

- 白皮书 -

数据中心制冷 最优方案

第2版，2008年4月



目录

引言	3
1 气流泄漏	3
2 风口地板：数量和开口因素.....	4
3 风口地板：采用带风量可调的风阀地板.....	4
4 风口地板：布置	4
5 采用盲板封闭机柜上未使用的单元以避免机柜内气流短路.....	5
6 气流送风原理	5
7 活动地板高度	7
8 回风条件	7
9 冷冻水系统供水条件	8
10 备用机组运行模式.....	9
11 采用具备最先进压缩机和风机技术的机房空调机组	9
12 采用由活动地板压力可控制的送风气流.....	10

引言

本白皮书归纳了当今数据中心制冷系统的最优方案。其中将介绍活动地板设计、冷热空气分离、风口地板和送风气流设计以及供水条件。集合这些最优方案的目的是设计和建造出尽可能高效率的数据中心制冷系统。

1. 气流泄漏

气流泄漏将导致效率明显降低，原因是送风气流没有从设备吸收足够的热量回到机房空调机组（空气回路变短）。空气以这种不必要的方式循环将浪费大量的风机功率。

解决措施：

- 封闭地板上所有不必要的开口
- 封闭机柜下方所有不必要的开口，即使对通过机房的正常气流采用风口地板，某些活动地板在机柜下方也会完全开放
- 封闭所有电缆用开口，例如在这些地方可能只有10%的开口面积用于电缆通过，而90%则直接开口，送风空气将泄漏到室内。
- 封闭靠近墙面的所有不必要的开口，并且需要对地板切口处进行密封。

采取上述措施的目标是形成一定程度的静压，如20 Pa，以实现向数据中心所有区域的均匀送风。采取正确尽可能降低不必要的气流泄漏量，这样可在活动地板下形成静压系统。如果此静压得以实现，则所有风口地板均将提供均匀的送风气流。

2. 风口地板：数量和开口因素

风口地板的数量必须符合a)设计和b)实际/真实总送风气流量。风口地板有其具体的特性，即在一定的的设计压力差(如20Pa)下，将可提供所需的风量。如果机房空调机组在20Pa的外部静压力下按照50,000m³/h(举例)设计，则风口地板的数量和设计风量必须等于总的设计风量。例如要安装20Pa静压下实现每块风口地板500m³/h的送风量，则需要100块。如果由于某种原因实际需要气流量降低，如30,000m³/h，则仍然必须实现20Pa的外部静压力，以确保机房内各处均匀的送风，风口地板的数量必须由100块减至60块。如果风量降至30,000m³/h仍布置100块风口地板，则将导致活动地板内静压力降低(根据风口地板特性)，如5Pa。这一较低的静压力将引发送风分配不均匀，最终造成某些区域制冷量不足。

3. 风口地板：带风量可调的风阀地板

采用整体带风量可调的风阀地板，可用于避免必须将风口地板更换为实心砖的情况。在这种情况下风口地板的数量可保持不变，但所有风阀开度都需要调整。还可通过多种调整方式来改变不同区域内的风量。将活动地板内的静压力保持在设计水平是很重要的。

4. 风口地板：布置

风口地板仅应被布置在真正需要冷风来对设备进行冷却的位置。不要在机房空调机组附近放置风口地板；风口地板与空调机组之间应保持至少2m的距离。机房空调机组附近的风口地板会吸入较热的机房内空气进入活动地板(负流量)，而不是由活动地板向室内送入冷风。这种情况发生的原因是在机房空调机组附近活动地板内这些区域的风速较高，相应的速度压力也较高而形成负压区。

5. 采用盲板封闭机柜上未使用的单元以避免机柜内气流短路

冷冻空气在机柜循环会导致服务器过热。空气总会流经阻力最小的路径，所以需要使用盲板来密封服务器被拆除或未安装的机柜缝隙，否则服务器的热排风将经过这些“缝隙”再回流到服务器的进风口。

措施：

- 使用盲板来封闭机柜内所有未使用的服务器槽。

6. 送风气流原理

• 传统方式

在机房内任何地方不可控制地布置风口地板。冷风将以不可控制的方式送至低密度设备。不可控制的气流再循环以及送风与回风混合情况将会发生。一个刀片中心的热排风可能进入邻排机柜的设备，由此导致设备过热。这种方式效率很低，现今不建议采用。

• 热通道、冷通道概念

各机柜将以面对面和背对背成排方式布置。仅有冷通道将被配以风口地板。热通道内没有风口地板。这一概念有助于在冷送风和热回风之间达到一定程度的隔离。但在机柜顶部以及排尾机柜仍会存在送风与回风混合。

- 热通道密闭

各机柜将以背对背成排方式布置。热通道将覆盖到机柜顶部及各排末端，并以管道引回机房空调机组，这样送风与回风之间实现了完全的隔离。冷风将被送至机房内，而机房本身将处于一个较低的温度水平。

- 冷通道密闭

各机柜将以面对面成排方式布置。冷通道将覆盖到机柜顶部及各排末端。送风与回风之间实现了完全的隔离。冷风将通过活动地板供至被密闭的冷通道内；热回风离开机柜进入机房，再返回机房空调机组。机房本身将处于一个较高的温度水平。

- 直接柜内送风、机房回风概念

机房空调机组的冷风直接从机组底部前方区域的活动地板进入机柜。热回风离开机柜直接进入室内。送风与回风之间实现了完全的隔离。机房本身将处于一个较高的温度水平。

- 机房送风、直接柜外回风概念

机房空调机组的冷风经机房进入机柜。热回风离开机柜，通过一个导管及吊顶直接返回机房空调机组。送风与回风之间实现了完全的隔离。机房本身将处于一个较低的温度水平。

- 机房空调机组与送风和回风侧机柜的紧密结合

机房空调机组的冷风经直接从底部前方区域的活动地板进入机柜。热回风离开机柜，通过一个导风管及吊顶直接返回机房空调机组。

送风与回风之间实现了完全的隔离。机房本身将处于一个较平均的温度水平。

- 通道隔离概念

根据热通道、冷通道概念，送风与回风之间的隔离将尽可能完整地实现，例如通过在机柜顶部与天花板之间安装导风板来最大程度减少送风与回风的混合。

送风气流原理归纳

这些不同原理的目的都是将来自机房空调机组的冷送风与返回机房空调机组的热回风进行隔离。这将使送风与回风之间温差增大，从而提高机房空调机组的效率，继而也提高数据中心的总体效率。如果每立方米的回流空气从IT设备吸收设计的热量，则可以达到最高的效率水平。

7. 活动地板高度

活动地板高度对于采用机房空调机组的制冷系统的空气循环效率有重大的影响。通常活动地板内包含电缆、管道和冷风。为了对机房内的所有区域提供适当的冷送风，需要有一定的无阻碍通风面积。所需的净高度取决于机房大小、热密度、所安装机房空调机组的数量和位置，以及取决于须经活动地板循环的总风量。一般的经验法则：活动地板高度越高越好。一间热密度为 1kW/m^2 、面积为 $1,000\text{m}^2$ 的机房需要约 $300,000\text{m}^3/\text{h}$ 的风量和活动地板净高度至少 500mm 。

8. 回风条件

传统的基于机房空调机组的制冷系统按照 22°C 至 24°C （有时甚至更低）的回风（由机房返回机房空调机组的热风）设计并运行。

由此，由机房空调机组经活动地板向室内提供的冷送风的温度约为14°C至16°C。以往当气流总体不受控制以及大量混合和旁路情况发生时，必须有较低的室温进行补偿。现在，在通过数据中心的气流越来越固定，而空气的混合、泄漏、旁路、再循环被降至最低限度的情况下，制冷系统可以在高得多的温度下工作。需要冷冻的服务器设备可以很容易地在20°C及更高的进风温度下工作，送风温度水平可以提高5°C至6°C，而30°C左右的回风温度也将成为惯例。在这些情况下，机房空调机组的工作效率要高得多，自由冷冻系统可在自由冷冻模式下的每年工作小时数可以大大增加。采用冷冻水机房空调机组可以很容易地实现这种更高的回风温度。采用压缩机的机房空调机组也可以在这些较高的回风温度下工作，但通常要降低机组风量，以确保制冷回路条件正常。

9. 冷冻水系统供水条件

冷冻水系统（数据中心的冷冻水机房空调机组和带有或不带自然冷却系统的室外冷冻水机）的入水温度（EWT）和出水温度（LWT）对效率和能耗有重大影响。

数据中心内的热负荷几乎全部是显冷负荷，只有少量与新风通风相关的潜冷负荷。因此，对于空调应用场合，离开冷冻机的冷冻水温度可以由通常的6°或7°提高到10°C甚至更高。这一点应该考虑到，因为不仅机房空调机组会提供显制冷量，室外冷冻机的效率也会提高。

对于设计应用低环境温度自然冷却的系统而言，冷冻水温度越高，可实现的自然冷却季节越长。在冷冻水自然冷却技术中，干冷器或配有整体式干冷盘管的冷冻机将与冷冻器蒸发器以管道串联，以便在外界环境温度较低时对冷冻水进行预冷却。冷冻水中将加入乙二醇溶液，以防干冷器盘管冻结，并控制干冷器的旁路，以便在外界环境温度较高且不再有自由冷冻源时防止干冷器对乙二醇 / 冷冻水进行预热。

设计者需要在冷冻器效率及自由冷冻效益与机房空调机组在冷冻水供应温度升高及引入乙二醇时冷冻容量的下降这两方面之间进行权衡。

10. 备用机组运行模式

风机法则规定，风量直接正比于风机转度，而风机功率则与风机转度的立方成正比。因此，以低速（风量）运行备用机房空调机组，总体风机功率可以大大降低。采用高效率EC风机可以根据备用运行、室内冷负荷或地板下静压力来实现对风机速度的自动控制。以较低速度运行包括备用机房空调机组在内的所有机组，要比关闭或顺序关闭备用机组的方式效率更高。这一技术还将实现更均匀且可预测的气流分配。

11. 采用先进压缩机和风机技术的机房空调机组

当今最先进的压缩机技术是涡旋技术，其能源效率比活塞式压缩机要高。而当今最先进的风机技术则是采用EC电机的无涡壳风机，其效率也比采用外部电机的离心式风机和采用交流电机的皮带或无涡壳风机高得多。在现代机房空调机组中，已不再建议采用EC风机之外其它任何型式的风机。采用速度受控的压缩机（以数字方式或采用变频器）经常被讨论；然而仅建议在可变负荷超过40%的小型机房内使用它，因为在大型机房中，多台压缩机的开、关控制更为节能。

12. 采用由活动地板压力可控制的送风气流

活动地板压力 (也称为ESP , 外部静压力) 是实现数据中心内节能型空气流动的一个关键参数。由此 , 只有真正需要的气流量输送到数据中心 , 这将节省机房空调组内风机的输入功率。传统数据中心按照约20Pa的ESP设计 , 旨在实现对室内任何区域的均匀送风。现实情况则不同 ; 该值通常变化小于10Pa的情况下 , 相应地会形成不均匀的气流分布。最新的设计采用了由活动地板压力可控制气流的送风方式。根据实测压力与期望值的差值 , 气流量将会变化来保持压力恒定。

这是在最新的EC风机技术支持下实现的。压力变化特别会在冷风经活动地板直接送入机柜的系统中发生。机柜内安装的服务器会根据其负载状态来改变其内部风机的速度。这种变化将导致机柜内服务器前方的压力变化 , 而该区域直接连接至活动地板。这种控制系统可以根据机柜内服务器的需求自动调整所需的总气流量。其它采用风口地板并配有活动地板压力控制气流的可调风阀的应用 , 则可通过改变风阀的开度来实现。实际的活动地板压力将有所改变 , 气流量也将会相应地调整 , 以保持压力恒定 , 确保机房内任何区域送风均匀。

关于作者 :

Benjamin Petschke是产品管理和销售支持总监。在攻读物理学之后 , Benjamin于1996年加入Stulz , 担任研发工程师。1997年他转至销售部 , 担任过多个不同职务。Benjamin Petschke专业进行涉及空调、节能和噪音问题的数据中心设计。

关于Stulz GmbH :

Stulz于1947年在德国创立 , 专业从事需要技术专长和企业灵活性的领域。这家家族企业有着30余年设计和建造数据中心空调系统的经验。作为一家真正的全球性企业 , Stulz目前在全世界100多个国家开展业务 , 在德国、美国、意大利、中国和印度设有生产基地。