

化学工业标准汇编

气体 2002

中化化工标准化研究所 中国标准出版社第二编辑室 编



中国标准出版社

R
TQ-65
8(102)

化 学 工 业 标 准 汇 编

气 体

2 0 0 2

中化化工标准化研究所 编
中国标准出版社第二编辑室

中 国 标 准 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

化学工业标准汇编·气体/中化化工标准化所等编.
—北京:中国标准出版社,2002.10
ISBN 7-5066-2808-2

I. 化… II. 中… III. ①化学工业-标准-汇编
-中国 ②气体-标准-汇编-中国 · IV. TQ65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 042340 号

中国标准出版社出版
北京复兴门外三里河北街 16 号

邮政编码:100045

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本 880×1230 1/16 印张 43½ 字数 1 248 千字

2002 年 10 月第一版 2002 年 10 月第一次印刷

*

印数 1—2 000 定价 125.00 元

网址 www.bzcb.com

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533

出版说明

《化学工业标准汇编 气体 2002》除保留 1996 年版现行的标准外,又增收了 1995 年 12 月至 2002 年 6 月底批准发布的有关化学气体和工业气体专业的国家标准和行业标准。

本汇编汇集了截止 2002 年 6 月底批准发布的全部现行标准 86 项,其中国家标准 73 项,行业标准 13 项。

本汇编收集的国家标准的属性已在本目录上标明(GB 或 GB/T),年代号用四位数字表示。鉴于部分国家标准是在国家标准清理整顿前出版的,现尚未修订,故正文部分仍保留原样;读者在使用这些国家标准时,其属性以本目录上标明的为准(标准正文“引用标准”中标准的属性请读者注意查对)。

本汇编目录中,凡标准名称用括号注明原国家标准号“(原 GB ××××—××××)”的行业标准,均由国家标准转化而来,这些标准因未另出版行业标准文本(即仅给出行业标准号,正文内容完全不变),故本汇编中正文部分仍为原国家标准。与此类似的专业标准、部标准转化为行业标准的情况也照此处理。

标准号中括号内的年代号,表示在该年度确认了该项标准,但没有重新出版。

本汇编由中化化工标准化研究所和中国标准出版社第二编辑室联合编汇。

中国标准出版社

2002 年 7 月

1996 版出版说明

化学工业是国民经济的基础工业,化工标准化是化学工业高速发展和实现现代化管理的重要手段。为了深入贯彻落实《中华人民共和国标准化法》,加强化学工业标准化工作,提高化工产品质量;为了适应不断发展的社会主义市场经济形势,推动清理整顿后的化工标准的贯彻实施;为了满足化工企业及其他行业对化工标准的迫切需要,我们组织编辑了一套《化学工业标准汇编》。将分册出版发行。

我社曾于 1985 年先后分册出版过一套《化学工业标准汇编》。近年来,化工标准化事业发展迅速,增加了大量新制订的标准。1990~1993 年化工部对现行化工标准进行清理整顿后,化工标准发生了很大的变化——对部分标准提出了修订意见;部分国家标准调整为行业标准;部分强制性标准确定为推荐性标准;部分国家标准被废止。因此,原有的汇编本已不能适应上述情况的变化。

新编的这套《化学工业标准汇编》,汇集了由国家技术监督局和化学工业部批准发布的全部化工现行国家标准、行业标准和专业标准。计划以最快的速度陆续分册出版。其内容包括:化工综合(化工基础标准、通用方法标准、术语标准等),无机化工,有机化工,涂料与颜料,塑料与塑料制品,化学试剂,橡胶物理和化学试验方法,橡胶原材料,轮胎、轮辋、气门嘴,胶管、胶带、胶布、橡胶密封制品和其他橡胶制品,炭黑,染料及染料中间体,农药,化肥,食品添加剂,工业气体与化学气体,水处理剂,化学助剂,胶粘剂等。

本套汇编包括的标准,由于出版年代的不同,其格式、计量单位乃至技术术语不尽相同。这次汇编时,只对原标准中技术内容上的错误以及其他明显不妥之处做了更正。

本册《化学工业标准汇编 工业气体与化学气体 1996》,汇集了截止 1995 年 12 月底批准发布的全部现行工业气体与化学气体标准 49 项,其中国家标准 46 项,行业标准 3 项。

本汇编目录中,凡注有“*”者,均表示该标准已改为推荐性标准;注有“**”者,表示该国家标准已调整为行为标准。

由于编者的时间和水平有限,书中不当之处,请读者批评指正。

中国标准出版社

1996 年 8 月

目 录

一、基础标准与通用方法

GB/T 5274—1985	气体分析 校准用混合气体的制备 称量法	3
GB/T 5275—1985	气体分析 校准用混合气体的制备 渗透法	14
GB/T 5831—1986	气体中微量氧的测定 比色法	26
GB/T 5832.1—1986	气体中微量水分的测定 电解法	45
GB/T 5832.2—1986	气体中微量水分的测定 露点法	50
GB/T 6285—1986	气体中微量氧的测定 电化学法	66
GB/T 6681—1986	气体化工产品采样通则	70
GB/T 8981—1988	气体中微量氢的测定 气相色谱法	84
GB/T 8984.1—1997	气体中一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物的测定 第1部分:气体中 一氧化碳、二氧化碳和甲烷的测定 气相色谱法	87
GB/T 8984.2—1997	气体中一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物的测定 第2部分:气体中 一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物总含量的测定 气相色谱法	92
GB/T 8984.3—1997	气体中一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物的测定 第3部分:气体中总烃 的测定 火焰离子化法	97
GB/T 10627—1989	气体分析 标准混合气的制备 静态容积法	103
GB/T 10628—1989	气体分析 标准混合气体组成的测定 比较法	116
GB/T 11060.1—1998	天然气中硫化氢含量的测定 碘量法	121
GB/T 11060.2—1998	天然气中硫化氢含量的测定 亚甲蓝法	130
GB/T 11061—1997	天然气中总硫的测定 氧化微库仑法	137
GB/T 11062—1998	天然气发热量、密度、相对密度和沃泊指数的计算方法	143
GB/T 13287—1991	液化石油气挥发性测定法	167
GB/T 13609—1999	天然气取样导则	171
GB/T 13610—1992	天然气的组成分析 气相色谱法	198
GB/T 14070—1993	气体分析 校准用混合气体的制备 压力法	213
GB/T 14605—1993	氧气中微量氩、氮和氦的测定 气相色谱法	250
GB/T 14850—1993	气体分析词汇	254
GB/T 14852—1993	气体中微量氧的测定 黄磷发光法	281
GB/T 16781.1—1997	天然气中汞含量的测定 原子吸收光谱法	284
GB/T 16781.2—1997	天然气中汞含量的测定 冷原子荧光分光光度法	296
GB/T 17281—1998	天然气中丁烷至十六烷烃类的测定 气相色谱法	307
GB/T 17283—1998	天然气水露点的测定 冷却镜面凝析湿度计法	319
GB/T 17291—1998	石油液体和气体计量的标准参比条件	325
GB/T 17746—1999	石油液体和气体动态测量 电和(或)电子脉冲数据电缆传输的保真度和 可靠度	328
GB/T 17747.1—1999	天然气压缩因子的计算 第1部分:导论和指南	341

GB/T 17747.2—1999	天然气压缩因子的计算 第2部分:用摩尔组成进行计算	352
GB/T 17747.3—1999	天然气压缩因子的计算 第3部分:用物性值进行计算	372
HG/T 2686—1995	惰性气体中微量氢、氧、甲烷、一氧化碳的测定 氧化锆检测器气相色谱法	393
HG/T 2975—1989(1997)	气体分析 标准混合气 混合物制备证书(原GB/T 10626—1989)	396
SH/T 0614—1995	工业丙烷、丁烷组分测定法(气相色谱法)	400
SH/T 1547—1993	工业用1-丁烯中微量甲醇和甲基叔丁基醚的测定 气相色谱法	412
SH/T 1548—1993	工业用1-丁烯中微量丙二烯和甲基乙炔的测定 气相色谱法	417

二、产品标准

GB/T 3634—1995	工业氢	425
GB/T 3863—1995	工业用氧	431
GB/T 3864—1996	工业氮	439
GB/T 4842—1995	纯氩	449
GB/T 4844.1—1995	工业氦气	453
GB 4844.2—1995	纯氦	457
GB/T 4844.3—1995	高纯氦	460
GB/T 5138—1996	工业用液氯	465
GB/T 5828—1995	氙气	475
GB/T 5829—1995	氪气	480
GB/T 6052—1993	工业液体二氧化碳	483
GB 6819—1996	溶解乙炔	486
GB/T 7445—1995	纯氢、高纯氢和超纯氢	493
GB/T 8979—1996	纯氮	499
GB/T 8980—1996	高纯氮	502
GB 8982—1998	医用氧	505
GB 8983—1998	航空呼吸用氧	516
GB 9052.1—1998	油气田液化石油气	520
GB 9053—1998	稳定轻烃	524
GB/T 10624—1995	高纯氩	529
GB 11174—1997	液化石油气	535
GB 12022—1989	工业六氟化硫	539
GB/T 12692.4—1992	石油产品 燃料(F类)分类 第4部分 液化石油气(L组)	551
GB/T 14599—1993	高纯氧	553
GB/T 14600—1993	电子工业用气体 氧化亚氮	558
GB/T 14601—1993	电子工业用气体 高纯氦	564
GB/T 14602—1993	电子工业用气体 氯化氢	569
GB/T 14603—1993	电子工业用气体 三氟化硼	576
GB/T 14604—1993	电子工业用气体 氧	582
GB/T 14851—1993	电子工业用气体 磷化氢	589
GB/T 15909—1995	电子工业用气体 硅烷(SiH ₄)	600
GB/T 16942—1997	电子工业用气体 氢	607

GB/T 16943—1997 电子工业用气体 氮	611
GB/T 16944—1997 电子工业用气体 氮	615
GB/T 16945—1997 电子工业用气体 氩	619
GB 17820—1999 天然气	623
GB/T 17873—1999 纯氦	627
GB/T 17874—1999 电子工业用气体 三氯化硼	631
GB 18047—2000 车用压缩天然气	637
GB 18435—2001 潜水呼吸气体	642
HG/T 2537—1993 焊接用二氧化碳	648
HG 2685—1995 医用氧化亚氮	656
HG/T 2863—1997 灯泡用氩气	663
HG/T 3633—1999 纯甲烷	670
HG/T 3661.1—1999 焊接切割用燃气 丙烯	677
HG/T 3661.2—1999 焊接切割用燃气 丙烷	680
SH 0553—1993 工业丙烷、丁烷	683
SH 1546—1993 工业用1-丁烯	685
附录一 标准顺序目录及代替信息	687
附录二 气体专业作废的国家标准目录	688

一、基础标准与通用方法

中华人民共和国国家标准

气体分析 校准用混合气体 的制备 称量法

Gas analysis—Preparation of calibration
gas mixtures—Weighing methods

UDC 543.27
:53.089.68
GB 5274—85

本标准阐述了用于制备校准用混合气体的称量法。用该法制备的混合气体,在本标准规定的浓度范围内,不论其选定浓度值是多少,每个组分浓度的相对不确定度小于1%。

本标准等效采用国际标准 ISO 6142—1981《气体分析—校准用混合气体的制备—称量法》。

1 适用范围

称量法只适用于组分之间、组分与气瓶内壁不发生反应的气体,以及在实验条件下完全处于气态的可凝结组分。

2 方法原理

2.1 一般原理

在充入一定量已知纯度的某气体组分的前后称量气瓶,由两次称量的砝码读数之差确定充入气瓶内气体组分的质量。充入各种组分的气体,便制得一种混合气。

混合气中每个组分的质量浓度,为该组分的质量与所有组分质量总和之比。

混合气中每个组分的摩尔浓度,为该组分的摩尔数与所有组分摩尔数总和之比。

为了避免称量过小量的气体,对所制备的混合气中每个组分的浓度要规定一个浓度下限,或将量少的组分单独充入一个较小的气瓶内,在一台最大称量小的天平上进行称量,然后将此组分毫无丢失地转入另一气瓶中,并在一台最大称量大的天平上称量组分量大的气体。如欲制备的浓度低于规定的下限时,要用一种已知量的气体来稀释一定量先前所制得的混合气。为了得到 10^{-6} 级摩尔浓度的混合气,其误差在允许范围内,稀释操作必须重复两次。这个误差取决于天平的性能及其所用的操作过程。

在这些条件下,按下列方法计算浓度。

注:本标准所提到的“摩尔”,其基本单元是分子。

2.1.1 一次稀释法

本方法适用于制备浓度范围为 $10^{-3} \leq X_i \leq 1(\text{mol})$ 的混合气。混合气(混合气a)中i组分的浓度由下式计算:

$$X_i = \frac{n_i}{n_i + \sum n_j} = \frac{n_i}{n} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中: $i, j \in [1, P], j \neq i$

i, j ——混合气中组分的符号。摩尔浓度为 X_i, X_j ;

P ——混合气中组分的总数;

n_i ——质量为 m_i ,摩尔质量为 M_i 的组分i的摩尔数,即: $n_i = \frac{m_i}{M_i}$;

n_j ——质量为 m_j ,摩尔质量为 M_j 的组分j的摩尔数,即: $n_j = \frac{m_j}{M_j}$ 。

国家标准局 1985-08-01 发布

1986-06-01 实施

在下文以及误差计算中，也用下述数量关系：

$$m = m_i + \sum m_j$$

$$n = n_i + \sum n_j$$

2.1.2 二次稀释法

本方法适用于制备浓度范围为 $10^{-4} < X_{2,i} < 10^{-2}$ (mol) 的混合气。

取质量为 μ_1 的混合气 (即在 2.1.1 中制备的混合气 *a*)，用一种质量为 μ_{d1} 、摩尔质量为 M_d 的气体进行稀释 (一般情况下，2.1.1 中所用的稀释气，在这里也适用)。稀释所得的混合气 (混合气 *b*) 中，组分 *i* 的浓度由下式计算：

$$X_{2,i} = \frac{\frac{\mu_1}{m} \cdot n_i}{\frac{\mu_1}{m} \cdot n + \frac{\mu_{d1}}{M_d}} = \frac{N_{2,i}}{N_{2,t} + N_{d1}} = \frac{N_{2,i}}{N_{s2}} \dots\dots\dots (2)$$

式中： $N_{2,i} = \frac{\mu_1}{m} \cdot n_i$ ——质量为 μ_1 的混合气 *a* 所含组分 *i* 的摩尔数；

$N_{d1} = \frac{\mu_{d1}}{M_d}$ ——质量为 μ_{d1} 的稀释气的摩尔数；

$N_{2,t} = \frac{\mu_1}{m} \cdot n$ ——质量为 μ_1 的混合气 *a* 所含组分 *i*、*j* 的摩尔数；

$N_{s2} = N_{2,t} + N_{d1}$ ——所得混合气 *b* 的总摩尔数。

也用下述数量关系：

$m_{s2} = \mu_1 + \mu_{d1}$ 即：所得混合气 *b* 的总质量。

2.1.3 三次稀释法

本方法适用于制备浓度范围为 $10^{-6} < X_{3,i} < 10^{-4}$ (mol) 的低浓度混合气。

取质量为 μ_2 的混合气 *b*，用一种质量为 μ_{d2} 、摩尔质量为 M_d 的气体进行稀释 (与 2.1.2 中所用的方法相同)，稀释所得的混合气 (混合气 *c*) 中，*i* 组分的浓度由下式计算：

$$X_{3,i} = \frac{\frac{\mu_2}{m_{s2}} \cdot N_{2,i}}{\frac{\mu_2}{m_{s2}} \cdot N_{s2} + \frac{\mu_{d2}}{M_d}} = \frac{N_{3,i}}{N_{3,t} + N_{d2}} = \frac{N_{3,i}}{N_{s3}} \dots\dots\dots (3)$$

式中： $N_{3,i} = \frac{\mu_2}{m_{s2}} \cdot N_{2,i}$ ——质量为 μ_2 的混合气 *b* 所含组分 *i* 的摩尔数；

$N_{d2} = \frac{\mu_{d2}}{M_d}$ ——质量为 μ_{d2} 的稀释气的摩尔数；

$N_{3,t} = \frac{\mu_2}{m_{s2}} \cdot N_{s2}$ ——质量为 μ_2 的混合气 *b* 所含组分 *i*、*j*、*d* 的摩尔数；

$N_{s3} = N_{3,t} + N_{d2}$ ——所得混合气 *c* 的总摩尔数。

也用下述数量关系：

$m_{s3} = \mu_2 + \mu_{d2}$ 即：所得混合气 *c* 的总质量。

规定此方法可通过三种途径来实现：

- 在大气中按常规称量；
- 在大气中，用一个参比气瓶称量；
- 在真空中称量。

2.1.4 一般注意事项

只有严格遵守纯气处理中的所有注意事项，由公式计算所得的结果才是正确的。这些注意事项是：

- a. 输送管路的特性和状况；
- b. 连接在管路上各部件(阀、截止元件等)的特性和状况；
- c. 包装材料的特性和状况(特别是对混合气组分无明显的吸附)。

此外,所用的气体必须进行严格的质量控制,特别是要测定存在于最终混合气中的各组分的浓度,或者在混合气的分析应用的浓度级别上会引起干扰的组分浓度。

制备的混合气,只有混合均匀后才能使用。

使用的气瓶必须符合原国家劳动总局颁布的《气瓶安全监察规程》中的规定。

2.2 误差来源*

2.2.1 气体处理的注意事项

误差的主要来源之一是没有对气体处理装置的清洁度和密封性(特别是真空泵过滤器和连接部件密封垫的更换)进行定期检查。在往气瓶中充入每一个组分之前,各管路应抽成真空,或者用待充组分气体反复地进行增压—减压来清洗管路。为了避免先前已称量的气体的损失,在往气瓶中充入第二个组分时,该气体的压力应远高于气瓶中的压力。为了防止反扩散,充气完成后,在热平衡的整个期间应关闭气瓶阀门。

2.2.2 在大气中称量的误差

混合气中每一组分浓度的总绝对误差取决于所用的设备和操作条件。

对充入气瓶内的气体,用天平称量,其误差来源于:

- a. 在前后两次称量之间,由于更换砝码而引起的绝对误差;
- b. 对上述气体称量时,由于所用砝码体积变化而引起浮力的变化。

由于操作条件而产生的误差,主要来自气瓶受到的浮力的变化。可能影响误差的参数有:

- a. 环境温度;
- b. 大气压力;
- c. 空气的相对湿度;
- d. 气瓶充气时体积的增加。

上述各项参数均可精确测得。可用校正公式确定浮力值,从而校准气瓶的表观质量,并得到气瓶每次称量的真实质量。

真实质量的绝对不确定度,是已知参数值准确度的函数。每一个组分浓度的相对误差是每个组分量的函数。它取决于要制备的浓度,如果摩尔浓度大于 10^{-3} ,则误差值小于 5×10^{-3} ;如果摩尔浓度小于或等于 10^{-3} ,则误差值小于 10^{-2} 。

2.2.3 在真空中称量的误差

真空中称量可忽略浮力的影响。在此条件下,每个组分浓度值的绝对误差与所用的砝码无关,因此不需校准。

真空中称量的相对误差是充入气瓶中每个组分量的函数,它取决于所要制备的浓度。

3 在大气中用参比瓶作比较的称量法

3.1 步骤

使用的天平应有足够的灵敏度和称量的动态特性,以保证所需要的相对准确度。

所用的气瓶,使用前要适当地抽空和加热。这样预处理后,气瓶中的压力应小于 10Pa 。

称量的操作步骤如下:

- a. 天平调零;
- b. 称空瓶;
- c. 将第一组分充入瓶内;

* 对天平的准确度、气瓶的常规处理、充气等环节的要求和注意事项请参见附录A(参考件)。

- d. 检查天平零点;
- e. 称量充有第一组分的气瓶;
- f. 将第二组分充入瓶内;
- g. 重复前面步骤。

所有操作应在清洁和稳定的环境中进行。

每次向瓶内充入一个组分,待气瓶和组分气与环境温度达到热平衡后,称量气瓶。当气瓶质量恒定时,就认为已达到了热平衡。

空瓶质量和充入每一组分后的气瓶质量是用一个相似气瓶作比较而称得的。除称量外,参比气瓶不需进行其他操作。这种方法可自动校准因气压所引起的浮力变化。

3.2 结果计算

3.2.1 一次稀释制备混合气的情况

3.2.1.1 浓度计算式:

$$X_i = \frac{\frac{m_i}{M_i}}{\frac{m_i}{M_i} + \sum \frac{m_j}{M_j}} \dots\dots\dots (4)$$

3.2.1.2 组分*i*的摩尔浓度值的相对不确定度的计算式:

$$\frac{\Delta X_i}{X_i} \leq \frac{\Delta m_i}{m_i} \cdot (1 - X_i) + \sum \frac{\Delta m_j}{m_j} \cdot X_j + \frac{\Delta M_i}{M_i} \cdot (1 - X_i) + \sum \frac{\Delta M_j}{M_j} \cdot X_j \dots\dots\dots (5)$$

式中: $m_i = P_1 - P_2 + b_i + F_i$ 为充入气瓶中*i*组分的质量, g;

$m_j = P_2 - P_3 + b_j + F_j$ 为充入气瓶中*j*组分的质量, g;

$\Delta m_i = \sqrt{2} \cdot \Delta P + \Delta b_i + \Delta F_i + W$ 为*i*组分质量称量的不确定度, g;

$\Delta m_j = \sqrt{2} \cdot \Delta P + \Delta b_j + \Delta F_j + 2 \cdot W$ 为*j*组分质量称量的不确定度, g;

P_1 ——称空瓶时,砝码的标称值, g;

P_2 ——称充有*i*组分的气瓶时,砝码的标称值, g;

P_3 ——称充有*i*、*j*组分的气瓶时,砝码的标称值, g;

b_i —— $(P_1 - P_2)$ 砝码的修正值, g;

b_j —— $(P_2 - P_3)$ 砝码的修正值, g;

F_i ——称充有*i*组分的气瓶时,气瓶和砝码的浮力修正值, g;

F_j ——称充有*j*组分的气瓶时,气瓶和砝码的浮力修正值, g;

ΔP ——天平称量的随机不确定度, g;

Δb_i —— $(P_1 - P_2)$ 砝码修正的不确定度, g;

Δb_j —— $(P_2 - P_3)$ 砝码修正的不确定度, g;

ΔF_i ——称充有*i*组分气瓶时,气瓶和砝码浮力修正的不确定度, g;

ΔF_j ——称充有*j*组分气瓶时,气瓶和砝码浮力修正的不确定度, g;

W ——气瓶与充气装置连接一次,拆装质量变化的最大值, g;

ΔM_i ——*i* 组分摩尔质量测定的不确定度;

ΔM_j ——*j* 组分摩尔质量测定的不确定度。

注:摩尔质量测定的相对不确定度为 $10^{-6} \sim 10^{-5}$,暂可忽略不计,这与现行的测量技术有关。

3.2.2 二次稀释制备混合气的情况

3.2.2.1 浓度计算式:

$$X_{2i} = \frac{\frac{\mu_1}{m} \cdot n_i}{\frac{\mu_1}{m} \cdot n + \frac{\mu_{d1}}{M_d}} \dots\dots\dots (6)$$

一般情况下，二次稀释时所用的稀释气与混合气 a 中的稀释气相同。

3.2.2.2 组分 i 的摩尔浓度值的相对不确定度的计算式：

$$\begin{aligned} \frac{\Delta X_{2i}}{X_{2i}} &\leq \frac{\Delta \mu_1}{\mu_1} \left(1 - \frac{n}{N_{s2}} \cdot \frac{\mu_1}{m} \right) \\ &\quad + \frac{\Delta \mu_{d1}}{\mu_{d1}} \cdot \frac{N_{d1}}{N_{s2}} \\ &\quad + \frac{\Delta m_i}{m_i} \left[1 - \frac{m_i}{m} - \left(X_i - \frac{m_i}{m} \right) \cdot \frac{n}{N_{s2}} \cdot \frac{\mu_1}{m} \right] \\ &\quad + \sum \frac{\Delta m_j}{m_j} \left[\frac{m_j}{m} + \left(X_j - \frac{m_j}{m} \right) \cdot \frac{n}{N_{s2}} \cdot \frac{\mu_1}{m} \right] \\ &\quad + \frac{\Delta M_i}{M_i} \left(1 - X_i \cdot \frac{n}{N_{s2}} \cdot \frac{\mu_1}{m} \right) \\ &\quad + \sum \frac{\Delta M_j}{M_j} \cdot X_j \cdot \frac{n}{N_{s2}} \cdot \frac{\mu_1}{m} \\ &\quad + \frac{\Delta M_d}{M_d} \cdot \frac{N_{d1}}{N_{s2}} \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

应该注意：在微分表示式 $\frac{dX_{2i}}{X_{2i}}$ 中，当组分之一 j 与稀释气 d 相同时 $\frac{dM_j}{M_j}$ 和 $\frac{dM_d}{M_d}$ 用相同符号表示，保持前述各项有效。

3.2.3 三次稀释制备混合气的情况

3.2.3.1 浓度计算式：

$$X_{3i} = \frac{\frac{\mu_2}{m_{s2}} \cdot N_{2i}}{\frac{\mu_2}{m_{s2}} \cdot N_{s2} + \frac{\mu_{d2}}{M_d}} = \frac{N_{3i}}{N_{3t} + N_{d2}} = \frac{N_{3i}}{N_{s3}} \dots\dots\dots (8)$$

3.2.3.2 组分 i 的摩尔浓度值的相对不确定度的计算式：

$$\begin{aligned} \frac{\Delta X_{3i}}{X_{3i}} &\leq \frac{\Delta \mu_2}{\mu_2} \left(1 - \frac{N_{s2}}{N_{s3}} \cdot \frac{\mu_2}{m_{s2}} \right) \\ &\quad + \frac{\Delta \mu_1}{\mu_1} \left[1 - \frac{\mu_1}{m_{s2}} \left(1 - \frac{N_{s2}}{N_{s3}} \cdot \frac{\mu_2}{m_{s2}} + \frac{n}{N_{s3}} \cdot \frac{\mu_2}{m} \right) \right] \\ &\quad + \frac{\Delta \mu_{d2}}{\mu_{d2}} \cdot \frac{N_{d2}}{N_{s3}} \\ &\quad + \frac{\Delta \mu_{d1}}{\mu_{d1}} \left[\frac{\mu_{d1}}{m_{s2}} \left(1 - \frac{N_{s2}}{N_{s3}} \cdot \frac{\mu_2}{m_{s2}} \right) + \frac{N_{d1}}{N_{s3}} \cdot \frac{\mu_2}{m_{s2}} \right] \\ &\quad + \frac{\Delta m_i}{m_i} \left[1 - \frac{m_i}{m} - \left(X_i - \frac{m_i}{m} \right) \cdot \frac{n}{N_{s3}} \cdot \frac{\mu_2}{m_{s2}} \cdot \frac{\mu_1}{m} \right] \\ &\quad + \sum \frac{\Delta m_j}{m_j} \cdot \left[\frac{m_j}{m} + \left(X_j - \frac{m_j}{m} \right) \cdot \frac{n}{N_{s3}} \cdot \frac{\mu_2}{m_{s2}} \cdot \frac{\mu_1}{m} \right] \\ &\quad + \frac{\Delta M_i}{M_i} \left(1 - X_i \cdot \frac{n}{N_{s3}} \cdot \frac{\mu_1}{m} \cdot \frac{\mu_2}{m_{s2}} \right) \end{aligned}$$

$$+ \sum \frac{\Delta M_j}{M_j} \cdot X_j \cdot \frac{n}{N_{s3}} \cdot \frac{\mu_1}{m} \cdot \frac{\mu_2}{m_{s2}} \\ + \frac{\Delta M_d}{M_d} \cdot \left(\frac{N_{d2}}{N_{s3}} + \frac{N_{d1}}{N_{s3}} \cdot \frac{\mu_2}{m_{s2}} \right) \dots\dots\dots (9)$$

应该注意：在微分表示式 $\frac{dX_{ji}}{X_{ji}}$ 中，当组分之一 j 与稀释气 d 相同时， $\frac{dM_j}{M_j}$ 和 $\frac{dM_d}{M_d}$ 用相同符号表示，保持前述各项有效。

3.3 制备混合气的实例

天平的最大称量为 100 kg，感量为 10 mg，砝码等级为三等。

气瓶是质量大约为 9 kg 的铝合金气瓶和大约为 70 kg 的钢瓶。

3.3.1 一次稀释

制备氮中一氧化碳混合气（混合气 a ）。

称空瓶时，砝码的标称值 $P_1 = 7404.951 \text{ g}$ ；

称充有一氧化碳的气瓶时，砝码的标称值 $P_2 = 7358.009 \text{ g}$ ；

称充有一氧化碳和氮气的气瓶时，砝码的标称值 $P_3 = 2844.845 \text{ g}$ 。

由上述数据可得：

充入气瓶中一氧化碳的质量 $m_1 = 47.000 \text{ g}^*$ 。

充入气瓶中氮气的质量 $m_2 = 4513.917 \text{ g}^*$

$$m = m_1 + m_2 = 4560.917 \text{ g}$$

由于 $M_{\text{CO}} = 28.010 \text{ (g/mol)}$

$$M_{\text{N}_2} = 28.0134 \text{ (g/mol)}$$

则可计算以下各量： $n_1 = 1.67797$ ； $n_2 = 161.1342$ ； $n = n_1 + n_2 = 162.812$ ； $X_1 = 0.010306$ （一氧化碳的摩尔浓度）； $X_2 = 0.989694$ （氮气的摩尔浓度）。同时，可按（5）式计算 X_1 的相对不确定度。

$$\frac{\Delta X_1}{X_1} < \frac{\Delta m_1}{m_1} (1 - X_1) + \frac{\Delta m_2}{m_2} (1 - X_1)$$

由于 $\Delta m_1 = 0.064 \text{ g}$ ； $\Delta m_2 = 0.196 \text{ g}$ ，所以，

$$\frac{\Delta X_1}{X_1} < \left(\frac{0.064}{47.000} + \frac{0.196}{4513.917} \right) \times 0.99$$

$$\frac{\Delta X_1}{X_1} < 1.40 \times 10^{-3}$$

由此得 X_1 的不确定度

$$\Delta X_1 < 1.40 \times 10^{-5}$$

即

$$X_2 = 1.031 \times 10^{-2} \pm 1.40 \times 10^{-5}$$

3.3.2 二次稀释

取部分混合气 a ，用氮气稀释制备混合气 b 。

称空瓶时，砝码的标称值 $P_1 = 5766.340 \text{ g}$ ；

称充有混合气 a 的气瓶时，砝码的标称值 $P_2 = 5720.345 \text{ g}$ ；

称充有混合气 a 和氮气时，砝码的标称值 $P_3 = 1185.929 \text{ g}$ 。

由上述数据可得：

充入气瓶中混合气 a 的质量 $\mu_1 = 46.002 \text{ g}^*$ ；二次稀释时充入气瓶中氮气的质量 $\mu_{d1} = 4535.227 \text{ g}^*$ ；
 $m_{s2} = \mu_1 + \mu_{d1} = 4581.229 \text{ g}$ 。

* 按 3.2.1 中， m_i 和 m_j 计算式修正后的数值。

混合气 b 中一氧化碳的摩尔浓度为:

$$\begin{aligned}
 X_{2.1} &= \frac{\frac{\mu_1}{m} \cdot n_i}{\frac{\mu_1}{m} \cdot n + \frac{\mu_{d1}}{M_d}} = \frac{N_{2i}}{N_{2i} + N_{d1}} = \frac{N_{2i}}{N_{s2}} \\
 &= \frac{\frac{46.002}{4\ 560.917} \times 1.677\ 97}{\frac{46.002}{4\ 560.917} \times 162.812 + \frac{4\ 535.227}{28.0134}} \\
 &= \frac{0.016924}{1.6421 + 161.895} \\
 &= 1.0349 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

称量误差计算:

由于 $\Delta\mu_1 = \Delta m_1 = 0.064\text{g}$; $\Delta\mu_{d1} = \Delta m_2 = 0.196\text{g}$,

所以

$$\begin{aligned}
 \frac{\Delta\mu_1}{\mu_1} &= \frac{0.064}{46.002} = 1.39 \times 10^{-3}; \\
 \frac{\Delta\mu_{d1}}{\mu_{d1}} &= \frac{0.196}{4\ 535.227} = 4.32 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

已知: $N_{2i} = 0.016924$

$$N_{d1} = 161.895$$

$$N_{s2} = 163.537$$

$$\frac{m_1}{m} = \frac{47.000}{4\ 560.917} = 0.010305$$

$$\frac{m_2}{m} = \frac{4\ 513.917}{4\ 560.917} = 0.989\ 695$$

$$\frac{n}{N_{s2}} \cdot \frac{\mu_1}{m} = \frac{162.812}{163.537} \times \frac{46.002}{4\ 560.917} = 1.004 \times 10^{-2}$$

$$\frac{N_{d1}}{N_{s2}} = \frac{161.895}{163.537} = 0.989\ 96$$

$$X_1 - \frac{m_1}{m} = 1.0306 \times 10^{-2} - 1.0305 \times 10^{-2} = 1 \times 10^{-6}$$

$$X_2 - \frac{m_2}{m} = 0.989\ 694 - 0.989\ 695 = -1 \times 10^{-6}$$

代入 (7) 式计算 $X_{2.1}$ 的相对不确定度:

$$\begin{aligned}
 \frac{\Delta X_{2.1}}{X_{2.1}} &< 1.39 \times 10^{-3} \times (1 - 1.004 \times 10^{-2}) \\
 &\quad + 4.32 \times 10^{-5} \times 0.989\ 96 \\
 &\quad + 1.36 \times 10^{-3} \times (1 - 1.0305 \times 10^{-2} - 1 \times 10^{-6} \times 1.004 \times 10^{-2}) \\
 &\quad + 3.34 \times 10^{-5} \times (0.989\ 695 - 1 \times 10^{-6} \times 1.004 \times 10^{-2}) \\
 \frac{\Delta X_{2.1}}{X_{2.1}} &< 2.80 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

由此得 $X_{2.1}$ 的不确定度 $\Delta X_{2.1} < 3 \times 10^{-7}$

即 $X_{2.1} = 1.035 \times 10^{-4} \pm 3 \times 10^{-7}$