分级研磨低阶煤高浓度水煤浆制备技术与应用

段 清 兵[1,2,3,4]

(1. 煤炭科学研究总院 节能工程技术研究分院，北京 100013；2. 国家水煤浆工程技术研究中心，北京 100013；
3. 煤炭资源开采与环境保护国家重点实验室，北京 100013；4. 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：为了提高低阶煤气化水煤浆浓度和气化炉效率，降低合成气煤耗和氧耗，增加气化炉烧嘴使用寿命，针对低阶煤煤质特点，开发了分级研磨低阶煤高浓度水煤浆制备技术和装备，通过优化煤浆堆积效率来提高水煤浆浓度和质量。实践证明，该工艺技术与传统单磨机制浆工艺相比，煤浆浓度可提高3%～5%，磨机产量提高30%以上。

关键词：低阶煤；水煤浆；分级研磨；气化；制浆工艺

中图分类号：TQ536 **文献标志码：**A **文章编号：**0253－2336(2012) 10－0113－03

Application of High Concentration Coal Water Slurry Preparation Technology with Graded Grinding Low Rank Coal

DUAN Qing-bing[1,2,3,4]

(1. *Energy Saving Engineering and Technology Branch, China Coal Research Institute, Beijing* 100013, *China*; 2. *National Coal Water Slurry Engineering and Technology Center, Beijing* 100013, *China*; 3. *National Key Lab of Coal Resource Mining and Environment Protection, Beijing* 100013, *China*; 4. *National Energy Key Lab of Coal High Utilization, Energy Saving and Emission Reduction Technology and Equipment, Beijing* 100013, *China*)

Abstract: In order to improve the density of the low rank coal gasified coal water slurry and the efficiency of thegasifier, to reduce the coal consumption of the syngas and the oxygen consumption and to improve the service life of the nozzles in the gasifier, according to the property features of the low rank coal, the high concentration coal water slurry preparation technology with Graded Grinding Low Rank Coal and equipment were developed and the optimized stacking efficiency of the slurry was applied to improve the slurry density and quality. The practical applications showed that in comparison with the conventional slurry preparation technique with a single grinder, the technique and technology could improve the slurry density with 3%～5% and the grinding yield of the grinder could be improved over 30%.

Key words: low rank coal; coal water slurry; graded grinding; gasification; slurry preparation technique

低阶煤(包括褐煤、长焰煤、弱黏煤和不黏煤)占我国煤炭储量及产量的50%以上，目前已经成为我国煤炭加工与利用的重要组成部分[1]。低阶煤因其具有水分高、发热量低、化学反应性好、易燃易碎等特点，不利于直接燃烧和运输。因此，根据低阶煤的煤质特点，开发清洁高效利用途径，使低阶煤转变为清洁的代油燃料和优质煤气化原料，是我国能源发展亟待解决的技术难题。水煤浆是由煤、水及添加剂组成的低污染、高效率的煤基流体燃料和气化原料，具有类似于油的流动性和稳定性，方便泵送、储运、燃烧与气化，能显著降低SO_2、NO_x的排放量，是我国洁净煤技术的一个重要分支。制浆用煤的煤质特性是影响水煤浆产品质量的重要因素之一[2]。水煤浆发展之初，燃料水煤浆多以变质程度中等的煤(气煤、1/3焦煤)为制备原料，近年来，受到其资源储量少和价格偏高的影响，制浆煤源逐渐向变质程度较低的煤种转变。但低阶煤内在水分高、可磨性差，属于难成浆煤种，采用常规的单磨机制浆工艺，其成浆浓度普遍偏低，浆体质量分数一般在57%～60%，较低

收稿日期：2012－05－14；**责任编辑：**代艳玲

基金项目：国家科技部科研院所技术开发专项资助项目(2011EG222214)

作者简介：段清兵(1978—)，男，山东新泰人，副研究员，硕士。Tel：010－84264931，E－mail：duanqbing@sina.com

网络出版时间：2012－10－18 09：32：34；**网络出版地址：**http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20121018.0932.028.html

引用格式：段清兵. 分级研磨低阶煤高浓度水煤浆制备技术与应用[J]. 煤炭科学技术，2012，40(10)：113－115，103.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

的成浆浓度显著降低了水煤浆的燃烧和气化效率，严重影响水煤浆的经济性和市场竞争力[3]。基于此，煤炭科学研究总院国家水煤浆工程技术研究中心自 2004 年起致力于低阶煤制高浓度水煤浆技术的研究，历时 3 年开发出分级研磨低阶煤高浓度水煤浆制备技术及设备[4]。目前，该技术及关键设备已获得国家发明专利 2 项，实用新型专利 6 项。新技术可使低阶煤的制浆浓度提高 3% ~5%，且煤浆的粒度级配趋于合理，平均粒径降低，流动性与雾化性能明显提高，如用于气化炉气化，可显著降低比煤耗和比氧耗，提高气化炉气化效率[5]。

1　低阶煤高浓度水煤浆制备工艺

1.1　工艺流程

针对低阶煤内在水分高、可磨性差等问题，以多破少磨、分级研磨和优化粒度级配为理论指导，开发了分级研磨低阶煤高浓度水煤浆制备新工艺[6]，同时研制出高效破碎机，该设备可大幅降低选择性磨机的入料粒度，缩短磨矿时间，降低制浆电耗；同时将选择性粗磨与新开发的超细磨机进行有机组合，通过选择性分级研磨，优化煤浆的粒度级配，提高水煤浆的浓度和研磨效率，达到提浓降耗的目的。同时采用性价比较高的低阶煤专用高效水煤浆添加剂，降低煤浆黏度，改善水煤浆的流变性，其工艺流程如图 1 所示。

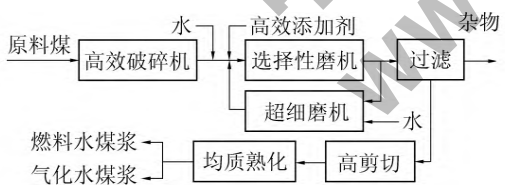


图 1　低阶煤高浓度水煤浆制备工艺流程

1.2　工艺特点

低阶煤高浓度水煤浆制备技术具有如下 5 个特点：①成功研制的高效破碎机可将≤50 mm 的煤粒破碎至≤3 mm，其中≤1 mm 占 80% 以上，远低于常规制浆工艺中磨机≤10 mm 的入料粒度；②大型高效水煤浆超细磨机磨细浆时（平均粒径≤15 μm），电耗仅相当于球磨机的 1/10，细浆配入选择性粗磨机中，可优化煤浆粒度级配，改善流变性和稳定性；③质量分数 15% ~20% 的煤浆经超细磨机研磨后返回至棒磨机，细浆的加入，可显著提高棒磨机的研磨效率，使棒磨机的产量提高 30% 以上；④独创性地将选择性粗磨与超细磨进行有机组合，优化煤浆的粒度级配，与单磨机制浆工艺相比，在不增加制浆电耗的前提下提高煤浆浓度 3% ~5%，并明显改善了煤浆的流动性能；⑤针对低阶煤煤质特征，应用相似相溶原理，选择合理的合成原料，从分子结构设计入手，合成出专用 CCRI 型高效水煤浆添加剂。

2　高浓度水煤浆技术推广应用

目前，在燃料水煤浆制备领域，分级研磨低阶煤高浓度水煤浆制备技术已成功推广至广东、福建、浙江和江苏等沿海地区，目前已经形成 1 000 万 t/a 的燃料水煤浆生产规模。利用该技术以神华煤为制浆原料生产燃料水煤浆质量分数达到 65% ±1%，煤浆黏度＜1 200 mPa·s（25 ℃，100 s^{-1}），稳定性≥30 d，主要用于华南及东南沿海地区 4 ~670 t/h 不同规模工业锅炉和电站锅炉的代煤、代油燃烧，应用效果良好，取得了较好的经济和社会环保效益[7]。在气化水煤浆制备领域与兖矿集团有限公司、神华集团有限责任公司、内蒙古伊泰集团有限公司等大型煤炭企业签署了战略合作协议，为旗下所有煤化工项目提供“分级研磨高浓度制浆工艺”的技术和装备，目前已累计完成 800 万t/a气化水煤浆技术提浓改造。分级研磨低阶煤高浓度水煤浆制备技术推广应用情况如下所述。

1）燃料煤浆的应用。①东莞电力燃料有限公司制浆原煤为神华煤，规模 500 万 t/a，一期 100 万 t 已建成投产，二期 400 万 t 正在建设；②汕头桂宇化工燃料有限公司制浆原煤为神华煤，规模 50 万 t/a，已建成投产；③浙江煤科清洁能源有限公司制浆原煤为神华煤，规模 400 万 t/a，一期 100 万 t 已建成投产，二期 300 万 t 正在建设；④福建石狮清源印染有限公司制浆原煤为神华煤，规模 100 万 t/a，一期 50 万 t 已建成投产；⑤江苏德瑞新能源有限公司制浆原煤为神华煤，规模 50 万 t/a，已建成投产。

2）气化煤浆的应用。①大唐呼伦贝尔化肥公司制浆原煤为内蒙古褐煤，规模 65 万 t/a，采用新工艺技术；②山西丰喜肥业公司制浆原煤以神府煤为主，规模 50 万 t/a，传统工艺改造；③兖矿鲁南化肥厂制浆原煤为神府煤，规模 150 万 t/a，传统工艺改造；④河南心连心化肥有限公司制浆原煤以

榆树湾煤为主，规模 100 万 t/a，采用新工艺技术；⑤内蒙古荣信化工有限公司制浆原煤为鄂尔多斯煤，规模 150 万 t/a，采用新工艺技术；⑥内蒙古伊泰煤制油有限责任公司制浆原煤为鄂尔多斯煤，规模 100 万 t/a，传统工艺改造；⑦新奥集团新能能源有限公司制浆原煤为鄂尔多斯煤，规模 150 万 t/a，传统工艺改造；⑧神华包头烯烃公司制浆原煤为神府煤，规模 100 万 t/a，传统工艺改造。

3　应用效果

3.1　燃料水煤浆应用效果

东莞市电力燃料有限公司水煤浆生产项目于 2007 年开始建设，该项目总规模为年产 500 万 t，首期 100 万 t/a 已于 2008 年 12 月建成投产，二期 400 万 t 正在建设，预计在 2014 年底投产。项目采用分级研磨低阶煤高浓度水煤浆制备技术，以神华煤为制浆原料，生产的水煤浆质量分数为 65% ± 1%，发热量≥17 556 kJ/kg，灰分≤9%，硫分≤0.35%，黏度 <1 200 mPa·s。截至目前，该项目已连续稳定运行近 4 年，生产的水煤浆已成功应用于印染、造纸、制鞋、食品、化工等行业，完成了各种锅炉试点工作，经当地环保局有关部门的跟踪检测证实，神华煤水煤浆的燃尽率均在 98% 以上，锅炉热效率大于 83%，SO_2 排放量≤100 mg/m^3，NO_x 排放量≤200 mg/m^3，各项指标均达到国家及当地要求的污染物排放标准[8]。

3.2　气化水煤浆应用效果

兖矿鲁南化肥厂年产 80 万 t 尿素、20 万 t 甲醇，采用水煤浆气化技术，以神木煤为原料，水煤浆质量分数在 57% ~61% 波动。水煤浆制备系统由 2 套 ø3.8 m×5.8 m 和 2 套 ø3.2 m×4.5 m 的棒磨机组成，正常生产时 2 套 ø3.8 m×5.8 m 棒磨机和 1 套 ø3.2 m×4.5 m 的棒磨机常开，1 套 ø3.2 m×4.5 m 棒磨机备用，为了提高煤浆浓度和气化能耗，2010 年 8 开始采用分级研磨工艺对现有制浆系统进行改造。按照分级研磨低阶煤高浓度水煤浆制备技术的要求，结合现场实际情况，国家水煤浆工程技术研究中心对兖矿鲁南化肥厂的制浆系统进行改造，新工艺已于 2011 年 4 月投入运行。改造前后的生产数据对比情况见表 1。

表 1　制浆工艺改造前后生产数据对比

工艺	煤浆质量分数/%	煤浆黏度/(mPa·s)	产量/(t·h^{-1})	吨浆电耗/(kW·h)	煤浆粒度分布/%			
					>1 000 μm	350 ~1 000 μm	75 ~350 μm	<75 μm
改造前(单棒磨机)	60.60	800 ~1 000	51.9	17.6	0.06	3.97	50.14	45.85
改造后(加细磨机)	63.90	800 ~1 000	74.1	13.5	0.09	4.13	40.21	55.57

注：吨浆电耗 = 总装机功率 ×0.8 ÷ 产量。

由表 1 可以看出：①采用分级研磨低阶煤高浓度水煤浆制备技术，在煤浆黏度保持在 800 ~1 000 mPa·s 不变的情况下，煤浆浓度提高了 3.3%；②棒磨机制浆系统产量提高了 42.8%；③由于产量的提高，停止使用 1 套 ø3.2 m×4.5 m 的棒磨机，使得吨浆电耗降低 4.1 kW·h；④小于 75 μm 的颗粒含量增加了 9.72%，煤浆粒度级配得到优化，流变性与稳定性得到了明显改善；⑤煤浆浓度提高 3% ~5%，使得水煤浆气化炉的气化效率显著提高，比煤耗、比氧耗明显降低，有效气体成分大幅升高；⑥煤浆质量得到显著改善，棒磨机乱棒、断棒现象明显改善，同时气化炉烧嘴使用寿命增加。

4　结　　语

分级研磨低阶煤高浓度水煤浆制备技术在燃料和气化行业生产实践证明，该技术与配套设备运行稳定可靠，技术成熟，与传统单磨机制浆工艺相比，可使低阶煤水煤浆的成浆浓度提高 3% ~5%，磨机产量提高 30% 以上，且煤浆的粒度级配趋于合理，流动性和雾化性能明显改善，有效地提高煤浆的燃烧与气化效率。综上所述，新技术以低阶煤为制浆原料，在降低水煤浆制浆能耗，提高水煤浆质量的同时，可提高水煤浆用于燃烧与气化的的经济效益，增强其市场竞争力。该技术的推广应用必将为低阶煤的高效利用开辟一条合理可行的途径，对我国煤炭资源的高效清洁利用具有重要意义。

参考文献：

[1]　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.

[2]　何国锋，詹　隆，王艳芳. 水煤浆技术发展与应用 [M].

(下转第 103 页)

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

气干燥及空气干燥后的煤样，水分平衡时煤样含水量也低于前两者。

比较氮气和空气的干燥效果，发现氮气干燥效果优于空气干燥，两者干燥后最大失水量均可达到 32%，而热压干燥后最大失水量仅为 26%，从失水量上来说，热压干燥没有热气体（氮气、空气）干燥的效果好；但热压干燥后煤样的复吸情况要明显优于热气体干燥，热压干燥后煤样在潮湿的环境中不易吸水，同时热压后煤样成型便于运输，从这点上看热压干燥方法要优于热气体干燥。

3 结　论

1）3 种不同方式干燥后褐煤的低位发热量均大于原煤，由原煤的 13.07 MJ/kg 提高到 18.49 MJ/kg 以上，干燥后煤质未发生大的改变。

2）氮气干燥和空气干燥后煤样的比表面积、孔容和平均孔径均增大，说明在干燥过程中原煤中一些封闭的孔被打开，煤表面与内部贯通。热压干燥后煤样的比表面积和孔容降低，而平均孔径增大，说明在热压过程中煤颗粒被挤压，内部结构遭到破坏，热压过程中产生的凝胶化组织将内部小孔堵塞，同时煤样在中孔和大孔处出现了通透性孔洞，导致热压干燥后煤的平均孔径增大。

3）氮气干燥和空气干燥使煤样表面不光滑，产生大量裂缝和细小粉粒，比表面积、孔容增大，增加了煤与空气中水分的接触面积，使干燥后煤样吸附水的能力增强；热压干燥后煤样表面光滑，产生凝胶化组织堵塞部分孔洞，比表面积、孔容降低，减少了煤与空气中水分的接触面积，使干燥后煤样复吸能力降低。

4）氮气和空气干燥后煤样在复吸过程中前 25 h 内复吸速率较快，而在 25 h 后，复吸曲线趋于平缓，最后水分稳定在 13% 左右；热压干燥后煤样复吸速率较慢，最后水分稳定在 9% 左右。热压干燥煤样的水分复吸速率小于氮气和空气干燥后的煤样，同时最后水分平衡时煤样的含水量也小于氮气干燥和空气干燥后的煤样。

参考文献：

[1] 戴和武，谢可玉. 褐煤利用技术 [M]. 北京：煤炭工业出版社，2008.

[2] 王祥微，张红飞，宋振良. 1150 t/h 锅炉掺烧褐煤的性能试验研究 [J]. 动力工程，2009，29（12）：1088－1092.

[3] 魏广学，徐建华，陈伍平，等. 褐煤脱水提质的研究 [J]. 农村能源，1994（2）：16－20.

[4] 王天威. 褐煤改质的基础研究 [J]. 应用能源技术，2007（9）：19－20.

[5] 任祥军. 低煤阶煤的干燥进展 [J]. 煤炭加工与综合利用，1996（4）：85－87.

[6] 钟蕴英，钱中秋. 褐煤的改质研究 [J]. 中国矿业大学学报，2002，31（1）：1－5.

[7] 姜立新，李晓岚，罗　茜. 蒸汽脱水技术的进展 [J]. 金属矿山，1999（7）：36－44.

[8] 刘旭光，李保庆. 褐煤的热处理改质研究 [J]. 煤炭转化，2000，23（1）：39－43.

[9] 常春祥，熊友辉，蒋泰毅. 高水分褐煤燃烧发电的集成干燥技术 [J]. 选煤技术，2006（2）：19－21.

[10] 冯林永，雷　霆，张家敏，等. 褐煤干馏试验研究 [J]. 云南冶金，2007（6）：29－32.

[11] 高俊荣，陶秀祥，侯　彤，等. 褐煤干燥脱水技术的研究进展 [J]. 洁净煤技术，2008，14（6）：73－76.

[12] 万永周，高俊荣，肖　雷，等. 褐煤的脱水提质研究 [J]. 煤炭工程，2010（4）：75－77.

[13] 严继明. 吸附与凝聚－固体的表面与孔 [M]. 北京：科学出版社，1986：89－103.

[14] 高嘉安. 多孔质淀粉制备及其性质研究 [D]. 长春：吉林农业大学，2002.

[15] 张　慧. 扫描电子显微镜在煤岩学上的应用 [J]. 电子显微学报，2004，23（4）：467－467.

[16] 李　培，周永刚，杨建国，等. 蒙东褐煤脱水改质的孔隙特性研究 [J]. 动力学工程学报，2011，31（3）：176－181.

[17] 吴弋峰，初　茉，畅志兵，等. 干燥提质对褐煤表面结构的影响 [J]. 煤炭工程，2012（2）：99－101.

[18] 杨志忠. 煤的矿物质特征分析技术 [J]. 电站系统工程，1996，12（2）：39－41.

（上接第 115 页）

北京：化学工业出版社，2011：1－12.

[3] 梁　兴，詹　隆，王国房，等. 水煤浆厂生产现状与发展 [J]. 煤炭加工与综合利用，2007（2）：23－26.

[4] 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.

[5] 何国锋. 水煤浆新技术研发与实践 [M]. 北京：中国石化出版社，2012：17－20.

[6] 何国锋，段清兵，王国房，等. 一种低阶煤制备高浓度水煤浆的方法：中国，200710188396.7 [P]. 2010－07－14.

[7] 段清兵，段　静，何国锋，等. 50 万 t/a 石狮神华环保水煤浆制备厂的设计 [J]. 煤炭加工与综合利用，2011（1）：44－46.

[8] 段清兵，何国锋. 改造传统高浓度制浆工艺的生产实践 [J]. 洁净煤技术，2009，15（1）：32－34.

中国知网 cnki.net