

DOI:10.3969/j.issn.1674-1951.2021.10.005

生物质循环流化床发电技术研究进展

Research progress on biomass power generation in CFB boilers

张开萍¹, 张洪福¹, 高明明^{1*}, 王勇², 马聪²

ZHANG Kaiping¹, ZHANG Hongfu¹, GAO Mingming^{1*}, WANG Yong², MA Cong²

(1. 新能源电力系统国家重点实验室(华北电力大学), 北京 102206; 2. 华电国际电力股份有限公司
天津开发区分公司, 天津 300270)

(1.State Key Laboratory of Alternate Electrical Power System with Renewable Energy Sources(North China
Electric Power University), Beijing 102206, China; 2.Tianjin Development Area Branch of
Huadian Power International Corporation Limited, Tianjin 300270, China)

摘 要: 生物质能作为可再生能源, 可有效解决化石能源短缺问题, 因此对生物质能的开发及应用技术的研究逐渐成为关注焦点。生物质能的种类丰富、应用技术多样, 其在火力发电领域的应用也越来越多。同时, 基于循环流化床的生物质发电技术也逐渐开始发展。介绍了生物质能在我国的发展近况及现有的生物质循环流化床发电技术, 主要针对直燃式、直接共燃式和间接耦合式循环流化床这 3 种技术的研究进行了讨论。最后总结了目前生物质循环流化床发电技术发展中需解决的问题, 以及该技术在“双碳”目标下的发展前景。

关键词: 生物质能; 循环流化床; 直燃式; 间接耦合式; 直接共燃式; 碳中和; 生物质耦合; 掺烧

中图分类号: TK 16: TM 611

文献标志码: A

文章编号: 1674-1951(2021)10-0043-07

Abstract: As a renewable energy, biomass energy can effectively solve the problem of fossil energy shortage, so the research on the development and application technology of biomass energy has gradually become the focus of attention. Biomass energy has a variety of types and application technologies, and its application in the field of thermal power is also increasing. At the same time, biomass power generation technology based on circulating fluidized bed has gradually begun to develop. The recent development of biomass energy in China is briefly introduced, and the existing biomass circulating fluidized bed power generation technology is expounded. The research on the three technologies of direct combustion, direct co-combustion and indirect coupling circulating fluidized bed is mainly discussed. Finally, the problems to be solved in the development of biomass circulating fluidized bed power generation technology and the technology in the 'dual carbon' target development prospects.

Keywords: biomass energy; circulating fluidized bed; direct combustion; indirect coupling; direct co-combustion; carbon neutrality; biomass coupling; blended burning

0 引言

随着社会的不断发展, 化石燃料的需求与消耗逐渐增大, 存量不断减小, 其不可再生性导致急需找到合适的替代能源^[1]。生物质能作为一种可再生能源, 其资源相当丰富, 我国的年均生物质能总量折合约 5 亿 t 标准煤, 约为能源消费总量的 10% 左右。生物质能作为资源丰富、可再生、分布地域广的绿色能源, 被公认为当前最具前景的绿色能源之

—^[2-3]。近年来, 生物质发电行业逐渐兴起, 并且在我国取得了一定程度的发展。生物质发电不仅有助于实现碳中和目标, 还可替代部分煤电, 成为电网调峰的重要力量。

本文着重介绍生物质循环流化床(CFB)发电技术的应用, 分析 3 种生物质 CFB 锅炉发展近况及研究难点, 并展望生物质 CFB 发电的前景。

1 生物质发电技术

1.1 生物质发电现状

生物质能的种类丰富, 目前可被有效利用的生物质主要包括植物类的农林木材、杂草和农作物等, 以及非植物类的动物粪便、垃圾、废水中的有机

收稿日期: 2021-05-07; 修回日期: 2021-06-07

基金项目: 山西省揭榜招标项目(20191101013); 中国华电集团科技项目(CHDKJ19-01-88); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2019MS019)

物^[4]。生物质能利用方式主要有直接燃烧、厌氧消化制取沼气、压缩成型燃料、气化、制乙醇、液化、制氢和制柴油等。

目前国内用于发电的生物质能源主要有沼气、农林作物、生活垃圾等^[5]。近 10 年来,我国生物质发电装机容量增长速率逐渐加快,如图 1 所示。截至 2020 年我国生物质装机容量累计达到 29.52 GW,且近 3 年我国总装机容量增长比例都达到了 20% 以上。在我国新增生物质装机容量中,农林生物质发电和垃圾发电的新增装机容量比重较大,如图 2 所示。用于生物质发电的锅炉主要有炉排锅炉和 CFB 锅炉,其中生物质 CFB 发电技术可以实现生物质气化利用和生物质直燃利用。

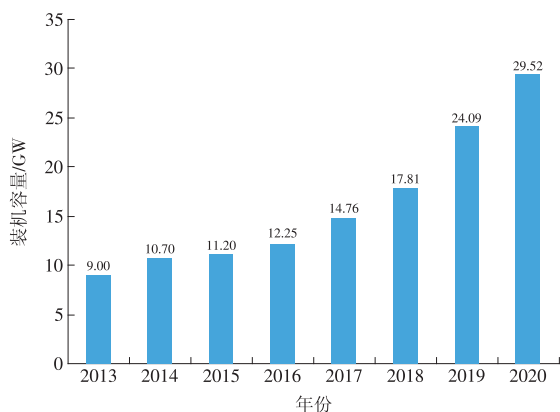


图 1 2013—2020 年中国生物质发电累计装机容量

Fig. 1 Cumulative installed capacities of biomass generated power from 2013 to 2020 in China

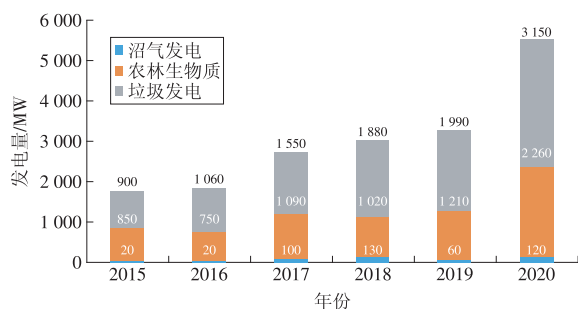


图 2 2015—2020 年全国生物质发电新增并网情况

Fig. 2 New grid-connected capacities of biomass generated power from 2015 to 2020 in China

1.2 生物质 CFB 发电技术

燃煤 CFB 锅炉在我国的发展相对比较成熟,锅炉制造工艺成熟,各种辅机设备齐备,为设计适合生物质能利用的循环 CFB 锅炉提供了坚实的技术基础。CFB 锅炉具有燃烧稳定的优势,炉膛温度仅需保证在 850~900 ℃,材料的耐高温性比普通锅炉低,因此其制造成本相对更低。CFB 锅炉内部物料处于剧烈的运动及循环过程中,物料在内部的停留时间较长,因此即使燃料粒径大,仍能保证较高的燃尽

率。同时,CFB 锅炉能保证较低的污染物排放。较低的床温以及疏密相间的区分有助于减少 NO_x 的生成;使用炉内石灰石脱硫和炉外石灰水吸收 SO₂ 的炉内外结合脱硫方式,能够更简单、经济地达到污染物排放标准^[6]。

生物质 CFB 发电技术主要有直燃式发电、共燃式发电、耦合发电^[7]。生物质直燃式锅炉单纯燃烧生物质燃料,用于处理生物质垃圾和农林废弃物,国内小型环保锅炉多采用直燃式。共燃式是将生物质燃料与燃煤混合燃烧,这种方式对于燃料适应性强的 CFB 锅炉有较好的效果。耦合发电分为并联耦合与间接耦合。并联耦合是将生物质燃料单独燃烧,与燃煤产生的蒸汽一同进入汽轮机做功,这种技术在国内应用很少,故在此不做讨论。间接耦合则是利用生物质能源的特性,将其气化形成燃气后,再送入锅炉与煤混燃^[8]。因此,目前国内应用的生物质 CFB 发电技术主要是直燃式、直接共燃式、间接耦合式。以上 3 种主要发电方式各自存在优缺点,将分别分析其研究现状与技术难点。

2 生物质 CFB 锅炉

2.1 直燃式生物质 CFB 发电技术

生物质直燃式 CFB 直接燃烧生物质燃料,是最简单直接的利用方式。目前国内的生物质直燃式 CFB 锅炉容量主要为 75 t/h 和 130 t/h 2 种规格,均已实现我国自主设计。图 3 是生物质直燃式 CFB 锅炉结构简图,其锅炉设计、结构与燃煤 CFB 锅炉基本相同,主要包括床下点火器、炉膛、分离器、回料器和尾部对流烟道,其中尾部烟道样式较多,图中红色虚线框内所示分别为单烟道和三烟道结构。生物质燃料在进入炉膛后,其燃烧过程与煤炭燃烧过程相同,分为 3 个阶段:水蒸气蒸发和燃烧物预热、挥发分析出燃烧、固定碳燃烧。

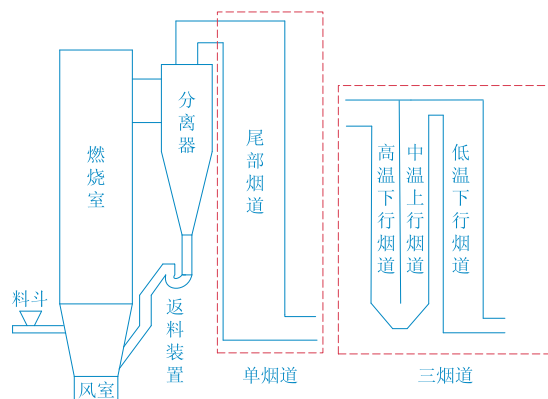


图 3 直燃式生物质 CFB 锅炉结构

Fig. 3 Structure of a direct-combustion biomass CFB boiler

由于生物质燃料的堆积密度比较小,仅为普通煤炭的 1/10,所以其给料方式和储存方式与普通燃煤 CFB 锅炉存在较大区别。电厂基础设计需要更大的储料仓,从而对于料场的安全管理难度更大。储料仓内一般会在温度过高部位安装喷水降温装置,这对于燃料的含水量有一定影响,燃料水分过高会导致烟气增多,消耗的热量也更多,增加生物质 CFB 锅炉的排烟热损失。此外,生物质能锅炉的给料量是普通锅炉的数倍,会导致给料难以满足锅炉的热负荷需求,甚至给料过程发生故障。为解决此类问题,有电厂采用大开口直推式双螺旋二级生物质给料方式,也有电厂采用无轴蛟龙输料系统,分别能够满足额定蒸发量 75 t/h 和 130 t/h 的生物质 CFB 锅炉,且长时间运行稳定可靠、效果较好^[9-10]。但是,对于后续大容量、大参数生物质 CFB 锅炉,有必要对给料系统进行改进设计。

对于直燃式生物质 CFB 锅炉,当床温控制在 800 ℃ 以内时,可以较好地燃烧秸秆等燃料,避免出现高温结渣现象。但由于床温较低和生物质燃料本身的传热特性,锅炉的出力只能达到设计值的 80%。当使用高温分离器时,分离器易出现高温结焦现象,可通过增大送风量使燃烧提前充分完成,减少分离器内的结焦。为解决过热器高温腐蚀的问题,可将高温过热器布置在外置换热器当中。但外置式换热器的投用会导致风机电耗的增加,同时检修困难。有研究发现,改变不同燃料的配比或采用低循环倍率方式可以更好地解决高温结渣腐蚀问题^[11]。根据生物质 CFB 锅炉煤的掺烧规定,其掺烧热值不得高于 20%,在规定范围内,随着掺烧比例的提高,不仅锅炉的燃烧经济性和稳定性提高,而且炉内的腐蚀、污染物排放和燃烧热损失率都明显降低^[12]。

生物质燃料与普通煤炭燃料相比,灰分更少,颗粒直径更小,所以生物质循环流化床锅炉的流化过程和分离器工作难度更大。研究者们从燃烧过程、床温和床压调节、返料机的运行及调整等方面提出了改进方式^[13-14]。生物质 CFB 锅炉和燃煤 CFB 锅炉在运行和控制时存在相同的问题,主要是非线性以及多变量耦合,文献[15]中引入字典序多目标优化和滚动时域控制原理,建立燃烧控制模型,提出了非线性预测控制算法并取得更好的控制效果。

生物质直燃式循环流化床作为生物质最直接的利用方式,主要难点有污染物排放控制及防腐蚀、满足更高热负荷的给料系统设计、锅炉的燃烧控制、一/二次风配比优化和循环流化倍率设计等。针对上述问题,可以从锅炉结构设计和燃烧运行控

制优化 2 个方面着手解决。

2.2 生物质间接耦合式 CFB 发电技术

间接耦合生物质发电技术,是指将生物质气化后送入燃煤或者燃气锅炉中燃烧进行发电,如图 4 所示。现有的生物质气化多数采用流化床锅炉。生物质气化过程需要在一定的温度条件下进行,在低氧气浓度条件下,将生物质中的高分子碳氢化合物分解为可燃的 H_2 和 CO 。生物质气化过程主要包括热解、氧化和还原。从排烟口排出的燃气含有较多杂质(水分、焦油、灰分和炭颗粒等),需要经过特殊装置进行净化和过滤处理。得到的高品质燃气可以进一步发电或供热利用。

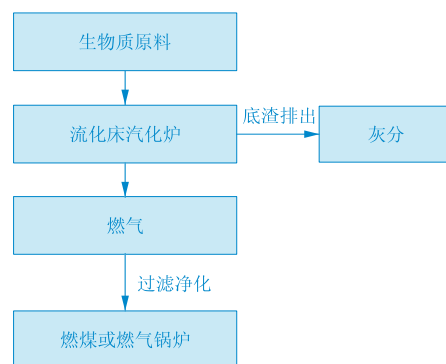


图 4 生物质气化炉流程

Fig. 4 Flow of the biomass gasification furnace

生物质气化一般采用流化床反应器和固定床反应器。前者根据流化风速的不同,可以分为鼓泡床和循环床 2 种,其结构如图 5 所示。流化床气化炉床体是由硅或橄榄石等惰性材料组成,高温情况下床体呈现类液态,燃料被送到炉内后发生反应,生成的灰分由底部排出。

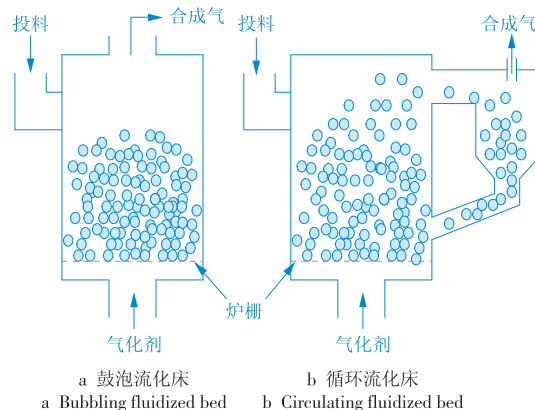


图 5 生物质流化床气化炉结构

Fig. 5 Schematic structure of the CFB gasification furnace

目前运行效果较好的间接耦合式循环流化床发电机组有芬兰 Vaskiluoti 电厂、比利时 Ruien 电厂、奥地利 Zeltweg 电厂以及国内的大唐长山热电厂和国电长源荆门发电公司 #7 机组。图 6 为芬兰 Kemi

Jarvi 电厂生物质间接耦合发电系统。国外机组使用的燃料大多是木质生物质,这类燃料的灰分、碱金属和氯含量较少,气化得到的低热值(LCV)燃气经过加热后与煤粉直流炉结合燃烧,将 CFB 分离器尾部得到的烟气送入煤粉炉燃烧,对煤粉炉的运行影响也比较小。我国作为农业大国,生物质燃料多采用农林剩余物,主要是秸秆,其碱金属、灰分和氯含量较高,所以国内机组通常需要进一步安装除尘净化设备,导致建设成本更高。同时,秸秆类燃料对共燃率和煤粉锅炉的运行影响也较大^[16-17]。

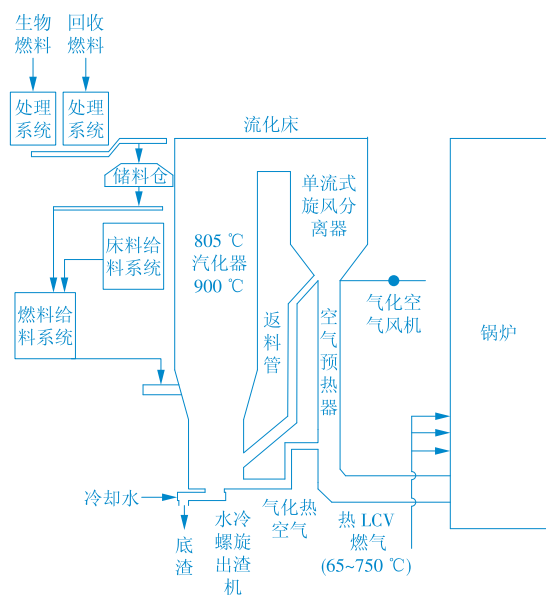


图6 芬兰 Kemi Jarvi 电厂间接耦合发电系统

Fig. 6 Indirect coupling power generation system of Kemi Jarvi Power Plant in Finland

有研究者对生物质气化过程进行了相关试验,对临界流化速度、布风挡板阻力以及床料阻力进行了分析,并提出了低倍率 CFB 气化生物质的可行性^[18]。文献[19]提出生物质气化发电过程的动力学模型,可以更好地描述生物质气化过程的反应机理,并运用 MATLAB 进行了模型仿真,从气化反应过程及最终气体生成物组分 2 个方面验证了模型的合理性。此模型可用于优化和评价生物质流化床气化过程,并为后续的生物质气化炉气化参数和气化方案设计提供参考。在此基础上,有研究者对生物质气化系统和 300 MW CFB 锅炉系统进行了建模,计算得到锅炉各工况下的各运行参数,并探讨了再燃比例变化对锅炉运行参数及效率的影响^[20]。

生物质需要在一定温度、压力、催化剂的条件下,与气化剂发生气化反应。气化剂可以是氧气、空气或 CO_2 和水,3 种气化剂适用类型不同,所得到的燃气及其热值存在差异,可根据燃气的具体用途选择气化剂^[21]。催化剂方面,常见的有白云石类、

碱金属类、Ni 催化剂、Rh/CeO₂/SiO₂ 催化剂等,有研究者对各种催化剂进行了相关研究,分析了其各自的使用范围和优缺点^[22]。生物质气化过程中产生的蒸汽可以通过锅炉发电系统实现回收利用,对于现有的热电联产电厂具有很好的适用效果。生物质 CFB 气化技术不仅可以配合直流式燃煤锅炉,还有其他更多的适用途径。文献[23]基于生物质热载体的 CFB 技术,在 Aspen 平台上建立了联产电力和油品集成系统,得到了系统对物质、能量的和环境的综合评价。

基于 CFB 的生物质气化间接耦合发电方式应用前景较好,气化技术方面有待进步,合适的气化参数、催化剂和气化剂,能够使气化产物满足更高标准的要求。在生物质气化与发电锅炉耦合方面,高效的控制手段及策略能够提高燃煤侧锅炉的稳定性及经济性。为适用于国内现有的政策情况,生物质气化过程也可以作为产热的一种途径,在供热的同时实现对生物质能的高效利用。

2.3 生物质直接共燃式 CFB 发电技术

直接共燃式是指生物质与煤在炉内直接混燃,也称作掺烧,是生物质利用的另一种高效途径。CFB 锅炉对各种难燃燃料如褐煤、油页岩等都具有良好的适应效果。掺烧生物质本质上是改变燃料的特性,对于锅炉基本结构并无太大影响。

针对 CFB 锅炉掺烧生物质的研究近年来不断增多,主要研究集中在掺烧比例对锅炉燃烧状态、污染物和飞灰等的影响。研究人员通过试验,发现掺烧生物质可使 NO 排放量降低^[24],掺烧生物质使燃料的水分增加,炉内温度整体偏低,NO 还原成 N_2 的作用加强,同时 NH_3 生成 NO 的速率降低,因此 NO_x 的最终排放量降低。此外,有学者发现燃煤锅炉在掺烧谷壳对 SO_2 的排放有明显的抑制作用^[25]。有研究者通过对整个燃烧系统进行分析,考虑着火指数、燃尽指数、放热性能和气体污染物等各项因素后,提出了最佳的生物质掺烧比例^[26]。文献[27]研究了生物质燃料多样性对掺烧燃烧效果的影响,对不同种类生物质燃料与煤共燃的热力系统进行了分析,从机理上分析了不同种类燃料掺烧对炉膛热效率、锅炉各部位温度的影响。

燃煤锅炉在掺烧生物质后,对锅炉的运行会产生一定程度的影响。例如,生物质中含有的碱金属元素在炉内高温条件下易以盐的形式析出,从而形成飞灰团聚现象,使返料系统不畅通。生物质燃烧产生的灰分熔点较低,易沾污受热面,进而影响换热效率。有试验分析证明,控制掺烧比例在一定范围内可解决这一问题^[28-29]。CFB 机组要实现生物质

掺烧,可以从生物质收购储存、生物质燃料破碎、输送系统、入炉部分以及控制系统等方面入手进行改造^[30]。改造完成后可大量快速高效地利用生物质燃料,极具社会效益。目前,影响生物质直接共燃式发电技术发展的主要问题是总发电量中由生物质产生的部分不易实现准确计量或换算。

3 生物质 CFB 发电技术发展前景

生物质发电技术在我国受重视程度很高,国家发改委、财政部、国家能源局于 2020 年共同研究制定了《完善生物质发电项目建设运行的实施方案》。此方案提出要坚持“以收定补、新老划段、有序建设、平稳发展”的方针,进一步完善生物质发电建设运行管理,合理安排 2020 年中央新增生物质发电补贴资金,全面落实各项支持政策,推动产业技术进步,提升项目运行管理水平,逐步形成有效的生物质发电市场化运行机制,让我国的生物质发电行业持续健康地发展。在全国范围内,煤炭行业正在大力调整,限制产能,煤炭价格升高,以燃煤发电为主的行业受到冲击。碳中和背景下,压力尤甚。因此,更有必要大力发展生物质发电技术。在国家的大力支持下,在市场的导向作用之下,对生物质电厂建设和相关技术研究的投入将会更多。

据统计,国内 CFB 机组现有 439 台投入运营,装机容量 88.26 GW,我国 CFB 锅炉技术的发展有一定积累。生物质燃料更加适用于 CFB 锅炉的燃烧方式,其污染物排放也更低。基于生物质的 CFB 发电技术种类多,能够更好地适应我国燃料的多样性。近 20 年实践证明,CFB 锅炉在生物质利用方面具有独特的优势,其在生物质发电领域的应用前景广阔,对于生物质 CFB 发电机组设计、运行优化的研究也将更有价值。

4 结论与展望

针对现有的生物质 CFB 发电技术进行了论述,该技术可实现现有多种生物质的消纳,其中以直燃式、间接耦合式、直接共燃式为主。根据“十四五生物质能源规划”提出的“在不同地区发展适宜本地条件的直燃式发电、成型发电、混燃发电等发电方式要求”,生物质 CFB 发电技术具有广阔的发展前景,但目前也存在不少运行问题。未来的应用与研究需包含但不限于以下几个方面。

(1)对于生物质燃料单位体积能量较低、质量不高、分布存在区域性且运输困难等问题,需建立生物质电厂及一系列的附属产业,解决生物质发电计量问题。

(2)随着环保排放标准的日益严格,需深入研究生物质 CFB 锅炉的污染物排放特性。针对特殊的生物质燃料, NO_x 和 SO_2 是否能够达到超低排放需要进一步深入研究。

(3)对于现役的 CFB 锅炉,将掺烧生物质作为降低污染物排放、有效利用生物质能源的方式,基于此提出合理的掺烧方案。

(4)利用生活垃圾供热或者热电联产,是目前生活垃圾的重要环保利用方式,基于 CFB 的垃圾焚烧发电技术有待深入研究。

(5)在碳达峰、碳中和背景下,发展生物质发电技术将提供有效的减碳路径,生物质加碳捕集和封存还可实现负碳排放。另外,在减煤降碳的时代大背景下,生物质发电可替代部分煤电,成为电网调峰的重要力量。

参考文献:

- [1]蔡勋.国内生物质发电现状及应用前景[J].科学技术创新,2019(28):195-196.
- [2]童家麟,吕洪坤,齐晓娟,等.国内生物质发电现状及应用前景[J].浙江电力,2017,36(3):62-66.
TONG Jialin, LYU Hongkun, QI Xiaojuan, et al. Status quo and application prospect of domestic biomass power generation [J]. Zhejiang Electric Power, 2017, 36 (3) : 62-66.
- [3]张东旺,范浩东,赵冰,等.国内外生物质能源发电技术应用进展[J].华电技术,2021,43(3):70-75.
ZHANG Dongwang, FAN Haodong, ZHAO Bing, et al. Development of biomass power generation technology at home and abroad [J]. Huadian Technology, 2021, 43 (3) : 70-75.
- [4]张恒立.生物质燃烧过程受热面沉积形成及抑制机理研究[D].杭州:浙江大学,2020.
- [5]焦耀华.我国生物质能源产业的发展前景探究[J].经济研究导刊,2020(25):44-45.
- [6]高明明.大型循环流化床锅炉燃烧状态监测研究[D].北京:华北电力大学,2013.
- [7]傅安强.国内生物质电厂发电技术及设备发展前景[J].福建建材,2020(3):105-107.
- [8]包绍麟,李诗媛,吕清刚,等.130 t/h 生物质直燃循环流化床锅炉设计与运行[J].工业锅炉,2013(2):19-22.
BAO Shaolin, LI Shiyuan, LÜ Qinggang. Design & operation of 130 t/h circulating fluidized bed boilers with 100% biomass [J]. Industrial Boilers, 2013(2):19-22.
- [9]李诗媛,吕清刚,王东宇,等.生物质直燃循环流化床发电锅炉设计准则和运行分析[J].可再生能源,2012,30(12):96-100.
LI Shiyuan, LYU Qinggang, WANG Dongyu, et al. Design

- and operation of biomass direct-fired circulating fluidized bed boilers [J]. Renewable Energy Resources, 2012, 30 (12):96-100.
- [10] 张建春, 顾君苹, 张缦, 等. 纯燃生物质循环流化床锅炉设计与运行[J]. 锅炉技术, 2018, 49(1):28-32, 64.
ZHANG Jianchun, GU Junping, ZHANG Man, et al. The design and operation of a pure biomass-fired circulating fluidized bed boilers [J]. Boiler Technology, 2018, 49(1): 28-32, 64.
- [11] 李俊英. 生物质直燃循环流化床发电的防腐探讨[C]// 中国石油和化工勘察设计协会热工设计专业委员会, 全国化工热工设计技术中心站年会, 2014.
- [12] 肖志前, 宋杰, 宋景慧. 生物质锅炉混煤掺烧对锅炉经济性 & 稳定性的影响[J]. 广东电力, 2015, 28(7):10-16, 23.
XIAO Zhiqian, SONG Jie, SONG Jinghui. Affect on economy and stability by blended coal combustion of biomass boiler [J]. Guangdong Electric Power, 2015, 28 (7):10-16, 23.
- [13] 别如山, 王庆功, 修太春. 生物质燃烧发电过程中若干问题的探讨[J]. 工业锅炉, 2009(6):6-10.
BIE Rushan, WANG Qinggong, XIU Taichun. Discussions on biomass combustion in the process of generating electricity [J]. Industrial Boilers, 2009(6):6-10.
- [14] 别如山, 杨文, 宋兴飞. 采用流化床或低倍率循环流化床燃烧生物质发电的建议[J]. 工业锅炉, 2010(2):1-3.
BIE Rushan, YANG Wen, SONG Xingfei. Fluidized bed or low ratio circulating fluidized bed recommended for biomass electricity generation [J]. Industrial Boilers, 2010 (2):1-3.
- [15] 何德峰, 张永达, 徐山, 等. 生物质循环流化床锅炉燃烧过程多目标经济预测控制[J]. 高技术通讯, 2019, 29 (7):668-674.
HE Defeng, ZHANG Yongda, XU Shan. Multi-objective economic predictive control of biomass CFBB combustion processes [J]. Chinese High Technology Letters, 2019, 29 (7):668-674.
- [16] 马务, 盛昌栋. 基于循环流化床气化的间接耦合生物质发电技术应用现状[J]. 热力发电, 2019, 48(4):1-7.
MA Wu, SHENG Changdong. Application status of indirect biomass co-firing power generation technologies based on circulating fluidized bed gasification [J]. Thermal Power Generation, 2019, 48(4):1-7.
- [17] 王剑利, 张金柱, 吉金芳, 等. 生物质燃煤耦合发电技术现状 & 建议[J]. 华电技术, 2019, 41(11):32-35.
WANG Jianli, ZHANG Jinzhu, JI Jinfang, et al. Current status and suggestions on biomass-coal coupled power generation technology [J]. Huadian Technology, 2019, 41 (11):32-35.
- [18] 刘方金. 生物质循环流化床气化过程分析及试验[D]. 天津: 天津大学, 2007.
- [19] 王红梅, 张现飞, 张兰珍, 等. 流化床生物质气化发电过程动力学建模 & 验证[J]. 可再生能源, 2011, 29(4):48-52, 57.
WANG Hongmei, ZHANG Xianfei, ZHANG Lanzhen, et al. Kinetic modeling and verification of the biomass gasification by fluidized bed [J]. Renewable Energy Resources, 2011, 29 (4):48-52, 57.
- [20] 董智慧. 生物质气化系统与燃煤循环流化床锅炉系统集成模拟[D]. 北京: 华北电力大学, 2011.
- [21] 肖陆飞, 哈云, 孟飞, 等. 生物质气化技术研究 & 应用进展[J]. 现代化工, 2020, 40(12):68-72, 76.
XIAO Lufei, HA Yun, MENG Fei, et al. Research and application progress on biomass gasification technologies [J]. Modern Chemical Industry, 2020, 40(12):68-72, 76.
- [22] 刘文杰, 仲兆平. 生物质气化催化剂的研究现状[J]. 能源研究 & 利用, 2006(5):5-8.
LIU Wenjie, ZHONG Zhaoping. The current status of biomass gasification catalysis [J]. Energy Research & Utilization, 2006(5):5-8.
- [23] 陈昊. 生物质热载体循环流化床气化系统集成[D]. 北京: 北京化工大学, 2016.
- [24] MUNIR S, NIMMO W, GIBBS B M. The effect of air staged, co-combustion of pulverised coal and biomass blends on NO_x emissions and combustion efficiency [J]. Fuel, 2011, 90(1):126-135.
- [25] 张小英, 马晓茜, 邹治平. 循环流化床中谷壳 & 煤共燃 SO₂ 生成特性研究[J]. 煤炭转化, 2005, 28(4):50-52.
ZHANG Xiaoying, MA Xiaoqian, ZOU Zhiping. Study on generation of SO₂ during co-combustion of biomass and coal in circulating fluidized bed [J]. Coal Conversion, 2005, 28(4):50-52.
- [26] 任罡. 生物质与煤混燃特性研究 & 工程应用[D]. 北京: 华北电力大学, 2014.
- [27] 鲁许鳌, 孙磊, 李永华. 不同燃料间生物质 & 煤共燃系统热力分析[J]. 节能, 2018, 37(12):62-66.
LU Xuao, SUN Lei, LI Yonghua. Effects of biomass species on biomass and coal cofiring system [J]. Energy Conservation, 2018, 37(12):62-66.
- [28] 刘家利, 王志超, 邓凤娇, 等. 大型煤粉电站锅炉直接掺烧生物质研究进展[J]. 洁净煤技术, 2019, 25(5):17-23.
LIU Jiali, WANG Zhichao, DENG Fengjiao, et al. Research progress on direct blending biomass in pulverized coal fired boilers of large power plants [J]. Clean Coal Technology, 2019, 25(5):17-23.
- [29] 兰凤春, 李晓宇, 龙辉. 欧洲大型燃煤锅炉耦合生物质发电技术综述[J]. 华电技术, 2020, 42(10):88-94.
LAN Fengchun, LI Xiaoyu, LONG Hui. Review of biomass power generation technology coupled with large coal-fired boilers in Europe [J]. Huadian Technology, 2020, 42(10): 88-94.

[30]李学锋,牛建新,王荣涛.75 t/h 循环流化床锅炉掺烧生物质技术改造探讨[J].能源研究与利用,2007(3):32-35.

(本文责编:惠忻)

作者简介:

张开萍(1998—),男,四川万源人,在读硕士研究生,从事循环流化床发电技术方面研究工作。

张洪福(1995—),男,重庆人,在读博士研究生,从事循

环流化床锅炉建模方面的研究工作。

高明明(1979—),男,山西吕梁人,副教授,工学博士,从事大型循环流化床机组状态监测与控制方面的研究工作(E-mail:gmm1@ncepu.edu.cn)。

王勇(1990—),男,河北沧州人,工学硕士,从事热能与动力方向研究工作。

马聪(1975—),男,山西大同人,助理工程师,从事汽轮机热力系统研究工作。

“风光波动性电源电解水制氢关键技术”专刊征稿启事

随着环境、气候变化等问题日益突出,传统能源公司纷纷开始布局转型,世界各国逐步加大“脱碳”的步伐。风能、光伏等可再生能源正逐步成为能源转型中的核心内容,但风、光具有波动性和间接性特点,仅靠扩建电网输送通道维持功率和电量平衡,投资大、问题多、可持续差。

氢能作为清洁能源和未来的主力能源,具有能量密度高、便于储存和运输等优势。利用氢气作为新型能源载体之一,能有效缓解可再生能源发电过程中随机性、间歇性问题,为解决我国“弃风弃光”顽疾提供新思路和新方案,具有重要的战略价值与现实意义。

同时,地球上水资源十分丰富,电解水制氢过程可完全摆脱对化石燃料的依赖,促进能源结构调整与转型,发展绿色交通与城市新能源,尤其是在当前“碳达峰、碳中和”的背景下,波动性电源电解水制氢技术正迎来前所未有的发展机遇。

鉴于当前的问题与机遇,《华电技术》特推出“风光波动性电源电解水制氢关键技术”专刊,特邀请天津大学葛磊蛟副教授、天津大学康建立教授、清华大学乔颖副教授、河北工业大学姚芳教授和上海电力大学李江教授担任特约主编,共同探讨波动性电源电解水制氢领域发展的相关前沿成果、关键技术、亟待解决的核心问题以及未来的发展趋势,欢迎业内同仁踊跃投稿。

一、征稿范围(包括但不限于)

- (1)风光波动性电源电解水制氢的耦合材料结构设计。
- (2)风光波动性电源电解水制氢仿真设计与建模分析。
- (3)风光波动性电源电解水制氢过程控制技术。
- (4)风光波动性电源电解水制氢适应性评价。
- (5)风光波动性电源电解水制氢验证方法。
- (6)提升风-光-氢等新能源并网性能的关键技术。
- (7)风光波动性电源电解水制氢装置的延寿优化控制技术。
- (8)固态和低温液态储氢技术。
- (9)风/光等新能源制氢。
- (10)长距离输送管道运氢技术。
- (11)碳中和与电解制氢。
- (12)氢气开发与利用技术。

二、时间进度

专刊拟于2022年2月28日截稿,2022年3期(3月25日)后择期出版。

三、征稿要求

- (1)专刊只收录未公开发表的论文,拒绝一稿多投。作者对论文内容的真实性和客观性负责。
- (2)按照《华电技术》论文格式要求使用Word软件排版,论文模板请在网站(www.hdpower.net)首页“作者中心”下载。
- (3)请保留论文图片、曲线和表格原始文件,并在投稿时按规定提交。
- (4)论文作者应遵守相关学术不端规定。

四、投稿方式

- (1)在线投稿(推荐):登录在线采编系统(www.hdpower.net),完成在线全文投稿,欢迎投稿时推荐审稿人。
- (2)邮箱投稿:legendglj99@tju.edu.cn(葛教授);hdjs-chd@vip.163.com(编辑部)。
- (3)咨询联系:刘芳 0371-58501060 13838002988;杨满成 010-63918755 13801175292。