

分级研磨制浆工艺在内蒙古易高煤化科技有限公司的应用

苏鑫

(煤科院节能技术有限公司, 国家水煤浆工程技术研究中心, 煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室, 国家能源煤炭高效利用与节能减排技术装备重点实验室, 北京 100013)

摘要: 为提高气化水煤浆浓度, 降低生产成本, 内蒙古易高煤化科技有限公司采用“分级研磨制浆工艺”对原有的制浆系统进行改造。通过对比改造前后气化水煤浆的质量指标及相关气化参数, 发现采用该工艺后, 水煤浆质量分数提高了 2.6%, 析水率减少了 0.6%, 流动性有明显改善; 水煤浆浓度提高后, 气化炉的比煤耗降低了 $18 \text{ kg}/1000 \text{ Nm}^3$, 比氧耗降低了 $12 \text{ Nm}^3/1000 \text{ Nm}^3$, 有效气体积分数提高了 1.69%, 吨精醇耗煤减少 0.07 t, 吨精醇耗氧减少 29 Nm^3 , 企业经济效益显著。

关键词: 煤浆提浓; 分级研磨; 超细研磨机; 比煤耗; 比氧耗

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2021.02.012

中图分类号: TD 951; TQ536.1 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2021) 02-0058-05

煤炭是我国重要的基础能源, 在未来相当长时期内煤炭引领能源的现状难以改变^[1]。水煤浆是洁净煤技术的分支之一, 其是由煤、水以及添加剂混合而成的煤基液体燃料和气化原料。水煤浆技术自 20 世纪 80 年代引入我国后, 历经 30 余年的科技攻关与生产实践, 生产与应用规模均处于全球领先地位^[2-4]。水煤浆的应用范围极广, 涉及冶金、化工、电力、建材、轻工、石油等领域, 根据用途不同, 可分为燃料水煤浆和气化水煤浆。在气化水煤浆领域, 随着德士古气化技术(现 GE 气化技术)的引进, 尤其是我国具有自主知识产权的多喷嘴对置式水煤浆气化技术的研发成功, 气化浆的用量也在急剧上升^[5]。据不完全统计^[6], 截至 2017 年底, 采用水煤浆为进料的气化炉, 如 GE、多喷嘴、多元料浆等, 已投产数量超过 300 台, 用浆量达 2 亿 t/a 以上, 且随着大型新建项目的相继投产, 其用量还将继续增加^[7-8]。同时, 随着气

化水煤浆应用范围的不断增加以及煤化工建设规模的日益增大, 气化炉大型化也迫在眉睫, 目前国内最大的单台日处理 3000 t 煤量的气化炉已经投产, 并稳定运行, 单台日投煤量 4000 t 级的气化炉也正在研发。

水煤浆研究初期, 制浆用煤多以中等变质程度的煤种(气煤、1/3 焦煤等)为主^[4], 但随着类似煤种的不断开采, 其储量也日益减少, 与此同时其价格亦逐渐增加, 因此, 变质程度较低的低阶煤逐渐被用作主流的制浆用煤^[9], 如弱黏煤、不黏煤。但低阶煤的煤质特征使得用户在使用常规制浆工艺的条件下很难制出具有优良流变特性的高浓度水煤浆, 不利于提高气化炉效率^[10-11], 有研究表明^[12], 气化水煤浆质量分数每提高一个百分点, 生产 1000 Nm^3 合成气煤耗降低 10 kg, 氧耗降低 10 Nm^3 , 因此, 如何利用这些低阶煤制备出具有优良流变特性的高浓度水煤浆成为行业内

收稿日期: 2020-01-06; 改回日期: 2020-03-25

作者简介: 苏鑫(1988-), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事煤炭清洁高效利用工作。

急需解决的问题。粒度级配是制浆技术的关键，根据这一核心理论，国内众多科研院所和企业做了很多具体研究^[13-14]，逐渐探索出“分级研磨制浆工艺”，并逐渐应用于实际生产。

内蒙古易高煤化科技有限公司年产 20 万 t 甲醇项目，采用水煤浆气化技术，气化水煤浆制备系统以鄂尔多斯本地煤为制浆原料，每天处理干煤约 1344 t。制浆系统由 2 条棒磨机（Φ 3.2 m×4.5 m）生产线组成，2 条全开无备用，每条棒磨机生产线每小时制浆能力为 28 t 干煤，采用单棒磨机制浆工艺。由于煤浆浓度偏低，使有效气含量偏低，比煤耗、比氧耗偏高。同时煤浆中过多的水在炉内变为蒸汽后占用了一定空间，降低了气化炉的转化效率，严重影响了企业在行业内的

竞争优势。因此，为了提高制浆浓度，实现增产降耗，内蒙古易高煤化科技有限公司采用低阶煤分级研磨高浓度水煤浆制备专利技术和设备进行煤浆提浓，对原有的制浆系统进行升级改造，增设 1 台 CYM11000C1 型超细研磨机。改造完成后，制浆系统由 2 套 Φ 3.2 m×4.5 m 棒磨机和 1 套 CYM11000C1 型超细研磨机组成，棒磨机 2 开无备用，超细研磨机常开。

1 煤质分析

内蒙古易高煤化科技有限公司气化用煤来自周边矿井，采用阳塔煤为制浆用煤，阳塔煤的煤质分析见表 1。

表 1 阳塔煤煤质分析数据
Table 1 Analysis data of coal quality of Yangta coal

全水 /%		工业分析 /%				元素分析 /%				发热量 / (MJ·kg ⁻¹)	全硫 /%	灰熔融性流动温度 / °C	哈氏可磨性系数
Mt	M _{ad}	Ad	V _{daf}	FCd	Cd	Hd	Od	Nd	Q _{net, ar}	St, d	FT	HGI	
19.21	5.01	5.25	35.69	55.92	73.75	4.00	12.37	0.85	23.16	0.39	1 150	68	

由表 1 可知，该公司生产用煤属于中高水分、特低灰、中热值、中等可磨低阶长焰煤，灰熔融性温度适中，有利于气化炉平稳运行，该煤种属于难成浆煤种。

2 改造方案

2.1 工艺流程

内蒙古易高煤化科技有限公司原有煤浆制备系统为单棒磨机制浆工艺，具体过程为，经过破碎的煤、工艺水和水煤浆添加剂一起由棒磨机入口进入，经过棒磨机内钢棒的研磨后，浆体通过棒磨机末端的滚筒筛，符合要求的煤浆通过滚动筛进入到低压煤浆槽，再由煤浆泵输送至高压煤浆槽供气化使用。该工艺虽然流程相对简单，但所制水煤浆粒度分布不合理，浓度偏低，存在着流态及稳定性差等问题。

原生产系统经过改造，增加了 1 套细浆制备系统。改造后的制浆工艺为“分级研磨制浆工艺”，该工艺将“选择性粗磨”和“超细研磨”进行有机结合，增加煤粉颗粒的堆积效率，优化产品的流动性及稳定性，其工艺流程见图 1（虚线内为新增细浆制备系统）。

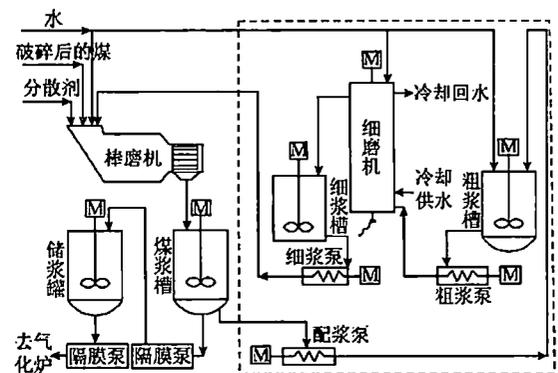


图 1 改造后制浆系统工艺流程
Fig. 1 Process flow chart of the modified pulping system

煤浆槽的少部分煤浆 (10% ~ 15%) 通过配浆泵输送到粗浆槽, 并与配水管道的流量值形成串联 (配水管道带有与配浆泵流量形成串级的调节阀), 通过自动计算, 配入一定量的工艺水, 稀释后的煤浆通过泵送入超细研磨机, 研磨合格的细浆最终通过细浆泵重新输送至棒磨机中。此套工艺可优化煤浆粒度级配, 适当增加大小颗粒的粒径差, 显著改善其流变性, 达到提浓降耗的目的。

2.2 主要设备

根据内蒙古易高煤化科技有限公司的生产规模, 本改造配置了 1 台 CYM11000C1 型超细研磨机, 整套系统共配置配浆泵 2 台, 粗浆泵 2 台, 细浆泵 3 台, 主要设备及相关参数见表 2。

表 2 新增主要设备一览表
Table 2 List of major equipments

设备	技术参数	配置数量 / 台	备注
超细研磨机	型号 CYM11000C1 处理量 8 ~ 15 (m ³ ·h) 功率 560 kW	1	常开
粗浆槽及搅拌器	罐体容积 15 m ³ 搅拌器功率 5.5 kW	1	常开
细浆槽及搅拌器	罐体容积 15 m ³ 搅拌器 5.5 kW	1	常开
配浆泵	处理量 0 ~ 20 (m ³ ·h) 电机功率 15 kW	2	1 开 1 备
粗浆泵	处理量 0 ~ 20 (m ³ ·h) 电机功率 15 kW	2	1 开 1 备
细浆泵	处理量 0 ~ 25 (m ³ ·h) 电机功率 18.5 kW	3	2 开 1 备

3 系统调试

煤浆提浓系统为原有制浆系统的“外挂式”

子系统, 运行正常后逐渐接入原有制浆系统, 在不影响正常生产的条件下, 逐渐减少棒磨机进料端工艺水量, 使水煤浆浓度逐渐提高。

调试期间, 不同的进料浓度及进料量对细浆的粒度影响见表 3。

表 3 不同进料浓度和进料量条件下超细研磨机出料粒度
Table 3 Discharge particle size of ultrafine grinding machine under different feed concentration and feed amount conditions

进料量 粒度 分布 / mm	12/ (m ³ ·h ⁻¹)		13/ (m ³ ·h ⁻¹)		14/ (m ³ ·h ⁻¹)		15/ (m ³ ·h ⁻¹)	
	<0.075	<0.045	<0.075	<0.045	<0.075	<0.045	<0.075	<0.045
35%	93.42	91.43	90.61	89.14	90.06	88.19	89.13	85.62
36%	92.27	88.14	90.44	87.92	90.08	86.71	88.42	82.36
37%	91.42	86.73	89.94	84.78	87.81	83.62	83.19	78.46
38%	88.36	84.52	87.62	83.19	85.53	80.56	82.37	74.62
39%	84.17	81.39	82.31	79.16	81.19	79.43	79.62	72.17

经过调试, 逐渐确定了该煤质条件下煤浆提浓系统的较佳运行参数。根据技术要求, -0.075 mm 通过率需达到 85%, 同时 -0.045 mm 通过率则需要达到 80%, 由表 3 可以看出, 在设备运行电流及运行温度可承受的范围内, 处理量为 14 m³/h 为宜, 进料质量分数维持在 38% 较为合适, 此工况既能保证设备正常运行, 又达到了提浓工艺的要求, 此时细浆添加比例为 10% 左右 (细浆制备系统额外加入原系统的干基细煤粉量)。

4 运行效果

煤浆提浓系统经过 1 年多的稳定运行及参数优化, 逐渐形成了一套适用于本厂工况的较优操作参数, 提浓系统开车前后水煤浆指标见表 4。

表 4 提浓系统开车前后水煤浆指标
Table 4 Coal water slurry index before and after thickening system starting

检测 指标	质量分数 /%	黏度 (100 s ⁻¹) / (mPa·s)	粒度分布 (通过率 /%)					析水率 (24 h) %
			2.36 mm	1.4 mm	0.425 mm	0.075 mm	0.045 mm	
提浓系统开车前 (单棒磨机)	60.2	601	100	99.38	85.05	37.27	31.34	2.8
提浓系统开车后 (增加细磨机)	62.8	821	100	99.49	78.34	42.60	37.40	2.2
差值	+2.6	+220	0	+0.11	-6.71	+5.33	+6.06	-0.6

其中水煤浆浓度采用干燥箱干燥法测定，表观黏度采用同轴双转桶黏度计法测定，稳定性采用倾倒法测定。

从表4可以看出，增加提浓系统后，煤浆中煤颗粒的粒度级配得到优化，煤浆质量分数提高了2.6个百分点，表观黏度为821 mPa·s，且通过加入细浆，生产的水煤浆稳定性也有所好转，析水率由原来的2.8%减少到2.2%。细浆的加入改变了原有煤浆的粒度级配，适当增加了煤浆中大小煤颗粒的粒径差，使小颗粒可以更多地有效填充到大颗粒的间隙中，增加了颗粒间的空间位阻，减小了大颗粒的沉降速度，稳定性有所好转。

提浓系统运行后，棒磨机的出浆情况亦有所好转，出料端滚筒筛不易堵塞，冲洗频率降低，这是因为细浆加入后充当了颗粒之间的“润滑剂”，在煤浆流动时，作为复合流的水煤浆，其垂向分布更加均匀，有利于减小流动阻力^[15]。

提浓系统开车前后气化工段运行效果见表5。

表5 提浓系统开车前后气化工段运行效果

Table 5 Operation effect of gasification section before and after the enrichment system starting

项目	开车前	开车后	差值
进气化炉水煤浆量 / (m ³ ·h ⁻¹)	79.88	79.6	-0.28
耗氧量 / (Nm ³ ·h ⁻¹)	37 125	38 829.17	1 704.17
净化气总量 / (Nm ³ ·h ⁻¹)	101 354.17	109 612.5	8 258.33
有效气体积分数 / (%)	80.26	81.95	1.69
精甲醇产量 / (t·h ⁻¹)	43.28	46.82	3.54
比煤耗 / (kg/1 000 Nm ³)	563	545	-18
比氧耗 / (Nm ³ /1 000 Nm ³)	363	351	-12
精醇耗煤 / (t·t ⁻¹)	1.65	1.58	-0.07
精醇耗氧 / (Nm ³ ·t ⁻¹)	858	829	-29

由表5可以看出，通过增加煤浆提浓系统，气化比煤耗由原来的563 kg/1000 Nm³降低到545 kg/1000 Nm³，比氧耗由原来的363 Nm³/1000 Nm³降低到351 Nm³/1000 Nm³，有效气体积分数也由原来的80.26%提高到81.95%，这主要是因为水煤浆浓度提高后，进入气化炉的水分减少，在气化炉操作温度不变的情况下，需减少给氧量，使煤中的碳更多地向CO转变，有效气含量增加。由表

5还可以看到，改造后吨精醇耗煤及耗氧均有所降低，具有显著的经济效益，提高了企业的竞争力。

5 结 论

(1) 采用分级研磨制浆工艺后，在气化用煤和添加剂用量不变的前提下，水煤浆质量分数由60.2%上升到62.8%，增加了2.6%；水煤浆浓度提高后，气化比煤耗降低了18 kg/1000 Nm³，比氧耗降低了12 Nm³/1 000 Nm³，有效气体积分数提高了1.69%，吨精醇耗煤减少0.07 t，吨精醇耗氧减少29 Nm³，经济效益显著。

(2) 增加提浓系统后，煤浆的粒度分布得到优化，使煤浆的稳定性有所好转，且通过细浆的“润滑”作用，改善了产品的流动性，棒磨机出料端更加顺畅，减少了冲洗频率。

参考文献：

[1] 刘建文, 谢雨晴, 陈楠. 高效水煤浆制浆燃烧集成技术研制与应用 [J]. 洁净煤技术, 2015, 21(2): 35-39, 44.
LIU J W, XIE Y Q, CHEN N. Research and application of preparation and combustion technology of efficient coal water mixture [J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(2): 35-39, 44.

[2] 于海龙, 赵翔, 周志军, 等. 煤浆浓度对水煤浆气化影响的数值模拟 [J]. 中国动力工程学报, 2005, 25(2): 217-220.
YU H L, ZHAO X, ZHOU Z J, et al. Numerical simulation of the influence of coal slurry concentration on coal water slurry gasification [J]. Chinese Journal of Power Engineering, 2005, 25(2): 217-220.

[3] 苏鑫, 李发林, 王国房. 采用配煤及添加助熔剂降低不连沟煤灰熔融性的实验研究 [J]. 煤质技术, 2015(3): 19-22, 42.
SU X, LI F L, WANG G F. Research on using coal blending and fluxing agent experiment to reduce the ash fusibility of Buliangou coal [J]. Coal Quality Technology, 2015(3): 19-22.

[4] 崔意华. 压力、煤浆浓度、氧煤比对水煤浆气化的影响 [J]. 化肥设计, 2010, 48(5): 23-26.
CUI Y H. Influence of pressure, coal slurry concentration and ratio of oxygen/coal on water coal slurry gasification [J]. Chemical Fertilizer Design, 2010, 48(5): 23-26.

[5] 王文伟, 杜善明, 关丰忠, 等. 分级研磨制浆工艺在神华新疆化工有限公司的应用 [J]. 煤化工, 2018, 46(6): 11-14.
WANG W W, DU S M, GUAN F Z, et al. Application of coal water slurry classified grinding technology in Shenhua Xinjiang

- chemical Co., Ltd. [J] Coal Chemical Industry, 2018,46(6): 11-14.
- [6] 史斗, 郑军卫. 我国能源发展战略研究 [J]. 地球科学进展, 2000, 15(4): 406-414.
- SHI D, ZHENG J W. Research on China's energy development strategy [J]. Progress in Earth Sciences, 2000, 15(4): 406-414.
- [7] 段清兵, 张胜局, 段静. 水煤浆制备与应用技术及发展前景 [J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(1): 205-213.
- DUAN Q B, ZHANG S J, DUAN J. Coal water slurry preparation and application technology and development prospect [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(1): 205-213.
- [8] 杜小茹, 李光美, 黄欣, 等. 水煤浆技术以及难制浆煤种成浆性的提高途径 [J]. 煤炭技术, 2010, 29(1): 176-178.
- DU X R, LI G M, HUANG X, et al. Way of water-coal-slurry technology and slurry ability of coal difficult to make slurry [J]. Coal Technology, 2010, 29(1): 176-178.
- [9] 何国锋, 詹隆, 王艳芳. 水煤浆技术发展与应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2012: 8-9.
- HE G F, ZHAN L, WANG Y F. Development and application of coal water slurry technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2012:8-9.
- [10] 徐振刚, 曲思建. 煤化工技术理论与实践 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2009: 133-138.
- XU Z G, QU S J. Coal Chemical technology theory and practice [M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2009:133-138.
- [11] 张雪艳, 仇汝臣. 水煤浆制备系统提浓改造 [J]. 小氮肥, 2014, 42(2): 15-16.
- ZHANG X Y, QIU R C. Improvement of concentration of coal water slurry preparation system [J]. Small Nitrogen Fertilizer, 2014, 42(2): 15-16.
- [12] 王渝岗, 王俊哲. 精细煤粉提高化工用水煤浆质量浓度的研究 [J]. 科技创新与生产力, 2013(4): 79-80.
- WANG Y G, WANG J Z. Research on improving mass concentration of coal water slurry Chemistry industry by using sophisticated coal dust [J]. Taiyuan Science and Technology, 2013(4): 79-80.
- [13] 张博涛, 赵强. 提高水煤浆浓度的技术改造 [J]. 西部煤化工, 2014(1): 19-20.
- ZHANG B T, ZHAO Q. Technical transformation to improve the concentration of coal water slurry [J]. West Coal Chemical Industry, 2014(1): 19-20.
- [14] 李艳昌, 程军, 刘剑, 等. 配煤提高煤种成浆性能的研究 [J]. 煤炭转化, 2010, 33(3): 41-44.
- LI Y C, CHENG J, LIU J, et al. Study on the improvement of coal slurry performance by coal blending [J]. Coal Conversion, 2010, 33(3): 41-44.
- [15] 费祥俊. 浆体与粒状物料输送水力学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1992.
- FEI X J. Slurry and granular material transport hydraulics [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1992.

Application of Graded Grinding Pulping Process in Inner Mongolia Yigao Coalification Technology Company

Su Xin

(Coal Research Institute Energy Conservation Technology Co., Ltd., National Coal Water Slurry Engineering Technology Research Center, State Key Laboratory of Coal Mining and Clean Utilization, National Energy Technology and Equipment Laboratory of Coal Utilization and Emission Control, Beijing, China)

Abstract: To improve concentration of gasification coal water slurry (CWS) and reduce production cost, the Inner Mongolia Yigao Coalification Technology Company used the classified grinding slurring process to transform the original slurring system. By comparing the quality index and related gasification parameters of gasification coal water slurry before and after transformation, the results show that after adopting the technology, the concentration of CWS can be increased by 2.6%, the water separation rate was reduced by 0.6%, and the liquidity has been improved obviously; After the CWS concentration raised, the specific coal consumption of gasifier was reduced by 18 kg/1 000 Nm³, the specific oxygen consumption was reduced by 12 Nm³/1 000 Nm³, the effective gas content was increased by 1.69%, the coal consumption per ton of refined alcohol reduced by 0.07 t, and the oxygen consumption per ton of refined alcohol was reduced by 29 Nm³, enterprise economic benefits were notable.

Keywords: Coal water slurry concentration; Classified grinding; Superfine grinding machine; Specific coal consumption; Specific oxygen consumption