

生物质燃料转化利用技术的现状、发展与锅炉行业的选择

张世红，廖新杰，张雄，陈应泉，邵敬爱，王贤华，杨海平，陈汉平

(华中科技大学煤燃烧国家重点实验室，湖北武汉430074)

摘要：介绍了生物质成型、生物质气化、生物质液化及热解多联产等几种常见的生物质转化技术。分析了生物质燃料在锅炉行业中的利用现状及存在的主要问题，并指出锅炉行业未来应立足生物质燃料的发展，并朝着原料绿色化、生产清洁化和产品智能化的方向发展。

0引言

工业锅炉是重要的热能动力设备，在国民经济发展及人民生活中起着不可或缺的作用。当前我国工业锅炉以燃煤为主，年耗煤量约占全国煤炭消耗总量的1/5，污染物排放总量仅次于电站锅炉^[1]。

随着国家对环保要求的日益严格，污染物排放严重的中小型燃煤锅炉在我国将逐渐淘汰，被天然气、电力或生物质等新能源为燃料的高效节能环保型锅炉所替代。

作为一个农业大国，我国生物质资源丰富，能源化利用潜力巨大。全国可作为能源利用的农作物秸秆及农产品加工剩余物、林业剩余物和能源作物、生活垃圾与有机废弃物等生物质资源总量每年约4.6亿吨标准煤。生物质作为一种含碳、固体形态的可再生能源，其热转化利用技术、设备与煤炭具有相似性，且生物质氮、硫含量低，污染物排放要远低于燃煤。因此，大力发展生物质燃料锅炉将有助于缓解燃煤带来的环境污染问题。

我国政府历来重视生物质能的开发利用，并将其作为能源领域的一个重要方面，纳入了国家能源发展战略。国家发改委、国家能源局印发的《关于促进生物质能供热发展的指导意见》中指出：到2035年，生物质热电联产装机容量超过2500万千瓦，生物质成型燃料年利用量约5000万吨，生物质燃气年利用量约250亿立方米，生物质能供热合计折合供暖面积约20亿平方米，年直接替代燃煤约6000万吨^[2]。锅炉是生物质燃料利用的主要设备，也是我国节能减排的主战场，锅炉行业必须紧跟新时代要求，加快实现原料绿色化、生产清洁化和产品智能化。

1生物质燃料转化技术现状

生物质资源来源广泛，理化特性各具特色，转化技术也多种多样，包括物理方法、热化学方法和生物化学方法等，可得到的产品包括：成型燃料、生物燃气、生物油、生物炭、沼气、燃料乙醇、生物柴油等。下面主要介绍几种与锅炉相关的生物质燃料转化技术。

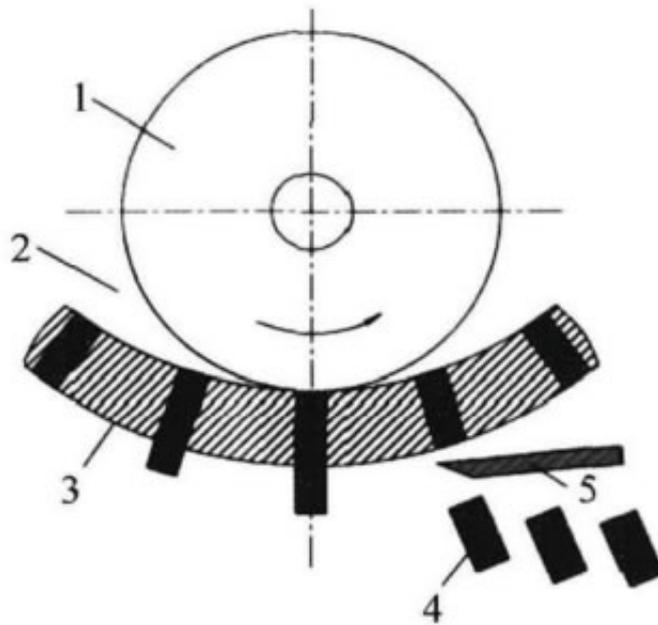
1.1生物质成型技术

与传统化石能源相比，生物质具有资源分散、能量密度低、容重小、储运不方便等缺点，造成运输成本较高，严重制约了生物质能的大规模应用。生物质压缩成型技术是生物质能的一种简单、实用、高效的利用形式，可以大大提高生物质能量密度，便于储存和运输，为高效利用农林废弃物提供了一条新的途径。生物质在挤压成型后，密度可达 $0.8 \sim 1.3\text{kg/m}^3$ ，能量密度与中热值煤相当，非常适合作为锅炉的燃料^[3]。

生物质固化成型技术主要分为辊模挤压式成型(包括环模式和平模式)、活塞冲压式成型(包括机械式、液压式)和螺旋挤压式成型等几种主要型式，工作原理分别如图1、图2和图3所示。其中的辊模挤压式成型可以实现自然含水率生物质不用任何添加剂、粘结剂的常温压缩成型，生产率较高，是规模化、产业化发展的重点。国外辊模挤压式成型机设备制造比较规范，自动化程度高，生产技术已基本成熟，关键部件寿命达到1000h以上，生产率达到2t/h以上，已实现规模化商品生产。但是，这些成型设备是以木屑等林业剩余物为主要原料，且设备价格高，并不适合我国以秸秆为原料的国情。

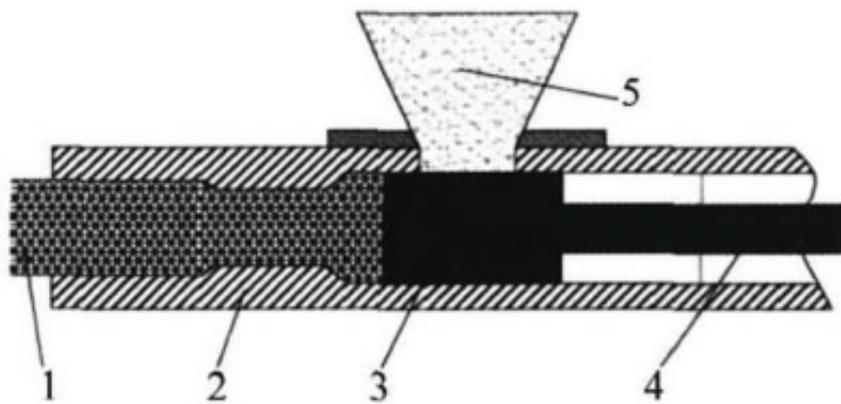
近年来，由于国家对秸秆能源化工作的高度重视及相关政策的支持，我国生物质固体成型燃料技术取得明显的进展，生物质成型技术及成型压制设备也逐渐成熟，成型机械的能耗、关键部件使用寿命达到了大规模生产的要求。2016年建设农作物秸秆固化成型工程合计1300多处，成型燃料年产量达653万吨；林业三剩物固体成型燃料年产量约250万吨，总计900万吨左右^[4]

。此外，农业部和地方政府陆续发布了《生物质固体成型燃料技术条件》、《生物质固体成型燃料质量分级》、《生物质成型燃料锅炉》、《生物质成型燃料锅炉大气污染物排放标准》等相关标准，为生物质成型燃料锅炉专业化、规模化和产业化发展打下了较好的基础。



1—压辊 2—原料 3—压模圈 4—成型燃料 5—切刀

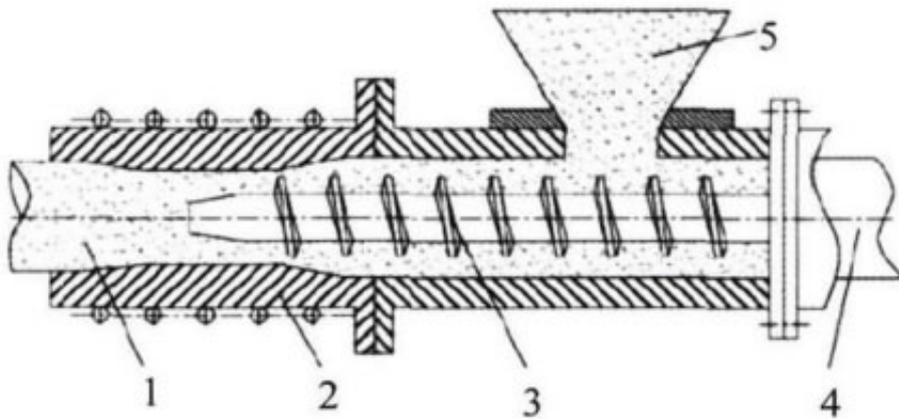
图1 环模式生物质成型机原理图^[5]



1—成型燃料 2—成型套筒 3—活塞

4—机械或液压驱动 5—原料

图2 活塞冲压式生物质成型机原理图^[5]



1—成型燃料 2—成型套筒 3—螺杆
4—驱动轴 5—原料

图3 螺旋挤压式生物质成型机原理图^[5]

1.2 生物质气化技术

生物质气化是利用空气中的氧或其它含氧物作气化剂，在高温条件下将生物质燃料中的可燃物转化为可燃气体(主要是氢气、一氧化碳和甲烷)的热化学过程。生物质原料挥发分高达70%以上，受热后在相对较低的温度下就可使大量的挥发分物质析出，因此，气化技术非常适用于生物质原料的转化^[6]

。生物质气化得到的燃气既可作为清洁燃料，又可作为费托合成液体燃料的原料，在电力供应、热能生产、化工合成、金属冶炼等领域均有广泛应用，因此气化技术是目前国内外竞相开发的重要生物质能技术。

根据所使用气化剂的不同，生物质气化可分为空气气化、氧气气化、水蒸气气化、氢气气化等。出于成本考虑，一般采用空气气化，但所产生的燃气热值较低，一般在5~6MJ/m³^[7]

。气化炉是生物质气化技术的核心设备，按设备运行方式，生物质气化炉可分为固定床、流化床和气流床。其中固定床和流化床是比较常见的两种气化炉型式。固定床气化炉分为下吸式和上吸式(如图4)，流化床气化炉分为鼓泡流化床和循环流化床(如图5)。不同气化设备的技术对比如表1所示。通常，固定床气化炉结构简单，操作方便，适合较小规模和对燃气品质要求不高的场合，如户用或农村集中供气；而流化床特别是循环流化床气化炉适合大规模连续生产，如发电或制合成气。

我国生物质气化技术研究始于20世纪80年代初期，目前已研制出可用于户用、集中供气和发电的各种类型气化设备，拥有成熟的燃气锅炉供热、内燃机发电等技术。其中，气化集中供气已在山东、辽宁、吉林、安徽等十几个省市推广，MW级气化发电技术设备实现了出口，生物质气化合成液体燃料技术也已完成了千吨级的示范。

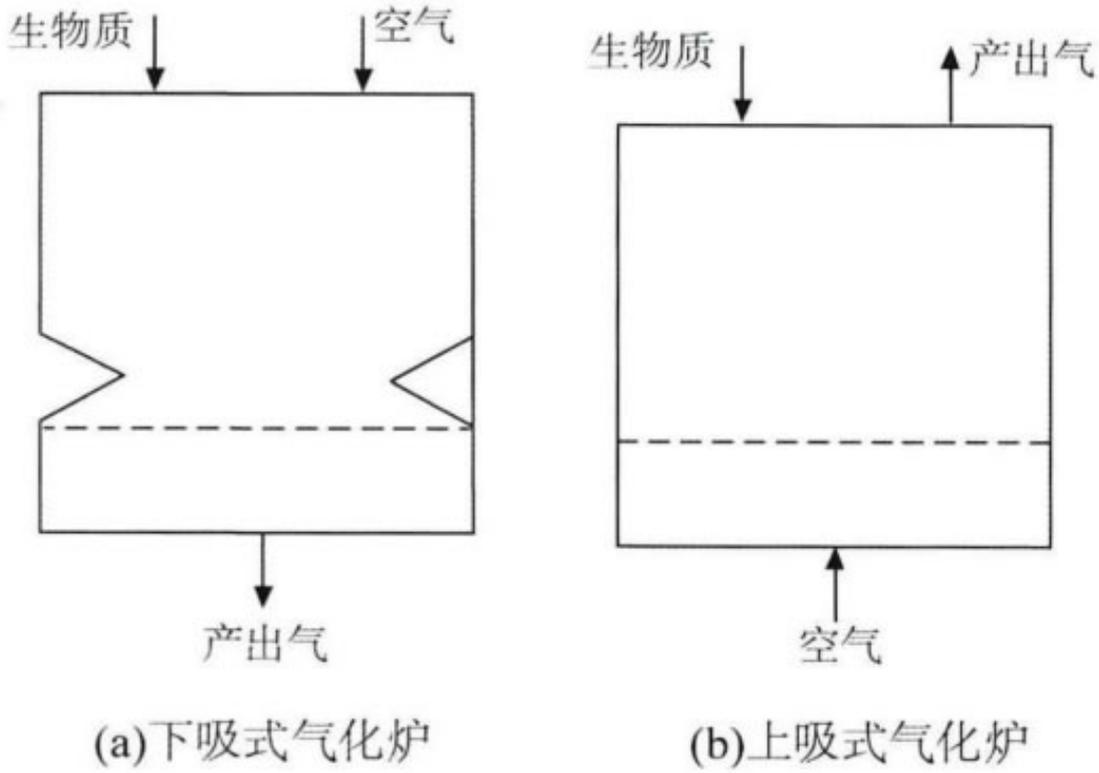


图4 固定床气化技术

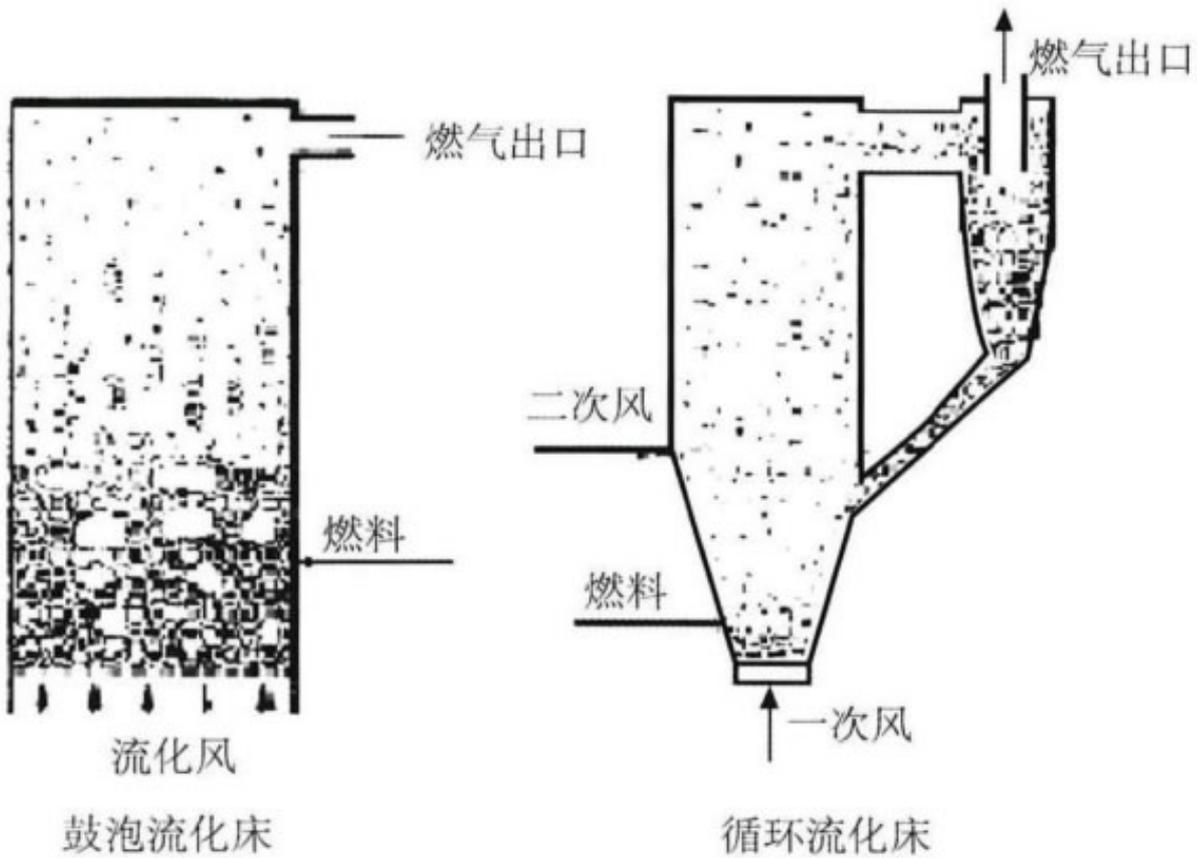


图5 流化床气化技术

表1 不同生物质气化技术比较

评价指标	固定床		流化床	
	上吸式	下吸式	鼓泡流化床	循环流化床
原料适应性	适应不同形状尺寸原料、含水量在15%~45%间可稳定运行	大块原料不经预处理可直接使用	原料尺寸控制较严,需经过预处理	可适应不同种类的原料,但要求为细颗粒,原料需经过预处理
燃气特点、后处理简单性	H ₂ 和C _n H _m 含量少,CO ₂ 含量高,焦油含量高,需要复杂净化处理	H ₂ 含量增加,焦油经高温区裂解,含量降低	与直径相同的固定床相比,产气量大4倍,焦油较少,燃气成分稳定,后处理过程简单	焦油含量少,产气量大,气体热值比固定床气化炉高40%左右,后处理简单
设备实用性、单炉生产能力	生产强度小	生产强度小	生产强度是固定床的4倍,但受气流速度的限制	生产强度是固定床的8~10倍,鼓泡流化床的2倍,单位容积的生产能力最大
结构复杂程度、制造维修费用	结构简单、加工制造容易	结构简单,容易实现连续加料	故障处理容易,维修费用低	故障处理容易,维修费用低

1.3 生物质液化技术

20世纪70年代爆发石油危机后,可以直接从生物质得到液体燃料的生物质热解液化技术迅速发展。生物质热解液化是指在中温(500 左右)和缺氧条件下使生物质快速受热分解,热解气体再经快速冷凝得到以液体产物(生物油)为主的热化学转化过程。在合适的条件下,生物油的最高产率可以达到70%以上。

国外在生物质热解液化研究方面起步较早,所开发的鼓泡流化床、循环流化床、旋转锥和真空反应器等技术均实现了较大规模的应用。其中流化床热解装置的最大处理量达到200吨/天,所生产的生物油用于热电联产。我国从1995年开始发展该技术,目前已有多家单位研发热解液化技术,但大多停留在实验室阶段。其中,中国科学技术大学建立了年产10000吨生物油的生物质热解制备生物油应用示范工程,华中科技大学开发了移动式生物质液化技术,可有效解决生物质资源低成本收集和高值化利用问题。

表2 生物油与重油基本特性对比

对比指标	生物油	重油	单位
密度	1 220	963	kg/m ³
粘度(50 ℃)	30 ~ 200	< 137	mm ² /s
氧含量	15 ~ 60	0.2 ~ 0.8	wt%
热值	13 ~ 18	42 ~ 46	MJ/kg
含水率	15 ~ 30	0.1 ~ 0.5	wt%
pH 值	2 ~ 3	6 ~ 7	—
灰分	<0.2	<0.1	wt%

表2给出了生物油与重油基本特性对比。生物油热值(LHV)为13~18MJ/kg,约为重油的一半,可以作为锅炉、柴油发动机和燃气轮机的燃料,比直接燃烧生物质要高效、清洁。但同时生物油中的氧含量较高,还含有15%~30%的水,所以生物油往往表现出强酸性、高粘度、低热值和品质不稳定等特性,使生物油的推广应用受到了很大的限制。除用作燃料外,生物油还可作为大规模气化、制氢的原料及用于提炼高附加值的化学品。此外,生物油中的羧酸含量一般在15%左右,主要是乙酸、甲酸和丙酸,还含有少量的苯甲酸,是制备有机酸钙盐的合适廉价原料。华中科技大学

利用生物油和钙基吸附剂制备出富含有机酸的“富钙生物油”，可作为有机酸钙盐的替代品，用于炉内氮硫污染物的联合脱除，图6为不同温度下富钙生物油对SO₂及NO_x的联合脱除效率，其最大脱硫效率超过90%，脱硝效率约60%^[8]。

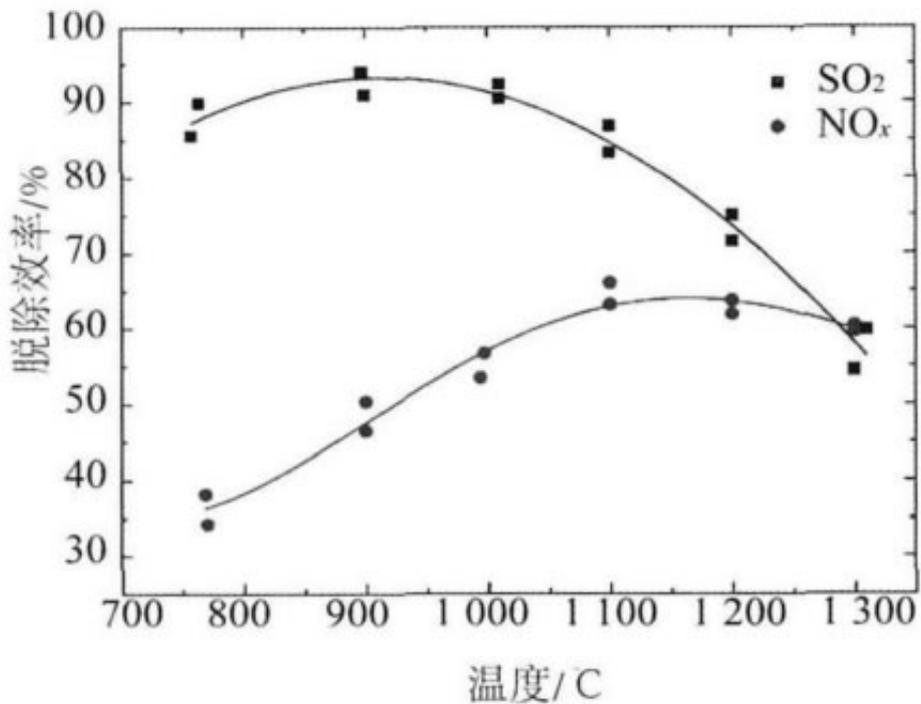


图6 不同温度下富钙生物油联合脱硫脱硝效率

1.4 生物质热解多联产技术

生物质热解多联产技术，是一种创新的生物质热解目标产物调控新思路，采用焦炭复合活化、热解油催化调质与分组富集、热解气净化与品质提升等技术实现对目标产物的精确调控和高效提质，同时实现炭、气、油的高效、高值化多联产，以及气、电、热多联供，该技术工艺流程如图7。以秸秆为例，炭产率 35%，热值 20MJ/kg；热解气产率约25%，热值 12MJ/m³

；生物油产率 30%，富含糠醛、苯酚等物质。其中，品质优良的炭可作为燃料炭、生物炭和活性炭；中高热值的燃气用于集中供气、发电，余热用于供热；富含有机成分的液体产物可以作为化工原料，从而实现了低品位的生物质资源向高附加值的能源和化工产品的转化和利用。与现有技术相比，该技术生产强度提高4倍以上，能耗降低50%。

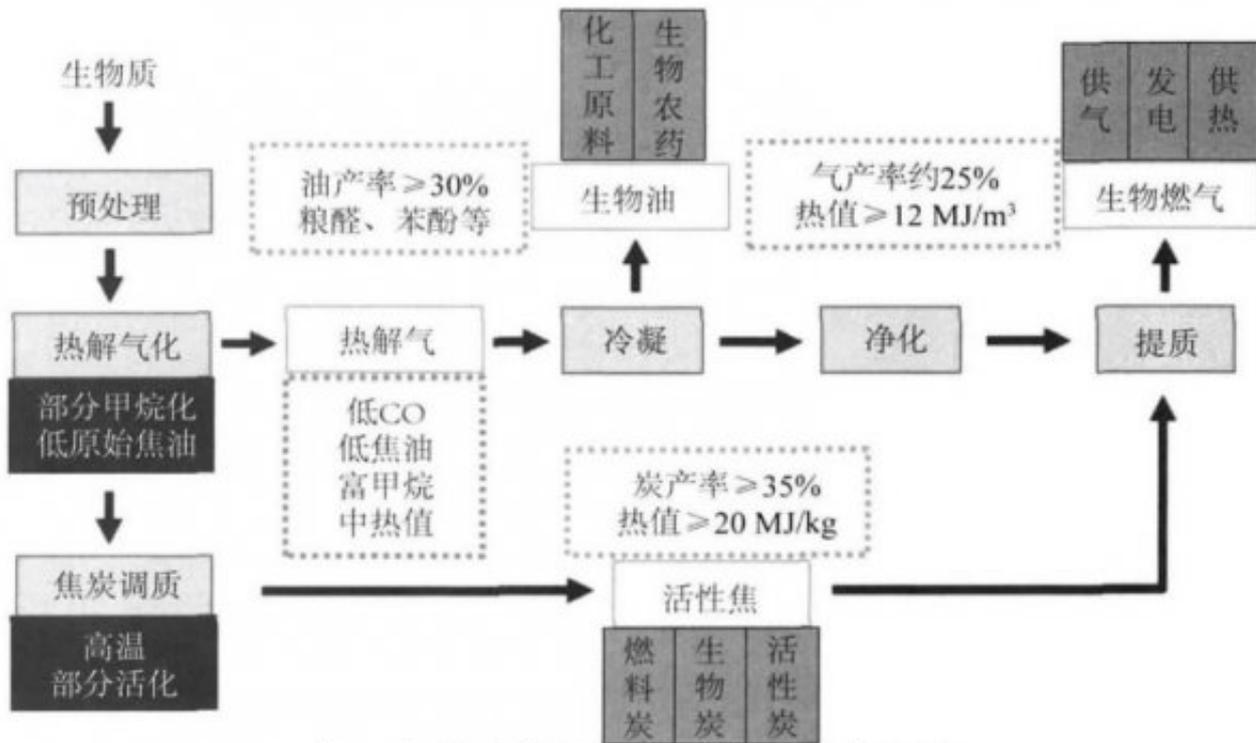


图7 生物质热解多联产技术工艺流程图

目前已在湖北鄂州、天门、孝感、赤壁等地建设20多处生物质热解多联产技术示范点，每个示范点的供气规模1000~6000户，经济与社会效益明显。因其先进性和优异的环保性能，该技术获得2014年联合国工业发展组织颁发的“全球可再生能源领域最具投资价值的领先技术蓝天奖”。同时“一种连续式生物质热解炭气油多联产系统”获得第十七届中国专利奖优秀奖。该技术现作为国家“绿色能源示范县”以及“新能源示范城市”等建设的主推技术之一，将很快在全国多地推广应用。

因此，经过几十年的发展，各种生物质燃料转化利用技术已比较成熟，已基本满足工业锅炉燃料供给的需要。目前各项技术推广应用的主要障碍是技术的经济性和市场竞争力不足。根据生物质原料自身特点，有必要改变单一产品为主的转化利用模式，积极寻求利用价值最大化的转化技术，综合化、高热值、多联产的资源化利用应是生物质燃料转化技术的发展方向。

2 生物质燃料锅炉技术现状及存在的问题

近年来，我国的生物质燃烧技术有了很大的发展，研发了一批具有自主知识产权的生物质燃烧技术及设备。但从整体来看，我国生物质燃料锅炉系统设计理念、技术还不够先进，在运行、管理、污染物控制等方面还存在诸多问题。

生物质燃料在锅炉中应用的主要形式包括：生物质固体燃料燃烧，生物燃气燃烧及生物油燃烧。下面分别阐述生物质燃料锅炉技术现状及存在的问题。

2.1 生物质固体燃料燃烧

按照燃烧方式的不同，生物质固体燃料燃烧技术可分为层燃技术、流化床燃烧技术及悬浮燃烧技术。层燃技术主要包括链条炉、往复炉排炉及振动炉排炉，适用于燃烧含水率较高、颗粒尺寸变化较大的生物质燃料，具有较低的投资和操作成本。

国外生物质层燃技术

的发展已比较成熟，其中具有代表性的产品有

丹麦的“雪茄型”捆烧炉^[9]

及比利时的温克生物质炉。我国也有许多研究单位开发出了各种类型的生物质层燃炉，并针对所使用原料的燃烧特性对炉膛结构进行优化，包括双燃烧室结构、封闭式炉膛结构及其他结构^[10]

。流化床燃烧技术具有燃料适应性广、燃烧温度低、有害气体排放少、负荷调节范围大等一系列的优点，很适合燃烧水分大、热值低的生物质燃料。目前，国外采用流化床燃烧技术开发利用生物质能已具有相当的规模。美国GE公司及爱达荷能源公司分别研制出100t/h的大型燃废木循环流化床发电锅炉及50t/h的蒸汽锅炉^[11]。

我国自20世纪80年代末开始，对生物质流化床燃烧技术也进行了深入的研究。国内各研究单位与锅炉厂合作，联合开发了各种类型的生物质流化床锅炉，投入运行后效果良好，还有大量产品出口到了国外，这对我国生物质能的利用起到了很大的推动作用。例如华中科技大学根据稻壳的物理、化学性质和燃烧特性，设计了以流化床燃烧方式为主，辅之以悬浮燃烧和固定床燃烧的组合燃烧式流化床锅炉^[12]

。试验研究证明，该锅炉具有流化性能良好、燃烧稳定、不易结焦等优点，已获得国家专利。此外华中科技大学还研究开发了生物质与煤流化床混烧技术，并为广西某糖厂研发了一台35t/h蔗渣与煤混烧循环流化床锅炉，如图8所示。悬浮燃烧技术主要适用于燃烧粉体生物质燃料，燃烧强度及温度较高，可达到较高的燃烧效率，同时可实现负荷快速变化和高效控制。但由于燃烧温度较高，其NO_x排放控制需要特别关注。燃烧器是确保生物质粉体高效

低NO_x

燃烧的关键，由于生物质与煤燃烧特性存在巨大差异，常规的煤粉燃烧器并不适用，因此需要从生物质本身的燃烧特性出发，设计专用的生物质燃烧器，图9为针对生物质粉体燃料研发设计的低NO_x燃烧器结构示意图。

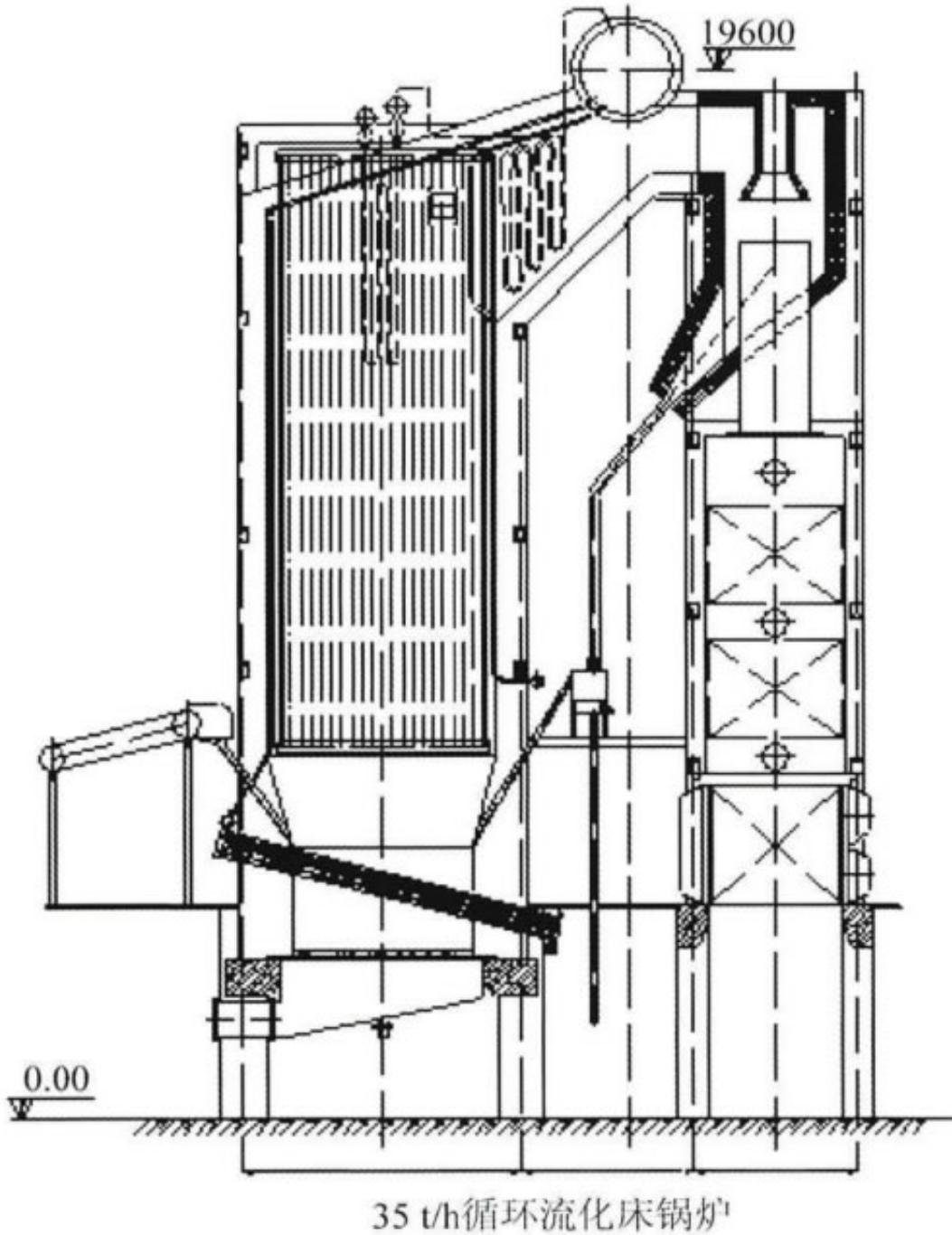


图8 35 t/h 蔗渣与煤混烧循环流化床锅炉

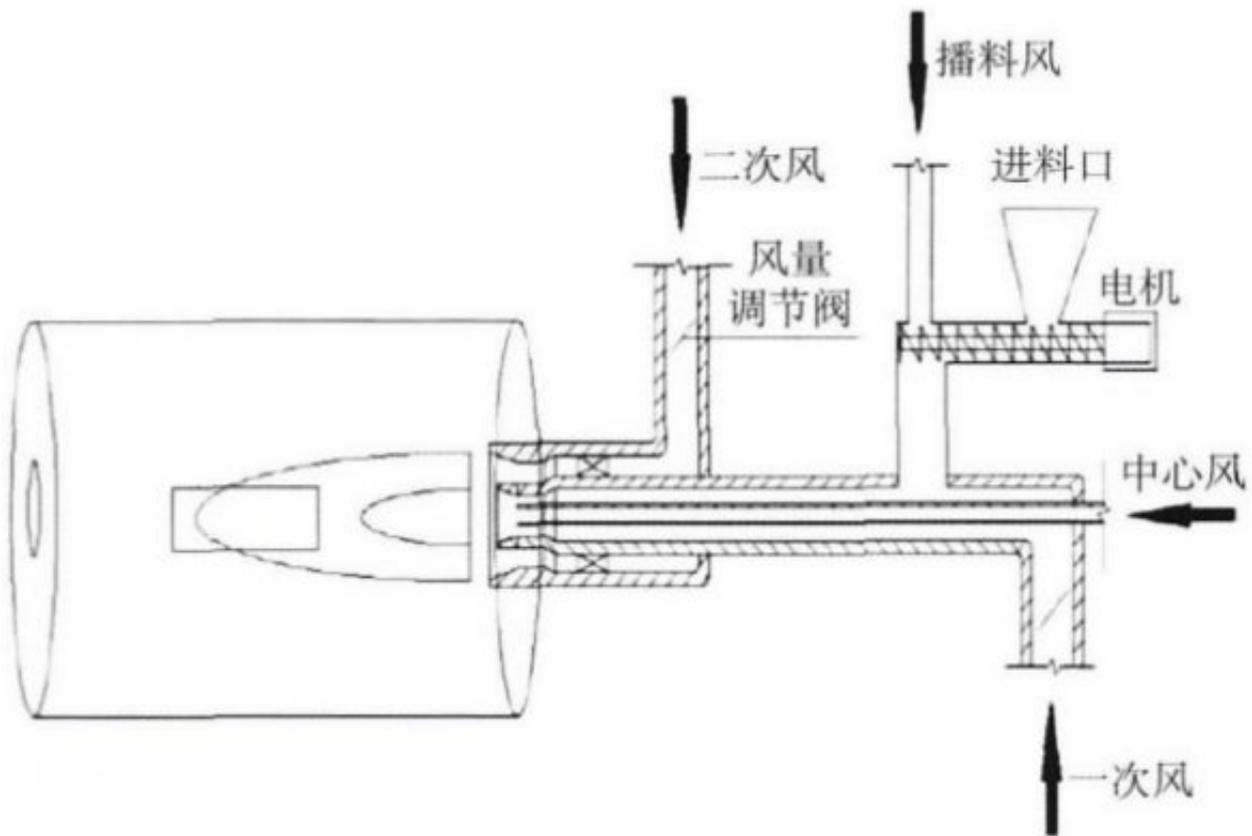


图9 生物质粉体燃烧器

近30年来，尽管我国在生物质固体燃料燃烧利用技术方面取得了长足的进步，但是与发达国家相比，仍有很大差距。目前国内生物质锅炉设计多为套用燃煤锅炉，并未根据生物质燃料特性进行相应的锅炉结构和配风设计。因此在锅炉燃烧效率及污染物排放控制方面与国外先进水平有一定差距，无法满足差异化市场需求。

就给料系统而言，我国尚未形成完善的生物质燃料市场供应体系，送入锅炉的生物质燃料种类繁多，特性各异，因此生物质锅炉给料系统的自动化程度不高。同时由于生物质含水量较高，容易造成给料系统堵塞卡死。利用烟气余热对入炉燃料进行干燥将有助于改善生物质燃料的输送特性，同时还有利于降低排烟损失，提高锅炉效率。另外，生物质燃料挥发分含量高，且易于着火，运行过程中极易出现回燃现象，为保证锅炉设备安全运行，对于层燃炉需要在进料口加装隔板，同时调整配风；而对于流化床宜采用两级进料的方式，并加大送料风。

对于煤改生物质的工业锅炉，往往会导致锅炉结构与生物质燃料特性不匹配，燃尽困难，燃烧效率低，因此需要对炉膛结构进行针对性改造。具体改造措施为：提高前拱角度，降低后拱高度、缩短后拱长度，同时采用分级配风，提高炉膛有效空间，保证挥发分的充分燃烧，进而提高燃烧效率。

此外，生物质中的碱金属还会引起锅炉受热面的积灰、结渣和腐蚀，直接造成锅炉寿命和热效率的降低；同时碱金属还易引起床料的聚团、结渣破坏正常流化，使燃烧工况恶化。在生物质燃烧利用过程中，通过降低燃料中碱金属含量的比例(与煤混烧或适当预处理手段)，设法提高燃料灰分的熔点(加入添加剂)，抑制碱金属的挥发性，以及在保证锅炉正常运行的情况下，通过调节一二次风配比或采用烟气再循环适当降低燃烧温度，是防止生物质锅炉积灰、结渣和腐蚀问题的有效途径。另外对于流化床锅炉，选用合适的床料(富含抑制聚团烧结元素，如Fe、Al等)，及时排出大渣，保证均匀流化也是一种有效减轻结渣的方法。生物质燃料与煤的另一个显著不同在于生物质中的氯含量较高，氯在生物质燃烧过程中的挥发及其与锅炉受热面的反应会引起锅炉的腐蚀。针对氯腐蚀问题，主要的防制措施有：合理调整燃烧工况、选用耐腐蚀的受热面材料、加入适量的吸收剂脱氯及加强吹灰等。

2.2 生物燃气燃烧

生物燃气燃烧主要是指生物质原料或生物质成型燃料首先通过气化炉产生可燃气，然后再将可燃气送入锅炉进行燃烧。该技术燃烧效率高，且易实现清洁燃烧。燃烧产物经除尘

、脱硫后可达到烟尘小于 $20\text{mg}/\text{m}^3$ ， NO_x 小于 $200\text{mg}/\text{m}^3$ ($\text{O}_2=3.5\%$)， SO_2 小于 $50\text{mg}/\text{m}^3$

，达到天然气燃烧排放标准，因此，生物燃气燃烧技术备受发达地区青睐^[11]

。国外生物燃气燃烧技术主要应用于水泥窑、石灰窑及热电联产，部分技术已实现商业化，形成规模化产业经营，而目前国内生物质气化技术的产业化应用主要以气化发电和农村供气为主，气化燃气工业锅炉应用才刚刚起步，实际运行项目较少^[12]。

目前制约生物燃气燃烧技术发展的主要问题在于燃气热值偏低，且焦油含量高。一方面，国内尚未有专门针对低热值生物质燃气开发的燃烧设备，大多由天然气锅炉改造而成，燃烧稳定性及燃烧效率都无法保证，因此需开发专用的低热值生物质燃气燃烧器，同时还需对锅炉结构进行重新设计，提高燃烧效率和系统的稳定性。另一方面，生物质燃气中的焦油会与水、灰结合在一起，沉积在气化设备、管道、阀门和下游设备，造成设备堵塞及磨损，同时也导致燃气净化系统复杂且运行成本高昂。图10为两种常见的生物质燃气利用技术路线图，即“冷燃气”路线与“热燃气”路线。在条件允许的情况下，建议采用“热燃气”路线，即生物质原料经过气化炉气化后，通过高温风机将高温燃气直接送入锅炉燃烧，过程中确保燃气温度大于 200°C ，防止焦油冷凝，尽可能减少焦油对设备的影响。

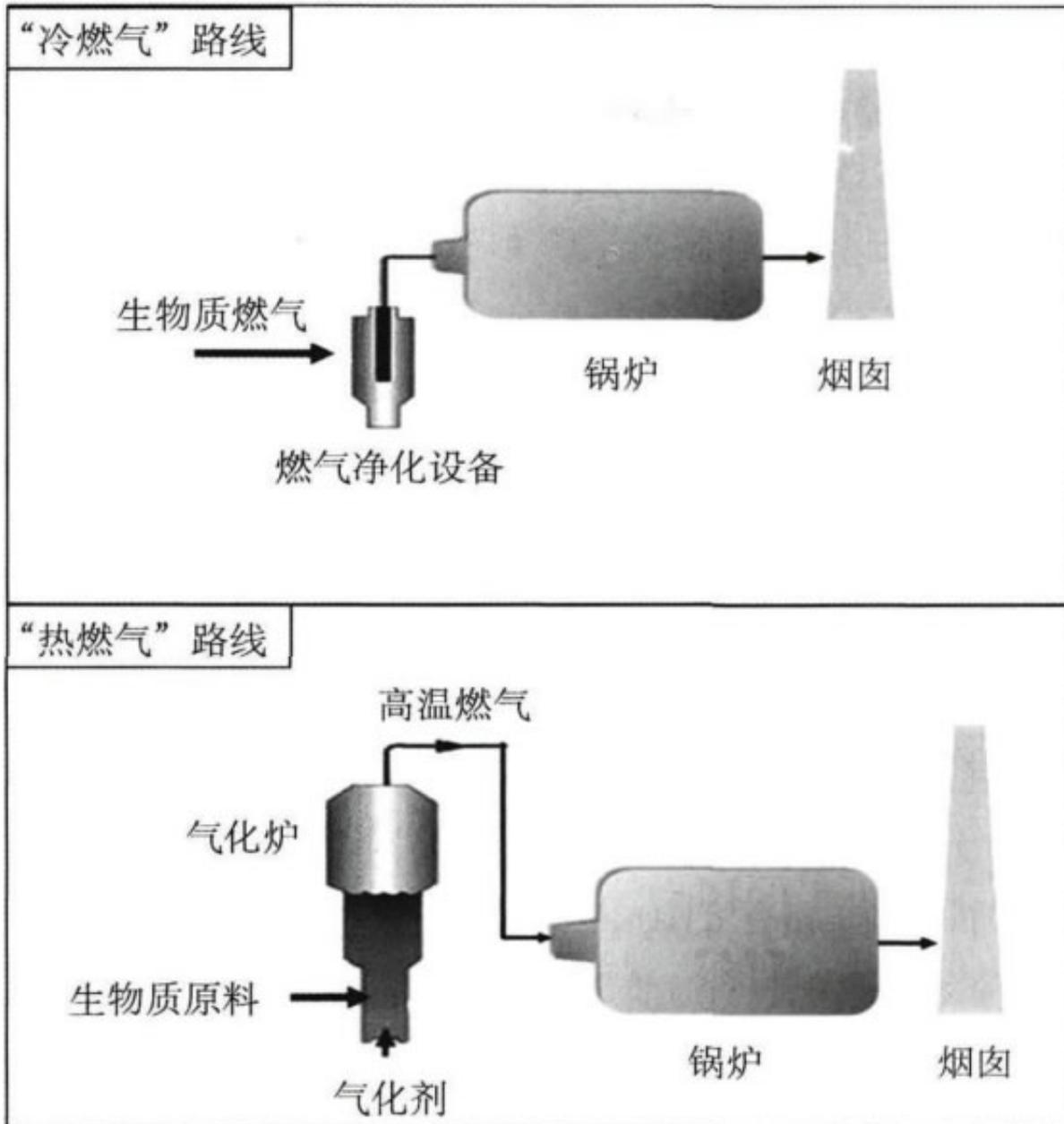


图 10 两种生物质燃气利用技术路线示意图

2.3 生物油燃烧

生物油是生物质经过快速热解后得到的主要产物，其能量密度是生物质原料的8~10倍，可替代重油用于锅炉燃烧设备^[14]

。国内外已有许多研究机构对生物油在锅炉和窑炉中的燃烧特性及污染物控制开展研究，经过多年的发展，生物油的锅炉燃烧技术已经比较成熟，并且已在工业上有小规模应用。

芬兰NesteOy公司^[15]

利用改造后的2.5MW Dam-stoker锅炉，实现了生物油的稳定燃烧，尾气中CO和NO_x的排放量分别为0.003%和0.014%。芬兰国家技术研究中心VTT^[15]

在改造后的8MW工业炉上进行生物油燃烧试验，发现排放产物中除微粒外，其余污染物排放量均低于重油。此外，生物油与化石燃料共

燃也是一种比较合适的生物油利用方式，美国RedArrow公司、荷兰BTG公司^[16]

分别在20MW燃煤锅炉及251MW天然气电站中成功实现了生物油与煤、燃气的共燃，结果表明生物油与化石燃料共燃对锅炉设备没有任何有害影响，还可以减少污染物的排放。

生物油在锅炉燃烧的关键技术是点火。生物油水分含量高，热值低，在点火期间，水分的蒸发会吸收大量的热量，导致生物油着火困难，且燃烧初期火焰稳定性差。同时在点火初期，炉膛温度较低，火焰散热损失严重，容易熄灭。为保证生物油的成功点火，最有效的方法是采取炉膛预热或使用辅助点火源。其次提高雾化质量也有利于生物油的点火，推荐采用空气或蒸汽雾化，典型的空气雾化喷枪结构如图11所示。其次，点火期间，在保证雾化质量的前提下，降低喷雾速度，可防止火焰被吹熄，有利于火焰稳定。最后，采用旋流雾化喷嘴可以在炉膛内形成高温回流区，着火能更稳定。除点火问题以外，生物油雾化燃烧还需要注意下面的一些问题：生物油中一般含有一些杂质，其中较大的颗粒可能会堵塞喷嘴，因此含固体颗粒较多的生物油必须过滤后使用；生物油稳定性较差，受热后容易变性结焦，从而堵塞雾化喷嘴，因此需要用空气冷却喷嘴，并在启停阶段用酒精等燃料清洗油路。

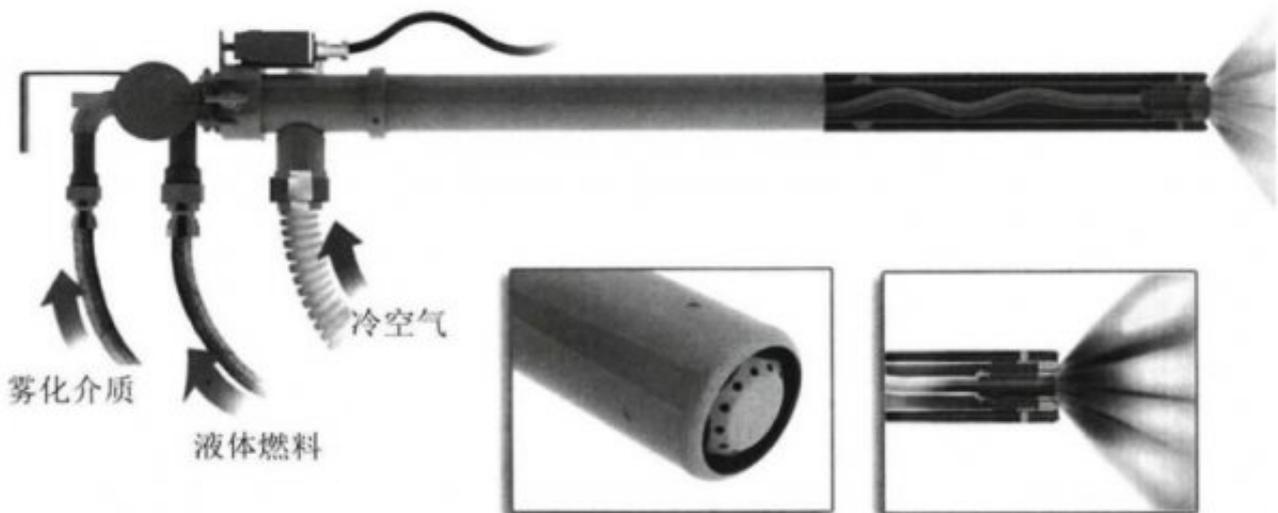


图 11 典型空气雾化燃油喷枪结构示意图

3 锅炉行业的选择

当前，在“限煤”的大环境下，锅炉行业面临着转型升级的选择。随着我国经济由高速增长阶段转向高质量发展阶段，国家能源和环保政策逐步调整到位，锅炉行业也基本明确原料绿色化、生产清洁化和产品智能化的发展方向。

3.1 原料绿色化

未来能源增长将主要来自于可再生能源，对于锅炉行业来说，必须立足生物质燃料，从吃黑色原料转向吃绿色原料。生物质燃料种类繁多，包括不同来源以及不同转化技术得到的，燃料特性千差万别，对锅炉来说是不小的挑战，但也是一个必须要解决的问题。

锅炉行业应充分认识生物质燃料特性对锅炉实现高效清洁安全燃烧的影响，利用现有设备开展各种燃料(固体燃料或气体燃料)及燃烧方式(纯燃或混燃)下的性能测试，积累相关工业数据；应积极主动参与生物质燃料技术的研发，参与相关燃料标准的制定。例如，针对生物质燃烧过程中突出的沾污、腐蚀问题，通过燃料添加剂是可以大大缓解的，这就需要对现有的成型燃料标准进行修订。另外，还应加快研制生物质燃料专用锅炉，使生物质燃料特性与锅炉参数相互匹配最终实现效能最大化。

同时，锅炉行业还要大胆探索与生物质能源结合的新方式，先行先试，抢占先机。实际上生物质气化耦合发电就是一个很好的例子。生物质气化技术应用一直受制于焦油问题，但如果直接将气化气送入锅炉燃烧，就可以避开焦油问题，如果配套的是大容量高参数锅炉，效率和效益就更具优势了。在实际工业生产过程中，还有很多待开发利用的生物质资源，采用合适的转化技术，就地与生产过程中的用能需求相结合，对于控制和降低生物质燃料成本以及生产过程的能耗也是极为有利的。

3.2生产清洁化

作为一种相对清洁的燃料，使用生物质燃料对于锅炉污染物的控制是有利的。但我国能源行业整体实施超低排放已成趋势，如何实现绿色燃料的清洁利用也是锅炉行业采用生物质燃料时需要重点考虑的。应结合生物质燃料及其燃烧污染物初始排放浓度低的特点，因地制宜、因势利导，采用灵活的技术手段实现污染物的控制，绝不能简单照搬燃煤锅炉超低排放技术。

除了从原料端预处理入手，尽可能在燃烧过程中实现低排放外，还可以结合一些新技术，例如，以生物质热解得到的富含有机酸的生物油为原料制备富钙生物油进行联合脱硫脱硝，其脱硫效率大于90%，脱硝效率最大可到57%。生物油还可以作为尿素SNCR脱硝的添加剂，有利于拓宽脱硝反应温度窗口。将生物质热解所得生物焦进行富氮化改性，不仅促进了富氮生物焦的孔隙结构的发展，还增加了富氮焦表面含氮官基团的引入，进而改善富氮焦吸附污染物的特性，是一种优良的烟气净化吸附剂，可以同时吸收二氧化硫、氮氧化物和二氧化碳。如果将上述技术整合成一体，可以满足超低排放的要求。

3.3产品智能化

随着信息技术的不断发展，传统行业与互联网等新兴技术的融合正在加快，未来的生物质燃料锅炉理应进入智能化时代。通过物联网，可以随时掌握锅炉燃料特性；通过人工智能系统，可以将锅炉运行参数调整到最佳；生物质燃料的消耗量、能源(电力)输出量、污染物排放量等数据传向各种终端，整个生产过程可根据原料价格、库存、碳税、能源价格、排污费、设备状态等进行智能控制，实现综合效益最大化。

锅炉企业需要跳出传统的只卖锅炉的狭隘盈利模式，而成为清洁能源整体解决方案的提供商，通过提供技术含量高的产品，以及各种后续技术服务，甚至是承担运营任务，获得长期收益。此外，还应打破用户、制造企业及行业专家之间缺乏深度信息融合的限制，充分利用“互联网+”技术及工业锅炉行业专家资源，搭建集监测、诊断及远程服务于一体的综合性平台，并基于平台大数据，为锅炉制造企业的标准设计、用户的炉型选择、锅炉系统的运行优化提供指导，促进工业锅炉产品运行智能化、设计标准化、全生命周期持续进化，全面提升我国工业锅炉行业的技术水平。

4结语

锅炉行业正处于一个新旧交替的重要历史时期，机遇与挑战并存。在与生物质燃料结合的过程中，需要打破行业传统发展模式的束缚，始终瞄准新技术和市场变化，不断提升产品和服务质量，拓宽盈利渠道，开创锅炉行业发展的新时代。

参考文献

- [1]赵钦新，周屈兰.工业锅炉节能减排现状、存在问题及对策[J].工业锅炉，2010(1)：1-6.
- [2]国家能源局.国家发展改革委、国家能源局关于印发促进生物质能供热发展指导意见的通知[EB/OL].(2017-12-06)[2019-01-28].http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201712/t20171228_3085.htm.
- [3]王建祥，蔡红珍.生物质压缩成型燃料的物理品质及成型技术[J].农机化研究，2008(1)：203-205.
- [4]中国生物质能产业联盟.煤改生物质将成我国清洁供热的重要战略[EB/OL].(2018-01-22)[2019-01-28].<http://www.china-nengyuan.com/news/119856.html>.
- [5]张国梁，孙照斌，曲保雪，等.生物质致密成型技术和设备研究[J].林业机械与木工设备，2010(12)：13-16.
- [6]米铁，唐汝江，陈汉平，等.生物质气化技术比较及其气化发电技术研究进展[J].能源工程，2004(5)：33-37.
- [7]孙立，张晓东.生物质发电产业化技术[M].北京：化学工业出版社，2011.
- [8]张谋，陈汉平，王贤华，等.富钙生物油煅烧及脱硫特性研究[J].可再生能源，2012(4)：42-46.
- [9]张品，刘圣勇，王炯，等.国内外生物质燃烧技术及设备的研究现状[J].工业锅炉，2015(6)：10-15.

- [10]陈汉平, 李斌, 杨海平, 等. 生物质燃烧技术现状与展望[J]. 工业锅炉, 2009(5): 1-7.
- [11]别如山. 生物质供热国内外现状、发展前景与建议[J]. 工业锅炉, 2018(1): 1-8.
- [12]刘皓, 黄琳, 林志杰, 等. 稻壳流化床锅炉的设计、运行的若干问题[J]. 工业锅炉, 1996(1): 5-6.
- [13]吴创之, 刘华财, 阴秀丽. 生物质气化技术发展分析[J]. 燃料化学学报, 2013, 41(7): 798-804.
- [14]张雪辉, 陈海生, 豆斌林, 等. 生物油制备、性质与应用的研究进展[J]. 化工进展, 2011, 30(11): 2404-2416.
- [15]CZERNIK S, BRIDGWATER A V. Overview of Applications of Biomass Fast Pyrolysis Oil[J]. Energy & Fuels, 2004, 18(2): 590-598.
- [16]LEHTO J, OASMAA A, SOLANTAUSTA Y, et al. Re-view of fuel oil quality and combustion of fast pyrolysis bio-oils from lignocellulosic biomass[J]. Applied Energy, 2014, 116: 178-190.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/152365.html>