

文章编号: 1671-6612 (2023) 04-568-05

# 四川省某数据中心能耗情况分析

张雯琦<sup>1</sup> 倪吉<sup>2</sup> 袁中原<sup>1</sup> 高波<sup>2</sup>

(1. 西南交通大学机械工程学院 成都 610031;

2. 四川省建筑科学研究院有限公司 成都 610081)

**【摘要】** 数据中心用电量高, 服务需求快速增长。以四川省某数据中心项目为例, 对既有数据中心能耗情况进行分析。对该项目实际能耗情况进行介绍, 从对实际运行能耗表现的分析得出结论: 该数据中心全年 PUE 值达 1.41, 总体建筑运行能耗表现良好, 但冷却系统的能耗分析作为冷却系统节能措施制定的基础存在进一步分析的价值; 该数据中心全年 CLF 值达 0.295, 冷却系统能耗表现较差。优化冷却系统的能耗表现可最大限度地降低 PUE 值, 若期望该数据中心全年 PUE 值达到 1.3, 需要冷却系统在现有 IT 设备用电量的基础上承担 2415150.1kWh 的用电节能量。

**【关键词】** 数据中心; PUE; 节能; 能耗情况

中图分类号 TB69 文献标识码 A

## Analysis of the Energy Performance of a Data Center in Sichuan Province

Zhang Wenqi<sup>1</sup> Ni Ji<sup>2</sup> Yuan Zhongyuan<sup>1</sup> Gao Bo<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, 610031;

2. Sichuan Institute of Building Research, Chengdu, 610081)

**【Abstract】** Data center electricity consumption and the demand for data centers are growing rapidly. This paper takes a data center in Sichuan Province as an example to analyze the energy performance of the existing data centers. The performance of the project is introduced. From the analysis of the energy performance, it is concluded that the annual PUE of the data center is 1.41, indicating that the overall building energy performance is good. The power consumption analysis of the cooling system has further value as the basis for the formulation of energy-saving measures for the cooling system. The annual CLF of the data center is 0.295, indicating that the energy performance of the cooling system is inefficient. For this data center, optimizing the energy performance of the cooling system is the most feasible way to minimize the PUE. If the PUE of the data center is expected to be 1.3, the cooling system requires a reduction of 2415,150.1kWh of electricity consumption.

**【Keywords】** data center; PUE; energy efficiency; energy performance

## 0 引言

数据中心以其能耗密集的特点约占全球总用电量的 1%。随着数据中心服务需求的快速增长, 其全球总能耗也会进一步提升。数据中心全球总

耗提高的同时, 单位实例能耗强度呈下降趋势, 进一步证明数据中心总体能效水平不断提高。对于具体项目而言, 世界级的超大型数据中心已经在以 1.1 或更低的 PUE 运行<sup>[1]</sup>。近年来, 我国数据中心

基金项目: 四川省科技厅重点研发项目《低碳近零能耗公共建筑技术体系研究及示范》(2023YFS0394); 四川华西集团科技课题《四川省低碳建筑测评技术研究及应用》(HXKX2020/024); 四川华西集团课题《基于碳中和目标的绿色零碳建筑技术体系研究及示范》(HXKX2021)

作者简介: 张雯琦 (1999-), 男, 在读硕士研究生, E-mail: wenqi.zhang@my.swjtu.edu.cn

通讯作者: 倪吉 (1984-), 男, 硕士研究生, 高级工程师, E-mail: 1210017089@qq.com

收稿日期: 2023-02-17

产业保持平均每年 30%左右的增速,且预计未来仍将保持发展趋势<sup>[2]</sup>。未来我国数据中心产业仍将保持向更大规模发展的趋势。保持数据中心产业有力增长的同时提高数据中心总体能效是节约能源、资源,在数据中心领域响应“碳达峰碳中和”目标的落脚点。

我国数据中心产业发展初期,数据中心主要分布在东部沿海地区一线城市<sup>[1]</sup>。近年来,数据中心建设工作更多转向一线城市周边和中西部非一线城市。西部地区由于各项优势,数据中心的发展前景十分可观<sup>[2]</sup>。当前,各省地方政府大力引导建设数据中心,以期通过数据中心产业带动当地相关经济发展。四川省引入了中国联通和中国电信,建设了十几个大型数据中心。为了保证能源供给平衡和中心城市的信息需求,未来数据中心建设将会逐渐转向一线城市周边区域和西部区域<sup>[2]</sup>。本文分析了四川省某数据中心实际项目能耗情况,旨在了解该地区数据中心实际运行情况,为进一步探索其运行阶段节能潜力及路径打下一定基础。

### 1 项目概况

该数据中心位于四川省雅安市,属夏热冬冷地区,为 GB 50174-2017《数据中心设计规范》所定义的 A 级数据中心,节能设计依据 GB 51245-2017《工业建筑节能设计统一标准》。该数据中心建筑总面积 13548m<sup>2</sup>,地上两层,建筑高度 17.6m,局部 20m。其主要包括服务器机房、公共走廊以及消防控制室等区域。楼内辅助用电主要包括照明系统、插座、弱电系统如监控设备等。楼内主要区域照明系统设备及功率密度如表 1 所示。实际运行过程中,服务器机房以及消防控制室采用分组手动控制方式进行启停,公共走廊采用雷达感应、分组控制的方式进行启停。

表 1 主要区域照明系统设备及参数

**Table 1 Equipment and parameters of lighting systems in major areas**

室内区域	照明设备	功率密度
服务器机房	LED 灯管 (23W)	7.24W/m <sup>2</sup>
公共走廊	LED 灯管 (23W)	2.1W/m <sup>2</sup>
消防控制室	LED 面板灯 (36W)	9.28W/m <sup>2</sup>

冷却系统方面,该数据中心主要采用集中式冷冻水一级泵冷却系统,配置三台水冷离心式机组

(两用一备);运行商接入间设置风冷式精密空调;电池室设置多联机空调机组;服务器机房末端采用房间级专用空调机组。集中式冷冻水冷却系统中每台水冷离心机组配套一台板式换热器。该冷却系统可以利用过渡季或冬季较冷的室外气温,由冷却塔及板式换热器提供冷量,减少冷冻机组开启时间,降低能源消耗。为保证系统节能运行,水冷离心冷水机组、冷却塔、水泵等均配套变频功能;冷却系统配套集中自控系统;输配管网系统选用电动切换阀门,实现远程监控与自动切换控制。冷却系统设计峰值负荷为 8628kW,冷水机组主要性能参数如表 2 所示。

表 2 冷水机组主要性能参数

Table 2 Main parameters of chillers

制冷量	功率	COP	冷冻水供回水温度
4570kW	675kW	6.77	15/21℃

### 2 数据中心能耗情况

该数据中心电力分配情况如图 1 所示。以该数据中心 1 号楼为分析对象,各项能耗数据由该楼智能实时监控平台(DCIM, Data Center Infrastructure management)导出。该数据中心数据监测、采集系统经中国信息通信研究院检测,以确保数据的可靠性,现场测试使用的电能质量分析仪具体参数如下表 3 所示。整合一年数据如表 4 所示。可以看到,楼内辅助用电量相较于其他两项用电量的数值极低,一定程度上可以说明该数据中心在包含照明、插座等用电项上的用电措施、节电措施效益显著,故节能潜力不大。

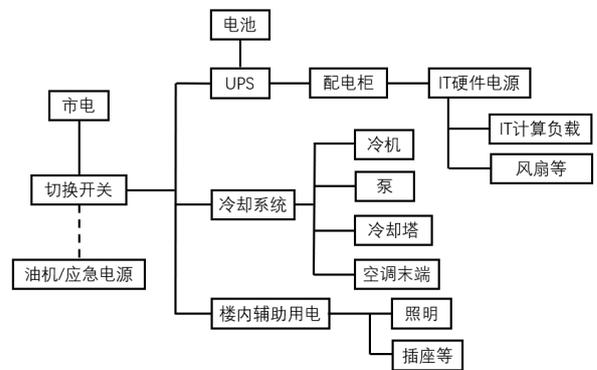


图 1 数据中心电力分配简要示意图

Fig.1 Diagram of data center power distribution

表 3 测试仪器性能参数

Table 3 Performance parameters of testing instruments

型号	量程	分辨率	精度
Fluke 1734-iFle x-1500-12	电压 :1000V	0.1V	± ( 0.2%+0.01% )
	电流 : 150A	0.1A	± ( 1%+0.02% )
电流 :1500A	1A		

该数据中心 1 号楼全年总用能 36798240kWh, 其中冷却系统全年用电达 7613126kWh, 冷却系统用电量占总用电量比例达 20.7%, 逐月情况如图 2 所示。

表 4 数据中心各项逐月能耗 (单位: kW)

Table 4 Monthly energy consumption of each item (unit: kW)

时间	UPS	冷却系统	楼内辅助用电
1 月	2247428	409670	33108
2 月	2072122	369501	25755
3 月	2494141	648800	25097
4 月	2261572	602413	39097
5 月	2423698	706489	40648
6 月	2364466	743121	30052
7 月	2438914	863041	25759
8 月	2567240	888688	26099
9 月	2535004	793930	25297
10 月	2656150	716624	25070
11 月	2296260	476801	34025
12 月	2154474	413286	37588

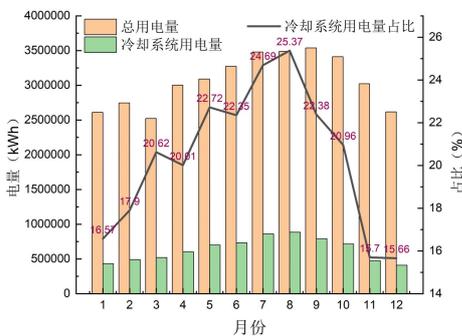


图 2 数据中心 1 号楼总用电量和冷却系统用电量逐月情况

Fig.2 Monthly Total and cooling system electricity consumption

可以看到, 总用电量除 3 月外, 呈现随时间先

增加再减少的趋势; 冷却系统全年用电量符合季节性变化同样呈先增长后降低趋势; 冷却系统用电量占总用电量的比值在 15.66%到 25.37%之间变化, 最大占比出现在 8 月, 最小占比出现在 12 月, 存在明显的季节性变化趋势。全年冷却系统总用电量占比 20.69%。截至数据获取时, 该数据中心 1 号楼总上架率为 73%, 由于机房内服务器运行特性, 实时负载功率存在波动, 逐时散热量也随之波动。逐月总用电量的大致变化趋势与冷却系统用电量的变化趋势有着极大的相关性, 上述占比可以在反映冷却系统用电量相对大小的同时一定程度上体现冷却系统能耗与 IT 设备能耗之间的匹配关系。

为了合理有效评估数据中心的总体能耗表现, 需要具体的能效评价指标来将其量化。目前主流的评价指标为用能效率 (Power Usage Effectiveness, PUE), 该指标为 ASHRAE 和美国绿色网格组织 (TGG) 于 2007 年提出并应用于国内外数据中心能效评价。PUE 的计算公式如式 (1) 所示:

$$PUE = P_t / P_{IT} \quad (1)$$

式中:  $P_t$  为数据中心全年总耗电量;  $P_{IT}$  为数据中心 IT 设备全年耗电量。

根据定义, PUE 值为一个大于 1 的数值, PUE 越接近 1, 说明数据中心越节能。由式 (1) 可得该数据中心 PUE 值为 1.41, 为 GB 40897-2021《数据中心能效限定值及能效等级》中所划定的 3 级 ( $PUE \leq 1.5$ ) 数据中心。据统计<sup>[2]</sup>, 全球数据中心的平均 PUE 在 1.5 左右; 我国现有数据中心 PUE 大于 1.5 的占比 37%, PUE 位于 1.4 到 1.5 和 1.3 到 1.4 的占比均为 29%, 1.2 到 1.3 的占比为 5%, 小于 1.2 占比为 0。可以看出该数据中心用能效率表现良好, 处于我国现有数据中心 PUE 值中上水平, 略优于全球平均水平。从 1 号楼 DCIM 界面导出的数据结合上述 PUE 值的定义, 此处得到逐月 PUE 值, 如图 3 所示。可以看到逐月 PUE 值超过 1.45 的月份为六月、七月、十二月。由于该数据中心逐月用能呈现季节性变化趋势, 月 PUE 值较高表明该月对应工况下该数据中心用能效率较低, 进一步探究其用能效率低的原因和数据中心整体能耗表现与冷却系统能耗表现之间的联系也因此成为亟待解决的两大问题。此外, 十二月 PUE 值相对较大, 在总体变化趋势中明显异常的原因有待进一步深入探究。

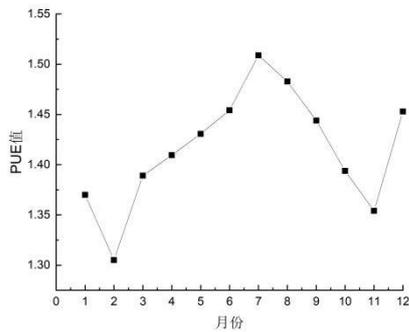


图 3 逐月 PUE 值

Fig.3 Monthly PUE

若期望该数据中心达到 GB 40897-2021《数据中心能效限定值及能效等级》中所划定的 2 级 (PUE≤1.3) 数据中心, 需要在 IT 设备用电以外的各项中节能 2415150.1kWh, 而根据上述对于该数据中心各项用能的数据分析可以得出结论, 短期内最有可能实现该部分节能量的有效途径是在绝对用电量相对较高的冷却系统中采取一定节能措施。在机房 IT 设备能耗一定的情况下, 冷却系统消耗更少的能源达到预期冷却目的是未来节能工作的重中之重, 降低冷却系统用电量的占比是数据机房节能以及降低数据中心 PUE 值的一大关键点。基于此, 对于冷却系统的能耗情况分析作为冷却系统节能措施制定的基础, 其重要性尤为显著。

### 3 冷却系统能耗情况

冷却系统包括机房专用空调末端、冷却塔、冷冻水泵、冷却水泵、冷水机组等主要耗电设备。在机房末端空调保证合理送风温度的前提下, 该数据中心编号为 A-I 各机房的平均回风温度如图 4 所示, 由此可以看出机房室内环境满足 GB 50174-2017《数据中心设计规范》要求以及本项目 31-35℃的节能设计要求。在冷却系统达到环境需求的前提下, 进一步对用电量即能耗情况进行分析, 冷却系统用电量分项情况如图 5 所示。冷水机组用电量随时间变化显著。可以得出结论, 该数据中心全年逐月用电量呈现一定季节性变化的主要原因在于冷水机组用电量的显著季节性变化; 冬季由于冷却系统改为冷却塔作为冷却系统的冷源汇集室外自然冷量, 其能耗有一定提高。冷冻水泵和冷却水泵用电量相对稳定, 在一定范围内有所起伏。在冬季, 系统采用冷却塔和板式换热器为主的自然冷却方式为数据中心机房提供冷量, 室外“免

费”冷量通过冷却塔集取后由输配系统运输至室内机房专用空调末端, 冷机在其他月份作为为主要制冷设备, 相对大小具有负荷的季节性变化趋势。将冷却系统分为制冷和输配两部分, 分项占比如图 6 所示。可以明显看出, 由于冬季冷却塔供冷的运行策略, 输配系统用电量的占比在冬季的数月里相较于其他月份有显著的提高, 而冷却系统总用电量显著降低, 因此可以看出使用“免费”冷源有一定的优势与节能效果。

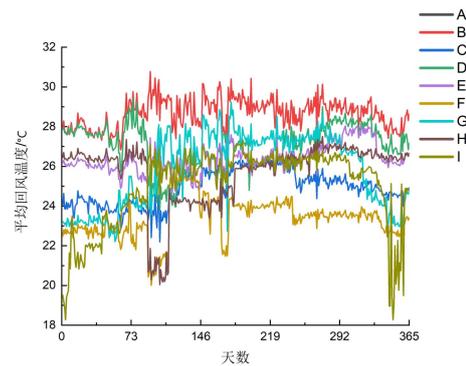


图 4 各编号机房逐日平均回风温度

Fig.4 Average return air temperature of each computer room

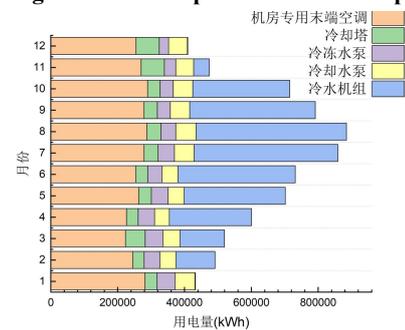


图 5 冷却系统用电量分项情况

Fig.5 Monthly energy consumption of each item in

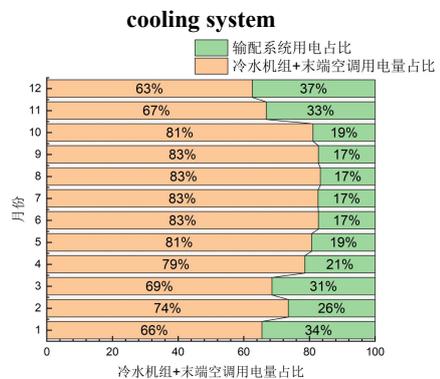


图 6 冷却系统用电量分项占比

Fig.6 Monthly energy consumption proportion of two parts in cooling system

从 PUE 值的定义式可以看出该值是针对数据中心总体能耗中最核心的 IT 设备用能进行讨论的一个评价指标,用于评价数据中心冷却系统性能表现相对片面。而数据中心的冷却系统是继 IT 设备用能之外耗能最大的基础设施系统,因此常采用制冷负载系数 (Cooling Load Factor, CLF) 来评估数据中心制冷能耗与 IT 设备能耗比例。CLF 的计算公式如式 (2) 所示:

$$CLF = P_c / P_{IT} \quad (2)$$

式中:  $P_c$  为数据中心冷却系统全年耗电量;  $P_{IT}$  为数据中心 IT 设备全年耗电量。

由式 (2) 可得该数据中心 CLF 值为 0.295。据统计<sup>[2]</sup>,截至 2020 年我国现有数据中心 CLF 值位于 0.01 至 0.1 区间的占比达 5%;位于 0.1 至 0.15 区间的占比达 20%;位于 0.15 至 0.25 区间的占比达 33%;位于 0.25 至 0.35 区间的占比达 11%。可以看出该数据中心制冷负载系数尚未达到国内平均水平。该数据中心相关设计资料表明该数据中心冷却系统各设备在设计阶段均考虑了节能措施,且各设备参数同样表明设备的高效运行能力。因此,设计与运行的实际性能差异一定程度上反应了该数据中心冷却系统存在较大的节能空间。根据定义进一步计算以一个月为时间周期的逐月 CLF 值,如图 7 所示。可以看到,逐月 CLF 值整体呈现先增加后减少的趋势,与冷负荷季节性变化趋势有一定相似性。一方面,逐月 CLF 值整体高于国内数据中心平均 CLF 值,说明该数据中心冷却系统的能耗表现相对较差,全年具有一定的节能潜力;另一方面,变化趋势即整体的绝对斜率较高,说明夏季工况对应的数月具有相对较高的节能潜力。

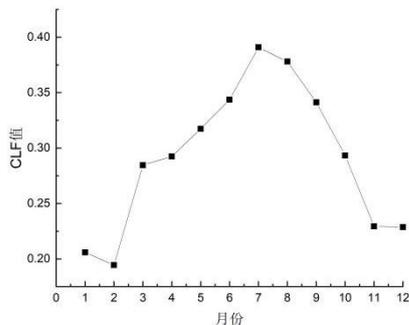


图 7 逐月 CLF 值

Fig.7 Monthly CLF

根据上述针对该数据中心 PUE 和 CLF 值的分析,可以预见,采取相应节能措施可以使该数据中心 CLF 值降低的同时得到更低的 PUE 值,以达到更好的数据中心整体用能表现。

#### 4 总结

本文从四川省某数据中心实际工程项目出发,以历史运行数据分析该数据中心能耗表现。分析发现,该数据中心全年总体用电量有一定的季节性变化趋势,夏季数月的月用电量较高,而冬季数月的月用电量较低。就分项用电量而言,该数据中心在包含照明、插座等一系列建筑楼内辅助用电方面的能耗表现好,用电措施制定合理,节能效益显著。冷却系统方面的能耗情况,从总量上看该数据中心冷却系统用电量占总用电量比例达 20.7%;冷却系统分项用电量中,冷水机组的用电量呈现较强的季节性变化,削弱冷水机组用电量的季节性变化趋势可以削弱冷却系统用电量乃至该数据中心总用电量的季节性变化趋势。同时,该数据中心的 PUE 值和冷却系统的 CLF 值也呈现一定的季节性变化趋势。换言之,冷却系统中的冷源设备(冬季为冷却塔,夏季为冷机,过度季节冷却塔和冷机联合运行)的节能潜力相对较大。若期望该数据中心达到 2 级 ( $PUE \leq 1.3$ ),需要在 IT 设备用电以外的各项中节能 2415150.1kWh,而这部分节能量主要由冷却系统来承担。

#### 参考文献:

- [1] MASANET E, SHEHABI A, LEI N, et al. Recalibrating global data center energy-use estimates[J]. Science, 2020, 367(6481):984-6.
- [2] 中国制冷协会数据中心冷却工作组组织编写.中国数据中心冷却技术年度发展研究报告 2017[M].北京:中国建筑工业出版社,2022.
- [3] 中国制冷协会数据中心冷却工作组组织编写.中国数据中心冷却技术年度发展研究报告 2016[M].北京:中国建筑工业出版社,2017.