

电子厂房洁净空调系统能耗分析

欧阳宇航

重庆明言通科技有限公司 重庆 400000

【摘要】：电子厂房对生产环境的洁净度、温湿度等参数要求严苛，洁净空调系统作为维持环境指标的核心设备，其能耗占厂房总能耗的40%-60%，是厂房节能降耗的关键环节。本文结合电子厂房洁净空调系统的运行特点，分析系统能耗的主要构成及影响因素，通过实际案例数据对比，提出针对性的节能优化对策，为电子厂房洁净空调系统的能耗管控与高效运行提供参考。

【关键词】：电子厂房；洁净空调系统；能耗构成；影响因素；节能对策

DOI:10.12417/2811-0528.26.05.040

1 引言

随着电子信息产业的快速发展，芯片、半导体、精密电子元件等产品的生产对环境洁净度要求日益提高，洁净空调系统需持续维持厂房内高洁净等级（常为百级至万级）、恒定温湿度及稳定的气压差。此类系统具有风量大、压力高、换热负荷复杂、连续运行等特点，导致其能耗远高于普通建筑空调系统。当前，我国大力推进工业领域节能降碳，电子厂房作为高耗能产业载体，开展洁净空调系统能耗分析与优化研究，对降低企业运营成本、提升行业能源利用效率具有重要现实意义。

2 电子厂房洁净空调系统能耗构成及特点

2.1 能耗核心构成

电子厂房洁净空调系统的能耗主要由空气处理设备能耗、输送设备能耗、冷热源设备能耗及辅助设备能耗四部分组成，各部分能耗占比随厂房洁净等级、生产工艺差异略有波动，但整体呈现固定规律。具体能耗构成及占比情况如下表所示。

表1 具体能耗构成及占比情况

能耗构成部分	主要涉及设备	能耗占比范围(%)	核心能耗原因
输送设备能耗	送风机、回风机、排风机	35-45	高洁净等级需大换气次数，风机需克服高效过滤器、风管阻力，长期高负荷运行
冷热源设备能耗	冷水机组、锅炉、热泵机组	25-35	需维持恒定温湿度，夏季制冷、冬季制热负荷稳定，部分工艺需低温冷水
空气处理设备能耗	空气过滤器、加湿	15-20	高效过滤器阻力损耗，加湿（多为蒸汽加湿）、

	器、加热器		加热过程能量消耗
辅助设备能耗	水泵、冷却塔、自控系统	5-10	冷热源输送、冷却水降温及系统运行控制所需能量

2.2 能耗运行特点

一是连续性强，电子厂房生产多为24小时不间断作业，洁净空调系统需同步连续运行，全年负荷波动较小，仅随季节变化存在小幅调整；二是风量大、阻力高，为满足洁净度要求，电子厂房洁净区换气次数通常为10-60次/h（普通建筑仅为2-3次/h），且高效过滤器（HEPA）的阻力可达200-300Pa，导致风机能耗显著偏高；三是负荷复杂度高，生产过程中设备散热、人员散热、新风负荷及工艺特殊需求（如局部净化、惰性气体保护）均会增加空调系统的能耗压力；四是节能潜力大，当前部分电子厂房洁净空调系统存在设计冗余、运行参数不合理等问题，通过科学优化可实现15%-30%的能耗降低。

3 洁净空调系统能耗影响因素分析

3.1 洁净等级与车间布局

洁净等级是影响能耗的核心因素，洁净等级越高，所需换气次数越多，风机能耗及冷热源负荷随之增加。例如，百级洁净区换气次数为50-60次/h，万级为15-25次/h，百级洁净区的空调系统能耗约为万级的2-3倍。此外，车间布局不合理也会加剧能耗，若洁净区与非洁净区未进行有效隔离、气流组织混乱，会导致洁净空气泄漏，增加系统负荷。某电子芯片厂房案例显示，因车间布局不合理导致洁净区气压差不稳定，空调系统额外增加12%的能耗。

3.2 运行参数设定

温湿度及气压差参数设定直接影响能耗。若参数设定过于严格，超出生产工艺实际需求，会导致冷热源设备过度运行。例如，某电子元件生产工艺要求温度 $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度

50±5%，若误设定为22±1℃、50±2%，空调系统能耗会增加8%-10%。同时，新风量设定不合理也是能耗浪费的重要原因，新风量不足会影响室内空气质量，过量则会增加冷热源处理负荷，当前部分厂房存在新风量长期维持在设计最大值的问题，造成能源浪费。

3.3 设备选型与运行效率

设备选型是否匹配直接决定能耗水平。若风机、冷水机组等核心设备选型过大，会导致设备长期处于低负荷运行状态，运行效率显著下降（如冷水机组负荷率低于50%时，COP值会降低30%以上）；若选型过小，则无法满足环境参数要求，设备长期满负荷运行易损坏。此外，设备维护保养不到位也会加剧能耗，如高效过滤器未及时更换会导致阻力增加，风机能耗上升；冷水机组冷凝器结垢会降低换热效率，增加制冷能耗。某调研数据显示，未定期维护的洁净空调系统较定期维护的系统能耗高15%-20%。

3.4 围护结构与外界环境

电子厂房围护结构的气密性、保温隔热性能对能耗影响较大。若围护结构密封不严，会导致洁净空气泄漏，同时外界热湿空气渗入，增加系统处理负荷；保温隔热性能差则会加剧室内外热量传递，夏季增加制冷负荷，冬季增加制热负荷。此外，外界环境温湿度变化也会影响能耗，夏季高温高湿天气会显著增加空调制冷、除湿负荷，冬季低温天气则会增加制热负荷。

4 降低洁净空调系统能耗的对策

4.1 优化设计方案，匹配实际需求

一是科学划分洁净等级区域，根据生产工艺需求，运行时长差异，区域性质，管控经济性等，将不同洁净等级的车间进行分区布局，避免整体采用高洁净等级设计，单一系统，减少高能耗区域范围；二是合理确定换气次数与新风量，结合工艺参数核算最小换气次数，采用新风量按需控制模式，通过压差传感器实时调节新风量；三是优化气流组织，采用上送下回或上送侧下回的气流模式，减少洁净空气短路，提高空气利用效率，降低泄漏率。某电子厂房通过优化洁净区域布局与气流组织，空调系统能耗降低18%。

参考文献：

- [1] 赵阳,陈世明,曲振佳,等.新型电子工业洁净厂房用空调系统 MAU+FFU+DCCS[J].洁净与空调技术,2024,(02):46-49.
- [2] 谢雯雯.某电子洁净厂房改造工程净化空调系统设计[J].节能,2024,43(04):17-19.
- [3] 安志聪.电子工业洁净厂房净化空调自控系统设计[J].建筑电气,2021,40(09):47-53.

4.2 选用高效节能设备，提升运行效率

核心设备选用高效节能型号，风机选用变频离心风机或轴流风机，其效率较普通风机高10%-15%；冷水机组选用螺杆式或离心式高效机组，COP值不低于6.0；空气过滤器选用低阻力、高效率的HEPA过滤器，减少风机阻力损耗。同时，配置变频控制系统，通过变频器实时调节风机、水泵的转速，根据室内温湿度、气压差及负荷变化动态调整运行参数，避免设备长期满负荷运行。某案例中，风机与水泵采用变频控制后，输送设备能耗降低25%-30%。

4.3 加强运行维护管理，降低能耗损耗

建立完善的运行维护制度，定期更换空气过滤器，减少阻力增加导致的能耗上升；定期清洗冷水机组冷凝器、蒸发器及冷却塔填料，提升换热效率；定期检查围护结构的密封性，修补门窗、风管接口等部位的泄漏点，降低洁净空气泄漏率；建立能耗监测系统，实时监测各设备能耗数据，分析能耗异常原因，及时调整运行策略。

4.4 利用可再生能源与余热回收，降低传统能源消耗

结合厂房实际条件利用可再生能源，在厂房屋顶安装太阳能光伏板，为空调系统辅助设备提供电力；采用地源热泵或空气源热泵替代传统锅炉，降低制热能耗。同时，开展余热回收利用，回收生产设备散热、空调系统排风余热，通过热交换器预热新风或加热冷水，减少冷热源设备的能耗。某电子厂房采用空气源热泵与排风余热回收系统后，冷热源设备能耗降低22%。

5 结论

电子厂房洁净空调系统能耗占比高、影响因素复杂，其能耗水平主要取决于洁净等级设定、设备选型、运行参数及维护管理等方面。通过科学优化设计方案、选用高效节能设备、加强运行维护管理及利用可再生能源与余热回收等对策，可有效降低系统能耗，实现15%-30%的节能效果。未来，随着智能控制技术的发展，可进一步引入AI智能控制系统，实现洁净空调系统的全自动化、精准化运行，进一步提升能源利用效率，为电子厂房的绿色低碳发展提供有力支撑。