



中国洁净煤技术丛书



水煤浆技术发展与应用

SHUIMEIJIANG JISHU FAZHAN YU YINGYONG

▶ 何国锋 詹隆 王燕芳 主编

化学工业出版社

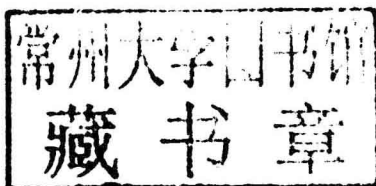


中国洁净煤技术丛书

水煤浆技术发展与应用

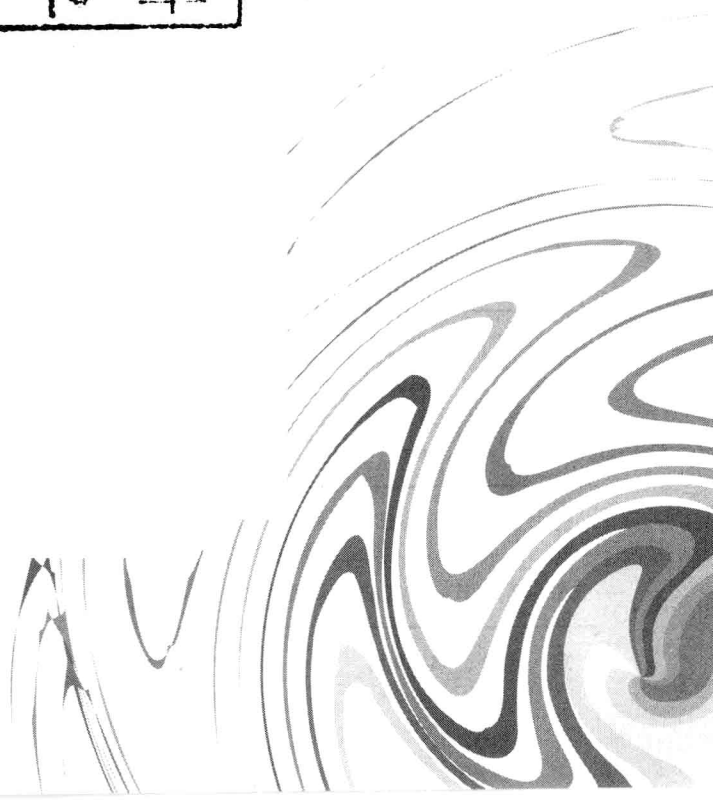
SHUIMEIJIANG JISHU FAZHAN YU YINGYONG

▶ 何国锋 詹隆 王燕芳 主编



化学工业出版社

· 北京 ·



本书根据煤炭在我国能源中的地位及水煤浆的洁净特性，主要介绍了水煤浆技术及应用。

在水煤浆技术方面，系统地叙述了发展水煤浆的意义、国内外水煤浆技术发展概况、水煤浆的性能特征及品种、质量指标及检测，详细阐述了影响水煤浆成浆性的煤质、粒度级配和添加剂等因素，对水煤浆制备的各种工艺、破磨设备以及储存和运输技术进行了系统的介绍。

在水煤浆技术应用方面，首先重点介绍了水煤浆工程设计及几个典型水煤浆厂工艺应用情况，同时详细地介绍了水煤浆的燃烧技术与关键设备及其在电站锅炉、工业锅炉及工业窑炉上的应用，对极具发展前景的水煤浆气化技术进行了系统的介绍，最后对水煤浆洁净煤系统的特性及其发展应用前景进行了系统的评价及展望。

本书可供煤炭企业、高等学校、科研单位等从事煤炭加工利用相关专业的管理干部、教师、科研人员和工程技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

水煤浆技术发展与应用/何国锋，詹隆，王燕芳主编. —北京：化学工业出版社，2011.10
(中国洁净煤技术丛书)
ISBN 978-7-122-12726-6

I. 水… II. ①何… ②詹… ③王… III. 水煤浆
IV. TQ536.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 222013 号

责任编辑：戴燕红 郑宇印
责任校对：边 涛

文字编辑：丁建华
装帧设计：韩 飞

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 刷：北京云浩印刷有限责任公司

装 订：三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 17 字数 431 千字 2012 年 3 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：68.00 元

版权所有 违者必究

《中国洁净煤技术丛书》编写委员会

组织编写单位：煤炭科学研究总院北京煤化工研究分院

编委会主任：徐振刚

编委会副主任：范韶刚 陈亚飞 曲思建 陈贵锋 何国锋 王利斌
姜英 王乃计 梁大明

编委（按姓名笔画排序）：

马伟伟	王彬	王琳	王鹏	王乃计	王小磊
王利斌	王国房	王燕芳	文芳	白向飞	冯现河
刘立麟	孙仲超	孙淑君	纪任山	李艳芳	步学朋
肖翠微	吴立新	何国锋	何海军	张颀	陈文敏
陈明波	陈贵锋	陈洪博	罗陨飞	周建明	段清兵
姜英	贾传凯	唐海香	涂华	商铁成	梁兴
梁大明	董卫果	傅丛	裴贤丰		

序

低碳经济和节能减排是目前社会经济活动的主旋律之一。所谓低碳经济，是指在可持续发展理念指导下，通过技术创新、制度创新、产业转型、新能源开发等多种手段，尽可能地减少煤炭石油等高碳能源消耗，减少温室气体排放，达到经济社会发展与生态环境保护双赢的一种经济发展形态。低碳技术包括洁净煤技术和二氧化碳捕集与储存技术（CCS）等。显然，洁净煤技术是低碳经济和节能减排的核心技术之一。煤炭是我国的基础能源，要实现到2020年我国单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降40%~45%的目标，不断研究开发和推广应用洁净煤技术是最切实可行的技术途径。

我国富煤贫油缺气的资源特点决定了煤炭在我国一次能源生产和消费结构中的主导地位。我国煤炭生产和消费量占一次能源生产和消费总量的70%左右。预测到2020年，煤炭在一次能源消费构成中的比重不会低于60%，50年内不会低于50%，煤炭消费绝对量仍将逐年增加。因此保证煤炭能源的生产和供应是我国能源安全的根本要求，而大量煤炭能源的开发和利用必须以洁净煤技术的开发和应用为基础。

洁净煤技术（clean coal technology, CCT）是煤炭开发和利用中减少污染和提高效率的煤炭加工、转化、燃烧和污染控制等一系列技术的总称。我国洁净煤技术在20世纪90年代得到了高度的重视和快速的发展，于1995年成立了国家洁净煤技术推广规划领导小组，1997年制定了《中国洁净煤技术“九五”计划和2010年发展纲要》，成为促进中国洁净煤技术发展的指导性文件。《中国洁净煤技术“九五”计划和2010年发展纲要》指出，洁净煤技术主要包括煤炭洗选、加工、转化、先进燃烧技术、烟气净化等方面。随着洁净煤技术的发展，现阶段中国洁净煤技术包含四个领域、二十项技术，具体如下。

① 煤炭加工技术：选煤、型煤、配煤、水煤浆、低阶煤提质。

② 煤炭高效燃烧及先进发电技术：超临界和超超临界发电、循环流化床（CFBC）、煤气化联合循环发电（IGCC）、低 NO_x 燃烧、高效工业锅炉与窑炉。

③ 先进煤炭转化技术：煤炭气化、煤炭液化、煤基多联产、煤炭制氢与燃料电池、煤制天然气。

④ 污染控制与资源化利用：烟气净化、电厂粉煤灰综合利用、煤层气开发利用、矿区生态环境技术、矿井水与煤矸石利用及资源化等。

在我国一系列技术政策和发展规划中，明确指出了洁净煤技术的科技发展方向。同时，通过一些产业政策和激励政策，鼓励洁净煤技术的发展和利用；在国家技术政策、环境政策以及激励机制的引导下，洁净煤技术的推广和应用取得了良好的效果。在推进全国能效水平逐步提高的同时，促进了环境状况的改善。

随着技术、经济的发展和市场需求的扩大，可生产洁净能源与化工品的新型煤化工技术得到了很大的发展，已有了较好的基础，能够生产车用燃料、石油化工品、电和热等能源产品，是我国未来煤炭利用的重要方向之一。新型煤化工产业在常规污染物治理和二氧化碳捕集方面也有独特的技术优势。可实现近零排放的煤基多联产系统是实现煤炭超清洁利用的重

要发展方向，是未来煤炭高效、洁净利用的发展趋势。我国对二氧化碳减排技术的重视程度日益提高。

本系列丛书以煤炭科学研究总院北京煤化工研究分院的中青年专家学者为主，并邀请有关方面的专家学者参与，比较全面地论述了洁净煤技术体系中的一些具体技术，包括其发展过程、发展现状和发展方向等，涉及洁净煤技术的诸多方方面面，是专业性较强的综合性参考资料，希望通过本系列丛书的出版，能够对我国洁净煤技术的发展和應用起到积极的推动作用，为我国节能减排目标的完成作出一些贡献。

濮洪九

2010年10月

前言

我国是能源生产和消费大国，也是世界上少数几个以煤炭为主要能源的国家。我国煤炭资源丰富，石油、天然气相对匮乏。随着国家经济持续快速发展，对能源需求不断增加，环境污染也将面临严峻挑战。国家“十二五”发展规划中，提出GDP（国内生产总值）未来5年年均增长7%，单位GDP CO₂排放量降低17%，污染物约束性指标二氧化硫、化学需氧量、氮氧化物和氨氮要分别减排10%和8%。标志着我国的经济的发展必须要全面考虑温室气体及污染物排放量，必须要要在煤炭消费中提高煤炭利用效率，节约煤炭，必须要发展洁净煤技术，改善能源终端消费结构，以保证能源供应安全，这是实施我国可持续发展能源战略的必然要求和现实选择。

作为我国洁净煤技术的重要组成部分，经过近30年的发展及产业化生产应用，我国水煤浆的制浆技术、储运技术、燃烧（气化）应用技术等都取得了令人瞩目的长足发展，取得的节能效益、环境效益和经济效益都十分显著，从而使我国成为全球水煤浆产量最大、应用行业最广泛的国家。

为了总结水煤浆技术在我国发展与应用中所积累的丰富经验，我们组织了从事水煤浆技术研究和应用多年的工程技术人员参加本书的编写，以求能深入浅出地对水煤浆特征、煤炭性能、化学添加剂及粒度级配对成浆性的影响、制备工艺及装备、水煤浆的储运及燃烧（气化）应用以及水煤浆质量检测等进行介绍，以便让更多的行业和企业认识、了解水煤浆技术，推动水煤浆技术进一步发展。

本书编写过程中，我们参考了国内外多届有关水煤浆燃料会议资料，借鉴引用了许多位专家、学者的著作和科研成果，收集了许多家企业生产和应用水煤浆的经验，在此一并表示感谢。

本书由何国锋、詹隆、王燕芳主编，其他编写人员有段清兵、王国房、贾传凯、张胜局、王秀月、于涌年、郭志新、梁兴、刘解，参加编写的人员还有杜丽伟、张桂玲、颜淑娟、刘烨伟、莫日根、孙海勇等。陈文敏同志完成了书稿的审定工作。

由于编写人员工作繁忙和学识水平有限，书中难免有不妥之处，恳请同仁和读者批评指正。

编者

2011年9月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 水煤浆技术简介	1
1.2 煤炭能源与发展水煤浆的意义	1
1.2.1 煤炭在我国能源中的地位	1
1.2.2 发展水煤浆的意义	2
1.3 水煤浆技术发展概况	6
1.3.1 国外水煤浆技术的发展	6
1.3.2 我国水煤浆技术的发展	8
第 2 章 水煤浆的性能特征及品种	13
2.1 水煤浆的性能特征	13
2.1.1 水煤浆的浓度	13
2.1.2 水煤浆的流变性 (水煤浆黏度)	13
2.1.3 水煤浆的稳定性	15
2.1.4 水煤浆的触变性	15
2.1.5 水煤浆的抗剪切性	16
2.1.6 水煤浆的抗温变性	16
2.1.7 水煤浆的可雾化性	16
2.2 水煤浆的性能要求	16
2.3 水煤浆的品种及工业应用	17
2.3.1 水煤浆的品种分类	17
2.3.2 各类水煤浆的特性及工业应用	18
第 3 章 水煤浆质量指标及检测	19
3.1 水煤浆技术条件	19
3.1.1 术语和定义	19
3.1.2 技术要求和试验方法	19
3.1.3 水煤浆产品采样、制备、储存、运输和质量测试报告	20
3.2 制浆用原料煤的检测	20
3.3 水煤浆试验方法	20
3.3.1 采样	21
3.3.2 水煤浆浓度测定	23
3.3.3 筛分试验	24
3.3.4 水煤浆表观黏度测定	26
3.3.5 水煤浆稳定性测定	27
3.3.6 水煤浆密度测定	28

3.3.7	水煤浆 pH 值测定	29
3.4	水煤浆质量检测仪器	29
3.4.1	BT-2002 型水煤浆激光粒度仪	30
3.4.2	NXS-4C 型水煤浆专用黏度计	32
3.4.3	水煤浆化验部分仪器选型	33
第 4 章	成浆性及其影响因素	34
4.1	成浆性及其评定	34
4.2	影响成浆性的因素	35
4.2.1	煤质对成浆性的影响	35
4.2.2	煤的粒度级配对成浆性的影响	39
4.2.3	添加剂对成浆性的影响	43
4.2.4	不同煤种理化特性及成浆浓度	44
4.2.5	不同煤种成浆性及其流型	45
第 5 章	水煤浆粒度级配与添加剂	47
5.1	水煤浆的级配技术	47
5.1.1	堆积效率与粒度分布间的关系	47
5.1.2	水煤浆粒度分布的测试方法	50
5.2	水煤浆添加剂	51
5.2.1	分类、研究现状及发展趋势	51
5.2.2	分散剂	53
5.2.3	稳定剂	59
5.2.4	其他辅助添加剂	60
5.2.5	添加剂用量	60
第 6 章	水煤浆制备工艺	62
6.1	水煤浆制备工艺主要环节	62
6.2	水煤浆制备主要工艺方法	63
6.2.1	干法制浆工艺	63
6.2.2	湿法制浆工艺	63
6.2.3	干湿法联合制浆工艺	68
6.3	湿法磨制工艺典型流程的应用与评价	68
6.3.1	高浓度单磨机制浆工艺应用	68
6.3.2	中浓度湿法制浆工艺应用	71
6.3.3	混合型湿法制浆工艺应用	73
第 7 章	制浆用破磨设备及选型	75
7.1	制浆用破碎设备	75
7.1.1	几种破碎机能	75
7.1.2	辊压与反击式破碎机能力计算	77
7.2	制浆用磨矿设备	77
7.2.1	磨机的结构与工作原理	78
7.2.2	磨机的选型	80
7.2.3	球(棒)磨机运行参数的选择计算	82

7.2.4	球(棒)磨机功率与制浆能力计算	84
7.3	制浆用破磨设备的新发展	86
第8章	水煤浆的储存和运输	90
8.1	水煤浆储存	90
8.1.1	水煤浆储存设施与要求	90
8.1.2	水煤浆过滤器	92
8.1.3	水煤浆液位计	92
8.1.4	水煤浆专用泵	93
8.2	水煤浆运输	96
8.2.1	水煤浆罐车运输	96
8.2.2	水煤浆船舶运输	97
8.2.3	水煤浆管道运输	98
第9章	水煤浆工程设计	102
9.1	水煤浆工程设计一般规定和要求	102
9.1.1	水煤浆工程设计基本规定	102
9.1.2	厂址选择	103
9.1.3	原料煤系统	104
9.1.4	水煤浆制备系统	105
9.1.5	水煤浆储存与运输系统	108
9.1.6	水煤浆计量与质量检测	109
9.1.7	水煤浆燃烧系统	109
9.2	水煤浆工程设计应注重考虑的问题	113
9.2.1	水煤浆工程设计宗旨	113
9.2.2	制浆工艺选择与优化	114
9.2.3	清洁生产与环境保护	115
9.2.4	水煤浆锅炉燃烧系统	115
第10章	典型水煤浆厂生产应用实例	116
10.1	水煤浆厂生产运行	116
10.1.1	水煤浆厂类型	116
10.1.2	水煤浆厂规模	116
10.1.3	水煤浆厂生产运行的特点及经济性	117
10.2	典型水煤浆厂生产应用实例	119
10.2.1	广东省东莞电力燃料公司水煤浆厂	119
10.2.2	北京京煤集团水煤浆示范厂	122
10.2.3	南海洁能燃料公司水煤浆厂	124
10.2.4	山西大同汇海水煤浆厂	126
10.2.5	胜利油田华新能源水煤浆厂	129
10.2.6	枣庄八一燎原浮选精煤制高浓度水煤浆工艺	135
10.2.7	煤泥浆制备和燃烧应用实例	138
第11章	水煤浆燃烧技术	140
11.1	水煤浆的燃烧特性及影响因素	140

11.1.1	水煤浆的燃烧过程	140
11.1.2	影响水煤浆着火的关键技术	141
11.1.3	影响水煤浆燃烧的主要因素	142
11.2	水煤浆燃烧的关键装置及技术	143
11.2.1	雾化喷嘴	144
11.2.2	水煤浆燃烧器	159
11.3	水煤浆燃烧技术措施	171
11.3.1	卫燃带技术	171
11.3.2	提高空气预热温度技术	171
11.3.3	炉底风特殊清灰射流技术	171
11.3.4	预热室燃烧技术	172
11.3.5	液态排渣技术	172
11.3.6	W 及 Y 炉型技术	172
11.4	水煤浆低污染燃烧技术与措施	173
11.4.1	水煤浆低污染排放的特点	173
11.4.2	水煤浆低 NO _x 燃烧技术	174
11.4.3	水煤浆低 SO ₂ 排放技术	174
11.4.4	水煤浆防结渣和粘污技术	175
第 12 章	水煤浆在电站锅炉上的应用	176
12.1	汕头万丰热电厂 220t/h 油炉改烧水煤浆工程应用	176
12.1.1	油炉改烧水煤浆技术难点	177
12.1.2	原锅炉介绍	177
12.1.3	改造技术要点	177
12.1.4	运行情况	178
12.1.5	运行经济分析及应用效果	181
12.2	燕山石化三电站 220t/h 水煤浆锅炉	182
12.2.1	锅炉运行参数	182
12.2.2	水煤浆质量对锅炉燃烧运行系统影响	182
12.2.3	水煤浆系统运行中的常见问题	183
12.2.4	环境保护及锅炉烟气治理	185
第 13 章	水煤浆在工业锅炉上的应用	186
13.1	水煤浆工业锅炉系统流程及设备	186
13.1.1	锅炉系统流程	186
13.1.2	供浆系统关键设备	187
13.2	工业燃油锅炉改烧水煤浆及应用	188
13.2.1	燃油锅炉改烧水煤浆的炉体改造技术要点	188
13.2.2	工业燃油锅炉改烧水煤浆的应用	190
13.3	水煤浆专用锅炉推广应用	192
13.3.1	水煤浆专用锅炉类型、系列	192
13.3.2	水煤浆专用锅炉流程	194
13.3.3	水煤浆专用锅炉特点	194

13.3.4	水煤浆专用锅炉的燃料费用优势	195
13.4	水煤浆在燃煤工业锅炉上的应用	196
13.4.1	燃煤锅炉改造主要技术特点	196
13.4.2	水煤浆燃烧效果	198
13.5	水煤浆流化-悬浮燃烧技术的应用	199
13.5.1	水煤浆流化-悬浮燃烧技术的工作原理	199
13.5.2	水煤浆流化-悬浮燃烧的系统构成	199
13.5.3	水煤浆流化-悬浮燃烧技术的主要优点	199
13.5.4	水煤浆流化-悬浮燃烧技术在胜利油田工业锅炉中的应用	200
第14章	水煤浆在工业炉窑上的应用	202
14.1	工业炉窑对燃料的要求	202
14.2	水煤浆燃料燃烧可达到的条件	202
14.2.1	水煤浆的燃烧温度	202
14.2.2	水煤浆燃烧产物的化学性质	203
14.2.3	水煤浆燃烧产物的清洁性	203
14.2.4	水煤浆燃烧量的可调性	204
14.2.5	水煤浆燃烧的稳定性	204
14.2.6	水煤浆的启动点火	204
14.3	水煤浆工业炉窑应用技术可行性评价	205
14.4	水煤浆在工业炉窑上的应用实例	206
14.4.1	水煤浆在冶金加热炉上的应用	206
14.4.2	水煤浆在团矿烧结炉上的应用	207
14.4.3	水煤浆在膨化窑上的应用	208
14.4.4	水煤浆在耐火材料倒焰窑上的应用	208
14.4.5	水煤浆在玻璃熔窑燃烧应用的可行性分析	209
14.4.6	水煤浆在烧碱炉上的应用	210
14.4.7	水煤浆在铬盐回转燃油加热炉上的应用	211
14.4.8	水煤浆在陶瓷行业喷雾干燥塔上的应用	212
14.4.9	水煤浆在隧道式干燥窑上的应用	213
第15章	水煤浆气化技术及应用	215
15.1	煤气化技术及发展	215
15.1.1	固定床 Lurgi 工艺	215
15.1.2	流化床 HTW 工艺	216
15.1.3	气流床煤气化技术	216
15.2	煤炭气化工艺对原料煤性质要求	216
15.2.1	煤的反应性	216
15.2.2	煤的黏结性	217
15.2.3	煤的结渣性	217
15.2.4	煤的热稳定性	217
15.2.5	煤的机械强度	218
15.2.6	煤灰熔融性	218

15.2.7	煤的灰成分	218
15.2.8	煤的粒度分布	219
15.2.9	煤中水分、灰分及硫分	219
15.2.10	各种气化炉对原料煤的技术要求	219
15.3	煤气化工艺指标及其用户适应性	220
15.3.1	煤气化技术的工艺指标	220
15.3.2	各种类型煤气化炉煤气质量(产品气组成)与适用的用户	221
15.3.3	各种类型煤气化炉的气化效率	224
15.3.4	各种类型煤气化炉的环保效果	224
15.3.5	各种类型煤气化炉适应的煤种	225
15.4	湿法(水煤浆)气化工艺	226
15.4.1	德士古(Texaco)气化工艺	226
15.4.2	多喷嘴水煤浆气化工艺	229
15.4.3	多元料浆气化工艺	235
15.5	水煤浆质量及其对气化过程的影响	237
15.5.1	水煤浆浓度	238
15.5.2	化学反应活性	238
15.5.3	水煤浆煤炭平均粒径	238
15.5.4	煤灰熔融温度与灰渣黏温特性	238
15.5.5	挥发分与灰分	239
15.6	气化水煤浆用煤选择与制浆	239
15.6.1	气化水煤浆与燃料水煤浆的特点比较	239
15.6.2	气化水煤浆用煤选择	240
15.6.3	改善和提高低阶煤成浆浓度的方法	241
第16章	水煤浆洁净煤系统综合评价及发展应用前景	245
16.1	水煤浆洁净煤系统的综合评价	245
16.1.1	评价方法和指标体系	245
16.1.2	水煤浆的洁净煤系统	245
16.1.3	水煤浆洁净煤系统的环境特性	248
16.1.4	水煤浆洁净煤系统的节能特性	249
16.1.5	水煤浆洁净煤系统的技术成熟度	249
16.1.6	水煤浆洁净煤系统运行的经济分析	250
16.2	水煤浆洁净煤系统技术的发展及应用前景	251
16.2.1	水煤浆洁净煤系统的新发展	251
16.2.2	水煤浆洁净煤系统发展趋势	253
16.2.3	水煤浆洁净煤系统应用前景	255
参考文献		257

第1章 绪论

1.1 水煤浆技术简介

水煤浆 (CWM) 是由 65%~70% 不同粒度分布的煤、30%~35% 的水和约 1% 的添加剂、经过一定的加工工艺制成的混合物, 是 20 世纪 70 年代石油危机中发展起来的一种新型低污染燃料, 又被称为液态煤炭产品。

水煤浆技术主要包括水煤浆制备技术、储运技术、燃烧应用等关键技术, 是一项涉及多门学科的系统技术。

水煤浆具有燃烧效率高, 污染物排放低的特点, 可用于电站锅炉、工业锅炉和工业窑炉, 代油、代气、代煤燃烧, 亦可作为气化原料, 用于生产合成氨、合成甲醇等。水煤浆技术是现阶段最适宜的代油、环保、节能技术, 发展水煤浆技术, 用煤制取清洁燃料 (气化原料) 是我国能源稳定发展战略和现实选择。

水煤浆技术发展一直受到国家政府部门的关心和支持, 国家几届领导高度重视水煤浆技术的应用。经国务院 2000 年 2 月 27 日批准的由国家科委、经贸委签发的第 7 号令中, 将水煤浆与水煤浆技术列为《当前国家重要鼓励和发展的产业、产品和技术目录》。此外, 在国家《能源节约与资源综合利用“十五”规划》、《当前优先发展的高技术产业化重点领域指南》、《外商投资指导目录》、《节约和替代燃料油“十五”规划》及发改委高技 [2004] 1224 号文, 在节约和替代石油关键技术中, 明确重点开发“单线 50 万吨水煤浆生产关键技术, 低阶煤制备关键技术、高效水煤浆燃烧及应用技术, 形成单线 50 万吨水煤浆生产工艺, 吨浆综合成本降低 20% 左右, 喷嘴寿命 20000 小时以上。”在国家制订的“中国节能重点发展技术”中要发展“水煤浆制备和应用一体化技术。”

1.2 煤炭能源与发展水煤浆的意义

1.2.1 煤炭在我国能源中的地位

中国能源资源丰富。在常规能源 (煤、油、气和水能) 中, 已探明 (技术可开发) 的总资源量超过 8230 亿吨标准煤, 探明剩余可采总储量 (经济可开发) 1392 亿吨标准煤, 占世界总量的 10.1%。中国能源资源储量的结构为: 煤炭 87.4%、石油 2.8%、天然气 0.3%、水能 9.5%。能源探明剩余可采储量的结构为: 煤炭 58.8%、石油 3.4%、天然气 1.3%、水能 36.5%, 煤炭在中国能源资源储量中占绝对优势地位, 油、气资源量很少, 见图 1-1。

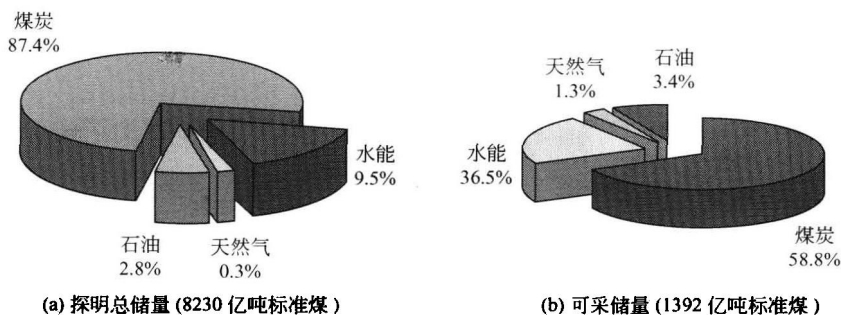


图 1-1 中国能源资源探明储量和可采储量及结构

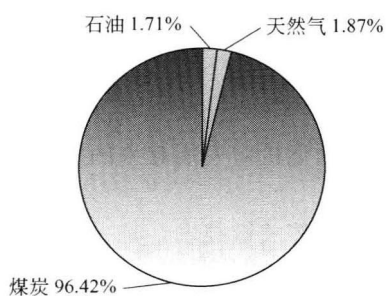


图 1-2 2008 年中国化石能源资源基础储量构成

中国煤炭资源占化石能源资源总量的 96% 以上, 远大于石油和天然气资源量, 这一条件决定了中国以煤为主的一次能源生产和消费结构在未来相当长一段时间内难以改变, 也使以煤为原料生产化工产品以弥补石油资源的不足成为一种选择, 2008 年中国化石能源资源基础储量构成见图 1-2。

从总量上看, 中国能源资源基础储量较多, 但人均储量非常少, 2008 年中国主要能源基础储量及人均储量见表 1-1。提高资源利用效率、节能降耗, 是中国缓解能源资源约束的现实选择。

表 1-1 2008 年中国主要能源基础储量及人均储量

能源种类	基础储量	人均储量
石油	289043 万吨	2.18t
天然气	34049.62 亿立方米	2563.94m ³
煤炭	32614400 万吨	245.59t

资料来源: 中国统计年鉴 2009。

以煤炭资源为主的能源结构决定了中国是煤炭生产与消费的大国。据统计, 2009 年世界煤炭产量和煤炭消费量分别为 69.41 亿吨和 66.74 亿吨 (占世界煤炭总产量和总消费量的 45.6% 和 46.9%), 全国原煤产量和煤炭消费量分别占一次能源的 77.3% 和 70.4%, 充分说明我国能源消费是以煤炭为主, 这种能源构成状况在今后相当长的时期内难以改变。

随着经济发展和人民生活水平的提高, 石油、天然气需求大幅度增加, 到 2020 年左右, 石油缺口将超过消费总量的 50%。石油资源的日趋减少, 价格的上下波动, 使中国的能源安全问题日益突出, 水煤浆作为一种具有战略意义的洁净能源受到重视。

1.2.2 发展水煤浆的意义

煤炭是我国的主要能源, 在未来相当长的时间内不会改变。国家实施洁净煤计划, 把洁净煤技术作为提高煤炭利用效率, 减少环境污染的重要手段, 正在受到社会各界越来越多的关注, 发展包括水煤浆技术在内的洁净煤技术是摆在国人面前的紧迫任务。控制煤炭在利用过程中造成的污染, 减排 SO₂、CO₂、TSP 及 NO_x, 节约煤炭, 是促进我国能源安全供应, 实施可持续发展能源战略的必然要求和现实选择。

水煤浆技术是将固体的煤燃料变成流态的煤燃料, 使其具备了类似重油的液态燃烧应用

特点,这对于推动煤炭的清洁利用具有重要现实意义,发展水煤浆技术不仅可以取得很好的环境效益,还可以取得可观的代油经济效益和节能效益。

1.2.2.1 发展水煤浆的环保效益

我国工业锅炉约有60万台,窑炉16万台。其中约85%是燃用煤炭。燃煤锅炉量大、面广、运行效率低(平均燃烧效率65%左右)。由于原煤灰分高、燃烧效率低,导致煤在燃烧过程中产生的 SO_2 、 NO_x 、 CO_2 等污染物对大气环境造成了严重的污染。据统计,我国大气中 SO_2 排放的90%、烟尘排放的70%都是由于直接燃烧原煤造成的煤烟型污染。为减少燃煤造成的环境污染,改善环境质量,国家环保局已于2000年明确规定大中城市生活用锅炉禁止烧原煤。

水煤浆是一种煤基洁净燃料,用其代替燃煤锅炉、窑炉燃烧,可减少污染,取得明显的环保效益。用水煤浆清洁燃料作为城市锅炉集中供热或热电联供,替代国内50余万台中小型层燃锅炉直接烧散煤,即可以取消城市煤场,减少散煤运输污染排放。发展水煤浆之所以可以取得环保效益,主要是由于水煤浆的生产制备过程、储存运输方式及燃烧利用等全过程都是清洁的。

(1) 水煤浆生产的环境特性 制备水煤浆所选用的原料煤通常是洗精煤,灰分、硫分含量要比原煤低得多。国内现有的制浆厂原料煤灰分为5%~10%,硫分为0.3%~0.8%,比商品煤的灰分低20%左右。水煤浆是以物理方法加工而成的。它是由65%左右的煤,35%左右的水及1%的添加剂经过破碎,湿法磨制成粗浆,再经搅拌、捏混、强化高剪切处理、滤浆等环节。每个环节都是在密闭的容器内进行,一般不会出现跑、冒、滴、漏。

此外,水煤浆厂在设计时还考虑了生产事故的处理措施。如在车间设置有废浆桶、废浆池等废浆处理设施,还设置有浓缩机、厂外废水沉淀池等废水回收处理装置,因此,可以说水煤浆的生产制备过程可以真正做到固、液、气污染物的零排放。

水煤浆是一种黏稠的流体,由于具有一定的稳定性,可以用储罐储存。水煤浆又具有较好的流动性,可以用管道、槽罐汽车、铁路罐车和船舶运送。水煤浆的储运都是在密闭状态下,不会有泄露。因此,整个储运过程是清洁的,既减少损失又不污染环境。而煤炭是散装堆放,贮运中所损失的3%~5%煤炭,会造成对环境的污染。此外,水煤浆是煤水基燃料,在生产和储运过程中,比油、气更具有安全性,不存在自燃着火和粉尘飞散等问题。

(2) 水煤浆燃烧应用的环境特性 水煤浆燃烧与其他燃料燃烧一样,会产生污染物,但它与直接燃煤相比,污染物排放少。这是由于水煤浆具有低灰、颗粒细、选用的是雾化或流化——悬浮的燃烧技术,具有高效、洁净的燃烧特点。其燃烧效率可以达98%,因此,水煤浆燃烧后其除尘及出灰量比常规燃煤下降75%左右。

水煤浆由于含有多的水分(30%左右),其火焰温度要比同种煤粉低100~200℃,可实现低温 NO_x 燃烧;同时,蒸汽在此过程中有还原作用,会使部分 NO_x 还原成 N_2 ;水煤浆燃烧火焰高温区相对分散,空气过剩系数小。这些因素都对 NO_x 的生成有所抑制,致使 NO_x 生成量和排放量大大降低。试验表明,水煤浆燃烧时 NO_x 的排放量是煤粉的(1~2)/ 10^4 ,比油低得更多。

水煤浆具有低硫的特点,其全硫含量约为0.3%~0.5%;水煤浆制备时煤粉磨得很细,且输送是液态方式,这就有条件加入钙系或镁系等脱硫剂与细煤粉均匀混合,进行有效脱硫。国内外试验研究表明:制浆中不添加脱硫剂时, SO_2 的排放量可以降低20%左右,制浆中添加脱硫剂,硫的总脱除率可达50%~75%。

燃烧水煤浆的烟囱排放都呈白色,林格曼黑度都在1级或0.5级以下,甚至可以达到零

级,各项排放指标均达到环保要求。

对于燃煤的单位,由于无煤场和制粉系统,具有生产流程简化、节省人力和资金投入较少的特点,另外,其环境粉尘、噪声污染也有很大的降低,也提高了燃料使用全过程中的安全性。总之,燃烧水煤浆可极大地减少环境污染,产生明显的环境效益。

多年来水煤浆技术在一些工业锅炉、电站锅炉及窑炉上应用,取得良好的环境效果。国家及地方环境检测部门多次对各类燃烧水煤浆锅炉进行环境检测,其监测报告显示,燃烧用水煤浆燃料的环境特性是好的,烟气中的各项污染物排放均都符合国家及地区制定的排放标准。其实例如下。

① 电站燃水煤浆锅炉 以燕山石化三电站的 220t/h 燃水煤浆锅炉为例,在采用三级电场除尘的基础上,投资了 3760 万元用于烟气治理,采用气动脱硫工艺技术,选用氧化钙或氢氧化钙作为脱硫剂制成脱硫浆液。在塔内与烟气对流进行传质、传热化学反应,使 SO_2 与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生反应生成石膏排出。同时还由于脱硫浆液与烟气在一定比例下保持充分搅动、混合以达到降尘。燕山石化先进的烟气综合治理技术使水煤浆锅炉烟尘和 SO_2 排放浓度分别控制在 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $100\text{mg}/\text{m}^3$ (标准状态,下同)以下,并顺利通过了北京市环保部门的验收。

② 工业锅炉 燕山石化星城供热站的一台 QXS14-1.25- Y_2 型燃油热水炉改烧水煤浆为小区供暖,在采用多管及泡沫塔除尘脱硫设置,经北京市环境保护监测中心检测烟气粉尘和 SO_2 排放量分别控制在 $23\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $42\text{mg}/\text{m}^3$,达到了北京市 2002 年 3 月 1 日实施的《锅炉污染物综合排放标准》DB11/139—2002B 类区 II 时段的要求。

③ 炉窑燃烧水煤浆 以佛山陶瓷行业的辉圣和诗曼丽两家陶瓷有限公司的水煤浆旋风式热风炉为例,在采用布袋除尘措施后,经佛山市禅城区环境监测站对辉圣公司的炉窑监测,其 SO_2 和粉尘的排放浓度分别为 $60\sim 70\text{mg}/\text{m}^3$, $38\sim 85\text{mg}/\text{m}^3$;诗曼丽公司的 SO_2 排放浓度为 $38\sim 85\text{mg}/\text{m}^3$,粉尘浓度为 $20\sim 160\text{mg}/\text{m}^3$ 。

1.2.2.2 发展水煤浆的代油经济效益

我国是贫油国家,在化石燃料中石油仅占 1.7%。随着我国经济的发展及用油需求量的增大,我国石油不得不依赖进口,自 1993 年我国已经开始成为石油净进口国家,2008 年我国石油净进口量已经达到 1.79 亿吨。2010 年国产原油只能满足需求量的 58%,预计今后几年我国石油对国际市场的依赖程度将达 50%以上。因此,立足于我国能源资源的特点,开发煤代油技术是一项基本的能源政策,对缓解我国石油资源紧张、对我国的经济建设和能源安全具有战略意义,而水煤浆是石油的理想替代燃料。我国如用水煤浆替代部分燃油,这将对充分利用我国丰富的煤炭资源,节约宝贵的石油资源,节省外汇,获得可观的经济效益,具有重要的现实意义和战略意义。

为缓解石油供需矛盾,国内很多用油企业纷纷将燃油锅炉改造成燃烧水煤浆的锅炉。由于 2.2t 水煤浆的热值相当于 1t 原油,而 2.2t 水煤浆的售价远低于 1t 原油的售价,特别是仅为 1t 重油价格的 40%~50%,即代油后燃料费用降低 50%~60%。电厂锅炉应用也表明,燃用水煤浆燃烧效率大于 98%,达到燃油等同水平,环保质量高于燃油 (SO_2 、 NO_x 低),操作方便,运行稳定可靠,是一种现实的代油燃料。因此,用油企业不管哪种容量的锅炉,只要用水煤浆替代油燃烧,都能取得明显的经济效益。

胜利油田华新水煤浆厂采用水煤浆流化-悬浮燃烧锅炉替代燃油锅炉,以 2008 年燃料价格计算,该年油价格为 2240 元/t,水煤浆出厂价格为 680 元/t,燃水煤浆的锅炉正平衡热效率为 89.96%,同等容量的燃油锅炉的热效率最高为 87%,经计算得到每代替 1t 原油可