

文章编号: 1671-6612 (2023) 05-718-08

贵阳某数据中心暖通空调系统冷热源经济分析

杨 艺¹ 陈展浩¹ 张伟彬¹ 陈俊毅¹ 文毅华¹ 黄森炜²

(1. 广东海洋大学海洋工程与能源学院 湛江 524088;

2. 广东申菱环境系统股份有限公司 佛山 528313)

【摘要】 针对贵阳某数据中心暖通空调冷热源不同设计方案进行技术经济分析, 以不同冷热源方案分别作方案初选分析、初投资费用和年运行费用的计算。通过计算不同方案全生命周期的费用现值, 分析得到费用现值最低的方案, 同时对该方案进行敏感性分析。目的是通过全面的分析选择出经济和节能的冷热源方案, 尽可能降低数据中心电能能耗系数 (PUE) 值, 达到绿色节能的建设要求。

【关键词】 数据中心; 暖通空调; 经济分析; 全生命周期; 敏感性分析

中图分类号 TU83 文献标识码 B

Economic Analysis of HVAC System Cold and Heat Source in a Data Center in Guiyang

Yang Yi¹ Chen Zhanhao¹ Zhang Weibin¹ Chen Junyi¹ Wen Yihua¹ Huang Senwei²

(1. College of Ocean Engineering and Energy, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, 524088;

2. Guangdong Shenling Environmental Systems Co., Foshan, 528313)

【Abstract】 In this paper, the technical and economic analysis is made for the different design schemes of HVAC cold and heat source in a data center in Guiyang, and the primary analysis, initial investment cost and annual operating cost are calculated for different schemes. Through calculating the present value of the cost of different schemes in the whole life cycle, the scheme with the lowest present value of the cost is obtained, and the sensitivity of the scheme is analyzed. The purpose is to choose the economical and energy-saving cold and heat source scheme through comprehensive analysis, and reduce the value of power consumption coefficient (PUE) of data center as much as possible, so as to meet the green energy saving construction requirements.

【Keywords】 Data Center; Heating ventilation air conditioning (HVAC); Economic Analysis; Life-Cycle; Sensitivity Analysis

0 引言

在数据中心的暖通工程设计中, 暖通空调工程系统冷热源是影响数据中心电能能耗的关键因素, 因此选择一个经济节能的冷热源成为了暖通工程设计中不可或缺的一环。暖通空调工程的多个不同冷热源方案中的最优选择, 需要结合当地的气候、能源条件等特点进行具体的分析, 通过比较不同方案的优缺点、能耗、初投资费用、投资回收期、运行费用和可靠性等, 分析确定出最经济节能的方案, 本文以贵阳某数据中心暖通空调系统冷热源设

计为例, 介绍其冷热源方案的技术经济分析过程。

1 数据中心冷热源方案初选

1.1 自然冷源冷却

贵阳是低纬度高海拔的高原地区, 属于亚热带湿润温和型气候, 兼有高原性和季风性气候特点。因此贵阳的平均温度较低, 其中, 最热的八月上旬, 平均气温为 30℃, 最冷的二月上旬, 平均气温是 3℃。年平均相对湿度为 77%^[1]。因为数据中心常年以显热冷负荷为主, 因此可以充分利用贵阳常年

基金项目: 湛江市科技项目 2021E05004

作者 (通讯作者) 简介: 杨 艺 (1981.07-), 男, 博士研究生, 副教授, E-mail: yangyi@gdou.edu.cn

收稿日期: 2023-08-04

气温较低的优越气候条件,暖通空调系统通过冷却塔利用环境中的自然冷量满足数据中心过渡季节或冬季冷负荷需求。当室外湿球温度低于冷却塔出水温度时,利用自然冷源冷却降温冷却塔内的冷却水,冷却水再通过板式换热器冷却高温的冷冻水回水,从而减少制冷机组应承担的冷负荷,当自然冷源冷量足以满足数据中心冷负荷需求时,此时可实现无制冷机组运行的“免费制冷”。此外,在无法完全利用自然冷源的情况下,吸收自然冷源冷量的冷却水还可以经过板式换热器预冷进入制冷机组的冷冻水,降低制冷机组产出制冷量,从而也能达到节能目的。

蒸发冷却分为直接蒸发冷却和间接蒸发冷却,是一种利用自然冷源进行制冷的节能技术。一般适用于室外干湿球温度相差较大的地区使用^[2],原理是通过水的蒸发带走空气的热量。数据中心所需的制冷量极大,因此采用蒸发冷却能降低制冷的所需能耗,提高其制冷效率。但高冷负荷需求同样会导致蒸发冷却机组数量增加,从而需要耗费大量的水和室外安装面积。因此在本例子中不考虑该蒸发冷却方案。

1.2 冷水机组

离心式冷水机组是暖通空调系统最常见冷源形式,有结构简单,安装维护方便,初投资相对较低,使用寿命较长等优点,考虑贵阳水资源丰富,水价较低,因此将该方案作为备选方案。

风冷冷水机组无冷却水系统的损耗,可节省大量水资源;并且主机一般放置于室外,不需要设置单独的制冷机房,可以节省建筑室内空间,而且对于需要全年制冷的数据中心,该机组还能结合自然冷却盘管使用^[2],在冬季和过渡季利用贵阳温度较低的室外自然冷源进行制冷,降低机组的能耗。但空气的换热效率远远小于水的换热效率,因此风冷式冷凝器与相同制冷量的水冷式冷凝器相比,设备体积更大,成本更高。此外,水冷式机组的传热温差一般为4~8℃,而风冷式机组的传热温差一般为8~15℃^[3],在相同的环境条件下,风冷式机组正常运转的冷凝温度要比水冷机组的冷凝温度高得多,其耗电量比水冷式机组更大。因此将该方案作为备选方案。

磁悬浮冷水机组相比传统的冷水机组具有无机械摩擦,噪声低、能耗低、效率高,能效比可提

升20%^[4]以上等优点,而且由于其运动部件少,没有复杂的油路系统等,因此其日常维护费用比冷水机组低。其缺点是前期投资相对较大,成本较高和附件较多等。需要对该方案进行进一步的经济分析,可将该方案作为备选方案。

直膨式空调就是自带冷热源系统的机组,其原理是制冷剂直接对室内的空气吸热降温,相比于常规冷水机组,不需要通过制冷剂和空气、水和空气进行二次换热,优点是:换热效率高,安装维护简单,噪音低,运行平稳,因此可以作为辅助区或舒适区的冷源。此外,直膨机组还能像多联机一样在冬季进行制热,但其耗费的电能较多,需要进一步的经济分析确认。因此将该方案作为辅助区的备选方案。

多联机通常由室内机和室外机组成,一台室外机可以连接两台甚至更多的室内机。因此多联机系统适用于分散、负荷小的多个房间,可以通过调节进入室内机的制冷剂流量来单独控制各个房间的温度,满足不同的舒适要求。此外,多联机结构紧凑、易于布置、可以节省空间。因此将多联机作为舒适区域的备选方案。

1.3 末端方案初选

数据中心机房末端空调设备方案主要分为房间级精密空调和行级空调冷却系统。房间级精密空调优点是能够长时间的运行,能准确监控机房内的空气状态,迅速将温湿度控制在设计的范围内。新型的房间级精密空调能采用冷热通道封闭的方式,直接将处理后空气通过风管送入冷通道内,大大提高了制冷的效果。但其冷量在运输的过程中会发生损失。相比同样大小的行级空调其制冷效率会更低,因此将该方案作为备选方案。

行级空调冷却系统也称为列间级空调冷却系统,空调末端与服务器并列布置在服务器机柜列间^[5]。其空调容量配置一般以列为冷却单元。行级空调贴近热源,可以高效率冷却服务器设备,不产生局部过热问题,可以实现更大的循环风量,且空气路径短、系统阻力小,需要的风机动力相对较小,更节省能耗。行级空调冷却系统一般需要封闭冷、热通道,隔离机柜进排风,形成冷热通道,避免冷热空气混合,能有效地减少因冷风气流和热风气流短路而导致的冷却效果降低风险,因此将该方案作为备选方案。

1.4 方案汇总

数据中心的能耗巨大，根据《数据中心设计规范》规定：数据中心的空调系统设计应采用节能措施，应根据当地气候条件，充分利用自然冷源，采用水冷冷水机组的空调系统，冬季可利用室外冷却塔作为冷源；采用风冷冷水机组的空调系统，设计时应采用自然冷却技术^[6]。结合上述对冷热源的初选和分析，再考虑工程所在地的气候资源条件，选出如表 1 所示的冷源方案，其中根据规范^[6]规定，

为避免制冷机组缺电而无法提供冷量的情况，需要设置蓄冷罐作为应急冷源，满足数据中心应急情况 30min 的运行需要。因为不同冷热源方案蓄冷设计是相同的，因此此处技术经济方案不将蓄冷列入分析范围。此外，对于一层值班室等有热负荷需求、分布分散且面积较小的房间，我们均考虑采用多联机空调系统，以满足这些房间在夏季需要供冷和冬季需要制热的要求。

表 1 冷热源方案汇总

Table 1 Summary of cold and heat source scheme

方案	冷源		末端设备		一层除变配电室以外的功能间
	核心机房区域	小机房 D 和支持区	核心机房区域	小机房 D 和支持区	
方案一	离心式冷水机组	离心式冷水机组	水冷行级精密空调	水冷房间级精密空调	多联机
方案二	自然冷却风冷冷水机组	自然冷却风冷冷水机组	水冷行级精密空调	水冷房间级精密空调	多联机
方案三	磁悬浮冷水机组	磁悬浮冷水机组	水冷行级精密空调	水冷房间级精密空调	多联机
方案四	磁悬浮冷水机组	风冷直膨机组	水冷行级精密空调	风冷直膨房间级精密空调	多联机

2 冷热源经济分析

本文贵阳某数据中心建筑总用地面积为 3006.37m²，共建有 4 层，首层层高为 7m，二层和三层高均为 5.5m，四层层高 4.4m；建筑总高度为 26.2m。地上一层的主要功能是冷冻机房、配电室、值班室、监控值班室和排风机房，二层至四层都布置有 3 个大面积核心机房区和 1 个小面积的机房区，共布置了 1563 台机柜，单机机柜的功率为 4kW。在二层和四层设置有不间断电源系统用房 UPS 室，三层设有电池室等。数据中心的设置等级为 A 级，因此按照规范要求配置了容错系统，采用了不间断电源系统和市电电源相结合的供电方式，以保证数据中心在危急情况下都能减少损失和降低影响。

计算最大值为 6796.20kW，华电源计算全年负荷最大值为 6980.76kW，全年负荷曲线如图 1 所示。值班室等舒适性空调区域的热负荷值为 18.3kW，再考虑修正，根据公式计算负荷结果选择了四台磁悬浮冷水机组，其中两台冷水机组作为备用机组，相关参数见表 2。再根据其蒸发器和冷凝器水流量以及估算的扬程选择冷冻水、冷却水泵以及冷却塔，冷却塔、水泵与机组一比一对应。

2.1 设备初选

在进行方案的初投资计算前，需要对各个方案的设备进行初选，以便更准确的比较其经济性，本文以初选的方案三为例。数据中心总冷负荷经公式

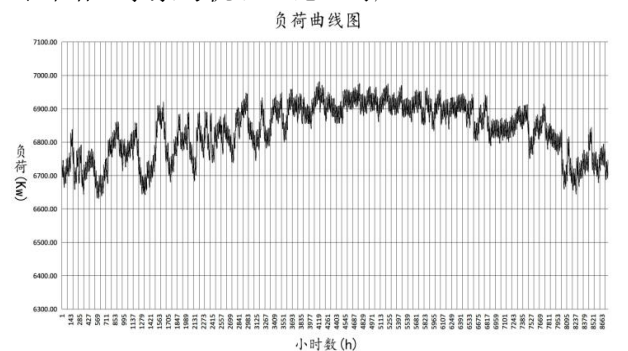


图 1 全年负荷曲线图

Fig.1 Annual Load Curve.

表 2 磁悬浮冷水机组参数

Table 2 Magnetic levitation chiller equipment parameters

型号	制冷量 KW	输入功率 KW	蒸发器水流量 m ³ /h	冷凝器水流量 m ³ /h	数量 台	单价 元/W	总价 万元
磁悬浮冷水机组	3646.58	443.39	514	643	2+2	1.2	1750.36

冷冻水泵和冷却水泵, 分别与冷水机组一一对匹配设计, 因此单台磁悬浮冷水机组的蒸发器和冷凝器流量即分别为冷冻水泵和冷却水泵流量, 再考虑 10% 安全系数, 计算出冷冻水泵和冷却水泵流量分别为 565.4m³/h 和 707.3m³/h, 扬程估算分别为 34mH₂O 和 30mH₂O。根据计算的冷冻水的流量和扬程, 选取四台型号为 FWG250-400 的水泵作为冷冻水泵和 4 台型号为 FWG300-300 的水泵作为冷却水泵, 其中分别设置两台为备用水泵。根据《实用供热空调设计手册》^[8] 的第 26.8.3 节, 循环水系统的小时泄漏量, 可按系统水容量的 1% 计算。系统

的补水流量宜取系统水容量的 2%, 还应考虑发生事故时所增加的补给水量, 因此, 补给水泵的流量应该不小于正常补水量的 4 倍, 确定出补水流量为 82.24m³/h, 水泵参数见表 3。冷却塔同样采用与制冷机组的数量一一对应方式设计 (2 用 2 备), 冷却塔的循环水流量可以根据冷却水系统流量得求出, 再考虑 1.2 的安全系数, 得到出单台冷却塔流量为 771.6m³/h。因此, 根据流量选择四台型号为 RFC-800L 方形横流式玻璃钢冷却塔, 参数如表 4 所示。

表 3 冷热源附件设备参数

Table 3 Cold and heat source accessories equipment parameters

型号	流量 m ³ /h	扬程 m	转速 r/min	配套电机功率 kW	重量 kg	台数 台	
冷冻水泵	FWG250-400	600	39	1450	110	1530	2+2
冷却水泵	FWG300-300	720	28	1450	75	1350	2+2
补水	FWG80-200(I)B	87	38	2900	15	198	1+1

表 4 RFC-800L 冷却塔参数

Table 4 RFC-800L cooling tower parameters

循环水量 m ³ /h	冷却能力 Kcal/h×1000	外形尺寸 (mm)			风机直径 (mm)	电动机功率 (kW)	重量 (Kg)	台数
		长	宽	高				
800	4000	7780	5260	5180	4200	22	10910	2+2

板式换热器的流量需要考虑安全系统, 因此负荷的结果附加 20% 的余量, 板式换热器的数量与制冷机组一一对应, 选择 4 台 BR13 板式换热器, BR13 板式换热器的传热系数为 5800W/(m²·°C), 两台板式换热器作为备用换热器。板式换热器的选型计算如下:

$$F = \frac{1.2Q}{K \times \Delta t_m} \quad (1)$$

式中, Q 为板式换热器换热量, W; K 为板式换热器的传热系数, W/(m²·°C); Δt_m 为对数平均温

差, °C。

根据末端冷冻水的供回水温差和冷却塔的性能曲线, 可以确定冷却水的供回水温差, 因此板式换热器的一次侧的进出水温度为 13.5°C/16.5°C, 二次侧的进出水温度为 21°C/15°C。通过式 (1), 可以计算出每台板式换热器的换热面积 382m²。

由于小机房和支持区的房间较小, 因此可以采用水冷房间级精密空调或者风冷直膨房间级精密空调, 最终的选择需要进一步的经济分析, 可以根据各房间所需制冷量初选其对应的末端设备。

表 5 末端设备参数

Table 5 End-device parameters

型号	总冷量 kW	显冷量 kW	送风方式	风量 m³/h	水流量 m³/h	尺寸 (mm) 宽×长×高
HM030RC 行级冷冻水精密空调	25	25	水平送风	5000	3.6	300×1200×2000
HM150C 房间级冷冻水精密空调	106.4	93.6	上送风	28500	26.1	300×1200×2000
HM050C 房间级冷冻水精密空调	36.05	32.2	上送风	9500	8.8	900×1000×1980

2.2 初投资计算

根据设备初选的结果，可以确定其规格和数

量，再根据其单价即可计算出设备的初投资费用，

具体的计算如下表所示。

表 6 方案三初投资

Table 6 Scheme 3 initial investment

序号	名称	型号	规格	数量	估价	总价/万元
1	磁悬浮冷水机组	LSBLX850/R4(BP) -TNGEA16CA16-F	3646.58kW	2+2 台	1.2 元/W	1750.36
2	冷却塔	RFC-800L	每台流量 800m³/h	2+2 台	340 元/ (m³/h)	108.80
3	冷冻水泵 1	FWG250-400	Q=600m³/h	2+2 台	75 元/ (m³/h)	18.00
4	冷却水泵 1	FWG300-300	Q=720m³/h	2+2 台	75 元/ (m³/h)	21.60
5	补水泵	FWG80-200 (I) B	Q=87m³/h/	1+1 台	75 元/ (m³/h)	1.31
6	板式换热器	BR13	每台 385 m²	2+2 台	12.9 万元/台	51.60
7	房间级水冷精密 空调	HM050C	每台制冷量 51.5KW	3+3 台	6.9 万元/台	41.40
8	房间级水冷精密 空调	HM060C	每台制冷量 62kW	4+2 台	7.7 万元/台	46.20
9	房间级水冷精密 空调	HM100C	每台制冷量 103kW	2+1 台	10.95 万元/台	32.85
10	房间级水冷精密 空调	HM150C	每台制冷量 152kW	8+4 台	14.8 万元/台	177.60
11	安装费	按设备费的 15%估算			×0.15	337.46
12	变配电费	按 180 元/kVA 计算，功率因数取 0.9			2749.2/0.9×180	54.98
13	土建费	5000 元/m²			1180m²	590.00
合计						3232.15

方案三的设备总投资为 3232.15 万元，其中包含各种设备的初投资、设备的安装费、变配电费和土建费，其中最高的费用是四台的磁悬浮冷水机组，需要 1750.36 万元。

2.3 运行费用计算

本文以方案三为例计算主要设备的运行费用，其他方案计算方法相同。由于贵阳有峰谷电价，为了确保计算方便和结果的准确，引入了单价指标对运行费用进行计算，可以根据运行时间的比例来确

定的^[7]，其计算公式如下所示。

$$\bar{F} = \sum_{i=1}^3 F_i \times \frac{t_i}{24} \tag{2}$$

式中： \bar{F} 单价指标，元/kWh； t_1 为高峰电价下机组运行时间，h； t_2 为平谷电价下机组运行时间，h； t_3 为低谷电价下机组运行时间，h； F_1 为高峰电价，元/kWh； F_2 平谷电价，元/kWh； F_3 为低谷电价，元/kWh。机房内空调系统使用时间为 24 小时，其中高峰电价的运行时间为 8 小时，平谷电

价的运行时间为 8 小时, 低谷电价运行时间为 8 小时。根据公式 (2) 可得:

$$\begin{aligned} \bar{F} &= 0.8439 \times \frac{8}{24} + 0.571 \times \frac{8}{24} + 0.2982 \times \frac{8}{24} \\ &= 0.571 \text{元/kWh} \end{aligned}$$

因此单位指标即平均单价, 为 0.571 元/kWh。

根据《实用空调设计手册》^[8]的第 26.8.3 节可知: 循环水系统的小时泄漏量, 可按系统水容量的 1% 计算。则冷冻水系统全年泄露量 m^3 , 根据《数据中心节能设计规范》^[9]DB11/T 1282-2015 的第 6.9 条可知: 全年采用冷却塔散热的数据中心, 其全年冷却塔的补水 W_i 可按式计算:

$$W_i = q_x \times k_1 \times k_2 \times h \quad (3)$$

式中: W_i 为冷却塔全年补水量, m^3/a ; q_x 为数据中心冷却塔小时循环水量, m^3/h ; k_1 为数据中心

冷却塔小时补水系数, 可取 0.5%~1%; k_2 为数据中心冷却塔补水年变化系数, 可取 0.6~0.8; h 数据中心全年冷却塔运行小时数, h/a 。根据式 (3) 可计算出冷却塔年补水量 11.2 万 m^3 , 水系统全年耗水量 20.21 万 m^3 。根据能源调研后, 确定水费的单价指标为 4.04 元/ m^3 , 则该方案的年耗水费用 81.63 万元。

机组的运行费用如下式所示, 根据公式可算出机组以及附件的年运行费用, 机组计算结果如表 6 所示, 方案三的总运行费用如表 7 所示。

$$F = N \times T \times P \times \bar{F} \quad (4)$$

式中: F 为总运行费用, 万元; P 为设备运行功率, kW; T 为设备全年运行时间, h ; N 为数量。方案三主要设备的运行费用计算见表 7、8 和 9。

表 7 磁悬浮冷水机组年运行费用

Table 7 Annual operating cost of magnetic levitation chiller

工况	负荷率	运行小时数	功率	数量	机组耗电量	单价指标元	运行费用	合计
		h	kW		kWh	kWh	万元	
制冷机组完全运行	100%	3891	443.39	2	3450461.0	0.571	197.02	
	75%	781	233.76	2	365133.1	0.571	20.85	
部分自然冷却	50%	1226	124.88	2	306205.8	0.571	17.48	240.83
	25%	783	61.18	2	95807.9	0.571	5.47	
完全自然冷却	0%	2038	0	0	0	0.571	0	

表 8 附件设备年运行费用

Table 8 Annual operating cost of accessory equipment

序号	项目	额定电耗	数	运行小时	电耗	单价	电耗费	水泵总电耗费用
		kW		量	h		kWh	
1	冷却塔 RFC-800L 风机	22	2	8760	385440	0.571	22.01	214.58
2	冷却水泵 FWG300-300 电机	75	2	8760	1314000	0.571	75.03	
3	冷冻水泵 FWG250-400 电机	110	2	8760	1927200	0.571	110.04	
4	补水泵 FWG80-200 (I) B 电机	15	1	8760	131400	0.571	7.50	

表 9 末端设备年运行费用

Table 9 Annual operating cost of End-device

项 目	最大负载	数量	运行小时	电耗	单价	电耗费	空调末端总
	电流 A		h	kWh		元/kWh	
							万元
房间级水冷精密空调	14.7	3	8760	253964.1384	0.571	14.50	141.96
房间级水冷精密空调	14.7	4	8760	338618.8512	0.571	19.34	
房间级水冷精密空调	24.8	2	8760	285637.6704	0.571	16.31	
房间级水冷精密空调	34.9	8	8760	1607863.661	0.571	91.81	

3 不同方案经济分析

和运行费用，其计算结果如表 10 所示。

采用上述的方法，分别计算四个方案的初投资

表 10 四个方案的初投资及年运行费用

Table 10 Initial investment and annual operating costs of four schemes

		方案一	方案二	方案三	方案四
初投资	机组初投资 (万元)	1155.84	1452.2	1750.36	1471.29
	附件初投资 (万元)	495.58	324.24	499.36	389.07
	安装费 (万元)	247.71	266.47	33.75	279.05
	土建费 (万元)		590		
	变配电费 (万元)		54.98		
	总价 (万元)	2544.11	2685.61	3232.15	2784.40
年运行费用	机组运行费用 (万元)	294.94	689.69	240.83	198.74
	附件运行费用 (万元)	371.55	400.32	356.54	671.02
	补水费 (万元)	79.58	52.52	81.63	77.71
	年维修费 (万元)	24.77	26.65	33.75	27.91
	人员管理费 (万元)		191.63		
	总价 (万元)	962.46	1360.81	904.37	1167.00

3.1 生命周期费用法

生命周期费用是将项目的初投资、项目设计寿命内每一年的运行费，按照折现率折算成项目开始的资金现值。生命周期费用的大小综合反映了项目初投资以及每年的运行费的情况，生命周期费用越小，项目的经济性越好。生命周期费用的计算公式如下：

$$P_c = C_0 + \sum_{k=1}^n C_k (1+i)^{-k} \quad (5)$$

式中： P_c 为费用现值； C_0 为初投资； C_k 为第 k 年运行、管理、维修总费用； i 为基准折现率，取

10%； n 为使用寿命，取 20 年。

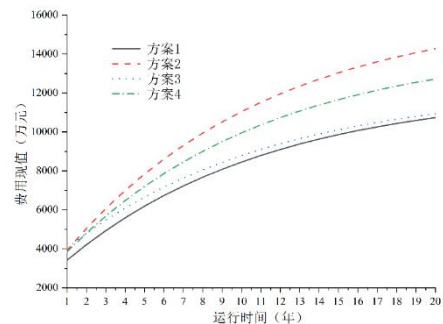


图 2 各方案全生命周期费用现值

Fig.2 Present value of the life- cycle costs of each scheme

表 11 不同方案全生命周期的费用现值 (万元)

Table 11 Life-cycle present value for different schemes

	方案一	方案二	方案三	方案四
初投资 (C_0)	2544.11	2685.61	3232.15	2784.40
年运行费用 (C_k)	962.46	1360.81	904.37	1167.00
费用现值 (P_c)	10738.10	14270.95	10931.56	12719.73

根据上述的计算方法，可计算出各方案的生命周期费用现值，结果如图 2 和表 11 所示。四个方案费用现值均在寿命期内，随年份增加，费用现值不断增加。方案 2 费用值最高，方案 1 最低，且方案 3 的值与方案 1 比较接近，相差不大，说明四个方案中，方案一和三的费用都较低。理论上方案 1 费用最低应为最优方案，但结合两方案机组优点综合考虑，方案三的磁悬浮冷水机组更好，这是因

为数据机房的设计原则是在达到设计要求情况下尽可能的降低数据机房电能损耗系数 PUE，尽可能降低机房的设备能耗，而磁悬浮冷水机组无机械摩擦，噪声低、能耗低、效率高，更加符合这个要求，且相对绿色和环保。根据图 3 磁悬浮冷水机与变频离心冷水机 COP 系数对比可知，磁悬浮冷水机在不同负荷率的情况下 COP 都比离心式高，说明磁悬浮冷水机制冷效率更高，在费用现值相差不大的

情况下, 选择磁悬浮机组的方案三更合适。

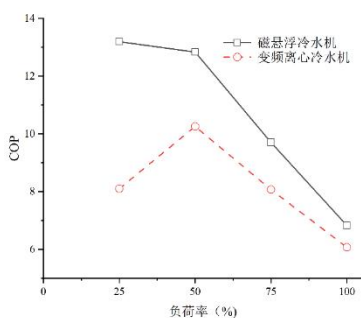


图 3 磁悬浮与离心式冷水机组在不同负荷率下的 COP

Fig.3 COP of magnetic levitation and centrifugal chillers at different load rates

3.2 敏感性分析

敏感性分析就是单个确定因素的变动对方案经济效果的影响, 它可以表示该因素按一定百分率变化得到的评价指标值^[10], 在本文中以费用现值作为敏感分析对象, 选择电价、水费和初投资为敏感性因素对方案一和三进行对比分析, 确定其中的最佳方案。

根据敏感性分析结果表 12 可知, 方案一和三的费用现值随电价、水费和初投资增加而增大, 当电价波动时, 方案一波动对其经济性的影响稍微更大, 电价越高, 则其经济性越差。综合考虑上述因素, 该数据机房暖通空调系统最终选择方案三的冷热源方案: 磁悬浮冷水机组结合板式换热器和冷却

塔作为数据中心冷源, 机房末端选用行级精密空调, 支持区选择房间级精密空调。

4 结论

数据中心暖通空调系统冷热源的每个方案都有其各自的优缺点, 同一方案在不同地区也会有不同的制冷效果, 因此需要对各方案进行经济分析。同时还需要对设计地点的资源条件进行调研, 确定可利用的自然资源对应的冷热源方案, 并为经济计算提供参考。最后再结合当地的资源特点进行具体分析, 选择出适用的备选方案。本文根据贵阳温度较低的气候条件以及丰富的水电资源, 并根据数据中心全年负荷变化特点, 初选四个冷水机组与利用自然冷源相组合的备选方案, 然后初选出四个方案的设备, 计算其初投资以及年运行费用。在计算过程中需要确定机组不同负荷下的全年运行时间, 以减少结果的误差。最后通过全生命周期的费用现值分析, 并参考敏感性分析, 确定选择方案三即磁悬浮冷水机组+自然冷源作为数据中心冷源, 核心机房末端采用水冷行级精密空调, 其他支持区选择房间级精密空调, 值班室等舒适性区域选择多联机空调作为贵阳某数据中心空调系统方案。

综上所述, 冷热源的选择需要经过全面的优缺点、能耗、费用、回收期 and 可靠性的分析, 才能确定出最经济节能的方案。

表 12 方案一和三敏感性分析 (万元)

Table 12 Scheme 1 and 3 sensitivity analysis

		方案一						
变化幅度		-20%	-10%	0%	10%	20%	-1%	+1%
电价		9099.31	9918.68	10738.10	11557.54	12376.89	-0.76%	0.76%
水费		10602.66	10670.34	10738.10	10805.20	10873.65	-0.06%	0.06%
初投资		10229.29	10483.70	10738.10	10992.52	11246.93	-0.23%	0.23%
		方案三						
变化幅度		-20%	-10%	0%	10%	20%	-1%	+1%
电价		9914.47	10422.99	10931.56	11440.20	11924.71	-0.465%	0.465%
水费		10792.57	10862.12	10931.56	11000.38	11070.62	-0.063%	0.063%
初投资		10285.16	10608.375	10931.56	11254.805	11578.02	-0.296%	0.296%

参考文献:

[1] 天气二四网.贵阳市全年各月气温统计[EB/OL].<https://www.tianqi24.com/guiyang1/history.html>.
 [2] 数据中心运维管理.数据中心空调系统节能技术—风

冷冷水机组间接自然冷却技术[EB/OL]. <https://blog.csdn.net/j6UL61Q4vA97XIM/article/details/128810538>.
 [3] 鲁亮.蒸发冷却技术在贵阳地区数据中心的应用探讨[J].制冷与空调,2021,35(4):588-591.(下转第 731 页)