

培养箱中的 CO₂ 测量 —— 问题与解答



常见问题

1. CARBOCAP® NDIR（非色散红外）单光束双波长传感器的工作原理是什么？
2. 温度和压力如何影响 CO₂ 测量？
3. 使用维萨拉 CO₂ 产品时可以如何校正温度和压力误差？
4. 从培养箱取样时如何避免冷凝？
5. 在借助干燥管使用泵采样方法时，CO₂ 浓度读数为什么高于预期？

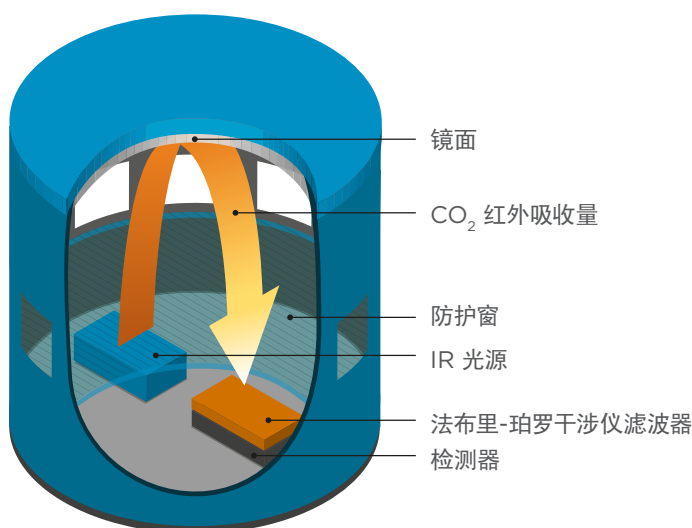
本文档旨在解答有关 CO₂ 测量和产品的常见问题。

1. CARBOCAP® NDIR（非色散红外）单光束双波长传感器的工作原理是什么？

维萨拉 CARBOCAP® 传感器具有三个主要组件：光源、干涉仪和红外探测器。将光源放置在能够照射到红外探测器的位置，这样光线就能以固定的距离抵达探测器，而探测器则对光的强度进行测量。

将法布里-珀罗干涉仪 (FPI) 放置在红外探测器的正前方。FPI 是一种可调谐滤波器，仅允许特定波长的光通过控制器。

二氧化碳只吸收特定波长的光，而不吸收其他波长的光，因此 FPI 旨在传递具备 CO₂ 吸收波长 (4.26 μm) 的光线和附近的非吸收波长光线。见右侧插图。



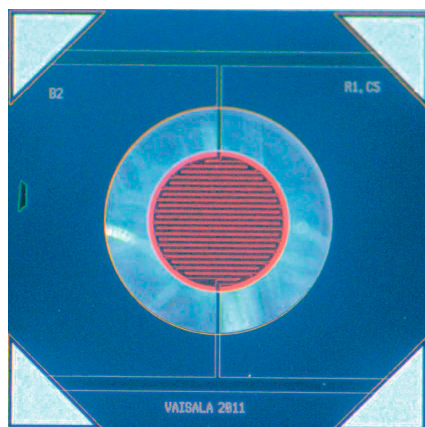
处于 CO₂ 吸收波长时，光会被气体中存在的二氧化碳吸收。FPI 会筛选其他波长，因此到达红外探测器的光强度随传感器内 CO₂ 含量的变化而变化。

当传感器工作时，FPI 会在两个波长之间有规律地来回调整。处于 CO_2 吸收波长时，检测到的光强度的降低与光路中 CO_2 的浓度成正比。处于非吸收波长时，测量到的光强度则用作比较基准。

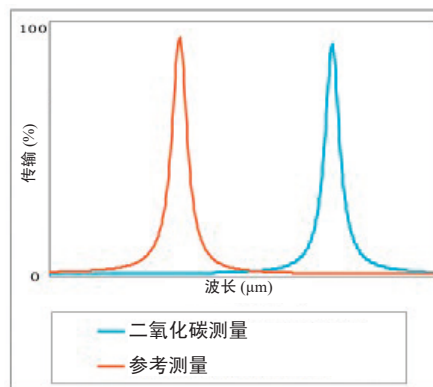
随着 CO_2 浓度的变化，光强度的差异也会发生变化。当使用纯氮 (0 ppm CO_2) 和已知浓度的 CO_2 校准仪表时，将会确定红外光强度和 CO_2 体积浓度之间的确切关系。

CARBOCAP® 传感器设计简单而坚固，仅使用一个光源和一个红外探测器。这可消除因双光束传感器设计包含的多个组件之间的细微差异引起的误差。CARBOCAP® 传感器中使用的 FPI 由硅微加工而成，没有移动部件，性能可靠。

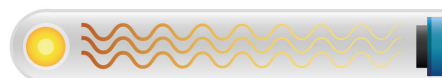
CARBOCAP 传感器还采用了维萨拉新一代的红外光源和微辉光。微辉光技术解决了传统红外光源面临的许多困境。微辉光



维萨拉微辉光，一种硅 MEMS 发射器红外光源。



吸收和参考均使用 CARBOCAP® 传感器进行测量。

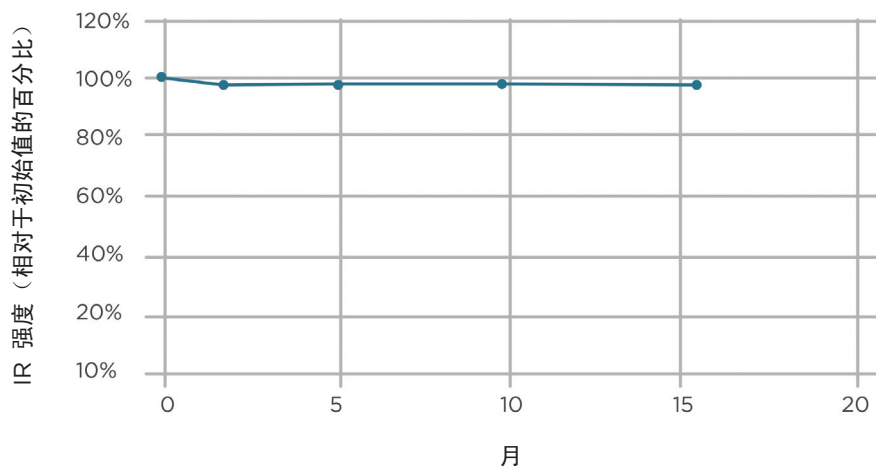


FPI 被调谐到附近的非吸收参考波长，红外探测器在该波长下测量光的完整强度，从而建立比较基准。光源、FPI 或红外探测器在操作方面的变化都会同等地影响两个测量值，从而保持两个测量值之间的差异，实现对传感器的校准。这是传感器持续稳定的关键。

的主要优点是具有良好的稳定性、低功耗和延长的使用寿命。用微辉光技术取代白炽灯泡可将传感器的使用寿命提高 50%，而功耗仅为传统红外光源的 25%。

微辉光的强度在其整个生命周期内持续稳定。其他优点包括响应时间短和可制造性良好，因为芯片可以直接自动组装在电路板上。

请访问 vaisala.com/microglow, 了解有关微辉光技术的更多信息。



微辉光良好的稳定性。

2.温度和压力如何影响 CO₂ 测量？

从根本上来看，非色散红外仪表测量的都是摩尔密度（光束路径中的分子数）。大多数用户喜欢以体积百分比输出，对 CO₂ 仪表进行调整，通过将分子数与已知的 CO₂ 体积浓度相关联来显示该值。

由于气体是可压缩的，其摩尔密度会随着环境大气压和温度的变化而变化，这意味着输出取决于温度和压力。

如果测量条件明显偏离校准条件（1013 hPa 和 25 °C），则需要对 CO₂ 测量进行补偿。请参阅下一页的表 1 和表 2，查看理想气体定律下未补偿的压力和温度变化所造成的影响幅度。

要详细了解补偿的必要性，先了解一些有关气体行为的信息会很有帮助。对于

气体混合物而言，总压等于所有组分气体的分压之和。这就是道尔顿定律，其表示如下：

$$P_{总} = P_1 + P_2 + P_3...$$

混合物中气体的量都可以用压力来表示。以空气为例，其主要成分是氮气、氧气、二氧化碳和水气，因此总大气压由这些气体的分压组成。

每种气体的分压是其体积浓度与系统总压力的乘积。

我们呼吸的空气由大约 78% 的氮气、21% 的氧气、0.9% 的氩气和大约 0.04% 的二氧化碳组成。无论海拔高度如何，这些百分比在整个大气层中大致保持不变。

海平面平均大气压约为 1013 hPa，因此二氧化碳的分压为 1013 hPa 的 0.04% (0.0004*1013)，即 0.405 hPa。例如在美国科罗拉多州丹佛市，海拔高度约为 5280 英尺，大气压约为 834.3 hPa，按同样 0.04% 二氧化碳计算的话，其分压为 0.334 hPa，而不是 0.405 hPa。

即使在这个较高的海拔高度，CO₂ 仍然占大气的 0.04%，但压力较小，压力降低时，摩尔密度也会降低。由于 NDIR 传感器本质上测量的是摩尔密度，因此在需要体积百分比或 ppmv 读数时，需要进行补偿。温度补偿也很重要，因为随着温度降低，摩尔密度会增加。

大多数维萨拉二氧化碳变送器都有一个集成的温度传感器，该设备可以自动补偿测量中与温度相关的变化。此外，还可以设置氧气和相对湿度补偿，但这些参数对测量准确度的影响很小。

表 1. 根据理想气体定律，未补偿的压力变化对 NDIR 传感器中 %CO₂ 读数的影响。

| 校准仪表时，环境气温为 25 °C，气压为 1013 hPa | | | | | |
|--------------------------------|------|----------|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| 海拔高度 | | 压力 (hPa) | 测量浓度 (%CO ₂) | 校正浓度 (%CO ₂) | 差异 (%CO ₂) |
| 英尺 | 米 | | | | |
| 0 | 0 | 1013 | 5.00 | 5.00 | 0.00 |
| 500 | 153 | 992.8 | 4.90 | 5.00 | 0.10 |
| 1000 | 305 | 979.1 | 4.83 | 5.00 | 0.17 |
| 1500 | 458 | 958.4 | 4.73 | 5.00 | 0.27 |
| 2000 | 610 | 937.7 | 4.63 | 5.00 | 0.37 |
| 2500 | 763 | 923.9 | 4.56 | 5.00 | 0.44 |
| 3000 | 915 | 903.2 | 4.46 | 5.00 | 0.54 |
| 3500 | 1068 | 889.4 | 4.39 | 5.00 | 0.61 |
| 4000 | 1220 | 868.7 | 4.29 | 5.00 | 0.71 |
| 4500 | 1373 | 854.9 | 4.22 | 5.00 | 0.78 |
| 5000 | 1526 | 834.3 | 4.12 | 5.00 | 0.88 |
| 5500 | 1679 | 820.5 | 4.05 | 5.00 | 0.95 |
| 6000 | 1831 | 806.7 | 3.98 | 5.00 | 1.02 |

表 2. 根据理想气体定律，未补偿的温度变化对 NDIR 传感器中 %CO₂ 读数的影响。

| 校准仪表时，环境气温为 25 °C，气压为 1013 hPa | | | |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| 温度 (°C) | 测量浓度 (%CO ₂) | 校正浓度 (%CO ₂) | 差异 (%CO ₂) |
| 25 | 5.00 | 5.00 | 0.00 |
| 26 | 4.98 | 5.00 | 0.02 |
| 27 | 4.97 | 5.00 | 0.03 |
| 28 | 4.95 | 5.00 | 0.05 |
| 29 | 4.93 | 5.00 | 0.07 |
| 30 | 4.92 | 5.00 | 0.08 |
| 31 | 4.90 | 5.00 | 0.10 |
| 32 | 4.89 | 5.00 | 0.11 |
| 33 | 4.87 | 5.00 | 0.13 |
| 34 | 4.85 | 5.00 | 0.15 |
| 35 | 4.84 | 5.00 | 0.16 |
| 36 | 4.82 | 5.00 | 0.18 |
| 37 | 4.81 | 5.00 | 0.19 |



同时配备二氧化碳探头和湿度探头的维萨拉 GM70。

3.使用维萨拉 CO₂ 产品时可以如何校正温度和压力误差？

在与校准条件不同的温度和压力下进行的二氧化碳测量可能需要进行校正以达到所需的准确度。可以使用符合理想气体定律的公式对体积百分比读数进行简单的校正：

$$\frac{c_{\text{校正}} (\%/ppm)}{c_{\text{测量}} (\%/ppm) \cdot (1013 \cdot (t(^{\circ}\text{C}) + 273))} = \frac{1}{(298\text{K} \cdot p(\text{hPa}))}$$

在维萨拉 CARBOCAP® 手持式二氧化碳测量仪 GM70 中，可以在 GM70 用户菜单中轻松设置测量点的环境温度和压

力。补偿在内部进行，仪表显示校正后的测量值。内部校正还考虑了由真实气体定律以及仪表电子和光学元件引起的依赖性。GM70 的内部校正比理想气体定律校正更准确。补偿温度的另一种方法是将维萨拉 HUMICAP® 温湿度探头 HMP77B 连接到 CO₂ 探头旁边的 MI70 指示器。可以将使用探头测量的温度设置为自动补偿 CO₂ 读数。

维萨拉 CARBOCAP® 二氧化碳探头 GMP231 和 GMP251 具有内部温度补偿，探头测量时可自动补偿温度。还可以设置氧气和相对湿度补偿以获得理想准确度。

4. 从培养箱取样时如何避免冷凝？

GM70 提供两种采样方法：扩散和泵吸。泵吸选项设计用于从无法进行扩散式直接测量的空间中抽取样本。

从潮湿环境中抽取气体样本时必须采取预防措施，以确保探头和泵腔内的 NDIR 传感器的光学表面不会发生冷凝。

在培养箱和环境试验箱中开展测量颇具挑战性，因为气体样本通常是从高温和高湿的环境中抽取到室温环境中，这会导致冷凝。



维萨拉 GM70 用于验证培养箱中的 CO_2 浓度。

使用由 Nafion® 材料制成的采样管（可作为配件提供，维萨拉部件号 212807GM），可以避免管和采样系统内部出现冷凝。



Nafion® 管，维萨拉部件号 212807GM。

该干燥管采用的核心技术是 Nafion®¹，在除水方面具有良好的选择性。水会穿过膜壁并在称为渗透蒸发的过程中蒸发到周围的空气中。Nafion® 通过吸收去除水分，吸收以一级动力学反应的方式发生。在干燥应用中，水分交换器将湿气流中的水气转移到周围的大气中。当样本湿度水平等于环境湿度水平时，干燥完成。由于干燥是以一级动力学反应的形式进行的，因此可以迅速达到该水平，通常仅需 100 到 200 毫秒。此行为使得该干燥管成为需要将潮湿的样本抽取到室温环境时的理想选择。只需很短的一段管路即可降低气体样本的湿度。有关干燥管的更多信息，请参阅 www.permapure.com。

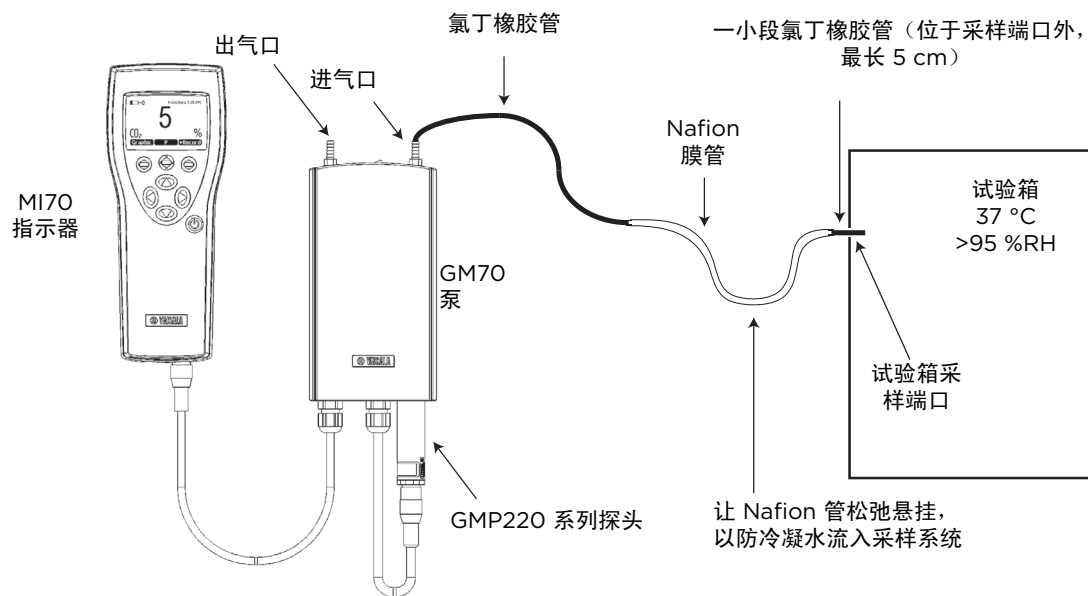
¹ Nafion® 是杜邦公司生产的聚四氟乙烯（特氟龙）和全氟-3,6-二氧杂-4-甲基-7-辛烯磺酸共聚物

当使用 GM70 泵从培养箱中取样时, 请使用 Nafion® 管来避免采样系统中发生水汽凝结的可能。建议遵循以下指南:

- 最好将 Nafion® 采样管布置在培养箱和周围环境之间的过渡点处。在环境中布置 20 cm 的 Nafion® 管即可将所提取样本中的水气转移到周围环境中。采样管的其余部分可能是氯丁橡胶或其他材料。使用软管倒钩配件或采用其他方法连接管路, 以防止环境空气泄漏到样本中。尽可能缩短整个采样管路的长度。
- 如果通过培养箱门取样, 请将 Nafion® 管插入培养箱并轻轻关闭培养箱门, 通过检查确保门密封不会损坏干燥管且在其周围实现了充分的密封。

- 从试验箱中抽取气体样本时, 应将数厘米长的采样管路放到试验箱内部。如果从中抽取样本的试验箱内部存在冷凝风险, 请特别注意不要让冷凝液流到管中。
- 要确定冷凝液并没有接触到探头, 您可以从 GM70 泵中拔出 CO₂ 探头。重新插入探头时, 不要将探头完全推入。而是将两个 O 形圈与光滑探头表面配合在一起, 以实现紧密连接。
- 如果通过培养箱上的孔或其他端口进行采样, 请将 Nafion® 管插入培养箱并在其周围密封。

- 如果通过软管倒钩配件/采样端口采样, 请使用短的氯丁橡胶管将 Nafion 管接头连接到培养箱接头。使用氯丁橡胶管作为“接头”, 让 Nafion® 管尽可能靠近软管倒钩。最好不要让样本气体通过氯丁橡胶管, 因为有可能在氯丁橡胶管内产生冷凝。
- 作为预防, 请始终让 GM70 泵高于试验箱采样端口。如果采样管中发生冷凝, 这能够避免液态水损坏 CO₂ 传感器。



采用 Nafion® 膜管的采样系统。

5.在借助干燥管使用泵采样方法时, CO₂ 浓度读数为什么高于预期?

使用 Nafion® 管干燥样本时, 干样本的 CO₂ 浓度将略高于湿样本的 CO₂ 浓度。

这是由于稀释现象所致。CO₂ 密度在培养箱中被水气占据的体积“稀释”。如果从样

本中去除水气, 其他气体 (包括 CO₂) 所占的比例将相应增加。

表 3 包含干燥气体样本时气体浓度的稀释系数。横轴提供培养箱内气体样本的露点 (在 1013 hPa 下), 纵轴提供测量点处气体样本的露点。可使用湿度探头 (HMP75B、HMP76B 或 HMP77B) 确定测量点处气体样本的露点。

表 3. 稀释系数

| Td (°C) | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|---------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| -60 | 0.9999 | 0.9996 | 0.999 | 0.997 | 0.994 | 0.988 | 0.977 | 0.958 | 0.927 | 0.878 | 0.803 |
| -50 | 0.9999 | 0.9997 | 0.999 | 0.997 | 0.994 | 0.988 | 0.977 | 0.958 | 0.927 | 0.878 | 0.803 |
| -40 | 1.0000 | 0.9998 | 0.999 | 0.998 | 0.994 | 0.988 | 0.977 | 0.958 | 0.927 | 0.878 | 0.803 |
| -30 | | 1.0000 | 0.999 | 0.998 | 0.994 | 0.988 | 0.977 | 0.958 | 0.928 | 0.879 | 0.804 |
| -20 | | | 1.000 | 0.998 | 0.995 | 0.989 | 0.978 | 0.959 | 0.928 | 0.879 | 0.804 |
| -10 | | | | 1.000 | 0.997 | 0.990 | 0.979 | 0.961 | 0.930 | 0.881 | 0.806 |
| 0 | | | | | 1.000 | 0.994 | 0.983 | 0.964 | 0.933 | 0.884 | 0.809 |
| 10 | | | | | | 1.000 | 0.989 | 0.970 | 0.939 | 0.890 | 0.815 |
| 20 | | | | | | | 1.000 | 0.981 | 0.950 | 0.901 | 0.826 |
| 30 | | | | | | | | 1.000 | 0.969 | 0.920 | 0.845 |
| 40 | | | | | | | | | 1.000 | 0.951 | 0.876 |
| 50 | | | | | | | | | | 1.000 | 0.925 |
| 60 | | | | | | | | | | | 1.000 |

例如: 从 40 °C (Td) 环境中抽取气体样本并引入 10 °C (Td) 环境, 测得的气体浓度为 5.32%。在 40 °C (Td) 环境中, 这对应于 5% CO₂ (5.32% × 0.939 = 5.00%), 因为高水含量稀释了样本。

VAISALA

请联系我们, 网址为:
www.vaisala.cn/zh/lp/contact-form



扫描代码获取更多信息

参考编号B210826ZH-D ©Vaisala 2022
 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