

■ 中等职业学校教材



煤气 基础知识

MEIQI JICHU ZHISHI

陈红萍 王胜春 编

梁英华 主审



化学工业出版社

中等职业学校教材

煤气基础知识

陈红萍 王胜春 编

梁英华 主审

化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要对煤气的基本性质、燃烧特性,各种煤气(高炉煤气、焦炉煤气、冶金煤气和发生炉煤气)的发生原理及影响煤气组成的因素,煤气的净化处理及主要净化设备,煤气的综合利用作了系统介绍。为指导煤气的非燃烧利用特性,将焦炉煤气的变压吸附单独作为一章进行介绍。

本书可作为各中等职业院校燃气输配、动力专业师生的教学用书,也可供从事城市及企业各种燃气化验室工作的技术和管理人员参考。

燃气基础知识

陈红萍 王胜春 编

审主 毕英梁

图书在版编目(CIP)数据

煤气基础知识/陈红萍,王胜春编. —北京:化学工业出版社, 2008. 2

中等职业学校教材

ISBN 978-7-122-02092-5

I. 煤… II. ①陈…②王… III. 煤气-专业学校-教材
IV. TQ541

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 019785 号

责任编辑:张双进
责任校对:徐贞珍

文字编辑:陈元
装帧设计:张辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印装:化学工业出版社印刷厂

850mm×1168mm 1/32 印张6 1/4 字数166千字 2008年3月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 12.00 元

版权所有 违者必究

前 言

进入 21 世纪, 我国的钢铁行业迅猛发展, 钢的产量已突破 3 亿吨, 钢铁企业近千家。我国的煤气事业也得到了蓬勃发展, 煤气在工业生产和人民生活中得到越来越广泛的应用。除专门的煤气制造外, 炼铁、炼钢、炼焦等过程副产大量的煤气。大部分企业对煤气实现了回收利用, 如高炉煤气发电、转炉煤气的回收、焦炉煤气变压吸附制氢等。

在煤气的工业及民用利用中均需对煤气进行输配, 输配过程中涉及的管路、鼓风机、气柜等内容, 其知识涉及流体力学、煤气基础知识、煤气安全、煤气检测等内容, 必须加以重视。而有关该专业的对口教材却很少, 煤气方面尤其涉及不多, 因此有必要编写煤气输配方面的教材, 以满足国内钢铁企业、学校等对教材的需求。本书正是为此目的编写而成。

本书针对常见的几种煤气, 如焦炉煤气、高炉煤气、转炉煤气和发生炉煤气作了较详细的介绍。为指导煤气的非燃烧利用特性, 将焦炉煤气的变压吸附单独作为一章进行介绍。

本书由陈红萍主笔, 第三章第一节由王胜春编写。书稿由梁英华主审。

本书得以顺利完成, 还需感谢樊丽华、王岭和谢全安的大力支持, 同时感谢刘彦对文稿的校对。

编 者

2008 年 1 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 煤气工业发展概况	1
第二节 煤气的种类及特点	2
一、发生炉煤气	2
二、焦炉煤气	3
三、高炉煤气	3
四、转炉煤气	4
五、几种煤气的比较	5
六、煤气作为工业燃料的特点	5
第三节 煤气利用的重要性及意义	6
一、煤气在化学产品生产上的应用	6
二、煤气在燃气和发电方面的应用	6
第二章 煤气的性质	8
第一节 煤气的基本性质	8
一、煤气的组成及表示方法	8
二、煤气的特点	13
三、煤气的物理性质	15
第二节 煤气的燃烧特性	19
一、煤气的燃烧	19
二、煤气的燃烧热值	19
三、煤气燃烧的计算	20
四、着火温度	24
五、爆炸极限	24
六、传热	27
第三节 煤气使用中涉及的流体流体力学常识	36
一、煤气的体积、压力与温度之间的关系	37

二、流体在静止状态下的基本规律	38
三、流体流动的基本规律	50
第三章 煤气产生原理	85
第一节 焦炉煤气	85
一、焦炉煤气的产生	85
二、煤热解产生煤气的反应	88
三、影响焦炉煤气组成和产率的主要因素	89
第二节 高炉煤气	97
一、高炉煤气的生成	98
二、影响高炉煤气成分和含尘量的因素	99
三、高炉煤气产量的计算	102
第三节 转炉煤气	105
一、氧气顶吹转炉煤气的生成	105
二、转炉煤气的回收量	107
第四节 发生炉煤气	109
一、制气原理	110
二、气化过程的指标及其影响因素	114
三、气化过程的计算	121
第四章 煤气的综合利用	127
第一节 高炉煤气的综合利用	127
一、利用剩余高炉煤气生产石灰	128
二、高炉煤气发电	128
三、纯高炉煤气在加热炉上的应用	129
四、采用高炉煤气热风循环解冻技术改造解冻库	129
五、回收利用余热的其他措施	130
第二节 转炉煤气的综合利用	130
一、作为燃气使用	131
二、作为化工原料	131
三、余热的利用	131
四、烟尘的利用	132
第三节 焦炉煤气的综合利用	132
一、作为居民燃气	132

二、作为工业燃料	132
三、用于发电	133
四、焦炉煤气的应用前景	133
第五章 变压吸附制氢	135
第一节 吸附原理及吸附剂	135
一、吸附原理	135
二、吸附过程	136
三、吸附剂	137
第二节 吸附平衡和吸附速率	140
一、吸附平衡	140
二、吸附速率	141
第三节 吸附分离过程	141
一、固定床吸附操作	142
二、变温吸附	142
三、变压吸附	143
四、焦炉煤气变压吸附制氢过程	148
第六章 煤气净化	150
第一节 煤气净化设备及净化原理	150
一、固体颗粒的净化处理	150
二、吸收分离	166
三、净化用其他设备	167
第二节 焦炉煤气的净化处理	170
一、煤气的初冷	172
二、煤气中焦油的脱除及回收	172
三、煤气中氨类的脱除	173
四、煤气中萘的脱除工艺	174
五、煤气中苯类的脱除及回收	174
六、煤气中 H_2S 的脱除	175
第三节 高炉煤气的净化处理	177
一、高压洗涤塔文氏管系统	178
二、高压串联调径文氏管系统	179
三、常压洗涤文氏管系统	179

第一章 绪 论

第一节 煤气工业发展概况

煤制气是 18 世纪末 19 世纪初才开始被制造和利用的。1812 年,被称为“煤气工业之父”的苏格兰人威廉·默多克(William Murdoch)在伦敦建成了世界上第一座煤气制造工厂,但其生产的煤气最初只是用于室内和街道的照明,后来也用作取暖。直到 1855 年本生发明了引射式燃烧器,才使煤气在居民生活和工业炉中得到广泛的应用。

煤炭气化至今有已有 160 多年的历史。煤在世界矿物能源总储量中占有绝对优势,自 20 世纪 70 年代以后,世界各国广泛开展了煤炭气化技术的研究。其中意大利、英国、美国、法国、南非等国家在煤炭气化技术开发方面居世界前列。煤炭气化技术发展到今天,已研究开发出了若干种成熟的煤气化技术。从发展的历史阶段来分,煤气化技术大致可分为两代:第一代是传统的常压煤气化方法,如煤的干馏制气、焦炉制气、直立炭化炉制气、发生炉制气、常压粉煤气化、常压流化床粉煤气化等,气化总效率 $<85\%$;第二代是加压气化,炉内压力达到 $2\sim 4\text{MPa}$,如德士古法、谢尔法、鲁奇法、高温可勒法、西屋法以及回转窑煤气化法等,气化总效率高的可达到 95% ,其次还有核能气化法、地下气化法等。总之,煤炭气化方法有上百种。就发生炉煤制气方面,已从单段炉煤制气发展到了两段炉煤制气。

中国于 1885 年 11 月 1 日在上海建成了国内第一座煤制气工厂,以后在东北的几个城市建立了煤气企业。新中国建立后,煤气工业发展迅速,包括原有的人工煤气、重油裂解气、液化石油气、天然气等,其中以煤为原料生产人工煤气为主。20 世纪 80 年代以

来,中国的城市煤气工业发展突飞猛进,在煤炭气化方面也有了长足进展。特别是近几年来,在引进国外技术的同时,消化、吸收国外技术,开发出了具有中国特色、符合中国国情的煤气化设备。到目前为止,基本形成了产业化。

中国的煤炭资源丰富,按目前的总产量,至少可开采 100 年以上,而且品种齐全,分布广泛,在煤炭综合利用方面有广阔的发展前景。在目前和今后较长时间内,中国煤在能源结构中占 70% 以上。因此,设法提高煤的利用率,同时减少环境污染,是提高人民生活水平的一个重要组成部分。煤炭气化制成人造煤气或合成气是煤炭洁净、高效利用的主要途径。

煤炭气化技术在中国钢铁、耐火、陶瓷、建陶、玻璃制品、化工、机械等行业得到了广泛的推广应用。

第二节 煤气的种类及特点

随着煤气工业的快速发展,煤气应用范围得到了飞快的发展。根据其应用目的不同,可分为化工原料煤气、电力生产煤气和燃气煤气。根据热值不同,可分为低热值煤气和中热值煤气。热值低于 $13\text{MJ}/\text{Nm}^3$ (Nm^3 为标准状态下的体积) 的为低热值煤气,可燃组分主要为氢气和一氧化碳,同时含有相当数量的不可燃惰性组分,其含量甚至达到半数。气化煤气(高炉煤气、转炉煤气等)多为低热值煤气。中热值煤气热值在 $20\text{MJ}/\text{Nm}^3$ 左右,可燃组分除含有氢气和一氧化碳外,还含有甲烷和其他烃类,或可燃组分为甲烷,但伴有大量非可燃组分。焦炉煤气属中热值煤气。根据煤气产生途径,又可将其分为发生炉煤气、焦炉煤气、高炉煤气、转炉煤气、铁合金炉煤气等,其中后 4 种为钢铁企业中的副产煤气。

一、发生炉煤气

煤在气化炉中,在高于 700°C 条件下与气化剂反应,固体转化为气体,只剩下含灰的残余物。通常气化剂采用水、二氧化碳和氧(空气),二氧化碳是由碳与氧反应生成的。粗煤气中的目的产物是 CO 、 H_2 和 CH_4 , 伴生气是 CO_2 、 H_2O 和 N_2 等,此外还有硫化

物、烃类产物和其他微量成分。根据气化方法不同，又可分为多种发生炉煤气。各种煤气组成取决于煤的种类、气化工工艺、气化剂的组成、影响气化反应的动力学和热力学等多种因素。

净化后的发生炉煤气是无色、有焦炉煤气味道的可燃气体，含 CO 为 24%~32%。用空气和水蒸气作气化剂制成低发热值煤气，热值为 4.19~6.70 MJ/Nm³，适宜作工业燃料气；用氧气和蒸汽作气化剂可制成中热值煤气，热值为 10.47~11.72 MJ/Nm³，通过进一步处理和增热，可用作城市煤气和代用天然气。其着火点为 650~700℃，理论燃烧温度为 1300℃，对人体的毒性及其与空气混合达到一定比例造成爆炸的影响介于高炉煤气和焦炉煤气之间。

二、焦炉煤气

焦炉煤气是炼焦生产的副产品。1t 煤在炼焦过程中可产生 300~350m³ 的焦炉煤气。炼焦生产工艺就是煤的干馏过程。炼焦煤在焦炉中经高温炭化，约有 75% 左右的干煤变成焦炭，另有 25% 左右生成各种化学物质（称为炼焦副产品），以荒煤气形式自上升管导出。从焦炉出来的荒煤气经过回收其中的化学产品后成为洁净燃气，通过煤气管路输送给用户使用。

净化后的焦炉煤气是无色、有臭味的有毒气体。干燥气的低发热量为 17.14~17.97 MJ/m³（4100~4300 cal/m³），着火温度为 550~650℃，理论燃烧温度为 2150℃ 左右。焦炉煤气的主要组成是 H₂（56%~60%）和 CH₄（22%~26%），燃烧时火焰透明、黑度较小、火焰辐射能力较差。另外焦炉煤气燃烧火焰刚性较差、容易上浮，对于要求火焰具有足够刚性以便定向传热的锅炉来说，必须与高炉煤气混合后使用，故一般多与高炉煤气配成发热量为 8.32 MJ/m³ 左右的混合煤气用于加热炉加热。焦炉煤气中的 CO 含量较高炉煤气少，但仍会造成人身中毒。

三、高炉煤气

高炉煤气是钢铁企业冶炼过程中的副产煤气，主要成分为 CO、CO₂、N₂ 及少量 H₂，其特点是热值低、气量大，因此对于冶金工厂大量的加热炉一般不能直接利用，而是与焦炉煤气或转炉煤气等高热值煤气掺混使用。

高炉是钢铁企业冶炼生铁的设备。高炉冶炼生铁的主要原料是铁矿石-原矿石或烧结矿，主要燃料是冶金焦以及石灰石等附加物料组成的炼铁炉料。在冶炼过程中，由风口吹入的热风进入焦炭回旋区，鼓风中的氧使焦炭燃烧，生成的二氧化碳在高温下很快被灼热的焦炭几乎全部还原成一氧化碳，热风中所带入的水蒸气也很快分解成氢和一氧化碳，结果产生了高炉煤气。

高炉煤气是无色、无味、有毒的可燃气体。发热量为 $3.35 \sim 4.19 \text{ MJ/m}^3$ ($800 \sim 1000 \text{ cal/m}^3$)，理论燃烧温度为 $1400 \sim 1500^\circ\text{C}$ ，着火点为 700°C 左右。高炉煤气中含有 $24\% \sim 30\%$ 的 CO ，如果泄漏出来，极易造成人身中毒；含 N_2 和 CO_2 之和近 70% 左右，会对人造成喘息（没有氧存在）和窒息。高炉煤气与空气或氧气混合到一定比例，遇到明火或 700°C 左右的高温就会爆炸。在冶金生产中，高炉煤气的主要用户是热风炉、焦炉、蒸汽锅炉，并可与焦炉煤气混合使用于平炉或其他加热炉。

高炉是冶金生产中燃料的巨大消费者，高炉燃料的热量约有 60% 是转移到高炉煤气中。据统计，高炉每消耗 1t 焦炭约可生产 $3500 \sim 4000 \text{ m}^3$ 的高炉煤气。因此，充分有效利用高炉煤气，对降低吨钢能耗和节约燃料有重大意义。高炉煤气在冶金联合企业的燃料平衡中占有重要地位。

四、转炉煤气

当今世界的转炉炼钢生产，都是氧气顶吹或顶底复合吹炼转炉。氧气顶吹转炉在吹炼过程中，由于铁水中的碳的氧化产生了炉气，其炉气量的大小主要取决于吹氧量及铁水含碳量的多少。因为炉内温度很高，所以碳的主要氧化物是一氧化碳，也就是转炉煤气的主要成分。转炉煤气的成分，在吹炼周期内，不同时期有不同的成分，而且与回收设备的操作条件及煤气的回收条件有关。

净化后的转炉煤气是有毒的可燃气体。纯氧顶吹转炉炼钢过程产生大量的转炉气，每吨钢可回收 $50 \sim 70 \text{ Nm}^3$ 的转炉煤气，其发热量为 $6.27 \sim 8.37 \text{ MJ/m}^3$ 。煤气中含有 $60\% \sim 80\%$ 的 CO ，泄漏出来极易造成人身中毒。转炉煤气与空气或氧气混合达到一定比例时，遇到明火就会爆炸。转炉煤气的理论燃烧温度较高炉煤气高。

转炉煤气不仅可作为冶金炉的燃料，而且含有高达 60% 的 CO，也是一种非常理想的化工原料。

五、几种煤气的比较

各种煤气的主要性质及比较见表 1-1。

表 1-1 各种煤气的主要性质及比较

种 类	色觉、嗅觉、毒性	发热量 (kJ/m ³)	理论燃烧 温度/℃	着火点 /℃	CO 含量(体 积分数)/%	与空气混合爆炸 范围(体积分数)/%
高炉 煤气	无色、无 味、有剧毒	3558.8~ 3977.5	约 1500	700 左右	27~30	40~70
焦炉 煤气	无色、有 臭味、有毒	16328.5~ 18422.9	约 2150	550~ 650	约 7.5	6~30
转炉 煤气	无色、无 味、有剧毒	7536.2~ 9211	较高炉 煤气高	650~ 700	60~80	20.3~71.5
发生炉 煤气	无色、无 味、有剧毒	5861.5~ 7117.6	1750	700	26~31	40~70

六、煤气作为工业燃料的特点

煤气是一种混合气，可燃气体通常为碳氢化合物、氢气和一氧化碳，不可燃气体为氮气、二氧化碳和氧气。此外，还含有少量的混杂气体及其他杂质，如水蒸气、氨、硫化氢、萘、焦油和灰尘等。作为工业燃料，与煤和燃料油比较，煤气具有以下特点。

① 使用煤气不必建设燃料储存场所和设备，输配结构简单，燃烧设备简单易操作，可节省占地、投资和操作费用。

② 煤气燃烧后产生的 CO₂ 较少，产生的 SO_x、NO_x 和颗粒物极少，无灰渣生成，对环保有利。

③ 燃烧的工业炉便于温度控制，炉膛温度均匀，程序升温平稳，火焰清洁，有利于生产优质产品，有利于提高装置生产率。

④ 煤气能与其他燃料灵活掺配燃烧，达到增产、节能、降耗的目的。如煤气与煤粉共燃，可使燃煤装置排放符合环保规定的要求。20 世纪 80 年代以来，美、英、德等国家已有相当部分的高炉炼铁采用喷吹燃气工艺。

⑤ 锅炉是工业中的最大能耗设备，中国燃煤锅炉效率约为 50%~60%，而燃烧煤气的锅炉效率可达 80%~90%。

⑥ 燃气工业炉运行时，由于煤气与空气混合物易形成爆炸极限气体，运行前的泄漏，运行中的熄火、回火，可燃混合物在未着火的状态下进入炉内或火焰倒入混合管中等都容易引起爆炸，因此燃气工业锅炉的操作和管理比其他燃料更严格。

第三节 煤气利用的重要性及意义

一、煤气在化学品生产上的应用

以煤为原料通过煤气化技术生产化学产品在世界上已有很长的历史。第二次世界大战期间，德国等国家采用费托（Fischer-Tropsch）合成工艺将煤转化成航空燃料。20 世纪 50 年代后，由于石油工业的迅速发展以及天然气的大量应用，以煤为原料的化学品生产大多数被石油和天然气替代。20 世纪 70 年代以后，世界范围内出现过两次“石油危机”，由于石油、天然气资源的日益减少和石油价格的不断上涨，不少国家将注意力转向了用煤做原料合成有机化学品的新途径。特别是 20 世纪 70 年代末 80 年代初，世界上形成了煤化工热，其中以美国和联邦德国最为活跃，煤化工热促进了 C_1 化学的发展。而现代煤化工的一个很重要的分支就是煤通过气化制成合成气，进一步生产 C_1 化学品，以替代部分石油和天然气生产的基本有机化工产品。煤气利用的主要途径如图 1-1 所示。

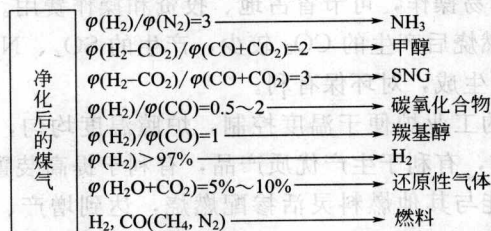


图 1-1 煤气利用的主要产品途径

二、煤气在燃气和发电方面的应用

煤气发生炉制造的煤气可用作机械、冶金工业的各种加热炉，以及玻璃、水泥工业的各种窑炉的加热燃料。

钢铁企业在生产过程中副产的煤气是一种优质的气体燃料，副产煤气量占企业总能量的比例基本在 22%~40%，多数企业在 30% 以上。煤气在钢铁联合企业中的合理和充分利用显得更加突出。现代科学技术的发展给煤气的利用开辟了广阔的前景。

当前世界各主要工业国家对煤气的综合利用都给予了高度的重视。一系列节能和回收煤气显热及余压利用新技术得到采用。如高炉脱湿鼓风，既能降低焦比，同时又降低了煤气中的含湿量；高炉煤气的干式除尘设备的利用，可以降低煤气的含湿，给以后工序提高热效率打下基础，同时相对提高煤气热值；余压透平发电装置的普遍利用，带来了节能的显著效果。中国目前压差发电装置仅有少数高炉用户安装，每年有相当大的一部分能量白白浪费掉；对减少煤气放散，开辟低热值的高炉煤气多用户方面，与国外相比差距更大；转炉煤气的回收利用，只有少数厂家回收，多数还未回收利用。如此等等，举不胜举，都有待人们的努力，去回收、去开发、去利用。相信在不远的将来，经过大家不懈的努力，中国在副产煤气的回收利用方面会赶上世界先进水平。

高炉煤气回收率

高炉煤气回收率是指高炉煤气回收量与高炉煤气总产量的比值。高炉煤气回收率越高，说明高炉煤气回收越好，高炉煤气回收率越高，高炉煤气回收越好。

高炉煤气回收率计算公式如下：

$$\eta = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{V} \times 100\%$$
 式中： η ——高炉煤气回收率，%；
 $V_1, V_2, \dots, V_n$ ——高炉煤气回收量， m^3 ；
 V ——高炉煤气总产量， m^3 。

高炉煤气回收率

$$\eta = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{V} \times 100\%$$

高炉煤气回收率

高炉煤气回收率

高炉煤气回收率

高炉煤气回收率

$$\eta = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{V} \times 100\%$$

第二章 煤气的性质

第一节 煤气的基本性质

一、煤气的组成及表示方法

1. 煤气的组成

煤气是一种混合气。煤气是由多种可燃和不可燃的单一气体组成的混合气体。其中可燃气体成分有 CO 、 H_2 和其他气态碳氢化合物 C_mH_n 以及 H_2S ；不可燃的气体成分有 CO_2 、 N_2 和少量的 O_2 。除此之外，在气体燃料中还含有水蒸气、焦油蒸气以及粉尘固体微粒。混合气体的各种性质均是组成这种混合气的单一气体性质贡献的结果。各种煤气的组成及组成煤气的各个组分的性质分别见表 2-1 和表 2-2。

2. 煤气组成的表示方法

煤气的性质取决于各种气体的性质和含量。煤气中各组成气体的含量可用各组成气体的数量与总数量的比值表示，这一比值称为该组分的煤气组分。煤气的组分有 3 种表示方法：容积成分（体积分数）、质量成分（质量分数）和分子成分（摩尔分数）。

(1) 体积组成（体积分数） 体积组成是指煤气中各组分的分体积与煤气总体积之比。即

$$r_i = \frac{V_i}{V}, V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots, \sum r_i = 1$$

式中 r_i ——组分 i 的容积成分；

V_i ——组分 i 的分容积；

V ——煤气的总容积。

将该组分的容积之比乘以 100%，即为该组分的体积分数：

$$\varphi_i = \frac{V_i}{V} \times 100\%, V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots, \sum \varphi_i = 1$$

表 2-1 各种煤气的主要组成(体积分数)

组成 种类	甲烷(CH_4)	碳氢化合物(C_nH_m)	氢气(H_2)	一氧化碳(CO)	二氧化碳(CO_2)	氮气(N_2)	氧气(O_2)
高炉煤气	0.2~0.5	1	1.5~1.8	27~30	8~12	55~57	0.2~0.4
焦炉煤气	20~23	2~4	58~60	7	3~3.5	7~8	0.4~0.5
转炉煤气	—	—	—	60~70	14~19	5~10	0.4~0.6
发生炉煤气	3~6	≤ 0.5	9~10	26~31	1.5~3	55	—

单位: %

表 2-2 煤气各主要组分的性质

名称	分子式	相对分子质量	密度 ρ (kg/m^3)	着火点/ $^{\circ}\text{C}$	燃烧热($Q_{\text{低}}$) (kJ/m^3)	爆炸范围(体积分数) /%	毒性
氢气	H_2	2	0.0899	580~590	10785	4.0~75.9	—
甲烷	CH_4	16	0.7174	650~750	35881	5.0~15.0	25%~30%以上有毒
碳氢化合物	C_nH_m	—	—	500~600	—	—	浓度大于 10%, 逗留 2~3min 可中毒
一氧化碳	CO	28	1.2506	644~658	12636	2.4~75	卫生标准 0.02g/ m^3 , 达 0.25g/ m^3 可中毒致死
硫化氢	H_2S	34	1.5363	270	23367	4.3~45.5	100ppm 可中毒, 1000ppm 致死
二氧化碳	CO_2	44	1.9771	—	—	—	—
氧	O_2	32	1.4291	—	—	—	—
氮	N_2	28	1.2504	—	—	—	—

注: 1ppm= 10^{-6} 。