



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

高炉喷煤技术

GAOLU PENMEI JISHU

(第2版)

金艳娟 主编



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

高 炉 喷 煤 技 术

(第2版)

金艳娟 主 编
胡劲松 副主编

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2011

内 容 提 要

本书是参照冶金行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据高炉喷煤工艺特点和岗位群的技能要求编写的,并经人力资源和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过。

书中分别介绍了高炉喷煤的意义和发展概况;煤的性能,高炉喷吹对煤的性能要求;煤粉的制造方法;煤粉输送的工艺、设备及点检;煤粉喷吹的工艺、设备及点检;喷煤与高炉冶炼的关系,喷煤对高炉冶炼的影响;高炉喷吹煤粉系统的计量与检测;高炉喷煤的防火防爆、工业卫生及安全。附录中配有初、中、高三级职业技能鉴定理论考试试题及答案,四套实际操作考试试题及答案。

全书内容丰富,结构完整,重点突出;各章内容相对独立,深入浅出,可适应不同读者的需要。除可用做技能鉴定培训教材外,也可作为职业技术学院相关专业的教材,或工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高炉喷煤技术/金艳娟主编. —2版. —北京:冶金工业出版社, 2011. 11

冶金行业职业教育培训规划教材

ISBN 978-7-5024-5725-9

I. ①高… II. ①金… III. ①高炉炼铁—喷煤—职业教育—教材 IV. ①TF538.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第190665号

出 版 人 曹胜利

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 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 宋 良 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 王贺兰 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5725-9

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2005年3月第1版, 2011年11月第2版, 2011年11月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 8.75印张; 234千字; 126页

25.00元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿信箱: 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)

冶金行业职业教育培训规划教材

编辑委员会

主任 张 海 中国钢协人力资源与劳动保障工作委员会教育培训研究会
主任，唐山钢铁集团公司副总经理

曹胜利 冶金工业出版社 社长

副主任 董兆伟 河北工业职业技术学院 院长

鲁启峰 中国职工教育和职业培训协会冶金分会秘书长
中国钢协职业培训中心 副主任

顾问

北京科技大学 曲 英 王筱留 蔡嗣经 杨 鹏 唐 荻 包燕平
东 北 大 学 翟玉春 陈宝智 王 青 魏德洲 沈峰满 张延安

委员

首钢集团总公司	王传雪	舒友珍	宝钢集团有限公司	杨敏宏
武汉钢铁集团公司	夏汉明	孙志桥	鞍山钢铁集团公司	尹旭光
唐山钢铁集团公司	罗家宝	武朝锁	本溪钢铁集团公司	刘恩泉
邯郸钢铁集团公司	尤善晓	石宝伟	江苏沙钢集团公司	巫振佳
太原钢铁集团公司	毋建贞	孟永刚	莱芜钢铁集团公司	刘祖法
包头钢铁集团公司	李金贵	张殿富	江西省冶金集团公司	张朝凌
攀枝花钢铁集团公司	张海威	许志军	韶关钢铁集团公司	李武强
马钢集团公司	唐叶来	王茂龙	宣化钢铁集团公司	尹振奎
济南钢铁集团总公司	李长青	曹 凯	柳州钢铁集团公司	刘红新
安阳钢铁集团公司	魏晓鹏	马学方	杭州钢铁集团公司	汪建辉
华菱湘潭钢铁集团公司	文吉平	李中柱	通化钢铁集团公司	荆鸿麟
涟源钢铁集团公司	毛宝粮	袁超纲	邢台钢铁公司	李同友
南京钢铁联合公司	包维义	陈龙宝	天津钢铁集团公司	张 莹
昆明钢铁集团公司	孔繁工	马淑萍	攀钢集团长城特钢公司	朱云剑
重庆钢铁集团公司	田永明	岳 庆	西林钢铁集团公司	夏宏钢
福建三钢集团公司	卫才清	颜觉民	南昌长力钢铁公司	胡建忠

委 员

宝钢集团上海梅山公司	朱胜才	吴文章	天津钢管集团公司	雷希梅
萍乡钢铁公司	邓 玲	董智萍	江西新余钢铁公司	张 钧
武钢集团鄂城钢铁公司	袁立庆	汪中汝	江苏苏钢集团公司	李海宽
太钢集团临汾钢铁公司	雷振西	张继忠	邯鄹纵横钢铁集团公司	阚永梅
广州钢铁企业集团公司	张乔木	尹 伊	石家庄钢铁公司	金艳娟
承德钢铁集团公司	魏洪如	高 影	济源钢铁集团公司	李全国
首钢迁安钢铁公司	习 今	王 蕾	华菱衡阳钢管集团公司	王美明
淮阴钢铁集团公司	刘 瑾	王灿秀	港陆钢铁公司	曹立国
中国黄金集团夹皮沟矿业公司		贾元新	衡水薄板公司	魏虎平
河北工业职业技术学院	袁建路	李文兴	吉林昊融有色金属公司	张晓满
昆明冶金高等专科学校	卢宇飞	周晓四	津西钢铁公司	王继宗
山西工程职业技术学院	王明海	史学红	鹿泉钢铁公司	杜会武
吉林电子信息职业技术学院	张喜春	陈国山	河北省冶金研究院	彭万树
安徽工业职业技术学院	李庆峰	秦新桥	中国钢协职业培训中心	梁妍琳
山东工业职业学院	王庆义	王庆春	有色金属工业人才中心	宋 凯
安徽冶金科技职业学院	郑新民	梁赤民	河北科技大学	冯 捷
中国中钢集团	刘增田	秦光华	冶金职业技能鉴定中心	张志刚

特邀委员

北京中智信达教育科技有限公司	董事长 王建敏
山东星科教育设备集团	董事长 王 继
北京金恒博远冶金技术发展有限公司	董事长 徐肖伟

秘 书

冶金工业出版社 宋 良 (010-64027900, 3bs@cnmip.com.cn)

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，职业技能培训工作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！

第2版前言

目前我国冶金工业发展迅猛，高炉喷吹煤粉已成为高炉炼铁强化冶炼的重要手段之一。随着高炉炼铁的发展，对冶炼中的各岗位人员的技术操作水平要求逐步提高。为了适应国家对专门职业技术人才的迫切需要，根据冶金工程技术人员冶金专业培训教学大纲的要求，对第1版教材做了全面的修订。

本书主要内容包括：煤的一般特性，煤粉的制备喷吹和设备及喷煤操作等内容。本书突出了冶金行业的特点，增加了最新的喷煤工艺的介绍，并注重理论联系实际，还增加了各系统的设备点检等内容，更具有实用性和操作性。考虑到相关专业技术岗位技能鉴定的需要，附录中配有初、中、高三级职业技能鉴定理论考试题及答案，以及四套实际操作考试试题及答案。本书可满足高炉喷煤各岗位所要求的理论知识，还在具体内容的组织安排上力求少而精，通俗易懂。因此，该书既可作为技工学校专用教材，也可作为职业技能鉴定的岗位培训教材。

本次修订由石家庄钢铁集团公司技校金艳娟和喷煤工段胡劲松完成；由石家庄钢铁集团公司总工程师刘石虹审稿。

在编写过程中，参阅了国内同行的部分专著，引用了有关数据及资料，在此向文献作者及出版单位表示衷心感谢。编写工作还得到了石家庄钢铁公司有关人员的大力支持，在此也表示衷心的感谢。限于编者的水平，书中如有不足之处，诚请读者批评指正。

编者
2011年4月

第1版前言

本书是按照劳动和社会保障部的规划，受中国钢铁工业协会和冶金工业出版社的委托，在编委会的组织安排下，参照冶金行业职业技能标准和职业技能鉴定规范，根据冶金企业的生产实际和岗位群的技能要求编写的。书稿经劳动和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过，由劳动和社会保障部培训就业司推荐作为冶金行业职业技能培训教材。

书中主要介绍煤的一般特性、煤粉的制备喷吹和设备等内容。本书突出了冶金行业的特点，注重新的喷煤工艺和各系统的设备点检等内容的介绍，编写过程中注意理论联系实际，使其具有实用性；同时力求满足高炉喷煤各岗位所要求的理论知识，在具体内容的组织安排上力求少而精，通俗易懂，便于自学。

本书主编为石家庄钢铁集团公司金艳娟，副主编为石家庄钢铁集团公司刘寅生，参加编写的有石家庄钢铁集团公司胡劲松等。石家庄钢铁集团公司总工程师刘石虹审阅了全稿。

在编写过程中，参考了国内同行的部分专著的有关数据及资料，还得到了石钢有关人员的大力支持，在此表示衷心感谢。

由于时间较紧和编者水平所限，书中的不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者
2004年10月

目 录

1 绪论	1
1.1 高炉喷煤的出现和发展	1
1.2 高炉喷煤的意义	1
1.3 国外高炉喷煤发展概况	1
1.4 我国高炉喷煤发展概况	2
1.5 高炉喷煤技术的进步	3
1.6 高炉喷煤工艺	4
1.7 高炉喷煤规模和设备能力的确定	4
1.7.1 原煤需求量的确定	4
1.7.2 高炉喷煤量的确定	5
1.7.3 高炉喷煤率的计算	5
复习思考题	6
2 高炉喷吹用煤	7
2.1 煤的分类	7
2.2 煤的组成及分析	8
2.2.1 煤的组成	8
2.2.2 煤的分析及换算	10
2.3 煤的物理性质	12
2.3.1 煤的孔隙率	12
2.3.2 煤的可磨性	12
2.3.3 煤的比表面积	13
2.3.4 煤的黏结性	13
2.3.5 煤的结焦性	14
2.4 煤的工艺性能	14
2.4.1 煤的着火温度	14
2.4.2 煤灰熔融性	16
2.4.3 煤粉的流动性	16
2.4.4 煤粉的细度(粒度)	16
2.4.5 煤粉的爆炸性	17
2.4.6 煤对 CO ₂ 的反应性	17
2.5 高炉喷吹对煤的性能要求	18
2.5.1 对原煤性能的要求	18
2.5.2 对磨制煤粉的质量要求	18
2.6 高炉喷吹用煤的储运	19
2.6.1 原煤储运系统的工艺流程	19

2.6.2 原煤储运系统的设备	19
2.6.3 原煤储运系统的故障及处理	20
2.6.4 原煤储运系统的设备点检	21
复习思考题	23
3 煤粉的制备	24
3.1 制粉系统工艺流程	24
3.2 制粉系统的主要设备	24
3.2.1 干燥气系统	24
3.2.2 磨煤系统	28
3.3 制粉操作	36
3.3.1 制粉系统正常运行的标志	36
3.3.2 制粉的操作程序	36
3.3.3 制粉系统的故障及处理	38
3.4 制粉系统设备点检	42
复习思考题	47
4 煤粉的输送	48
4.1 煤粉输送的工艺流程	48
4.2 输送煤粉的主要设备	49
4.2.1 风力螺旋输送泵	49
4.2.2 仓式泵	50
4.3 输送煤粉的操作	51
4.4 煤粉输送过程中常见故障及处理	52
4.4.1 仓式泵故障及处理	52
4.4.2 输送管道的故障及处理	52
4.5 煤粉输送系统的设备点检	53
复习思考题	54
5 煤粉喷吹	55
5.1 煤粉喷吹装置的主要功能	55
5.2 喷吹工艺	55
5.2.1 高炉喷吹设施的布置方式	55
5.2.2 高炉喷煤罐的布置方式	57
5.2.3 高炉喷煤罐的出粉方式	59
5.3 喷吹系统主要设备	62
5.3.1 混合器	62
5.3.2 分配器	63
5.3.3 喷吹罐下的流化装置	65
5.3.4 喷煤枪	65
5.4 喷煤操作	67

5.4.1 高炉喷煤正常工作状态的标志	67
5.4.2 高炉喷煤与停煤的操作程序	67
5.4.3 输煤及倒罐操作程序	68
5.4.4 喷煤量调节	69
5.4.5 喷煤系统的故障及处理	69
5.5 喷煤系统的设备点检	70
复习思考题	72
6 喷煤与高炉冶炼	73
6.1 高炉内燃料的燃烧	73
6.1.1 炉缸内的燃烧反应	73
6.1.2 燃烧温度及炉缸内温度的分布	76
6.1.3 喷吹煤粉在风口前的燃烧	78
6.1.4 煤气上升过程中体积和成分的变化	81
6.2 高炉喷煤冶炼	81
6.2.1 高炉喷煤后的冶炼特点	81
6.2.2 高炉喷煤对冶炼周期的影响	84
6.2.3 喷吹煤粉后的高炉调剂	85
6.2.4 喷吹煤粉的置换比	86
6.2.5 高炉喷吹烟煤与喷吹无烟煤的比较	88
6.3 高炉富氧喷煤	88
6.3.1 富氧鼓风对高炉冶炼的影响	88
6.3.2 高炉富氧喷煤的冶炼特征	89
6.3.3 高炉富氧喷煤的操作	90
复习思考题	92
7 高炉喷吹煤粉系统的计量与监测	94
7.1 高炉喷煤系统常用的计控仪表	94
7.2 高炉喷煤系统中的特殊计控仪表	94
7.3 制粉过程中常用的氧气分析仪表	95
7.4 高炉喷吹煤粉的制备、输送和喷吹系统中一氧化碳的监测	95
7.5 高炉喷吹煤粉流量的测量	95
复习思考题	95
8 高炉喷煤的防火防爆、工业卫生及安全	97
8.1 煤粉爆炸的条件	97
8.2 高炉喷吹烟煤的安全措施	97
8.3 高炉喷煤系统气氛的惰化	98
8.4 受压容器的安全管理	98
8.4.1 压力容器的使用	98
8.4.2 压力容器的维护检查	98

8.5 防止静电和明火	100
8.6 工业卫生	101
8.7 各岗位的安全提示	101
8.7.1 天车岗位作业安全提示	101
8.7.2 储运岗位作业安全提示	102
8.7.3 磨煤机岗位作业安全提示	102
8.7.4 干燥炉岗位作业安全提示	103
8.7.5 制粉岗位作业安全提示	103
8.7.6 喷煤岗位作业安全提示	104
复习思考题	104
附录	105
附录 1 职业技能鉴定理论考试试题	105
附录 1-1 煤粉工初级工试题	105
附录 1-2 煤粉工中级工试题	108
附录 1-3 煤粉工高级工试题	111
附录 2 实际操作技能鉴定试题	114
附录 2-1 实际操作技能鉴定试题 (1)	114
附录 2-2 实际操作技能鉴定试题 (2)	115
附录 2-3 实际操作技能鉴定试题 (3)	116
附录 2-4 实际操作技能鉴定试题 (4)	117
附录 3 试题答案	118
附录 3-1 职业技能鉴定理论考试试题答案	118
附录 3-2 实际操作技能鉴定试题答案	121
参考文献	126

1 绪 论

1.1 高炉喷煤的出现和发展

随着高炉炼铁生产规模的不断扩大和对生铁需求量的日益增加，高炉炼铁对燃料的需要量也愈来愈大，由于现有焦炉的老化，严重污染环境以及炼焦煤储量的日趋减少，导致冶金焦炭的供应日趋紧张，人们寻求由新的燃料代替部分焦炭。高炉采用喷吹燃料已成为高炉节焦和强化冶炼的一种手段。高炉可以喷吹的燃料分为三大类：液体燃料，如重油、焦油等；固体燃料，如无烟煤、烟煤、褐煤等；气体燃料，如天然气、焦炉煤气等。喷吹燃料的选择依赖于各国燃料资源的条件，并随资源条件的变化而改变。自 20 世纪 60 年代初喷吹技术在法国获得成功以后，美国、苏联主要喷吹天然气，西欧、日本则自 20 世纪 80 年代初由喷吹重油转为喷吹煤粉。我国是开发喷煤技术较早的国家，自 20 世纪 60 年代初开始试验，至今已有近 50 年的历史，特别是近 20 年来，高炉喷煤技术得到了广泛的应用和发展，从而促进了我国钢铁工业的迅猛发展，减少了炼铁生产受炼焦煤资源、投资、环保等诸多方面的限制和影响。

1.2 高炉喷煤的意义

高炉喷煤对现代高炉炼铁技术来说是一项重要的技术革命。所谓高炉喷煤，就是指从高炉风口向炉内直接喷吹磨细了的煤粉（无烟煤、烟煤或两者的混合煤粉以及褐煤），以代替焦炭向高炉提供热量和还原剂。它的意义在于：

(1) 以低价的煤代替了日趋贫乏且价格昂贵的冶金焦，降低了焦比，使高炉炼铁的成本大幅下降。

(2) 高炉喷煤可以作为一种调剂炉况的手段。

(3) 高炉喷煤可以改善炉缸工作状态，使高炉稳定顺行。

(4) 为高炉提高风温和富氧鼓风创造条件。因为喷吹煤粉会使风口前理论燃烧温度降低，导致理论燃烧温度降低的主要原因有：

1) 高炉喷吹煤粉后煤气量增加，加热煤气需要消耗热量；

2) 喷吹煤粉带入的热量少，而焦炭进入风口区时已被充分加热，温度高达 $1450 \sim 1500^{\circ}\text{C}$ ，而喷吹的煤粉温度不超过 100°C ；

3) 煤粉中的碳氢化合物分解需要吸热。

(5) 喷吹煤粉中的氢含量比焦炭带入的多，氢气提高了煤气的还原能力和穿透扩散能力，有利于矿石的还原和高炉操作指标的改善。

(6) 喷吹煤粉代替了部分焦炭，不仅缓解了焦煤的供需紧张状况，也减少了对炼焦设施的投资和建设，更降低了炼焦生产对环境的污染。

1.3 国外高炉喷煤发展概况

高炉喷煤是现代高炉冶炼大幅降低焦比和生铁成本的重大技术措施，以其能创造巨大的经济效益而得到迅猛发展。自 20 世纪 80 年代初在世界范围广泛应用以来，世界各国钢铁厂的喷

煤比不断提高,高炉喷煤技术已成为高炉炼铁的重要组成部分。西欧各国和日本发展尤其迅速,在1993年左右大部分高炉的喷煤比就达到了200kg/t。20世纪90年代初部分国家高炉喷吹煤粉情况列于表1-1。

表1-1 国外部分高炉喷吹煤粉情况

国 家	厂 名	炉 号	最高月平均				
			焦比/kg·t ⁻¹	煤比/kg·t ⁻¹	喷煤率/%	时 间	风温/℃
德 国	施韦尔根	1	307	201	39.5	1992.11	1230
荷 兰	霍戈文	6	272	212	43.8	1994	1161
法 国	敦刻尔克	4	287	194	40.3	1992.09	1189
日 本	神 户	3	313	188	37.9	1991.09	
	加古川	1	323	199	38.2	1994.01	

此后,日本高炉喷煤技术发展更快,到1995年日本所有高炉全部实现喷煤生产。

国外大部分高炉喷吹的是中等挥发分和高挥发分的烟煤,其原因是烟煤来源容易,烟煤的燃烧性和氢含量均优于无烟煤。另外还有一些厂家喷吹粒煤,如英国的Scunthorpe厂的4座高炉喷吹粒煤,其中一座高炉月平均喷煤达到201kg/t。喷吹粒煤可以降低制粉车间的投资和电耗。但喷吹粒煤需要更高的富氧,富氧主要是要强化燃烧及提高理论燃烧温度,这对于制氧能力大的企业有利。

国外高炉大量喷吹煤粉的基础条件较好是因为:

(1) 采用精料。精料是实现大喷吹的主要条件。国外高炉入炉的原料含铁高,渣量少(一般小于300kg/t,只有少数高炉超过300kg/t),对原燃料的冶金性能更为重视,入炉的冶金焦炭除灰分低外,碱负荷和反应后强度等指标也明显改善。

(2) 用提高风温来维持风口火焰所需求的温度,表1-1所列部分高炉的风温均高于1150℃。

(3) 大喷吹量高炉均采用富氧鼓风,富氧率在2.2%~7.32%。

(4) 采用以疏通中心(中心加焦等)为目标的操作方针。

(5) 可靠而完善的磨煤和喷煤系统。

1.4 我国高炉喷煤发展概况

我国高炉喷煤始于20世纪60年代初,起步最早的是鞍钢、首钢。鞍钢1964年开始试验至1966年实现5座高炉全部喷煤。首钢也于1964年开始试验至1965年正式喷煤。因此,我国是世界上最早实现喷煤的国家之一。之后一段时间发展缓慢,直至80年代末90年代初,特别是近十几年我国的高炉喷煤技术得到迅速发展。2000年宝钢1、3号高炉年平均喷煤量达到238kg/t和207kg/t,创造了国际先进水平。我国部分企业高炉喷吹煤粉情况见表1-2。

表1-2 我国部分钢铁企业高炉喷吹煤粉情况

厂 名	日 期	煤比/kg·t ⁻¹	入炉焦比/kg·t ⁻¹	平均风温/℃	利用系数
太 钢	2008.12	184	285	1194	2.323
长 治	2008.12	178	347	1121	2.914
鞍 钢	2008.12	150	351	1164	2.218
首 钢	2008.12	140	328	1184	2.438

续表 1-2

厂 名	日 期	煤比/kg·t ⁻¹	入炉焦比/kg·t ⁻¹	平均风温/℃	利用系数
宝 钢	2008. 12	166	316	1149	2. 249
邯 钢	2008. 12	118	402	1073	2. 442
马 钢	2008. 12	135	352	1083	2. 266
安 钢	2008. 12	127	402	1081	2. 676
石 钢	2008. 12	165	385	1076	3. 762
南 钢	2008. 12	118	427	1033	2. 390
杭 钢	2008. 12	139	380	1101	3. 037

在喷吹煤种上, 20 世纪 90 年代前几乎都是喷吹无烟煤, 只有 1981 年马钢小高炉、苏钢小高炉试验喷吹烟煤, 但没有广泛推广。1989 年鞍钢重新开始研究, 1990 年喷吹烟煤试验成功并进行推广, 喷吹烟煤企业逐渐增加, 我国的喷煤技术得到迅速发展。

从 20 世纪 90 年代以来, 我国高炉喷煤技术和富氧喷煤技术发展迅速的主要原因是:

- (1) 新型制粉、喷吹工艺的形成和完善及其装备水平的提高;
- (2) 储量丰富的烟煤得到应用;
- (3) 自动化水平得到提高;
- (4) 喷煤比不断提高和低富氧高煤比的喷吹成功;
- (5) 氧煤燃烧技术等一批新技术得到实现;

(6) 高炉喷煤已成为炼铁系统工艺结构优化, 能源结构变化的核心。它的发展增强了高炉炼铁工艺与新型非高炉炼铁工艺竞争的力量, 缓解了炼铁生产受资源、投资、成本、能源、环境、运输等多方面限制的压力, 奠定了继续发展喷煤的基础。

1.5 高炉喷煤技术的进步

喷煤技术的进步主要体现在以下几个方面:

(1) 喷煤设备大型化和装备水平的提高。现代高炉炼铁技术进步的特点之一, 是不断提高生产率, 喷吹更多煤粉, 大幅度降低焦比。喷吹煤粉的绝对量增大, 要求喷煤设备大型化和不断提高喷煤设备的装备水平。喷煤设备装备水平的提高主要集中在喷煤自动控制及计量和调节精度方面, 喷煤量可以按照高炉要求自动调节, 喷煤量计量精度可以控制在 1% 误差范围内, 各风口喷吹煤粉的均匀性控制在 3% 的误差范围内。

(2) 高炉富氧喷煤。富氧喷煤是实现高炉生产稳产、高产、优质、低耗的必备手段。高炉的富氧和喷煤是互为条件、互为依存的。喷煤量不断增加, 就需要有足够的氧气来促进煤粉燃烧, 以提高煤焦置换比和保证高炉顺行。生产实践证明, 当风温达到 1000℃ 时, 在不富氧的条件下, 煤粉喷吹量每吨铁不宜超过 100kg。否则, 煤粉不能完全燃烧, 引起煤焦置换比下降, 并可能造成高炉不能顺行。相反, 如果不喷煤粉, 富氧使高炉风口前的理论燃烧温度过高, 也将导致高炉不能顺行。只有富氧和喷煤相结合, 才能大幅度提高产量, 降低焦比。有关文献介绍, 高炉鼓风中富氧率每增加 1%, 喷煤量约增加 13kg/t, 生铁产量增加 5%。因此, 富氧喷煤是实现高炉高产、稳产、优质、低耗的必备手段, 是高炉炼铁技术进步的重要标志。

(3) 喷吹烟煤和无烟煤或烟煤、无烟煤混合喷吹。我国长期喷吹无烟煤, 其优点是无烟煤含碳量高, 挥发分低, 喷吹安全。但其燃点高, 煤质硬, 可磨性差, 制粉能耗高。随着无烟煤

储量的日趋减少,无烟煤质量也逐年下降。改喷烟煤,扩大了喷煤品种,其优点是烟煤挥发分高,燃烧性能好,含氢量高,利于高炉顺行。且煤质软,易磨,制粉能耗低,储量也较多,分布较广,保证有充足的喷煤资源。但喷吹烟煤时,易燃易爆,安全性差,必须采取相应的保护措施。

(4) 浓相输送。高炉喷煤采用气力输送,按单位气体载运煤粉量的多少,可以分为稀相输送和浓相输送。气力输送过程中,一般稀相输送的速度在 20m/s 以上,煤粉浓度在 $5 \sim 30\text{kg/m}^3$ 范围内。而浓相输送的速度则小于 10m/s ,煤粉浓度大于 40kg/m^3 。采用浓相输送的优点是:喷吹浓度高,消耗输送介质质量少,煤粉在管道内的流速低,对管道及设备的磨损减小,可以节省能源,提高煤粉喷吹量。其缺点是:设备复杂,价格较高,对煤粉质量要求严格,需用输送介质的压力也比较高。

1.6 高炉喷煤工艺

(1) 高炉喷吹煤粉的工艺流程。高炉喷吹煤粉工艺系统主要由原煤储运、煤粉制备、煤粉输送、煤粉喷吹、干燥气体制备和动力系统组成。工艺流程如图 1-1 所示,如果是直接喷吹工艺,则无煤粉输送部分。

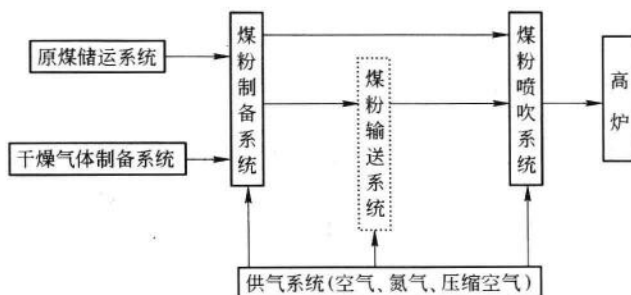


图 1-1 高炉喷煤系统的工艺流程

(2) 高炉喷吹煤粉的工艺模式。从粉煤制备和喷吹设施的配置上来分,高炉喷吹工艺有两种模式,即间接喷吹模式和直接喷吹模式。制粉系统和喷吹系统在一起向高炉喷吹的工艺叫直接喷煤工艺;制粉系统和喷吹系统分开,通过罐车或气动输送管道将煤粉从制粉车间送到靠近高炉的喷吹站,再向高炉喷吹煤粉的工艺叫间接喷煤工艺。直接用管道将煤粉喷入高炉,不适宜喷吹距离太远,一般不超过 300m 。所以,一般大型企业或高炉多的企业宜采用间接喷吹工艺,高炉少的企业宜采用直接喷吹工艺。

1.7 高炉喷煤规模和设备能力的确定

1.7.1 原煤需求量的确定

原煤的单位时间需求量按下式确定:

$$Q_y = \frac{Q_h \cdot K_y}{1 - (W_y - W_t)} \quad (1-1)$$

式中 Q_y ——原煤的单位时间需求量, kg/h ;