

影响焦炭质量因素的探讨与稳定焦炭质量的措施

孟庆波

中钢集团鞍山热能研究院有限公司

炼焦技术国家工程研究中心

2018年08月17日·水城

中钢集团鞍山热能研究院简介

1952年11月

冶金工业部钢铁研究院

煤焦研究起点

1953年

冶金工业部鞍山焦化耐火材料设计院

1976年8月

成立冶金工业部鞍山热能研究所

1989年10月

更名为冶金工业部鞍山热能研究院

1999年6月

转制为科技企业，进入中国钢铁工贸集团公司

2004年5月

更名为中钢集团鞍山热能研究院

2008年3月

更名为中钢集团鞍山热能研究院有限公司

中钢集团鞍山热能研究院简介

技术发展：

- 起点1950s 北京钢铁研究总院煤焦研究室
- 60s-70s 计划经济 国家钢企 配煤任务；中国煤炭分类
区域配煤 煤岩配煤技术
- 80s 中国煤炭分类
- 90s 煤岩配煤技术
- 2003年 配煤专家系统
- 2008年 矩阵法配煤
- 2012 年 炼焦煤应用性分类 基于应用性分类的配煤法
基于流动度的结构配煤法 炼焦煤科学评价法
炼焦煤科学评价体系 优化配煤体系
- 煤、焦特性与高炉冶炼匹配技术研究



| 标准号 | 标准名称 |
|------------------|------------------------|
| GB/T 2000-2000 | 焦化产品固体类取样方法 |
| GB/T 4511.1-2008 | 焦炭真相对密度、假相对密度和气孔率的测定方法 |
| GB/T 2295-2008 | 焦化固体类产品灰分测定方法 |
| GB/T 2286-2008 | 焦炭全硫含量的测定方法 |
| GB/T 2006-2008 | 焦炭机械强度的测定方法 |
| GB/T 9977-2008 | 焦化产品术语 |
| GB/T 2001-2013 | 焦炭工业分析测定方法 |
| YB/T 034-2015 | 铁合金用焦炭 |
| GB/T 32041-2015 | 焦化行业能源管理体系实施指南 |
| YB/T 4526-2016 | 炼焦试验用小焦炉技术规范 |
| GB/T 8729-2017 | 铸造焦炭 |
| GB/T 32158-2015 | 煤系针状焦 |
| YB/T 077-2017 | 焦炭光学组织的测定方法 |
| | 中国煤炭分类 |
| | 炼焦配煤优化技术规范 |
| | 焦炭反应性及反应后强度 |

研究团队制修订国家标准、行业标准（焦化部分）



目 录

CONTENTS

1

国内炼焦行业现状及发展趋势

2

焦炭质量研究进展及其影响因素

3

稳定焦炭质量技术研究及措施

4

结语

目录

CONTENTS

1

国内炼焦行业现状及发展趋势

1 国内炼焦行业现状及发展趋势

2018/2019年我国钢铁焦产量

| 项目 | 2019产量 | 2018产量 | 比2018增产 | 同比 (%) |
|------|---------|-----------|---------|--------|
| 粗钢 | 99634 | 92826 | 6808 | 8.3 |
| 生铁 | 80937 | 77105 | 3832 | 5.3 |
| 焦炭 | 47126 | 43820 | 3306 | 5.2 |
| | 其中：钢企焦化 | 11414 | 占总产量24% | 2.26 |
| | 其他焦化 | 35712 | 占总产量76% | 6.21 |
| 钢材 | 120477 | 110552 | 8661 | 9.8 |
| 生产总值 | | 900309/亿元 | | |

注：1) 2019年产量和同比数据为国家统计局数据，因与2018年产量数据有来源不同，所以计算出的同比数据与表中不同。

2) 2019年我国生产焦炭4.7126亿吨焦炭，其中：半焦产量4500万吨，气化焦1000万吨，铸造焦500万吨，则我国冶金焦（全焦）4.1亿吨，与8亿吨生铁产量基本匹配。

本章节数据主要由中焦协顾问、中冶焦耐原院长郑文华教授级高工搜集整理

1 国内炼焦行业现状及发展趋势

2018/2019年世界和中国钢铁焦产量

| 项目 | 粗钢 | | 生铁 | | 焦炭 | | 直接还原铁 | |
|-----------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| | 2019 | 2018 | 2019 | 2018 | 2019 | 2018 | 2019 | 2018 |
| 世界产量（亿吨） | 18.699 | 18.086 | 12.78 | 12.39 | 6.8256 | 6.451 | 1.06 | 0.998 |
| 同比增长（%） | 3.4 | 4.6 | 2.4 | 2.2 | 5.1 | 1.8 | 2.2 | 12.5 |
| 中国产量（亿吨） | 9.963 | 9.283 | 8.0937 | 7.71 | 4.7126 | 4.382 | | |
| 中国产量占比（%） | 53.3 | 51.3 | 63.3 | 62.2 | 69.0 | 67.9 | | |

2019年世界主要产钢国家

| 国别 | 粗钢产量 万吨/年 | 同比 % | 国别 | 粗钢产量 万吨/年 | 同比 % |
|-----|-----------|------|-----|-----------|------|
| 中国 | 99630 | 8.3 | 韩国 | 7140 | -1.4 |
| 印度 | 11120 | 1.8 | 德国 | 3970 | -6.5 |
| 日本 | 9930 | -4.8 | 土耳其 | 3370 | -9.6 |
| 美国 | 8790 | 1.5 | 巴西 | 3220 | -9.0 |
| 俄罗斯 | 7160 | -0.7 | 伊朗 | 3190 | 30.1 |

1 国内炼焦行业现状及发展趋势

2018/2019年世界及主要焦炭生产国产量（万吨）

| 国家 | 2019年 | 2018年 | 增减% | 国家 | 2019年 | 2018 | 增减% |
|-----|-------|-------|--------|----|-------|-------|-------|
| 中国 | 47126 | 43820 | 7.50 | 美国 | 1181 | 1212 | -2.56 |
| 日本 | 3268 | 3257 | 0.34 | 巴西 | 950 | 950 | 0.00 |
| 印度 | 3030 | 2793 | 8.49 | 德国 | 910 | 933 | -2.47 |
| 俄罗斯 | 2680 | 2766 | -3.11. | 波兰 | 862 | 930 | -7.31 |
| 韩国 | 1767 | 1769 | -0.11 | 欧盟 | 3733 | 3900 | -4.28 |
| 乌克兰 | 1230 | 1160 | 6.03 | 世界 | 63396 | 64510 | -1.73 |

- 中国焦炭产量是位居世界第二位日本的14.42倍。
- 2019年年报共统计143 家会员企业焦炭产量总计25452.49万吨，占全国焦炭产量47126万吨(含半焦、气化焦和铸造焦)的54.01%，占全国冶金焦（全焦）产量41000万吨的62%。

1 国内炼焦行业现状及发展趋势

2017~2019年我国进口炼焦煤统计 万吨 美元/吨

| 产 品 | 2017年 | | 2018年 | | 2019年 | |
|-----|---------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | 数量 | 平均单价 | 数量 | 平均单价 | 数量 | 平均单价 |
| 炼焦煤 | 6990.07 | 133.73 | 6490 | 146.03 | 7466 | 138.11 |

2019年我国生产焦炭消耗炼焦精煤： $47126 \times 1.38 = 65034$ 万吨

折合成原煤量： $65034 \text{万吨} \div 0.65 = 10.0$ 亿吨（洗精煤率按65%计）

炼焦用原煤量占全国煤炭总产量39.7亿吨的25.2%

当年进口7466万吨炼焦精煤，占炼焦精煤总消耗量的11.48%

沿海地区大量使用进口优质炼焦煤缓解了内陆焦化厂使用国产炼焦煤的供应压力。

注：依据2018年焦化年报：吨焦耗煤平均为1.38吨（干煤）

1 国内炼焦行业现状及发展趋势

2017年和2019年会员企业洗精煤率及配煤比

| 项目 | 洗煤回收率 | 焦煤比 | 肥煤比 | 瘦煤比 | 气煤 | 气肥煤 | 1/3焦煤 | 其他煤 |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|
| 2017年 | 73.43 | 38.19 | 14.69 | 10.92 | 8.80 | 1.24 | 21.07 | 5.08 |
| 2019年 | 69.47 | 38.22 | 15.39 | 11.95 | 8.38 | 1.90 | 19.83 | 4.33 |

2019年会员单位配煤质量

| 项目 | 灰分 | 硫分 | 水分 | 挥发分 | X值 | Y值 | G值 | 细度 |
|----|-------|-------|--------|--------|---------|---------|-------|--------|
| | 9.80% | 0.89% | 10.88% | 26.54% | 35.89mm | 15.16mm | 75.95 | 80.60% |

1 国内炼焦行业现状及发展趋势

2016年和2019年我国焦化企业生产焦炭质量指标 %

| 项目 | 名称 | 抗碎强度 M ₄₀ | 耐磨强度 M ₁₀ | 焦炭反应 后强度CSR | 焦炭反应 性CRI | 灰分 | 硫分 | 挥发分 |
|-------|----------------|-------------------------|-------------------------|----------------|--------------|-------|------|------|
| 2016年 | 重点大中型钢铁联合企业焦化厂 | 87.33 | 6.14 | 65.25 | 23.05 | 12.46 | 0.79 | |
| | 主要独立焦化厂 | 85.25 | 6.23 | 63.48 | 26.26 | 12.65 | 0.73 | |
| 2019年 | 中焦协会会员单位焦化厂 | 85.91 | 6.08 | 64.80 | 25.29 | 12.69 | 0.76 | 1.19 |
| | 中钢协会会员单位焦化厂 | 88.24 | 5.85 | | | 12.48 | 0.80 | |
| 2018年 | 中钢协会会员单位焦化厂 | 87.46 | 5.87 | | | 12.52 | 0.79 | |

1 国内炼焦行业现状及发展趋势

2019年中钢协部分高炉生产指标

| 高炉炉容 m ³ | 焦比 kg/t | 小焦比 kg/t | 煤比 kg/t | 燃料比 kg/t |
|---------------------|---------|----------|---------|----------|
| 5500 | 344 | 24.6 | 147 | 516 |
| 4350 | 336 | 21 | 142 | 499 |
| 4000 | 344 | 46.2 | 134 | 524 |
| 1800 | 329 | 27 | 141 | 497 |
| 2300 | 346 | 44 | 134 | 524 |

1 国内炼焦行业现状及发展趋势

截至2017年底我国焦化行业产能

| | | |
|-----------------------------|--|---|
| 全国焦化生产企业470多家 焦炭总产能6.5亿吨 | 常规焦炉产能56000万吨 其中：钢铁焦化产能约占32% 独立焦化产能约占68% | 山西、河北产能超过1亿吨，山东、陕西、 内蒙古产能超过5000万吨 |
| | 半焦（兰炭）产能7000万吨 | 主要集中在陕西、内蒙、宁夏及新疆等地区 |
| | 热回收焦炉产能1900万吨 | 主要在山西、山东等地区 |
| 焦炉煤气制甲醇产能 | 1300万吨左右 | |
| 焦炉煤气制天然气产能 | 50多亿立方米/年 | 40余套装置投产运行 |
| 苯加氢加工能力 | 600万吨左右 | |
| 煤焦油加工能力 | 2300万吨左右 | |
| 干熄焦处理能力 | 274套（其中钢企182套，独立 焦化厂92套） | 相当于年焦炭生产能力3.1亿吨/年（3.82万 吨/时），占常规焦炉产能的55% |

1 国内炼焦行业现状及发展趋势

2020年第一季度和上半年我国钢铁焦产量

| 项目 | 第一季度产量(万t) | 同比 (%) | 上半年产量 (万吨) | 同比 (%) |
|-----|------------|--------|------------|--------|
| 粗钢 | 23446 | 1.2 | 49900 | 1.4 |
| 生铁 | 19974 | 2.4 | 43300 | 2.2 |
| 焦炭 | 10950 | -4.1 | 22869 | -2.5 |
| 钢材 | 27190 | -1.65 | 60600 | 2.7 |
| 铁合金 | 834 | 3.01 | | 1.92 |

1 国内炼焦行业现状及发展趋势

近二年我国正在设计、施工和投产的焦炉

| 序号 | 厂家 | 座数×孔数 | 炉型 | 年产能（万t） | 状态 |
|----|------------|-------|-----------------------------|---------|-----------|
| 45 | 华菱湘钢（设计施工） | 2×50孔 | PW7.2米焦炉 | 120 | 山东冶金院 |
| 46 | 山西忻州新石能源公司 | 4×41孔 | 6.25捣固 | 180 | 众联盛 |
| 47 | 马钢合肥环保搬迁 | 4×50孔 | 7.0顶装 | 110 | 中冶焦耐 |
| 48 | 广西防城港津西焦化 | 2×70孔 | 7.65顶装 | 200 | 中冶焦耐 |
| 49 | 山西孝义金辉焦化 | 2×67孔 | 6.78米捣固 | 205 | 德国Uhde 基础 |
| 50 | 山西孝义晋茂焦化 | 2×66孔 | JL6555D捣固 | 180 | 2020投产 |
| 51 | 山西交城美锦 | 2×70孔 | LNx3-7.65 | 180 | 未开工 |
| 52 | 山西汾阳金塔山 | 2×56孔 | TJL6253D | 136 | 2020投产 |
| 53 | 山西孝义金岩 | 4×56孔 | HT50-710 | 253 | 施工基础 |
| 54 | 山西孝义楼东 | 4×55孔 | JN6253D | 120 | 开始筑炉 |
| 55 | 山西交城华鑫 | 2×70孔 | LNx3-7.65 | 180 | 未开工 |
| 56 | 灵石聚义富康煤焦化 | 2×63孔 | JL6253D | 210 | 在建 |
| 57 | 山西平遥煤化 | 2×62孔 | JNDX ₃ -6.25-11D | 145 | 拟建 |
| 58 | 山西河津禹门口焦化 | 2×62孔 | 6.8米捣固 | 172 | 拟建 |
| 59 | 山西泰达新能源公司 | 2×70孔 | LNx3-7.65 | 192 | 拟建 |
| 60 | 山西阳光集团 | 2×62 | 6.78捣固 | 150 | 拟建 |
| | | 44 | | 2813 | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

小计：170座

产能13128万吨

其中：

顶装：6625万吨

占比50.5%

捣固：6503万吨

占比49.5%

估计在本表统计之外，仍有近10座大型焦炉、800万吨产能在建设。

所以，总计为180

座，产能1.4亿吨。

[illegible]

1 国内炼焦行业现状及发展趋势

- 1) 国家和省市产业政策积极引导建设先进、清洁生产大型焦炉，当前拟建新焦炉产能大于1.2亿吨，而拟淘汰的4.3米焦炉产能2.27亿吨。
- 2) 钢铁、焦化行业形势出乎预料的好转，盈利大增，为建设大型焦炉提供了雄厚的资金条件；
- 3) 国民环保意识的增强，国家环保要求的不断提高，必须提高焦化厂装备水平。因此，企业家们更加关注长远综合效益，愿意选择顶级设计院、顶级施工公司、顶级设备，建设第一流质量、高水平的焦化厂；
- 4) 在近二年建设的新焦炉中，顶装焦炉产能占52%，捣固焦炉产能占48%；
- 5) 淘汰落后产能的现实，使企业家认识到只有建设高装备水平的大型焦炉才能生存和发展，否则将被淘汰，因此，当前建设的焦炉均为 ≥ 7 米顶装焦炉和 ≥ 6.25 米的捣固焦炉。

1 国内炼焦行业现状及发展趋势

全国三大焦炭生产省淘汰4.3米焦炉情况

| 省份 | 焦化厂数 | 炼焦总产能 (万吨/年) | 4.3米焦炉产能 (万吨/年) | 政策 |
|----|------|-----------------|--------------------|--------------|
| 山西 | 67 | 14768 | 9747 | 2010~2021年淘汰 |
| 河北 | 62 | 8469 | 2358 | 2020年底全部淘汰 |
| 山东 | 40 | 5442 | 2200 | 2020年4月全部淘汰 |
| 合计 | 169 | 28679 | 14305 | |

1 国内炼焦行业现状及发展趋势

- 1) 2019年我国焦炭生产稳步增长，达到47126万吨的历史最高产量，占世界焦炭总产量的69%，其中钢铁企业焦化厂焦炭产量占24%。
- 2) 全国焦化行业主营业务收入约为9534亿元（按照山西省焦化行业主营业务收入吨焦2023元估算），但焦化行业经济效益大幅下滑。
- 3) 当前正值建设先进、清洁生产大型焦炉的热潮，拟建新焦炉180座，产能大于1.4亿吨，我国4.3米焦炉产能达2.7亿吨。
- 4) 全国3个炼焦大省——山西、河北和山东2019年已经淘汰炼焦产能4630万吨，2020年计划继续淘汰3856万吨。

1 国内炼焦行业现状及发展趋势

2019年焦化行业运行情况

2019年，焦化行业继续稳步推进供给侧结构性改革，加快结构调整、转型升级，推动全行业高质量发展，行业运行总体平稳。

- 一、焦炭产量稳步增长。2019年，全国焦炭产量为47126万吨，同比增长5.2%，其中，钢铁联合企业焦化厂焦炭产量为11414万吨（占24%），同比增长2.3%，其他焦化企业焦炭产量为35712万吨（占76%），同比增长6.2%。
- 二、焦炭价格下降幅度较大。2019年，粒度大于40毫米的焦炭价格区间为1798-2088元/吨，平均价格为1970元/吨，同比下降10.1%。粒度25-40毫米的焦炭价格区间为1751-2020元/吨，平均价格为1915元/吨，同比下降9.6%。

1 国内炼焦行业现状及发展趋势

三、焦炭出口量价齐跌。2019年，焦炭累计出口652万吨，同比下降33.1%；平均价格为276美元/吨，同比下降9.8%。

四、经济效益大幅下滑。由于焦炭价格下跌，同时原料煤价格高位运行，焦化行业经济效益大幅下滑。以焦炭主产区山西省为例，2019年，焦化行业实现主营业务收入1956亿元（吨焦2023元），同比增长0.4%；实现利润82亿元（吨焦85元），利润率4.2%，同比下降5.3个百分点。

2020年是“十三五”规划的收官之年，焦化行业节能减排、绿色发展、转型升级任务依然艰巨。全行业将按照中央经济工作会议要求，持续深化供给侧结构性改革，开展焦化行业规范管理，加快推进科技创新，提升绿色化、智能化水平，促进焦化行业高质量发展。

来源：工业和信息化部网站

1 国内炼焦行业现状及发展趋势

□ 《产业结构调整目录》（2019年本）

- 对钢铁（含焦化）进行管理
- 对淘汰落后产能要求进一步落实，标准未提高但取消过渡期
- 鼓励采用环保技术和先进装备
- 鼓励节能与资源合理利用

□ 《焦化行业规范条件》

- 中国炼焦行业协会牵头修订
- 改准入管理为日常管理，但约束性更强

1 国内炼焦行业现状及发展趋势

□ 焦化企业生产面临的问题

- 焦炭质量市场需求升级—煤资源、捣固工艺与焦炭质量之间的矛盾—大电流、难推焦
- 稳定的焦炭质量要求与煤资源、成本、精细化配煤技术及高水平团队之间的矛盾
- 焦炭质量—粒度、冶金焦率、高M40、低M10，稳定和较高水平的CRI和CSR—高炉顺行、高效
- 捣固焦炭的质量评价体系

1 国内炼焦行业现状及发展趋势

□ 中焦协团体标准《焦化示范企业评价规范》（T/CCIA001-2020）制订中

- 促进焦化行业高质量发展
- 全流程优化—从设计开始
- 源头控制—强化工艺参数控制、提高安全、环保、节能和质量管理水平

□ 焦化企业绿色清洁生产已见效果—未来可期

- 2019年3月26日在江苏·徐州·邳州·沂州科技公司举行绿色焦化示范企业创建启动会
- 一大批大型焦炉建成投产或在设计、建设中—7米和7.6米顶装，6.25米和6.87米捣固
- 无尘、无味焦化厂已长期稳定运行—煤、焦全封闭，VOCs处理
- 废水深度处理全部回用，固废资源化回收利用或回配处理

◆ 焦化企业仍将为我国钢铁行业发展提供高质量焦炭，供应偏紧、价格升高

1 国内炼焦行业现状及未来发展趋势



1 国内炼焦行业现状及未来发展趋势



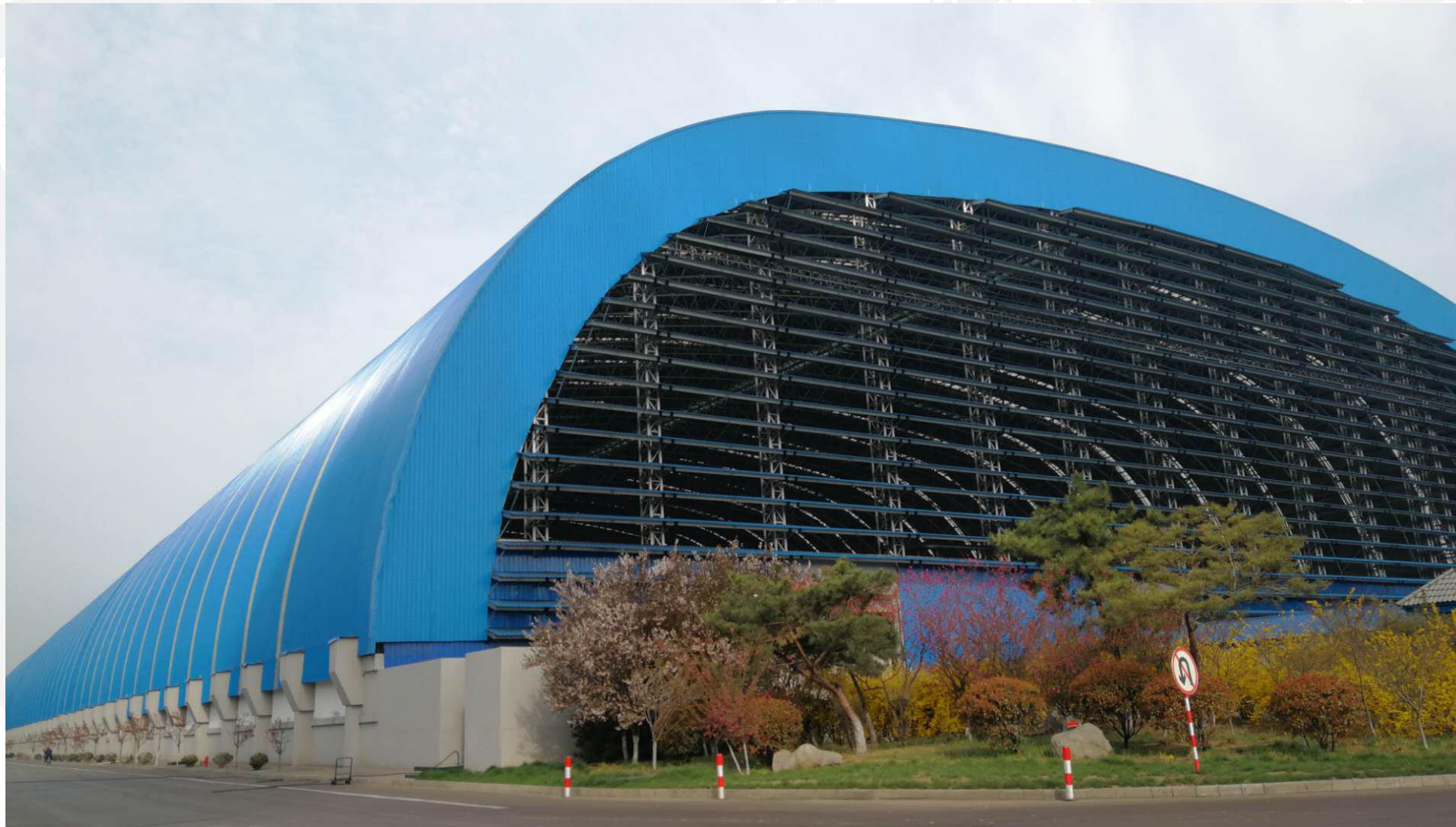
1 国内炼焦行业现状及未来发展趋势



1 国内炼焦行业现状及未来发展趋势



1 国内炼焦行业现状及未来发展趋势



1 国内炼焦行业现状及未来发展趋势



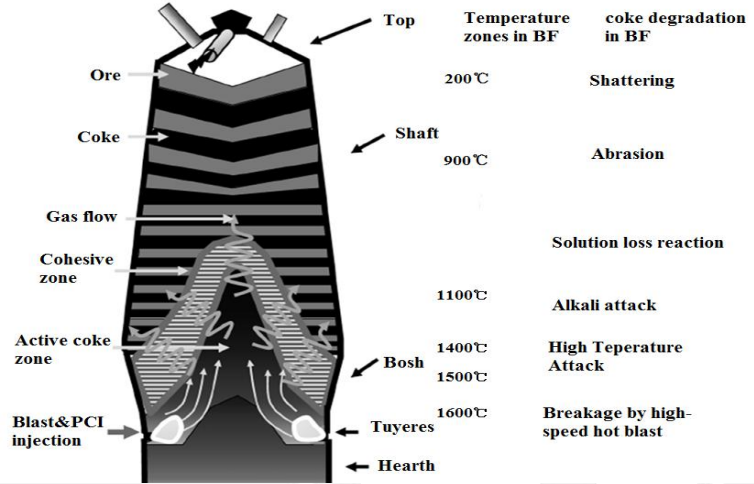
目 录

CONTENTS

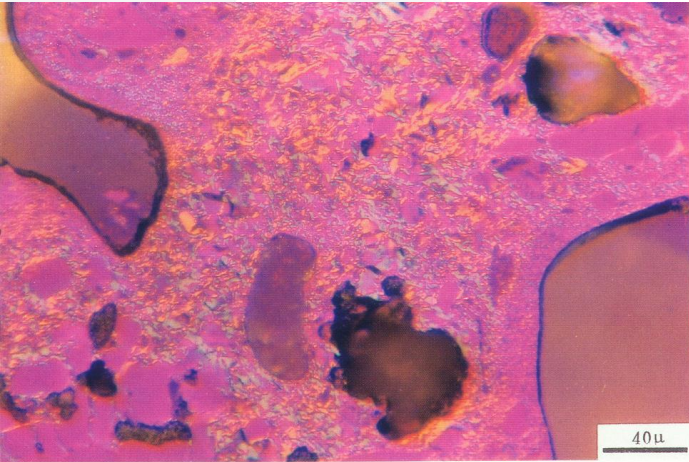
2

焦炭质量研究进展及其影响因素

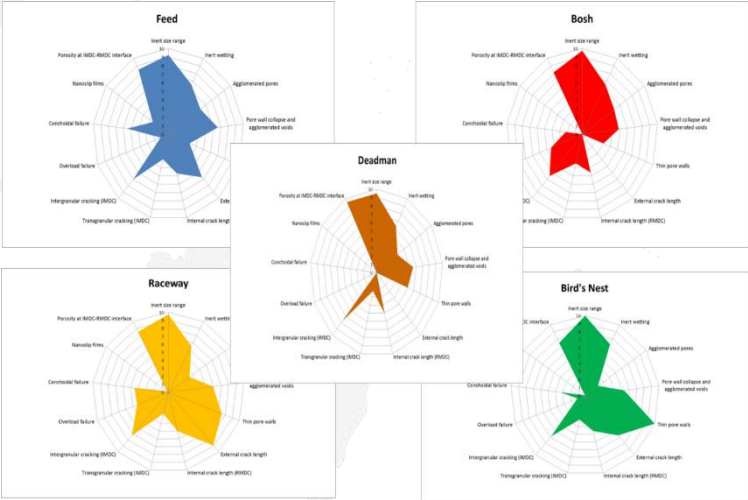
2 焦炭质量研究进展及其影响因素



焦炭质量与高炉冶炼



焦炭冷热态强度



焦炭孔隙与炭基质

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

● 焦炭的质量指标

➤ 焦炭是高炉炼铁的必须燃料，主要有四大作用：

- 提供冶炼所需热量
- 提供还原铁氧化物的还原剂
- 焦炭是高炉料柱的骨架和提供透气、透液的通路
- 铁水渗碳

□ 焦炭质量须满足高炉冶炼上述要求

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

● 焦炭的质量指标

➤ 灰分及固定碳:

- 为高炉冶炼提供热源、还原剂、渗碳剂的是焦炭中的碳
- 焦炭中的灰分主要是酸性氧化物，在冶炼过程需配加碱性熔剂进行造渣，使焦比升高、高炉产量下降
- 焦炭中的灰分在高炉下部高温区发生复杂的高温化学反应，使焦炭劣化加剧

□ 焦炭灰分要低而固定碳高

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

● 焦炭的质量指标

➤ 硫:

- 高炉冶炼生铁时炉料中的总硫量的80%左右来自焦炭
- 硫负荷高时，须提高炉温和炉渣碱度进行脱硫，造成高炉产量降低、焦比升高
- 焦炭硫负荷过高时，须进行炉外脱硫，增加生产成本、恶化操作环境、增加劳动强度

□ 焦炭中硫应合理控制，一般应 $<0.7\%$

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

● 焦炭的质量指标

➤ 挥发份：

- 焦炭挥发份代表焦炭的成熟程度
- 挥发份高，说明焦炭不够成熟用

□ 焦炭挥发份一般应 $\leq 1.5\%-1.8\%$

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

● 焦炭的质量指标

➤ 机械强度:

- 焦炭要有足够的机械强度来抵抗入炉前的多次转运、装炉冲击及在炉内所承受越来越大的料柱重力和摩擦力和越来越高的温度引起的热应力对焦炭的破坏作用
 - 若焦炭没有足够的机械强度，就易破碎成小块并产生大量的粉末，导致料柱的透气性恶化，高炉不能顺行
 - 国家标准焦炭《机械强度测定方法GB/T2000-2008》规定采用米库姆转鼓测定焦炭的机械强度，质量指标用M40表示抗冲击（抗碎）强度，用M10表示抗磨强度
- 焦炭机械强度（M40、M10）指标选取取决于高炉容积和操作制度（喷吹煤粉量、冶炼强度、炉料结构与成分等）

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

● 焦炭的质量指标

➤ 反应性与反应后强度:

- 反应性是指焦炭与CO₂气化反应的难易程度，用CRI表示。反应后强度是指焦炭经CO₂反应后用I型转鼓测定的强度，用CSR表示。按《焦炭反应性及反应后强度试验方法GB/T4000-2008》测定

- 焦炭反应性（CRI）和反应后强度（CSR）指标取决于高炉容积和操作制度（喷吹煤粉量、冶炼强度、炉料结构与成分等）

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

● 焦炭的质量指标

➤ 粒度及筛分组成:

- 焦炭须具有一定的粒度和合理的筛分组成

□ 焦炭是高炉中自始至终保持固态的物料，合理的粒度和筛分组成是高炉料柱的骨架，是高炉透气、透液的保障

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

● 焦炭的质量指标

➤ 成分及各指标的稳定性:

- 焦炭的各种成分均会影响高炉冶炼，为使高炉稳定顺行，焦炭的成分及各项指标必须维持稳定

□ 焦炭质量指标的稳定是高炉顺行的重要条件

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

● 焦炭的质量指标

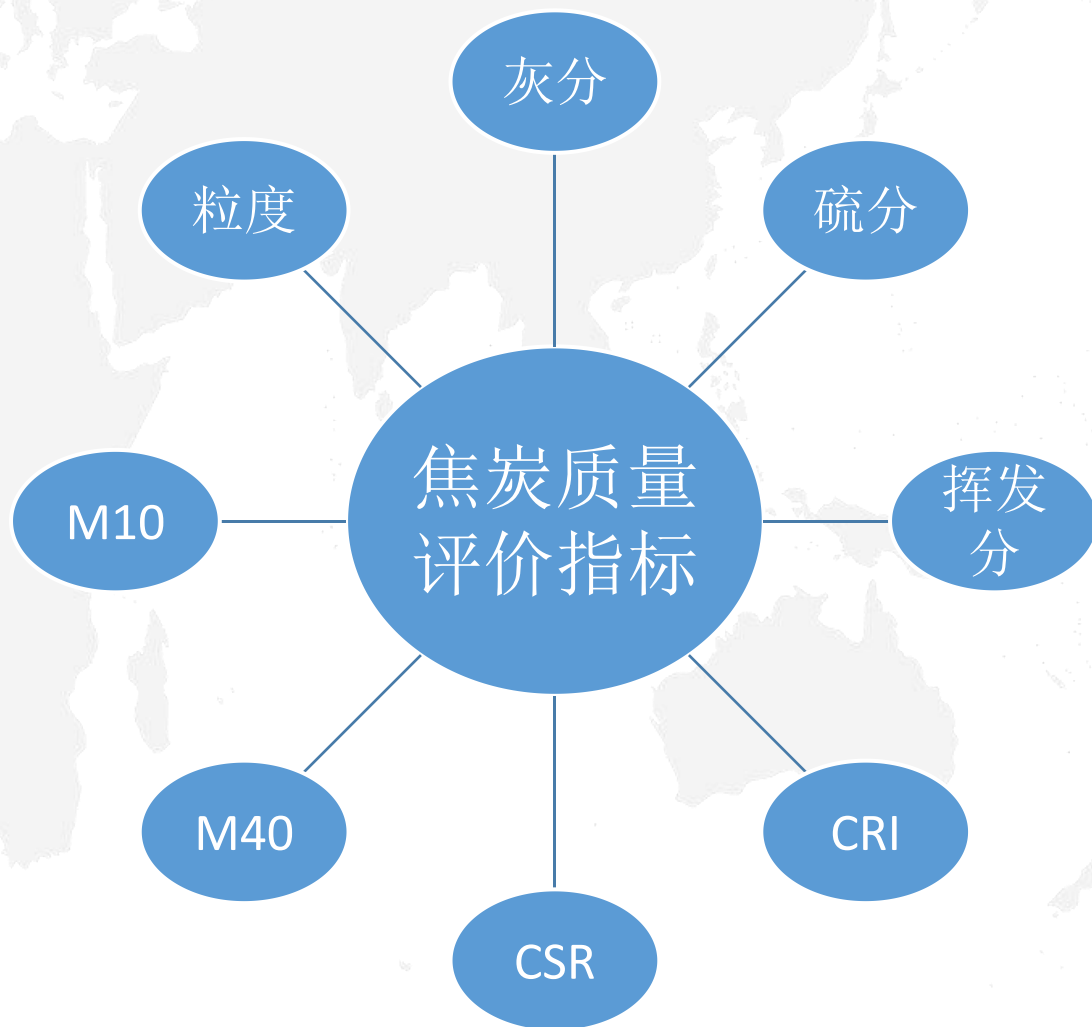
➤ 其他指标:

- 焦炭的发热量、气孔率和灰分成分等

□ 全面的焦炭质量指标是高炉精细化操作的前提条件

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

● 焦炭质量指标的不足



目前评价焦炭质量
的主要指标

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

● 焦炭质量指标的不足

➤ 灰分

- 指导高炉原燃料配比的重要指标
- 影响造渣和渣比
- 灰分指标只是数量指标，还须增加成分指标

➤ 硫

- 影响高炉燃料比、铁水含硫及造渣的重要指标

➤ 挥发份

- 焦炭成熟程度的指标

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

● 焦炭质量指标的不足

➤ 机械强度

- M40—焦炭的抗碎强度
- M10—焦炭的耐磨强度
- 焦炭的冷态强度—代表入炉焦的机械强度，对高炉块状带有指导意义
- 不能表达热态强度，是热态强度的基础

➤ 热态性能

- 反应性（CRI）—焦炭与CO₂的反应能力（1100℃，CO₂反应2hr，反应速度）
- 反应后强度（CSR）—焦炭与CO₂反应后样转鼓后>10mm的百分比
- 测定条件与高炉实际差别较大，仅能部分模拟软熔带附近区域焦炭的劣化
- 5l/min的CO₂反应气、反应2hr，对低CRI焦炭评价过高，对高CRI焦炭评价过低，与高炉实际不符，对CRI 20-30 的焦炭评价略好

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

● 焦炭质量指标的不足

➤ 粒度及筛分组成

- 高炉透气性的重要指标
- 仅代表入炉焦炭，对经劣化的中下部高温区焦炭代表性差，是高温区指标的基础
- 中下部焦炭粒度和筛分组成受焦炭热态性能、焦比、煤比等高炉操作参数等影响

➤ 焦炭现行指标

- 主要指标仅模拟高炉软熔带以上区域，对高炉透气透液性影响巨大的下部高温区焦炭的质量指标没有模拟
- 没有模拟碱金属及渣铁侵蚀、焦中矿物质还原反应、石墨化等化学作用以及高温热作用等影响的指标
- 不能完全表征焦炭的质量，尤其是在高炉下部高温区域焦炭的性能

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

对焦炭反应性和反应后强度，有以下几种观点：

1

实验高炉证明高炉中焦炭气化失重 CRI_{BF} 远低于该高炉入炉焦的 CRI ，而I转鼓强度 CSR_{BF} 远高于该高炉入炉焦的 CSR 。

2

俄罗斯生产高炉运行分析表明，焦炭 CRI 在很宽范围内变化，对高炉平稳运行影响不大，但高炉对焦炭 $M25 < 84\%$ 及 $M10 > 8\%$ 反映强烈。

3

在国内， CRI 及 CSR 相差很大的焦炭也在不同的大型高炉上正常使用。

4

CRI 及 CSR 的测定方法与高炉实际情况相差太远，高炉中焦炭的气化反应失重取决于浮氏体气相还原生成的 CO_2 ，而与反应性测定的结果无关。

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

1

焦炭在CRI/CSR试验与在试验高炉中反应性及反应后强度的比较

| 焦炭 | CRI/% | CSR/% | 试样在试验高炉位置 | 距风口距离 | CRI _{BF} /% | CSR _{BF} /% |
|----|-------|-------|-----------|-------|----------------------|----------------------|
| A | 38.2 | 46.9 | 1 | 1.94 | 18.7 | 72.4 |
| F | 19.9 | 70.3 | 1 | 1.94 | 12.9 | 81.1 |
| D | 27.3 | 61.9 | 1 | 1.94 | 14.3 | 78.7 |
| C | 35.0 | 54.7 | 2 | 1.74 | 19.6 | 78.3 |
| E | 23.4 | 64.9 | 3 | 1.54 | 10.3 | 77.5 |
| B | 37.5 | 54.2 | 4 | 1.44 | 15.8 | 78.9 |
| C | 35.0 | 54.7 | 5 | 1.24 | 22.8 | 79.9 |

Maria Lundgren, Lena Sundqvist Ökvist, Bo Björkman, Coke Reactivity under Blast Furnace Conditions and in the CSR/CRI Test, steel research int. 2009, 80(6): 396-401

俄罗斯冶金工作者的研究认为，焦炭的反应性允许保持较高水平，而不会出现严重的炉缸堵塞，且多座高炉冶炼数据表明其焦比随焦炭反应性提高而降低。

高炉冶炼应当对焦炭冷强度 M_{25} 、 M_{10} 提出严格要求

俄罗斯生产高炉运行分析表明，焦炭CRI在很宽范围内变化，对高炉平稳运行影响不大，但**高炉对焦炭 $M_{25} < 84\%$ 及 $M_{10} > 8\%$ 反映强烈**

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

2

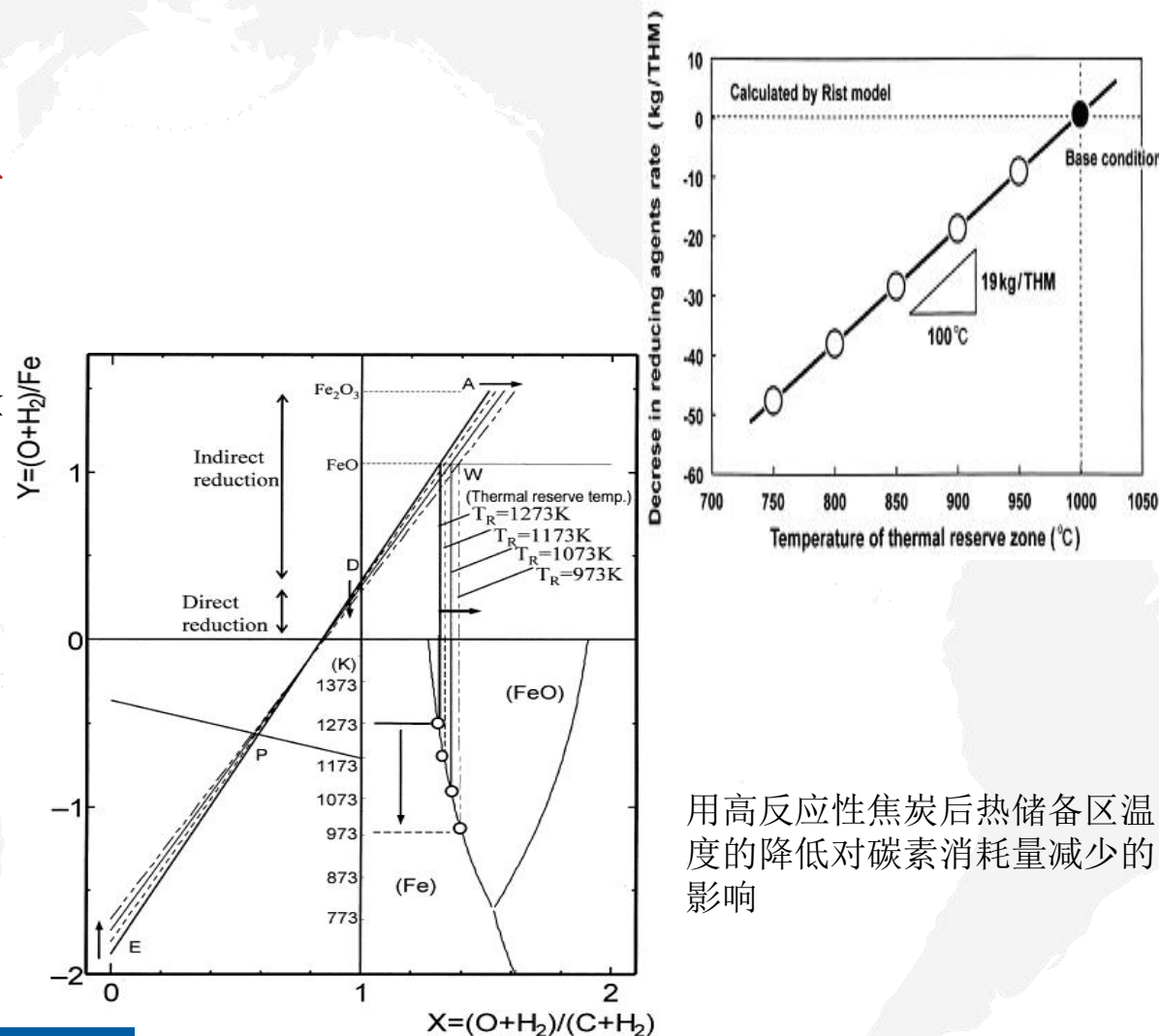
在风口回旋区，焦炭反应性高、鼓风速度低、燃烧温度高有利于降低风口区粉焦的产生，对高炉操作有利。这也从一个侧面说明高CRI的焦炭可能对高炉操作不一定带来不利影响

渡壁史朗等，抑制高炉回旋区内焦炭粉化的焦炭特性和高炉操作条件（全荣译），鞍钢技术，2003, No5, 51-56.

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

2

新日铁研究认为，**当铁矿石还原性较好时，可以用高CRI焦炭来降低高炉热储备区温度，显著提高高炉效率，有效降低焦比和煤比，减少CO₂的排放量。**其原理是利用高反应性焦炭在较低温度下与CO₂反应产生CO，促进铁矿石的间接还原反应，降低热储备区的温度，用于还原剂的碳素消耗量降低



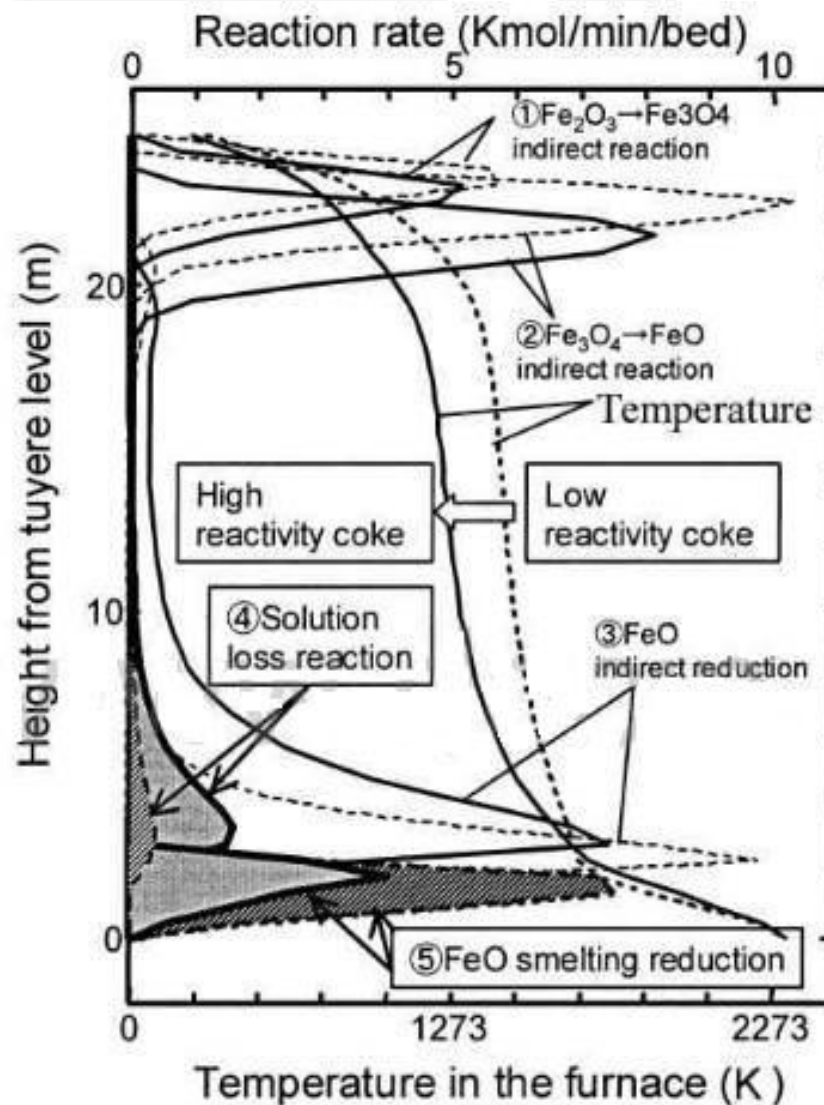
用高反应性焦炭后热储备区温度的降低对碳素消耗量减少的影响

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

2

高炉内直接还原包括两部分，间接还原反应与焦炭中碳气化反应组合的直接还原和熔渣中氧化铁熔融直接还原 $[(\text{FeO})+\text{CO}=\text{Fe}+\text{CO}_2]$ 。高炉使用高反应性焦炭，组合直接还原比例增加，熔融还原比例降低，炉缸需要热流比降低，炉缸热量充沛。

焦炭反应性与高炉热交换



Naito, M, et al. Improvement of blast furnace reaction efficiency by the temperature control of thermal reserve zone[J]. Shinnittetsu Giho, 2006(384):95.

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

3

我国某些高炉（2000m³以上）用焦的CRI及CSR指标

| 焦炭 | A | B | C | D | E | F | G |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| CRI% | 24.7 | 29.7 | 26.4 | 19.2 | 21.5 | 24.5 | 38.6 |
| CSR/% | 63.6 | 61.9 | 60.1 | 74.1 | 66.0 | 65.1 | 38.9 |

郭瑞，汪琦，赵雪飞，孙家富，焦炭反应性及反应后热性质及其检测方法，过程工程学报，2013, Vol13, No3, 512-518.

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

4

CRI及CSR的测定方法与高炉实际情况相差太远，高炉中焦炭的气化反应失重取决于浮氏体气相还原生成的 CO_2 ，而与反应性测定的结果无关。高炉中碳溶损失反应失重一般约为20–30%，与喷煤量密切相关

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

焦炭冷强度 M40 及 M10 和热性能 CRI 及 CSR 能在一定程度上评价焦炭质量，但并不能很好、全面地表征焦炭质量。因为焦炭冷强度和热性能分别是在常温和 1100℃ 条件下测定得出的，而焦炭在更高温度下的性能却未能涉及。

1. 焦炭在模拟高炉实际条件下的反应性及反应后强度

2. 焦炭基质对强度的影响

3. 焦炭孔隙结构对焦炭质量的影响

4. 焦炭在高炉不同部位劣化的根源

5. 焦炭中矿物质（灰分）对焦炭劣化的影响

近年研究工作重点

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

(1) 焦炭反应性测定方法的改进及高温条件下的焦炭强度

改进方法：采用模拟高炉冶炼条件，如变温、反应失重约20-30%或采用混合反应气体，测定焦炭的反应性及反应后强度。

改变反应温度、CO₂浓度、反应时间，测定的CSR是不同的

不同反应条件对反应后焦炭强度的影响

| 试验 编号 | 反应条件 | | | 转鼓强度（CSR）/% | | | | | |
|-----------------|----------|------|--------------------------|-------------|------|------|------|------|------|
| | 温度 /K | 时间/h | CO ₂ 浓度 /% | A1 | A2 | A3 | C1 | C2 | C3 |
| M ₄₀ | - | - | - | 68.6 | 76.0 | 73.6 | 65.6 | 70.2 | 78.7 |
| T1* | 1373 | 2.0 | 100 | 49.1 | 64.6 | 35.3 | 23.8 | 53.2 | 66.8 |
| T2 | 1373 | 2.0 | 25 | 49.5 | 65.7 | 37.7 | 16.6 | 57.2 | 64.5 |
| T3 | 1373 | 1.5 | 100 | 50.2 | 66.3 | 36.0 | 13.7 | 53.4 | 66.5 |
| T4 | 1573 | 0.5 | 25 | 56.8 | 59.2 | 53.0 | 43.6 | 61.4 | 68.3 |
| T5 | 1573 | 0.5 | 100 | 54.3 | 60.1 | 50.7 | 38.8 | 57.3 | 67.0 |

T1是标准反应性测定方法测定所得的反应后转鼓强度CSR。M40是焦炭样品的原始转鼓强度

Shen F., Gupta S., Liu Y., Meng Q., French D., Sahajwalla V. Effect of reaction conditions on coke tumbling strength, carbon structure and mineralogy[J], Fuel, 111(2013): 223–228.

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

(1) 焦炭反应性测定方法的改进及高温条件下的焦炭强度

改进方法：采用模拟高炉冶炼条件，如变温、反应失重约20-30%或采用混合反应气体，测定焦炭的反应性及反应后强度。

改进后的等失重反应后强度：

失重25%的反应后强度：各焦炭的差异变小

失重25%的焦炭经1400℃处理后强度：各焦炭下降幅度差别明显

焦炭反应性及反应后热性质不同测试方法结果比较

| 焦炭 | A | B | C | D | E | F | G |
|--|------|------|------|------|------|------|------|
| CRI% | 24.7 | 29.7 | 26.4 | 19.2 | 21.5 | 24.5 | 38.6 |
| CSR/% | 63.6 | 61.9 | 60.1 | 74.1 | 66.0 | 65.1 | 38.9 |
| S _{CSR25} /% | 69.4 | 69.8 | 65.7 | 63.3 | 65.1 | 70.6 | 50.1 |
| S _{CPHTS} /% | 62.3 | 69.1 | 64.2 | 61.1 | 62.6 | 69.0 | 46.8 |
| (S _{CSR25} - S _{CPHTS})/% | 7.1 | 0.7 | 1.5 | 2.3 | 2.5 | 1.6 | 3.3 |

郭瑞，汪琦，赵雪飞，孙家富，焦炭反应性及反应后热性质及其检测方法[J]，过程工程学报，2013, 13（3）： 512-518.

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

(2) 焦炭基质对强度的影响

焦炭作为不均质的多孔体，其基质性能是影响焦炭强度及其反应性能的本质因素。Juho A. Haapakangas等人研究了三种工业焦炭的高温强度，发现**1600℃和1750℃时测定的焦炭抗压强度比室温时下降约30%**，尽管下降幅度不同，但三种焦炭抗压强度的次序未变，说明**焦炭的冷态强度是热态强度的基础，焦炭石墨化是焦炭高温强度降低的重要因素**。高温强度测定的离散度明显低于室温强度时的离散度，说明随温度升高，焦炭石墨化，炭基质均质程度提高；因三个焦炭中的惰性物和活性组分形成的显微组织差距较小，**三种焦炭抗压强度主要取决于孔结构、裂纹和炭基质强度**。但研究显示焦炭强度与**1mm直径气孔的孔形状因数无明显关系**，认为**孔形状对焦炭强度的影响主要由裂纹、接触孔（不规则孔）及大于1mm直径气孔引起**。

Juho A. Haapakangas, Juha A. Uusitalo, Olli J. Mattila, Stanislav S. Gornostayev, David A. Porter, and Timo M. J. Fabritius, The Hot Strength of Industrial Cokes-Evaluation of Coke Properties that Affect Its High-Temperature Strength[J], steel research int. 85(2014)No.9999,1-12

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

(3) 焦炭孔隙结构对焦炭质量的影响

焦炭显微结构参数

| Parameter | Code | A1 | A2 | A3 | A4 | A2* | A3* |
|---|-------|-------|------|------|-------|------|------|
| Equivalent circular diameter, μm^a | D | 127.7 | 95.5 | 95.2 | 101.4 | 67.7 | 87.5 |
| Feret ratio, % | F_R | 55.9 | 55.2 | 55.6 | 55.5 | 55.2 | 54.2 |
| Mean wall thickness, μm | W | 65.2 | 53.3 | 54.3 | 70.2 | 55.7 | 65.6 |
| Total porosity, % | P | 61.8 | 54.4 | 55.9 | 54.1 | 43.9 | 50.3 |
| Pore size distribution factor | S_F | 1.33 | 1.50 | 1.87 | 1.98 | 1.22 | 1.59 |
| Pore rugosity factor | R_F | 1.06 | 1.11 | 1.16 | 1.20 | 1.11 | 1.15 |
| Average roundness | R | 0.60 | 0.62 | 0.65 | 0.68 | 0.61 | 0.64 |
| Modified parameter, % | S^+ | 1.17 | 1.71 | 2.22 | 3.04 | 2.55 | 2.72 |

^a 只考虑面积大于 $1000\mu\text{m}^2$ 的孔。
焦炭A2* 和A3*是由A2和A3煤捣固炼焦工艺制得。

焦炭的气孔率、孔壁厚度和孔径对焦炭的强度和反应性具有明显的影响。但这些指标与焦炭强度的相关性并不高，即使采用孔壁厚度与孔径比S亦不太高，Fanyu Meng 提出的修正指标 S^+ 参数：

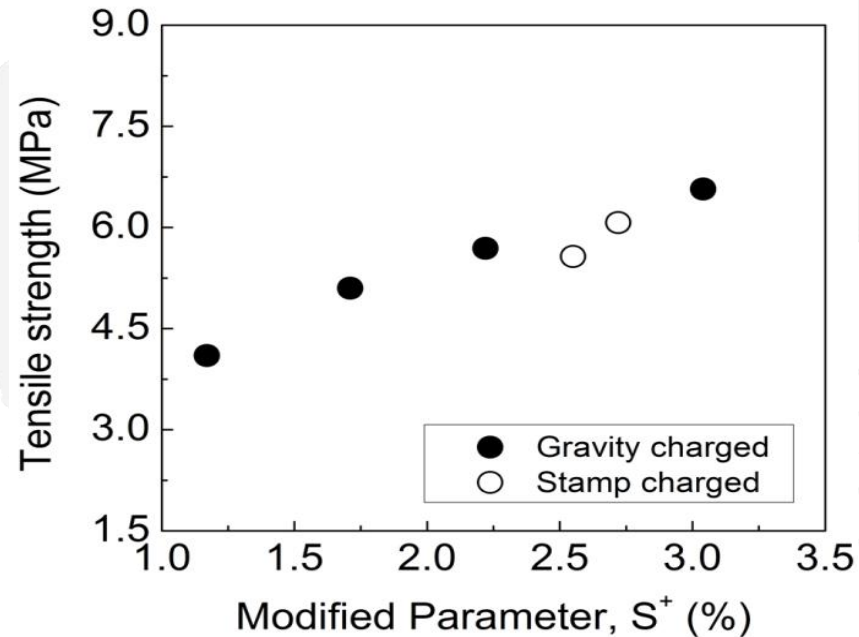
$$S^+= (W \times S_F \times R_F) / (P \times D)$$

式中：W-平均壁厚， S_F -孔径分布因子， R_F -孔不规则度，P-总气孔率，D-当量直径。

Fanyu Meng, Sushil Gupta, David French, etc, Characterization of microstructure and strength of coke particles and their dependence on coal properties[J], Powder Technology, 320(2017)240-256.

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

(3) 焦炭孔隙结构对焦炭质量的影响



焦炭抗拉强度和修正指标之间的关系

Fanyu Meng 提出的修正指标 S^+ 与焦炭的抗拉强度明显相关，随 S^+ 指标增大焦炭抗拉强度提高。

Fanyu Meng, Sushil Gupta, David French, etc, Characterization of microstructure and strength of coke particles and their dependence on coal properties[J], Powder Technology, 320(2017)240-256.

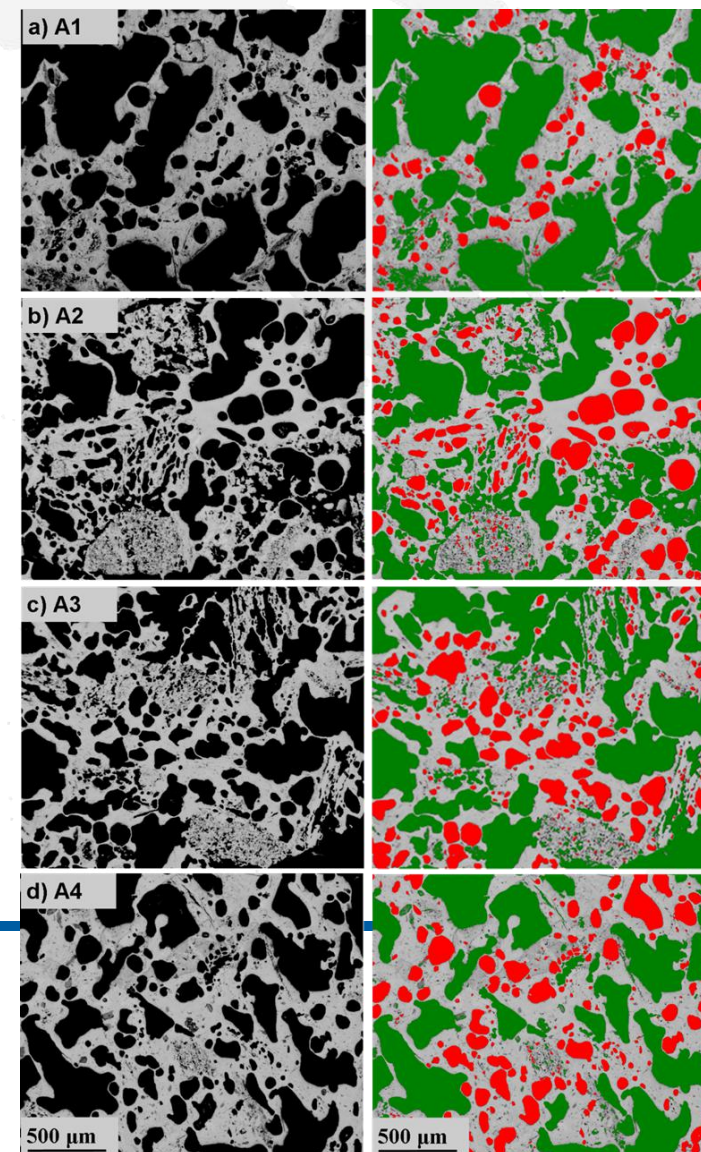
2 焦炭质量研究进展及其影响因素

(3) 焦炭孔隙结构对焦炭质量的影响

Typical images of four cokes illustrating the differences between closed pores of high roundness (red), and connected pores of low roundness (green); and carbon matrix appears grey in colour images.

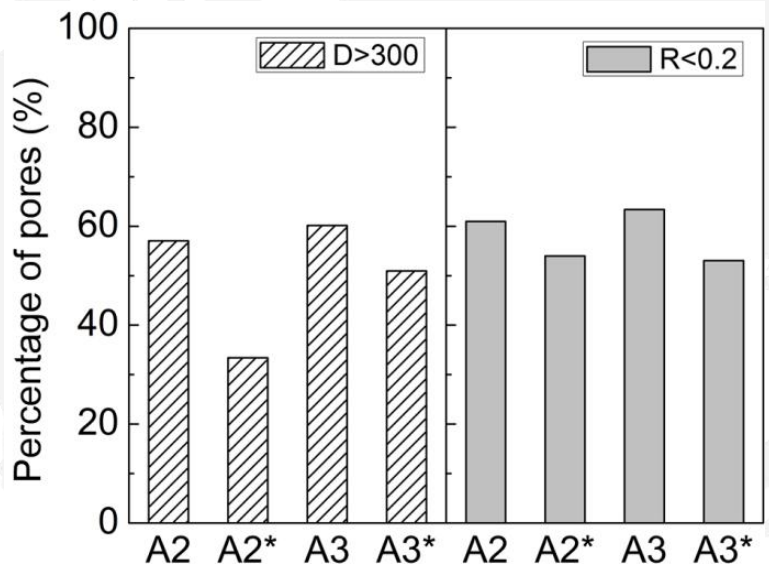
四种焦炭典型图片，红色为高圆度孔，绿色为低圆度接触孔，灰色为炭基质。

Fanyu Meng, Sushil Gupta, David French, etc, Characterization of microstructure and strength of coke particles and their dependence on coal properties[J], Powder Technology, 320(2017)240-256.



2 焦炭质量研究进展及其影响因素

(3) 焦炭孔隙结构对焦炭质量的影响



顶装和捣固工艺两类焦炭中大于300μm气孔的比例与气孔圆度小于0.2mm气孔的比例的对比

捣固工艺能明显减少>300μm的大气孔、提高S+指标，这很好地说明了捣固工艺通过改善焦炭孔隙结构提高焦炭的抗拉强度。但捣固工艺对降低不规则气孔却不如降低大气孔明显。这可能暗示捣固工艺对改善焦炭在高温条件下的强度效果有限。

捣固焦配煤中炼焦性能较差的煤可能是影响焦炭质量不规则气孔的来源

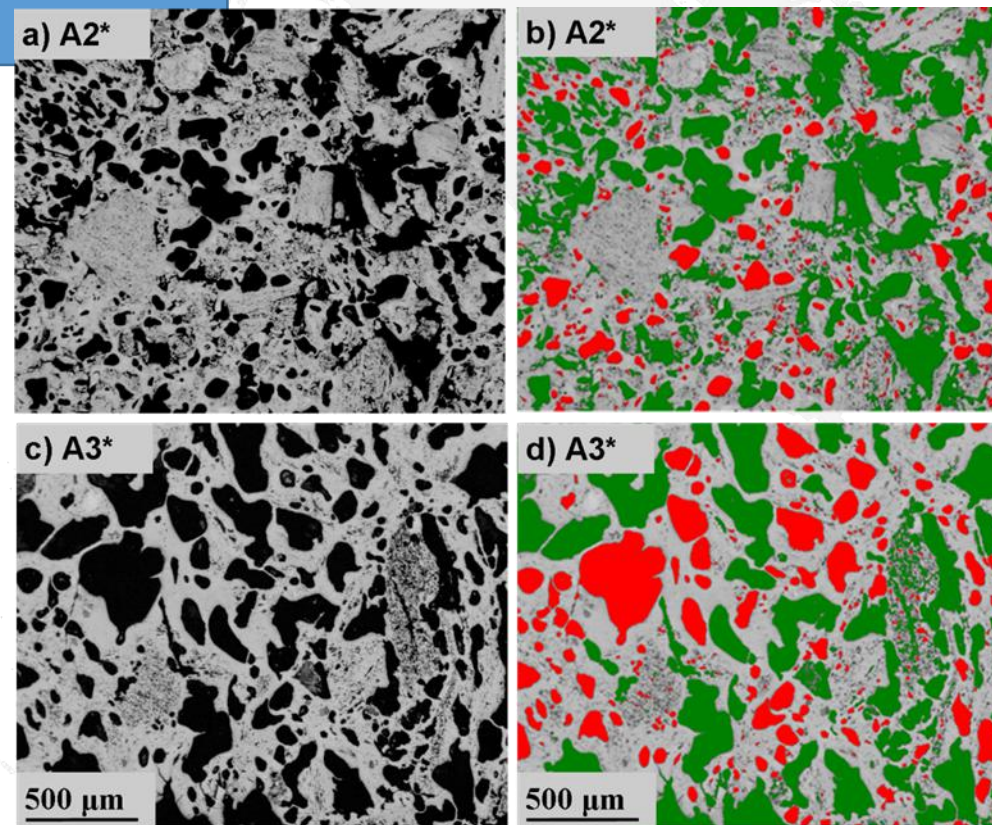
Fanyu Meng, Sushil Gupta, David French, etc, Characterization of microstructure and strength of coke particles and their dependence on coal properties[J], Powder Technology, 320(2017)240-256.

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

(3) 焦炭孔隙结构对焦炭质量的影响

Typical images of two stamp-charged cokes illustrating closed pores with high roundness values (red), and connected pores with low roundness (green); and carbon matrix appears grey in colour.

两种捣固焦炭典型图片，红色为高圆度孔，绿色为低圆度接触孔，灰色为炭基质。



Fanyu Meng, Sushil Gupta, David French, etc, Characterization of microstructure and strength of coke particles and their dependence on coal properties[J], Powder Technology, 320(2017)240-256.

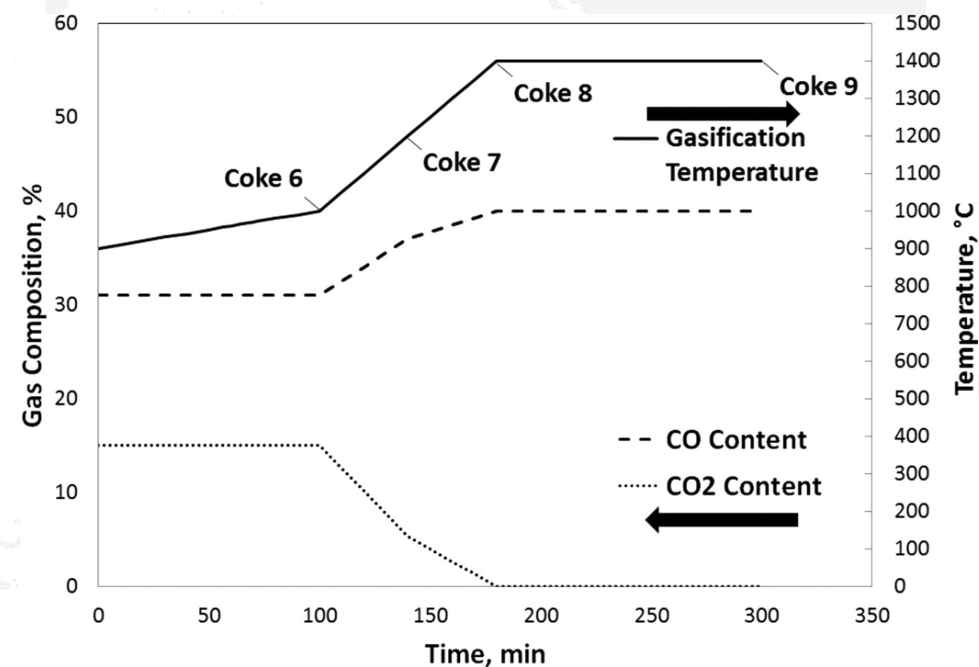
2 焦炭质量研究进展及其影响因素

(4) 焦炭孔隙结构在模拟高炉冶炼条件下的变化

在模拟高炉冶炼的高温和气化条件下
焦炭的劣化行为研究：

高温：在N₂条件下将焦炭加热至最高2000℃

气化：气体组成(N₂-CO-CO₂)—温度（最高1400℃）



Gas composition-temperature profiles for gasification test

Xing Xing, Harold Rogers, Guangqing Zhang, etc, Changes in Pore Structure of Metallurgical Cokes under Blast Furnace Conditions[J], Energy & Fuels 2016, 30, 161–170.

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

(4) 焦炭孔隙结构在模拟高炉冶炼条件下的变化

(1) 气化和高温都使焦炭机械强度下降。在1400℃气化比高温引起反应性高的焦炭D强度下降更大。

焦炭经高温和气化后的抗拉强度变化, MPa

| | coke A | coke C | coke D |
|---------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| coke 1 | 7.71 (0.31)a | 4.62 (0.23) | 5.49 (0.33) |
| coke 2 | 7.10 (0.30) | 4.30 (0.20) | 5.23 (0.42)/1400 |
| coke 3 | 6.38 (0.26) | 3.82 (0.24) | 5.10 (0.32)/1600 |
| coke 4 | 5.51 (0.25) | 3.35 (0.21) | 5.05 (0.30)/1800 |
| coke 5 | 4.95 (0.26) | 2.86 (0.26) | 4.83 (0.34)/2000 |
| coke 6 | 7.07 (0.24) | 4.28 (0.23) | 5.14 (0.37)/1000 |
| coke 7 | 6.91 (0.31) | 4.06 (0.25) | 4.82 (0.32)/1200 |
| coke 8 | 6.92 (0.34) | 3.81 (0.27) | 4.53 (0.36)/1400 |
| coke 9 | 6.99 (0.19) | 3.68 (0.30) | 4.36 (0.38)/1400+ |

a Relative standard deviation of measurement.

Xing Xing, Harold Rogers, Guangqing Zhang, etc, Changes in Pore Structure of Metallurgical Cokes under Blast Furnace Conditions[J], Energy & Fuels 2016, 30, 161–170.

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

在模拟高炉冶炼的高温和气化条件下焦炭气孔率的变化, %

(4) 焦炭孔隙结构在模拟高炉冶炼条件下的变化

(2) 气化（至1400℃）和高温（1400-2000℃）使焦炭气孔率和气孔尺寸增加，在1400℃气化比高温对气孔率和气孔尺寸的增加影响更大。高反应性焦炭D在1400℃气化比2000℃高温对气孔率和气孔尺寸的增加影响更大。

| | coke A | coke C | coke D |
|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| coke 1 | 51.1 (0.12) a | 66.3 (0.12) | 57.9 (0.11) |
| coke 2 | 53.3 (0.11) | 69.0 (0.09) | 58.7 (0.14) |
| coke 3 | 54.8 (0.14) | 70.5 (0.08) | 59.8 (0.11) |
| coke 4 | 55.7 (0.09) | 71.3 (0.08) | 59.2 (0.11) |
| coke 5 | 59.5 (0.12) | 72.6 (0.07) | 61.4 (0.11) |
| coke 6 | 53.5 (0.10) | 67.2 (0.10) | 58.3 (0.15) |
| coke 7 | 55.5 (0.12) | 68.4 (0.10) | 60.6 (0.13) |
| coke 8 | 54.9 (0.13) | 68.7 (0.09) | 63.1 (0.10) |
| coke 9 | 56.0 (0.11) | 69.3 (0.09) | 63.6 (0.10) |

Xing Xing, Harold Rogers, Guangqing Zhang, etc, Changes in Pore Structure of Metallurgical Cokes under Blast Furnace Conditions[J], Energy & Fuels 2016, 30, 161–170.

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

(4) 焦炭孔隙结构在模拟高炉冶炼条件下的变化

(3) 经高温或气化，所有焦炭平均孔隙圆度都下降，低圆度孔隙面积占比上升。1400℃气化使焦炭A和C孔隙结构的变化明显大于同温度的高温效果，但小于2000℃高温的效果。但，高反应性焦炭D在1400℃气化作用大于2000℃高温的效果。

| | mean area, μm^2 | perimeter, μm | equivalent circle diameter, μm | average pore roundness | area fraction of pores with roundness ≤ 0.1 , % |
|------------|----------------------------------|-----------------------------|--|------------------------------|---|
| coke A1 | 16304 | 527 | 108 | 0.74 | 2.7 |
| coke A2 | 19457 | 605 | 115 | 0.67 | 8.9 |
| coke A5 | 25068 | 778 | 118 | 0.52 | 21.8 |
| coke A9 | 26095 | 675 | 126 | 0.72 | 12.2 |
| coke C1 | 16817 | 762 | 103 | 0.36 | 29.3 |
| coke C2 | 35423 | 1205 | 127 | 0.31 | 46.6 |
| coke C5 | 69871 | 2254 | 138 | 0.17 | 59.9 |
| coke C9 | 48601 | 1490 | 128 | 0.28 | 53.0 |
| coke D1 | 18760 | 599 | 110 | 0.66 | 13.0 |
| coke D2 | 19268 | 647 | 112 | 0.58 | 14.2 |
| coke D5 | 21175 | 750 | 115 | 0.47 | 26.2 |
| coke D9 | 35119 | 886 | 127 | 0.56 | 35.7 |

^aOnly pores with an area of more than 1000 μm^2 are included in this table.

Xing Xing, Harold Rogers, Guangqing Zhang, etc, Changes in Pore Structure of Metallurgical Cokes under Blast Furnace Conditions[J], Energy & Fuels 2016, 30, 161–170.

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

(4) 焦炭孔隙结构在模拟高炉冶炼条件下的变化

(4) 孔隙结构的变化，在气化时主要是碳溶损失反应，碳-矿物反应也起一定作用；高温时主要是矿物质与碳的反应和进一步脱除挥发份。

(5) 焦炭在模拟高炉气化和高温条件下的劣化是由于孔隙结构变化—孔融并造成的结构缺陷引起的应力集中和焦炭基质强度劣化。

Xing Xing, Harold Rogers, Guangqing Zhang etc, Changes in Pore Structure of Metallurgical Cokes under Blast Furnace Conditions[J], Energy & Fuels 2016, 30, 161–170.

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

(5) 在模拟高炉冶炼条件下不同炼焦煤对焦炭质量的影响

The effect of properties of coal precursors on the micro- and macro-strength of cokes produced in a pilot oven was studied upon the gasification and annealing test conditions which more closely simulated those found in a BF. The specific methodology utilised included gasification of coke with BF gas-temperature profile from 900 to 1400 ° C (corresponding from the thermal reserve zone to the cohesive zone) and annealing of coke up to 2000 ° C (corresponding to the raceway region). General agreement was achieved between the properties for the cokes subjected to the simulated BF conditions and those for the cokes sampled from operating BF. The major findings are:

1、由不同煤阶及不同炼焦特性的煤生产的焦炭，即使焦炭的CSR/CRI相近，在模拟高炉条件下测得的强度差距也很明显。

Xing Xing, Harold Rogers, Paul Zulli etc. Effect of coal properties on the strength of coke under simulated blast furnace conditions [J], Fuel 237 (2019) 775–785.

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

(5) 在模拟高炉冶炼条件下不同炼焦煤对焦炭质量的影响

2、在模拟高炉气化和高温的条件下，焦炭的光学显微组织的反射率明显下降，结构变化。由高煤阶煤制得的焦炭平均最大反射率和双反射率下降更严重。

3、模拟高炉高温处理使焦炭的显微强度明显下降，不论是煤惰性组分（IMDC）还是活性组分（RMDC）光学显微组织类型。所有焦炭的IMDC光学显微组织类型具有类似的劣化程度。然而，高煤阶和低基氏流动度的煤制得的焦炭在其RMDC光学显微组织类型劣化程度格外严重。

Xing Xing, Harold Rogers, Paul Zulli etc. Effect of coal properties on the strength of coke under simulated blast furnace conditions [J], Fuel 237 (2019) 775–785.

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

(5) 在模拟高炉冶炼条件下不同炼焦煤对焦炭质量的影响

- 4、在模拟高炉条件下，焦炭的石墨化度随着热处理温度的提高而提高。这表明焦炭结构从非石墨结构向石墨结构转变。由高煤阶和较低基氏流动度的煤制得的焦炭在高温处理时石墨化度提高的更加明显。由这类煤生产的焦炭显微强度下降明显是由于在高温条件下其微观结构向石墨化结构明显转化引起的。
- 5、由高煤阶和较低基氏流动度的煤制得的焦炭在模拟高炉气化和热处理条件下（2000℃）其宏观强度明显下降是由于其光学显微结构显著变化和更明显的显微强度下降引起的。

Xing Xing, Harold Rogers, Paul Zulli etc. Effect of coal properties on the strength of coke under simulated blast furnace conditions [J], Fuel 237 (2019) 775–785.

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

(6) 在模拟高炉冶炼条件下配合煤间的交互作用对焦炭质量影响

The cokes produced from single coals and blends of these coals were studied under the simulated BF conditions. The specific methodologies included gasification of cokes in the BF gas atmosphere ($\text{CO}-\text{CO}_2-\text{N}_2-\text{H}_2-\text{H}_2\text{O}$) from 900 to 1400° C (corresponding to the conditions from the thermal reserve zone to the cohesive zone) and annealing of cokes at 1800 and 2000° C in the $\text{N}_2-\text{H}_2-\text{CO}$ atmosphere (corresponding to the conditions within and at the back of raceway region). The post treated cokes were characterised using specific materials characterization techniques to determine the change of coke properties in both micro-and macro-scales. The measured properties were compared with weight average values assuming additivity law to understand the effect of coal interactions during carbonisation on the coke properties under the simulated BF conditions. The major finds are:

Xing Xing, Effects of coal interactions during cokemaking on coke properties under simulated blast furnace conditions[J], Fuel Processing Technology 199 (2020) 106274 .

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

(6) 在模拟高炉冶炼条件下配合煤间的交互作用对焦炭质量影响

- 1、在模拟高炉条件下，气化引起焦炭劣化，与气化相比，高温更明显降低焦炭显微强度。这种劣化在各向异性组分要比各向同性组分严重的多。
- 2、气化主要发生在焦块的表面，导致局部焦炭孔隙结构劣化。劣化程度向焦块中心明显变小。因此，测定的焦块中心部分抗拉强度由气化引起的下降不大。然而，由高温引起的劣化贯通整个焦块，因此，造成焦炭抗拉强度显著下降。

Xing Xing, Effects of coal interactions during cokemaking on coke properties under simulated blast furnace conditions[J], Fuel Processing Technology 199 (2020) 106274 .

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

(6) 在模拟高炉冶炼条件下配合煤间的交互作用对焦炭质量影响

3、配煤的流动度明显低于预期值。较低煤阶煤在低于其他配煤组分的温度下就达到最大流动度，在固化时其他配煤组分还处于流动状态。煤的热塑性状态的不同温度区间限制了配合煤产生高的流动度。

4、低阶煤逸出大量挥发份为配煤中的其他煤种提供了良好的石墨化条件，从而导致广泛的结晶度提高。单一显微结构的拉曼分析显示测定石墨化度的提高主要由镶嵌状和纤维状显微组分贡献的。

Xing Xing, Effects of coal interactions during cokemaking on coke properties under simulated blast furnace conditions[J], Fuel Processing Technology 199 (2020) 106274 .

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

(6) 在模拟高炉冶炼条件下配合煤间的交互作用对焦炭质量影响

5、虽然配合煤的黏结性显著低于预期值，测得的显微强度与加权平均值并没有明显差异。但测得的宏观强度却明显高于计算值。配煤组分的不同热塑性温度区间限制了膨胀特性，但却促进了收缩，因此限制了气孔的发展。采用配煤炼焦可以通过降低气孔的发展来优化所得焦炭的宏观强度。

Xing Xing, Effects of coal interactions during cokemaking on coke properties under simulated blast furnace conditions[J], Fuel Processing Technology 199 (2020) 106274 .

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

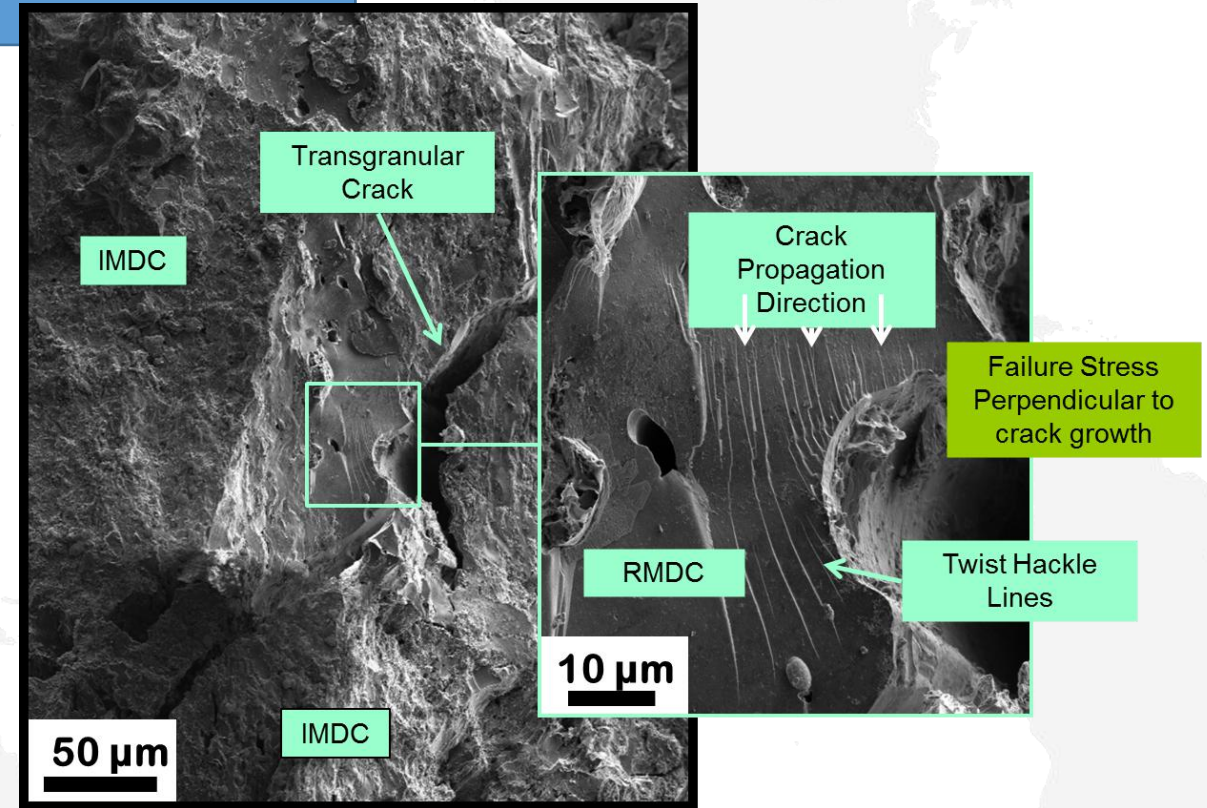
(7) 焦炭在高炉不同部位劣化的根源

- 焦炭在高炉中不同部位受到的劣化作用不同，焦炭的劣化原因也应该不同
- 前述焦炭质量评价方法模拟高炉不同部位焦炭的变化，虽然能在一定程度丰富焦炭质量评价体系，但其与焦炭的内在结构、质量以及焦炭生产配煤和炼焦工艺的关系并不明确
- 如何生产出符合高炉生产要求质量的焦炭须不断研究焦炭生产配煤和炼焦工艺与焦炭质量及与高炉冶炼的关系

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

(7) 焦炭在高炉不同部位劣化的根源

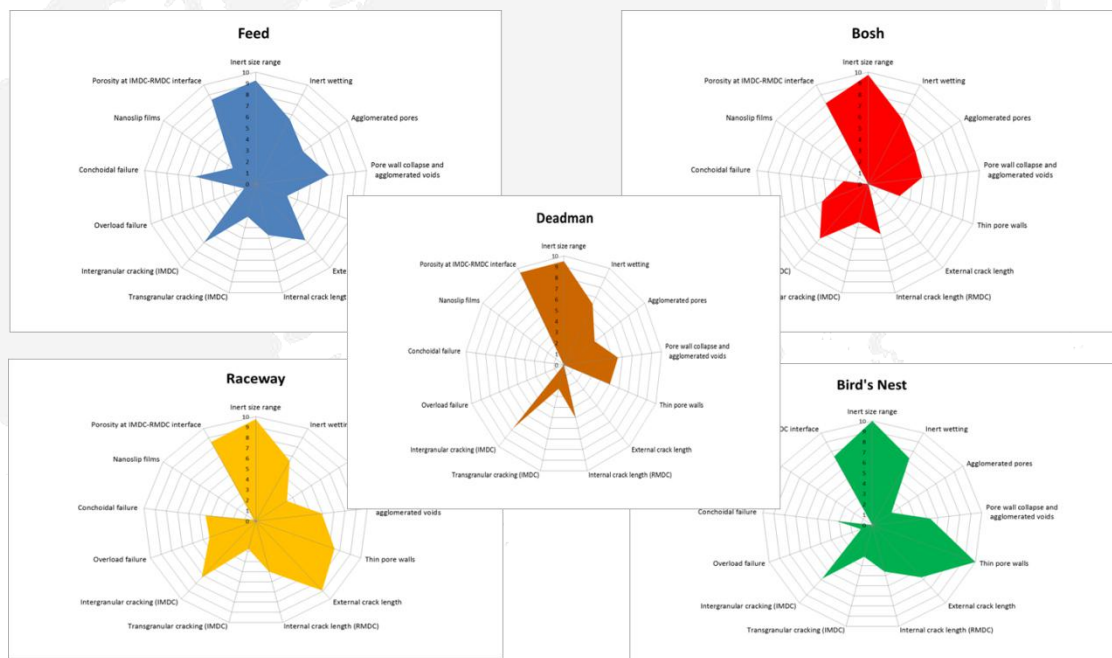
- Ten structural features identified that contribute to coke failure
- Each coke shows a unique fracture profile that can be summarised in spider graphs



Richard Roest, Hannah Lomas, Merrick Mahoney and Sushil Gupta, Understanding Cokes Performance in Blast Furnace Conditions-Coke Strength Extension[R], ACARP Project C17050 Published 07/11/2014.

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

(7) 焦炭在高炉不同部位劣化的根源



高炉不同部位焦炭劣化的影响因素

Richard Roest等人研究指出，在高炉不同部位焦炭劣化的主要因素不同。

焦炭中惰性物的尺寸范围、活性与惰性物界面间的孔隙率对焦炭各区域的劣化均有很大的影响。

高炉下部的风口回旋区、鸟巢区，尤其是死料柱，惰性粒子晶间裂隙对焦炭劣化影响明显，薄孔壁对回旋区、鸟巢区焦炭劣化作用明显。

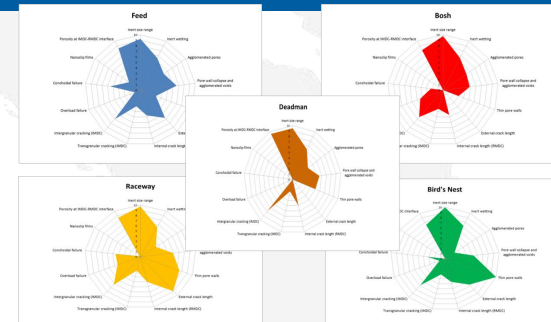
外裂纹长度对回旋区影响巨大。

焦炭在高炉下部高温区和高机械冲刷区域，对焦炭的质量提出更多的要求

Richard Roest, Hannah Lomas, Merrick Mahoney and Sushil Gupta, Understanding Cokes Performance in Blast Furnace Conditions-Coke Strength Extension[R], ACARP Project C17050 Published 07/11/2014.

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

(7) 焦炭在高炉不同部位劣化的根源



| 高炉部位 | 炉顶 | 炉腹 | 风口回旋区 | 鸟巢区 | 死料柱 |
|---------------|------------------------|------------------------|---|---|---|
| 焦炭劣化的 主要因素 | 惰性物的尺寸范围、活性与惰性物界面间的孔隙率 | 惰性物的尺寸范围、活性与惰性物界面间的孔隙率 | 惰性物的尺寸范围、活性与惰性物界面间的孔隙率、惰性粒子晶间裂隙、 薄孔壁、外裂纹长度 | 惰性物的尺寸范围、活性与惰性物界面间的孔隙率、惰性粒子晶间裂隙、 薄孔壁 | 惰性物的尺寸范围、活性与惰性物界面间的孔隙率、 惰性粒子晶间裂隙 |

Richard Roest, Hannah Lomas, Merrick Mahoney and Sushil Gupta, Understanding Cokes Performance in Blast Furnace Conditions-Coke Strength Extension[R], ACARP Project C17050 Published 07/11/2014.

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

(8) 焦炭中矿物质（灰分）对焦炭劣化的影响

有研究认为，焦炭中碱金属等对焦炭的劣化作用可能被夸大了，甚至认为碱金属等可促进焦炭的气化反应有利于矿石的还原、可促进焦炭在风口区的燃烧有利于高炉冶炼。焦炭中的**碱金属**对焦炭的劣化作用可能主要是其**嵌入焦炭微晶结构中的破坏导致焦炭劣化**。**SiO₂**等在高温条件下的**还原、化学反应及气化逸出使焦炭劣化**

毕学工, 焦炭质量与高炉冶炼关系的再思考[J], 过程工程学报, 2009, Vol9, Suppl.No1, 438-442.

胡德生, 孙维周, 重新认识高炉用焦炭与CO₂的反应性[J], 宝钢技术, (6), 2013, 6-11

2 焦炭质量研究进展及其影响因素

对焦炭质量的新认识

模拟高炉冶炼条件的反应性及反应后强度和高温强度与传统的焦炭质量指标既存在一定的相关性，也存在较大的差别，**现有焦炭质量指标不足**。

焦炭的**孔隙结构**是影响焦炭的**重要因素**，焦炭的**炭基质**是影响焦炭质量的**内在因素**。

炼焦煤的不同变质程度、煤岩组成及工艺特性使生成焦炭的孔隙结构和显微组织间的结合呈现出影响焦炭质量的“薄弱环节”，这些“**薄弱环节**”在传统焦炭质量测定时未能全面表现出来，但**在高炉下部高温区却是焦炭劣化的重要因素**。

捣固工艺的配煤中黏结性较差的煤比例较高，是不规则孔隙产生的重要因素，**不规则孔隙可能是造成焦炭高温强度降低的重要原因**。

目 录

CONTENTS

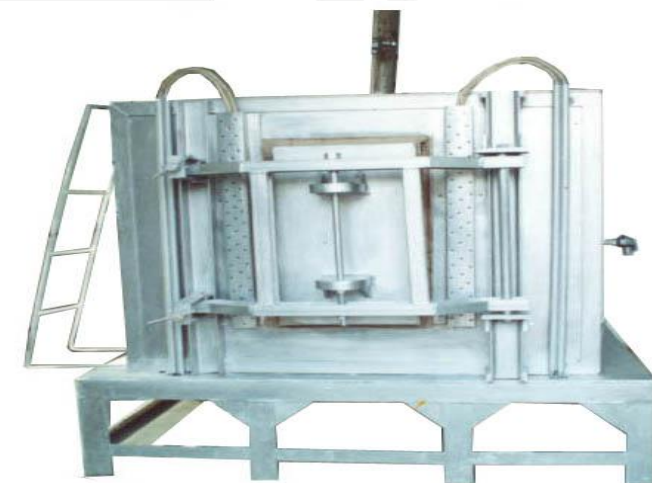
3

稳定焦炭质量技术研究及措施

3 稳定焦炭质量技术研究及措施



炼焦煤资源



煤质分析
与评价



优化配煤

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

焦炭质量的高低是以能否满足高炉高效（顺行/低燃料比）冶炼为评价的依据。目前采用的焦炭质量指标虽然能在大部分情况下评价其质量，但各指标与高炉的冶炼关系不明显，甚至出现“异常现象”。完全以目前指标为依据指导炼焦生产和炼焦配煤会出现误导。为更好地进行炼焦配煤，应以高炉冶炼实际情况和对焦炭本质质量的需求开展炼焦配煤研究和生产控制。

研究与生产思路

高炉焦炭本质质量要求

生产该质量焦炭的配煤结构
与炼焦工艺制度

炼焦煤源的选择与评价

生产质量稳定焦炭及优化
配煤措施

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

(1) 配煤结构的重要性

A厂配煤结构

| 焦煤 | 肥煤 | 1/3焦煤 | 瘦煤及瘦焦煤 | 焦肥煤 |
|--------|-------|--------|--------|--------|
| 45-47% | 8-10% | 30-32% | 10-12% | 55-57% |

B厂配煤结构

| 不粘煤 | 气煤 | 1/3焦煤 | 焦煤 | 肥煤 | 瘦焦煤 |
|-----|----|-------|-----|-----|-----|
| 4% | 4% | 26% | 43% | 20% | 4% |

焦炭质量对比/%

| 企业 | M ₄₀ | M ₁₀ | CRI | CSR | 结构强度 | 显微强度 | 显气孔率 | 总气孔率 |
|----|-----------------|-----------------|------|-----|------|------|------|------|
| A厂 | 91 | 4.2 | 20 | 70 | 93.5 | 40.2 | 37.4 | 41 |
| B厂 | 90 | 4.7 | 24.3 | 69 | 91.2 | 31.0 | 36.7 | 41 |

→ 3200m³高炉

→ 2200m³高炉

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

(2) 焦炭质量与配煤结构关系的应用实例

不同容积高炉焦炭质量

| 高炉容积 | 机械强度 | | 热性能 | |
|--------|-----------|---------|-------|-----------|
| | M40/% | M10/% | CRI/% | CSR/% |
| 3000m3 | 89.0-90.5 | 5.8-6.5 | 24-26 | 62.0-64.0 |
| 2500m3 | 89.0-90.5 | 5.8-6.5 | 26-28 | 60.0-62.0 |
| 4150m3 | 90.0-91.5 | 5.0-6.0 | 23-25 | 64.0-66.0 |

4150m3高炉用焦炭的配煤结构：焦煤+肥煤+1/3焦煤，**焦煤1组、焦煤2组、肥煤1组的比例之和需要大于26%**。

3000m3高炉用焦炭的配煤结构：焦煤2组+焦煤3组+肥煤1组+肥煤2组+1/3焦煤1组+1/3焦煤2组+瘦焦煤
应保证配煤结构中**山西地区优质焦煤和肥煤的比例大于14%**。

2500m3高炉用焦炭的配煤结构：焦煤2组+焦煤3组+肥煤1组+肥煤2组+1/3焦煤1组+1/3焦煤2组+瘦焦煤
焦煤2组和肥煤1组的比例需大于18%。

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

● 根据前苏联经验的 V_{daf} —Y的配煤方法

- 1950s曾经采用过的“气、肥、焦、瘦”煤种按一定比例范围配合并控制 V_{daf} —Y

● 根据煤分类及传统煤质参数的配煤方法

- 用 V_{daf} 表征煤阶，用Y表征结焦性能配煤方法
- 突破前苏联配煤方法—由热能院在1950s—1960s提出的“区域配煤”方案，与1958年煤分类相配合的方法。以及再辅以b、G等指标的配煤方法；
- 用 V_{daf} 表征煤阶，用G表征粘结能力的配煤方法
- 采用V-G图来配煤或预测焦炭的强度的方法，与1986年煤分类相配合。以及再辅以Y、b等指标的配煤方法

■ 以上两种方法现在仍然广泛使用

传统配煤技术

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

● 企业传统配煤方法：以中国煤分类为指导原则，以煤质指标为控制措施

- 分析检测：工业分析（ A_d ， V_{daf} ），硫分 S ，黏结指数 G ，胶质层指数（ X ， Y ），奥阿膨胀度 b ，基氏流动度 MF
- 根据煤分类初步拟定配煤方案

● 配煤方案的计算与调整：

- 根据企业对焦炭灰分、硫分、机械强度和反应后强度要求，计算配合煤的指标。
- 配合煤的 A 、 V 、 S 等按照单种煤的数据加权平均计算。 G ， Y 值等加权性偏差。
- 成焦率 $K = (100 - V_{d,煤}) / (100 - V_{d,焦}) \times 100\% + a$
- $A_{d,煤} = A_{d,焦} \times K$
- $St_{d,煤} = St_{d,焦} \times K / \Delta S$ ，成焦率 K 一般在70~80%，硫转化率 ΔS 在0.6~0.7。
- 一般 $St_{d,焦}$ 是 $St_{d,煤}$ 的80~90%。

传统配煤技术

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

- 配煤方案的计算与调整:

- 焦炭质量预测, M40、M10、CRI、CSR, 经验法、回归法、模糊数学法等

- 试验焦炉试验验证:

- 根据确定的配煤方案, 进行炼焦试验, 确定后进行生产焦炉应用

- 多数企业的控制指标范围:

- 顶装焦炉企业 $V_{daf}=24\sim28\%$, $G>72\sim85$, $Y>14\sim18\text{mm}$, $b: 20\sim100$, $MF:100\sim2000$
- 捣固焦炉企业 $V_{daf}=26\sim32\%$, $G>50\sim75$, $Y>11\text{mm}$

- 以上方法仍是企业日常采用的主要方法

传统配煤技术

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

煤炭分类对于煤炭资源的应用具有重要的指导意义，长期指导配煤，为炼焦配煤做出巨大贡献——多数企业采用《中国煤炭分类》，对炼焦煤进行分类和评价

- 存在不足：

- 分类指标（ V_{daf} ， G ， Y ， b ）只能反映出煤的性质，不能全面反映出煤的炼焦性能，具有局限性，评价方法简单。用煤质指标推测焦炭的性能——倒推法（煤分类是根据炼焦煤的炼焦特性推导出来——正推法）。
- 同类煤即使煤质指标相近，也会出现炼焦性能差别巨大；指标相近的炼焦煤在配煤应用中表现出不一致的炼焦特性，造成焦炭质量波动，从传统指标中很难发现问题。
- 只适合单一煤层煤（简单混煤）的判断，不适于混煤。对混煤无法评价，对混煤在配煤中的作用无法判断。
- 分类指标较宽泛，同类煤炼焦特性差别较大，煤种分界线附近煤种与分类不符。

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

□ 基于对焦炭质量和炼焦煤炼焦特性的新认识结合炼焦生产提出

- 炼焦煤性能科学评价
- 炼焦煤应用性分类
- 基于应用性分类的替代法配煤
- 结构配煤
- 煤岩配煤
- 配煤指标体系与关键指标控制
- 矩阵法配煤
- 配煤软件

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

(1) 炼焦煤性能科学评价

炼焦煤性能指标众多—全面深入地了解、认识炼焦煤，进而对炼焦煤性能进行科学评价—是开展炼焦配煤工作的重要基础。

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

(2) 炼焦煤应用性分类

炼焦煤应用性分类—基于前述炼焦煤科学评价—是结合企业实际的以应用为目的的分类方法

- 不同于《中国煤炭分类》—依据的指标更多、包含焦炭质量指标等及对炼焦的贡献等
- 分类更细—对《中国煤炭分类》补充
- 分类针对所有煤种—包括混煤等

◆ 是开展优化配煤的技术基础

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

(3) 基于应用性分类的替代法配煤

替代法配煤—基于前述炼焦煤应用性分类

- 焦化企业使用煤种众多—同一大类煤有多个供应商—这些煤不同时使用
- 日常生产调整配煤比—依据应用性分类—同一应用性类别直接替代，性质有差异—微调配比

◆ 是企业日常生产稳定焦炭质量的重要和有效方法

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

(4) 结构配煤

结构配煤—依据企业煤源、焦炭质量要求及炼焦生产条件等实际所采用的煤种及其配比

◆ 结构配煤—合理选择主力煤种和配合煤种及其合理比例—保障焦炭的质量等级

◆ 结构配煤—企业应构建多个配煤结构—应对煤资源变动和炼焦煤价格变动

- 中高变质程度的焦肥煤大多具有优良的结焦性能和热性能—冷、热态强度均高
- 低变质程度的气煤、1/3焦煤大多表现为冷、热态强度较低
- 高变质程度的瘦煤、贫瘦煤和贫煤大多不软化熔融，炼焦时易形成不规则孔隙
- 追求低成本的捣固炼焦企业，过低的焦肥煤比例，是其焦炭本质质量不高的主要原因

◆ 合理的配煤结构是生产优质焦炭的前提条件

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

(5) 煤岩配煤

通过拟合配合煤的**镜质组反射率分布图**可以有效地**控制配合煤的结构**，在**使用混煤时十分有效**。

研究炼焦煤的**煤岩相组成**，并据此进行配煤是**改善焦炭微观炭基质和孔隙结构**的有效手段，也可以**改善焦炭的高温性能**。

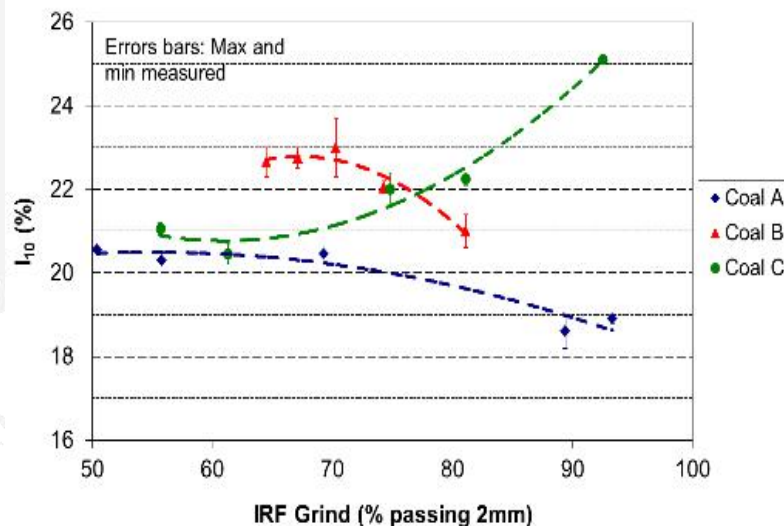
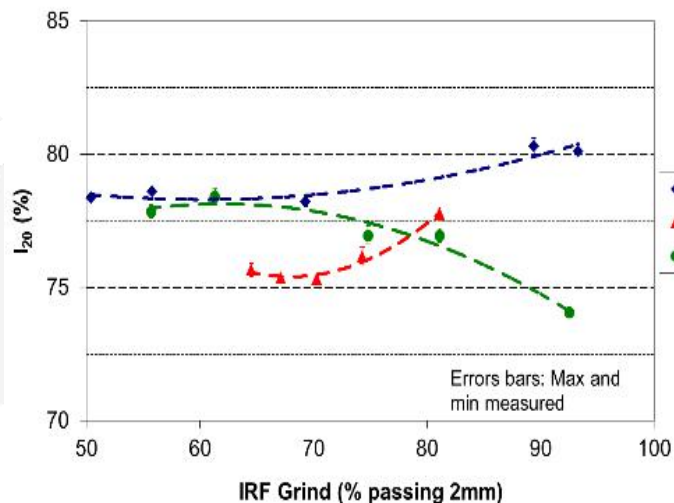
国内外**优质焦煤**的岩相组成多表现为**镜质组含量约60-75%**，其余为惰质组，惰质组中半丝质组含量较高。

焦煤煤岩组成与焦炭的CRI及CSR

| | Rran 均值 | V _{daf} | 镜质组 含量 | 镜质体 | 半 镜 | 惰质组 | 丝质体 | 半丝 | CRI | CSR |
|-------|------------|------------------|-----------|------|--------|------|------|------|-----|-----|
| 加拿大1 | 1.257 | 21.90 | 64.2 | 54.7 | 9.5 | 35.9 | 15.4 | 20.5 | 24 | 64 |
| 加拿大2 | 1.112 | 25.44 | 69.4 | 66.1 | 3.3 | 30.6 | 15.6 | 15.0 | 26 | 63 |
| 加拿大3 | 1.073 | 27.04 | 77.5 | 75.9 | 1.6 | 22.5 | 11.0 | 11.5 | 27 | 58 |
| 山西1 | 1.520 | 17.88 | 65.9 | 60.8 | 5.0 | 34.1 | 27.0 | 7.1 | 22 | 60 |
| 山西2 | 1.314 | 22.92 | 61.7 | 60.0 | 1.7 | 38.3 | 24.9 | 13.4 | 21 | 67 |
| 澳大利亚1 | 1.365 | 20.88 | 67.5 | 67.3 | 0.2 | 32.5 | 22.5 | 10.0 | 24 | 56 |
| 澳大利亚2 | 1.246 | 23.91 | 67.7 | 66.7 | 1.0 | 32.3 | 25.4 | 6.9 | 20 | 70 |
| 东北1 | 1.307 | 24.97 | 89.1 | 89.1 | 0.0 | 10.9 | 8.1 | 2.8 | 38 | 43 |
| 东北2 | 1.244 | 27.47 | 90.6 | 0.9 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 39 | 40 |
| 山西3 | 1.175 | 25.53 | 60.0 | 57.4 | 0.0 | 38.2 | 32.7 | 5.5 | 15 | 75 |
| 山西4 | 1.014 | 30.78 | 74.4 | 74.4 | 0.0 | 25.6 | 22.4 | 3.2 | 29 | 62 |
| 河北2 | 1.033 | 34.20 | 75.0 | 73.3 | 1.7 | 25.0 | 19.6 | 5.4 | 35 | 46 |
| 东北3 | 0.980 | 32.67 | 73.0 | 73.0 | 0.0 | 27.0 | 23.6 | 3.4 | 41 | 39 |
| 东北4 | 0.876 | 34.19 | 86.8 | 86.8 | 0.0 | 13.2 | 11.3 | 1.8 | 44 | 35 |
| 美国1 | 1.126 | 25.34 | 93.8 | 93.8 | 0.0 | 4.6 | 0.0 | 1.6 | 26 | 62 |

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

(5) 煤岩配煤



惰性物富集煤粉碎细度与伊尔士转鼓指数的关系

煤粒的岩相组成对焦炭质量具有很大影响，**有的煤种适宜细粉碎**，即希望煤粒中的**不同岩相解离**，而有的煤种希望**粗粉碎**，即**不希望煤粒中的不同岩相解离**。

参考文献: Merrick Mahoney, Graham O' Brien, Sid McGuire, Impact of inert size and coal particle composition on coking pressure and coke strength[C], METEC InSteelCon, Düsseldorf, 27 June-1 July 2011, Session 15, 1-10.

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

(4) 优化配煤

结构配煤

以焦炭本质质量为目标，合理选择煤资源并进行合理搭配，使配合煤中保持合理比例的骨架煤种和基础煤种，采取的技术手段除传统的煤质指标、煤分类、试验焦炉焦炭指标外配合煤岩反射率和煤岩组成指标等。

基于炼焦煤数值化评价和应用性分类的优化配煤

中钢热能院提出的专利方法。首先，将拟参加配煤的各单种煤进行较全面的煤质分析和试验焦炉炼焦试验，根据试验结果进行数值化评价和应用性分类，再根据目标质量焦炭进行数值化配煤，根据各项指标的得分高低调整配煤比，实现优化配煤。

矩阵法优化配煤技术

中钢热能院提出的将各单种煤的各项煤质指标进行矩阵化处理，根据目标焦炭质量要求采用矩阵算法进行优化配煤。该方法可以方便地采用计算机技术进行计算和优化，不仅提高了效率，也便于编程用于配煤软件和专家系统。

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

(5) 炼焦工艺与操作制度

炼焦工艺与操作制度是影响焦炭质量的重要因素。

正确认识和合理利用炼焦工艺与操作制度才能保障合理利用炼焦煤资源、保证焦炭质量和维护安全生产。

火落管理

以控制产品质量为目的的炼焦操作制度，区别于传统的结焦周期管理，**保障了焦炭成熟和质量均匀。**

干熄焦

降低了焦炭内部的热应力，减少了焦炭微裂纹，有效**提高了焦炭内在质量**，改善高炉冶炼的技术经济指标。

捣固炼焦

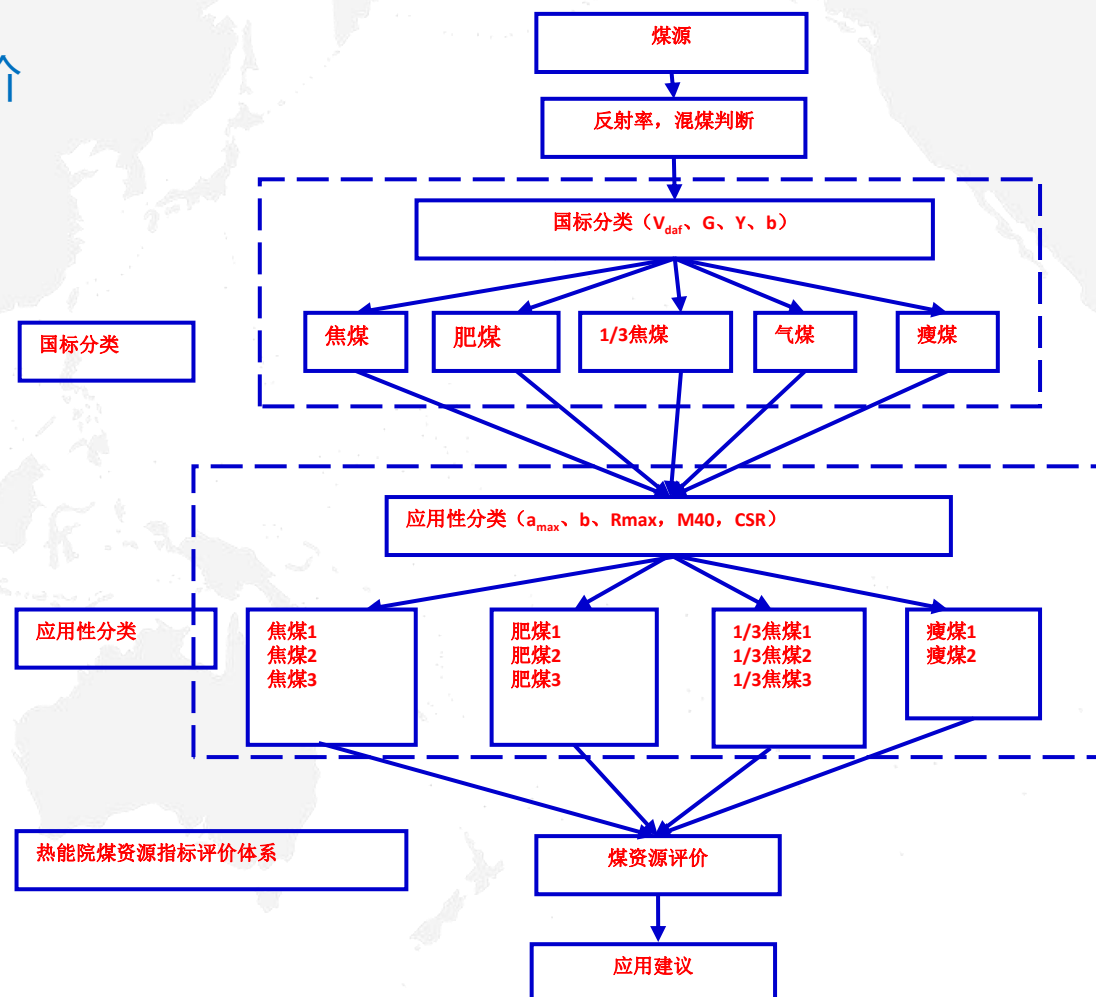
捣固炼焦**配煤结构与顶装炼焦的配煤结构不宜差距过大**。对配煤结构有特殊的要求与限制，**对焦饼膨胀压力和收缩更为敏感**，在生产较高质量焦炭时更加突出。

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

● 炼焦煤性能科学评价及应用性分类—案例1

- 根据炼焦煤煤质指标及国标分类评价
- 进一步根据炼焦煤的炼焦特性评价
- 研究炼焦煤在炼焦配煤中的作用
- 据此进行应用性分类



3 稳定焦炭质量技术研究及措施

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

- 炼焦煤性能科学评价及应用性分类—案例1
 - 企业应**重点关注原料煤的特性**。从源头控制煤的质量，才能更好的指导配煤炼焦、采购，生产符合质量要求的焦炭—山西焦煤

| 煤样 | Ad | Vdaf | St,d | G | X | Y |
|-----|-------|-------|------|----|------|------|
| 山西A | 10.14 | 23.96 | 1.30 | 85 | 30.0 | 15.0 |
| 山西B | 10.70 | 21.49 | 1.58 | 82 | 25.0 | 13.5 |
| 山西C | 9.81 | 20.20 | 0.81 | 81 | 22.0 | 13.5 |
| 山西D | 10.72 | 22.58 | 1.63 | 84 | 30.0 | 14.0 |
| 山西E | 10.33 | 20.05 | 0.98 | 80 | 25.0 | 14.5 |

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

● 炼焦煤性能科学评价及应用性分类—案例1

➢ 山西地区主要焦煤的煤质指标相近，但其焦炭质量存在着**明显的差异**，各种煤在配煤炼焦时对焦炭质量起到的**作用不同**

| 煤样 | Ad | Vdaf | St,d | G | X | Y | Rmax | S | M40 | M10 | CRI | CSR |
|-----|-------|-------|------|----|------|------|-------|-------|------|-----|------|------|
| 山西A | 10.14 | 23.96 | 1.30 | 85 | 30.0 | 15.0 | 1.282 | 0.128 | 89.7 | 7.3 | 32.2 | 42.9 |
| 山西B | 10.70 | 21.49 | 1.58 | 82 | 25.0 | 13.5 | 1.566 | 0.182 | 88.7 | 8.1 | 30.1 | 49.3 |
| 山西C | 9.81 | 20.20 | 0.81 | 81 | 22.0 | 13.5 | 1.684 | 0.134 | 90.6 | 5.8 | 22.5 | 65.9 |
| 山西D | 10.72 | 22.58 | 1.63 | 84 | 30.0 | 14.0 | 1.337 | 0.212 | 90.1 | 6.3 | 26.6 | 57.2 |
| 山西E | 10.33 | 20.05 | 0.98 | 80 | 25.0 | 14.5 | 1.685 | 0.057 | 91.0 | 6.2 | 18.9 | 67.3 |

□ 系统科学认识原料煤，对其科学评价及分类应用，才能更好的指导配煤炼焦工作。

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

● 炼焦煤性能科学评价及应用性分类—案例2

炼焦原料应用性分类和综合质量评价及其指导配煤方法

(专利号: ZL 201510492987.8)

(19) 中华人民共和国国家知识产权局

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 106062531 A
(43) 申请公布日 2016.11.18

(21) 申请号 201510492987.8
(22) 申请日 2015.08.12
(71) 申请人 中钢集团鞍山热能研究院有限公司
地址 114044 辽宁省鞍山市高新区鞍千路501号
(72) 发明人 孟庆波 徐秀丽 战丽 唐静 张世东 侯金朋 马岩
(74) 专利代理机构 鞍山嘉讯科技专利事务所 21224
代理人 张群

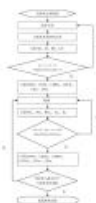
(51) Int. Cl.
C10B 57/04(2006.01)

权利要求书57页 说明书23页 附图1页

(54) 发明名称
炼焦原料应用性分类和综合质量评价及其指导配煤方法

(57) 摘要

一种炼焦原料应用性分类和综合质量评价及其指导配煤的方法,根据与焦炭质量指标的对应关系将炼焦原料各具体指标与其炼焦得到固态产物质量指标整合为三个单项指标(粘结能力、结焦能力、热态性能指标),对炼焦原料进行应用性分类;再将三个单项指标和灰分、硫分分值指标整合得到一个综合指标,然后将三个单项指标、一个综合能力指标、灰分、硫分分值指标与价格关联形成六项性价比指标;应用性分类后依据炼焦原料三个单项指标、一个综合能力指标和灰分、硫分分值进行炼焦配煤,控制配合煤的上述六项指标在基准方案分值±e%+基准方案分值(e取值范围8~10)之内,计算配合煤上述六项指标的性价比,确定最佳配煤方案,实现精细化优化配煤。



证书号第 2870782 号

发明专利证书

发明名称: 炼焦原料应用性分类和综合质量评价及其指导配煤方法

发明人: 孟庆波;徐秀丽;战丽;唐静;张世东;侯金朋;马岩

专利号: ZL 2015 1 0492987.8

专利申请日: 2015年08月12日

专利权人: 中钢集团鞍山热能研究院有限公司

授权公告日: 2018年04月06日

本发明专利经本局依照中华人民共和国专利法进行审查,决定授予专利权,颁发本证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

本专利的专利权期限为二十年,自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年08月12日前缴纳。未按规定缴纳年费的,专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或者名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。

局长 申长雨

2018年04月06日

第1页(共1页)

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

● 炼焦煤性能科学评价及应用性分类—案例2

- 五个单项指标： 粘结能力指标（NN）；

结焦能力指标（JN）；

热态性能指标（RN）；

灰分指标A；硫分指标S；
- 综合指标（由五个单项指标整合而成）CN；
- 性价比指标： 粘结能力指标性价比： $CENN=NN/P$ ；

结焦能力指标性价比： $CEJN=JN/P$ ；

热态性能指标性价比： $CERN=RN/P$ ；

综合指标性价比： $CECN=CN/P$ ；

灰分指标性价比： $CEA=A/P$ ；

硫分指标性价比： $CES=S/P$ 。

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

● 炼焦煤性能科学评价及应用性分类—案例2

粘结特性

$$NN_i = \theta_{1i} G_i^{\kappa_1} + \theta_{2i} Y_i^{\kappa_2} + \theta_{3i} b_i^{\kappa_3} + \theta_{4i} \alpha_{\max,i}^{\kappa_4} + \theta_{5i} M_{10,i}^{\kappa_5} + \theta_{6i} V_{H,i}^{\kappa_6} + \theta_{7i} V_{G,i}^{\kappa_7} \dots\dots$$

结焦特性

$$JN_i = \xi_{1i} V_i^{\varphi_1} + \xi_{2i} G_i^{\varphi_2} + \xi_{3i} Y_i^{\varphi_3} + \xi_{4i} M_{40,i}^{\varphi_4} + \xi_{5i} L_{60,i}^{\varphi_5} + \xi_{6i} L_{80,i}^{\varphi_6} + \xi_{7i} V_{H,i}^{\varphi_7} \dots\dots$$

热态性能

$$RN_i = \mu_{1i} CRI_i^{\lambda_1} + \mu_{2i} CSR_i^{\lambda_2} + \mu_{3i} V_{G,i}^{\lambda_3} + \mu_{4i} R_{\max,i}^{\lambda_4} + \mu_{5i} V_i^{\lambda_5} + \mu_{6i} MCI_i^{\lambda_6} \dots\dots$$

综合性能

$$CN_i = \Phi_{1i} A_i^{\zeta_1} + \Phi_{2i} S_i^{\zeta_2} + \Phi_{3i} NN_i^{\zeta_3} + \Phi_{4i} JN_i^{\zeta_4} + \Phi_{5i} RN_i^{\zeta_5};$$

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

● 炼焦煤性能科学评价及应用性分类—案例2

➤ 将炼焦煤指标与其焦炭质量指标整合为三个单项指标

- **粘结能力指标**：使用与炼焦原料粘结能力相关的指标G值、Y值、b值、 α_{\max} 值、煤岩显微组分、**焦炭M10**等的分值计算粘结能力指标
 - **结焦能力指标**：使用与炼焦原料结焦能力相关的指标 V_{daf} 、G、Y、VH，**焦炭M40**、**焦炭筛分L60**、**L80**等的分值计算结焦能力分值
 - **热态性能指标**：使用与炼焦原料热态性能相关的指标**焦炭CRI**、**CSR**，煤的挥发份V、反射率 R_{\max} 、过渡组分含量VG、矿物催化指数MCI或MBI，等的分值计算热态性能分值
- ##### ➤ 将三个单项指标整合为综合能力指标及分别整合性价比
- **综合能力指标**：是采用各个炼焦原料三个单项指标（粘结能力、结焦能力、热态性能）和灰分、硫分分值通过公式计算得到
 - **性价比指标**：将各单一指标或综合指标与价格相比

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

● 炼焦煤性能科学评价及应用性分类—案例2

1#~16#煤各项指标和应用性分类结果汇总

| 指标 | JM | JM | JM | JM | JM | JM | JM | JM | FM | FM | FM | FM | FM | FM | FM | 1/3J M |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| | 1#煤 | 2#煤 | 3#煤 | 4#煤 | 5#煤 | 6#煤 | 7#煤 | 8#煤 | 9#煤 | 10# 煤 | 11# 煤 | 12# 煤 | 13# 煤 | 14# 煤 | 15# 煤 | 16# 煤 |
| A | 80.3 | 79.7 | 81.1 | 80.4 | 79.0 | 79.6 | 76.0 | 81.2 | 77.1 | 80.1 | 80.7 | 77.5 | 74.5 | 73.4 | 79.4 | 88.4 |
| S | 86.1 | 86.4 | 73.7 | 70.0 | 67.5 | 75.8 | 87.5 | 89.1 | 82.3 | 80.1 | 83.5 | 71.0 | 86.9 | 76.3 | 67.8 | 91.0 |
| NN | 73.6 | 76.3 | 77.6 | 72.8 | 74.1 | 86.3 | 69.4 | 81.6 | 79.5 | 78.6 | 80.8 | 84.6 | 80.3 | 78.6 | 82.0 | 84.4 |
| JN | 79.5 | 73.7 | 85.6 | 85.2 | 81.7 | 83.3 | 80.3 | 80.9 | 85.2 | 87.1 | 87.1 | 72.1 | 83.0 | 73.2 | 71.7 | 69.8 |
| RN | 82.8 | 82.7 | 79.0 | 79.6 | 86.3 | 84.9 | 68.9 | 71.6 | 89.4 | 86.4 | 83.7 | 81.5 | 82.0 | 75.0 | 71.6 | 69.7 |
| CN | 80.3 | 79.7 | 81.1 | 80.4 | 79.0 | 79.6 | 76.0 | 81.2 | 77.1 | 80.1 | 80.7 | 77.5 | 74.5 | 73.4 | 79.4 | 88.4 |

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

● 炼焦煤性能科学评价及应用性分类—案例2

按各项指标数值评价煤质和应用性分类及其指导配煤结果

| 实验方案 | | 1# | 2# | 3# | 4# | 5# | 6# | 7# | 8# | 9# | 10# | 11# | 12# | 13# | 14# | 15# | 16# | 贫瘦煤 |
|------|--------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| 1#煤 | 1#基础方案 AP300-27 | / | / | 4.8 | 4.8 | 5.7 | 9.7 | 12 | 12 | 1.2 | 2.2 | / | 4.9 | 1.7 | 10.4 | 3.6 | 17 | 10 |
| | 方案1#-1 AP300-33 | 15 | / | / | / | / | 10 | / | 24 | / | / | / | 10 | / | / | 14 | 17 | 10 |
| 2#煤 | 2#基础方案 AP200-1 | / | / | 4.8 | 4.8 | 5.7 | 9.7 | 12 | 12 | 1.2 | 2.2 | / | 4.9 | 1.7 | 10.4 | 3.6 | 17 | 10 |
| | 方案2#-1 AP200-15 | / | 15 | / | / | / | 10 | / | 24 | 10 | / | / | / | / | 14 | / | 17 | 10 |
| | 方案2#-1 AP200-22 | / | 15 | / | / | / | 10 | / | 24 | / | / | 10 | / | / | 14 | / | 17 | 10 |
| | 方案2#-1 AP200-25 | / | 11 | / | / | / | 10 | / | 30 | / | / | / | / | 10 | 14 | / | 15 | 10 |

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

● 炼焦煤性能科学评价及应用性分类—案例2

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

按各项指标数值评价煤质和应用性分类及其指导配煤结果

| 实验方案 | | A | S | NN | JN | RN | CN |
|------|--------------------|------|------|------|------|------|------|
| 1#煤 | 1#基础方案 AP300-27 | 80.1 | 80.9 | 79.6 | 78.0 | 75.8 | 78.0 |
| | 方案1#-1 AP300-33 | 81.5 | 82.2 | 82.2 | 76.4 | 75.7 | 78.3 |
| 2#煤 | 2#基础方案 AP200-1 | 80.1 | 80.9 | 79.6 | 78.0 | 75.8 | 78.0 |
| | 方案2#-1 AP200-15 | 80.5 | 84.8 | 81.1 | 77.2 | 77.1 | 79.3 |
| | 方案2#-1 AP200-22 | 80.9 | 84.9 | 81.2 | 77.4 | 76.4 | 79.2 |
| | 方案2#-1 AP200-25 | 80.1 | 85.4 | 81.3 | 77.5 | 75.8 | 79.1 |

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

● 炼焦煤性能科学评价及应用性分类—案例2

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

按各项指标数值评价煤质和应用性分类及其指导配煤结果

| 实验方案 | | 灰分/% | 硫分/% | 机械强度/% | | 热性质/% | |
|------|--------------------|----------------|------------------|-----------------|-----------------|-------|------|
| | | A _d | S _{t,d} | M ₄₀ | M ₁₀ | CRI | CSR |
| 1#煤 | 1#基础方案 AP300-27 | 12.49 | 0.78 | 74.8 | 9.0 | 24.7 | 57.9 |
| | 方案1#-1 AP300-33 | 12.11 | 0.72 | 74.7 | 9.1 | 26.0 | 57.6 |
| 2#煤 | 2#基础方案 AP200-1 | 12.31 | 0.85 | 76.8 | 9.8 | 28.5 | 51.2 |
| | 方案2#-1 AP200-15 | 12.06 | 0.62 | 76.9 | 9.7 | 25.9 | 58.8 |
| | 方案2#-1 AP200-22 | 11.86 | 0.63 | 75.9 | 8.8 | 27.0 | 56.3 |
| | 方案2#-1 AP200-25 | 11.98 | 0.60 | 78.3 | 8.8 | 28.2 | 54.9 |

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

● 炼焦煤性能科学评价及应用性分类—案例2

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

按各项指标数值评价煤质和应用性分类及其指导配煤结果

| 实验方案 | | CEA | CES | CENN | CEJN | CERN | CECN |
|------|--------------------|------|------|------|------|------|------|
| 1#煤 | 1#基础方案 AP300-27 | 69.2 | 69.9 | 68.7 | 67.4 | 67.7 | 65.5 |
| | 方案1#-1 AP300-33 | 70.6 | 71.1 | 71.1 | 66.2 | 68.0 | 65.5 |
| 2#煤 | 2#基础方案 AP200-1 | 69.2 | 69.9 | 68.7 | 67.4 | 67.7 | 65.5 |
| | 方案2#-1 AP200-15 | 69.4 | 73.1 | 69.9 | 66.5 | 68.6 | 66.4 |
| | 方案2#-1 AP200-22 | 69.7 | 73.2 | 70.0 | 66.7 | 68.3 | 65.9 |
| | 方案2#-1 AP200-25 | 68.9 | 73.4 | 69.9 | 66.6 | 68.2 | 65.2 |

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

- 炼焦煤性能科学评价及应用性分类—案例2

- 采用专利方法对炼焦煤进行数值化评价并对其进行应用性分类
 - 对包括混合煤在内的炼焦煤可以进行应用性分类和打分，评价更直观
- 以此为基础进行数值化炼焦配煤
 - 结合计算机技术使炼焦配煤更全面更方便和快捷

3 稳定焦炭质量技术研究及措施



● 基于炼焦煤科学评价及应用性分类的优化配煤—案例3

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

某钢焦化厂稳定焦炭质量和降低成本的优化配煤长期服务

| 煤种 | 分级 | Vdaf/% | G | Y/mm | b/% | $\alpha_{\max}/\text{ddmp}$ | S方差 | Rmax | M40/% | CSR/% |
|-------|----|--------|-------|-----------|------|-----------------------------|-------|-----------------------------------|-------|-------|
| 焦煤 | 一级 | 17~28 | >80 | <25 | >30 | >500 | <0.13 | 0.90~1.15%区间或 1.15~1.55%区间占75% | >86 | >62 |
| | 二级 | 17~28 | >75 | <25 | >10 | >200 | <0.20 | 0.9~1.55%区间占80% | >82 | >50 |
| | 三级 | 15~28 | >65 | <20 | <10 | <200 | — | 0.9~1.55%区间占60% | >75 | >43 |
| 肥煤 | 一级 | 20~33 | >85 | ≥ 25 | >180 | >15000 | <0.13 | 0.9~1.15%区间占80% | >84 | >60 |
| | 二级 | 20~37 | >85 | ≥ 25 | >120 | >8000 | <0.20 | 0.9~1.15%区间占65% | >80 | >50 |
| | 三级 | 28~37 | >85 | ≥ 23 | <120 | <8000 | — | 0.75~1.15%区间占80% | <80 | <50 |
| 1/3焦煤 | 一级 | 28~31 | >80 | <25 | >10 | >4000 | <0.13 | 0.9~1.15%区间占75% | >78 | >50 |
| | 二级 | 31~37 | >75 | <20 | >0 | >1000 | — | 0.75~0.9%区间占75% | >70 | >35 |
| | 三级 | 28~37 | >65 | <15 | <0 | <1000 | — | 0.75~0.9%区间占60% | <70 | <35 |
| 瘦煤 | 一级 | 15~20 | 50~65 | <15 | | | | 1.4~1.8%区间占70% | >70 | >40 |
| | 二级 | 10~20 | 20~50 | <10 | 仅收缩 | | | 1.5~1.9%区间占70% | <70 | <40 |
| 贫瘦煤 | | 10~20 | 5~20 | | | | | 1.6~1.9%区间占70% | | |

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

● 基于炼焦煤科学评价及应用性分类的优化配煤—案例3

某钢焦化厂稳定焦炭质量和降低成本的优化配煤长期服务

➤ 分类原则：

- 焦煤：反射率分布图， R_{\max} ，M40，b；
- 肥煤： α_{\max} ， R_{\max} ，M40/CSR；
- 1/3焦煤：b， α_{\max} ，CSR/M40；
- 瘦煤： V_{daf} ，G。

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

● 基于炼焦煤科学评价及应用性分类的优化配煤—案例3

某钢焦化厂稳定焦炭质量和降低成本的优化配煤长期服务

➢ 各煤对M40和CSR的贡献程度

| 应用性分类 | 煤样名称及对M40的贡献程度 |
|--------|--------------------|
| 焦煤1 | TL>LHJ>LS>FJ |
| 焦煤2 | FJB>GYL>SJX>WJX≈LL |
| 焦煤3 | LSJ≈HKR>LSX |
| 肥煤1 | ML≈LHJ>XT |
| 肥煤2 | LX≈LSF |
| 肥煤3 | |
| 1/3焦煤1 | WH ZJD>HN |
| 1/3焦煤2 | WH |
| 1/3焦煤3 | GZ>DT>KZ≈ZZ≈QWK |
| 瘦煤1 | BKN≈K10 |
| 瘦煤2 | WJL>XS≈SY |

| 应用性分类 | 煤样名称及对CSR的贡献程度 |
|--------|----------------|
| 焦煤1 | LS≈TL>LHJ≈FJ |
| 焦煤2 | FJB≈GYL>HKR |
| 焦煤3 | LSJ>LL≈JX |
| 肥煤1 | ML≈LHJ>XT |
| 肥煤2 | LSF>LX |
| 肥煤3 | |
| 1/3焦煤1 | WH ZJD>HN |
| 1/3焦煤2 | GZ≈ZZ≈QWK |
| 1/3焦煤3 | DT≈KZ≈WH |
| 瘦煤1 | BKN>K10 |
| 瘦煤2 | WJL>XS≈SY |

根据国标分类，Y<25，属于1/3焦煤。按照应用性分类， α_{\max} 低于HN和ZJD，对焦炭贡献程度低于1/3焦煤1组。建议划分为1/3焦煤2组。

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

● 基于炼焦煤科学评价及应用性分类的优化配煤—案例3

某钢焦化厂稳定焦炭质量和降低成本的优化配煤长期服务

替代配煤方法1：根据应用性分类

- 各**组内**相似煤种可互相替；
- 各**组内**作用大的煤种可替代作用小的煤种；
- 各**组内**作用小的煤种替代作用大的煤种，需要考虑微调其他煤；
- JM2组可部分替代JM1组和3组；JM2组和FM2组可部分替代JM1组；
- 1/3JM1组，可替代FM3组；
- 1/3JM1组结合瘦煤可替代JM2组或JM3组；
- FM2组结合SM可替代JM2组或JM3组；
-

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

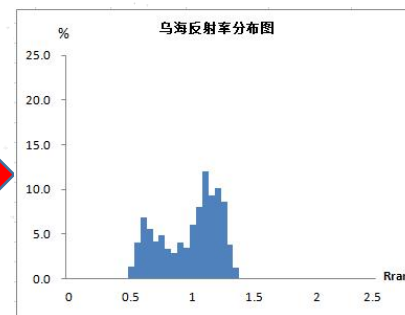
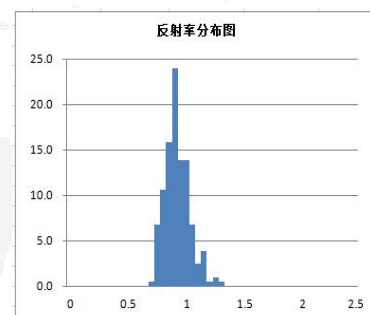
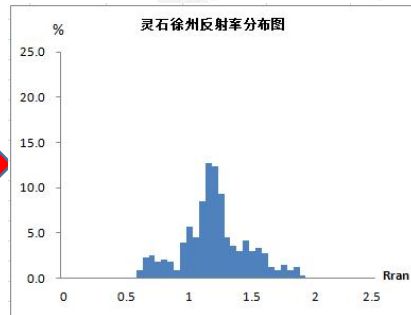
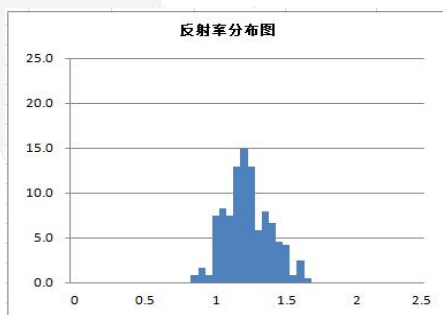
● 基于炼焦煤科学评价及应用性分类的优化配煤—案例3

某钢焦化厂稳定焦炭质量和降低成本的优化配煤长期服务

煤岩配煤方法2：控制配煤结构，关注重点煤种

- 进行各组煤煤岩稳定性分析；
- 关注焦煤中0.5-0.8反射率区间的分布；
- 关注焦煤中1.6以上反射率区间的分布；
- 关注肥煤中0.5-0.8反射率区间的分布；
- 关注1/3焦煤中0.5附近反射率区间的分布；
-

WH约混入30%的1/3焦煤，可以降低其配入量，提高其它肥煤比例，同时降低1/3焦煤比例，稳定焦炭质量。



LSJ(JM3)为混煤，质量波动大，配伍性差，降低其配入量，可以稳定提高焦炭质量。

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

● 基于炼焦煤科学评价及应用性分类的优化配煤—案例3

某钢焦化厂稳定焦炭质量和降低成本的优化配煤长期服务

结构配煤方法3：结合流动度配煤

■ 配煤结构分析

- 缺乏流动性；
- 主力肥煤WH肥煤，流动性差，不及1/3焦煤；
- 瘦煤的应用环境；
- 配煤结构中没有优质（流动性大）的1/3JM；
- 优质焦煤，与配伍性差的JM3；
- LSJ焦煤和WH肥煤存在煤岩不稳定的情况；

.....

| 1-4# 配煤结构 | 焦肥煤比例 /% | JM1 | JM2 | JM3 | FM2 | FM3 | 1/3JM1 | 1/3JM3 | SM1 | SM2 |
|--------------|-------------|-----|-------|-------|-----|-------|--------|--------|------|-----|
| | ≈70 | 6-9 | 25-30 | 15-20 | 2-3 | 18 | 0 | 16-20 | 5-7 | 5-7 |
| | ≤65 | 6-9 | 18-21 | <15 | 2-4 | 18-21 | 2-5 | 18-21 | 6-10 | 5-7 |

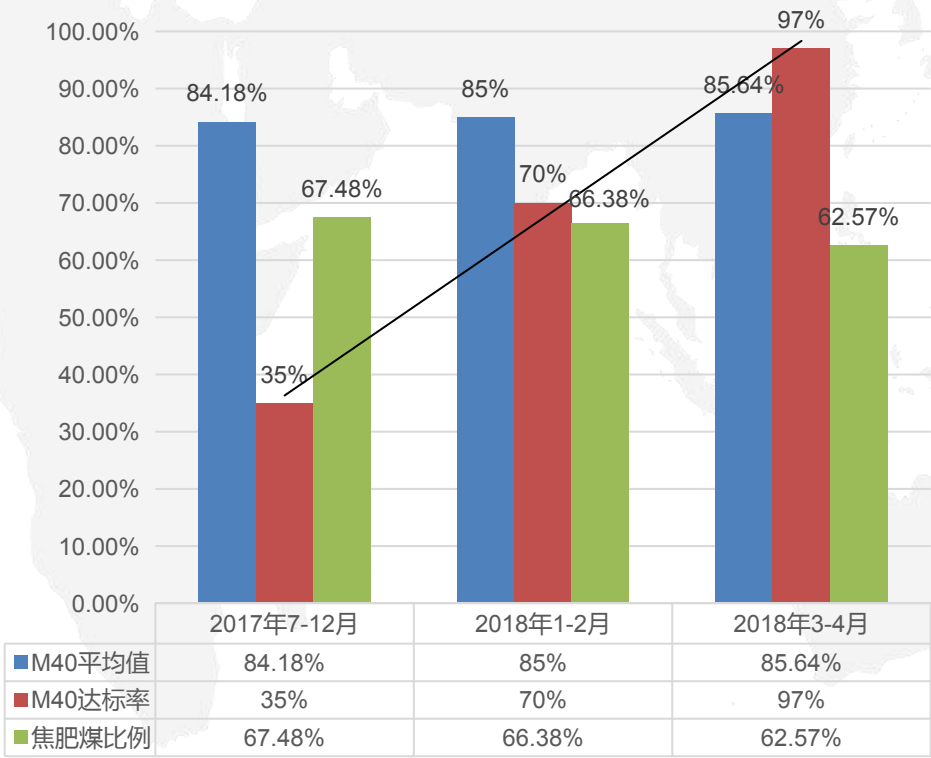
3 稳定焦炭质量技术研究及措施

● 基于炼焦煤科学评价及应用性分类的优化配煤—案例3

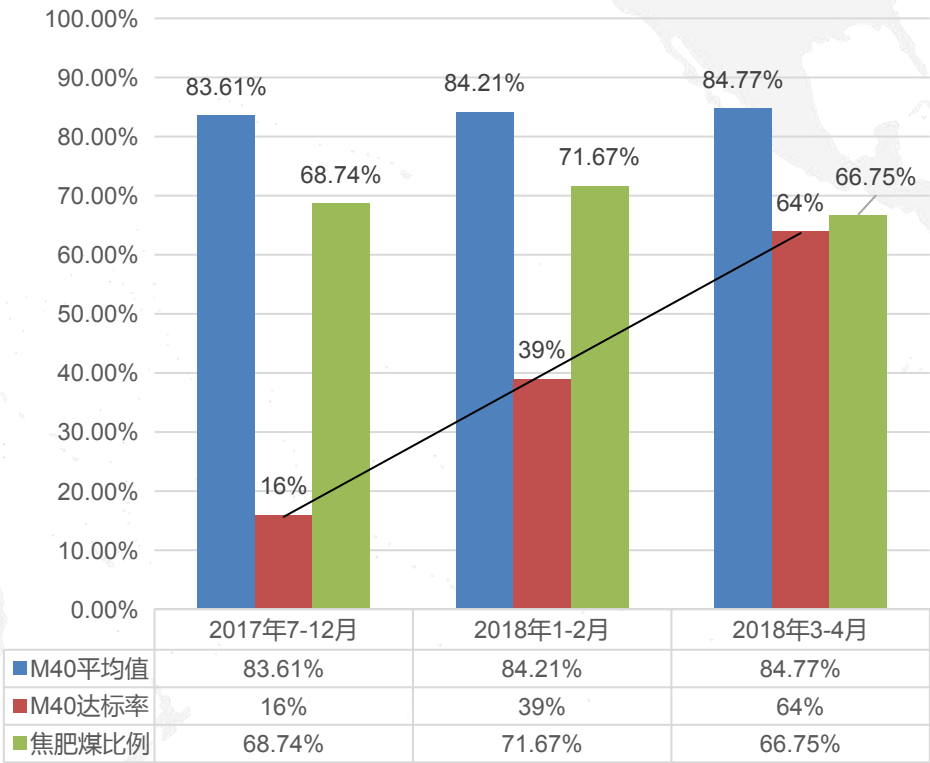
热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

某钢焦化厂稳定焦炭质量和降低成本的优化配煤长期服务

1~4#焦炉焦炭质量



5~6#焦炉焦炭质量



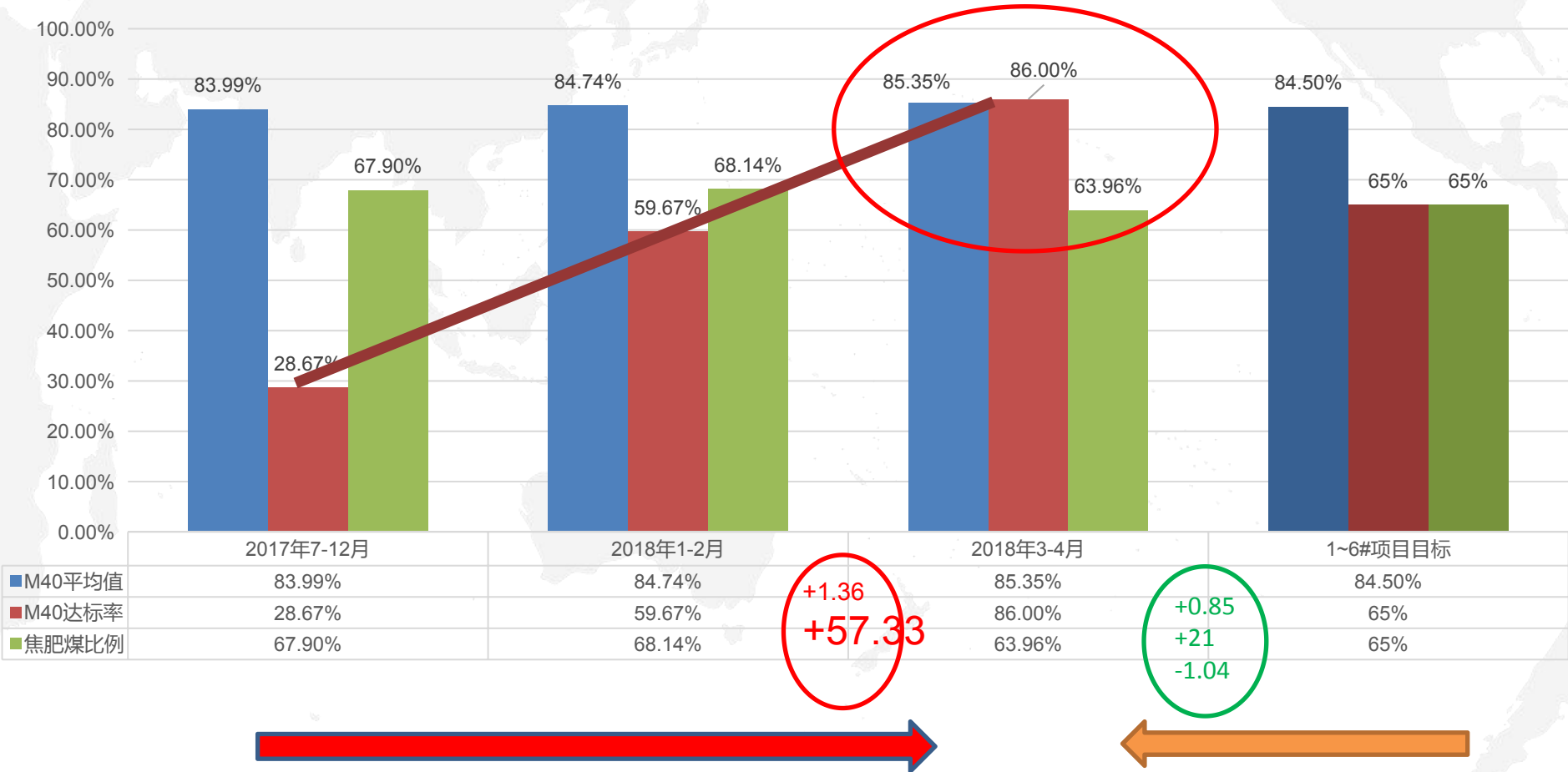
3 稳定焦炭质量技术研究及措施

● 基于炼焦煤科学评价及应用性分类的优化配煤—案例3

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

某钢焦化厂稳定焦炭质量和降低成本的优化配煤长期服务

1~6#焦炉焦炭质量

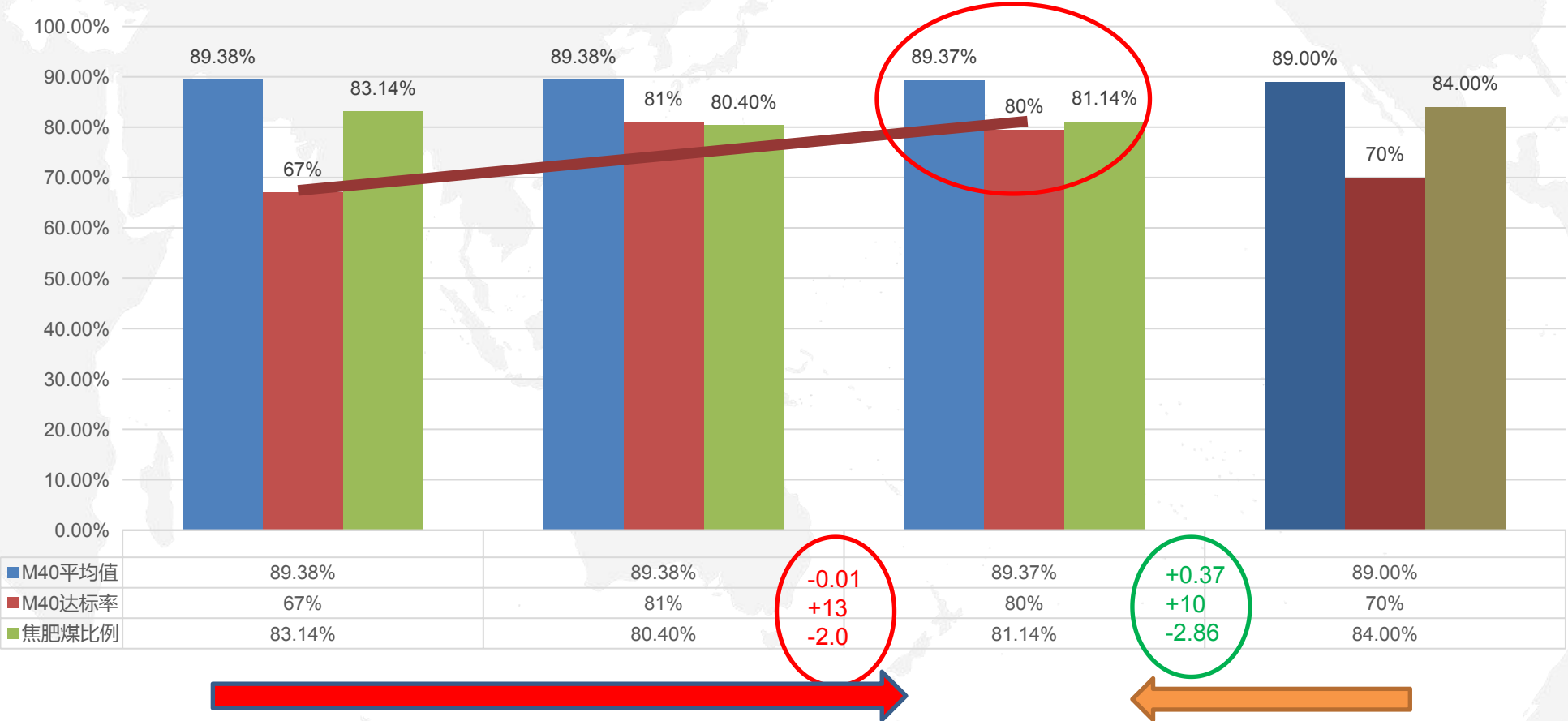


3 稳定焦炭质量技术研究及措施

● 基于炼焦煤科学评价及应用性分类的优化配煤—案例3

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

某钢焦化厂稳定焦炭质量和降低成本的优化配煤长期服务
7~8#焦炉焦炭质量



3 稳定焦炭质量技术研究及措施

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

研究结论

● 基于炼焦煤科学评价及应用性分类的优化配煤—案例3

某钢焦化厂稳定焦炭质量和降低成本的优化配煤长期服务

稳定焦炭质量：



提高焦炭质量，
提高 M_{40} 达标率：



保证焦炭质量，
降低焦肥煤比例：



指导采购及
拓展煤资源：

对煤源进行细化应用性分类，各应用性分组煤源合理使用。

查找影响焦炭质量不稳定因素的煤源，减少其配入量。

提高配合煤的流动度，适当提高瘦煤1组的比例。提高配合煤流动度方法：

- ✓提高肥煤2组或1组比例，降低焦煤3组和肥煤3组比例，总体降低焦肥煤比例。
- ✓焦肥煤比例不变时，肥煤3组替代焦煤3组；高硫肥煤2组替代焦煤2组。
- ✓提高1/3焦煤1组比例，降低焦肥煤比例，控制配煤成本。

配入高流动度的优质1/3焦煤1组，降低焦肥煤比例。

提高瘦煤比例，并搭配高流动度的1/3焦煤，降低焦肥煤比例。

配入流动度好的肥煤2组，降低焦煤3组与肥煤3组比例，降低焦肥煤比例。

采购计划：影响焦炭质量煤源，减少采购；高流动度1/3焦煤和肥煤，增大采购。

拓展炼焦煤资源：奥亚 $b>0$ 的1/3焦煤，基氏 α_{\max} 高的肥煤。

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

● 基于炼焦煤科学评价及应用性分类的优化配煤—案例4

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

➢ 利用优化配煤技术在某钢焦化厂取得成果：配煤指标控制体系

| V _{daf} ≤27.20 | | | | | | V _{daf} >27.20 |
|---------------------------|-----------------------|---|---|--|--|--|
| a _{max} ≤230 | | | | a _{max} >230 | | |
| G≤79 | 80≤G≤81 | | G>81 | a _{max} ≤255 | a _{max} >255 | |
| | a _{max} <210 | a _{max} >210 | | | | |
| M ₁₀ : 100%不合格 | 整体: 60-100%不合格 | M ₄₀ 、 M ₁₀ : 100% 合格 | M ₄₀ : 85.7% 合格 M ₁₀ : 85.7% | M ₄₀ 、 M ₁₀ : 100%合格 | M ₄₀ 偏低概率: 71.4% M ₁₀ : 100%合格 | M ₄₀ 偏低或M ₁₀ 不合格 |
| 对CSR不利 | 对CSR不利 | 对CSR有利 | 对CSR有利 | 对CSR有利 | 对CSR不利 | 对CSR不利 |
| / | / | 推荐 | 推荐 | 推荐 | / | / |

3 稳定焦炭质量技术研究及措施

热能院系列配煤技术在生产中应用实绩

● 基于炼焦煤科学评价及应用性分类的优化配煤—案例5

➤ 利用优化配煤技术在某焦化厂取得成果：配煤软件

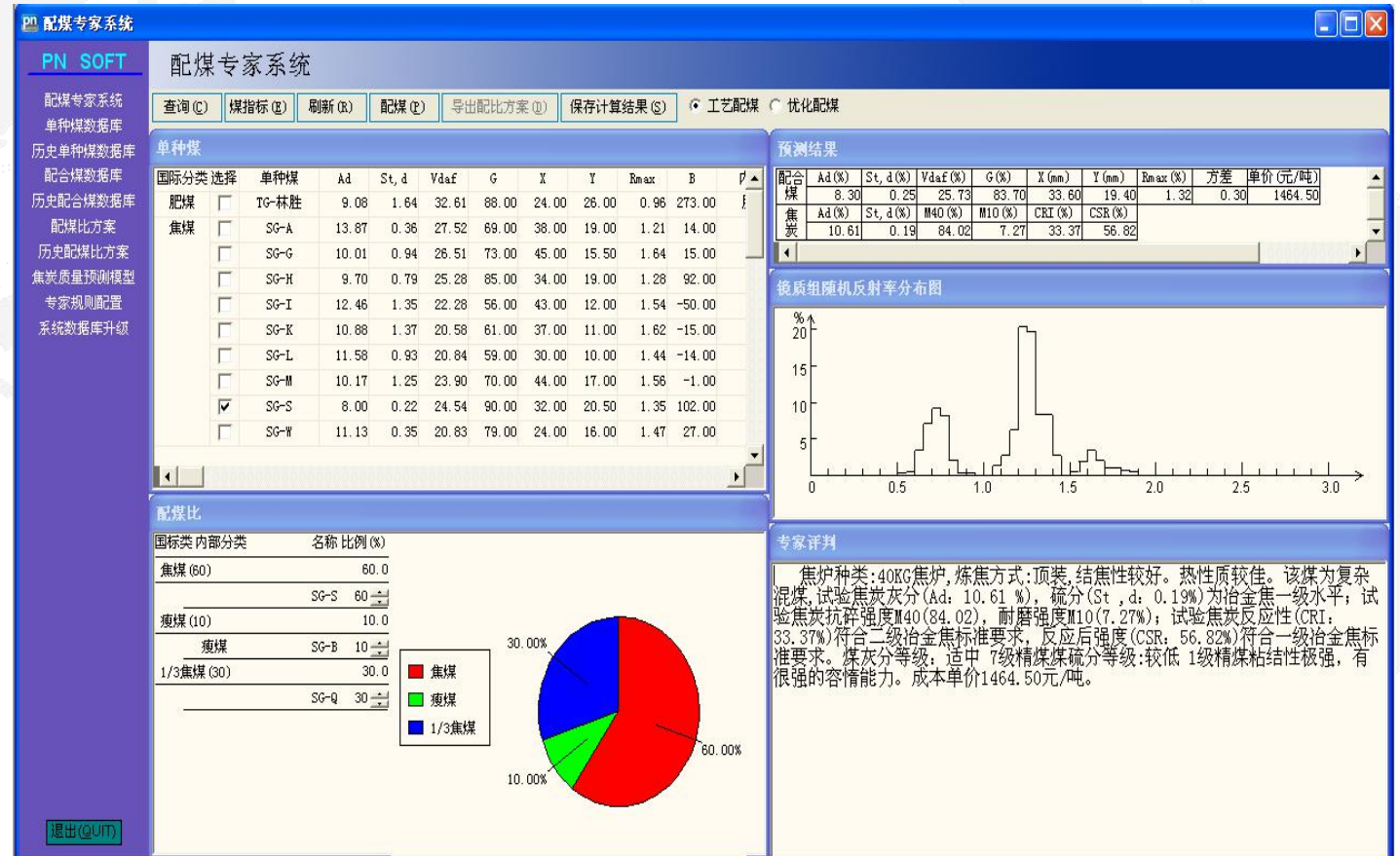
核心功能：

➤ 专家规则库

➤ 模型库

➤ 焦炭质量预测

➤ 经济优化配煤



目录

CONTENTS

4

结语

1

加强焦炭质量研究，**建立焦炭质量评价新体系**，开发能便捷评价焦炭本质质量的方法，为炼铁和炼焦生产提供指导。

2

研究炼焦煤炼焦过程的变化机理及其**对焦炭本质质量的影响规律**，为生产本质质量优良的焦炭提供理论指导。

3

开发便捷高效的炼焦煤评价方法和配煤方法，实现优化利用煤炭资源、生产满足高炉冶炼真实需求的较低成本的合格焦炭。

4

充分研究各种**炼焦工艺技术及操作制度对配煤结构的适应性和对焦炭质量的影响**，合理利用各种工艺技术及操作制度实现生产合格焦炭与生产的顺行安全。

THANK YOU !



孟庆波 工学博士 教授级高工

中钢集团鞍山热能研究院有限公司 副院长

炼焦技术国家工程研究中心 常务副主任

中国炼焦行业协会焦炭煤资源专业委员会 主任

中国炼焦行业协会专家委员会 首席专家



13604203420



meng123qb@sina.com

meng_qb@sina.com



<http://www.rdte.cn/>

优化配煤与焦炭质量研究项目负责人及团队介绍

技术团队现有中国炼焦行业协会首席专家1人（孟庆波）、中国炼焦行业协会专家委员会专家1人、中钢集团专家1人、教授级高级工程师3人、高级工程师5人，专业技术及检测人员30余人。团队成立至今，在国内率先进行焦炭质量预测研究、率先引入煤岩学方法开展混煤判断及煤岩配煤研究，开发了煤岩配煤、结构配煤、矩阵法配煤及配煤专家系统等多项专有/专利技术，并获得了多项国家专利及国家/省部级奖项。同时，团队长期为国内外大型钢铁联合企业、独立焦化企业、煤炭交易中心及煤炭生产/贸易公司提供技术支持，相关技术成果得到了广泛推广。



团队



中钢集团鞍山热能研究院有限公司
Sinosteel Anshan Research Institute of Thermo-Energy Co., Ltd.

徐秀丽煤炭转化研究创新工作室

致力于焦化技术开发与应用服务，技术成果可为钢铁企业降低燃料成本、为焦化企业降低配煤成本、为煤炭企业打造品牌煤提升煤炭资源价值；自主研发的专利和专有技术有：基于应用性分类的替代法配煤技术、结构配煤技术、矩阵法配煤技术、配煤指标体系、炼焦煤评价与优化配煤软件等。



我们能提供的服务

焦化企业优化配煤系统解决方案；炼焦煤科学评价方案、炼焦煤性价比方案、优化配煤系统方案、配煤预测与决策软件、煤场管理方案、质量分析检测方案、高炉合理用焦方案；
煤炭公司煤炭利用系统解决方案；品牌炼焦煤的定位方案、煤炭配采配洗配销方案、低阶煤中低温热解工艺方案、无烟煤资源化利用工艺方案、高硫煤资源化利用方案、瘦煤及贫瘦煤资源化利用方案；
企业培训：优化配煤及煤焦检测培训、企业现场技术服务、“采、制、化”培训、焦炉热工调控培训。

| 国内焦化企业 | 国内煤炭公司 | 国外单位 |
|--|--|---|
| 《长协》 沙钢、鞍钢、山西兴高、沁新能源、酒钢、河南顺成集团、豫港焦化、黑龙江建龙、景德镇焦化等。 | 《短期》 包钢、云维集团、平煤集团、内蒙君正、金石镁业、丰城新高、水钢、宝丰能源、旭阳集团等。 | 山西焦煤、开滦矿业、淮南矿业、沁新煤炭、晋煤集团等；阳煤集团大商所焦煤期货上市。 |
| | | Anglo American BHP Billiton CSRIO Mongolia Rio Tinto Teck 波兰煤化所 |

