

文章编号: 1671-6612 (2025) 04-541-08

夏热冬暖地区某公共建筑空调冷源配置方案分析

王本栋¹ 陶 毅²

(1. 中建西南咨询顾问有限公司 成都 610041;

2. 成都轨道交通集团有限公司 成都 610041)

【摘 要】 研究以夏热冬暖地区某公共建筑为对象, 通过全年动态冷负荷模拟分析, 揭示空调系统在不同负荷率下的运行时间分布规律, 并基于此提出四类冷源配置方案: 变频离心与螺杆机组组合、磁悬浮与变频螺杆机组组合、磁悬浮与变频离心机组组合及全磁悬浮机组系统。通过量化系统初投资与能耗模拟数据, 构建初投资、年运行能耗及全生命周期成本综合评估模型。研究表明, 磁悬浮与变频离心机组组合在技术经济性上表现最优, 投资回收期缩短至 3.84 年。研究为夏热冬暖地区公共建筑冷源系统的低碳化设计提供了数据支撑与决策依据, 对同类项目的节能优化具有参考价值。

【关键词】 公共建筑; 冷源配置; 冷负荷模拟; 技术经济性分析

中图分类号 TU831.4 文献标志码 A

Analysis of Cooling Source Configuration Scheme for Air Conditioning in a Public Building in Hot Summer and Warm Winter Zone

Wang Bendong¹ Tao Yi²

(1.China Construction Southwest Consulting Co., Ltd, Chengdu, 610041;

2.Chengdu Metro Corporation, Ltd, Chengdu, 610041)

【Abstract】 By taking a public building in a hot-summer and warm-winter region as the research object, this study carried out dynamic cooling load simulation analysis throughout the year. It reveals the operation time distribution pattern of the air-conditioning system under different load rates. Based on this, four types of cooling source configuration schemes are proposed: the combination of variable-frequency centrifugal and screw units, the combination of magnetic levitation and variable-frequency screw units, the combination of magnetic levitation and variable-frequency centrifugal units, and the all-magnetic levitation unit system. By quantifying the initial investment of the system and energy consumption simulation data, a comprehensive evaluation model integrating initial investment, annual operating energy consumption, and life cycle cost is constructed. The study shows that the combination of magnetic levitation and variable-frequency centrifugal units performs the best in terms of technical and economic feasibility, with the investment payback period shortened to 3.84 years. The research provides data support and decision-making basis for the low-carbon design of cooling source systems in public buildings in hot-summer and warm-winter regions, and has reference value for energy-saving optimization of similar projects.

【Keywords】 Public building; Cooling source configuration; Cooling load simulation; Technical and economic analysis

作者简介: 王本栋 (1990.07-), 男, 硕士, 高级工程师, E-mail: 1056730074@qq.com

通讯作者: 陶 毅 (1980.06-), 男, 本科, 工程师, E-mail: 13882135690@139.com

收稿日期: 2025-06-13

0 引言

随着城市化进程加速,公共建筑能耗问题日益突出,其中空调系统能耗占比高达 40%~60%。在夏热冬暖地区,夏季漫长且高温高湿,公共建筑空调系统全年运行时间达 8 个月以上,能耗尤为显著。作为空调系统的核心组成部分,冷源配置对系统能效、运行稳定性及经济性影响显著。在此背景下,做好冷源配置成为提升公共建筑能效的关键环节。

近年来,众多学者针对不同地区的公共建筑,开展了多种空调冷源配置方案的技术经济分析研究。以下是部分具有代表性的研究成果。吴泽江及王瑶(2023)^[1]对重庆某办公楼工程的常规制冷系统和冰蓄冷空调系统进行了经济技术分析比较。结果表明,冰蓄冷空调系统可有效降低空调系统运行费用,提高系统的稳定性和可靠性,具有良好的经济效益和应用前景。陈锐彬等人(2024)^[2]对比了常规空调系统与冰蓄冷空调系统在某办公建筑群中的设备容量和全年能耗。研究表明,冰蓄冷系统在应对办公建筑群峰谷差大、空调负荷波动大等问题时,能显著降低运行成本,且在满足室内外环境参数要求方面具有优势。李兴国(2022)^[3]探讨了在大型产业办公园区采用区域供冷及冰蓄冷系统的经济性和适用性。研究指出,区域供冷结合冰蓄冷系统能有效降低办公园区的供冷成本,提高能源利用效率,具有较高的经济性和环境效益,适合作为大型产业办公园区的供冷方案。周建勇等人(2025)^[4]比较了数据中心独立供应冷冻水与直接应用中央空调冷水两种方式的优劣,并对初投资、能耗等进行了对比分析。研究结果表明,直接应用中央空调冷水方案在初投资和能耗方面更具优势,能有效降低数据中心的建设和运营成本。郭海龙等人(2023)^[5]以深圳某商业项目为例,提出了多种空调冷源配置方案,并进行了技术经济性分析。通过对多种方案综合评估,得出磁悬浮冷水螺杆机组方案在能效、经济性和稳定性等方面表现最佳,为类似商业及办公项目空调冷源配置提供了参考。王伟等人(2021)^[6]研究了磁悬浮冷水机组在湿热地区的应用特性,为办公项目空调冷源配置提供了参考。研究表明,磁悬浮冷水机组在湿热地区具有高效节能、运行稳定等优点,能有效降低办公建筑的空调能耗,提高系统的运行效率和舒适度。王佳等

人(2019)^[7]探讨了磁悬浮离心机组在暖通空调系统尤其是办公项目中的应用。研究指出,磁悬浮离心机组在办公项目中应用可显著降低空调系统的能耗和运行成本,具有良好的节能效果和经济效益,是办公项目空调冷源配置的优选方案之一。张杰等人(2022)^[8]对牛寨换流站螺杆冷水机组频繁启停问题进行了诊断与分析,为办公项目空调冷源系统的稳定运行提供借鉴。通过对换流站冷水机组问题的深入研究,提出了优化措施,强调了保证空调冷源系统稳定运行的重要性,为办公项目避免类似问题提供了经验参考,有助于提高系统的可靠性和运行效率。俞丽华等人(2018)^[9]对特殊办公区域的空调冷源设计进行了探讨,为类似区域的冷源配置提供参考。研究表明,针对特殊办公区域的环境要求和使用特点,设计的空调冷源方案能满足高精度恒温恒湿要求,为办公项目中类似特殊区域的空调冷源配置提供了技术借鉴,确保了特定区域的环境舒适性和工作条件。黄培雷等人(2013)^[10]对高精度计量实验室的空调系统设计进行了研究。研究指出,精心设计的空调冷源系统可有效满足高精度计量实验室的环境要求,保证实验数据的准确性。该研究成果对办公项目中对环境要求较高的区域的空调冷源配置具有指导意义,有助于提升办公环境的质量和工作效率。

上述研究表明,不同地区、不同类型公共建筑的空调冷源配置方案应综合考虑当地的气候条件、能源政策、建筑功能需求以及系统的初投资和运行成本等多种因素。合理的空调冷源配置不仅能有效降低建筑能耗,提高能源利用效率,还能为用户提供舒适的工作环境,推动公共建筑的绿色可持续发展。

本文以夏热冬暖地区某公共建筑为对象,基于动态负荷特性与设备能效关联分析,开展冷源配置方案的技术经济性比选,系统评估不同组合方案的经济性指标与能效表现,为夏热冬暖地区公共建筑冷源系统的科学选型提供决策依据。

1 工程概况

1.1 项目概述

本论文研究对象所在气候分区属我国夏热冬暖地区。地下 2 层,地上 41 层,建筑高度 198.25m;总建筑面积 61368m²,其中空调面积 32157m²。该建筑功能主要包含办公、会议、大堂等。

1.2 模拟输入条件

项目围护结构热工参数、室内人员密度、设备功率密度等均参照《公共建筑节能设计标准》要求设定。表 1 为主要房间的室内设计参数，依据《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》确定；室外

设计参数则采用 EnergyPlus 的气象数据。空调负荷与能耗计算使用 EnergyPlus 建筑能耗模拟软件进行，模拟得出全年 8760h 逐时建筑动态负荷，并以此为基础进行各冷源方案的设备选型。

表 1 主要房间设计参数

Table 1 Design parameters of Main rooms

房间名称	温度/℃	相对湿度/%	新风量/[m³/(人·h)]	人员密度/(人/m²)
办公室	26	60	30	0.16
会议室	26	60	30	0.5
大堂	26	60	10	0.1

该办公楼供冷期大约在每年的 4 月 1 日~11 月 30 日，根据项目的人员使用特征，供冷时间按早 8:00~晚 0:00 考虑，19:00~0:00 期间主要考虑人员加班用冷需求，供冷量约为每日总冷负荷量的 5%

左右。
1.3 负荷计算及分析
采用 Energy Plus 软件进行全年负荷计算，全年逐时冷负荷如图 1 所示。

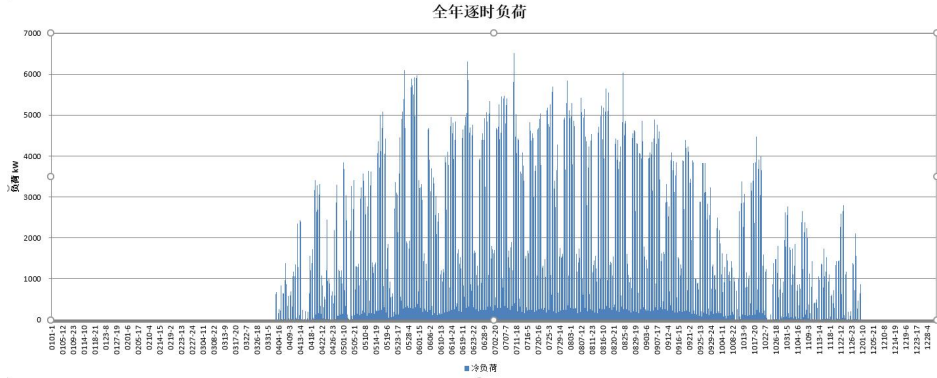


图 1 全年动态负荷

Fig.1 Annual dynamic load

不同负荷区间占比如表 2 所示。

表 2 部分负荷率分布

Table 2 Partial load distribution

		负荷分布									
冷负荷 kW	88~	290~	580~	1160~	1740~	2320~	2901~	3481~	4061~	4641~	5221~
	290	580	1160	1740	2320	2901	3481	4061	4641	5221	5801
负荷率	2%~	5%~	10%~	20%~	30%~	40%~	50%~	60%~	70%~	80%~	90%~
	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
时长 h	827	257	454	461	179	195	231	256	264	175	75
频数	25%	8%	13%	14%	5%	6%	7%	8%	8%	5%	2%

由表 2 的负荷分布可见，项目空调系统全年运行中，低负荷工况占比显著。其中，30%负荷率以下的运行时长占比高达 60%，约合 1999 小时，反映出系统在大部分时间处于轻载状态；50%及以下负荷率的累计时长占比达 71%，约 2373 小时，表

明系统超七成时间运行于中等偏低负荷区间。90%负荷率及以上的高负荷时长仅占全年总时长的 2%（约 75 小时），峰值负荷出现频率极低。
经计算，项目的峰值负荷为 5827kW。为保证空调系统运行的稳定性，结合建筑功能分区与设备

承压特性，将空调水系统划分为高低两个独立分区。其中，地下室-19F 为低区，主要涵盖办公、生活服务等区域，冷负荷为 2156kW；21F-42F 为高区（20F 为避难层），以科研办公空间为主，冷负荷 3671kW。

2 冷源配置方案

项目设置中央空调系统，空调末端主要为风机

盘管和组合式空调机组。办公区域以风机盘管+新风为主，局部大空间设置全空气系统。本项目建筑高度较高，在 20F 避难层设二级泵系统。为论证该建筑冷源系统的技术经济性能，所选冷机单台容量及组合形式可满足不同负荷段的高效运行需求，采用“二大一小”冷机搭配（2 台 700RT+1 台 250RT），确保单台机组故障时仍能满足 70%以上负荷需求。各方案采用的系统流程图均如图 2 所示。

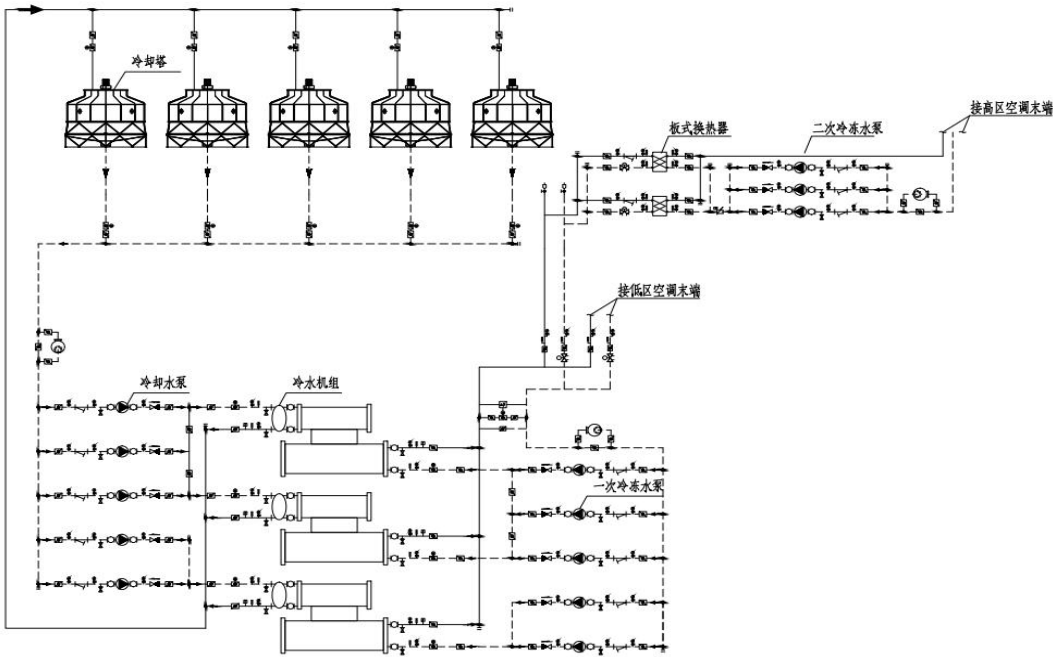


图 2 空调系统流程图

Fig.2 Flow chart of the Air conditioning system

为进一步论证不同冷热源方式对系统性能及经济性影响，本论文配置四种冷源机组方案进行对

比论证，如表 3 所示。

表 3 各空调系统冷源配置方案

Table 3 Cold source configuration scheme for each air conditioning system

方案编号	方案形式	冷源配置
方案一	变频离心式水冷冷水机组搭配变频螺杆式水冷冷水机组	2 台 700RT 的变频离心式冷水机组和 1 台 250RT 的变频螺杆式冷水机组，采用二大一小冷机搭配
方案二	磁悬浮水冷冷水机组	2 台 700RT 的磁悬浮离心式冷水机组和 1 台 250RT 的磁悬浮水冷冷水机组，采用二大一小冷机搭配
方案三	大机采用变频离心式水冷冷水机组，小机采用磁悬浮水冷冷水机组	2 台 700RT 的磁悬浮离心式冷水机组和 1 台 250RT 的磁悬浮水冷冷水机组，采用二大一小冷机搭配
方案四	大机采用磁悬浮水冷冷水机组，小机采用变频螺杆式水冷冷水机组	2 台 700RT 的磁悬浮离心式冷水机组和 1 台 250RT 的变频螺杆式水冷冷水机组，采用二大一小冷机搭配

结合本文 1.3 小节提出的动态负荷分布及设备选型，制定了不同负荷率下的主机开启逻辑，如表

4 所示。

表 4 不同负荷率下的主机开启策略

Table 4 Chiller host startup strategy under different load rates

冷负荷/RT	0-230	230-660	660-940	940-1320	1320-1650
冷负荷率	0-14%	14%-40%	40%-57%	57%-80%	80%-100%
主机 1（250RT）	开	关	开	关	开
主机 2（700RT）	关	开	开	开	开
主机 3（700RT）	关	关	关	开	开

在此基础上，本文后续将结合主机在不同负荷率下的性能系数（COP）、冷冻水泵与冷却水泵的变频效率曲线、冷却塔的散热效率随湿球温度的衰减规律，综合计算系统运行能耗。

2.1 方案一

变频离心式水冷冷水机组搭配变频螺杆式水

冷冷水机组。

2.1.1 主要设备选型

本方案选取 2 台 700RT 的变频离心式冷水机组和 1 台 250RT 的变频螺杆式冷水机组，采用二大一小冷机搭配。主要设备配置表如表 5 所示。

表 5 方案一主要设备选型参数

Table 5 Main equipment selection parameters in option one

设备	参数	台数	价格/万元
变频离心式冷水机组	700RT	2	210.8
变频螺杆式冷水机组	250RT	1	48.5
一次网冷冻水泵	445m³/h，扬程 28m	3（2 用 1 备）	29.4
一次网冷冻水泵	190 m³/h，扬程 28m	2（1 用 1 备）	8.4
二次网冷冻水泵	396m³/h，扬程 25m	3（2 用 1 备）	26.1
冷却水泵	525m³/h，扬程 26m	3（2 用 1 备）	34.6
冷却水泵	225m³/h，扬程 26m	2（1 用 1 备）	9.9
冷却塔	280m³/h	4	40.5
冷却塔	100m³/h	1	5.8
合计	—	—	414

经统计，方案一主要设备初投资为 414 万元。

2.1.2 全年运行费用计算

通过能耗模拟得到方案一冷水机组、冷冻水泵、冷却水泵和冷却塔的全年耗电量与运行费用。

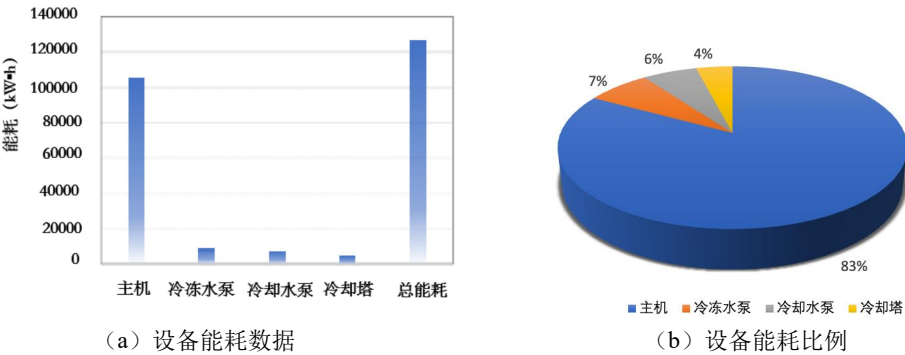


图 3 方案一全年运行能耗组成

Fig.3 Energy consumption composition of the system throughout the year in option one

由图 3 可知，冷水机组的能耗最大，占到系统全年总能耗的 83%，其次为冷冻水泵、冷却水泵及

冷却塔。

结合当地电价，全年运行费用为 109.7 万元。

2.2 方案二

全部采用磁悬浮水冷冷水机组。

2.2.1 主要设备选型

选取 2 台 700RT 的磁悬浮离心式冷水机组和 1 台 250RT 的磁悬浮水冷冷水机组，采用二大一小冷机搭配。主要设备配置如表 6 所示。

表 6 方案二主要设备选型参数

Table 6 Main equipment selection parameters in option two			
设备	参数	台数	价格/万元
磁悬浮离心式冷水机组	700RT	2	274.4
磁悬浮离心式冷水机组	250RT	1	63.1
一次网冷冻水泵	445m³/h, 扬程 28m	3 (2 用 1 备)	29.4
一次网冷冻水泵	190m³/h, 扬程 28m	2 (1 用 1 备)	8.4
二次网冷冻水泵	396m³/h, 扬程 25m	3 (2 用 1 备)	26.1
冷却水泵	525m³/h, 扬程 26m	3 (2 用 1 备)	34.6
冷却水泵	225m³/h, 扬程 26m	2 (1 用 1 备)	9.9
冷却塔	280m³/h	4	40.5
冷却塔	100m³/h	1	5.8
合计	—	—	492.2

统计得，方案二主要设备初投资为 492.2 万元。

2.2.2 全年运行费用计算

通过能耗模拟得到方案二冷水机组、冷冻水泵、冷却水泵和冷却塔的全年耗电量与运行费用。

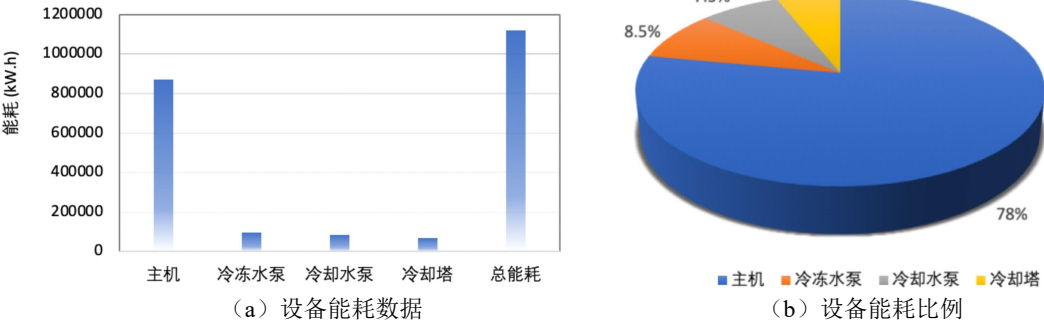


图 4 方案二全年运行能耗组成

Fig.4 Energy consumption composition of the system throughout the year in option two

经统计，该冷源系统全年总能耗 1119151kWh，

2.3.1 主要设备选型

全年运行费用 97.4 万元。

选取 2 台 700RT 的磁悬浮离心式冷水机组和 1 台 250RT 的磁悬浮水冷冷水机组，采用二大一小冷机搭配。主要设备配置如表 7 所示。

2.3 方案三

大机采用变频离心式水冷冷水机组，小机采用磁悬浮水冷冷水机组。

表 7 方案三主要设备选型参数

Table 7 Main equipment selection parameters in option three			
设备	参数	台数	价格/万元
变频离心式冷水机组	700RT	2	210.8
磁悬浮离心式冷水机组	250RT	1	63.1
一次网冷冻水泵	445m³/h, 扬程 28m	3 (2 用 1 备)	29.4
一次网冷冻水泵	190m³/h, 扬程 28m	2 (1 用 1 备)	8.4

续表 7 方案三主要设备选型参数

Table 7 Main equipment selection parameters in option three

设备	参数	台数	价格/万元
二次网冷冻水泵	396m³/h, 扬程 25m	3 (2 用 1 备)	26.1
冷却水泵	525m³/h, 扬程 26m	3 (2 用 1 备)	34.6
冷却水泵	225m³/h, 扬程 26m	2 (1 用 1 备)	9.9
冷却塔	280m³/h	4	40.5
冷却塔	100m³/h	1	5.8
合计	—	—	428.6

经统计，方案三主要设备初投资为 428.6 万元

通过能耗模拟得到方案三冷水机组、冷冻水泵、冷却水泵和冷却塔的全年耗电量与运行费用。

2.3.2 全年运行费用计算

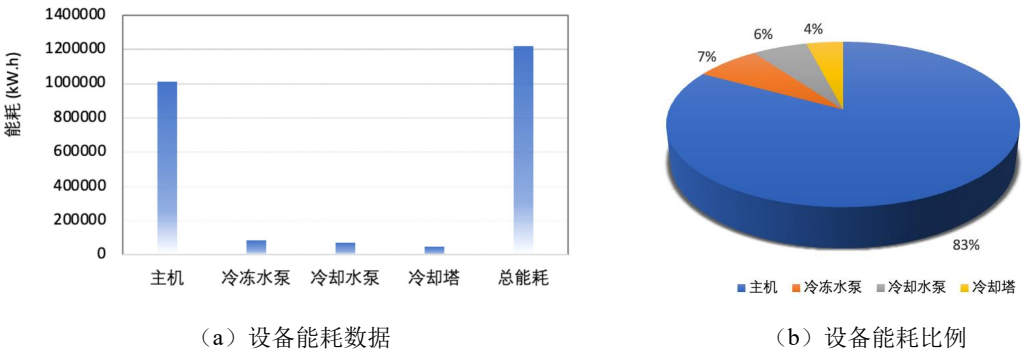


图 5 方案三全年运行能耗组成

Fig.5 Energy consumption composition of the system throughout the year in option three

经统计，全年运行费用 105.9 万元。

2.4.1 主要设备选型

2.4 方案四

选取 2 台 700RT 的磁悬浮离心式冷水机组和 1 台 250RT 的变频螺杆式水冷冷水机组，采用二大一小冷机搭配。主要设备配置如表 8 所示。

经统计，全年运行费用 105.9 万元。

表 8 方案四主要设备选型参数

Table 8 Main equipment selection parameters in option four

设备	参数	台数	价格/万元
磁悬浮离心式冷水机组	700RT	2	274.4
变频螺杆式冷水机组	250RT	1	48.5
一次网冷冻水泵	445m³/h, 扬程 28m	3 (2 用 1 备)	29.4
一次网冷冻水泵	190m³/h, 扬程 28m	2 (1 用 1 备)	8.4
二次网冷冻水泵	396m³/h, 扬程 25m	3 (2 用 1 备)	26.1
冷却水泵	525m³/h, 扬程 26m	3 (2 用 1 备)	34.6
冷却水泵	225m³/h, 扬程 26m	2 (1 用 1 备)	9.9
冷却塔	280m³/h	4	40.5
冷却塔	100m³/h	1	5.8
合计	—	—	477.6

经统计，方案四主要设备初投资为 477.6 万元。

2.4.2 全年运行费用计算

通过能耗模拟得到方案四冷水机组、冷冻水

泵、冷却水泵和冷却塔的全年耗电量与运行费用。

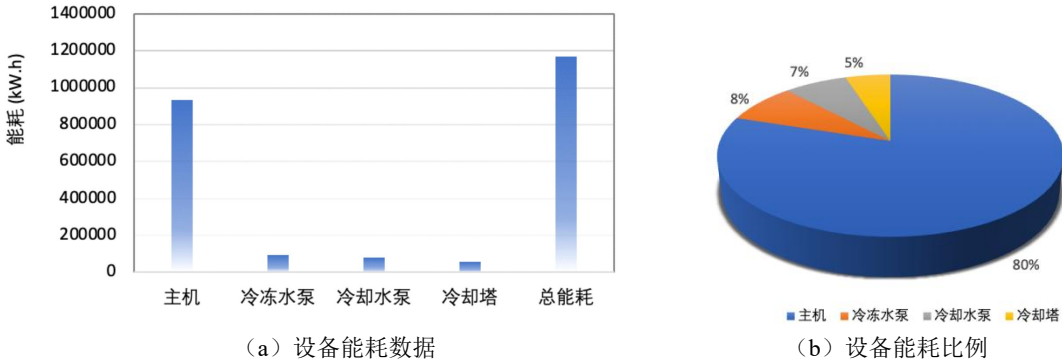


图 6 方案四全年运行能耗组成

Fig.6 Energy consumption composition of the system throughout the year in option four

全年运行费用 101.6 万元。

随降低了全年运行费用，但初投资增量较高，导致回收期较长。

3 方案经济性对比分析

根据以上分析，对不同方案的初投资、运行费用、投资回收期计算汇总如表 9 所示。

表 9 不同方案经济性分析

Table 9 Comparative analysis of economic efficiency of different schemes

	方案一	方案二	方案三	方案四
初投资/万元	414.0	492.2	428.6	477.6
初投资增量/万元	基准	78.2	14.6	63.6
年运行费用/万元	109.7	97.4	105.9	101.6
年节约运行费用/万元	基准	12.3	3.8	8.1
静态投资回收期/年	基准	6.36	3.84	7.85

以方案一作为基准，方案二的静态投资回收期为 6.36 年，方案三的静态投资回收期为 3.84 年，方案四的静态投资回收期为 7.85 年。

从技术经济性综合评估来看，方案三在初投资和运行费用之间取得了较好的平衡，其磁悬浮与变频离心机组的协同运行能够有效提升系统能效，缩短投资回收期。具体而言，项目低负荷率（≤30%）运行时间占比高达 60%，仅需开启一台 250RT 主机，磁悬浮机组在低负荷区间的性能系数（COP）比传统螺杆机组高，显著降低了轻载工况下的能耗。相比之下，方案二及方案四采用“大机磁悬浮+小机磁悬浮”及“大机磁悬浮+小机螺杆”组合，

4 结语

本研究以夏热冬暖地区某公共建筑为典型案例，基于全年动态冷负荷模拟与多方案技术经济对比，系统探讨了夏热冬暖地区公共建筑空调冷源的优化配置路径。研究结果表明，结合项目低负荷运行时长占比超 60% 的显著特征，采用“大机变频离心式+小机磁悬浮”的冷源配置方案（方案三）在技术经济性上表现最优。该方案通过高低负荷设备的精准匹配，实现系统能效提升，投资回收期缩短至 3.84 年，有效平衡了初投资与长期运行成本。

研究证实，磁悬浮机组在低负荷工况下的高效特性，与变频离心机组在高负荷区间的稳定表现形成互补，为解决超高层建筑空调系统“大负荷需求与低负荷常态”的矛盾提供了创新思路。相较于全磁悬浮机组方案，本方案避免了设备初期投入冗余；对比传统螺杆与离心机组组合，其能耗优势显著，为建筑节能目标的实现提供了数据支撑。

本研究成果不仅为该项目冷源系统设计提供了科学依据，也为同类功能建筑在夏热冬暖地区的冷源选型、设备配置及运行策略优化提供了可借鉴的实践范式。未来研究可进一步结合储能技术、可再生能源耦合等前沿方向，探索空调系统低碳化升级路径，为建筑领域“双碳”目标的达成提供更全面的技术方案。

（下转第 564 页）