

生物质直燃发电厂锅炉炉型选择探讨

黄长华，程永霞

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，广州510663)

摘要：目前生物质直接燃烧发电是生物质利用的主流技术之一，锅炉设计选型是生物质发电厂技术的主要核心，选择什么样的炉型，不仅影响着生物质电厂的投资、经济型，还影响着生物质电厂的使用寿命。对生物质直燃发电厂的几个炉型比较研究，为生物质直燃发电厂的炉型选择提出建议，供生物质发电厂设计时参考。

目前生物质发电技术主要有4个种类，分别为直接燃烧发电、混合燃烧发电、热解气化发电和沼气发电。其中由于国家对新能源的扶持政策中不包括混合燃烧发电，因而混合燃烧发电受到抑制；气化发电过程复杂运行成本高，沼气发电规模小运行成本也高，因而气化和沼气发电没有形成大规模的发电系统；目前技术比较成熟、市场范围比较广的是生物质直燃发电。生物质直燃发电的关键技术有：生物质原料的预处理、蒸汽锅炉的实用性、高效燃烧技术、受热面腐蚀技术、低氮燃烧技术等。这些关键技术中，与锅炉相关的技术是生物质发电厂技术的核心，选择什么样的炉型，不仅影响着生物质电厂的投资、经济性，还影响着生物质电厂的使用寿命。

本文拟对生物质直燃发电厂的几个炉型做比较、探讨，为生物质直燃发电厂的炉型选择提出建议，供生物质发电厂设计时参考。

1 生物质发电厂锅炉分类

生物质锅炉是以生物质能源作为燃料的锅炉。

从锅炉出口的介质上分类，分为生物质蒸汽锅炉、生物质热水锅炉、生物质热风锅炉、生物质导热油炉等。生物质发电厂所用的锅炉属于生物质蒸汽锅炉。因此，下面主要研究生物质蒸汽锅炉。

1.1 从形式上分类

适用于生物质直燃燃料的锅炉主要以下几种形式：循环流化床炉、鼓泡床炉、水冷振动炉排炉、链条往复式炉排炉、联合炉排炉等。如果燃料颗粒状较多且质地坚硬时可选择循环流化床形式。

颗粒状多质地比较疏松时可选择鼓泡床形式。燃料需要经过高成本的加工后才能使用时可采用水冷振动炉排的形式。

1.2 从燃料种类上分类

可分为黄色秸秆锅炉、灰色秸秆锅炉等。

1.3 从技术角度分类

可分为国产锅炉、进口锅炉等，目前国内应用最多的是国能集团应用的进口丹麦BWE公司技术生产的水冷振动炉排高温高压锅炉，这种锅炉从运行稳定性上和效率上都明显优于其它种类的锅炉，同时经过几年的技术改造和国产化创新，优势日趋明显，但是有些技术难题仍然没有得到彻底解决，例如高温腐蚀等，虽然国内较早就开始研究生物质对金属的腐蚀问题，并在实验室中得到证实和缓解，但没有应用到实际当中。

根据目前国内主要生物质燃料的特点，应用最多的是循环流化床炉、水冷振动炉排炉、链条往复式炉排炉、联合炉排炉，因此，本文只针对这四种炉型做比较详细的探讨。

2 循环流化床锅炉特点

2.1 锅炉简介

循环流化床锅炉是国内采用自主知识产权和先进的循环流化床燃烧技术而开发的，采用前墙集中给料方式。锅炉采

用汽冷偏心旋风分离器进行气固分离，采用一次风和二次风两级配风，一次风从炉膛底部进入炉膛，二次风从前后墙进入炉膛，过热器系统中设有三级喷水减温器。

锅炉本体钢架由三跨组成，第一跨布置炉膛，第二跨布置高温绝热偏心旋风分离器、返料器，第三跨布置尾部烟道。锅炉整体呈左右对称布置。

2.2 可燃的燃料

该炉型可处理的燃料有：废木材、锯木粉、咖啡渣、稻壳、甘蔗渣、农作物秸秆、造纸厂的草浆黑液、糖醛渣、污泥等。设计可满足烧煤20~40%（其余为生物质），在添加循环物料的情况下，也可100%纯烧秸秆。

2.3 优点

采用流化床燃烧技术焚烧生物质的优点主要表现在以下几个方面：燃烧充分完全；污染排放量低；生物质燃料适用性广；解决了成分复杂多变各种生物质废弃物的着火、稳燃和燃烧控制的问题；生物质燃料只需简单破碎即可入炉燃烧，燃料制备费用低；锅炉负荷调节范围宽；炉内无活动部件；运行可靠、稳定、维护费用低。

2.4 缺点

由于增加流化风机等特殊设备，厂用电要高于层燃锅炉（水冷振动炉排炉、链条往复式炉排炉、联合炉排炉都属于层燃锅炉）；运行过程中需要根据床压来添加床料，增加了运行成本；流化床锅炉对入炉燃料颗粒尺寸要求严格，需要增加燃料预处理工艺和设备来破碎燃料；循环流化床锅炉易掺煤燃烧，在电价优惠指标申请上难度相对较大。

2.5 国内循环流化床锅炉的发展

中国节能（宿迁）生物质发电有限公司秸秆直燃发电项目锅炉是国内第一个具有自主知识产权的生物质CFB锅炉，此后以武汉凯迪为代表的相关科研机构和各锅炉厂陆续研发了不同参数一系列CFB锅炉产品并有部分项目投入运行。生物质CFB锅炉国产化为我国生物质锅炉向低成本、规模化、产业化发展奠定了良好的基础，摆脱了我国在生物质发电依靠引进国外技术的高成本、技术不适应我国生物质燃烧的局面。截至目前已投入运行的生物质电厂中用CFB锅炉占的比例约30%，设备年利用小时数超过7000h。

3 水冷振动炉排炉特点

3.1 锅炉简介

该锅炉技术来源是国外丹麦BWE技术，属于层燃锅炉。该锅炉采用水冷振动炉排的燃烧方式，采用“M”型布置。

3.2 优点

属于层燃锅炉，锅炉结构简单、操作方便、投资和运行费用都相对较低、燃烧稳定、燃烧效率高、负荷调节性大。

3.3 缺点

适应性不强、炉排与水冷壁之间密封不严、高温排渣不畅、污染物排放较高、磨损严重等。

3.4 燃料供应

该炉型为水冷振动炉排，可燃烧稻秆、麦秆、玉米秆、棉花秆等生物质，可以单独烧上述任何一种秸秆，也可以各种秸秆混烧。但是，秸秆种类的不同，其输送和破碎系统应分别选择。根据生产厂家的不同，产品燃料适应范围和锅炉性能也不尽相同，这些燃料经加工到一定的尺寸后由输料机进入炉前料仓，然后由炉前给料机送入炉膛下部燃烧。

3.5 燃烧方式

采用炉前强制给料的进料方式。振动炉排由振动机构、风室、支撑件和炉排水冷壁组成，炉排水冷壁由全膜式壁组

成，其上开有很多小孔。一次风由炉排水冷壁上的小孔进入炉膛，为燃烧提供所需要的大量氧气。

燃料由给料机送到炉排前部，在此处逐步预热、干燥、着火、燃烧。随着炉排的不断振动，燃料边燃烧边向炉排后部运动，直至燃烬。

3.6 水冷振动炉排炉特点

水冷振动炉排有水冷却，可有效地解决秸秆灰熔点低产生的结焦问题；还可以解决炉排片因为灰少而被烧坏的问题；炉排采用振动结构，可有效解决炉排传动问题；通过增大炉排有效面积，使其有一定的裕量可避免因腐蚀而降低热负荷；对燃料水分、热值的波动有一定的适应能力。

3.7 国内振动炉排炉的发展

由龙基电力以引进丹麦BWE和百安纳公司技术，自行制造关键水冷振动炉排设备，并由济南锅炉厂锅转化制造的高温高压锅炉本体。目前该产品占据市场主要份额且运转良好（国能集团投资建设项目均采用此锅炉）。目前龙基电力已经收购丹麦百安纳设计公司和济南锅炉厂，全面掌握整个产业链。国内部分锅炉制造厂（如无锡华光锅炉厂、杭州锅炉厂、华西能源等）借鉴国外技术或参照“BWE”技术生产制造的水冷振动炉排锅炉。经过几年的技术摸索和实践，目前已基本成熟，可靠性大大提高。目前已建成和在建项目有90%以上是采用引进丹麦BWE技术制造的水冷振动炉排式锅炉。

采用丹麦BWE技术的振动式炉排锅炉与常规的燃煤锅炉有很多的不同：全钢结构，炉内没有防火涂料，安装完毕马上可以投运；采用振动式炉排；大量采用光电信号进行燃料位置的判断；上料线设计复杂的消防水系统；单元机组控制方案采用机跟炉方式进行等。

4 往复炉排秸秆直燃炉

4.1 锅炉简介

该炉型燃料适应范围广，可燃烧稻秆、麦秆、玉米秆、棉花秆等生物质，可以单独烧上述任何一种秸秆，也可以各种秸秆混烧。在特定条件下可以掺烧或纯烧燃煤。

该炉型为国内某企业在原有往复炉排燃煤锅炉及垃圾炉技术的基础上，根据生物质燃料燃烧特性进行相应技术优化形成，燃料适应性和受热面防腐技术方面比较完善。

4.2 优点

层燃锅炉结构简单、操作方便、投资和运行费用相对较低。

4.3 缺点

适应性不强、炉排与水冷壁之间密封不严、高温排渣不畅、污染物排放较高、磨损严重等。

5 联合炉排秸秆直燃锅炉

5.1 锅炉简介

该炉型为国内某企业在原有技术的基础上进行综合研发的专利产品，融合了以往振动炉排和往复炉排燃煤炉的优点，在原有燃煤锅炉基础上充分考虑了炉膛的高度和宽度，并充分考虑了生物质燃料的燃烧特性，具有负荷适应范围宽、燃料适应范围广等特点。

锅炉自然循环，单锅筒、集中下降管、膜式水冷壁结构。

燃烧设备采用联合炉排，预燃段为倾斜往复炉排，材料为特种耐热铸钢，燃烧段为重型炉排，分别具有独立调节功能，燃烧室两侧水冷壁密封模板采用浇注料密封盒密封形式。

5.2优点

锅炉结构简单、操作方便、投资和运行费用相对较低。

5.3缺点

层燃炉燃料适应性不强、炉排与水冷壁之间密封不严、高温排渣不畅、污染物排放较高、锅炉运行部件容易产生故障、给料口等位置磨损严重等。

5.4燃料供应

锅炉的主要燃料实用范围广，可以燃烧玉米秸秆、棉秆、向日葵秆、沙荆、树木枝条及压榨为颗粒的燃料，在特定情况下可以掺烧或纯烧煤，可以避免生物质燃料短缺时被迫停炉的风险。

燃用条件要求：农作物秸秆水份应 25%，破碎后粒径小于150mm。

5.5燃烧方式

燃料从往复炉排上方进入炉膛，在炉膛高温辐射和一次风的作用下逐步预热、干燥、着火、燃烧。随着往复机构的运动，燃料边燃烧边逐级向后部移动，直至被链条炉排燃烬。

5.6联合炉排炉国内发展状况

目前，济南锅炉厂吸取国外先进生物质锅炉技术并具有自主知识产权的联合炉排燃烧技术已经成熟并成功运用，该技术具有燃料品种适应性广、燃烧充分、适应高水分燃料、性能稳定可靠等特点。同时联合炉排厂用电相对较低，约为7%左右，联合炉排在造价上比流化床锅炉高，但联合炉排整体效率偏低，比流化床锅炉低10%，约为80%左右。

联合炉排秸秆锅炉目前投产仅有两家，一家位于河南新乡天洁生物质发电有限公司，一家位于长葛市恒光热电有限责任公司，第一家属于新建项目，第二家属于改造项目。尚缺乏相对完善的运行经验。

6生物质直燃锅炉运行中的主要问题

1) 锅炉运行不稳定：由于秸秆潮湿、缠绕等原

因造成生物质锅炉在燃料上料过程中经常出现燃料卡住、堵住、打滑等现象，造成炉前给料系统落料管下料不畅，影响锅炉运行的稳定性。

2) 磨损严重：在锅炉给料过程中，由于部分秸秆灰分含量较高，对锅炉给料口及炉膛等部位磨损比较严重。

3) 锅炉效率降低：生物质锅炉均由于受热面积灰、过热器结渣等问题，需要经常停炉处理，如果不及时处理，随着运行时间延长会降低生物质锅炉的传热性，锅炉效率也会随之降低。

7国产生物锅炉的参数选择及参考报价

7.1参数选择

汽轮机的进汽参数与电站的热经济性、安全可靠性和制造成本等有关。从理论上讲，机组进汽参数越高，电站的热经济性越高，但同时也伴随着每千瓦造价的提高。因此，蒸汽的初参数将影响电站的投资的运行维护费用。每提高一个等级的参数，机组的效率大概可以提高1~1.5%。

同时，机组参数应与机组的容量相匹配，通常还应考虑其配套辅机的通用性和可选择的范围，否则，如果辅机设备都要采用非标设备，不但提高采购成本，而且会使工期延长，从而使整体项目的收益下降，众所周知作为生物质发电工程，由于有国家政策的扶持，效益是比较可观的，越早发电效益越好，所以设备的设计制造周期必须是我们选择机组参数时的一个重要条件。

在国内最近几年生物质电厂发展过程中，依次出现了中温中压、次高温次高压、高温高压和高温超高压机组。

1) 中温中压机组在早期国内第一批生物质秸秆电厂运用较多，多以12MW抽凝发电机组配75t/h秸秆锅炉为主，随着生物质收购价格的提高和生物质电厂相关技术的成熟，目前已经被市场淘汰，现有电厂因为较高的运行成本，亏损严重。

2) 次高温次高压机组目前常见机组规模为2×15MW发电机组配2×75t/h秸秆锅炉和1×25MW发电机组配1×130t/h秸秆锅炉，该类机组通常为供热机组。

3) 高温高压机组最近几年凭借较高的经济性和可靠性逐渐成为当前生物质电厂的首选，尤其在国能生物发电集团新上项目中得到广泛应用。常见规模为1×30MW纯凝发电机组配1×130t/h秸秆锅炉。高参数机组必定带来造价的提高，而且高参数导致受热面的高温腐蚀，参数越高腐蚀越严重，然而，高参数机组的造价高出部分，以及因高参数导致的高温腐蚀受热面损失，完全能由高效率多发的电量来弥补。

4) 当前凯迪电力生物质能电厂拥有独家专利的高温超高压循环流化床锅炉在凯迪电力下属的生物质电厂中得到广泛应用，同时由其投资运营的国内首台30MW超高压高温生物质发电机组于2012年3月份在湖北凤县投入运行，高温超高压生物质锅炉目前为凯迪电力独家专利，不对外生产、销售，其他锅炉厂均未生产。且配套的高温超高压汽轮机由西门子独家生产。

7.2 参考报价

由于引进国外成熟技术生产的生物质锅炉产品在先期技术投资较大等原因，其参考报价相对较高，而自主研发的国产化生物质锅炉产品在研发和制造等方面的成本相对较低，则体现了明显的价格优势。根据同容量产品的价格综合对比，以建设装机容量30MW生物质电厂为例，采用国产化锅炉设备可比国外引进同类型设备减少投资3千万~6千万元人民币。但引进设备拥有成熟的设计和运行经验，与国产化设备相比具有明显的技术优势。

8 生物质直燃发电厂锅炉选型分析

8.1 从建设投资方面分析

为了推进我国生物质能的开发利用，尽管国家及相关部门颁布了《可再生能源法》和利用生物质直燃发电的优惠政策，但由于锅炉价格较高引起的生物质电厂建设初投资过大是目前困扰我国生物质发电产业发展的主要原因之一。因此在炉型确定后，应优先选择性价比较高的国产化产品。

8.2 从锅炉技术方面分析

在参数选取上，多数国内锅炉厂家倾向于先从中温中压参数起步，待积累运行经验后再论证提高参数的可行性。鉴于目前国内生物质锅炉生产厂家主要研发能力放在75T/H中温中压秸秆锅炉上，技术相对成熟，配套产品齐全，建议首选75T/H中温中压秸秆锅炉，优先考虑单位造价低、燃料适应范围广、配套产品齐全的厂家产品。

8.3 从机组经济性方面分析

对于发电量相同机组，选择高温高压参数，虽然使得锅炉岛及汽机岛部分的主辅机造价将高于中温中压参数机组，但高温高压参数机组的热效率比中温中压参数机组高6.2%左右，发电标准煤耗低约0.12kg/(kW·h)，发电秸秆耗低约0.21kg/(kW·h)；比中温次高压参数机组热效率高2.05%左右，发电标准煤耗低约0.086kg/(kW·h)。因高温高压机组与中温中压机组和中温次高压机组在同比容量下机组经济性高、占用人员少、占地面积小、基建投资相对少，在秸秆资源较为丰富的情况下建议选择高温高压130T/H秸秆锅炉。

8.4 从锅炉型式方面分析

上述四种生物质锅炉型式均能承担生物质直燃发电的任务，就目前国内生物质在建项目的选型来分析，生产厂家和使用数量最多的是振动炉排秸秆炉，其次是循环流化床秸秆炉。各生物质项目可根据燃料特性、设备可靠性、基建投资等方面，进行全面技术经济比较后确定锅炉型式。

8.5 从燃料收集方面分析

在欧洲生物质电厂的燃料收集较为容易，因欧洲国家大部分为农场制，如不出现诸如自然灾害等意外与农场主签订收购合同后燃料来源可以得到充分保证。再者欧洲国家对生物质电厂赋予的职责是消耗秸秆和维持大气环保，对于生物质电厂给予大量的财政补贴，不考虑电厂的连续运行和盈利问题。

在我国目前状态下，建设生物质电厂既要考虑环保问题，又要考虑电厂的连续运行和盈利问题，所以在生物质燃料收集方面和欧洲国家面临截然不同的问题。首先，国内秸秆收集面对的是千家万户的农民，秸秆收购是个比较庞大的系统工程，秸秆收购市场的培育需要相当长的时间；其次，秸秆资源受当地农业产业结构调整的影响较大；再次，秸秆燃料季节性很强，应充分考虑电厂连续运行问题。

根据秸秆情况，生物质锅炉选型宜小不宜大，装机容量30MW的电厂以选用两台75T/H中温中压秸秆锅炉为宜。

9 生物质直燃锅炉炉型比较

9.1 应用情况比较

水冷振动炉排炉在国内外均有成熟的长期运行经验，使用数量最多，市场占有率高，生产、安装、调试、运营的经验均较其它炉型丰富。中国第一座生物质发电厂——单县生物质发电厂即采用源自丹麦的水冷振动炉排炉技术。而循环流化床锅炉虽然近年开始尝试用于生物质发电，但基于未解决的技术问题较多、电价优惠指标难申请等因素，还未能广泛应用。

9.2 燃料适应性比较

水冷振动炉排炉，较好的结合了国外先进技术和中国燃料的实际状况，可以适应多达60多种的农林废弃物，既可纯烧某种燃料，也可掺烧多种燃料。在燃料水分高达40%时亦可稳定燃烧。循环流化床仅适用于燃料粒径和密度差别不大的燃料，对燃料的要求较为苛刻。

9.3 燃料预处理比较

水冷振动炉排炉基本无需燃料预处理系统。而循环流化床燃烧炉对燃料预处理要求较高，对燃料颗粒要求比较严格，需要将秸秆进行一系列破碎、筛分等预处理工作，入炉秸秆尺寸一般要求为150~200mm，而且要求尽量均匀，该部分投资费用较高。

9.4 磨损情况比较

炉排炉的炉型较大，炉排相对较长，秸秆燃烧过程均发生在炉排表面上，因此磨损较轻；而循环流化床炉的布风板、周围水冷壁及后面尾部受热面和炉墙的磨损都相对比较严重。

9.5 安装方案比较

水冷振动炉排锅炉，以德普新源公司的产品为例，省煤器和烟冷器都是模块化的，三、四级过热器都是直接跟小集箱焊接在一起的，焊口比较少。水冷振动炉排锅炉，以德普新源公司的产品为例，安装方式是底部支撑的，从下往上安装的。CFB锅炉是吊装的，从上往下安装的，难度较大。

9.6 经济比较

水冷振动炉排炉与循环流化床炉相比，虽然设备初期投资较大，但考虑到燃烧效率高使得单位发电量燃料耗量低、设备运行稳定使得年发电小时数多，设备磨损较流化床轻使得日常维修、部件更换费用低，设备厂用电率低使得同等装机容量的电厂上网电量多等因素，从锅炉设备的整个生命周期综合考虑，水冷振动炉排炉的经济指标明显优于循环流化床锅炉。

10 结论

本文比较研究了生物质直燃发电厂的炉型，建议生物质发电厂设计时参考生物质直燃发电厂的锅炉选型，结论如下：

- 1) 结合我国国情，积极引进、借鉴国外生物质电厂的成功经验，生物质工程建设以应用国产化锅炉设备为主。
- 2) 目前国内部分锅炉设备厂家已基本具备了生物质电厂锅炉及其配套设备的生产能力，并且在各种秸秆的掺烧方面已优于国外设备，有利于电厂拓宽燃料来源。
- 3) 采用国产化锅炉设备可比国外同类型设备减少大量投资，可大幅度降低工程单位造价，在设备运输、安装及运行维护检修等方面也有诸多优势，提高了工程规避投资风险的能力。
- 4) 考虑秸秆收购的季节性及生物质电厂的连续运行等因素，建议装机容量30MW的电厂宜选用2台国产75T/H中温中压秸秆锅炉，运行方式较为灵活可靠，但是在秸秆资源较为丰富的情况也可选择高温高压130T/H秸秆锅炉，最终经过经济技术比较后确定。
- 5) 优先考虑性价比高、燃料适应范围广，设备运输、售后服务、选购备品备件方便的厂家的产品。
- 6) 根据生物质直燃锅炉的特点及其各方面的比较，选择适合工程燃料特性的炉型。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/96368.html>