基于超低能耗改造的既有酒店电气设计技术研究与应用

王鹏飞，刘庆东，张信龙，王　扬

（中国建筑东北设计研究院，辽宁 沈阳 110300）

摘要：分享基于超低能耗改造的既有酒店电气设计技术实践中的相关经验与思考，依托核心系统在能耗优化逻辑上的协同作用，利用各系统技术措施实现超低能耗运行，具体内容包括建筑设备自动化系统直接数字控制器（DDC）、集散式控制系统、配电监测与计量系统、光伏发电监测与控制系统、智能照明系统、能源管理系统等内容。

关键词：BAS；DDC；计量；监测与控制；能源与管理

Research and application of electrical design technology for existing hotels based on ultra-low energy retrofit

WANG Pengfei, LIU Qingdong, ZHANG Xinlong, WANG Yang

(China Northeast Design Institute, Shenyang 110300, China)

Abstract: This paper shares relevant experiences and insights in the electrical design technology of existing hotels based on ultra-low energy consumption renovation, Through the synergy of core systems on the logic of energy consumption optimization, and by taking advantage of various system technical measures, ultra-low energy consumption operation is realizedThrough the synergy of core systems on the logic of energy consumption optimization, and by taking advantage of various system technical measures， ultra-low energy consumption operation is realized, The specific content includes the building equipment automation systems, Direct Digital Controllers (DDC), distributed control systems, power distribution and metering monitoring systems, photovoltaic power generation monitoring and control systems, intelligent lighting systems, as well as energy management systems.

Keywords: BAS; DDC; measurement; monitoring and control; energy and management

0　引言

日益严峻的能源危机、气候变化压力及我国碳达峰、碳中和目标的提出，对建筑领域节能减排工作提出了更高要求。

星级酒店因24 h运营、高舒适度要求（恒温恒湿、充足照明、大量热水供应）、密集的机电设备（电梯、厨房、洗衣房等）以及公共服务区域（大堂、会议室、餐厅）的高负荷特性，单位面积能耗远高于普通公共建筑和住宅，是名副其实的能耗大户。此外，大量既有星级酒店建设年代较早，设备老化、系统效率低下、能耗管理粗

沈阳市科技局、沈阳市中青年科技创新人才培育专项（RC230034）

放，节能潜力巨大。

超低能耗建筑（Ultra-Low Energy Building，ULEB）强调通过被动式设计优先降低建筑本体需求，再通过主动式技术高效满足剩余需求，并充分利用可再生能源，实现建筑能耗强度显著低于现行节能设计标准的目标。将其应用于既有酒店改造，是推动酒店行业绿色低碳转型，降低运营成本，提升市场竞争力的必然选择。

供电系统、照明、空调、电梯及给排水系统等主要耗能环节的运行均依赖于电力驱动和智能控制。电气系统设计的科学性与先进性，直接决定了改造后酒店的整体能效水平、用能安全可靠性及智能化管理水平。因此，研究面向超低能耗目标的既有星级酒店电气设计技术具有重要的理论价值和广泛的实践意义。

酒店的超低能耗设计具有典型性，本文采用先进的设计理念和设计思路，对五星级酒店的超低能耗改造在电气设计技术方面总结了一些经验及做法，并以沈阳洲际-华邑酒店为实例展开介绍。

1 系统介绍

1.1 电气系统介绍

星级酒店的电气系统是一个复杂的有机整体，超低能耗酒店通过多系统协同设计、智能化联动和可再生能源整合，实现能耗的显著降低。供配电系统是心脏和血管，为所有系统输送能量。空调系统作为能耗巨头，其运行高度依赖供配电，并需要给排水系统的支持，其效率受建筑设备自动化系统（Building Automation System，BAS）的智能控制影响极大。智能照明系统在创造氛围的同时，其能耗和产生的热量直接影响空调制冷负荷。给排水系统保障用水，其水泵是重要的动力负荷，与供配电系统联系紧密。电梯系统提供垂直交通，其能耗具有冲击性和间歇性特点，对供配电系统要求很高。通过技术整合及技术措施，对以上各系统实施统一监测与管理。

（1）供配电系统

供配电系统是整个酒店电气系统的源头和核心，负责将市政电网的高压电降压、分配至酒店各个区域和所有用电设备，智能化控制整个建筑的照明、空调、给排水、厨房、电梯等能耗负荷大的系统。

（2）空调与暖通系统

其核心设备（冷水机组、水泵、风机）是酒店最大的电力负荷，对供配电系统的容量、稳定性和启动特性要求极高。空调的启停（尤其是冷水机组）会导致电网侧较大的电流冲击和波动，可能影响电能质量。其巨大的能耗是供配电系统设计和运行成本的主要考量。通过使用地源热泵、空气源热泵等高能效设备，结合毛细管网辐射空调温湿度独立控制技术，设定空调温湿度动态调控（如夏季28 ℃、冬季20 ℃），避免过度供冷/供热，并通过能耗监测系统实时采集室内外温湿度数据，动态调整运行参数。

（3）智能照明系统

照明设计（照度、色温、显色性）和能耗直接影响酒店氛围营造、宾客舒适度和运营成本。灯具在工作时会产生大量热量，其产生的热量是空调系统必须处理的重要内部热源。通过采用LED节能灯+智能调光系统，与BAS联网，结合自然光感应调节亮度，分区域控制（走廊使用感应灯，客房插卡取电联动灯光），并通过协调效应与窗帘系统联动，白天优先利用自然采光，减少照明能耗。

（4）给排水系统

所有水泵（生活水泵、消防泵、热水循环泵、排污泵）启动电流大，是重要的动力负荷。提供冷却塔补水、冷冻/冷却水系统补水定压、锅炉补水，冷却塔的蒸发和排污涉及排水。通过BAS监控水箱水位、控制变频水泵转速，以维持恒压供水、监测漏水；消防系统控制消防泵的启停。

（5）电梯系统

电梯启动加速时电流很大（冲击负荷），制动时可能产生谐波（尤其是变频器驱动），电梯机房需要独立的空调或通风散热设备（增加空调

负荷），轿厢内照明和通风消耗电力。通过群控系统可以优化运行，减少同时启动的冲击，再生能量回馈可减少电网输入。

各系统间通过数据共享与反馈机制、设备运行优先级控制、用户行为与系统响应联系与协同来减少能耗。

1.2 项目概况

沈阳洲际-华邑酒店地上面积48 326 m^2，地上24层，建筑面积约50 600 m^2。酒店B1层主要为车库、设备机房、后勤用房；其夹层主要设置员工厨房、员工餐厅、员工淋浴等酒店后勤用房；1～3层为酒店公共区及配套厨房；4层为酒店设备机房、酒店后勤办公及部分酒店公共区；5～8层为月子中心，设置月子套房41间；9～24层主要为酒店客房区，客房约380间，其中24层设置有业主自用特色餐厅。改造目标为通过电气系统优化实现超低能耗运行，满足GB/T 51350—2019《近零能耗建筑技术标准》要求。

1.3 电气系统架构

（1）建筑设备自动化系统

集成空调、冷热源、给排水、照明及电梯等子系统，通过DDC实现集中监控。

（2）变配电监测与计量系统

配置多功能电度表、谐波监测装置，实时采集电压、电流、功率因数等参数。

（3）光伏发电监测与控制系统

屋面及车位遮阳顶共安装743.436 kW光伏阵列，采用并网逆变器与储能系统协同控制。

（4）智能照明系统

基于智能照明控制的LED灯具，支持场景模式与人体感应。

（5）能源管理系统

整合多系统数据，提供能耗分析与优化策略，系统采用前端传感器+执行器+DDC+网络控制器的架构。

能耗管理平台对酒店内的电度表、水表、冷热能进行能耗计量和管理，可为酒店能源管理提供数据和政策依据，通过实时的数据采集技术、网络技术和成熟的软件技术，构成先进的绿色建筑管理平台。

2 监测与控制

2.1 建筑设备自动化系统

建筑设备自动化系统连接所有需要监测与控制的系统，如大气质量、光照质量和智能照明系统；收集各层及房间的用电统计、新风机运行参数、空调机的风机盘管联网控制器及回风管温湿度前后参数对比并进行自动调节。

在客房、会议室、公共区域和餐厅等重要场所，设置的监测设备联动各机房调整设备参数，降低建筑能耗。

对建筑的超低能耗改造监测，需要覆盖设备的运行、环境参数与流动，分不同类型和层次对房间内温湿度、空气质量和照度等进行监测；同时监测室外的温湿度和太阳光照。

在机房、餐厅、热水间、空调、空气源热泵和照明等冷热源配电系统进线端配置智能计量表，作为计量分析数据，传输到监测系统。

2.2 电梯监控系统

电梯采用群控设置、能量回馈装置，具备动静态预设功能。监测系统监测电梯相关数据及参数，见表1。

表 1 电梯设计参数

Tab. 1 Elevator design parameters

名称	特定能耗 /[MW·h/(kg·m)]	额定载重量 /kg	速度 /(m/s)	待机功率 /W	运行时长 /(h/天)	数量	全年电耗 /(kW·h)
乘客电梯（24层）	1.134	1 600	2.5	180	3	4	77 042
乘客电梯（24层）	1.134	1 600	2.5	180	3	2	38 521
乘客电梯（24层）	1.134	1 600	2.5	180	3	1	19 261
乘客电梯（24层）	1.134	1 600	2.5	180	3	2	38 521
电梯（3层）	0.84	1 600	1	100	2	1	4 335
总计							177 681

2.3 变配电系统计量

所有低压开关柜馈线处、供配电系统、变配电设备及主要次级用能单位用电量不小于10 kW或单台用电设备不小于100 kW处，电信机房、开水间、冷热源、会议室、健身房、全日餐厅、中餐厅、员工餐厅、宴会厅、照明箱等区域均采用智能计量表，可以远程传送相关参数。

监测配电柜的三相电流、三相电压、功率因数、有功功率、无功功率等参数，所有计量表具的位置和数量由机电设计单位提供，后续根据其设计，将相关表具纳入能源计量系统。

2.4 光伏发电系统

对光伏发电单独计量，涵盖发电量、用电量等，优先利用光伏发电进行优化控制。在建筑24层屋面、3层屋面、采光顶、户外停车场遮阳棚位置设置光伏组件，设置光伏组件总面积3 855 m^2，总装机容量743.436 kW。

$$E_p=H_APK/E_s \quad (1)$$

式中，E_p为发电量（kW·h）；H_A为水平面太阳总辐照量（kW·h/m^2）；E_s为标准条件下的辐照度（常数），其值为1 kW/m^2；P为装机容量（kWp）；K为综合效率系数，受逆变器效率、集电线路损耗系数、光伏组件表面污染系数、修正系数等参数影响。

经计算，年总发电量为786.2 MW·h.

2.5 智能照明控制系统

基于B/S架构的中央管理平台（如KNX/IP网关），集成全楼照明数据，支持远程策略配置与实时监控。

对客房、走廊/电梯厅、会议室、宴会厅等实施相应的智能化设置，采用闭环控制，通过光照传感器进行实时监控。

利用传感器监测客房、走廊、电梯厅、会议室、宴会厅等区域的照度，与自然光对比后，智能调整以上房间的照度值，利用智能照明预设模式，设备以上房间设置不同场景所需模式，达到降低能耗的目的，见表2。

表 2 照度及功率密度值

Tab. 2 Illumination and power density values

房间参数				
序号	房间名称	要求照度值/lx	功率密度规范值/(W/m²)	功率密度设计值/(W/m²)
1	标准客房	-	≤ 6	4
2	月子中心客房	-	≤ 6	4
3	中餐厅	200	≤ 8	6
4	西餐厅	150	≤ 5.5	5
5	多功能厅	300	≤ 12	10
6	客房层走廊	50	≤ 3.5	2
7	大堂	200	≤ 8	6
8	会议室	300	≤ 8	6
9	设备用房	100	≤ 3.5	3
10	消控室	500	≤ 13.5	12

2.6 酒店客房控制系统

酒店客房照明由酒店客房控制系统控制。房间内采用壁装弱电触摸面板，通过预设场景控制房间内灯具。借助酒店客房控制系统，实现对灯光、服务、背景音乐、空调本地控制，空调联网控制，电动窗帘、插座控制，以及房态监视，提升酒店客房的入住体验。

智能温控面板可对风机盘管进行本地控制，也可由中控系统远程控制，可实现节能控制，具备灯光独立控制和场景控制功能。此外，选择带指示灯的面板控制夜灯，以区别于其他功能面板，功能简洁，操作简便。

与酒店管理系统插卡取电联动，客人在服务台办理入住后，相应客房的空调开启舒适模式；当客人插卡取电时，灯光自动调节为迎宾模式；当客人外出拔走取电卡时，客房走道灯延时关闭，其他灯光全部关闭，空调切换为节能模式；管理员插卡时，灯光调整为清洁模式；客人在退房后，中控系统对相应客房的温控面板初始化，关闭空调。

客房部的计算机可实时显示每个客房是否有紧急情况或清扫请求，以提高客房服务的响应时间和准确性。前台的计算机可显示每个房间受控

设备的运行状态。空调温度通过OPC接口与酒店管理系统进行数据交换，实现以上联动功能。

3 能源管理系统

建筑能耗统计包括建筑耗电量、耗气量或耗油量、集中供热耗热量、集中供冷耗冷量和光伏发电能源利用量。

3.1 系统架构

能源管理系统（EMS）采用“数据采集-分析决策-控制执行”三级架构，基于微服务架构开发，支持模块化扩展。

（1）数据采集层

通过OPC UA、Modbus TCP/IP、BACnet协议整合BAS、光伏发电系统及变配电监测系统等多源数据，建立统一数据湖。数据类型涵盖电能（有功/无功功率、电压谐波）、热能（冷热水流量）和光伏出力（直流/交流转换效率）等。

（2）分析决策层

部署Spark实时计算引擎，处理分钟级数据流，实现能耗预测、能效对标、成本核算等功能。集成机器学习模型进行负荷预测与设备故障诊断。

（3）控制执行层

通过MQTT协议向BAS下发优化指令（如空调变频调速、光伏储能充放电策略），形成闭环控制。

3.2 核心功能模块

1）多维度能效看板。分项计量照明、空调、电梯等12类能耗占比。

2）动态负荷曲线。显示当前建筑总负荷及光伏出力功率，支持按小时/日/月粒度查询。

3）碳排放监控。实时计算直接排放范围与间接排放范围，生成碳足迹报告。

4）基准比对。将实时能耗与历史同期数据、同类型酒店标杆值进行对比，识别异常（如空调系统夏季制冷能耗超标20%）。

5）设备级诊断。基于BP神经网络模型，输入电流谐波、电压波动等特征，预测变压器绕组老化风险（误差率≤5%）。

3.3 动态优化策略

1）分时电价响应。结合电网分时电价政策，即峰时电价1.2元/（kW·h）、谷时电价0.3元/（kW·h），制定储能充放电计划。

2）光储协同调度。光伏发电优先供给直流微电网（如LED照明、直流空调），余电通过逆变器接入交流电网，实现“自发自用，余电上网”。

表3 建筑全年能耗计算

Tab. 3 Annual energy consumption calculation for buildings

设计建筑					基准建筑	
用能分类			能耗值	一次能源	能耗值	一次能源
电力/(kW·h/m²)	供冷	中央冷源	4.36	11.34	9.03	23.48
		冷却水泵	1.49	3.87	5.14	13.36
		冷冻水泵	1.50	3.90	4.82	12.53
		供暖水泵	1.54	3.99	4.48	11.65
	通风设备		8.58	22.31	11.13	28.94
	泳池相关设备		4.10	10.66	4.32	11.23
	照明		11.73	30.50	16.64	43.26
	电梯		3.68	9.57	4.13	10.74
标准煤/(kgce/m²)	供暖锅炉		0.00	0.00	9.61	78.23
天然气/(m³/m²)	生活热水		2.26	22.26	2.36	23.25
市政热力/(kW·h/m²)	市政热力		39.42	48.09	0.00	0.00
可再生发电/(kW·h/m²)	光伏发电		16.26	42.28	0.00	0.00
建筑本体能耗（一次能源）/(kW·h/m²)			166.50		256.67	
建筑综合能耗（一次能源）/(kW·h/m²)			124.23		256.67	

4 运行与维护

4.1 运行阶段划分与目标

既有酒店超低能耗改造后的运维需贯穿“规划-实施-优化”全生命周期，分为以下三个阶段。

1）初期调试期。完成设备联调、控制逻辑验证和数据基线建立，重点解决系统磨合问题，

如DDC与BAS的通信延迟调试，光伏逆变器与储能系统的充放电策略匹配等。

2）稳定运行期。通过标准化流程保障系统高效运转，实现能耗与设备寿命的平衡。

3）设备更新期。对老化设备（如光伏板、蓄电池）进行性能评估与分批替换，确保系统持续达标。

4.2 运维与职责分工

运维对运行中的低压配电室设备、光伏发电及储能进行巡视、故障处理与监测，每月检查一次，发现问题及时处理相关故障。

对BAS、DDC、智能照明及电梯等相关智能系统的设置及实际运行参数进行监测。

通过能耗系统生成饼柱图，分析能耗报告，并按报告调整不合理设备。

4.3 关键子系统维护

1）DDC。每季度清洁风扇与散热片，检测电源模块输出电压波动（允许范围±5%）。

2）传感器校准。温湿度传感器每年校准一次（使用FLUKE 975校准仪），CO_2传感器采用动态标气法（误差≤$\pm 4\times10^{-6}$）。

3）控制逻辑优化。基于历史数据调整空调风阀开度曲线，减少振荡现象（如将PID控制改为模糊控制算法）。

4）固件升级。定期更新BAS固件以修复安全漏洞，采用OTA（Over-the-Air）远程升级技术。

4.4 光伏发电与储能系统

1）清洁频率。根据气象数据（沙尘暴指数）动态调整，采用机器人自动清洁（效率提升3倍，成本降低40%）。

2）隐裂检测。每半年使用红外热像仪扫描光伏板，定位隐性裂纹并更换损坏组件（故障率降低至0.5%以下）。

3）电池健康状态（SOH）监测。通过BMS实时跟踪充放电循环次数与内阻变化，预测剩余寿命（RUL）。

4）均衡策略。每月执行一次主动均衡（采用飞跨电容技术），避免单体电池过充/过放。

4.5 智能照明系统

1）LED光衰监测。通过DALI总线读取光通量衰减数据，当光通量低于初始值70%时，触发更换预警。

2）传感器维护。微波雷达传感器每半年清洁菲涅尔透镜，防止灰尘遮挡导致误触发。

5 结束语

在既有星级酒店超低能耗改造中，电气系统扮演着能源供应、转换、控制与管理的核心枢纽角色。其设计的科学性、先进性和集成度直接决定了改造后建筑的整体能效表现、运行可靠性和智能化水平。随着技术进步和政策推动，既有星级酒店超低能耗改造的电气设计将呈现以下趋势。

1）电气化程度进一步提高。热泵将在供暖、热水乃至部分工艺用热领域更彻底地替代化石燃料；厨房设备电气化（如电磁灶具）比例提升；电动汽车充电桩成为酒店标配负荷。

2）智能化深度应用。智能化将在负荷预测、运行策略优化、故障预测诊断和能效持续提升等方面发挥更大作用。

3）柔性负荷与需求响应深化。酒店作为拥有一定负荷调节潜力的主体，将更积极地参与电网需求响应。电气设计需考虑构建更灵活的负荷控制系统，将空调、热水、充电桩甚至部分照明纳入可调节资源池。

4）可再生能源与储能集成。随着光伏效率提升和成本下降，以及光伏组件技术的成熟，酒店的可再生能源装机容量和应用形式将进一步拓展。储能系统（电化学储能、蓄冷蓄热）在提升自用率、参与峰谷套利及增强供电可靠性方面的作用日益凸显。

5）直流配电技术探索。随着光伏、储能、LED照明和直流家电的普及，探索酒店内部局部直流微电网（如客房楼层）的可行性，以减少交直流转换损耗，提高系统效率。

6）标准体系持续完善。针对既有酒店超低能耗改造，特别是电气系统改造的设计、施工、

验收和评价标准将更加细化和完善，为行业发展提供规范指导。

酒店电气设计是很复杂的设计，超低能耗相关设计更能体现节能与能源管理及运行效果，为酒店管理公司的精确管理提供必要的管理平台，对酒店节能及成本投入起到至关重要的作用。

参考文献

[1] 中国建筑科学研究院有限公司．近零能耗建筑技术标准：GB/T 51350—2019[S]．北京：中国建筑工业出版社，2019．

[2] 卢春生，林钢毅．超低能耗星级酒店电气设计要点--以文成宾馆为例[J]．电气技术与经济/技术与交流，2025(4)：356-359．

[3] 仇国梁，郑凤超，隋媛媛．小议高层民用建筑电气设计中的几个问题[J]．建筑电气，2022(11)：50-51．

[4] 马奇．浅析BIM技术在建筑电气设计中的应用和发展[J]．现代建筑电气，2022(3)：15-16．

[5] 李宝印．被动式超低能耗建筑电气设计探讨[J]．工程建设与设计，2021(1)：140-143．

[6] 王福林，龙惟定．建筑电气节能设计关键技术问题探讨[J]．建筑电气，2020，39(10)：1-6．

[7] 江亿，彭琛，燕达．中国建筑节能年度发展研究报告2023[M]．北京：中国建筑工业出版社，2023．

作者简介

王鹏飞（1981—），男，副高级工程师，主要研究方向为装配式建筑超低能耗。

（收稿日期：2025-04-28）