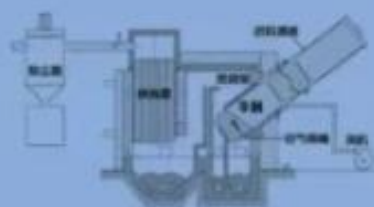




农林废弃物燃料 燃烧设备的设计与试验

刘圣勇 张品 等 著



首批全国优秀出版社



中国农业出版社
农林废弃物出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

农林废弃物燃料燃烧设备的设计与试验 / 刘圣勇等
著. —北京 : 中国农业出版社, 2023. 8
ISBN 978-7-109-31018-6

I. ①农… II. ①刘… III. ①农业废物—燃烧设备—
设计—研究 IV. ①X71

中国国家版本馆 CIP 数据核字 (2023) 第 159010 号

中国农业出版社出版

地址: 北京市朝阳区麦子店街 18 号楼
邮编: 100125
责任编辑: 史佳丽
版式设计: 王 晨 责任校对: 吴丽婷
印刷: 中农印务有限公司
版次: 2023 年 8 月第 1 版
印次: 2023 年 8 月北京第 1 次印刷
发行: 新华书店北京发行所
开本: 700mm×1000mm 1/16
印张: 17.25
字数: 330 千字
定价: 70.00 元

版权所有·侵权必究

凡购买本社图书, 如有印装质量问题, 我社负责调换。
服务电话: 010-59195115 010-59194918

著 者 委 员 会

主任委员：刘圣勇 张 品

委 员：贺 超 王振中 青春耀 孙英合 马红东

孙中仁 秦立臣 黄 黎 陶红歌 冯 坤

著 者（按姓名笔画排序）：

Nadeem Tahir 马红东 王 炯 王洪泉 王振中

王鹏晓 王 毅 孔令晨 田利英 冯少华

冯 坤 任天宝 任常忠 刘圣勇 刘进军

刘春雨 刘 亮 刘洪福 刘婷婷 孙中仁

孙英合 沈连峰 张 品 张 涛 张舒晴

青春耀 赵向南 贺 超 秦立臣 贾卓娅

夏许宁 徐如军 陶红歌 黄 黎 鲁 杰

温 萍 管泽运 翟万里 翟顺才

目 录

1 绪 论	1
2 生物质成型燃料	4
2.1 国外生物质成型燃料燃烧设备发展现状	4
2.2 我国生物质成型燃料燃烧设备发展现状	5
3 生物质成型燃料燃烧特性理论分析	8
3.1 生物质成型燃料点火理论分析	8
3.1.1 点火理论分析	8
3.1.2 影响点火的因素	9
3.1.3 点火特性	9
3.2 生物质成型燃料燃烧机理分析	10
3.3 生物质成型燃料燃烧动力学方程分析	11
3.3.1 生物质成型燃料燃烧动力学方程	11
3.3.2 差热峰面积	13
3.3.3 差热结果分析	14
3.4 生物质成型燃料燃烧速度及影响因素分析	14
3.4.1 生物质成型燃料燃烧速度表示方法	14
3.4.2 生物质成型燃料燃烧速度影响因素分析	15
3.5 生物质成型燃料燃烧特性	17
3.5.1 生物质燃料特性	17
3.5.2 原生物质燃烧特性	17
3.5.3 生物质成型燃料燃烧特性	18
3.6 本章小结	18
4 I 型生物质成型燃料燃烧设备的设计	19
4.1 燃烧设备设计指导思想	19
4.2 燃烧设备主要设计参数	20

4.3 生物质成型燃料燃烧设备设计	21
4.3.1 燃烧设备结构总体设计	21
4.3.2 燃烧设备热效率、燃料消耗量和保热系数计算	22
4.3.3 炉膛及炉排的设计	24
4.3.4 辐射受热面的设计	27
4.3.5 对流受热面的设计	28
4.3.6 燃烧设备引风机选型	30
4.4 本章小结	32
5 I型生物质成型燃料燃烧设备热性能试验与分析	34
5.1 试验目的	34
5.2 试验方法及使用仪器	34
5.2.1 试验方法	34
5.2.2 试验所用仪表	37
5.3 试验结果与分析	37
5.3.1 过剩空气系数与生成 CO 的关系	42
5.3.2 过剩空气系数与生成三原子气体 RO_2 的关系	43
5.3.3 过剩空气系数与生成 NO_x 的关系	45
5.3.4 过剩空气系数 α_{py} 与烟尘 YC 的关系	46
5.3.5 过剩空气系数与主要热损失的关系	47
5.4 本章小节	51
6 II型生物质成型燃料燃烧设备改进设计	52
6.1 生物质成型燃料的参数选取	52
6.2 生物质成型燃料燃烧设备本体改进设计	54
6.3 生物质成型燃料燃烧设备炉膛及炉排的改进设计	57
6.4 生物质成型燃料燃烧设备辐射受热面改进设计	59
6.5 生物质成型燃料燃烧设备对流受热面改进设计	61
6.6 风机的选型	63
6.7 小结	65
7 II型生物质成型燃料燃烧设备的热性能试验	66
7.1 试验目的	66
7.2 试验依据	66
7.3 试验仪器	66

7.4 试验内容及结果分析	67
7.4.1 正平衡试验结果比较	67
7.4.2 反平衡试验结果比较	67
7.4.3 试验结果分析	70
7.5 小结	77
8 生物质成型燃料链条锅炉设计	78
8.1 生物质链条炉排层燃特性分析	78
8.1.1 层燃的一般过程	78
8.1.2 层燃的热质交换	79
8.1.3 层燃的主要化学反应	80
8.1.4 链条炉排上的层燃过程	80
8.1.5 链条炉排上燃料层的气体分布	82
8.1.6 链条炉排上生物质燃烧的稳定性	83
8.1.7 生物质燃料性质对层燃的影响	83
8.2 生物质成型燃料链条锅炉炉膛结构的设计	84
8.2.1 设计原则	85
8.2.2 新型炉膛结构与技术特点	86
8.2.3 炉膛几何特性研究	89
8.2.4 炉膛传热特性研究	90
8.3 生物质成型燃料链条锅炉炉膛的设计计算	93
8.3.1 锅炉整体结构与设计参数	93
8.3.2 链条炉排的设计计算	94
8.3.3 炉膛的设计计算	95
8.4 生物质成型燃料链条锅炉受热面结构设计及热力计算	97
8.4.1 辐射受热面结构设计及热力计算	97
8.4.2 八字烟道对流管束的热力计算	99
8.4.3 螺旋烟管的结构设计及热力计算	100
8.4.4 省煤器的结构设计及热力计算	101
8.4.5 受热面热力计算汇总	103
8.5 生物质成型燃料链条锅炉风烟系统计算	103
8.5.1 通风阻力计算原理	103
8.5.2 烟风道阻力计算	105
8.5.3 送、引风机的计算和选型	106
8.6 生物质成型燃料链条锅炉的防结渣设计	107

8.6.1	设计原则	108
8.6.2	生物质锅炉炉膛的防结渣设计分析	108
8.6.3	除渣装置的选型	109
8.7	本章小结	111
9	生物质成型燃料链条锅炉的热性能试验	112
9.1	试验目的	112
9.2	试验材料与仪器	112
9.3	试验方法	113
9.4	试验结果与分析	113
9.5	锅炉正反平衡烟效率分析	115
9.5.1	锅炉正平衡烟效率	115
9.5.2	锅炉反平衡烟效率	115
9.5.3	正反平衡烟效率计算结果	116
9.5.4	结果分析	117
9.6	本章小结	118
10	新型炉膛温度场与气体浓度场分布规律测试试验	120
10.1	试验目的与意义	120
10.2	试验仪器	120
10.3	试验方法	121
10.4	试验结果与分析	121
10.4.1	炉膛温度场测试试验	121
10.4.2	炉膛气体浓度场测试试验	123
10.5	本章小结	124
11	农作物秸秆打捆燃料	126
11.1	农作物秸秆打捆资源现状	126
11.1.1	农作物秸秆打捆机械情况	126
11.1.2	农作物秸秆打捆资源情况	127
11.2	秸秆捆烧技术及设备研究现状	129
11.2.1	生物质打捆燃烧技术	129
11.2.2	国外生物质捆烧的研究现状	129
11.2.3	国内生物质捆烧的研究现状	133
11.3	生物质层燃锅炉燃烧过程数值模拟研究现状	134

11.3.1 生物质床层燃烧模型	135
11.3.2 生物质炉膛燃烧模型	138
12 秸秆打捆燃料燃烧特性和影响因素	140
12.1 实验原料和方法	140
12.1.1 实验原料	140
12.1.2 实验装置和方法	141
12.2 结果分析	144
12.2.1 TG-DTG 曲线分析	144
12.2.2 秸秆动力学参数的计算	145
12.2.3 秸秆打捆燃烧过程中的温度变化	148
12.2.4 秸秆打捆燃烧过程中燃料质量的变化	151
12.2.5 秸秆打捆燃烧过程中烟气的变化	151
12.2.6 一次风风量对秸秆打捆燃料燃烧特性的影响	152
12.2.7 秸秆种类对打捆燃烧的影响	159
12.2.8 秸秆打捆燃料燃烧的动力学特性	160
12.3 本章小结	162
13 秸秆捆烧设备的设计	163
13.1 秸秆捆烧设备设计指导思想	163
13.2 秸秆捆烧锅炉的设计计算	163
13.2.1 燃料的选取	163
13.2.2 秸秆捆烧锅炉的热力计算	164
13.3 炉排的设计	167
13.3.1 炉排形式的选取	167
13.3.2 炉排的倾角设计	170
13.3.3 炉排的尺寸设计计算	170
13.4 炉膛的设计	171
13.5 燃烬室的设计	171
13.6 炉拱的设计	172
13.6.1 炉拱的设计方法	172
13.6.2 炉拱的动量设计法	173
13.7 配风设计	174
13.8 传热计算	175
13.8.1 炉膛传热计算	175

13.8.2 对流受热面传热计算	177
13.9 烟气净化除尘系统设计	179
13.10 秸秆捆烧设备结构的总体设计	180
13.11 本章小结	181
14 秸秆捆烧锅炉的数值模型	182
14.1 床层模型	182
14.1.1 模型假设	183
14.1.2 气相控制方程	183
14.1.3 固相控制方程	184
14.1.4 秸秆打捆燃料内部物理化学反应模型	185
14.2 炉膛气相燃烧的控制方程	188
14.3 床层和炉膛的耦合	188
14.4 湍流模型和辐射传热模型	189
14.5 数值计算方法及边界条件	189
14.6 本章小结	189
15 秸秆捆烧锅炉炉拱与配风的数值优化设计	190
15.1 炉拱确定	190
15.1.1 前拱倾角对炉内燃烧影响的数值分析	190
15.1.2 后拱倾角对炉内燃烧影响的数值分析	192
15.1.3 后拱覆盖长度对炉内燃烧影响的数值分析	193
15.1.4 前后拱的确定	195
15.2 配风的优化选择	197
15.2.1 一次风配风方式对炉内燃烧影响的数值分析	197
15.2.2 推迟配风的风量分配	199
15.2.3 二次风布置对炉内燃烧影响的数值分析	201
15.2.4 配风方式及风量配比的确定	204
15.3 本章小结	204
16 秸秆捆烧锅炉运行试验	206
16.1 试验仪器及试验材料	206
16.2 锅炉测试内容及方法	207
16.3 热工试验结果	208
16.4 锅炉结渣问题	210

16.5 燃烧机理模型	212
16.6 炉膛内过量空气系数对锅炉性能的影响	213
16.7 本章小结	215
17 生物质粉体燃料	216
17.1 生物质粉体燃料的物理特性分析	216
17.1.1 生物质粉体堆积密度	216
17.1.2 生物质粉体燃料机械耐久性	216
17.2 生物质粉体燃料的化学特性分析以及热值分析	217
17.2.1 生物质工业成分分析	217
17.2.2 生物质粉体元素成分分析	218
17.2.3 生物质热值分析	218
17.3 影响生物质粉体燃烧的因素	220
17.3.1 挥发分	220
17.3.2 粒径	220
17.3.3 灰分	220
17.3.4 含水量	221
17.4 生物质粉体燃烧的优点	222
17.5 生物质粉体燃烧的基础特性	223
17.6 生物质粉体燃料悬浮燃烧技术	223
17.7 本章小结	224
18 生物质悬浮燃烧器的设计	225
18.1 基本参数计算	226
18.1.1 理论空气量与实际空气量的确定	226
18.1.2 理论烟气量与实际烟气量的计算	227
18.2 进料系统的设计	228
18.2.1 进料螺旋的设计	229
18.2.2 料仓的设计	230
18.3 燃烧系统的设计	230
18.3.1 炉排的设计	231
18.3.2 预燃室的设计	231
18.3.3 预燃室容积的计算	232
18.3.4 预燃室特征参数值的计算	232
18.4 供风系统的设计	233

18.4.1 一二次风量的计算	233
18.4.2 一次风机的选型	234
18.4.3 二次风机的选型	235
18.6 点火装置的选择	236
18.7 本章小结	237
19 生物质锅炉炉膛的设计	238
19.1 炉膛的设计原则	238
19.2 炉膛的设计计算	239
19.2.1 炉膛容积的设计计算	239
19.2.2 炉膛截面积的计算	239
19.3 生物质锅炉受热面的设计	240
19.3.1 辐射受热面的计算	241
19.3.2 对流受热面的计算	241
19.4 本章小结	242
20 生物质悬浮燃烧器热性能测试	243
20.1 试验原料	243
20.2 试验装置	243
20.3 分析方法和仪器	244
20.4 试验步骤	244
20.5 试验结果	245
20.6 结果与讨论	247
20.6.1 粉体浓度与预燃室温度	247
20.6.2 一二次风配比与预燃室温度	248
20.6.3 预燃室及炉膛温度分布	248
20.6.4 燃烧尾气的分析	249
20.6.5 灰渣分析	249
20.6.6 燃烧热损失	250
20.6.7 燃烧效率	252
20.7 本章小结	252
参考文献	254

绪 论

随着经济社会发展,世界各国对能源的需求激增,化石能源的不可再生性决定其终将走向枯竭,可再生能源的开发迫在眉睫。世界各国都对可再生能源的开发与研究十分重视,预计到2040年,可再生能源将成为全球最大的发电来源,主要包括风能、太阳能、地热能和生物质能。

生物质能指的是通过光合作用,将太阳能转化为化学能的形式储存在生物质内的能量。世界生物质能每年总产量能达到2000亿t左右,在世界能源消费总量中居第四位,仅次于煤炭、石油和天然气。生物质能在整个能源系统中占有重要地位,若能加以有效利用,必将在世界能源问题的解决中发挥重要作用。与煤、石油等传统燃料相比,生物质能具有以下优势:

(1) 储量巨大,可再生性。数据显示,世界生物质能潜在可开发能量达到350EJ/年,折合约82.12亿t标准油,相当于2009年世界能源消耗量的73%。在传统能源日渐枯竭的背景下,生物质能作为唯一可再生的能源,也是唯一可以转化为气、液、固3种形态的可再生能源,可作为理想的替代能源。

(2) 环保性。生物质能是一种清洁、低碳能源,燃料中硫元素、氮元素及灰分的含量较低,燃烧后产生的 SO_2 和 NO_x 及烟尘含量均比较理想,生物质能转换利用过程中 CO_2 的零排放也对减轻温室效应贡献显著。

生物质能的高效利用已成为世界能源重大课题之一,受到世界各国政府及社会各界的广泛关注。2015年全球可再生能源现状报告统计显示,2014年全球生物质能装机容量新增5GW,总装机容量达到93GW,其中,美国16.1GW,中国10GW,欧盟28国36GW;2014年新型生物质供热装机容量新增9GW,总装机容量达到305GW;生物质能发电量达到433TW·h,生物乙醇年产量达到940亿L,生物柴油年产量达到297亿L,氢化植物油年产量达到4亿L,生物质液体燃料的研究已经收到一定成效。全球实行生物燃料强制或责任制的国家达到64个;2014年全球生物质燃料投资额新增51亿美元,生物质能和垃圾发电投资额新增84亿美元;生物质能发电、供热、生物质燃料及沼气共提供就业人数约290万人。

中国作为世界农业大国，生物质能储量极其丰富，农作物秸秆每年产量超过 7.5 亿 t，薪柴和林业废弃物每年的开发量超过 6 亿 t。据统计，21 世纪初期，平均每年在田间焚烧的无法处理的农作物秸秆高达 2 亿 t，这不仅会严重污染环境，还造成生物质能源的极大浪费，寻找高效利用生物质能源的途径刻不容缓。我国主要生物质能源所占比例如图 1-1 所示。

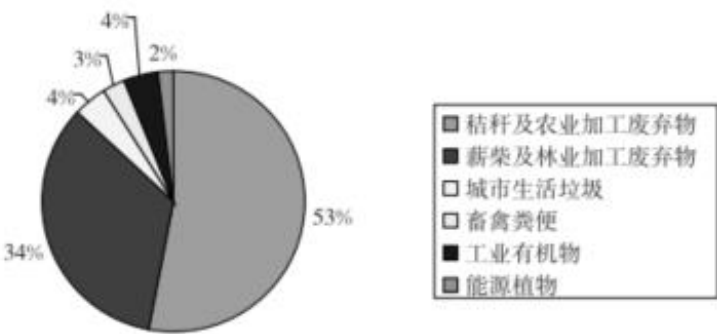


图 1-1 我国主要生物质能源所占比例

为推动生物质能源的开发与利用研究，我国政府出台了多项相关政策与制度。《中华人民共和国可再生能源法》于 2006 年 1 月正式实施，针对生物质能源的利用制定了多项规范及实施准则，并相继出台各项配套措施，为生物质能源的发展创造了有利条件。2007 年，国家发展和改革委员会制订的《中国应对气候变化国家方案》确认，2010 年后中国每年要通过发展生物质能源减少温室气体排放 0.3t CO₂ 当量。我国政府高度重视生物质能源产业的发展，已经连续四个五年计划将生物质能的开发与研究列为重点科技攻关项目，国家有关部委、各级地方政府也相继制定了多项有关生物质能源的规划、政策及条例，以确保生物质能源产业健康发展。这些政策表明，中国政府已经在各方面确立了生物质能在现代能源中的重要地位，并在相关政策上给予支持与鼓励，我国生物质能源的发展前景非常广阔。目前，生物质能利用技术，是将生物质燃料通过一定途径转化为固态、液态或气态燃料加以高效利用（表 1-1），广泛应用于发电、供热、运输等多个领域。

表 1-1 生物质能源主要利用技术

原料	来源	技术类型	产品	用途
农林废弃物	农林作物生产	直燃发电技术	电力	发电、供热
		混合燃烧发电技术		
		气化集中供气技术	生物质燃气	发电、炊事、采暖
		沼气技术	沼气	

农林废弃物燃料 燃烧设备的设计与试验



☆ 欢迎登录中国农业出版社网站: <http://www.ccap.com.cn>

☎ 欢迎拨打中国农业出版社读者服务部热线: 010-59194918, 65083260

🛒 购书敬请关注中国农业出版社
天猫旗舰店:



中国农业出版社
官方微信