

文章编号: 1671-6612 (2025) 06-881-09

水蓄冷蓄热技术在工厂项目中的应用研究

官玲俊¹ 周晓新¹ 张东亮² 杨建坤²

(1. 广州施杰节能科技有限公司 广州 510440;

2. 广州航海学院 广州 510725)

【摘要】 在响应平谷峰电价差的政策下, 基于既有项目现状分析, 优化空调冷热源原设计方案(冷水机组+冷热水变频机组), 提出冷热源新方案: 变频冷水机组+水蓄冷蓄热系统, 并且通过对南京某电路板生产线厂房冷热源系统原方案与新方案的节能性、初投资和运行费用等对比分析, 得出结论: 水蓄冷蓄热的空调方案虽然增加了初投资, 但与原方案相比, 可节省约 50% 的运行费用, 投资回收期约为 2.4 年, 经济效益显著, 研究工作为蓄冷蓄热技术在类似项目的推广提供了重要的参考依据, 对实现建筑节能和国家双碳目标战略具有重要意义。

【关键词】 常规空调; 水蓄冷蓄热; 初投资; 运行成本; 经济性

中图分类号 TK01 文献标志码 A

Study on the Application of Chilled and Hot Water Storage Technology in Factory Project

Guan Lingjun¹ Zhou Xiaoxin¹ Zhang Dongliang² Yang Jiankun²

(1. Guangzhou SJ-Energy Saving Technology Co., Ltd, Guangzhou, 510440;

2. Guangzhou Maritime University, Guangzhou, 510725)

【Abstract】 Under the policy electricity price difference among normal, valley and peak period, based on the analysis of the current situation of existing project, the original design scheme of air conditioning cold and heat source (chiller unit+cold and hot water variable frequency unit) is optimized, and a new scheme of cold and heat source is proposed: variable frequency chiller unit+chilled and hot water storage system. Through comparative analysis of the energy saving, initial investment and operating costs of the original and new scheme in a circuit board production line factory in Nanjing, it is concluded that although chilled and hot water storage scheme increases the initial investment, it can save about 50% of the operating costs compared to the original scheme, with an investment payback period of about 2.4 years and significant economic benefits. This research work provides important reference for the promotion of chilled and hot water storage technology in similar projects. It is of great significance to achieve building energy conservation and the national dual carbon target strategy.

【Keywords】 Conventional air conditioning; Chilled and hot water storage; Initial investment; Operating costs; Economy

0 引言

随着环保意识的增强及城市化进程的变缓, 为落实国家 2030 年“碳达峰”及 2060 年“碳中和”的目标政策, 节能减排在加速推进^[1]。建筑能耗在

总能耗中的占比越来越大, 建筑节能尤为重要, 因此低能耗技术的应用及需求在建筑行业中至关重要。在大型建筑或对工艺要求极高的工厂建筑, 空调能耗占据了建筑能耗的一半以上, 且有增长的趋

基金项目: 广州航海学院校级科研基金项目 (K42022108, K42024047)

作者简介: 官玲俊 (1984-), 男, 硕士, 高级工程师, E-mail: 409687363@qq.com

通讯作者: 杨建坤 (1973-), 男, 博士, 教授级高工, E-mail: 23502449@qq.com

收稿日期: 2025-05-09

势,空调系统的节能设计与应用在节能和环保方面具有重要的意义^[2]。

当前高峰用电负荷越来越大,各地为鼓励用户在电力低谷段用电,出台了很多峰平谷优惠电价政策,如广东发改委在 2017 年发文决定在全省范围内实行蓄冷蓄热电价政策,且谷平峰电价比达到了 0.25:1.0:1.65。工厂是用电大户,白天负荷大,夜间负荷小,且一般为城市的郊区,有条件放置蓄热罐和蓄冷罐^[3]。工厂不同工艺对空调的要求也各不相同,且全年空调负荷大、运行时间长,甚至有些工艺需全年供冷,采用水蓄冷及蓄热技术^[4],对电网的削峰填谷效果明显,也能大量的节省用户运行费用。本文通过对南京某工厂空调冷热源的扩建改造项目进行分析,提出采用高效机房结合蓄冷蓄热技术方案,对比分析改造前后初投资、运行费用及回收期等,发现目前国内既有空调项目还有非常大的节能潜力。接下来,以南京某工厂电路板生产线项目空调冷热源为例,分析常规空调冷热源机房改造为高效机房结合水蓄冷蓄热技术的节能措施^[5-9]。

1 项目背景

南京某电路板生产线厂房建筑面积为 4.04 万 m² (图 1 为项目鸟瞰图),该项目需全年供冷、冬季需同时供冷供热(每年 1 月、2 月、3 月、11 月及 12 月)以满足生产需求。



图 1 项目鸟瞰图

Fig.1 Project aerial view

原设计方案采用冷水机组直供(总装机容量为 3800RT)来满足末端用冷需求,采用带热回收功能的机组来满足末端用热需求,且在热回收供热不足或不稳定的时候开启备用的风冷热泵机组(1700kW)来满足用热需求,冷热源系统图如图 2 所示。该方案为 1 台 1000RT 不带热回收的低温变频冷水离心机组、1 台 1000RT 不带热回收的低温磁悬浮冷水离心机组、1 台中/低温互备 1000RT 带热回收的变频冷水离心机组、1 台 800RT 中温带热回收的变频冷水离心机组、1 台 1700kW 的风冷热泵热水机组。由此,该传统设计理念可以满足用户的基本需求,其节能思路更多的是仅依靠提升单一设备或单个子系统的能效,这种做法虽有一定节能效果,但仍存在很大的节能空间。

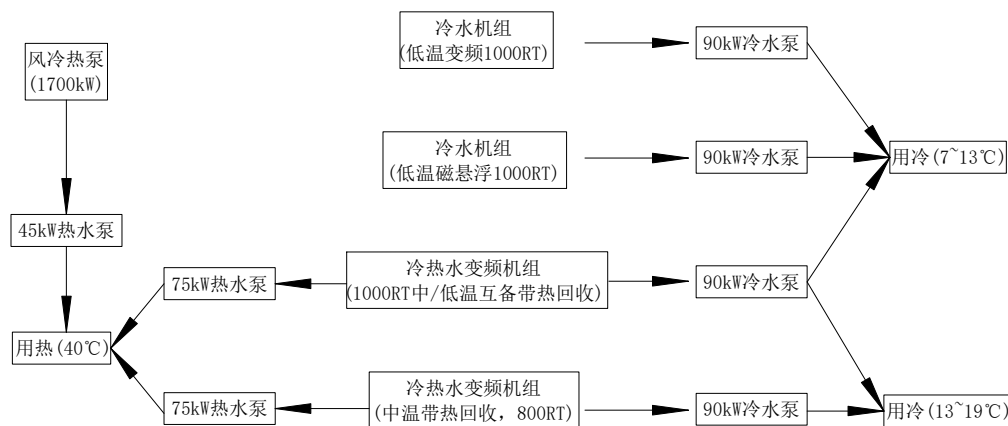


图 2 原方案冷热源系统图

Fig.2 Original scheme of cold and heat source system

2 节能方案分析

针对于原设计节能效果不是最优,本文提出了

全新的节能理念,并选择了合适该项目的节能改造方案。新设计方案采用了全新的设计理念,实现了

机房的高效节能运行^[10,11], 主要体现在以下几个方面: ①通过大温差串联蓄放冷提高蓄冷量, 且冬天采用双罐冷热同时双蓄, 省去了原先的风冷热泵和泵组, 在低谷蓄热能节约电费; ②通过运用 Pipe Flow Exper 软件进行精细建模水泵, 确定不同蓄放冷模式下水泵扬程; ③利用 BIM 对图纸建模进行深化, 优化了机房内管道的走向, 减少了系统的阻力; ④蓄冷蓄热采用管道布水管+孔板布水以加密布水, 确保了蓄冷罐内的水温均匀, 提高了整个系统的运行效率; ⑤引入先进的水蓄冷控制系统, 以智能控制为核心, 依托高精度的传感器网络与强大的可编程逻辑控制器 (PLC), 确保了系统时刻能在最优模式运行。

通过项目现状及业主需求分析, 从系统经济性的角度出发, 在保持与原先空调主机相同装机容量下 (3800RT), 在尽可能不改动原设计的基础上, 新方案取消原风冷热泵热水系统和原磁悬浮冷水机组系统, 将原磁悬浮冷水机组优化调整为变频式冷水离心机组 (由于采用蓄冷罐放冷可以适应低负荷, 不再需要磁悬浮机去适应低负荷, 优化调整为变频机)。新方案为 2 台 1000RT 不带热回收的低温变频冷水离心机组、1 台中/低温互备 1000RT 带热回收的变频冷水离心机组、1 台 800RT 中温带热回收的变频冷水离心机组, 2 个容量为 2500m³ 的冷热水罐 (其中 1 个为蓄冷兼蓄热水罐, 另 1 个为纯蓄冷水罐) [12]。

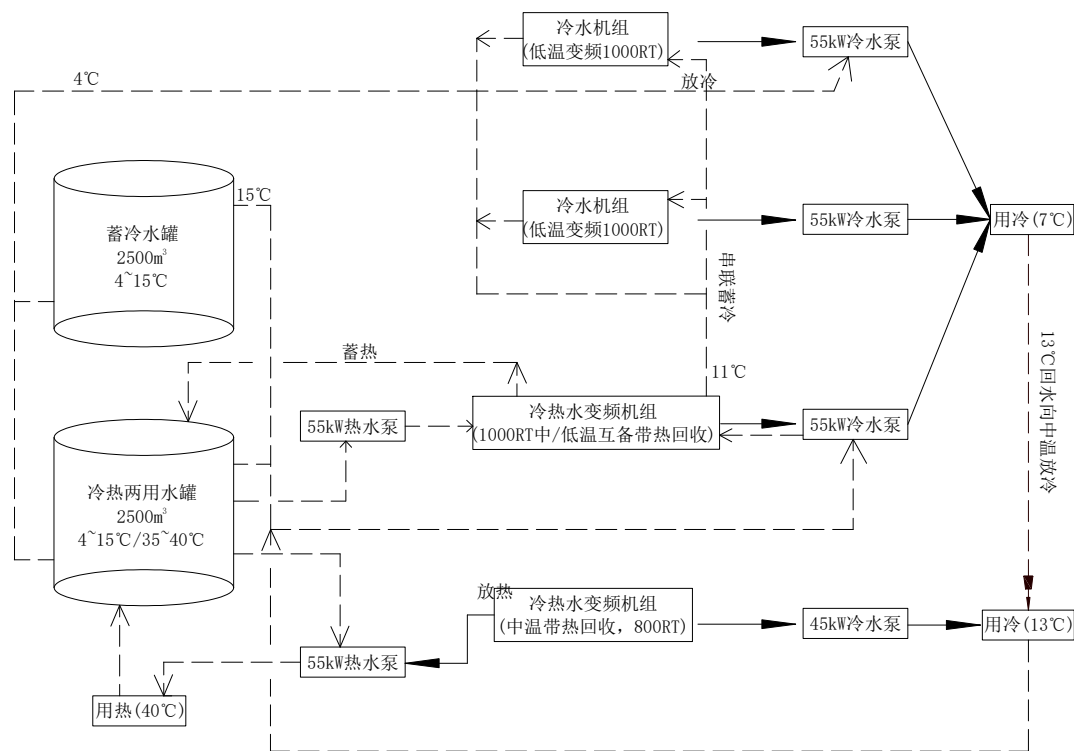


图 3 新方案冷热源系统图

Fig.3 Proposed scheme of cold and heat source system

图 3 为该项目新方案冷热源系统示意图, 4 台离心机组均为高效变频机组, 采用夜间低谷时最大限度蓄冷蓄热、白天用电高峰时放冷放热模式。供冷系统包括直供系统【(冷水机组直供)和蓄冷罐直供系统 (2500m³ (蓄冷)+2500m³ (蓄冷蓄热))】以及联合供冷系统, 供冷系统全年 24 小时保持运行, 以保证末端用冷需求。供热系统包括直供系统 (中温 1000RT+800RT 变频热回收机组) 和蓄热直

供系统【2500m³ (蓄冷蓄热)】以及联合供热系统, 供热系统在全年 1、2、3、11、12 月运行, 以保证末端用热需求。此外, 4 台机组中的其中 2 台带热回收系统, 2 台热回收冷水机组均采用变频高效机组, 在不同负载率情况下, 均能实现高效运行, 该系统可以提供 40℃ 热水, 夜间 2 台机组轮流使用蓄热, 冬天也可以与蓄热罐同时供热使用。该项目通过设置 57 个可调电动阀门集中控制并采用高效

控制软件平台实现 10 种不同运行模式,且这 10 种模式可以自由切换,10 种模式分别为:①低温直供;②中温直供;③夜间蓄冷;④夜间边供边蓄冷;⑤边蓄边供(供冷,800RT 离心冷水机组故障时);⑥白天放冷;⑦白天中温机直接供热;⑧夜间中温机蓄热;⑨夜间边蓄边供热;⑩白天放热。

该项目有 4 个工艺,如图 4 所示,不同工艺对空调的要求不尽相同。其中工艺 1 和 2 为低冷系统,需提供 7℃ 冷水,13℃ 回水;工艺 3 为中温系统,需提供 13℃ 冷水,19℃ 回水;工艺 4 为高温系统,需提供 18℃ 冷水,22℃ 回水。

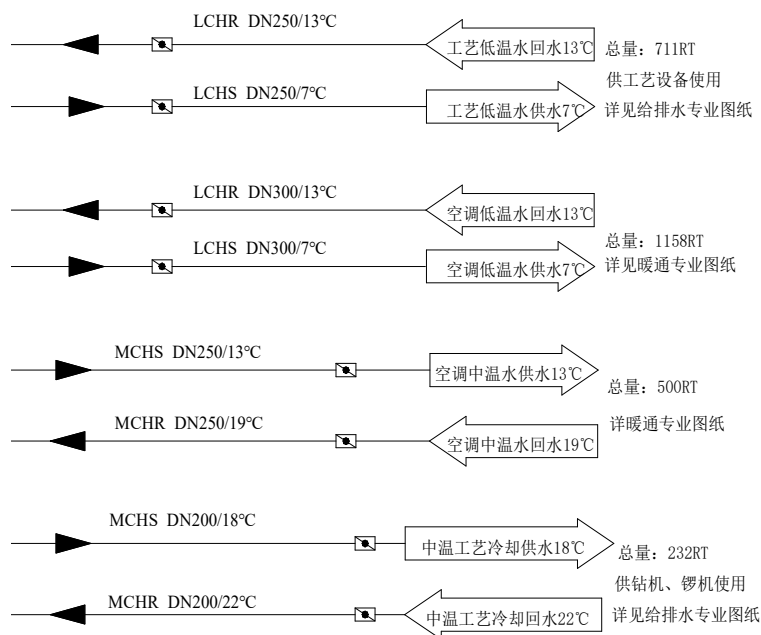


图 4 新方案工艺方案图

Fig.4 Proposed scheme technological process

由于项目末端含盖了低温、中温及高温 3 种不同供冷温度,这就要求我们在系统供冷设计时充分考虑三种不同用冷需求。蓄冷蓄热系统包括了【2500m³(蓄冷)+2500m³(蓄冷蓄热)】,其中 2500m³(蓄冷)是需全年蓄冷放冷,2500m³(蓄冷蓄热)在全年 1-2-3-11-12 个月份作为蓄热作用,蓄冷蓄热可以自由切换,满足不同季度能量需求,实现了一罐多用,在蓄冷罐管道布水系统中,采用了联合孔板布水方式,可以用于控制和优化冷水分配,确保蓄冷罐内的水温均匀,减少因水流不均可能引发的系统波动,增强了系统运行的稳定性,从而提高整个系统的运行效率。由于空调末端用热需求仅在冬天,为了节省投资,本项目充分考虑了高效变频热回收机组,不仅满足了能效需求,也满足了多机多用功能,夏天按照正常冷水机组使用,提供中温与高温冷水,提高了系统能效。同时项目还采用了冷冻水串联系统,将低温空调系统(7℃/13℃)的工艺 1 回水 13℃ 作为中温空调系统

(13℃/19℃) 工艺 3 供水温度,形成供回大温差 7~18℃ 供水,从而实现了能源的高效利用。而项目蓄冷蓄热的节能策略是在夜间电价低谷时最大限度蓄冷蓄热、白天用电高峰电价最高时放冷放热模式,可以实现夏季峰段基本不开主机,冬季全天无需开主机,以保证系统处于最低费用运行。

本项目水泵均采用了高效水泵,直供冷冻水泵以及蓄冷、放冷泵为同一套水泵系统,直供热水泵与蓄热、放热为同一套水泵系统,实现了一泵多用途,水泵的多用不仅可以优化水泵设计及管路设计,而且还能利用电动阀开关,实现水泵的多重利用用途,是一种重要的节能举措,也能节省设备的初投资。

最后本项目在控制上采用了高效精准的控制平台系统,该平台分为 6 个模块,一是系统首页(各类数据展示),二是运行控制(系统的运行及控制是否正常可视),三是能耗分析(历史能耗数据可视),四是能效分析(历史能效数据可视),五是

报警运维（实时检测系统运行是否正常，不正常时故障报警及出具报告），六是报表管理（记录实际运营数据）。

3 初投资分析

项目原设计方案，采用的是 1 台低温变频 1000RT 冷水机组+1 台低温磁悬浮 1000RT 冷水机组+1 台中/低温互备变频 1000RT（带热回收）冷水机组+1 台中温变频 800RT（带热回收）来解决系统的用冷用热需求，总装机容量为 3800RT，此外，当深冬季节，当热回收供热不足或不稳定时，采用 1 台 1700kW 的风冷热泵供热来满足用户用热需求。通过分析，原设计方案实际装机有一定富余，结合当地有峰谷平电价的政策，而且原设计方案热回收及供热不稳定因素，受业主委托重新改进优化原方案，采用的是 1 台低温变频 1000RT 冷水机组

+1 台低温磁悬浮 1000RT 冷水机组+1 台中/低温互备变频 1000RT（带热回收）冷水机组+1 台中温变频 800RT（带热回收）来解决系统的用冷用热需求，总装机容量为 3800RT，保持不变。新旧方案在机组的区别如下：仅把原方案的那台低温磁悬浮 1000RT 冷水机组换成低温变频 1000RT 冷水机组，除此之外取消原先的风冷热泵机组，并增加 2 个 2500m³ 容量的蓄冷蓄热水罐。新旧设计方案系统用冷用热原理示意图如图 2 和 3 所示。

新方案通过使用软件精细建模，导入水泵的性能，计算不同蓄放冷模式下水泵需要的扬程，并模拟论证流量、压力是否满足各个模式的运行，基于此，原先水泵在流量及扬程和功率均大为优化，表 1 和表 2 为优化前后水泵的参数，优化后水泵总功率降低明显，功耗较原设计方案降低了 (896-563)/896×100%=37%，节能效果明显。

表 1 原方案水泵参数表

Table 1 Original scheme pump parameters

名称	流量/(m³/h)	扬程/m	功率/kW	数量/台	单价/万元
1000RT 冷冻泵	550	35	90	3	25
1000RT 冷却泵	800	28	90	3	25.6
800RT 冷冻泵	450	35	75	1	22.6
800RT 冷却泵	640	28	75	1	23
热水水泵	480	35	75	2	22.6
板换水泵	100	35	18.5	3	5.6
——		总功率	896	总价	259.4

表 2 新方案水泵参数表

Table 2 Proposed scheme pump parameters

名称	流量/(m³/h)	扬程/m	功率/kW	数量/台	单价/万元
1000RT 冷冻泵	500	28	55	3	20
1000RT 冷却泵	710	21	55	3	20
800RT 冷冻泵	420	28	45	1	18.2
800RT 冷却泵	580	21	45	1	19.3
热水水泵	480	28	55	2	20
板换水泵	100	28	11	3	5.6
——		总功率	563	总价	214.3

经询价，原方案初投资约为 1525 万（其中水泵价格约为 259.4 万元，4 台冷水机组加风冷热泵约为 1150 万，管道与阀门附件等约为 115 万），新方案为 1925 万（其中水泵价格约为 214.3 万元，

4 台冷水机组约为 1000 万，2 个 2500m³ 蓄冷蓄热水罐约为 460 万，管道与阀门附件等约为 250 万），新方案在原方案基础上增加了 400 万初投资（含两个 2500m³ 蓄冷蓄热水罐）。

4 运行费用分析

根据业主要求,该项目急于投产使用,于2022年底投入使用,在蓄冷蓄冷系统未完成施工前,至2023年8月之前均为冷水机组直供运行,2023年

8月蓄冷蓄热系统完成后,将结合蓄冷蓄热系统共同运行,新方案的能效预期值为EER5.58或冷热量电费指标0.081元/kWh。

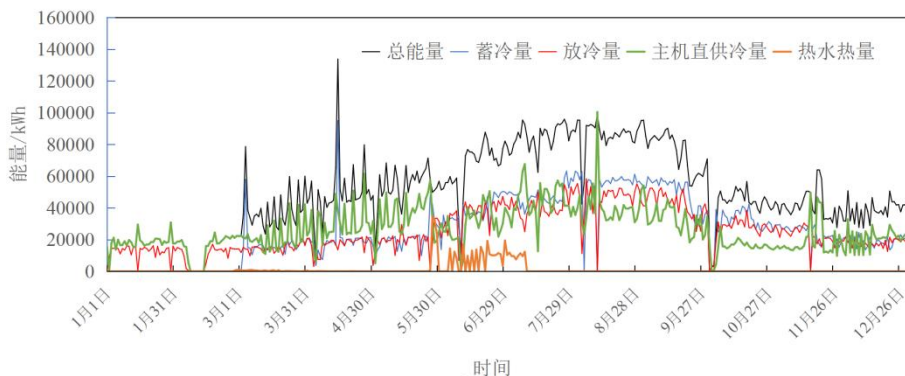


图5 2024年1月-12月项目逐日冷量、热量图

Fig.5 Daily cooling and heating capacity (January-December 2024)

图5为2024年1~12月份项目逐日冷量、热量分析图,由此可知,生产线1~2月及三月上旬冷热负荷均有较低的需求,而从3月11日始,热负荷逐渐减少,冷负荷随室外气温逐步上升而上升,7~9月咨询冷负荷达到了全年的峰值,负荷范围基本上在80000~100000kWh之间,约为春冬季的2~4倍,主要原因为冬季(1月至3月初),室外的气温较低,项目中两个水罐在夜晚分别作为蓄冷蓄热使用,在白天只作为释冷/释热运行,且能满足生产线空调所需冷热负荷,白天基本上不需要开冷水机组运行(除个别天气外),而在春季(3月中至5月下旬),随着室外气温的逐步上升,其中一

个水罐需每天蓄冷,另外一个水罐需间隔3~4天蓄热一次,两个水罐需在白天释冷/释热,并且还要开启冷水主机直接联合供冷才能满足系统需求,在夏季(5月底至9月底),室外气温将持续上升,两个水罐同时在晚上每天蓄冷,此时由于白天室外气温较高,水罐则无需在夜晚蓄热,白天时两个水罐同时释冷,且开启冷水主机同时直接联合供冷来满足系统冷负荷需求,在秋季(10月底至12月底),随着室外气温的降低,其中一个水罐需每天蓄冷,另一个则几天蓄热一次,两个水罐需在白天释冷/释热,白天需要开启冷水主机联合供冷,以满足生产负荷需求。

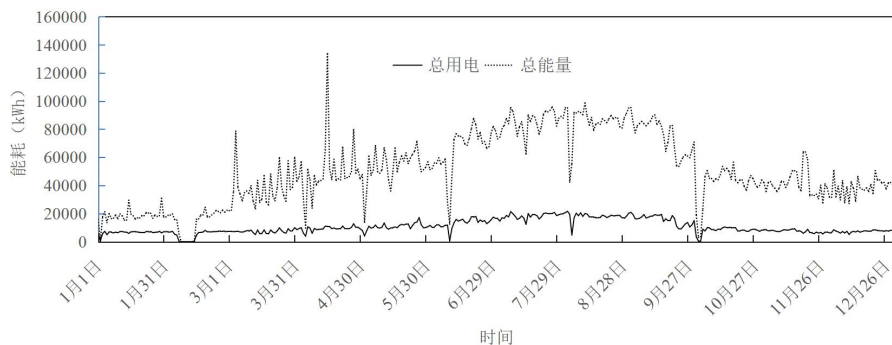


图6 2024年1月-12月逐日总冷热量、总电量图

Fig.6 Daily total cooling/heating capacity and electricity consumption(January-December 2024)

图6为2024年1月-12月份项目的逐日总冷热量、总电量统计图,由此可知,车间用冷情况的不同和室外气温变化都将会导致系统的用电量不同,且系统用电量会随生产线所需冷热量加大而加

大,随着室外温度的降低而降低,八月份的时候最高日用冷量达到了峰值98683.73kWh,此时用电量为20039.72度,能效比为4.92,满足高效机房的节能要求。另外,图中可以看出,1~6月份、10~12

月份日用电量多数情况下主要介于 5000~10000kWh 之间，6~9 月份日用电量多数情况下主要在 15000~20000kWh 之间，其中在 8 月 3 日

时用电量达到了最高值 21629.4kWh，主要原因是室外气温较高，机组运行负荷大，且要满足生产线的用冷用热需求。

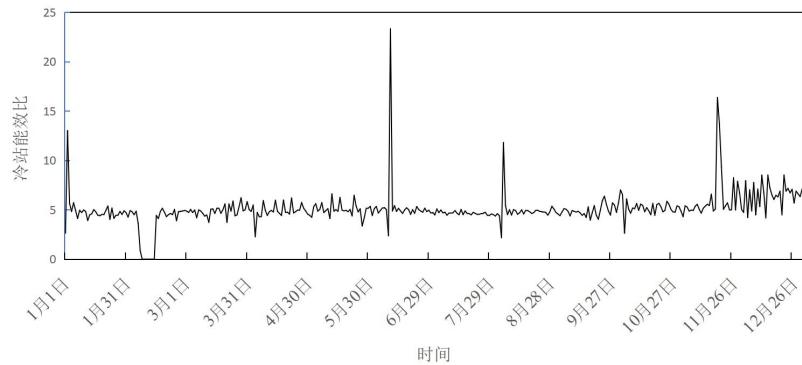


图 7 2024 年 1 月-12 月逐日冷站能效图

Fig.7 Daily refrigeration plant EER (January-December 2024)

图 7 为该项目 2024 年 1 月-12 月逐日冷站能效图，可以看出在 2024 年，除个别天气外，冷站的能效比多数时间在 4.5~5.5 之间，全年能效平均值为 5.05（此数据来自于平台），满足高效机房的要求。1~3 月初，该时间属于冬季，系统采用冷热双蓄，白天只放冷/放热，白天除个别情况外均不开启主机直接供冷或供热，生产线所需的冷量和热量均由蓄冷水罐或蓄热水罐提供，由于室外温度较低，机组运行不在最佳范围内，因此能效比相对来说较低，为 4.5 左右。从 3 月 11 日起，进入春季，室外的气温逐步上升，在平段电的白天时间需要逐步开启冷水机组直供，直供的开启时间占比也随室外气温的升高逐步加大，该模式一直持续至 5 月底，此时白天冷水机组的直供冷量占比已等同于蓄冷水罐的放冷量，作为冬季春季使用的蓄热热罐也已转换为蓄冷冷罐使用，且机组运行在机组的高效范围内，能效比较高，平均值能较好的维持在 5 左右，甚至有时候达到了 6。从 6 月开始到 9 月底，两个水罐均夜间蓄冷，白天放冷，相比之前一个蓄冷水罐时白天的放冷量提升了 1 倍，白天持续高

温，冷水机组供冷所需电量较高，因此冷站的能效比相比春季却有所下降，但在夜间时，由于室外气温相对白天低了 10 度，从而夜晚蓄冷期间冷凝器的运行水温工况相比春季冬季却有一定的优势，从而使得日均能效比又有了一定的提升，日均能效比能到 4.5~5.0 的范围。在秋季（10 月底至 12 月底），随着室外气温的降低，其中一个水罐的夜间蓄冷转换为蓄热，两个水罐需在白天释冷/释热，为满足生产需求同时白天也需要开启冷水主机联合供冷，此时在白天机组运行工况较好，因此冷站能效比也较高，平均能效比为维持在 5.5 左右。

2024 年 1~12 月年逐月冷热量、电费及单价汇总如表 3 所示（表中数据来源于项目平台的运行数据），表中冷热量单价为双蓄总电费与总冷热量的比值，由表可以知道，该项目 2024 年的总供冷量为 1750.36 万 kWh，总供热量为 149.26 万 kWh，总用电量为 388.75 万度，总用电费为 144.94 万元，根据统计数据可以得到 2024 年冷热量平均单价为 0.074 元/kWh，达到预先设定目标值 0.081 元/kWh 指标要求。

表 3 2024 年 1~12 月年逐月冷热量、电费及单价汇总表

Table 3 Monthly cooling/heating capacity, electricity cost, and unit price of cooling/heating capacity (January-December 2024)						
时间/月	末端冷量/kWh	热水热量/kWh	总冷热量/kWh	总用/kWh	双蓄总电费/元	冷热量单价/(元/kWh)
2024.01	612546	328879	941425	201627	73549	0.078
2024.02	407020	257698	664718	144687	51088	0.077
2024.03	871189	250300	1121489	226597	87098	0.078
2024.04	1252811	129855	1382667	280054	116766	0.084

续表 3 2024 年 1~12 月年逐月冷热量、电费及单价汇总表

Table 3 Monthly cooling/heating capacity, electricity cost, and unit price of cooling/heating capacity
(January-December 2024)

时间/月	末端冷量/kWh	热水热量/kWh	总冷热量/kWh	总用/kWh	双蓄总电费/元	冷热量单价/(元/kWh)
2024.05	1570809	96289	1667098	334309	144852	0.087
2024.06	1943827	9707	1953534	399748	141513	0.072
2024.07	2626048	0	2626048	564227	213746	0.081
2024.08	2653488	7652	2661140	561886	204790	0.077
2024.09	2257558	6414	2263972	473040	164613	0.073
2024.10	1270171	376	1270546	249565	85984	0.068
2024.11	1121244	126633	1247877	224246	82359	0.060
2024.12	916851	278774	1195625	227506	83047	0.056
总计	17503559	1492577	18996136	3887492	1449405	0.074(均值)

原方案为常规制冷和常规供热，系统节约费用的分析，由于项目仅在设计阶段，因此费用分析需要拟定参考模型，选定参考模型为常规制冷系统和常规供热的风冷热泵系统。对于新建常规制冷系统，一般全年能效 4.5kW/kW 左右，将以此作为常规制冷系统的耗电量、电费的计算。对于风冷热泵系统，参考某品牌选型样册，考虑热水水泵装机 18.5kW，则综合总 COP 为 3.33kW/kW，以此作为直供热系统的制热耗电量、电费的计算依据。风冷热泵系统参数为：热泵主机制热量为 817kW，功率为 227kW，热泵主机 COP 为 3.6，热水泵功率为

18.5kW，系统总功率为 245.5kW，总 COP 为 3.3。

选定参考模型后，进行相应的系统费用模拟分析，得到相关指标，表 4 为原方案 2024 年逐月常规供冷供热耗电量、电费及单价汇总表，由表 4 可知，该项目 2024 年的总耗电量为 3889608+448482=433.81 万度，总电费为 312.35 万元，根据模拟分析数据可以得到 2024 年全年冷热量平均单价为 0.167 元/kWh，与采用蓄冷蓄热的新方案 0.074 元/kWh 指标相差甚远，差别为 2 倍多，可知新方案在运行费用上节省效果明显，2024 年 1~12 月新方案节约电费为 3123477-1449405=167.41 万元。

表 4 2024 年 1~6 月年逐月常规供冷供热耗电量、电费及单价汇总表

Table 4 Conventional cooling and heating monthly electricity consumption, cost, and unit price of cooling/heating capacity
(January-June 2024)

时间 /月	常规供冷耗电 /kWh	风冷热泵耗电 /kWh	常规供冷电费 /元	常规供热电费 /元	常规供冷供热电费 /元	冷热量单价 /(元/kWh)
2024.01	136121	98762	98007	71109	169116	0.180
2024.02	90449	77387	65123	55719	120842	0.182
2024.03	193598	75165	139391	54119	193509	0.173
2024.04	278402	38995	200449	28076	228526	0.165
2024.05	349069	29178	251330	21008	272338	0.163
2024.06	431961	2915	311012	2099	313111	0.160
2024.07	583566	0	420168	0	420168	0.160
2024.08	589664	2297	424558	1654	426212	0.160
2024.09	501680	1926	361210	1387	362597	0.160
2024.10	282260	113	203227	81	203309	0.160
2024.11	249165	38028	179399	27380	206779	0.165
2024.12	203745	83716	146696	60275	206972	0.173
总计	3889680	448482	2800570	322907	3123477	0.167(均值)

表 5 为常规机房供冷供热（原方案）与高效水蓄冷蓄热（新方案）不同参数的对比，数据来源于 2024 年 1~12 月的实测数据（平台数据）及模拟数据，由表 5 可知，与原方案相比，新方案每年节省运行费用 167.41 万，10 年费用可以节省 1674 万元，投资回收期为 $(1925-1525)/167.41=2.4$ 年，新方案对项目的节能效果明显。

表 5 常规机房与高效水蓄参数的对比

Table 5 Parameters comparison: conventional refrigeration plant vs. high-efficiency chilled water storage refrigeration plant

设计方案	单位	常规机房	高效水蓄
装机容量	RT	3800	3800
制冷综合能效	kWh/kWh	4.5	4.99
制热综合能效	kWh/kWh	3.33	
2024 年冷热量	万 kWh	1899.61	1899.61
2024 年运行费用	万元	312.35	144.94
2024 年节约费用	万元	——	167.41
2024 年运险费指标	元/kWh	0.167	0.074
机房投资合计	万元	1525	1925
初投资差额	万元	——	400
10 年运行节约费用	万元	——	1674
投资回报	年	——	2.4

5 结论

本研究基于南京某电路板生产线厂房的节能改造需求，通过分析原冷热源方案的节能性、初投资和运行费用，提出采用 4 台离心式变频冷水机组（其中 2 台带热回收功能）+蓄冷蓄热水罐的组合系统作为新的冷热源方案；通过改造后实测运行数据分析，结果表明，虽然新型蓄能系统方案使得初投资增加了 400 万元，但由于采用蓄能和变频冷水机组热回收利用技术，其年运行费用降低了 167.41 万元，投资回收期缩短至 2.4 年。这一发现为工业厂房的冷热源方案设计提供了重要思路：在峰谷电价政策覆盖地区，采用蓄能和变频冷水机组热回收

技术的冷热源方案，不仅能实现显著的经济效益，还能实现电力负荷移峰填谷，符合国家“双碳”战略对工业节能的导向要求。然而，本研究仍存在不足，未来拟着重在蓄能和变频冷水机组热回收利用技术的冷热源方案设计优化和运行优化方面进行深化研究，从而推动该项技术在高耗能产业中的规模化高效应用。

参考文献：

[1] 向俊杰,鲁群.碳达峰理论研究[J].上海节能,2022,(4): 370-374.

[2] 清华大学建筑节能研究中心.中国建筑节能年度发展研究报告 2022[M].北京:中国建筑设计研究院出版社,2022.

[3] 丁庆,段绍辉,王执中,等.冰蓄冷空调在高峰谷负荷差地区应用的经济性[J].电力系统及其自动化学报,2014, 28(1):72-75.

[4] 吴少光,廖晓华,蔡戈锋.串并联结合水蓄冷系统应用研究[J].暖通空调,2021,51(6):88-92,39.

[5] 朱雪斌,唐朝新,李颖,等.福建省某科技园冰蓄冷空调系统运行分析[J].制冷与空调,2020,20(11):92-95.

[6] 顾昊.峰谷电价条件下的冷热双蓄技术路线选型研究[J].自动化应用,2023,64(15):71-73,76.

[7] 任万辉,鞠继升,曲志光.水蓄冷空调系统在临沂和谐广场项目中的应用[J].暖通空调,2022,52(1):43-51.

[8] 于晓磊,张红,刘莉馨,等.水蓄冷系统在公共建筑节能改造中的应用[J].暖通空调,2021,51(10):98-103.

[9] 周敏,罗东磊,汪道先,等.蓄冷空调系统经济性比较研究[J].洁净与空调技术,2020,(1):30-38.

[10] 刘双胜,王子云.高效机房现状及其实现途径[J].房地产导刊,2024,(8):151-153.

[11] 毛华雄.高效制冷机房技术现状与分析[J].制冷与空调,2022,22(11):10-14.

[12] 付长城,谭海阳.广东某粮仓水蓄冷空调系统设计[J].暖通空调,2019,49(8):81-84.