统设置故障预警功能，对设备运行异常、参数超标等情况进行实时监测，一旦发现问题及时报警，并自动触发应急处理流程，降低故障对系统运行的影响。此外，通过长期的数据统计与分析，生成详细的系统能效报告，为系统的持续优化调整提供有力的数据支撑<sup>[4]</sup>。

#### 4.3 完善能效评估的动态机制

传统的“一次性评估”难以适应余热回收系统复杂多变的运行状况，需向“动态跟踪评估”转变，构建常

态化的能效评估机制。(1)定期采集系统运行数据，涵盖温度、流量、压力等关键参数，运用专业分析方法，对比不同时期的能效指标，精准识别能效变化趋势及其背后的影响因素。考虑到季节变化会改变余热产生量 and 需求，工艺调整会影响余热源特性，需据此动态调整评估指标的基准值，保证评估结果科学合理。(2)将能效评估结果与系统优化措施紧密联动，针对评估中暴露的问题，如换热效率降低、余热利用不充分等，迅速制定切实可行的整改方案。实施整改后，再次开展评估，形成“评估-优化-再评估”的闭环管理模式，通过持续迭代，不断提升系统能效水平，实现能源的高效利用。

#### 结束语

洁净厂房余热回收系统在设计及评估方面，需全面考量余热特性、系统核心环节及能效评估维度。强化系统与工艺协同设计，可确保系统与生产无缝对接；提升智能化调控水平，能实现系统高效稳定运行；完善能效评估动态机制，有助于精准把握系统能效变化，及时优化调整。通过这些优化方向，不仅可提升余热回收系统的性能，实现能源的高效利用，降低能源消耗成本，减少碳排放，还能增强企业在市场中的竞争力。未来，随着技术的不断进步，洁净厂房余热回收系统将朝着更加智能、高效、绿色的方向发展，为企业可持续发展和环保事业做出更大贡献。

#### 参考文献

- [1]施凯.生物医药洁净厂房二次回风空调系统三阀联控探析[J].化工与医药工程,2022,43(03):13-19.
- [2]杨志景.企业洁净厂房空调系统设计运行中常见问题及改进措施[J].中国高新科技,2020,(11):125-126.
- [3]黄旭,于东晓,郑孝刚.医药厂房洁净空调兼事故风机控制原理分析[J].智能建筑电气技术,2024,18(06):126-131.
- [4]徐杨.大型电子洁净厂房防火设计研究[J].消防界(电子版),2024,10(17):83-85.