

文章编号: 1671-6612 (2024) 03-410-06

四川省某卷烟厂中央空调系统节能研究

肖 政 陶竞立 陈 利 杨宗成 胡茂凌 王林武

(四川中烟工业有限责任公司成都卷烟厂 成都 610066)

【摘 要】 近年来我国烟草产量逐年增加,但同时该行业能源消耗较大,因此对卷烟企业进行节能改造,提高企业的综合生产能耗水平成为了各地企业的重要任务。以四川省某卷烟厂为研究对象,首先结合相关标准规范对厂房的生产水平进行评估,结果表明企业综合产值较低,而厂房中央空调系统能耗占据企业生产用能的 70%左右,因此对该系统进行节能降耗有重要意义。对夏、冬季中央空调系统运行性能分析,发现冷水机组、冷冻水泵以及冷却水泵的开启策略以及设定参数均不合理;最终对设备的运行台数及设定参数给出优化建议,计算出夏、冬季中央空调系统可节省 684200kWh 的电耗。

【关键词】 卷烟厂; 中央空调系统; 节能降耗; 运行性能

中图分类号 TU831.4 文献标志码 A

Research on Energy Saving of Central Air-conditioning System of a Cigarette Factory in Sichuan Province

Xiao Zheng Tao Jingli Chen Li Yang Zongcheng Hu Maoling Wang Linwu

(Sichuan China Tobacco Industry Co., Chengdu cigarette factory, Chengdu, 610066)

【Abstract】 In recent years, China's tobacco production has increased year by year. Still, at the same time, the industry's energy consumption is large, so cigarette enterprises carrying out energy-saving transformations to improve the enterprise's comprehensive production energy consumption level has become an essential task of enterprises around the world. This paper took a cigarette factory in Sichuan Province as the object of study, first of all, combined with the relevant standards and norms of the plant to assess the level of production, the results showed that the enterprise's comprehensive production value was low, and the central air conditioning system energy consumption of the plant occupied about 70% of the enterprise's production of energy, so it was essential to carry out energy conservation and consumption reduction of the system. Analysis of the central air-conditioning system operation performance in summer and winter found that the chiller, chilled water pumps, and cooling water pumps on the strategy and set parameters are unreasonable. Ultimately, the number of operating units of the equipment and set parameters to give the optimization recommendations, calculated that the central air-conditioning system in winter and summer conditions can save 684200kWh of electricity.

【Keywords】 Cigarette factory; The central air conditioning system; Energy conservation and consumption reduction; Operation performance

0 引言

作为世界第一烟草大国,我国的烟草生产量占据了世界总产量的 1/3,成为我国主要经济支柱产

业之一^[1],相关数据统计,2015-2019 年间我国共生产卷烟 12.02 万亿支,整体卷烟行业共消耗能源高达 1025.03 亿吨标准煤^[2],因此对该行业实施

节能减排措施有重要的经济意义。2016 年, 烟草局印发的《烟草行业“十三五”节能减排工作方案》中明确出该行业在“十三五”期间的节能减排总目标^[3], 因此近年来各地政府逐步将烟厂行业列为重点能耗监控单位。

卷烟厂用能系统主要包含生产制造、中央空调、消防动力等, 而除了生产制造系统的正常运转所需的能耗较大之外, 中央空调系统能耗占比最高, 约占了烟厂用能的 30%~50%左右^[4], 是企业能源消耗的重要组成部分。其中在保证产值和产量的前提下生产制造设备人员不宜进行干涉调整, 而消防动力系统设备能耗较低, 节能空间较小, 因此对中央空调系统进行节能改造成为了节能减排的主要目的^[5]。但是卷烟厂制烟工艺流程复杂, 相关制造工艺对室内环境温湿度要求较高, 若厂房温度、湿度达不到要求将会影响到卷烟质量甚至制造设备的稳定性, 造成经济损失^[6], 因此在对厂房空调系统进行节能改造的前提是需要保证室内环境的温湿度要求, 其中文献[7]中主要通过测试冷水机组及水泵的运行性能, 对其运行台数及运行参数进行优化分析。而文献[8]中则提出充分利用室外自然冷源, 使用新风和冷却塔对室内进行供冷的运行策略, 以提高厂房运行效率。

上述节能措施研究均为卷烟厂中央空调节能措施提供了技术支持, 明确了节能实施路径。但是不同卷烟厂的室外气象参数、空调系统设计运行方案以及室内热湿负荷需求有一定差异, 耗能设备、节能措施和节能潜力均会有不同程度的表现, 因此还需根据研究对象的实际运行情况进行分析。本文以四川省某卷烟厂为研究对象, 根据中央空调系统运行数据, 对厂房能耗水平、空调系统运行能耗进行评价分析, 从而找出问题设备并提出节能手段。

1 工程概况

该烟厂建筑面积共 9.92 万 m², 主要工作车间面积 1.8 万 m², 办公建筑面积 1.7 万 m², 其中主要工作车间包含制丝车间、嘴棒成型车间、卷接包车间、膨胀烟丝、梗丝存储掺混间以及辅料区等, 如图 1 所示。项目采用冷水机组作为冷源对各车间进行集中供冷, 系统设备参数如表 1 所示。为了记录各车间的运行数据, 烟厂中配备了能耗管理平台, 可以实现流量、温度、室内温度以及各耗能系

统、设备用电量的监测计量。



图 1 卷烟厂建筑外观

Fig.1 The exterior of the cigarette factory building

表 1 空调系统设备参数

Table 1 Parameters of air-conditioning system equipment

设备名称	设备数量 (台)	额定制冷量 (kW)	额定流量 (m ³ /h)	额定功率 (kW)
离心式冷水机组	5	2813	—	524
冷冻水泵	5	—	472 (1-4#设备) 515 (5#设备)	90
冷却水泵	5	—	600	90
冷却塔	4	—	—	36.5

2 运行数据分析

2.1 卷烟厂房能耗评价

近年来我国出台了多部政策和标准对烟草企业的产值能耗和产量能耗做出了指标要求, 结合厂房运行数据计算出 2020-2022 年单位产量、产值综合能耗, 并整理至如图 2 所示。可以发现近三年来单位产量综合能耗均可控制在 0.5kg 标煤/万支以内, 可以满足《烟草工业企业能源消耗》YC/T 280-2008^[9]的 1 级标准以及《卷烟企业清洁生产评价准则》YC/T 199-2011^[10]最大得分项。然而, 该烟厂产值综合能耗偏高, 近三年来基本在《烟草工业企业能源消耗》YC/T 280-2008 中规定的 3 级指标外, 且仅能在《卷烟企业清洁生产评价准则》YC/T 199-2011 中拿到 0 分。上述说明在烟厂更侧重于产量生产, 但是综合产值并不理想, 用电量比重较高, 因此有必要对烟厂进行节能分析与改造。

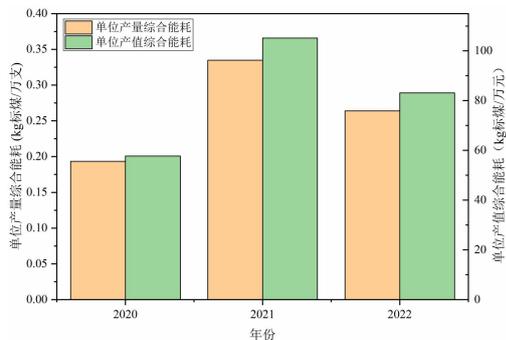


图2 卷烟厂历年综合能耗

Fig.2 The comprehensive energy consumption of cigarette factory over the years

2.2 卷烟厂房空调系统能耗分析

结合厂房运行数据,发现厂房中中央空调系统能耗的占比最高,约占综合能耗的70%左右,因此对中央空调系统进行节能优化对提高综合产值具有重要意义,本小节中主要针对烟厂中央空调设备进行节能性分析,夏、冬季分析结果如下。

2.2.1 夏季能耗分析

(1) 冷水机组

根据相关文献调研,一般冷水机组占比中央空调系统能耗占比在60%左右^[1],但是该烟厂近几年主机能耗达到了70%,该设备能耗占比较高。以7月1日运行数据为例,该运行期间内仅开启了2#和5#主机,按照公式(1)计算出两台主机的制冷量如图3所示。

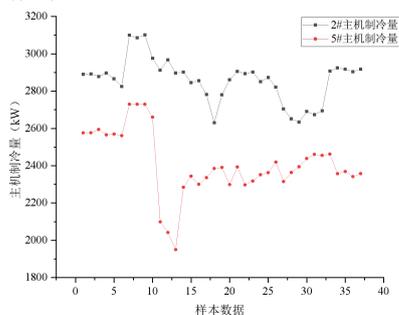


图3 冷水机组制冷量变化

Fig.3 The variation of chiller cooling capacity

$$Q = c \cdot G \cdot \Delta T \quad (1)$$

式中, Q 为主机制冷量, kW; c 为水的比热容, 4.19kJ/(kg·K); G 为冷冻水流量, kg/s; ΔT 为主机进出水温差, °C。图中可以看出每台主机的负荷率均在90%以上甚至出现满载运行的情况,但是该型号冷水机组运行手册中指出设备最佳运行点在负载率70%左右,如图4所示。因此尽管主机开启台数满足负荷需求,但是仍然不在高效运行区间内。

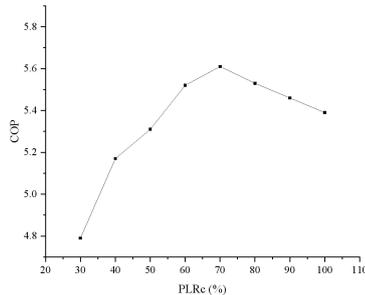


图4 冷水机组性能曲线

Fig.4 The performance curve of chiller

此外图5中整理出主机运行时的冷冻水供水温度,发现两台设备设置的供水温度相差较大,平均温差在4°C左右,经两台主机降温处理后的冷冻水混合时发生了冷量抵消,造成一部分能源浪费。

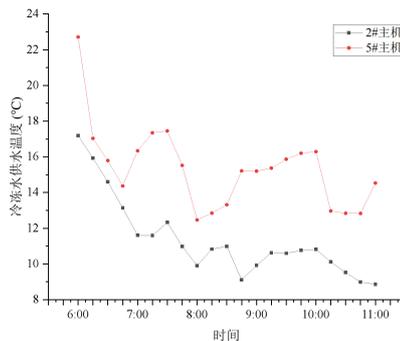


图5 冷冻水供水温度变化

Fig.5 The temperature variation of chilled water supply

(2) 冷冻水泵

7月份中央空调系统运行期间仅运行了2#和5#共2台冷冻水泵,同时数据显示冷冻水泵开启台数一般与主机开启台数相匹配,即一台冷冻水泵对应一台冷水主机,但是仍有个别时间内主机没有开启,冷冻水泵处于运行状态,造成一部分能源浪费。除此之外根据图6中冷冻水泵流量运行数据发现,水泵基本属于满频率下运行,并没有变频措施,导致冷冻水泵运行能耗偏高。

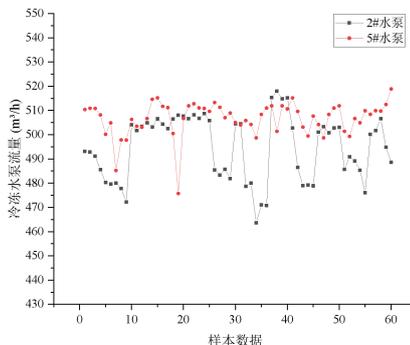


图6 冷冻水流量变化

Fig.6 The changes of chilled water flow rate

(3) 冷却水泵

冷却水泵同样与主机运行台数相匹配,但是运行期间有 1 台水泵满载、另一台水泵非满载运行,从而导致整体水泵状态不佳,如图 7 所示,因此有必要对冷却水泵进行节能改造。

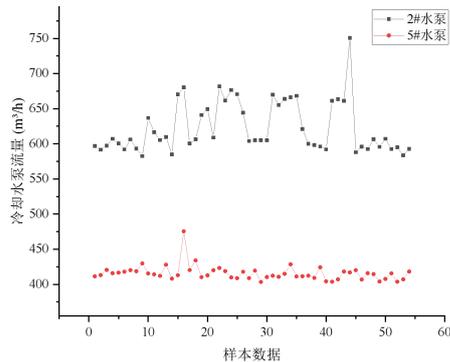


图 7 冷却水流量变化

Fig.7 The changes of cooling water flow rate

2.2.2 冬季能耗分析

冬季工作期间每天仍需要开启部分时间中央空调系统对工作车间进行供冷,2020-2022 年期间冬季制冷时所需能耗占据了中央空调系统运行总能耗的 30%-40%左右,且出现逐年升高的现象。但是值得注意的是,中央空调系统在设计阶段对不同车间提出了不同策略:

(1) 对于卷接车间及嘴棒成型车间,夏季制冷时需将新风和回风混合后经表冷器制冷再送入房间;冬季制热时需将新风和回风混合后经加热器加热再送入房间;而过渡季时排风机将风量排除,新风直接由新风机将风量送到室内,不与回风混合且不经过程冷器或加热器。

(2) 对于膨胀烟丝、梗丝储存、掺混间、储丝房和辅料区,冬夏季均采用新风加回风混合的送风方式。

上述运行策略也说明在室外温度较低的情况下,可以直接采用新风机将室外空气送到室内,利用室外冷源对室内进行供冷,但是在实际情况下并没有采用该运行策略,导致冬季空调系统仍在运行,造成了不必要的能源浪费。

3 节能策略

目前该卷烟厂动力车间制冷机房综合能效约为 4.5 左右,与《高效空调制冷机房评价标准》T/CECS 1100-2022^[12]一级标准还有较大的提升空间,按照国家“碳达峰、碳中和”政策要求,以及

卷烟厂运营过程中机房能耗的节能目标,本小节主要针对主机、冷冻水泵、冷却水泵进行节能改造。

3.1 夏季节能特性研究

(1) 冷水机组

2.2 节中针对冷水机组的分析结果主要是单台主机运行时的负荷率较高,不在最佳运行区间内,且两台主机承担负荷不均且冷冻水出水温度差距较大。以 7 月 1 日运行工况进行研究,该运行期间内 2#主机实际供水温度为 8℃,5#主机实际供水温度为 14℃,以两个出水温度的的平均值 11℃作为调整后的供水温度。根据运行数据计算出在同等制冷量下,主机供水温度每降低 1℃,主机能耗可增加 5%,按照该节能率计算出调整前后能耗变化如图 8 所示,发现 2#主机能耗从 548kWh 降低至 470kWh,5#主机能耗从 536kWh 升高至 618kWh,总能耗并无明显变化,因此,可以将冷冻水供水温度设定为 11℃运行。

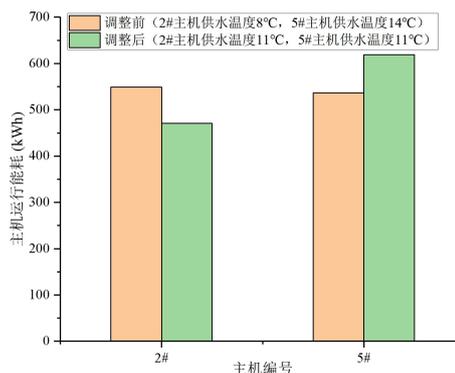


图 8 冷冻水供水温度调整前后主机能耗变化

Fig.8 Changes in energy consumption of chillers before and after adjustment of chilled water supply temperature

此外由于两台主机运行时并不在最佳能效区间内,而增加 1 台主机运行台数后,每台主机的负载率从 90%~100%之内降低至 60%~70%之内,可以保持最佳运行区间内运行,主机 COP 可以增加 3%~5%左右。依据图 4 中不同负载率下的主机 COP 按照公式(2)计算出两台主机运行和三台主机运行下的主机总能耗。

$$P_{totalc} = \sum_{i=1}^n COP_i \times Q_i \quad (2)$$

式中, P_{totalc} 为主机运行总能耗, kW; COP_i 为单台主机运行 COP; Q_i 为单台主机制冷量, kW。统计出 7 月 1 日部分时刻下主机运行能耗对比结果,如图 9 所示,可以看出尽管增加了运行台数,

但是主机能耗有明显降低的趋势,整体运行能耗降低了4%左右。

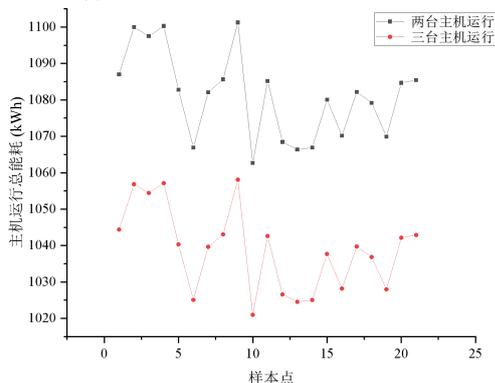


图9 主机开启台数对运行能耗的影响

Fig.9 Influence of the number of chillers on the operational energy consumption

综合上述分析,夏季制冷工况下冷水机组层面的节能率在4%左右,2023年中央空调系统夏季运行总能耗为980000kWh,计算出该节能策略下夏季主机可以节省392000kWh左右的用电量。

(2) 冷冻水泵

2.2节中冷冻水泵的能源浪费一方面水泵不能及时关闭,即主机不运行的情况下水泵仍在运转,针对该问题,企业需要加强运维人员对于冷冻水泵的节能管控。另一方面按照主机与水泵相匹配的运行模式,上述冷水机组设定3台后,冷冻水泵也应设置3台运行。实际运行期间2#和5#冷冻水泵均在满载下工作,此时两台水泵每小时的总能耗均在180kWh左右,为了使每台主机制冷量分配均匀,选用1#、2#、3#三台相同型号的冷冻水泵进行分析。

2#和5#水泵运行时冷冻水流量总共为985m³/h,调整后平均每台水泵承担的流量为328.3m³/h,结合水泵相似定律,按照公式(3)、(4)计算出每台水泵的运行能耗为33kWh左右,三台冷冻水泵运行总能耗仅为99kWh,与调整前对比每小时可节约81kWh电量,节能率在45%左右,其中优化前夏季冷冻水泵运行总能耗为620000kWh,夏季冷冻水泵可节约279000kWh左右的电量。

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (3)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3 \quad (4)$$

式中, G_1 为水泵额定运行流量,kg/s; G_2 为变频后水泵运行流量,kg/s; n_1 为水泵额定运行频率,Hz; n_2 为变频后水泵运行频率,Hz; P_1 为水泵额定运行能耗,kW; P_2 为变频后水泵运行能耗,kW。

(1) 冷却水泵

冷却水泵设定频率并不统一,从而导致综合情况下的运行状态点不佳,两台冷却水泵实际运行流量在1000m³/h左右,每小时运行总能耗为116kWh。结合上述主机和冷冻水泵的分析,冷却水泵理应也按照3台布置,且设定同样运行频率。同理按照公式(3)、(4)计算出3台冷却水泵运行时平均每台水泵承担水量为360m³/h,单台水泵运行能耗为19.4kWh,三台水泵运行总能耗仅为58.2kWh,该节能方案冷却水泵每小时可实现57.8kWh的节能量,节能率在50%左右,优化前夏季冷却水泵运行总能耗为380000kWh,夏季冷却水泵可节约190000kWh左右的电量。

结合以上三种节能改造措施,计算出夏季制冷工况下的节能量为508200kWh的用电量,节能率在21%左右。

3.2 冬季节能特性研究

运行数据显示,冬季制冷时负荷较小,仅开启一台冷水机组即可满足室内需求,但是空调系统运行能耗仍然较高。根据2.3节分析,冬季空调系统的主要问题是充分利用自然冷源,因此该运行模式下可以直接使用变频风机将室外低温空气送入室内,达到降温的目的。数据显示2022年冬季空调系统运行总能耗为410000kWh,制冷时长在650h左右。统计出厂房内所有空调新风机运行功率总和为360kW,如果仅开启新风机对室内进行供冷冬季整体运行能耗仅为234000kWh左右,可以节省176000kWh左右的电量,节能率在43%左右。

综合上述分析,对卷烟厂中央空调系统使用节能改造方案后全年预计可以节约684200kWh的能耗,全年整体节能率在29%左右,节能效果显著。

4 总结

本文以四川省某卷烟厂为研究对象,针对烟厂中央空调系统制定节能运行策略,得出主要结论如下:

(1) 通过对卷烟厂的年产值和年产量进行分

析, 计算出卷烟厂年产值综合能耗偏高, 评分效果不佳, 说明卷烟厂有必要实施节能改造。

(2) 对中央空调系统各设备的运行数据分析, 发现夏季运行工况下冷水机组并不在高效区间内运行, 且每台主机的供水温度设定值不同, 有一定的冷、热混合损失; 而水泵无法根据负荷变化进行水量调节, 造成运行状态点不佳, 导致水泵运行效率低下。而冬季车间内仍有供冷需求, 但是并没有利用室外冷源直接对车间进行降温, 造成能源浪费。

(3) 夏季制冷工况下, 将冷水机组开启台数从 2 台增加至 3 台, 主机可以降低 4% 左右的空调能耗。水泵开启台数同样从 2 台增加至 3 台, 能耗可降低 50% 左右。而冬季制冷时可直接使用新风机将室外新风引入室内, 充分利用室外冷源, 该措施可以节省 40% 左右的电耗。整体而言, 该节能策略下卷烟厂中央空调系统全年可节省 684200kWh 的电耗, 全年整体节能率在 28% 左右, 节能空间较高。

参考文献:

[1] 乔振勇, 张展豪, 张红, 等. 某卷烟厂生产车间环控和动力系统节能潜力分析[J]. 建筑节能, 2020, 48(7): 150-155.

- [2] 北京广元科技有限公司. 能源管理在烟草行业的重要性及建设意义[Z]. 2022: 2023.
- [3] 国家烟草局. 烟草局印发烟草行业“十三五”节能减排工作方案[Z]. 2016: 2023.
- [4] 姚如生, 施斐炯. 宁波卷烟厂空调系统节能分析[J]. 机电工程技术, 2019, 48(5): 290-293.
- [5] 陈璐瑶, 曹子涵, 罗军, 等. 某烟厂储丝车间空调系统能耗预测研究[J]. 制冷与空调, 2022, 22(8): 22-25.
- [6] 杜强. 卷烟厂空调系统控制与节能研究[J]. 研究与探索, 2022, (22): 140-142.
- [7] 陈辉. 卷烟厂空调系统节能降耗研究与实践[J]. 能源与环境工程, 2022, 19(19): 101-103.
- [8] 陶竞立, 朱颖骁, 晏吉王嵘. 卷烟厂新风独立处理系统的设计与节能效果分析[J]. 电力工程技术, 2022, (6): 95-98.
- [9] TC/T 280-2008, 烟草工业企业能源消耗[S]. 北京: 国家烟草专卖局, 2008.
- [10] YC/T 199-2011, 卷烟企业清洁生产评价准则[S]. 北京: 国家烟草专卖局, 2011.
- [11] 张小芬, 郜义军, 李先庭, 等. 卷烟厂空调系统及节能研究现状[J]. 暖通空调, 2011, 41(11): 107-113.
- [12] T/CECS 1100-2022, 高效空调制冷机房评价标准[S]. 北京: 建科环能科技有限公司, 2022.

(上接第 398 页)

(2) 为了满足供需匹配, 实现负荷需求与水量的实时变化, 本文冷冻水系统和冷却水系统均采用定温差控制策略, 其中冷冻水系统温差设定值为 7℃, 冷却水系统温差设定值为 5℃。

(3) 基于设备性能曲线, 得出冷水机组、水泵以及冷却塔的能耗模型, 对优化前及优化后的机房运行能耗进行计算, 最终结果表明, 采用该控制策略全年节能量为 426 万 kWh 左右, 节能率为 15.7%, 机房全年能效比从 4.09 升高至 4.85 左右, 节能效果显著。

参考文献:

- [1] 王伟东. 某工厂冷却工艺用中央空调高效机房方案选型设计[J]. 设计与工艺, 2021, 1(25): 41-43.
- [2] 刘守亚, 袁中原, 高波, 等. 基于决策树算法的冷冻水系统优化运行研究[J]. 制冷与空调, 2024, 38(2): 155-160.

- [3] 杨仕成. 中央空调冷冻机房节能控制系统设计[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2018.
- [4] 刘芳. 高效冷热源机房在大型综合医院项目中的应用[J]. 江苏建筑, 1(2): 79-82.
- [5] 曹陌阡. 基于中央空调能源管理系统的空调冷冻站节能设计与研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2020.
- [6] 张帆. 中央空调的负荷预测及冷冻水系统优化控制研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2019.
- [7] 曲继晓. 基于负荷预测的变流量空调系统节能研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2017.
- [8] 付祥钊. 流体输配管网(第四版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
- [9] 陈隽峰. 基于变流量控制的中央空调水系统节能优化及水力工况研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- [10] T/CECS 1100-2022, 高效空调制冷机房评价标准[S]. 北京: 建科环能科技有限公司, 2022.