

绿色建筑评价标准下机电设备节能管理策略研究

杜望¹ 储庆¹ 傅超²

1. 中国市政工程西北设计研究院有限公司 甘肃 兰州 730000

2. 中国建筑西北设计研究院有限公司 陕西 西安 710000

摘要:在“双碳”目标引领与绿色建筑高质量发展背景下,机电设备作为建筑全生命周期能耗的核心载体,其节能管理水平直接决定绿色建筑评价指标的达成质量与低碳效能落地效果。本文以《绿色建筑评价标准》GB/T50378-2019(2024年版)为核心依据,系统剖析商业、住宅两类建筑机电设备(空调、照明、电梯及输配系统等)的能耗特征与管理痛点,基于全生命周期视角,构建适配标准要求的“设计-施工-运行-运维”四位一体节能管理策略,涵盖精准负荷模拟、高效设备选型、智能协同调控、全维度计量监测等关键环节。结合两类不同功能属性建筑的实际工程案例验证策略可行性,弥补现有研究中技术与标准衔接不紧密、场景适配性不足的短板,为绿色建筑机电设备节能管理提供理论支撑与差异化实践路径,助力建筑领域碳减排目标实现。

关键词:绿色建筑;评价标准;机电设备;节能管理;全生命周期

引言

研究背景:随着我国城镇化进程提速与建筑产业升级,建筑领域能耗占社会总能耗比重已超30%,其中机电设备运行能耗占建筑总能耗的60%-70%,成为节能降耗的核心靶点。2024年修订实施的《绿色建筑评价标准》GB/T50378-2019(2024年版)强化了低碳效能要求,新增全寿命期碳排放强度控制、可再生能源利用率量化指标,优化了机电系统节能评价体系,对设备能效、智能调控、分项计量等提出更严格标准。在此背景下,传统粗放式机电设备管理模式已无法满足绿色建筑评价需求,构建与标准精准适配的节能管理体系成为行业迫切需求。

研究意义:理论意义上,本文立足新版评价标准,厘清机电设备节能管理与绿色建筑评价指标的对应关系,完善绿色建筑机电系统节能理论体系。实践意义上,通过提出针对性管理策略,可有效提升机电设备能效水平,降低建筑全生命周期能耗与碳排放,帮助项目顺利通过绿色建筑星级评价,同时减少运维成本,实现环境效益与经济效益双赢。

国内外研究现状:国外方面,欧美等国通过构建完善的绿色建筑评价体系(如LEED、BREEAM),形成了以智能监测、系统协同为核心的机电节能管理模式,注重可再生能源与机电系统的融合应用。国内研究多聚焦单一设备节能技术(如变频调速、高效电机),但针对新版评价标准的全生命周期管理策略研究较少,且存在技术与标准衔接不紧密、系统协同性不足等问题。本文基于标准要求,弥补现有研究短板,构建全流程节能管理体系^[1]。

1 绿色建筑评价标准中机电设备节能核心要求

新版《绿色建筑评价标准》围绕机电设备节能设置了明确的控制项、评分项指标,形成了“设备能效-系统调控-计量监测-可再生能源利用”的评价框架,核心要求如下:

1.1 控制项强制性要求

控制项作为绿色建筑评价的必备条件,对机电设备节能提出刚性约束:一是空调系统需区分朝向细分供暖、空调区域,实现分区控制,电冷源综合制冷性能系数符合《公共建筑节能设计标准》GB50189要求;二是公共区域照明采用分区、定时、感应等节能控制,采光区域照明控制独立设置;三是冷热源、输配系统、照明等能耗需独立分项计量;四是电梯采取群控、变频调速或能量反馈措施,自动扶梯采用变频感应启动控制。

1.2 评分项优化导向

评分项聚焦机电系统能效提升与低碳化改造:新增可再生能源利用率量化评价,鼓励光伏、地热能与机电系统耦合;强化智能调控技术应用,对采用模型预测控制、神经网络优化的机电系统给予加分;支持老旧设备节能改造,对更换高效电机、优化输配系统的项目给予评分倾斜,引导机电管理向精细化、智能化转型^[2]。

2 建筑机电设备能耗特征与管理痛点

2.1 核心能耗特征

建筑机电设备能耗呈现多元化、集中化、周期性特征:从能耗分布看,空调系统(含冷热源、输配设备)占机电总能耗的40%-50%,照明系统占15%-20%,电梯及其他动力设备占20%-30%;从运行规律看,能耗受季节、

负荷波动影响显著,如夏季空调系统满负荷运行,冬季能耗向供暖设备转移;从系统特性看,机电设备多为协同运行,单一设备能效不足易引发整体系统能耗攀升。

2.1 现存管理痛点

(1) 设计阶段与标准脱节:部分项目设计时未充分考虑标准要求,存在设备选型偏大、系统布局不合理等问题,如风机、水泵按最大工况选型,实际运行负荷率仅50%-70%,造成“大马拉小车”能耗浪费。(2) 运行调控方式粗放:传统机电设备多采用工频控制或手动调节,无法根据实时负荷、环境参数动态调整,如空调系统缺乏智能联动,导致部分区域过冷过热,照明系统未充分利用自然光。(3) 计量监测体系不完善:部分建筑未实现能耗分项计量,或监测数据碎片化,无法精准定位高能耗环节,难以满足标准中能耗统计与优化的要求。(4) 运维管理专业化不足:运维人员缺乏标准认知与节能技术能力,设备维护不当导致能效衰减,老旧设备改造滞后,无法适配新版标准的低碳要求。

3 绿色建筑评价标准下机电设备节能管理策略

基于全生命周期管理理念,结合新版评价标准要求,构建“设计优化-施工管控-运行调控-运维升级”四位一体的节能管理策略体系^[3]。

3.1 设计阶段:源头把控,适配标准要求

(1) 精准负荷模拟与设备选型:采用建筑能耗模拟软件,结合场地气候条件、建筑功能计算动态负荷,避免设备选型冗余。优先选用一级能效设备,如空调系统选用高效变频冷水机组,照明系统采用LED节能灯具,电梯选用永磁同步电机与能量反馈装置,确保设备能效满足标准控制项要求。(2) 系统集成优化设计:按照“分区控制、协同高效”原则优化系统布局,如空调系统按朝向、功能分区设置控制器,输配系统优化管路设计减少阻力损失。同时融入可再生能源技术,如光伏系统为照明、电梯供电,地源热泵与空调系统耦合运行,提升可再生能源利用率,争取评分项加分。

3.2 施工阶段:过程管控,保障节能效能

(1) 强化施工质量管控:严格按照设计图纸施工,重点把控设备安装精度与系统密封性,如风机、水泵安装时减少振动与泄漏,空调管路做好保温处理,避免能量损耗。施工过程中同步完成分项计量装置安装,确保计量设备精度符合标准要求。(2) 做好调试与标准对标:施工完成后开展系统联合调试,模拟不同负荷工况下设备运行状态,优化控制参数,确保空调分区控制、照明感应控制等功能达标。对照评价标准逐项核查,及时整改不符合项,为后续运行管理奠定基础。

3.3 运行阶段:智能调控,提升系统能效

(1) 搭建智能管理平台:集成物联网、大数据、人工智能技术,构建建筑机电智能管理系统,实现对空调、照明、电梯等设备的实时监测、精准调控与协同优化。例如,通过温度、照度传感器数据,自动调节空调温度与照明亮度,电梯采用群控算法优化派梯效率,降低空驶率^[4]。(2) 优化运行调控策略:针对不同设备特性制定差异化调控方案,如空调系统采用模型预测控制算法,根据气象预报与负荷变化提前调整运行参数;冷却塔通过变频调速实时匹配冷却需求,风机转速降低20%可实现能耗降低49%;照明系统结合自然光强度自动开关与调光,充分利用可再生能源。

3.4 运维阶段:长效管理,适配标准升级

(1) 完善能耗计量与监测:按照标准要求实现冷热源、输配系统、照明、电梯等能耗独立分项计量,建立能耗数据库,定期分析能耗结构与变化趋势,精准定位高能耗环节,为节能优化提供数据支撑。(2) 强化设备全生命周期维护:制定标准化维护流程,定期开展设备巡检、清洁、校准,如清理空调滤网、优化冷却塔填料,防止设备能效衰减。对老旧设备开展节能改造,采用变频改造、高效设备替换等措施,如将传统电机替换为一级能效永磁同步电机,提升设备能效至标准要求。(3) 提升运维团队专业能力:开展新版评价标准与节能技术培训,提升运维人员对智能系统的操作能力、设备故障诊断能力与节能优化意识,确保管理策略落地执行。

4 案例分析

4.1 商业综合体案例概况

某大型商业综合体项目,总建筑面积12万m²,目标申报绿色建筑二星级评价。项目机电系统含集中空调系统、LED照明系统、12台电梯及配套输配设备,改造前存在设备运行粗放、能耗计量不完整、部分设备能效不达标等问题,无法满足新版评价标准要求。

4.2 商业综合体节能策略实施

设计优化层面:补充负荷模拟,更换3台高效变频冷水机组,优化空调系统分区控制,新增光伏系统为照明及电梯供电,提升可再生能源利用率。施工管控层面:整改空调管路保温缺陷,安装分项计量装置15套,完成系统联合调试,确保分区控制、感应照明等功能达标。运行调控层面:搭建智能机电管理平台,实现空调、照明、电梯联动控制,优化冷却塔变频策略与电梯群控算法。运维升级层面:建立能耗监测数据库,制定月度维护计划,开展运维人员标准与技术培训。

4.3 商业综合体实施效果

项目实施后,机电设备总能耗较改造前降低28%,其中空调系统能耗降低32%,照明系统能耗降低20%,电梯能耗降低18%;可再生能源利用率达8.5%,满足新版评价标准评分项要求;能耗分项计量覆盖率100%,顺利通过绿色建筑二星级评价。同时,年运维成本减少120万元,投资回收期约2.5年,实现环境效益与经济效益双赢。

4.4 住宅建筑案例实践

(1) 案例概况:某住宅小区项目,总建筑面积8万 m^2 ,共12栋住宅楼,目标申报绿色建筑一星级评价。项目机电系统包含集中供暖空调系统、户内及公共区域照明系统、18台住宅电梯,改造前存在供暖空调系统能效偏低、户内照明控制方式单一、能耗计量未覆盖到户等问题,不符合新版评价标准中住宅建筑机电节能控制项要求。(2) 节能策略实施:结合住宅建筑使用特性与标准要求,针对性开展节能改造。设计优化层面,采用负荷动态模拟软件重构空调系统负荷曲线,更换6台高效变频空气源热泵机组,替代原有低效燃煤锅炉,同步优化户内空调末端布局,实现分室控温;公共区域照明全面更换为低功耗LED灯具,增设人体感应与光感联动控制模块。施工管控层面,对空调管路进行保温升级,采用B1级保温材料减少散热损失,按户安装智能能耗计量终端,实现水、电、暖分项分户计量,确保计量精度符合标准规范。运行调控层面,搭建简易型机电智能管控平台,联动空气源热泵与室外温度传感器,动态调整供水温度,冬季夜间低温时段自动降低运行负荷;电梯采用错峰运行与变频待机模式,非高峰时段减少运行台数。运维升级层面,建立楼栋级能耗监测台账,定期开展热泵机组维保与计量设备校准,开展住户节能宣传与运维人员专项培训,强化标准落地执行。(3) 实施效果:改造后项目机电设备总能耗降低22%,其中空气源热泵系统能耗较原有燃煤锅炉降低40%,公共区域照明能耗降低25%;能耗分项计量覆盖率达100%,可再生能源(空气源热泵)利用率达12%,满足绿色建筑一星级评价指标。年节约能耗费

用约45万元,投资回收期约3年,既适配了住宅建筑居住需求,又实现了节能降耗目标,为住宅类绿色建筑机电设备节能管理提供了实践参考。

结束语

新版《绿色建筑评价标准》聚焦低碳化、精细化目标,对不同类型建筑机电设备节能管理提出差异化、刚性化要求,传统粗放式管理模式已难以适配行业低碳转型需求。本文基于全生命周期管理理论,构建“设计优化-施工管控-运行调控-运维升级”四位一体节能管理策略,精准对接标准中设备能效、系统调控、计量监测、可再生能源利用等核心指标。商业综合体与住宅建筑两类案例验证表明,该策略可有效解决机电设备选型冗余、调控粗放、计量不完善等痛点,分别实现28%与22%的机电能耗降幅,不仅能助力项目顺利通过绿色建筑星级评价,还能显著降低运维成本,兼顾环境效益、经济效益与使用效益,具有较强的普适性与实践价值。未来,随着数字化、智能化技术的发展,机电设备节能管理将向“数字孪生+智能优化”方向升级,可通过构建机电系统数字孪生模型,实现全流程可视化管理与精准预测性维护。同时,需进一步强化标准与技术的协同创新,推动低碳技术、可再生能源与机电系统深度融合,完善绿色建筑机电设备节能评价体系,为建筑领域实现“双碳”目标提供更强有力的支撑。

参考文献

- [1]刘洋.绿色建筑评价标准及其应用研究[J].建筑装饰装修,2023,(09):83-85.
- [2]朱亚辉.探析建筑电气节能设计和技术创新[J].工程建设与设计,2025,(06):48-50.
- [3]韩雪.建筑电气节能设计及绿色建筑电气技术探究[J].中国高新科技,2025,(03):43-44+50.
- [4]刘英强.绿色建筑中电气节能设计要点分析[J].新城建科技,2024,33(11):102-104.