

炼钢转炉烟气的回收利用技术

环境工程治理技术丛书

炼钢转炉烟气的 回收利用技术

国家环境保护局 科技标准司
环境工程科技协调委员会 主持

中国环境科学出版社

76.16523

中国环境科学出版社



内 容 简 介

本书主要收入了从国外引进的宝钢转炉烟气净化回收的OG法技术和冶金部建筑研究总院冶金环保所消化移植创新的OG法技术以及干式静电除尘净化技术。适合于从事环保工作的工程技术人员、环保管理干部、大专院校环保专业的师生等参阅。

环境工程治理技术丛书 炼钢转炉烟气的回收利用技术

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

成立良 王忠智 沙博辉 编

魏宗华 吴振国 审

责任编辑 高速进

中国环境科学出版社出版

北京崇文区北岗子街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 1/8 插页 1

印数 1-2 000 数字 91 千字

ISBN 7-80010-690-X/X 377

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	藏玉祥	
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，可以避免环保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。承担编写和审核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 绪 论	(1)
第一节 转炉钢所占比例及烟气来源	(1)
第二节 转炉烟气的特点及其组成	(1)
第三节 转炉烟气的治理现状与技术水平	(2)
第四节 各国转炉煤气回收利用技术概况	(4)
第二章 回收利用转炉烟气的 OG 法	(6)
第一节 转炉烟气净化与回收工艺流程	(7)
第二节 技术参数	(9)
第三节 高温烟气冷却与蒸汽回收装置	(16)
第四节 主要设备	(29)
第五节 活动烟罩的升降动作	(45)
第六节 自控与检测项目	(46)
第七节 安全措施	(48)
第三章 转炉烟气 OG 法除尘污水的处理	(50)
第一节 OG 装置用水要求	(50)
第二节 OG 装置循环水处理系统	(50)
第三节 主要设备选择及其构筑物设计	(53)
第四章 我国的转炉煤气回收技术	(79)
第一节 上钢三厂转炉煤气回收系统	(80)
第二节 主要技术及设备	(85)
第三节 转炉除尘洗气水的处理	(102)
第五章 转炉炼钢烟气的干法回收利用	(109)

第一节	OG 法与LT法的比较	(110)
第二节	LT 法的圆形静电除尘器	(110)
第三节	LT 法的工艺流程	(110)
第四节	钢厂对回收设备的需求	(116)
第五节	设备的运行效果	(116)

第一章 绪 论

第一节 转炉钢所占比例及烟气来源

吹氧炼钢转炉已成为世界各国广泛采用的炼钢工具，采用高炉铁水和吹氧转炉炼钢已成为世界范围内主要的炼钢工艺。1984年，用吹氧转炉炼的钢，占全世界粗钢总产量的59%。在我国，1986年产钢总量为5200万吨，其中转炉钢为2800万吨，占产钢总量的54%。南朝鲜1986年共产粗钢1456万吨，其中转炉钢为953万吨，占其总产钢量的65%强。

转炉在吹氧冶炼期，产生含有大量一氧化碳(CO)、含铁粉尘的高温烟气，如不治理与回收，既污染环境和危害人体，又浪费能源与资源。

第二节 转炉烟气的特点及其组成

转炉烟气中含有大量的CO，如果采用未燃法，一氧化碳在烟气中的含量随着吹炼时间的增加而增加，达到高峰后又渐渐地降下来，含量最高可达到90%，平均70%左右。当CO含量在60%左右时，其热值可达到 $8000\text{kJ}/(\text{N})\text{m}^3$ (合 $2000\text{kcal}/(\text{N})\text{m}^3$ ^[1])，烟尘中的含铁量也在70%上下。CO₂在转炉(未燃法)烟气中，一般含10%左右。转炉烟气的温度为1450℃，最高可达到1600℃。

转炉烟气成分(体积%)的测定值: CO 72.5%, H₂ 3.3%, CO₂ 16.2%, N₂ 8.0%, O₂ 0.0%。

转炉烟尘含全铁 Fe 71%, 其中金属 Fe 13%、FeO 68.4%、Fe₂O₃ 6.8%, SiO₂ 1.6%, MnO 2.1%, CaO 3.8% MgO 0.3%, C 0.6%。这是宝钢的分析数据, 但其有代表性。

第三节 转炉烟气的治理现状与技术水平

我国每年产生的转炉烟气大约有 17 亿 m³, 其中可作为煤气(能源)回收利用的有 13 亿 m³, 而目前实际回收利用量为 3.2 亿 (N)m³, 只占可回收量的 24.6%。

根据对 26 家重点钢铁企业和中型骨干钢铁企业的统计, 1986 年, 这 26 家企业有 13t 以上的吹氧转炉 76 座, 其中有 9 家企业已进行了煤气回收(包括 3 家试回收企业); 还有 8 家企业基本上具备了转炉煤气回收的能力。9 家企业 18 座转炉在 1986 年回收的 3.2 亿 (N)m³ 煤气, 平均的回收量为 46.4(N)m³/t 钢(其中宝钢为 81.5(N)m³/t 钢, 上钢三厂为 80(N)m³/t 钢, 这是国内先进水平, 其余的厂平均回收量为 22.2~33.4(N)m³/t 钢)平均热值估计只有 5600kJ/(N)m³。

在国内领先的宝钢, 其回收的煤气的热值为 8400 kJ/(N)m³。宝钢 1987 年平均回收的煤气量已达 89(N)m³/t 钢。日本 1985 年回收量为 100(N)m³/t 钢, 1988 年已达到 140(N)m³/t 钢, 其煤气热值为 8371kJ/(N)m³。我国在吨钢回收煤气量方面, 与发达的日本相比, 差距还比较大。

转炉煤气回收的状况与技术水平, 实际上反映了对转炉烟气的治理状况与水平。就治理与回收技术水平而言, 引进

的宝钢回收技术，属于世界 80 年代初的水平，而经冶金部建筑研究总院冶金环保所消化移植的宝钢转炉煤气净化回收的成套技术，1986 年就在上海第三钢铁厂三座 25t 转炉上成功地开始了生产运行，就技术水平而言，比国外低不了多少，但就吨钢回收煤气量的指标而言，却有一段差距。

我国与世界工业发达国家相比，主要差距是对转炉炼钢烟气中的总能（显热与潜热）的回收率低。多数企业还没有进行煤气回收，即使已在回收煤气的企业，除宝钢与上钢三厂是用成龙配套的 OG 系统外，其余企业都还不配套（有的正在进行配套建设），有的企业是工人凭经验在进行回收操作。

1987 年冶金工业部发出了限期回收转炉煤气的通知以后，有为数不少的一批企业，正在筹建及兴建煤气回收设施，前景是令人乐观的。

回收利用转炉煤气是日本人首先开始的，这同日本能源缺乏有很大关系。

日本人 1962 年就在八幡钢厂安装了一套小型的转炉煤气回收装置，这实际上就是 OG 法（湿法）回收的最初阶段。至今 20 多年过去了，20 多年来，由于保护环境与回收利用能源、资源的三重要求，转炉煤气的回收工作已在世界范围内普遍展开，世界大多数大型转炉炼钢厂都已有了煤气回收设施，或至少也在考虑增建煤气回收设施。

尽管转炉煤气回收利用是从能源缺乏的日本开始的，但真正促成世界范围内兴建转炉煤气回收设施的普遍趋势，还是 70 年代中期的能源危机。因能源的紧张，促使人们去挖掘与利用能源。

第四节 各国转炉煤气回收利用技术概况

世界上各工业发达国家，大多回收转炉煤气。在回收转炉煤气的技术水平方面，要数日本与西德最高，其次是法国、苏联，我国与苏联的水平相当。美国至今不回收转炉煤气，因为他们能源不紧张，并认为回收转炉煤气投资大、不合算。

60年代初期，我国开始采用顶吹氧气转炉的炼钢技术。当时只对转炉产生的烟尘污染环境的问题给予了应有的重视，但对有害气体一氧化碳的回收利用问题，没有予以重视^[2]。

通过实践，人们认识到按燃烧法设计的转炉烟气处理系统，利用显热效率低，且使废气量大为增加。这就意味着要有占地更多的庞大的除尘系统，投资费用将成倍地增加，运转费也昂贵，除尘系统的能耗也高^[2]。于是，日本与其他工业发达国家推出了未燃法转炉炼钢先进工艺，回收转炉煤气，合理地利用废气中的化学能（ $\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{能量}$ ）和显热及含铁粉尘。这一工艺，被认为是回收利用能源（因其开创了负能炼钢的历史）、保护环境的最佳方案^[2]。

但实际上，当前世界上对转炉烟气的处理方法有两类，一类是湿法处理，另一类是干法处理。湿法处理方法有法国的 I-C 法（敞口烟罩）、德国的 KRUPP 法（双烟罩）和日本的 OG 法（单烟罩）三种。这三种处理工艺都是未燃法湿式系统。而日本的 OG 法由于技术先进，运行安全可靠，目前已成为世界上最广泛地采用（目前世界范围内采用 OG 法的钢铁厂已逾 200 家，这个数目是其他任何方法无与

伦比的)的转炉烟气处理方法,其他两种湿式法在新建钢铁厂中极少采用^[3]。能与OG法分庭抗礼的只有西德鲁奇-蒂森公司推出的干式电除尘法,在世界范围内采用鲁奇公司干式电除尘法的钢铁厂也已逾40家。

我国宝山钢铁总厂300t级大型纯氧顶吹转炉的烟气处理系统就是引进了日本的OG法;而鞍山钢铁公司与钢铁研究总院等4单位联合,正在着手引进西德氧气顶吹转炉(3×100t)干法除尘技术;而武汉钢铁公司与武汉安环院联合,拟引进西德的50以下的氧气顶吹转炉干法除尘技术,现(1988·5)已出国考查。本文对两个方法将分别予以介绍。但由于冶金工业部组织科研力量对宝钢引进的OG法进行了重点的消化移植,并取得了成功,且在上海第三钢铁厂3座25t转炉上已正式投运近两年了,证明方法安全可靠,回收的煤气热质高,且量比较大,经济效益也好。并且此法是国内回收转炉煤气最先进的方法,因此,本文将作重点介绍。

第二章 回收利用转炉烟气的 OG 法

宝山钢铁总厂炼钢厂是由日本新日铁承担总体设计，并提供成套技术设备。该钢厂设有 3 座 300t 氧气顶吹转炉，采用“三吹二”工作制，年产钢水量为 671 万 t。钢种大多为钢管、型钢及钢板。最终阶段镇静钢比为 65.3%，连铸比为 47%，优质钢比约为 61%，低合金钢比约为 22%。

宝钢炼钢厂采用的是日本 OG 装置净化回收转炉煤气。所谓 OG 装置，是指炉气在未燃状态下得以净化回收，并且通过活动烟罩的下降和炉口微差压调节装置来完成，使炉气在回收过程中尽量不燃烧或少燃烧，即把 CO 的燃烧率降到最低(力求控制在 10% 以下)。为此，活动烟罩与转炉炉口外壁最狭缝隙不大于 50mm；同时，用活动烟罩上方设置的微差压装置，调节第二级文氏管的开度，并且和带有液力偶合器调速装置的抽风机联锁，控制烟气不从炉口外流。

转炉自投产两年多以来，炉口与裙罩之间的缝隙处，一般处在微正压状态下操作，一氧化碳浓度一般都在 60% 以上。转炉回收的煤气成份见表 2-1。

转炉烟气冷却装置是根据日本新日铁已有的实际生产水平，分别对转炉烟罩和裙罩采用热水密闭循环冷却系统；对转炉烟气则在烟道内采用强制循环汽化冷却系统，以回收高压蒸汽，所回收的蒸汽的参数如下：

蒸汽压力 $40 \times 10^5 \text{Pa}$

表2-1 转炉煤气成分

成 分	CO	CO ₂	N ₂	H ₂	O ₂	煤气热值 [kJ]/(N)m ³
比例(%)	55~65	17~22	17~28	少量	微量	6280~8374

蒸汽温度 250℃

蒸汽量 平均 10t/h, 瞬时最大值 80t/h

对含铁量70%以上的烟尘, 则从除尘污水中沉淀、脱水后, 作为炼铁用的烧结小球团的原料加以回收。

宝钢炼钢厂的 OG 系统, 是由日本新日铁总设计, 日本川崎重工制造的。总重量为 9815t, 约占炼钢厂引进设备总重量的 27%, 投资为 3721.4 万美元, 约占炼钢厂总投资的 21.1%。具有 80 年代初的世界先进水平。

此外, 对转炉兑铁水、出钢及排渣时产生的二次烟尘和铁水处理系统所散发的烟尘, 则采用大型布袋除尘器(配有大风量风机)进行净化处理。

第一节 转炉烟气净化与回收工艺流程

OG 装置主要由烟气冷却系统、烟气净化系统以及其他附属设备所组成, 其设备流程见图 2-1。

烟气净化系统包括两级文氏管洗涤器和附属的 90°弯管脱水器及挡水板水雾分离器等设备。

第一级文氏管采用手动可调喉口形式, 在此级文氏管内, 1000℃ 的烟气从下部进入, 而水从上部淋下, 逆流洗涤, 烟气温度降至饱和温度 75℃, 并得到粗除尘。

第二级文氏管采用 R-D 形式(系 RICE BALL-DAM-

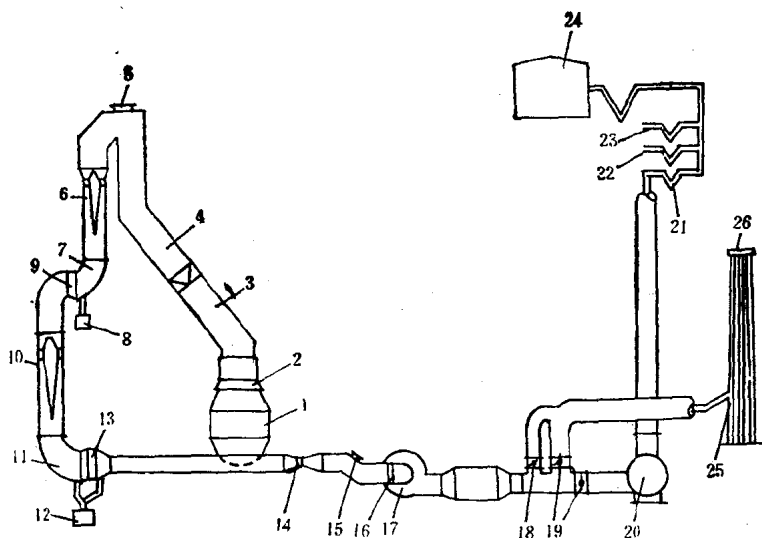


图2-1 OG装置设备流程

1—转炉；2—活动裙罩；3—固定烟罩；4—汽化冷却烟罩；
5—上部安全阀；6—第一级手动可调文氏管；7—第一级弯管
脱水器；8—排水水封槽；9—水雾分离器；10—第二级 R-D
文氏管；11—第二级弯管脱水器；12—排水水封槽；13—挡水板
水雾分离器；14—文氏管流量计；15—下部安全阀；16—风
机多叶启动阀；17—引风机及液力耦合器；18—旁通阀；
19—三通切换阀；20—水封逆止阀；21—V 型水封阀；22—
接2号 OG 装置；23—接3号OG装置；24—煤气贮柜；25—煤
气放散塔；26—点火装置

PER 的缩写)，由炉口微差压装置对二级文氏管的喉口的开度进行自动调节，以适用烟气量的变化，控制波动的烟气高速通过喉口，进行精除尘。二文后的烟气温度继续下降，一般降到 67°C 左右。

烟气经两级文氏管洗涤净化降温后，均通过 90° 的弯管脱水器进行脱水。为进一步分离烟气中的剩余水分，在 R-D

文氏管的 90° 弯管脱水器后再增设挡水板水雾分离器。净化后的烟气再通过文氏管型的流量计，由引风机排出。

排出烟气与回收煤气是由时间程序控制装置控制气动三通切换阀进行自动切换。来实现回收与放散。通常吹氧初期与末期一氧化碳浓度不高，三通阀切向排放档，由放散塔顶端燃烧后排入大气。在吹氧的中期，因烟气中一氧化碳含量高，煤气经水封逆止阀和V型水封阀送入煤气柜贮存备用。煤气柜为全干式橡胶密封型，容量为 8万m^3 。

放散时，水封逆止阀切断，以防煤气柜内的煤气回流。放散的煤气也是经净化后由高 80m 的放散塔点火燃烧后放散。

为节约用电，转炉除尘的引风机用液力偶合器进行调速，在非吹炼期引风机降速运行。表 2-2 是冶炼周期时间分配表。

表2-2 冶炼周期时间分配表 (单位: min)

冶 炼 周 期: 36			
吹 炼 期: 16			非吹炼期: 20
前 期 5	回收期 9	末 期 2	包括兑铁水、出钢等程序
引风机转速: 1430r/min			

第二节 技术参数

一、烟气量的变化与计算

转炉吹炼时所产生的烟气量是随时间而变化的，图 2-2

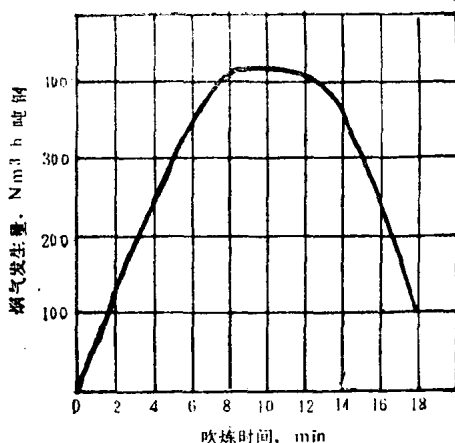


图2-2 转炉吹炼期烟气量变化曲线

是日本人在某一试验炉上所测得的转炉吹炼期烟气量的变化曲线。

从图2可见，在吹炼初期和后期烟气发生量较低，在中期，由于炉内铁水温度升高，烟气量急剧增大。因此，在设计中必须按最大烟气量进行计算，并以此作为选取引风机的依据，其计算过程如下：

(一) 供氧量

吹氧量 $70000(\text{N})\text{m}^3/\text{h}$

铁矿石用量 $45\text{kg}/\text{t}$ 钢

加矿石时间 9min

矿石含氧量 $0.19(\text{N})\text{m}^3/\text{kg}$

炉容量 300t

一氧化碳燃烧率 10%

$$\begin{aligned}\text{总供氧量为 } & 70000 + 0.19 \times 45 \times 300 \times 60 \div 9 \\ & = 70000 + 17100 = 87100\text{m}^3/\text{h}\end{aligned}$$