

# 存量数据中心局部低碳升级改造

## Analysis of Low-carbon and Energy Saving Upgrading Path of Previous Data Center

# 路径浅析

张令泽<sup>1</sup>,贺晓<sup>1</sup>,张飞<sup>1</sup>,张兴江<sup>2</sup>,刘冬<sup>1</sup>(1. 中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司,河南 郑州 450007;2. 中国联通陕西分公司,陕西 西安 710000)

Zhang Lingze<sup>1</sup>,He Xiao<sup>1</sup>,Zhang Fei<sup>1</sup>,Zhang Xingjiang<sup>2</sup>,Liu Dong<sup>1</sup>(1. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co.,Ltd. Zhengzhou Branch,Zhengzhou 450007,China;2. China Unicom Shaanxi Branch,Xi'an 710000,China)

### 摘要:

为满足双碳目标要求,针对存量数据中心运行中存在的部分问题,结合具体案例,从空调架空地板封堵、空调系统水质处理、冷冻水供回水温度及老旧设备更新等方面进行了技术分析,并给出了相应的改造方案。该方案在不进行机房通信割接的前提下,可达到有效的节能降碳效果,为存量数据中心提供一种局部升级改造的参考路径。

### 关键词:

数据中心;低碳;节能;改造

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2022.12.010

文章编号:1007-3043(2022)12-0047-05

中图分类号:TP308

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Abstract:

To meet the requirements of the double carbon targets, in view of the existing problems in previous data center, combined with specific cases, the technical analysis is carried out from the aspects of air conditioning raised floor plugging, air conditioning system water quality treatment, chilled water supply and return temperature and old equipment renewal, etc., and the corresponding transformation scheme is given, which can achieve effective energy saving and carbon reduction effect without cutting over the computer room communication, and provide a reference path for the traditional data center energy-saving upgrading.

### Keywords:

Data center; Low-carbon; Energy saving; Upgrading

**引用格式:**张令泽,贺晓,张飞,等. 存量数据中心局部低碳升级改造路径浅析[J]. 邮电设计技术,2022(12):47-51.

## 1 概述

随着国家碳达峰碳中和工作的逐步推进,2022年,工业和信息化部、国家能源局等7部门联合印发了《信息通信行业绿色低碳发展行动计划(2022—2025年)》,指出“加快‘老旧小散’存量数据中心资源整合和节能改造。到2025年,全国新建大型、超大型数据中心电能利用效率(PUE)降到1.3以下”。“推动机房通信主设备能效在线测试及更新换代。到2025年,改建核心机房PUE降到1.5以下”<sup>[1]</sup>。现有存量数据中心的低碳节能改造,愈加紧迫。

存量数据中心建设较早,目前都在运行之中,虽然进行整体全方位全系统的改造能有效快速地降低PUE,但需要进行分批割接在线运营的设备、腾挪机柜、清理核查线缆等工作<sup>[2]</sup>,工期较长、工序复杂且难度较高。本文针对存量数据中心特点,探索一种不进行通信割接、不影响现有通信机房使用的局部升级改造方案思路,是实现存量数据中心能源侧“低碳节能”目标以及降本增效的一种可能路径。

## 2 存量数据中心存在的问题

PUE是目前衡量数据中心能源利用效率的一个关键指标,其表示了数据中心总能耗与IT设备总能耗的比值,即 $PUE = \text{数据中心总能耗} / \text{IT设备总能耗} = 1 + \text{制冷}$

收稿日期:2022-11-09

负载因子(CLF)+供电负载因子(PLF)+其他因子。

据统计,我国典型数据中心的能耗构成为:IT系统占50%、制冷系统占37%、供电系统占10%、照明及其他占3%<sup>[3]</sup>。制冷负载因子在PUE的组成中占比较大且受气候、制冷方案、设备性能、运维精细度等影响,浮动范围较大,是低碳节能改造的重点。供电负载因子占比较小且浮动范围较小,其他因子主要包括通风、照明、插座等,占比最小且比较固定。因此,本次存量数据中心局部低碳升级改造路径主要集中在数据中心的空调系统,对电源系统不进行着重论述。

### 2.1 运行能耗高

存量数据中心普遍建设时间较早,受当时技术水平限制,能耗及运行电费较高。据统计,数据中心建成后,电费占运维总成本的60%~70%,在一些老旧存量数据中心这一比例还会更高<sup>[4]</sup>。

经过对某运营商全国50座存量数据中心的统计发现,存量数据中心PUE普遍偏高。如图1所示,88%的存量数据中心PUE超过了1.35,其中46%的数据中心的PUE超过了1.5。

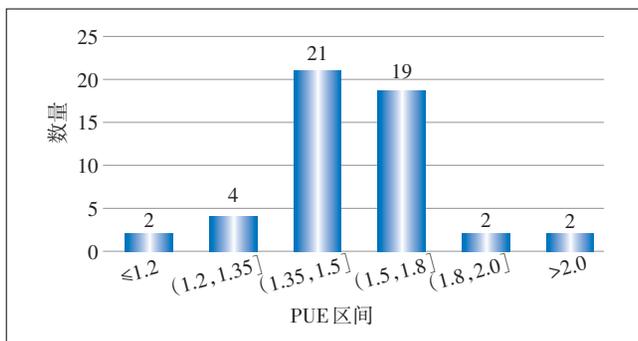


图1 某运营商存量数据中心运行PUE

以某运营商西部某省通信基地存量数据中心为例。该数据中心建设于2013年,已投产运行近10年。经测量,该数据中心年耗电量约为4 175万kWh,运行电费约为2 376万元,年均PUE约为1.63,能耗及运行电费成本较高。如表1所示。

在国家双碳目标的牵引下,这些高PUE的存量数据中心改造迫在眉睫。

### 2.2 空调气流密闭不严

既有存量数据中心设计施工年限较早,地板局部密封不严、机位缺少盲板的现象较为常见。地板局部密封不严会使冷气在到达要冷却的机柜前就发生渗漏。冷气的渗漏既造成了电力的不必要浪费,又会使其余待冷却机柜的冷量缺少而引起温差过大,不利于

表1 某数据机房楼运行用电量及PUE

时间	用电量/kWh	金额/元	PUE
2021-08	3 455 720	1 745 139	1.76
2021-09	4 070 320	2 055 919	1.70
2021-10	2 530 092	1 277 443	1.53
2021-11	3 155 712	1 593 003	1.54
2021-12	3 099 664	1 733 332	1.45
2022-01	2 913 552	1 622 557	1.44
2022-02	3 072 992	1 754 064	1.46
2022-03	3 798 204	2 234 483	1.61
2022-04	4 300 856	2 672 552	1.63
2022-05	3 495 064	2 116 611	1.68
2022-06	3 888 844	2 346 528	1.74
2022-07	3 969 293	2 607 826	1.76
最近一年	41 750 313	23 759 457	1.63

通信设备的安全。如何加强架空地板的管理,使得架空地板漏风率不大于5%<sup>[5]</sup>,是既有数据中心气流组织改造的一个重要环节。

当缺少盲板时,出风面一侧的空气受到地板送风口送风的卷吸作用,而通过机柜下部无盲板的区域流动,会导致机柜进风面下部区域的温度偏高。

### 2.3 空调水质差

冷冻水、冷却水以及补水的水质对于水冷系统空调的效率、设备寿命都有非常重要的影响。有些市政供水水质较硬,其含有的碳酸盐浓度会随着冷却水蒸发而增加,并结合水中的HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>遇热发生分解,过程如式(1)所示:



此后,当冷却水流经冷却塔时,水中的CO<sub>2</sub>会逸出,促使正向反应的进行,且随着换热器表面温度的升高,析出的碳酸钙晶体将在沉淀后发生结垢<sup>[6]</sup>。

通过对某运营商西部某通信基地存量数据中心的补充水和循环冷却水的水质进行取样分析,水质主要参数及相应的国标要求如表2所示。

通过对数据中心的补充水和循环冷却水的水质进行取样分析,发现其电导率、氯离子超标、总硬度超标且含氧量(COD<sub>Cr</sub>)超标。该种水质在管路中长期循环,将会加快管路及设备腐蚀,且更易滋生微生物并产生粘泥,影响设备换热效率。

### 2.4 空调供回水温度偏低

某运营商全国50座存量数据中心中,采用水冷空调系统的有28座。通过统计这28座的供回水温度和PUE发现,在供回水温度为7~12℃至10~15℃时,平

表2 某数据中心实测水质和规范要求值

项目	实测水质		规范建议上限值	
	补充水	循环水	补充水	循环水
PH值	7.9	8.9	6.5~8.5	7.5~9.5
电导率/( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	415	6 100	$\leq 600$	$\leq 2 300$
钙硬度(以 $\text{CaCO}_3$ 计)/(mg/L)	87.75	51.75	$\leq 120$	$\leq 200$
总硬度(以 $\text{CaCO}_3$ 计)/(mg/L)	146	1270	$\leq 200$	$\leq 400$
总碱度(以 $\text{CaCO}_3$ 计)/(mg/L)	131	908	$\leq 200$	$\leq 600$
氯离子(以 $\text{Cl}^-$ 计)/(mg/L)	14.4	985	$\leq 100$	$\leq 500$
总铁/(mg/L)	0.006 58	0.000 93	$\leq 0.3$	$\leq 1.0$
COD <sub>Cr</sub> /(mg/L)	ND	114	$\leq 30$	$\leq 100$
浊度(NTU)	ND	ND	$\leq 10$	$\leq 20$
浓缩倍数(以 $\text{Cl}^-$ 计)	-	~68	-	-

均 PUE 超过 1.62; 在供回水温度为 10~15 °C 至 15~21 °C 时, 平均 PUE 约为 1.46; 在供回水温度为 15~21 °C 时, 平均 PUE 约为 1.37。PUE 呈现随供回水温度的升高而降低的趋势(见图 2)。

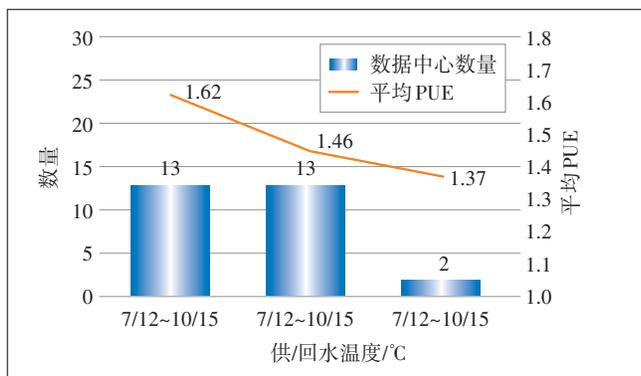


图2 某运营商存量数据中心供回水温度和PUE

## 2.5 空调等相关设备老旧

通过对某运营商全国 50 座存量数据中心进行统计, 发现 29 座(约 60%)的存量数据中心运行时间超过 5 年, 只有 21 座(约 40%)的存量数据中心运行时间低于 5 年。因此, 存量数据中心运行时间长, 设备老旧成为了普遍现象。

其中, 相当一部分存量数据中心空调系统的冷水机组、冷却塔、冷却水泵、冷冻水泵、空调末端等多数为非变频产品, 不能根据数据中心运行的实际工况进行调节甚至机房内温湿度传感器灵敏度经复测都不能满足要求。

变频机房空调的启动电流大, 会对机房电网造成冲击; 另外, 空调启停控制会导致机房的温湿度波动, 温度波动范围通常为  $\pm 2$  °C, 湿度波动范围通常为  $\pm 10\%$ <sup>[7]</sup>, 并有可能影响机房服务器的正常运行, 而且

高频率启停, 全年能效比较低, 不利于节能。

冷通道温湿度传感器的灵敏度、稳定度、可靠度也会影响数据中心的能耗。以某运营商西部某省通信基地存量数据中心为例, 经复测, 部分机房内温湿度传感器显示温度比实际高出 3~4 °C, 导致机房实际温度偏低。测量数据不准确会对能耗产生很大影响。据研究, 冷水供水温度测量不准确读数偏高 0.56 °C, 导致冷水实际温度降低 0.56 °C, 为了维持这个错误的供水温度导致制冷机功耗增加 2%~4%。不了解设备真实的温度不仅可能导致能源的浪费, 更严重的是, 可能因为超过许可的运行范围而损坏机器<sup>[8]</sup>。

综上所述, 既有存量数据中心存在能耗高、气流密封不严、水质差、大量设备老旧等问题, 亟需进行低碳节能改造。

## 3 低碳节能改造路径

针对存量数据中心, 应分不同场景采用相应的改造方案, 分批、分期、分级推动低碳化升级, 通过优化运营管理、局部升级改造、系统升级改造、关停并转等措施不断降低运行 PUE, 实现 2025 年大型数据中心 PUE 普遍不超过 1.5 的目标。

对于全面落后、运行时间超过 10 年、PUE > 2.0、负载率低于 20% 且无能效监控、运营管理平台的老旧数据中心, 以及设备老旧衰减、性能逐渐劣化, 机房层高、承重不满足节能设备部署的数据中心, 考虑关停并转措施。

对于系统功能落后, 高耗低效的存量数据中心, 建议结合项目实际情况, 一事一议, 选用合适的低碳化方案, 进行系统升级改造。

同时, 通过数字化、智能化手段, 优化系统运行策略及运行参数等运维措施, 也可有效降低能耗。

对于采用成熟的节能技术及高效节能设备, 结合逾龄老旧设备更新, 有计划地完成局部低碳化改造, 初步估算可降低 PUE 约 0.04~0.15。

### 3.1 UPS 系统采用 ECO 模式

ECO 模式还可称为旁路模式、高效模式或者多模式。绿色网格组织在其发布的数据中心成熟度模型中将 ECO 模式作为提高 UPS 系统能效的重要策略<sup>[9]</sup>。

UPS 系统正常运行工况为整流-逆变模式, 其效率要低于预期的 ECO 模式。而根据绿色网格组织对 UPS 系统 ECO 模式的能效分析给出的结论是比正常模式的能效高出 4.3%; 对 UPS 系统应用 ECO 模式的数

据中心而言,其PUE可降低0.04~0.11<sup>[10]</sup>。但并不是所有的UPS系统都可以采用ECO模式,需要比较UPS的输出特性和IT设备电源供应器的输入特性。若UPS的输出电源中断时间大于电源供应器可以承受的电源输入中断时间,就不可以实施ECO模式。

以某运营商西部某通信基地存量数据中心为例,通过分析测试,可考虑将2N系统的UPS系统其中一套UPS设置在ECO模式,另一套工作在正常整流逆变模式,该方案在保障机房IT设备安全供电的同时,可有效降低运行损耗,降低系统PUE约0.058。

### 3.2 严密封堵、减少漏风

既有存量数据机房可以通过对地板漏风区域封堵、增加机柜盲板、调整送风口、关闭余量空调等方法,达到节能降耗的目的。

由于数据机房对温度要求较高,一般来说温度控制在 $24\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $50\%\pm 5\%$ ,而一般通信设备电子元器件正常的工作温度范围较大,上限一般在 $35\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。为了保证机柜内部的通信设备散热效果良好,必须保证机房过道环境温度较低<sup>[11]</sup>。因此,架空地板漏风封堵区域应包含机房内所有架空地板区域,如靠墙边、柱边、局部地板破损处以及地板模块缝隙、地板与结构相交部位等。在电缆、通信光缆穿过处,也要进行严格的密封。

架空地板密封方法可在架空地板下侧,用A级的橡胶垫与架空地板进行黏接,满涂胶黏剂;橡胶垫上缘与立管通过柔性卡箍固定。封堵后应进行施工质量外观检验。合格后,应进行严密性检验和漏风量检验,漏风量应符合规范允许的数值。

增设盲板对机房环境和空调节能影响较大,暂时未使用的机柜应增设盲板,且应优先在近空调机柜侧加装盲板<sup>[12]</sup>。根据相关研究表明,在2列机柜间增设盲板可使机柜送风面温度降低 $2\sim 3\text{ K}$ ,尤其是下部区域受益更为明显。在此基础上,采用斜向上送风的形式,可使机柜送风面温度降低 $3\sim 5\text{ K}$ 。这对于在同样负荷下,节省空调冷负荷乃至提升空调送风温度、提高制冷系统运行效率有很大的帮助。

### 3.3 空调水质处理

目前适宜蒸发冷却空调系统循环冷却水的水质处理方法有很多,如高压静电场处理法、低压静电场处理法、高频电磁场处理法和射频场处理法等物理场处理方法和臭氧法、化学法、膜分离法、超声波法、量子法等水质处理方法。以某运营商西部某省通信基

地存量数据中心为例,使用年限较长的开式横流冷却塔沉积大量片状钙镁沉积物,除对集水盘进行清理维修更换填料外,还启用了全自动智能加药装置及复合电吸附装置。

全自动智能加药装置可通过投加阻垢缓蚀剂、杀菌灭藻剂等来处理循环冷却水,使其避免出现严重的结垢、腐蚀等问题。同时,加药装置配置有在线仪表,可对循环冷却水进行实时、在线的水质监测。

复合电吸附装置是采用电化学的方法来处理循环冷却水,过程中会生成次氯酸等杀菌物质,可以替代部分控制微生物用杀菌剂,减少了系统的加药量。同时,复合电吸附装置可以将循环冷却水内的结垢物质吸附去除,也减少了对阻垢剂的需求。

通过将全自动智能加药装置及复合电吸附装置用于循环冷却水除垢、阻垢处理后,有效地保证了循环冷却水水质平衡,并具有杀菌灭藻、防腐蚀的功能,提升了空调系统运行效率。

### 3.4 提升空调供回水温度

数据中心冷负荷主要是服务器、UPS等用电设备的散热形成的显热负荷,潜热负荷占比很小,因此可用较高的冷冻水供冷温度来满足冷负荷需求。

从空调制冷原理来讲,在蒸发温度(对应冷冻水出水温度)和压缩机转数一定的情况下,冷凝温度(对应冷却水进水温度)越低,制冷系数越大,耗电量就越小;同理,在冷凝温度(对应冷却水进水温度)和压缩机转数一定的情况下,蒸发温度(对应冷冻水出水温度)越高,制冷系数越大,耗电量就越小。

蒸发温度发生变量 $\Delta T_e$ 时,压缩机用电量 $\Delta W_i$ 的变化值可以用式(2)进行计算:

$$W_i = -\frac{Q_e \times T_c}{T_e^2} \times \Delta T_e \quad (2)$$

式中:

$Q_e$ ——蒸发器制冷量(kW)

$W_i$ ——压缩机(理论)功率(kW)

$T_e$ ——蒸发温度(K)

从式(2)可以看出,提高冷冻水的温度,可以降低压缩机的用电量。

以某品牌3 000 kW制冷量水冷离心冷水机组的制冷工况为例,随着供回水温差增大,机组制冷能效比提高,耗电量下降。相比于 $11/16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温差工况,温差每提高 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,单位制冷量能耗下降约0.2%。

图3为某知名冷机厂家变频离心机在不同冷冻

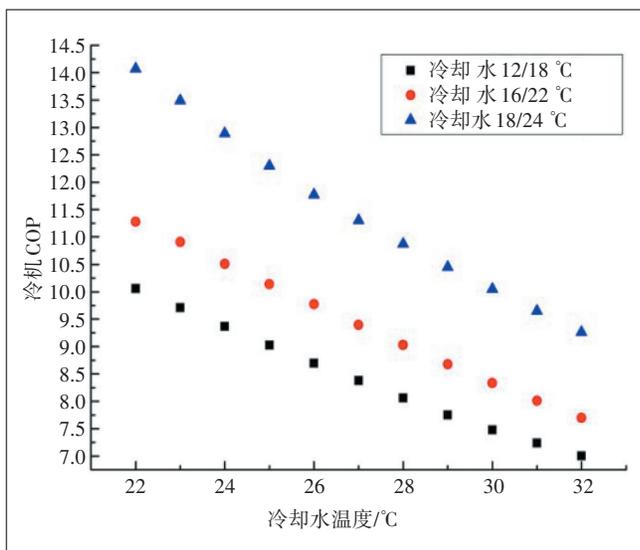


图3 某知名冷机厂家在不同冷冻水、冷却水温度时的COP

水、冷却水温度时的COP。据统计,冷却水温度每降低1°C,空调COP值增加1.4%~5.5%,平均增加3.8%;而冷冻水温度每升高1°C,空调COP值增加2.5%~3.5%,平均增加3.0%。

因此,建议在运行设备允许的情况下,提升空调系统的供回水温度,这对于存量数据中心节能有着重要意义。

### 3.5 老旧设备更新

通过研究某品牌的冷水机组COP与负荷率的关系曲线发现,在低负荷率下变频冷水机组COP与负荷率的关系曲线存在波峰,有一个最佳运行的负荷率区间(40%~60%),在此区间内变频冷水机组较定频冷水机组有很大优势,而在高负荷率(90%~100%)时变频冷水机组和定频冷水机组的COP相当。

因此,既有数据中心在节能改造选型时要考虑业务的分期建设和业务的负荷率发展情况而合理地进行设备选择。以某运营商西部某通信基地存量数据中心为例,其装机时间较早,单机平均功率较低,业务负荷率约为50%,因此将空调末端由定频改为变频,取得了较好的节能效果。

存量传感器只能给出信号的测量值,不能同时给出该测量值的准确度和可信度等参数。传感器测量值的准确度范围是由传感器生产厂家或用户定期经过标定给出。在数据中心工作一段时间后,传感器给出的测量值是否还在校准时给出的准确度范围之内,其输入、输出特性有无发生变化,传感器是否发生故障,这些情况用户都不能直接判断出来。因此对既有

老旧数据中心改造时,要注意对传感器的检定、测量,保证其数据的可靠性。如发现传感器敏感度降低,应及时进行替换。

## 4 结束语

除了上述常见的问题及改造路径外,还可以根据项目实际情况从数字孪生、AI调优、气流组织优化、建设集中冷池、加强运维人员能力等方面助力存量数据中心的低碳升级,促进其节能降耗。本文对存量数据中心存在的一些通病进行分析,并提出相应的局部升级改造措施,探索存量数据中心低碳节能改造路径,为提高数据中心的改造方案提供更多的可行性参考。

### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国工业和信息化部,国家发展改革委,财政部,等. 信息通信行业绿色低碳发展行动计划(2022-2025年)[EB/OL]. [2022-08-25]. [https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/tz/art/2022/art\\_a6e264b71ed44549904c9e27aeba472.html](https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/tz/art/2022/art_a6e264b71ed44549904c9e27aeba472.html).
- [2] 胡勇,高书辰,区畅. 绿色数据中心在线改造建设方案[J]. 信息技术与标准化,2018(10):31-36.
- [3] 杨秀琴,曹庆. 对传统建架IDC机房节能改造模式的探讨[J]. 电信快报,2022(3):10-13.
- [4] 金驰. 我国数据中心绿色化发展趋势及思考[J]. 信息技术与标准化,2021(12):50-52.
- [5] 梁锦铭. 数据中心空调建设的一些探索[J]. 广东建材,2015,31(3):69-71.
- [6] 杨帆,俞伟,陈春良,等. 数据中心水冷空调系统水质处理技术实践[J]. 中国金融电脑,2020(9):67-69.
- [7] 宋俊峰. 绿色节能智慧数据中心解决方案[J]. 智能建筑与智慧城市,2016(10):58-63.
- [8] 朱慧宾,魏志民,陈扬. 数据中心暖通设计若干思考[J]. 暖通空调,2021,51(S2):84-87.
- [9] 詹贤庆. 数据中心UPS系统ECO模式的应用分析[J]. 电气应用,2017,36(24):64-68.
- [10] 庄建中. 浅谈数据机房综合改造的体会[J]. 中国传媒科技,2017(7):98-99.
- [11] 张振国,项颖,贾琨,等. CFD技术在数据机房环境运维中的应用探索[J]. 智能建筑与智慧城市,2019(12):13-15.
- [12] 王涛,杨坤,张玉燕,等. 数据中心地板送风方式对制冷系统运行的影响及优化[J]. 绿色建筑,2020,12(4):54-58.

### 作者简介:

张令泽,毕业于重庆大学,工程师,主要从事数据中心设计工作;贺晓,毕业于同济大学,教授级高级工程师,主要从事数据中心的设计管理工作;张飞,毕业于华北电力大学,工程师,主要从事数据中心暖通专业设计及咨询、研发工作;张兴江,毕业于武汉理工大学,工程师,主要从事数据中心建设维护工作;刘冬,毕业于郑州大学,高级工程师,主要从事数据中心电气专业设计及咨询工作。