

# 高压射流式水煤浆的制备与应用

张鹏铭，孙国飞

(绍兴精功机电有限公司，浙江 绍兴 312028)

**摘要：**为提高水煤浆浆体稳定性，基于煤炭颗粒的微观孔洞和裂隙理论，提出了高压射流式水煤浆制浆工艺。射流式水煤浆制浆工艺技术具有以下优点：①适应制浆的煤种广泛；②水煤浆中平均煤炭颗粒度可控性好；③制浆过程中分散剂用量少，且不需使用稳定剂；④水煤浆稳定性好；⑤与传统水煤浆相比，同煤种同浓度的水煤浆其黏度较低，在同煤种相同水煤浆黏度下，可制备出更高浓度的水煤浆；⑥改善了煤种与添加剂的配伍关系；⑦与传统水煤浆制浆工艺相比，射流式水煤浆制浆工艺节能20%；⑧适合长时间仓储或长距离输送。经存放试验及燃烧验证，高压射流式水煤浆细化装置及其成套设备生产的射流式水煤浆在存放2年后未产生硬性沉淀，且燃烧稳定，灰烬呈灰白色，无结焦现象，应用效果良好。

**关键词：**水煤浆；射流式制浆工艺；高压成浆机理；水煤浆黏度；浆体稳定性

中图分类号：TQ536 文献标志码：A 文章编号：0253-2336(2012)06-0125-04

## Preparation and Application of High Pressure Water Jet Type Coal Water Slurry

ZHANG Peng-ming, SUN Guo-fei

(Shaoxing Jinggong Electromechanical Company Ltd., Shaoxing 312028, China)

**Abstract:** In order to improve the slurry stability of the coal water slurry, based on the micro porosity and crack theory of the coal particle, a high pressure water jet type preparation technique of coal water slurry was provided. The water jet type prepared technique of the coal water slurry would have the following advantages: ① More different coal suitable for the preparation of the coal water slurry; ② Well controlled average particle size of coal in coal water slurry; ③ Less dispersant applied to the slurry preparation and no stabilizer was applied; ④ A good stability of the coal water slurry; ⑤ In comparison with the traditional coal water slurry, the coal water slurry with same type coal and same density would have a low viscosity. With the same type coal and same viscosity, a coal water slurry with a higher density could be prepared; ⑥ A matched relationship between the coal type and the additive improved; ⑦ In comparison with the traditional preparation technique of the coal water slurry, the water jet type preparation technique of the coal water slurry with energy saving of 20%; ⑧ It's suitable for long time storage and long distance transportation. The storage experiment and the combustion showed that the water jet type coal water slurry prepared with the coal water slurry refining device and the completed set equipment would have no consolidated settlement after two year storage and the combustion was stable. The combustion ash was grey and no slagging phenomenon occurred. The application effect was excellent.

**Key words:** coal water slurry; water jet type slurry preparation technology; high pressure slurry formation mechanism; viscosity of coal water slurry; stability of coal water slurry

水煤浆作为一种新型代油燃料，具有良好的稳定性及流变性，易于装卸、储存、输送及直接雾化燃烧。我国水煤浆技术经过20多年的试验研究、生产应用及发展，现已在电力、石油、化工、建材

等多个行业得到广泛应用。现阶段国内生产水煤浆的工艺，主要采用水煤浆专用球磨机或棒磨机的湿式球磨或棒磨技术来进行，经精滤和强化剪切得到水煤浆。该工艺生产出来的水煤浆存在易沉淀板

收稿日期：2012-01-19；责任编辑：代艳玲

作者简介：张鹏铭（1964—），男，浙江绍兴人，高级工程师。Tel: 0575-85512285, E-mail: Zpm19640828@163.com

网络出版时间：2012-06-15 10:27:00；网络出版地址：[http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120615.1027.201206.125\\_033.html](http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120615.1027.201206.125_033.html)

引用格式：张鹏铭，孙国飞. 高压射流式水煤浆的制备与应用 [J]. 煤炭科学技术，2012, 40 (6): 125-128.

结、添加剂用量多、黏度偏高，不能满足长距离陆路灌装运输、长距离管道输送及长期储存的要求，且设备的能耗高。在现有的水煤浆制浆工艺技术路线中，主要存在以下问题：①煤种与添加剂的配伍问题，配伍不当，极易引起水煤浆的沉淀、板结，堵塞设备与管道<sup>[1]</sup>；②煤种选择的局限性较大<sup>[2]</sup>；③水煤浆的稳定性差，水煤浆浓度高时，黏度高，流动性差，不易制浆；水煤浆浓度低时，易发生沉淀，特别是长时间仓储或长距离输送时，更易引起水煤浆的沉淀、板结。因此，从水煤浆的国内市场发展前景来看，研发一种全新理念的水煤浆制浆技术和设备，解决或改善上述的不足之处是非常必要的。基于此，从煤炭的组成和结构着手，研制了射流式水煤浆制浆技术及设备。

## 1 煤炭的结构和组成

煤是一种可燃有机岩石，在岩石组成上常具有明显的不均一性。一方面表现在煤是有机物质和无机物质混合组成的复合体；另一方面还在于组成煤的植物有机残体所具有的多样性和复杂性<sup>[3]</sup>。煤的有机物质在显微状态下，以凝胶化成分、丝炭化成分及类脂组（壳质组）成分状态存在。其中，凝胶化成分、类脂组成分极具疏水性，不溶于水<sup>[4]</sup>。煤炭的本体结构是由有机物质、矿物质和各类孔（洞）隙所构成，总孔体积中主要是以微孔状态存在。利用煤的多孔（微孔）结构特性，已经生产出了煤基吸附材料、煤基过滤材料（如过滤活性炭）。在煤炭中的这些孔洞和裂隙，或以空隙状态存在，或充实着游离的类脂物质和油性物质<sup>[3]</sup>。据有关资料数据显示，我国原煤的孔隙率为6%~24%，平均孔隙半径在4~15 nm。若以孔隙体积所占比例计：其中微孔（孔径小于10 nm）比例为19%~80%；过渡孔（孔径10~100 nm）比例为4%~29%；中孔（孔径100~1 000 nm）比例为2%~28%；大孔（孔径大于1 000 nm）的比例为8%~50%<sup>[3]</sup>。

## 2 基于煤炭结构的成浆性分析

利用煤炭多孔结构的特点，通过高压煤浆泵对水煤浆进行加压（一般为12~18 MPa），使含有分散剂的水强行进入煤炭颗粒的孔洞和裂隙中。由于煤包括煤粉成分的特性，决定了本身的疏水特性。

因此，在水煤浆的制备过程中，为了使煤粉与水能够充分湿润，在水煤浆中加入适量的分散剂，改善煤与水的亲和性，制浆用分散剂所用的表面活性剂，一端是由碳氢化合物构成的非极性的亲油基，另一端是亲水的极性基，非极性的疏水端极易与碳氢化合物的煤炭颗粒表面结合，吸附在煤炭颗粒表面上，将另一端亲水的极性基朝外引入水中。极性基的强亲水性使煤颗粒的疏水表面转化为亲水，可形成一层水化膜，有效降低水的表面张力和提高煤颗粒表面张力。即通过分散剂将疏水性的煤颗粒与水结合在一起<sup>[4]</sup>。

常温常态下，通过分散剂将疏水性的煤炭颗粒与水结合在一起的作用，并不是牢固的。这种结合方式在受到外界干扰，如温度变化、振动、煤炭颗粒自重下沉的作用下，煤水平衡状态可能会被打破，煤水分离，产生沉淀或板结<sup>[4]</sup>。而对水煤浆施加高压，不仅可通过分散剂将疏水性的煤炭颗粒表面与水结合在一起，而且通过被强行压入煤炭颗粒中的孔洞和裂隙中的分散剂的水溶液，经过分子键及氢键与煤炭颗粒外界的分散剂的水溶液结合在一起，可大幅提高煤水结合的稳定性。另外，水煤浆在高压状态下，通过射流式水煤浆细化装置进行喷射时，高压水煤浆在脱离喷射口的瞬间其速度可达到音速或超过音速，同时高压水煤浆将产生空化膨胀粉碎，使煤、水、添加剂、煤炭中的油脂类胶质有机物质充分乳化混合<sup>[3]</sup>。采用特殊设计的射流式水煤浆细化装置喷射口使水煤浆自身发生相互之间的猛烈对撞达到粉碎细化的目的。经过对多煤种（如河南平顶山煤、铜川玉华煤、榆林神华煤、浙江长兴煤）水煤浆的多次高压高速喷射试验，证实上述思路和推断正确，且水煤浆的稳定性极佳。经浙江大学热能工程研究所国家水煤浆燃烧研究所检测，高压高速喷射得到的3次射流式水煤浆参数如下：①浆体质量分数61.2%，黏度85 mPa·s，体积平均粒径90.9 μm；②浆体质量分数62.8%，黏度113 mPa·s，体积平均粒径74.0 μm；③浆体质量分数65.2%，黏度513 mPa·s，体积平均粒径83.5 μm。

## 3 射流式水煤浆制浆工艺技术

### 3.1 工艺流程

在射流式水煤浆工艺流程（图1）中，采

用三级射流细化工艺，即对水煤浆进行连续3次喷射，目的是遵循“多破少磨”的原则，降低生产加工成本，提高效率<sup>[5]</sup>。在前段通过高效的梯形磨机将煤磨成一定粒度的煤粉，在后段通过射流式水煤浆细化装置进一步将水煤浆粉碎至规定的粒度要求。

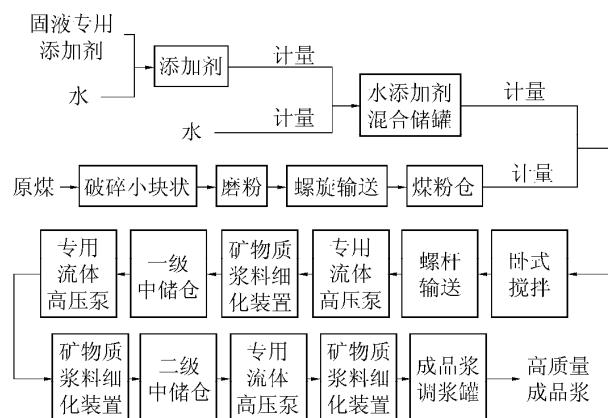


图1 射流式水煤浆制浆工艺流程

射流式水煤浆制浆工艺主线为先磨后破。传统工艺都是先破后磨，且都是以湿磨为主，传统工艺生产的水煤浆的粒度，特别是精细水煤浆的粒度较难控制，且其功耗与经济成本之间的性价比难以达到要求。射流式水煤浆制浆工艺则是将原煤破碎至20~30 mm的颗粒后进行粗磨，或者将精选煤直接进行粗磨。磨粉的方式为干磨，通过磨粉设备上的产品粒度调节装置，控制粗磨后的煤粉粒度，其煤粉粒度可以根据水煤浆工艺或水煤浆粒度的要求自动调节，其粒度范围一般在74~300 μm(50~200目)。通过粗磨，可以达到以下目的：①控制煤经粗磨后的煤粉最大粒度，确保煤粉最大粒度不超过50目；②可充分利用磨粉的功能、特性和优势，在射流式水煤浆制浆的工艺中，粗磨设备选用风选，通过风选的作用，将磨制好的且符合煤粉粒度要求的煤粉及时由风流带走，将磨煤的功耗成本降低至最低，防止磨粉设备对符合粒度要求的煤粉重复研磨。在对符合煤粉粒度要求的煤粉进行收集后，分别对煤粉及分散剂溶液进行动态计量，混合搅拌成水煤浆粗浆，进入下道工序，进行进一步的高压射流细化粉碎。

### 3.2 分散剂调制工艺

不同的煤种，对分散剂溶液的浓度要求是不同的，因此全新的制浆工艺也要求对分散剂溶液调制

工艺进行革新。将已经计量的粉状袋装分散剂或者已经计量的液态桶装分散剂倒入分散剂混合缸中，按照分散剂溶液的工艺要求，通过水表将计量后的水加入到分散剂混合缸中，由分散剂混合缸中的搅拌剪切装置，搅拌成分散剂浓浆。再通过装在分散剂混合缸底部的分散剂浓浆泵将分散剂浓浆全部泵送入过渡缸待用。按分散剂溶液的工艺要求，应将分散剂浓浆稀释成最终比例的分散剂溶液，通过2个柱塞式计量泵分别对自来水及过渡缸中的分散剂浓浆进行按比例计量泵送，按比例泵送的水和分散剂浓浆汇集到一起，通过一根管道进入到另一个管道式静态混合器，通过管道式静态混合器的作用，将水和分散剂浓浆充分混合均匀，最终汇入到分散剂缸中形成分散剂溶液待用。

### 3.3 射流式水煤浆细化装置工作原理

在射流式水煤浆工艺过程中，设计了大功率四柱塞煤浆泵和射流式水煤浆细化装置。大功率四柱塞煤浆泵是水煤浆建压的动力源，其工作原理是：大功率电机驱动1台双联式斜盘柱塞泵，双联式斜盘柱塞泵借助液油介质通过2个电液阀操纵2组4个双作用油缸作来回往复运动，每组2个双作用油缸与1个电液阀构成一个并列串接回路，即2个双作用油缸的无杆腔分别与电液阀的A、B口联接；2个双作用油缸的有杆腔相互串接，其特点是2个双作用油缸的活塞杆始终成180°相位角运动，即1个双作用油缸的活塞杆伸出时，另一个双作用油缸的活塞杆缩回。即每组2个双作用油缸的180°相位角错位往复运动是其本身的结构决定，而2组油缸之间的90°相位角错位往复运动则由电气控制实现。

射流式水煤浆细化装置的工作原理是：水煤浆在高压状态下以极高的速度通过一个可调式间隙的喷嘴，从喷嘴射出的高速水煤浆流产生空化、膨胀、粉碎、乳化，同时发生自互碰撞，从而实现对水煤浆颗粒的进一步细化粉碎。为了达到生产精细型水煤浆，采用三级射流式水煤浆细化装置。理论上，每经过一次射流式水煤浆细化装置细化粉碎后，煤粉平均粒度减小20%。

### 3.4 射流式水煤浆制浆工艺技术特点

射流式水煤浆制浆工艺技术生产的水煤浆及生产工艺技术具有以下优点：①适应制浆的煤种更加广泛；②水煤浆中平均煤炭颗粒度可控性好；③制

浆过程中分散剂用量少，且不需使用稳定剂；④水煤浆的稳定性好；⑤与传统水煤浆相比，同煤种同等浓度的水煤浆其黏度较低，若在同煤种同等的水煤浆黏度下，可以制取更高浓度的水煤浆；⑥改善了煤种与添加剂的配伍关系；⑦与传统水煤浆制浆工艺相比，射流式水煤浆制浆工艺可节能20%；⑧适合长时间仓储或长距离输送。

### 3.5 成品水煤浆调浆工艺及产能

采用射流式水煤浆制浆工艺技术生产的水煤浆，其稳定性良好。因此，在水煤浆的成品调浆过程中，不需要添加稳定剂。在成品调浆时，只需要对水煤浆的浓度进行测定并进行必要的调整即可，水煤浆在出厂后一段时间内无煤水分离、沉淀甚至板结现象。射流式水煤浆制浆工艺技术的产能有20万、10万、5万t/a。以产量20万t/a射流式矿物质水煤浆生产系统为例，各参数如下：

年累计生产时间 / h	7 000
产量 / (t · h <sup>-1</sup> )	28.6
装机总功率/kW	约900
水煤浆质量分数/%	60~67
水煤浆黏度/mPa · s	<1 200 (浆体温度20℃)
水煤浆平均颗粒粒度/μm	≤75
水煤浆稳定性	1年内不产生硬性沉淀
系统占地面积/m <sup>2</sup>	<550
系统总质量/t	≤100

射流式水煤浆制浆工艺技术，克服了球磨式水煤浆在生产应用过程中的诸多问题。经检索，在国内外尚未发现同类制浆技术。

## 4 射流式水煤浆燃烧试验

射流式水煤浆的燃烧试验，是在某生活小区取暖用的10蒸t海众水煤浆热水锅炉上进行的，燃烧试验分以下3次实施。

1) 射流式水煤浆质量分数61.2%，黏度85mPa · s。该浓度的射流式水煤浆在海众水煤浆热水锅炉上试烧了24 h，在前段12 h的射流式水煤浆试烧过程中，由于锅炉的燃烧工艺参数是参照球磨水煤浆的燃烧工艺参数进行的，发现射流式水煤浆的单位时间用量较球磨水煤浆偏大，锅炉的出力也偏大，经过现场分析认为射流式水煤浆黏度偏低，而锅炉燃烧喷嘴的引射气压未调整导致。因此，以炉膛内稳定的燃烧火炬为准，将锅炉燃烧喷嘴的引射气压调低。在后段12 h的射流式水煤浆

试烧过程中，发现射流式水煤浆的单位时间用量、锅炉的出力基本正常。射流式水煤浆燃烧后的灰烬呈灰白色。

2) 射流式水煤浆质量分数62.8%，黏度113mPa · s。该浓度的射流式水煤浆在海众水煤浆热水锅炉上试烧了36 h。由于有了质量分数61.2%射流式水煤浆的燃烧经验，及时对锅炉的燃烧工艺参数进行了调整，该浓度的射流式水煤浆燃烧正常，射流式水煤浆燃烧后的灰烬呈灰白色。

3) 射流式水煤浆质量分数65.2%，黏度513mPa · s。该浓度的射流式水煤浆在海众水煤浆热水锅炉上试烧了24 h。同样在对锅炉的燃烧工艺参数进行及时调整后，该浓度的射流式水煤浆燃烧情况良好，射流式水煤浆燃烧后的灰烬呈灰白色。

利用煤炭多孔结构的特点，通过高压射流技术得到的射流式水煤浆，不但添加剂用量少，稳定不易沉淀；且相同浓度的水煤浆其黏度更低流变特性更好，故适用于生产高浓度射流式水煤浆。由于适用于射流制浆的煤种更加广泛，且便于长期储存和远距离输送，因此可使吨煤浆制造成本大幅下降。

### 参考文献：

- [1] 刘晓霞,屈睿,黄文红,等.水煤浆添加剂的研究进展 [C] //全国水煤浆技术推广工作会议论文集.北京:国家水煤浆工程技术研究中心,2008: 139~141.
- [2] 詹隆,王秀月.中国煤炭资源、生产、运行与水煤浆用煤 [C] //全国水煤浆技术推广工作会议论文集.北京:国家水煤浆工程技术研究中心,2008: 21~28.
- [3] 陆良平.水煤浆分类利用技术与制浆新技术新工艺及国家相关技术标准规范实务全书 [M].北京:中国知识出版社,2005.
- [4] 郭天明.最新水煤浆常用技术速查速用手册 [M].北京:科学技术出版社,2007.
- [5] 应崇福,李明轩,周静华,等.超声学 [M].北京:科学出版社,1993: 507~527.
- [6] 李安.水煤浆技术发展现状及其新进展 [J].煤炭科学技术,2007,35(5): 97~100.
- [7] 杨纯,朱书全,张华文,等.聚丙烯酸系水煤浆分散剂合成工艺改进及应用 [J].煤炭科学技术,2011,39(4): 121~124.
- [8] 武成利,钱先锋,程翼.丙烯酸系水煤浆添加剂的制浆性能研究 [J].煤炭科学技术,2006,34(7): 7~10.
- [9] 何国锋,梁兴.水煤浆技术在我国的发展与应用 [C] //全国水煤浆技术推广工作会议论文集.北京:国家水煤浆工程技术研究中心,2008: 1~2.