

“双碳”背景下公共建筑用能优化 综合能源服务模式研究

文/国网（北京）综合能源规划设计研究院有限公司 王泰棚

“双碳”背景下，构建绿色低碳循环发展经济体系成为首要目标。作为“能耗大户”的大型公共建筑，正在经历节能转型的重要阶段。通过调查研究确定可推广的节能领域，进行项目改造，分析实施效果，探索新的节能模式。

2021年是碳中和赛道“爆发式增长”的一年。在“30·60”双碳目标和行动方案的背景下，构建绿色低碳循环发展经济体系、提升能源利用效率以及提高非化石能源消费比重成为首要目标。绿色低碳、绿色生活成为未来社会生活的主旋律。随着碳达峰碳中和“30·60”战略的深入推进，作为“能耗大户”的大型公共建筑，正在经历节能转型的重要阶段。

根据中国建筑能耗研究报告，2019年全国建筑全过程碳排放总量为49.3亿t，占全国碳排放量的比重为51.3%，占比最高。其中，包括医院、学校、写字楼和商场在内的公共建筑能耗占全部建筑能耗的38%，是建筑能耗中比例最高的一部分。在碳达峰、碳中和国家战略目标下，公共建筑行业发展节能减排、绿色环保模式的重要性显著提升。

为落实低碳发展战略，国家电网公司于2021年3月1日下发《碳中和行动方案》，要求提升公共建筑能效水平。国网营销部也多次发文，提出全面推广公共建筑楼宇用能优化工作，明确提出推广千栋楼宇万家校园节能减碳的工作目标。通知中还提出各省电力公司应围绕综合能效、多能供应、清洁能源以及新兴用能四大领域，因地制宜开展客户侧用能监测与分析，定期为客户提供能效分析报告，推广能效诊断、智能运维和能源费用托管等服务，降低客户用能成本。积极开拓需求响应、市场化售电

等新兴业务和分布式光伏及储能等清洁能源业务，通过省市县三级协同开拓团队，打造高效协同的市场开拓体系，实现综合能源业务在各省的高质量发展。

调查研究

为加快楼宇用能优化方案研究，国家电网公司组织专家指导各单位开展楼宇客户用能信息普查工作。通过对5万多家年用电量100万kW·h以上的客户进行分析，综合考虑地域经济发展情况、目标客户数量、用户需求及普查质量，得出三华地区市场成熟、用户节能意愿高的结论。办公和酒店建筑单位建筑能耗超过国标值较多，节能潜力大。办公和商场建筑柔性可调负荷占比高，可调负荷潜力大。东部地区空调耗电量巨大，西部地区供暖耗电量巨大。建筑单位能耗对比见表1。

表1 建筑单位能耗对比统计表

建筑类型	严寒和寒冷地区能耗/ [kW·h/ (m ² ·a)]			夏热冬冷地区能耗/ [kW·h/ (m ² ·a)]		
	对标值	调研值	超标百分比 (%)	对标值	调研值	超标百分比 (%)
办公	55	97	76	70	107	53
商场	100	126	26	187	246	32
酒店	65	102	57	115	179	56
医院	70	92	31	78	110	41
复合	82	102	24	128	156	22

根据GB/T 51161—2016《民用建筑能耗标准》及调研数据分析得到，国网供电区域99%以上在严寒、寒冷及夏热冬冷地区，其中办公、商场和酒店等类型建筑在严寒、寒冷及夏热冬冷地区的节能潜力巨大。

模式探索

通过公共建筑用能系统普查，分析得出主要可推广的节能领域和措施。

1) 暖通空调部分。着重关注冷热源能效提升改造，搭配蓄冷蓄热装置，提升可调节范围，参与需求侧响应。

2) 维护结构部分。对保温、隔热、遮阳及气流组织方面进行治理，进一步提升建筑隔热保温性能。

3) 照明部分。重点对节能灯具、分时分区控制等方面进行推广。

4) 给排水部分。针对老旧建筑（2000年前投运）中的泵组进行改造。

5) 电气部分。针对变压器负载率较低、三相不平衡等问题进行专项改造。

6) 推广配电站智能代运维。利用专业优势节省

客户配电运维成本。

7) 推广配电站5G基站业务。利用配电站室内闲置空间，建设通信电源配套系统，增加附加价值。

8) 开展充电桩业务。通过电动汽车有序充电策略实现对电网负荷曲线进行削峰填谷，实现辅助服务盈利。

9) 积极推广屋顶光伏。利用楼宇良好的屋面条件建设分布式光伏系统，实现楼宇绿色用电，建设绿色、清洁楼宇。

10) 配置楼宇储能装置。通过峰谷价差，降低电费支出，提高供电可靠性。

效果验证

以暖通空调用能优化方案场景应用为例，服务商通过合同能源管理模式、节能效益分享模式，开展综合能源服务，取得不错的效果。

某航空机务楼冷站冷水机年用电量约为87.07万kW·h，年用电费61万元，制冷机房共有3台特灵冷水机，运行时间为4~11月，每日运行17 h（7:00~24:00）。制冷机房设备清单见表2，冷水机耗电量见表3。

表2 制冷机房设备清单

品牌	类型	型号	台数 (备用请注明)	制冷量/kW	制冷功率/kW	制冷COP	备注
特灵	螺杆式冷水机组	RTHDC2F2F5V	1	987.4	156.8	6.3	-
特灵	螺杆式冷水机组	RTHB300	2	886.2	178	4.98	-

表3 机务楼冷站冷水机耗电量

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合计
冷机耗电量/ 万kW·h	-	-	-	7.78	9.19	12.2	13.8	13.8	13.3	9.19	7.78	-	87

通过诊断发现，该冷站系统存在较大的能耗问题。

1) 冷水机的出水温度设定值基本固定，不适应天气的变化，实际上可以设定更高温度。因此，冷站无法根据建筑实际负荷调节冷机出水温度，导致冷水机组运行效率较低，存在运行节能空间。

2) 冷水机在负荷率较低的情况运行，实际上部分时间或者天气温度较低的情况下，完全可以关闭1台冷水机，节约用电量。

3) 运维团队故障诊断水平仍有较大的改善空间，无法根据冷水机实际情况进行运维管理。

4) 机房设备管理成本较高，现场运维师傅需要定时巡检、手动调控以及定时抄表。

1. 改造目标

以智慧能效管理平台为依托，通过中央空调AI管理系统节能优化分析技术，实现对空调设备可视化管理和动态监测，并提供综合节能解决方案，提升空调设备能耗管理水平，提高能源利用效率。通过空调柔性负荷控制，可建立动态可调负荷资源池，推动需求响应政策落地。

2. 改造方案

中央空调冷机AI管控系统基于AI算法与大量

据处理技术，在确保室内环境舒适度的前提下，针对中央空调冷机进行设备安全与能效的双重检测分析，提供优化运行控制建议或直接进行优化控制，帮助企业节能、增效以及降本。

基于物联网技术，实时采集环境温湿度数据、天气数据和空调冷机设备运行参数，结合多种AI算

法（如时间序列、多元线性回归和神经网络等），多种建筑及空调系统建立专业算法模型，通过对数据的深度挖掘，生成在不同场景下的设备优化控制调节策略，反向作用于设备端，产生直接的节能效益。改造方案如图1所示。

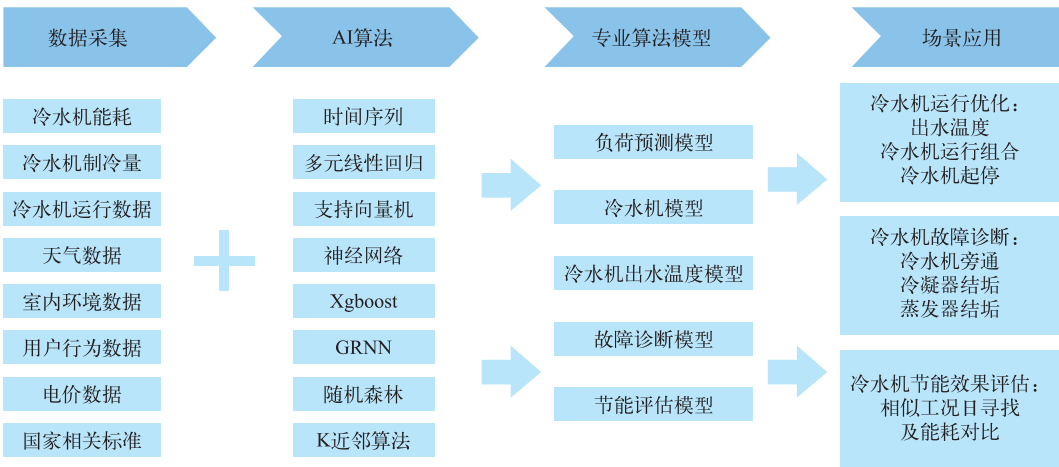


图1 改造方案

3. 实施效果

(1) 节能收益

通过优化冷冻水出水温度、冷水机起停以及冷站群控，均可取得节能效果。结合目前冷水机组运行情况的调研结果以及全年气象资料，通过人工智能算法、机组设备性能模型以及预测冷负荷，可确

定不同月份运行的变工况下，冷水机组最高冷冻水出水温度，结合冷冻水温度与电耗的相关关系，确定节能率。最后综合不同优化手段测算出综合节能率。

节能测算表见表4。机务楼机房年节能率为12.8%。节能量11.13万kW·h，节约费用7.79万元。

表4 机务楼冷站节能测算表

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	总计
原能耗/ 万kW·h	-	-	-	7.78	9.19	12.2	13.8	13.8	13.3	9.19	7.78	-	87
预计节能量/ 万kW·h	-	-	-	1.24	1.29	1.71	1.38	1.38	1.60	1.29	1.24	-	11.1
预计节约费用/万元	-	-	-	0.87	0.90	1.20	0.96	0.96	1.12	0.90	0.87	-	7.79

冷水机组电耗按逐月负荷率进行估算，平均电价按0.7元/kW·h测算

(2) 管理节能

通过安装中央空调冷水机AI管控系统实现如下管理节能效果。

1) 增强系统监控。中央空调冷水机AI管控系统可利用多种传感器对系统运行情况和能耗状况进行实时监测，系统监控主要包括对环境参数进行实时监控，对空调主机设备参数进行实时监控，还包括对各种设备电耗的监控。可支持查看历史数据及以往的监控记录。一旦发现系统运行异常或能耗过

高的问题，可及时预警与控制，避免手动控制造成能耗浪费的滞后性。

2) 通过优化调控提高冷水机性能。针对该建筑情况，机房冷水机、中央空调冷水机AI管控系统将在两个层面提高冷水机运行效率：一是基于大数据与人工智能技术，对冷水机特性、建筑负荷特征以及环境参数进行耦合分析，同时结合建筑冷负荷预测结果，得到在保证环控要求的前提下的最优冷冻水出水温度，从而达到节能降耗效果。二是结合

建筑围护结构特征以及气象数据，采用人工智能算法进行冷负荷预测，同时建立基于每台冷水机历史运行数据变工况性能模型，基于负荷预测结果以及冷水机性能模型，确定不同工况下的冷水机最优组合，以此达到节能降耗效果。

3) 通过故障诊断提升冷水机运行安全及性能。针对该建筑情况，中央空调冷水机AI管控系统将通过显性故障和隐性故障两个层面来提升系统故障诊断水平。在显性故障层面，本系统将采集所有冷水机故障和报警信息，并对故障原因、频率以及解决方案进行分析，最后将分析结果实时推送至用户手机或计算机上，通过显性故障诊断，有望提升系统运行安全性。在隐性故障层面，比如两器结垢、产生不凝性气体、制冷剂偏多偏少、冷却水或冷冻水流量衰减及缺油等，本系统均能诊断出来，并将诊断结果下发至用户PC端和移动端。通过隐性故障的诊断，有望提升冷水机运行效率。

4) 提升工作效率和降低劳动强度。中央空调冷水机AI管控系统可将原先的手动控制升级为自动智能控制，大幅提高设备与系统控制的准确性，提高工作效率，降低能耗。中央空调冷水机AI管控系统同样可大幅降低工程部的劳动强度，利用自动智能控制替代手动控制。

5) 支持持续升级改造。在升级改造方面可以分为两个方案：一是现场硬件设备的升级改造。该方

案为非侵入式的解决方案，安装调试时间短，即使更换冷水机的现场改造，本系统依然可以使用，只需更换冷水机的通信卡即可。通过本系统可以监测评估节能改造前后（可能是更换设备前后）主机设备的运行情况和效率。二是软件平台持续升级改造和优化，不断提供相关的诊断分析服务。

商务模式

1. 合同能源管理

此模式下投资人为服务商，服务商承担投资收益和风险。项目可通过合同能源管理方式，由服务商和用户按约定比例分享节能收益，由服务商支付渠道商、服务商的相关费用，线下运维费用另行协商。

2. 设备出售（租赁）

此模式下服务商以售出（租赁）智能控制单元产品为业务形式，签订设备供应（租赁）合同；用户全额分享节能收益。

3. 客户出资

如用户独自出资进行用能优化工作，则可以通过EPC途径为用户提供工程建设服务，服务商负责现场数据收集、设备安装调试、后期维护、软件升级以及线上技术服务。所有设备出售、系统安装调试和运维等费用由用户承担，节能收益也由用户全部收取。EA

