



基于CFD+AI的数据中心能耗调优技术

黄冬梅

北京瑞思博创科技有限公司

2026.3 广州

AI时代数据中心 能耗升级

数据中心能耗

➤ 数据中心能耗现状

- **当前能耗水平：**2024年全球数据中心耗电量达415太瓦时，占全球电力消耗的 **1.5%**
- **增长趋势：**自2017年以来，数据中心年均用电量增长约**12%**
- **2026年1-2月互联网数据服务用电量增速 46.2%（国家能源局发布）**

➤ 行业痛点

- **机房末端侧：**现有节能手段多为更换高效UPS、精密空调等物理层面措施，却难以解决机房局部热点和气流组织问题，并且可能导致“大马拉小车”现象。
- **冷源系统侧：**冷源侧设备关联紧密，能耗相互影响且难量化；冷源侧与机房末端空调耦合复杂，单靠运维人员难以全链条智能寻优。

CONTENTS

目录

01. 公司简介

02. 数字孪生 CFD+AI 技术介绍

03. 项目案例分享

PART ONE

01.

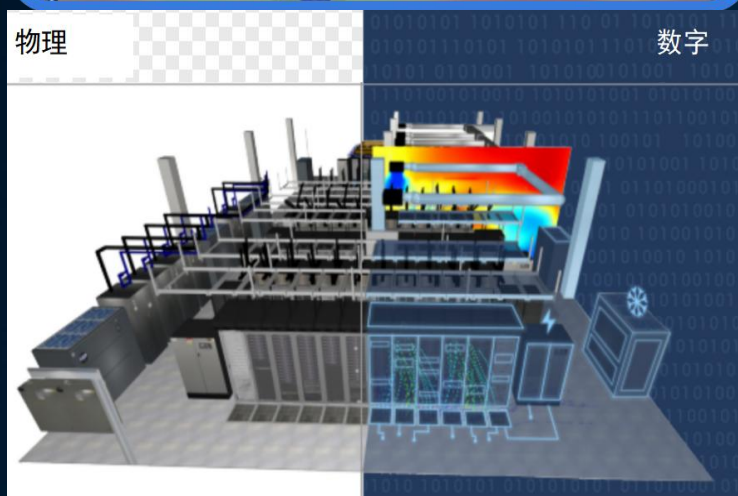
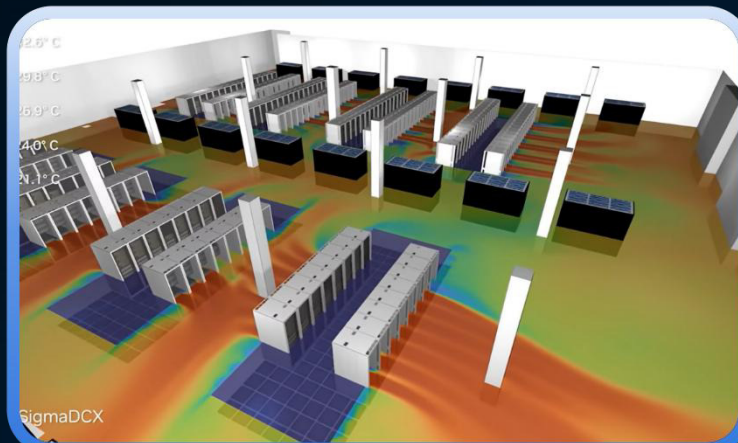
公司简介

北京瑞思博创科技有限公司

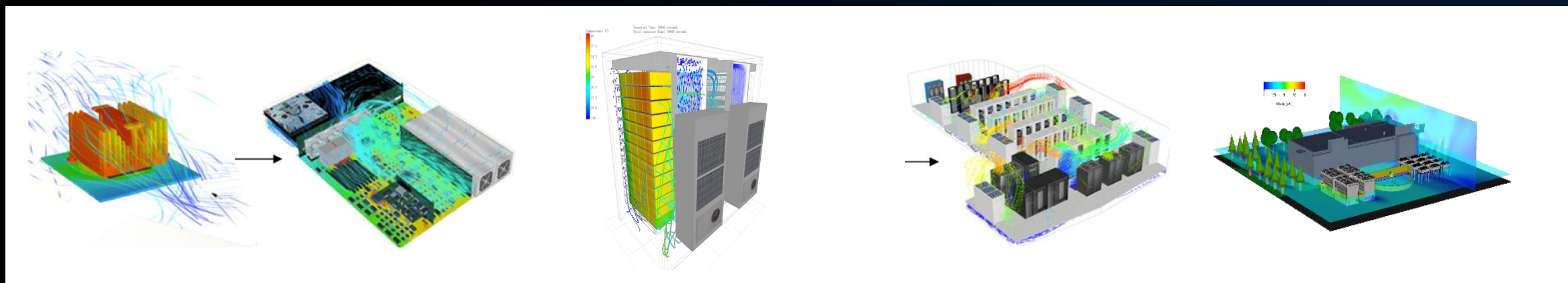
Beijing Rainspur Technology Co., Ltd

- 公司成立于2009年，公司技术人员硕博学历100%
- 我们是国家高新技术企业 和 “专精特新” 中小型企业。
- 公司专注于数据中心节能优化相关技术研发与服务：
 - CFD仿真技术
 - 数据中心AI节能技术
 - 数据中心系统能耗预测技术
 - 数据中心节能调优技术

专业数据中心 CFD及数字孪生技术服务商



从芯片 → 数据中心 → 园区 全链路 CFD仿真和数字孪生服务



芯片

服务器

机柜（方舱）

数据中心

园区

设备级CFD分析软件，可做芯片封装、散热器等电子器件、服务器散热分析。

机房级CFD分析软件，拥有最全的设备模型库，分析的冷却系统：水冷式、直膨式、全新风式、直接与间接蒸发冷却等；包括室外机、冷却塔、柴发气流组织分析；还涉及运维管理，导入DCIM实时监控数据，实现机房容量可视化。

典型客户

ByteDance
字节跳动

阿里巴巴
Alibaba.com

Tencent 腾讯

Baidu 百度

快手

CHINDATA
GROUP

GLP

BDC

JD.COM 京东

HUAWEI

ZTE中兴

VERTIV
维谛技术

dji

hp
invent

NTT Communications

nvidia
ORACLE
aws
EQUINIX

Google

intel DELL

IBM

facebook

SAMSUNG

EATON

KSTAR 科士达

CANATAL

KELONG
科华技术

H
华信设计

SYC
世源科技工程有限公司

中国建筑设计研究院
CINA ARCHITECTURE DESIGN & RESEARCH GROUP

中讯邮电咨询设计院
CHINA INFORMATION TECHNOLOGY DESIGN & CONSULTING INSTITUTE

上海邮电设计咨询研究院

CCEC 中国能源建设集团
CHINA ENERGY ENGINEERING GROUP
广东省电力设计研究院有限公司
GUANGDONG ELECTRIC POWER DESIGN INSTITUTE CO., LTD.

中国通信服务
CHINA COMSERVICE
中睿通信规划设计有限公司
ZHONGRUI COMMUNICATION PLANNING & DESIGNING CO., LTD.

中国移动
China Mobile

中通服设计
CID INSTITUTE

中国航信
TravelSky

清华大学
Tsinghua University

国家电网
STATE GRID

SHENLING 申菱

TICA

典型服务项目

- Dayone印尼数据中心项目
- 芬兰数据中心项目
- 马来新山/吉隆坡项目
- 泰国数据中心项目
- 香港IDC项目
- DAMAC泰国室外散热仿真
- 中联马来数据中心项目
- 易普集泰国数据中心项目
- 华西马来数据中心
- 日本*****项目
- Airtrunk项目
- SCZ项目
- Meinhardt项目
- 韩国SCZ数据中心项目
- 韩国MOON数据中心项目
- 普洛斯-AWS香河数据中心
- 珑腾-芜湖D07项目
- 中金阿里数据中心项目
- 浩云宁夏数据中心
- 珠海云上智城数据中心
- K2印尼数据中心
- 东方国信内蒙和林格尔IDC
- 宝之云宣化A1~A5数据中心
- 中明数据中心项目
- 世纪互联太仓、怀来、乌兰IDC
- 光环宝坻、燕郊数据中心
- 新加坡电信机房项目
- 阿里上海宝信数据中项目
- 阿里马来西亚室外柴发项目
- 腾讯贵安数据中心柴发项目
- 腾讯Tblock项目
- 哈尔滨移动数据中心项目
- 鹏博士廊坊数据中心仿真
- 松山湖*节能试点项目
- 数据港中卫数据中心仿真
- 中国电信机房节能改造
- 腾讯隧道数据中心项目
- Equinix UBS/上海数据中心
- 联通鲁谷数据中心
- 泉州数据中心
- 字节乌兰察布项目
- 光环新网宝坻项目
- DeepSeek项目
- * 液冷项目
- * 乌兰察布数据中心
- 秦淮近端风墙研究项目
- 国网节能改造项目
- 快手乌兰察布项目
- 云南移动机房节能改造项目
- 华章宣化数据中心项目
- 香江科技-机柜级瞬态仿真
- 北京UBS改造项目
- 达实智能数据中心项目
- 英国CMI数据中心
- 思科Lab机房项目
- 移动南部基地数据中心
- 360中卫数据中心
- IBM信息机房项目
- 中国邮政数据中心
- 天津朝亚数据中心
- 莫朗电力方舱项目
- 百度IDEC机房项目
- ABB变压器+电池集装箱
- 工业厂房污染物分布分析
- 广西电信机房节能改造
- BPC项目设计方案评估
- 中石油数据中心室外机项目
- 中国银行B机房项目
- 浙江农信德清数据中心
- 上海农业银行数据中心
- 中国银行数据中心项目
- 国家电网灾备中心
- 长圣数据中心
- 飞轮仿真项目
- 中国海关数据中心项目
- 科士达液冷项目
- * 工业项目
- 上海证券数据中心
- 博威廊坊室外柴发项目
-

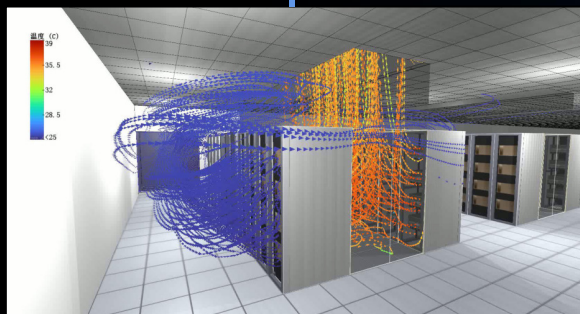
PART TWO

02.

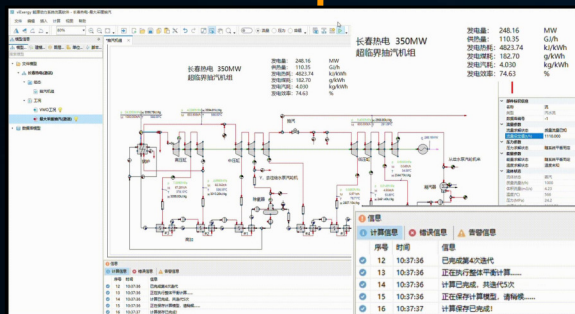
数字孪生 CFD+AI 技术介绍

数字孪生技术特点

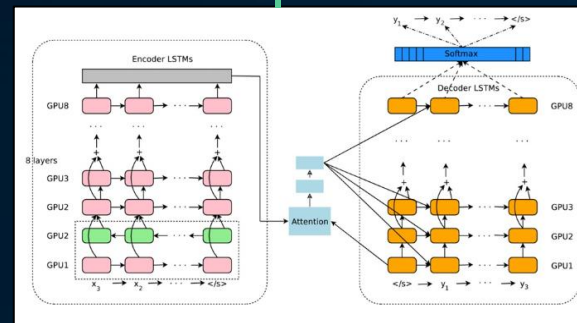
CFD+AI 数字孪生 —— 最大程度释放数据中心节能潜力



CFD仿真挖机房侧节能潜力



系统仿真挖掘冷源侧节能潜力



AI 优化挖掘整体节能潜力

数字孪生实施步骤

物理世界

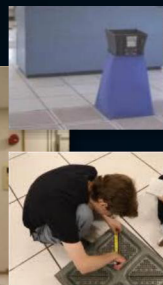
物理孪生



设计和建造

物理孪生

1. 现场勘查



标定

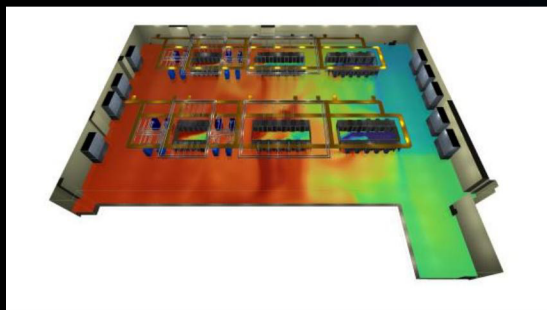
物理孪生



运营

虚拟世界

数字孪生



设计优化并将模型移交至调试阶段

导入勘查数据及监控数据

数字孪生



利用勘查数据和实时数据校准设计模型

数字孪生



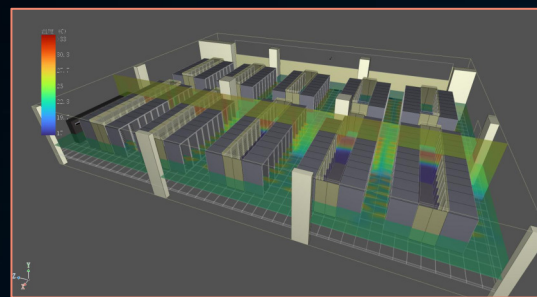
校准后的模型移交至运维阶段

实施步骤:

Step1

仿真建模，把物理世界转化为虚拟世界

- 建筑物、IT设备、冷却设备及布线等
- 设备运行曲线、控制逻辑
- 负载用电量

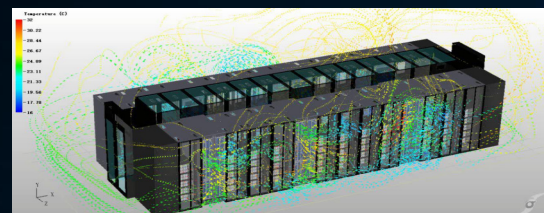


设备布局优化

Step2

评估现状，发现不足，量化问题

- 热点评估
- 送风利用率评估

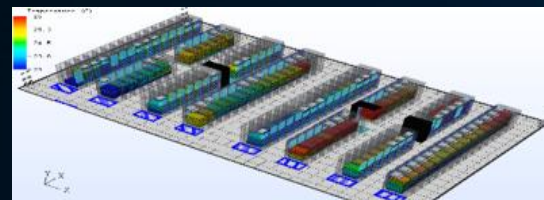


气流组织优化

Step3

不影响现网，实现多种工况仿真预演

- 机房气流组织优化
- 控制升温



补充AI训练数据集

Step4

模拟AI优化方案，预测风险和效益

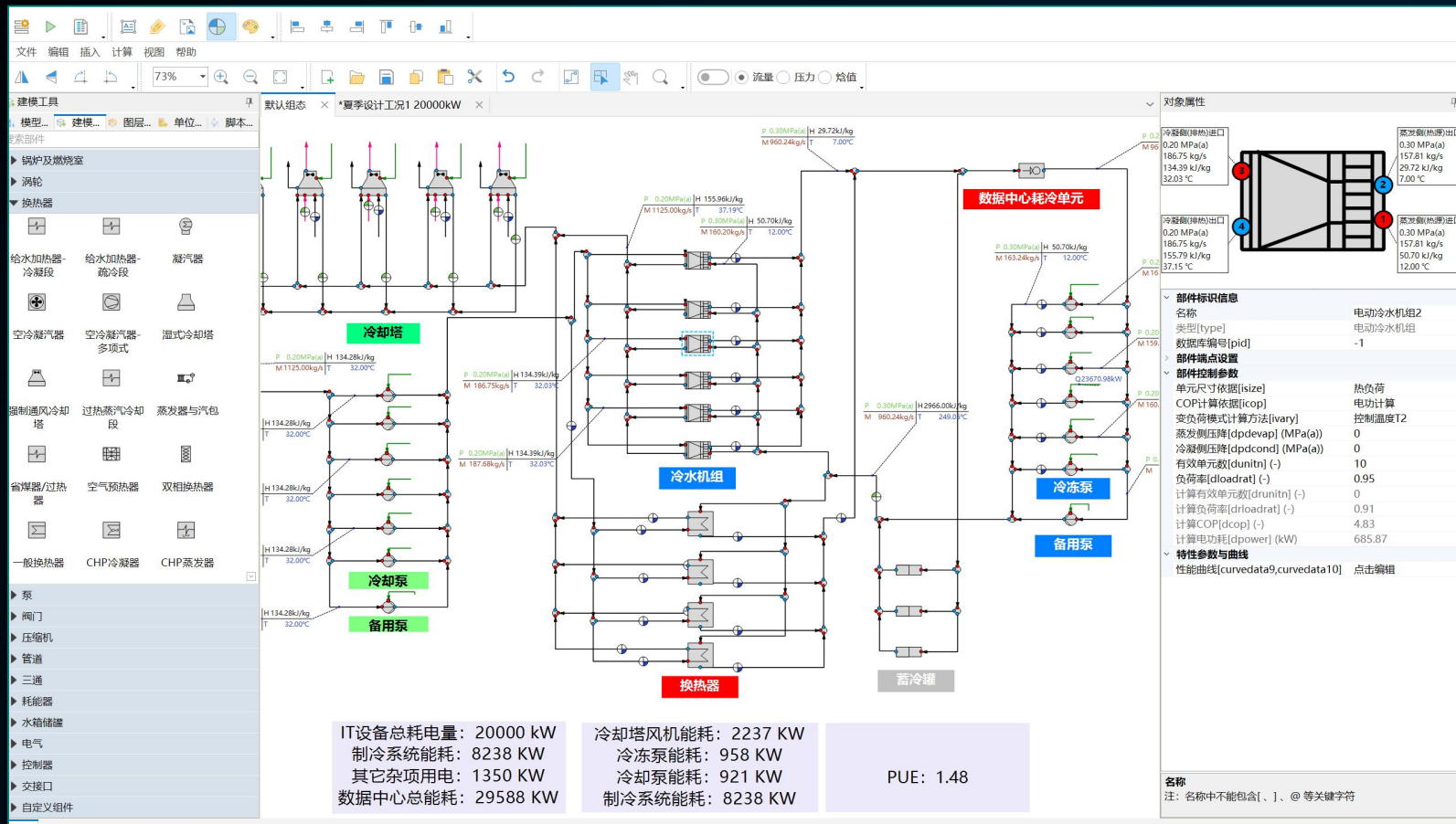
- 服务器温度验证
- 基础设施运行安全性验证
- 优化效果验证



验证AI 优化方案

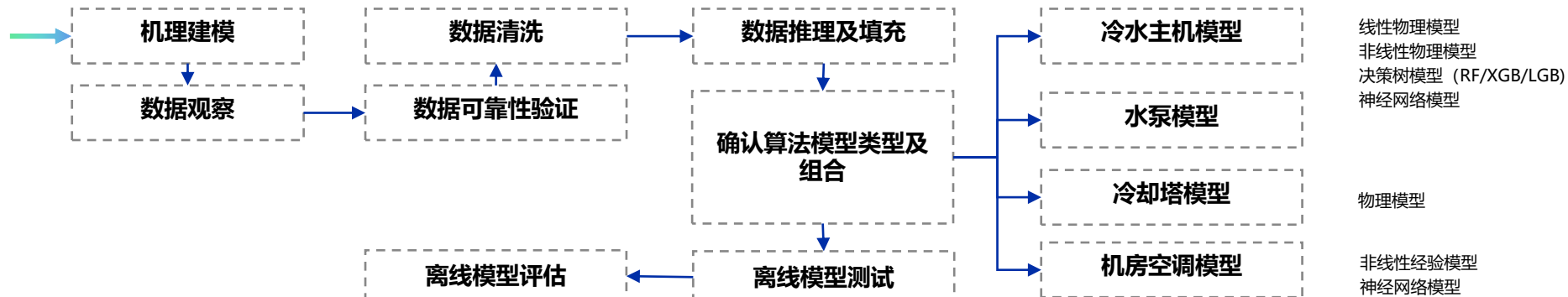
制冷系统仿真——物理机理+数据辨识

- **冷源系统建模：**对冷机、冷塔、水泵、板换等典型设备进行建模并可自定义设备能耗特性曲线，分析其用能情况
- **参数计算与策略评估：**可以计算不同场景下设备的详细运行参数，判断优化策略的安全性、合理性
- **参数处理与数据支撑：**支持输入/输出参数的批处理，为后续的工况寻优与机器学习提供大量模拟数据
- **模型验证：**模型基于实测结果验证，确保建模及计算结果的准确

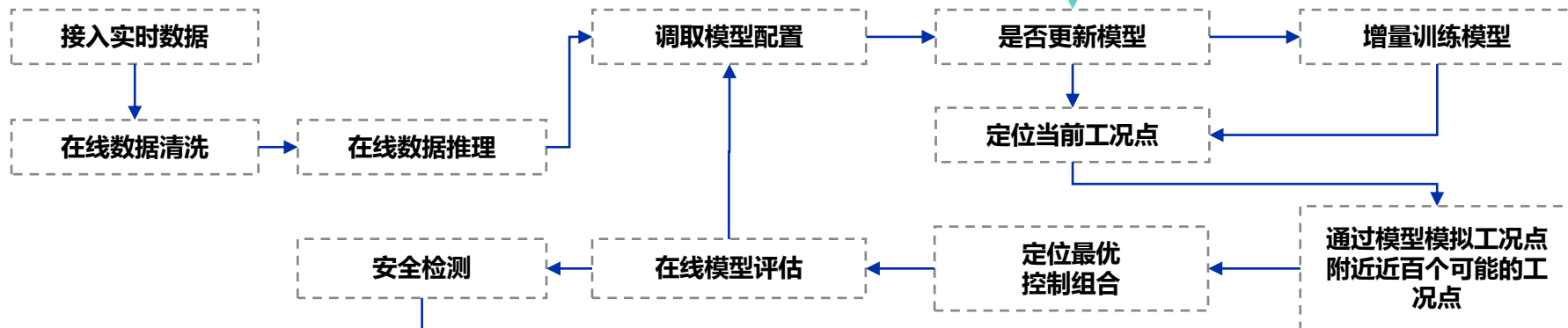


AI 寻优 —— 快速定位最佳控制工况组合

离线训练



在线寻优



控制切换

控制指令推送至BA或
动环系统结合设备本地状态及用户设定确认控
制模式为BA或AI

执行

PART THREE

03.

项目案例分享

主要包括：项目背景、技术介绍、项目实施和项目成果。

项目背景

本项目数据中心客户要求在线改造，以期PUE下降5%。

经现场勘察发现，改造前数据中心存在以下几个典型问题：

- 在用机房，设备无法停机，改造空间有限
- 数据机房内部存在局部热点区域及气流组织不佳问题，导致末端空调能耗较高。
- 冷源侧设备存在着复杂的耦合关系，设备能耗此消彼长，难以量化分析。
- 现场设备调整策略缺乏参考依据，灵活性不足。

研究思路

能耗现状摸底

优化重点定位

确定优化技术

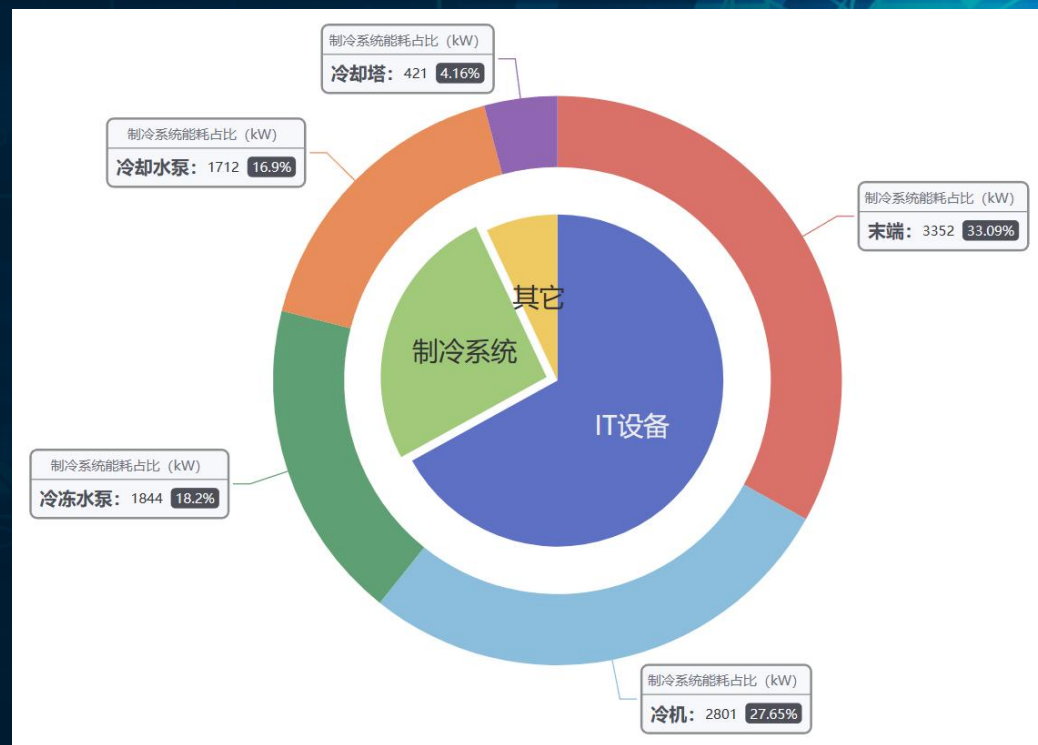
项目实施

优化改造前对数据中心全年能耗构成进行摸底统计，分析各设备能耗占比情况。

其中**制冷系统能耗占比约27%**，其他设施能耗仅占比10%。因此将节能重点聚焦于制冷系统的节能控制。

同时，在制冷系统的能耗构成中，**末端能耗占比**较高，达到**33%**。

因此本项目将重点研究对**末端机房气流组织**的优化以及对**制冷系统运行策略**的优化。



该数据中心能耗占比情况

解决方案

当前存在的问题

数据机房内部存在**局部热点区域**及**气流组织不佳**等问题，导致末端空调需以**低送风温度**，**大风量**运行，产生能源浪费。

制冷系统存在着复杂的**耦合关系**，设备能耗此消彼长，**难以量化分析**。

现场设备调整策略保守，面对多变的设备负载和室外环境，设备参数调节**缺乏参考依据**，灵活性不足。



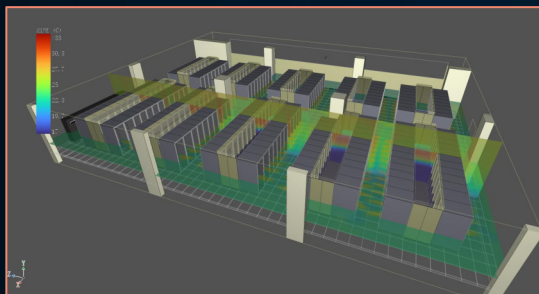
解决方案

搭建数据机房室内**3D数字孪生模型**，进行**CFD仿真计算**，对机房气流组织进行优化，消除局部热点，匹配设备风量。

通过**实测数据与模拟数据分析**，准确掌握各设备间的耦合关系，从而为精准预测某一参数变化时整个制冷系统的能耗变化情况提供依据。

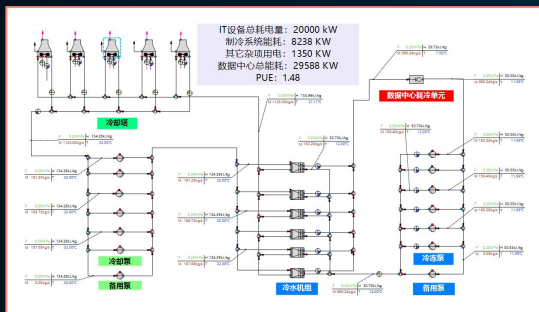
搭建冷却系统数字孪生模型，通过模拟工具预计算不同控制参数对应的PUE，生成**控制参数与对应PUE的数据集**，基于AI算法提出**优化建议**指导设备参数调节。

三维数字孪生模型优化室内气流组织



利用数据中心专用CFD仿真软件6SigmaDCX对室内机房进行建模仿真，定位室内机房典型问题并提出优化方案。

一维数字孪生模型模拟系统能耗，研究优化策略



建立冷却系统一维数字孪生模型，模拟数据中心制冷系统能耗，包括冷却塔，冷机，板换等设备耦合情况下的系统能耗。

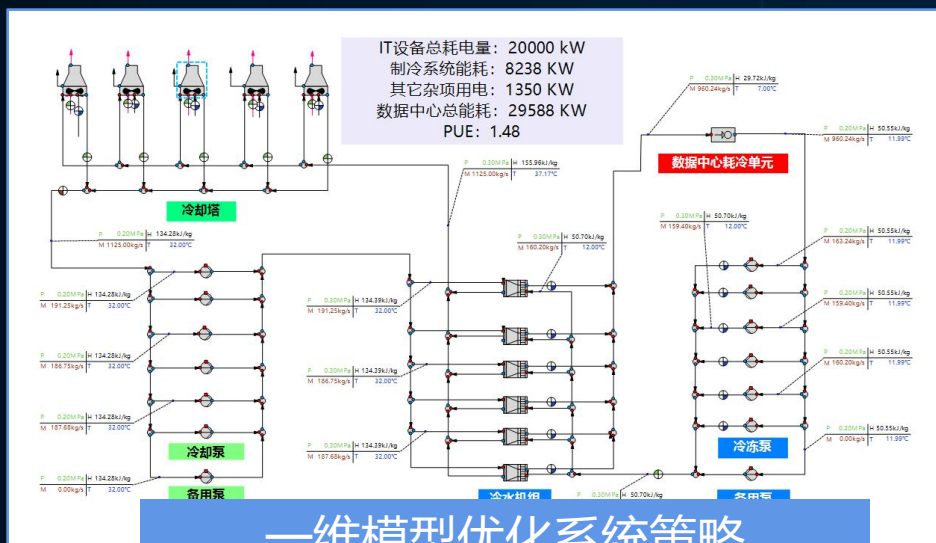
可视化大屏汇总数据信息，提供决策建议



利用可视化大屏，直观展示当前工况下的设备运行策略建议，并汇总不同的策略建议下设备的运行参数，供人工核验。

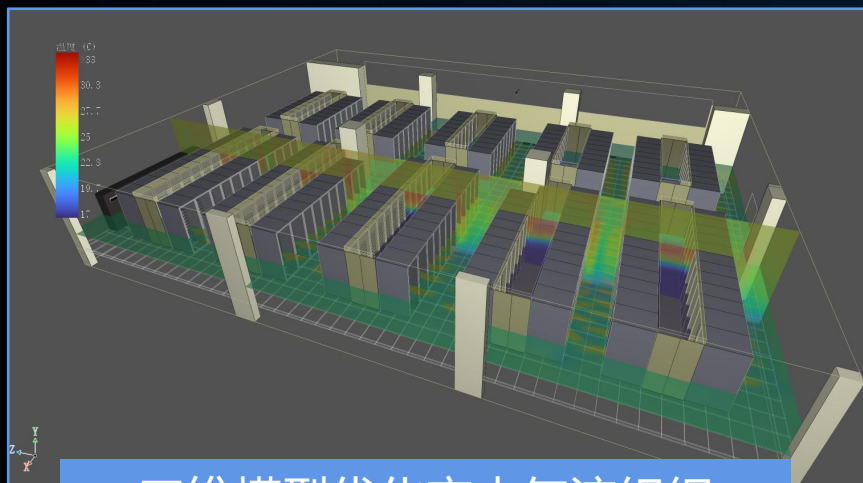
技术介绍

优化机房气流组织，
使末端空调达到最
佳运行状态



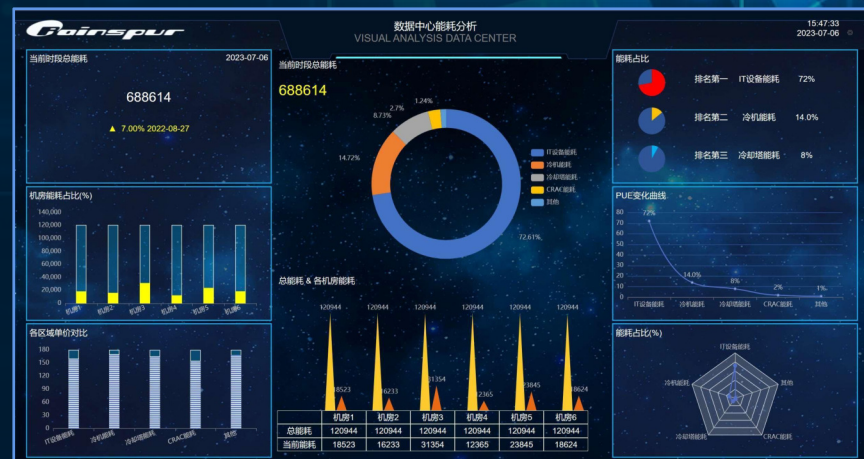
一维模型优化系统策略

模拟不同工况下的制
冷系统能耗，进行节
能策略寻优



三维模型优化室内气流组织

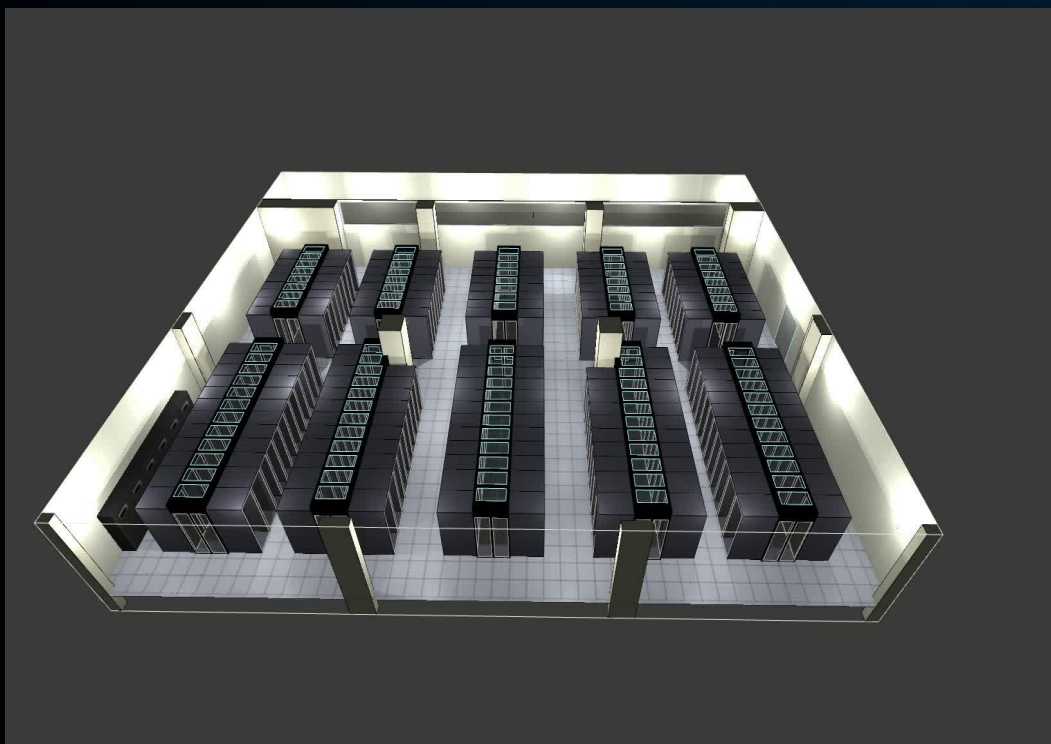
通过DCIM实时反馈
机房设备变更，动
态更新三维模型



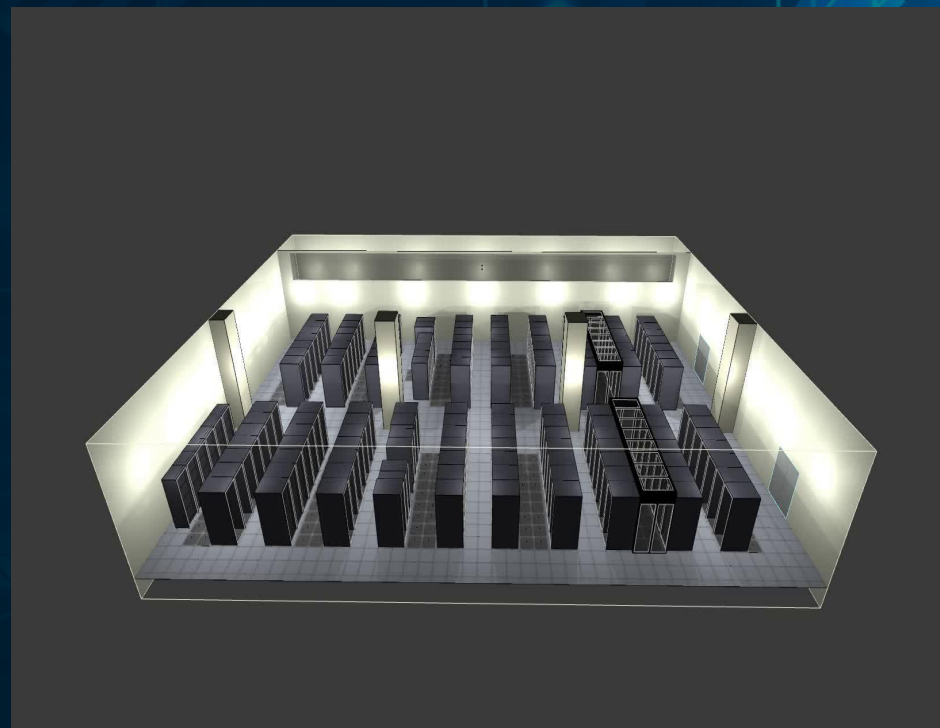
可视化大屏汇总数据信息，提供控制策略建议

针对机房室内能耗 —— 搭建室内数字孪生模型，优化气流组织优化

- 室内模拟选取A1机房（冷通道封闭）与B1机房（部分通道封闭）2个机房，通过对这2个典型机房的气流组织分析，找到数据中心机房内存在的共性问题，提出并优化方案。



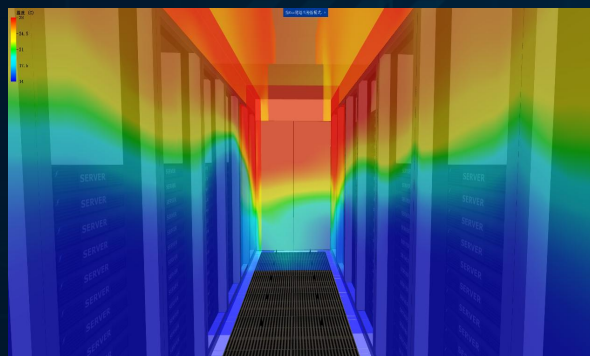
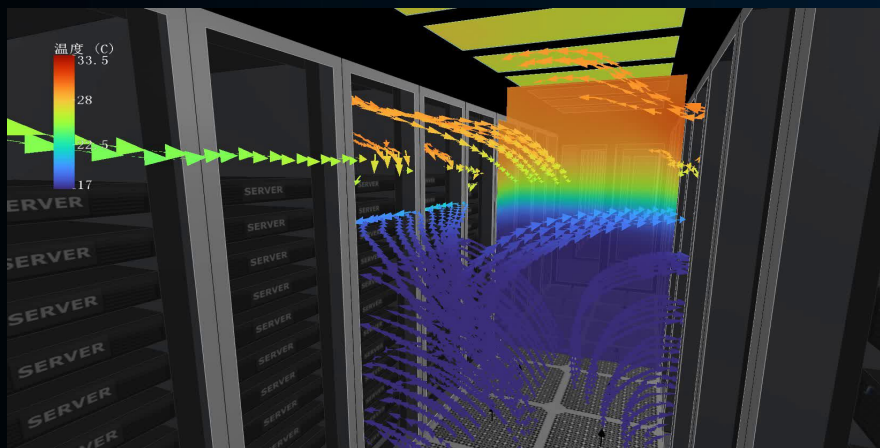
A1机房三维建



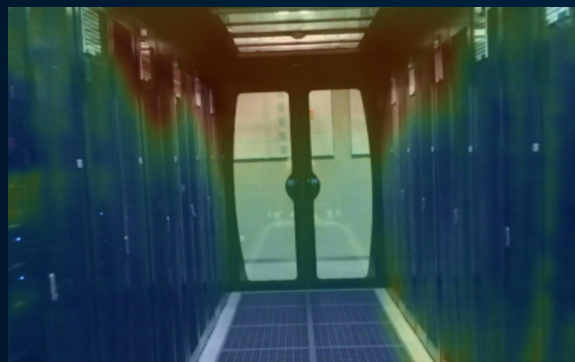
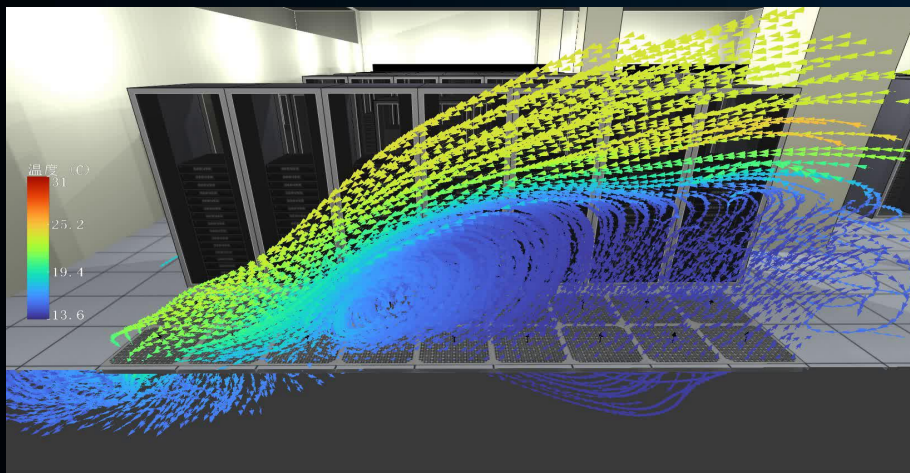
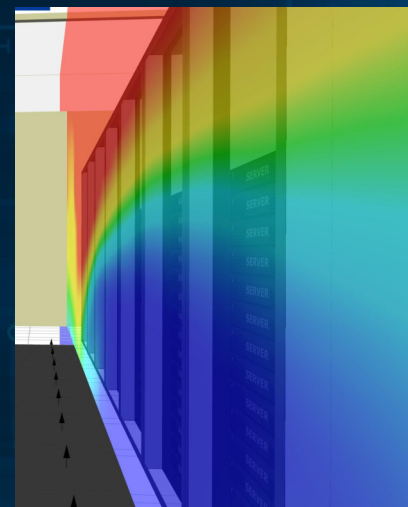
B1机房三维建模

项目实施

存在问题：由于部分非标设备排风方向特殊，冷通道密封性不佳等因素，导致热空气回流进冷通道，使冷通道顶部温度升高。



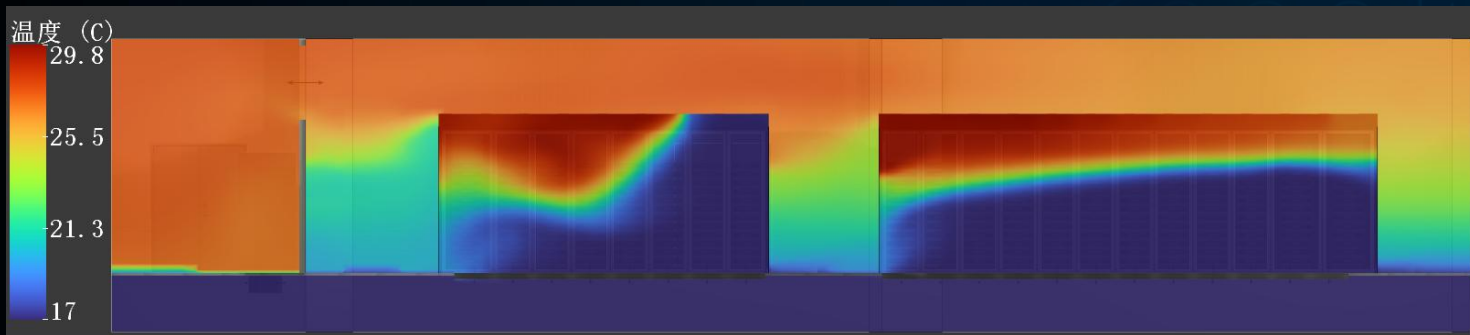
冷通道温度模拟结果



冷通道温度实测结果

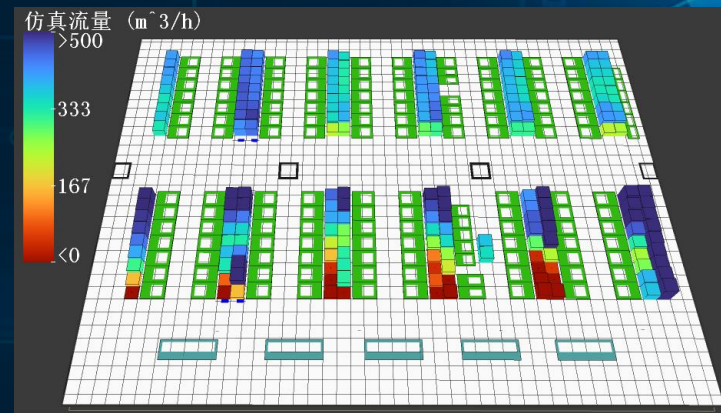


针对机房室内能耗 —— 搭建室内数字孪生模型，优化气流组织优化

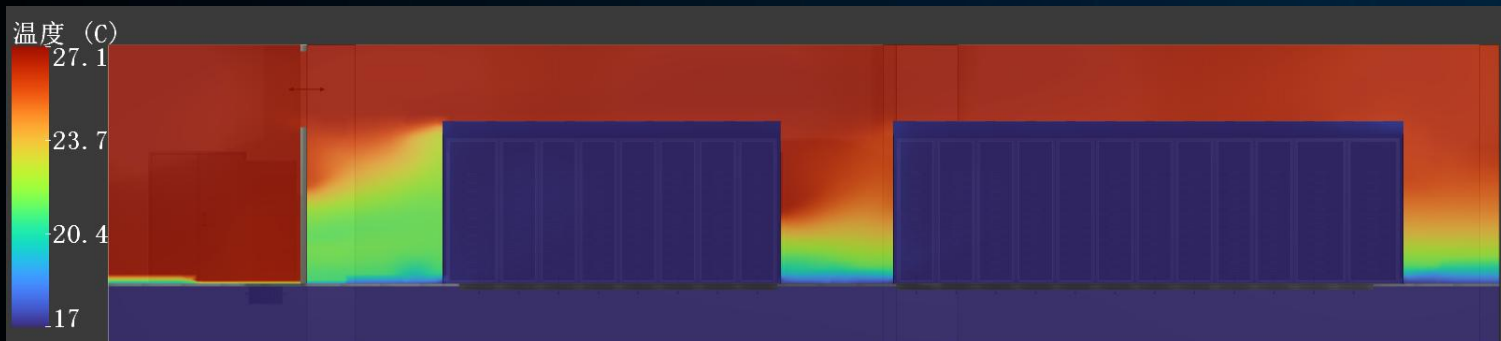


优化前

冷通道剖面温度分布

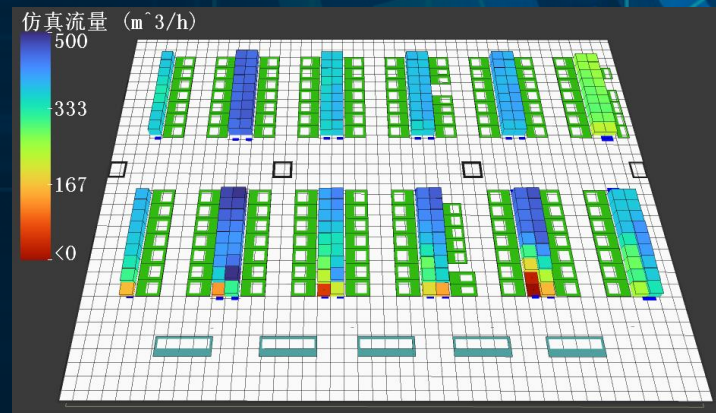


地板出风量



优化后

冷通道剖面温度分布

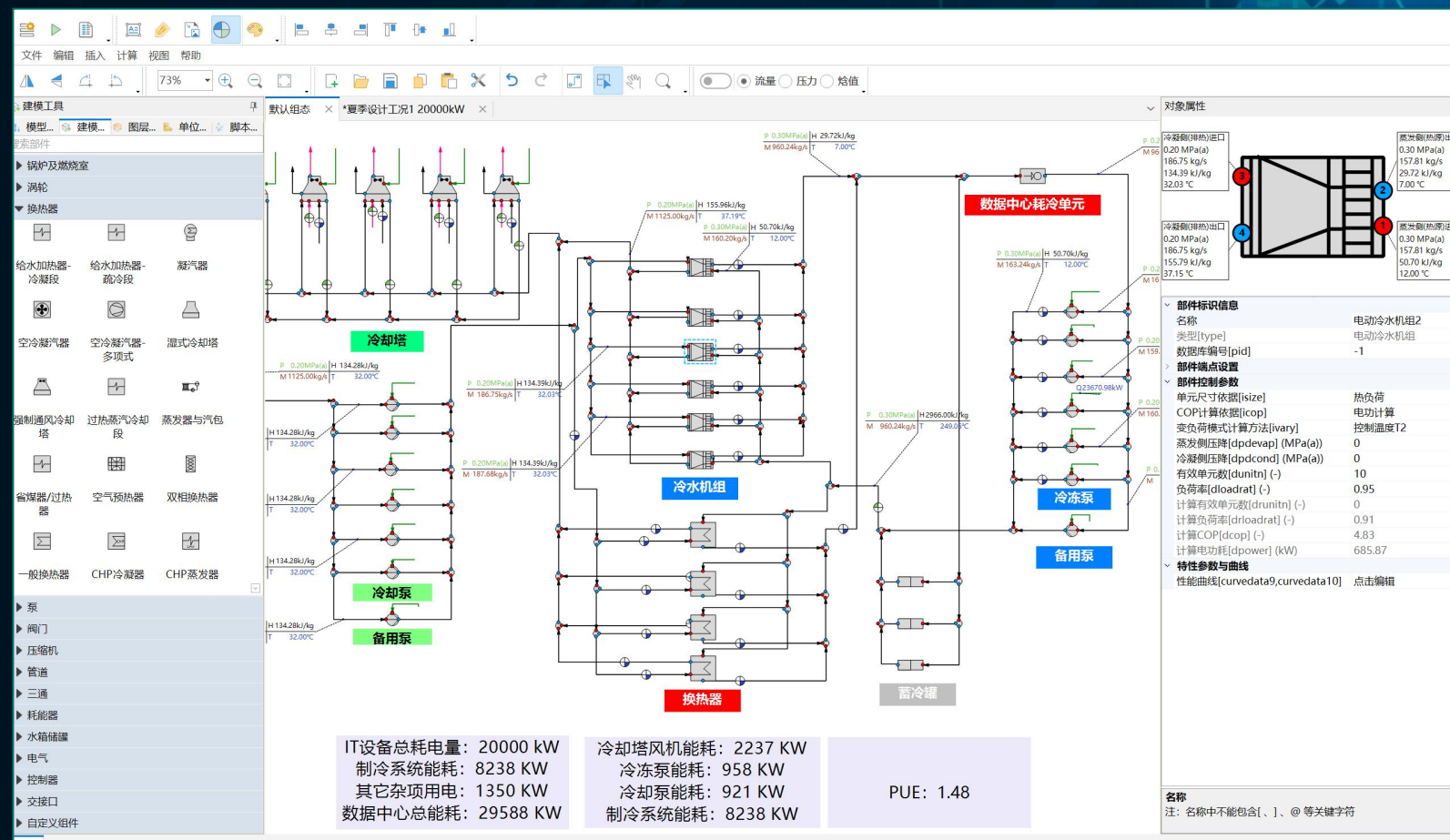


地板出风量

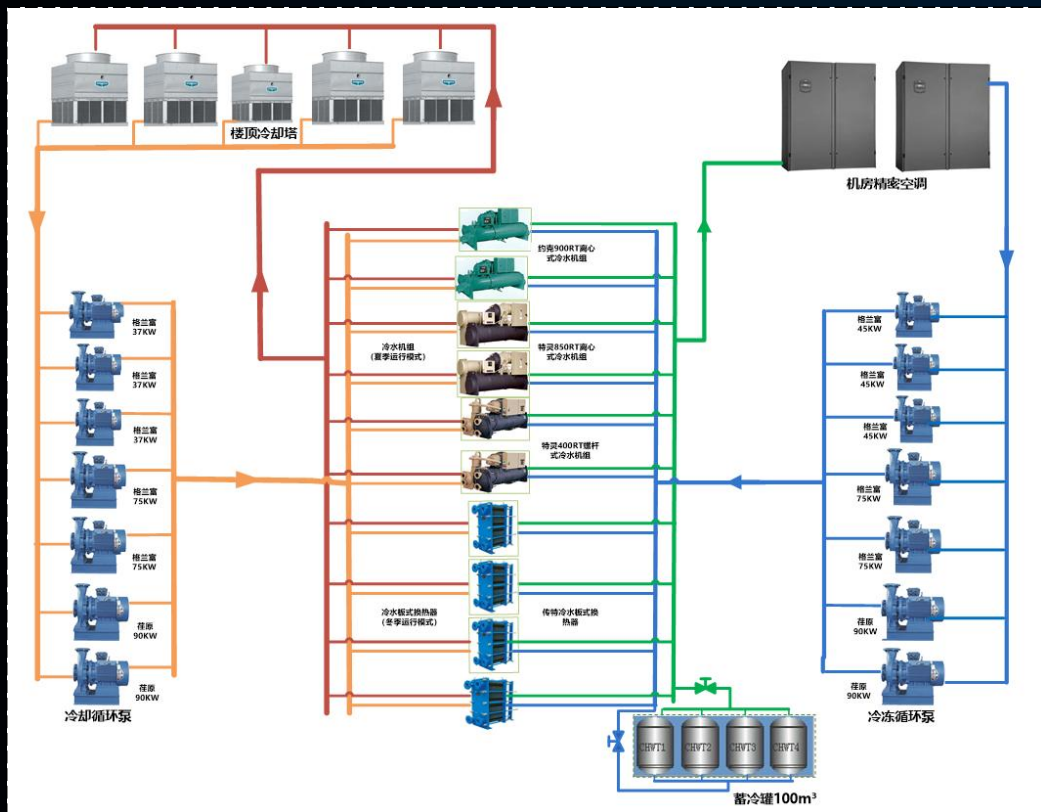
针对冷却系统能耗 —— 搭建冷却系统数字孪生模型，对冷却系统能耗进行预测

软件可以模拟多设备耦合情况下的制冷系统能耗，获得不同机房负载和室外气象参数条件下，不同制冷设备控制参数所对应的数据中心PUE。

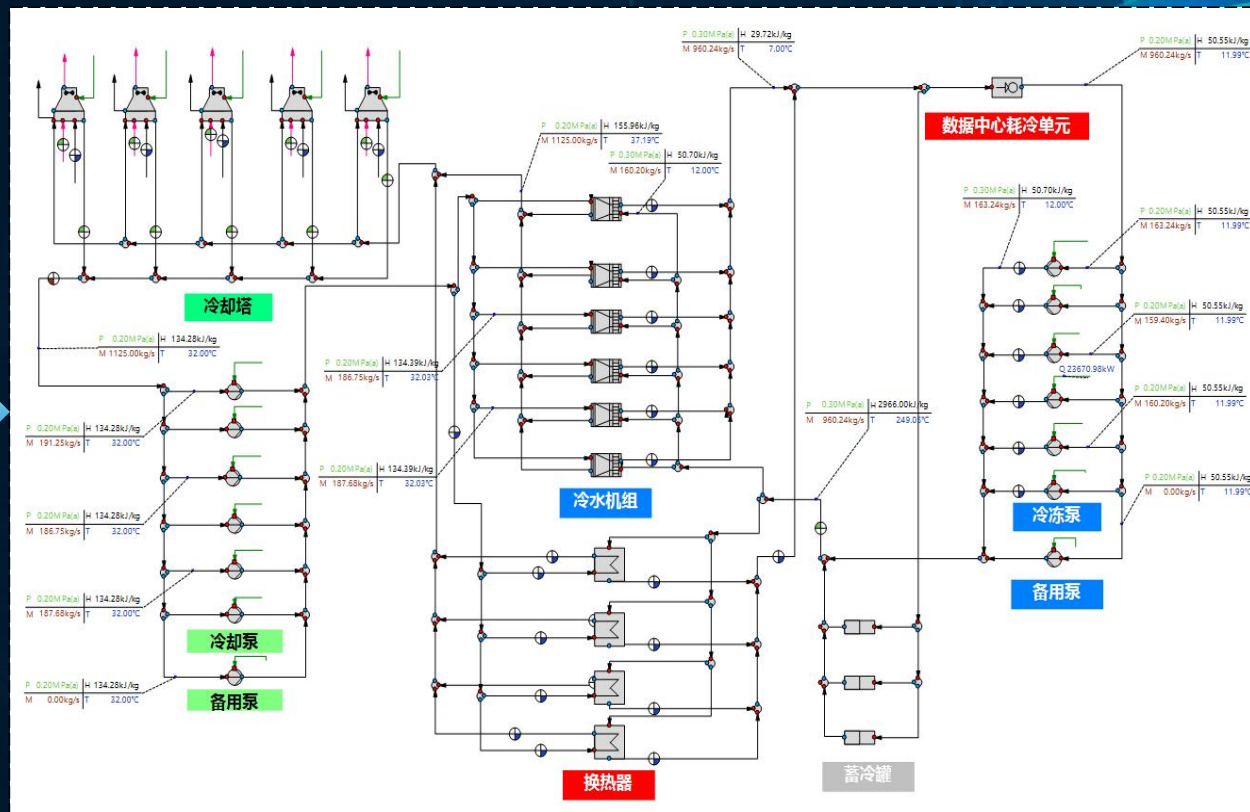
- 可以对冷机、冷塔、水泵、板换等典型数据中心制冷系统相关设备进行建模
- 可自定义设备能耗特性曲线，分析其用能情况
- 可以计算不同工况下各类设备的详细运行参数，判断优化策略的安全性、合理性
- 支持输入/输出参数的批处理，为后续的工况寻优与机器学习提供大量模拟数据
- 模型基于实测结果验证，确保建模及计算结果的准确



建立冷却系统一维数字孪生模型



制冷系统示意图



制冷系统模型示意图

根据制冷系统调研资料建立完整系统模型，模拟夏季运行工况，运行3台冷水机组、运行5台冷却塔、冷却泵与冷冻泵各4台运行，将所有机房末端整体视为一个发热单元。

模型校正与设备运行机理分析

模拟结果及实测数据关键参数对比

数据中心耗冷单元															wangs: 主要是获得全年冷、热负荷，也是为模型中的负荷输入，Q=cm（t1-t2）		
冷冻水供水母管						冷冻水回水母管											
温度	压力		流量			温度	压力		流量								
冷冻水泵（7台）						冷水机组（6台）											
温度	压力（泵前后压差）		流量	蒸发器侧			冷凝器侧			用电							
				压力	温度	流量	压力	温度	流量								
冷却水泵（7台）						冷却水母管											
温度	压力（泵前后压差）		流量	冷却水供水母管			冷却水回水母管										
				温度	压力	流量	温度	压力	流量								
冷却塔（5台）																	
冷却水进口			冷却水出口			空气出口			空气进口			补水管			排水管		
温度	压力	流量	温度	压力	流量	温度	压力	流量	温度	压力	流量	温度	压力	流量	温度	压力	流量
换热器（4台）						蓄冷罐（3台）											
冷侧			热侧			冷侧			热侧								
温度	压力	流量	温度	压力	流量	温度	压力	流量	温度	压力	流量	温度	压力	流量	温度	压力	流量

模型校正流程

读取并分析数据中心实际运行数据

总结当前设备运行状况等信息

对典型工况进行针对性仿真

对比模拟与实测结果校正模型

AI 寻优逻辑

设计多种计算工况，模拟不同控制策略下的制冷系统能耗，采用类决策树形式的寻优逻辑，判断最优控制策略。

决策树 (Decision Tree) 是一种基本的分类与回归方法，其主要优点是模型具有可读性。决策树学习算法通常是一个递归地选择最优的特征，并根据该特征对训练数据进行分割，使得对各个数据集有一个最好的分类的过程。

优点:

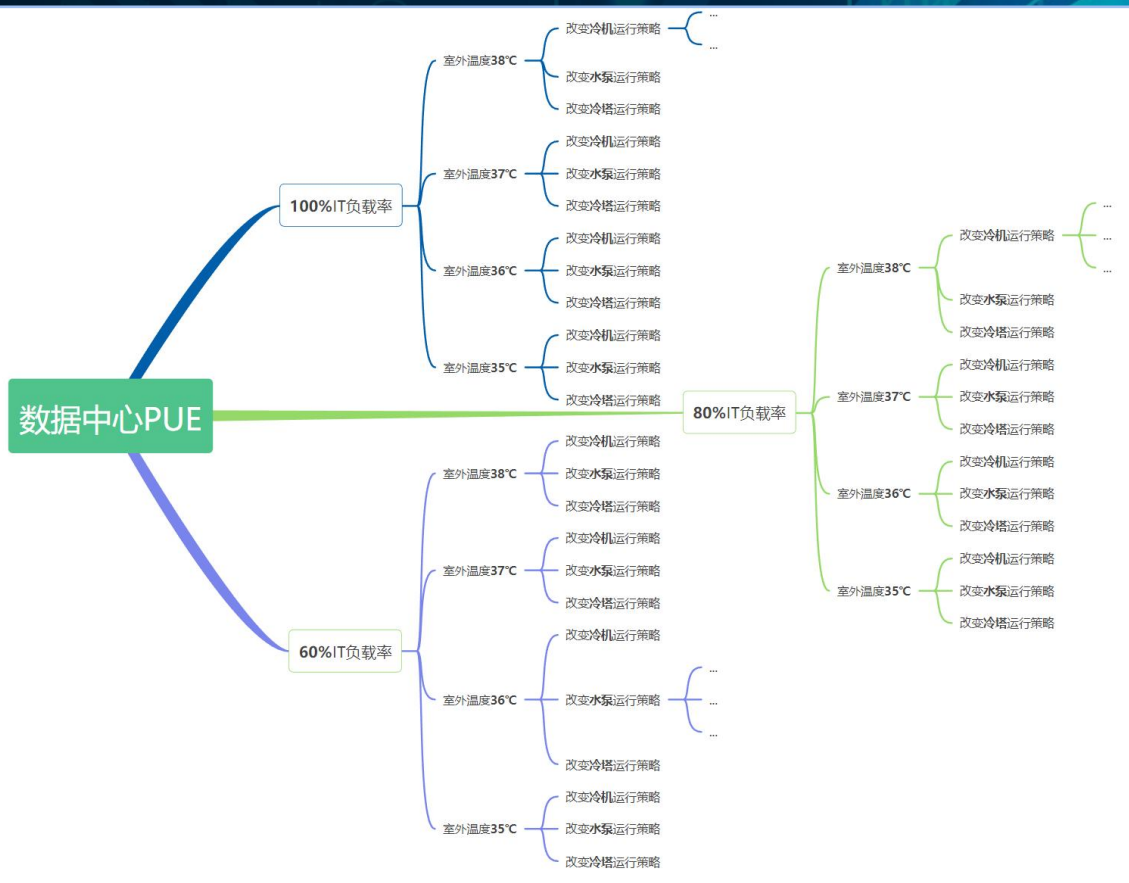
- 决策树具有高度可解释性，便于对寻优结果进行人工核验；
- 需要很少的数据预处理，低延迟，可达到接近实时决策的水平；
- 支持完全离线化决策。

缺点:

- 对连续性的字段比较难预测。容易出现过拟合。
- 当类别太多时，错误可能就会增加的比较快。

解决方法:

- 通过分析设备运行机理，确定设备运行合理参数范围，删除不合理的控制策略，对决策树进行有效“剪枝”。



决策系统数据集分类示意图

项目成果

末端节能效果

通过室内数字孪生技术对机房内气流组织进行优化，有效降低冷热气流掺混，提高空调送风利用率。优化后实现末端空调送风温度最高可提升7°C，风量降低最多达20%，末端综合能耗降低约15%

冷源节能效果

通过冷却系统数字孪生技术进行冷却系统能耗预测与寻优，确定不同工况下设备的最优控制策略。优化策略调整前后，冷源能耗降低可达6.5%

综合节能效果

本项目优化完成后，经3个月连续能耗数据监控分析，今年实现数据中心同期PUE降低5%
成功对PUE1.5左右的数据中心在不进行大规模改造与设备更换的前提下进行节能潜力的挖掘

感谢您的时间

让我们共同深挖数据中心节能潜力！



瑞思博创
微信公众号



黄冬梅 13601394566
huang@rainspur.com