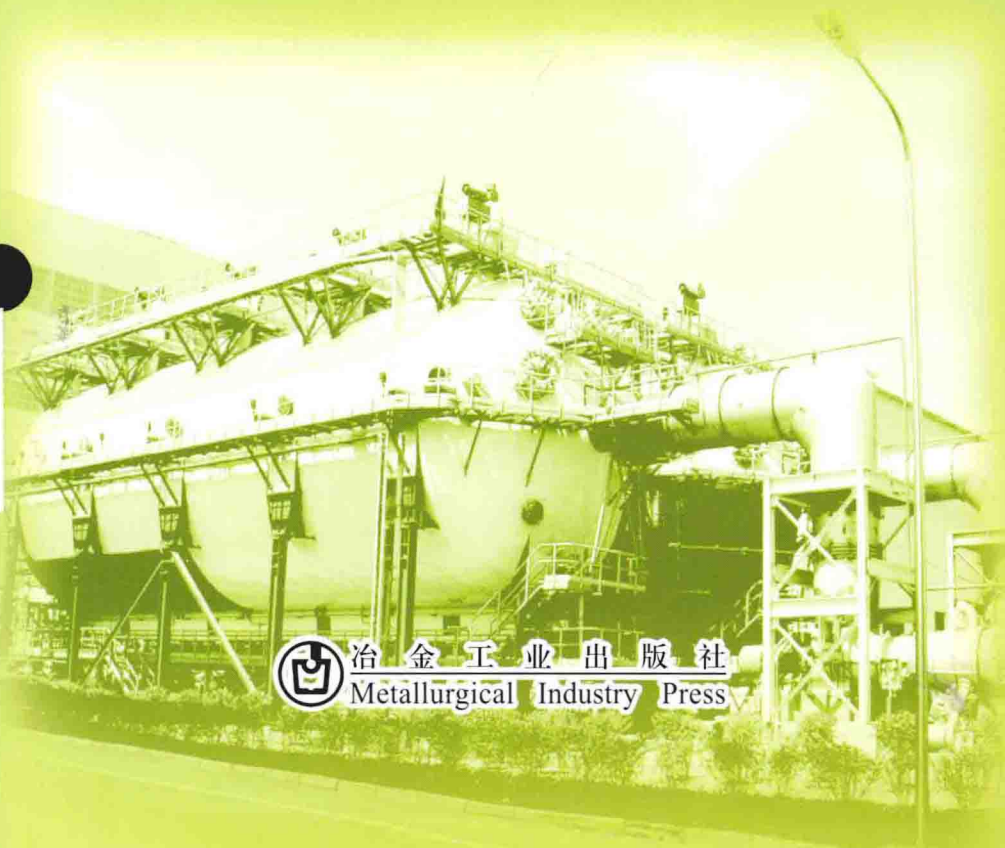


冶金工业节能与环保丛书

转炉烟气 净化与回收工艺

马春生 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



冶金工业节能与环保丛书



转炉烟气 净化与回收工艺

马春生 编著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2014

内 容 提 要

本书共分十章,包括转炉炼钢的特点及烟气净化与回收的意义、转炉烟气与烟尘的产生及特征、转炉烟气净化与回收系统的组成、转炉烟气净化与回收工艺的发展、转炉烟气收集及余热回收部分的主要设备、转炉烟气净化的理论及主要设备、转炉煤气回收部分主要设备、煤气回收的工艺、转炉水质净化及污泥回收系统、典型转炉烟气净化与回收工艺流程等内容。书中对各种转炉烟气净化与回收工艺进行了较系统的介绍和详细的对比,收集了大量的现场数据和生产规程及文件,既有基础理论知识,又有现场实际操作经验。

本书可供从事转炉炼钢生产的工程技术人员和操作者参考,也可用作大中专院校、职业技术学院的教材。

图书在版编目(CIP)数据

转炉烟气净化与回收工艺/马春生编著. —北京:冶金工业出版社, 2014. 3

(冶金工业节能与环保丛书)

ISBN 978-7-5024-6517-9

I. ①转… II. ①马… III. ①转炉炼钢—烟气—净化
②转炉炼钢—烟气—回收 IV. ①X75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 044172 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 yjchs@cnmip.com.cn

策划编辑 任静波 责任编辑 李 梅 李 臻 美术编辑 吕欣童

版式设计 孙跃红 责任校对 禹 蕊 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6517-9

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京慧美印刷有限公司印刷

2014 年 3 月第 1 版, 2014 年 3 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 16 印张; 309 千字; 237 页

46.00 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)

节能环保

之道

殷瑞钰

2013.12.12.

出版者的话

当前，全球能源资源紧缺已成为人类经济社会发展面临的重要挑战。以应对气候变化等全球性问题为契机，各国都在推行绿色经济、低碳经济，来抢占未来科学技术的制高点，节能环保则成为调整经济结构、转变经济发展方式的内在要求。我国正处在经济结构调整的关键时期，在追求低碳与经济协同发展的背景下，节能环保无疑具有巨大的优势和发展前景。冶金工业是国民经济的基础产业，是国家经济水平和综合国力的重要标志。近十年来，我国冶金工业发展迅速，钢生产量、消费量名列世界第一。但同时，冶金工业也是一个高耗能、高污染的产业，是节能与环保潜力最大的行业之一。“十二五”规划时期，我国经济仍将持续增长，工业化、城市化步伐进一步加快，是冶金工业优化升级，发展节能与环保，实现由大变强的重要时期，必须紧紧抓住国内国际环境的新变化、新特点，顺应世界经济发展和产业转型升级的大趋势，着眼于满足我国节能减排、发展循环经济和建设资源节约型环境友好型社会的需要，推行清洁生产，促进节能降耗、环境保护和资源综合利用，推进冶金、焦炭、化工各产业间融合发展，提高产业关联度，实现可持续发展。

近年来，我国高度重视节能环保工作，陆续出台了推进节能环保的一系列政策措施，《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》明确提出“节能环保产业”作为七大战略性新兴产业发展之首，重点发展高效技能、先进环保、资源循环利用关键技术装备、产品和服务。《工业节能“十二五”规划》中将钢铁行业的节能减排放在首位，虽然近十几年来，钢铁工业在粗钢产量逐渐增加的情况下，吨钢能源逐年下降，钢铁行业在节能与环保方面取得了令人瞩目的成绩，但同时我国钢铁行业能耗、环保与国外先进水平的差距依然较大。因此，采取有效措施，

进一步实现钢铁行业的节能与环保迫在眉睫。中央和地方也投入了大量资金，为节能环保产业加快发展创造了良好的外部环境，发挥了积极推动作用。

但是我们不难发现，我国节能环保工作存在的问题也日益凸显，如产业政策、法律法规标准体系不够完善，创新能力不足，企业发展不平衡，相关企业没有给予足够重视等，这些问题必须妥善解决，否则将会阻碍我国节能环保工作的健康发展。为此，冶金工业出版社策划出版《冶金工业节能与环保丛书》，组织冶金工业节能与环保方面的专家、学者，有针对性、系统性地对该领域的最新科研进展以及技术成果进行归纳总结，拟分别陆续出版《烧结过程二噁英类排放机制及其控制技术》《烧结烟气排放控制技术及其工程应用》《冶金渣资源化——选择性析出分离技术及其应用》等一系列图书。本套丛书力争做到技术先进，有实用性和针对性，实例具有代表性，层次结构科学、合理，语言通俗易懂。我们期望这套丛书的出版发行能为广大读者提供高水平的、有指导和参考价值的著作，同时也能进一步促进我国冶金工业节能与环保的发展。

由于《冶金工业节能与环保丛书》内容涉及面较宽，编写工作量大，且经验不足，不妥之处在所难免，请读者批评指正。

序



氧气顶吹转炉炼钢是当今世界最主要的炼钢方法（以下简称转炉炼钢），我国90%的粗钢是用转炉生产的。尽管这种炼钢方法诞生才60多年，但是技术不断完善和快速进步，使人们刮目相看。它已成为各种炼钢方法中的佼佼者。

炼钢工作者不仅要炼出国民经济建设中需要的合格钢种，而且也要同步做好在炼钢过程中的相关工作。转炉烟气净化与回收、余热回收等就是这一领域的具体工作。这一工作对转炉正常生产、节能减排、环境保护、余能利用、安全生产、循环经济等十分重要，因此，炼钢工作者历来就把它当做重中之重。正因为如此，此项工作的科技成果、科技进步也非常显著。作者马春生教授级高工就是从事这一工作的一员，他长期从事转炉炼钢工作，特别是对转炉烟气净化与回收、转炉余热回收等有几十年的工作实践，积累了丰富的经验，锲而不舍地进行理论探索，形成了自己的见解、工作思路，造诣很深，为这本书的编著奠定了坚实的基础。作者将本书共分成：转炉炼钢烟气净化与回收的意义，烟气产生及特征，烟气净化回收系统的组成，烟气净化与工艺的发展，烟气收集及余热回收系统的主要设备，烟气净化的理论及主要设备，烟气回收系统主要设备，烟气回收工艺，转炉水质净化处理及污泥回收系统，典型转炉烟气净化与回收工艺流程十个章节，完成了他对《转炉烟气净化与回收工艺》这本书的编写。本书内容丰富、全面、实践性强、有预见性（事故）、可操作性强等，作者把多年的工作经验进行了系统的总结和理论分析，对生产中可能发生的事故隐患进行了提醒和预测，因此，读者虽然有不同需求，但基本上都能

够从书中找到自己需要的东西。

1985年作者在当时的冶金部组织下编写了《转炉烟气净化与回收工艺（中级本）》，至今已有近30年，如今那本书已不能满足现代转炉炼钢的要求，而目前对于“新OG法”“干法”“半干法”等一批新的科技成果，均没有系统介绍的专业书籍，使从事这方面的科技人员、高校师生、炼钢工作者无参考资料查阅，因此，本书的出版，无疑是件喜事和乐事。

作者作为炼钢专家，利用工作之余，把自己多年积累的工作经验进行了系统的梳理及分析总结，在原中级本《转炉烟气净化与回收工艺》的基础上与时俱进地进行了修改、补充、完善，使之更能满足广大读者的需要。我们应该学习作者这种小成于勤、中成于智、大成于德、终成于道的进取精神，把自己总结的工作经验毫无保留地奉献给同仁，使从事这方面的设计人员和高校及职业技术学院师生，特别是炼钢厂的工程师们，有了一本可查阅的资料，他们也与我一样从内心感谢作者。

众所周知，写书不容易，而写专业书更不容易！由于科学性、数据的真实性、可靠性不仅要经得起实践的考验，也得经得起时间的考验、理论的推敲与验证，难免有其局限性或争议性，作者水平再高也难免在广大读者面前“现丑”，所以我真诚地吁请广大读者，以感谢、包容的心情去阅读！形成一种大家愿意写书、肯写书，尽管辛苦、劳累，也愿意把自己积累的知识留给后人的社会风气。



2013年12月31日

前 言



目前,我国的产钢能力已达到9亿吨,其中90%以上是转炉钢。转炉烟气净化与回收系统是转炉炼钢工艺系统中的重要组成部分,它的工艺流程形式和设备运行状态直接关系到转炉炼钢的生产效率、能源消耗、生产安全、环境保护、循环经济和生产成本。在当前钢的产能过剩、环保要求严格、能源十分紧张、市场竞争激烈的形势下,选择合理的烟气净化与回收工艺是炼钢工作者的重要课题。

从20世纪70年代开始,我国的转炉炼钢就蓬勃发展起来了。随着转炉炼钢技术的不断进步,转炉烟气净化与回收工艺也在不断地改进。但是,有关转炉烟气净化与回收工艺的书籍却很少,只有一本1975年冶金工业出版社出版的《氧气转炉烟气净化与回收设计参考资料》,在有关转炉炼钢的教材和丛中仅有个别章节简单地描述了一些转炉烟气净化与回收工艺和设备。作者本人1985年在当时冶金工业部组织下编写并出版的一本《转炉烟气净化与回收工艺(中级本)》,也早已过时。对于近年来开发出的“新OG法”“干法”“干湿结合法”等转炉烟气净化与回收工艺,更没有系统介绍的书籍,特别是缺少适合于现场工程师和操作者使用的书籍。

本书是作者在1985年出版的《转炉烟气净化与回收工艺(中级本)》基础上,根据转炉烟气净化与回收工艺的发展现状,查阅了大量的文献和资料,考察了国内许多炼钢厂的烟气净化与回收工艺及操作实践之后编成的。特别是突出了现场的实用性,以望在指导现场生产实践中尽微薄之力。

本书在编写过程中充分考虑到不同类型转炉炼钢厂的需要,特别

是那些为满足严格的环保要求而进行系统改造的老厂的需要，对当今流行的烟气净化方式进行了认真的探讨。在如何提高煤气回收热值和回收量以及充分回收和利用尘（泥）等方面也提出一些可供选择的方法。本书考虑到现场工程技术人员和操作者的需要力求做到深入浅出，通俗易懂，理论联系实际。

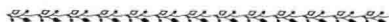
编写本书时参阅了有关转炉烟气净化与回收工艺等方面的文献，在此向有关作者表示衷心感谢。

在本书审、校过程中，本溪钢铁集团公司张鑫工程师给予了大力帮助，在此一并致谢。

由于本人水平和经验有限，有不当之处，敬请读者批评指正。

作 者
2013 年 12 月

目 录



1 绪论	1
1.1 转炉炼钢的特点	1
1.2 转炉炼钢烟气净化与回收的意义	2
1.2.1 保证转炉炼钢工艺设备的正常运行	2
1.2.2 净化处理与环境污染的关系	2
1.2.3 回收蒸汽和煤气降低炼钢能耗	3
1.2.4 回收烟尘	4
参考文献	5
2 转炉烟气与烟尘的产生及特征	6
2.1 纯氧顶吹转炉炼钢的基本原理	6
2.1.1 转炉炼钢的基本任务	6
2.1.2 吹炼中熔池的温度变化	6
2.1.3 吹炼中熔池化学成分的变化	7
2.2 烟气的温度	8
2.3 转炉炉气量	9
2.3.1 炉气量的计算	9
2.3.2 影响炉气量的因素	12
2.3.3 烟气量变化的规律	13
2.4 烟气成分	13
2.5 烟尘的性质	15
2.5.1 烟尘的组成	15
2.5.2 烟气含尘量	15
2.5.3 烟尘的粒度	15
参考文献	16
3 转炉烟气净化回收系统的组成	17
3.1 转炉烟气净化与回收系统的基本工艺流程	17

3.2 烟气收集部分	18
3.3 烟气冷却部分	18
3.4 烟气净化部分	18
3.5 余热回收部分	19
3.6 煤气回收部分	19
3.7 污水及泥浆处理部分	20
4 转炉烟气净化与回收工艺的发展	21
4.1 燃烧法	21
4.2 未燃烧法	21
4.3 燃烧法与未燃法的比较	22
4.4 全湿式烟气净化回收的工艺	23
4.4.1 IC 法	23
4.4.2 OG 法	23
4.4.3 新 OG 法	24
4.5 干式烟气净化回收工艺	25
4.5.1 鲁奇 (LT) 法	26
4.5.2 西门子 (DDS) 法	27
4.5.3 西马克第二代干式电除尘法	27
4.6 干湿结合式转炉烟气净化回收系统	28
4.7 湿法、干法、半干法转炉烟气净化回收工艺的对比	29
参考文献	31
5 转炉烟气收集及余热回收部分的主要设备	32
5.1 烟罩	32
5.1.1 活动烟罩	32
5.1.2 固定烟罩	37
5.1.3 烟罩的结构	38
5.2 烟道	38
5.2.1 汽化冷却烟道的作用	38
5.2.2 烟道的结构	38
5.2.3 汽化冷却器的组成	38
5.3 除氧器	41
5.3.1 除氧器的工作原理	41
5.3.2 除氧器的构造	41

5.4	汽包	43
5.4.1	汽包的作用	43
5.4.2	汽包的结构	44
5.4.3	汽包的工作原理	44
5.4.4	汽包的维护	45
5.5	蓄热器	46
5.5.1	蓄热器的作用	46
5.5.2	蓄热器的工作原理	46
5.5.3	蓄热器的构造	47
5.6	水泵	48
5.6.1	离心泵	48
5.6.2	热水泵	51
5.6.3	泥浆泵	52
5.7	汽化冷却及蒸汽回收系统的循环	52
5.7.1	循环的工作原理	52
5.7.2	系统的排污	53
5.8	转炉烟气收集及余热回收系统的生产准备	53
5.8.1	系统保温	54
5.8.2	挂“指示牌”	54
5.8.3	系统的清洗	54
5.8.4	系统的水压试验	55
5.8.5	余热锅炉煮炉	56
5.8.6	余热锅炉洗炉	57
5.9	转炉烟气收集及余热回收系统的运行操作	58
5.9.1	运行前的准备	58
5.9.2	运行中的操作	58
5.9.3	蓄热器的运行操作	59
5.9.4	给水泵的运行操作	59
5.9.5	除氧器的运行操作	60
5.9.6	软水泵和软水箱的运行操作	60
5.9.7	运行中注意事项	60
5.9.8	设备清扫	61
5.10	转炉烟气收集及余热回收系统的事故处理	61
5.10.1	循环水泵化汽	62
5.10.2	给水泵化汽	62

5.10.3	蓄热器满水	62
5.10.4	除氧器减水	63
5.10.5	锅炉轻微缺水和轻微满水处理	63
5.11	紧急停炉事故	63
5.11.1	锅炉严重缺水	63
5.11.2	锅炉严重满水	64
5.11.3	锅炉严重漏水	64
5.11.4	紧急停炉原因	65
5.12	锅炉漏水及处理	65
5.12.1	锅炉漏水的危害	65
5.12.2	锅炉漏水的原因分析	66
5.12.3	锅炉漏水的事故处理	66
5.13	转炉烟气收集及余热回收系统循环泵的维护和检修	67
5.13.1	运行中注意事项	67
5.13.2	汽化冷却系统设备维护规程	67
5.13.3	泵检修规程	68
	参考文献	70
6	转炉烟气净化的理论及主要设备	71
6.1	烟气净化的理论基础	71
6.1.1	密度差的利用	71
6.1.2	利用凝聚方法促进烟尘颗粒长大	71
6.1.3	利用重力沉降和离心沉降	72
6.1.4	利用静电除尘	72
6.2	文氏管	72
6.2.1	文氏管除尘降温原理	72
6.2.2	文氏管的结构及主要几何参数选择	73
6.2.3	文氏管的分类	74
6.2.4	定径文氏管	75
6.2.5	可调喉口文氏管	76
6.2.6	文氏管箱	79
6.3	喷水装置	80
6.3.1	喷嘴的分类	80
6.3.2	常用的喷嘴	82
6.3.3	喷嘴对水质的要求	83

6.4	蒸发冷却器	83
6.4.1	蒸发冷却器的工作原理	84
6.4.2	蒸发冷却器的结构	84
6.4.3	蒸发冷却器出口温度	88
6.5	静电除尘器	93
6.5.1	静电除尘器的工作原理	93
6.5.2	静电除尘器的构造	95
6.5.3	圆筒形静电除尘器本体的设计质量要求	95
6.5.4	圆筒形静电除尘器的安装质量要求	99
6.5.5	影响静电除尘效率的因素	101
6.5.6	静电除尘器的主要技术参数	106
6.6	离心除尘器	107
6.6.1	旋风除尘器	107
6.6.2	平面旋风除尘器	107
6.7	脱水装置	108
6.7.1	重力脱水器(灰泥扑集器)	108
6.7.2	撞击式脱水器	109
6.7.3	离心脱水器	111
6.7.4	平旋脱水器	112
6.7.5	复式挡板脱水器	112
6.7.6	叶轮旋流脱水器	112
6.8	洗涤塔	113
6.8.1	溢流快速洗涤塔	113
6.8.2	快速空心洗涤塔	114
6.8.3	低速空心洗涤塔	114
6.8.4	湍动塔	114
6.8.5	煤气冷却器	115
6.8.6	高效喷淋塔	115
	参考文献	117
7	转炉煤气回收部分主要设备	118
7.1	煤气引风机	118
7.1.1	D18-风机	118
7.1.2	ID 风机	120
7.1.3	风机的喘振	123

7.1.4 风机转子的平衡	125
7.2 液力耦合器	126
7.2.1 耦合器的分类	127
7.2.2 液力耦合器工作原理	127
7.2.3 液力耦合器的调速方式	129
7.2.4 调速比的确定	130
7.2.5 常用液力耦合器的技术参数	131
7.3 水封	131
7.3.1 水封分类	131
7.3.2 水封器的应用	134
7.4 煤气切换阀(站)	137
7.4.1 球形阀	138
7.4.2 双联三通蝶阀	138
7.4.3 箱式水封三通切换阀	139
7.4.4 干法除尘用杯形阀	140
7.5 煤气柜	143
7.5.1 煤气柜的作用	143
7.5.2 煤气柜的分类	144
7.5.3 煤气柜的结构	144
7.6 放散烟囱	146
7.6.1 放散烟囱的结构形式	146
7.6.2 烟囱的点火与燃烧装置	147
7.6.3 燃烧器	148
7.7 转炉煤气回收系统烟气取样与分析	148
7.7.1 转炉煤气取样分析系统	149
7.7.2 烟气成分分析仪	153
7.8 煤气回收系统的组成	155
参考文献	157
8 转炉煤气回收的工艺	158
8.1 微差压调节及阻力平衡	158
8.1.1 湿法除尘系统的炉口微差压调节	158
8.1.2 干法除尘工艺系统的炉口微差压调节	160
8.1.3 阻力平衡器	160
8.2 煤气回收时间的确定	161

8.2.1	确定煤气回收时间的要素	161
8.2.2	煤气回收量和热值的关系	162
8.3	煤气回收异常现象的分析	163
8.3.1	煤气回收量低的原因及对策	163
8.3.2	煤气回收热值低的原因及措施	165
8.4	转炉煤气的毒性及防毒措施	166
8.4.1	煤气中毒的机理	166
8.4.2	影响中毒程度的因素	166
8.4.3	引起煤气中毒的原因	167
8.4.4	防止煤气中毒的措施	168
8.5	转炉煤气的可爆性及防爆措施	170
8.5.1	爆炸性	170
8.5.2	系统中可能产生爆炸的原因	171
8.5.3	转炉烟气净化回收系统的防爆措施	172
8.5.4	关于煤气放散点火系统安全性的讨论	174
8.5.5	转炉煤气事故的处理	174
8.6	关于电除尘泄爆的讨论	176
8.6.1	电除尘器泄爆的概念	176
8.6.2	电除尘器泄爆的条件	176
8.6.3	泄爆原因分析	178
8.6.4	防止和减少电除尘器泄爆的应对措施	179
	参考文献	180
9	转炉水质净化及污泥回收系统	181
9.1	水质净化与污泥回收工艺流程	181
9.1.1	浓缩池沉淀工艺	181
9.1.2	斜管沉淀罐泥浆处理工艺流程	182
9.1.3	干法除尘循环水系统	183
9.2	污水净化、泥尘回收系统的主要设备	185
9.2.1	旋流分级器	185
9.2.2	浓缩池	186
9.2.3	斜管沉淀罐	188
9.2.4	过滤器	191
9.3	污水磁净化设备和装置	193
9.3.1	磁滤旋流器	193