

“零碳” 战略下的低碳数据中心规划设计

——以鹏博士大数据前海（赤湾）云计算服务中心项目为例

中国航空规划设计研究总院有限公司

目录

CONTENTS

- 1 研究背景
- 2 设计需求
- 3 设计分析
- 4 设计总结

01
PART

研究背景



01 碳达峰、碳中和

2030
碳达峰

2060
碳中和

02 绿色经济

绿色经济是**以市场为导向、以传统产业经济为基础、以经济与环境的和谐为目的**而发展起来的一种新的经济形式，是产业经济为适应人类环保与健康需要而产生并表现出来的一种发展状态

绿色经济能够体现出
自然环境的价值



绿色经济的自然资源
利用具有公平性



绿色经济模式强调
经济、社会和环境
的一体化发展



绿色经济可以引导产业
结构的优胜劣汰



03 数字经济



数字经济是通过大数据引导、实现资源的快速优化配置与再生，推动技术革命和产业变革朝着**信息化、数字化、智能化**方向加速演进，实现经济高质量发展。



因其高耗能与高排放，发展数字经济必须全面贯彻绿色发展理念，加快发展方式绿色转型。

必须高度关注数字经济背后的巨大能耗和碳排放



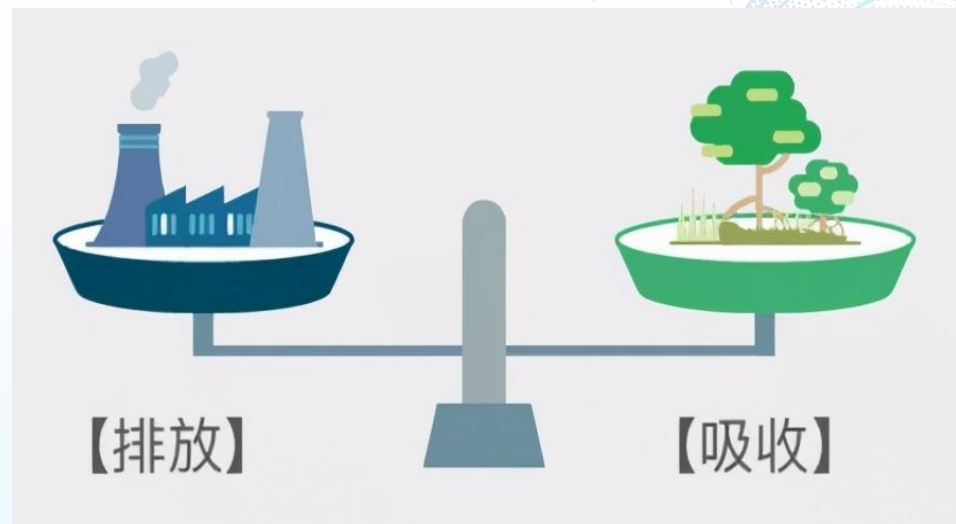
03 数字经济

“十三五”期间，中国数字经济年均增速超过**16.6%**。

《“十四五”数字经济发展规划》提出到2025年，数字经济核心产业增加值占国内生产总值要达到**10%**。

“十四五”时期是我国开启全面建设社会主义现代化国家新征程的第一个关键五年，同时也是碳达峰的关键期、窗口期。

绿色化与数字化相结合是推动数字经济高质量发展的混合动力。





设计分析



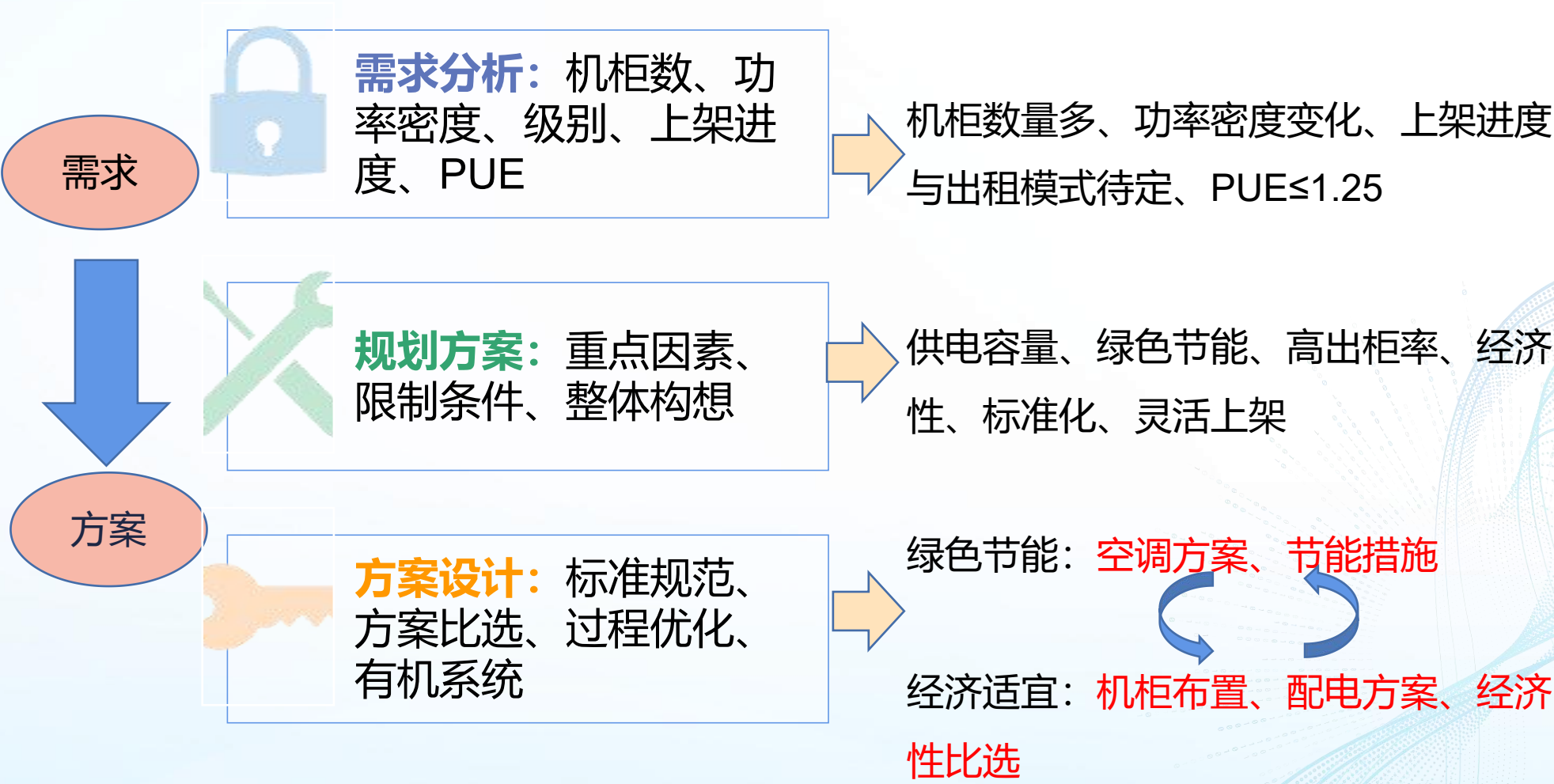
定位及需求

鹏博士大数据前海（赤湾）云计算服务中心，项目致力于打造全球领先的新一代数据中心，实现**服务云计算、人工智能、物联网**等新一代技术的落地应用，迎接 5G 驱动的数字新时代。为数字经济新时代做出贡献，实现双碳背景下的可持续发展、绿色经济目标。目标客户定位为**银行、券商、基金**等高价值客户的需求。

项目位于深圳市南山区赤湾七路，建筑面积约4万m²，地上六层。一期供电60000KVA，2路配置10台2000KVA变压器，其它4路配置16台2500KVA变压器。



定位及需求

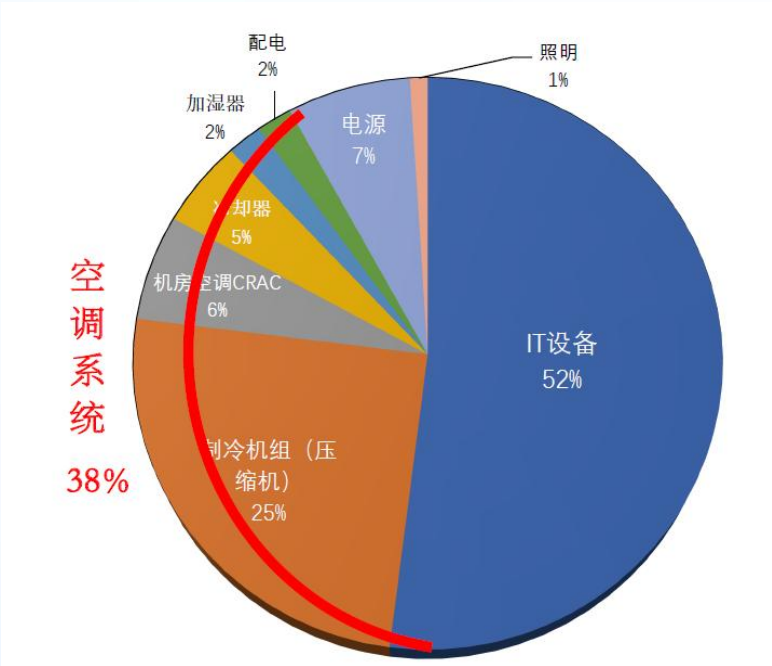




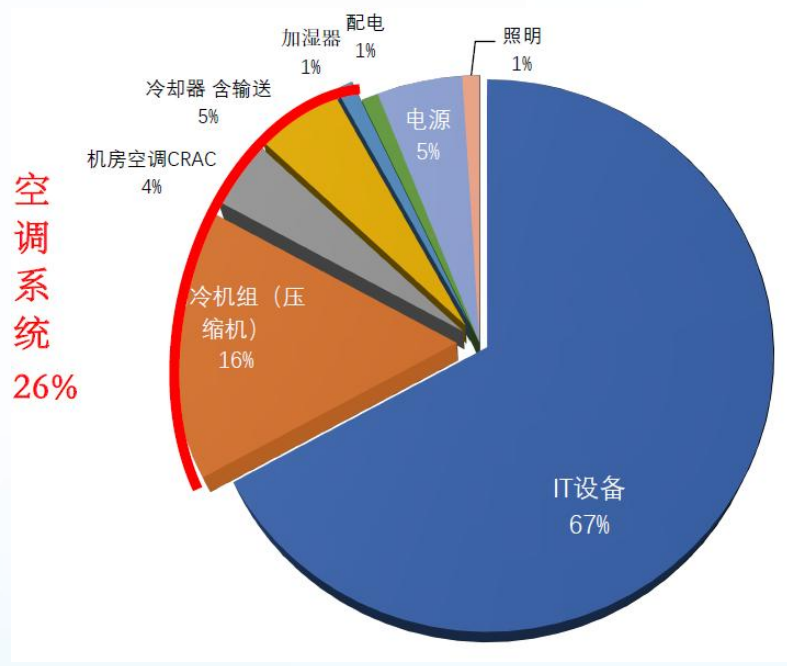
设计方案



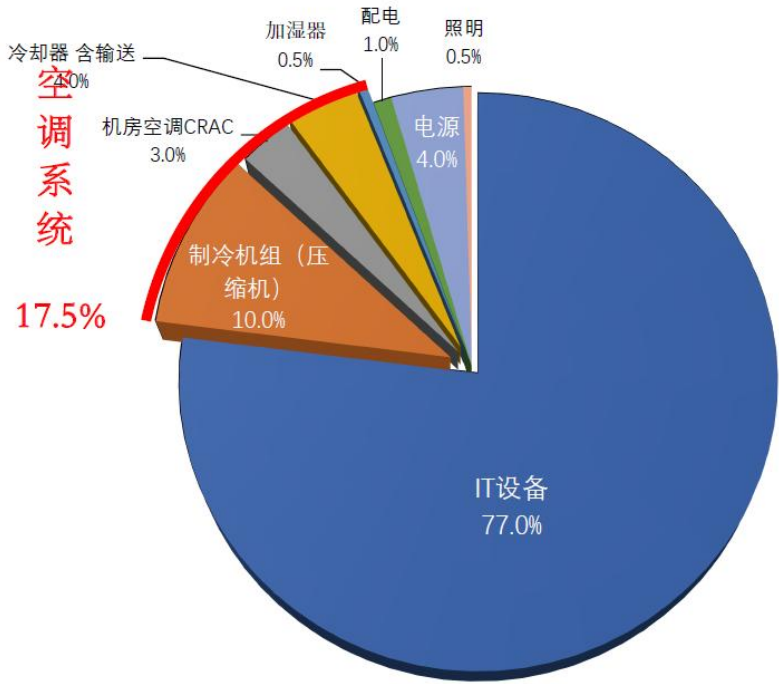
数据中心能耗分布图



PUE=1.92



PUE=1.5



PUE=1.3

提高空调系统的能效，降低能耗，不但可以降低能源费用，而且可以有更多的电力来支持 IT 设备，可以在相同的电力供给情况下安装更多的 IT 设备。

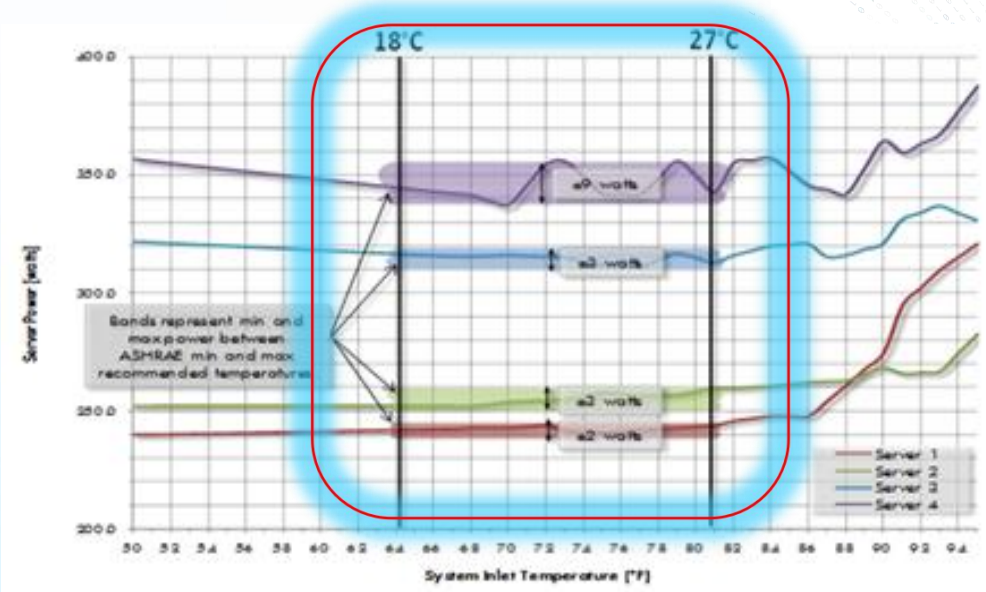
设计参数

《数据中心设计规范》GB50174-2017:
冷通道或机柜进风区域的温度 (推荐值)
18~27℃, (允许值) 15~32℃。

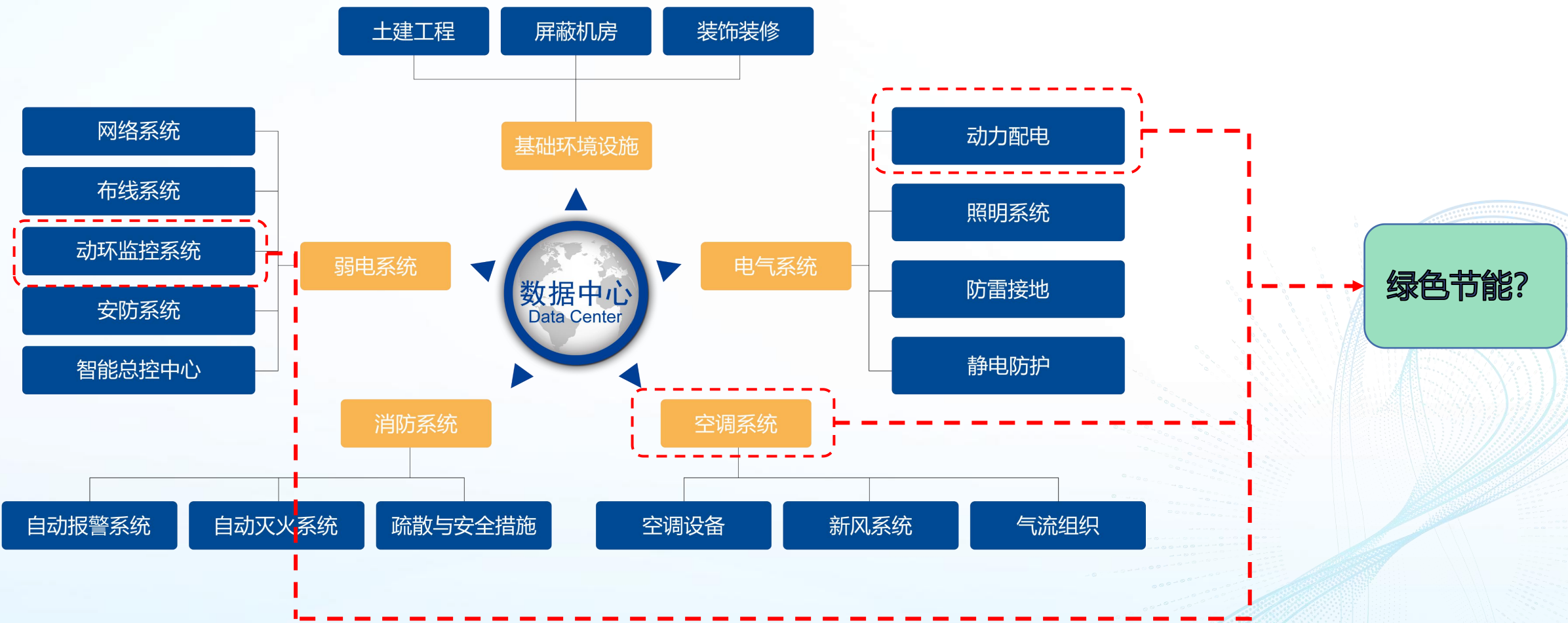
ASHRAE 中明确规定了IT设备建议的进风温度在18~27℃之间 (如表所示),
该指南为ASHRAE与市场上主流的服务器厂家共同编制的, ASHRAE的建议温度区间与多家厂家的实测数据吻合, 进风温度在27℃以下时, 服务器的耗电量基本持平 (如图所示)。因此, **建议服务器进风温度提高到24±2℃。**

Table 1. ASHRAE 2008 Thermal Guidelines

Class	Equipment Environment Specifications									
	Product Operation ^{a, b}							Product Power Off ^{b, c}		
	Dry Bulb Temperature (°C)		Humidity Range, Non Condensing		Maximum Dew Point (°C)	Maximum Elevation (m)	Maximum Rate of Change (°C/h)	Dry-Bulb Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Maximum Dew Point (°C)
	Allowable	Recommended	Allowable (% RH)	Recommended						
1	15 to 32 ^d	18 to 27 ^e	20 to 80	5.5°C DP to 60% RH and 15°C DP	17	3050	5/20 ^f	5 to 45	8 to 80	27
2	10 to 35 ^d	18 to 27 ^e	20 to 80	5.5°C DP to 60% RH and 15°C DP	21	3050	5/20 ^f	5 to 45	8 to 80	27
3	5 to 35 ^{d, g}	NA	8 to 80	NA	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29
4	5 to 40 ^{d, g}	NA	8 to 80	NA	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29



- 厂商要求:
- HP c3000 blade: 10-35°C, 20-80% RH
 - IBM Blade Center S: 10-35°C, 8-80% RH
 - Dell Power Edge: 10-35°C, 8-80% RH



数据中心自然冷却方式

分类		方式
空气侧	直接空气冷却	全新风直接冷却
		直接蒸发冷却
	间接空气冷却	转轮
		热管
水侧	直接水冷却	间接蒸发冷却
		制冷剂自然冷却
		带自然冷却的风冷冷水机组
		风道换热系统
	间接水冷却	海水、湖水、江河水直接冷却
		冷却塔冷水直接冷却
		冷却塔+板式换热器
		干冷器+机组双盘管
		闭式冷却塔
		海水+板式换热器
		LNG 冷能

按照国际上通用的分类方法，国内外数据中心现行的自然冷却技术可以分为两大类：

- 1.空气侧自然冷却
- 2.水侧自然冷却

这两类自然冷却方式又可以分成若干不同类型。

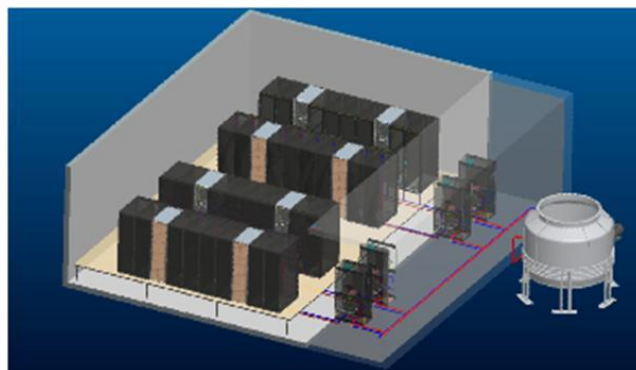
数据中心自然冷却方式



直通风



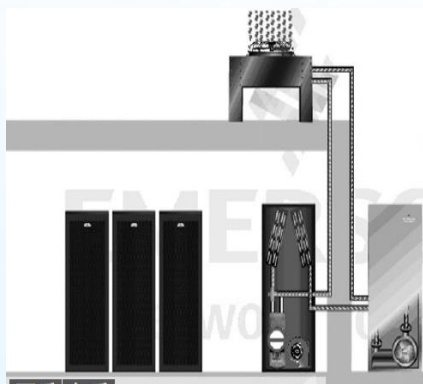
热转轮



热管间接自然冷却



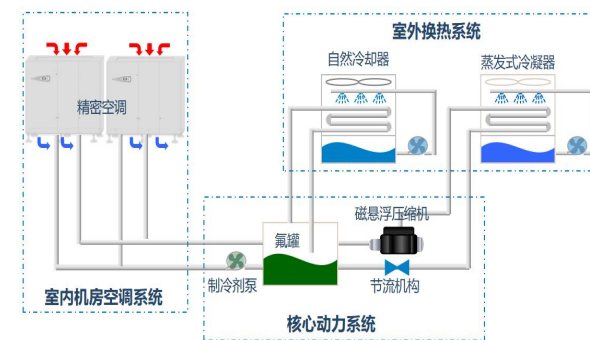
蒸发冷却



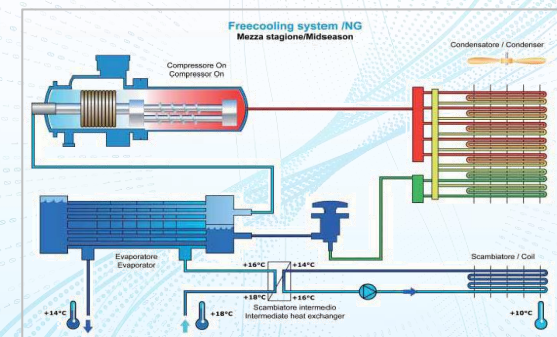
冷媒泵



干冷器



蒸发冷的磁悬浮 自然冷却



风冷自然冷却

风冷空调方案比选

本项目PUE目标值：在年均PUE < 1.40的前提下，尽可能做至年均PUE≤1.30

根据本项目实际情况，
此目标值下常用的空调架构方案

架构1
风冷直膨氟泵自然冷空调

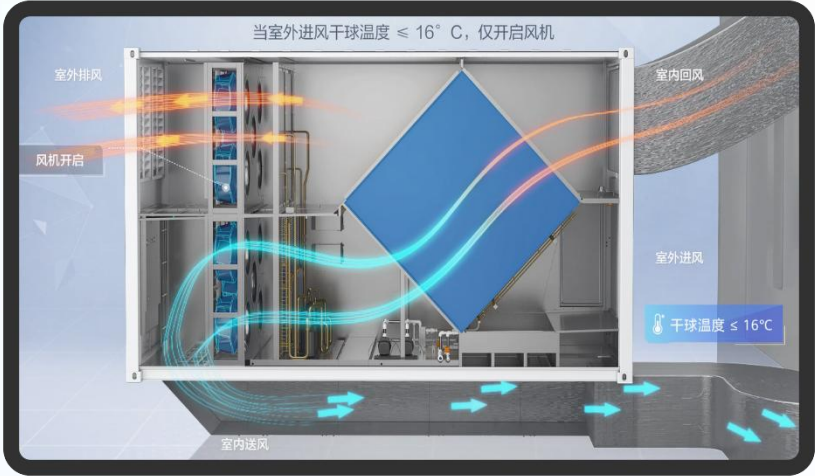
架构2
间接蒸发冷却空调 (AHU)

架构3
蒸发冷热管空调

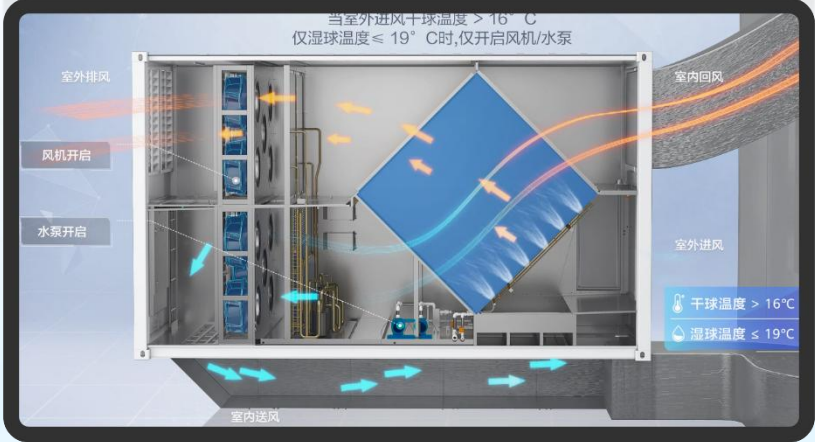
风冷空调方案比选

架构方案	系统技术成熟度	空调机组占地	对IT机房机柜出柜率的影响	年均PUE测算	空调机组耗水量	空调系统对建筑外观的影响	汇总
架构1 风冷直膨氟泵自然冷空调	成熟 √√√	最小，布置最灵活。 √√√	采用房间级末端。本项目对出柜率无影响。 (304个柜位) √√√	约为1.37 (1.35~1.40)	无耗水 √√√	最小 √√√	√√√√√√√√ √√√√√√√√
架构2 间接蒸发冷却空调(AHU)	成熟 √√√	最大，且占地要求较为苛刻。 √	采用屋顶设置，本项目对出柜率无影响。 (304个柜位) √√√	PUE可做至<1.30，约为1.28 √√	有耗水，耗水量较小。 √√	最大 √	√√√√√√√√ √√√√
架构3 蒸发冷热管空调	成熟 √√√	较小，布置较灵活。 √√	对出柜率有轻微的影响。(288个柜位，减少16个) √√	PUE可做至小于1.25 (1.20~1.25) √√√	耗水量较小。 √√	较小 √√√	√√√√√√√√ √√√√√√√√

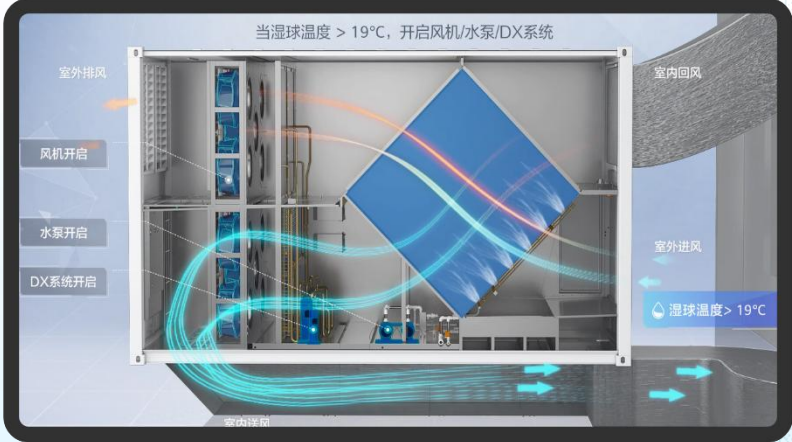
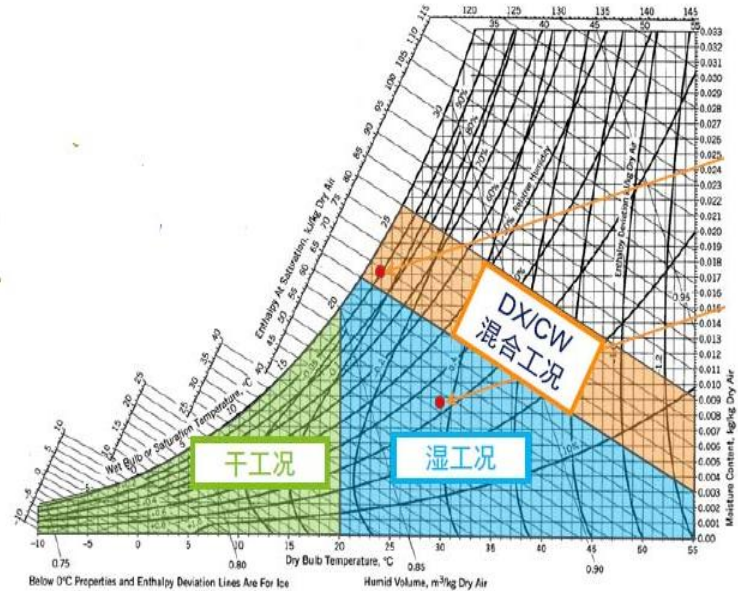
间接蒸发冷却运行模式



干模式运行示意图

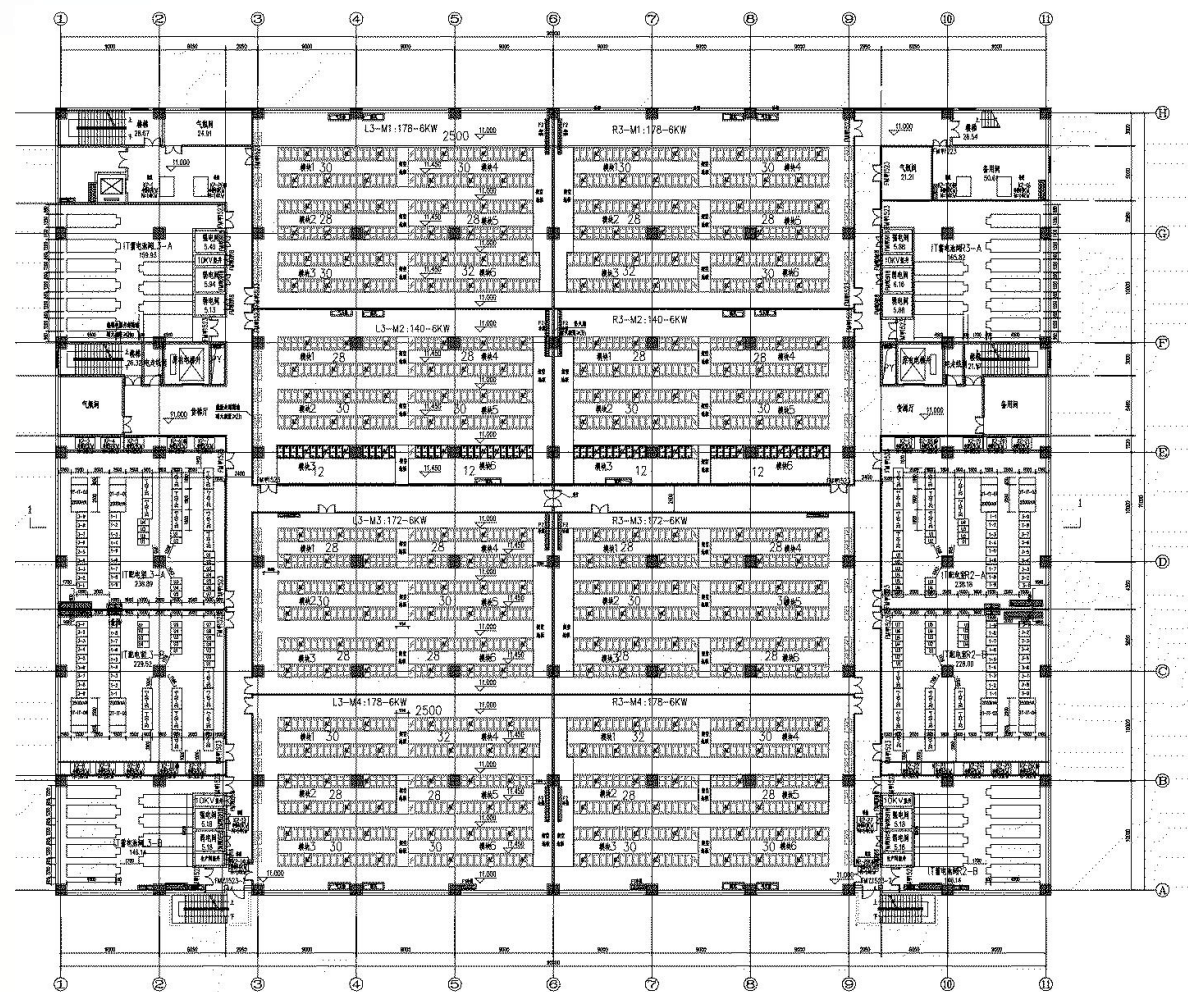
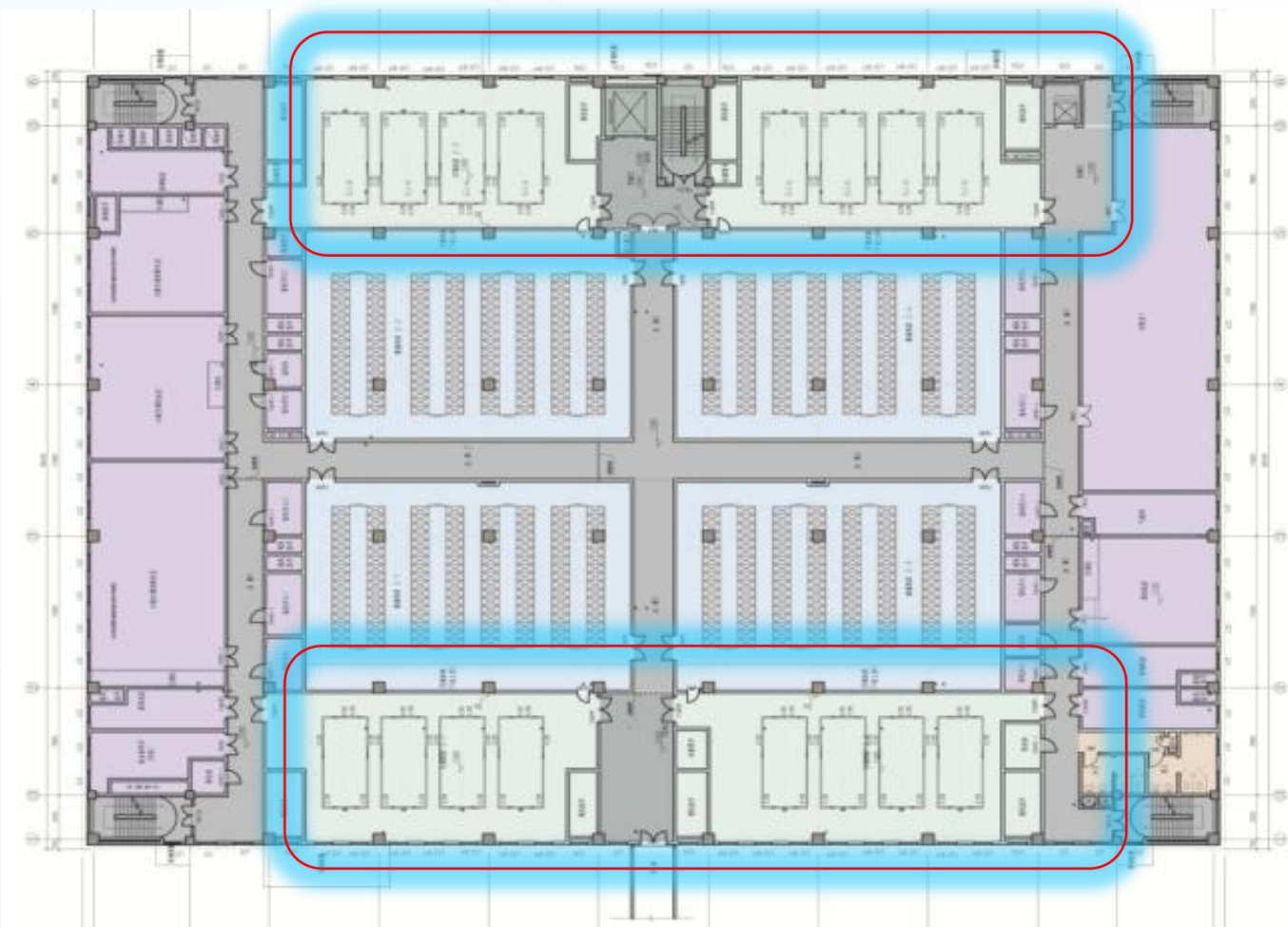


湿模式运行示意图



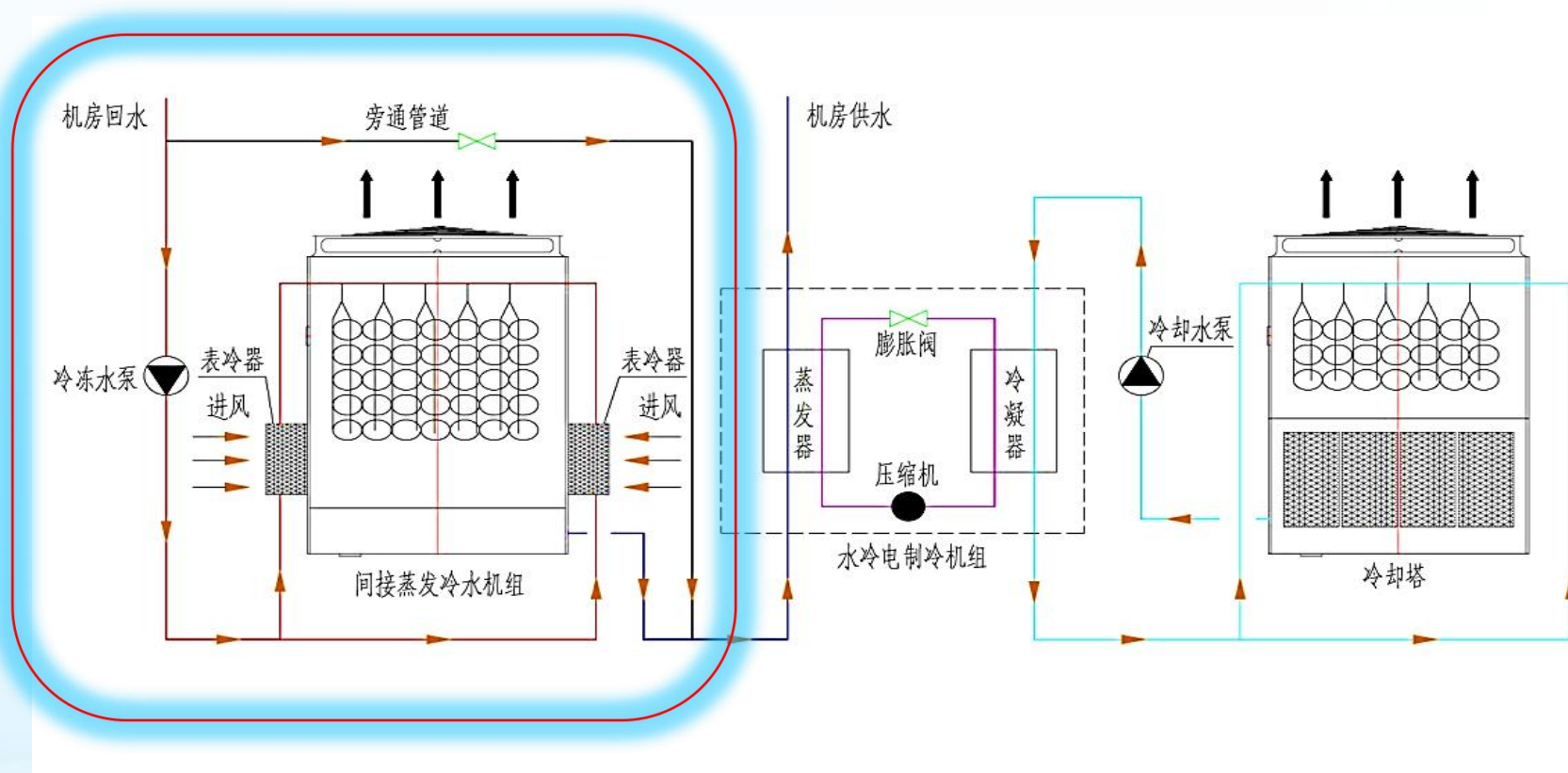
混合模式运行示意图

间接蒸发冷却运行模式



集中水侧间接蒸发制冷技术

磁悬浮水冷离心机组+间接蒸发冷却技术，随着气候环境条件改变，冷冻水的制备可根据控制冷机出水温度在电制冷模式、部分自然冷却模式和完全自然冷却模式三种模式下切换。**年均PUE=1.27**



间接蒸发冷水机组

蒸发冷热管空调系统

主机房区域冷源采用蒸发冷型热管冷机，空调末端采用贴近IT负载热源的热管列间空调。

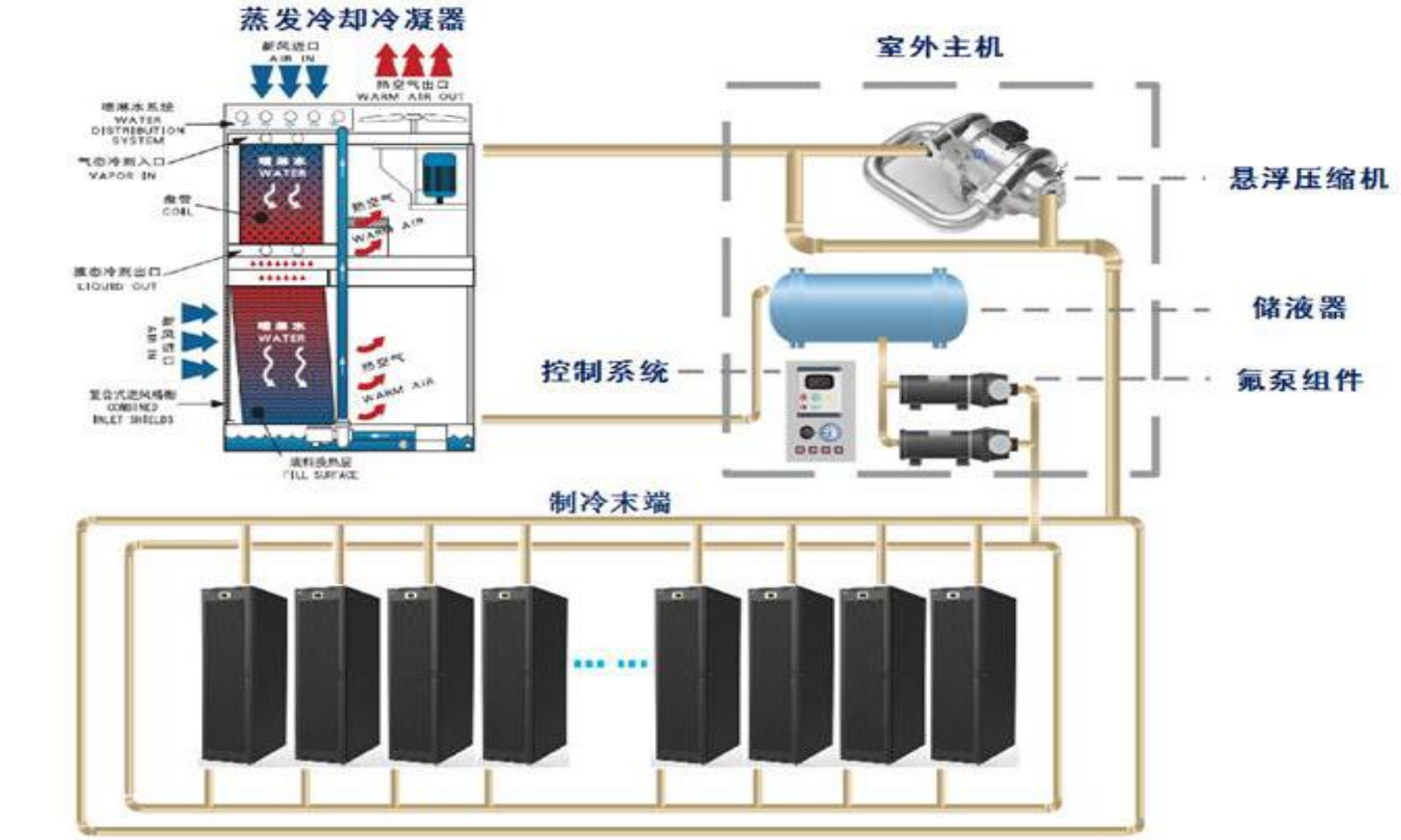
末端服务器采用热通道封闭的形式。可以提高空调末端回风温度，即可实现室外湿球温度在 14°C 以上时，实现蒸发冷凝降低冷凝温度，提高空调能效比运行；当室外湿球温度达到 14°C 以下时，压缩机停止运行，完全使用自然冷节能。采用蒸发冷凝可实现部分间接蒸发自然冷节能。



蒸发冷热管自然冷系统运行原理图

蒸发冷热管空调技术特点及优势

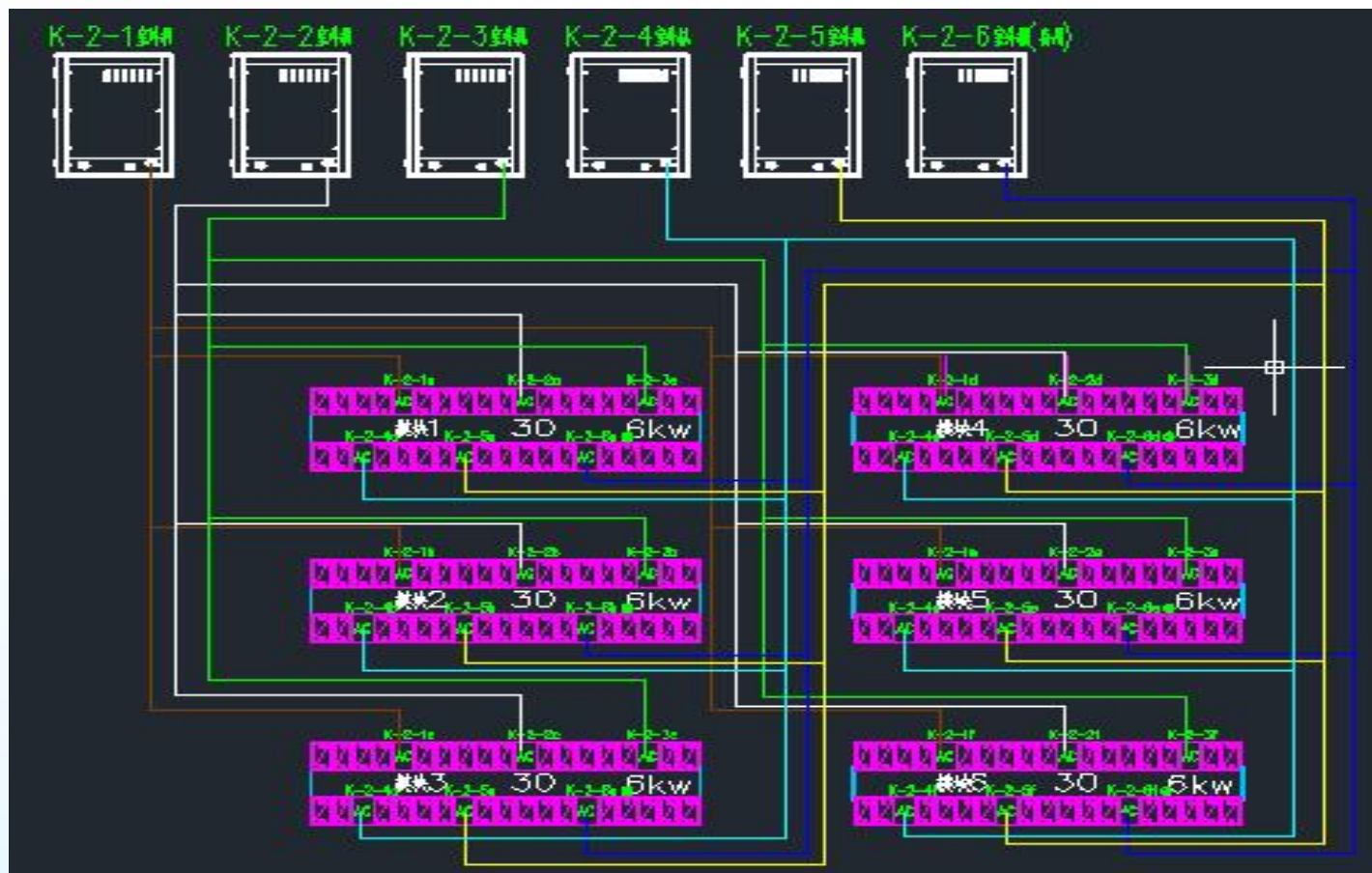
1.集蒸发冷、主动热管等自然冷技术，结合变频、悬浮轴承、离心压缩机、变频氟泵、多联技术等节能技术于一体。蒸发冷热管冷机空调系统采用了具有高效压缩机及动力热管技术。减少换热次数，相变制冷剂运送热量，更加节能。在深圳地区采用该系统的数据中心，在确保23℃送风温度，37℃回风温度的工况下，集多种节能技术于一身的蒸发冷热管冷机空调系统可在深圳实现**年均PUE可小于1.25**。



蒸发冷热管空调技术特点及优势

2.灵活的颗粒度，室内机和室外机灵活选配。压缩机及冷媒系统动力泵均采用变频控制技术，可实现10%~100%范围无级按需精确配置冷量。机组同时采用了蒸发冷凝节能技术和自然冷节能技术，EC及变频节能技术以及适应高回风温度的精确供冷热管列间空调末端。节省室内空间，提高出柜率。

3.通过合理的室内外机配置，使得空调系统运行安全性得到保障。单点故障不影响机房的制冷效果。

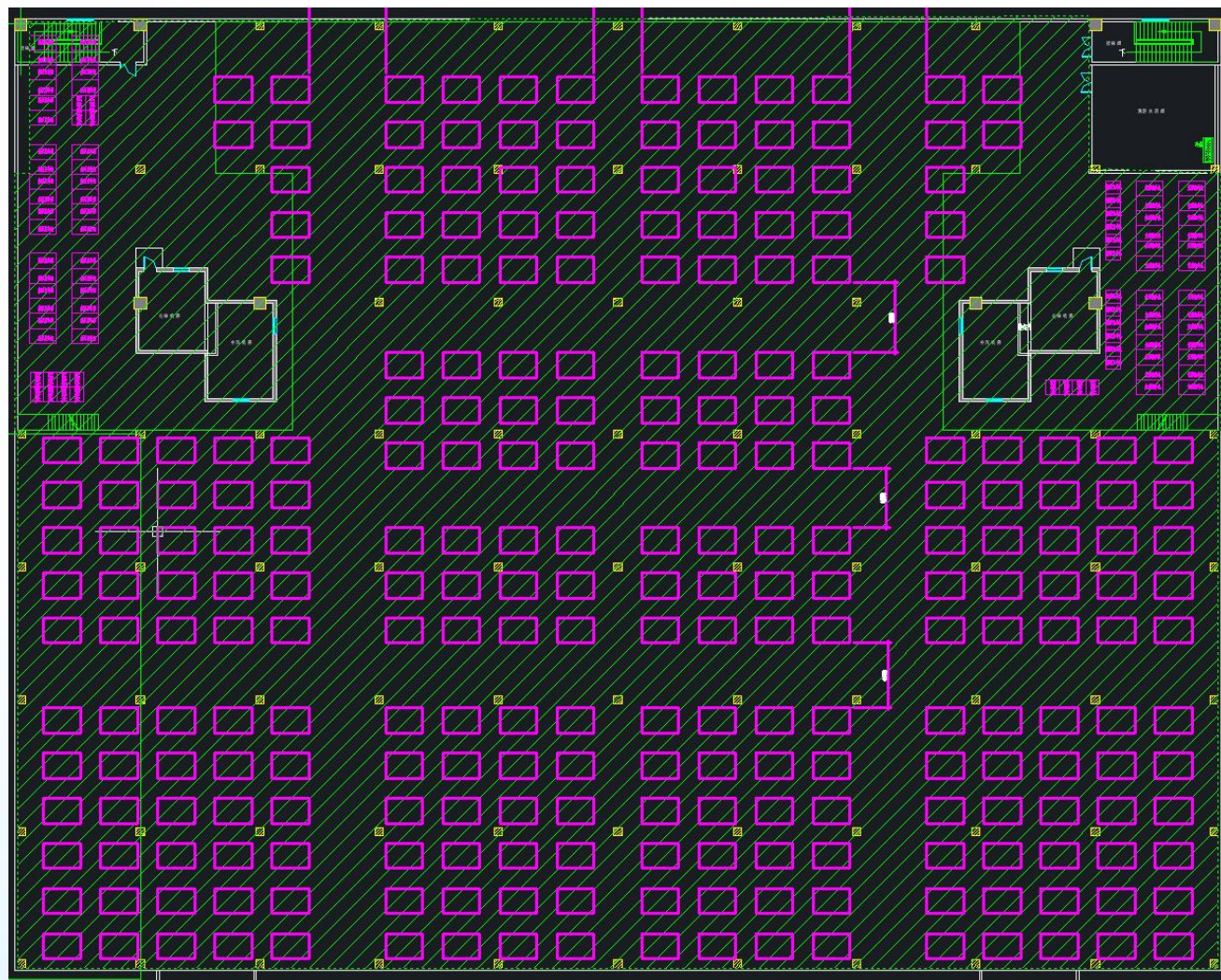


屋面气流组织模拟分析

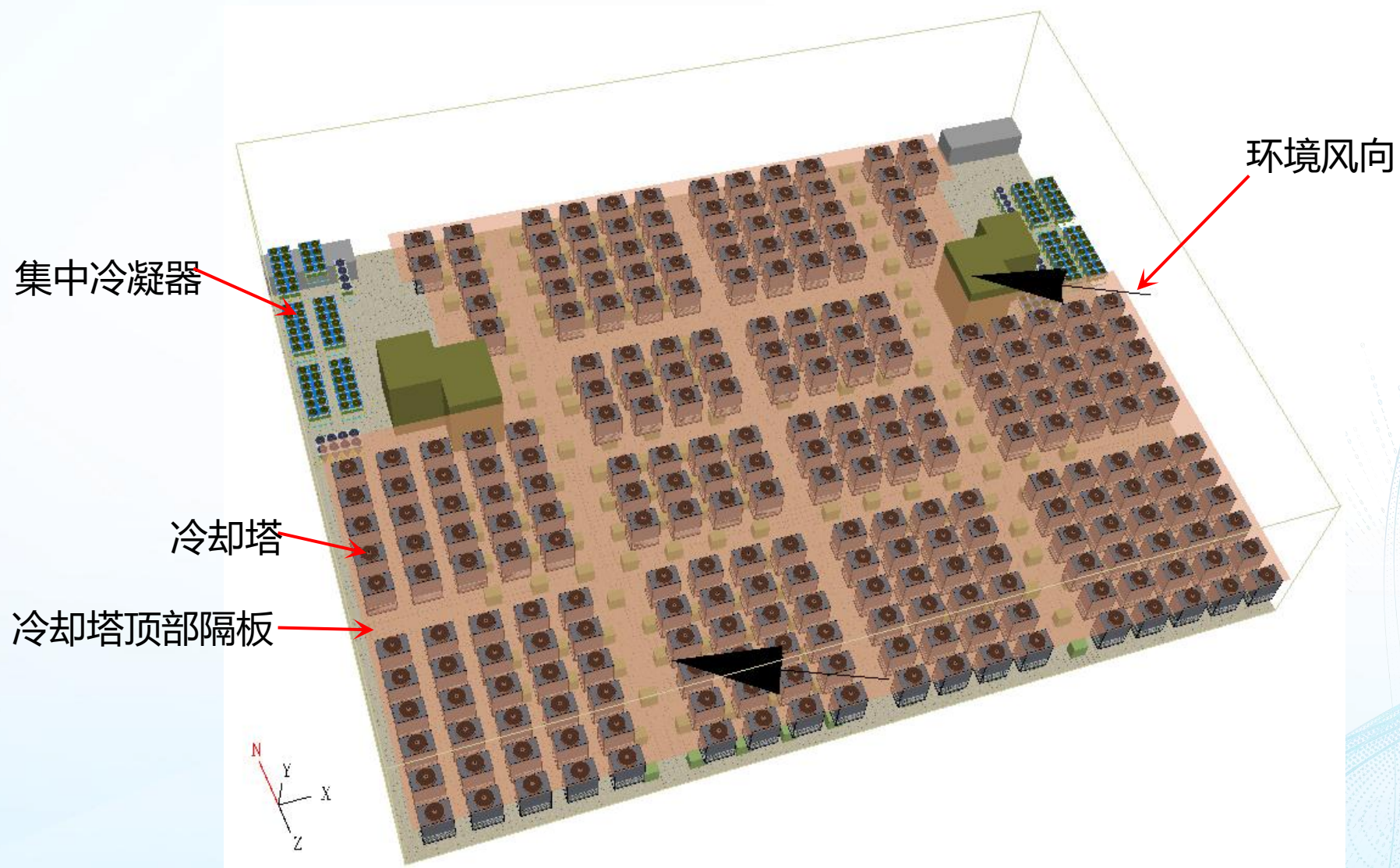
针对本项目的空调系统架构，对室外机散热情况进行了模拟仿真

屋面散热设备布置：

- (1) 蒸发冷热泵机组室外机（规格均为240KW），共260台；
- (2) 支持区风冷直膨/氟泵空调室外机，共88台。



平面钢架室外机布局图



仿真建模

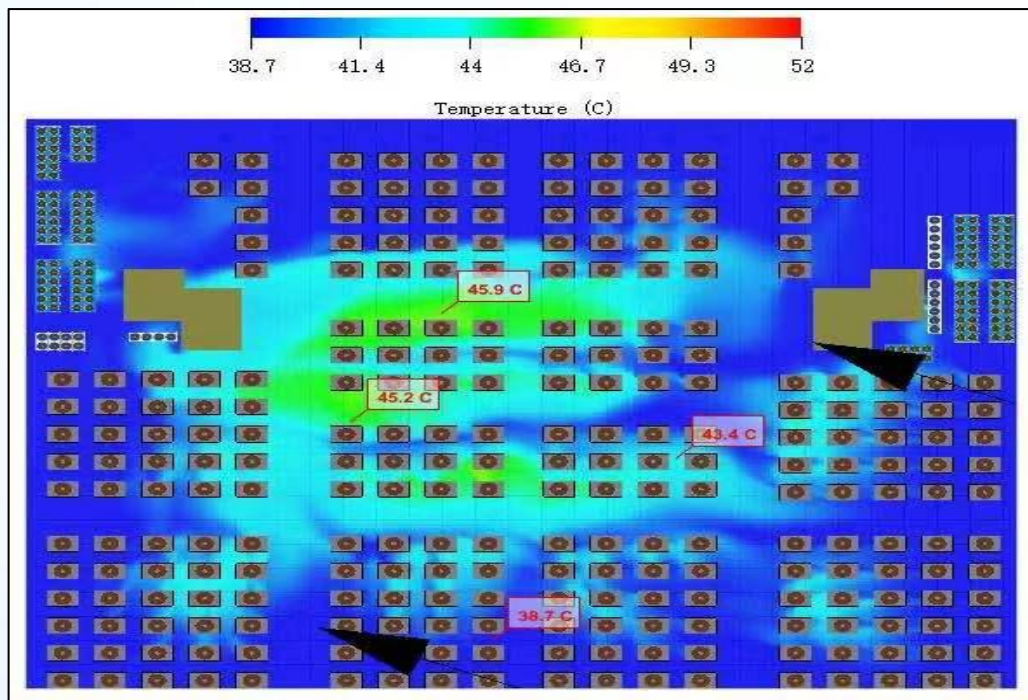
模拟输入条件考虑了双重最不利工况：

- (1) 机柜负荷率100%满载
- (2) 气象条件最恶劣



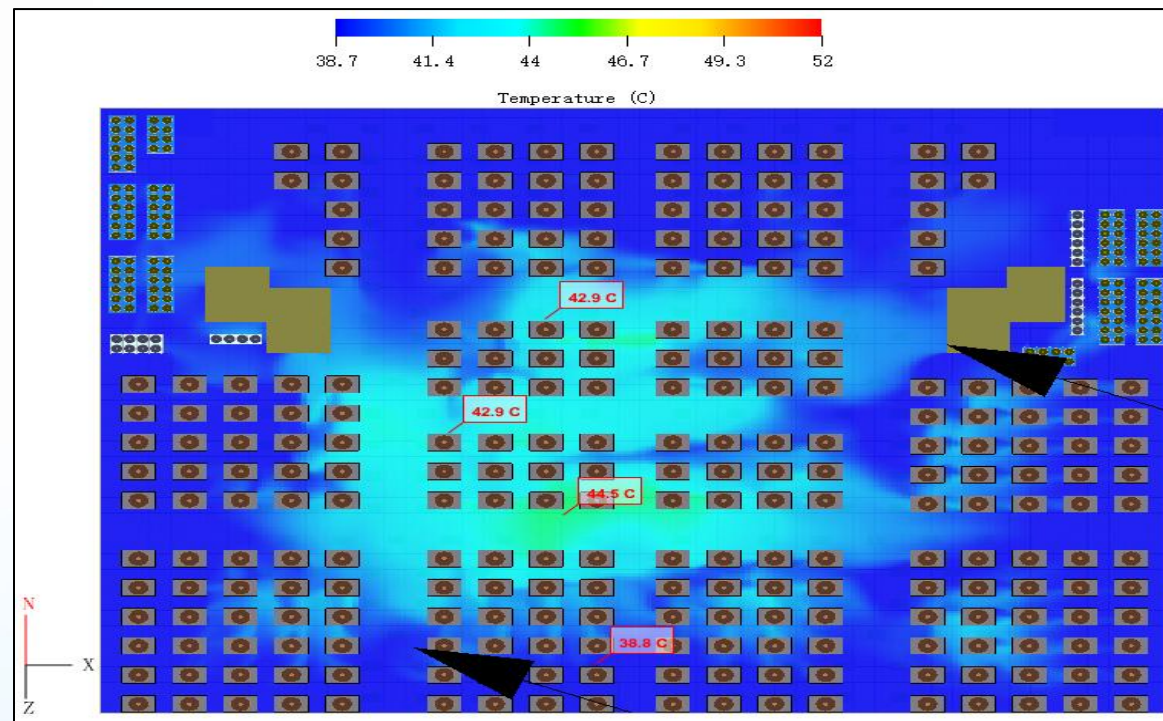
- 1) 屋面室外机室外进风温度：取深圳地区夏季极端最高气温：38.7℃。
- 2) 240KW 室外机冷却塔尺寸布置：约2.8mx1.9m。冷却塔之间最小间距：根据厂家推荐取1.5m。
- 4) 第二层钢架高出第一层钢架：3m。
- 5) 模拟工况：全部热备用。按照所有冷却塔室外机全部开启，所有机组室外机冷却塔均按约83.3% (5/6) 负荷率运行。现有供电模式下，支持区配电间的空调平时运行负荷率为50%。
- 6) 环境风速设置：深圳地区全年不同季节存在各种风向，本次选取规范中的附表参考数据，取深圳地区夏季主导风向，东南偏东风（ESE）。风速2.7m/s。
- 7) 冷热气流隔绝模拟条件：在接近冷却塔出风口设置隔绝板，防止热气流进入冷却塔进风段。

模拟分析充分考虑了各种情况的试算，最终得出理想方案，试算过程呈现如下：

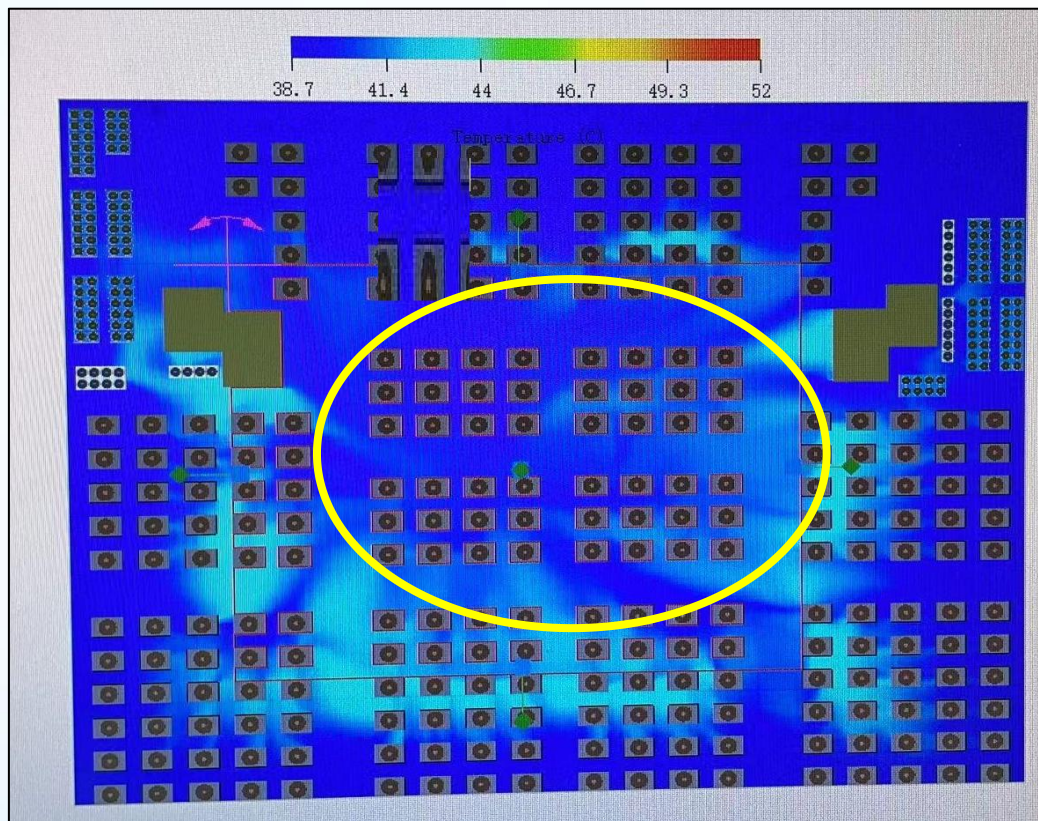


过程1：无任何冷热气流隔绝措施
结果：冷却塔进风热堆积明显，严重影响机组制冷能力

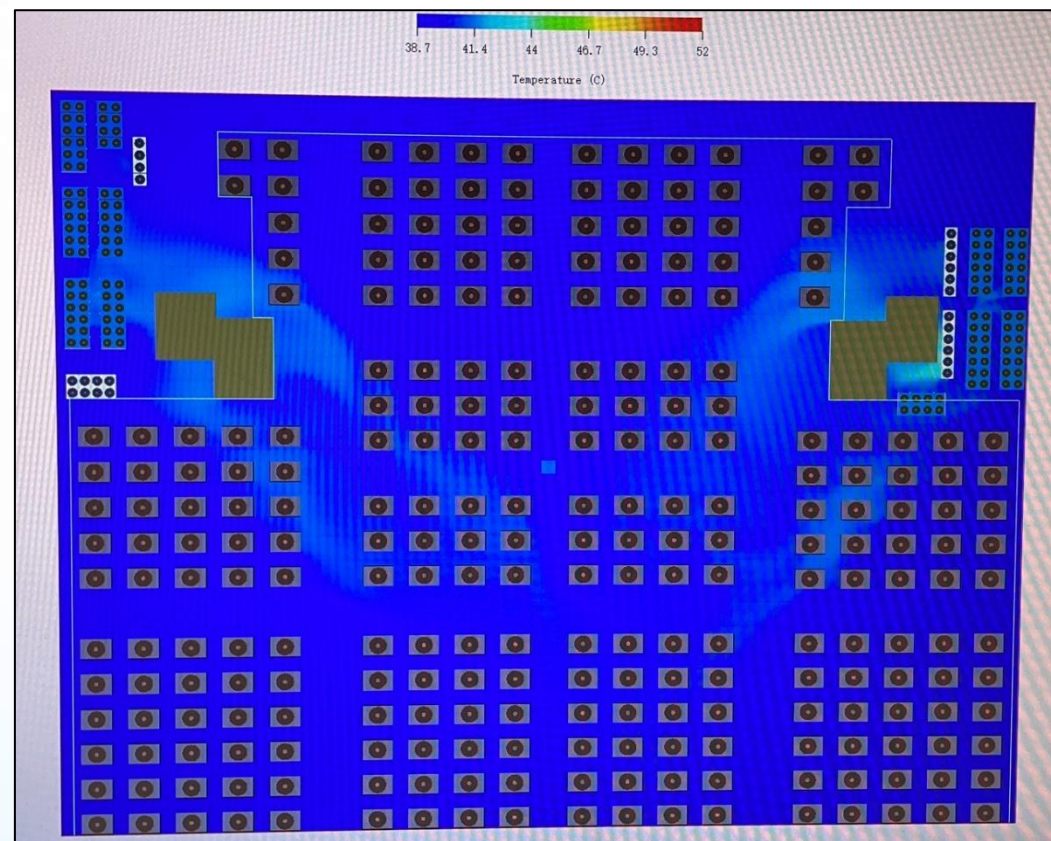
继续优化



过程2：采取的隔绝措施：冷却塔出风口位置设置2m高的引流板，提升热气流排放高度
结果：冷却塔进风热堆积改善，但仍存在进风温度偏高，对机组制冷能力仍有影响。



继续优化

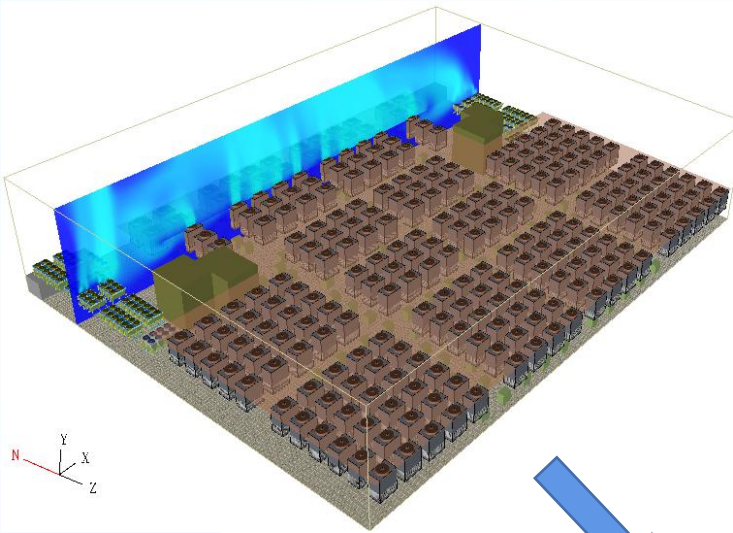


过程3：采取的隔绝措施：中心区域冷却塔设置冷热气流隔绝板

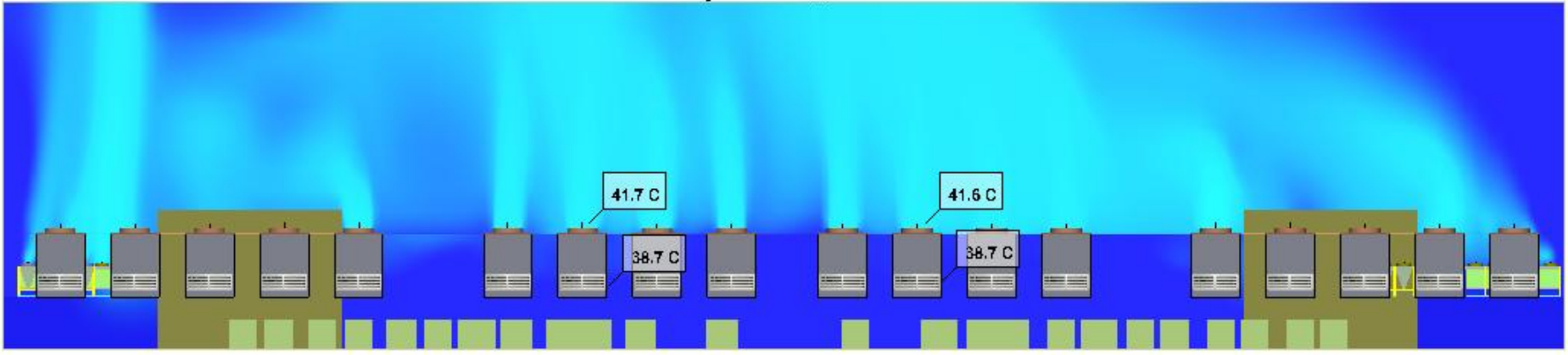
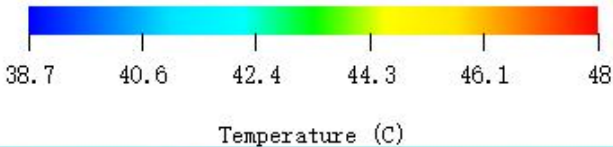
结果：冷却塔进风热堆积明显改善，但隔绝板边缘仍存在小部分冷却塔进风温度偏高。

过程4：采取的隔绝措施：全部冷却塔设置冷热气流隔绝板

结果：冷却塔进风热堆积彻底解决，机组制冷能力和效率得到保障。

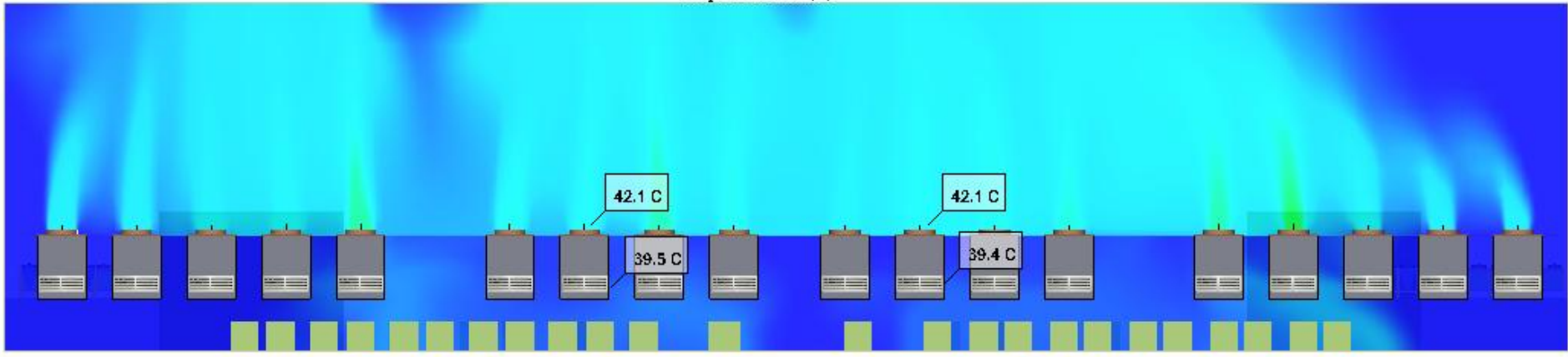
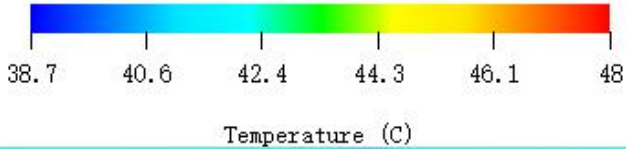
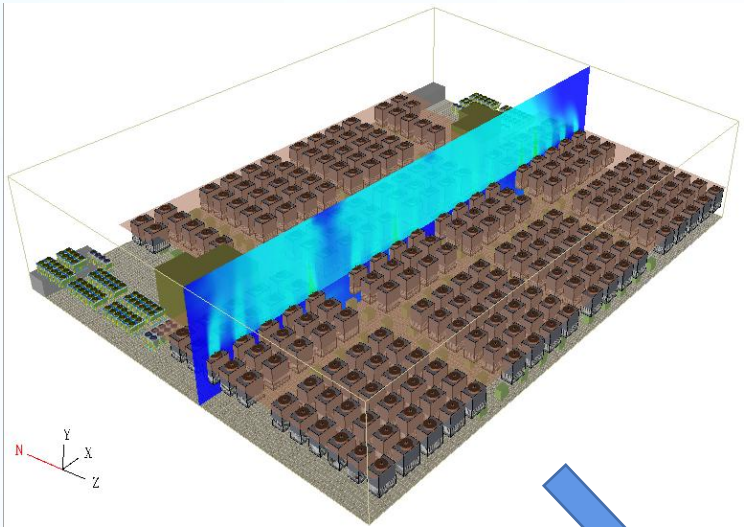


模拟结果展示



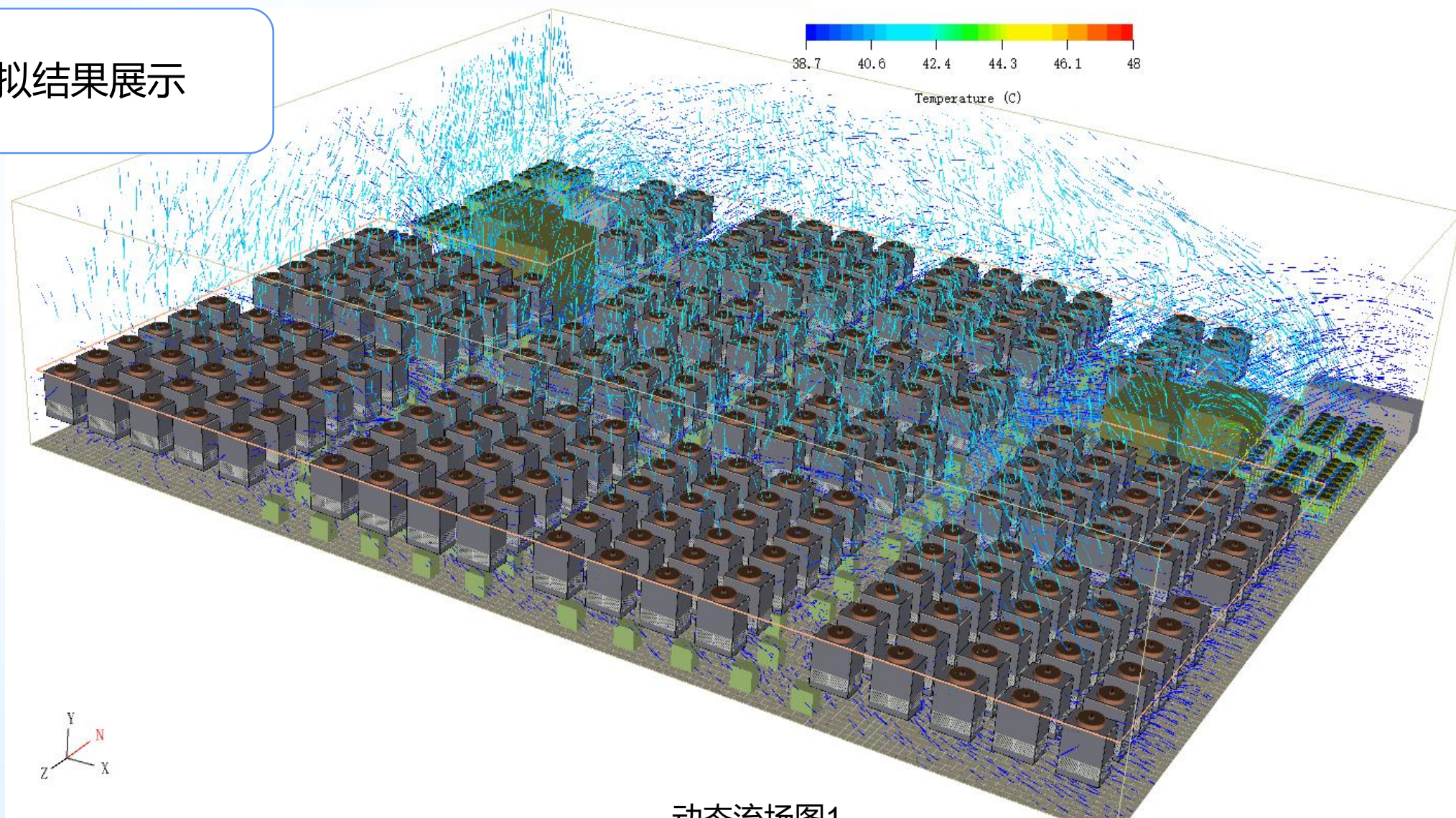
横向截面温度场截图1:

模拟结果展示



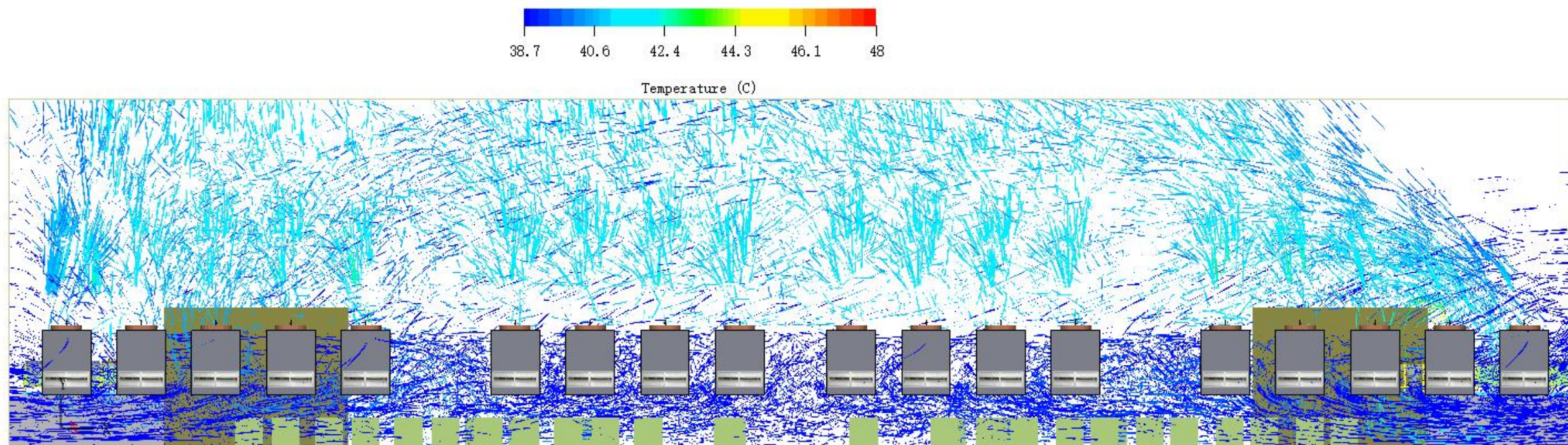
横向截面温度场截图2:

模拟结果展示

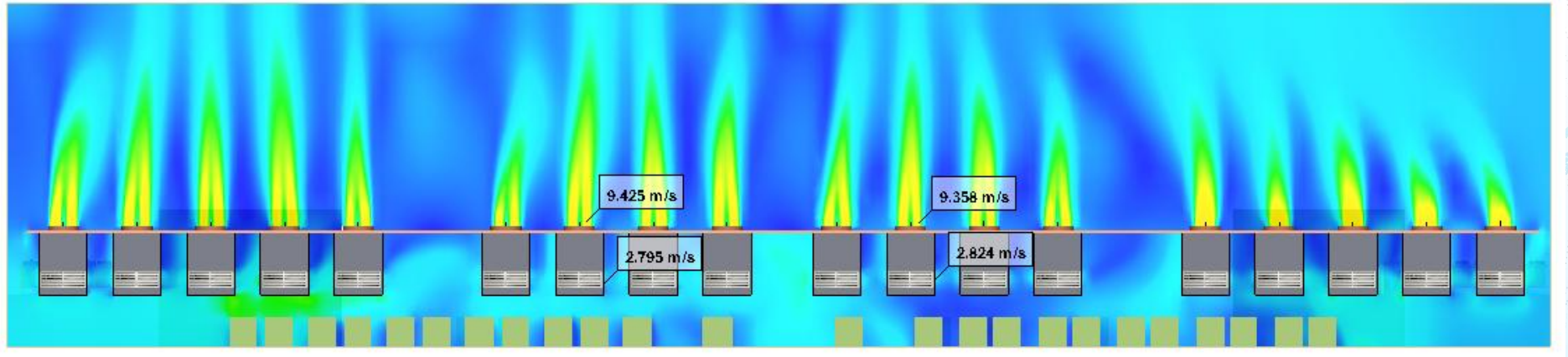
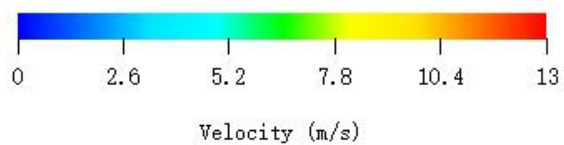
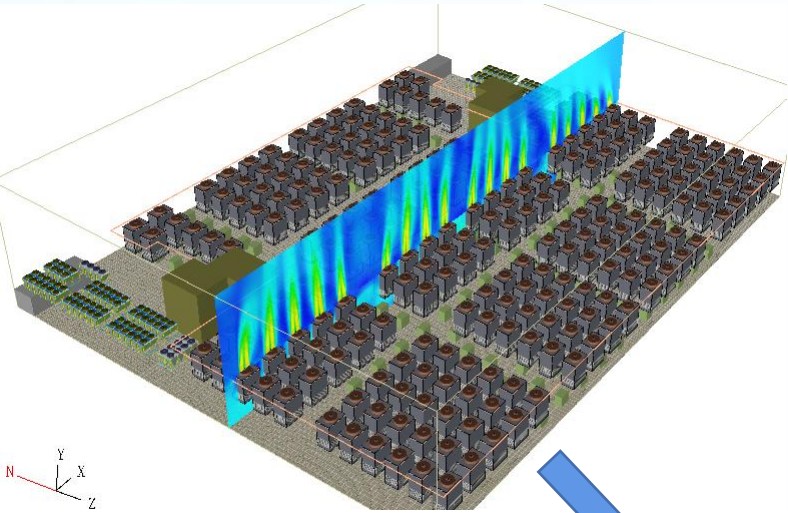


动态流场图1

模拟结果展示



动态流场图2



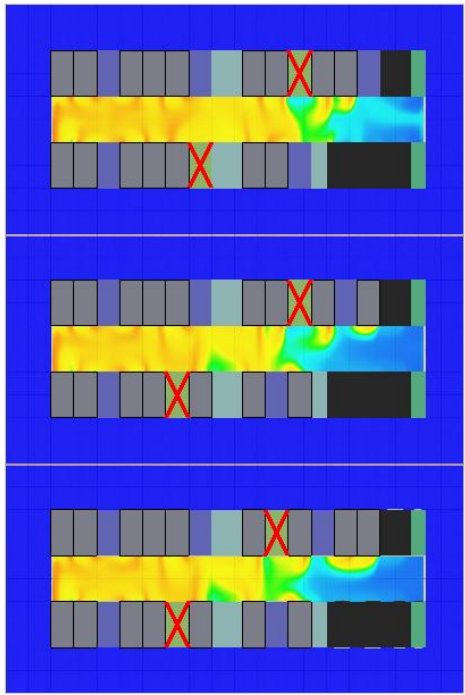
横向截面速度场截图：

模拟结论：

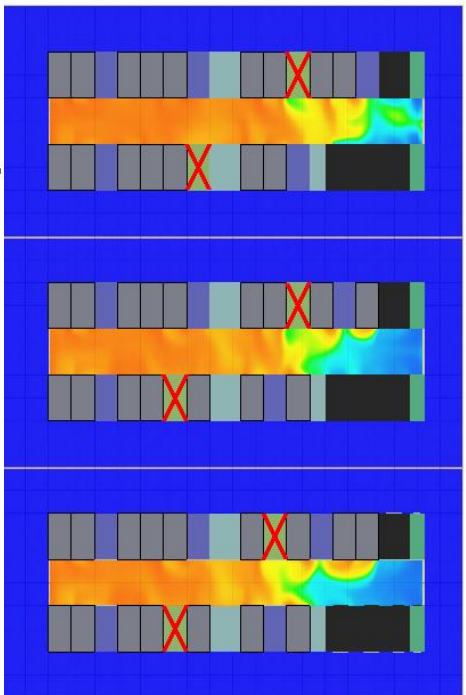
采用优化过程4 “在全部冷却塔区域设置冷热气流隔绝板”的方案模拟的结果良好，所有区域冷却塔进风温度均没有出现热堆积，机组的制冷效果能够得到足够的保障。且冷却塔气流组织总体合理，**是有效解决冷却塔进风热堆积的可行方案。**

热通道封闭

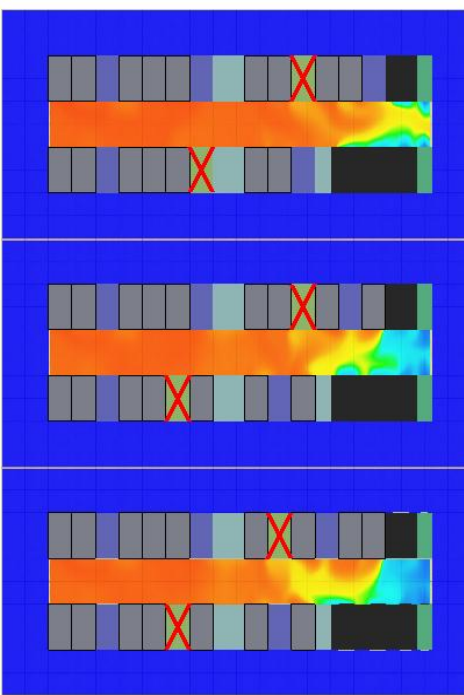
热通道封闭可以使冷热气流隔离，提高冷空气的利用率，降低风机能耗；同时，回风温度升高37~40℃，送风温度24~26℃，提高精密空调机组制冷效率。增加间接蒸发冷却时间。



H=0.5m温度场场截图



H=1.2m温度场截图



H=2.0m温度场截图

上图为在不同高度上的温度场截图。通过对比可以看出，冷通道温度均等于空调的送风温度25℃。而热通道温度也没有明显差异。

太阳能光伏——建筑外装修一体化

采用建筑外装修材料和太阳能光伏发电系统相结合的形式，也称为“构件型”和“建材型”太阳能光伏建筑。BIPV 除了具有发电功能外，还将具有建筑物自身的结构和使用功能，替代了建筑物原有立面的构件。

高保温性、防火性；高平整度、施工快；高气密性、水密性；高科技性、节能性（隔热性好）

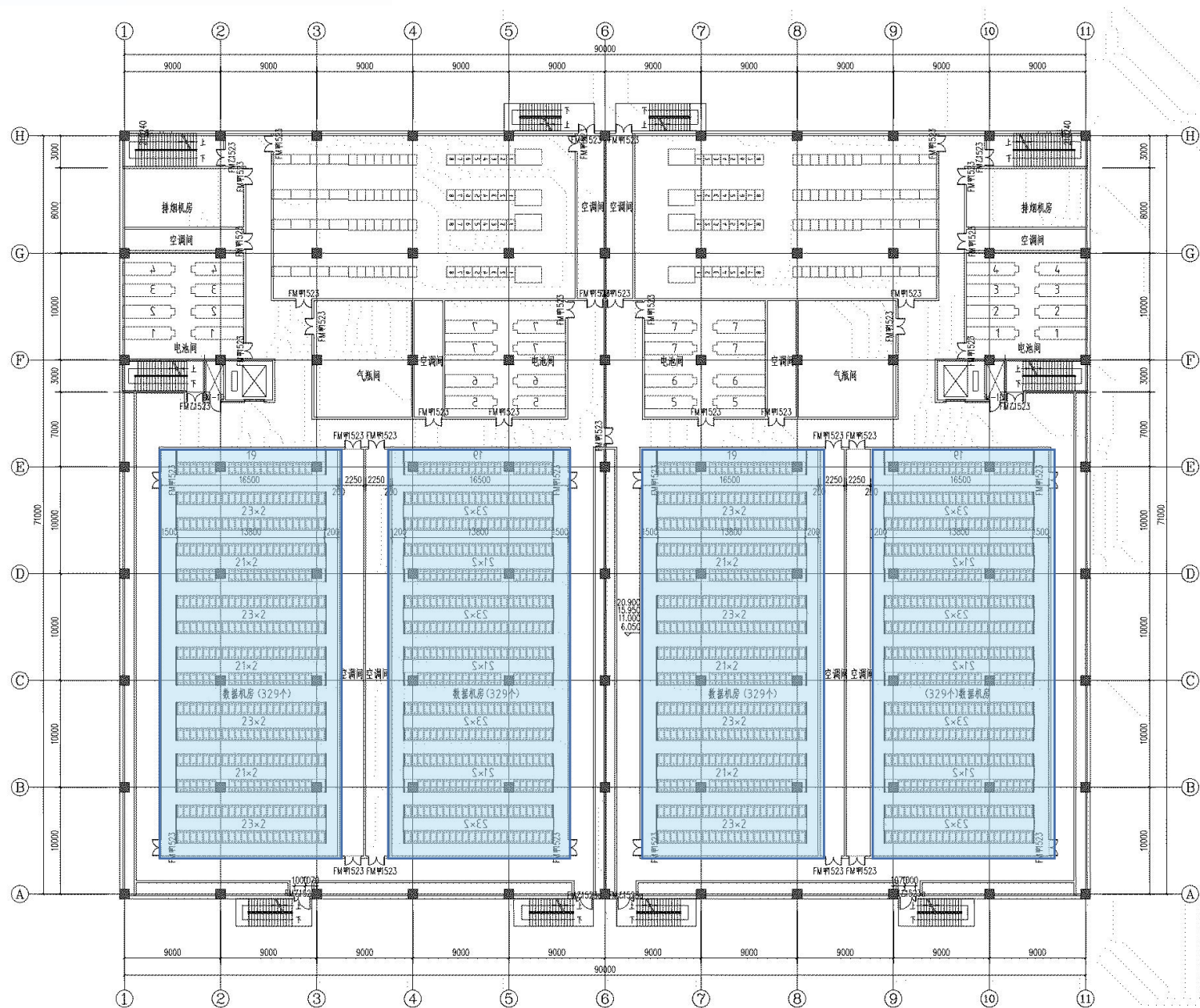


思路一

机柜6900架，平均功率6KW。

每层北侧是供电用房，AB路分别供电，可以满足一期供电60000KVA要求，**分层实施**。首先投产4~6层。

功率密度降低， 增加机柜数量？

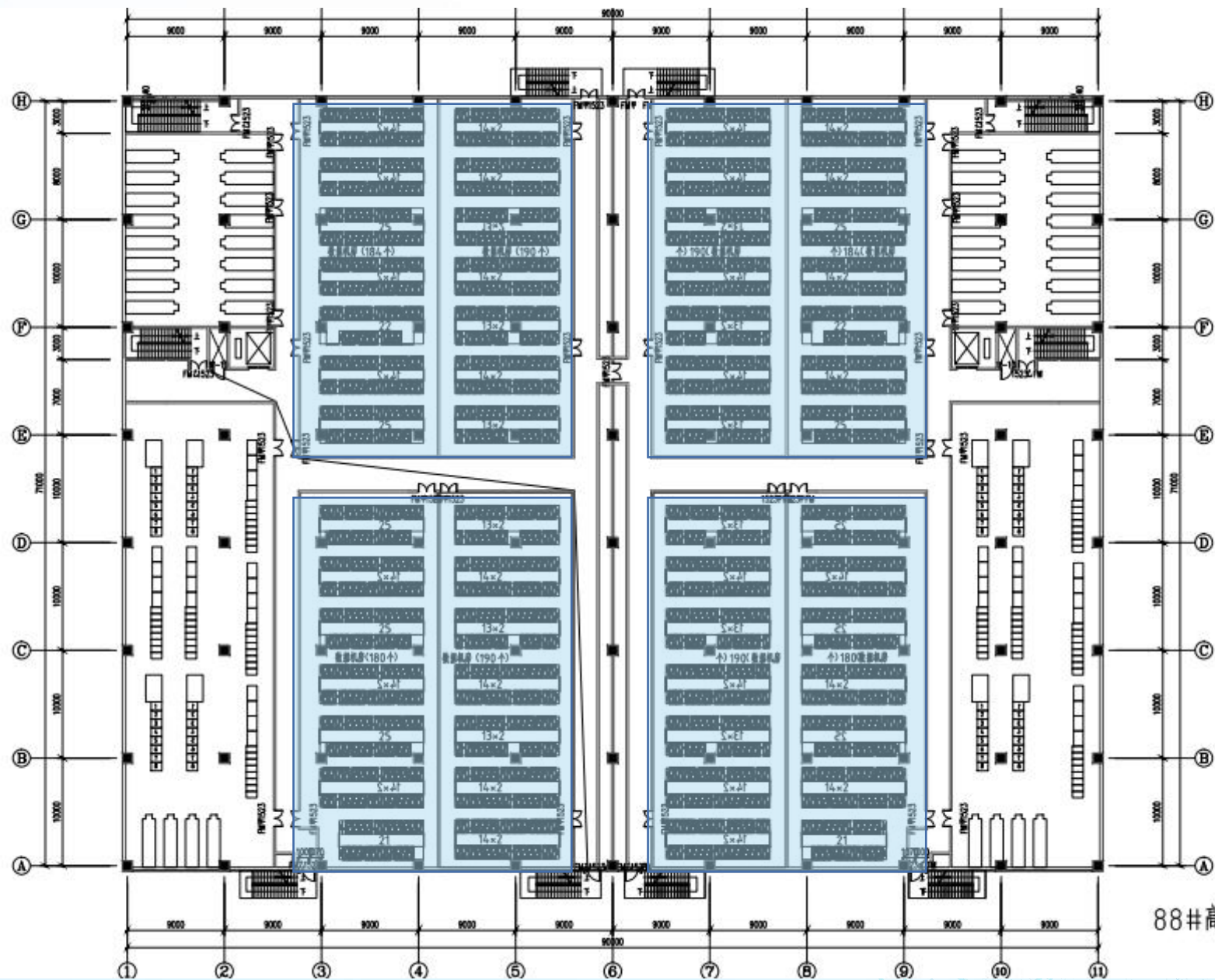


思路二

机柜7490架，平均功率5.5KW。

每层东西两侧是供电用房，AB路分别供电，可以满足一期供电60000KVA要求，**分层实施**。首先投产4~6层。

上架不灵活？



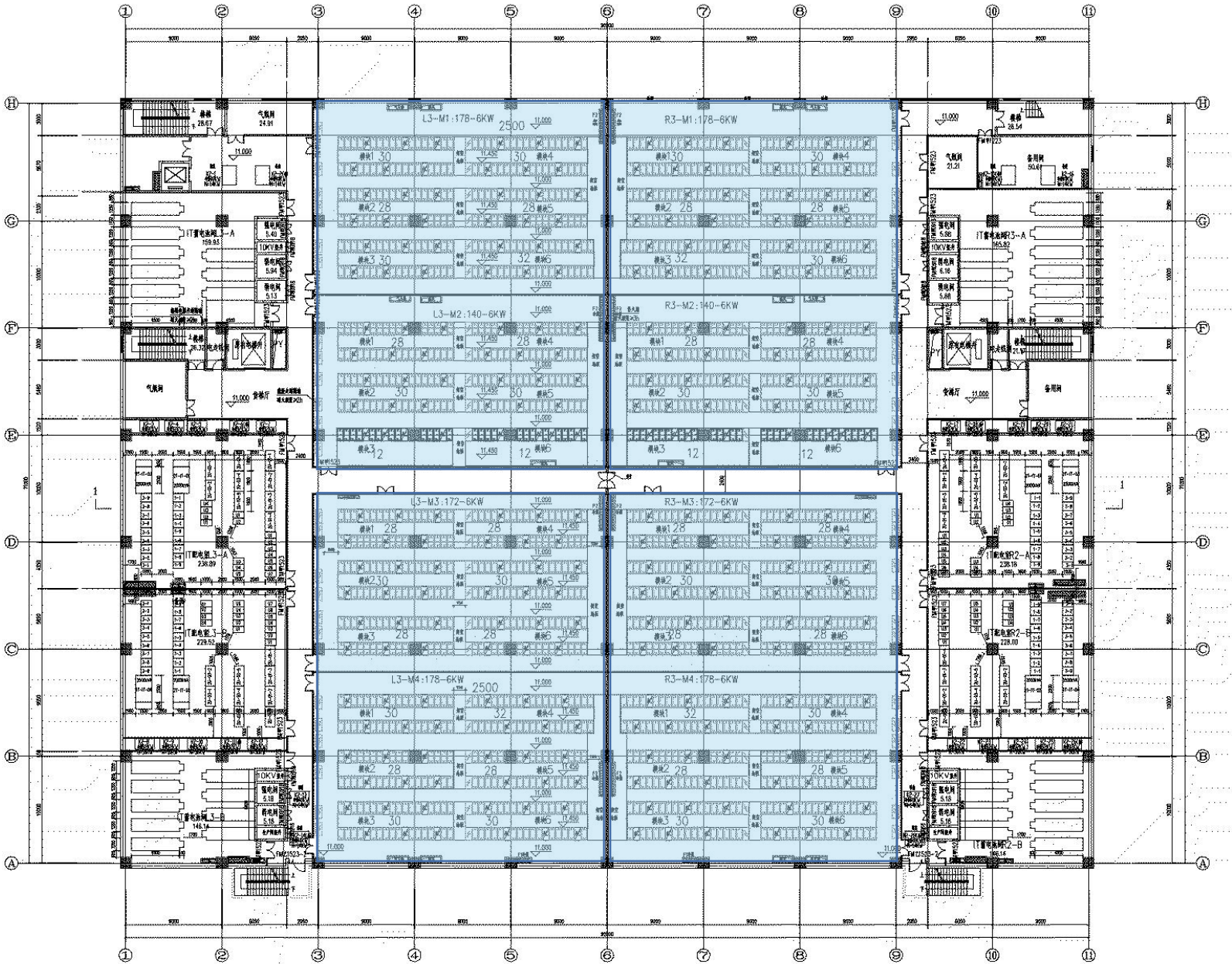
88#高层码头中转库

思路三

机柜7550架，其中
1700个4kW IT机柜，
5850个6kW IT机柜。

每层东西两侧是供电用房，
每侧均设置AB路供电，
可以满足一期供电60000KVA要求，
分东西两侧分期实施。
一期投产西侧，二期施工对一期没有影响。

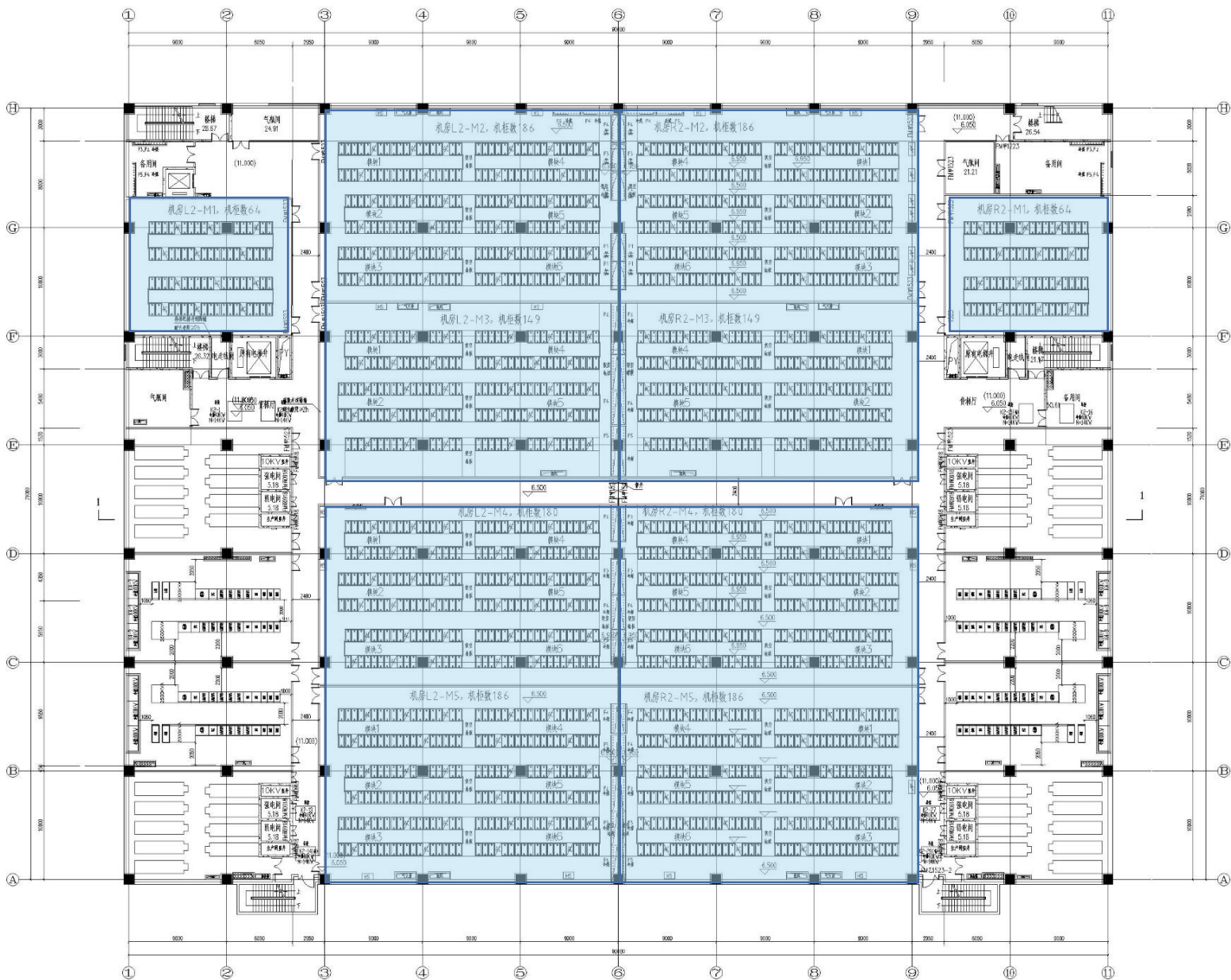
增加机柜数量？



思路四

机柜8330架，其中
3682个4kW IT机柜，
4648个6kW IT机柜。
采用集中电力模块和小
母线供电，机柜数量增
加约750架。

每层东西两侧是供
电用房，每侧均设置AB
路供电，可以满足一期
供电60000KVA要求，
分东西两侧分期实施。
一期投产西侧，二期施
工对一期没有影响。



集中电力模块

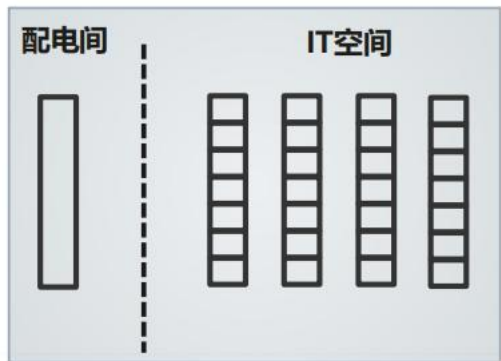
节省6柜位

变压器 进线/母联柜 SVG 维修旁路 主路/旁路柜*4 UPS*4 UPS输出柜 模块化馈线柜*3



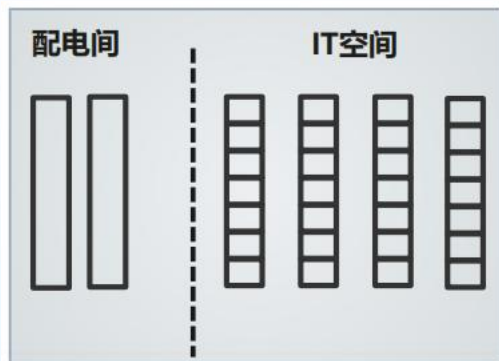
当前方案：UPS输入旁路柜、UPS、UPS输出柜各一柜，**共10柜**

4KW/IT柜



配电间：IT空间 $\approx 1:4$

6KW/IT柜



配电间：IT空间 $\approx 1:2$

IT功率快速提升，供配电系统空间占比越来越高，**导致IT“得房率”越来越低。**

变压器 进线/母联柜 SVG UPS融合柜*4 维修旁路 模块化馈线柜*3



融合演进：UPS+输入+旁路+输出融合一柜，**共4柜**

集中电力模块**5大技术优势：**

- 1.相比传统方案在**占地上节省 40%**，提高出柜率，项目增加机柜700多个。
- 2.效率上 UPS 双变换模式下提升 1.1%，UPS 智能在线模式下**提升 3.3%**，
- 3.通过预制集成技术**降低交付周期 75%**，
- 4.同时通过全链路可视的集中管理及 AI 智能运维特性，**提升运维效率降低成本，提升运行安全可靠。**
- 5.该智能融合技术贯彻《2030 年前碳达峰行动方案》指导思想，助力数据中心绿色低碳转型行动、节能降碳增效行动、绿色低碳科技创新行动，未来还可优化用能结构，配置叠光、储等组件，持续**降低全生命周期能耗和碳排放。**

小母线

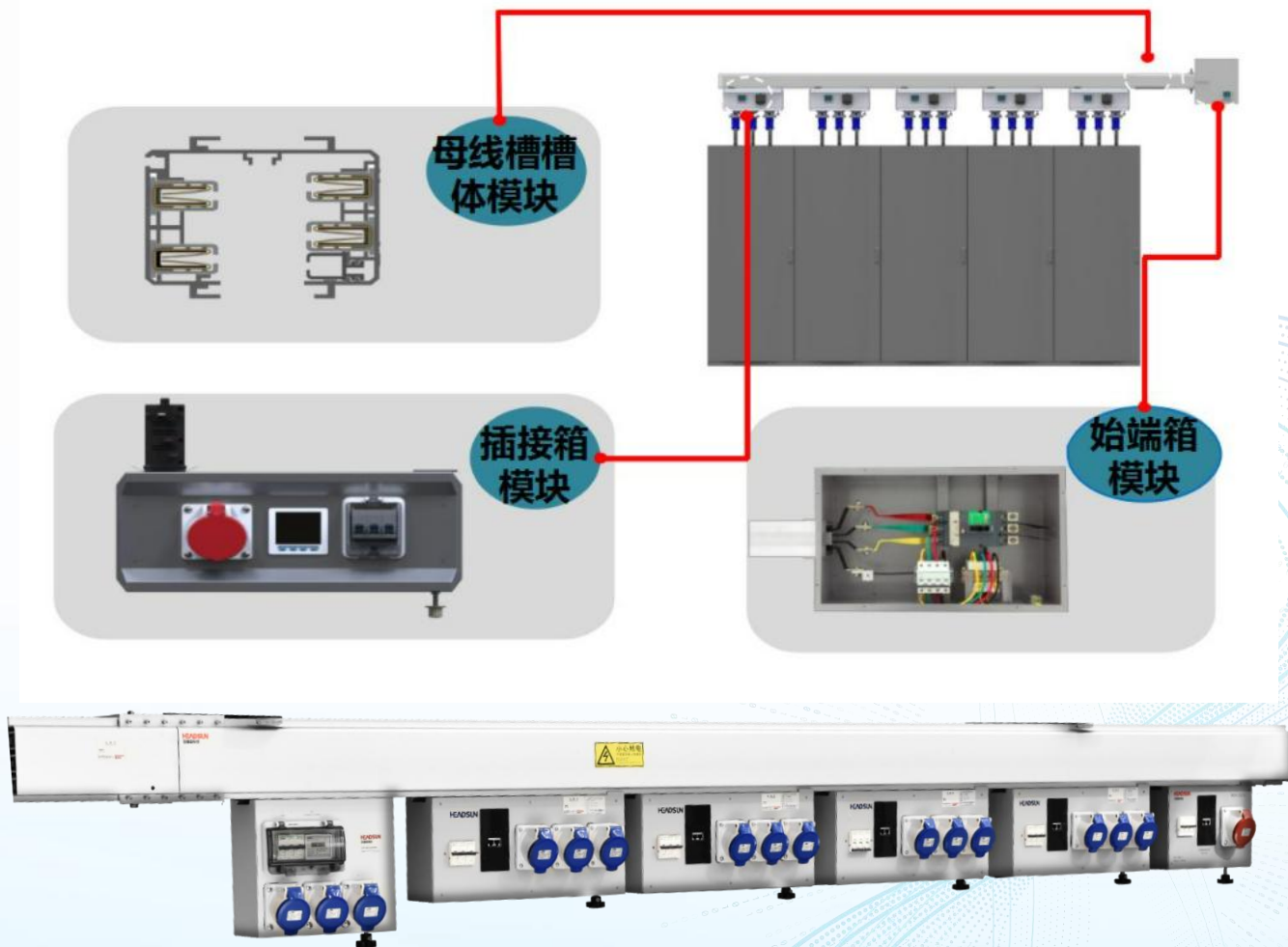
小母线配电的优势

灵活性高，增加机柜数量
或增加单台机柜容量时，
只需增加母线插接箱，
不需更换母线

模块化设计
可重复利用

节省强电列头柜的面积用于
布置IT机柜机房利用率高
增加机柜350多个

施工周期短



□ 快速构建电源分配 □ 新一代精密配电 □ 即插即用 □ 快速安装

电力模块

初投资

类型	数量	电力模块			传统供电		
		单价 (万元)	材料和安装 (万元)	总价 (万元)	单价 (万元)	材料和安装 (万元)	总价 (万元)
2500KVA	32	380	15	14640	295	30	12400
2000KVA	20	315	13	8560	247	25	7440
合计				23200			19840
投资增加							3360

运营

	数量	租金 (元/月)	成本 (元/月)	利润 (元/月)	利润 (万元/月)	利润 (万元/年)
新增机柜	700	5800	4000	1800	126	1512
原方案无电机柜	300	5800	4000	1800	54	648

按照投资估算和运营收益计算，电力模块增加投资约3360万元；机柜数量增加每年增加利润1512万元，2.2年可收回多投资部分。如果考虑原方案300机柜没有电，1.55年可收回多投资部分。

小母线

初投资

类型	数量	单价 (万元)	材料和安装 (万元)	总价 (万元)
小母线	8300	1.34		11130
列头柜	550	13.6		7500
投资增加				3630

运营

	数量	租金 (元/月)	成本 (元/月)	利润 (元/月)	利润 (万元/月)	利润 (万元/年)
新增机柜	350	5800	4000	1800	63	756

说明：原方案部分列头柜利用柱子空间，改为小母线后，增加机柜数量比列头柜数量少。

按照投资估算和运营收益计算，小母线增加投资约3630万元；机柜数量增加每年增加利润756万元，4.8年可收回多投资部分。

04
PART

设计总结





需求分析

确定**建设规模及分阶段实施要求**：从企业发展形势、不同业务应用的增长、不同类型设备的增长对数据中心建设规模的影响进行研究，最后以数学模型的方式得出各类应用设备的数量，以确定数据中心的建设规模。



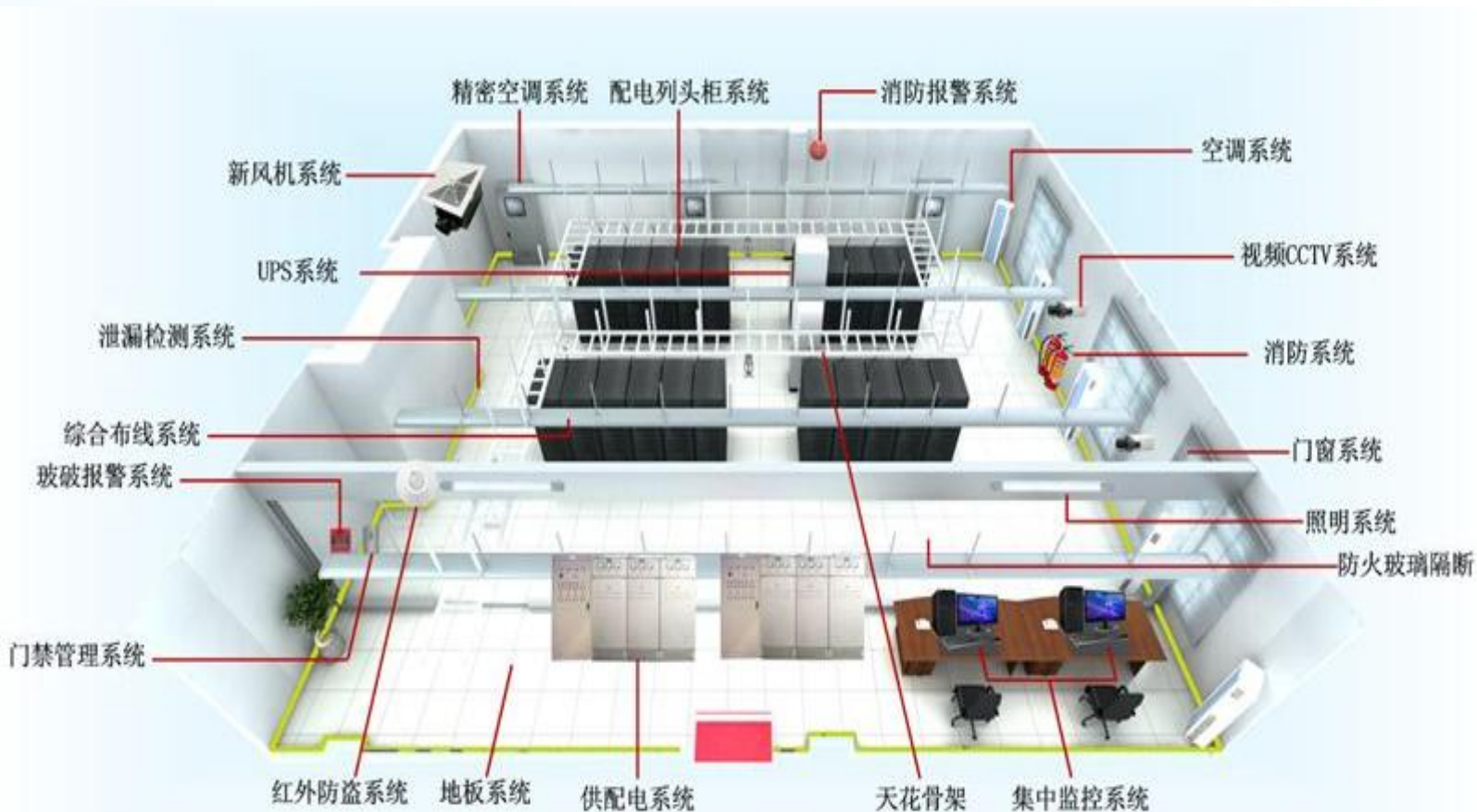
规划

规划阶段是决定整个数据中心项目成败与否的关键。在此阶段，**数据中心管理者**需要搭建起系统架构和项目预算的雏形，为系统选择模型设计，**识别并确定**有可能影响系统设计的要素。



设计

将规划结果转化成施工图文件，是设计阶段的核心内容。在设计阶段，确保合适的**低碳绿色节能技术**在项目中应用。设计团队应包含IT和建筑师以及暖通、电气、给排水工程师。数据中心所有者或管理者参与到设计方案的讨论中。



设计思路：从工艺布局对数据中心性能的影响入手，分析现行工艺布局设计方法及问题，并**基于全生命周期降低能耗**研究工艺布局的优化，具备**可扩展性、分期部署、可操作性**等，同时要求快速部署。

数据中心工艺布局按照层级包含：机房的**结构布局**、机房内的**机柜布局**、机柜内**设备布局**。

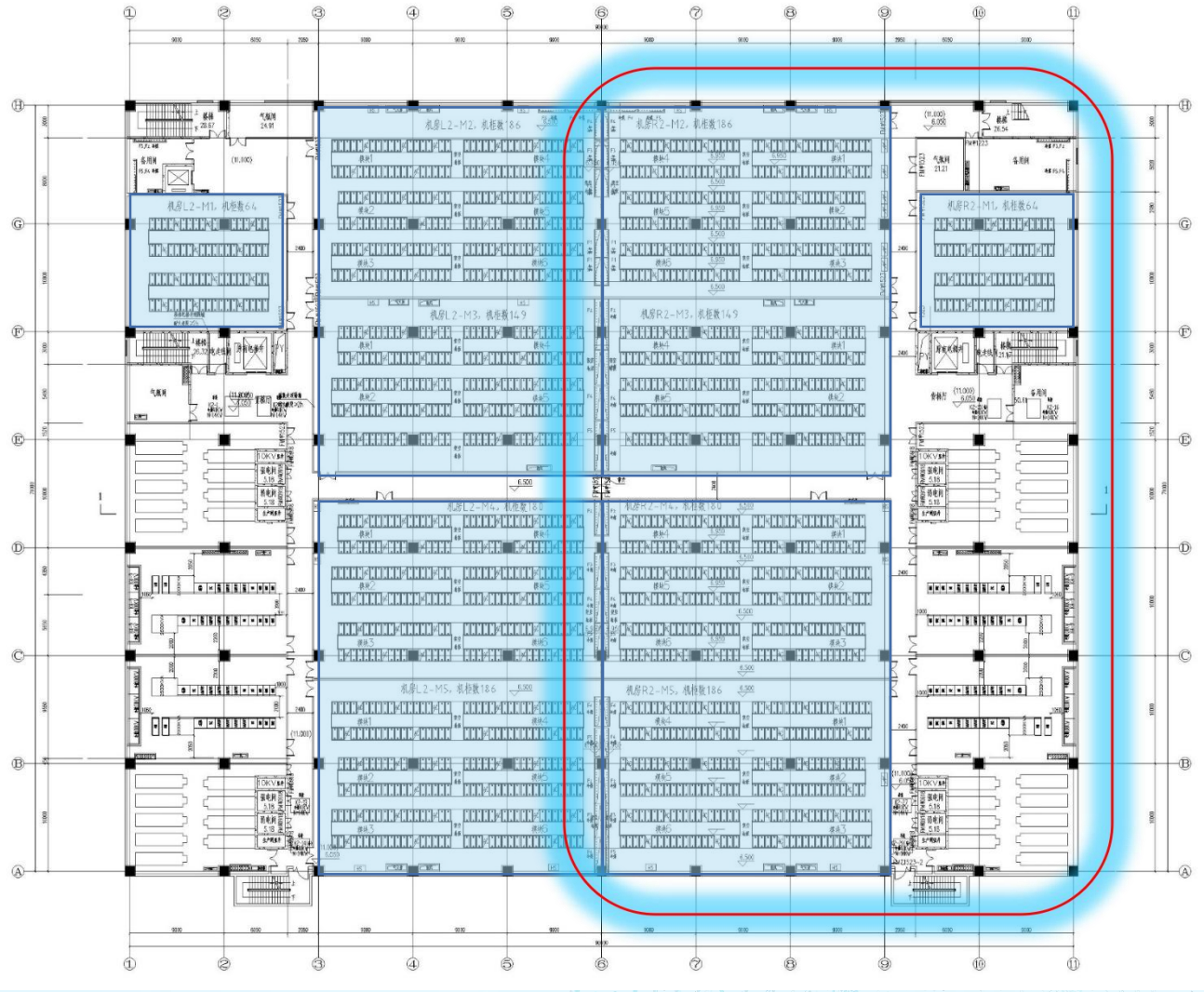
结构布局：土建和主要机电系统设计；
机柜布局：IT 设备部署区域及配电和制冷设备部署区域；
设备布局：单个机柜内不同设备的布局。

创新灵活的数据机房模块化设计

大型数据中心在生命周期的末期才会达到满载设计值。数据机房采用模块化设计，可根据装机需求进行灵活组合模块。每个模块均具备数据机房、空调系统、供电系统、UPS 供电系统等四大要素以及其它必须的配套设施。每模块均可根据使用要求配置机房各子系统，以满足高、中、低功率密度服务器及小型机、存储等数据机房的使用要求。

预留灵活、合理、前瞻性的发展空间

数据中心的业务发展根据形势、技术的发展以及客户需求的不同，存在各种变化的可能性，因此在满足初期需求规划的前提下，设计应最大可能的预留具有前瞻性及灵活可变的发展空间。最大程度利用现有条件，综合考虑面积、供电容量、未来发展、运维的灵活性的多重因素。



趋势一：低碳、绿色、环保

趋势二：弹性架构，基础设施匹配未来几年IT功率演进

趋势三：中、高密成为新常态

趋势四：全模块化，并行部署，支持 IT 弹性演进

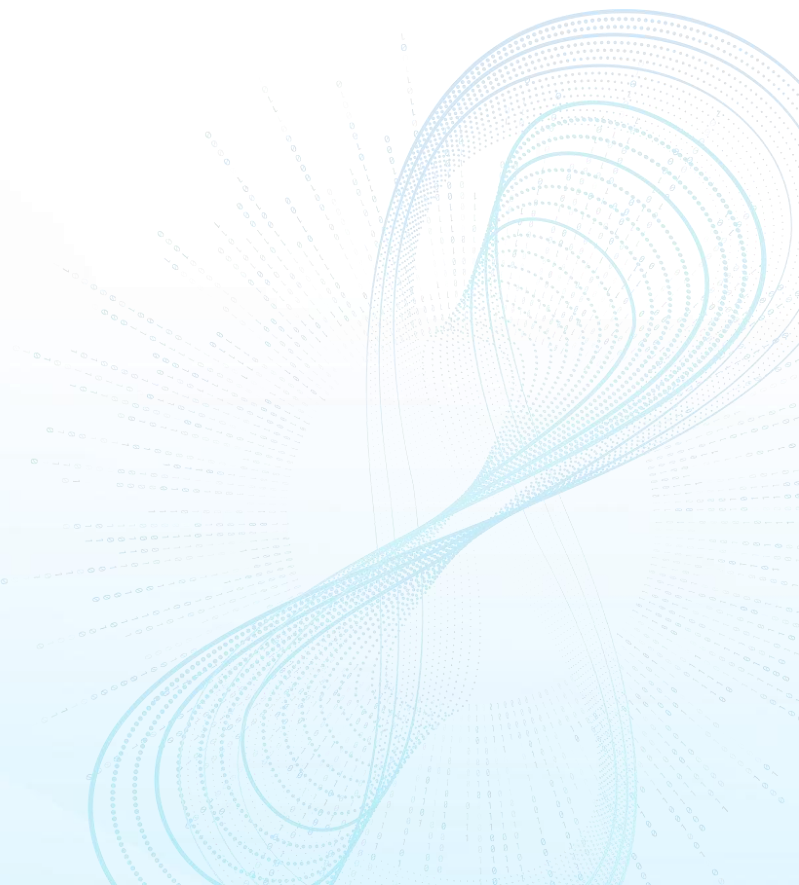
趋势五：供电集成，供电一体化

趋势六：空调系统节能要求高，灵活适配

趋势七：安全可靠成为数据中心基础设施的重要因素

趋势八：业务需求短时爆发，快速部署成为刚需

趋势九：全数字化+AI 智能，数据中心向无人驾驶演进



THANKS

