



煤气安全作业

主 编 高永刚

副主编 魏三伦 李积虎

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

煤气安全作业

主 编 高永刚

副主编 魏三伦 李积虎

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书介绍了冶金企业副产的煤气安全作业问题,包括:几种常见人工煤气的回收及其安全操作;煤气柜设置、容量、安全要求和异常情况处理,以及煤气管道及其附属装置;煤气事故的预防与处理,煤气管网操作、维护和检修,煤气安全的防护技术。

本书强调实践性和可操作性,适合作为冶金企业煤气工程管理人员、作业人员和相关人员的培训教材,也可作为城市煤气用户的常识性读物。

图书在版编目(CIP)数据

煤气安全作业/高永刚主编. —北京:中国
铁道出版社, 2011. 9
ISBN 978-7-113-13406-8

I. ①煤… II. ①高… III. ①煤气工程—安全技术—
技术培训—教材 IV. ①TQ54

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 165606 号

书 名: 煤气安全作业
作 者: 高永刚 主编

策 划: 李小军 读者热线: 400-668-0820
责任编辑: 李小军
编辑助理: 孟 利 董志乔
封面设计: 付 巍 封面制作: 白 雪
责任印制: 李 佳

出版发行: 中国铁道出版社(北京市宣武区右安门西街 8 号 邮政编码: 100054)

网 址: <http://www.tdpress.com>, <http://www.edusources.net>

印 刷: 航远印刷有限公司

版 次: 2011 年 9 月第 1 版 2011 年 9 月第 1 次印刷

开 本: 700mm×1000mm 1/16 印张: 18 字数: 362 千

印 数: 1~3000 册

书 号: ISBN 978-7-113-13406-8

定 价: 28.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材研究开发中心批销部联系调换。

打击盗版举报电话:(010)63549504

前 言

煤气是由多种可燃成分组成的一种气体燃料。煤气的种类繁多,成分也很复杂,一般可分为天然煤气和人工煤气两大类。天然煤气是通过钻井从地层中开采出来的,如天然气、煤层气。人工煤气则是利用固体或液体含碳燃料热分解或汽化后获得的,常见的有焦炉煤气、高炉煤气、转炉煤气、发生炉煤气、油煤气等。

高炉是钢铁企业冶炼生铁的设备。高炉冶炼生铁的炉料是以铁矿——原矿或烧结矿为主要原料,冶金焦炭作燃料和还原剂,还有石灰石等附加物料组成的。在冶炼过程中,由于焦炭中的碳素在炉缸内与风口鼓入的热风相遇燃烧,并由开始空气过剩而逐渐变成空气不足的燃烧,结果产生了高炉煤气。净化的高炉煤气是无色、无味、剧毒的易燃易爆气体。

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 CO ,也就是转炉煤气的主要成分。净化的转炉煤气是无色、无味、有剧毒的易燃易爆气体。

炼焦生产工艺就是煤的干馏过程,即煤在隔绝空气加热时,其中的有机质在不同的温度下,发生一系列变化,结果形成数量和组成不同的气态、固态产物。在炼焦末期形成了焦炭,炼焦过程中副产了大量的焦炉煤气。净化的焦炉煤气是无色、有臭味、有毒的易燃易爆气体。

任何一种副产煤气都是由一些单一气体混合而成。其中可燃气体成分有 CO 、 H_2 和其他气态碳氢化合物以及 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。主要组成副产煤气的单一气体的物理化学性质如下:

(1) 甲烷:化学式 CH_4 ,无色、无味气体,质量密度 0.715 kg/m^3 ,难溶于水。热值为 $35\,671 \text{ kJ/m}^3$,着火温度为 $650\sim 750^\circ\text{C}$ 。与空气混合可引起剧烈爆炸,爆炸范围为 $5.4\%\sim 15\%$ 。当空气中甲烷浓度高达 25% 时才有毒性,可引起头痛、头晕、乏力、注意力不集中、呼吸和心跳加速、共济失调。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。

(2) 乙烷:化学式 C_2H_6 ,无色、无味气体,难溶于水,热值 $63\,690 \text{ kJ/m}^3$,着火温度为 $520\sim 630^\circ\text{C}$,空气中的爆炸范围为 $5\%\sim 12\%$ 。高浓度时,有单纯性窒息作用。空气中浓度大于 6% 时,出现眩晕、轻度恶心、麻醉症状;达 40% 以上时,可引

起惊厥,甚至窒息死亡。

(3)氢气:化学式 H_2 ,无色、无味气体,难溶于水,热值为 $10\,747.5\text{ kJ/m}^3$,着火温度为 $580\sim 590\text{ }^\circ\text{C}$,爆炸范围为 $4.2\%\sim 74\%$ 。

(4)一氧化碳:化学式 CO ,无色、无味气体,质量密度为 1.25 kg/m^3 ,热值为 $16\,269\text{ kJ/m}^3$,着火温度为 $644\sim 658\text{ }^\circ\text{C}$,火焰呈蓝色。爆炸范围为 $12.4\%\sim 75\%$ 。 CO 毒性极强,空气中含有 0.06% 即有害于人体,含 0.2% 时可使人失去知觉,含 0.4% 时可使人迅速死亡。空气中允许 CO 的最高质量浓度为 30 mg/m^3 。

(5)硫化氢:化学式 H_2S ,无色、具有浓厚的臭鸡蛋气味的剧毒气体。易溶于水,质量密度为 1.539 kg/m^3 ,热值为 $23\,669\text{ kJ/m}^3$,着火温度为 $364\text{ }^\circ\text{C}$,火焰呈蓝色。当浓度为 0.04% 时即有害于人体, 0.1% 时可致命。室内气体最大允许质量浓度为 10 mg/m^3 。

(6)二氧化碳:化学式 CO_2 ,为略有气味的无色气体,易溶于水,质量密度为 1.977 kg/m^3 ,空气中 CO_2 浓度达 25 mg/L 时,刺激呼吸系统,引起呼吸加快、困难,并有窒息、中毒的危险,浓度为 163 mg/L 时可致命。

(7)氧气:化学式 O_2 ,无色、无味气体。助燃,空气中约含有 21% ,质量密度为 1.429 kg/m^3 。

冶金企业副产的煤气,主要被作为燃料由工业窑炉和城市煤气用户使用。因其存在易中毒、着火、爆炸的危险性,为避免相关事故的发生,达到安全生产、回收、储存、输送、使用以及节能、减少环境污染的目的,有必要对煤气作业场所、作业人员加强专业管理。

本书由高永刚任主编,魏三伦、李积虎任副主编。本书于2005年完成初稿,先以内部教材形式使用,在几年的教学实践中又进行了修改和补充。

为保证教材的编写质量,我们编写组进行了审核和校订。但因经验不足,时间仓促,水平有限,缺点错误在所难免。希望读者多提宝贵意见,以便日后进一步完善。

编 者

2011年5月

目 录

第一章 高炉煤气	1
第一节 高炉煤气的产生概述	1
第二节 高炉煤气回收的意义	4
第三节 高炉煤气除尘原理与设备	4
第四节 高炉煤气生产、净化设备的安全要求	7
第五节 高炉煤气的安全操作	8
第二章 转炉煤气	12
第一节 转炉煤气的生产	12
第二节 转炉煤气回收工艺	13
第三节 转炉煤气除尘及煤气系统的使用	18
第四节 转炉煤气回收的安全操作	20
第三章 焦炉煤气	21
第一节 焦炉概述	21
第二节 焦炉生产工艺设备	23
第三节 焦炉煤气生产工艺	25
第四节 焦炉煤气生产安全操作	27
第五节 焦炉煤气回收	31
第六节 焦炉煤气回收主要设备及其安全操作	36
第七节 焦炉系统异常情况及事故处理	44
第八节 冷凝鼓风系统异常情况及事故处理	52
第九节 终冷洗苯系统异常情况及事故处理	56
第十节 粗苯回收系统异常情况及事故处理	59
第十一节 终脱苯系统异常情况及事故处理	60
第十二节 脱硫系统异常情况及事故处理	61
第十三节 硫铵系统异常情况及事故处理	62
第四章 煤气柜	63
第一节 钢铁企业煤气柜的设置	63
第二节 煤气柜容量的确定	65
第三节 煤气柜置换及其安全要求	66
第四节 煤气柜异常情况及处理	70

第五章 煤气管道	72
第一节 管网的分布及敷设要求	72
第二节 冶金企业煤气管道	80
第三节 煤气管道试验	88
第四节 煤气管道气体置换作业	91
第五节 煤气管道的动火作业	93
第六章 煤气管道附属装置	101
第一节 燃烧装置	101
第二节 隔断装置	102
第三节 排水器	108
第四节 放散装置	112
第五节 补偿器	113
第六节 其他附属装置	115
第七章 煤气事故的预防与处理	118
第一节 煤气中毒	118
第二节 煤气着火	129
第三节 煤气的爆炸	133
第四节 煤气事故应急救援预案	139
第八章 煤气管网操作、维护和检修	146
第一节 煤气安全管理基本要求	146
第二节 煤气设施的操作	147
第三节 煤气设施的检修	151
第四节 煤气管网维护	155
第九章 煤气安全防护技术	158
第一节 煤气防护一般知识	158
第二节 煤气安全仪器	158
第十章 典型事故案例分析	173
附 录	214
附录 A 工业企业煤气安全规程	214
附录 B 中华人民共和国职业病防治法	247
附录 C 有关概念解释	259
参考文献	279

第一章

高 炉 煤 气

第一节 高炉煤气的产生概述

高炉煤气的产生几乎贯穿高炉生铁冶炼的全过程,在这个过程中,各种参与物质在炉内各区域进行着错综复杂的物理和化学变化,最终在炉底形成生铁和炉渣,在炉顶产生高炉煤气。

一、高炉炼铁工艺流程

高炉炼铁就是从铁矿石中将铁还原出来,并熔炼成液态生铁。铁矿石的种类主要有磁铁矿 Fe_3O_4 、赤铁矿 Fe_2O_3 、褐铁矿(即含水氧化铁矿石,包括水赤铁矿 $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、针赤铁矿 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、水针赤铁矿 $3\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、褐铁矿 $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、黄针铁矿 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、黄赭石 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 、菱铁矿即碳酸盐矿石 FeCO_3)和人造富矿(球团矿、烧结矿)。为了使铁矿石中的脉石生成低熔点的熔融炉渣而排出,必须有足够的热量并加入溶剂(主要是石灰石)。在高炉炼铁中,还原剂和热量都是由燃料与鼓风供给的。目前所用的燃料主要是焦炭(含固定碳 84%~85%、灰分 12%~14%、硫分 0.5%~0.6%、挥发分 <1.2%、水分 <2%~6%,以质量计),有的高炉还从风口喷入重油、天然气、煤粉等燃料,以代替部分焦炭。

高炉是一个竖式的圆筒形炉子,基本体包括炉基、炉壳、炉衬及其冷却设备和高炉框架。通常,高炉炉型即高炉内部工作空间的形状分为炉喉、炉身、炉腰、炉腹、炉缸五段。炉缸部分设有风口、铁口、渣口。从炉顶装入铁矿石、燃料(焦炭)、溶剂(石灰石),从高炉下部的风口处鼓入热风(1 000~1 300 ℃),燃料中的碳素在热风中发生燃烧反应,产生具有很高温度的还原性气体(CO 、 H_2)。炽热的气流在上升过程中将下降的炉料加热,并与矿石发生还原反应。还原出来的海绵铁进一步熔化和渗碳,最后形成生铁。铁水定期从铁口排放。矿石中的脉石变成炉渣浮在液态的铁面上,从渣口排出。反应的气态产物即煤气从炉顶排出。

二、炉料在高炉内的主要变化

1. 炉料的蒸发和焦炭中的挥发物

炉料从炉顶装入高炉后,在下降过程中受到上升煤气流加热,首先水分蒸发。装

入高炉的炉料,除烧结矿等熟料外,在焦炭及一些矿石中均含有较多的水分。可以分为吸附水和化合水两种。吸附水加热到 105 ℃时就迅速干燥和蒸发。高炉炉顶温度很高(用冷料时为 150~250 ℃,用热料时为 400~450 ℃),炉内煤气流速很快,因此吸附水在高炉上部很快蒸发。在炉料中以化合物存在的水叫结晶水,也叫化合水。一般存在于褐铁矿($n\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$)和高岭土($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)中。褐铁矿中的结晶水在 200 ℃左右开始分解,400~500 ℃时分解迅速激增。高岭土在 400 ℃时开始分解,但分解速度很慢,到 500~600 ℃时才迅速进行。部分在较高温度下分解出的水分还可以与焦炭中的碳素反应。

在 500~1 000 ℃时: $\text{C} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2 - 83\ 134\ \text{kJ}$

在 1 000 ℃以上时: $\text{C} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + \text{H}_2 - 124\ 450\ \text{kJ}$

焦炭中一般含有挥发物 0.7%~1.3%(按质量计),其主要成分是 N_2 、 CO 、 CO_2 等气体。焦炭到达风口前,被加热到 1 400~1 600 ℃时,挥发分全部挥发。由于挥发物的量少,对煤气成分和冶炼过程影响不大。但高炉炉顶温度很高,对还原也有影响。

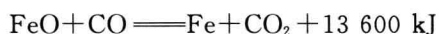
2. 还原反应是高炉内最基本的反应

高炉内进行的还原方式共有三种,即直接还原、间接还原和氢还原。高炉炉料中铁的氧化物的存在形态大致有 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、 Fe_2SiO_4 、 FeCO_3 、 FeS_2 等,但最后都经 FeO 的形态被还原成金属 Fe 。矿石入炉后,在加热温度未超过 900 ℃时的高炉中上部,铁氧化物中的氧被煤气中的 CO 夺取而产生 CO_2 。这种还原过程为间接还原。

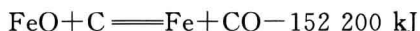
温度低于 570 ℃时:



当温度高于 570 ℃时:

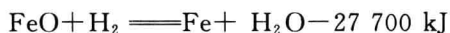


用固体碳还原铁的氧化物生成的气态产物是 CO ,这种还原叫直接还原。

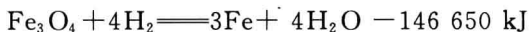
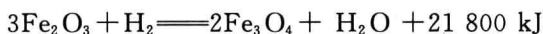


由于铁矿石在下降过程中,在高炉上部的低温区已先经受了高炉煤气的间接还原,残存下来的铁氧化物主要以 FeO 形式存在。矿石在软化和熔化之前,与焦炭接触面积很小,反应的速度很慢,所以直接还原反应受到限制。

在不喷吹燃料的高炉上,煤气中的含 H_2 量只是 1.8%~2.5%。它主要是由鼓风中的水分在风口前高温分解产生。在喷吹料(特别是重油、天然气)的高炉,煤气中的含 H_2 量显著增加,约为 5%~8%。氢的还原也称间接还原。用氢还原铁氧化物的顺序与一氧化碳还原是一样的,在温度高于 570 ℃时还原反应分三步进行:



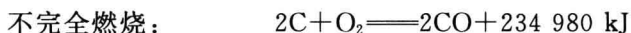
温度低于 570 ℃时：



3. 炉缸内的燃烧反应

入炉焦炭中的碳素除了少部分消耗于直接还原和溶解于生铁外,大部分在风口前与鼓入的热风相遇燃烧。此外,还有从风口喷入的燃料(煤粉、重油、天然气),也要在风口前燃烧。高炉炉缸内的燃烧反应与一般的燃烧过程不同,它是在充满焦炭的环境中进行,即在空气量一定而焦炭过剩的条件下进行的。由于没有充足的氧,燃烧反应的最终产物为 CO 、 H_2 、 N_2 ,没有 CO_2 。

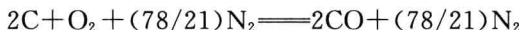
在风口前氧气比较充足,最初有完全燃烧和不完全燃烧反应同时存在,产物为 CO 和 CO_2 ,反应式为:



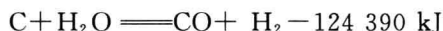
在离风口较远处,由于自由氧的缺乏及大量焦炭的存在,而且炉缸内温度很高,即使在氧充足处产生的 CO_2 也会与固体碳进行碳的气化反应:



干空气的成分中, $\text{O}_2 : \text{N}_2 = 21 : 78$,而氮气不参加化学反应,这样在炉缸中的燃烧反应的最终产物是 CO 和 N_2 。总的反应可表示为:



鼓风中还有一定量的水分,水分在高温下与碳发生以下反应:



此时炉缸反应最终产物除 CO 和 N_2 外,还有少量 H_2 。

三、高炉煤气成分

带有一定水分的炽热空气进入高炉,使碳素及其他喷吹燃料燃烧,由于不完全燃烧而产生大量的 CO ,同时由于水分和喷吹燃料的存在产生一定量的 H_2 ,空气中带入的 N_2 不参加化学反应,与 CO 和 H_2 一起形成上升气流, CO 和 H_2 与入炉富矿或铁矿石进行反应,也有碳的还原反应,使铁形成滴状下滴,上升气流中 CO 及 H_2 逐渐减少,而 CO_2 、 H_2O 逐渐增加,上升气流达到炉顶时仍有相当数量的 CO 和 H_2 存在于炉气中,经净化和物理能回收后输出即为净高炉煤气。按氮气平衡计算,如每吨铁鼓风 $1\,250\text{ m}^3$,鼓风中氮含量 78%,高炉煤气中氮含量 56%,则每吨铁可产煤气: $V_{\text{商}} = (78/56) \times 1\,250\text{ m}^3 = 1\,741\text{ m}^3$ 。通常高炉冶炼每吨生铁大约产生煤气 $1\,700 \sim 3\,000\text{ m}^3$ 。高炉煤气成分和主要参数大致为(体积百分率):

含有 CO_2 (15%~20%)、 CO (22%~30%)、 H_2 (1%~3%)、 O_2 (0.8%)、 N_2 (56%~58%) 和微量的 CH_4 。其发热量为 $3\,350 \sim 3\,770\text{ kJ/m}^3$,理论燃烧温度为 $1\,500\text{ }^\circ\text{C}$,着火温度为 $700\text{ }^\circ\text{C}$ 左右。是无色、无味、剧毒的易燃易爆气体。爆炸范围为 30.84%~89.49%。

第二节 高炉煤气回收的意义

广义来说,高炉煤气的回收应包括为化学能利用的可燃气体的回收和存在于煤气中的物理能的回收利用。物理能指炉内余压(炉顶煤气压力,即顶压)和热能的回收利用。

一、化学能的回收利用

高炉煤气化学能的回收就是利用煤气中的可燃成分的燃烧热来加热炉、窑、机组,即作为燃料。

传统的方法是将炉顶引出的煤气进行除尘、降温后使用。先经重力除尘器,再经洗涤塔和文氏管除尘器进一步除尘并降温(也有不用洗涤塔而用经串联文氏管装置的),最后经脱水器和减压阀组脱水降压后送入输气总管,再分输到各高炉煤气用户。除湿法除尘外,还有的采用干法除尘,如采用布袋过滤或干法静电除尘(Electrostatic Precipitator, EP)。采用干法除尘有利于高炉煤气余压、热能利用,约可多发 30% 电量。

二、物理能的回收利用

高炉煤气物理能的利用是指炉顶高炉煤气所具有的较高压能和一定的热能。现代大高炉顶压一般为 0.2~0.25 MPa。

回收方法一般是设置顶压回收透平(Top Pressure Recovery Turbine, TRT)带动发电机发电。在高炉利用系数为 2、顶压为 0.2 MPa、煤气量为 $47 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 的情况下,如采用湿法除尘,进入 TRT 的煤气温度为 55 °C 时,其每小时发电量为 $1.1 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$;如采用干法除尘,则煤气中热能得到利用,其进入的煤气温度将提高到 125~180 °C,如按 125 °C 计算,在其他参数相同的情况下,其每小时发电量将增到 1.43 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$,增幅达到 30%。

第三节 高炉煤气除尘基本原理与设备

从炉顶排出的煤气含尘量约为 10~40 g/m^3 ,温度为 150~300 °C,会影响输送管道的安全及煤气燃烧效果,因此应除尘降温后使用。一般工业燃烧器要求煤气含尘量要小于 5~10 mg/m^3 。为降低煤气中的饱和水,一般将煤气温度降至 40 °C 以下。

煤气中的炉尘主要来自矿石和焦炭中的粉末,含有大量的含铁物质和含碳物质,回收后可以作为烧结原料加以利用。

按除尘后煤气所能达到的净化程度,除尘设备可以分为以下三类:

(1)粗除尘设备:比如重力除尘器等,粗除尘后煤气含尘量为 1~6 g/m^3 。

(2)半精细除尘设备:包括洗涤塔、一级文氏管、一次布袋除尘器等,除尘后煤气含尘量为 $0.05\sim 1\text{ g/m}^3$ 。

(3)精细除尘设备:如电除尘设备、二级文氏管、二次布袋除尘器等,除尘后煤气含尘量为 $0.002\sim 0.1\text{ g/m}^3$ 。

一、除尘基本原理

高炉煤气带出的炉尘微粒为 $0\sim 500\text{ }\mu\text{m}$ 之间的小颗粒。颗粒在气体中沉降,由于气体有一定的黏度,粒径越小质量密度越轻的颗粒,具有相对较大的表面积,沉降速度越低,越不容易沉积, $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下的颗粒,沉降速度只有 $1\sim 10\text{ mm/s}$ 。

实际的除尘过程是循序渐进的。一般 $60\sim 100\text{ }\mu\text{m}$ 以上的颗粒除尘称为粗除尘,常用重力除尘器。 $20\text{ }\mu\text{m}$ 以上的颗粒除尘称为半精细除尘,常用湿法除尘。小于 $20\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒除尘称为精细除尘,常用文氏管、静电除尘器、布袋除尘器等。

二、除尘设备

1. 重力除尘器

重力除尘器是荒煤气进行除尘的第一步除尘装置。其工作原理是:经下降管流出的荒煤气从重力除尘器上部进入,沿中心导管下降,在中心导管出口处流向突然倒转 180° 向上流动,流速也突然降低,荒煤气中的灰尘因惯性力和重力作用而离开气流,沉降到重力除尘器的底部,通过清灰阀和螺旋清灰器定期排出。

除尘器直径的大小根据煤气在除尘器内的流速而定。通常根据经验数据来选择其直径大小,也就是要保证煤气在除尘器内的流速不超过 $0.6\sim 1.0\text{ mm/s}$ 。上限适用于高压高炉。除尘器直筒部分高度决定于煤气在除尘器内的停留时间,一般要保证煤气停留时间为 $12\sim 15\text{ s}$ 。导入管口以下高度决定于贮灰体积,一般应能满足三天的贮灰量。我国不同容积的高炉所用重力除尘器尺寸如表 1-1 所示。

表 1-1 我国不同容积的高炉所用重力除尘器尺寸

炉容/ m^3	100	255	620	1 000	1 513	2 025	2 516
除尘器直径/ mm	4 016	5 894	8 000	8 028	11 012	12 032	13 258
直筒部分高度/ mm	6 000	7 000	10 000	11 484	12 080	13 400	13 860
喇叭管上口/ mm	1 112	2 016	2 550	3 240	3 524	3 520	3 500
喇叭管下口/ mm	1 612	2 936	3 800	3 740	3 524	3 520	3 500

重力除尘器一般的除尘效率可达 80% ,出口含尘量为 $2\sim 10\text{ g/m}^3$ 。这种重力除尘器阻力小,只有 $0.196\sim 0.245\text{ kPa}$ 。其尺寸越大,煤气流动速度越小,除尘效率越高。

螺旋清灰器由清灰阀、螺旋推进器、出灰箱、配水管、蒸汽管及加水灰泥出口等组成。螺旋清灰器安装在重力除尘器底部出灰口处,它通过开启清灰阀将炉尘从下口排出落入车皮中运走,蒸汽则从排气管排出。这种装置除了解决干尘飞扬的问题,还可

以按一定的速度排灰。但有时易被除尘器里掉下来的砖卡住。

2. 洗涤塔

不能除去的细颗粒灰尘,就要靠洗涤的方法加以进一步清除。应用较多的半精细除尘设备是空心洗涤塔。可使含尘量降到 $0.05 \sim 1 \text{ g/m}^3$ 。其作用有二:一是除尘,二是冷却煤气(约降至 $30 \sim 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$),以降低煤气中水的含量。

洗涤塔除尘原理:靠尘粒和水滴碰撞而将尘粒吸收,靠除尘过程中形成的蒸汽,以尘粒为中心,促使尘粒聚合成大颗粒;由于重力作用,大颗粒尘粒离开煤气流随水一起流向洗涤塔下部,与污水一起经塔底水封排走;与此同时,两者进行热交换,降低煤气温度。经冷却和洗涤后的煤气由塔顶部管道导出。

空心洗涤塔内设有三层喷水管,上层向下喷水,中下层向上喷水,上层喷水量占全部喷水量的 60%。为保证除尘效率,最上层水压不应小于 0.15 MPa ,这样就可以将煤气含尘量由 $2 \sim 8 \text{ g/m}^3$ 降到 0.8 g/m^3 左右,除尘效率可达 $80\% \sim 90\%$ 。压力损失为 $78 \sim 196 \text{ kPa}$ 。煤气在塔内的平均流速一般为 $1.8 \sim 2.5 \text{ m/s}$ 。

对于洗涤塔的排水机构,在常压高炉内可采用水封排水,水封高度与煤气压力相适应,不小于 29.4 kPa 。当塔内煤气压力加上洗涤水压力超过 29.4 kPa 时,水就不断从排水管排出,当小于 29.4 kPa 时则停止排水。在塔底还安设了排放淤泥的放灰阀。

高压洗涤塔由于压力高,需要采用浮子式水面自动调整机构,当塔内压力突然增加时,水面下降,通过连杆将蝶阀关小,则水面又逐步回升;反之,则将蝶阀开大。

3. 文氏管

煤气经洗涤塔洗涤后,仍有一部分灰尘悬浮于煤气中。由于所剩灰尘颗粒更细,不能被洗涤塔喷水所润湿,因此必须用强大的外加力量来使其聚成大颗粒而与煤气分离。用文氏管可以达到这一目的。用它可以将煤气含尘量净化到 20 mg/m^3 以下。在高压高炉的煤气系统上,文氏管称为精除尘设备,它由收缩管、喉管、扩展管三部分组成,一般在收缩管前设有两层喷水管,在收缩管后设有一个喷嘴。

文氏管按喉口有无溢流可分为两类:喉口有均匀水膜的称为溢流文氏管,喉口无水膜的称为文氏管。按喉口有无调节装置亦可分为两类:喉口装有调节装置的称为调径文氏管,喉口无调节装置的称为定径文氏管。

文氏管的工作原理是:把煤气和水以极大的流速通过一个收缩口,水被高速煤气流雾化,煤气中的灰尘被细小的水雾浸湿,使水滴和灰粒凝聚在一起,最后在重力式灰泥捕集器内使水滴脱离煤气流。

溢流文氏管多用于清洗高温的未饱和的荒煤气。文氏管口上部设有溢流水箱或喷淋冲洗水管,在喉口周边形成一层均匀的连续不断的水膜,避免灰尘在喉口壁上聚集,同时降温并保护文氏管。

4. 静电除尘器

在高炉炉顶煤气压力不超过 147 kPa 的高炉上,为了得到含尘量更低的煤气,可

用静电除尘器作精细除尘设备,它可将煤气净化到含尘 10 mg/m^3 以下,且高炉操作波动对其影响较小;流经静电除尘器的煤气压头损失小,只有 $588 \sim 784 \text{ Pa}$;耗电量少,一般为 $0.7 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^3$ (煤气)。

静电除尘器就是利用电晕放电,是含尘气体中的粉尘带电而通过静电作用进行分离的一种除尘装置。有平板式、管式和套管式几种。通常负极称为放电极(电晕极),正极接地称为集尘极(沉淀极)。其除尘原理是:煤气在高压(电压可达数万伏)静电场的两极间通过时,由于电晕放电作用使煤气电离,带负离子的部分气体聚焦在灰尘上,使灰尘带负电被正极所吸收,沉淀在正极上的灰尘失去电荷达到一定厚度,干式电除尘器经撞击使尘粒脱落,湿式电除尘器让水膜沿集尘极留下,去除电极上的灰尘。

5. 布袋除尘器

布袋除尘器是利用织物对气体进行过筛的,能处理 $0.1 \sim 90 \text{ mm}$ 的尘粒。除用于除尘外,还用于气动输送的捕集系统。它的最大优点是不用水,能节约脱水设备的投资,还能提高煤气的发热值。缺点是不能在高温下工作,一般织物要求气体温度不大于 100°C ,玻璃纤维的要求气体温度不大于 350°C 。另外,温度不能低于零点,以免水分凝结。

这种除尘设备除尘效果稳定,净煤气含尘量能经常保持在 10 mg/m^3 以下,并不受高炉煤气压力与流量波动的影响。

现在布袋除尘器的除尘袋多用玻璃纤维制作。滤袋做成直径 $150 \sim 250 \text{ mm}$ 、长 $2 \sim 4 \text{ m}$ 的圆筒形袋,上下和法兰固定,使用高强度织物时直径可为 $450 \sim 10 \text{ mm}$ 。每组由 $10 \sim 50$ 个滤袋组成。单位面积上的气流速度常控制在使阻损不超过 980 Pa (一般在 490 Pa 上下),以防撕坏织物。为清除织物上的积灰,可定期地用机械振打,也可用压缩空气反吹。炉尘用螺旋输送机回收。

第四节 高炉煤气生产、净化设备的安全要求

一、一般安全要求

为防止煤气泄漏,高炉冷却设备与炉壳、风口、渣口以及各水套软探尺的箱体、检修孔盖的法兰和链轮都应保持密封,硬探尺与探尺孔间应用蒸汽或氮气密封,通入大、小钟拉杆之间的密封处旋转密封间的蒸汽或氮气的压力,应超过炉顶工作压力 0.001 MPa 。通入大、小钟之间的蒸汽或氮气管口不得正对拉杆及大钟壁。炉喉应有蒸汽或氮气喷头,旋转布料器外壳与固定支座之间应密封,无料钟炉顶的料仓上下密封阀,应采用耐热材料的软密封和硬质合金的硬密封。另外,要求高炉放散具有在正常压力下能放散全部煤气的能力,并且在高炉休风时能尽快将煤气排出,炉顶放散阀应比卷扬机绳轮平台至少高出 3 m ,并能在下面主控室或卷扬机室控制操作,放散阀和盘阀之间要保持接触严密。

二、除尘器的安全要求

除尘器顶端至切断阀之间,应设蒸汽、氮气管接头,并且在除尘器顶及煤气管道最高点设放散阀及阀门。除尘器的下部和上部,应至少各有一个直径不小于 600 mm 的入口;并应设置两个出入口相对的清灰平台,其中一个出入口应能通往高炉值班室和高炉炉台。除尘器应设带旋塞的蒸汽或氮气管头;其蒸汽管或者氮气管应与炉台蒸汽包相连接,不能堵塞或冻结。用氮气赶煤气后,应采取强制通风措施,直至除尘器内残余氮气符合安全要求,才能进入除尘器作业。如采用除尘器,要求电除尘入口,出口设置煤气压力计,若煤气压力低于规定值要及时停止运行,应在除尘器入口、出口管道处设置可靠的隔断装置。电除尘器还应设置放散管和蒸汽管,在除尘器的沉淀板间,要有带阀门的连管,以免煤气在死角处聚集。此外,电除尘器还应设置在高炉煤气含氧量超过 1% 时能自动切断电源的装置。采用布袋除尘器时,要在布袋除尘器的每个出入口设置可靠的隔断装置,每个箱体应采用泄爆装置并设置放散管,此外还应设有煤气高低温度和低压报警装置。

三、洗涤塔、文氏管、洗涤器和灰泥捕集器的安全要求

常压高炉的洗涤塔、文氏管、洗涤器、灰泥捕集器和脱水器的污水排出管,其水封有效高度要保证 3 m 以上,并且压力应为高炉炉顶最高压力的 1.5 倍。高压高炉的洗涤塔、文氏管、洗涤器、灰泥捕集器下面的浮标箱和脱水器应使用符合高压煤气要求的排水控制装置,并要有可靠的水位指示器和水位报警器。水位指示器和水位报警器均应在管理室反映出来。各种洗涤装置要装蒸汽或氮气接头,在洗涤器顶部还应装有能在地面操作的安全泄压放散装置,洗涤塔的每层喷水嘴处应设对开人孔,每层喷嘴应设栏杆和平台。对可调文氏管、减压阀组必须采用可靠而严密的轴封,并设较宽的检修平台。另外,在每座高炉煤气净化设施与煤气总管之间,还应设可靠的隔断装置。

第五节 高炉煤气的安全操作

由于高炉煤气的成分和性质决定了其极易造成操作人员中毒,且比较容易发生着火爆炸事故,因此操作中要注意防止中毒和爆炸事故的发生。

一、煤气净化(回收)系统

(1)在洗涤塔、文氏管系统处理时宜采用氮气置换空气或煤气的方法;如采用传统的直接以空气置换煤气(自然通风)的方法,则存在发生中毒事故的风险。必要时佩戴空气呼吸器(或氧气呼吸器),自上面下地开启人孔,最终放掉底部水封中的水。

(2)采用湿法除尘时,要经常检查排水是否畅通。水存在过多会发生事故,如洗涤塔水位过高,往往引起塔体严重摇晃。

(3)湿法除尘工艺的塔、器水位要防止过低,以免发生煤气击穿水封,造成煤气外泄中毒事故。

(4)湿法除尘系统由于排水中能析出 CO,因此要防止排水口或地沟附近的人员中毒事故的发生。

(5)湿法除尘系统的给水管、水过滤器等装置检修时,一定要可靠地隔断煤气,以防止煤气倒窜入水系统而发生人员中毒事故。

(6)高炉休风净化系统处理残余煤气时,必须与高炉方面密切联系,残余煤气尚未处理完毕,决不允许打开干式除尘器上的切断阀,以免具有爆炸性的混合气体被吸入炉顶而产生燃爆,造成严重后果。

(7)在净化系统各放散装置已满负荷放散,气柜贮量接近上限,而用户又不能增量的情况下,煤气压力急剧上升时,调度指挥中心应果断采取措施(可命令高炉减风或休风),以防止水封普遍击穿的严重后果发生,必要时(指非常情况下)调度指挥中心可以直接指示高炉鼓风机站减少风量输出。

(8)净化系统设备充氮封存期间,必须加强管理,防止盲目进入造成人员窒息死亡。

(9)鉴于在净化系统操作或驻留极易发生 CO 中毒事故,因此操作或驻留人员均应佩戴便携式 CO 警报仪,一旦 CO 含量异常,应立即佩戴氧气呼吸器查明原因,及时采取措施进行处理。

二、高炉(含重力除尘器、热风炉)煤气发生区域

(1)开炉时必须按制定的烘炉曲线烘炉。炉皮应有临时排气孔。经 24 h 连续联动试车正常后,才能开炉。

(2)开炉时冷风管应保持正压,除尘器、炉顶及煤气管道必须通入蒸汽或氮气,以驱除残余空气。送风后,中、小高炉炉顶煤气压力应为 0.003~0.005 MPa,大高炉炉顶煤气压力应为 0.005~0.008 MPa,并作煤气爆发实验,确认不会产生爆炸,才能接通煤气系统。

(3)待开工的高炉的热风炉开始烘炉之前以及高炉休风后进入炉内作业,必须卸下风管、堵住风口,还必须与高炉煤气总管及其他煤气源可靠隔断,并经检测炉内含 CO 合格,才允许进入高炉作业。

(4)热风炉烘炉或正常生产燃用煤气,都要勤观察、勤调整,确保煤气完全燃烧。

(5)采用套筒式或格栅式燃烧器的热风炉,烧炉期间应经常观察和调整煤气火焰,火焰熄灭时应及时关闭煤气闸板,查明原因,确认可重新点火时方可点火。煤气自动调节机失灵时,不得烧炉。

(6)热风炉炉皮烧红、开焊或者有裂纹时,应立即停用,及时处理。值班人员应至少每小时检查一次热风炉。

(7)热风炉管道及各种阀门应严密。热风炉与鼓风机站之间、热风炉各部位之间,

应有必要的安全连锁。突然停电时,阀门应向安全方向自动切换。放风阀应设在冷风管上。其操纵可在高炉值班室或泥炮操作室旁进行。为监测放风情况,操作处应设有风压表。

(8)热风炉使用的天然气或焦炉煤气,应在减风时关闭。

(9)入热风炉内作业时,要用盲板隔断煤气。

(10)高炉开工后,炉顶达到规定压力并对炉顶煤气成分分析,合格后方可接净化系统。

(11)停炉前,高炉与煤气系统必须可靠地分离开。采用打水法停炉时,应取下炉顶放散阀或其上的锥形帽。打水停炉料面时,不得开大钟或上、下密封阀,大钟和上、下密封阀不准有积水,炉顶温度应在 $400\sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内,应至少每小时分析一次煤气中的 CO_2 、 O_2 和 H_2 的体积浓度, H_2 的体积浓度应小于 6%。

(12)打水停炉降料面期间,应打开炉顶入口和放散阀,炉顶煤气应保持点燃状态。

(13)高炉采用封炉法休风时,应打开炉顶人孔和放散阀,炉顶煤气应保持点燃状态。

(14)高炉长期休风不进行炉顶点火时,炉顶包括大小料钟之间及整个煤气系统,应全部通入蒸汽且不得间断,且始终保持其正压状态。

(15)若高炉采用倒流休风而又没有设置倒流休风管,则必须将由炉内倒流过来的煤气引入已经烧热的热风炉内完全燃烧;同时应打开热风炉燃烧器的空气进口,为燃烧供应空气。

(16)鼓风机停风 $1\sim 1.5\text{ min}$ 又来风时可以继续送风,如停风时间超过 1.5 min ,则应安全休风,以免煤气倒流到冷风系统发生事故。

(17)高炉高压、常压操作转换以及热风炉点炉、撤炉,均应预先与净化系统取得联系。高压转常压时应缓慢操作。防止瞬间流量过大,压力突增击穿总管水封,引起煤气外泄事故。

(18)净化系统配置有 TRT 装置的高炉煤气系统,必须设置自动控制炉顶压力的装置,以保证透平机正常运行时顶压波动 $\leq \pm 5\text{ kPa}$,紧急切断时 $\leq \pm 8\text{ kPa}$,TRT 发电机组甩对先进的大型高炉,甩负荷时的顶压波动值要求 $\leq \pm 10\text{ kPa}$ 。保持炉顶压力稳定,既是保证高炉炉况正常的需要,同时也是保证安全运作的要求。

(19)高炉排风时,要保持一定的剩余压力,防止高炉煤气通过混风阀,进入冷风管与空气混合形成爆炸性混合气体。

(20)停送煤气时,要先用蒸汽清除剩余煤气(或空气),以避免形成爆炸性混合气体。

(21)在高炉空料线很深的情况下休风点火,要保证火不会熄灭,并尽量排出燃烧后的废气。

(22)当炉膛火焰因煤气量少而熄灭时,应关闭煤气阀门或往炉堂内通蒸汽,直到没有煤气为止。