

如何测量二氧化碳

从楼宇自动化到温室，从生命科学到安全保障这些众多应用中均需要对二氧化碳进行测量。

本指南包含了以下内容：

- 红外二氧化碳（CO₂）传感器的工作原理
- 理想气体定律以及如何利用该定律为二氧化碳测量提供环境因素补偿
- 二氧化碳变送器的最佳安放位置
- 与二氧化碳有关的安全问题



红外传感器工作原理

二氧化碳以及其它由两个或两个以上不同原子组成的气体在吸收红外光（IR）射线方面具有独特的特性。这类气体可以使用红外光技术进行探测。水蒸汽、甲烷、二氧化碳以及一氧化碳等气体均是可用红外传感器测量的例子。它们的特征吸收频带如图1所示。

红外检测是应用最广泛的二氧化碳探测技术。红外传感器与化学传感器相比有很多优势。这些传感器非常稳定，对被测气体具有很高的选择性，工作寿命周期较长。由于被测气体并不与传感器发生直接反应，所以红外传感器能够承受高湿、高粉尘和污垢及其他恶劣工作条件。

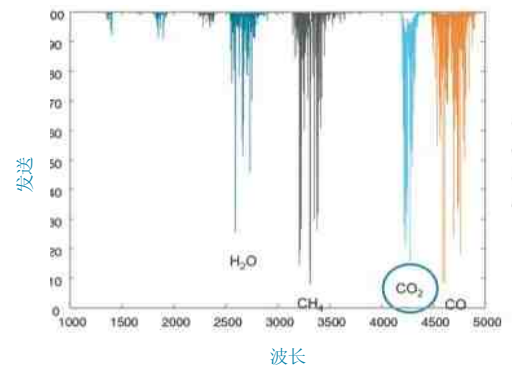


图1. 二氧化碳和某些其它气体的红外吸收光谱。

二氧化碳变送器的最佳安装位置

- 避免人员能够直对传感器呼吸的位置。此外还要避免将传感器安装在进气或排气管道，或靠近窗户和门的位置。
- 在要求苛刻的按需控制通风中，墙面式安装型传感器获取的通风效能测量数据比管道安装型的更加精确。管道安装型传感器更适合单区系统，并尽可能将其安装在靠近被测空间的位置，以便于维修。
- 当二氧化碳的测量目的在于确保人员人身安全时，为能够做到及早检测及早报警，变送器应安装在靠近潜在的泄漏点位置。被监测区域的几何形状、通风情况和空气流通均应纳入考虑之内。CO₂变送器的数量和位置应根据风险评估情况确定。

红外CO₂探测器的主要部件由光源、测量室、参比波长滤波器和红外探测器构成。从光源发出的红外光线穿过被测气体直接被引导进入探测器内。安装在探测器前端的滤波器可阻止与被测气体不同的其他波长进入探测器。探测得到的光强度值经过转换变为气体浓度值。

维萨拉CARBOCAP®二氧化碳传感器采用红外传感技术测量CO₂的体积浓度。它采用独特的电调谐法布里-珀罗干涉仪(FPI)滤波器进行双波长测量。这意味着除了测量二氧化碳的吸收情况，CARBOCAP传感器还可进行参考测量，这一测量数据可对光源强度变化以及污垢累积和污染情况作出补偿。这会让传感器在长期运行中非常稳定。若要查阅维萨拉全系列二氧化碳测量产品，请访问 www.vaisala.com/carbondioxide。

理想气体定律

在测量二氧化碳过程中，理想气体定律对于估算温度与压强变化的影响非常有用。它可以为CO₂读数提供补偿。

理想气体是由随机运动且相同体积分子粒子组成的假想气体，粒子大小及分子间作用力忽略不计。假定理想气体分子彼此之间以及与容器壁之间发生的是弹性碰撞。

事实上，真实气体行为并不完全与理想气体相同，但理想气体经常被用来作为真实气体行为的近似说明。根据方程所示，理想气体定律是指一定量的气体的状态与其压强、体积和温度相关。

$$pV = nRT$$

其中

P = 压强 [Pa]

V = 气体体积 [m³]

N = 气体量 [摩尔量]

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

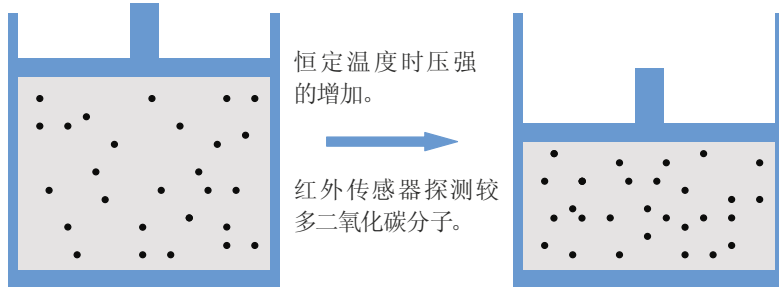
温度和压强对二氧化碳测量的影响

多数气体传感器的输出信号与分子密度成比例（分子摩尔数/气体体积），甚至测量读数也表达为百万分之几（体积/体积）。随着压强和/或温度的变化，从理想气体定律可以看出气体分子的密度将发生改

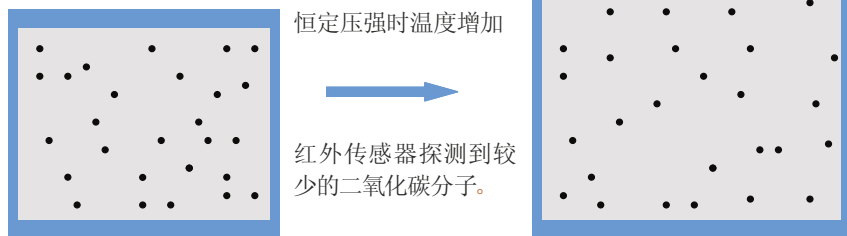
变。结果在传感器上以ppm为单位显示。

下面的图示用可直观地说明了压强或温度的增加如何改变气体状态，并如何影响二氧化碳测量。

恒定温度时压强增加



恒定压强时温度增加



当在标准环境温度与压强 (SATP) 条件下气体密度已知时, 理想气体定律可用于计算给定温度和压强下的气体分子密度。将气体的量(n)用 $\rho V/M$ 替换, 并假设在两种不同条件下气体的摩尔质量(M)恒定, 则该方程可写为方程1。

密度公式可用于估算当温度和/或压强变化时, 气体传感器的读数如何变化。

在测量二氧化碳时, 可使用密度公式对温度和压强变化进行补偿。通常的二氧化碳仪表不会测量压强, 因此无法自动为压强变化提供补偿。在工厂校准时, 仪器通常设定为海平面气压条件 (1013hPa)。当在其他海拔高度测量时, 建议要补偿压强效应。即可输入正确的压强设定值进行内部补偿 (恒定的压强条件), 也可将补偿编程写入自动化系统或PC计算机内 (变化的压强条件)。

补偿规则也同样适用于温度效应。然而, 越来越多的二氧化碳仪表既可提供温度变化测量也能够对其补偿, 因此不再需要做任何外部补偿。

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

其中

- ρ = 气体体积密度 (ppm或%)
- p = 环境压强 (hPa)
- t = 环境温度 (0C)

方程1. 在给定的温度和压强的情况下气体浓度的计算。其中

表1为示例说明。根据理想气体定律, 当温度和压强变化时, 二氧化碳传感器读数如何变化 (气体在标准温度压强条件下含有1,000 ppm二氧化碳)。

干燥 ‘较湿’ 的样气

通过理想气体定律还可进一步了解当压强、温度和体积恒定时, 混合气体组分发生变化时的情况。例如, 可以用气体定律估计不断变化的湿度对二氧化碳测量读数的影响。

在相同温度下, 混合气体的分子存在于同一系统体积内 (V对于所有气体均相同)。

理想气体定律被修改为:

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

其中

n_{gas1} =气体1的量[摩尔]
 n_{gas2} =气体2的量[摩尔], 等

以及

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

其中

p =混合气体总压强
 p_{gas1} =气体1的分压
 p_{gas2} =气体2的分压, 等等。

第二个方程被称为道尔顿分压定律。它指出, 混合气体的总压强等于混合气体中各部分气体分压之和。

上述信息对考虑水蒸汽对二氧化碳传感器读数的影响非常有用。当水蒸汽在恒定压强、温度和体积下被加入干燥气体中时, 水会取代混合气体中的某些气体分子。与此类似, 当气体样本从高湿度环境提取之后, 在进入CO₂仪表测量室之前如果经过干燥, 水分子的损失就会改变气体的成分, 并对二氧化碳测量值产生影响。

		Temperature (°C)									
		-20	-10	0	10	20	25	30	40	50	60
Pressure (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. 在不同温度和压强条件下, 测量气体浓度为1,000ppm时二氧化碳传感器的ppm读数。

这种所谓稀释效应可以用表2估算。当干燥气体中的二氧化碳浓度已知时，就可计算出高湿度环境的二氧化碳浓度。为了完成这一计算，需要知道湿润和干燥条件下的露点（压强1013hPa时的Td）或水蒸汽体积浓度（ppm）。

高湿度环境的湿度条件从横轴选择，干燥气体的条件从纵轴选择。

例如：一份气体样本从露点40°C（水浓度73,000ppm）的环境中提取出来，放入露点20°C（水浓度23,200ppm）的环境中。被测CO₂在20°C Td时浓度为5.263%，在40°C Td环境中浓度变为5.00%（ $5.263\% \times 0.950 = 5.00\%$ ）。读数较低的原因是在40°C Td环境中，较高的水含量将样本稀释了。

T _d (°C)	ppm H ₂ O	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
-40	11	0.9999	0.9998	0.999	0.997	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.813
-30	39	0.9999	0.9997	0.998	0.997	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.813
-20	127	1.0000	0.9997	0.998	0.996	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.813
-10	377		1.0000	0.999	0.998	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.813
0	1020			1.000	0.998	0.995	0.989	0.978	0.959	0.928	0.879	0.814
10	2580				1.000	0.997	0.990	0.979	0.961	0.930	0.880	0.815
20	6300					1.000	0.994	0.983	0.964	0.933	0.884	0.819
30	15200						1.000	0.970	0.950	0.919	0.870	0.815
40	37000							1.000	0.951	0.920	0.871	0.816
50	83000								1.000	0.920	0.871	0.816
60	187000									1.000	0.925	0.820

表2. 气体样本干燥中的稀释系数。

二氧化碳与安全

二氧化碳是一种无毒、不易燃的气体。然而，接触高浓度二氧化碳会引发生命危险。在二氧化碳气体或干冰的使用、生产、运输或储藏中，二氧化碳浓度均可能上升到高危险水平。由于二氧化碳无色无味，无法发现泄漏，这意味着需要使用适当的传感器保障人员的生命安全。

不同CO₂浓度的影响

浓度	影响
350 - 450 ppm	常规大气浓度
600 - 800 ppm	可接受的室内空气质量
1,000 ppm	可忍耐的室内空气质量
5,000 ppm	时间超过8小时的平均接触极限值
6,000 - 30,000 ppm	需要关注，仅可短时接触
3 - 8%	呼吸频率增加，头痛
> 10%	恶心、呕吐、神志不清
> 20%	迅速昏厥，死亡

VAISALA

更多详情, 请访问 cn.vaisala.com,
或联络我们: chinasales@vaisala.com
维萨拉环境部客户支持电话: 400 810 0126

www.vaisala.com



扫描二维码, 获取更多信息

Ref. B211228ZH-A ©Vaisala 2013

本资料受到版权保护, 所有版权为Vaisala及其合伙人所有。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。