

如何测量二氧化碳



很多应用领域（从建筑自动化和温室到生命科学和人身安全）都需要进行二氧化碳测量。

本文档涉及以下主题：

- 红外二氧化碳 (CO₂) 传感器的操作原理
- 理想气体定律以及如何使用它来针对环境因素补偿 CO₂ 测量值
- CO₂ 变送器的最佳位置
- 与 CO₂ 有关的安全问题

红外传感器的操作原理

二氧化碳和由两个或更多不同原子组成的其他气体以独特的方式吸收红外线 (IR) 辐射。可使用 IR 技术检测这类气体。例如，可使用 IR 传感器测量水蒸汽、甲烷、二氧化碳和一氧化碳的含量。其特征吸收谱带显示在图 1 中。

IR 传感是应用最广泛的一种 CO₂ 检测技术。IR 传感器与化学传感器相比有很多优势。它们稳定，且对于测量的气体具有高选择性。它们的使用寿命长，因为测量的气体不直接与传感器作用，IR 传感器可以承受高湿度、灰尘、脏污和其他恶劣环境。

IR CO₂ 检测器的核心部件是光源、测量室、干扰滤波器和 IR 检测器。IR 辐射从光源通过测量的气体导向到检测器。位于检测器前面的滤波器防止非测量气体特有的波长抵达检测器。检测光强度并将其转换为气体浓度值。

维萨拉 CARBOCAP® 二氧化碳传感器使用 IR 红外传感技术来测量 CO₂ 的体积浓度。它采用独特的电可调法布里-珀罗干涉仪 (FPI) 滤波器进行双波长测量。这意味着除了测量 CO₂ 吸收量外，CARBOCAP® 传感器还执行参考测量，该测量可补偿光源强度的变化以及光路中的污染和污垢积聚。这使传感器随着时间的推移也非常稳定。有关用于 CO₂ 测量的所有维萨拉产品系列，请访问：[www.vaisala.com/CO₂](http://www.vaisala.com/CO2)

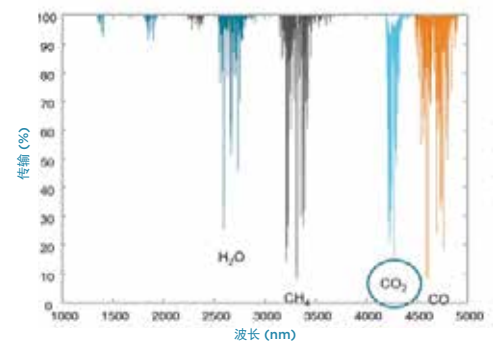


图 1. CO₂ 和一些其他气体的 IR 吸收量

理想气体定律

当估计温度和压力变化对 CO₂ 测量的影响时，理想气体定律很有用。它可用于补偿 CO₂ 读数。

理想气体是一种假想气体，它们由随机移动的相同点粒子组成，其大小和分子间相互作用力可忽略不计。假定理想气体分子相互之间以及与容器壁均发生弹性碰撞。

在现实世界中，气体的行为并不与理想气体的行为完全相同，但是理想气体的行为常常可用于描述实际气体的近似行为。理想气体定律根据下面的方程式来描述一定量气体的状态与压力、体积和温度之间的关系：

$$pV = nRT$$

其中

p = 压力 [Pa]
 V = 气体体积 [m³]
 n = 气体量 [mol]
 R = 通用气体常数
(= 8.3145 J/mol K)
 T = 温度 [K]

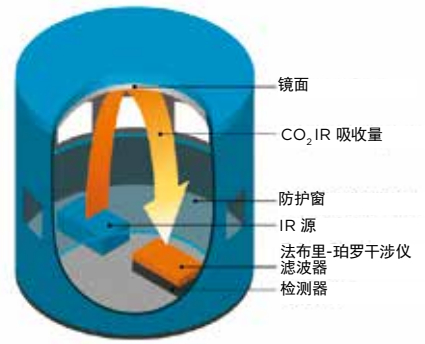
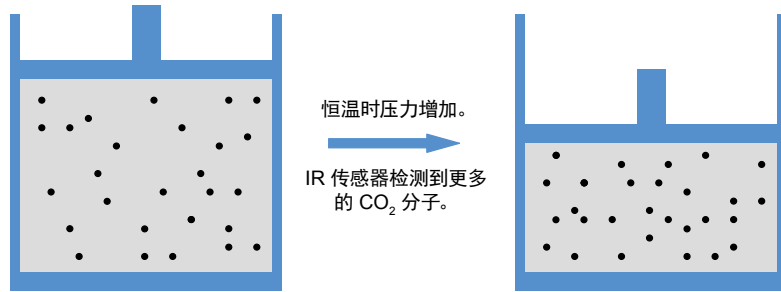
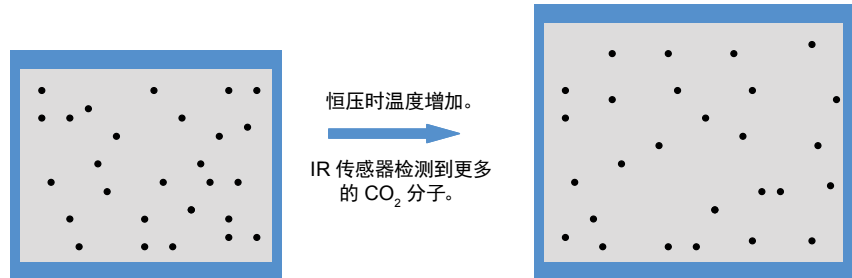


图 2. 维萨拉 CARBOCAP® CO₂ 传感器的结构

恒温时压力增加



恒压时温度增加



CO₂ 变送器的最佳位置

- 避免放在人呼吸的气体可能会直接传到传感器的位置。还要避免将传感器靠近进气或排气管，也不要靠近窗口和门口。
- 墙上安装的传感器（按需通风）与管道安装的传感器相比，可提供有关通风效果的更准确数据。管道安装的传感器更适合单区域系统，应尽可能靠近被占用的空间，以便于维护。
- 出于人身安全目的测量 CO₂ 时，变送器应靠近潜在的泄漏点安装，以便提早检测。需要考虑监测区域的几何形状、通风和气流情况。应基于风险评估确定 CO₂ 变送器的数目和位置。

温度和压力对 CO₂ 测量的影响

大多数气体传感器发出的信号与分子密度（单位气体体积的分子数）成正比，即使读数用 ppm（百万分率，体积/体积）表示。压力和/或温度变化时，气体的分子密度根据理想气体定律发生相应变化。该影响通过传感器的 ppm 读数可以看到。

下图直观地说明压力或温度增加如何改变气体状态以及它如何影响 CO₂ 测量。

理想气体定律可用于计算给定温度和压力下气体的分子密度，此时标准环境温度和压力 (SATP) 条件下的气体密度是已知的。将气体量 (n) 替换为 $\rho V/M$ ，假定气体的摩尔质量 (M) 在两个不同条件下为常数，则方程式可以表示为：方程式 1。

密度公式可用于估计当温度和/或压力变化时气体传感器读数如何变化。

密度公式可用于补偿测量 CO₂ 时的温度和压力变动。普通 CO₂ 仪表不测量压力，因此无法自动补偿压力变动。在工厂校准时，通常将仪表设置为海平面压力条件 (1013 hPa)。在海拔不为海平面的高度进行测量时，建议补偿压力影响。这可以通过以下方式实现：输入用于内部补偿的正确压力设置（恒压条件）或将补偿编程到自动化系统或 PC（变化的压力条件）。

$$\rho(t, p) = \rho(25^{\circ}\text{C}, 1013\text{hPa}) \times \frac{p}{1013} \times \frac{298}{(273+t)}$$

其中

- ρ = 气体体积浓度 [ppm 或 %]
- p = 环境压力 [hPa]
- t = 环境温度 [°C]

方程式 1. 给定温度和压力下气体浓度的计算

同样的补偿规则适用于温度影响。不过，现在提供了很多可测量和补偿温度变动的 CO₂ 计，因此无需任何外部补偿。

表 1 显示根据理想气体定律，当温度和压力变化时 CO₂ 传感器读数（气体在 SATP 下包含 1,000 ppm 的 CO₂）如何变化的示例。

潮湿气体样本的干燥

进一步处理理想气体定律使我们可以了解气体混合物的组成在恒定压力、温度和体积时如何变化。例如，这可用于估计湿度变化对 CO₂ 读数的影响。

气体混合物的分子存在于在相同温度下的相同系统体积中（V 对于所有气体均相同）。理想气体定律可以改为：

$$p = (n_{\text{gas1}} + n_{\text{gas2}} + n_{\text{gas3}} + \dots n_{\text{gasn}}) \times \frac{RT}{V}$$

其中

- n_{gas1} = 气体 1 的量 [mol]
- n_{gas2} = 气体 2 的量 [mol] 等等

并且

$$p = p_{\text{gas1}} + p_{\text{gas2}} + p_{\text{gas3}} + \dots p_{\text{gasn}}$$

其中

- p = 气体混合物的总压
- p_{gas1} = 气体 1 的分压
- p_{gas2} = 气体 2 的分压等等

		温度 (°C)									
		-20	-10	0	10	20	25	30	40	50	60
压力 (hPa)	700	814	783	754	728	703	691	680	658	638	618
	800	930	895	862	832	803	790	777	752	729	707
	900	1046	1007	970	936	904	888	874	846	820	795
	1000	1163	1119	1078	1039	1004	987	971	940	911	883
	1013	1178	1133	1092	1053	1017	1000	983	952	923	895
	1100	1279	1230	1185	1143	1104	1086	1068	1034	1002	972
	1200	1395	1342	1293	1247	1205	1185	1165	1128	1093	1060
	1300	1512	1454	1401	1351	1305	1283	1262	1222	1184	1148

表 1. 在不同温度和压力条件下测量具有 1,000 ppm 浓度的气体时 CO₂ 传感器的 ppm 读数

第二个方程式称为道尔顿分压定律。它指定气体混合物的总压等于混合物中所有组分气体的分压之和。

当考虑水蒸汽对 CO₂ 传感器读数的影响时，此信息很有用。如果在压力、温度和体积不变时将水蒸汽加到干燥气体，水将替代混合物中的某些气体分子。同样，如果从高湿环境下提取某个气体样本并在进入 CO₂ 计的测量室前允许干燥，则水分子的流失会改变气体的组成，从而影响 CO₂ 测量。

这被称为稀释效应，可以使用表 2 来估计。已知干燥气体的 CO₂ 浓度时可以计算高湿环境下的 CO₂ 浓度。为此，需要知道 1013 hPa 下的露点 (T_d) 或干湿条件下的水蒸汽浓度 (ppm)。从横轴选择高湿环境的湿度条件，从纵轴选择干燥气体的条件。

T _d (°C)	T _d (°C)	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
	ppm H ₂ O	127	377	1 020	2 580	6 060	12 200	23 200	42 000	73 000	122 000	197 000
-60	11	0.9999	0.9996	0.999	0.997	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-50	39	0.9999	0.9997	0.999	0.997	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-40	127	1.0000	0.9997	0.999	0.998	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-30	377		1.0000	0.999	0.998	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-20	1 020			1.000	0.998	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-10	2 580				1.000	0.997	0.990	0.979	0.961	0.930	0.880	0.805
0	6 060					1.000	0.994	0.983	0.964	0.933	0.884	0.809
10	12 200						1.000	0.989	0.970	0.939	0.890	0.815
20	23 200							1.000	0.981	0.950	0.901	0.826
30	42 000								1.000	0.969	0.920	0.845
40	73 000									1.000	0.951	0.876
50	122 000										1.000	0.925
60	197 000											1.000

表 2. 气体样本干燥的稀释系数

示例: 从露点为 40°C (水含量为 73,000 ppm) 的环境提取一个气体样本，将其放入 20°C T_d (水含量为 23,200 ppm) 的环境。测量的 CO₂ 浓度 5.263% (20°C T_d 下) 转换为 40°C

T_d 环境下的 5.00% (5.263% × 0.950 = 5.00%)。读数变小是 40°C T_d 下更高的水含量稀释导致的。

二氧化碳和人身安全

二氧化碳是无毒性的不可燃气体。但是，暴露在高浓度二氧化碳的环境中可能导致生命危险。无论何时使用、生产、装运或存储 CO₂ 气体或干冰，CO₂ 浓度都可能上升到危险的高水平。由于 CO₂ 无色无味，因此无法检测到泄露，这意味着需要正确的传感器来帮助确保人身安全。

不同 CO₂ 浓度水平的影响

浓度	影响
350 - 450 ppm	通常的大气浓度
600 - 800 ppm	可接受的室内空气质量
1,000 ppm	可忍受的室内空气质量
5,000 ppm	要求平均暴露时间不超过 8 小时
6,000 - 30,000 ppm	要小心了，只能短时间暴露
3 - 8%	呼吸急促，头疼
> 10%	恶心、呕吐、昏迷
> 20%	很快昏迷、死亡

VAISALA

请联系我们，网址为：
www.vaisala.com/contactus



扫描代码获取更多信息

参考编号 B211228ZH-B ©Vaisala 2019
本资料受版权保护，维萨拉及其合作伙伴保留所有版权。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.com