

Analysis of Air Conditioning Cold Source Scheme for an Industrial Park in Zhuhai

Chongxu Jiang^{1,2}, Xiufang Tian³

1.China Railway Design Corporation,Tianjin 300142, China

2.National Engineering Research Center for Digital Construction and Evaluation Technology of Urban Rail Transit, Tianjin 300000, China

3.Tianjin Architecture Design Institute CO.,LTD,Tianjin 300074, China

Abstract: Under the background of “Double-carbon” target strategy, it is the trend to promote the green development of building industry, ventilation and air-conditioning system is a large user of building energy, it is an important issue for how to save energy, low-carbon operation. This article takes an industrial park project in Zhuhai as an example, this paper discusses the design scheme of air conditioning cold source for direct-drive photovoltaic air-conditioning system combined with ice storage, as well as the air conditioning load distribution and electricity price policy of the project, the recommended operation strategy of air-conditioning cold source system can realize low-carbon operation of air-conditioning system, relieve peak power load in summer, and reduce the emission of carbon dioxide, sulfur dioxide and other pollutants.

Keywords: Ventilation and air conditioning; Energy saving, low carbon; Direct-drive photovoltaic air-conditioning, Ice storage; Operation strategy

珠海某工业园区空调冷源方案分析

江崇旭^{1,2}, 田秀芳³

1.中国铁路设计集团有限公司, 中国·天津 300142

2.城市轨道交通数字化建设与测评技术国家工程研究中心, 中国·天津 300000

3.天津市建筑设计研究院有限公司, 中国·天津 300074

摘要: 在“双碳”目标战略背景下, 推动建筑产业的绿色发展已大势所趋, 通风空调系统作为建筑的用能大户, 如何节能、低碳运行是重要课题。本文以珠海某工业园区项目为例, 讨论了光伏直驱空调系统结合冰蓄冷的空调冷源设计方案, 并结合项目空调负荷分布、电价政策, 得出推荐的空调冷源系统运行策略, 结果显示, 该方案可实现空调系统低碳运行, 并能缓解夏季峰值用电负荷, 同时减少了二氧化碳、二氧化硫等污染物的排放。

关键词: 通风空调; 节能、低碳; 光伏直驱空调; 冰蓄冷; 运行策略

1 引言

中国“十四五”规划纲要将碳达峰、碳中和纳入经济社会发展和生态文明建设整体布局, 建筑产业是中国国民经济的重要支柱, 也是公认的高耗能产业之

作者简介: 江崇旭(1987—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为轨道交通环境调控与节能技术。

通信作者: 田秀芳(1988—), 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 建筑领域节能降碳技术。

基金项目: 中国铁路设计集团有限公司科技项目(编号: 2022A02158006); 雄安新区建设科学技术计划项目(第一批)(编号: 2021-16)

一。据统计, 中国建筑全过程能耗占能源消费总量比重为45.5%, 建筑全过程碳排放总量占全国碳排放的比重为50.9%^[1]。中国国务院、住房和城乡建设部陆续印发《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》《建筑节能与可再生能源利用通用规范》等文件, 明确节能低碳已经成为建筑产业发展的必要方向。在建筑能耗中, 通风空调系统能耗可达60%以上^[2], 且通风空调用电峰值与电力用电峰值基本重合, 目前电力供求矛盾突出, 峰谷负荷悬殊, 单纯增加装机容量并不能从根本上解决电力供求之间的矛盾, 反而会导致机组的生产能力不能充分发挥, 发电成本增高, 造成发电资源的浪费。为此, 国家制

定实时电价、分时电价以及需求报价或回购等措施^[3],鼓励错峰用电,且通过制定《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》等文件,明确建筑用能结构逐步优化,还提出,到2025年,中国新增建筑太阳能光伏装机容量0.5亿千瓦以上。因此,作为暖通专业,如何落实“双碳”政策,研究更适宜的系统、设备^[4-6],真正实现系统节能、低碳运行,降低电力用电峰值是一项重要课题。本文以珠海某工业园区空调冷源设计为例,阐述了其设计思路及策略,为通风空调系统设计提供参考。

2 工程概况

本工程位于珠海市高新区,总建筑面积为168738m²,地上部分包括7栋单体建筑,其中4号建筑为宿舍及食堂,3号建筑为库房,其余建筑均为生产厂房,最高建筑高度为79.80m,地下部分包括地下汽车库、人防、设备用房等,其建筑外形如图1所示。



图1 园区项目效果图

3 设计参数及冷负荷

3.1 室内外设计参数

空调室内外主要设计参数如表1, 2所示。

表1 空调室外气象参数

	干球温度 /℃	湿球温度 /℃	相对湿度 /%	风速 / (m/s)	大气压力 /hPa
夏季	33.7	27.5		2.2	1002.4
冬季	9.2		72	2.8	1016.6

表2 空调室内主要设计参数

	夏季室内温度 /℃	夏季相对湿度 /%	A 声级噪声标准 /dB	新风量 / (m ³ / 人·h)	人员密度 / (n ² / 人)
办公用房	26	≤ 60	40	≥ 30	8
研发用房	26	≤ 60	40	≥ 30	8
餐厅	26	≤ 60	50	≥ 20	1
会议室	26	≤ 60	35	≥ 20	2.5
电梯厅、走廊	27	≤ 60	45	≥ 20	50

3.2 冷负荷

本工程空调计算总冷负荷为11997kW (3411RT)。各区域的空调冷负荷如表3所示,设计日逐时冷负荷如图2所示。

表3 空调冷负荷

	空调冷负荷 /kW	建筑面积冷指标 / (W/ m ²)
1# 楼厂房	3572	105.4
2# 楼厂房	1032	109
3# 楼库房	--	--
4# 楼宿舍及食堂	2217	98.6
5# 楼厂房	2698	124.6
6# 楼厂房	1643	118.3
7# 楼厂房	835	110.4

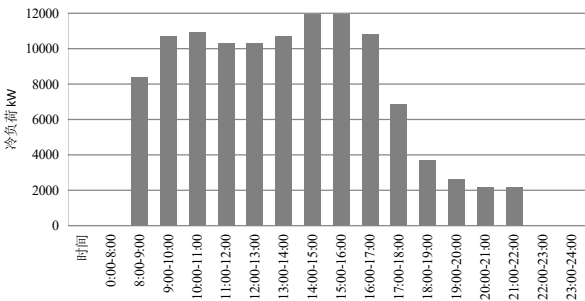


图2 空调逐时冷负荷

4 空调冷源方案

4.1 项目特点

项目建筑环境需求为舒适性空调,空调开启时段约6个月,空调系统运行时段为8:00—22:00,且日照强度大时,空调用电需求同步增大,通风空调用电峰值与电力用电峰值重合度较高。高峰时段,空调系统用电占比达,占建筑总用电量约50%。

项目坐落广东沿海一带,属于太阳能资源较富区,全年日照时数为2200—3000小时,全年太阳能辐照量为5400—6700MJ/m².a,适宜大规模推广太阳能的应用^[7]。项目所在地存在峰谷电价,峰谷电价差比约5:1,逐时电价如表4所示。园区周围无高大建筑遮挡,屋顶空间充足,结构能承受光伏系统的额外负荷,安装光伏发电系统条件较优。

表4 电价 (元/kWh)

尖峰	峰段	平段	低谷
11:00—12:00、15:00—17:00	10:00—11:00、14:00—15:00、17:00—19:00	8:00—10:00、12:00—14:00、19:00—24:00	0:00—8:00
1.62	1.3	0.78	0.31

注:尖峰电价执行实际为7月、8月和9月三个整月,以及其它月份中日最高气温达到35度及以上的高温天气。

4.2 空调冷源方案初选

结合本项目的特点提出了2种初选空调冷源方案，常规电制冷机组方案和光伏主机+双工况主机冰蓄冷方案。电制冷机组COP值较高，控制相对简便。太阳能光伏系统属可再生能源、清洁安全、低碳，同时冰蓄冷技术能转移高峰电力，开发低谷用电，优化资源配置。两种方案技术对比情况如表5所示。

表5 空调冷源方案技术比较

方案	系统形式	技术要求及特点	本项目适用情况
1	常规电制冷机组	电网夏季供电充足。电制冷机组的 COP 值较高，在 4.1 以上，单机容量大，调节方便，运行可靠，易于维修，在 15%—100% 的范围内能较经济地实现无极调节。	电网夏季供电充足。
2	光伏主机 + 双工况主机冰蓄冷	执行峰谷电价，差价较大；冷负荷高峰与电网高峰时段重合，电网低谷时段空调负荷较小；逐时负荷峰谷悬殊，大部分时间处于部分负荷下运行；电力容量或电力供应受限；日照良好，建筑有安装光伏板的位置。	执行峰谷电价，峰谷电价差比约 5:1，冷负荷高峰与电网高峰时段重合，电网低谷时段空调负荷小，且空调经常处于部分负荷运行。日照良好，各单体屋顶均可安装光伏板。

4.3 主要设备选型

(1) 电制冷机组

选用4台电制冷机组，制冷量为900RT，蒸发器6/13℃，冷凝器32/37℃。

(2) 光伏主机

综合考虑建筑群分布、结构荷载、屋顶空间、全年总辐射强度最大等因素，在楼顶安装1800块450wp/块的太阳能发电组件，采用东南向10°倾角安装，可满足空调负荷约1350RT。选用3台光伏冷水机组，制冷量为450RT，蒸发器6/13℃，冷凝器32/37℃。

(3) 双工况主机

设计日空调总冷负荷为32312RTH，光伏空调可承担冷负荷为13050RTH，双工况冰蓄冷系统需满足19262RTH。由于设备用房面积受限，采用主机优先的部分冰蓄冷策略。蓄冰系统采用主机上游、盘管下游的串联流程，系统运行效率高，电耗少。蓄冷设备采用盘管式内融冰形式。选用2台双工况制冷机组，空调工况为750RT，蒸发器6/11℃，冷凝器32/37℃；制冰工况：536RT，蒸发器-5.6/-2℃，冷凝器30/33.7℃。蓄冰装置采用不完全冻结式，单台蓄冰量780RTH，共12台。

4.4 空调冷源方案优选

两种方案技术上均可行，为了进一步优选空调冷热源方案，从方案初投资、运行费用、寿命周期内年

平均费用、环保效益等方面进行综合计算比较。

寿命周期内年平均费用的计算公式为：

$$R = C(1 + 5i) / 20 + Y = 0.065C + Y \quad (1)$$

式中 R为寿命周期内年平均费用；C为设备初投资；5为贷款年限；i为贷款利率，4.75%（2022年）；20为寿命周期；Y为年运行费用。

表6为方案经济比较结果，可以看出，方案2较方案1初投资增加998万元，平均全年运行费用节省154.5万元，增加投资部分的静态回收期为6.5年。方案1和方案2寿命周期内年平均费用分别为508.8万元和419.2万元。

表6 空调冷源方案经济比较

方案	系统形式	冷源初投资 / 万元	平均全年运行费用 / 万元	寿命周期内年平均费用 / 万元	经济性排序
1	常规电制冷主机	1865	387.6	508.8	II
2	光伏主机 + 双工况主机冰蓄冷	2863	233.1	419.2	I

按照《可再生能源建筑应用工程评价标准》^[8]给定方法，对二氧化碳、二氧化硫等污染物的减排量进行评估，公式如（2）、（3）。计算每消耗1kW.h的电量，相当于燃烧了0.32kg的标准煤^[9]。

光伏直驱空调系统的全年二氧化碳减排量计算公式为

$$Q_{dco2} = Q_{td} \times V_{co2} \quad (2)$$

式中 Q_{dco2} —光伏直驱空调系统的二氧化碳减排量，kg； Q_{td} —光伏直驱空调系统的常规能源替代量，kg标准煤； V_{co2} —标准煤的二氧化碳排放因子，kg/kgce，为2.47kg/kgce。

光伏直驱空调系统的全年二氧化硫减排量计算公式为

$$Q_{dso2} = Q_{td} \times V_{so2} \quad (3)$$

式中 Q_{dso2} —光伏直驱空调系统的二氧化硫减排量，kg； V_{so2} —标准煤的二氧化硫排放因子，kg/kgce，为0.02kg/kgce。

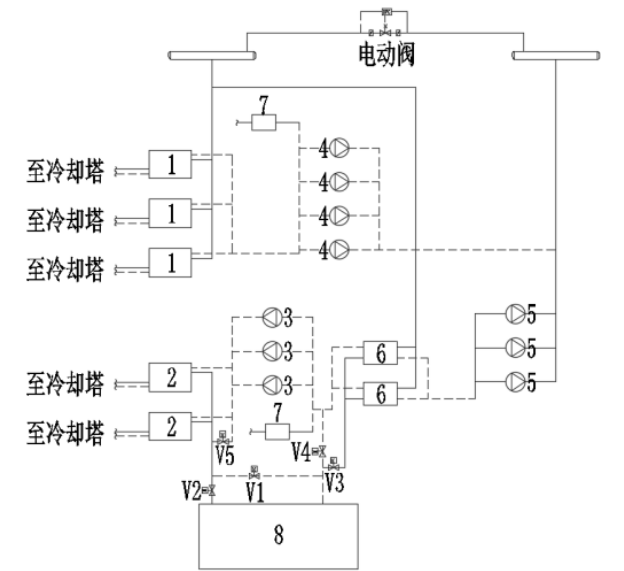
表7为方案环保效益比较结果，可以看出，方案2较方案1每年二氧化碳减排量为737944kg，二氧化硫减排量为5974kg，使用安全，环保效益较好。

表7 空调冷源方案环保效益比较

方案	系统形式	二氧化碳排放量 / kg	二氧化硫排放量 / kg	环保效益排序
1	常规电制冷主机	2785080	22550	II
2	光伏主机 + 双工况主机冰蓄冷	2047136	16576	I

注：方案2中全年用电量扣除光伏用电量。

综上，综合技术、经济、环保等因素，本项目空调冷源采用光伏主机+双工况主机冰蓄冷方案。制冷机房及蓄冰装置设置在地下一层。空调冷源系统示意图如图3所示。



1光伏冷水机组 2双工况冷水机组 3乙二醇水泵 4光伏冷冻水泵 5二次冷冻水泵 6板式换热器 7定压补水装置 8蓄冰装置

图3 空调冷源系统示意图

5 系统运行策略

由于太阳能周期性和不稳定的变化特点，光伏制冷系统往往只在晴朗白天有较高的运行效率。同时，建筑空调负荷也在波动。为此，需要结合光伏发电量和空调用电量关系、光伏主机与蓄冰装置与空调负荷关系制定合理的系统运行策略，以实现在满足功能的条件下，系统高效节能运行。

5.1 光伏空调系统运行策略

空调冷源用电采用光伏发电，如图4所示，其系统运行策略如下：

- ①光伏工作模式：光伏发电量 = 空调用电量，光伏全部供空调；
- ②混合供电工作模式：光伏发电量 < 空调用电量，光伏和公共电网供空调；
- ③余电供其他设备工作模式：光伏发电量 > 空调用电量，余电供其它设备；
- ④纯空调工作模式：光伏发电系统不工作，公共电网供空调；
- ⑤纯光伏发电工作模式：当空调机组不工作，相当于小型发电站。

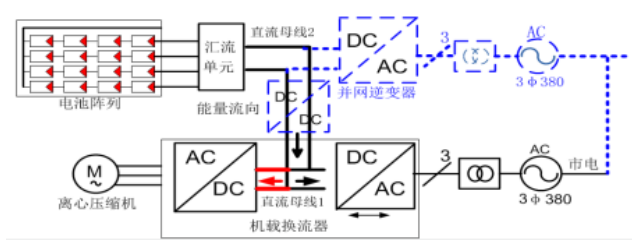


图4 空调冷源用电采用光伏发电图

5.2 空调冷源系统运行策略

结合电价及空调负荷情况，空调冷源系统运行策略设置3个工况。

- ①光伏主机与蓄冰装置联合供冷模式。负荷较大时，开启模式为光伏主机优先，其次蓄冰制冷主机，最后融冰供冷。其中光伏主机采用光伏供电。
- ②融冰单独供冷模式。负荷不大，融冰单独供冷，最大限度节省运行费用。
- ③双工况主机制冰模式。电力低谷时段（0:00—8:00），2台双工况主机满负荷制冰。判断蓄冰结束的标准有：冰量传感器检测实际蓄冰量已达到设计值；时钟显示低谷电时段已结束；主机蒸发器出口温度降至-5.6℃以下，这3个条件达到其中任意一个即停止蓄冰工况运行。

空调冷源系统运行模式的切换需各控制阀进行调节，各工况控制阀开启状态见表8。

表8 控制阀开启状态

工况	V1	V2	V3	V4	V5
主机蓄冰	关	开	关	开	关
主机单供冷	开	关	开	关	关
主机供冷 + 冰槽释冷	调节	调节	开	关	关
冰槽释冷	调节	调节	开	关	开

5.3 空调负荷分配

基于前文制定的系统运行策略，将项目典型日的空调负荷分配图整理如图5所示。图中体现了光伏空调系统优先，融冰供冷提供基础冷量，制冷主机调峰的运行策略的核心思路。即在阳光充足的时段，优先利用清洁、免费的太阳能作为空调系统输入能源。蓄冷系统利用夜晚“谷电价”进行冰蓄冷，在“平和峰电价”时段根据蓄冷总量，提供相对平滑的基础冷量。在光伏主机和融冰系统供冷之外的冷负荷，由制冷主机灵活提供。

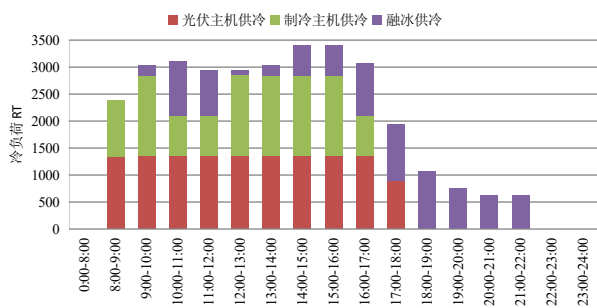


图5 空调冷源负荷分配图

6 结语

通风空调系统作为建筑的用能大户，合理确定空调系统冷源方案对落实“双碳”目标战略有重要促进作用。本文以珠海某工业园区项目为例，开展空调冷源方案技术经济比选。结果显示，在太阳能资源丰富、峰谷电价差较大地区，采用光伏主机+冰蓄冷的空调冷源方案具有经济、环保优势。并结合项目空调负荷特性和能源供给特征，设计光伏主机与蓄冰装置联合供冷、融冰单独供冷、双工况主机制冰等3类运行模式，实现了节约用能及缓解夏季峰值用电负荷的目的。

参考文献

[1] 中国建筑节能协会建筑能耗与碳排放数据专委会

.2022 中国建筑能耗与碳排放研究报告 [R]. 重庆, 2022.

[2] 聂清珍.暖通空调系统节能与节支优化策略研究 [D]. 山东大学, 2010.

[3] 王弟, 黄志强, 陈庆兰. 需求响应在电力市场中的应用 [J]. 电力需求侧管理, 2007,9(2):71-73.

[4] Wang C, Gong G, Su H, et al. Dimensionless and thermodynamic modelling of integrated photovoltaics - air source heat pump systems[J]. Solar Energy, 2015,118(aug.): 175-185.

[5] 苏坤烨. 分布式独立光伏空调系统性能及部件匹配特性研究 [D]. 云南师范大学, 2016.

[6] 王良. 光伏直驱热泵系统性能及其能量耦合特性研究 [D]. 云南师范大学, 2020.

[7] 李定鹏. 基于碳审计的珠三角高密度城市商业建筑太阳能应用优化设计研究 [D]. 广州大学, 2022.

[8] GB/T 50801-2013, 可再生能源建筑应用工程评价标准 [S].

[9] 闪锦淮. 光伏直驱空调系统性能的理论实验研究 [D]. 重庆大学, 2021.