



SHUIMEIJIANG TIANJIAJI DE  
ZHIBEI JI YINGYONG

# 水煤浆添加剂的 制备及应用

刘明华 编著



化学工业出版社

# 水煤浆添加剂的制备及应用

刘明华 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书共分7章,阐述了水煤浆添加剂的现状与发展趋势,添加剂的物化性质、品种、性能和作用机理;着重介绍水煤浆添加剂,尤其是水煤浆分散剂、部分稳定剂和部分辅助添加剂的制备及其对煤成浆性能的影响等。

本书主要根据国内外从事水煤浆工艺和水煤浆添加剂的专家、学者的研究成果以及编著者近年来的一些经验汇集而成,书中的内容侧重制备和应用,实用性较强。

本书可供从事水煤浆技术和水煤浆添加剂科研、生产、技术服务单位的科研人员、管理和销售人员以及高等院校相关专业的师生参考,也可以作为从事精细化工工作的科研人员和技术人员的参考资料或用作水煤浆添加剂专项技术培训资料。

## 图书在版编目(CIP)数据

水煤浆添加剂的制备及应用/刘明华编著. —北京:化学工业出版社, 2006. 12

ISBN 978-7-5025-9767-2

I. 水… II. 刘… III. 水煤浆-添加剂 IV. TQ536.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第151151号

---

责任编辑:刘兴春

文字编辑:向东

责任校对:周梦华

装帧设计:胡艳玮

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京云浩印刷有限责任公司

720mm×1000mm 1/16 印张12 $\frac{1}{2}$  字数242千字 2007年1月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:36.00元

版权所有 违者必究

# 前 言

水煤浆是一种新型煤基流体洁净环保燃料，既保留了煤的燃烧特性，又具备了类似重油的液态燃烧应用特点，是目前中国一项现实的洁净煤技术。它由65%~70%的煤、29%~34%的水和小于1%的化学添加剂，经过一定的加工工艺制成。它外观像油，流动性好，贮存稳定（一般3~6个月不沉淀），运输方便（火车或汽车罐车、管道、船舶），燃烧效率高，污染物（SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>）排放低，约2t水煤浆可以替代1t燃油，可在工业锅炉、电站锅炉和工业窑炉等代油或煤、气燃用。水煤浆技术是适合我国现阶段适宜的代油、环保及节能技术。因此，在国家洁净煤计划中被列为重点高科技发展技术，在中国能源发展计划中具有十分重要的战略意义。

水煤浆添加剂是水煤浆生产过程中必需的重要助剂，特别是高浓度、低黏度、良好流动性及稳定性的水煤浆的制备，添加剂的作用尤为关键。

本书主要根据国内外从事水煤浆工艺和水煤浆添加剂专家、学者的研究成果以及编著者近年来的一些科研成果和经验汇集而成，书中的内容侧重制备和应用。全书一共7章，第1章是绪论；第2~4章主要是水煤浆分散剂的制备和应用情况介绍，其中，第2章主要介绍合成有机高分子分散剂的制备及应用，并且根据分散剂的原材料不同来归纳和分类，有非离子型、煤焦油系、三聚氰胺系、氨基磺酸盐系、聚羧酸盐系、聚烯烃磺酸盐系和脂肪族系分散剂等；第3章主要介绍木质素系分散剂的制备及其在水煤浆制浆中的应用情况；第4章主要介绍腐殖酸系分散剂的制备及其对煤成浆性能的影响；第5章主要介绍分散剂的复配；第6章主要介绍水煤浆稳定剂的制备，着重介绍部分稳定剂的物化性质；第7章主要介绍水煤浆制浆过程中所需的一些辅助添加剂，如消泡剂、pH值调节剂、杀菌剂和乳化剂的制备工艺。

本书理论联系实际，并列举了大量实例，因此本书既可作为科技人员的参考书，又可作为应用和开发新产品、新技术的工具书，大量的实例有较详尽的具体操作方法，具有较强的参考和借鉴价值。另外，在本书中，编著者的部分研究内容获得国家自然科学基金资助（50203003）。同时，在本书编写过程中参考国内外部分专家、学者的相关资料，在此表示衷心的感谢。

由于编著者水平，不当之处在所难免，敬请各位专家、学者及广大读者提出批评和修改建议。

编著者

2006年10月

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 水煤浆的研究概况 .....	1
1.1.1 引言 .....	1
1.1.2 水煤浆的性质与制备 .....	1
1.1.3 国内外水煤浆技术的应用及发展趋势 .....	3
1.2 水煤浆添加剂 .....	5
1.2.1 水煤浆添加剂的作用 .....	5
1.2.2 水煤浆添加剂的分类 .....	6
1.2.3 水煤浆添加剂的研究概况 .....	6
参考文献 .....	8
<b>2 合成有机高分子分散剂</b> .....	10
2.1 概述 .....	10
2.2 合成有机高分子分散剂的作用机理 .....	10
2.2.1 提高煤颗粒表面的亲水性 .....	11
2.2.2 增强煤粒间的静电斥力 .....	11
2.2.3 空间隔离位阻效应 .....	11
2.3 非离子型合成分散剂的制备 .....	12
2.3.1 聚氧乙烯系列 .....	12
2.3.2 聚氧乙烷系列 .....	14
2.4 阴离子型合成分散剂的制备 .....	18
2.4.1 煤焦油系分散剂 .....	18
2.4.2 三聚氰胺系分散剂 .....	22
2.4.3 氨基磺酸盐系分散剂 .....	25
2.4.4 聚羧酸盐系分散剂 .....	29
2.4.5 聚烯烃磺酸盐系分散剂 .....	44
2.4.6 脂肪族系分散剂 .....	46
2.4.7 利用工业废弃物制备的分散剂 .....	47
2.5 分散剂在水煤浆制浆中的应用 .....	48
2.5.1 非离子型合成分散剂 .....	49
2.5.2 煤焦油系分散剂 .....	51
2.5.3 氨基磺酸盐系分散剂 .....	52
2.5.4 聚羧酸系分散剂 .....	53
2.5.5 聚烯烃磺酸盐系分散剂 .....	54

2.5.6 其他分散剂 .....	56
参考文献 .....	56
<b>3 木质素系分散剂 .....</b>	<b>59</b>
3.1 概述 .....	59
3.2 木质素磺酸盐 .....	59
3.2.1 木质素磺酸盐的物化性能 .....	60
3.2.2 木质素磺酸盐制备机理 .....	61
3.2.3 木质素磺酸盐制备 .....	63
3.2.4 木质素磺酸盐改性 .....	65
3.3 木质素系分散剂在水煤浆制浆中的应用 .....	76
3.3.1 木质素磺酸盐类分散剂的适用范围 .....	76
3.3.2 分散剂的不同相对分子质量级分对煤成浆性能的影响 .....	76
3.3.3 木质素磺酸盐种类对煤成浆性能的影响 .....	84
3.3.4 不同用量的分散剂对煤成浆性能的影响 .....	86
参考文献 .....	87
<b>4 腐殖酸系分散剂 .....</b>	<b>90</b>
4.1 概述 .....	90
4.2 腐殖酸盐制备 .....	90
4.2.1 干法生产 .....	91
4.2.2 湿法生产 .....	91
4.3 腐殖酸盐改性 .....	94
4.3.1 磺甲基化 .....	94
4.3.2 磺化 .....	95
4.3.3 化学氧化 .....	95
4.3.4 化学氧化和磺甲基化协同作用 .....	96
4.3.5 接枝共聚 .....	96
4.4 分散剂对煤成浆性能的影响 .....	98
参考文献 .....	99
<b>5 水煤浆分散剂的复配 .....</b>	<b>101</b>
5.1 概述 .....	101
5.1.1 复配的目的和意义 .....	101
5.1.2 复配型分散剂的分类及特点 .....	101
5.1.3 复配型分散剂的作用机理 .....	102
5.2 木质素系分散剂与合成高分子分散剂复配 .....	102
5.2.1 木质素磺酸盐与聚氧乙烯系分散剂复配 .....	102
5.2.2 木质素磺酸盐与煤焦油系分散剂复配 .....	103
5.2.3 木质素磺酸盐与氨基磺酸盐系分散剂复配 .....	104
5.2.4 木质素磺酸盐与脂肪族系分散剂复配 .....	104
5.2.5 复配产品对水煤浆成浆性的影响 .....	105

5.3	腐殖酸系分散剂与合成分散剂复配 .....	108
5.3.1	腐殖酸系分散剂与非离子型合成分散剂复配 .....	109
5.3.2	磺化腐殖酸盐与煤焦油系分散剂复配 .....	110
5.3.3	磺化腐殖酸盐与氨基磺酸盐系分散剂复配 .....	110
5.3.4	磺化腐殖酸盐与脂肪族系分散剂复配 .....	111
5.3.5	磺化腐殖酸盐与聚羧酸盐系分散剂复配 .....	111
5.4	非离子型合成分散剂与阴离子型合成分散剂复配 .....	112
5.5	阴离子型合成分散剂与阴离子型合成分散剂复配 .....	113
5.5.1	煤焦油系分散剂与脂肪族系分散剂复配 .....	113
5.5.2	煤焦油系分散剂与三聚氰胺系分散剂复配 .....	113
5.5.3	煤焦油系分散剂与氨基磺酸盐系分散剂复配 .....	114
5.5.4	煤焦油系分散剂与聚羧酸系分散剂复配 .....	114
5.5.5	三聚氰胺系分散剂与氨基磺酸盐系分散剂复配 .....	115
	参考文献 .....	115
<b>6</b>	<b>水煤浆稳定剂</b> .....	<b>117</b>
6.1	概述 .....	117
6.1.1	稳定剂作用机理 .....	117
6.1.2	稳定剂种类 .....	119
6.2	稳定剂的性质与制备 .....	119
6.2.1	合成有机高分子稳定剂 .....	119
6.2.2	天然高分子及其改性产品 .....	125
6.2.3	有机膨润土 .....	143
6.3	实际应用 .....	146
	参考文献 .....	147
<b>7</b>	<b>辅助添加剂</b> .....	<b>151</b>
7.1	消泡剂 .....	151
7.1.1	概述 .....	151
7.1.2	消泡机理 .....	151
7.1.3	消泡剂种类及制备工艺 .....	152
7.2	pH 值调节剂 .....	161
7.2.1	概述 .....	161
7.2.2	作用机理 .....	162
7.2.3	种类 .....	163
7.3	杀菌剂 .....	165
7.3.1	概述 .....	165
7.3.2	种类 .....	165
7.3.3	作用机理 .....	169
7.3.4	杀菌剂的制备 .....	170
7.3.5	实际应用 .....	176

7.4 乳化剂 .....	179
7.4.1 阳离子型乳化剂的制备及应用 .....	179
7.4.2 阴离子型乳化剂的制备及应用 .....	184
7.4.3 非离子型乳化剂的制备及应用 .....	188
参考文献 .....	190



# 1 绪 论

## 1.1 水煤浆的研究概况

### 1.1.1 引言

水煤浆是一种新型的煤基流体洁净环保燃料，既保留了煤的燃烧特性，又具备了类似重油的液态燃烧应用特点，是目前中国一项现实的洁净煤技术。它是一种将一定粒度分布的煤粉分散于水介质中制成的高浓度煤/水分散体系（65%~70%的煤、29%~34%的水和小于1%的化学添加剂），经过一定的加工工艺制成。它外观像油，流动性好，贮存稳定（一般3~6个月不沉淀），运输方便（火车或汽车罐车、管道、船舶），燃烧效率高，污染物（SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>）排放低，约2t水煤浆可以替代1t燃油，可在工业锅炉、电站锅炉和工业窑炉等代油或煤、气燃用。水煤浆技术是适合我国现行阶段适宜的代油、环保及节能技术。因此，国家洁净煤计划被列为重点高科技发展技术，在中国能源发展计划中具有十分重要的战略意义。

### 1.1.2 水煤浆的性质与制备

#### (1) 水煤浆的性质

水煤浆和一般的煤泥水不同，它是一种燃料，必须具备下述性质。

① 为利于燃烧，水煤浆的含煤浓度要高，通常煤的质量分数为62%~70%。

② 为便于泵送和雾化，黏度要低。通常要求在100s<sup>-1</sup>剪切率及常温下，表观黏度不高于1000~1200mPa·s。

③ 为防止在贮运过程中产生沉淀，应有良好的稳定性。一般要求能静置存放30d不产生不可恢复的硬沉淀。

④ 为提高煤炭的燃烧效率，其中煤粒应达到一定的细度。一般要求粒度上限为300μm，其中小于74μm的质量不少于75%。

使水煤浆能满足其中单项性能并不难，但要同时满足各项要求有许多困难，因为有些性能间是相互制约的。例如，要使水煤浆中含煤浓度高，就不能多用水；水少了，又会引起黏度高，流动性差；要流动性好，黏度就应低，但黏度低又会使稳定性变差。所以它的制备技术难度大，涉及煤化学、颗粒学、胶体学、有机化学及流变学等学科技术。

#### (2) 水煤浆的制备

要制出符合上述性能要求的高浓度水煤浆，单用细煤粉与水简单混合是无法实现的，还必须采取一些特殊的技术措施，主要有以下几项。

① 要使煤与水能混为一体，至少必须使煤粒能全部为水所浸润。通常煤颗粒间有较多空隙，水首先要将这些空隙充满才可浸没全部煤粒，所以耗水量大，难以做成高浓度水煤浆。为了提高制浆浓度，必须使煤颗粒间空隙要少。使空隙最少的技术称为“级配”，是制浆的关键技术之一。其中涉及两项技术，一是要能判定什么样的粒度分布颗粒间空隙少；二是如何根据给定的煤炭性质与粒度组成，制定合理的制浆工艺，选择磨碎设备的类型，设计磨机的结构与运行参数，使之能达到颗粒间空隙少的粒度分布。

② 煤炭的主体是有机质，它是结构十分复杂的大分子碳氢化合物。这些有机质的表面具有强烈的疏水性，不易为水所润湿。细煤粉又具有极大的比表面积，在水中很容易自发地彼此聚结，这就使煤粒与水不能密切结合成为一种浆体，在较高浓度时只会形成一种湿的泥团。所以制浆中必须加入少量的化学添加剂，即分散剂，以改变煤粒的表面性质，使煤粒表面紧紧地被添加剂分子和水化膜包围，让煤粒均匀地分散在水中，防止煤粒聚结，并提高水煤浆的流动性。由于各地煤炭的性质千差万别，适用的添加剂会因煤而异，不是一成不变的。

③ 煤浆毕竟是一种固、液两相粗分散体系，煤粒又很容易自发地彼此聚结，在重力或其他外力作用下，很容易发生沉淀。为防止发生硬沉淀，必须加入少量的化学添加剂，即稳定剂。稳定剂有两种作用，一方面使水煤浆具有剪切变稀的流变特性，即当静置存放时水煤浆有较高的黏度，开始流动后黏度又可迅速降下来；另一方面是使沉淀物具有松软的结构，防止产生不可恢复的硬沉淀。从以上可以看出，煤炭的制浆效果与煤炭本身的理化性质有着密切关系，制浆用原料的性质直接影响到水煤浆的质量与生产成本。所以，建设制浆厂时，要根据用户对煤浆质量的需求以及煤炭成浆性规律，合理选择制浆用煤是十分重要的。从燃烧角度考虑，制浆用煤的挥发分不能太低，锅炉用水煤浆通常要求挥发分大于28%，否则煤浆不易稳定燃烧。此外，为防止炉内结渣，对于大多数采用固态排渣的炉子，要求煤炭的灰熔点（ $t_2$ ）高于1250℃。至于煤炭的发热量、灰分与硫分指标，则应根据用户的需求而定。煤炭的成浆性需对有代表性的煤样进行专门的试验研究后才能判定。一般来说，煤炭的内在水分越低，可磨性越好，煤中氧含量越低，则成浆性越佳。

水煤浆的制备技术主要包括制浆煤种选择、级配技术、制备工艺、制浆设备及添加剂等。

① 制浆煤种选择 根据煤的煤质指标和实验室成浆性试验可以判定煤炭成浆的难易程度。对制备水煤浆的原料煤要求：成浆性好，燃烧性能好。研究表明，中国有丰富的制浆原料煤。

② 级配技术 级配技术是水煤浆制备的关键技术之一。制备高浓度水煤浆，要求水煤浆中大小煤颗粒相互充填，达到较高的堆积密度，这就要求水煤浆中煤颗粒分布是有讲究的。

③ 制浆工艺 水煤浆制浆工艺通常包括破碎、磨矿、搅拌与剪切，以及为剔除最终产品中的超粒与杂物的滤浆等环节。磨矿是水煤浆制备过程中的关键环节，与其他工业中磨矿不同的是，不但要求产品达到一定的细度，更重要的是产品应有较好的粒度分布。磨矿可用干法，亦可用湿法。但干法磨矿制浆存在许多缺点，制浆厂很难满足干磨时入料水分不高于5%的要求，磨矿功耗大约比湿法高30%，干磨时新生表面容易被氧化，增加制浆的难度，安全与环境条件也不及湿法磨矿。目前制浆主要是采用湿法磨矿制浆工艺，湿法磨矿又有高浓度磨矿与中浓度磨矿两种方式。磨矿产品的细度和粒度分布与给料的粒度分布、煤炭的物理性质、磨机的类型与结构、磨机运行工况等因素密切相关。

④ 制浆设备 制浆设备主要包括球磨机、输浆泵、搅拌器等。我国已开发出多种类型的水煤浆专用磨机（球磨机、振动磨机），基本可以满足水煤浆制备的要求。我国的水煤浆专用磨机最大的处理量为 $15 \times 10^4 \text{t/a}$ 。随着制浆规模的扩大，需要进一步开发大型、高效的球磨机，以降低制浆成本。

结合选煤厂建制浆厂是中国在发展水煤浆工业中创造的一个宝贵的经验，至今在其他国家中尚未见采用。结合选煤厂建制浆厂时可尽可能利用选煤厂的细粒煤炭产品，还可以与选煤厂共用受煤、贮煤、铁路专用线及水、电供应等许多公用设施，从而减少基建投资。

⑤ 煤浆添加剂技术 水煤浆添加剂有多种，不可缺少的是降黏分散剂与稳定剂。其中分散剂最为重要，它直接影响着水煤浆的质量和制备成本。

分散剂：煤炭的表面具有强烈的疏水性，与水不能密切结合成为一种浆体，在较高浓度时只会形成一种湿的泥团。在制浆中加入少量的分散剂改变煤粒的表面性质，使煤粒表面紧紧地为添加剂分子和水化膜包围，让煤粒均匀地分散水中，并提高水煤浆的流动性，用量约为煤的1%。由于各地煤炭的性质千差万别，适用的添加剂配方亦各异。一般来说，分散剂是一种表面活性剂。

稳定剂：水煤浆毕竟是一种固、液两相的粗分散体系，煤粒又很容易自发地彼此聚结。在重力或其他外加质量力作用下，发生沉淀是不可避免的。为防止发生硬沉淀，必须加入少量的稳定剂。稳定剂有两方面的作用，一方面使水煤浆具有剪切变稀的流变特性，即当水煤浆静置存放时有较高的黏度，开始流动后黏度又可迅速降下来；另一方面使沉淀物具有松软的结构，防止产生不可恢复的硬沉淀。

### 1.1.3 国内外水煤浆技术的应用及发展趋势

#### 1.1.3.1 国外水煤浆技术发展简介

自20世纪70年代石油危机以来，世界主要发达国家如美国、日本、加拿大、瑞典、意大利、英国、法国和俄罗斯都相继投入了大量人力、物力和财力寻求代油原料，进行水煤浆的研究开发，目前国外水煤浆技术已趋成熟，建成了一大批水煤浆厂，达到了工业应用水平，国外水煤浆主要用于发电。

美国从 1979 年起就对水煤浆燃料进行开发应用。美国兴建的包括制浆和管道运输系统的黑麦萨煤浆管理工程, 运输距离 439km, 年运煤 4.5Mt, 几十年来以 99% 的可靠性为姆哈佛电厂的 1580MW 发电机组提供了上亿吨燃料。美国匹茨堡能源研究中心附近的很多电厂锅炉燃用煤泥水煤浆。在波士顿电站 MW 机组上, 把 24 个燃烧器中的两个改烧水煤浆燃料。

俄罗斯 1988 年建成世界上规模最大的水煤浆制备-管输-发电工程, 水煤浆生产能力 3.5Mt/a, 管输距离 262km, 管道直径 530mm, 供新西伯利亚电厂 6×670t/a (6×200MW 机组) 锅炉燃用, 取得成功。

法国艾米路西电厂是世界上最为成功的煤泥水煤浆用户, 自 1990 年以来, 376t/h 循环流化床锅炉 (带 125MW 机组) 一直燃用煤泥制成的水煤浆, 燃烧效率为 98%。

日本在小名滨建成 500kt/a 水煤浆厂, 通过 9km 管道供给世界应用规模最大的东京勿来电站 4 号机组 (75MW) 269t/h 锅炉和 8 号机组 (600MW) 1940t/h 锅炉燃用水煤浆。该锅炉原设计为油和煤粉混烧, 加入水煤浆后, 为 3 种燃料混烧, 比例为 50% 水煤浆、20% 油、30% 煤粉。燃烧效率 98% 以上。采用脱氮脱硫装置, 污染物排放水平为 SO<sub>2</sub> 不大于 88mg/m<sup>3</sup>, NO<sub>x</sub> 不大于 60mg/m<sup>3</sup>, 粉尘不大于 50mg/m<sup>3</sup>。

近年来, 随着石油价格的持续上涨和波动, 相当一部分国家对水煤浆技术十分关注, 从能源的安全、价格和环保角度迫切希望实施水煤浆项目。甚至产油国伊朗也在调查和研究水煤浆代油技术, 这都表明水煤浆技术的代油、环保和实用价值及未来的市场需求趋势。

#### 1.1.3.2 国内水煤浆技术发展状况

水煤浆燃烧方式为喷燃, 适应原燃油燃气的绝大多数工业炉窑、工业锅炉和电站锅炉。如轧钢加热炉、锻造加热炉、热处理炉、隧道式陶瓷烧成窑、耐火砖倒焰窑、陶瓷喷雾干燥塔热风炉、水泥回转窑、铁矿石烧结机点火器等均可应用, 且燃烧技术容易掌握。因此, 企业中工业炉窑、工业锅炉和电站锅炉的技术改造必将促进水煤浆技术的发展。此外, 造纸、化工等产生废液的企业可用废液制浆就地使用, 既解决废液污染又改善厂区环境。用洗选煤泥制浆, 应用于矿区锅炉, 还可以解决煤泥的出路问题。

在我国, 水煤浆技术研究始于 1981 年, 相对国外较晚, 但经过不断地研究开发和工业性试验, 目前, 该技术已进入工业化应用阶段。并在各种炉型上得到应用, 包括电站锅炉、工业锅炉和工业窑炉等。目前国内已成功改造部分锅炉, 如汕头万丰热电有限公司、茂名热电厂、北京造纸一厂、山东白杨河电厂、燕山石化等均有燃油锅炉改为燃水煤浆锅炉的实例, 均取得很好的经济效益和社会效益。

全国目前已建成水煤浆厂 20 余座, 总生产能力 8.0Mt/a, 其中八一矿浆厂

0.25Mt/a, 北京浆厂 0.25Mt/a, 白杨河电厂 0.6Mt/a, 胜利矿浆厂 0.1Mt/a, 兖日浆厂 0.25Mt/a, 株洲水煤浆车间 0.05Mt/a, 邢台东庞矿浆厂 0.18Mt/a, 大同浆厂 0.3Mt/a, 广东佛山南海浆厂 2Mt/a, 广东茂名热电厂制浆 1Mt/a, 广东深圳浆厂前期 1Mt/a, 广东汕头万丰电厂 0.25Mt/a, 广东珠海浆厂预制浆 0.2Mt/a, 广东江门热电厂预制浆 0.25Mt/a。

具体应用实例如下。

山东白杨河电厂 3 号炉 (230t/h 锅炉) 原设计烧油, 1996 年改烧水煤浆, 该燃油锅炉燃用水煤浆燃烧效率 98% 以上, 锅炉效率 89% 以上, 负荷范围 40%~100% (2~5MW)。水煤浆浓度在 60%~68% 范围内变化, 均能稳定燃烧。

广东茂名热电厂 1 号炉为 220t/h 锅炉, 2000 年 12 月改造完成。烧水煤浆性能良好, 燃烧效率在 99% 以上, 高于设计值。该厂同型号的 2 号炉的改造工作即将完成, 另外 2 台 410t/h 油炉的改造工作在进行中, 年产 2.5Mt 的浆厂在建设中。

济南钢铁总厂二分厂曾在 24m<sup>2</sup> 烧结机上燃用水煤浆, 可满足烧节点火工艺要求, 实现代油燃烧。

山东胜利油田在 3MW 筒型盘管燃油热水炉和 7MWD 型燃油锅炉上改烧水煤浆, 燃烧稳定。

北京造纸一厂 20t/h 和 60t/h 燃油发电锅炉经改造燃烧水煤浆后, 运行情况良好。水煤浆着火稳定, 不但能代替燃油, 还有良好的经济效益和环保效益。

广东省汕头万丰热电厂是汕头电力供应的骨干电厂, 其锅炉原设计燃料为重油, 满负荷运行时年需耗重油约 0.15Mt。近几年国际油价不断上涨, 使发电成本大幅增加, 经济效益随之下降。该电厂才下决心改烧重油为烧水煤浆, 目前正承建 0.25Mt/a 的浆厂。

燕山石化三电站 220t/h 锅炉为燃用脱硫型水煤浆系统工程。该工程是中日两国签订的“绿色援助计划”项目之一, 工程包括在三电站新建 1 台 220t/h 水煤浆锅炉, 炉前卸、输、贮, 脱硫型水煤浆制备, 灰渣及污水处理, 供配电、控制和附属系统, 配套铁路卸浆及 2.8km 管道输送系统工程。该工程 2000 年 3 月竣工投运, 主要燃用东庞水煤浆厂、大同汇海水煤浆厂、北京水煤浆厂产品。经有关环保部门检测, 锅炉燃烧效率 99.52%, 锅炉热效率 90.76%, 渣含碳量 8.31%, 灰含碳量 4.31% (水泥厂接收), 除尘率 97.2%, 烟尘排放、SO<sub>2</sub> 排放、NO<sub>x</sub> 排放完全达标, 排渣污水回用率 100%。

## 1.2 水煤浆添加剂

### 1.2.1 水煤浆添加剂的作用

煤炭为疏水性物质, 不易为水所润湿; 煤浆中的煤粒很细, 具有很大的比表

面积，容易自发地聚结，因而煤粒与水不能密切结合成为一种浆体。水煤浆属粗分散体系，很容易产生煤水分离，因此，低黏度、高质量浓度和良好的稳定性是水煤浆最为重要的性能。要改善这些性能，在制浆时必须加入少量的化学添加剂，其中包括分散剂与稳定剂等。因此，添加剂的种类和性能是影响水煤浆的黏度、稳定性、含煤量、雾化、燃烧和成本等重要参数的主要因素。

## 1.2.2 水煤浆添加剂的分类

水煤浆添加剂，按其功能不同，有分散剂、稳定剂及其他一些辅助添加剂，如消泡剂、杀菌剂、乳化剂等。其中不可缺少的是分散剂与稳定剂，一般是表面活性剂、无机电解质和高分子聚合物等。

### (1) 分散剂的分类

水煤浆分散剂根据其性质与原料来源的不同，可分为合成和天然高分子改性两大类。合成水煤浆分散剂根据其分子链上所带电荷的性质，可分为非离子型、阴离子型和阳离子型等。阳离子型合成分散剂，一方面因其成本高，另一方面，由于煤表面负电性，少量阳离子分散剂不足以改善煤表面润湿性，故并不常用。因此，常用的合成分散剂有阴离子型和非离子型两大类。

非离子型分散剂主要有聚氧乙烯系列和聚氧乙烷系列等。阴离子型分散剂可分为合成有机高分子分散剂和天然高分子改性分散剂两大类，其中天然高分子改性分散剂主要有木质素系分散剂和腐殖酸系分散剂等；合成有机高分子分散剂主要有煤焦油系、三聚氰胺系、氨基磺酸盐系、聚烯烃磺酸盐系、聚羧酸盐系和脂肪族系分散剂等。

### (2) 稳定剂的分类

水煤浆稳定剂大多数是有机高分子聚合物，如 Guar 胶、黄原胶、阿拉伯胶、羟乙基纤维素、聚丙烯酰胺、聚乙烯醇（PVA）、羧甲基纤维素（CMC）等。高聚物的特点是线性长度长，而且每个分子都有许多极性基团通过氢键或其他键合作用（如共价键），在煤粒间架桥，形成结构。结构形成后，水被包裹在结构的空隙内，浆的黏度升高，尤其有高的剪切应力，有利于稳定。由于水煤浆为粗粒悬浮体，属动力不稳定体系，要设法使它成为假塑性触变体。稳定剂的用量随煤种、稳定剂类型、要求的稳定期而异。

## 1.2.3 水煤浆添加剂的研究概况

### 1.2.3.1 研究现状

水煤浆分散剂据其分子链上所带电荷的性质，可分为阴离子型和非离子型（阳离子型表面活性剂很少用作分散剂）。非离子型表面活性剂自 20 世纪 30 年代以来发展很快。非离子型表面活性剂在水中并不电离，亲水基主要由分子结构中的含氧官能团提供。其亲水端是聚氧乙烯或再配以少许的磺酸基，亲固端是烷基苯或烷基苯酚等，可以用通式  $R(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n\text{H}$  来表示。这一类分散剂的另一特点是相对分子质量较大，上通式中的  $n$  值应大于 50~100 才有良好的分散效

果。这类添加剂的主要优点是亲水性，相对分子质量和质量易调节、控制，不受水质及煤中可溶性物质的影响，可同时作分散剂和稳定剂，但价格昂贵。

阴离子型分散剂价格相对便宜，是制浆首选的添加剂，但目前，国内已使用的添加剂大多数在用量和价格上不能统一。因此，还需要进一步开发性能良好、价格适宜的添加剂。国外尤其美国、日本的科研人员已筛选和研制了一批性能优良的分散剂，如 NSF（萘磺酸盐聚合物）、PSS（聚苯乙烯磺酸盐）。作为水煤浆专用添加剂 NSF 和 PSS 都已工业化生产，并达到了相当规模。在添加剂研究工作中比较突出的有 Nippon 油脂公司、Kao 公司、Lion 公司和 Com 公司。

目前国内外采用的水煤浆稳定剂大多数为有机高分子聚合物，如：Guar 胶、黄原胶、阿拉伯胶、半乳糖醛酸、羟乙基纤维素、聚丙烯酰胺、聚乙烯醇（PVA）、羧甲基纤维素（CMC）等。其稳定作用主要表现为形成浆体中颗粒间的桥键，纵横交错，构成空间网络式结构。程京艳等人发现的阿拉伯胶与国际市场普遍看好的黄原胶有相同的效果，且价格较便宜。

### 1.2.3.2 发展趋势

目前对添加剂的研究侧重于药剂对煤粒的影响，就水煤浆添加剂本身的研究工作相对做得较少。而水煤浆添加剂的消耗在煤浆制备成本中举足轻重，因此水煤浆添加剂的发展趋势可归纳为以下 4 方面。

#### (1) 开发出高性能、低成本的添加剂

提高分散剂的利用效率，即保持阴离子型分散剂现有的成本，提高其性能，减少用量；在保持非离子型分散剂用量少与性能好的前提下，降低其成本。目前性能优异的水煤浆添加剂多采用石油产品合成，其生产成本维持在较高水平。作为地球上最丰富的可再生资源之一，木质素广泛存在于种子植物中，与纤维素和半纤维素构成植物的基本骨架。木质素在自然界中存在的数量非常庞大，估计每年全世界由植物生长可产生  $1500 \times 10^8 \text{t}$  木质素，其中制浆造纸工业的蒸煮废液中产生的工业木质素有  $3000 \times 10^4 \text{t}$ 。人类利用纤维素已有几千年的历史，而真正开始研究木质素则是 1930 年以后的事了，而且至今木质素还没有得到很好的利用，我国仅有约 6% 的木质素得到利用。木质素作为木材水解工业和造纸工业的副产物，若得不到充分利用，变成了造纸工业中的主要污染源之一，则不仅造成严重的环境污染，而且也造成资源的重大浪费。有些造纸厂主要将造纸黑液燃烧后回收碱，从而造成木质素这种可再生资源的巨大浪费，而且碱回收仅能维持基本费用，无法从经济上带来很好的效益。因此，如何有效地利用好木质素这种可再生资源，通过化学改性来制备水煤浆添加剂，提高其附加值，不仅可有效解决环境污染问题，并大大降低了水煤浆添加剂的生产成本。

#### (2) 开发相应性价比高、适应性广的添加剂

中国水煤浆技术在制浆工艺方面研究得比较多，技术基本成熟，但对添加剂，尤其是对分散剂的研究相对较少。目前中国水煤浆技术普遍存在着分散剂与

煤种匹配性差的问题,而且制浆时对制浆水质要求较高、对煤要求较高,所得水煤浆的稳定性偏低,黏度普遍偏大。中国国产分散剂主要以萘系、木质素系和腐殖酸系为主,萘系分散剂与腐殖酸系分散剂制浆存在制浆黏度大、投加量多的问题,而其他非离子分散剂和聚羧酸类分散剂虽高效但价格昂贵,制浆成本高。因此,结合今后建设大规模制浆厂原料的煤性质以及不同添加剂的物化性质,开发相应性价比高、适应性广的添加剂是今后开发的重点。

### (3) 开发出多功能的复合型高效水煤浆添加剂

近年来,国外水煤浆添加剂的发展方向有:采用较高聚合度萘磺酸甲醛缩合物与有机磷酸盐和有机羧酸盐复配;控制一定的相对分子质量,使丙烯酸和丙烯酸酯进行共聚;用马来酸、衣康酸等与苯乙烯进行共聚并磺化等。因此,通过分子设计,研究开发出对水的硬度要求低,并兼具分散和稳定等多种功能的复合型高效添加剂。

### (4) 开发出新型多功能非离子型添加剂

非离子型添加剂是一种比较理想的水煤浆添加剂,它虽然价格稍贵,但用量少,而且可降低对水质的要求,制得高浓度高稳定性的水煤浆。国外已开发出一种以高分子聚合物为亲水端,以芳烷基为憎水端的非离子型水煤浆添加剂,这种添加剂集分散性和稳定性于一身,制浆浓度高,稳定性好,黏度低,并且对煤种适应性强,对水质要求低。要开发出高效的非离子型添加剂,必须着重加强对非离子型添加剂的分子结构、合成路线以及和煤种的匹配性的研究,并且要敢于创新,敢于撇开传统的非离子型表面活性剂的生产工艺,对绿色可再生资源进行接枝和分子设计。

## 参 考 文 献

- 1 付华,赵继荣. 洁净的代油燃料——水煤浆. 能源工程, 2000, (4): 22~24
- 2 Funk J F. (Alfred University Research Foundation Inc., Alfred, NY). Coal-Water Slurry Method for Preparation. US 4282006, 1981
- 3 张荣曾. 水煤浆制浆技术. 北京: 科学出版社, 1996
- 4 Cole E L. (Texaco Inc., New York). Process for feeding a high solids content solid fuel-water slurry to a gasifier. US 3996026. 1976
- 5 Cole E L, Hess H V, Guptill Jr, Frank E. (Texaco Inc., New York). Preparation of solid fuel-water slurries. US 4104035. 1978
- 6 王柱勇,李燕君,张明. 中国水煤浆技术发展现状及产业化建议. 洁净煤技术, 2001, 7 (1): 28~31, 37
- 7 冯武军,王恒,赵立合等. 水煤浆的能源优势及应用前景. 煤炭科学技术, 2004, 32 (5): 70~73
- 8 周少雷,付勇,薛继先. 我国水煤浆的现状 & 今后的展望. 选煤技术, 1997, (1): 20~23
- 9 庾晋,周洁. 我国水煤浆技术综述. 煤气与热力, 2003, 23 (7): 429~431
- 10 刘珊,王秀月,白成志. 中国水煤浆的市场前景分析. 煤炭科学技术, 2003, 31 (3): 53~54
- 11 甘正旺,许振良. 洁净煤技术及其发展前景. 辽宁工程技术大学学报, 2005, 24 (增刊): 253~255
- 12 胡学寅. 新型水煤浆添加剂的开发前景. 能源技术, 2002, 23 (2): 62~63
- 13 张延霖,邱学青,王卫星. 水煤浆添加剂的发展动向. 现代化工, 2004, 24 (3): 16~19



- 14 郭照冰, 吴国光. 水煤浆添加剂的研究现状与发展趋势. 洁净净煤技术, 2001, 7 (1): 32~34
- 15 王晓春, 吴国光, 王共远. 水煤浆添加剂及其研究进展. 煤化工, 2004, (6): 15~18
- 16 曾凡. 水煤浆添加剂. 选煤技术, 1995, (2): 41~45
- 17 Tiwari K K, Basu S K, Bitetal K C. High-concentration coal-water slurry from Indian coals using newly developed addi-tives. Fuel Processing Technology, 2003, 85: 31~42
- 18 Dincger H, Boylu F, SirkecietaI A A. The effect of chemicals on the viscosity and stability of coal water slurries. Int J Miner Process, 2003, 70: 41~51
- 19 Zhou Rongkan, JiangYuqi, Liang Yong, et al. Dispersion behaviour of laser-synthesized nanometric SiC powders in aqueous medium with ammonium polyacrylate. Ceramics International, 2002, 28: 847~853
- 20 Yoshihara Haruyuki. Graft copolymers as dispersants for CWM. Coal Preparation, 1999, 21 (1): 93~103
- 21 李永昕, 孙成功, 李保庆等. 水煤浆添加剂研究评述. 煤炭转化, 1997, 20 (1): 8~12
- 22 罗秋良, 曾凡, 张荣曾. 水煤浆添加剂分子结构与成浆性能的研究. 煤炭学报, 1993, 18 (2): 89~92
- 23 程京艳, 张玲, 刘艳华等. 一种水煤浆新型稳定剂的研究. 煤炭加工与综合利用, 1999, (3): 24~25