

ICS 35.020

I65

团 体 标 准

T/NIISA 003-2019

数据中心气流组织技术规范

The Code of Data Center Airflow Technology

2019-12-10 发布

2019-12-10 实施

NIISA 联盟标准管理委员会

发布

目 次

前 言	I
引 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和缩略语	1
3.1 术语和定义	1
3.2 缩略语	2
4 设计实施阶段气流组织要求	2
4.1 数据中心气流组织设计	2
4.2 气流组织 CFD 模拟仿真要求	11
5 检测验收阶段气流组织要求	13
5.1 一般要求	13
5.2 机房气流组织检测要求	14
5.3 机房气流组织验收要求	16
6 运行维护阶段气流组织要求	16
6.1 一般要求	17
6.2 气流组织 CFD 仿真建模要求	17
6.3 气流组织仿真结果要求	19
附录 A 数据中心气流组织评价指标	21
附录 B 数据中心气流组织相关检查核验内容及要求	23
附录 C 插图	25

前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由国家互联网数据中心产业技术创新战略联盟标准管理委员会提出并归口。

本标准起草单位：国家互联网数据中心产业技术创新战略联盟（NIISA）、北京瑞思博创科技有限公司、中国中元国际工程有限公司、北京中航信柏润科技有限公司、中国民生银行股份有限公司、中国电信股份有限公司云计算分公司、中国建设银行股份有限公司、沈阳诚高科技股份有限公司、北京卓益达科技有限公司、华为技术有限公司。

本标准主要起草人：杨志国、黄冬梅、徐伟、贾庚生、张瑾、刘星、冷飏、徐骏、孟兆辉、段岩、赵棣、高云鹏、李继泽、袁晓东、章瑶、郑超、侯杰、王艳华、杨超、张璐、郑品迪、王治国、张晋辉。



引 言

随着数据中心的快速发展，服务器机柜功率密度越来越高。为保证数据中心的安全运行，制冷也成为数据中心从设计到运营非常重要的组成部分。制冷目前还主要是风冷，因此气流组织是否良好直接与数据中心的安全性和能耗有直接的关系。

本标准提出了数据中心气流组织要求，核心思路是从数据中心生命周期不同阶段定义的。

本标准的第2章提出了规范性引用文件。

本标准的第3章规定了气流组织相关的术语、定义和缩略语。

本标准的第4章提出了数据中心设计实施阶段气流组织要求。

本标准的第5章提出了数据中心检测验收阶段气流组织要求。

本标准的第6章提出了数据中心运行维护阶段气流组织要求。

本标准的附录A（资料性附录）给出了气流组织评价指标的相关计算公式和评价标准。附录B（规范性附录）给出了应用本标准第5章的前提条件。附录C（资料性附录）给出了正文图例插图。

本标准的制定是为数据中心及其相关组织共同促进数据中心气流组织管理提供指导，同时可供相关国家和行业、地方法律法规贯彻实施提供支持。

数据中心气流组织技术规范

1 范围

本标准规定了数据中心气流组织技术规范。

本标准适用于节能监察、行业协会、认证机构、设计院、施工单位、企业，其他单位可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本检定规程的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包含勘误的内容）或修订版均不适用于本检定规程，然而，鼓励根据本检定规程达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本检定规程。

- 《数据中心设计规范》（GB50174-2017）
- 《数据中心制冷与空调设计标准》（T/CECS487-2017）
- 《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》（GB50019-2015）
- 《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》（GB50736-2012）
- 《民用建筑绿色性能计算标准》（JGJ/T449-2018）
- 《互联网数据中心工程技术规范》（GB51195-2016）
- 《通信电源和机房环境节能技术指南 第5部分：气流组织》（YD/T 2435.5-2017）等
- 《数据中心基础设施施工及验收规范》（GB50462-2015）
- 《通风与空调工程施工质量验收规范》（GB50243-2016）
- 《通风与空调工程施工规范》（GB70738-2011）
- 《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》（GB50242-2002）
- 《建筑工程施工质量验收统一标准》（GB50300-2013）
- 《建筑装饰装修工程质量验收规范》（GB50210-2001）
- 《数据中心场地基础设施认证技术规范》（CQC1324-2018）等

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

以下术语和定义适用于本文件。

3.1.1 数据中心气流组织 datacenter airflow

通过对数据中心室内/室外设备的合理布局等方式，对气流流向和均匀程度按一定要求进行组织，从而得到有效的冷却气流，实现对IT设备的散热，确保IT等设备在正常的环境下运行。

3.1.2 计算流体动力学 Computational Fluid Dynamics (CFD)

通过计算机模拟求解流体动力学方程，对流体流动与传热等物理现象进行分析，得到温度场、压力场、速度场等的计算方法。

3.1.3 黑箱模型 black box

不考虑模型内部细节，只定义简单的进出口尺寸、位置、功耗等参数，典型设备如简化的机柜模型。

3.1.4 灰箱模型 gray box

除了黑箱模型的要求外，还需要定义内部设备性能曲线、控制逻辑等参数，典型设备如IT设备、

简化空调模型。

3.1.5 白箱模型 white box

除了灰箱模型的要求外，还需要定义设备内部的结构部件，典型设备如详细的机柜模型与详细的空调模型。

3.2 缩略语

以下缩略语适用于本文件。

CFD：计算流体动力学

UPS：不间断电源

AHU：空气处理单元

RCI：机柜冷却指数

RTI：回风温度指数

SHI：供热指数

RHI：回热指数

IOM：掺混指数

MCRI：机柜内循环指数

ASE：空调送风效率指数

ARE：空调回风效率指数

4 设计实施阶段气流组织要求

4.1 数据中心气流组织设计

4.1.1 不同机柜功率密度的推荐方案

在确定数据中心气流组织方案时，在无其他限定条件的情况下，首先应考虑地板送风系统的可行性；随着功率密度的提升，考虑将制冷终端引入列间，采用近端供冷系统；当功率密度进一步提升，应考虑采取液冷系统。不同功率密度的机房推荐空调方案，见下表

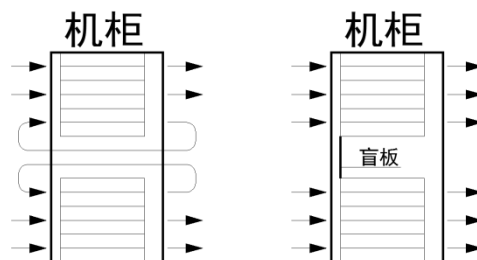
表 1 单机柜功率不同推荐冷却方案

单机柜功率 (kW)	推荐方案
≤6	地板送风系统+封闭冷(或热)通道；地板送风系统+热风抽取系统；或近端供冷系统
6~10	近端供冷系统
10~30	近端供冷系统；液冷系统
>30	液冷系统

4.1.2 机柜微循环气流组织设计

A) 在保证机房内安全使用和节能的条件下，宜选择温差大的气流组织形式。

B) 应对未使用的空机柜或机柜空位设置盲板，以防止气流短路。

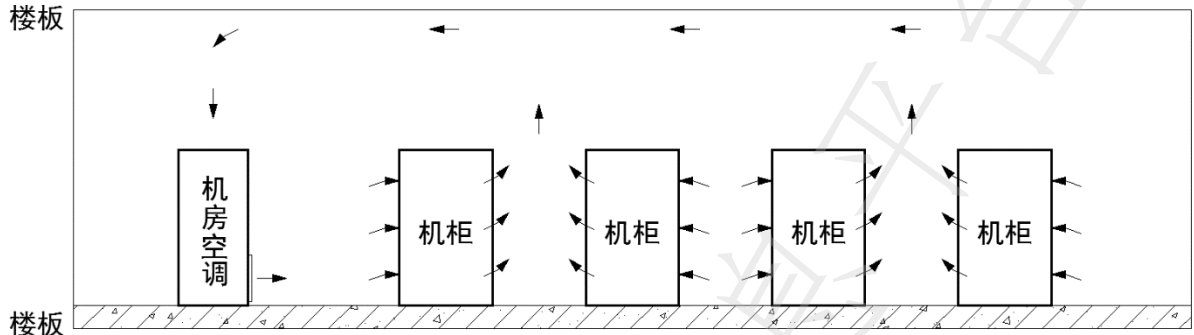


4.1.3 硬地板送回风气流组织设计

A) 对于风侧自然冷却项目或者机房层高受限制的改造项目，可采用硬地板送风模式。

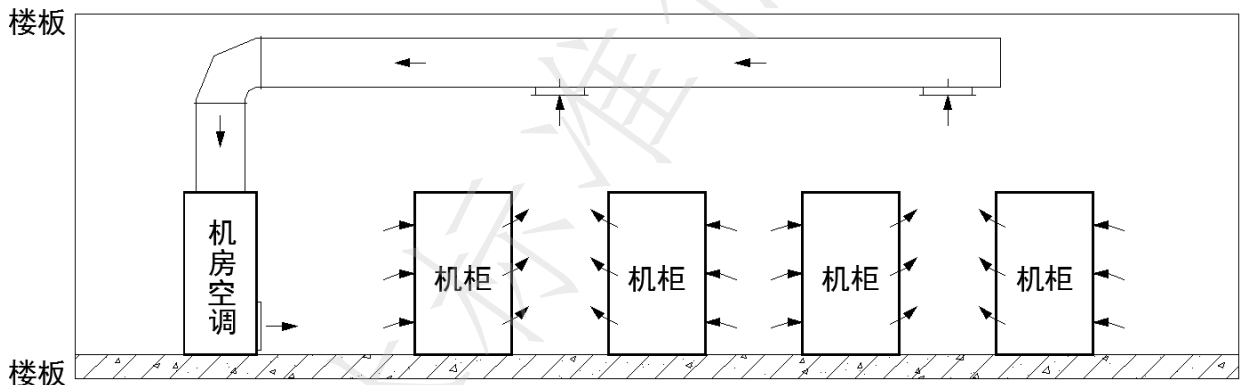
B) 硬地板下送风气流组织宜参考如下四种形式

a) 硬地板下送风、无组织回风；



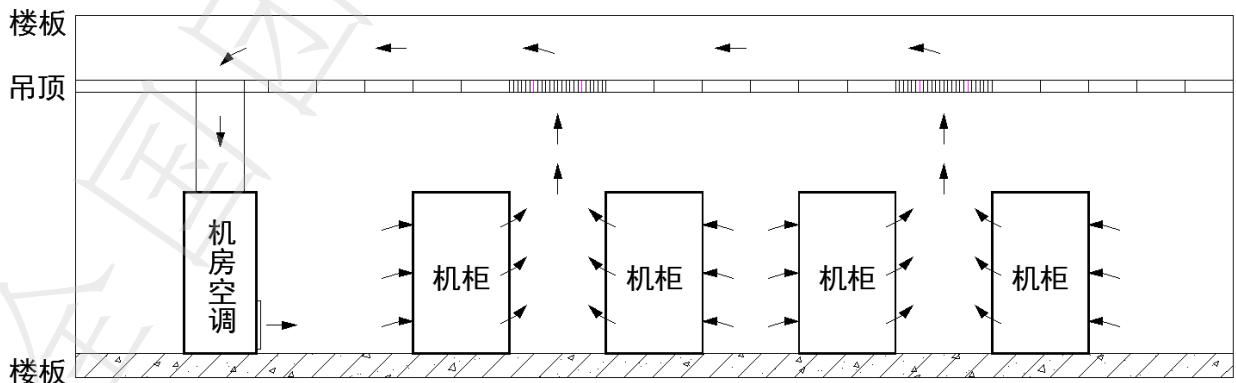
硬地板下送风，无组织回风

b) 硬地板下送风、风管上回风；



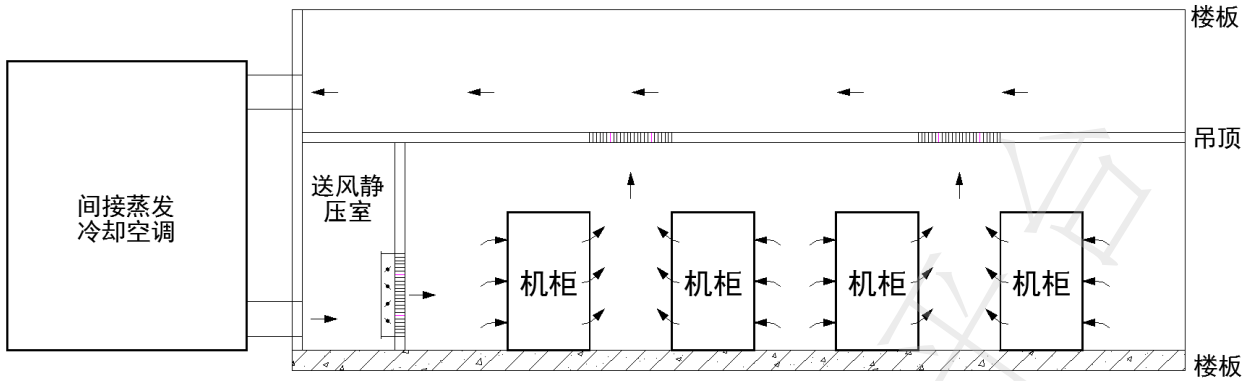
硬地板下送风，风管上回风系统

c) 硬地板下送风、吊顶上回风。



硬地板下送风，吊顶上回风系统

d) 硬地板送风静压室侧送风、吊顶上回风。

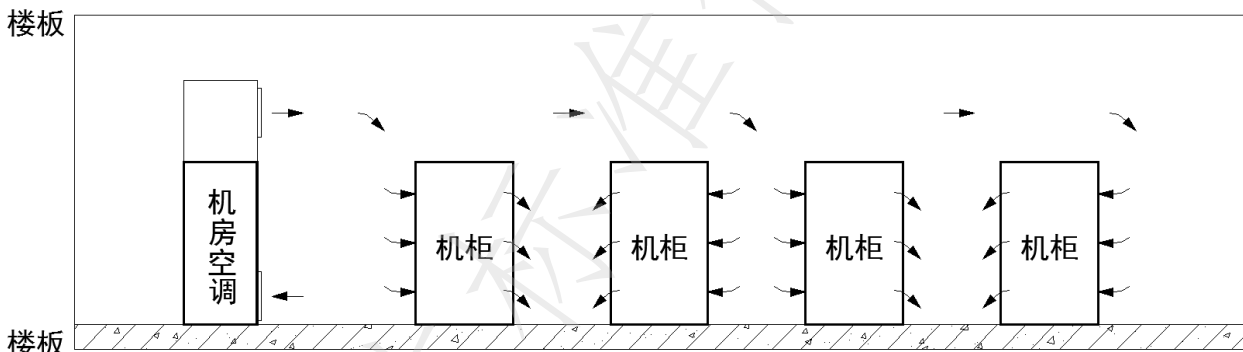


硬地板送风静压室侧送风、吊顶上回风

数值模拟计算中发现：在设计足够的回风空间的情况下，四种情况下的回风效果无明显区别，在实际工程均可采用。

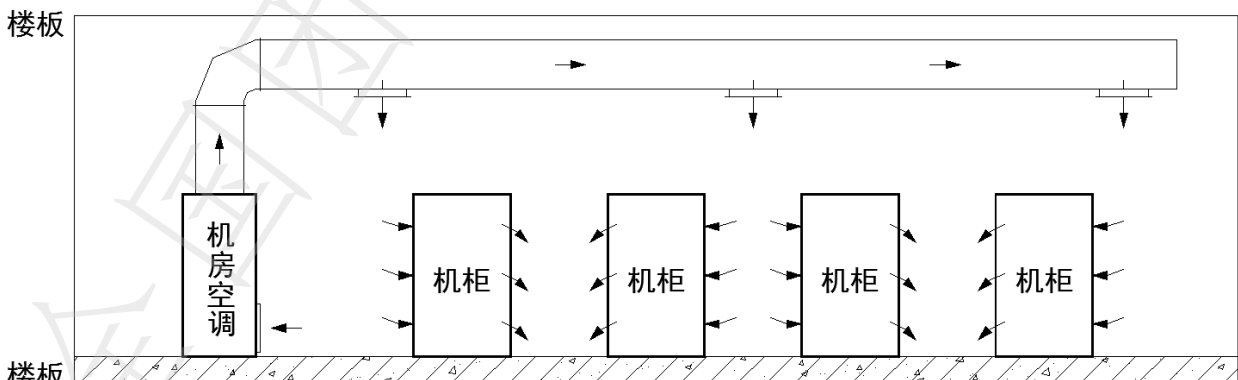
C) 硬地板上送风气流组织宜参考如下两种形式

a) 机房空调侧上送风、侧回风；



硬地板上送风，下回风系统

b) 机房空调风管上送风、侧回风。



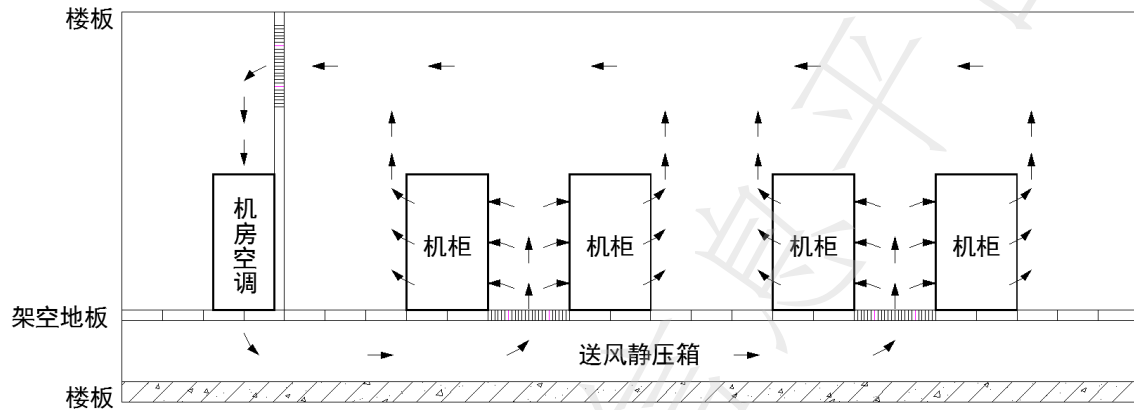
硬地板风管上送风，下回风系统

4.1.4 架空地板送回风气流组织设计

A) 对于单机柜功率小于6kW且机房层高足够的项目，可采用架空地板送风模式。

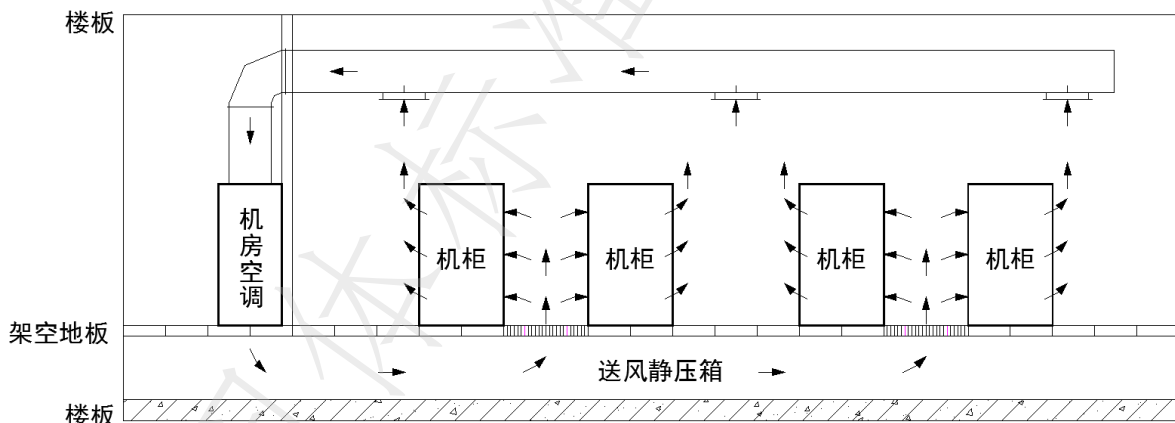
- B) 架空地板高度应经过计算确定并进行CFD模拟验证，架空地板下载面风速应小于 2.5m/s 。
- C) 地板送风口的平均风速宜取 3m/s 左右，不应大于 4m/s 。
- D) 应保持地板下静压值，送风距离不宜过长。
- E) 宜对地板送风状况进行模拟，避免出现地板送风量过大和过小的问题。
- F) 架空地板下送风气流组织宜参考如下三种形式

a) 地板下送风，自然回风；



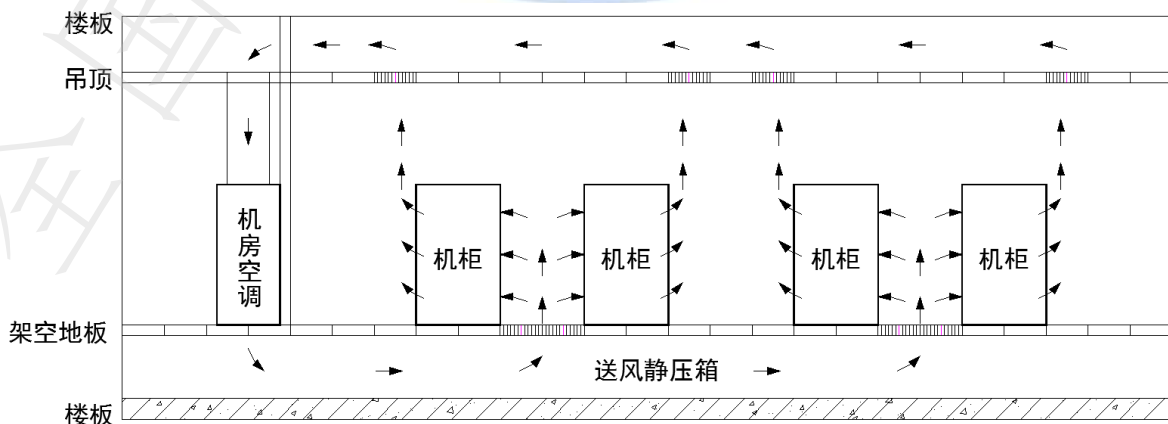
架空地板下送风，无组织回风

b) 地板下送风、风管上回风，热通道内设置回风口；



架空地板下送风，风管回风

c) 地板下送风、吊顶上回风，热通道内设置回风口。



架空地板下送风，吊顶回风

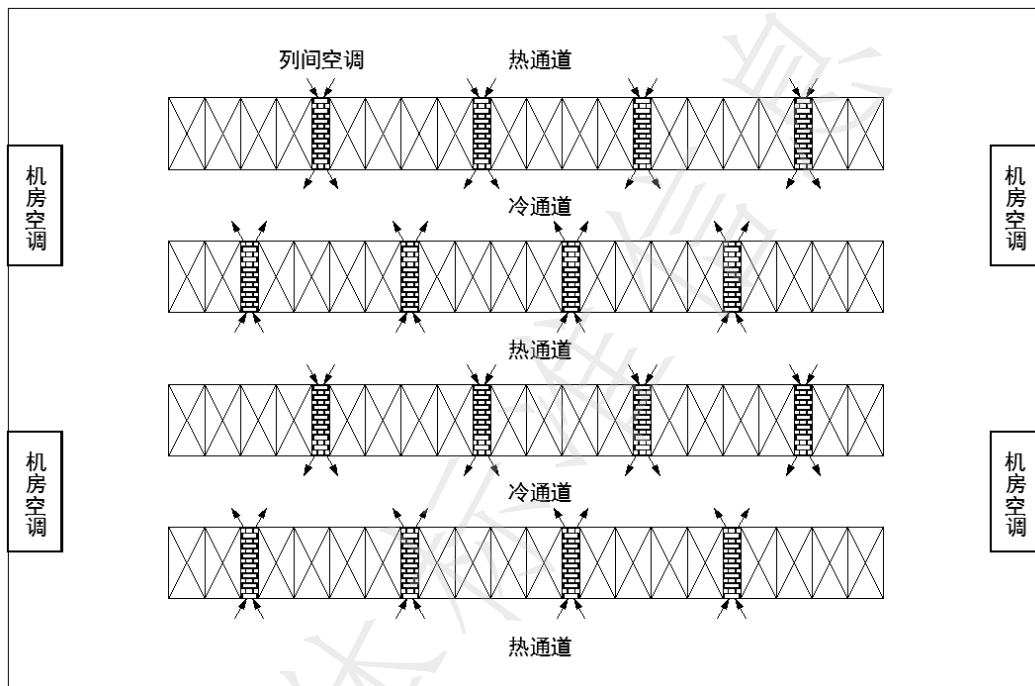
4.1.5 近端供冷系统

A) 当单机柜功率密度大于6kW或机房出现局部高温热点时，宜采用近端供冷系统。目前最常用的近端供冷系统包括列间空调、制冷背板和顶置盘管。

B) 列间空调

a) 列间空调应布置在机柜间的侧面，宜封闭冷通道或热通道。

b) 采用列间空调的数据机房内的机柜应按面对面、背靠背方式排列，使机柜的进风口处于冷通道内，排风口处于热通道内。

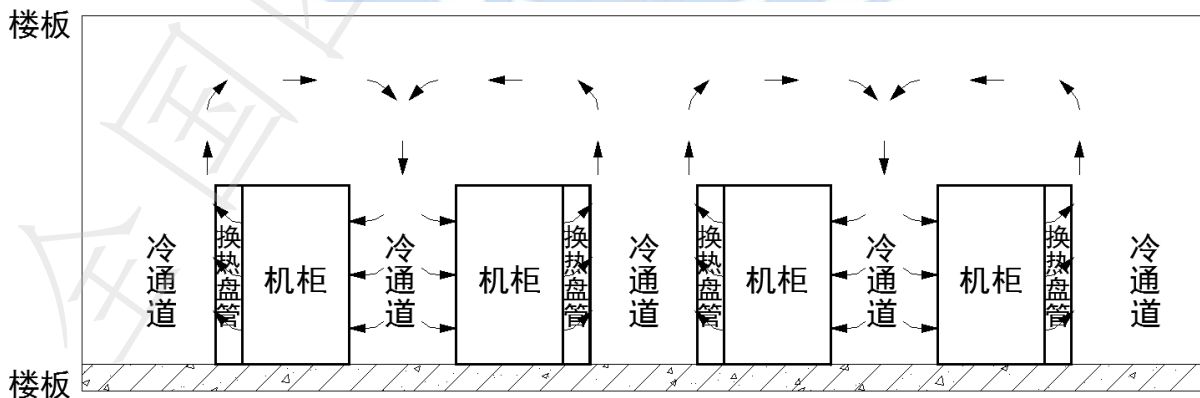


列间空调

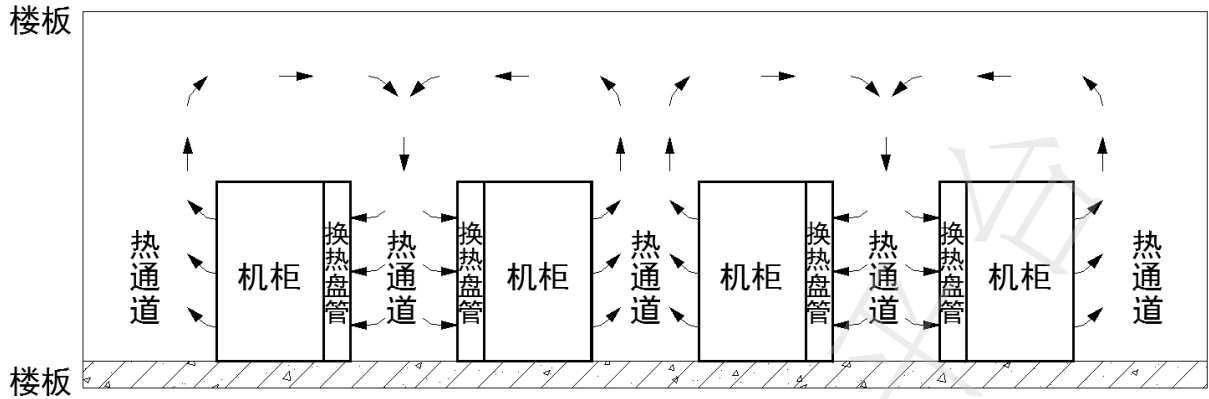
C) 制冷背板:

a) 制冷背板可采用冷媒型和冷冻水型两种。

b) 制冷背板宜布置在机柜的出风口处。



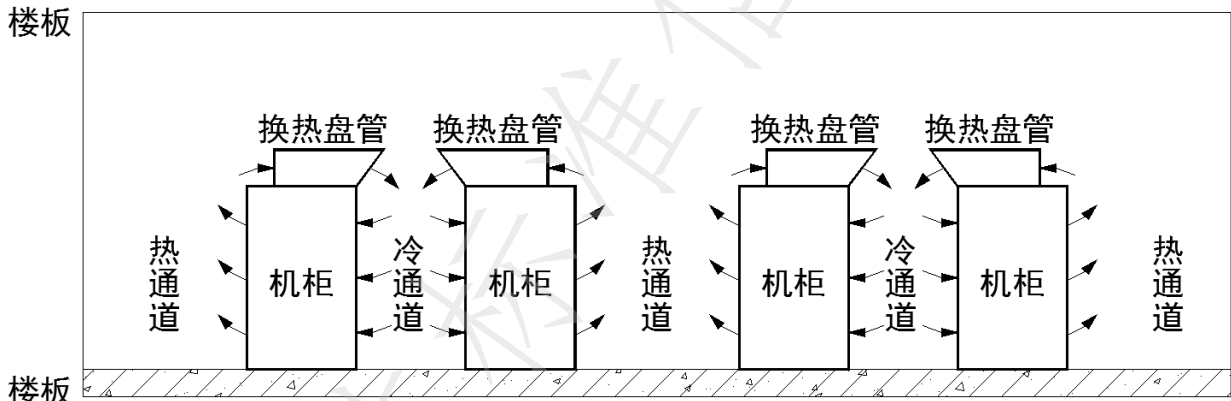
近端供冷系统-制冷背板（一）



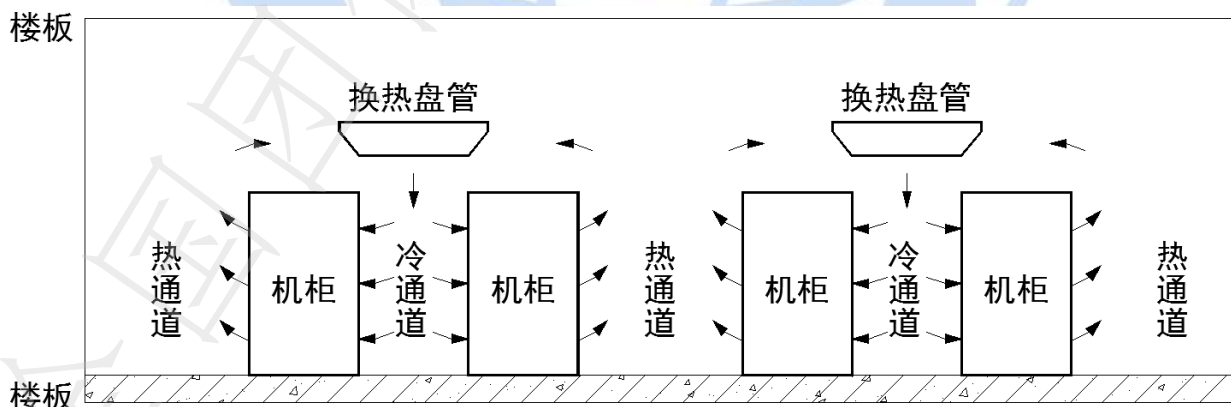
近端供冷系统-制冷背板（二）

D) 顶置盘管:

- a) 顶置盘管通常有机柜顶置式和天花吊顶式两种形式。
- b) 采用顶置盘管的数据机房内的机柜应按面对面、背靠背方式排列，使机柜的进风口处于冷通道内，排风口处于热通道内。
- c) 机柜顶置式送风口应位于冷通道上方，天花吊顶式应安装于冷通道正上方。



近端供冷系统-制冷背板（一）



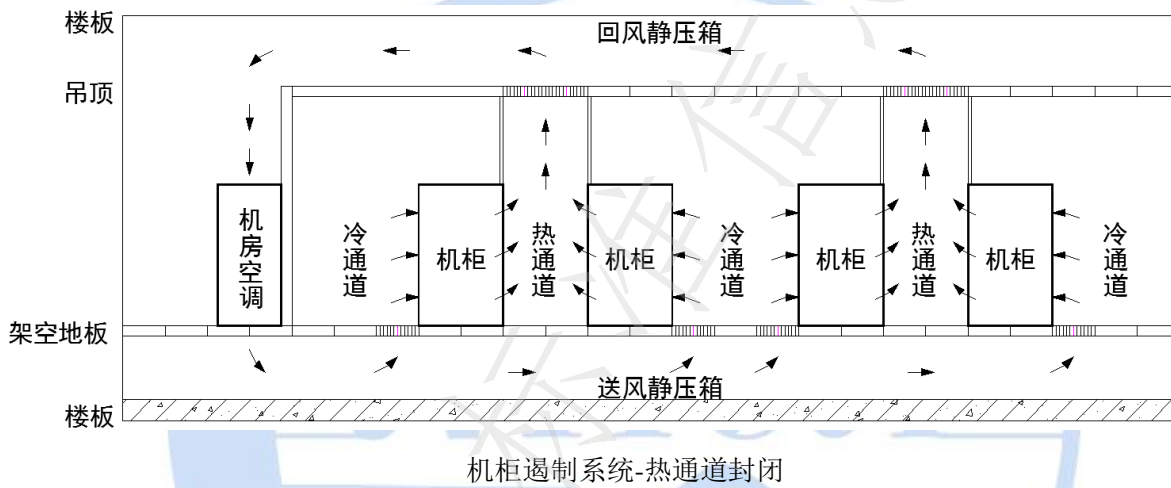
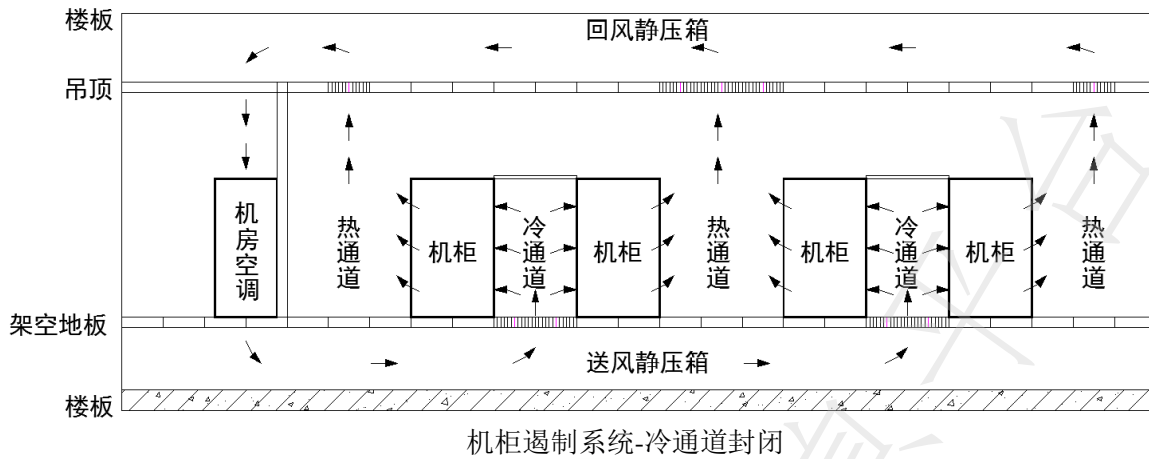
近端供冷系统-制冷背板（二）

4.1.6 机柜遏制气流组织设计

A) 封闭冷、热通道:

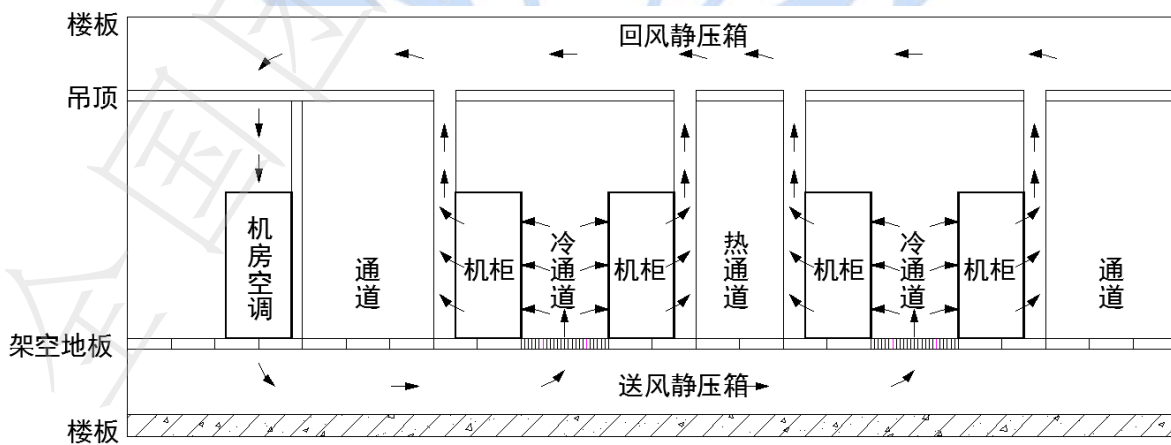
数据机房模块内宜采用封闭冷热通道的设计，当 IT 机柜功率大于 4kW 时，宜采用封闭冷热通道的

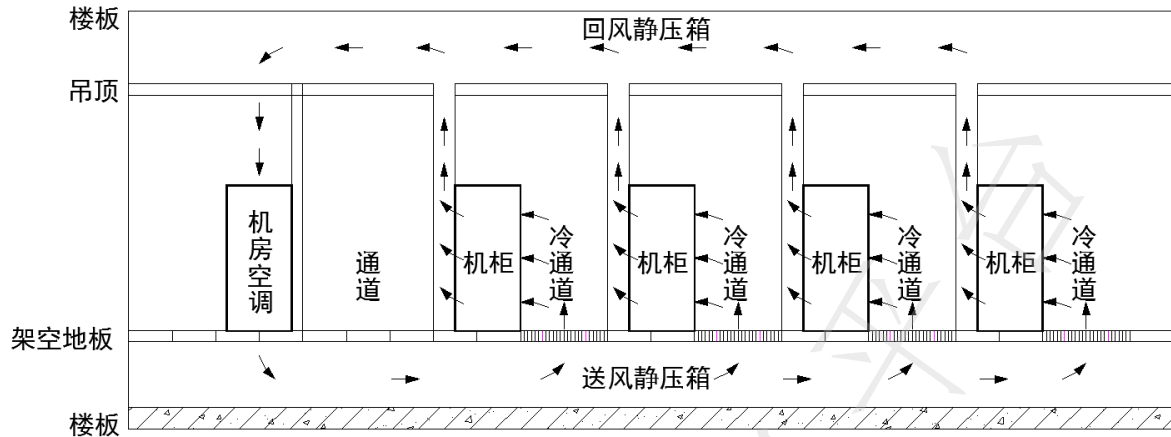
设计。



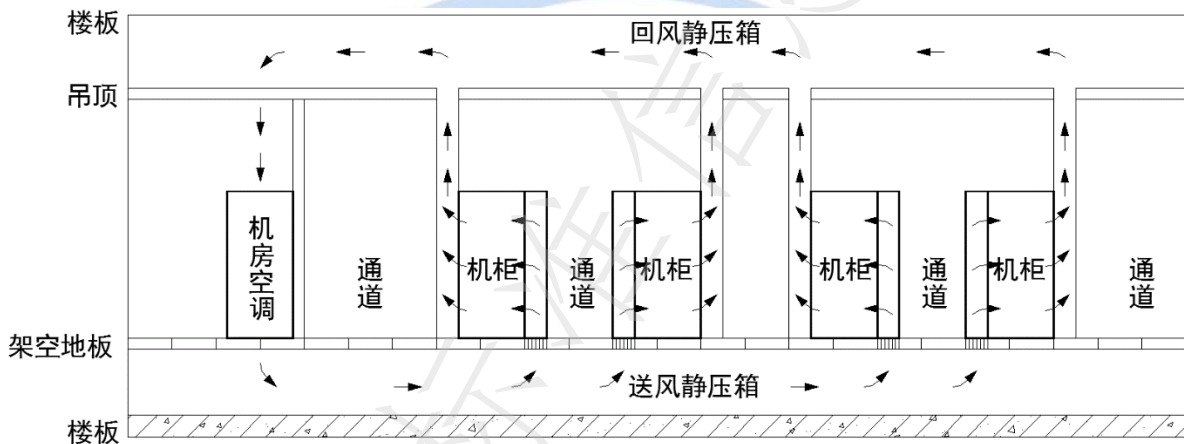
B) 热风抽取系统:

- 热风抽取系统应用于单机柜功率密度小于 6kW 和机柜发热量相对均匀的数据机房。
- 采用热风抽取系统，宜采用机柜同侧布置方案，以增大送风面积，提高送风的均匀性。
- 选用时，应复核机柜后实际有效的排风通道尺寸。





机柜遏制系统-热风抽取（二）



机柜遏制系统-热风抽取（三）

4.1.7 柴油发电机房气流组织设计

- A) 柴油发电机组之间的距离不宜小于2.5米，当不能满足要求时，应由CFD分析确定。
- B) 进风口宜设在正对发电机端或发电机两端。
- C) 排风口宜靠近且正对柴油机散热器。
- D) 进风口与排风口的设置应考虑当地主风向，排风口宜置于建筑物的下风侧；
- E) 进风口应直接设置在室外较清洁的地点，进风口应尽量设在排风口的上风侧且低于排风口。
- F) 排风口不应布置在人员经常停留或者经常通行的地点。
- G) 进、排风口宜位于机房两个对侧，避免热风回流的情况发生。保证冷却风从发电机尾端流入，并流经整个柴油发电机组表面。为避免影响散热效果。机房内风速不宜大于6m/s。
- H) 当进、排风口不能对侧布置时，宜采用CFD技术进行验证。
- I) 进风口的面积应大于柴油机散热水箱面积的2.2倍，大于排风口面积的1.5倍。
- J) 机房进、排风口面积不能满足要求时，应增加辅助通风设备，宜采用CFD技术进行验证。

4.1.8 数据中心室外气流组织设计

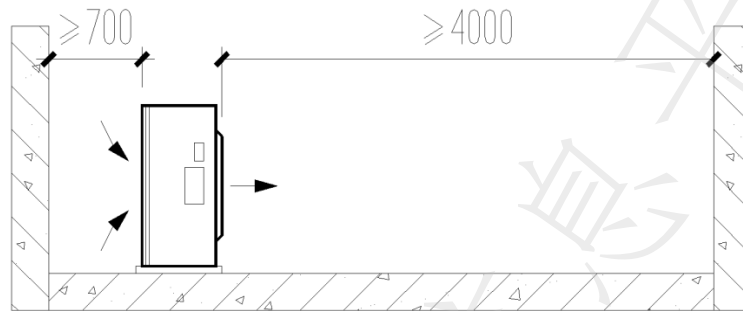
- A) 室外散热设备的安装位置和朝向应考虑当地的气候风向，设备出风方向不可正面逆向气候风向。
- B) 室外散热设备不应布置在有较多热量产生或粉尘飞扬的场所。

C) 当较多数量的室外散热设备集中布置于同一区域时, 应综合规划室外进、出风道, 避免出现设备进、出风短路和进风不足的现象。

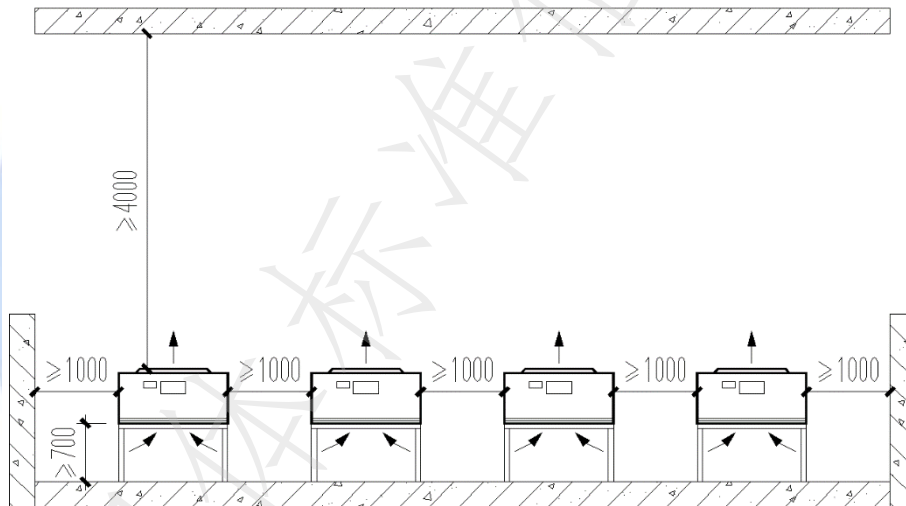
D) 对于数量较多的室外散热设备集中布置和室外散热空间局促的工程, 应对室外散热设备进行 CFD 模拟, 以确保散热设备的效率满足使用要求 (设计工况要求)。

E) 风冷冷凝器或室外干冷器通常宜布置在室外背阳处。

F) 风冷冷凝器与建筑物之间的距离及风冷冷凝器之间的距离, 宜满足如下要求:

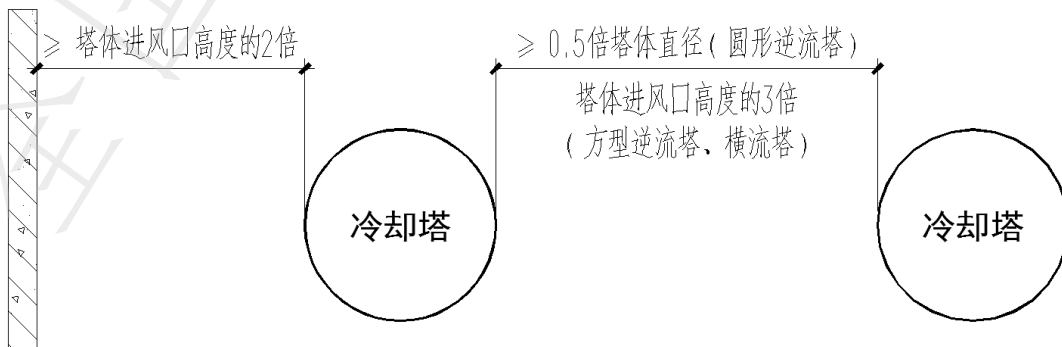


风冷冷凝器立式安装



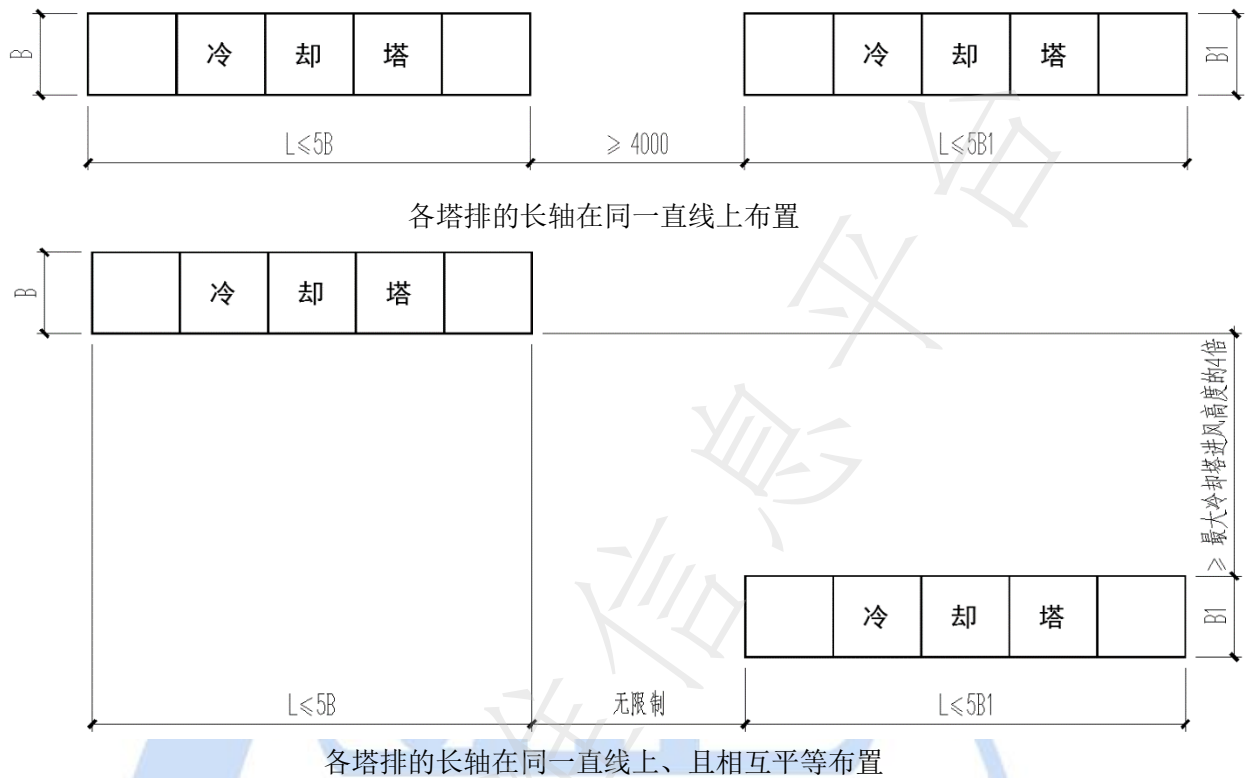
风冷冷凝器卧式安装

G) 冷却塔应布置在建筑物最小频率风向的上风侧, 其四周应满足冷却塔排出的湿热空气不会被再次吸入冷却塔内。冷却塔 (或塔排) 与建筑物之间的距离及冷却塔多台布置时塔与塔之间的距离宜满足如下要求:



H) 冷却塔宜单排布置。当需要多排布置时, 塔排之间的距离应保证全部冷却塔同时工作时的进风

量，每排的长度与宽度之比不宜大于 5:1。



- I) 柴油发电机组之间的距离不宜小于 3 米，实际布置距离应由 CFD 分析确定。
- J) 柴油发电机的进风口与排风口、排烟口之间宜做隔离处理，防止排风、排烟的热气流回流到进风口。
- K) 多层布置的柴油发电机排风口与排烟口宜在同侧，并且通过管道连接不同层柴发的排风、排烟，将热气流从顶部柴发向上排出。
- L) 宜考虑柴油发电机在不同负载、不同冗余情况下对气流组织的影响，宜通过 CFD 分析确定实际影响。
- M) 柴油发电机附近布置室外机、冷却塔的时候应考虑柴发排风、排烟对其它设备的影响，宜做热气流隔离处理，宜由 CFD 分析确定影响。
- N) 数据中心室外气流组织设计应考虑室外太阳辐射、干球温度、湿球温度、盛行风向对室外设备散热的影响，宜采用 CFD 技术进行验证。

4.2 气流组织 CFD 模拟仿真要求

- A) 气流组织仿真应采用数据中心专用的 CFD 软件。
- B) 在设计阶段数据中心 CFD 仿真模型宜采用黑箱模型，模型示意图参见附录 C 图 1 (a)。
- C) 气流组织仿真宜参考表 2 所示对象建立 3D 模型，模型示意图参见附录 C 图 2。

表 2 CFD 模型对象

类别	对象
建筑结构	包括但不限于架空地板、开孔地板、立柱、横梁、外墙、内墙、通风孔、吊顶
机房设备	包括但不限于，IT 设备、机柜、空调设备、冷却塔、散流器、电力设施有列头柜、UPS、线缆、管道以及其它数据中心相关设施等

- D) 宜参考表 3 进行相应模型对象的参数设置。

表3 设备参数设置

对象	参数
机柜模型	1) 整体尺寸; 2) 侧板、顶板、底板的结构; 3) 机柜前后门结构; 4) 设计功率
空调模型	1) 整体尺寸; 2) 送回风口尺寸与位置; 3) 风机类型, 设置不同风机性能参数; 4) 冷却形式: 直膨、冷冻水、蒸发冷却、新风冷却; 5) 性能参数: 制冷量、送风量; 6) 控制方式: 送风控制、回风控制、温差控制等方式; 7) 空调状态等; 8) 通道封闭形式;
冷却塔模型	1) 标准工况进水温度、出水温度、湿球温度、水循环量、风机风量; 2) 控制出水温度等
室外机模型	1) 整体尺寸; 2) 送回风口尺寸与位置; 3) 风机类型, 设置不同风机性能参数; 4) 排热量; 5) 排风量等;
柴油发电机模型	1) 箱体几何尺寸 2) 进风口、排风口尺寸与位置 3) 排烟管尺寸 4) 空气冷却的散热量 5) 排风量 6) 排烟量 7) 排烟温度等
UPS模型	1) 整体尺寸; 2) 进出风口位置、尺寸; 3) 发热量; 4) 风量等;

E) 宜考虑其它热负荷, 包括但不限于如照明、外围结构、太阳辐射、环境温度等参数, 设置发热功耗、材料属性和环境参数。

F) 宜根据下述应用场景进行气流组织分析, 并出具相应的结果分析报告。

a) 室内应用场景与结果分析报告宜参考表 4 要求。

表4 室内分析场景与结果报告

分析场景	结果报告内容
1. 常规室内气流组织合理性验证分析	a) 提供服务器进口温度, 如有局部热点提供优化方案

	<ul style="list-style-type: none"> b) 提高得房率或者出柜率 c) 确定空调选型及合理布局方案 d) 应提供RCI指数, 宜提供RTI、SHI、RHI、MCRI、ASE、ARE等指数
2. 室内气流组织优化设计及分析 <ul style="list-style-type: none"> 1) 确定合理的架空地板高度和机房净高 2) 空调控制方式优化 	<ul style="list-style-type: none"> a) 通过CFD分析不同高度方案的合理性; b) 空调的控制方式与设定值应通过气流组织分析确定, 可以实现最大化节能运行, 并且避免局部热点的发生 c) 应提供RCI指数, 宜提供RTI、SHI、RHI、MCRI、ASE、ARE等指数
3. 冷却失效及可靠性分析 <ul style="list-style-type: none"> 1) 分析空调末端轮巡方案 2) 分析空调系统失效场景 	<ul style="list-style-type: none"> a) 确定最大化节能运行方案, 并且避免出现局部热点 b) 提供IT设备温度上升曲线及应急方案 c) 应提供RCI指数, 宜提供RTI、SHI、RHI、MCRI、ASE、ARE等指数
4. 其它室内场景 (配电室、室内柴油发电机)	提供设备进口温度及气流分布图

b) 室外应用场景与结果分析报告宜参考表 5 要求。

表5 室外分析场景与结果报告

分析场景	结果报告内容
分析室外机、冷却塔、冷机、柴油发电机布局	<ul style="list-style-type: none"> a) 确定掺混率及设备进风、排风温度等参数, 保证室外设备正常运行 b) 应提供IOM指数

c) 室内外联合应用场景与结果分析报告宜参考表 6 要求。

表6 室内外联合分析场景与结果报告

分析场景	结果报告内容
直接蒸发冷却或间接蒸发冷却AHU仿真	<ul style="list-style-type: none"> a) 输出室内和室外侧环境参数模拟结果是否满足设计要求
冷却系统室内外设备联合仿真	<ul style="list-style-type: none"> a) 输出室外气候对水侧管道压降及流量, 以及室内冷量和气流组织的影响结果 b) 应提供IOM指数

5 检测验收阶段气流组织要求

5.1 一般要求

A) 机房气流组织检测验收应以设计图纸和相关设计、施工及验收规范为依据。

B) 机房气流组织检测应在设计满载条件下进行, 应着重测试机房环境温湿度指标是否满足设计图纸及规范要求, 同时辅以对与气流组织相关的设备、设施及环境进行检查。

C) 机房气流组织验收应随数据中心基础设施验收同步进行, 气流组织涉及的相关分部(或子分部)分项工程应达到合格标准, 满足相关的施工及验收规范。

D) 在必要时或者根据用户需要, 可采用CFD气流模拟方法对主机房等区域气流组织进行验证及评价。

E) 对机房气流组织进行验证及评价可选取一定的技术评价指标, 并搭建相应的测试环境, 部署相应的温湿度传感器, 根据测试结果进行分析, 对机房气流组织的效果提出评价意见。常用的性能评价指标有: 机柜冷却指数(RCI)、回风温度指数(RTI)、供热指数(SHI)与回热指数(RHI)、掺混指数(IOM)等, 具体评价指标参见附录A。

F) 气流组织CFD模拟仿真要求参见4.2节。

5.2 机房气流组织检测要求

A) 在对机房气流组织进行检测前, 机房空调系统、装修系统、机柜系统等应按设计图纸、现行国家标准及规范完成安装并经分项验收合格。详细的气流组织检测前置条件要求参见附录B。

B) 在检测前应对相关技术资料进行检查核验。技术资料包括但不限于竣工图纸、施工检查及验收记录、设备进场及检验记录、设计变更、采购合同及技术方案等。如存在不满足设计要求的情况时, 应先进行整改, 整改完成并经复验合格后再进入检测环节。详细的资料检查内容和要求参见附录B。

C) 在检测前应对现场相关设备、设施及环境进行检查核验。检查可分为一般性检查和对于不同类型数据中心的针对性检查。当现场检查存在与设计图纸和技术资料不符的情况、或者可能明显影响机房气流组织时, 应先进行整改, 整改完成并经复验合格后再进入检测环节。详细的检查内容和要求参见附录B。

D) 在检测前应制定完整、详细的检测方案。检测方案应包括检测环境搭建、检测范围和内容、检测指标、检测点的分布、检测工具、检测流程、检测记录单、检测结果分析及结论清单等内容。

E) 在搭建机房气流组织检测环境时, 应按照每个机柜最大的设计负荷容量在机房内配置测试用模拟负载, 并在系统满负荷下运行, 以验证系统的承载能力。假负载设备的特性应尽可能接近电子信息设备的实际使用状态。

F) 机房地板、送回风口、风阀的安装及状态应符合设计要求, 机柜的部署及冷(或热)通道封闭结构等应按照设计要求完成并与设计的运行工况相一致。

G) 机房温度、相对湿度测试

a) 技术要求: 数据中心场地基础设施的环境温度、湿度技术要求依据项目设计文件, 当设计文件不明确时则根据数据中心的设计等级参照《数据中心设计规范》(GB50174-2017)附录执行。

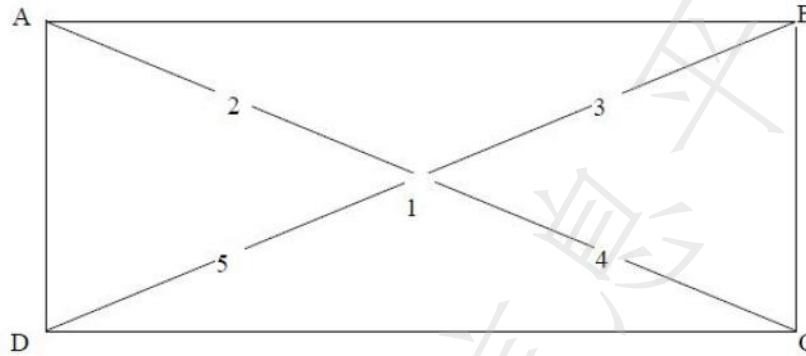
b) 测试设备及方法

1) 测试设备: 温度测试设备可以使用水银温度计、金属温度计、电子温度计和其他类型的温度计; 湿度测试可以采用普通干湿球温度计、电子湿度计或其他类型的湿度计; 露点温度测试设备可以使用露点仪或其他类型设备; 温度测试设备的分辨率应优于 0.5°C , 湿度测量仪器的分辨率应优于3%, 露点温度测试设备的分辨率应优于 1°C 。测试温度、相对湿度的仪表精度等级不应低于

2级。

2) 开机状态下的测试应在设备运行1h后进行。

3) 测试点位置应选择高度距离地面0.8m, 距设备表面0.8m以外处, 并避开出、回风口; 测试点布置面积不大于50m²时, 应对角线5点布置, 测试点分布如图1所示, 测试点位置2、3、4、5均应选在A~1, B~1, C~1, D~1中心点附近; 如机房大于50m², 每增加20m²~50m², 增加3~5个测试点, 测试点应平均分布在机房各个区域。



测试点分布图

4) 对于采用热通道/冷通道布局规则的数据中心机房, 即两排机柜进风口面对面形成冷通道, 出风口背对背形成热通道:

- 测试点选择布置在两排机柜之间的中心, 测试点位置应距离地面0.8m; 在冷、热通道中每3m或每4个机柜位置至少设一个测试点;
- 温、湿度状况以冷通道的测量数据为判定依据, 热通道的测量数据记录备案仅作为参考。

5) 对主机房和辅助区的温度进行足够长时间的监测, 得到温度变化率。

6) 对进风口和出风口温度分别测定, 计算得到送风温差。

c) 不同场景下的机房空调系统模拟测试

1) 在模块机房内按照每个机柜最大的设计负荷容量在机房内配置测试用模拟负载, 系统满负荷运行, 验证系统的承载能力。

2) 分别模拟暖通空调系统设备(包括冷源侧设备、末端侧设备)故障, 验证系统切换逻辑, 测试机房温度、湿度、单位时间平均温升等符合设计文件或设计规范的要求。

3) 模拟暖通空调系统的冷媒管道故障, 测试机房的温度、湿度、单位时间温升等并记录。

4) 模拟暖通空调常用系统运行中断, 备用系统运行, 测试机房的温度、湿度、单位时间温升等并记录。

5) 分别模拟暖通空调系统在初期负荷、最大设计负荷的条件下运行, 测试暖通空调系统的能耗并记录。

6) 单个冷源运行在设计满负荷情况下, 进行上述测试。

7) 全系统可以在不少于单个冷源组满载的负荷情况下, 进行上述测试。

H) 压差测试

a) 技术要求: 数据中心主机房与室外静压差、与走廊或其他房间的静压差应符合设计文件及规范要求。

b) 测试设备及方法:

1) 测试仪器为压差计, 准确度等级1.0级。

2) 测点布置: 任意选择室内气流扰动较小的点。

- 3) 应注意在测量时测量口不应朝着气流方向。
- 4) 测试主机房与室外的静压差，主机房与走廊或其他房间的静压差。

I) 风速、风量测试

a) 技术要求：机房地板出风口、下送风断面的风速应符合设计文件要求。机房送风量应符合设计文件要求。

b) 测试设备及方法：

- 1) 测试方法通常有风口法和风管法。
- 2) 通过对风口风速的测定得到风量，进出口的风速可直接用风速仪器测量。
- 3) 测量进出口风速时，要尽可能靠近出风口的中心位置。
- 4) 测量时应采取多点平均的方法，具体的点位数量和位置结合项目情况确定。

J) 针对测试结果的分析

a) 当上述温度、湿度等检测结果符合设计要求时，则可以认为在检测验收阶段机房气流组织满足设计及规范要求。

b) 当检测结果出现不符合设计要求的情况（如局部热点）时，则重复检查空调设备运行参数、送风回风通路中是否有泄漏、是否存在冷热气流交混等情况，并着重对热点附近的温度、湿度、送风量、风速等进行测定，必要时通过 CFD 气流组织模拟工具来分析产生热点的原因，并加以调整直至满足要求。

5.3 机房气流组织验收要求

A) 在对机房气流组织进行验收前，应按6.2条完成相应的气流组织检测，并且检测结果符合设计文件及规范的要求。

B) 机房气流组织验收应作为数据中心基础设施工程验收的一个组成部分，并随数据中心基础设施验收同步进行，验收应依据《数据中心基础设施施工及验收规范》（GB50462-2015）进行。

C) 气流组织涉及的各分部（或子分部）工程的质量验收均应合格，质量控制资料、有关安全和功能的检测资料均应完整。

D) 验收资料应根据专业系统划分归集到各分部工程验收资料中。与机房气流组织相关的验收资料包括但不限于以下内容：

- a) 机房检测报告（综合测试报告）。
- b) 质量验收记录（检验批、分项工程、子分部工程、分部工程的质量验收记录，隐蔽工程验收记录）。
- c) 竣工图纸。
- d) 设备及主要材料的进场检验报告、技术手册（空调制冷设备、机柜及通道封闭设施、通风地板、送回风口等）。
- e) 设计、施工及检测阶段的 CFD 模拟报告。
- f) 其他相关验收资料。

6 运行维护阶段气流组织要求

6.1 一般要求

- A) 运行维护阶段的气流组织应符合前期设计要求，满足IT设备的冷却需求。应通过气流组织分析保证数据中心的安全性、可靠性，同时提高数据中心能效。
- B) 运行维护阶段的气流组织对设备的要求
- a) 机柜内设备上下架应在满足电力、应用需求条件下充分利用机柜和机房空间集中部署，宜通过 CFD 模拟预测确保安全性。
 - b) 当机房采用冷热通道封闭时，机柜应尽量保证规格、尺寸统一，面对面、背对背摆放，应减小机柜底部距离地板的缝隙，有缝隙时需做好封堵。
 - c) 机柜内网线和电源线应整齐布放，宜分列布置在机柜两侧，以防止阻碍热气流排出。
 - d) 机柜内设备安装宜统一设备进出风方式。
 - e) 在调整空调控制策略（如机房升温）时，应采用 CFD 技术提前对将要变化的机房环境提前预测，以防止相关变化对 IT 设备产生影响。
- C) 运行维护阶段的气流组织对数据采集和检测的要求
- a) 对服务器自身采集的进风温度、运行温度和排风温度宜进行数据采集监控、并根据采集数据生成机柜竖向温度梯度，合理优化机柜内设备部署，必要时宜通过 CFD 模拟验证其合理性。
 - b) 根据机房现场实际情况合理调优温度采集传感器位置，应远离灯具并避免直对机柜出风口。
 - c) 可借助温度传感器、热成像系统定位局部热点，并且推断其与气流组织的关系，快速定位故障，并在专业分析软件的帮助下，进行深入分析，提高气流组织管理效率。
 - d) 当机房中出现热点时应及时检查热点周围气流组织情况，宜应用 CFD 仿真分析确定热点问题，采用针对性的方法消除热点，比如可采取增加空调送风量或调整送风口通风率等手段进行调整，或者对 IT 设备的部署进行适当的调整以适应机房内环境气流。
 - e) 可根据机房内环境监控采集数据或者现场检测数据，定期对运行的数据中心进行检测，检测频率宜不低于每季度一次，如遇大规模的设备变更宜在变更前进行 CFD 仿真预测，变更后再进行检测，以确保 IT 设备部署与机房气流场、温度场之间的匹配。
 - f) 可根据机房内环境监控采集温度数据，定期进行 CFD 气流模拟，对机房整体进行气流组织调优，分析频率宜不低于每季度一次。
 - g) CFD 仿真模型应根据测试数据进行标定，标定频率不低于半年一次，标定精度（模拟与实测对比）宜不小于 90%。

6.2 气流组织 CFD 仿真建模要求

- A) 在运行维护阶段数据中心CFD仿真宜采用白箱模型，服务器和空调可采用灰箱模型，示意图见附录C图1（b）（c）
- B) 仿真模型应该与实际数据中心机房情况保持一致，服务器模型应与实际部署一致，应包括但不限于表7所示的模型对象，建立完整的3D模型，参见附录C图2示意图。

表7 CFD模型对象

类别	对象
建筑结构	包括但不限于架空地板、开孔地板、台阶、斜坡、立柱、横梁、外墙、内墙、通风孔、吊顶

机房设备	包括但不限于，IT设备、机柜（服务器机柜、网络机柜、电池柜）、空调设备（普通精密空调、行间空调、顶置空调、AHU）、冷却塔、散流器、电力设施有配电柜、列头柜、UPS、变压器、线缆、管道以及其它数据中心相关设施等
------	---

C) 宜参考表8进行仿真模型参数设置。

表8 设备参数设置

对象	参数
机柜模型	<ol style="list-style-type: none"> 1) 整体尺寸，长、宽、高； 2) 侧板、顶板、底板的结构； 3) 机柜前后门结构； 4) 盲板位置； 5) 机柜的泄漏：包括盲板间的缝隙、安装导轨与左右侧壁、顶板、底板之间的缝隙等
IT设备模型	<ol style="list-style-type: none"> 1) 整体尺寸，长、宽、高； 2) 进出风口位置、尺寸； 3) 生产厂家及型号； 4) 运行功率； 5) 在机柜中的安装位置； 6) 风量：需要考虑风量控制与发热功率、入口温度的曲线关系，实现动态仿真；
空调模型	<ol style="list-style-type: none"> 1) 整体尺寸； 2) 送回风口尺寸与位置； 3) 风机类型，设置不同风机性能参数； 4) 风机出风形态：不同的出风形态影响机房内送风目的； 5) 传感器的位置； 6) 冷却形式：直膨、冷冻水、蒸发冷却、新风冷却； 7) 性能参数：制冷量、送风量、送回风温度与输入功率； 8) 控制方式：送风控制、回风控制、温差控制、压差控制等方式； 9) 空调状态等；
冷却塔模型	<ol style="list-style-type: none"> 1) 标准工况进水温度、出水温度、湿球温度、水循环量、风机风量； 2) 实际水循环量； 3) 最大风机风量； 4) 控制出水温度等
室外机模型	<ol style="list-style-type: none"> 1) 整体尺寸； 2) 送回风口尺寸与位置； 3) 风机类型，设置不同风机性能参数； 4) 排热量； 5) 排风量等；
柴油发电机模型	<ol style="list-style-type: none"> 1) 箱体几何尺寸 2) 进风口、排风口尺寸与位置 3) 排烟管尺寸 4) 空气冷却的散热量 5) 排风量 6) 排烟量

	7) 排烟温度等
UPS模型	1) 整体尺寸,长、宽、高; 2) 进出风口位置、尺寸; 3) 发热量; 4) 风量等;

D) 宜考虑其它热负荷:包括但不限于如照明、外围结构、太阳辐射、环境温度等参数,设置发热功耗、材料属性和环境参数。

E) 仿真模型应考虑实际工艺对气流组织的影响,如冷热通道门缝泄露以及其它密封不严导致的泄露问题。

6.3 气流组织仿真结果要求

A) 机柜进风温度、湿度应符合现行国家标准《数据中心设计规范》GB 50174-2017的有关规定;

B) 宜根据下述应用场景进行气流组织分析,并出具相应的结果分析报告。

a) 室内应用场景与结果分析报告宜参考表9要求。

表9 室内分析场景与结果报告

分析场景	结果报告内容
1. 室内气流组织的热健康评估	a) 提供服务器进口温度,如有局部热点提供优化方案。IT设备进风温度分布示意图见附录C图3。 b) 地板出风口压差,封闭冷热通道压差,机柜前后门压差应满足正压差要求。 c) 应提供RCI指数,宜提供RTI、SHI、RHI、MCRI、ASE、ARE等指数
2. 机房节能改造评估 1) 升温节能改造 2) 空调控制方式优化 3) 空调末端轮巡	a) 对于冷冻水空调,可以通过分析确定冷冻水可提升的温度,提供改造建议,计算节能量; b) 空调的控制方式与设定值应通过气流组织分析确定,可以实现最大化节能运行,并且避免局部热点的发生 c) 确定最大化节能运行方案,并且避免出现局部热点,截面温度分布示意图见附录C图4 d) 应提供RCI指数,宜提供RTI、SHI、RHI、MCRI、ASE、ARE等指数
3. 机房容量评估 1) 优化容量指标要素 2) IT设备与空调风量、冷量 平衡分析 3) 设备上下架预测分析	a) 优化机房的空、电、冷、气等容量指标,延长机房使用寿命。容量示意图见附录C图6 b) 确定最优的空调输出风量与冷量,空调提供的总风量应满足IT设备的总风量需求,空调提供的总冷量应满足IT设备的冷却需求 c) 提供设备不同上下架方案气流组织效果对比 d) 应提供RCI、RTI指数,宜提供SHI、RHI、MCRI、ASE、ARE等指数
4. 机房可靠性评估 1) 分析空调系统失效场景 2) 湿度仿真	a) 提供IT设备温度上升曲线及应急方案,温升曲线示意图见附录C图5 b) 评估机房内结露风险

3) 烟气扩散仿真	c) 获得烟气在机房内的扩散过程, 合理布置烟感位置
-----------	----------------------------

b) 室外应用场景与结果分析报告宜参考表 10 要求。

表10 室外分析场景与结果报告

分析场景	结果报告内容
1. 评估室外机、冷却塔、柴油发电机流场及布局合理性	a) 提供不同布局流场情况 b) 确定掺混率并提供IOM指数 c) 如不能满足要求需要优化方案
2. 蒸发冷却系统仿真	评估室外环境对蒸发冷却的影响

c) 室内外联合应用场景与结果分析报告宜参考表 11 要求。

表11 室内外联合分析场景与结果报告

分析场景	结果报告内容
1. 新风冷却系统仿真	确定新风系统不同运行模式下切换时的合理控制值
2. 冷却系统室内外设备联合仿真	a) 评估外部环境变化对室内冷却的影响, 寻找最优的控制值 b) 应提供IOM指数

附录A 数据中心气流组织评价指标

附 1.1 机柜冷却指数

机柜冷却指数 (RCI) 可评估数据中心内部 IT 设备是否能维持在适当的操作温度下, 它提供了一个有意义的指标来衡量机柜冷却效率, 并可进而评估机房环境及管理运用的优化设计。RCI 可分为 RCI_{HI} 与 RCI_{LO}, 前者用于评估设备进气端是否有温度高于建议的操作温度, 后者则用来评估设备进气端是否有温度低于建议的操作温度。

RCI 的计算公式如下:

$$RCI_{HI} = \left[1 - \frac{\sum(T_X - T_{max-rec})_{T_X > T_{max-rec}}}{(T_{max-all} - T_{max-rec}) \times N} \right] \times 100\%$$

式中:

T_X - 进气端温度 (°C);

$T_{max-rec}$ - 最高建议温度 (°C);

$T_{max-all}$ - 最高允许温度 (°C);

N - 机柜进气口总数。

$$RCI_{LO} = \left[1 - \frac{\sum(T_{min-rec} - T_X)_{T_X < T_{min-rec}}}{(T_{min-rec} - T_{min-all}) \times N} \right] \times 100\%$$

式中:

$T_{min-rec}$ - 最低建议温度 (°C);

$T_{min-all}$ - 最低允许温度 (°C)。

附表 1 RCI 评估建议等级

指标	RCI
理想 (Idea)	100%
良好 (Good)	≥96%
可接受 (Acceptable)	91%~95%
差 (Poor)	≤90%

附 1.2 回风温度指数

回风温度指数 (RTI) 是机柜气流组织的评价指标, 它可以评估系统供风是否过量或不足。

$$RTI = \frac{T_r - T_s}{\Delta T_{equip}} \times 100\%$$

式中:

T_r - 回风温度 (加权平均) (°C);

T_s - 供风温度 (加权平均) (°C);

ΔT_{equip} - 设备温升 (加权平均) (°C)。

附表 2 RTI 评估建议等级

指标	RTI
目标 (Target)	100%
再循环 (Recirculation)	> 100%
旁通 (Bypass)	< 100%

附 1.3 供热指数与回热指数

供热指数 (SHI) 用来确认空调系统提供至机柜散热的冷空气是否受到环境中热空气的影响而造成

温度上升，进而造成机柜内部气流温度升高，使机柜散热效果降低。SHI 值介于 0~1 之间，数值越小代表损失越小，当 SHI=0 时，表示所有机柜进气端温度等于空调系统的供风温度。

回热指数（RHI）主要用来评估数据中心内的回风机制是否将全部热气都带回至空调系统中，还是在将热气带回的时候也带回了一部分冷空气而产生旁路气流。RHI 值介于 0~1 之间，理想的情况为空调系统的回风温度并未受到冷空气的影响而降低，并且与机柜排气端温度相同。SHI 值越接近 1，代表冷空气利用在设备散热上的情况越好。SHI+RHI=1。

$$SHI = \frac{T_{in} - T_s}{T_{out} - T_s}$$

$$RHI = \frac{T_{out} - T_{in}}{T_{out} - T_s}$$

式中：

T_{in} - 机柜进气端温度（℃）；

T_{out} - 机柜排气端温度（℃）；

T_s - 空调系统供风温度（℃）。

附 1.4 掺混指数

掺混指数（IOM）用来评价和描述单个机柜发生高温渗透的程度，IOM 等于机柜进风截面最高温度与最低温度之差除以该机柜进排风平均温差。

$$IOM = \frac{T_{in,max} - T_{in,min}}{T_{out} - T_{in}}$$

式中：

$T_{in,max}$ - 机柜进气端最高温度（℃）；

$T_{in,min}$ - 机柜进气端最低温度（℃）；

T_{out} - 机柜排气端平均温度（℃）；

T_{in} - 机柜进气端平均温度（℃）。

IOM 的值越大，说明该机柜出现局部热点的可能性越大，热环境恶化的风险越高。IOM 能有效地描述不同机柜局部热点的分布特征，便于发现设备宕机概率较高的机柜位置，从而进行相应优化。

附 1.5 机柜内循环指数(MCRD)：

机柜内部回流到 IT 设备入口的热空气流量占机柜总进风量（体积流量）的比值（%），表示机柜进风被热空气混合的程度；

这个值越小越好，0%代表没有热空气回流到 IT 设备入口；

附 1.6 空调送风效率指数(ASE)：

空调所送的冷空气中直接用于冷却 IT 设备的流量所占总送风量（体积流量）的比重（%），表示冷空气利用效率；

这个值越大越好，100%代表空调送风全部用于冷却 IT 设备，没有冷量损失；

附 1.7 空调回风效率指数(ARE)：

为 IT 设备排出的热空气流量占空调总回风量（体积流量）的比重（%），反映设备排风在机房内循环而没有回到空调的程度；

这个值越大越好，100%代表 IT 设备排风全部回到空调回风口，没有在机房内形成内循环；

附录B 数据中心气流组织相关检查核验内容及要求

序号	分项	内容及要求	备注
1	气流组织检测前置条件要求	<ol style="list-style-type: none"> (1) 机房空调系统的空调设备、风管及风管部件等均已按照设计图纸、现行国家标准《通风与空调工程施工规范》GB50738 及《通风与空调工程施工质量验收规范》GB50243 的有关规定全部完成制作及安装,并经分项验收合格。 (2) 风管系统安装完成后,应根据风管设计压力进行漏风量测试,并做相应的记录,并应符合现行国家标准《通风与空调工程施工质量验收规范》GB50243 的有关规定。 (3) 机房空调系统的设备单机调试和系统调试完成,并满足设计指标。 (4) 机房装修(包括架空地板、封口板、吊顶、回风口等)已经完成并经分项验收合格。 (5) 机柜系统(包括机柜、冷通道或热通道封闭结构等)已经完成并经分项验收合格。 (6) 与机房气流组织相关的其他设备、设施及环境已经施工完成并经初步验收合格。 (7) 机房具备部署测试用假负载的条件,且具备送电检测的条件,并完成相应的保洁。 	
2	技术资料检查核验内容及要求	<ol style="list-style-type: none"> (1) 检查空调设备、机柜设备、通风地板等设施的技术手册和出厂检测报告等,核对是否满足设计要求。 (2) 检查空调系统的单机调试记录和系统调试记录,核对是否满足设计要求。 (3) 检查空调系统、机房装修系统、机柜系统的施工记录与初步验收文件,核对是否满足设计要求。 	
3	现场相关设备、设施及环境检查核验内容及要求	<ol style="list-style-type: none"> (1) 检查机房的整体布局、机柜的布置、空调设备的布置、冷热通道的布置、气流组织的形式等是否符合“冷、热气流采取分离措施”的基本原则以及设计要求。 (2) 检查现场空调设备、机柜设备以及影响气流组织的设施及环境,与设计图纸和技术资料的符合性。 (3) 检查送风和回风的气流路径是否顺畅,查看是否有阻挡送风或回风气流的障碍物。 (4) 检查空凋制冷设备的出风口和回风口,查看是否存在出风与回风气流短路循环的路径。 (5) 检查机柜的前后门开孔率或架底进风口面积是否符合设计要求。 (6) 当设计有冷通道或热通道封闭措施时,应检查冷、热通道密封情况,是否存在漏风处。 	
	房间级(机房级)数据中心:下送、上回风方式	<ol style="list-style-type: none"> (1) 测量机房架空地板下的净高,其高度应满足设计要求。 (2) 检查机房架空地板下是否有阻挡送风障碍物。 (3) 检查机房架空地板下静压箱是否与任何孔洞相通、其密闭性如何。 (4) 测量地板下送风截面尺寸,核验是否满足设计的静压箱要求。 (5) 检查机房吊顶或回风通路上是否有阻挡回风障碍物。 (6) 测量回风口、回风百叶的有效面积,核验是否满足设 	

		<p>计要求。</p> <p>(7) 检查机房架空地板下(含四壁)的保温、防结露措施,核验是否符合设计及规范要求。</p> <p>(8) 测量单侧空调向前送风的距离是否满足设计图纸和规范要求。</p> <p>(9) 检查通风地板安装的位置、数量、规格尺寸以及地板开孔率等是否满足设计图纸及规范要求。</p>	
	房间级 (机房级)数据中心:上送、下回风方式	<p>(1) 检查风管、风帽、风口等施工是否符合设计图纸及规范要求。</p> <p>(2) 检查风口及送风通道是否有阻挡送风气流的设施。</p> <p>(3) 测量送风距离,核验是否满足设计图纸和规范要求。</p>	
	行间级 (列间级)数据中心	<p>(1) 检查列间空调室内机的位置及安装是否满足设计图纸及规范要求。</p> <p>(2) 检查在此种方式送风时是否采取了封闭冷通道或者封闭热通道的措施。</p> <p>(3) 检查列间空调送风通道是否有阻挡送风气流的设施(如结构柱、挡板等)。</p> <p>(4) 检查机柜之间的空隙和机柜内预留安装设备的位置是否设置了盲板或挡板,以防止冷热气流直接混合。</p> <p>(5) 检查机柜内部的电源线和数据线是否阻碍气流流通。</p>	
	机柜级数据中心	<p>(1) 检查空调设施的选用与安装是否符合设计图纸及规范要求。</p> <p>(2) 检查机柜是否配置了必要的密封组件。</p> <p>(3) 检查冷风是否全部进入了IT设备的正面(进风面),是否存在向侧面漏风的现象。</p> <p>(4) 检查机柜内部的电源线和数据线是否阻碍气流流通。</p>	
	室外空调冷却设备	<p>(1) 进风、排风应通畅,在排出空气和吸入空气之间不应发生明显的气流短路。</p> <p>(2) 应避免进风受到污浊气流的影响。</p> <p>(3) 为控制噪声或排热而设置的遮挡板、遮挡罩等不应影响换热气流。</p>	室外的风冷冷水机组、干冷器和冷却塔设备等

附录C 插图



图1 模型等级示意图

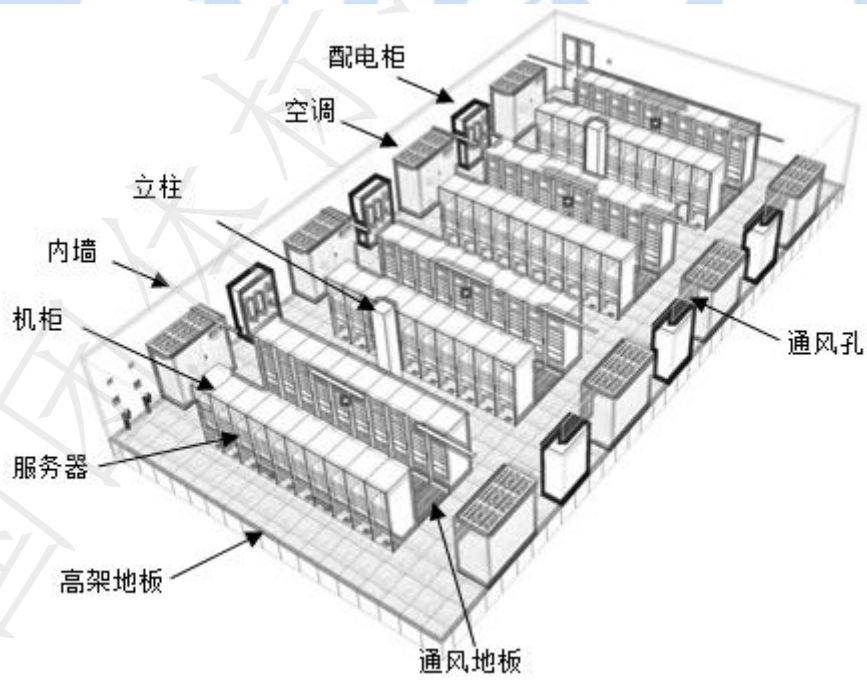


图2 CFD 3D模型示意图

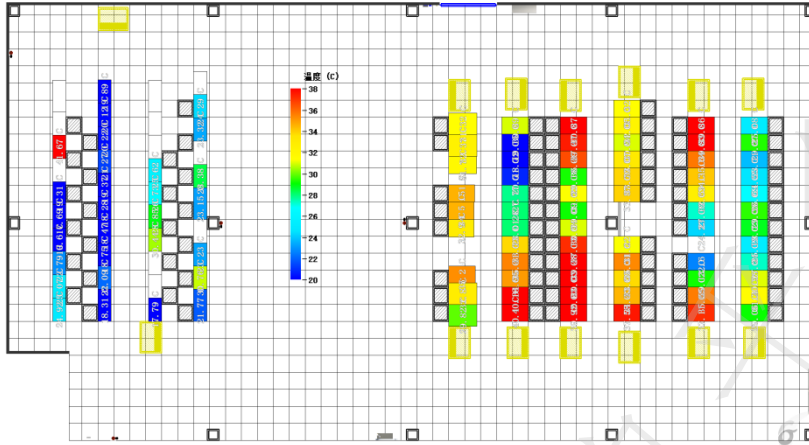


图3 IT设备进风温度分布示意图

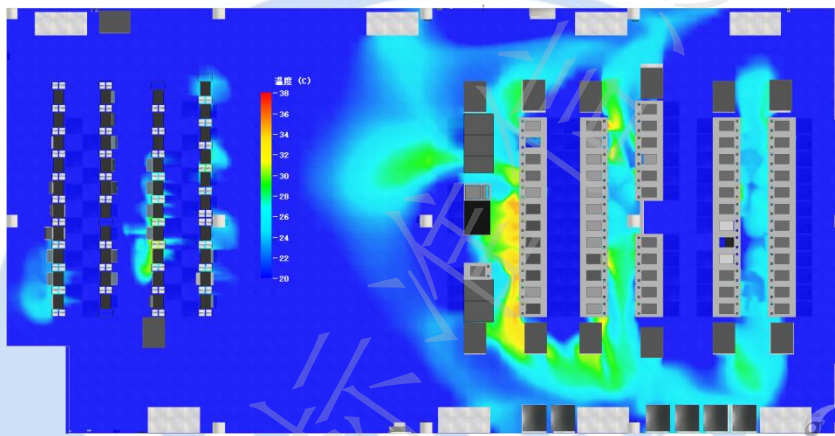


图4 截面温度分布示意图

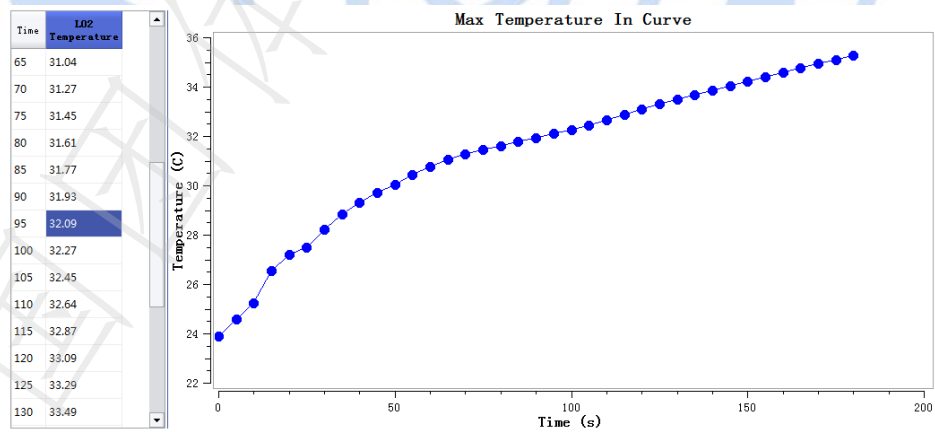


图5 设备温升曲线示意图

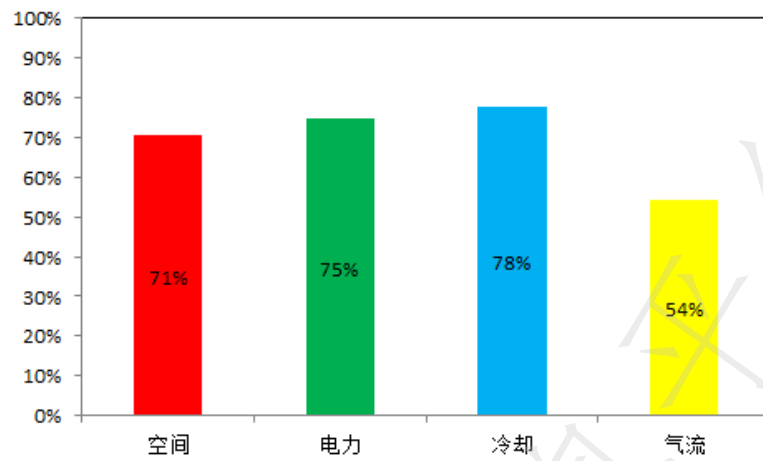


图6 机房容量示意图

