

# 某数据机房气流组织模拟及运行优化<sup>\*</sup>

北京京北职业技术学院 刘婷婷<sup>☆</sup>

**摘要** 对某采用风管精确送风的数据机房进行数值模拟,分析机房的温度场和气流组织情况,评估了部分空调机组出现故障或空调温度设定值提高时,机房的温度场分布及对设备运行安全的影响。CFD 模拟结果表明,风管送风温度偏低,运行中可能存在结露的风险;如果 1 台空调压缩机出现故障,在维修恢复前将该台空调整机关停可减轻故障对机柜散热的影响;如果把温度设定值从 22℃ 提高到 25℃,机房整体温度随之升高,机柜进排风温度也会上升 2~3℃,运行不安全。

**关键词** 数据机房 空调 CFD 模拟 气流组织 温度场分布

## Air distribution simulation and operation optimization for a data room

By Liu Tingting<sup>☆</sup>

**Abstract** Simulates a data room with the duct accurate air supply system, and analyses the temperature field and air distribution. Evaluates the temperature field distribution and the influence on operation security of cabinets when part of the air-conditioners fail or the air conditioning temperature set point increases. The CFD simulation results show that a lower duct supply air temperature may bring about the condensation risk in operation; if one of the compressors fails, the air-conditioner should be shut down before being restored to reduce the influence on cabinet heat dissipation; and if the air conditioning temperature set point is improved from 22 to 25℃, the data center temperature will rise and the supply and exhaust air temperature will also increase 2 to 3℃ causing the cabinet unsafe operation.

**Keywords** data room, air conditioning, CFD simulation, air distribution, temperature field distribution

<sup>☆</sup> Northern Beijing Vocational Education Institute, Beijing, China

### 0 引言

数据中心设备布置密集、发热集中、显热量大、全年需制冷、耗电量非常大。我国 2011 年数据中心总耗电量达 700 亿 kW·h,占全国用电量的 1.5%<sup>[1]</sup>。如果一个数据中心机房空调的气流组织设计不合理,60%的空调冷量将会被浪费<sup>[2]</sup>。因此,为满足机房内设备对温湿度、洁净度、送风速度等空气环境参数的要求,同时满足节能降耗的要求,需要有合理的气流组织,以有效消除机房内的热量。某数据中心机房空调系统气流组织为风管精确上送风前回风,为了评估该机房在此送风形式下,部分空调机组停机或故障对机房温度及气流组织的影响,空调温度设定值由 22℃ 提高到 25℃ 的

影响,风管精确送风是否会造成机柜表面结露等情况,使用 CFD 技术模拟了机房的温度场分布和气流组织情况。

### 1 机房概况

该机房面积约 240 m<sup>2</sup>,两侧与走廊相邻,一侧与电力室相邻,一侧与另一个机房相邻。各机柜和空调机组的摆放位置见图 1,机房内机架发热量分布情况见图 2。经测算,机房总冷负荷为 77.45 kW,共安装机房精密上送风空调机组 4 台,总制冷量为 111.8 kW,其中 1# 和 2# 空调机组的制冷量均为 22.2 kW,3# 和 4# 空调机组均

<sup>☆</sup> 刘婷婷,女,1981 年 6 月生,硕士,副教授  
101400 北京市怀柔区小中富乐一区 188 号  
(0) 13552797958  
E-mail:lttgrace@163.com

收稿日期:2014-03-25  
修回日期:2014-04-24

<sup>\*</sup> 北京市优秀人才培养计划资助项目(编号:2013D008016000005)

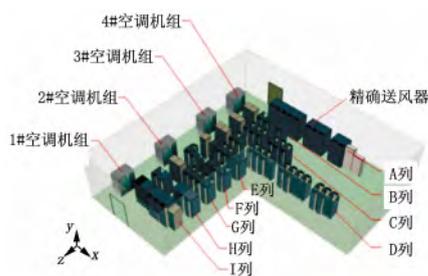


图 1 机柜及空调机组布置

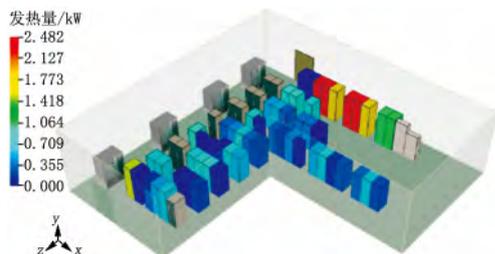


图 2 机架发热量分布

为 33.7 kW。机房夏季的配置冗余量达到了 44.35%，从冷量配置的角度完全满足机房的散热需求。

通过对机柜中服务器功率的统计发现，发热量较大的为 A 列的直流设备，但最大的机柜发热量也未超过 3 kW，其他列的机柜发热量基本都在 1 kW 以下。整体来说该机房的冷负荷较小，温度较好控制。

## 2 机房气流组织的 CFD 模拟分析

相同负荷条件下，采用不同的气流组织会导致不同的空调效果。计算机机房的一大特点就是空间大、热量大，因此常采用全空气方式。在确定气流组织时主要考虑以下问题<sup>[2]</sup>：1) 计算机系统的散热方式及发热量；2) 计算机设备在机房内的布置；3) 机房内的冷负荷；4) 机房内的操作人员。

目前，数据中心常用的机房空调系统气流组织有下送上回、上送前回(或侧回)等方式<sup>[3]</sup>。该机房采用上送风机组前回风的气流组织方式。

### 2.1 空调机组送风气流组织

图 3 为该机房空调机组采用上送风方式的送风气流组织模拟图。从图 3 可以看出，如果 4 台机房空调全部运行，通过风管定点精确送风的方式，气流基本上可以到达机柜进口。风管出风在机柜前方精确送风区有组织地进入机柜，受风管尺寸限制，气流量会有一些的减少。

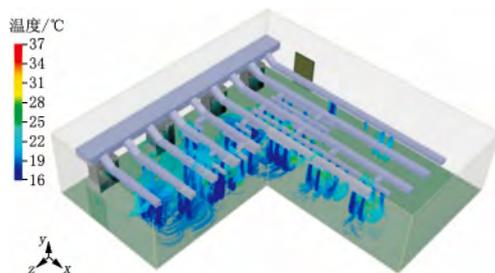


图 3 送风气流组织

### 2.2 空调机组回风气流组织

图 4 为该机房空调采用机组前回风方式的回风气流组织模拟图。从图 4 可以看出，空调回风大部分来自空调周围空间较大、气流阻力较小的区域，从机柜排风口吸回的风量并不多，如图 4 中红色虚线所圈的区域。

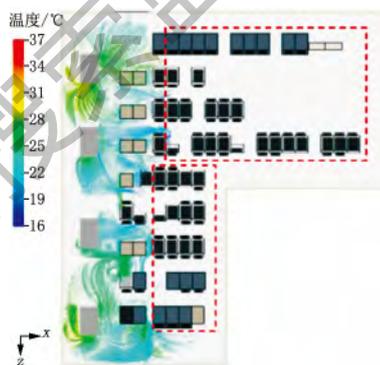


图 4 回风气流组织

### 2.3 机房不同高度的温度场

图 5 为该机房距地面 0.2, 1.0, 1.8 m 3 个高度上的温度场模拟图。从图 5 可以看出，采用这种气流组织形式，机房的整体温度在 21~24 °C 之间，控制良好。但是风管送风侧由于精确送风口送风温度过低，运行中可能存在结露的风险。经实测，部分送风口送风温度低至 11 °C，鉴于冷量配置冗余度达 44.35%，建议运行时关闭 1 台机组作为备用。

## 3 空调机组故障对室内温度分布及气流组织的影响分析

由于 3#、4# 空调机组的制冷量较 1#、2# 大，且靠近发热量较大的 A 列机柜，因此模拟 3#、4# 空调机组出现故障的情况。分别模拟压缩机出现故障但风机正常运行和完全停机 2 种情况对机房气流组织及温度场分布的影响，此时机房空调能提供的冷量为 78.1 kW，从冷量配置上看空调仍能

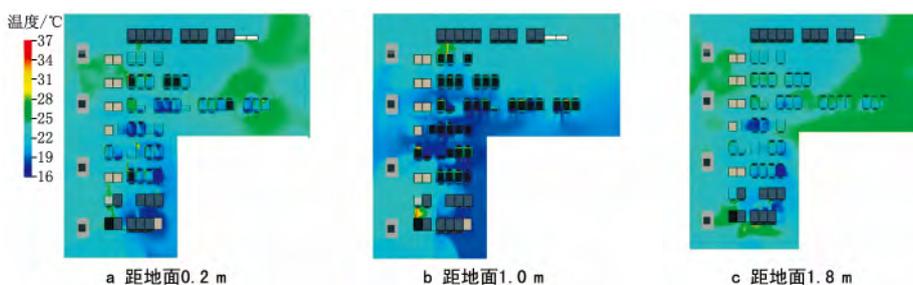


图5 机房3个高度上的温度场

基本满足要求。

1) 3#空调机组压缩机出现故障

图6是3#空调机组压缩机出现故障而风机正常运行时机房温度场分布模拟图,图7是其送风气流组织模拟图。从图6可以看出,3#空调机组的压缩机出现故障而风机继续运行的情况

下,机房整体温度上升,大部分区域温度在24~28℃之间,D列远端机柜附近的温度可达28℃。从图7可以看出,3#空调机组压缩机出现故障后出风温度明显上升,与进风温度基本相同,在23~26℃之间。回风气流组织与现有机房基本相同。

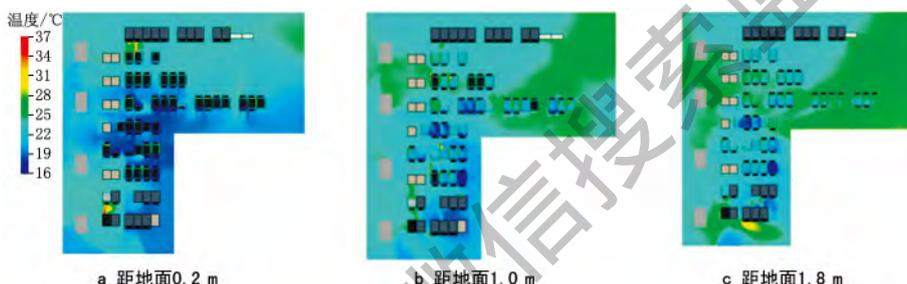


图6 3#空调机组压缩机出现故障而风机正常运行时机房温度场

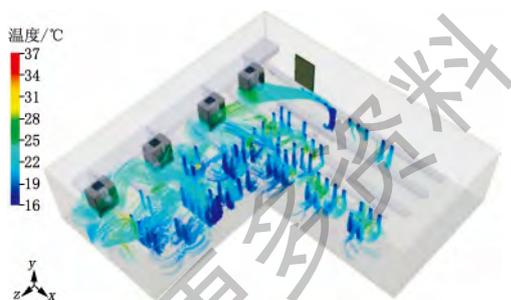


图7 3#空调机组压缩机出现故障而风机正常运行时送风气流组织

2) 3#空调机组停机

图8是3#空调机组停机时机房的温度场分

布模拟图,图9是其送风气流组织模拟图。从图8可以看出,3#空调机组停机的情况下,机房的整体温度有所上升,大部分区域在距地面1.8m高度处的温度超过了25℃,温度场分布比压缩机出现故障而风机继续运行的情况均匀一些。由于风量和冷量的下降,对设备发热量较大的A列机柜会造成不良影响,部分机柜在1.0m和1.8m高度上的排风温度达到30℃。从图9可以看出,3#空调机组停机后,与压缩机出现故障而风机正常运转相比,风道的出风温度变化不大,相对来说运行较为安全。

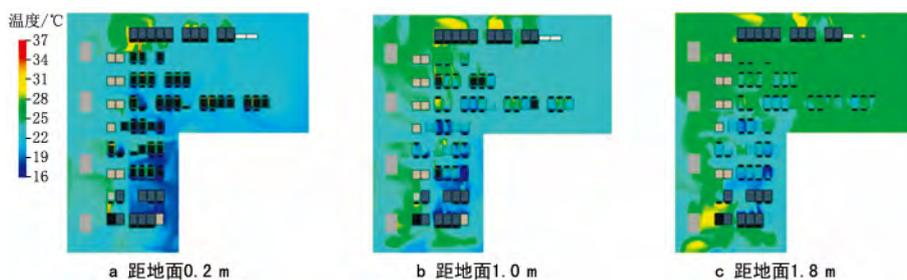


图8 3#空调机组停机时机房温度场

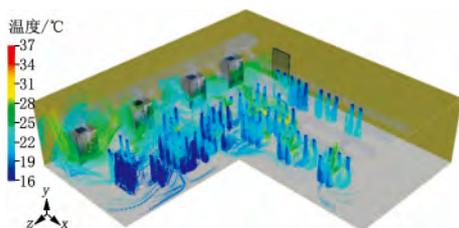


图 9 3# 空调机组停机时送风气流组织

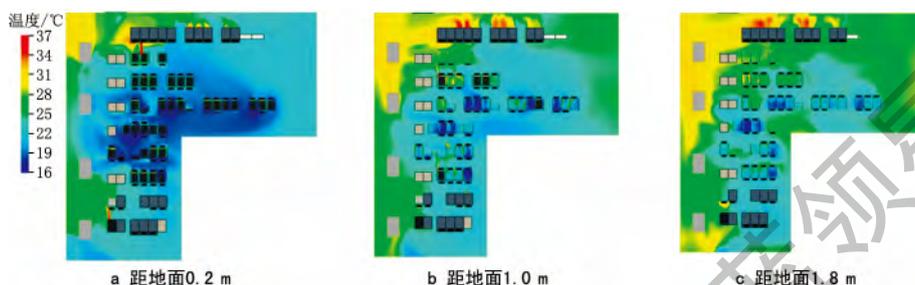


图 10 4# 空调机组压缩机出现故障而风机正常运行时机房温度场

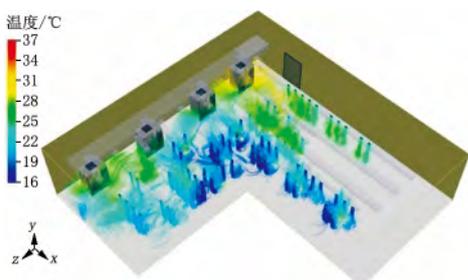


图 11 4# 空调机组压缩机出现故障而风机正常运行时送风气流组织

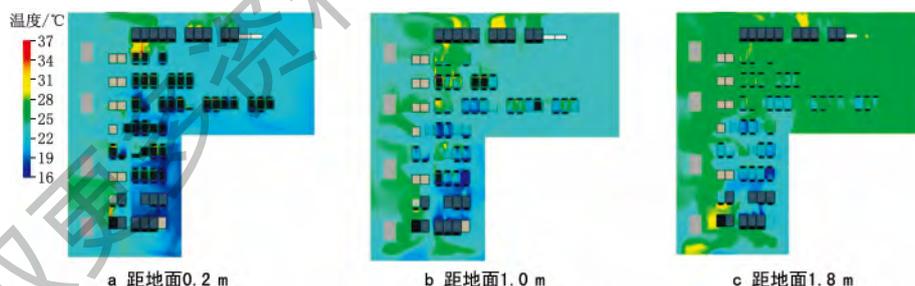


图 12 4# 空调机组停机时机房温度场

同高度处的温度场分布模拟图,图 13 是其送风气流组织模拟图。从图 12 可以看出,4# 空调机组停机的情况下,机房的整体温度有所上升,大部分区域在 1.8 m 高度上的温度超过了 25℃,温度场比压缩机出现故障而风机继续运行的情况均匀一些,由于风量和冷量的下降,对发热量较大的 A 列机柜会造成不良影响,部分机柜在 1.0 m 和 1.8 m 高度处的排风温度在 30℃左右。

### 3) 4# 空调机组压缩机出现故障

图 10 是 4# 空调机组压缩机出现故障而风机正常运行时机房温度场分布模拟图,图 11 是其送风气流组织模拟图。从图 10 可以看出,4# 空调机组压缩机出现故障而风机继续运行的情况下,机房的整体温度上升了 2~5℃,特别是 A 列设备,由于其靠近 4# 空调机组且机柜发热量较大,因此局

部发热严重,运行很不安全。

从图 11 可以看出,4# 空调机组压缩机出现故障而风机正常运行时,出风温度明显上升,与进风气流温度基本相同,在 26~28℃之间;A 列和 B 列设备的进风温度整体偏高。回风气流组织与现有机房基本相同,只是 4# 空调机组的整体回风温度偏高。

### 4) 4# 空调机组停机

图 12 是 4# 空调机组停机时机房距地面不

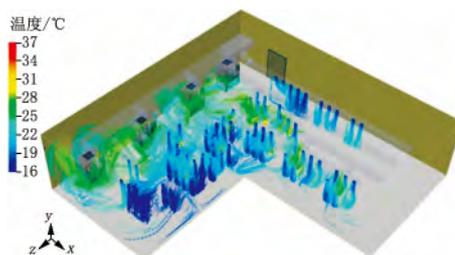


图 13 4# 空调机组停机时送风气流组织

从图 13 可以看出,4# 空调机组停机后,与压缩机出现故障而风机正常运转相比,靠近 4# 空调机组的 2 条风道出风温度降低,有利于 A, B, C 列机柜的散热,相对来说较为安全。在回风气流组织方面,3# 空调机组则承担了更多区域

的回风。

#### 4 提高机房空调温度设定值模拟分析

图 14 是空调回风温度设定值提高至 25 °C 时机房温度场分布模拟图,图 15 是其送风气流组织模拟图。

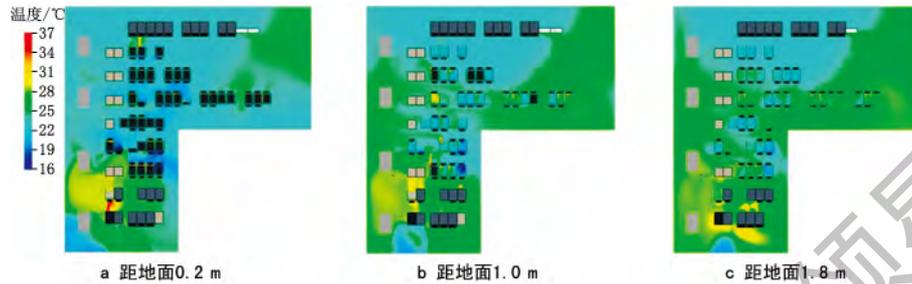


图 14 空调温度设定值为 25 °C 时机房温度场

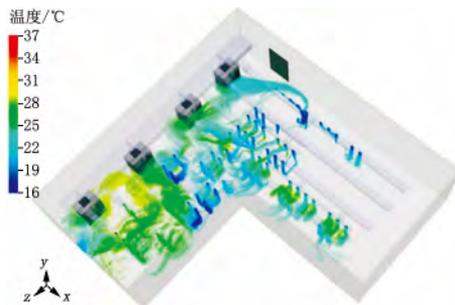


图 15 空调温度设定值为 25 °C 时送风气流组织

从图 14 可以看出,把 4 台空调机组的回风温度设定值提高到 25 °C 情况下,机房整体温度上升,大部分区域温度在 22~28 °C 之间,部分区域温度超过了 31 °C。从图 15 可以看出,回风温度设定值提高到 25 °C 后机柜进出风温度会随之提高,因此实际运行时不建议将回风温度设定值提高至 25 °C。

## 5 结论及建议

5.1 目前机房的制冷冗余量达到了 44.35%,从冷量配置的角度满足机房的散热需求。当 1 台空调机组出现故障时,冷量配置上也基本满足要求,实际运行与机房气流组织相关。机房整体冷负荷不大,分布相对分散,A 列机柜发热量最大,运行时应重点关注该区域的冷量供应。

5.2 通过对机房温度场及气流组织模拟分析,在设计条件下机房的整体温度在 21~24 °C 之间,控制良好。风管送风温度偏低,运行中存在结露的风险,建议关闭 1# 或 2# 空调机组,此

时空调冷量冗余量为 15.7%,完全能够安全运行。

5.3 采用风管精确送风,由于风管阻力偏大且设备进风口全封闭,当某台空调机组压缩机出现故障时该空调区域的设备进口温度很难保证,4# 空调机组的影响尤其明显。建议如果 1 台空调机组压缩机出现故障,在维修恢复前把该台机组关停掉,同时启用备用空调,这样可减轻故障对机柜散热的影响,机房整体有一定温升但仍在可控范围内。

5.4 如果把温度设定值从 22 °C 提高到 25 °C,机房整体温度随之升高,机柜进排风温度也会上升 2~3 °C,部分区域温度超过 31 °C,从安全性角度不建议这样做。

5.5 将 1 台空调机组停用作备用机组时,机房温度仍在可控范围内,比 4 台空调机组全部运行,其中 1 台空调机组压缩机发生故障的情况,不但温度场更均匀,而且风量也会减少。因此,可以把这 4 台空调进行群控,当 1 台空调机组出现故障或报警自动关机时启用备用机组,当回风温度超过设定值时,维修后的报警机组也投入运行。

#### 参考文献:

- [1] 高彩凤,于震,吴剑林. 典型数据机房热环境分析及气流组织优化[J]. 暖通空调,2013,43(9):101-106
- [2] 廖了. 大型计算机机房空调设计模拟研究[D]. 重庆:重庆大学,2013
- [3] 陈文博. 典型通讯机房空调精确送风方式研究[D]. 广州:广州大学,2012