



人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐

冶金行业职业教育培训规划教材

冶金煤气安全实用知识

YEJIN MEIQI ANQUAN SHIYONG ZHISHI

袁乃收 奚玉夫 李殿明 王庆敏 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐
冶金行业职业教育培训规划教材

冶金煤气安全实用知识

袁乃收 奚玉夫 李殿明 王庆敏 编著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2013

内 容 提 要

本书结合冶金企业煤气生产实际,系统地阐述了冶金煤气的基础知识和冶金煤气生产、净化、输配、使用过程中操作、检修、维护、防护、检测以及发生煤气事故时的人员救护等安全知识和要求。

本书内容翔实、实用性强,可作为冶金企业涉及煤气的管理人员、操检人员及煤气安全专业管理人员培训用教材,也可供从事冶金煤气设计、研究的人员和现场工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

冶金煤气安全实用知识 / 袁乃收等编著. —北京:
冶金工业出版社, 2013. 1
冶金行业职业教育培训规划教材
ISBN 978-7-5024-5985-7

I. ①冶… II. ①袁… III. ①冶金工业—煤气—安全技术—职业教育—教材 IV. ①TF055

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 238714 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbs@cnmip.com.cn

责任编辑 马文欢 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-5985-7

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 北京百善印刷厂印刷

2013 年 1 月第 1 版, 2013 年 1 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 10.5 印张; 251 千字; 153 页

29.00 元

冶金工业出版社投稿电话: (010)64027932 投稿邮箱: tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100010) 电话: (010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

序

吴溪淳

改革开放以来，我国经济和社会发展取得了辉煌成就，冶金工业实现了持续、快速、健康发展，钢产量已连续数年位居世界首位。这期间凝结着冶金行业广大职工的智慧 and 心血，包含着千千万万产业工人的汗水和辛劳。实践证明，人才是兴国之本、富民之基和发展之源，是科技创新、经济发展和社会进步的探索者、实践者和推动者。冶金行业中的高技能人才是推动技术创新、实现科技成果转化不可缺少的重要力量，其数量能否迅速增长、素质能否不断提高，关系到冶金行业核心竞争力的强弱。同时，冶金行业作为国家基础产业，拥有数百万从业人员，其综合素质关系到我国产业工人队伍整体素质，关系到工人阶级自身先进性在新的历史条件下的巩固和发展，直接关系到我国综合国力能否不断增强。

强化职业技能培训工作，提高企业核心竞争力，是国民经济可持续发展的重要保障，党中央和国务院给予了高度重视，明确提出人才立国的发展战略。结合《职业教育法》的颁布实施，职业教育工作已出现长期稳定发展的新局面。作为行业职业教育的基础，教材建设工作也应认真贯彻落实科学发展观，坚持职业教育面向人人、面向社会的发展方向和以服务为宗旨、以就业为导向的发展方针，适时扩大编者队伍，优化配置教材选题，不断提高编写质量，为冶金行业的现代化建设打下坚实的基础。

为了搞好冶金行业的职业技能培训工作，冶金工业出版社在人力资源和社会保障部职业能力建设司和中国钢铁工业协会组织人事部的指导下，同河北工业职业技术学院、昆明冶金高等专科学校、吉林电子信息职业技术学院、山西工程职业技术学院、山东工业职业学院、安徽工业职业技术学院、安徽冶金科技职业技术学院、济钢集团总公司、宝钢集团上海梅山公司、中国职工教育和职业培训协会冶金分会、中国钢协职业培训中心等单位密切协作，联合有关冶金企业和高等院校，编写了这套冶金行业职业教育培训规划教材，并经人力资源和社会保障部职业培训教材工作委员会组织专家评审通过，由人力资源和社会保障部职业能力建设司给予推荐，有关学校、企业的编写人员在时间紧、任

务重的情况下，克服困难，辛勤工作，在相关科研院所的工程技术人员积极参与和大力支持下，出色地完成了前期工作，为冶金行业的职业技能培训工作的顺利进行，打下了坚实的基础。相信这套教材的出版，将为冶金企业生产一线人员理论水平、操作水平和管理水平的进一步提高，企业核心竞争力的不断增强，起到积极的推进作用。

随着近年来冶金行业的高速发展，职业技能培训也取得了令人瞩目的成绩，绝大多数企业建立了完善的职工教育培训体系，职工素质不断提高，为我国冶金行业的发展提供了强大的人力资源支持。今后培训工作的重点，应继续注重职业技能培训工作者队伍的建设，丰富教材品种，加强对高技能人才的培养，进一步强化岗前培训，深化企业间、国际间的合作，开辟冶金行业职业培训工作的新局面。

展望未来，任重而道远。希望各冶金企业与相关院校、出版部门进一步开拓思路，加强合作，全面提升从业人员的素质，要在冶金企业的职工队伍中培养一批刻苦学习、岗位成才的带头人，培养一批推动技术创新、实现科技成果转化的带头人，培养一批提高生产效率、提升产品质量的带头人；不断创新，不断发展，力争使我国冶金行业职业技能培训工作跨上一个新台阶，为冶金行业持续、稳定、健康发展，做出新的贡献！

前 言

近年来，随着冶金企业的发展，煤气作为清洁二次能源，输送方便，易于燃烧控制，在冶金行业不断被回收并广泛应用。煤气在为我们造福的同时，也带来了诸多惨痛的教训和不可挽回的损失。这给我们敲响了警钟，掌握煤气安全知识至关重要，同时也让我们看到了缩短对煤气认知过程的紧迫性。对于企业的经济发展来说，一旦发生事故，企业损失的是生产效率和竞争力，并且人是生产力的主导因素，人员伤亡是不能用经济效益来弥补的，缺乏安全性的工作将极大阻碍企业的可持续发展。煤气是易燃、易爆、易中毒的危险有害物质，我们在应用时应该遵循监测监控有效、安全连锁可靠、岗位操作精准、应急救援科学的原则。

编者结合多年来从事冶金企业煤气安全管理、防护、监测以及人员救护工作，联系生产实际，重点介绍了煤气应用安全知识，全书共分冶金工业煤气基础知识，冶金煤气安全生产技术，常见煤气设备、设施的安全要求，常见煤气事故及其预防，煤气中毒窒息事故的处置，煤气系统日常管理，冶金煤气应用新技术及展望等7章。本书可作为冶金企业涉及煤气的管理人员、操检人员及煤气安全专业管理人员培训用教材，也可供从事冶金煤气设计、研究的人员和现场工程技术人员参考，也可作为煤气中毒、着火、爆炸事故抢救处置的科普读物。

在编写过程中，引用了国内一些著作、论文和煤气培训资料，在此，对文献的作者表示衷心的感谢。

受编者水平所限，书中若有错误，恳请广大读者和专家批评指正。

编 者
2012年8月

目 录

1 冶金煤气基础知识	1
1.1 冶金煤气概念及特性	1
1.1.1 冶金煤气的概念	1
1.1.2 冶金煤气成分组成及性质	1
1.1.3 冶金煤气的燃烧特性	2
1.1.4 冶金煤气中单一气体理化性质	3
1.2 冶金煤气的危险性分析	6
1.2.1 冶金煤气的特性和事故特点	6
1.2.2 冶金煤气生产现状分析	7
1.2.3 煤气安全的重要性	8
1.3 煤气事故发生机理	9
1.3.1 冶金煤气事故的表现形式	9
1.3.2 煤气中毒	9
1.3.3 煤气着火	10
1.3.4 煤气爆炸	11
2 冶金煤气安全生产技术	13
2.1 焦炉煤气安全生产技术	13
2.1.1 焦炉煤气产生原理	13
2.1.2 焦炉煤气回收净化和精制工艺流程简述	13
2.1.3 焦炉煤气净化系统存在的主要危险因素	14
2.1.4 焦炉煤气安全生产要求	14
2.2 高炉煤气生产安全技术	16
2.2.1 高炉煤气产生原理	16
2.2.2 高炉煤气的净化	16
2.2.3 高炉煤气湿法净化系统存在的主要危险因素	18
2.2.4 高炉煤气湿法净化回收系统安全操作要求	18
2.2.5 高炉煤气干式净化除尘系统工作原理	19
2.2.6 高炉煤气净化系统安全操作注意要点	21
2.3 转炉煤气安全生产技术	21
2.3.1 转炉煤气产生原理	21
2.3.2 转炉煤气回收工艺流程	22
2.3.3 转炉煤气回收系统存在的主要危险因素	23

2.3.4 转炉煤气回收系统安全操作要求	24
2.4 发生炉煤气安全生产技术	25
2.4.1 发生炉煤气的产生原理	25
2.4.2 发生炉煤气净化工艺流程	25
2.4.3 煤气发生炉系统存在的主要危险因素	26
2.4.4 煤气发生炉安全生产要求	26
2.4.5 煤气发生炉常见故障及处理	28
3 常见煤气设备、设施的安全要求	31
3.1 煤气混合与加压设施	31
3.1.1 煤气混合与加压的配置方式	31
3.1.2 煤气混合、加压站安全防火要求	32
3.1.3 工艺设备要求	33
3.2 煤气柜	33
3.2.1 防火与防火间距	33
3.2.2 煤气柜的分类与结构形式	34
3.2.3 煤气柜安全要求	38
3.2.4 煤气柜的安全技术检验	40
3.2.5 煤气柜（低压湿式）常见失效分析	41
3.3 煤气管道	44
3.3.1 煤气管道的分类	44
3.3.2 冶金煤气管道的基本要求	44
3.3.3 煤气管道的日常维护管理	47
3.4 煤气设备与管道的附属装置	48
3.4.1 燃烧装置	48
3.4.2 隔断装置	50
3.4.3 排水器	55
3.4.4 放散装置	59
3.4.5 补偿器	61
3.4.6 泄爆装置	64
4 常见煤气事故及其预防	66
4.1 冶金煤气事故的控制	66
4.1.1 冶金煤气事故控制涉及的内容和要求	66
4.1.2 煤气系统危害的阶段性控制	67
4.1.3 煤气系统危害的控制方法	67
4.1.4 煤气事故危害的工程技术控制	68
4.1.5 煤气事故危害的教育培训	69
4.1.6 煤气事故危害的管理控制	69

4.1.7	煤气事故危害的现场检查	72
4.1.8	煤气事故危害的个体防护	73
4.2	煤气着火事故及其预防控制	74
4.2.1	煤气着火事故产生的原因	74
4.2.2	煤气着火事故分析	74
4.2.3	煤气着火事故案例	74
4.2.4	煤气着火事故的预防控制	76
4.3	煤气爆炸事故及其预防控制	78
4.3.1	煤气爆炸事故产生的原因	78
4.3.2	煤气爆炸事故分析	79
4.3.3	煤气爆炸事故案例	80
4.3.4	煤气爆炸事故预防和控制	88
4.4	煤气中毒事故及其预防控制	91
4.4.1	常见煤气中毒事故产生的原因	91
4.4.2	煤气中毒对人身体的伤害和表现	92
4.4.3	煤气中毒事故的统计分析	93
4.4.4	煤气中毒事故案例	95
4.4.5	常见煤气中毒事故的控制	97
5	煤气中毒窒息事故的处置	98
5.1	煤气中毒事故的抢救	98
5.1.1	煤气中毒事故现场的特点	98
5.1.2	煤气中毒事故现场抢救存在的矛盾及解决方法	98
5.1.3	中毒人员分类	99
5.1.4	煤气中毒事故应急处置	100
5.1.5	中毒人员的搬运	102
5.2	人工急救方法	104
5.2.1	伤员检查和安置	105
5.2.2	人工呼吸	105
5.2.3	体外心脏按压术	108
5.3	防护及救护设备	110
5.3.1	防毒面具	110
5.3.2	隔绝式防毒面具	111
5.3.3	自动苏生器	117
5.3.4	高压氧舱	118
5.3.5	氧气充填泵	121
5.3.6	空气充填泵	123
5.3.7	氧气呼吸器校验仪	124
5.3.8	空气呼吸器校验仪	126

5.4 煤气防护检测	127
5.4.1 煤气检测监控	127
5.4.2 煤气检测方法	127
5.4.3 检测仪器、设备	127
6 煤气系统日常管理	130
6.1 煤气设备、设施的日常操作	130
6.1.1 煤气操作基本要求	130
6.1.2 停煤气安全操作	131
6.1.3 送煤气安全操作	131
6.1.4 点火安全操作	131
6.1.5 带煤气作业安全注意事项	132
6.2 煤气设备、设施的安装与管理	135
6.2.1 煤气设备、设施设计要求	135
6.2.2 煤气设备、设施的施工过程管理	136
6.2.3 检修、安装前的准备	136
6.2.4 安全方案的落实	137
6.2.5 安全教育	137
6.2.6 检修、安装工程安全监督检查	137
6.2.7 检修、安装后验收	138
6.3 煤气安全监测、防护仪器及设备的管理	138
6.3.1 配备原则	138
6.3.2 基本要求	138
6.3.3 设计选型与采购	138
6.3.4 使用管理	139
6.3.5 维护与保养	140
6.3.6 日常专项检查内容	140
6.3.7 常用煤气安全防护、监测仪器点检内容	141
7 冶金煤气应用新技术及展望	143
7.1 高炉煤气新工艺技术的开发和应用	143
7.1.1 高炉煤气干法除尘技术发展现状及应用前景	143
7.1.2 高炉煤气余压发电装置及其应用前景	144
7.2 转炉煤气新工艺技术的开发和应用	145
7.2.1 转炉煤气干法净化回收技术应用前景	145
7.2.2 转炉煤气显热的利用	145
7.3 焦炉煤气新工艺技术的开发和应用前瞻	146
7.3.1 焦炉煤气制氢	146
7.3.2 焦炉煤气制甲醇	146

7.3.3 焦炉煤气甲烷化利用	146
7.4 煤气安全技术的开发和应用前瞻	147
7.4.1 安全报警控制装置	147
7.4.2 转炉煤气加臭技术的应用	147
7.4.3 燃烧自动与安全控制技术及其发展	147
附 录	149
附录1 关于进一步加强冶金企业煤气安全技术管理的有关规定	149
附录2 山东省冶金煤气安全生产重点措施	151
参考文献	153

1 冶金煤气基础知识

1.1 冶金煤气概念及特性

1.1.1 冶金煤气的概念

冶金企业中的煤气是指在炼焦、炼铁、炼钢、发生炉等生产过程中所产生的一氧化碳等多种气体成分组成的可燃性混合气体，即焦炉煤气、高炉煤气、转炉煤气、发生炉煤气、铁合金电炉煤气等。

焦炉煤气 (cove oven gas) 是指用几种烟煤配制成炼焦用煤，在炼焦炉碳化室中经过高温干馏后，在产出焦炭和焦油产品的同时所产生的一种可燃性气体，是炼焦工业的副产品。

高炉煤气 (blast furnace gas) 是高炉炼铁过程中产生的含有一氧化碳、氢等可燃气体的高炉排气。

转炉煤气 (converter gas) 是指在转炉炼钢过程中，铁水中的碳在高温下和吹入的氧生成一氧化碳和少量二氧化碳的混合气体。

发生炉煤气 (producer gas) 是炽热的煤在发生炉中，与从炉底吹入的空气、水蒸气或被水蒸气饱和的空气反应生成的可燃性混合气体。

铁合金电炉煤气 (ferroalloy electric furnace gas) 是在铁合金矿热炉和精炼炉中，在强大的电流作用下电极发热，使碳和合金矿料发生还原反应而产生的一氧化碳等可燃性混合气体。

1.1.2 冶金煤气成分组成及性质

1.1.2.1 焦炉煤气

作为混合物的焦炉煤气，其产率和组成因炼焦用煤质量和焦化过程条件不同而有所差别，一般 1t 干煤可生产焦炉气 $300 \sim 350\text{m}^3$ (标准状态)。其主要成分为氢气 (55% ~ 60%) 和甲烷 (23% ~ 27%)，另外还含有少量的一氧化碳 (5% ~ 8%)、 C_mH_n 不饱和烃 (2% ~ 4%)、二氧化碳 (1.5% ~ 3%)、氧气 (0.3% ~ 0.8%)、氮气 (3% ~ 7%)。

焦炉煤气在冶金煤气中属于高热值煤气，在标准状态下，其密度为 $0.4 \sim 0.5\text{kg}/\text{m}^3$ ，热值为 $17556 \sim 18392\text{kJ}/\text{m}^3$ ，适合用做高温工业炉的燃料和城市煤气。焦炉气含氢气量高，分离后用于合成氨，其他成分如甲烷可用做有机合成原料。

焦炉煤气为有毒和易爆性气体，在空气中的爆炸极限为 4.5% ~ 35.8%。

焦炉煤气无色、有异味 (含有大量的芳香烃化合物，如苯、萘等)。

1.1.2.2 高炉煤气

高炉煤气主要成分为一氧化碳 (24% ~ 26%)、二氧化碳 (14% ~ 16%)、氮气 (56% ~ 59%)，另外还含有少量的氢气 (1% ~ 2%)、甲烷 (0.3% ~ 0.8%)、氧气 (<0.8%)。

高炉煤气属低热值煤气，标准状态下热值为 $3344 \sim 4180 \text{kJ/m}^3$ ，着火温度为 $650 \sim 700^\circ\text{C}$ ，理论燃烧温度为 $1400 \sim 1500^\circ\text{C}$ ，密度为 $1.29 \sim 1.30 \text{kg/m}^3$ ，爆炸极限为 46% ~ 68%。高炉煤气经水洗涤，具有一种瓦斯泥味，即松花蛋味或者碱石灰味。但干燥的高炉煤气气味很淡。

1.1.2.3 转炉煤气

转炉煤气是一氧化碳和少量二氧化碳的混合气体。回收的顶吹氧转炉炉气含一氧化碳 60% ~ 80%，二氧化碳 15% ~ 20%，以及氮、氢和微量氧。转炉煤气的发生量在一个冶炼过程中并不均衡，成分也有变化。通常将转炉多次冶炼过程回收的煤气输入一个储气柜，混匀后再输送给用户。转炉煤气无色，具有铁腥味。转炉煤气的灰泥有可燃性。在标准状态下，转炉煤气的热值为 $6270 \sim 8778 \text{kJ/m}^3$ ，着火温度为 630°C ，理论燃烧温度较高于高炉煤气的燃烧温度，密度为 1.30kg/m^3 ，爆炸极限为 18.22% ~ 83.22%。

1.1.2.4 发生炉煤气

发生炉煤气的主要成分为一氧化碳 (27% ~ 30.4%)、氢 (7% ~ 10%)、甲烷 (16% ~ 18%)、氮 (40% ~ 50.6%)、二氧化碳 (1.6% ~ 2.2%) 等。发生炉煤气分空气煤气和混合煤气两种。前者由煤和空气作用制得；后者由煤用空气和蒸汽作用制得，热值高于前者。在标准状态下，热值为 $3760 \sim 6270 \text{kJ/m}^3$ ，着火温度为 $650 \sim 700^\circ\text{C}$ ，理论燃烧温度为 $1300 \sim 1500^\circ\text{C}$ ，密度为 1.16kg/m^3 ，爆炸极限为 21.5% ~ 67.5%。

1.1.2.5 铁合金电炉煤气

铁合金电炉煤气主要成分为一氧化碳 (61% ~ 75%)、二氧化碳 (4.3% ~ 8.1%)、氢 (4.4% ~ 14.9%)、甲烷 (0.7% ~ 6.5%)、氮 (9.8% ~ 14.7%) 氧 (1.0% ~ 1.3%) 等，有效燃料成分约占气体体积的 80%，密度为 1.26kg/m^3 ，其主要成分是一氧化碳，发热值为 $9700 \sim 11700 \text{kJ/m}^3$ ，爆炸极限为 7.8% ~ 75.07%。

1.1.3 冶金煤气的燃烧特性

1.1.3.1 焦炉煤气的燃烧特性

焦炉煤气含氢、甲烷多，燃烧速度快，火焰较短，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混配后用于加热炉加热。虽然焦炉煤气中一氧化碳 (CO) 含量较少，但仍会造成人体煤气中毒。

1.1.3.2 高炉煤气的燃烧特性

高炉煤气热值低，气量大，因此对于冶金工厂大部分加热炉不能直接利用，而是与焦炉煤气或转炉煤气等高热值煤气混合使用。高炉煤气由于一氧化碳含量高，极易造成煤气中毒。高炉煤气是煤气综合利用的主要气源。纯净的高炉煤气由于热值低，燃烧时极易脱火、灭火，即离开大于700℃以上的高温就灭火。

高炉煤气的成分和热值与高炉所用的燃料、所炼生铁的品种及冶炼工艺有关，现代的炼铁生产普遍采用大容积、高风温、高冶炼强度、高喷煤粉量、热风炉富氧等生产工艺，采用这些先进的生产工艺提高了劳动生产率并降低能耗，但所产的高炉煤气热值更低，增加了利用难度。高炉煤气中的二氧化碳、氮气既不参与燃烧产生热量，也不能助燃，相反，还吸收大量的燃烧过程中产生的热量，导致高炉煤气的理论燃烧温度偏低。高炉煤气的着火点并不高，似乎不存在着火的障碍，但在实际燃烧过程中，受各种因素的影响，混合气体的温度必须远大于着火点，才能确保燃烧的稳定性。

高炉煤气的理论燃烧温度低，参与燃烧的高炉煤气的量很大，导致混合气体的升温速度很慢，温度不高，燃烧稳定性不好。

1.1.3.3 转炉煤气的燃烧特性

转炉煤气主要成分为一氧化碳且含量高。在冶金煤气中，转炉煤气属于热值比较高的煤气，纯净的转炉煤气一般不会灭火，燃烧时呈淡蓝色火焰，流速过大容易脱火。转炉煤气一旦泄漏极易造成煤气中毒。转炉煤气是钢铁企业内部中等热值的气体燃料，可以单独作为工业窑炉的燃料使用，也可和焦炉煤气、高炉煤气配合成各种不同热值的混合煤气使用。由于转炉煤气含有大量一氧化碳，毒性很大，在储存、运输、使用过程中必须严防泄漏。

1.1.3.4 发生炉煤气燃烧特性

发生炉煤气由于生产工艺的特殊性，属于热、脏煤气，燃烧时有焦炉荒煤气特性，火焰呈红黄色，易堵塞烧嘴等。近年来，很多企业开始采用对发生炉煤气除焦油工艺。

1.1.3.5 铁合金电炉煤气燃烧特性

铁合金电炉煤气由于其中一氧化碳含量很高，燃烧时与转炉煤气特性相同。热值比转炉煤气较高，燃烧时呈淡蓝色火焰，流速过大容易脱火。一旦泄漏极易造成煤气中毒。

1.1.4 冶金煤气中单一气体理化性质

任何一种煤气都是由一些单一气体混合而成的，概括冶金煤气组成成分，其中腐蚀性成分多为硫化氢（ H_2S ）、二氧化碳（ CO_2 ）、氧气（ O_2 ）、氨（ NH_3 ）、酸根离子等，遇水对煤气设备危害极大。

有毒成分有硫化氢（ H_2S ）、一氧化碳（ CO ）、氨（ NH_3 ）、含硫化合物、芳香烃化合物等，对人体极具伤害。

可燃成分有氢（ H_2 ）、甲烷（ CH_4 ）、一氧化碳（ CO ）、氨（ NH_3 ）、硫化氢（ H_2S ）

及碳氢化合物 (C_mH_n) 等。

不可燃气体成分有二氧化碳 (CO_2)、氮气 (N_2) 和少量的氧气 (O_2)，此外还含有粉尘微粒及微量杂质。

1.1.4.1 一氧化碳 (CO)

一氧化碳为无色、无嗅、无味、无刺激性气体，相对分子质量为 28.01，密度为 1.25kg/m^3 ，相对密度为 0.97，微溶于水，易溶于氨水、苯、乙醇等，自燃点为 608.89°C ，燃烧时火焰呈蓝色，与空气混合爆炸极限为 12.5% ~ 74.2%，与氧气混合爆炸极限为 15.5% ~ 93.9%。一氧化碳被人体吸入后，极速与血红蛋白结合，生成碳氧血红蛋白，使红细胞失去携氧能力，从而造成急性组织缺氧，即煤气中毒，一氧化碳属毒性极强的高毒类气体。国家卫生标准规定车间一氧化碳最高容许浓度为 30mg/m^3 。

1.1.4.2 二氧化碳 (CO_2)

二氧化碳为常温常压下略带酸味的气体，无色、不可燃，沸点低 (-78.5°C)，常温常压下是气体，在大气中含量为 0.03%，能溶于水生成碳酸 (H_2CO_3)，相对分子质量为 44.01，密度为 1.977kg/m^3 ，高浓液体二氧化碳密度为 1.1g/cm^3 。液体二氧化碳蒸发时或在加压冷却时可凝成固体二氧化碳，俗称干冰，是一种低温制冷剂，密度为 1.56g/cm^3 。二氧化碳能溶于水， 20°C 时每 100 体积水可溶 88 体积二氧化碳，一部分跟水反应生成碳酸。化学性质稳定，没有可燃性，一般不支持燃烧，但活泼金属可在二氧化碳中燃烧，如点燃的镁条可在二氧化碳中燃烧生成氧化镁和碳。二氧化碳能刺激呼吸系统兴奋，引起呼吸加快、困难，浓度高时有窒息危险。

1.1.4.3 氢气 (H_2)

氢气是无色、无嗅的气体，是世界上已知的最轻的气体。与空气混合可形成爆炸性混合气体，它的密度非常小，只有空气的 1/14，即在标准大气压、 0°C 时，密度为 0.0899kg/m^3 。相对分子质量为 2.016，难溶于水，着火温度为 $580 \sim 590^\circ\text{C}$ 。爆炸上限为 74.2%，爆炸下限为 4%。氢气很易着火，所以安全性不高，但氢气燃烧后生成水，不会污染环境，又被称为“清洁氢能”，在生产过程中，要减少和消除静电积累以及产生火源的条件。

1.1.4.4 氮气 (N_2)

氮气是无色、无嗅的气体，熔点为 63K，沸点为 75K (-195.8°C)，临界温度为 126K，它是个难以液化的气体。在水中的溶解度很小，在 283K 时，1 体积水约可溶解 0.02 体积的氮气。相对分子质量为 28，密度为 1.25kg/m^3 。在常温下，化学性质不活泼，不燃烧。在冶金生产中，常用氮气作为煤气应用中的防火防爆置换和气密性试验气体。在空气中含量增加时会造成缺氧窒息。在高温下，氮变得比较活泼，并能与氢、氧和一些金属起化合反应。

1.1.4.5 氧气 (O_2)

氧气是空气的组分之一，无色、无嗅、无味、助燃，在空气中含量为 21%，相对分子

质量为 32。氧气比空气重，在标准状态(0℃和大气压强 101325Pa)下密度为 1.429kg/m^3 。能溶于水，但溶解度很小。在压强为 101kPa 时，氧气在约 -180℃时变为淡蓝色液体，在约 -218℃时变成雪花状的淡蓝色固体。

1.1.4.6 甲烷 (CH_4)

甲烷别名天然气、沼气、甲基氢化物；甲烷是无色、有微量葱臭味、可燃和微毒的气体。相对分子质量为 16.04，密度为 0.715kg/m^3 ，难溶于水，与空气混合可形成爆炸性混合气体，熔点为 -182.5℃，沸点为 -161.5℃，闪点为 -188℃，引燃温度为 538℃，火焰为微弱亮光，与空气混合爆炸极限为 5.3% ~ 15%；与氧气混合爆炸极限为 5.1% ~ 61%；甲烷对人基本无害，但浓度过高时，使空气中氧含量明显降低，使人窒息。当空气中甲烷达 25% ~ 30% 时，可引起头痛、头晕、乏力、注意力不集中、呼吸和心跳加速、运动失调。若不及时远离，可致窒息死亡。皮肤接触液化的甲烷，可致冻伤。

1.1.4.7 硫化氢 (H_2S)

硫化氢的相对分子质量为 34.08，密度为 1.539kg/m^3 ，相对密度为 1.19。熔点为 -82.9℃，沸点为 -61.8℃。硫化氢为无色气体，具有臭鸡蛋气味，易溶于水，也溶于醇类、石油溶剂和原油中。硫化氢毒性极强，是一种神经毒剂，也是窒息性和刺激性气体。其毒作用的主要器官是中枢神经系统和呼吸系统，也可伴有心脏等多器官损害，车间最高容许质量浓度为 10mg/m^3 ；爆炸上限为 45.5%，下限为 4.3%。遇热、明火或氧化剂易着火。自燃点为 260℃。

1.1.4.8 氨 (NH_3)

氨或称“氨气”，是一种无色气体，有强烈的刺激气味。极易溶于水，常温常压下 1 体积水可溶解 700 倍体积氨。相对分子质量为 17，密度为 0.6942kg/m^3 ，熔点为 -77.73℃，沸点为 -33.34℃，与空气混合爆炸极限为 15.8% ~ 28%，与氧气混合爆炸极限为 13.5% ~ 79%。氨具有腐蚀性，可腐蚀许多金属，一般若用铁桶装氨水，铁桶应内涂沥青。氨对地球上的生物相当重要，它是所有食物和肥料的重要成分。氨也是所有药物直接或间接的组成。氨有很广泛的用途，是世界上产量最多的无机化合物之一，多于 80% 的氨被用于制作化肥。由于氨可以提供孤对电子，所以它也是一种路易斯碱。

1.1.4.9 空气

空气是混合物，无色无味，成分主要为氮气（约 78%）和氧气（21%）。相对分子质量约 29，相对密度为 1，密度为 1.29kg/m^3 ，它的成分是很复杂的。空气的恒定成分是氮气、氧气以及稀有气体，这些成分所以几乎不变，主要是自然界各种变化相互补偿的结果。空气的可变成分是二氧化碳和水蒸气。空气的不定成分完全因地区而异。例如，在工厂区附近的空气里就会因生产项目的不同，而分别含有氨气、酸蒸气等。另外，空气里还含有极微量的氢、臭氧、氮的氧化物、甲烷等气体。灰尘是空气里或多或少的悬浮杂质。空气中氧含量低于 17% 时，即可引发呼吸困难，低于 10% 时会引起昏迷，甚至死亡。表 1-1 所示为缺氧和富氧对人体的影响。

表 1-1 缺氧和富氧对人体的影响

氧气浓度（体积分数）	征兆（大气压力下）
> 23. 5%	富氧，有强烈爆炸危险
20. 9%	氧气浓度正常
19. 5%	氧气最小允许浓度
15% ~ 19%	降低工作效率，并可导致头部、肺部和循环系统问题
10% ~ 12%	呼吸急促，判断力丧失，嘴唇发紫
8% ~ 10%	智力丧失，昏厥，无意识，脸色苍白，嘴唇发紫，恶心呕吐
6% ~ 8%	8min，100% 致命；6min，50% 致命；4 ~ 5min 经治疗可痊愈
4% ~ 6%	40s 内抽搐，呼吸停止，死亡

1.2 冶金煤气的危险性分析

1.2.1 冶金煤气的特性和事故特点

冶金煤气作为二次清洁能源，输送方便，易于燃烧和控制，在冶金行业得到广泛的回收和应用，在生产、生活中已经占有举足轻重的地位。随着科技发展，智能化操作系统的开发和利用，煤气使用设施趋于大型化和复杂化，煤气作为易燃、易爆、易中毒的危险、有害物质，其潜在危险性是不言而喻的，由于冶金煤气中除焦炉煤气一氧化碳含量较低外，其他煤气如高炉煤气、转炉煤气、铁合金煤气、发生炉煤气均含有大量的一氧化碳，极易造成人员中毒；焦炉煤气由于主要可燃成分为氢气和甲烷，一氧化碳含量一般只在 6% ~ 9%，它与空气混合后易形成爆炸性混合气体，易于着火或爆炸（爆炸极限为 5.6% ~ 30.4%），对人和周围环境产生的破坏影响面最大。

另外，一旦煤气发生泄漏，所引起的最大危害就是煤气在大气中迅速扩散和飘逸，这就决定了煤气事故的特殊性即波及范围广、持续的时间长、极易造成群死群伤。

冶金工厂煤气的组成及在空气中爆炸范围如表 1-2 所示。

表 1-2 各种煤气的组成及在空气中爆炸范围 (%)

成 分	焦炉煤气	高炉煤气	转炉煤气	发生炉煤气	铁合金煤气
CO	5 ~ 8	24 ~ 26	60 ~ 80	27 ~ 30. 4	61 ~ 75
CO ₂	1. 5 ~ 3	14 ~ 16	15 ~ 20	1. 6 ~ 2. 2	4. 3 ~ 8. 1
H ₂	55 ~ 60	1 ~ 2	< 1. 5	7 ~ 10	4. 4 ~ 14. 9
N ₂	3 ~ 7	56 ~ 59	10 ~ 20	40 ~ 50. 6	9. 8 ~ 14. 7
O ₂	0. 4 ~ 0. 6	< 0. 8	< 2	< 0. 5	1. 0 ~ 1. 3
CH ₄	23 ~ 27	0. 3 ~ 0. 8		16 ~ 18	0. 7 ~ 6. 5
C _m H _n	2 ~ 4			1. 6 ~ 2. 2	
爆炸极限	4. 5 ~ 35. 8	46 ~ 68	18. 22 ~ 83. 22	21. 5 ~ 67. 5	7. 8 ~ 75. 07