

# 针对数据中心的气体与颗粒 污染物指南

美国采暖、制冷与空调工程师协会 (ASHRAE) 技术委员会 (TC) 白皮书 9.9  
任务关键型设施、技术空间和电子设备

这本有关数据中心空气污染物的 ASHRAR 白皮书由 TC 9.9 委员会的成员编写，其中包括以下 IT 设备制造商：AMD、Cisco、Cray、Dell、EMC、Hitachi、HP、IBM、Intel、Seagate、SGI 和 Sun。

## 执行摘要

ASHRAR TC 9.9 委员会最近出版了 2008 ASHRAE 数据通信设备环境指南，该指南扩大了温湿度范围，从而增强了数据中心设施操作的灵活性，其主要目的是减少能耗。该指南所推荐的温度范围为 18°C (64.4°F) 到 27°C (80.6°F)。湿度也被限制在 60% 以内，而露点温度的下限和上限则分别为 5.5°C (41.9°F) 和 15°C (59°F)。

最近，大量的相关出版物指出，在含硫气体较高的数据中心中，硬件故障率有所上升。因此，本白皮书有必要提出以下建议：除了控制温湿度以外，还应对粉尘与气体污染物进行监控。对于地处工厂和/或其他环境污染源附近的数据中心而言，这些额外的环境措施尤其重要。

空气污染物对数据中心设备造成的影响主要分为三类：化学影响、机械影响和电学影响。电路板中的铜蠕变腐蚀和小型表面安装组件中的镀银腐蚀是两种常见的化学故障。机械影响包括散热片污染、光信号干扰、摩擦力增大等。电学影响包括电路阻抗和电弧的变化等。请注意，缩小电路板功能部件的尺寸并实现组件的小型化是改善硬件性能的必要条件，但是也会使硬件更易受到数据中心环境中的污染物的影响。制造商们一直致力于在不断缩小功能部件尺寸的同时维持硬件的可靠性，却又无需采取额外的高成本措施来加强所有的 IT 设备。他们的大多数 IT 设备都并非安装在腐蚀性环境中，腐蚀性环境会使设备面临更高的故障风险。

大多数数据中心都是精心设计而成的，且都位于相对清洁的环境中，其中的大多数污染物都是无害的。大多数数据中心都不会接触到会导致硬件发生故障的颗粒或气体污染物。本书主要针对少数的数据中心编写而成，这些数据中心可能会因户外颗粒和/或气体污染物的进入而处于有害环境中。少数情况下，污染物可能形成于数据中心内部。

通过监控数据中心的粉尘和气体污染物来维持硬件的可靠性，这是数据中心管理员的职责。数据中心的清洁程度必须达到 ISO 14644-1 8 级的标准。一般而言，只要采用以下所列的相应过滤方案，就能达到这样的清洁级别：

1. 可按 ANSI/ASHRAE 标准 127-2007 “Method of Testing for Rating Computer and Data Processing Room Unitary Air Conditioners” 中的建议，使用 MERV 8 过滤器不断地过滤室内空气。
2. 可按标题为 “Particulate and Gaseous Contamination in Datacom Environments” 的 ASHRAE 书籍中的建议，使用 MERV 11 或 MERV 13 过滤器过滤进入数据中心的空气。

应当减少数据中心内部的粉尘源。气体污染物应符合已修改的 ANSI/ISA-71.04-1985 安全级别 G1，以满足以下条件：

1. 铜反应率低于 300C/月，而且
2. 银反应率低于 300C/月。

对于含有大量气体污染物的数据中心，强烈建议对进入数据中心的空气及数据中心内部的空气进行气相过滤。

要维持 IT 设备的高度可靠性，并避免保修范围以外的硬件更换成本，请遵守此处所列的要求，这一点至关重要。

## 简介

本白皮书旨在描述控制数据中心空气污染物（颗粒和气体）的必要性，并指定了建议的可接受限值。

由于晶体管的尺寸不断缩小，而且电信号为完成指定任务而必须传递的距离也在日渐缩短，因此计算机的性能正在不断提高。于是便产生了这样的最终结果：所有电子组件都朝着小型化发展，而且它们的封装密度也越来越大，这对硬件可靠性造成了以下不利影响：

- 单位体积的热负荷增大，因此需要更多气流，以使硬件温度保持在可接受的限值范围内。气流的增加使电子设备更易受到堆积粉尘的不利影响，还会带来更多的气体污染物。
- 较大的封装密度不能始终确保组件的密封性，从而使电子设备更易受到湿气、粉尘和气体污染物的不利影响。
- 电压各异的印刷电路板功能部件之间的距离越来越小，这加大了粉尘与气体引发离子迁移从而导致电路短路的可能性。
- 由于各组件的功能部件的大小越来越接近腐蚀产物，因此这些组件变得更易受到腐蚀的不良影响。

最近，大量的相关出版物（Reid 2007；Cullen 2004；Veale；Sahu 2007；Schueller 2007；Hillman；Xu；Mazurkiewicz 2006）指出，在含有大量含硫气体的数据中心中，硬件故障率有所上升。因此，本白皮书有必要提出以下建议：除了控制温湿度以外，还应对粉尘与气体污染物进行监控。要减少最近最常见的两种故障（电路板中的铜蠕变腐蚀和小型表面安装组件中的镀银腐蚀），就需要采取这些附加的环境措施：

1. 最新的文献已对电路板中的铜蠕变腐蚀作了相关报告（Cullen 2004；Mazurkiewicz 2006；Mukadam 2006；Scheller 2007；Xu 2007）。易发生铜蠕变腐蚀的两种常见电路板类型为沉银板（ImAg）和使用有机保焊剂（OSP）技术的电路板。含硫气体和湿气能够腐蚀电路板上所有暴露在外的镀铜。所生成的腐蚀产物（硫化铜）能够引起电路板蠕变，并会造成临近的相隔功能部件短路。
2. 一些最新的文献已对含银的小型表面安装组件的腐蚀作了相关报告（Hillman；Reid 2007）。含硫气体即使在干燥情况下也能腐蚀银，并生成硫化银腐蚀产物；硫化银大量聚集后会产生机械压力，从而破坏封装的完整性。封装的完整性受到破坏后，下层的银会暴露在外，发生进一步的腐蚀，直到部件中的所有银全都耗尽，最终导致断路。如图 1 所示，在低倍显微镜下，硬件故障区域的硫化银腐蚀产物常呈针状或结核状。

请注意，缩小电路板功能部件的尺寸并实现组件的小型化是改善硬件性能的必要条件，但是也会使硬件更易受到数据中心环境中的腐蚀颗粒和气体的侵袭。制造商们一直致力于维持不断缩小的硬件的可靠性。因此，有必要控制数据中心的空气污染物并指定其建议的可接受限值，这已成为确保 IT 设备持续可靠运行的关键所在。

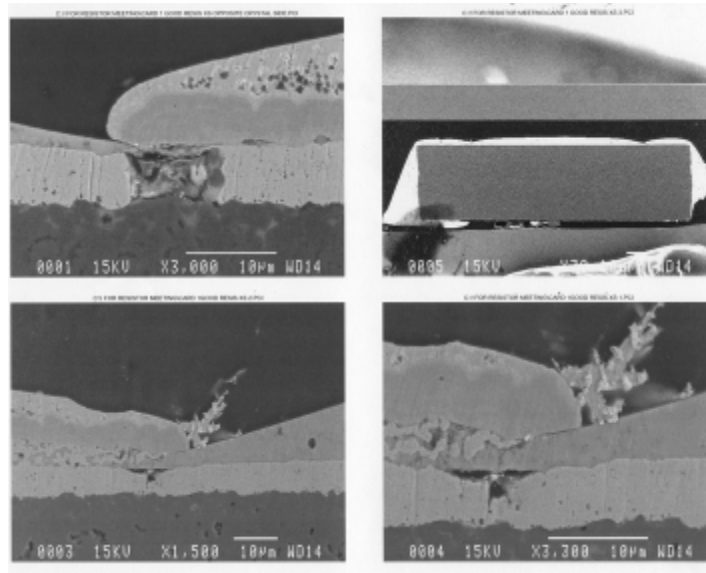


图 1：示例 — 在含有大量含硫气体的环境中，组件上的镀银被腐蚀并形成了硫化银“花朵”，从而造成组件故障。

## 空气粉尘

由粉尘引起的故障包括（但不局限于）以下几种（ASHRAE 2009a）：

- 机械影响：这些影响包括阻碍冷却气流、干扰移动部件、磨损、光干涉、互联干扰、表面变形（例如，磁性媒体）以及其他的类似影响。
- 化学影响：落在印刷电路板上的粉尘会导致组件腐蚀和/或临近的相隔功能部件短路。
- 电学影响：这些影响包括阻抗变化和电子电路导体发生桥接。

粉尘无处不在。即便采取最好的过滤措施，数据中心内还是会有粉尘，这些粉尘会落在电子硬件上。幸运的是，大多数粉尘都是无害的。只有在少数情况下，粉尘才会侵蚀电子硬件。

一般而言，数据中心内的有害粉尘中均含有大量离子，比如氯盐。这些有害粉尘主要来自直径为 2.5-15  $\mu\text{m}$  的室外粗尘以及直径为 0.1-2.5  $\mu\text{m}$  的室外微尘（Comizzoli 1993）。粗尘颗粒中包含各种矿物性和生物性污染物（大多是因风蚀而形成的），可在空气中停留数日。微尘颗粒一般是由矿物燃料燃烧以及火山活动所形成的，可在空气中停留数年。各种巨大的盐水体也是数据中心空气粉尘污染物的一个主要来源。沿海地区的强风可将海盐向内陆方向吹进 10 公里（6 英里）或者更远，而这些海盐能够毁坏这一范围内的电子设备（Bennett 1969; Crossland 1973）。

从环境中吸收湿气是粉尘损害印刷电路板可靠性的途径之一。湿尘中的离子污染物会降低印刷电路板表面的绝缘阻抗，更糟糕的是，它们还会通过离子迁移导致临近的相隔功能部件短路。

图 2 是一个印刷电路板上停留的粉尘导致铜腐蚀的示例。

潮解相对湿度是指，粉尘吸收足够的水分变湿从而导致腐蚀和/或离子迁移时的相对湿度，这一湿度决定了粉尘的腐蚀性。当粉尘的潮解相对湿度高于数据中心的相对湿度时，粉尘处于干燥状态，不会造成腐蚀或者离子迁移。然而，在少数情况下，当粉尘的潮解相对湿度低于数据中心的相对湿度时，粉尘就会吸收湿气而变湿并导致腐蚀和/或离子迁移，从而降低硬件可靠性。Comizzoli 等人在 1993 年所进行的某项研究显示，在全球各地，由停留在印刷电路板上的粉尘而引起的泄漏电流都会随着相对湿度的提高而呈现指数级的增长。这项研究使我们得到了以下结论：将数据中心的相对湿度保持在 60% 以下，这样可以将由停留的微尘而引发的泄漏电流保持在可接受的次  $\mu\text{A}$  级范围内。

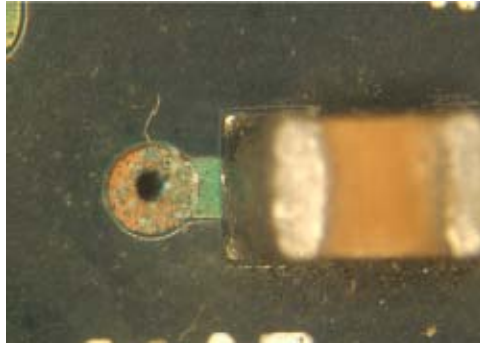


图2：由含有大量氯化镁的湿离子粉尘造成的镀通孔腐蚀。

少数情况下，数据中心内部也可能会产生有害粉尘。增湿器会通过蒸发空气中的水滴来提高室内湿度，如果加入增湿器的水含盐量高，而这些盐的潮解相对湿度又低于数据中心的相对湿度，就可能造成有害的室内粉尘污染。即使这些盐的浓度很低，也会造成严重的腐蚀和离子迁移威胁。通过使用逆向渗透法（ASHRAE 2009a）来处理增湿器中的水，可以缓减这些与增湿器相关的腐蚀问题。

来自纸张、硬纸板或者纺织品的纤维性粉尘会污染散热片，并中断设备的冷却过程。数据中心操作员应避免在数据中心内大量使用这些材料。例如，新设备应在数据中心外拆箱，应将大量的打印机放置在其他位置。

总的说来，大多数粉尘都是无害的。少数情况下，当停留的粉尘的潮解相对湿度低于数据中心的相对湿度时，就有可能出现腐蚀和/或离子迁移问题。一般而言，数据中心的相对湿度必须保持在 60% 以下，以避免任何灰尘腐蚀硬件。

锌晶须是颗粒污染物对硬件可靠性造成严重危害的另一种途径，它是数据中心内最常见的导电颗粒。为了防止腐蚀，一些高架地板钢砖的底部都会镀上锌。支撑钢砖的纵梁和基座也会镀上锌。这些锌可能是通过电镀或热浸镀锌方式镀上去的。尽管锌晶须在这两种镀锌方式下都有可能出现，但是电镀锌上更易产生晶须（Brusse 2004；Lahtinen 2008）。

有时，锌晶须可长达 1 至 2 毫米，在拆卸钢砖或拉动/拆卸地下电缆时，钢砖会被弄乱，这时锌晶须可能会发生移动并暴露在空气中，从而威胁到 IT 设备。如果 IT 设备吸入锌晶须，电压高于 25V 的电路中可能会出现短路、电弧、信号紊乱或者灾难性故障（Miller 2007）。

有一种非常简单的锌晶须探测方式，这就是使用手电筒。拆下一块高架地板砖，将其立于光线较弱的区域中。打开手电筒，以 45° 角扫射钢砖底部。在亮光中闪烁的小斑点可能就是锌晶须。为了确认是否存在锌晶须，应当使用碳胶标签收集标本并在扫描电子显微镜（SEM）下查看。如果存在锌晶须，就应当采取补救措施，其中包括更换被污染的高架地板砖并聘请专业人士对数据中心进行清理。

ISO 14644-1 已成为全球性的首要标准，用于根据空气中的颗粒浓度对空气清洁程度进行分级。下面的表 1 提供了各个 ISO 等级的最大浓度级别（ASHRAE 2009a）。

数据中心的清洁度必须满足 ISO 8 级标准，同时还必须严格遵守 95% 的置信上限（Ortiz 2006）。对于没有安装节能装置的数据中心，只需采用以下过滤方式，就能轻松地达到 ISO 8 级清洁标准：

1. 可按 ANSI/ASHRAE 标准 127-2007 “Method of Testing for Rating Computer and Data Processing room Unitary Air Conditioners” 中的建议，使用 MERV 8 过滤器不断地过滤室内空气。
2. 可按标题为 “Particulate and Gaseous Contamination in Datacom Environments” 的 ASHRAE 书籍中的建议，使用 MERV 11 或 MERV 13 过滤器过滤进入数据中心的空气。（ASHRAE 2009a）

对于配有空气侧节能装置的数据中心，为达到 ISO 8 级清洁标准，应根据该数据中心的特定情况来选择过滤器。

表 1: ISO 14644-1 空气清洁度分级情况与允许的最大颗粒浓度 (颗粒数/m<sup>3</sup>)

ISO 等级	空气中的最大颗粒数 (每立方米中颗粒尺寸等于或大于指定尺寸的颗粒数)					
	颗粒大小					
	> 0.1 μm	> 0.2 μm	> 0.3 μm	> 0.5 μm	> 1 μm	> 5 μm
1 级	10	2				
2 级	100	24	10	4		
3 级	1000	237	102	35	8	
4 级	10,000	2,370	1,020	352	83	
5 级	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29
6 级	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293
7 级				352,000	83,200	2,930
8 级				3,520,000	832,000	29,300
9 级					8,320,000	293,000

注：由于测量过程具有不确定性，因此要求在确定分级水平时使用有效数字不超过三（3）位的数据。

### 气体污染物

含硫气体（如 SO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>S）是数据中心内导致硬件腐蚀的最常见气体（Rice 1981）。图 3 显示了一个符合 RoHS 的电路板因气体污染物而腐蚀的示例。

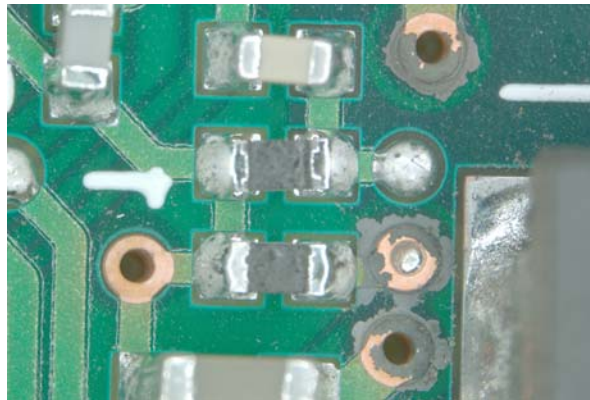


图 3: 含硫气体对于符合 RoHS 且表面涂有 OSP 的电路板上的铜所造成的腐蚀。

ANSI/ISA-71.04-198 已发布了气体成分的环境限制。这些限制对于确定数据中心环境清洁度有着指导作用，但是，出于某些原因，对于测量腐蚀性或预测数据中心环境中的硬件故障率，它们却没有任何帮助。首先，确定气体成分并不是一项简单的任务。其次，一般来说，通过气体成分来预测腐蚀速率也不是一项十分直观的工作。气体间的协同作用会让情况变得更加复杂。例如，经证实，二氧化硫或硫化氢本身对于银或铜并没有十分强的腐蚀性，但是当它们同其他气体（如二氧化氮和/或臭氧）结合后，就会对银和铜产生强烈的腐蚀性（Volpe 1989）。相对湿度对于铜的腐蚀速率有很大的影响，而银的腐蚀速率却与湿度无关（Rice 1981）。

如 ANSI/ISA-71.04-1985 标准所述，要确定数据中心环境内的气体腐蚀性，有一种十分简便的量化方式，即所谓的“反应式监测法”。该方法会将铜试样置于该环境中一个月，然后使用库伦还原法来分析腐蚀产物的厚度及化学性质，从而将该环境归为表 2 所述的四种严重等级中的一种。但是，仅使用铜试样存在两个主要限制：第一，对于会强烈腐蚀许多金属的污染物氯而言，铜并不十分敏感；第二，铜的腐蚀度对于相对湿度又过于敏感。使用银试样有利于区分气体污染物与相对湿度对腐蚀性造成的影响。如果结果表明，相对湿度对于腐蚀过程有显著的影响，那么只需降低数据中心的相对湿度，就能降低腐蚀性。现在通行的方法是同时使用银试样和铜试样，以便更好地了解环境中腐蚀气体的化学性质。

表 2: 按 ANSI/ISA-71.04-1985 划分的气体腐蚀性等级

严重等级	铜的反应等级	描述
G1 温和	300C/月	环境得到了良好的控制，腐蚀性不是影响设备可靠性的因素。
G2 中等	300-1000C/月	环境中的腐蚀影响可以测量，其可能是影响设备可靠性的一个因素。
G3 较严重	1000-2000C/月	环境中极有可能出现腐蚀现象。
GX 严重	>2000C/月	只能在该环境中使用经过特殊设计和封装的设备。

目前，ANSI/ISA-71.04-1985 标准仅适用于铜腐蚀，然而正如上文所述，最好同时使用铜和银试样，以对数据中心的腐蚀性进行分级。换言之，对于一个被归入 G1 级严重等级的数据中心而言，铜和银的腐蚀速率限值不应超过 300C/月。图 4 显示了 IBM 的最新铜银腐蚀速率调查，该项调查是针对因铜蠕变腐蚀和/或银腐蚀引发硬件故障的数据中心而进行的。其中只有很少数的问题数据中心的铜腐蚀速率大于 100C/月；而所有这些问题数据中心的银腐蚀速率都大于 100C/月。请注意，在这 31 个站点中，银腐蚀速率通常要比铜腐蚀速率高出一个数量级或更多。这项调查只针对已报告了硬件故障的数据中心，它清楚地指明了，铜腐蚀速率并不是硬件故障可能性的良好指标。要更好地根据铜银腐蚀速率来预测腐蚀相关故障，就需要对数据中心进行随机抽查，不论其是否出现过腐蚀相关故障。

ANSI/ISA-71.04-1985 是一个成熟且已被广泛接受的标准，它规定 G1 级严重等级的铜腐蚀速率应低于 300C/月，这一数据说明“环境温和并得到了良好的控制，腐蚀性不是影响设备可靠性的因素”。图 4 显示的结果与人们的观点均表明，这一铜腐蚀等级可能过高，会影响电子硬件的可靠运行，所以我们需要加倍努力，以证明有必要降低可接受的铜银腐蚀速率。与此同时，应将最高 300C/月的铜腐蚀速率和最高 300C/月的银腐蚀速率用作数据中心可接受的气体腐蚀性限值。数据中心的气体污染物级别会受到位置及时间的影响。有利于监测气体腐蚀性的位置位于，机架进气口侧前方 2 英寸（5 cm）、离地面 1/4 及 3/4 机架高度处。理想情况下，应当进行全年监测，但随着数据中心历史记录增多，可以只对已知的气体污染物处于高级别的月份进行监测。

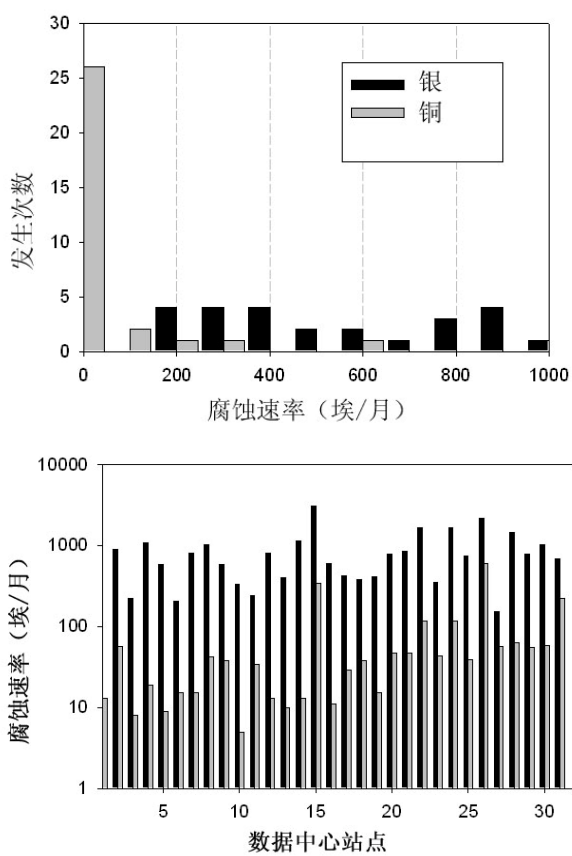


图 4: 数据中心已报告的由铜蠕变腐蚀和/或银腐蚀导致的 IT 设备故障。顶图未显示腐蚀速率高于 1000C/月的 6 次银腐蚀。其显示出, 腐蚀速率为 0-100C/月的铜腐蚀有 26 次, 而银腐蚀则为 0 次; 腐蚀速率为 100-200C/月的铜腐蚀有 2 次, 而银腐蚀则有 4 次; 腐蚀速率为 200-300C/月的铜腐蚀有 2 次, 而银腐蚀有 4 次; 等等。请注意, 如底图所示, 在这 31 个发生过因腐蚀导致硬件故障的站点中, 银腐蚀速率通常要比铜腐蚀速率高出一个数量级或更多。

反应式监测法要求将铜银试样暴露在外一个月, 以便准确地测量环境腐蚀性。对于配有空气侧节能装置的数据中心, 需要进行实时监测, 以对数据中心的外部事件做出迅速反应; 这些外部事件可能会释放出腐蚀性气体, 而这些气体可能会流入数据中心。现在, 共有两种市售的实时反应式监测器可供选择。其中一种使用石英晶体微量天平来测量腐蚀产物质量增长速率。另一种则通过测量金属薄膜阻抗的增长速率来确定气体的腐蚀性。气体的腐蚀性变化可通过实时探测得到, 这样就能采取各种预防性措施, 如防止外界腐蚀性空气进入数据中心。

#### 对数据中心的气体进行气相过滤

对于不符合已修改的 ANSI/ISA-71.04-1985 铜银腐蚀 G1 级严重等级的数据中心, 建议进行气相过滤。应对进入数据中心的气体进行气相过滤, 以防止气体污染物进入数据中心。进气口的鼓风机可用为数据中心增压, 以避免受污染的室外空气渗入数据中心内部。还应通过气相过滤器对数据中心内的空气进行反复循环, 以除去数据中心内部生成的污染物。建议您通过这些措施使气体污染物等级符合已修改的 ANSI/ISA-71.04-1985 铜银腐蚀 G1 级严重等级。



### 2008 年 ASHRA 数据通信设备环境指南

为了提高设施操作的灵活性，尤其是朝着减少数据中心能耗的目标迈进，SDHRAE TC 9.9 委员会修订了这些建议的设备环境规范，尤其是 1 级和 2 级的建议范围。现在，这两个环境级别的建议范围是相同的。这次修订扩大了建议的操作环境范围。建议范围的划定为数据中心操作员维持高可靠性并以最高能效运行数据中心提供了指导。IT 制造商会在允许的范围内测试他们的设备，以验证设备能否在这些环境范围内正常工作。通常，制造商会在发布产品之前对其进行一系列的测试，以验证其产品能否在该环境范围内满足所有的功能需求。这不是一种可靠性声明，而是事关 IT 设备的功能。但是，建议范围确实是一种可靠性声明。对于需要长时间工作的设备，IT 制造商建议数据中心操作员将环境维持在建议的范围内。短时间超出建议限值也许不成问题，但是在接近允许限值的情况下运行数月会导致可靠性问题增多。通过检查大量 IT 制造商的可用数据，2008 年的扩展建议范围是所有 IT 制造商一致认可的可接受范围。如果 IT 设备在此范围内工作，其整体可靠性就不会受到任何影响。表 3 显示了 2008 年及之前的建议范围数据。

表 3. ASHRAE 建议的温湿度环境 (ASHRAE 2009b)

	2004 版	2008 版
温度下限	20°C (68 °F)	18°C (64.4 °F)
温度上限	25°C (77 °F)	27°C (80.6 °F)
湿度下限	40% 相对湿度	5.5°C (41.9°F) 的露点湿度
湿度上限	55% 相对湿度	60% 相对湿度和 15°C (59°F) 的露点湿度

这些范围适用于数据中心所有设备的进气口 (IT 制造商指定了其他范围的情况除外)。需要注意的是，应确保 IT 设备机架顶端满足适当的进气条件。许多数据中心机架顶端的进气口温度偏暖。当温热的机架废气无法直接返回到空气处理设备中时，情况更是如此。这些温暖的空气还会影响相对湿度，造成机架顶端的相对湿度值降低。

第二版的热量指南中 (Thermal Guidelines for Data Processing Environments, 第二版, ASHRAE 2009b) 记录了有关该新指南的详细信息。



## 有关建议的可接收环境限值的摘要

下表总结了建议的温湿度、粉尘及气体限值：

**表 4. ASHRAE 建议环境**

<b>建议的运行环境<sup>1,4</sup></b>	
温度	18°C (64.4 °F) 至 27°C (80.6 °F) <sup>4</sup>
湿度 下限	5.5°C (41.9 °F) 的露点湿度
湿度 上限	60% 的相对湿度或 15°C (59 °F) 的露点湿度
气体 污染物	ANSI/ISA 71.04-1985 <sup>2</sup> 的 G1 级严重等级规定，铜试样的反应速率应低于 300C/月 ( $\eta$ 0.0039 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ -小时的增量) <sup>6</sup> 。此外，银试样的反应速率应低于 300C/月 ( $\eta$ 0.0035 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ -小时的增量) <sup>7</sup> 。应在机架进气口侧前端约 2 英寸 (5 cm)、离地面 1/4 及 3/4 机架高度处或者气空气流速较高的地方进行气体腐蚀性的反应监测。
颗粒 污染物	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 数据中心必须达到 ISO 14644-1 8 级所规定的清洁等级。 <ol style="list-style-type: none"> <li>a. 对于没有安装空气侧节能装置的数据中心，只需采用以下过滤方式，就能轻松地达到 ISO 14644-1 8 级清洁标准： <ol style="list-style-type: none"> <li>i. 使用 MERV 8 过滤器不断过滤室内空气。</li> <li>ii. 使用 MERV 11 过滤器 (MERV 13 更佳) 过滤进入数据中心的空气。</li> </ol> </li> <li>b. 对于配有空气侧节能装置的数据中心，为达到 ISO 8 级清洁标准，应根据数据中心的特定情况来选择过滤器。</li> </ol> </li> <li>2. 颗粒污染物的潮解相对湿度不应大于 60% RH<sup>3</sup>。</li> <li>3. 数据中心内不得含有锌晶须<sup>5</sup>。</li> </ol>
<b>建议的非运行环境<sup>4</sup></b>	
温度	5°C (41 °F) 至 45°C (113 °F)
相对 湿度	8% 至 80%
湿度 上限	27°C (80.6 °F) 的露点湿度
气体 污染物	ANSI/ISA 71.04-1985 <sup>2</sup> 的 G1 级严重等级规定，铜试样的反应速率应低于 300C/月 ( $\eta$ 0.0039 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ -小时的增量) <sup>6</sup> 。此外，银试样的反应速率应低于 300C/月 ( $\eta$ 0.0035 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ -小时的增量) <sup>7</sup> 。应在机架进气口侧前端约 2 英寸 (5 cm)、离地面 1/4 及 3/4 机架高度处进行气体腐蚀性的反应监测。请注意，由于气流速度会影响气体腐蚀性，因此与正在运行机器相比，在无气流经过的未运行机器前测量腐蚀性，所得到的腐蚀性读数会偏低。
颗 粒 污 染 物	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 数据中心必须达到 ISO 14644-1 8 级清洁等级。 <ol style="list-style-type: none"> <li>a. 对于没有安装空气侧节能装置的数据中心，只需采用以下过滤方式，就能轻松地达到 ISO 14644-1 8 级清洁标准： <ol style="list-style-type: none"> <li>i. 使用 MERV 8 过滤器不断过滤室内空气。</li> <li>ii. 使用 MERV 11 过滤器 (MERV 13 更佳) 过滤进入数据中心的空气。</li> </ol> </li> <li>b. 对于配有空气侧节能装置的数据中心，为达到 ISO 8 级清洁标准，应根据数据中心的特定情况来选择过滤器。</li> </ol> </li> <li>2. 颗粒污染物的潮解相对湿度不应大于 60% RH<sup>3</sup>。</li> <li>3. 数据中心内不得含有锌晶须<sup>5</sup>。</li> </ol>

注:

1. 应在机架进气口前端约 2 英寸 (5 cm)、离地面 1/4 及 3/4 机架高度处测量气体污染物。超过 1800 m (5906 ft) 后, 每上升 300 m (984 ft), 最大的建议环境温度就应下降 1°C (1.8 °F)。如需长时间运行, IT 制造商则建议数据中心操作员将运行维持在建议范围内, 以获得最大的可靠性。IT 制造商会在允许范围内测试其设备, 以验证设备能否正常工作。这不是一种可靠性声明, 而是事关 IT 设备的功能。
2. ANSI/ISA-71.04.1985, “Environmental conditions for process measurement and control systems: Airborne contaminants”, 美国仪器协会, Research Triangle Park, NC, 1985 年。
3. 颗粒污染物的潮解相对湿度是指, 粉尘吸收足够的水分变湿从而导致腐蚀和/或离子迁移时的相对湿度。
4. 机器启动之前, 应将其置于满足建议运行环境规范的环境中至少一天。
5. 表面残留物可能来自数据中心的 10 个区域, 这些区域中的金属底座上都有裹有导电胶带的直径为 1.5 cm 的磁盘。如果经扫描电子显微镜检查显示, 胶带上没有锌晶须, 就可以认为数据中心内不含锌晶须。
6. 如果假设铜腐蚀产物的厚度增长速率 (C/月) 等于其增重速率, 就是假设  $\text{Cu}_2\text{S}$  与  $\text{Cu}_2\text{O}$  会以同比增长。
7. 如果假设银腐蚀产物的厚度增长速率 (C/月) 等于其增重速率, 就是假设  $\text{Ag}_2\text{S}$  是唯一的腐蚀产物。

#### 参考资料

- ASHRAE 标准 52.2-2007, *Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size*, 2007 年。
- ASHRAE 书籍, *Particulate and Gaseous Contamination in Datacom Environments*, 2009a。
- ASHRAE 书籍, *Thermal Guidelines for Data Processing Environments*, 第二版, 2009b。
- ANSI/ISA-71.04-1985, *Environmental Conditions for Process Measurement and Control Systems: Airborne Contaminants*, ANSI/ISA 仪器、系统与自动化学会, 1986 年 2 月 3 日。
- ANSI/ASHRAE 标准 127-2007, *Method of Testing for Rating Computer and Data Processing Room Unitary Air Conditioners*, 2007 年。
- H.E. Bennett、R.L. Peck、D.K. Burge 与 J.M. Bennet 合著, *Formation and growth of tarnish on evaporated silver films*, *Journal of Applied Physics*, 1969 年, 40 (8), 第 3351-3360 页。
- J. Brusse、M. Sampson 与 NASA 合著, *Zinc whisker: Hidden cause of equipment failure*, *IT Professional*, v 6, n 6, 第 43-46 页, 2004 年 11 月/12 月。
- W.A. Crossland、E. Knight 与 C.R. Wright 合著, *The accelerated tarnish testing of contacts and connectors employing silver alloy contacts*, *Elect. Contacts*, 1973 年, *Proc. Holm Weminar*, pub. IIT Chicago, 265-282 页。
- R. B. Comizzoli、R. P. Frankenthal、R. E. Lobnig、G. A. Peins、L. A. Psato-Kelty、D. J Siconolfi、J. D. Sinclair 与 Bell Laboratories 合著, *Corrosion of electronic materials and devices by submicron atmospheric particles*, *The Electrochemical Society Interface*, 1993 年 2 月。
- D. Cullen、G. O'Brien 与 UL Laboratories 合著, *Implementation of immersion silver PCB surface finish in compliance with Underwriters Laboratories*, *IPC Printed Circuits Expo*, 2004 年。
- C. Hillman、J. Arnold、S. Binfield、J. Seppi 与 DfR Solutions 合著, *Silver and sulfur: Case studies, physics and possible solutions*

- ISO 14644-1, *Cleanrooms associated controlled environments--Part 1: Classification of air cleanliness*, 1999 年。
- R. Lahtinen 与 T. Gustafsson 合著, *The Driving Force Behind Whisker Growth*. Metal Finishing, 2008 年。
- P. Mazurkiewicz 与 HP Corp. 合著, “*Accelerated corrosion of PCBs due to high levels of reduced sulfur gases in industrial environments*”, Proceedings of the 32<sup>nd</sup> ISTFA, 2006 年 12 月 12 日至 16 日, Austin TX。
- N. Mukadam 等人合著, “*Planar Microvoiding in Lead-Free Second Level Interconnect Solder Joints*”, Intel, SMTA Proceedings, 第 293 页, Chicago, 2006 年。
- S. Ortiz, *Data Center Cleaning Services*. Processor. Soc., 第 28 卷, 第 14 期, 2006 年 4 月 7 日, 第 4 页, <http://www.processor.com/>
- P. J. Peterson, private communications, 2009 年 6 月。
- M. Reid、J. Punch、C. Ryan、J. Franey、G. E. Derkits、W. D. Reents、L. F. Garfias 与 University of Limerick 合著, *The corrosion of electronic resistors*, IEEE Trans on Components and Packaging Technologies, 第 30 卷, no., 2007 年 12 月。
- D. W. Rice、R. J. Cappell、W. Kinsolving、J. J. Laskowski 与 IBM Corp. 合著, *Indoor corrosion of metals*, J. Electrochem. Soc., 第 891-901 页, 1980 年 4 月。
- D. W. Rice、P. Peterson、E. B. Rigby、P. B. P. Phipps、R. J. Cappell、Tremoureux 与 IBM Corp. 合著, *Atmospheric corrosion of copper and silver*, J. Electrochem. Soc., 第 275-284 页, 1981 年 2 月。
- A. K. Sahu, 印度国家固体废物协会主席, “*Present Scenario of Municipal Solid Waste Dumping grounds in India*”, International Conference on Sustainable Solid Waste Management, 印度 Chennai 市, 2007 年 9 月。
- R. Schueller 与 Dell Corp 合著, “*Creep corrosion of lead-free printed circuit boards in high sulfur environments*”, SMTA Int'l Proceedings, 2007 年 10 月。
- P. Singh、R. R. Schmidt、J. Prisco 与 IBM Corp. 合著, *Particulate and gaseous contamination: Effect on computer reliability and monitoring*, ASHRAE 2009。
- P. Singh 与 IBM Corp. 合著, Private communication, 2009 年。
- R. Veale 与 Rockwell International 合著, “*Reliability of PCB alternate surface finishes in a harsh industrial environment*”, SMTA Int'l Proceedings, 2005 年。
- L. Volpe 与 P. J. Peterson 合著, *Atmospheric sulfidation of silver in a tubular corrosion reactor*, IBM Corp., Corrosion Science, 第 29 卷, 第 10 号, 第 1179-1196 页, 1989 年。
- L. Volpe 与 IBM Corp. 合著, *Environmental factors in indoor corrosion of metals*, IBM Internal Technical Report, 1989 年。
- C. Xu、D. Flemming、K. Demerkin、G. Derkits、J. Franey、W. Reents 与 Alcatel-Lucent 合著, “*Corrosion resistance of PWB final finishes*”, APEX 2007。
- W.A. Crossland、E. Knight 与 C.R. Wright 合著, *The accelerated tarnish testing of contacts and connectors employing silver alloy contacts*, Elect. Contacts, 1973 年, Proc. Holm Webinar, pub. IIT Chicago, 第 265-282 页。

### 附录 A: $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ .小时与 C/30 天铜银腐蚀速率之间的关系

有关大气对于金属的腐蚀情况的文献常以增重速率 ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ .小时) 来表示腐蚀速率。而 ANSI/ISA 标准 71.04-1985 则以腐蚀产物的厚度增长速率 (C/月) 来表示腐蚀速率。

以下显示了这两种银腐蚀速率之间的关系。此公式假设  $\text{Ag}_2\text{S}$  是唯一的腐蚀产物, 并假设  $\text{Ag}_2\text{S}$  的密度为  $7.23 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

$$\begin{aligned} \text{银样本每增重 } 1\mu\text{g} &\equiv \frac{2 \times 107.9 + 32}{32} \mu\text{g 的 } \text{Ag}_2\text{S} \\ &\equiv 7.74 \times 10^{-6} \text{ g 的 } \text{Ag}_2\text{S} \\ &\equiv \frac{7.74 \times 10^{-6}}{7.23} \text{ cm}^3 \text{ 的 } \text{Ag}_2\text{S} \\ &\equiv 1.07 \times 10^{-6} \text{ cm}^3 \text{ 的 } \text{Ag}_2\text{S} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{小时} &\equiv 1.07 \times 10^{-6} \text{ cm}/\text{小时} \\ &\equiv 1.07 \times 10^{-6} \times 10^8 \text{ A}/\text{小时} \\ &\equiv 107 \times 24 \times 30 \text{ A}/30 \text{ 天} \\ &\equiv 7.7 \times 10^4 \text{ A}/30 \text{ 天} \end{aligned}$$

如果假设所有的银腐蚀产物几乎都是  $\text{Ag}_2\text{S}$ , 那么 300C/月的腐蚀产物增加速率就等同于  $0.0039 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ .小时的增重速率。

以下显示了这两种铜腐蚀速率之间的关系。此公式假设  $\text{Cu}_2\text{S}$  是唯一的腐蚀产物, 并假设  $\text{Cu}_2\text{S}$  的密度为  $5.6 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

$$\begin{aligned} \text{铜样本每增量 } 1\mu\text{g} &\equiv \frac{2 \times 63.55 + 32}{32} \mu\text{g 的 } \text{Cu}_2\text{S} \\ &\equiv 5 \times 10^{-6} \text{ g 的 } \text{Cu}_2\text{S} \\ &\equiv \frac{5 \times 10^{-6}}{5.6} \text{ cm}^3 \text{ 的 } \text{Cu}_2\text{S} \\ &\equiv 0.9 \times 10^{-6} \text{ cm}^3 \text{ 的 } \text{Cu}_2\text{S} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{小时} &\equiv 0.9 \times 10^{-6} \text{ cm}/\text{小时} \\ &\equiv 0.9 \times 10^{-6} \times 10^8 \text{ A}/\text{小时} \\ &\equiv 90 \times 24 \times 30 \text{ A}/30 \text{ 天} \\ &\equiv 6.4 \times 10^4 \text{ A}/30 \text{ 天} \end{aligned}$$

以下显示了这两种铜腐蚀速率之间的关系。此公式假设  $\text{Cu}_2\text{O}$  是唯一的腐蚀产物，并假设  $\text{Cu}_2\text{O}$  的密度为  $6\text{g/cm}^3$ 。

$$\begin{aligned} \text{铜样本每增量 } 1\mu\text{g} &\equiv \frac{2 \times 63.55 + 16}{16} \mu\text{g 的 } \text{Cu}_2\text{O} \\ &\equiv 8.94 \times 10^{-6} \text{ g 的 } \text{Cu}_2\text{O} \\ &\equiv \frac{8.94 \times 10^{-6}}{6} \text{ cm}^3 \text{ 的 } \text{Cu}_2\text{O} \\ &\equiv 1.5 \times 10^{-6} \text{ cm}^3 \text{ 的 } \text{Cu}_2\text{O} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \mu\text{g/cm}^2 \cdot \text{小时} &\equiv 1.5 \times 10^{-6} \text{ cm/小时} \\ &\equiv 1.5 \times 10^{-6} \times 10^8 \text{ A/小时} \\ &\equiv 1.5 \times 10^2 \times 24 \times 30 \text{ A/30天} \\ &\equiv 10.8 \times 10^4 \text{ A/30天} \end{aligned}$$

如果假设铜的腐蚀速率与  $\text{Cu}_2\text{S}$  和  $\text{Cu}_2\text{O}$  的生成速率成同比，那么可以推断出，这两种铜腐蚀速率之间的关系如下：

$$1 \mu\text{g/cm}^2 \cdot \text{小时} \equiv 8.6 \times 10^4 \text{ A/30天}$$

如果假设铜腐蚀产物中有 50% 为  $\text{Cu}_2\text{S}$ ，另 50% 为  $\text{Cu}_2\text{O}$ ，那么 300C/月的腐蚀产物增长速率就等同于  $0.004\mu\text{g/cm}^2 \cdot \text{小时}$  的增重速率。而 300C/月的腐蚀产物增长速率就等同于  $0.0035\mu\text{g/cm}^2 \cdot \text{小时}$  的增重速率。

本文是在经过许可后进行翻译的。All rights reserved. © (2009) American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 由 IBM Corp. 翻译和发布。对于译文的准确性，ASHRAE 不承担任何责任。要获取本文的英文版本，请联系 ASHRAE, 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329-2305 USA [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)