

基础知识讲座

气体的体积比浓度和摩尔比浓度

唐 蒙

(四川石油管理局天然气研究所)

内容提要 本文介绍了气体的体积比浓度和摩尔比浓度的基本概念,和他们在气体分析中的使用情况及相互换算。

主题词 天然气组成 组成分析 体积比浓度 摩尔比浓度

在气体分析中,经常用到气体的体积比浓度和摩尔比浓度。尽管这两种浓度概念不同,但当把所讨论的气体视为理想气体时,两种浓度在数值上又完全相同。所以,人们往往把它们相互混淆起来。例如,有的分析报告给出的分析结果只是以百分数来表示,而未说明是体积百分数还是摩尔百分数。因此,有必要对体积比和摩尔比浓度加以讨论。

体积比浓度和摩尔比浓度

体积比和摩尔比浓度有分数、百分数和百万分数等几种表示形式,以下主要讨论这两种浓度的分数形式。

1. 体积分数

气体混合物中,组分*i*的体积分数 φ_i 是组分*i*的体积 V_i 除以混合物的总体积 V ,即:

$$\varphi_i = \frac{V_i}{\sum V_i} = \frac{V_i}{V} \quad (1)$$

2. 摩尔分数

摩尔分数是物质的量分数的习惯叫法。我国国家标准^[1]允许使用摩尔分数。

气体混合物中,组分*i*的摩尔分数 x_i 是组分*i*的物质的量 n_i 除以混合物的物质的量 n ,即:

$$x_i = \frac{n_i}{\sum n_i} = \frac{n_i}{n} \quad (2)$$

参 考 文 献

- [1] 王开岳 《石油天然气化工》 1980 No. 4 49~57
 [2] Gianni Astarita 等, Gas Treating with Chemical Solvents, 74 1983
 [3] R. Kent 等, Hydrocarbon Roasting 55. 2 87 1976
 [4] 朱利凯等 《石油学报》 (石油加工) 3, 2 73~78 1987

[5] F. Y. Jou 等 The Canadian Journal of Chemical Engineering 63 Feb. 122~124 1985

[6] C. Ouwkerk, The Institution of Chem. Engr. Symposium Series, 1-36~1-49 1976

[7] 朱利凯等 《天然气工业》 1988 No. 1 85~94

[8] 朱利凯等 《石油炼制》 1988 No. 4 25~33

(本文收到日期 1988年7月11日)

气体体积分数与气体状态

气体体积分数与气体状态有关。由气体状态方程可得：

$$V_i = \frac{z_i n_i RT}{P} \quad (3)$$

$$V = \frac{z_m n RT}{P} \quad (4)$$

式(3)除以式(4),得

$$\varphi_i = \frac{V_i}{V} = \frac{z_i n_i}{z_m n} = \frac{z_i}{z_m} x_i \quad (5)$$

式中 T —— 气体的热力学温度；

P —— 气体的压力；

z_i —— 组分 i 在 T, P 下的压缩因子；

z_m —— 气体混合物在 T, P 下的压缩因子。

从式(5)可看出,气体的体积分数与气体状态有关。同样的气体,在不同的温度、压力下,由于压缩因子不同,其体积分数也是有差别的。但若将气体视为理想气体, $z_i = z_m = 1$, 那么 $\varphi_i = x_i$ 。即理想气体的体积分数与摩尔分数相等。

在一般气体分析中,如果给出气体的体积比浓度而未指明气体的状态,则可理解为给出的是常温常压下的体积比浓度。

体积分数与摩尔分数的换算

用下列公式⁽²⁾可将体积分数换算为摩尔分数：

$$X_i = \frac{\varphi_i / z_i}{\sum \varphi_i / z_i} \quad (6)$$

表1列举了一些常用气体在一定状态下的压缩因子。

用下列公式⁽¹⁾可将摩尔分数换算为体积分数：

$$\varphi_i = \frac{x_i V_{m,i}}{\sum x_i V_{m,i}} \quad (7)$$

$$\varphi_i = \frac{x_i z_i}{\sum x_i z_i} \quad (8)$$

式中 $V_{m,i}$ —— 组分 i 在给定温度、压力下的摩尔体积。

常用气体的压缩因子 表1

气体	101.325kPa*		
	0℃	15℃	20℃
甲烷	0.9976	0.9980	0.9982
乙烷	0.9897	0.9914	0.9919
丙烷	0.9766	0.9806	0.9818
正丁烷	0.9544	0.9634	0.9660
异丁烷	0.9583	0.9659	0.9679
正戊烷	0.9319	0.9440	0.9474
异戊烷	0.9394	0.9499	0.9528
正己烷	0.8900	0.9115	0.9172
氧气	1.0006	1.0006	1.0006
一氧化碳	0.9993	0.9995	0.9996
硫化氢	0.9884	0.9904	0.9911
氮气	1.0005	1.0005	1.0005
氩气	0.9990	0.9992	0.9993
氦气	0.9995	0.9997	0.9997
氖气	0.9990	0.9993	0.9993
二氧化碳	0.9932	0.9943	0.9946
水(气态)	0.968	0.971	0.972
空气	0.99941	0.99958	0.99963

* 数据摘自文献[2]。

** 数据系作者按文献[2],通过查表或换算获得的。

称量法配气与摩尔分数

气体摩尔分数的概念早已有之,但还是近十几年来,随着称量法配制标准气技术的发展,才逐渐在气体分析中使用起来的。称量法配气,其原理是将纯气体充入气瓶中,每充入一种纯气体都用天平进行称量,最后便可获得气体混合物的摩尔分数,即：

$$x_i = \frac{m_i / M_i}{\sum m_i / M_i} \quad (9)$$

式中 m_i —— 组分 i 的质量；

M_i —— 组分 i 的摩尔质量。

称量法配气技术,采用绝对量值——质

量进行测量,这样给出的气体摩尔分数与温度、压力无关。因此称量法配气,是目前公认的准确度和精密度水平最高的一种配气方法。

体积比和摩尔比浓度的使用

气体分析中,气体浓度的表示形式与分析方法有关。例如,当采用气相色谱法分析气体时,气体浓度就与选用的标准气的浓度单位有关,若标准气的浓度是体积比,则气体分析结果也是体积比,标准气是摩尔比,分析结果也是摩尔比。

通常在纯气检验或气体中微量组分的检验时,都使用体积比浓度。这是因为一般来说,纯气中杂质或气体中微量组分含量很少,其非理想性对该系统气体带来的影响很小,可以忽略。例如,目前我国许多与气体分析有关的国家标准,气体分析量值大多都是采用体积比浓度来表示。

在气体常量组分(含量100%~0.1%)的测定时,就应该使用摩尔比浓度来表示。近年来,随称量法配气技术的发展,摩尔比浓度的使用也日渐增多。对于称量法配气技术,许多国家包括我国在内都制订了相应的标准〔3〕、〔4〕。可以预计,在气体分析中,使用摩尔比浓度将逐渐普及。

天然气组成分析中 气体浓度的表示

目前,国际上许多国家都制订了天然气组成分析的标准^{〔5〕、〔6〕},这些标准大多都规定:以称量法配制的标准气分析天然气,这样气体组成以摩尔比浓度来表示。

我国目前由于称量法技术尚未普及,天然气组成分析也还没有正式的国家标准,因

此,在天然气的分析上,气体组成的表示形式还不统一。近年来,我国的一些科研单位相继开展了称量法技术的研究。可以预计,我国天然气的分析,将逐渐使用以称量法为基础的标准气,气体组成也势必统一到以摩尔比浓度来表示的轨道上来。

结 束 语

经过以上讨论,可得出以下结论:

1. 气体分析中,体积比浓度和摩尔比浓度两者概念不同。体积比浓度与气体状态有关,摩尔比浓度与气体状态无关。理想气体的体积比浓度与摩尔比浓度相等。
2. 在纯气中杂质测定或气体中微量组分测定,使用体积比浓度是合适的。
3. 对于天然气组成分析,国际上许多国家或团体都制订了相应的分析标准,规定气体组成以摩尔比浓度来表示。我国目前正在向这一方向过渡。

参 考 文 献

- 〔1〕 GB3102.8-86 《物理化学和分子物理学的量和单位》
- 〔2〕 ISO6176-1983 《天然气——发热量、密度和相对密度的计算》
- 〔3〕 ISO6141-1981 《气体分析——校准用混合气体的制备——称量法》
- 〔4〕 GB5274-83 《气体分析——校准用混合气体的制备——称量法》
- 〔5〕 ISO6974-1984 《天然气——氢气,惰性气体以及直至 C₄ 烃类的测定——气相色谱法》
- 〔6〕 ASTM D 1945 《天然气的分析——气相色谱法》

(本文收到日期 1989年3月28日)

STORAGE/TRANSPORTATION/SURFACE CONSTRUCTION

53 Application of Brine Pipeline Externally Strengthened by Glass Fiber Reinforced Plastic in Weiyuan Gas Field

The corrosion of brine transportation pipeline is very serious in Weiyuan Gas Field of Sichuan. The test of the technological method for repairing them with epoxy resin and glass fiber cloth as the coating for continuously using has met with success. This paper introduces the technological calculation, operation requirement and economic benefit gained of the test.

Subject Headings: Weiyuan Gas Field, brine-transporting pipeline, epoxy resin, glass fiber reinforced plastic, coating.

Li Weiziang, Luo Zhirong, Mao Ziyun

GAS PROCESSING AND UTILIZATION

56 Efficiency Analysis of Turbine Expansion Machine

This paper describes the efficiency definition, cold-losing, similar conditions, liquid-carrying problem and efficiency estimation as well as efficiency testing of turbine expansion machine.

Subject Headings: light hydrocarbon recovery, turbine expansion machine, isentropic efficiency, efficiency estimation, enthalpy, entropy, comprehensive analysis.

Ji Guanghua

62 A Discussion on the Process of Absorbing H₂S by Amine Method

According to the partial pressure at the interface, the equilibrium of [HS⁻] in liquid phase and the mass transmission relationship, Ouwerkerk deduces that although the equilibrium constants [K_{eq}] of primary, secondary and tertiary amine largely differ from each other, the highnesses of absorbing H₂S towers are near equal. The paper discusses this deduction.

Subject Headings: gas desulfurization, alcohol-amine method, mass transmission mechanism, gas-liquid equilibrium.

Zhu Likai

67 Volume Specific Concentration and Mole Specific Concentration of Gas

The concept of volume specific concentration and mole specific concentration of gas as well as their applied situation in gas analysis and mutual conversion are introduced in this paper.

Subject Headings: natural gas composition, component analysis, volume specific concentration, mole specific concentration.

Tang Meng