

生物质直燃发电技术与燃烧分析研究

吕游¹, 蒋大龙², 赵文杰³, 刘吉臻¹

(1.华北电力大学, 2.国能生物发电集团有限公司, 3.华北电力大学(保定))

摘要:介绍了生物质直燃发电技术的原理及其设备的工作过程, 着重讨论了生物质锅炉燃烧过程中的燃料收集和存储、送料堵塞以及受热面结焦等问题, 分析了燃料性质、一次风、二次风、炉排振动等因素对锅炉燃烧的影响, 并在此基础上提出了优化运行和提高锅炉效率的改进措施, 最后对国内外生物质发电技术状况进行了介绍, 并对其发展做出展望。

能源问题已经成为21世纪制约我国经济增长和社会可持续发展的主要因素之一, 由于常规能源资源短缺和利用中严重的环境污染, 我国必须转向大力开发风能、太阳能、生物质能等可再生清洁能源。在可再生能源中生物质能源由于具有资源丰富、可再生且分布地域广、可实现CO₂

零排放、大气污染物排放少等优点,

被认为是21世纪最有前途的绿色可再生能源之一^[1,2]

。我国《可再生能源中长期发展规划纲要》(2006~2020)指出, 到2020年我国生物质发电机组装机容量达到30000MW, 生物质成型燃料5000万吨, 将生物质秸秆发电和秸秆成型燃料确定为秸秆能源利用重点技术^[3]。

生物质发电技术主要有直接燃烧发电、混合燃烧发电、热解气化发电和沼气发电四类。利用生物质直接燃烧发电技术建设大型直燃并网发电厂, 单机容量达10~25MW, 可以将热效率提高到90%以上, 规模大、效率高, 同时环保效益突出^[4,5]

。但是生物质发电技术还不成熟, 锅炉效率偏低, 运行优化还有待提高。本文介绍了生物质发电技术的原理和设备, 着重分析了燃烧中出现的问题以及影响燃烧的因素, 提出了改进优化运行和提高锅炉效率的措施, 并对其发展趋势做出展望。

1 生物质直燃发电原理及设备

生物质直接燃烧发电技术是将生物质直接送往锅炉中燃烧, 产生的高温、高压蒸汽推动蒸汽轮机做功, 最后带动发电机产生清洁高效的电能。

生物质直燃发电厂一般常见的单机装机容量为12MW或者25MW, 对应的锅炉蒸发量在75t/h和130t/h等级, 其中炉排层燃技术较为成熟。国内目前确定的生物质发电项目, 炉型基本上以丹麦水冷振动炉排、国内锅炉厂家开发的水冷振动炉排炉为主。生物质锅炉燃烧设备与常规燃煤锅炉有较大的区别, 它是由给料机、炉膛、水冷振动炉排、一二次风管、抛料机等设备组成。为了防止炉膛正压时出现回火现象, 一般在给料机出口处安装有防火快速门, 而且在全部给料系统内设有多个密封门、消防安全挡板和消防水喷淋设施。炉排多为振动炉排, 振动炉排动作较小, 活动时间短, 设备的可靠性和自动化水平高, 维护量远远小于往复式炉排及链条式炉排。空气预热器与燃煤电厂不同, 它是一个独立的系统。给水在送往省煤器之前, 设置一条旁路流经空气预热器和烟气冷却器进行热交换。流经空气预热器时冷空气被给水加热, 给水被冷却; 流经烟气冷却器时给水被加热, 烟气被冷却。其他系统和设备与同规模的常规燃煤电厂

相似。另外, 由于生物质中N和S元素含量较少, 无需配备昂贵的脱硫装置。生物质发电系统工作过程如图1所示^[6]。

1.1 生物质的燃烧流程

运到发电厂的生物质原料经过破碎、分选等预处理后放到原料储存仓1, 然后由原料输送装置送到给料机22, 然后送进炉排6在炉膛2内开始燃烧, 燃料的化学能转变成烟气的热能。烟气经炉膛进入水平烟道和尾部烟道, 在流动中完成换热过程。

1.2 锅炉的烟风流程

送风机21将冷空气送入空气预热器10中, 加热后的空气分为两路, 一路(二次风)直接送入炉膛, 主要用来混合、扰动和强化燃烧, 另一路(一次风)进入炉底一次风斗, 经水冷振动炉排上方布风板上的小孔进入炉膛与燃料混合, 提供燃烧需要的氧气。高温烟气在炉膛内主要以辐射换热的方式将热量传递给炉膛四周的水冷壁, 在炉膛上部和水平烟道处将热量传递给过热器7、省煤器8和烟气冷却器9, 然后流经除尘器11将携带的飞灰除去, 比较洁净的烟气由引

风机12送往烟囱13排入大气中。

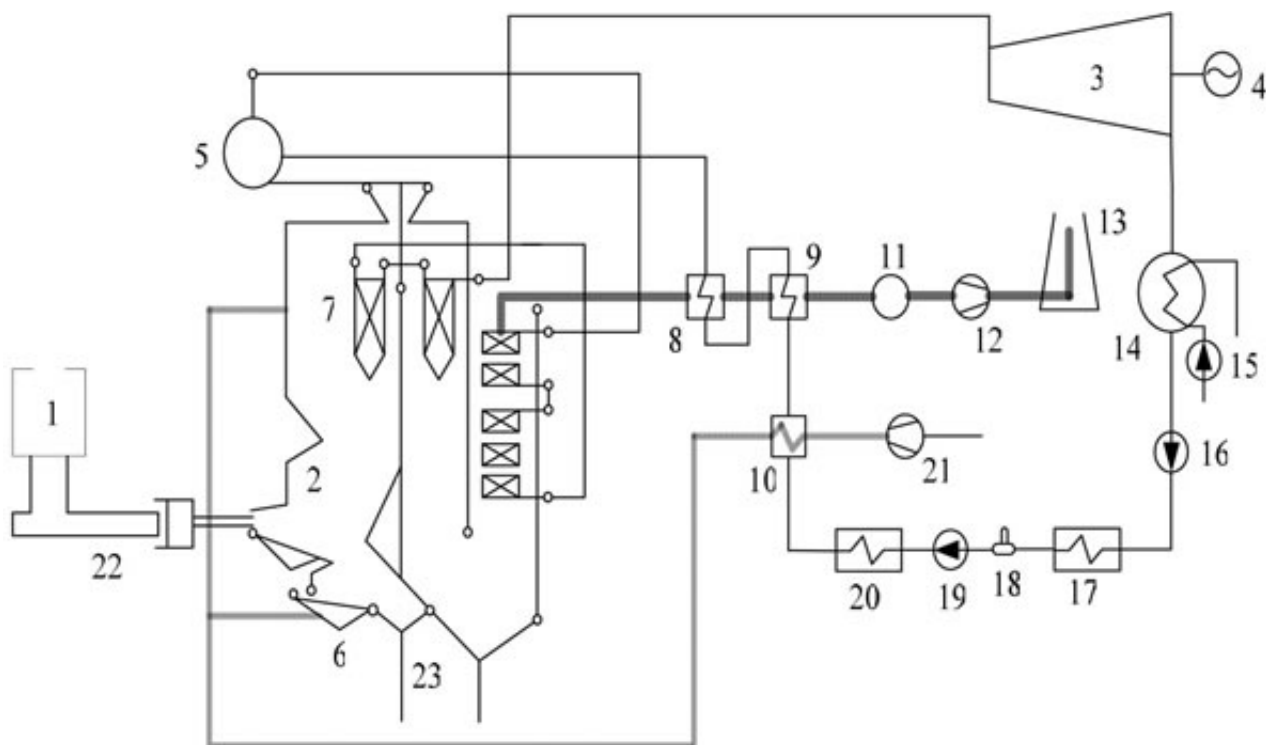


图 1 生物质直燃发电系统示意图

1.料仓 2.锅炉 3.汽轮机 4.发电机 5.汽包 6.炉排 7.过热器 8.省煤器
9.烟气冷却器 10.空气预热器 11.除尘器 12.引风机 13.烟囱 14.凝汽器
15.循环水泵 16.凝结水泵 17.低压加热器 18.除氧器 19.给水泵 20.高
压加热器 21.送风机 22.给料机 23.灰斗

1.3锅炉的汽水流程

给水由给水泵19升压后，送到高压加热器20加热，经过空气预热器和烟气冷却器然后送到省煤器8中预热，受热后进入汽包5。分离后的水沿着下降管送到水冷壁管，吸收辐射热量，部分变为水蒸汽。汽水混合物上升进入汽包进行汽水分离，分离的水留在汽包中又一次下降，蒸汽则经过过热器等加热后变成饱和蒸汽送到汽轮机3进行做功。做功后的蒸汽经凝汽器14、凝结水泵16、低压加热器17和除氧器18，然后又经过给水泵和高加送进汽包。

1.4汽轮机和发电机系统

生物质发电厂的汽轮机和发电机设备与同规模的常规燃煤电厂的设备相同，目前较为常用的是高温高压单缸抽凝式汽轮机。

2生物质锅炉燃烧的问题分析及改进措施

生物质发电厂发电设备与同规模的燃煤电厂基本相同，但由于生物质燃料和燃烧设备的特殊性，使得燃烧过程复杂，受热面更容易结焦，锅炉效率较低，运行水平有待提高。

2.1生物质锅炉燃烧的主要问题

(1)生物质燃料的收集和存储问题

我国生物质资源以农林废弃物为主，其特点是资源分散、搜集运输较困难、季节性强、原料供应稳定性差。并且品种多样，不同的生物质燃料的各种成分含量不同，这要求锅炉的上料系统具有对燃料种类、粒度有较广泛的适应性。

生物质燃料的密度较小，存储堆放场地要求较大，而且还要进行防雨、防潮和防火设施建设，维护费用较大^[7]。

(2)进料和上料系统问题

生物质质地松软，密度小，发热量低，因此生物质燃料的体积消耗量要比同规模燃煤电厂大很多，生物质电厂需要更大的上料系统^[8]。

。另外由于生物质燃料种类很多，混和上料的时候，容易出现堵料，不均匀，从而导致锅炉的燃烧不稳定。

(3)受热面积灰、结焦，腐蚀严重

生物质燃料具有高氯、高碱、挥发分高、灰熔点低等特点，燃烧时易腐蚀锅炉，并产生结渣、结焦等。生物质燃料灰中碱金属特别

是钾的含量较高，灰熔点较低，

高温状态下易出现水冷壁和受热面产生结焦、腐蚀等^[9]

；另外，灰中可能存在一定量的氯离子，氯和钾会以氯化钾的形式直接沉积在传热表面，也可能与灰中的硅酸盐反应生成低熔点灰，使锅炉结焦、腐蚀的趋势更加严重^[10]。

(4)燃烧不稳定，优化运行水平有待提高

生物质燃料的水分和氧量含量较多，热值较低，在相同锅炉出力的情况下，烟气量较大，燃烧稳定性差，灰渣含碳量高，进而导致主要辅机故障率和能耗较高、燃烧效率低。

2.2生物质锅炉燃烧分析

由于生物质的含氧量和水分比较多，所以所需的风量以及一、二次风比和常规燃煤锅炉不同。而且由于生物质黄杆和灰杆的各成分的含量不同，所

以在生物质燃料改变时，对应的运行参数也随之改变^[11]

。锅炉效率主要是在安全运行的基础之上通过采用最佳的燃烧器运行方式、最佳的送风量（最佳过量空气系数）以及最佳的一次风、二次风的配比来得到优化的。

(1)燃料的影响

不同的生物质燃料的组成成分以及性质是不同的。生物质锅炉较为常用的燃料是黄杆和灰杆。黄杆着火快，燃烧时间短，在炉膛内一般不会形成堆积；而灰杆着火慢，燃烧时间长，容易形成堆积，也不易燃烧完全。因此不同的燃料对应风量配比及炉排振动参数也是不同的^[12]。

(2)一次风的影响

生物质燃料密度较低，结构较松散，挥发分含量较高，着火热较低，挥发分析出的时间较短，若一次风供应不足，挥发分容易不被燃尽而排出，会产生大量的青烟，使排烟含碳量过高。若一次风量过大，会使未燃尽的小木炭随烟气排入大气，不但使飞灰含碳量增加，影响燃烧的经济性，而且可能会引起烟道尾部积灰以及尾部烟道的再燃烧，影响锅炉和除尘器的安全运行。

(3)二次风的影响

二次风一方面为炉内未燃尽的燃料提供氧气，另一方面压低火焰位置，防止火焰过分上飘，延长烟气在炉膛内的行程，减少机械不完全损失，从而提高锅炉的效率。必须使一、二次风合理地配比，才能保证燃烧能顺利地进行，使锅炉效率达到最优。

(4)送料风压力的影响

燃料投入的长度与送料风的压力有关。当送料风压力过高时，燃料投入时分布会很长，甚至分布在炉排上超过75%

的地方，燃烧就不会均匀。燃料投入的长度依靠送料风的压力来调节，其分布依靠空气阀门来调节。

(5) 振动炉排的影响

如果炉排振动较小，就会使炉排上的燃料堆积过多，燃料燃烧不完全，使飞灰含碳量增加；如果炉排振动幅度过大，一些燃料来不及燃烧就会排入落渣口，增加了锅炉机械不完全燃烧，降低了锅炉的整体热效率。

(6) 最佳过量空气系数

若空气供给量不足，会产生大量的还原性气体，从而影响燃料的完全燃烧，使燃料堆积、炉排结焦等。若空气供给过多，烟气含氧量过高，一方面增加了风机的功耗以及磨损，另一方面会使未燃尽的燃料排入大气，增加排烟损失，降低锅炉效率。

2.3 运行优化调整和改进措施

(1) 燃料检测

我国生物质发电厂燃料根据含氧量、水分、挥发分等含量主要可以分为两类：灰杆和黄杆。在生物质送料设备处增设燃料在线检测分类装置，根据物理性质把其大致分为两类，以供运行人员参考和设定合适的一二次风量。

(2) 改进送料设备

燃料输送系统和锅炉给料系统环节较多，工艺复杂，另外由于生物质燃料种类很多，混和上料的时候，容易出现堵料螺旋和斗式提升机经常堵塞的现象。可以考虑改进现有的给料工艺减少给料环节，不采用斗式提升机，改用栈桥、皮带，直接将料仓的料输送到炉前料仓。同时严格控制燃料湿度和粒度，防止燃料结团、缠绕，并改进自动化控制手段，保证输料系统连续稳定运行^[13]。

(3) 改进受热面和吹灰的控制策略

生物质燃料具有高氯、高碱、灰熔点低等特点，燃烧时比燃煤电厂更易发生结焦、腐蚀，从而影响过热蒸汽的产量以及锅炉性能。一方面可以改进低压烟气冷却器鳍片式紧凑结构，采用光管烟气冷却器可以减轻积灰；另一方面在过热器、再热器等换热面的吹灰设备控制策略应当改进，通过人工智能方法，利用炉膛监测的信号建立神经网络模糊专家系统来选择最优的吹灰时刻，以减少换热面结焦和提高锅炉效率^[14]。

(4) 燃烧调整试验优化

针对生物质电厂锅炉，设计燃烧调整试验，分析一次风、二次风和燃料性质等因素对燃烧的影响，得到典型工况点下最佳的一二次风量比以及配风方式，从而降低锅炉不完全燃烧损失和排烟损失，提高锅炉效率^[15]。

(5) 燃烧过程的建模与优化

应用智能理论对生物质锅炉的燃烧过程进行建模。把一、二次风量、风压等数据作为燃烧过程的输入量，把飞灰含碳、锅炉效率等量作为输出量，利用支持向量机、神经网络等智能理论建立基于数据驱动模型，然后再根据模型对锅炉效率寻优，得到在最优效率下的一、二次风量、风压等设定值，从而使燃烧过程处于最优状态^[16]。

(6) 采用新型燃烧方式

生物质燃料水分比较高，采用流化床技术，有利于生物质的完全燃烧，提高锅炉效率。相比炉排燃烧技术，流化床燃烧技术具有布风均匀、燃料与空气接触混合良好等优点。同时，炉内温度控制和机组负荷控制上也具有一定的优势。

采用特定的流化介质，形成蓄热量大、温度高的密相床层，为高水分、低热值的生物质提供优越的着火条件，依靠床层内剧烈的传热过程和燃料在床内较长的停留时间，使生物质燃料得以充分燃尽^[17,18]。

(7) 生物质与煤混燃发电

生物质共燃技术简单,投资和运行费用低,此外,生物质相对较便宜,对燃煤电厂而言还可增加燃料的选择范围和燃料适应性,降低燃料成本。煤粉燃烧发电效率高,可达35%以上,生物质燃烧低硫低氮,在与煤粉共燃时可以降低电厂的 SO_x 和 NO_x 排放^[19]。

煤与生物质共燃,为现役电厂提供一种快速而低成本的生物质发电技术,是一种廉价而低风险的可利用再生能源的发电技术。

3 生物质直燃发电技术发展趋势及展望

在生物质发电领域,丹麦BWE公司率先研发秸秆生物燃烧发电技术,并于1988建成了世界上第一座秸秆生物燃烧发电(Haslev, 5MW)。此后,BWE公司在西欧设计并建造了大量的生物发电厂,其中最大的发电厂是英国的Elyan发电厂,装机容量为38MW。自1992年世界环境与发展大会后,欧美国家开始大力发展生物质能,将其作为21世纪发展可再生能源的战略重点和具备发展潜力的战略性产业。如今已有130多家秸秆发电厂遍及丹麦,总装机容量达7000MW^[20]。

北欧的芬兰和瑞典也是生物质能发电发展和应用都最为广泛的国家之一,利用生物质所发的电量占芬兰总电量的25%。美国有350多座生物质发电站,总装机容量已超过10GW,单机容量达10~25MW。

生物质发电在我国起步相对较晚,过去建设的生物质电厂的设计和主要来自国外。我国第一个生物质直燃发电示范项目——国能单县25MW生物质发电厂,于2006年11月建成并网运行。该电厂生物质燃料年消耗15万吨,年发电0.18TWh,与同等规模燃煤火电厂相比,每年减少 SO_2 排放量达600多吨,年可节省标准煤近40万吨。根据国家发改委的要求,五大电力公司到2020年清洁燃料发电要占到总发电的5%以上。国能生物发电有限公司正全力推进生物质发电项目开工投产步伐,现已投产项目12个,发电装机容量324MW;在建项目7个,在建装机容量84MW^[21,22]。

我国在生物质能燃烧利用方面取得了长足的进步。但与发达国家相比,无论技术层面还是应用层面仍有很大差距。这一方面是由于我国的生物质发电燃料不像欧美等国家的那样单一;另一方面是由于生物质锅炉燃烧运行技术的复杂性,无法使锅炉在最优状态下运行。因此研究经济高效的燃烧和优化技术以及促进建立生物质燃料收集、预处理和配送体系是亟待解决的问题。生物质具有可再生性、环境友好性,并且可以储存,所以大力发展生物质能利用及燃烧发电技术前景良好且意义重大^[23,24]。

参考文献

- [1]郝卫东,胡志宏,周新刚,等.130t/h生物质直燃锅炉性能试验[J].华东电力,2009,37(1):176~179.
- [2]卫银忠.新能源发电技术简述[J].江苏电机工程,2009,28(增刊):11~13.
- [3]王惠文,是艳杰,李红莉,等.生物质发电的节能减排效果分析[J].电网技术,2007,31(增刊2):344~346.
- [4]杨永平,等.生物质发电技术[M].北京:中国水利水电出版社,2007.
- [5]吴创之,周肇秋,马隆龙,等.生物质发电技术分析比较[J].可再生能源,2008,26(3):34~37.
- [6]中国电力科学研究院生物质能研究室.生物质能及其发电技术[M].北京:中国电力出版社,2008.190~193.
- [7]林永明,潘峰,王正峰.生物质发电燃烧方式与炉型选择[J].广西电力,2009,(1):5~8.
- [8]张民,袁洁.国能威县生物发电公司130t/h生物质发电锅炉给料系统改造[J].科技信息,2009,(5):333~335.
- [9]马文超,陈冠益,颜蓓蓓.生物质燃烧技术综述[J].生物质化学工程,2007,41(1):43~48.
- [10]李庆,宋军政,聂志刚.130t/h燃生物质锅炉过热器管子腐蚀原因分析[J].发电设备,2009,(3):214~218.
- [11]Richard van den Broek, André Faaij, Ad van Wijk.Biomass Combustion For Power Generation [J].Biomass and Bioenergy, 1996, 11(4):271~281.
- [12]刘建禹,翟国勋,陈荣耀.生物质燃料直接燃烧过程特性的分析[J].东北农业大学学报,2001,32(3):290~294.

- [13]王志凯, 王乐, 徐征, 等.生物质能发电厂综合自动控制技术探讨.自动化信息, 2009, (9): 32~35.
- [14]Luis M.Romeo, Raquel Gareta.Hybrid System for Fouling Control in Biomass Boilers[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2006, 19(8): 915~925.
- [15]李永华, 胡小翠, 仇国民, 等.生物质电厂锅炉燃烧调整试验研究[J].锅炉技术, 2008, 39(4): 5~9.
- [16]周昊, 朱洪波, 岑可法.基于人工神经网络和遗传算法的火电厂锅炉实时燃烧优化系统[J].动力工程, 2003, 23(5): 2665~2669.
- [17]白兆兴.生物质锅炉技术现状与存在问题[J].工业锅炉, 2008, (2): 29~32.
- [18]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].2009, (6): 6~10.
- [19]陆智, 李双江, 郑威.生物质发电技术发展探讨[J].能源与环境, 2009, (6): 59~61.
- [20]林伟刚, 宋文立.丹麦生物质发电的现状和研究发展趋势[J].燃料化学学报, 2005, 33(6): 650~655.
- [21]姜述杰, 赵伟英.浅谈秸秆生物质直燃发电技术[J].锅炉制造, 2009, (4): 40~42.
- [22]马洪儒, 张运真.生物质秸秆发电技术研究进展与分析[J].水利水电机械, 2006, 28(12): 9~13.
- [23]金宝生.生物质能发电技术分析[J].能源研究与信息, 2008, 24(4): 199~204.
- [24]马永贵, 钟史明.秸秆发电技术综述[J].沈阳工程学院学报(自然科学版), 2007, 3(3): 201~205.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/118252.html>