

医药产业园建筑电气节能降耗技术应用探讨

叶 鉴

中国医药集团联合工程有限公司广州公司 广东 广州 510000

【摘要】：医药产业园兼具工业生产与洁净建筑双重属性，电气系统作为园区核心动力支撑，其能耗占园区总能耗比重较高，且需兼顾生产连续性、供电可靠性与洁净环境管控要求。本文结合医药产业园电气系统运行特点，分析当前园区电气能耗管控存在的痛点，从供配电系统优化、照明系统节能、动力设备变频调控、电能质量治理、智能能源管理及可再生能源利用六大维度，探讨适配医药行业的电气节能降耗技术，同时结合工程实践验证节能效果，提出针对性实施建议，助力医药产业园实现绿色低碳运营与生产成本管控，契合双碳战略与医药行业高质量发展要求。

【关键词】：医药产业园；建筑电气；节能降耗；供配电优化；智能管控

DOI:10.12417/2811-0536.26.07.012

1 引言

医药产业作为国家战略性新兴产业，产业园建设持续推进，园区规模与产能不断扩大。医药产业园内部涵盖洁净生产车间、研发实验室、仓储库房、办公配套及动力机房等多种功能区域，不同区域电气负荷特性差异显著，其中洁净车间的净化空调、工艺设备、照明系统及实验室精密仪器，均为长期连续运行负荷，电气能耗居高不下，成为园区运营成本的重要组成部分。与普通工业建筑、民用建筑不同，医药产业园电气系统需满足严格的供电可靠性要求，核心生产负荷、应急负荷属于一级或特级负荷，严禁断电中断运行；同时，洁净区域对温湿度、照度、压差有严苛标准，电气设备运行不能干扰生产工艺与产品质量。传统医药产业园电气设计多侧重安全性与功能性，节能设计存在短板，普遍存在变压器空载损耗大、照明能耗偏高、动力设备运行效率低、无功损耗大、能耗管控粗放等问题，既增加能源消耗，也提升了企业运营成本。在双碳战略推进与医药行业降本增效的双重背景下，优化建筑电气系统设计、应用高效节能技术，成为医药产业园绿色发展的核心路径。

2 医药产业园电气能耗特点与管控痛点

(1) 电气能耗核心特点：园区负荷分为生产工艺负荷、净化空调负荷、照明负荷、动力负荷及应急负荷，核心生产区域需 24 小时不间断供电，空调系统、通风系统长期满负荷运行，能耗占比超园区总电气能耗的 50%。洁净区域能耗占比高，GMP 标准洁净车间对照明照度、空气净化、温湿度控制要求极高，照明灯具长时间开启，净化空调风机、制冷机组持续运行，单位面积能耗远高于普通办公与工业区域。精密设备多，电能质量要求高，实验室色谱仪、质谱仪及生产线上的自动化设备，对电压稳定、谐波干扰敏感，需

优质电能供应，传统配电系统易产生谐波与无功损耗，间接增加能耗。

(2) 电气能耗管控痛点：供配电系统设计保守，变压器选型偏大，低负荷运行时段空载损耗严重，功率因数偏低，无功损耗占比高；照明系统未结合生产班次与自然光优化，灯具选型低效，缺乏智能控制，存在长明灯、无效照明现象；净化空调、水泵、风机等动力设备多采用工频定速运行，无法根据生产负荷与环境需求动态调节，运行效率低；缺乏精细化能耗监测平台，无法精准定位高能耗环节，节能改造与管控缺乏数据支撑；节能技术与医药生产工艺适配性不足，部分节能措施易影响供电稳定性与生产环境，难以落地实施。

3 医药产业园建筑电气节能降耗核心技术应用

(1) 供配电系统优化节能：供配电系统是电气节能的核心环节，优化重点在于减少线路损耗、降低变压器损耗、提升功率因数，从源头减少电能浪费。摒弃传统高损耗硅钢片变压器，优先选用非晶合金节能变压器或 S13 及以上系列高效节能变压器，此类变压器空载损耗较传统产品降低 60% 以上，负载损耗降低 20% 左右。结合园区负荷波动特性，采用多台小容量变压器并列运行模式，根据生产时段负荷变化，灵活投切变压器，避免大容量变压器低负荷空载运行，大幅降低空载损耗。合理规划配电房位置，尽量靠近负荷中心，缩短供电半径，减少线路压降与损耗；选用电阻率低、截面合理的铜芯电缆，避免线缆截面过小导致过载损耗，同时杜绝截面过大造成的材料浪费。线路敷设采用分层分区、树干与放射混合拓扑，重要生产负荷采用专线供电，减少线路交叉损耗。医药产业园变频设备、整流设备较多，易产生谐波与无功功率，降低电网效率。采用 SVG 静止无功发生器替代传

统电容补偿柜，响应速度快，可实时跟踪负荷变化，动态补偿无功功率，将功率因数稳定在 0.95 以上，无功损耗降低 40%-50%；同时配置 APF 有源滤波装置，就地治理谐波，减少谐波带来的附加损耗，保护精密生产设备，提升电能利用效率。

(2) 照明系统节能技术：医药产业园照明需满足 GMP 洁净车间照度标准，同时兼顾节能需求，从灯具选型、控制方式、自然光利用三方面优化。全面淘汰传统白炽灯、电感式荧光灯，全部采用 LED 节能灯具，优先选用高光效、低眩光、长寿命的洁净室专用 LED 面板灯，其光效可达 100lm/W 以上，能耗仅为传统荧光灯的 40%，使用寿命延长 3-5 倍，适配洁净车间无尘、易清洁的要求。根据园区功能分区与生产班次，设置差异化控制模式。洁净生产车间采用分组控制与人体感应控制相结合的方式，结合生产排班定时开关，非工作时段自动调暗或关闭非必要照明；办公区、走廊、楼梯间采用声光控、红外感应控制，杜绝无人照明；研发实验室结合工作台布局，设置局部重点照明，减少整体大面积照明能耗。

(3) 动力设备变频节能调控：净化空调、通风风机、给排水水泵、制冷机组等动力设备是医药产业园电气能耗大户，采用变频调速技术，可实现按需供能，大幅降低运行能耗。净化空调系统是节能重点，其风机、水泵传统定速运行无法适配车间温湿度、洁净度的动态变化，能耗浪费严重。为空调风机、冷冻水泵、冷却水泵加装变频控制柜，根据车间实时温湿度、压差、人员数量等参数，通过传感器采集数据，自动调节设备转速，动态调整制冷量与送风量，避免设备满负荷空载运行。经工程实践验证，医药洁净车间净化空调系统采用变频调控后，能耗可降低 20%-30%，同时精准满足车间环境管控要求。园区给排水泵、消防稳压泵、通风排气风机等设备，同样采用变频控制，根据用水量、通风量需求调节转速，杜绝设备频繁启停与空载运行，减少设备损耗与电能消耗，延长设备使用寿命。

(4) 智能能源管理系统应用：搭建医药产业园专属智能能源管理系统，实现电气能耗的精细化监测、分析与管控，解决传统能耗管控粗放的问题。系统构建厂区、车间、设备三级能源计量体系，通过多功能智能电表、传感器，实时采集各区域、各设备的用电数据，实现能耗数据可视化、可追溯。

系统具备负荷监测、能耗分析、异常报警、节能优化等功能，可自动生成能耗报表，分析不同时段、不同设备的能耗数据，精准定位高能耗设备与能耗异

常环节，为节能改造提供数据支撑；同时可联动供配电、照明、动力设备，实现远程控制与自动优化运行，例如低谷负荷时自动停运部分变压器、非工作时段切断非必要设备电源，实现无人值守智能节能管控。此外，系统可对接生产管理系统，结合生产计划调整用电策略，实现生产与节能协同。

(5) 可再生能源与储能技术利用：依托医药产业园厂区面积大、屋顶平整的优势，推广分布式光伏发电系统，在生产车间、仓库屋顶铺设光伏组件，将太阳能转化为电能，优先供园区照明、办公、辅助设备使用，多余电量并入电网，降低园区外购电比例。光伏系统运行稳定，运维成本低，可有效减少园区碳排放与用电成本，适配绿色园区建设要求。

结合园区应急供电需求，配套建设小型储能系统，白天储存光伏电能与电网低谷电能，夜间或用电高峰时段释放电能，实现削峰填谷，降低高峰用电成本，同时可作为备用电源，保障核心生产设备短时供电，提升供电可靠性。

表 1 医药产业园电气节能技术适配性及节能效果对比

节能技术类别	核心技术措施	适配园区区域	预计节能率	核心应用优势
供配电系统节能	选用非晶合金节能变压器、SVG 动态无功补偿、APF 有源谐波治理	变配电室、园区全区域	15%-20%	降低变压器与线路空载损耗，提升功率因数，优化电能质量，保障精密设备稳定运行
照明系统节能	洁净室专用 LED 灯具替换、分区智能感应控制、自然光联动调光	GMP 洁净车间、办公区、公共走廊及辅助用房	40%-50%	满足医药洁净车间照度与无尘要求，无眩光污染，能耗低且使用寿命长，适配生产班次管控
动力设备变频调控	净化空调风机变频、水泵变频调速、负荷联动自动调速	洁净生产车间、动力机房、暖通空调机房	20%-30%	实现按需供能，避免设备空载满负荷运行，降低能耗的同时延长设备使用寿命
智能能源管理	三级能源计量部署、能耗实时监测、远程联动管控、数据化分析	全园区覆盖	10%-15%	实现能耗精细化管理，精准定位高能耗节点，为节能优化提供数据支撑，提升运维管理效率

可再生 能源利 用	屋顶分布式光 伏发电、配套 小型储能系统 削峰填谷	建筑屋 顶、园区 闲置空地	10%-15 %	利用绿色清洁能源， 降低外购市电比例， 减少碳排放，兼顾高 峰用电成本管控与 应急供电保障
-----------------	------------------------------------	---------------------	-------------	---

注：续表 1。

4 工程实践案例分析

(1) 案例情况：某省级医药产业园总建筑面积约 6.8 万平方米，涵盖 3 栋 GMP 洁净生产车间、1 栋研发实验室、1 栋综合办公楼及配套动力机房，原电气系统采用传统设计，运行一年后测算，年电气总能耗约 186 万 kWh，其中净化空调能耗占比 52%，照明能耗占比 18%，供配电损耗占比 12%，能耗偏高且管控粗放。

(2) 实施过程：园区结合自身生产特性，实施电气节能改造：更换 2 台非晶合金节能变压器，配置 SVG 无功补偿与 APF 谐波治理装置，优化配电线路；全面更换 LED 洁净专用灯具，加装分区智能照明控制器；净化空调风机、水泵全部加装变频控制柜；搭建三级能源管理监测平台，实现能耗实时监控。

(3) 实践效果：改造完成后连续运行 6 个月监测数据显示，园区年电气能耗降至 138 万 kWh，综合节能率达 25.8%，功率因数从 0.82 提升至 0.97，供配电损耗降低 65%，照明能耗降低 48%，净化空调能耗降低 28%，每年可节约用电成本约 42 万元，同时供电稳定性显著提升，未出现谐波干扰生产设备的情况，完全满足医药生产 GMP 标准要求，节能效果与经济效益俱佳。

(4) 医药产业园电气节能实施注意事项：坚守安全与生产优先原则：电气节能改造不得降低供电可靠性，核心生产负荷、应急负荷需保留备用回路，严禁因节能措施影响生产连续性与产品质量，谐波治理、

变频设备需做好屏蔽，避免干扰精密仪器。

贴合医药行业规范要求：节能设备选型需适配 GMP 洁净车间无尘、无菌、易清洁的要求，灯具、电气设备不得产生粉尘、异味，布线与安装需符合医药园区消防与洁净规范。

兼顾经济性与实用性：节能技术选择需结合园区规模、负荷特性与改造预算，优先选用投资回收期短、运维成本低的技术，避免盲目追求高端技术导致投入过高。

强化运维管理：建立电气节能设备运维制度，定期对节能变压器、变频装置、智能管控系统进行检修维护，确保设备高效运行，同时加强操作人员培训，熟练掌握智能管控系统操作方法，保障节能措施落地见效。

5 结论与展望

医药产业园建筑电气节能降耗是一项系统性工程，需结合园区功能布局、生产工艺、负荷特性，针对性应用供配电优化、照明节能、变频调控、智能管理及可再生能源利用等技术，在保障供电安全、满足生产规范的前提下，实现电能损耗降低、运营成本减少的目标。工程实践表明，科学的电气节能改造可实现综合节能率 20% 以上，兼具经济效益、社会效益与环境效益，是医药产业园绿色低碳发展的必然选择。随着智能电网、数字孪生、AI 智能调控技术的发展，医药产业园电气节能将向更智能化、精细化方向发展，通过数字孪生技术构建园区电气系统虚拟模型，实现能耗模拟与节能优化预判；结合 AI 算法，根据生产计划、气象条件、用电价格自动优化电气系统运行策略，进一步提升能源利用效率。同时，光储直柔一体化技术将在医药产业园广泛应用，实现绿电高效消纳与供需平衡，助力医药行业全面实现双碳目标，推动产业高质量可持续发展。

参考文献：

[1] 钱鸿.建筑电气节能降耗技术研究[J].中国资源综合利用,2024,42(08):229-231.
 [2] 徐光.基于节能降耗的建筑电气设计分析[J].陶瓷,2023,(03):117-119.
 [3] 罗鸿宇.基于节能降耗的医院建筑电气照明系统设计[J].电子设计工程,2022,30(03):45-48+53.
 [4] 张剑华.节能降耗的建筑电气设计研究分析[J].居业,2021,(05):45-46.
 [5] 刘艳伟.节能降耗的建筑电气设计分析[J].住宅与房地产,2020,(35):141-142.