

数据中心和网络机房的加湿策略

第 58 号白皮书

版本 2

作者 Tony Evans

> 摘要

IT 环境内的湿度控制是实现高可用性的基本条件。本白皮书解释了湿度如何对设备产生影响以及相应的湿度控制措施。同时，还就现有和新建数据中心的量化设计方案进行探讨；阐述达到所需湿度的可选方法并进行对照比较；解释湿度测量方式和测量位置的有关难点；并且阐明了过度加湿所造成的隐藏成本。

目录

点击内容即可跳转至具体章节

简介	2
IT 机房环境湿度的特性	2
IT 设备和环境湿度指引	4
湿度的测量	4
湿度的控制	6
优化成本的真实案例	8
结论	9
资源	10
附录	11

简介

空气无处不在，所有事物，包括数据中心内的每台设备，和居住在地球上的人都处于空气的包围中。这一事实对人类来说普遍认为是一件好事，但是在某些特定环境下，IT 设备周围的空气可能对内置电子元件产生不利影响并导致故障和宕机。空气中所含的水蒸气可以保护 IT 设备免受静电释放的危害。依靠精密制冷解决方案来保持计算机房或数据中心内的湿度水平并不能保证 IT 设备进风口总是在恰当湿度。本白皮书解释了湿度的特性，它的作用以及如何管理计算机房和数据中心内的湿度水平。经过培训的专业 IT 人员可以运用所掌握的数据中心湿度相关知识提高设备可用性的同时，还可以降低运营成本。

IT 机房环境湿度的特性

空气由多种气体组成，包括氮气（78%），氧气（21%），二氧化碳（0.3%）以及水蒸气。空气中含水蒸气的能力被称为湿度。在 IT 环境中，水蒸气含量恰当的空气对实现计算设备的可用性最大化有着非常重要的作用。空气中的水蒸气含量太少或太多都会直接导致运算能力下降以及设备宕机。

如何量化湿度

通常情况下，空气中的含水量其实非常少。正常数据中心内的一磅空气（空气可称重）可占据 0.385 立方米（13.6 立方英尺）的空间并且包含大约 4.22 毫升（1/7 盎司）的水。比如，一个大小为 9.1 米 x 6.09 米（30 英尺 x 20 英尺）并且吊顶高度为 3.04 米（10 英尺）的小型数据中心内的空气，在正常情况下，将含有 1863 毫升（63 盎司）的水蒸气。但是，在这一空气容量下的含水量并不是固定的。随着空气温度的升高，空气将有能力包含越来越多的水蒸气。反之，随着空气温度的下降，空气内的含水的能力也会随之下降。

IT 人员应当熟悉两个关键词。第一个词是，相对湿度（也称为“RH”），它以 0% 至 100% 之间的百分比数值进行表达，代表在一定温度下空气中的实际含水量与空气所能承载的最大含水量之间的百分比值。以前文段落中所描述的小型数据中心为例，如果温度为 23 °C（73°F），空气中含有 1863 毫升（63 盎司）的水蒸气即表明其相对湿度 50%。如果相对湿度为 0，则表示不含有水蒸气。如果相对湿度为 100%，则表明空气中的水蒸气含量已经饱和。

第二个词是，露点温度。它以温度作为表达形式。露点温度是水蒸气脱离空气并以液态水的形式出现时的温度。比如，在炎热的夏天，装有冰水的易拉罐表面上会凝结出水珠。之所以会产生这种现象是因为冰水使周围空气的温度下降到了空气的露点温度以下。在新的较低温度下，空气内的含水量超出了它的承载能力，多余的水蒸气就从空气中脱离，在易拉罐上形成水珠。在我们前面举例的小型数据中心内，任何可以将周围空气的温度降至 12 °C（54°F）以下的物体（包括 IT 设备）都可以使水从空气中析出，凝结成水珠。

相对湿度和露点是两个相互关联的术语。事实上，在给定温度下，空气的露点会随空气的相对湿度升高而升高。当空气达到 100% 相对湿度时，空气的露点将等于空气的实际温度，这时我们认为空气已经达到饱和状态。

湿度在 IT 环境内的影响

在 IT 机房或数据中心内，如果湿度保持在恰当水平将会发挥有益作用，而如果湿度过高或过低，则会导致潜在问题。将湿度保持在恰当水平的最大好处是它可以让空气本身稍微提高导电性并让空气的接触面略微“湿润”从而可以减少可能导致静电释放的“电荷”效应。由于空气的导电性得到少许提高，正负电荷差可能导致损坏计算设备¹的释电（10,000 伏以上电火花）的可能性也随之变小。低湿度冷空气在数据中心内流动是导致静电的潜在危险源。冷空气每次流过未接地的

¹近期研究显示相对湿度升高时静电电荷会相应减少的结论并不一定准确。该研究认为任何条件下所产生的电荷数量都是相同的，并且当相对湿度升高时水分子表面形成的保温层才是阻止静电释放的原因。这一结论并不支持表 1 中所列的数据。但是，无论哪种结论都认为空气中的含水量增加会对静电释放产生限制作用。

保温层时都必须保持在恰当的湿度水平。日常工作活动在不同相对湿度的水平下产生的静电积累也不同，详情可参见以下表 1。

表 1

不同相对湿度下的静电积累比较

工作活动	80%相对湿度下的静电积累	20%相对湿度下的静电积累
走过未接地的高架地板	250 伏	12,000 伏
走过人造地毯	1,500 伏	35,000 伏

250 伏静电和 1500 伏静电对计算设备不会产生威胁。12,000 伏和 35,000 伏则可能释放电火花并损坏设备。IT 环境内相对湿度水平较高时，可以进一步降低静电释放的可能性。但是这并不是我们所需要的理想条件，因为它会增加金属元件发生腐蚀的可能性。同时，高相对湿度还会增加设备遭受水渍损失的风险。这就是为什么大部分 IT 设备的说明书中都将可接受的湿度范围定为“非凝结湿度”的原因。

实质上，设备制造商想表达的是只要设备本身的温度以及周围环境的温度保持在露点温度以上，他们的设备将在一定湿度范围（一般是 20-80% 的相对湿度）内正常运行。该温度就是空气中的水蒸气开始在设备上凝结成水珠的温度，就像前面我们所举的易拉罐的例子一样。高相对湿度以及温度快速变化的环境最容易出现湿度凝结。如果存在高速打印操作的 IT 环境内的湿度超过上限，打印纸就会膨胀，厚度也会增加，并导致卡纸以及运行故障。

IT 环境内湿度会发生变化的原因

渗透，凝结和通风都会导致 IT 环境的湿度变化。加湿器可以增加水蒸气，除湿器可以移除水蒸气。它们一起运用则可以帮助将 IT 环境内的湿度维持在一定水平。

渗透-如果我们可以将高湿度空气与低湿度空气相邻摆放，两者将会迅速中和到一个中间湿度水平。当计算机房与其周围的室外或办公室内的空气湿度不同时，这些空间的湿度水平会不断“尝试”达到统一。显然，IT 环境四周的墙壁、地板和吊顶应当会阻止这种“尝试”，但是大多数情况下它们不会成功。水蒸气可以从任何空隙面或细微的裂缝处逃逸或进入，从而改变 IT 环境内的相对湿度。

渗透导致湿度增加的数量或减少的数量取决于过流面积的大小和空间之间的湿度和温度差值。比如，我们假设第 3 页上所述的小型数据中心（温度在 23°C 或 73°F，相对湿度为 50%）处于气温在 2°C（35°F）且相对湿度为 30% 的外部环境中。如果我们打开位于机房和室外环境之间的一扇很普通的门（比如，紧急出口门），室内的相对湿度几乎立即会降至 50% 以下。在 12 分钟内，室内的相对湿度将低于建议的最小值 40%（假设室内没有补充加湿装置）。如果数据中心配置了补充加湿装置且该门保持打开，我们每小时将损失 2.76 千克（6.1 磅）的水。渗透问题要求我们提供额外的设备来调节湿度水平，而在某些严重情况下，可能根本无法调节。

凝结-在某些情况下，IT 环境的制冷过程可能带走大量水蒸气，从而导致相对湿度较低。当数据中心的热风通过机房空调的冷却盘管时就会出现这种现象。大多数冷却盘管温度都会恒定保持在 6—9°C（43—48°F）。这个温度通常低于 IT 环境内空气的露点，因此正如前面所述的易拉罐表面凝结出水珠一样，冷却盘管上也会出现凝结的水珠。

大量气流（针对每千瓦计算设备每分钟超过 4.5 立方米/160 立方英尺）会高速流过冷却盘管。如果空气与冷却盘管接触的时间足以使其冷却到露点以下，冷却盘管上就会出现液态水，称作“冷凝水”。制冷设备内的泵会将冷凝水移出 IT 环境并送入建筑的排水系统。加湿器的作用是将所需的水蒸气添加到制冷设备的气流中。加湿器是机房空调中非常常见的配件，我们将在本白皮书的“湿度控制”章节中详细说明。

通风-所有建筑必须不断引入室外新风以便为建筑内的人员供氧。送入计算机房和数据中心的新风被称为“补充空气”并且会对相对湿度产生影响。所需新风的数量在房间的设计阶段即已决定并且根据房间的具体目标用途、房间内可能存在的人员数量以及施工阶段的有效法律进行计算。由于通风所引起的 IT 环境湿度变化根据房间内所引起的室外空气数量以及建筑所处的地理环境而各有不同。在干冷气候或沙漠地区引入的通风通常会降低湿度。而在温暖气候或雨季引入的通风则会增加湿度。所需的通风量一般为已知量并且在制冷解决方案中已作规划。本白皮书将在后文中对通风问题做进一步的探讨。

IT 设备和环境湿度指引

大多数设备制造商都会公布计算设备的湿度说明。数据中心和计算机房的说明由 ASHRAE（美国采暖、制冷和空调工程师学会）发布。标准说明请参见表 2。

表 2

IT 设备，计算机房和数据中心湿度的指引

设备或房间类型	允许的相对湿度范围	建议的相对湿度范围	最大露点
常见 IT 设备	20% - 80%	参见产品说明	不适用
配线间	20% - 80%	40% - 55%	21° C (70° F)
计算机房和数据中心	20% - 80%	40% - 55%	17° C (63° F)

最大露点温度用于为减少 IT 环境在温度快速变化时出现凝结湿度的可能性提供参考标准。

湿度的测量

最需要保持适当相对湿度的位置是 IT 设备上的冷风进风口。IT 制造商所公布的设备可接受温度和湿度范围以进风口的读数为基础。大多数计算设备都是前面进风，后面出风，参见图 1。需要注意的是，服务器排出的空气，其温度较高且湿度较低，但是露点没有改变。这是因为服务器所产生热量提高了冷风的温度，但是不能改变空气中的水分含量。本白皮书将在后文中详细介绍通过设定单一露点来控制数据中心湿度的理念。

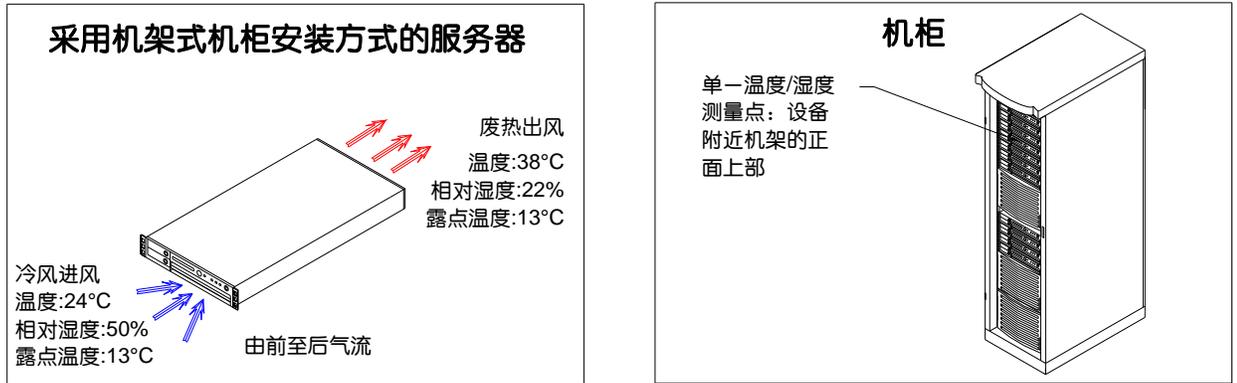
IT 设备背部废热出风口的湿度水平不要求进行测量，它也不会对设备的可用性造成影响。因为对每台设备都进行测量通常是不现实的，针对使用机柜的环境来讲，可接受的最低限度是监控邻近计算设备的机柜前门内距机柜顶部 1/3 处的湿度。这是设备进风口最可能出现破坏性低湿度条件的高度。同时这也是监控进风口温度的最佳位置，参见图 1。在测量前，应确保盲板已经安装在必要位置并且机架内由后至前的气流已控制在最低水平。详情请参见第 44 号白皮书《利用气流管理盲板改善机架冷却效果》。



资源链接
第 44 号白皮书

利用气流管理盲板改善机架冷却效果方案

图 1
服务器气流和机架式机柜测量点



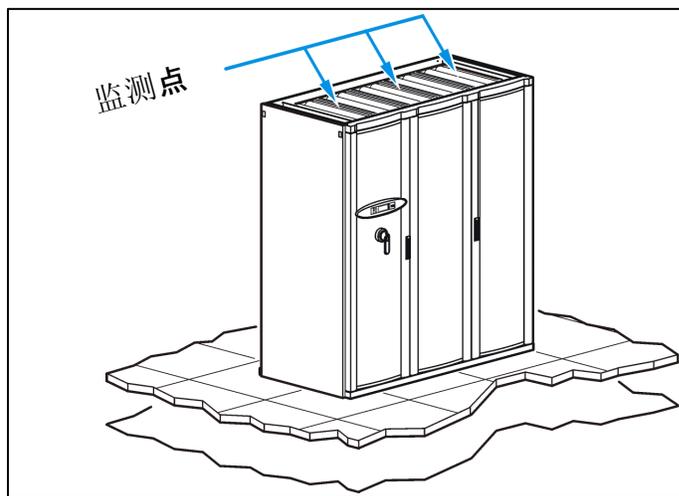
将温湿度传感器接入正在使用的操作和控制系统可以监控湿度条件并在湿度条件超限时发出预警 (图 2)。许多手持式监控设备都可用于抽查房间内任何位置的温度和相对湿度。

图 2
常见的气温和湿度测量装置



大部分机房空调和空气处理单元会在数据中心气流从 IT 环境内返回空调机组时测量其湿度水平。图 3 显示的是下送风机组的监控点。该数据将用于控制加湿器的操作 (如果空调机组内安装有加湿器的话)。在大多数精密制冷设备的标准用户界面上都可根据要求提供相对湿度的读数。

图 3
制冷系统回风湿度监控



湿度的控制

控制 IT 环境内湿度的最佳办法是将导致湿度水平变化的变量最小化，同时将用于调节湿度的系统性能最大化。

最小化影响 IT 环境湿度的外部因素

尽量减少渗透可以保护 IT 环境免受复发性湿度控制问题的困扰，并且防止外部气候发生变化时该问题更加恶化。在计算机房和数据中心新建或翻修时铺设防潮层可以有效控制渗透。防潮层可以是用于房间的墙壁、吊顶和地面的特殊无孔薄膜、涂层、填料或其它施工材料。它围绕在 IT 环境周围以便尽量减少室外环境变化对室内湿度的影响（增加或减少）。

与常规办公空间相比，数据中心内的工作人数相对较少。因此，用于通风目的的室外空气量通常也比较小并且应由制冷专业人员在做房间设计时即进行规划。由办公空间改造的 IT 机房且保留建筑空调系统用于通风的情况尤其具有挑战性，同时也伴随特殊的好处。好处就是通风所需的室外空气在进入 IT 机房前已经经过建筑温度控制系统的处理，拥有恰当的温度和湿度。

挑战是为了确保常规办公空间的空气（办公室现在已经改造成服务器机房）不会干扰到机房内额外精密制冷设备的运行。比如，如果从建筑通风系统进入机房内的空气比机房空调的设定值温度更高或相对湿度不吻合，空调的部分容量将被用于制冷或改变空气的湿度以达到所需水平。同时采用建筑制冷系统和精密制冷系统的计算机房，如果存在温度和湿度问题，应进行详细的分析以便诊断故障并找出优化方案。最好安排专业制冷人员协助解决此类问题。

最大化湿度调节系统的性能

加湿器被用于增加空气中的含水量。实际上，它们存在于所有数据中心里，有时它们几乎是在不间断的运行。它们通常被安装在精密制冷系统中，但是也可以独立中央系统的形式运行。安装在机房空调内的加湿器在空气离开制冷机组前可以弥补因冷凝而损失的水分。

中央加湿系统提供的水蒸气必须扩散到整个 IT 环境。这种同化过程发生得很快，并且大多数情况下，冷风在进入 IT 设备前已经得到恰当的加湿。在冷/热风混合较少或配备完善送风或回风管道系统的环境中，制冷机组内的冷凝现象非常少甚至可以完全消除。这时，至于各个制冷机组内的加湿器数量可相应减少或无需配备，从而降低投资成本、运营成本和维护成本。恰当的空气管理措施将有助于提高中央加湿效果。

安装在机房空调内的加湿系统主要分为三种：

- **蒸汽加湿器**将液态水引入一个含有电极的容器内。当电极通电时，水被煮沸，产生蒸汽（水蒸气）。蒸汽通过管子送入需要被加湿的气流中。
- **红外加湿器**在开敞的水盘上悬挂石英灯。高亮度红外灯使水面释放出水蒸气，并扩散到需要加湿的气流中。
- **超声波加湿器**能够快速振动水，使之形成雾气，然后导入需要加湿的气流中。

以上三种设计都能有效加湿 IT 环境。蒸汽加湿器和红外加湿器比超声波加湿器的耗电量更大。但超声波加湿器的购置价格更高一些，因为它们需要配置反渗透净水系统来供水（较小的系统有时可使用去离子水）。三种系统都需要接受维护。蒸汽加湿器必须清洁或更换，红外系统需要清洁和更换灯管。超声波系统需要更换传感器，并且它们配置的反渗透净水系统尤其需要仔细维护。超声波系统所使用的水如果含有杂质，如果程序不当，这些杂质就会沉淀到计算设备内部。

最新的蒸汽加湿器设计可以按照需求精确控制所产生的蒸汽量，并且能够补偿电极污染。这样湿度就能得到更好的控制，耗电量更低，维护需求也更少。关于三种加湿器的相关成本比较，请参见表 3。

加湿器类型	投资成本	运营成本	维护成本
蒸汽加湿器	低	高	低
红外加湿器	低	高	低
超声波加湿器	高	低	高

表 3

加湿器的特性

影响制冷系统所移除水量的两个因素是空气返回到制冷系统的温度以及制冷系统本身的设计。空气管理措施必须尽量减少 IT 环境内热风 and 冷风的混合几率，防止冷风完全绕过 IT 设备。当之前已冷却的空气“短路”重新进入机房空调时，它会被降至所需温度以下。也就是说，当空气重复通过冷却盘管时，会逐步失去越来越多的水蒸气，从而导致过度凝结。这种不良现象的发生有多种原因：

- 空调机组将大部分可用的制冷容量用于移除过量的水，而实际上这些容量本来可以用于冷却 IT 设备。
- 加湿器被强制在全负荷下运行，浪费电力。
- 绕回机房空调的“短路”冷风“欺骗”空调降低制冷容量，因为空调会认为机房内的制冷需求已经得到满足。

所有这些因素都会浪费能源并且对计算设备存在热损风险，因为缺少冷气流。在这种情况下，降低空调的温度设定值对室内温度并不会产生作用，并且甚至会提高冷却盘管的冷凝量。这种破坏性的现象可以通过在 IT 环境内采取恰当空气管理措施予以避免。关于这方面的详情，请参见第 55 号白皮书《关键设备的空调结构选择方案》。

精密制冷机组本身的设计也决定着正常运行状况下的冷凝量。空调移除的水分量取决于空调冷却盘管的尺寸、冷却盘管的温度以及气流通过冷却盘管的风速。衡量精密制冷机组除热不除湿的能力的方法是查看空调机组的显热比。“1”代表空气中没有水分通过凝结而被移除。这个数字（或者它的计算信息）可在制冷系统制造商提供的技术数据中找到。显热比是制冷系统效率的重要指标，一般都会包含在说明书中。显热比的数值越接近“1”对 IT 环境来说越有利。

机房空调也可通过提供冷凝量来有意对 IT 环境除湿。降低冷却盘管温度，减慢通过冷却盘管的气流风速，或者缩小冷却盘管的尺寸都能达到这一目的。在这些情况下，从冷却盘管流出的空气比正常状况下的温度更低，并且有更多水分因凝结而被移除。

机房空调采用由电力、蒸汽、热水或热气（来自压缩机的热制冷剂）加热的额外盘管（如有）将现有气流重新加热到正常出风温度的水平。这种重新加热的过程会进一步对空气除湿。一些系统通过在空气排出精密制冷系统前将少量来自 IT 环境的热风与已除湿的冷风混合的方式协助完成再加热过程。在大多数气候条件下，针对性除湿只是偶尔进行，并且通常发生在雨季。频繁或连续进行除湿的情况一般只有在出现严重渗透（潮湿天气时）或机房内的其它空调出现过度加湿时才会发生。

IT 环境湿度的露点控制

通过保持露点温度来控制 IT 环境湿度的方法比保持相对湿度的方法更加具有成本效益。因为空气升温时，需要增加更多水分才能维持相同的相对湿度。比如，温度为 32 °C (90°F) 且相对湿度为 50% 的空气所含的水分比温度为 21 °C (70°F) 且相对湿度为 50%（在海平面上）空气多 96%（以重量计）。如果返回到同一房间内的两台空调机组（相对湿度设定相同）的空气温度不同，相比温度较低的回风，加湿器需要对温度较高的回风添加更多的水分。



资源链接

第 55 号白皮书

关键设备的空调结构选择方案

当一个房间内含有多台机房空调且需要保持相同相对湿度时，它们之间各自不同的加湿需求最终将导致一台或多台空调进入除湿模式。其它空调会探测到湿度下降，并且增加自己的加湿量来进行补偿。在一个含有多台空调机组且未受监控的房间里，很可能一半的空调在进行加湿，而另一半的空调在除湿。这种情况被称为“需求冲突”，并且是导致 IT 环境内过度能耗的主因之一。

IT 环境湿度的露点控制能够在很大程度上减少“需求冲突”的出现频率。这是因为 IT 环境内的空气温度升高时，其露点将保持不变。比如，计算设备内温度为 32 °C (90°F) 的空气与计算机内温度为 21 °C (70°F) 的空气拥有相同的露点。对于任何露点温度来说，相对湿度和测得的空气温度总是相互关联。当多台机房空调通过露点来保持湿度时，回风温度的差异将不会导致不同空调机组分别出现过度加湿或过度除湿。所有制冷机组都将基于每千克通过空调机组的空气所需的实际水分来保持湿度。消除数据中心内的需求冲突将极大提高制冷系统的效率。

优化成本的实际案例

湿度设定值如果高于 IT 设备的需求值将会降低空调机组的除热能力并且浪费电力。加湿器必须向通过空调机组的气流添加不必要的水分。在一个常规数据中心里，这可能会导致每年浪费数千升的水。此外，蒸汽加湿器和红外加湿器本身也是机房空调需要移除的重要热源，这时就会消耗更多的空调整冷容量。如果数据中心内存在大量冷热风混合的状况，情况将会更加糟糕，温度较低的空调回风相比于温度较高的未混合回风在制冷过程中会损失更多的水分。因此，应注意数据中心的湿度水平不要超过建议的最小值。

一些数据中心内还配有高速打印机。这些打印机可产生大量静电电荷。为了控制静电释放，相对湿度应保持在 50% 左右，有时甚至更高。但是，对于没有配置高速打印机的数据中心，40% 的相对湿度已经足以控制静电电荷。以 40% 作为最小相对湿度而不是 45% 或 50% 相对湿度下运行数据中心可以节省大量水和电能。出于效率和成本节省的考虑，系统应在较低的相对湿度设计参数下运行。将建议的相对湿度适用范围的下限值稍微调低就可能对除热能力产生重大影响并且减少加湿器的工作时间。

表 4 中所示为对一台具备为 IT 设备提供 50 kW 制冷量的乙二醇制冷型机房空调的分析数据（具体规格和假设条件，请参见附录）

表 4

较低相对湿度设定值对节省加湿成本的影响

温度 22° C (72° F)		
相对湿度设定量	50%	45%
制冷量 -kW (Btu/hr)		
总制冷量	48.6 (166,000)	49.9 (170,000)
总显热 (温度变化) 量	45.3 (155,000)	49.9 (170,000)
加湿需求		
总潜热 (除湿) 量 kW (Btu/hr)	3.2 (11,000)	0.0 (0,000)
千克/小时加湿需求量 - btu/2387 (kW/.6978)	4.61	0
加湿器工作时间	100.0%	0.0%
加湿所需的功率	3.2	0
年度加湿成本 (每千瓦成本 x 8760 x 所需千瓦数)	\$2,242.56	\$0.00

本示例假设施工技术能够将湿度渗透降至最低水平，空气和湿度管理措施能够有效降低运行资本。**表 4** 中 45% 列所显示的是机房空调用于 IT 设备制冷的全部容量。由于没有过度除湿，因此也不需要增加额外的水分。这种配置让 IT 和设备专业人员能够尽量多得帮助 IT 设备除热，同时又能尽量降低运营成本。

结论

用于 IT 设备制冷的空气的含水量一方面可以帮助确保 IT 设备的可用性，另一方面也可能是导致 IT 设备故障的直接原因。湿度管理程序和冷风管理程序之间相互独立。空气除湿会降低 IT 除热能力。空气加湿则会消耗资金。两者均只有在确实有需要时才应采用。IT 环境的有效湿度控制最好应作为整个 IT 环境策略的一部分进行考虑，包括优化空气管理，规划 IT 负载以及将渗透减少到最低程度。



关于作者

Tony Evans 是施耐德电气的资深工程师。Tony 在供电和制冷系统设计领域拥有 14 年的丰富经验，而且是美国采暖制冷空调工程师学会（ASHRAE）TC9.9 技术委员会（任务关键设施，科技空间和电子设备）的成员。



点击图标打开相应
参考资源链接



利用气流管理盲板改善机架冷却效果

第 44 号白皮书



关键设备的空调结构选择方案

第 55 号白皮书



浏览所有 白皮书

whitepapers.apc.com



浏览所有 TradeOff Tools™ 权衡工具

tools.apc.com



联系我们

关于本白皮书内容的反馈和建议请联系：

数据中心科研中心

DCSC@Schneider-Electric.com

如果您作为我们的客户需要咨询数据中心项目相关信息：

请与所在地区或行业的 **施耐德电气** 销售代表联系，或登陆：

www.apc.com/support/contact/index.cfm

附录： 表 4 的假设条件 和规格说明

表 4 中的两种加湿成本节省范例情况均基于以下假设条件：

- 50 kW 的 IT 电力负载产生约 50 kW 的散热量
- 返回机房空调进风口的回风温度为 22°C (72° F)
- 运行 1 年 (7x24 全天候) 等于 8,760 小时
- 机房空调机组的体积流量为 9,000 CFM (4,245 L/s)
- 数据中心需要通风, 但出于简化目的, 在本范例中将数据中心假设为完全密闭的环境 - 无渗透/无通风
- 每千瓦时的成本假设为 0.08 美元 (美国)
- 机房空调机组的技术规格基于 APC FM50:
- 标准下送风式机组
- 乙二醇制冷型机组 (无多效制冷 (multi-cool) 装置或节能冷却模式)
- 蒸汽电极加热器 (塑料容器型, 可根据水的导电性自动调节水位)
- 加湿器的加湿能力为 4.5 千克/小时
- 加湿器的耗电量为 3.2 kW
- 电压为 208 V