

气体浓度%LEL、%VOL、PPM 和 mg/m³ 换算

在工业安全、环境监测和在线分析仪表中，%LEL、%VOL、PPM 和 mg/m³ 是常见的气体浓度单位。理解它们的含义并掌握相互间的换算方法，对正确解读仪表读数、评估风险至关重要。

一、常用单位详解

1.1 %LEL（爆炸下限百分比）

含义：指可燃气体在空气中能够发生爆炸的**最低体积浓度的百分比**。

用途：专门用于**可燃气体**（如氢气、甲烷、丙烷等）的监测。

关键概念：每种可燃气体的爆炸下限（LEL）是一个固定值。当空气中该气体浓度达到其爆炸下限时，即为 100%LEL。

安全阈值：通常警报设定在 20%LEL（一级警报）和 50%LEL（二级警报）。



1.2 %VOL (体积百分比)

含义: 气体在混合气体中所占的体积百分比。

用途: 用于描述浓度较高的气体, 如 O_2 (氧气)、 CO_2 (二氧化碳)、 N_2 (氮气) 等。

换算基准: 1%VOL = 10,000 ppm。

1.3 PPM (百万分之一)

- 含义:** 按体积计, 一百万份混合气体中某种气体的份数。
- 用途:** 常用于测量低浓度有毒有害气体, 如 H_2S (硫化氢)、 CO (一氧化碳)、 NH_3 (氨气) 等。
- 特点:** 无量纲单位。

1.4 mg/m³ (毫克每立方米)

- 含义:** 单位体积空气中某种气体的质量。
- 用途:** 环保、职业卫生领域常用, 用于表示大气污染物或工作场所中有害物质的浓度。
- 特点:** 受温度和压力影响, 因为气体的体积会随温压变化。

二、气体参数扩展表

2.1 常见可燃气体爆炸下限 (LEL) 表

气体名称	化学式	分子量(g/mol)	爆炸下限(LEL, %VOL)	爆炸上限(UEL, %VOL)
氢气	H_2	2.016	4.0%	75.6%
一氧化碳	CO	28.01	12.5%	74.2%
甲烷	CH_4	16.04	5.0%	15.0%
乙烷	C_2H_6	30.07	3.0%	12.4%
丙烷	C_3H_8	44.10	2.1%	9.5%
正丁烷	C_4H_{10}	58.12	1.8%	8.4%

气体名称	化学式	分子量(g/mol)	爆炸下限(LEL, %VOL)	爆炸上限(UEL, %VOL)
乙烯	C ₂ H ₄	28.05	2.7%	36.0%
丙烯	C ₃ H ₆	42.08	2.0%	11.1%
乙炔	C ₂ H ₂	26.04	2.5%	82.0%
苯	C ₆ H ₆	78.11	1.2%	8.0%
甲苯	C ₇ H ₈	92.14	1.1%	7.1%
甲醇	CH ₃ OH	32.04	6.0%	36.5%
乙醇	C ₂ H ₅ OH	46.07	3.3%	19.0%
丙酮	C ₃ H ₆ O	58.08	2.5%	12.8%
氨气	NH ₃	17.03	15.0%	28.0%
硫化氢	H ₂ S	34.08	4.3%	46.0%

2.2 常见有毒气体职业接触限值

气体名称	化学式	分子量(g/mol)	PC-TWA (mg/m ³)	IDLH (ppm)
一氧化碳	CO	28.01	20	1500
硫化氢	H ₂ S	34.08	10	100
氨气	NH ₃	17.03	20	300
氯气	Cl ₂	70.91	1	10
氯化氢	HCl	36.46	7.5	50

气体名称	化学式	分子量(g/mol)	PC-TWA (mg/m³)	IDLH (ppm)
氟化氢	HF	20.01	2	30
二氧化硫	SO₂	64.06	5	100
二氧化氮	NO₂	46.01	5	20
苯	C₆H₆	78.11	3	500
甲醛	CH₂O	30.03	0.5	20



三、单位换算详解与计算举例

3.1 %LEL 与 %VOL 的换算

核心公式:

$$\%VOL = (\%LEL \div 100) \times LEL\text{ 值} (\%VOL)$$

举例：计算甲烷的浓度

1. 已知甲烷的爆炸下限 (LEL) 为 5.0%VOL。
2. 这意味着： $100\% \text{LEL} = 5.0\% \text{VOL}$ 。
3. 那么， $1\% \text{LEL} = 5.0\% \text{VOL} \div 100 = 0.05\% \text{VOL}$ 。
4. 计算：若仪表显示甲烷浓度为 20%LEL，其对应的%VOL 浓度为：
 $20\% \text{LEL} = 20 \times 0.05\% \text{VOL} = 1.0\% \text{VOL}$

快速换算表（常见气体）：

气体	爆炸下限 (LEL, %VOL)	1%LEL 对应的 %VOL
甲烷 (CH_4)	5.0%	0.05%VOL
氢气 (H_2)	4.0%	0.04%VOL
丙烷 (C_3H_8)	2.1%	0.021%VOL
一氧化碳 (CO)	12.5%	0.125%VOL

3.2 %VOL 与 PPM 的换算

核心公式：

$$1\% \text{VOL} = 10,000 \text{ ppm}$$

$$1 \text{ ppm} = 0.0001\% \text{VOL}$$

举例：

2.5%VOL 的 CO_2 是多少 ppm？

$$2.5\% \text{VOL} = 2.5 \times 10,000 = 25,000 \text{ ppm}$$

50 ppm 的 H_2S 是多少 %VOL？

$$50 \text{ ppm} = 50 \times 0.0001 = 0.005\% \text{VOL}$$

3.3 PPM 与 %LEL 的换算

换算路径：PPM → %VOL → %LEL

核心公式：

$$\% \text{LEL} = (\text{PPM} \div 10,000) \div \text{LEL 值} (\% \text{VOL}) \times 100$$

举例：已知氢气浓度为 800 ppm，求其%LEL

1. 氢气的 LEL = 4.0%VOL。
2. 先将 800 ppm 转为 %VOL:

$$800 \text{ ppm} = 800 \div 10,000 = 0.08\%\text{VOL}$$
3. 再计算 %LEL:

$$\%LEL = (0.08\%\text{VOL} \div 4.0\%\text{VOL}) \times 100 = 2.0\%\text{LEL}$$

3.4 mg/m³ 与 PPM 的换算（重点与难点）

核心公式:

$$\text{mg/m}^3 = (\text{PPM} \times M) \div 22.4 \times (273.15 \div (273.15 + T)) \times (P \div 101325)$$

公式解析:

- M: 气体分子量 (g/mol)
- T: 环境温度 (°C)
- P: 环境压力 (Pa)
- 22.4 L/mol: 理想气体在标准状态 (0°C, 101.325 kPa) 下的摩尔体积。

简化计算 (标准状态) :

在标准状态 (0°C, 101.325 kPa) 下, 公式简化为: $\text{mg/m}^3 = \text{PPM} \times (M \div 22.4)$

举例 1: 标准状态下换算

已知一氧化碳 (CO, 分子量 28) 浓度为 50 ppm, 求其 mg/m³。

$$\text{mg/m}^3 = 50 \times (28 \div 22.4) = 50 \times 1.25 = 62.5 \text{ mg/m}^3$$

举例 2: 非标准状态下换算

已知在 25°C、一个标准大气压 (101325 Pa) 下, 二氧化硫 (SO₂, 分子量 64) 浓度为 10 ppm, 求其 mg/m³。

1. 使用完整公式:

$$\text{mg/m}^3 = (10 \times 64) \div 22.4 \times (273.15 \div (273.15 + 25)) \times (101325 \div 101325)$$

2. 计算步骤:

- $(10 \times 64) \div 22.4 = 640 \div 22.4 \approx 28.57$
- $273.15 \div 298.15 \approx 0.916$
- $28.57 \times 0.916 \times 1 \approx 26.17 \text{ mg/m}^3$

重要提醒: 从 mg/m³ 反推 PPM 时, 使用公式的逆运算即可。现场监测时, 如果温压与标准状态差异大, 必须进行温压补偿, 否则数据会产生偏差。

四、综合应用与常见术语

4.1 实际场景应用

假设某化工厂监测点显示：

- 甲烷：15%LEL
- 氧气：20.5%VOL
- 一氧化碳：35 ppm
- 硫化氢：5.5 mg/m³（温度 30°C）

问题：判断各数值含义及风险。

1. 甲烷 15%LEL：远低于一级报警值（通常 20%LEL），目前安全。
2. 氧气 20.5%VOL：在正常空气含氧量（约 20.9%）附近，安全。
3. 一氧化碳 35 ppm：需对照国家标准（如 8 小时加权平均容许浓度 PC-TWA 为 20 mg/m³），换算为 mg/m³ 后评估。
4. 硫化氢 5.5 mg/m³：需换算为 ppm 并与职业接触限值（如 10 ppm）比较。

4.2 关键术语解释

- **灵敏度**：仪表对气体浓度微小变化的反应能力。
- **检测精度**：仪表读数值与气体真实浓度的接近程度。
- **报警精度**：实际报警触发浓度与设定报警值之间的偏差。
- **重复性**：在相同条件下多次测量同一浓度气体，结果的一致性。
- **响应时间 (T90)**：从气体接触传感器到显示值达到真实浓度 90% 所需的时间，是衡量仪表反应速度的关键指标。

总结与要点

1. **明确单位用途**：%LEL 用于可燃气体，%VOL 用于高浓度气体，PPM 用于有毒气体，mg/m³ 用于环保质量浓度。
2. **牢记关键换算**：
 1. 1%VOL = 10,000 ppm
 2. %VOL = (%LEL / 100) × LEL 值
 3. mg/m³ 与 PPM 的换算需考虑分子量、温度和压力。
3. **查阅物性参数**：进行换算前，务必查清气体的**爆炸下限 (LEL)** 和**分子量 (M)**。
4. **注意环境条件**：特别是进行 mg/m³ 与 PPM 换算时，非标准状态必须进行温压补偿。

掌握这些单位的含义和换算，能够帮助您更准确地进行安全评估、环境监测和仪表数据解读，为安全生产和环境保护提供可靠的数据支持。