

矿井有害气体性状 及检测方法

董连华 编

王源增 审校

煤炭工业部
煤炭科学研究院 抚顺研究所

内 容 简 介

本书共分四篇，第一篇将煤矿井下大气通性作了综合介绍，第二篇介绍了各种有毒气体的性状及各国允许浓度，动物反应等，第三篇介绍了可燃易爆气体的性状及燃烧爆炸知识，第四篇介绍了有害气体的各种检测方法，仪器的构造基准，各类传感原理，维护与标校方法。本书可作为煤矿安全培训教材，可供煤矿安全管理人员、救护队员、瓦斯检查员业务学习之用，也可供安全仪器制造、研制人员及大专院校师生参考。

矿井有害气体性状及检测方法

董连华 编

王源增 审校

煤炭工业部煤炭科学研究院抚顺研究所

抚顺石油学院印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本

300千字

1985年9月第一版

1985年9月抚顺第一次印刷

前言

在煤矿井下，每年因有毒有害，可燃易爆气体而引起的事故次数，较其他冒顶，片帮等事故的次数少，但是，气体事故的每次发生，几乎都带有死亡事故的特点，而且每次的绝对死亡事故较其他事故为多，并且对生产和建设的破坏率极大，灾害强度最高。

许多气体事故的发生，其主要原因是有关人员对有毒气体或爆炸性气体的知识缺乏必要的了解，因为不懂，所以产生轻视，因而酿成大祸等情况很多，如果煤矿领导、安全管理人员和第一线的工人对煤矿井下有害气体的性状，监测与管理知识有足够的了解和掌握，则在生产劳动中，就可以对在什么情况下会产生什么气体，什么气体有什么性质和特点，工作中应注意什么，气体发生之后应采取什么措施和行动等都有切合实际的了解，这样就可减少事故的发生。

本集的重点内容是着眼于煤矿井下有害气体性状及其监测的知识，对相关的必要知识做了综合辑录，以求知识的完整性，期望能对煤矿安全工作有一定的价值是为编者所愿。

本集承蒙中国煤炭工业劳动保护学会和煤炭科学研究院抚顺研究所机电安全研究室的大力扶植而得以实现。

本文在七十年代初期形成初稿，经《煤矿安全》编辑部王源增高级工程师多次修改，现重新整理编写为本稿，又经王源增同志再阅。在此表示感谢。

目 录

第一篇	气体的通性	(1)
第一章	大气	(1)
第二章	气体的物理通性	(17)
第二篇	中毒与窒息性气体	(17)
第一章	中毒性气体的综合性质	(29)
第二章	中毒性气体各论	(29)
第一节	一氧化碳	(43)
第二节	碳氧络合物	(47)
第三节	二氧化碳	(52)
第四节	氧气	(57)
第五节	二氧化硫	(63)
第六节	硫化氢	(70)
第七节	氨气	(75)
第八节	氮氧化物	(88)
第九节	汽油	(96)
第三篇	易燃易爆性气体	(96)
第一章	井下可燃易爆气体各论	(96)
第二章	可燃性物质的燃烧	(106)
第三章	气相爆炸理论	(120)
第四章	瓦斯爆炸的原因	(158)
第四篇	有害气体的检测	(167)
第一章	有害气体监测设备的性能基准与构造基准	(167)

第二章	气体成份传感器	(180)
第一节	气体传感器的发展史	(180)
第二节	气体传感器概论	(182)
第三节	半导体气体传感器	(185)
第四节	吸附效应晶体管气体传感器	(199)
第五节	电化学式气体传感器	(207)
第六节	压电化学气体传感器	(229)
第七节	声波与超声波气体传感器	(232)
第八节	红外线气体传感器	(239)
第九节	热导式气体传感器	(243)
第十节	催化燃烧式气体传感器	(256)
第十一节	光干涉型瓦斯测量仪	(314)
第三章	检测方法与管理	(378)
第一节	瓦斯监测法规	(393)
第二节	瓦斯检测的要求	(379)
第三节	瓦斯检测设备的选型条件	(400)
第四节	检测要点	(381)
第五节	测定点计划	(385)
第六节	瓦斯监测设备的使用与管理	(488)
第七节	标准气样配制法	(396)
第八节	瓦斯监测设备的校准	(428)
附录	1、度量衡单位	(431)
	2、检气管	(436)
	3、典型仪器介绍	(440)

第一篇 气体通论

第一章 大 气

第一节 大气成份

大气是指包围在地球表面的人们呼吸的空气，(Atmosphere Air) 人们将包围在地球表面的气态物质称为大气圈，大气圈的厚度可达150—300公里。依大气高度的不同，其组成成份也不同，同时其温度也不一样，在大约10公里以上，其温度保持相同的一55℃，因此称为同温层，而在其以下高度范围内的温度是多变的，称为变温层。

近于地表面的大气组成成份，依地区不同而有所不同，表1所示为世界范围内平均污染状态的空气组成成份。其中干燥的无污染的空气中通常含有0.1—0.5%的水蒸汽，正常状态时含有1—3%的水蒸汽。

空气是一种混合气体，其平均分子量为28.84，空气的热膨胀率与所有气体一样，皆为该容积0℃时的1/273。干燥空气的比热为0.24。空气的主要成份是氮气、氧气，平均氮气占78%，氧占21%。

人类呼吸空气，主要是吸收空气中的氧气，一般成人每天要呼吸约23米³的空气。

为了保证煤矿井下工人能够呼吸到足够的空气，《煤矿安全规程》第109条规定：“矿井需要的风量，按下列要求

基本空气的组成成份

表 1

名 称	PPm	微克/立方米(0℃, 760mmHg)
氮 气	780.000	
氧 气	209.000	
氩 气	9.300	16,000,000
二氧化碳	315	630,000
氦	18	16,000
一氧化碳	0.03—0.14	35—160
氖	1.1	3,100
甲 烷	1.4	900
硝 酸	0.26	480
氨	5.1	850
氢 气	0.5	40
中 氩	0.086	470
二氧化氮	0.02—0.07	40—130
二氧化硫	0.02	53
硫化氢		0.07
氨		10
臭 氧	0.02	40
丁 烷		150
乙 烷		120
丙 烷		90

分别计算，并必须采取其中最大值。

一、按井下同时工作的最多人数计算，每人每分钟供给风量不得少于4立方米；

二、生产矿井的风量应按采煤、掘进、硐室及其他地点实际需要风量的总和进行计算。各地点的实际需要风量使风流中的沼气，二氧化碳、氢气和其他有害气体的浓度以及风速，温度都必须符合本规程的有关规定。每一工作地点，每人每分钟供给风量都不得少于4立方米……。

设计矿井的风量计算，可参照邻近生产矿井的通风资料，按生产矿井的风量计算方法进行。也可按平均日产一吨煤预计涌出的沼气量或二氧化碳量来计算，矿井需要的风量如下表：

表 2

平均日产一吨煤涌出沼气量 或二氧化碳量（立方米）	日产一吨煤矿井需要的风量 （立方米/分）
10和10以下	1.00—1.25
10以上	计算风量时，必须使总回 风流中的沼气和二氧化碳浓度 都不超过0.75%，同时日产一 吨煤矿井需要风量不少于每分 1.5钟立方米

第二节 空气的重量

干燥空气的重量

在标准状态下（0℃，1个大气压下），干燥空气的比重与4℃时纯水比重的1/773相同，即为1.293公斤/立方米。当气温和气压发生变化时，其比重由下式计算：

$$W = \frac{1.293B}{(1 + 0.00367t)760} \dots\dots\dots(1)$$

式中：W：1立方米空气的重量（公斤）

t：温度（℃）

B：实测气压（毫米汞柱）

——该公式运用于标准大气成份范围，其中以二氧化碳含量为0.06%（体积）为基础的，当CO₂变化±0.01%（体积）时，则其计算所得值必须相应变化± $\frac{1}{19.000}$ 。CO₂浓度的变化，与实际空气的比重有很大差别，应进行计算更正。

湿润空气的重量

湿润空气的重量根据同温、同压下干燥空气的重量计算如下：

$$W_w = W \left(1 - 0.378 \frac{p}{B} \right) \dots\dots\dots(2)$$

由(1)式可得：

$$W_w = \frac{1.293(B - 0.378p)}{(1 + 0.00367t)760} \dots\dots\dots(3)$$

式中: W_w : 1 立方米湿润空气的重量

P : 水蒸汽压 (毫米汞柱)

设 $t^{\circ}\text{C}$ 时水蒸汽最大张力为 F_2 , 设 H 为相对湿度, 则,

$$H = \frac{p}{F} \times 100, \text{ 故 } p = \frac{H \cdot F}{100} \text{ 将代入 (3) 得:}$$

$$W_w = \frac{1.293(B - 0.378H \cdot F/100)}{(1 + 0.00367t)760} \dots\dots\dots (4)$$

例题: 求干球温度为 30°C , 湿度为 85% , 气压为 780 毫米汞柱的空气的比重。

根据 (1) 试求出干燥空气的重量为:

$$W = \frac{1.293 \times 780}{(1 + 0.00367 \times 30)760} \doteq 1.195 \text{ 公斤/米}^3$$

根据 (4) 试求湿润空气的比重为:

$$W_w = 1.195 \left(1 - 0.378 \times \frac{85 \times 17.36}{100 \times 780} \right) \doteq 1.157 \text{ 公斤/米}^3$$

混合气体的重量

设混合气体中各个成份所占浓度为 $\nu_1, \nu_2, \nu_4 \dots\dots$, 设在标准状态下各成份 1 米^3 的重量分别为; $d_1, d_2, d_3 \dots\dots$; 则在 $t^{\circ}\text{C}$, 气压为 B 毫米汞柱时 1 米^3 的重量由下式计算:

$$W_m = \frac{1}{100} (\nu_1 d_1 + \nu_2 d_2 + \nu_3 d_3 + \dots\dots) \frac{B}{(1 + 0.00367t)760} \dots\dots\dots (5)$$

若该混合气体中含有水蒸汽时，则将(5)式代入(2)式中的W，从而可求得湿润混合气体的重量，或者将水蒸汽作为混合气体中的其中一个成份进行计算也可以。

例题：试计算温度为27℃，气压为 765毫米汞柱下的下表中混合气体的比重：

表 3

成 分	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂
体 积 (%)	19.7	78.8	1.2	0.3
密 度 (公斤/米 ³)	1.429	1.250	0.717	1.976

$$W_m = \frac{1}{100} (19.7 \times 1.429 + 78.8 \times 1.250 + 1.2 \times 0.717$$

$$+ 0.3 \times 1.976) \times \frac{765}{\left(1 + \frac{27}{273}\right) \times 760}$$

$$= \frac{1.2810 \times 765}{\left(1 + \frac{27}{273}\right) \times 760} = 1.173 \text{ 公斤/米}^3$$

$$\left(1 + \frac{27}{273}\right) \times 760$$

表 4

某些气体的分子量、分子体积、密度、比重及比数气体常数

气 体	化学式	分子量 M	0℃及760 毫米汞柱 下的分子 容积(米 ³ 标准/公 斤分子)	密 度 ρ〔公斤/ 米 ³ 标 准〕〕	对空气 (在 0 ℃及 760毫 米柱汞 下) 的 比重	比气体 常数 × 10 ⁴ 〔大 气压 (绝对) 米 ³ /公 斤·度〕
氮	N ₂	28.016	22.40	1.2505	0.9673	30.13
空气及氮		28.150	22.40	1.2567	0.9721	30.12
氨	NH ₃	17.032	22.08	0.7714	0.5967	49.77
氩	Ar	39.944	22.39	1.7839	1.3799	21.23
乙 炔	C ₂ H ₂	26.036	22.24	1.1757	0.9055	32.56
苯 蒸 汽	C ₆ H ₆	78.108	21.4	3.49	2.7	10.86
正 丁 烷	C ₄ H ₁₀	58.120	21.50	2.703	2.091	14.59
异 丁 烷	C ₄ H ₁₀	58.120	21.78	2.668	2.064	14.59
丁 烯	C ₄ H ₈	56.104	26.4	2.50	1.93	15.11
氢	H ₂	2.0160	22.43	0.08987	0.06952	422.6
水 蒸 气	H ₂ O	18.016	22.4	0.804	0.622	47.06
空气(无 CO ₂)	—	28.96	22.40	1.2928	1.000	29.27
氦	He	4.003	22.42	0.1785	0.1381	211.79
二氧化硫	SO ₂	64.068	22.89	2.9263	2.2635	13.15
二氧化碳	CO ₂	44.01	22.26	1.9768	1.5291	19.14
氧化亚氮	N ₂ O	44.016	22.25	1.9780	1.5300	19.14
氧	O ₂	32.000	22.39	1.4295	1.1053	26.47

续表 4

甲	烷	CH ₄	16.042	22.38	0.7168	0.5545	52.95
氖		Ne	20.183	22.43	0.899	0.6961	42.01
一氧化氮		NO	30.008	22.39	1.3402	1.09367	28.19
一氧化碳		CO	28.010	22.41	1.2500	0.9669	30.26
丙	烷	C ₃ H ₈	44.094	21.84	2.019	1.562	19.23
丙	烯	C ₃ H ₆	42.078	21.98	1.915	1.481	20.15
硫	化 氢	H ₂ S	34.082	21.14	1.5392	1.1906	24.89
乙	烷	C ₂ H ₆	30.068	22.18	1.356	1.049	28.19
乙	烯	C ₂ H ₄	28.052	22.25	1.2605	0.9750	30.26

第三节 空气的湿度

单位体积或单位重量的气体所含气体的重量，称为绝对湿度或含水量，常以克/米³或克/公斤表示。

相对湿度或气体为水蒸汽所饱和的饱和度，是在所给定条件下气体实际上所含量的水蒸汽量与最大可能含量之比，或气体在该状态下的绝对湿度与水蒸汽所饱和时的绝对湿度之比。

相对湿度也可以作为气体中水蒸汽的分压 p 与同一温度下饱和水蒸汽压力 P 之比而求出：

$$\varphi = \frac{p}{P}$$

式中： p 和 P 、以毫米汞柱表示。

假如在某一温度下，气体中的水蒸汽分压等于饱和水蒸

汽压力，则气体即认为被水蒸汽所饱和。对于饱和蒸汽， $\varphi = 1$

湿气体为水蒸汽所饱和的温度，称为该气体的露点。

在已知温度下的饱和蒸汽压与气体的体积无关，因为当体积减小时，一部分蒸汽就转变为液体。有关饱和水蒸汽压及温度的有关数据列于表4

气体中的水份，可以按照下式计算：

$$W = \frac{R_r}{R_n} \cdot \frac{\varphi p_n}{P - \varphi p_n}$$

式中： R_r 和 R_n 干燥气体与水蒸汽的比气体常数，〔大气压（绝对）米³/公斤〕

φ ：气体的相对湿度；

p_n ：在所给温度下的饱和水蒸汽压〔毫米汞柱〕

P ：湿气体的总压力〔毫米汞柱〕

W ：每1公斤干气体中的含水量，〔公斤〕。

按下式可以把湿气体的体积换算为标准状态下干燥气体的体积：

$$V = V_w \frac{273.2}{273.2 + t} \cdot \frac{P - p}{760}$$

式中： V ：在0℃及760mmHg压力下的干气体的体积，（米³）

V_w ：在 t ℃ 的温度及 P mmHg压力下湿气体的体积（米³）

p ：水蒸汽压力（mmHg）

t ：气体的温度：

水 蒸 汽 压 和 含 水 量

表 5

温度 t(°C)	水蒸汽压 (mmHg)	水蒸汽含 (g/M ³)	温度 t(°C)	水蒸汽压 (g/M ³)	水蒸汽量 (g/M ³)	温度 t(°C)	水蒸汽压 (mmHg)	水蒸汽量 (g/M ³)
-30	0.28	0.33	-2	3.88	4.13	26	25.21	24.4
-29	0.31	0.37	-1	4.22	4.47	27	26.74	25.8
-28	0.35	0.41	0	4.58	4.84	28	28.35	27.2
-27	0.38	0.46	1	4.93	5.22	29	30.04	28.7
-26	0.43	0.51	2	5.29	5.60	30	31.82	30.3
-25	0.47	0.55	3	5.69	5.98	31	33.70	32.1
-24	0.52	0.60	4	6.10	6.40	32	35.66	33.9
-23	0.58	0.66	5	6.54	6.84	33	37.73	35.7
-22	0.64	0.73	6	7.01	7.3	34	39.90	37.6
-21	0.70	0.80	7	7.51	7.8	35	42.18	39.6
-20	0.77	0.88	8	8.05	8.3	36	44.56	41.8
-19	0.85	0.96	9	8.61	8.8	37	47.07	44.0

-18	0.94	1.05	10	9.21	9.4	38	49.69	46.3
-17	1.03	1.15	11	9.84	10.0	39	52.44	48.7
-16	1.13	1.27	12	10.52	10.7	40	55.32	51.2
-15	1.24	1.38	13	11.23	11.4	45	71.88	65.4
-14	1.36	1.51	14	11.99	12.1	50	92.5	83.0
-13	1.49	1.65	15	12.79	12.8	55	118.0	104.3
-12	1.63	1.80	16	13.63	13.6	60	149.4	130
-11	1.78	1.96	17	14.53	14.5	65	187.5	161
-10	1.95	2.14	18	15.48	15.4	70	233.7	198
-9	2.13	2.33	19	16.48	16.3	75	289.1	242
-8	2.32	2.54	20	17.54	17.3	80	355.1	293
-7	2.53	2.76	21	18.65	18.3	85	436.6	354
-6	2.76	2.99	22	19.83	19.4	90	525.8	424
-5	3.01	3.24	23	21.07	20.6	95	633.9	505
-4	3.28	3.51	24	22.38	21.8	100	760.0	598
-3	3.57	3.81	25	23.76	23.0			

例题：已知气体的相对湿度为 $\varphi = 0.4$ ， 30米^3 的体积，6 大气压（表压）的压力及 20°C 的湿度，试求干气体在 0°C 及 760mmHg 下的体积。

由表 4 可以看出，在 20°C 时饱和水蒸汽压力 $p = 17.54\text{mmHg}$ ，因此它在气体中的分压为 $p' = \varphi p = 0.4 \times 17.54 = 7.02\text{mmHg}$ ；6 大气压表压 = 6 大气压（绝对）= $6 \times 735.56 = 4413.36\text{mmHg}$ 则：

$$V_{\pm}(0^\circ\text{C}, 760) = 30\text{米}^3 \times \frac{273.2}{273.2 + 20} \times \frac{4413.36 - 7.02}{760} = 162 \text{ 米}^3$$

第二章 气体的物理通性

第一节 气体的体积压力及温度的关系

一、体积与温度（给一吕萨克定律）

一切物体受热皆膨胀，而气体更为显著，如果保持一定压力，则气体温度每变化 1°C ，则其体积变化 $1/273$ ，即 0.003663 ，通常以字母 α 表示， α 称为气体的膨胀系数。其关系式由给一吕萨克恒压力定律给出：

$$U_t = U_0(1 + \alpha t)$$

式中： U_t ： $t^\circ\text{C}$ 时气体的体积；

U_0 ： 0°C 时气体的体积；

α ： 气体的膨胀系数，严格数值依气体的种类和温度的不同略有差别，通常情况下一般取 0.003663