

郝临山 彭建喜 编著

水煤浆制备

SHUIMEIJIANG

ZHIBEI

YINGYONG



应用技术

煤炭工业出版社

水煤浆制备与应用技术

郝临山 彭建喜 编著

煤炭工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

水煤浆制备与应用技术/郝临山, 彭建喜编著. —北京: 煤炭工业出版社, 2003

ISBN 7-5020-2337-2

I. 水… II. ①郝…②彭… III. ①水煤浆-制备
②水煤浆-应用 IV. TQ536.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 063418 号



煤炭工业出版社

(北京市朝阳区芍药居100029)

网址: www.ciph.cn

煤炭工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 850mm×1168mm^{1/32} 印张 8^{1/4}

字数 220 千字 印数 1 1,100

2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月第 1 次印刷

社内编号 5108 定价 38.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本书从水煤浆的生产技术、应用技术两个方面加以论述。水煤浆生产技术包括：水煤浆的特性，制浆用煤的选择，级配技术，磨矿设备及工艺，国内外典型的制浆工艺和化学添加剂；应用技术包括：水煤浆的装储、运输、燃烧和质量指标的检验。

本书可供从事水煤浆生产与研究的技术、管理人员参考，也可作为大专院校相关专业师生的参考书或教学用书。同时也可作为水煤浆生产厂的工人培训教材。

前 言

中国是能源消费大国，是富煤贫油的国家，从1993年开始，已成为石油进口国。随着改革开放的深化，国民经济发展和人民生活水平逐步提高，石油需求量在大幅上涨，2002年石油进口达7100万t/a，预计到2020年石油需求量将达3.8亿t/a，而国内石油产量不会增加（年产量在1.6~1.9亿t），届时国内石油需求缺口达50%以上。据专家预测，我国石油开采量仅剩35年左右，主要依赖煤炭的能源消费格局，在相当长的时期内难以改变。燃烧原煤是造成我国大气煤烟型污染的主要原因，因此，开发和推广应用洁净煤技术，特别是以煤代油技术是非常重要的能源战略。

1996年1月19日江泽民总书记在视察我国水煤浆工作时指出：中国的燃料在相当长的时期要依靠煤炭，应该把水煤浆技术作为一个战略问题来考虑，这是一件十分重要的工作。水煤浆是一种新型洁净的煤基流体代油燃料，具有和油一样的流动性和良好的稳定性，便于贮运和燃烧，既能管道运输，减少环境污染，又比直接燃煤洁净、高效。我国在水煤浆制浆、贮运、燃烧应用方面的技术逐步成熟，获得了良好的经济效益和环保效益。

我国国民经济和社会发展第十个五年计划纲要指出：“加大洁净煤技术研究开发力度，通过示范广泛推广应用”。煤炭工业“十五”规划中提出：“实施洁净煤战略，推进洁净煤技术产业化……完善水煤浆制备和应用技术”，发展以煤代油、缓解石油紧缺、减少环境污染是保证国家能源安全的有力举措之一，具有重要的战略意义。山西是我国的能源重化工基地，以煤为主导导致了山西矿区地表塌陷、水资源短缺和以煤烟型为主的大气污染相当严重，成为制约山西经济发展的重要因素。山西依托煤炭资源优势 and 煤炭精、深加工的技术优势，推广洁净煤技术，提高煤炭附加值，提

高资源利用率,缓解资源枯竭,实施社会效益与经济效益并重,技术与环境协调发展,已是山西可持续发展的必然选择。近年来,山西相继建成大同、临汾水煤浆厂,生产以煤代油产品,虽取得了良好成效,但在本省推广燃用水煤浆需做积极的努力。

作者从事洁净煤技术的教学与研究,结合大同水煤浆生产技术,学习借鉴已有的技术成果,编著此书,以求促进水煤浆制备产业和应用技术的发展。由于水平有限,书中难免有错误和不足,恳请读者批评指正。

感谢为出版本书付出辛劳的各位同仁。

编 著 者

2003年4月

目 录

绪论	1
1 中国煤炭资源与制浆用煤	7
1.1 中国煤炭资源分布与生产概况	7
1.2 中国煤炭分类	11
1.3 煤炭质量的常用分级标准	18
1.4 制浆用煤的选择	22
2 水煤浆及其分类	23
2.1 水煤浆产品分类及工业应用	23
2.2 水煤浆的主要特征	24
2.3 难制浆煤种成浆性的提高途径	41
3 水煤浆的粒度分布	43
3.1 颗粒的堆积	43
3.2 水煤浆的粒度分布	47
4 磨矿工艺与设备	57
4.1 制浆用球磨机	57
4.2 水煤浆专用球磨机	62
4.3 球磨机中磨介的运动过程	70
4.4 球磨机的有用功率	75
4.5 制浆球磨机的工况选择	89
4.6 磨矿过程的数学模型及制浆优化	106
4.7 制浆用振动磨机	112

5	典型水煤浆制浆工艺	121
5.1	制浆工艺的主要环节及功能	121
5.2	干法制浆工艺	129
5.3	干、湿法联合制浆工艺	130
5.4	高浓度磨矿制浆工艺	131
5.5	中浓度磨矿制浆工艺	132
5.6	高、中浓度磨矿级配制浆工艺	134
5.7	结合选煤的制浆工艺	140
5.8	超净煤精细高热值水煤浆	144
5.9	褐煤水煤浆	144
5.10	国内外水煤浆厂简介	146
	工程示例 大同汇海水煤浆厂生产工艺	149
6	水煤浆添加剂	153
6.1	水煤浆分散剂	153
6.2	水煤浆稳定剂	161
6.3	其它辅助添加剂	163
7	水煤浆的流变特性	167
7.1	牛顿型流体	167
7.2	非牛顿型流体	168
8	水煤浆在管道中的流动	171
8.1	牛顿流体在管道中的流动	171
8.2	宾汉流体在管道中的流动	172
8.3	幂定律流体在管道中的流动	176
9	水煤浆搅拌混合与剪切	179
9.1	搅拌方式	179

9.2	搅拌桶中的涡旋运动	180
9.3	搅拌桶结构与流体的流态	184
9.4	搅拌功率的计算	187
10	水煤浆的储运	192
10.1	水煤浆装储技术	192
10.2	水煤浆运输	193
11	水煤浆的燃烧	195
11.1	水煤浆的燃烧过程	195
11.2	水煤浆的燃烧装置	199
示例 1	电站锅炉燃用水煤浆	221
示例 2	工业锅炉燃用水煤浆	223
示例 3	工业窑炉燃用水煤浆	226
示例 4	德士古水煤浆气化炉	227
附录 A	水煤浆采样方法	230
附录 B	水煤浆浓度的测定方法	235
附录 C	水煤浆筛分试验方法	238
附录 D	水煤浆表观粘度测定方法	243
附录 E	水煤浆稳定性测定方法	246
附录 F	水煤浆密度测定方法	250
参考文献	254

绪 论

一、水煤浆技术发展概况

能源是推动经济和社会发展的重要物质基础。历代能源技术的变革，都带来能源结构演变和人类社会的进步。当前，日益加剧的环境污染引发的能源安全问题，已引起世界各国的关注，解决矿物能源的高效、洁净利用已成为世界各国面临的机遇和挑战。由于煤炭燃烧的污染以及国际石油价格的攀升，世界各国纷纷开展煤代油的研究和应用。

美国是最早开展煤代油研究的国家，最初（1973年）研制的是一种煤油混合物（Coal Oil Mixtuer 或 COM）。它由大约49%的固体煤（<200网目的占85%）与油混合而成，其中包含有2%~4%的煤中内在水分与0.15%~0.20%的化学添加剂。在70℃时，其粘度为1700~2200mPa·s，热值取决于煤炭与油的质量，但65%左右的热值仍然来自油。真正实现了COM商业化生产的是日本。日本于1980~1982年在东京电力公司（TEPCO）横须贺火电厂试烧成功，1981年组建了日本COM公司，并于1984年建成两条能力各70t/h的COM生产线，一直正常生产至今。韩国、中国也进行了COM的研究和试生产，并分别在工业锅炉、电站锅炉试烧获得成功。

由于COM中的煤含量最高只能达50%，使用COM只能用煤取代油耗的35%。1979~1981年瑞典的胶体碳（Carbogel）公司、美国的大西洋公司（ARC）、煤浆技术集团及西方石油公司（ORC）率先研制成功一种完全不依赖油的新型代油煤浆燃料水煤浆CWM（coal water mixture），又称CWF（coal water fuel）。CWM是由大约70%的煤、29%的水和1%的添加剂通过物理加

工得到的一种低污染、高效率、可管道输送的代油煤基流体燃料。其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，可广泛用于工业锅炉、电站锅炉、工业窑炉上代油燃烧，亦可作为气化原料，用于合成氨、合成甲醇、合成尿素等化工项目中。前苏联 1989 年建成了世界上最大的 400 万 t/a 的 CWM 生产厂，供 $6 \times 200\text{MW}$ 发电机组的 $6 \times 670\text{t/h}$ 电站锅炉燃用。日本在 1981 年组建 COM 公司的同时，就开始了水煤浆的研究工作。最初日本是从美国和瑞典引进技术，后来发展为五大集团，即 F-Coal、COM、日挥、电源开发及宇部兴产。在 1984 年 COM 公司的油煤浆生产线投产半年后，着手建设两条生产能力各为 15t/h 的水煤浆生产线，从 1985 年 8 月至 1986 年 3 月，在电站机组 (75MW , 260 蒸吨/小时) 上进行了连续燃烧水煤浆试验，获得成功，燃烧效率高达 99%，负荷从 30MW 至 75MW 均能稳定着火燃烧。接着又在 600MW , 1940 蒸吨/时机组上长期应用水煤浆与油混烧。其中水煤浆燃烧器为 11t/h 。一直燃用至今。

我国水煤浆技术研究始于 1982 年，晚于国外发达国家。1983 年 1 月国家科委将“水煤浆制备与燃烧技术”正式列为国家“六五”攻关项目，开始进入开发性技术攻关与制定全面规划阶段。确定成立了两个攻关组，一个是中科院感光所、力学所及印染厂，另一个是由原煤炭部、北京市牵头，中国煤炭加工利用协会出面，中国矿业大学北京研究生部、浙江大学与五一研究所等 12 个单位参加，由抚顺及枣庄八一制浆厂供浆，在北京造纸一厂 20 蒸吨/时热电联供锅炉上代油燃烧获得成功。并且先后在抚顺矿、八一矿建成了能力各为 3 万 t/a 与 2 万 t/a 的简易制浆厂。

“七五”期间，是水煤浆工业生产实验阶段。工业锅炉的示范工程是在北京造纸一厂进行，包括 60 蒸吨/时燃油锅炉改造和全厂水煤浆的厂区卸、储、运工程建设，以及北京印染厂 20 蒸吨/小时燃油锅炉改造。工业窑炉示范工程是在长春保温材料厂、桂林厂轧钢加热炉及山东莱芜钢厂大型锻造加热炉进行。取得良好的节能与环保效益。制浆示范工程是改扩建了抚顺、八一两个制

浆厂，使其生产能力分别提高到年产 7 万 t 与 5 万 t。并向全国各地统一供浆。此期间还建设了中、日合资 25 万 t/a 的充日制浆厂和 25 万 t/a 的北京制浆厂。添加剂示范工程是建成了北京延庆 1000t/a 和淮南 500t/a 的两个添加剂生产厂。中国水煤浆的进展引起了国际社会的广泛关注和重视，并得到联合国及意大利世界实验室项目的资助。

“八五”期间，是进行大型化、系统化示范推广阶段。主要进行电站锅炉燃用水煤浆的系统工程。进一步改扩建制浆厂，并开发相应的工艺、大型专用设备及添加剂生产技术。成立了国家水煤浆工程技术中心。进一步加强技术交流与协作，加速水煤浆科技开发与转化速度。

“九五”期间，是水煤浆纳入洁净煤技术计划深化发展阶段。从此水煤浆工作进入了一个新阶段、新高度。国家经贸委、计委、华能集团、神化集团等全部在资金、政策上给予支持，将水煤浆技术工作推向新水平。

国家“十五”计划中明确提出：“发展洁净煤技术，节约和替代燃料油”。目前我国年消耗燃料油约 4400 万 t，其中：工业用油约占 77.5%，交通用油占 21.4%；在工业用燃料油中，重点是电力、石油化工、建材、钢铁和化工等部门。国家经贸委要求到 2005 年全国节约和替代燃料油 1600 万 t，其中替代占 78.9%，节约占 21.1%。为了顺利实施燃料油的替代和节约，国家经贸委成立了“节约和替代燃料油重大政策措施研究小组”，重点研究经济政策、重大技术及燃料油的进口管理体制，促进国内水煤浆技术的发展。

山西煤炭工业“十五”发展规划拟在大同、临汾两座水煤浆项目成功运行的基础上，重点建设大同、朔州水煤浆生产基地，争取到 2005 年达到 1000 万 t/a 的生产规模。

当前，我国已建有水煤浆生产厂或车间 14 座，设计生产能力为 400 万 t/a，应用水煤浆炉型是世界上最多的国家，已完成了工业锅炉（1~60t/h）、电站锅炉（230t/h）、工业窑炉等多种燃用水煤浆技术的工程试验和建设，为中国水煤浆技术的发展和推广应

用打下了良好基础。

今后，发展水煤浆将作为一项重要的煤代油能源战略，不断拓展水煤浆的应用领域，加速能源结构调整，强化环保和经济效益，为社会经济建设发挥煤炭资源的更大作用。

二、我国发展水煤浆技术的重要意义

1. 水煤浆替代燃油，经济效益显著，战略意义重大

我国是一个煤炭资源丰富而石油资源相对短缺的国家，煤炭已探明储量 10141.02 亿 t。占到化石能资源的 80% 以上。而石油探明储量人均仅为 3t，是全球平均值的 12%，但我国的燃油量却很大，占世界石油消费量的 1/5。2001 年我国净进口石油 6000 万 t，2002 年为 7100 万 t，同时，随着我国工业化进程的加快，未来对原油需求呈强劲增长趋势，但产量不会有大的增长，缺口将会逐年增大。预计到 2020 年我国石油的进口量将超过全国需求的 50% 以上。为此国家将支付大量外汇用于进口原油。面对日趋严峻的石油供求形势和国际油价变动的不确定性，亟须从我国经济发展全局出发，结合我国资源、技术和经济条件，寻求行之有效的替代技术，以缓解我国石油进口压力。

以煤代油是国家的一项基本能源政策。1996 年 1 月 19 日，江泽民总书记亲临中国煤炭科学研究总院水煤浆实验现场考察时指出：“从战略上看，中国煤炭资源丰富，要充分发挥煤的作用，中国的燃料在相当长的时间内要依靠煤炭，应该把水煤浆技术作为一个战略问题来考虑，这是一件十分重要的工作。”2001 年 7 月 27 日经国务院批准，国家计委、国家经贸委共同签发的第 7 号令予以发布的当前国家重点鼓励发展的产业、产品和技术目录中，明确列出了“水煤浆技术开发”为国家重点鼓励和发展的技术和产业。

用水煤浆代替油潜在市场很大，1999 年燃油行业的统计资料表明，发电燃油量为 1660 万 t (6000kW 及以上热能电厂)，石油、石化行业消费燃料 920 万 t，建材行业为 300 万 t，冶金钢铁行业

264 万 t, 化工行业 260 万 t。也就是说, 五大行业燃油量约达 3400 万 t, 占全国当年燃油量(约 4000 万 t) 的 85%。若用水煤浆代替, 每年可代油 4000 万 t 以上, 节约燃料费达 200 亿元以上。据有关部门估计, 目前国内有 8000 万 t 的煤代油潜在市场, 发展水煤浆替代燃料油技术, 前景良好。

国内外燃用水煤浆实践证明: 约 1.8~2.1t 水煤浆可替代 1t 重油, 目前国内水煤浆的出厂价格一般为 320~350 元/t, 重油的价格为 1500 元/t。每替代 1t 重油可节约约 800 元。节省的重油再进行深加工, 每吨油又可产生 400~500 元效益。经济效益十分可观。另外, 我国煤多油少, 以浆代油具有重要的战略意义。

2. 水煤浆替代煤炭直接在锅炉中燃烧, 环保效益好

我国是世界能源生产和消费大国, 也是目前世界上少数几个一次能源以煤为主的国家之一。因燃煤产生的煤烟型大气污染, 以及由此诱发的酸雨、温室效应等环境问题不仅影响工农业的发展, 而且影响人民生活。以煤为主的能源结构带来的严重环境污染已成为我国经济发展和社会进步的制约因素。

据统计, 目前我国拥有 50 多万台中小型层燃锅炉在直接燃用散煤, 年燃煤量约 3 亿 t (全国工业锅炉约 126 万蒸吨/小时, 每年以 8~9 万蒸吨/小时的速度增长)。由于炉型小(每台平均仅为 2.6t/h), 燃烧效率低, 造成我国城市大气环境以总悬浮颗粒、SO₂、NO_x、CO₂ 等为主要特征的严重煤烟型污染。1998 年在全国实行环境统计的 322 个城市中, 89 个城市空气质量达到国家二级标准, 占 27.6%; 93 个城市空气质量处于国家三级标准, 占 28.9%; 140 个城市空气质量超过国家三级标准, 占 42.5%, 属于严重污染型城市。据 1998 年国际卫生组织公布的一项报告表明: 全球空气污染严重的城市依次为太原、米兰、北京、乌鲁木齐……在十大污染严重城市中, 我国占了 7 个。1997 年国家统计局资料表明, 我国 SO₂ 排放量的 90%、烟尘排放量的 70% 是由直接燃煤排放造成的。以浆代煤燃烧, 不仅燃烧效率高, 而且 NO_x、SO₂ 以及烟尘排放浓度低, 甚至还可以在水煤浆中加入一定量的石灰

乳或有机碱液，制备成脱硫型水煤浆。因此从清洁环境、净化空气来看，水煤浆是一种很好的清洁环保燃料。

另外，利用矿区洗选排出的煤泥，制备成经济型水煤浆，不仅可变废为宝、节约煤炭、改善矿区环境，同时还可以改善煤炭产品的结构，增加煤矿经济效益。

3. 水煤浆可作为德士古炉气化燃料用于合成氨、合成尿素以及进行煤气化联合循环发电

山东鲁南化肥厂、陕西渭河化肥厂等几家国内化肥厂，为改变我国合成氨工业的原料结构，开辟新的原料路线，先后以水煤浆为原料，通过选用德士古炉的水煤浆加压气化技术合成氨、合成尿素等。以水煤浆作为合成氨原料，不仅可以解决过去只能用无烟块煤、焦炭造气的问题，并能实现煤种适应性强，自动化水平高，三废污染轻，能耗低的优势。鲁南化肥厂1995年生产统计资料表明，每吨合成氨的消耗：用水煤浆比用无烟块煤可降低煤耗0.8t，使其吨合成氨生产成本降低230余元，与用焦炭相比，吨氨成本也可降低160余元。尿素的生产成本用水煤浆比用焦炭可降低约90元/t。

我国用石脑油为原料生产合成氨、尿素的大化肥厂，如金陵石化公司化肥厂、安庆石化总厂化肥厂、广州石化总厂化肥厂、湖北枝江化肥厂、湖南洞庭氮化肥厂等，都可以以浆代油，造气成本可降低2/3。另外，借助先进气化技术水煤浆还可以用于煤气化联合循环发电，与常规的燃煤电厂相比，效率可提高5%~6%，热耗降低9%，发电成本减少18.2%~18.6%，供电能力增加6.4%，供电量增加6.9%，并且环保效益显著。应用水煤浆进行煤气化联合循环发电是今后煤炭气化及煤电转化的重要方向。

4. 水煤浆可以管道输送，运营费用低

水煤浆管道输送主要靠设立的泵站，可以像输油一样方便、可靠，其基建投资省，建设周期短，占地少，地形适应性强，运营费用低。由于实行全密闭输送，水煤浆管道输送是缓解煤炭运输紧张、降低环境污染的一种有效途径。

1 中国煤炭资源与制浆用煤

1.1 中国煤炭资源分布与生产概况

1.1.1 中国煤炭资源及其分布特征

中国煤炭资源丰富，煤种齐全，已探明煤炭储量占世界煤炭储量总数的 33.8%。就煤炭可采储量分布来说，仅次于前苏联（占 23.2%）、美国（23.1%），居第三位（11%）。见表 1-1。但我国煤炭储量的地区分布很不均匀，其中以华北地区的煤炭储量最多，约占全国已探明保有储量的 50%左右，西北地区亦占全国储量的 30%，储量占全国第三位的西南区还不到 9%，华东区更少，只占全国的 5%左右，储量最少的中南和东北两区均不到全国的 3%。见表 1-2。

从各省（市、区）的煤炭储量分布看，以华北区的山西省和内蒙古自治区境内的煤炭储量最多，各占全国煤炭储量的 1/4 以上和 20%以上，储量占全国第三位的陕西省和第四位的新疆维吾尔自治区，各占全国储量的 16.15%和 9.5%，储量占全国第五的贵州省亦只占全国的 5%。储量较多的还有宁夏、安徽、云南、山东和河南等省（区），但这些省区的煤炭储量几乎都只占全国的 3%以下。浙江、西藏、海南、广东、湖北、福建、江西和广西等省（区），则是我国煤炭资源最少的省区。

按我国煤炭储量中的煤种来看，以动力用煤的比例较大，占全国的 70%以上，炼焦用煤不到 30%。

在动力用煤中，以不粘煤和长焰煤的储量比较大，两者合占全国煤炭储量的 1/4 以上，且主要集中在华北和西北地区，其中以神华集团储量最为集中，达 3000 亿 t 以上，是我国重点开发的

特大型动力煤基地。我国的褐煤储量亦占全国煤炭总储量的 1/8 以上,它主要分布在内蒙古自治区与东北三省相连的东部地区,如霍林河、伊敏河、宝日希勒、扎赉诺尔和胜利等特大型褐煤煤田都分布在这一地区,从成煤时代看,这些都是中生代的晚侏罗世褐煤;云南省的褐煤储量亦达 100 亿 t,其中以昭通煤田储量最大,但云南省的褐煤几乎都形成于新生代的第三纪,多属低阶褐煤,而侏罗纪的褐煤多属年老褐煤。我国无烟煤的储量亦占全国煤储量的 10% 以上,其中以山西省境内分布最多,如晋城、阳城和阳泉等煤田都是特大型无烟煤煤田;此外,贵州的织金~纳雍煤田也是近几十年才发现的特大型无烟煤煤田。

表 1-1 世界主要产煤国已查证可采资源量

(截至 1996 年末)

单位: Gt

序号	国别	烟煤和无烟煤	次烟煤	褐煤	总量	百分率/%
1	美国	111.33	101.97	33.32	246.64	25.06
2	俄罗斯	49	97.47	10.45	157.01	15.95
3	中国	62.2	33.7	18.6	114.5	11.63
4	澳大利亚	47.3	1.9	41.2	90.4	9.91
5	印度	72.7	—	2	74.73	7.59
6	德国	24	—	43	67	6.81
7	南非	55.33	—	—	55.33	5.62
8	乌克兰	16.38	16.02	1.94	34.35	3.49
9	哈萨克斯坦	31	—	3	34	3.45
10	波兰	12.1	—	2.19	14.3	1.45
11	巴西	—	11.95	—	11.95	1.21
12	加拿大	4.5	1.28	2.82	8.02	0.88
合计		509.49	279.02	159.69	984.21	92.34