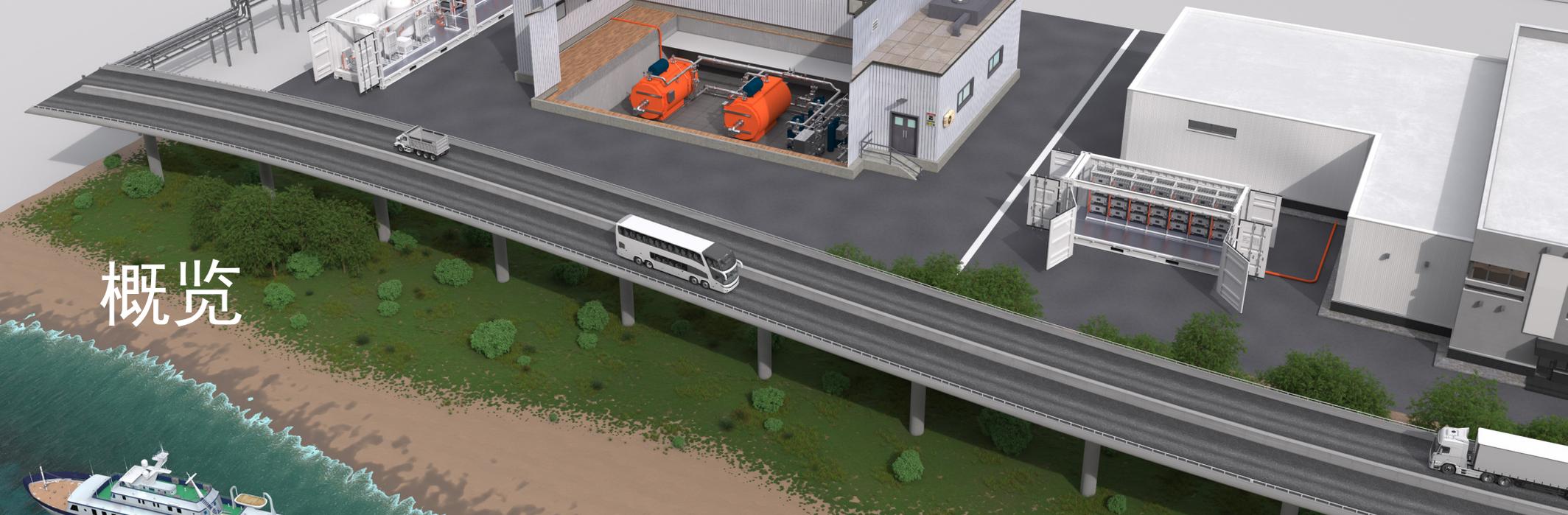


# 通过湿度控制 确保燃料电池 质量

电子书

VAISALA





# 概览

氢气生产是一个正在迅速发展壮大的产业。氢经济被认为是未来低碳经济的重要组成部分，它最终将替代矿物燃料成为我们的主要能源来源并缓解全球变暖趋势。氢的一个主要优势是适用于多种不同的燃料电池应用场合。

市场增长的一个重要驱动因素是汽车行业，目前我们正进行加紧研究，旨在推动燃料电池技术在汽车市场的应用。

无论将燃料电池应用于何处，都无一不需要它们具备优异的质量。影响燃料电池质量的因素有很多，但在其制造和测试过程中准确测量和控制湿度至关重要。本电子书重点介绍如何进行湿度测量，以便即使在非常潮湿的环境中也能提供可靠的测量结果。

使用燃料电池技术的应用可以分为三大类：

1. **便携式发电**  
(用于移动设备和便携式辅助电源)
2. **固定式发电**  
(分布式发电、备用电源和并网电站)
3. **运输**  
(汽车、公共交通和重型机械)

# 通过适当加湿来提高燃料电池的效率和使用寿命

## 燃料电池的工作原理

燃料电池直接将化学能转换为电能，不经过任何燃烧过程。燃料电池的工作原理基于氧化还原反应。在氢和氧发生反应时释放能量。这个直接过程具有高效率的优势（效率超过 50%），如果产生的热能也被回收，效率可达到 85%。从发电角度来看，它超过了任何燃烧过程的效率。氢气生产是一个正在迅速发展壮大的产业。氢经济被认为是未来低碳经济的重要组成部分，它最终将替代矿物燃料成为我们的主要能源来源并缓解全球变暖趋势。氢的一个主要优势是适用于多种不同的燃料电池应用场合。

每种燃料电池技术都有自身的优势和不足。当今市场上的三大技术是按质子载体介质来区分的：聚合物电解质膜 (PEM)、固体氧化物 (SO) 和熔融碳酸盐 (MC)。从应用角度看，其中 PEM 技术较通用，因为它的工作温度低 (<100 °C)，这使得它同时适用于小型和大型燃料电池。

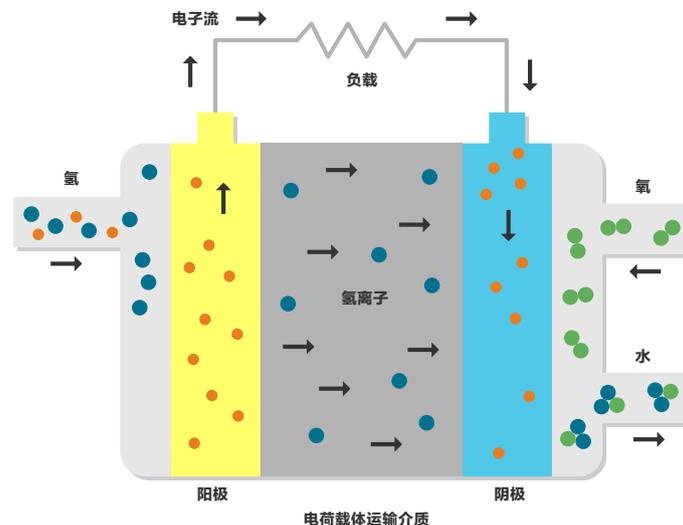
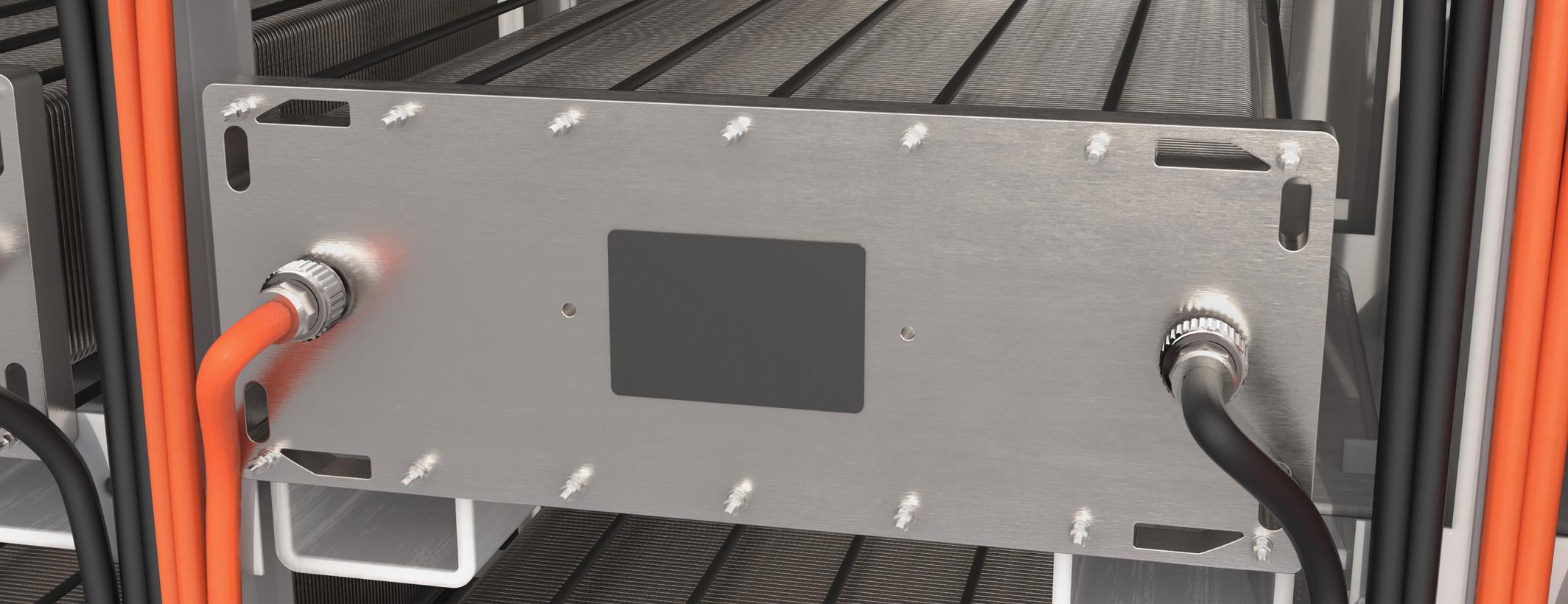


图 1: PEM 燃料电池的工作原理。在催化剂作用下氢燃料在阳极发生反应，形成电子和氢原子核。这些核通过电荷载体介质被运输到阴极，在阴极与氧反应生成水。电子流过外部电路，产生电流。



固体氧化物燃料电池涉及高温，最适合较大型应用，如分布式发电。但是 PEM 燃料电池是纯氢电池，SOFC 燃料电池则可以使用天然气或其他碳氢化合物，在重整过程中从这些物质中提取氢。SOFC 燃料电池的工作温度高，这样更易于将重整阶段整合到燃料电池装置。

PEM 燃料电池的工作原理如图 1 所述。氢燃料在阳极处被分解为质子（氢离子）和电子时，通过外部电路使电子流向阴极，从而产生电流。通过阴极的湿膜运输正电荷载体（氢原子核），在阴极氢原子核与氧反应生成水。此反应会产生电流和热量。

### 提高燃料电池的效率

燃料电池的效率受限于各种损耗：催化反应和催化剂状况引起的活性损耗，在质子运输期间运输介质中发生的欧姆损耗，到反应表面的质量传递速度受限导致的浓度损耗，以及当燃料在膜中扩散而不发生反应时导致的内部电流。引起损耗的原因与电池中水和温度的管理有关。如果没有很好地控制温度和水分，催化剂和质子运输介质的老化会增加损耗，降低效率，最终导致电池解体。

较小的 PEM 电池通常不需要湿化，但在携带较高电流的较大电池中，聚合物膜可能需要进行反应物湿化以防止它在负载下脱水。质子交换容量与聚合物水分成正比，干聚合物将限制反应速度并导致电池损耗。

与干聚合物有关的另一个考虑因素是其使用寿命，这是设计燃料电池时要关注的主要问题之一。另一方面，如果未及时将生成的水从电池的阴极一侧除去，水淹将导致电池性能不佳。

燃料流中的湿度测量可帮助控制加湿过程、估计水的质量平衡并维持正常的膜水分。为了提高反应效率，大量的反应气体可能会被引导到催化表面。来自阳极出口的潮湿未反应燃料可再循环回到阳极入口，以湿化燃料流。这种再循环可能导致污染物积聚，这对于 PEM 燃料电池尤为有害。

除了控制燃料流湿度之外，阳极和阴极流的湿度测量可用于杂质测量 – 当总压以及氢和水的分压已知时，可以估计循环回路中杂质的分压。



# 适用于高湿度环境的加热探头技术

高湿度环境很难进行湿度测量。环境中的湿度饱和会导致在所有物体表面（包括测量传感器）形成冷凝，这对于某些技术来说可能是致命问题。虽然维萨拉 HUMICAP® 技术耐受冷凝，但仍需借助维萨拉的防冷凝技术，才能确保即使在冷凝环境下也能提供准确可靠的测量结果。加热的探头可使传感器持续保持在环境温度以上，以确保不会形成冷凝水。

燃料电池应用中的湿度测量是在高湿环境下执行的，相对湿度通常超过 80%。在接近冷凝的环境中执行湿度测量相当困难，因为冷凝可能使相对湿度传感器浸湿。传感器干燥和恢复可能需要很长时间，在此期间无法进行测量，也无法控制燃料流湿度。

维萨拉加热探头技术可以很好地解决这个难题，因为通过将传感器元件加热到高于环境温度，可以将相对湿度降低到冷凝点以下。使用位于湿度传感器附近的附加温度传感器，还可以测量实际过程温度。根据这两个值，就可以计算高湿度过程的实际相对湿度，并同时防止出现冷凝问题。

» 观看此可视化动态演示，了解加热探头和非加热探头在高湿度条件下测量效果的比较情况：

<https://www.vaisala.cn/zh/industries-applications/fuel-cell-new>

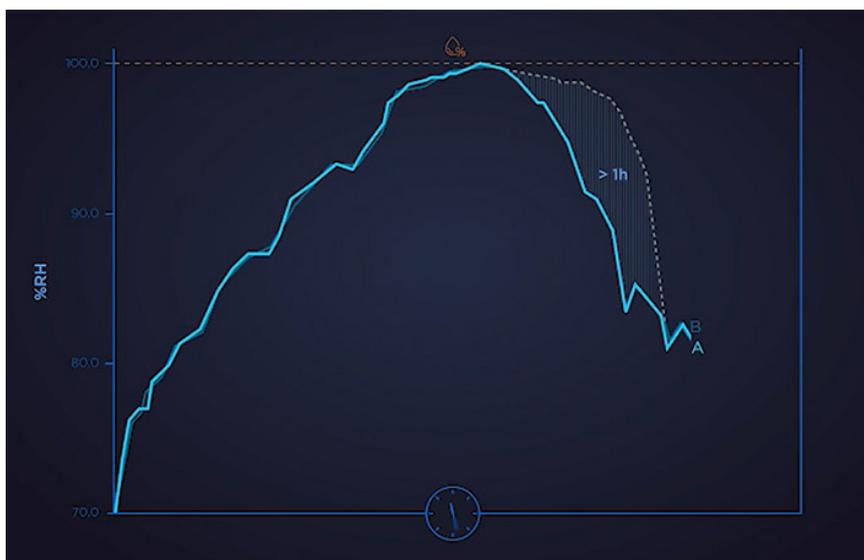


图 2. 在此可视化示意图中，维萨拉 HUMICAP® 探头 A 具有加热功能，而探头 B 不具有加热功能。当达到 100% 相对湿度 [RH] 时，探头 A 快速恢复，可显示准确的湿度读数，而探头 B 恢复得非常缓慢。根据设备的不同，恢复时间可能需要数小时不等。

# 通过露点温度控制工艺流程

露点温度在工业应用中是一个有用的参数，因为它不受温度变化影响。它通常用于测量各种干燥应用中的干燥度，此类应用中的相对湿度 (RH) 很低，还可用于在需要给空间增湿或在受控环境中维持高湿度时了解露点温度，比如在燃料电池测试和制造过程中。

如果可以直接用传感器测量相对湿度，为什么还要测量露点温度呢？相对湿度是一个依赖于温度测量的输出参数，也就是说，如果使用传感器加热技术，探头的温度读数将会失真。因此，可以使用单独的仪器测量环境的真实温度，或者将温度数据输入 Modbus 寄存器。探头加热对露点温度测量没有影响，这就是可以选择将其用作输出参数的原因。

» 请参阅 <https://www.vaisala.cn/zh/industries-applications/fuel-cell-new> 中的资源部分，详细了解如何使用露点温度控制工艺过程。



案例：

# Scribner 在推进燃料电池测试系统方面取得的成功

作为电化学研究与开发领域值得信赖的仪表和软件开发商，Scribner, LLC 提供的解决方案不断刷新仪表控制和数据分析方面的标准。Scribner 专门制造电化学能量转换与储存领域的测试设备，要求其燃料电池测试系统在气流中产生稳定、可重复的水气量或湿气量。

电化学系统内较高的水气浓度可能导致过度冷凝、积聚和系统组件损坏，从而导致测量误差和传感器使用寿命缩短。为了满足高露点环境中苛刻的校准要求，Scribner 转而选用维萨拉提供的湿度和温度监测解决方案，取得了良好的效果。

» [了解 Scribner 如何借助维萨拉测量技术解决测量挑战。](#)



“我们喜欢维萨拉仪表。  
它一直表现良好。”

Kevin Cooper 博士  
Scribner 首席科学家

案例：

# VTT 在其燃料电池研究过程中测量湿度和 CO<sub>2</sub>

VTT 是芬兰主要研究机构之一，在氢经济领域扮演着重要角色，致力于燃料电池系统的研发、设计与制造，同时也在提高氢气质量、改进储存技术、制定法规及确保安全等方面积极开展工作。他们还针对 Hydrogen-to-X 和 Power-to-X 系统、氢燃料补给站、作业机械和重型车辆展开研究。

VTT 研究教授 **Jari Kivimäki** 在燃料电池研究中非常信任并采用了维萨拉湿度测量仪表。他们在燃料电池堆反应前后使用仪表来控制并监测工艺过程气体湿度。他们测量氢气纯化和生产过程中环境空气的湿度水平。在 PEMFC 催化剂耐久性研究中，VTT 不仅使用不含 CO<sub>2</sub> 的压缩空气，还使用维萨拉二氧化碳仪表来控制空气纯度。

» **收听点播式网络研讨会**，其中 Kivimäki 探讨了氢经济的未来以及燃料电池和电解槽的作用。在此网络研讨会中，维萨拉产品经理 Juhani Lehto 还深入介绍了可用于燃料电池应用的湿度测量技术。



维萨拉 HUMICAP® – 开启

# 现代湿度测量技术的新篇章

维萨拉 HUMICAP 是一款薄膜电容型湿度传感器。1973 年推出的这一产品引发了湿度测量技术的革新。HUMICAP 传感器没有活动部件，并且由于采用半导体和薄膜技术，其尺寸很小。

自 20 世纪 70 年代起，维萨拉逐渐在相对湿度测量市场上广受客户青睐，他们的薄膜电容式湿度传感器不仅仅是一家公司的发明，还促进了整个行业的发展。自 20 世纪 90 年代起，采用 HUMICAP 技术的产品还被选中用于测量火星上的条件。

HUMICAP 传感器与维萨拉的其他传感器技术一样，都是在我们自己的内部洁净室中制造的。传感器晶圆会在洁净室中停留长达三个月，在此期间会经历 100 多次统计工艺控制测量。在每个生产步骤之后，我们都会对传感器晶圆进行仔细检查，例如在洁净室内使用显微镜进行检查，再对其进行进一步处理。然后，我们将晶圆带到测试区域，以传感器在实际应用时面临的相同条件对这些晶圆进行测试。



HUMICAP 不仅仅是一个传感器，也是不同行业中许多挑战的解决方案，因此我们将不断发展这项技术。

» 访问 <https://www.vaisala.cn/zh/vaisala-humicapr-technology>，了解 HUMICAP 的故事。

# 推荐的仪表同时具备加热探头和 HUMICAP 技术

推荐用于燃料电池测试和制造的湿度测量仪表包括维萨拉 HUMICAP 湿度和温度探头 HMP7 以及维萨拉 HUMICAP 湿度和温度模块 HMM170，前者可用于满足各种工艺测量需求，后者则支持集成到设备上。

HMP7 准确可靠，非常适用于高湿度环境，并且兼容维萨拉 Indigo 系列数据处理单元，可轻松实现数据评估和可视化。

HMM170 传感器易于集成，可耐受高湿度、真空和高压条件。

这两款仪表均采用 HUMICAP 技术，并利用加热探头功能，即使在苛刻的高湿度条件下也能提供准确、稳定的测量结果。

» 有关产品、测量技术和未来见解的更多信息，请访问 <https://www.vaisala.cn/zh/industries-applications/fuel-cell-new>。



## HMM170

» 了解更多 [vaisala.com/hmm170](https://www.vaisala.com/hmm170)

## HMP7

» 了解更多 [www.vaisala.cn/zh/hmp7](https://www.vaisala.cn/zh/hmp7)



# VAISALA

Ref. B212789ZH-B ©Vaisala 2024

本资料受到版权保护，所有版权为 Vaisala 及其各个合作伙伴所有。保留所有权利。所有徽标和/或产品名称均为维萨拉或其单独合作伙伴的商标。未经维萨拉事先书面同意，严禁以任何形式复制、转让、分发或存储本手册中的信息。所有规格（包括技术规格）如有变更，恕不另行通知。

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

