

# 智算中心机房气流组织设计及 Air Distribution Design and CFD Simulation Research in Intelligent Computing Center Room

## CFD 模拟研究

何健<sup>1</sup>, 景淼<sup>1</sup>, 王颖<sup>2</sup> (1. 联通数字科技有限公司, 北京 100085; 2. 北京电信规划设计院有限公司, 北京 100048)  
He Jian<sup>1</sup>, Jing Miao<sup>1</sup>, Wang Ying<sup>2</sup> (1. China Unicom Digital Technology Co., Ltd., Beijing 100085, China; 2. Beijing Telecom Planning & Designing Institute Co., Ltd., Beijing 100048, China)

### 摘要:

在将传统数据中心改造为智算中心机房时,面临高功率机柜散热的挑战。由于液冷方式对基础设施要求高、实施难度大,难以满足快速交付需求,因此采用增加列间空调、扩大冷热通道间距等方法改造存量机房成为必要选择。通过气流组织分析及CFD模拟研究,提出了将存量机房改造为智算中心机房的有效措施。

### 关键词:

智算中心; 气流组织; CFD; 空调系统

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2025.03.017

文章编号: 1007-3043(2025)03-0088-05

中图分类号: TU83

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Abstract:

When transforming the traditional data center into an intelligent computing center room, it faces the challenge of high power cabinet cooling. Due to the high infrastructure requirements and implementation difficulties of liquid cooling methods, it is difficult to meet the demand for rapid delivery. Therefore, it is necessary to adopt methods such as increasing air conditioners between columns, expanding the space between cold and hot channels to transform the existing machine rooms. Based on the analysis of air distribution and CFD simulation research, effective measures are proposed to transform the inventory computer room into the intelligent computing center computer room.

### Keywords:

Intelligent computing center; Air distribution; CFD; Air conditioning system

**引用格式:** 何健, 景淼, 王颖. 智算中心机房气流组织设计及CFD模拟研究[J]. 邮电设计技术, 2025(3): 88-92.

## 0 前言

随着物联网、人工智能等技术的加速发展,算力逐渐成为数字经济时代的核心生产力。截至2024年9月,我国算力总规模达246 EFLOPS(指每秒进行百亿亿次浮点运算的能力),算力总规模居世界前列。2023年10月工信部等六部委联合发布的《算力基础设施高质量发展行动计划》指出,到2025年我国算力总规模将超过300 EFLOPS,智能算力占比达到35%。算

力的提升使芯片功耗迅速增加和单机柜功率密度提升,这给机房的冷却方式带来更严苛的考验。电子元器件的失效率随着温度的升高呈指数式上升<sup>[1]</sup>,因此机房内合理的空调配置及气流组织显得尤为重要。《数据中心设计规范》(GB50174-2017)<sup>[2]</sup>指出,在设计数据中心时,CFD气流模拟方法对主机房气流组织进行验证,可以事先发现问题,减少局部热点的发生,保证设计质量。

本文以呼和浩特地区某智算中心机房为例,通过对智算中心机房内气流组织及CFD模拟结果进行分析,提出将存量机房改造为智算中心机房的措施,为

收稿日期: 2025-01-23

今后智算中心机房设计提供一定的参考。

1 项目概况

呼和浩特地区某数据机房面积约为300 m<sup>2</sup>,层高为5.4 m,原机房内安装有106个8 kW机架,采用列间空调(显冷量为41 kW,冷冻水供回水温度为12 ℃/18 ℃),20用4备。气流组织为列间空调水平送风、后回风,冷通道封闭,冷、热通道尺寸均为1 200 mm。改造前机房平面图如图1所示。

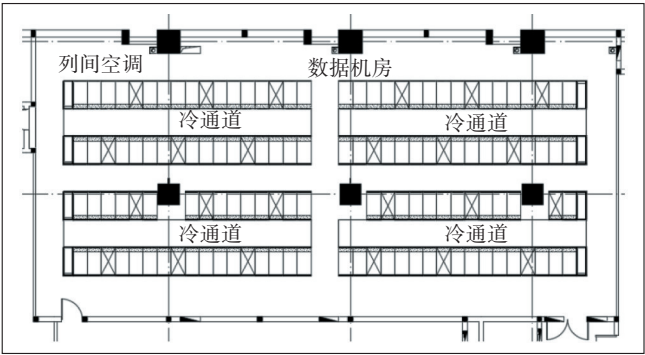


图1 改造前数据机房平面图

通过增加行间空调、锁机柜等方式,进行机房改造。改造后机房内可安装GPU服务器机柜、交换机

柜及配套设备。安装设备的功耗如表1所示。机柜布置如图2所示。

表1 智算中心机房机柜配置

| 机柜类型           | 单机柜功耗/kW | 数量/个 | 图中颜色 |
|----------------|----------|------|------|
| GPU 服务器机柜      | 10.4     | 21   | 黄色   |
|                | 10.9     | 11   | 橙色   |
|                | 12.1     | 32   | 红色   |
| 计算 spine 交换机机柜 | 12.0     | 4    | 绿色   |
| 其余交换机机柜        | 6.0      | 3    | 蓝绿色  |
| 锁机柜            | 0.0      | 21   | 深蓝色  |
| 预留发展机柜         | 8.0      | 6    | 浅蓝色  |
| 合计             | -        | 98   | -    |

注:本文服务器功耗均基于华为昇腾910B芯片。

在空调形式不变的基础上,通过增加列间空调、锁机柜并优化列间空调布局的方式,来满足高功耗设备的部署需求。改造后智算中心机房的室内设计参数和空调配置如表2所示。改造后智算中心机房平面图如图3所示。

如图1、图3所示,本项目增加8台列间空调,新增的列间空调与原有列间空调参数相同,显冷量为41 kW,送风量为12 200 m<sup>3</sup>/h,实际工程中需根据空调送风量校核送回风温差。

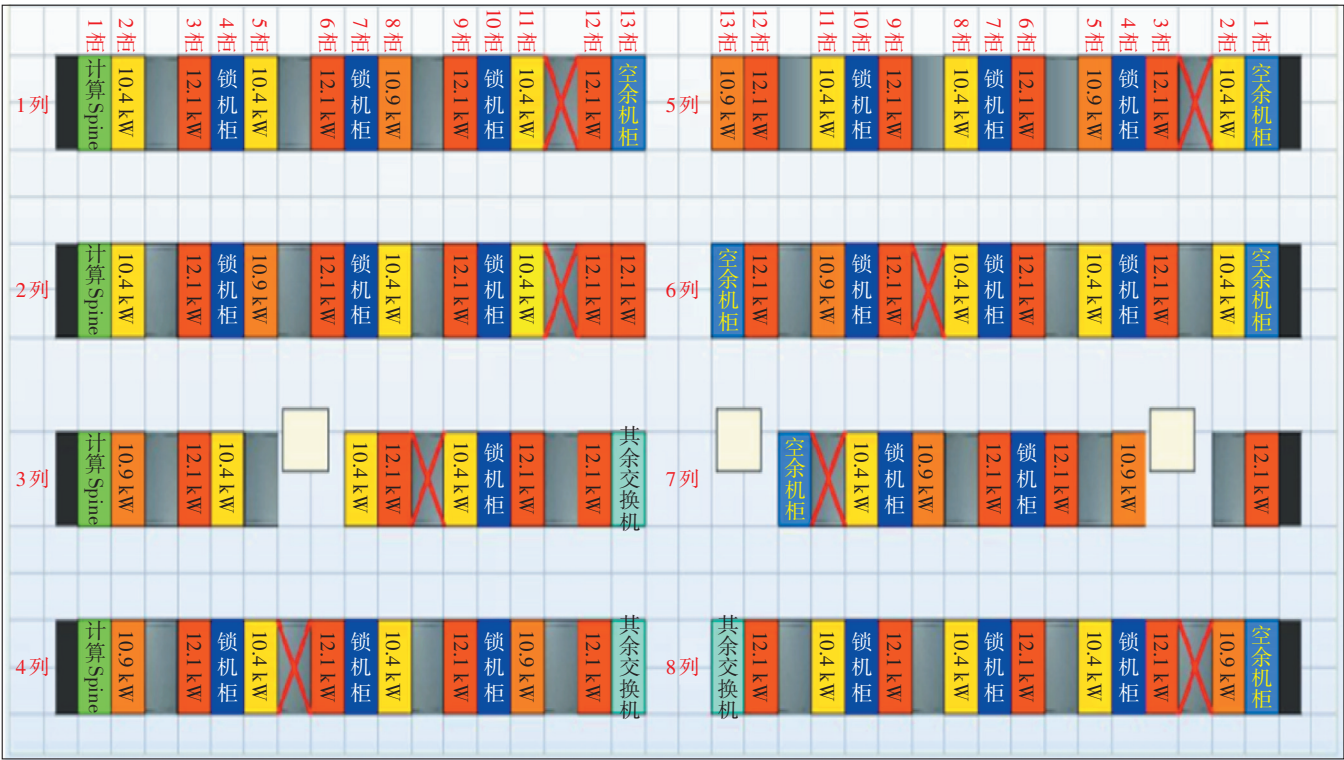


图2 智算中心机房机柜布置图(灰色部分示意列间空调)

表2 智算中心机房室内设计参数及空调配置

| 功能区域   | 空调形式 | 供回水温度/℃ | 冷通道送风温度/℃ | 冷通道相对湿度/% | 送回风温差/℃ | 空调配置          |
|--------|------|---------|-----------|-----------|---------|---------------|
| 智算中心机房 | 列间空调 | 12/18   | 23        | 40~60     | 10      | 空调32台,24用8备配置 |

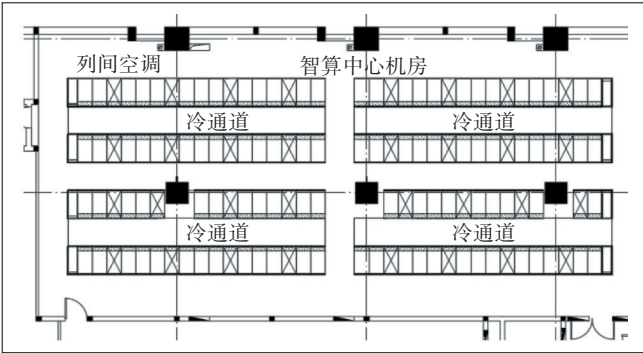


图3 改造后智算中心机房平面图

$$\Delta t = \frac{Q}{\rho CG} \times 3600$$

(1)

式中, $G$ 为空调送风量( $\text{m}^3/\text{h}$ ), $Q$ 为显冷量( $\text{kW}$ ), $\rho$ 为空气密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), $C$ 为空气定压比热容( $\text{kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$ ), $\Delta t$ 为送回风温差( $^\circ\text{C}$ )。根据式(1)的计算结果,本项目中的空调系统能够确保机柜的送回风温差维持在 $10^\circ\text{C}$ ,这符合智算中心机房的设计参数要求。

2 气流组织设计

由于本项目属于改造工程,原机房采用冷通道封闭。以节约投资,对原机房改动最小,满足快速交付为原则,改造后仍采用冷通道封闭。冷通道封闭是采用物理措施将冷却空气进行封闭隔离,冷空气进入机柜冷却服务器后,由热通道排出升温后的热空气,再通过空调设备回风口吸入完成一次循环<sup>[3]</sup>。本项目的智算中心机房气流组织形式如图4所示。

列间空调也可以采用热通道封闭方式,冷、热通道封闭的对比如表3所示。热通道封闭是采用物理措

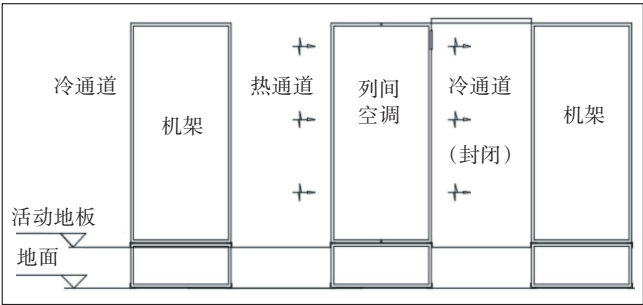


图4 智算中心机房气流组织形式

表3 冷、热通道封闭(列间空调)对比

| 对比项目    | 冷通道封闭 | 热通道封闭 |
|---------|-------|-------|
| 运维人员舒适度 | 较差    | 良好    |
| 空调能效    | 较低    | 较高    |
| 故障响应时间  | 较短    | 较长    |

施将排出机柜的热空气进行封闭隔离,通过空调设备回风口吸入热空气冷却后,再冷却服务器<sup>[4]</sup>。

当采用热通道封闭方式时,工作人员一般在冷通道活动,提高机房温度对人员舒适度影响不大,易于被接受;当采用冷通道封闭方式时,工作人员一般在热通道活动,机房温度提高较大时,会使人体不适感增强,难于被接受。在热通道封闭的情况下,空调系统的送风温度要高于冷通道封闭时的送风温度。送风温度越低,空调冷源的能耗则越高。因此,提高机房温度能够有效降低数据中心总能耗。当热通道封闭时,相比冷通道封闭的状态,冷空气所占用的空间更大,这使得系统具备更高的抵御冷却失效的能力,并且故障响应时间也相对延长<sup>[5]</sup>。

3 机房模型建立

在机房中进行气流组织模拟时,选择合适的数值模型是非常关键的<sup>[6-10]</sup>。本项目对数值模型进行了如下简化。

- a) 假设机房墙壁是绝热的。
- b) 求解计算采用标准的 $k-\epsilon$ 湍流模型。
- c) 空气设置为非理想气体。
- d) 空调送风温度为 $23^\circ\text{C}$ 。

本项目智算中心机房模型如图5所示。为了验证不同位置空调故障对智算中心机房内温度的影响,后将针对不同位置的空调故障进行分析,找出在最不利工况下机房内的温度情况。

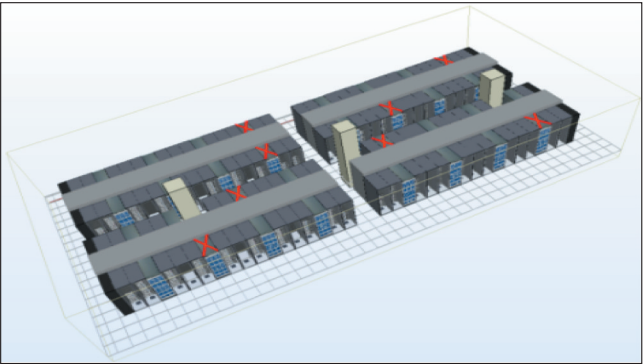


图5 智算中心机房模型

## 4 模拟结果分析

### 4.1 流场分析

智算中心机房的气流组织模拟结果流线如图6、图7所示。在图6、图7中,备用列间空调虽然关机,但由于其内部存在一定的缝隙,仍会有部分冷通道内的冷空气从备用空调处泄露到热通道,造成热通道局部温度降低。但冷通道内冷空气温度分布依然保持均匀,这是由于列间空调采用水平送风方式。该方式可有效解决冷热气流短路的问题,保障服务器机柜温度均匀,降低局部热点。因此,对于单机柜功耗 $\geq 8$  kW的机柜,建议采用列间空调。

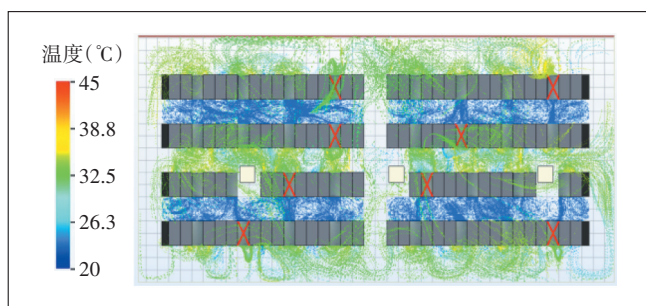


图6 智算中心机房流线平面图

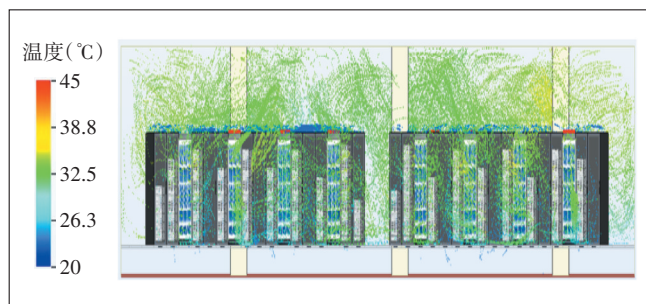


图7 智算中心机房流线剖面图

### 4.2 温度分析

机房内距地板0.2 m、1.0 m、2.0 m处的温度分布分别如图8、图9、图10所示。在距地板0.2 m处,机房内的冷热通道温度分布较为均匀。其中,冷通道内的最低温度为23℃,热通道内的最高温度为40.1℃,机房内的平均温度为28.3℃。如图8所示,冷通道内平均温度约为23℃,热通道内平均温度约为33℃。

在距地板1.0 m处,机房内的冷热通道温度分布较为均匀。其中,冷通道内的最低温度为23℃,热通道内的最高温度为41.8℃,机房内的平均温度为29.2℃。如图9所示,冷通道内的平均温度约为23.1℃,热通道

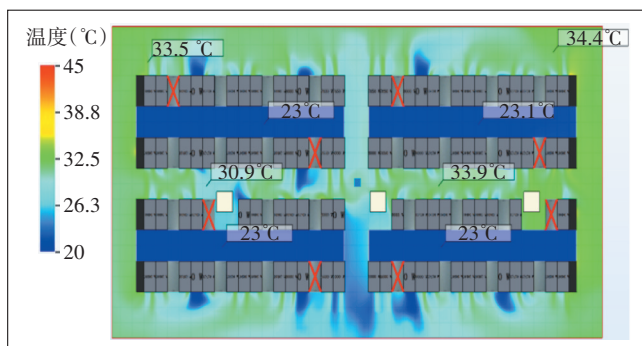


图8 距地板0.2 m处温度分布

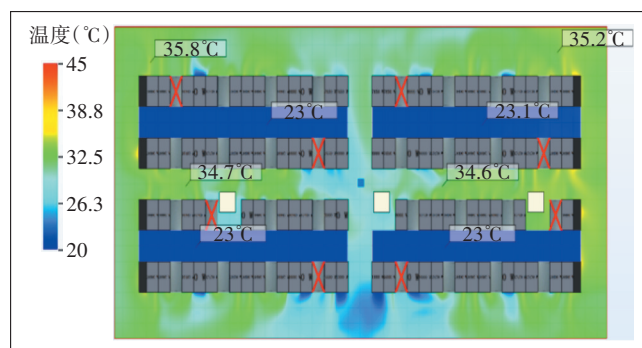


图9 距地板1.0 m处温度分布

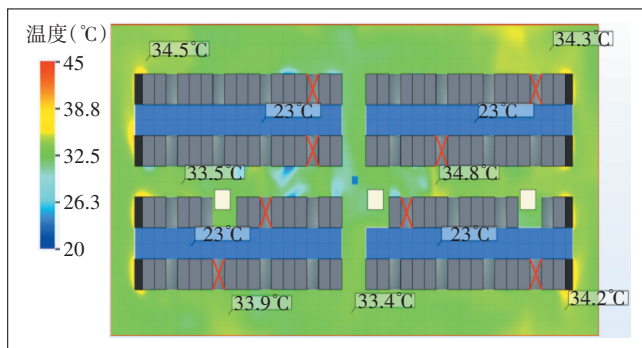


图10 距地板2.0 m处温度分布

内的平均温度约为34℃。

在距地板2.0 m处,机房内的冷热通道温度分布较为均匀。其中,冷通道内的最低温度为23℃,热通道内的最高温度为43.9℃,机房内的平均温度为29.6℃。如图10所示,冷通道内的平均温度约为23℃,热通道内的平均温度约为34℃。列头部分的温度较高,这是由于列间空调的部署方式导致向列头部分传送的冷量较小,但这不会对机房整体的运行状况构成影响

在距地板0.2 m、1.0 m、2.0 m处,冷通道内的平均温度分别为23℃、23.1℃、23℃,差异极小,这是由列间空调的送风特点所决定的,风机成列布置,采用水平

送风方式,使冷量传递更为均匀。热通道内由于热空气密度较低,距地板不同高度上的温度分布情况也有所区别。在距地板0.2 m、1.0 m、2.0 m处,热通道内的平均温度分别为33℃、34℃、34℃。随着距地板高度的增加,热通道内的温度也随之升高,其温度分布也越发趋向均匀。

## 5 实际运行与模拟结果对比

本项目按照图3所示的方案进行了改造,改造后,在冷、热通道内增加了温湿度测点。这些测点布置在距离地面1.0 m,距离机柜侧0.6 m处,测点具体位置如图11所示。湿度传感器信号由动环实时采集。实际运行与模拟结果数据对比如表4所示。

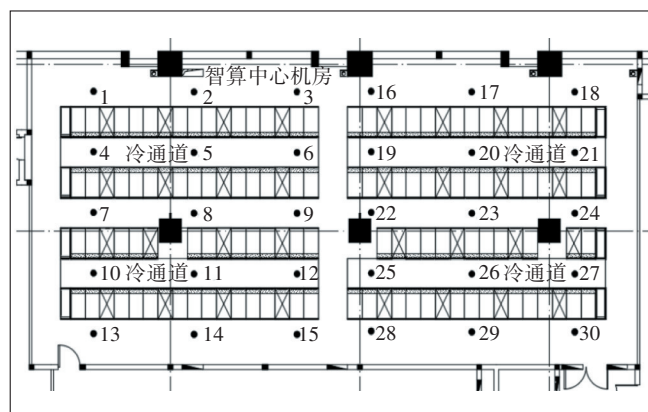


图11 改造后智算中心机房测点布置平面图

表4 实际运行与模拟结果数据对比

| 项目        | 实际运行数据 | 模拟结果数据 |
|-----------|--------|--------|
| 冷通道最低温度/℃ | 22.9   | 23     |
| 冷通道最高温度/℃ | 23.2   | 23.2   |
| 热通道最低温度/℃ | 33     | 33     |
| 热通道最高温度/℃ | 38     | 41.8   |

由表4可以看出,实际运行与模拟结果数据基本一致,但热通道最高温度相差较大。这主要是由于实际运行中,冷通道的封闭效果无法达到CFD模拟中所假设的100%完全封闭状态。

## 6 结语

随着智能算力规模的持续快速增长,智算中心的建设布局亟需加速,这对数据中心的规划设计、制冷供电和绿色低碳提出了更高的要求,促使通用数据中心向高效、灵活、智能、低碳的智算中心转型升级。本

文通过对呼和浩特地区某智算中心机房进行分析,得出如下结论。

a) 在将存量机房改造为智算中心机房时,需结合现状条件、改造难度和经济技术的对比分析,制定合理的改造方案,以便快速响应客户需求。

b) 若 $6\text{ kW}<\text{单机柜功耗}\leq 20\text{ kW}$ ,可采用列间空调。但随着单机柜功耗的增加,列间空调布置密度也随之增加,导致出架率降低和成本提高。对于将存量机房改造为智算中心机房的情况,可以通过增加列间空调数量、优化列间空调布局、锁机柜、适当加大冷热通道间距等方式,在牺牲一定空间的前提下,满足高功耗设备的部署需求。

c) 对于有改造条件的存量机房,建议采用热通道封闭方式。相较于冷通道封闭,热通道封闭在提升维护人员舒适度和节能效果方面表现更佳。

d) 对于单机柜功耗 $>20\text{ kW}$ 的机柜,传统风冷技术已难以满足高功率机柜的部署需求,液冷散热已成为制冷技术升级的选择。

### 参考文献:

- [1] 陶文铨,靳姝琦,李楠,等.数据中心机房气流组织仿真技术探讨[J].邮电设计技术,2022(12):1-8.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部.数据中心设计规范:GB 50174-2017[S].北京:中国计划出版社,2017.
- [3] 张旭,崔涛.冷通道封闭技术在数据中心节能中的应用[J].电子世界,2021(23):190-191.
- [4] 陈文辉.热通道封闭在数据中心应用分析[J].洁净与空调技术,2020(1):115-116.
- [5] 蔡宇辉,李美玲,陈万家.冷通道封闭与热通道封闭在数据中心的应用与探讨[J].洁净与空调技术,2023(1):113-116.
- [6] 陈宇欣,梁珍.地板送风数据中心气流组织设计与优化分析[J].流体机械,2022,50(9):91-99.
- [7] 许伟伟.数据中心机房空调气流组织研究[D].北京:北方工业大学,2022.
- [8] 谢若怡.数据中心机房局部热环境测试系统及模拟模型研究[D].杭州:浙江大学,2022.
- [9] 李瑞.基于CFD仿真的数据中心气流组织优化[D].济南:山东大学,2020.
- [10] 苗益川,朱兵,岳天亮,等.数据驱动的数据中心气流组织预测综述[J].计算机时代,2023(4):96-100.

### 作者简介:

何健,高级工程师,硕士,主要从事数据中心电源技术研究工作;景淼,高级工程师,硕士,主要从事数据中心空调技术研究工作;王颖,高级工程师,硕士,主要从事数据中心电源技术研究工作。