

炼焦煤性质 与 高炉焦炭质量

Properties of Coking Coal
and
Quality of Coke for the Blast Furnace

周师庸 赵俊国 著

冶金工业出版社

炼焦煤性质 与 高炉焦炭质量

Properties of Coking Coal
and
Quality of Coke for the Blast Furnace

周师庸 赵俊国 著

北 京

冶金工业出版社

2005

图书在版编目(CIP)数据

炼焦煤性质与高炉焦炭质量/周师庸, 赵俊国著.
—北京:冶金工业出版社, 2005. 6
ISBN 7-5024-3735-5

I. 炼… II. ①周… ②赵 III. ①焦煤—性质
②焦炭—质量 IV. TQ52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 038622 号

出版人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 章秀珍 美术编辑 李 心

责任校对 侯 珺 李文彦 责任印制 牛晓波

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 6 月第 1 版, 2005 年 6 月第 1 次印刷

148mm×210mm; 8.25 印张; 229 千字; 6 插页; 239 页; 1—3000 册

29.00 元

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(100711) 电话: (010)65289061

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)



周师庸教授，第六、七、八届全国政协委员，硕士研究生导师。1952年毕业于复旦大学化学系，先后在北京钢铁研究总院、鞍山焦化耐火材料设计研究院、鞍山热能研究院，鞍山科技大学从事科研和教学工作。曾获国家发明奖和国家科技进步奖各一项、省部级科技进步奖六项、国家科委金奖一项、优秀科技书籍奖一项。出版专著两种，译著(合译)两种，发表论文五十余篇。曾应邀赴美国西肯塔基大学作高级访问学者，并多次赴美、英、德、法作学术交流和出席国际学术会议。

前 言

本书是作者近 20 年来持续在煤焦和炼铁领域进行科研工作的总结。本书内容共分九章：第 1 章主要从煤的成因因素出发，讨论标志各种成因因素作用程度的最佳指标和评述现行炼焦煤质量各种指标的优缺点，并对标志炼焦煤的第三成因因素指标作了研究和探讨。第 2 章以不同变质程度炼焦煤的各种煤岩显微组分为对象，详述其在加热过程中的动态和其各自所形成衍生物在镜下形态及其光学特征，以及其对最后形成焦炭质量的影响。第 3 章叙述焦炭在高炉中的作用和一系列化学反应，以及焦炭在高炉中劣化因素、劣化过程和富氧喷吹煤粉对焦炭劣化的影响。第 4 章研究大高炉不同喷吹煤粉水平下，不同断面位置的风口焦和其相应入炉焦各种常规和非常规检测指标的对比，从而推测焦炭在高炉中性质变化的规律。第 5 章研究风口所喷煤粉在回旋区未燃尽残炭和从高炉顶逸出残炭的数量和性状，从而推断高变质程度无烟煤和低变质程度烟煤各种煤岩显微组分在风口回旋区燃烧的性状和其随气流上升到炉体的经历对高炉生产和高炉中焦炭的影响。第 6 章叙述创建模拟高炉软融带碳溶反应条件的大型高温反应炉和确定操作条件的过程，以及确定模拟性的首要条件，并对 9 种不同变质程度炼焦煤所得焦炭和 9 种配以不同数量强黏结性煤的配煤方案所得焦炭进行大型高温反应炉系列试验，从而得出各类焦炭在有碱和无碱存在下碳溶反应的各自规律。第 7 章是基于前 6 章所述的科研成果和生产效果，提出现行焦炭质量指标 M_{40} 、 M_{10} 、CRI 和 CSR 对焦炭在高炉中劣化的模拟性不够完善，并有可能因此形成错误导向，致使企业提高焦炭原料成本和国家的炼焦煤资源不能

获得应有的合理利用。如果这一论点是客观存在的，有科学依据的，随之必然要对传统配煤技术概念提出更新的必要性。第8章是针对目前国内炼焦煤和焦炭市场情况，和对焦炭质量概念上不统一的现状，以及实行稳定焦炭质量和预测焦炭质量技术上的难处，提出较为简便可行的办法，以期对上述现状有所改观。第9章列述目前与炼焦煤和高炉焦炭有关领域的各种现状，并提出煤焦科研工作应承担的任务。

本书所涉及的科研工作曾有许多人员参与合作，本单位有：周淑仪、徐君、赵俊国、奚白、叶菁、袁庆春、郭继平、王国岩、白金锋、王成文诸位老师和我的研究生白瑞成、刘晓璐、童昕、王建华、赵忠夫、徐国忠；企业的合作人员主要有：吴信慈、徐万仁、吴九成、燕瑞华、陈实、孙克慧、付兵、史伟、陈德浩、毛清龙、梁尚国等专家，特此致以衷心的感谢。

在本书涉及的历年科研工作的过程中，曾得到原冶金部副部长周传典（炼铁专家），原冶金部钢铁司总工程师徐矩良（炼铁专家）和副总工程师董海（炼焦专家）的支持和帮助，董海还对全书初稿做了细致的审阅，并提出许多宝贵意见，于此一并致以深切的谢意。

本书是由鞍山科技大学学术专著、译著出版基金资助出版。

周师庸

2005年5月6日

目 录

1 炼焦煤性质剖析及其指标评述	1
1.1 地球生物化学作用程度及其指标	1
1.2 地球物理化学作用程度及其指标	2
1.3 第三成因因素及其指标	5
1.4 常用炼焦煤黏结性指标评述	5
1.4.1 最大胶质层厚度 (y)	6
1.4.2 奥亚 (Audibert-Arnu) 膨胀度 (b)	6
1.4.3 基氏 (Giesler) 流动度 ($\lg a$)	7
1.4.4 罗加 (Roga) 指数	7
1.4.5 黏结指数 (G 值)	8
1.5 寻找第三成因因素指标	9
1.5.1 容惰能力	10
1.5.2 炼焦煤的荧光性质	18
1.6 特殊煤种的性质特点及其由来	31
1.6.1 热变质煤	31
1.6.2 残植煤	32
1.6.3 腐植腐泥煤	33
1.6.4 受沥青化作用影响的煤	33
1.6.5 不明原因, 性质反常的炼焦煤	34
参考文献	34
2 炼焦煤各种显微组分在成焦中作用	36
2.1 镜质组及其炭化后的衍生物	36
2.1.1 镜质组性质	36

2.1.2	镜质组软化性状的一般规律及其对成焦的影响	37
2.1.3	目前有影响的两种成焦理论	38
2.1.4	镜质组在成焦过程中的作用	48
2.2	丝质组及其炭化后的衍生物	49
2.2.1	丝质组的惰性现象体现	49
2.2.2	丝质组在成焦中的两面性	49
2.2.3	不同类型丝质体在成焦中的作用不同	49
2.2.4	特殊性质的丝质体	50
2.2.5	丝质组是煤中天然瘦化剂	50
2.2.6	丝质组成焦后对焦炭气孔参数的影响	50
2.2.7	丝质组成焦后衍生物的光学性质	51
2.3	半镜质组及其炭化后的衍生物	51
2.3.1	半镜质组的原始材料和成因条件	51
2.3.2	加热过程动态和光学性质趋向	51
2.4	壳质组及其炭化后的衍生物	51
2.4.1	原料的特点是其性质上特殊的主要原因	51
2.4.2	低变质程度煤中壳质组在加热过程中的变化	52
2.4.3	壳质组热解产物的特点和在成焦中的作用	52
2.4.4	壳质组中各显微成分与其共生镜质组的性质比较	52
2.5	煤岩显微组分和其炭化后各自的衍生物	53
2.6	炼焦煤中不同煤岩组分在成焦后的界面现象	53
2.7	焦炉炭化室中煤料加热过程中宏观变化	54
	参考文献	55
3	焦炭在高炉中劣化过程和劣化因素	56
3.1	焦炭在高炉中的作用和行径	56

3.1.1 焦炭在高炉中的作用	56
3.1.2 高炉中不同部位焦炭的行径	58
3.2 高炉中焦炭化学反应	62
3.2.1 全焦冶炼中焦炭消耗分配	62
3.2.2 碳溶反应开始	63
3.2.3 间接还原反应	63
3.2.4 直接还原反应	63
3.2.5 非铁元素还原反应	64
3.2.6 渗碳反应	65
3.2.7 风口燃烧反应	66
3.2.8 碱金属与焦炭中灰分化学反应	66
3.3 焦炭在高炉中劣化因素	67
3.3.1 焦炭劣化的外部因素	67
3.3.2 焦炭劣化的内部因素	74
3.4 高炉富氧喷吹煤粉对焦炭劣化的影响	80
3.4.1 焦炭在高炉中停留时间延长	80
3.4.2 焦比降低, 焦炭单位体积负荷增大	80
3.4.3 喷煤使气流中 H_2 含量增加	80
3.4.4 铁水、渣量和焦粉增加	81
3.4.5 风口喷煤导致焦炭灰分变化	81
3.4.6 未燃尽残炭对焦炭的影响	82
参考文献	82
4 不同煤粉喷吹水平下焦炭在高炉中性质的变化	84
4.1 关于选择研究对象和风口取样	85
4.2 不同时期入炉焦炭质量	86
4.2.1 检测 DI_{15}^{150} 、 M_{40} 、 M_{10} 、CRI、CSR 和 I 转鼓强度等常规的、非常规宏观的 质量指标	86
4.2.2 测试各种焦炭强度的试样块度减小,	

不同强度指标在 batches 焦炭间差别增大 及其原因	87
4.2.3 焦炭的气孔参数 (包括气孔率、开气孔、 闭气孔、显微裂纹率、真密度)	89
4.2.4 焦炭显微结构组成差别及讨论	90
4.2.5 焦炭灰成分分析结果	90
4.3 风口焦性质检测结果与其对应入炉焦比较	90
4.3.1 风口焦和对应入炉焦各种强度指标比较 得出的规律	90
4.3.2 风口焦和对应入炉焦的各种气孔参数比较 得出的规律	95
4.3.3 风口焦和对应入炉焦在显微镜下观察结果 的差别	95
4.3.4 风口焦和对应入炉焦的焦炭块度比较得出 的规律	95
4.3.5 风口焦和对应入炉焦的真密度差别	95
4.3.6 风口焦和对应入炉焦的显微结构组成比较 得出的规律	96
4.3.7 重复验证 Σ ISO 的抗高温碱侵蚀能力	97
4.3.8 Σ ISO 作为高炉焦炭质量指标的可能性	99
4.4 高炉风口断面不同部位焦炭的检测结果	99
4.4.1 风口焦块度变化	109
4.4.2 显微强度	111
4.4.3 气孔系列参数	111
4.4.4 焦炭显微结构组成	112
4.4.5 灰分中碱含量	121
4.5 不同喷吹水平下风口焦各种指标的检测 结果和分析	121
4.6 相同喷吹水平下, 入炉焦和对应风口焦 的检测结果和讨论	122

4.7 结论	127
附录	128
参考文献	130
5 高炉风口回旋区残炭和从高炉顶逸出的残炭	131
5.1 喷吹煤粉的性质	132
5.1.1 喷吹煤的煤种	132
5.1.2 喷吹煤的煤岩组成及按其燃烧性状的分类	132
5.1.3 镜质组反射率分布	133
5.2 煤粉燃烧	134
5.2.1 煤粉燃烧机理	134
5.2.2 影响煤粉燃烧的因素	138
5.2.3 未燃尽煤粉在高炉内的行径	143
5.3 对风口样品中残炭检测结果的讨论	144
5.3.1 残炭的镜下形态	144
5.3.2 各种残炭燃烧方式的讨论	146
5.3.3 未燃残炭和部分燃残炭的形态特征	146
5.3.4 对风口不同径向断面中未燃尽残炭检测结果的讨论	147
5.4 从高炉炉顶随气流逸出的粉尘检测结果的讨论	152
5.4.1 一次灰	152
5.4.2 二次灰	153
5.4.3 悬浮物	153
5.5 结论	154
参考文献	155
6 模拟焦炭在高炉中碳溶反应的研究	157
6.1 大型高温反应炉设计要求	158
6.2 大型高温反应炉操作条件的确定	160

6.2.1	大型高温反应炉操作条件初步选择	160
6.2.2	优化操作条件的进一步选择	161
6.2.3	用最后确定的操作条件, 对两种配煤 焦炭进行高温反应炉试验的结果	162
6.2.4	最终确定的大型高温反应炉操作条件	164
6.3	大型高温反应炉作模拟性试验及所得规律	164
6.3.1	不同变质程度炼焦煤所得焦炭的大型高 温反应炉模拟高炉碳溶反应条件的试验	165
6.3.2	实用配煤方案所得焦炭大型高温反应炉 的试验结果	172
6.3.3	焦炭在水蒸气存在下的大型高温反应炉 实验结果和分析	180
6.3.4	试验所得若干规律	185
6.3.5	CaO 和 Fe ₂ O ₃ 对焦炭碳溶反应的影响	191
6.3.6	试验的综合结果对提高配煤技术的启示	195
	参考文献	197
7	焦炭质量指标模拟性和炼焦煤质量指标再认识	198
7.1	现行焦炭质量指标对其在高炉中劣化过程 模拟性的分析	198
7.1.1	抗裂强度 M40 和耐磨强度 M10	198
7.1.2	国标反应性 CRI 和反应后强度 CSR	202
7.1.3	对恰当掌握现行焦炭质量指标的建议	204
7.1.4	传统配煤技术概念更新的必要性	206
7.2	炼焦煤质量指标可信程度的掌握和有效运用	207
7.3	炼焦煤指标和配煤技术仍需进一步完善	208
7.3.1	可与焦煤互代的气煤	208
7.3.2	不能起焦煤作用的焦煤	213
	参考文献	216

8 提高和稳定焦炭质量中的若干问题	217
8.1 关于提高焦炭哪些质量的问题, 需进一步 统一认识	217
8.2 关于降低焦炭灰分	219
8.3 关于稳定焦炭质量	220
8.3.1 控制来煤质量 ^[6]	221
8.3.2 煤场合理堆放煤种	224
8.4 预测焦炭质量技术的原理、方法和效果	228
8.4.1 预测焦炭质量基本原理	230
8.4.2 预测焦炭质量方法的实质	231
8.4.3 预测焦炭质量效果	232
8.4.4 预测焦炭质量当前存在的问题和初步对策	232
参考文献	233
9 炼焦煤和高炉焦炭现状, 对科研工作提出的任务	234
9.1 近年来与煤焦领域有关的产销现状	234
9.1.1 铁、钢、材产量大幅度提高	235
9.1.2 市场需求旺盛, 钢铁产品进出口贸易活跃	235
9.1.3 炼焦煤和高炉焦炭产耗现状	235
9.2 目前焦化企业存在影响炼焦煤和焦炭质量 的问题	236
9.3 当前煤焦科研工作趋向	237
9.4 面对现实, 煤焦科研工作的任务	237
参考文献	238
后记	239

附图片

一、煤岩显微组分图片 (11 张)

- 二、荧光显微结构图片 (8 张)
- 三、喷吹煤的显微结构图片 (4 张)
- 四、焦炭显微结构图片 (6 张)
- 五、残炭的显微结构图片 (18 张)
- 六、从高炉顶逸出焦末、残炭、炭黑和矿粉显微结构图片 (6 张)
- 七、大同侏罗纪块煤线理状显微图片 (7 张) 和其成焦后的扫描电镜图片 (2 张)

Contents

1 Discussion for the Properties of Coking Coal and their Indexes	1
1.1 Geo-biochemistry Reaction Level and Its Index	1
1.2 Geo-physic chemistry Reaction Level and Its Index	2
1.3 Third Factor of Coal Genesis and Its Index	5
1.4 Review of Caking Index of Coking Coal	5
1.4.1 Maximum Collid Thickness γ	6
1.4.2 Arnou-Audibert's Dilometer b	6
1.4.3 Giesler Fluidity $lg a$	7
1.4.4 Roga Index	7
1.4.5 Caking Index G	8
1.5 Study on Index of the third Factor of Coal Genesis	9
1.5.1 Capacity of Caking Inerts	10
1.5.2 Fluorescence Property of Coking Coal	18
1.6 Properties of Special Coal and Their Genesis	
Condition	31
1.6.1 Thermo-metamorphism Coal	31
1.6.2 Remanent Plant Coal	32
1.6.3 Sapropelic-Humic Coal	33
1.6.4 Bitumen Action of Coal	33
1.6.5 Coking Coals with Abnormal Property	34
References	34
2 Change of Macerals in Ranks through the Heating Process and its Action in Coke-Making	36

2.1	Vitrinite and Its Derivation after Coking	36
2.1.1	Property of Vitrinite	36
2.1.2	General Rule of Soft Character of Vitrinite and Its Effect in Coke-Making	37
2.1.3	Two Important Theory for Coke-Making	38
2.1.4	Action of Vitrinite in the Coke-making process	48
2.2	Fusinite and Derivation from Fusinite Coking	49
2.2.1	Inert Phenomenon of Fusinite	49
2.2.2	Two Properties of Fusinite in Coke-making	49
2.2.3	Different Action of Various Fusin in Coke-making	49
2.2.4	Special Fusin with Special Character	50
2.2.5	Fusinite is the Natural Meager Agent	50
2.2.6	Effect to Cell System Parameter of Coke from Fusinite	50
2.2.7	Optical Property of Coke from Fusinite	51
2.3	Semivitrinite and Its Derivation after Coking	51
2.3.1	Raw materials of Semivitrinite and Condition of its Genesis	51
2.3.2	Semivitrinite Phenomenon in Heating Process and Its Optical Property Almost as Same as Fusinite	51
2.4	Exernite and Its Derivation after Coking	51
2.4.1	The Mean Cause of the Special Characters of Exernite due to Raw Materials	51
2.4.2	Change of Exernite in Low Metamorphism in Heating Process	52
2.4.3	The Characteristics of Product from Exernit in Heating and its Action in Coke-making	52
2.4.4	Comparison on Properties between Exernite and Vitrinite in the Same Coal Seam	52
2.5	Macerals and Their Derivation after Coking	53
2.6	Interface Phenomenon between Macerals of Coking Coal in Different Metamorphism after Coking	53

2.7 Macro-Change of Coal Charge in Coke	
Oven in Coking Process	54
References	55
3 Degradation Process and Degradation Factor	
of Coke in Blast Furnace	56
3.1 Action and affect of Coke in Blast Furnace	56
3.1.1 Action of Coke in Blast Furnace	56
3.1.2 Affect of Coke in Different Parts of Blast Furnace	58
3.2 Chemical Reaction of Coke in Blast Furnace	62
3.2.1 Total Coke Consumed in Iron-making	62
3.2.2 Carbon Resolution Reaction	63
3.2.3 Indirect Reduction Reaction	63
3.2.4 Direction Reduction Reaction	63
3.2.5 Reduction Reaction of Non-iron Element	64
3.2.6 Absorb - Carbon Reaction	65
3.2.7 Combustion Reaction of Coke at Tuyere	66
3.2.8 Chemical Reaction of Alkali and Ash in Coke	66
3.3 Degradation Factor of Coke in Blast Furnace	67
3.3.1 External Factors of Coke Degradation	67
3.3.2 Internal Factors of Coke Degradation	74
3.4 Effect on Coke Degradation under Spraying	
Coal dust with Rich-Oxygen	80
3.4.1 Coke Delayed Time within Blast Furnace	80
3.4.2 The Lower of the Coke Rate, The Higher	
of the Charge per M^3 Coke	80
3.4.3 Increasing Hydrogen in Gas due to Spray Coal Dust	80
3.4.4 Increasing Liquid Iron, Liquid Slag and Coke Dust	81
3.4.5 Change of Ash in Coke due to Spray Coal from Tuyere	81
3.4.6 Affect on Coke due to Part Combustion Coke Dust up	