

## 如何正确选择湿度与露点测量仪表



了解基本要求，获得最佳湿度测量效果。

在各种工业应用中均需要测量并控制湿度。每种应用对湿度仪表均有不同要求，例如量程要求、温度和压强极限压强、冷凝后恢复能力、危险环境工作能力以及安装和校准要求。没有只用一款仪表就能能够满足所有这些要求。事实上仪表可选范围相当宽泛，取决于对成本和品质的要求。

本文在以下几个方面讨论如何帮助您选用正确的湿度仪表：

- 不同的湿度参数
- 影响湿度仪表选用的传感器特性
- 影响湿度仪表选用的环境条件
- 湿度仪表选择的实用指导原则

### 什么是湿度？湿度参数介绍

#### 水蒸气的分压强

湿度就是气态的水，正规称谓为水蒸气。由于水蒸气呈气态，道尔顿分压定律等大多数普适气体定律对其均有效。道尔顿定律确定气体总压强等于各组分气体分压强之和。

$$P_{\text{总}} = P_1 + P_2 + P_3 \dots$$

对空气而言，这一等式表示总大气压强 1.013 bar (14.7<sub>psia</sub>) 为氮气、氧气、水蒸气、氩气、二氧化碳以及各种其他微量气体分压强之和。

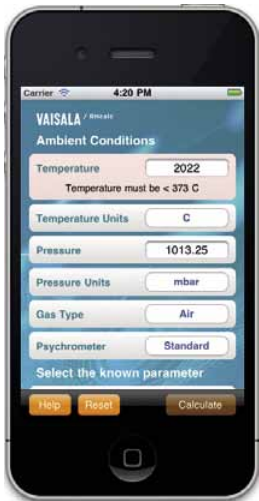
#### 水蒸气压(强)的定义

水蒸气压( $P_v$ ) 是指在空气或某种气体中水蒸气所施加的压强。水蒸气的最大分压值取决于温度。此处的最大压强即饱和蒸汽压( $P_{ws}$ )。温度越高，饱和蒸汽压越高，空气中能够容纳的水蒸气越多。因此，暖空气容纳水蒸气的能力比冷空气更强。

当空气或混合气体中水气达到饱和蒸汽压时，若要增加额外的水蒸气则需要等量的水气凝结为液态或固态。焓湿图以图形方式显示了饱和蒸汽压和温度的关系。此外，还可使用蒸汽压表查看任意温度的饱和蒸汽压，也有许多此类计算机计算程序可用。

## 压强对湿度的影响

道尔顿定律说明气体总压(强)的变化必对包括水蒸气在内所有各组分气体分压产生影响。例如,如果总压增加一倍,则所有组分气体分压同样增加一倍。在空气压缩机的压缩过程中,增压会从空气中“榨取”出液态水,这是因为水蒸气分压( $P_w$ )增加了,但饱和蒸气压仍然为温度的函数。随着储气罐中压强的增加, $P_w$ 达到 $P_{ws}$ ,气态水冷凝为液态,并最终从罐体中排出。



移动电话上也可使用湿度计算表。

## 相对湿度

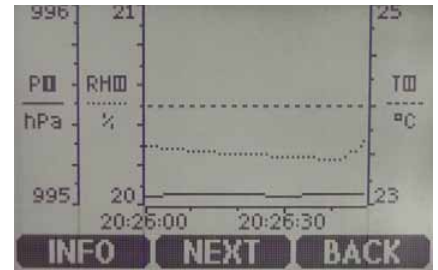
当把水蒸气看作气体时,相对湿度就比较容易定义了。相对湿度(RH)可定义为在某一特定温度下水蒸气分压( $P_w$ )对饱和压( $P_{ws}$ )的比率。

$$\%RH = 100\% \times P_w / P_{ws}$$

在定义中由于分母( $P_{ws}$ )为温度的函数,因此相对湿度对温度有很强的依赖性。例如,在相对湿度50%且在温度20°C的房



某些湿度测量仪表可以选择能够以图形化方式显示的单一湿度参数。本图为维萨拉·HUMICAP手持式温湿度仪表HM70的不同显示视图。



间内,室温增加到25°C时,相对湿度将会降至约37%,但水蒸气分压保持不变。

压强也会改变相对湿度。例如,某工艺在保持恒定温度时,如果工艺过程压强增加一倍,相对湿度也将增加一倍。

## 露点温度

当气体冷却时,气态水蒸气开始冷凝为液态,发生冷凝时的温度即露点温度( $T_d$ )。相对湿度为100%时,环境温度即等于露点温度。露点温度低于环境温度越多,发生冷凝的可能性越小,空气越干燥。

露点与饱和蒸气压( $P_{ws}$ )直接相关。任何露点温度所相关的水蒸气分压均可以方便地计算出。与相对湿度不同,露点不取决于温度,但受压强影响。常见的露点测量应用包括各种干燥工艺、干燥空气应用以及压缩空气干燥等。

## 霜点温度

如果露点温度低于冰点(在干燥空气应用中会出现这种情况),有时候用术语霜点( $T_f$ )来确切表述冷凝为冰的这一状况。由

于冰的水蒸气饱和压与水的不同,在0°C以下霜点温度始终略高于露点。人们还经常用零度以下的露点来当作霜点使用。当您无法确定是否如此时,可要求对此澄清。

## 百万分之一(ppm)

在湿度值较低的情况下有时也使用百万分之一(ppm)作为单位。该值为水蒸气与干燥气体或总气体(含湿气)的比值,即可表示为体积/体积( $ppm_{vol}$ ),也可表示为质量/重量( $ppm_w$ )。百万分之一可以量化的形式表述如下:

$$ppm_{vol} = [P_w / (P - P_{ws})] \times 10^6$$

在描述带压且干燥的纯气体中水蒸气含量时,通常使用ppm作为单位。

## 混合比

混合比(x)为水蒸气质量与干燥气体质量的比值。该值没有单位,但通常用每公斤干燥空气中水蒸气的克数表示。混合比主要用在干燥工艺和暖通空调应用中,用于在空气质量流量已知的条件下计算含水量。

## 湿球温度

传统概念上湿球温度( $T_w$ )是指包裹有湿润棉套的温度计显示的温度。湿球温度和环境温度结合使用可计算相对湿度或露点。例如,空调系统的湿球温度与干球温度对比可判别蒸发冷却器的冷却能力。

## 环境条件对湿度测量的影响

环境条件对湿度和露点测量具有显著的影响。为了获得最佳测量效果,需要对以下环境因素加以考虑:

### 选择代表性测量位置

始终选择能够代表被测环境的位置作为测量点,要避免热点或冷点。安装在门、加湿器或空调进气口附近的变送器可能会发生迅速的湿度变动,表现不够稳定。

由于相对湿度对温度具有很强的依赖性,因此让湿度传感器与被测空气或气体处于相同温度状态非常重要。在比较两种不同仪表的湿度读数时,保持仪表/探头与被测气体之间的热平衡特别关键。

与相对湿度不同,露点测量与温度没有关系。但是在测量露点时必须考虑压强条件。

## 绝对湿度

绝对湿度指在给定温度和压强的情况下,单位体积湿润空气中水的质量。该值通常表达为每立方米空气水的克数。绝对湿度是工艺控制和干燥应用中的常见参数。

### 注意温差问题

在将湿度探头安装就位时,要避免沿探头长度方向出现温度下降。当探头与外部环境存在较大温差时,整个探头主体应当安装在工艺环境内部,线缆入口点应当绝热处理。

在可能发生冷凝的情况下,应以水平方式安装探头,避免水滴到探头/线缆上并让过滤器达到饱和(见图1)。

确保传感器周边空气能够流动。空气自由流动可确保传感器与工艺温度保持平衡。在温度  $20^{\circ}\text{C}$ 和相对湿度  $50\%RH$ 的条件下,传感器与测量区之间 $1^{\circ}\text{C}$ 的温差会导致 $3\%RH$ 的测量误差。在相对湿度为 $100\%RH$ 时,误差为  $6\%RH$ (见图2)。

### 适用于较高湿度的仪表

此处将相对湿度 $>90\%RH$ 的环境定义为较高湿度环境。在相对湿度为 $90\%RH$ 时, $2^{\circ}\text{C}$ 的差异就能够导致传感器上出现水的凝结,在通风不良的空间可能要花费数小时

## 水活度

水活度( $a_w$ )与平衡相对湿度类似,但并非使用 $0\%-100\%$ 标度,而是使用介于 $0$ 至 $1$ 之间的值标度。

## 焓值

热焓值是指将干燥气体从  $0^{\circ}\text{C}$ 转化到当前状态所需要的能量值,通常用于空调计算。

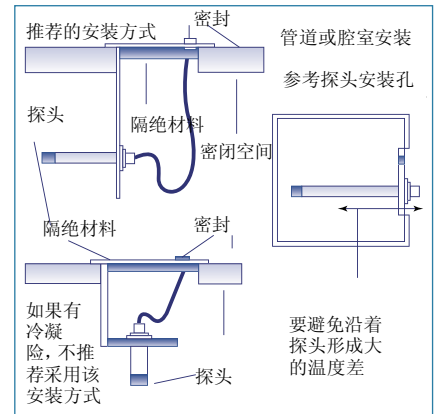


图1: 在冷凝环境下安装湿度探头。

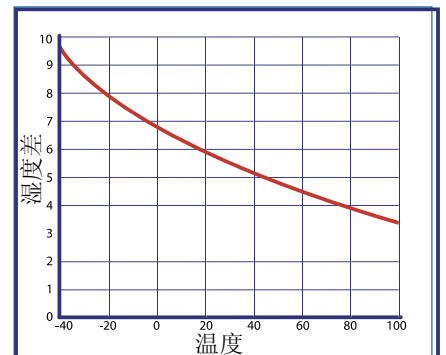


图2: 当周围空气与传感器之间的温度差为 $1^{\circ}\text{C}$ 时不同温度下 $100\%RH$ 相对湿度的测量误差。

才能让其恢复干燥。维萨拉湿度传感器可从冷凝状态下恢复。但是，如果冷凝水已经受到污染，传感器上会出现污染物沉积（特别是盐类沉积），从而影响仪表测量精度。这种情况甚至会缩短传感器的寿命。在可能发生冷凝的较高湿度应用中，应选用带加热功能的传感器探头。

### 适用于较低湿度的仪表

此处将相对湿度 $<10\%RH$ 的环境定义为较低湿度环境。在较低湿度环境下，测量相对湿度的仪表精度可能不足。测量露点反而能够获得较佳的湿度值。例如，维萨拉DRYCAP®产品即专为测量露点而设计。

如果压缩空气系统的干燥机发生故障，就可能会出现水的凝结，此时仪表需要恢复原始状态。许多露点传感器在这种情况下都会被损坏或损毁，但维萨拉DRYCAP®露点传感器能够耐受较高湿度，甚至在水溅环境也可工作。

### 适用于极端温度及压强条件的仪表

始终连续暴露在极端温度条件下可能会对传感器和探头材料造成影响。因此为苛刻环境选择能够与之匹配的产品至关重要。在温度高于 $60^{\circ}C$ 条件时，应将变送器电子器件安装在工艺环境外部，仅将与之匹配的高温探头插入高温环境内。另外，需要使用内置温度补偿减少由于较大温度波动或极端温度导致的误差。

当被测环境与周围环境压强相仿的工艺条件下测量相对湿度时，少许泄漏是可以接受的，并可通过探头或线缆周边的密封

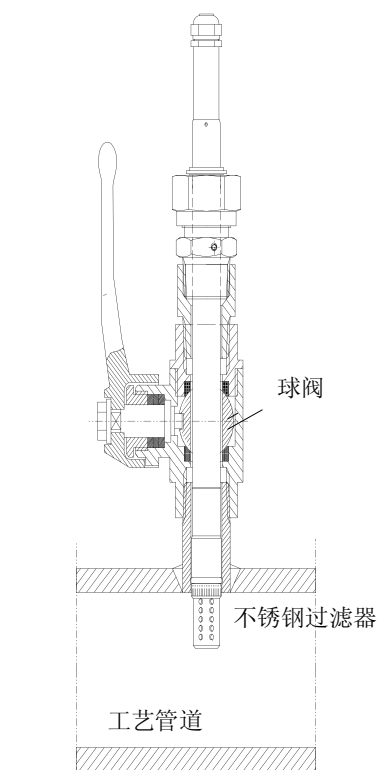


图3：安装在工艺管路上的球阀。

降低泄漏。但是，当工艺环境处于隔离状态，或当工艺环境与外部环境之间存在压差较大时，必须选用密封型探头，并进行正确的安装。探头安装口处的泄漏将会影响局部湿度，导致错误的测量读数。

在许多应用中，建议使用球阀将探头与工艺环境分离，从而无需关闭整个工艺流程就可拆下探头进行维护作业(见图3)。

### 露点测量何时需要使用采样系统？

探头应尽可能安装在实际工艺流程中，以获得最精确的测量数据和迅速的响应时间。但是直接安装并非始终可行。在这种情况下，在线安装的采样腔就可作为适当测量探头的测量点使用。

注意由于温度变化会影响到测量结果，外部采样系统不可用于相对湿度测量。采样系统可与露点探头配合使用。在测量露点时，采样系统通常可起到降低工艺气体温度，保护探头免于特定污染，或实现无需中断工艺流程即可轻松将仪表接入或拆下的功能。

将露点变送器与采样腔连接就构成一套最简单的露点采样装置。维萨拉拥有多种型号产品可满足最常见的应用和采样需求。例如，安装方便的DSC74采样腔即专为压缩空气应用中的流动和压强条件而设计。

在要求苛刻的工艺条件下，采样系统的选用须谨慎周到。由于露点与压强有关，可能需要使用流量计、压强表、特殊非多孔管件、过滤器及泵等装置。图4为适用于DM70程度维萨拉DRYCAP®便携式采样系统DSS70A工作流程图举例。

在加压系统内，由于工艺压强会产生足够的气流进入采样腔，所以无需使用采样泵。

在使用采样系统测量露点时，若冷盘管或连接管路周边环境温度处在露点温度的 $10^{\circ}C$ 范围之内，则应使用伴随加热系统。这样可以避免将露点仪表与工艺环境连接的管件发生冷凝。

## 危险环境

在潜在爆炸区域内仅可使用经过适当认证的产品。例如，在欧洲产品必须符合自2003年起生效的ATEX100a指令要求。本质安全产品则即使出现故障，也不会产生足以引燃某类气体的能量。从本质安全产品引出至安全区域的线路必须使用安全栅进行隔离。例如，维萨拉HMT360系列本质安全湿度变送器即专为危险环境应用而设计。



## 冲击与振动

在探头承受过量冲击或振动的情况下，对于探头选型、安装方法和安装位置须加以周密考虑。

维萨拉HUMICAP®湿度温度变送器系列HMT360即专为危险及爆炸环境而设计。

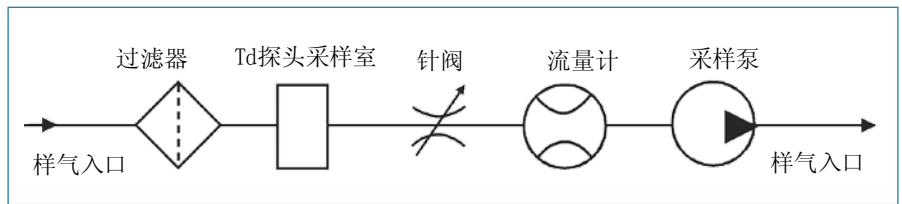


图4: DSS70A采样系统由用于净化气体的过滤器和控制采样流速的针阀组成。针对未加压工艺气体的采样需要使用采样泵。

## 优质湿度传感器有哪些特征?

湿度传感器性能是湿度测量总体质量的关键所在。可以从以下几个重要方面考虑传感器特性:

### 快速响应时间

传感器响应时间即传感器对湿度阶跃变化的响应速度。除传感器之外，温度和气流和过滤器类型均对响应时间有一定影响。阻塞式过滤器会减缓响应速度。

### 最佳量程

要根据应用和工作温度的不同选择湿度传感器，在极端湿度条件下尤为如此。

绝大部分维萨拉湿度传感器可在全量程0至100%RH范围内工作。维萨拉HUMICAP®传感器是针对相对湿度处于10-100%RH应用的最佳之选，而DRYCAP®传感器则专为0-10%RH较低湿度范围测量而设计。

### 良好的化学耐受性

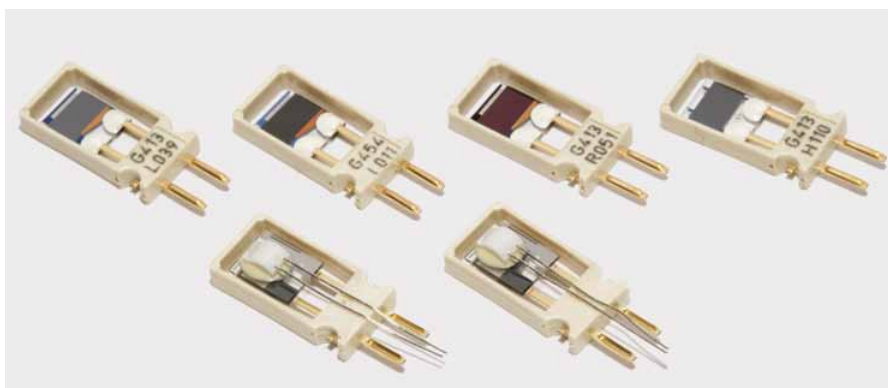
腐蚀性化学物质会造成传感器的损毁或污染。仪表制造商应当了解各种化学品对其传感器的影响，并提供可耐受化学品浓度有关的建议。

## 高精度

精度是一个使用甚广但又难于定义的术语。从国际认可校准实验室的主标准到实际产品制造和现场测量的每个校准链环节均会产生误差。这些潜在误差的总和即测量的不确定性。

在选择湿度传感器时，需考虑以下与精度有关的因素：

- 工作范围内的线性
- 迟滞性与可重复性
- 一段时间内的稳定性
- 传感器的温度依赖性



维萨拉生产的湿度传感器。

在仪表制造过程中，维萨拉产品是与工厂标准为基准进行比较与调校，而工厂标准是直接溯源到国际公认的标准。绝大多数

维萨拉产品随设备提供包含详细校准链信息的证书。

## 为‘工作’选择适当的湿度仪表



### 维萨拉湿度仪表使用的防护性过滤器。

为确定适用的最佳湿度参数和最佳仪表，无论哪种应用均应知道气体温度和预计水蒸气含量的范围。在工艺环境测量湿度时，还须知道工艺压强。对于空气之外的气体，必须知道气体组分。

术语探头、变送器和传感器均用以表述测量湿度的仪表产品。探头是包含湿度传感器在内的产品组件。探头可直接与变送器连接，也可通过柔性线缆连接。变送器可提供输出信号。

维萨拉以 HUMICAP®和DRYCAP®传感器为基础设计并制造了多种用于测量相对湿度、温度和露点的产品。所有维萨拉湿度仪表均配有内置温度补偿功能，可降低由于温度波动和极端工作温度导致的误差。许多产品还包括其他湿度参数的内置计算功能。

### 选用正确的过滤器保护传感器和电子器件

过滤器不但可以将传感器与任何杂散电磁场屏蔽隔离，还可保护传感器免于粉尘、污垢和机械应力的影响。薄膜过滤器或网式过滤器适用于大多数应用。在温度高于80°C、高压、或空气流动速度达到75米/秒的情况下，应当选用烧结过滤器。

适当的保护型外壳能够让仪表电子器件免于粉尘、污浊和过度潮湿的影响。防护

等级为IP65或NEMA 4的外壳能够有效防护粉尘和喷溅水的影响。在安装过程中需要对线缆接入点进行密封处理。

在室外使用仪表时，应安装防辐射罩或百叶箱以防止太阳辐射和极端天气影响测量效果。

### 仪表必须具有抗冷凝功能吗？

在接近冷凝条件下获得良好的湿度测量效果具有相当难度。在测量接近饱和点相对湿度时，采用可加热探头技术能够获得可靠的测量性能。可加热探头的湿度水平始终保持在环境湿度水平之下，因此不会发生冷凝。

## 仪表必须具备耐受化学品的性能吗?

化学品清除功能有助于保持化学品或清洁剂浓度较高环境下的测量精度。定期清洗加热传感器能够有效去除长时间积累的化学物质。

## 电磁兼容性(EMC)的重要性

有许多标准对产品抗外部电气干扰能力有明确定义。此外,产品必须不得产生能够对敏感性设备产生干扰的辐射。工业应用对电磁兼容性(EMC)的要求比暖通空调设备更为苛刻,CE标记为欧洲合规标志。

## 接线与接地问题

若非线缆走线较短,则推荐使用屏蔽电缆。应避免接近高压电缆或射频辐射源。建议将电缆屏蔽层在公共点接地,避免使用多个接地点。某些维萨拉产品还可选用电流隔离功能。

## 采购前对校准问题考量

湿度(露点)测量仪表通常需要每年或每隔一年进行校准。根据应用领域和仪表稳定性的不同,在不同程度的现场检查与校准便利性上对校准要求也有所不同,例如,某些仪表需要送至实验室进行校准。因此熟悉校准需求是仪表选型的重要方面。

## 校准频率

特定仪表的单独校准证书可显示校准时的精度和线性特征。但并不能够体现出仪



维萨拉HUMICAP®温湿度变送器系列HMT330是专为满足苛刻工业需求而设计、使用灵活的产品系列。

## 需要使用哪种电源和输出信号?

大多数测量仪表使用低压电源供电。如果选用低压交流电源,则建议每个变送器使用隔离电源,避免产生接地回路或受到电感负载干扰。

模拟输出仪表通常均可选择电压与电流输出。选择哪种取决于信号输出距离和接口设备。某些产品采用4-20mA 回路供电

连接,在这种2线制系统中电源和输出信号电流是在同一线缆中。

除模拟输出外,某些维萨拉产品还可通过RS-232,RS-485,或LAN/WLAN接口实现数字通讯。还可使用选定的商业协议(Modbus, BACnet)。

表长期运行的稳定性。定期校准是了解仪表长期稳定性的关键。

校准频率与工作环境有关。对于HUMICAP®产品来说,维萨拉每年校准一次的经验法则足以满足要求,而对DRYCAP®产品来说,大多数应用可选择两年校准一次。在恒定高湿度 (>85%RH)、高温 (>120°C)、或化学腐蚀气氛下测量时,需要进行更高频度的检查。



配合HM70手持式仪表使用的HMW90湿度变送器现场校准。

## 湿度仪表校准

在校准过程中，需要将仪表的湿度读数与便携式参考仪表对照。应对参考仪表定期进行校准，并配有有效证书。在选择校准方法时，必须对时间、成本、技术要求、专业知识以及机构特定需求进行权衡。

可从设备上拆下的仪表和便携式仪表能够在认证实验室校准，或返回至仪表供应商处校准。维萨拉在全球设有四个提供校准服务的服务中心。

安装在工艺流程内且安装空间狭小的仪表可选用无需拆卸仪表即可进行现场单点校准方式。单点校准也可用于确认是否需要进一步调校需求。

诸如维萨拉HUMICAP® 手持式湿度温度仪表HM70或维萨拉DRYCAP®手持式露点仪表DM70之类的便携式仪表可直接与现场测量产品连接，将读数与便携式仪表显示的读数对照。

在湿度变动较大的环境下，推荐选用多点校准方法。只要当地局部环境温度保持稳定，在湿度发生装置的帮助下可以在现场完成两点或三点校准。与单点校准相



用于多点现场校准的维萨拉湿度校准器HMK15。

比，多点校准的优势在于全量程范围内可获得更高精度。例如，在使用维萨拉湿度校准器HMK15的情况下可创建多个湿度水平。

## 露点仪表校准

对低露点仪表进行高品质校准具有相当难度。为此维萨拉不建议由客户对维萨

拉DRYCAP®产品进行校准。他们可选择在诸如维萨拉服务中心之类的专业性校准实验室进行校准。但是，可使用维萨拉DRYCAP® 手持式露点仪DM70对露点仪表进行现场检查，以确认是否需要调整。

若需有关维萨拉湿度仪表的更多信息，请访问[www.vaisala.com/humidity](http://www.vaisala.com/humidity)。

**VAISALA**

更多详情，请访问 [cn.vaisala.com](http://cn.vaisala.com)，  
或联系我们：[chinasales@vaisala.com](mailto:chinasales@vaisala.com)  
维萨拉环境部客户支持电话：400 810 0126



扫描二维码，获取更多信息

Ref. B211203ZH-A ©Vaisala 2012  
本资料受到版权保护，所有版权为Vaisala及其合伙人所有。  
版权所有。任何标识和/或产品名称均为Vaisala及其合伙人的商标。事先未经Vaisala的书面许可，不得以任何形式复制、转印、发行或储存本手册中所包含的信息。所有规格，包括技术规格，若有变更，恕不另行通知。  
此文本原文为英文，若产生歧义，请以英文版为准。

[www.vaisala.com](http://www.vaisala.com)