

环境工程治理技术丛书

高炉煤气净化与 洗气水处理技术

国家环境保护局 科技标准司 主持
环境工程科技协调委员会

中国环境科学出版社



环境工程治理技术丛书

高炉煤气净化与洗气水 处理技术

国家环境保护局 科技标准司 主持
环境工程科技协调委员会

齐振华 周开君 编著

成立良 沙博辉 审校

1024/36

中国环境科学出版社

1991

内 容 简 介

本书系统论述了冶金企业高炉煤气净化与煤气洗涤水处理技术，既注重基础知识阐述，又联系生产实践，并介绍了国内外冶金企业高炉煤气净化与煤气洗涤水处理的最新技术成就及有关计算及设计资料。

本书可供从事高炉煤气净化、洗涤水处理环保设计、研究及现场管理工程技术人员参考。也可做为管理干部和环保、能源技术人员培训的教学参考书和有关大专院校专业师生的参考书。

环境工程治理技术丛书 高炉煤气净化与洗气水处理技术

国家环境保护局 科技标准司 主持
环境工程科技协调委员会

齐振华 周开君 编著

成立良 沙博辉 审校

责任编辑 陈菁华

*

中国环境科学出版社出版

北京崇文区东兴隆街69号

三河县艺苑印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

*

1991年3月 第一版 开本 787×1092 1/32

1991年3月 第一次印刷 印张 4 插页 2

印数 1—2 550 字数 89千字

ISBN 7-80010-768-X/X·413

定价：2.50元

《环境工程治理技术丛书》编辑委员会

主 编 张崇华

副主编 顾国维 沈光范 刘秀茹

臧玉祥

编 委 魏 平 朱耀华 程岩法

彭志良 黄文国 蒋如质

曹凤中 宫 伟 蒋琪瑛

序

解决我国的环境问题，一靠政策，二靠管理，三靠科学技术。在政策上，我国已把环境保护列为一项基本国策并制定了一系列方针政策；在管理上，我们不断总结经验，加强制度建设，强化监督管理，正在建立环境保护工作的新秩序；在科学技术上，关键是要抓好两头，一头是集中财力物力和人力，围绕解决经济建设和社会发展中迫切需要解决的环境问题的关键性技术课题，认真开展科研攻关；另一头是大力开发和普遍推广效益好、见效快、适用性强的治理污染的技术成果，提高广大环境保护工作人员的业务水平和技术素质，帮助广大企业包括乡镇企业加速实现环境保护的技术进步。这是密切科技和生产的结合，迅速提高我国防治污染水平的重要途径。

十多年来，我国各科研院所、高等院校、设计单位以及工业、地区的专业部门在污染防治、环境工程技术等方面取得了许多科技成果，积累了不少经验。把这些科技成果和经验加以归纳总结使多数人掌握，可以避免环境科研工作在一水平上的重复劳动。把国内科技研究同引进先进技术有效地结合起来，有利于加速对引进技术的消化、吸收和创新。

鉴于科学技术的重要性和交流、总结经验的迫切性，国家环境保护局科技司和国家环境保护局环境工程协调委员会组织编写了这套《环境工程治理技术丛书》，在编写的体例上既不同于一般的科研成果报告，又不同于一般的教科书，

而是突出应用性和经验的总结。

本套丛书的编辑委员会承担了组织选题、编写和审稿等具体工作。丛书的内容有单元技术和设备、处理工艺技术和环境污染区域综合防治；废水、废气、废渣的处理与利用和环境影响评价等。在治理技术的编写中，一般包括国内外的技术进展，工艺技术的特点和原理，设计计算和实例介绍与分析，其中有的还包括作者对一些技术问题的讨论和看法。承担编写和审稿的同志大都是多年在第一线上从事这方面工作的专家。本套丛书共几十本，计划分批付印出版。

虽然我们力图使本套丛书深入浅出，图文并茂，具有科学性、实用性和先进性，但由于篇幅所限，每个问题的论述不可能面面俱到，加之从编写到编辑出版时间较紧，而科学技术本身又在不断发展，所以丛书中的缺点和错误在所难免，希望得到读者批评指正。

张崇华

1990年4月

目 录

第一章	高炉煤气净化技术	(1)
第一节	高炉煤气产量计算	(1)
第二节	高炉煤气净化	(4)
第三节	高炉煤气清洗设备	(10)
第四节	高炉煤气干式电除尘器	(57)
第五节	高炉煤气布袋除尘	(58)
第六节	减少高炉煤气放散的措施	(67)
第二章	高炉煤气洗涤水的处理技术	(68)
第一节	国外高炉煤气洗涤水处理技术	(68)
第二节	国内高炉煤气洗涤水处理技术	(81)

第一章 高炉煤气净化技术*

高炉煤气净化后作为能源加以利用，既是炼铁生产工艺本身的要求（因炼铁工艺需要向高炉中鼓热风，而热风炉则用高炉煤气作能源），也是保护环境的要求。

就目前而言，我国高炉煤气绝大多数企业均已回收利用，但在回收率或放散率上差距很大，先进企业放散率仅4%，而较差的企业是百分之十几，全国平均为8%。多年来，环保工作者为降低高炉煤气的放散率，提高回收率作了很大的努力，取得了一定的成绩。

高炉煤气净化技术可分为湿法与干法两大类。就湿法而言，就有一个洗气水的净化处理与回用的问题。本文就对高炉煤气的净化技术与洗气水的处理技术作一详细的介绍。

第一节 高炉煤气产量计算

高炉煤气产量主要决定于鼓风量，一个体积的氧与炭反应后，生产两个体积的一氧化碳。在高炉中有大量的焦炭，因此，鼓风与焦炭反应后生成的煤气量要比鼓风量略多一些。

高炉煤气产量可直接用仪表测量，也可用计算方法求得。在用仪表测煤气量的方法中，流量孔板一般都放在煤气

• 此章为齐振华编写

清洗设备的后面，这是因为炉顶煤气中含有大量灰尘，会把流量孔板磨坏，并易积灰，而造成测量不准。由于从炉顶到清洗设备到流量孔板的这段区域内尚有煤气损失，因而测得的流量偏低。用计算方法求得的煤气量是炉顶处的煤气量。比较简单和较准确的计算方法是氮气平衡法。根据鼓风中的氮含量和煤气中的氮含量可以计算出每 m_n^3 鼓风可产生多少煤气，从而计算出煤气产量。

$$V_g = \frac{N_2^w}{N_2^b} \cdot W \quad m_n^3/t \text{铁} \quad (1.1)$$

式中：

V_g ——吨铁高炉煤气产量 m_n^3/t 铁

N_2^w ——鼓风中的氮含量%

N_2^b ——煤气中的氮含量%

W ——吨铁鼓风量 m_n^3/t 铁

例如：鼓风中 N_2 含量为 79%，高炉煤气中 N_2 含量为 58%，则每 m_n^3 鼓风可生成煤气量为 $\frac{79}{58} = 1.36 m_n^3$

如果吨铁鼓风量为 $1250 m_n^3$ ，则吨铁煤气产量为

$$V_g = \frac{79}{58} \times 1250 = 1634 m_n^3$$

为使计算结果更准确些，应在煤气中扣除焦炭及喷吹物中的 N_2 含量。

吨铁高炉煤气产量也可按碳平衡计算：

$$V_g' = \frac{100C}{(CO_2 + CO + CH_4) \times 0.536} m_n^3/t \text{铁}$$

式中：

(1.2)

$$C = C_1 + C_2 + C_3 - C_4 - C_5$$

C_1 ——焦炭中的含碳量 kg/kg 焦

C_2 ——炉料中含碳量 kg/kg 焦

C_3 ——喷吹物中含碳量 kg/kg 焦

C_4 ——铁水中的含碳量 kg/kg 焦

C_5 ——吹出炉尘中的含碳量 kg/kg 焦

CO_2 、 CO 、 CH_4 ——煤气中各成份的含量容积百分

率

0.536——换算系数，即每 $\text{m}_0^3 \text{CO}_2$ 、 CO 、 CH_4 中的含碳量 kg/m_0^3

计算举例：

高炉生产情况如下：

吨铁耗（产）量 折算为每吨焦炭耗（产）量

焦炭（ $\text{C}=83.4\%$ ） 500kg 1000kg

石灰石（ $\text{CO}_2=42.6\%$ ） 336kg 672kg

烧结矿（ $\text{C}=0.15\%$ ） 858kg 1716kg

煤气带出炉尘（ $\text{C}=13.7\%$ ） 89.4kg 178.8kg

炉渣带走含碳量 0.5kg 1.0kg

生铁中含碳（ $\text{C}=4\%$ ） 40kg 80kg

高炉煤气成分： $\text{CO}_2 15\%$ $\text{CO} 26\%$ $\text{H}_2 1\%$ $\text{N}_2 57\%$

计算：

$$C_1 = 1000 \times 0.834 \text{ kg/t-焦} = 834 \text{ kg/t-焦}$$

$$C_2 = 1716 \times 0.0015 + \frac{22}{44} \times 0.426 \times 672 = 80.6 \text{ kg/t-焦}$$

$$C_3 = 0$$

$$C_4 = 2000 \times 0.04 = 80 \text{ kg/t-焦}$$

$$C_5 = 1 + 178.8 \times 0.137 = 25.5 \text{ kg/t-焦}$$

$$\therefore C = C_1 + C_2 + C_3 - C_4 - C_5$$

$$= 834 + 80.6 + 0 - 80 - 25.5 = 809.17 \text{ kg/t-焦}$$

$$V_g' = \frac{100 \times 809.17}{0.536(15 + 26)} = 3683 \text{ m}_n^3/\text{t-焦}$$

$$\text{或: } 3683 \times 0.5 = 1841.5 \text{ m}_n^3/\text{t-铁}$$

从炉顶到清洗设备出口，对于大型高炉煤气损失约5%，则每吨焦可得煤气

$$3683 \times 0.95 = 3498 \text{ m}_n^3/\text{t-焦} \quad \text{或: } 1749 \text{ m}_n^3/\text{t-铁}.$$

第二节 高炉煤气净化

一、高炉煤气中的炉尘

高炉煤气离开高炉时，夹带着许多细粒度的炉料，这就是高炉煤气中的炉尘。高炉煤气中的含尘量多少受很多因素的影响，首先是炉料中的细粉含量。为了保持高炉内料柱有良好的透气性，炉料在投入高炉前，都进行筛分，除去其中的细粉，如果筛分效果不佳，就会有较多的细粉投入炉内，除此以外，炉料（特别是焦炭）的机械强度差时，在炉内受到“研磨”，也会产生细粉，这是煤气内炉尘的主要来源。炉料中含有碱金属氧化物 Na_2O 及 K_2O 时，一部分会升华到煤气中去。它们的粒度极小，难以去除。炉料中的细粉受到有一定速度的气流吹刷，就会被气流带走。一般每 m_n^3 煤气可带出 10~40 克炉尘，如果入炉炉料未经筛分，炉料比例大，带出炉尘还要多。这些炉尘如果不经净化，用户不能用，因为会造成管道堵塞，燃烧器塞及磨损，加快耐火材料的熔蚀，缩短耐火材料的使用寿命，所以高炉煤气必须经过净化才能送往用户使用。对于高炉热风炉、焦炉以及有些加热炉，具有砖格蓄热室。炉尘在砖格内沉积，不但会造成堵

塞，耐火材料被熔蚀，因而会降低蓄热器效率。目前，焦炉和高炉、热风炉都要求煤气含灰量 $<10\text{mg}/\text{m}_n^3$ ，其他用户则要求煤气含尘量 $<20\text{mg}/\text{m}_n^3$ 。

高炉煤气中的灰尘粒度组成对高炉煤气清洗影响很大，炉尘粒度组成决定于炉尘颗粒的比重和煤气的流速。比重小，流速大可吹出较大的粒子。各企业由于原料条件和生产操作情况不同，炉尘的粒度组成也不一样。常压高炉的炉尘粒度组成如表1-1所示。

表1-1

粒 度 (μ)	%	粒 度 (μ)	%	粒 度 (μ)	%
7500	1.84	88~60	10.62	10~5	1.31
500~200	43.4	60~40	7.13	5~2.5	0.28
200~120	1.13	40~20	24.45	2.5~1.25	0.15
120~88	8.12	20~10	1.53	<1.25	0.04

由上表得知，大部分炉尘的粒度在500~200 μ 和40~20 μ 两个范围之内。

二、高炉煤气的净化

高炉煤气清洗系统的主要任务是使煤气质量（含尘量、含水量和煤气温度）达到煤气加压输送和煤气用户使用的要求，应力求技术上先进，经济上合理。高炉煤气清洗工艺流程的选择，主要决定于煤气用户要求，炉顶煤气压力和灰尘的物理化学性质等条件。

（一）大中型高压高炉煤气清洗工艺流程

一般采用串联调径文氏管系统或塔后调径文氏管系统，

其系统图见图1-1。

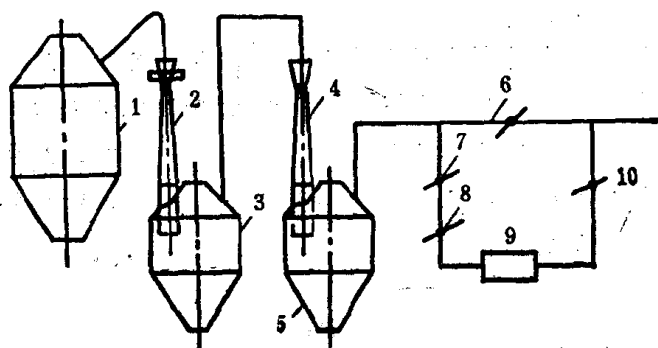


图1-1 串联调径文氏管系统（第一种）

1.重力除尘器 2.一级可调文氏管 3.脱水器 4.二级可调文氏管 5.脱水器 6.减压阀组 7.快速切断阀 8.调速阀 9.余压透平 10.切断阀

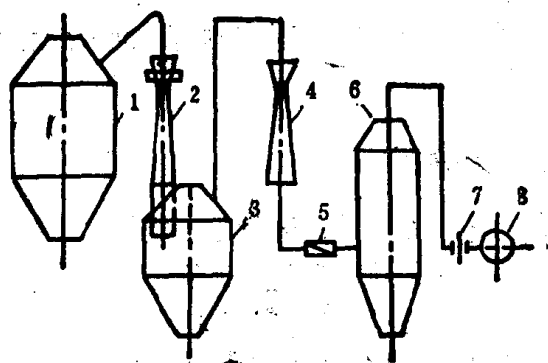


图1-2 高压串联调径文氏管系统

1.重力除尘器 2.溢流文氏管 3.脱泥器 4.调径文氏管 5.减压阀组 6.脱水器 7.叶形插板 8.净煤气总管

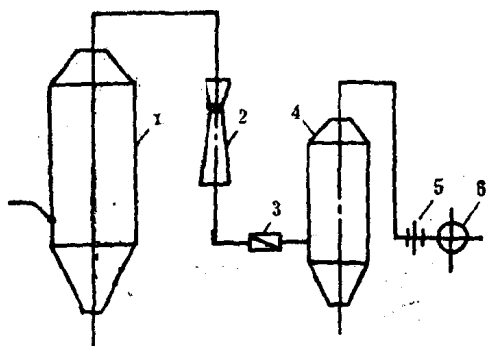


图1-3 塔后调径文氏管系统

- 1.洗涤塔 2.调径文氏管 3.减压阀组 4.脱水器 5.叶形插板
6.净煤气总管

串联调径文氏管系统的优点是操作维护简便、占地少、节约投资60%以上。但在炉顶压力 0.8 kg/cm^2 时，在相同条件下，煤气出口温度高 $3\sim 5^\circ\text{C}$ 煤气压力多降 $800\text{ mmH}_2\text{O}$ 左右。一级文氏管磨损严重，但采取相应措施后可以解决。然而在常压或高压操作时，两个系统的除尘效率相同，即高压时或常压时，净煤气含灰量分别为 5 mg/m^3 或 15 mg/m^3 ，因而当给水温度低于 40°C 时，采用调径文氏管就优越得多。当炉顶力在 1.5 kgf/cm^2 以上，根据高炉操作制度的需要，当常压操作时其煤气产量是高压时的50%时，采用串联调径文氏管的优点就更加显著，即净煤气温度由于系统中采用了炉顶煤气余压发电装置反而略低于塔文系统，此外，文氏管供水可以串联使用，其水单耗只有 $2.1\sim 2.2\text{ kg/m}^3$ 煤气。而塔文串联系统的水单耗约为 $5\sim 5.5\text{ kg/m}^3$ 。所以，当炉顶压力在 1.2 kgf/cm^2 以上时，应采用串联文氏管系统。其系统图见图1-1和图1-2。图1-1的系统是我国宝钢1号和2号高炉和首钢2号高炉采用的系统。我国新建的高炉和国际上近来建

成的高炉也都是采用这种系统。图 1-2 所表示的系统是不建余压发电时所采用的系统，在国际和国内（如鞍钢4号高炉）均有采用的。图 1-3 所表示的系统是较落后的系统，国内外新建大型高炉已不再用此系统，我国大部分大型高炉（如鞍钢、武钢、包钢、攀钢等）还在用此系统。

大型高炉也有干法除尘系统，在日本、芬兰已用于工业上的有干式布袋除尘和干式电除尘系统，此系统将在后面有关部分进行介绍。

（二）中小型常压高炉煤气清洗工艺流程

1. 当高炉炉顶压力经常保持在 0.2kgf/cm^2 以下时，一般采用塔后调径文氏管或塔前溢流定径文氏管电除尘系统，见图1-4, 5, 其中文氏管仅作为预精洗设备。塔前溢流定径文氏管系统与塔后调径文氏管相比，在相同操作条件下，可以减少煤气洗涤污水的处理量和煤气冷却塔的容积，但溢流文氏管的喉口在较高的气流速度下易于磨损，需采取一定的耐磨损措施。

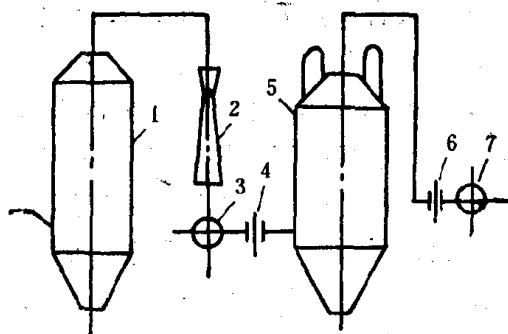


图1-4 塔后调径文氏管电除尘系统

1. 洗涤塔 2. 调径文氏管 3. 半净煤气总管 4. 叶形插板 5. 电除尘器 6. 叶形插板 7. 净煤气总管

2. 当高炉炉顶压力经常在 0.2kgf/cm^2 以上时, 如煤气只供热风炉、锅炉使用, 一般采用串联调径文氏管系统或塔后调径文氏管, 见图1-5和1-6, 如需进一步提高煤气质量供焦炉或经混合加压站供轧钢使用时, 宜设电除尘器。

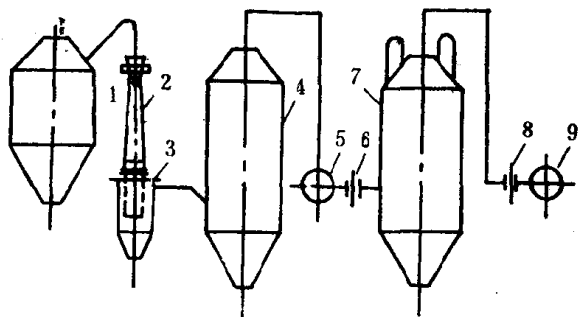


图1-5 塔前溢流定径文氏管电除尘器系统

1. 重力除尘器 2. 溢流文氏管 3. 脱泥器 4. 冷却塔 5. 半径煤气管 6. 叶形板插 7. 电除尘器 8. 叶形插板 9. 净煤气管

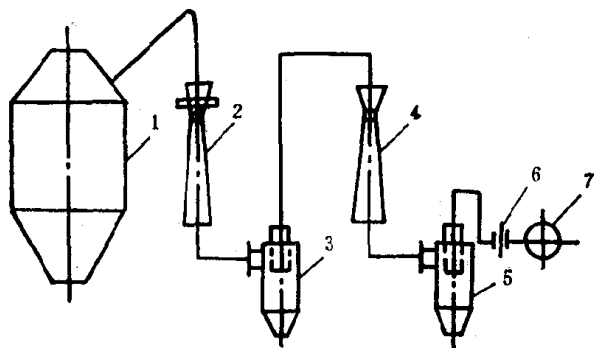


图1-6 常压串连调径文氏管系统

1. 重力除尘器 2. 溢流文氏管 3. 旋风脱泥器 4. 调径文氏管
5. 旋风脱水器 6. 简易热胀式插板 7. 净煤气管

第三节 高炉煤气清洗设备

一、粗除尘设备

重力除尘器 重力除尘器是一种干式除尘器，它是利用惯性力使固体颗粒与气体分离，固体颗粒与高炉煤气从除尘器顶进入，固体颗粒受重力及气体推动，向下运动，到达器

底部时，气体以 180° 转弯，向上升起，固体颗粒由于质量较大，其动量也大，不象气体那样容易转弯向上，因而直落器底，进入灰斗内，从而实现气固分离。

为了提高重力除尘器的效率故要求：

1. 流速小于或等于 1m/s ；

2. 除尘器下部灰斗要有足够的容积，以避免灰斗中灰面距中心管出口太近，因而炉尘被气流带走。我国大多数高炉皆用重力除尘器。

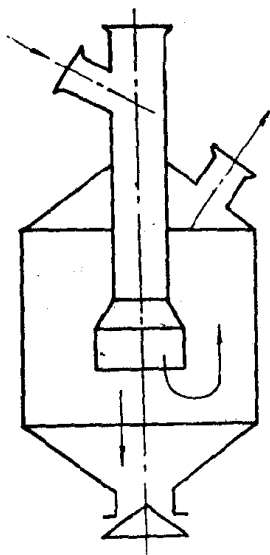


图1-7 重力除尘器

重力除尘器的结构如图1-7所示。

二、湿式半精洗除尘设备

洗涤塔 洗涤塔是高炉煤气清洗系统中的第二级除尘设备，第一级是重力除尘器，根据高炉炉顶压力制度可分为高