

循环流化床锅炉焚烧生物质燃料的研究进展

陈继辉, 卢啸风

(重庆大学动力工程学院, 重庆400030)

摘要: 生物质废弃物产量的与日俱增及环保要求的不断提高使循环流化床燃烧技术逐渐在生物质废弃物的处理和利用方面扮演越来越重要的角色。该文综述了采用循环流化床锅炉用生物质废弃物(林业废弃物、农业废弃物)作为燃料进行焚烧处理的国内外现状, 详细介绍了废弃木材、秸秆、稻壳、果核、橄榄饼、甘蔗渣和向日葵茎干这些生物质废弃物在循环流化床锅炉里燃烧的研究和应用现状, 指出了目前存在的问题及努力的方向。

0引言

煤、石油、天然气等化石燃料从20世纪70年代就开始大规模的开采, 其存储量急剧减少。据预测, 地球上蕴藏的可开发利用的煤和石油等化石能源将分别在200年和30~40年以内耗竭, 而天然气按储采比也只能用60年。目前, 寻找替代能源已经引起全社会的广泛关注^[1, 2]。

生物质能是一种可再生能源, 来源十分丰富。它是仅次于煤炭、石油和天然气而居于世界能源消费总量第四位的能源。当前, 生物质燃料的消耗已占世界总能源消耗的14%, 在发展中国家这一比例达到38%。据世界粮农组织(FAO)预测, 到2050年, 以生物质能源为主的可再生能源将提供全世界60%的电力和40%的燃料, 其价格低于化石燃料。生物质燃料的开发利用已经成为世界的共识^[3-5]。

。在众多的生物质能源

转换技术中, 直接燃烧是高效利用生物质资源最为切实可行的方式之一^[6]。循环流化床CFB(Circulating Fluidized Bed)燃烧技术由于在替代燃料、处理各种废弃物和保护环境三方面具有其它燃烧技术无可比拟的独特优势而逐渐受到各国的关注^[7, 8]。

。利用该技术处理生物质是20世纪80年代末开始的, 国外已具有相当的规模和一定的运行经验, 而在中国的应用刚刚起步^[9, 10]。

了解生物质废弃物在CFB锅炉里燃烧的研究与应用现状对生物质废弃物进一步的回收利用以及解决能源问题都将具有非常重要的指导意义。以此为出发点, 本文对国内外采用循环流化床燃烧装置焚烧生物质废弃物燃料的现状进行介绍, 并对未来进行了展望。

1生物质成型技术

实践已经证明, 由于各种生物质燃料自身特性的原因, 即使经过简单破碎的秸秆、废木材、稻壳等生物质废弃物仍然具有热值较低、形状很不规则的特点。因此, 它的炉前热值经常发生很大的变化, 若将其直接送入CFB锅炉里进行燃烧, 会出现燃烧不稳定的现象。另外, 由于空隙率很高, 这些体积庞大的生物质废弃物也不利于长距离的运输。为了解决上述矛盾, 生物质压缩成型技术应运而生。生物质压缩成型技术是把生物质与经过除氯的添加剂混合后被铸造模型制成具有统一尺寸、所含热值均匀并易于输送的衍生燃料。

将生物质加工成成型燃料是利用CFB锅炉燃烧生物质的重要方式。成型燃料代替原生物质燃料进行燃烧, 可以减少大量的化学不完全燃烧热损失与排烟热损失。而且燃烧速度均匀适中, 燃烧相对稳定^[9]。

在生物质压缩成型的过程中, 一般都会加入一些添加剂(石灰石等)和其他辅助燃料(煤、污泥等)。这种方式充分发挥了生物质燃料易着火和其他辅助燃料燃烧稳定的优点, 是当前生物质燃料进行燃烧利用的重点, 各国学者的研究也都集中于此。西方发达国家、泰国、印尼等国已投入使用, 中国和土耳其等国也正在推广^[6, 8-10]。

2林业废弃物在CFB锅炉里的燃烧

林业废弃物主要是指林业生产和加工过程中产生的废弃木材、木屑(或木球)、树皮等废弃物。

西方发达国家研究废弃木材作为CFB锅炉的燃料已经很多年了。20世纪80年代末, 美国就开发出大型燃烧废木料的CFB锅炉, 分别安装在Freson、Rocklin和Mecca。瑞典也是以林业废弃物作为大型CFB锅炉的重要燃料加以利用的, 尽管这些燃料的含水率有时高达50%~60%, 但锅炉的热效率仍可达到80%。丹麦为了减少二氧化碳的排放, 采用奥斯

龙公司的高倍率CFB锅炉将干草(或木屑)与煤以6:4的比例送入炉内燃烧,效果较好。目前世界上最大容量的燃烧生物质的循环流化床锅炉就是F&W公司240MW的烧废木材的CFB锅炉,它的成功运行为燃烧林业废弃物的CFB锅炉的大型化奠定了良好的基础。此外,德国、芬兰、法国、意大利、土耳其和俄罗斯等国家也先后对CFB锅炉燃烧废木材进行了研究^[9, 10, 11-14]。

PretoF^[11]

通过试验发现:以废弃木材为燃料的CFB锅炉运行情况较好,燃烧效率可以超过99%。在气体排放方面,除了CO外,NO_x、N₂O、SO₂、Furans等的排放都低于允许标准。Hiltunen MA等^[12]

发现燃烧产生的灰渣很少,细而均匀。但是,由于燃料里含有较多灰熔点低的钾,灰比较容易在锅炉里结垢。而且,燃料里还含有氯和碱性物质,这些物质都有很强的腐蚀作用。

AmandLE等^[13]

发现,燃烧产生的灰份里含有很多金属(Hg、Cd、Cr、Cu、Mn和Zn等),但是它们的含量都在欧洲联合会(EC)所规定的范围之内。OrjalaM等^[14]

通过研究也证明了使用CFB锅炉燃烧废弃木材是可行的。同时,他们从经济上分析后又指出,作为CFB锅炉燃料的废弃木材不适宜远距离输送。举例来说,当机组容量为25MW时,运输距离最好不超过70km。若按照这个运输距离(70km)进行计算,保守估计,生产每千瓦时电能可以节约6美分的成本^[11]。

以上研究对采用CFB锅炉燃烧废弃木材的可能性给予了充分的肯定,但由碱金属引起的结垢和腐蚀问题不容忽视。与此同时,各国学者对在废弃木材里添加辅助燃料在CFB锅炉里的燃烧特性进行了研究,而污泥是被研究的最为广泛的一种辅助燃料。LecknerB等^[15]及AmandLE等^[13, 16, 17]

通过实验证明,在球状木屑加入污

泥之后,CFB锅炉在金属及气体排放(CO、NO_x、SO₂

)控制方面都是可行的。需要指出的是,正常燃烧时,氯气的排放量超过了欧洲联合会所规定的标准。但是在对烟气进行了喷射湿石灰处理后,氯气的排放也满足排放要求。

LecknerB等^[15]

还发现,对于污泥与木材的混烧,添加更多的石灰石

对降低SO₂

排放量也可以取得明显的效果。另一个重要发现就是,空气的分段送入对控制木材、污泥等高挥发分燃料燃烧的气体排放效果不明显。AmandLE等^[16, 17]

发现,烟气中各种有害气体的浓度主要与混合燃料中污泥各成分(氮、硫和氯)含量的有关,在未加入像石灰石处理硫和氯的情况下,所排放烟气里的CO₂

的浓度仍比较低,并且没有轻质烃产生。他们同时还指出,经过干燥的污泥与木屑混合燃烧对实际的操作运行非常有利,而对只经过机械除水的污泥来说,锅炉是不能正常运行的。

除污泥外,有学者对木屑与其它燃料在CFB锅炉里的混烧进行了研究。DuoWenli等[7]发现,在木屑里混入2%~5%的TDF(Tire derived fuel)作为CFB锅炉补充燃料时,会使平均床温升高55℃,而且可以改善燃烧质量;虽然TDF含有1%的锌和5%~7%的钢铁性物质,但TDF的加入并没有使烟气中总的烟尘量增加。需要注意的是,由于TDF中较高的含硫量,使SO₂排放量有所增加。

所有的研究表明,CFB锅炉混烧废弃木材与污泥、TDF等的混合燃料在燃烧稳定性和污染物排放上的综合性能是优于纯烧废木材的,但对于碱金属所引起的结垢和腐蚀问题还需进一步研究。

3农业废弃物在CFB锅炉里的燃烧

农业废弃物主要是指农业生产、加工过程中所产生的秸秆、稻壳等废弃物。它产量巨大,除了少量用于返田以外,还有大量的剩余。如何

将这些农业废弃物的化学能有效地转化为高品

位的热能,意义十分重大^[3]

。这一点对中国则更具深远意义,这不仅关系到解决国家能源短缺和环境污染的问题,而且对解决“三农问题”,发展农村经济

、提高农民收入、改善

农村生活条件、发展循环经济、建设节约型社

会都具有十分重要的作用^[4]

。CFB燃烧技术的发展为合理利用这些农业废弃物燃料提供了一条可行之路。目前,国内外对采用CFB锅炉燃烧各种农业废弃物已经展开了一定的研究,并取得了一些成果^[18-20]。

3.1 秸秆在CFB锅炉里的燃烧

秸秆是农村的传统燃料

,传统的燃烧方法会造成大量的排烟热损失和大量

的气体(CO 、 H_2 、 CH_4

等)不完全燃烧损失,利用CFB燃烧技术并采用秸秆成型技术是将这些大量的农业废弃物进行有效的转化和利用的重要手段^[18, 19]。

运用秸秆成型技术,原料的密度可达 $0.8 \sim 1.3 \text{ t/m}^3$

,能量密度与中质煤相当,燃烧特性明显改善,且储存、运输、使用方便,可代替矿物能源。目前,国内外各种成型技术已基本成熟^[20, 21]。

然而,农作物秸秆成型燃料目前主要还是在链条炉和鼓泡流化床锅炉上使用,技术比较成熟,而在CFB锅炉上使用的相关文献较少。

GlazerMP等^[22]

在CFB锅炉上研究了秸秆与煤的混合燃烧后发现:烟气中碱性成分的含量与初始燃料里钾、钠的含量有关,且气态的碱金属的浓度比纯秸秆燃烧时有所降低,混合燃料的 SO_2

排放量比纯秸秆大大增加。沈伯雄等^[23]

指出,生物质和煤混合燃料中煤比例的增加将会导致 SO_2 和 NO_x 的排放量增加。

但是,由于生物质燃

料中挥发分的燃烧而消耗大量氧气,形成局部

还原性气氛,抑制了 SO_2 和 NO_x 的生成,致使 SO_2 和 NO_x 排放的增加量不多。

烧结是采用CFB锅炉燃烧秸秆经常发生的问题。秸秆具有很高的碱金属含量,这些碱金属与Cl和Si以一定的比例结合会产生腐蚀和形成沉淀,并使流化床产生流化问题^[22]

。烧结的发生与温度、流

化速度和气氛有关,其中温度是影响烧结的最主要

因素。别如山等^[8]及GruborBD等^[24]

指出,合理布置燃烧系统及受热面和添加 Fe_2O_3 、 Al_2O_3

等惰性添加剂可以很好的防止结焦。同时他们发现,用 Fe_2O_3

做床料,当灰中钾、

钠总含量超过20%且床温在900℃以上时,也只有很小的结块,此性能优于 Al_2O_3 和 SiO_2 作床料的情况。

3.2 稻壳在CFB锅炉里的燃烧

循环流化床燃烧技术能很好地满足稻壳的高挥发分析出迅速、固定碳难以燃尽的特点,所以,稻壳的循环流化床燃烧技术便成了当前稻壳燃烧技术的研究重点。

稻壳表面

的毛刺极大地影响了稻

壳的流化特性,在进行燃烧前要经过预处理。

许卫国等^[25]及陈冠益等^[18]

研究发现,纯稻壳不易流化,与煤混合后的综合流化性能有一定改善,而与石英砂混合效果更好。陈冠益等还发现:

锅炉的飞灰含碳量明显高于灰渣的含碳量。尽管如此,燃烧效率仍高达97%;另外,由于稻壳本身氮和硫的含量极少,在不用任何脱硫剂、脱硝措施情况下,稻壳燃烧所排放出的主要大气污染物都远低于排放标准。以上研究结果说明了稻壳作为CFB锅炉的燃料在运行状况和气体排放上是可行的,而在金属排放方面还需要展开相应的研究。

HansenLA等^[26]及张殿军等^[27]

研究CFB锅炉里燃烧稻壳和煤的混合燃料时发现,稻壳里的碱金属(钠和钾)对灰在换热表面上的沉淀影响很大。而且

,当稻壳含氯较高(如稻草)时,将使壁温高于400 的受热面发生高温腐蚀。

稻壳的灰份含量较少,通常在运行过程中也需要加入一定粒径的添加剂(如沙子)。由于沙子的密度远大于稻壳颗粒的密度,稻壳在炉内的运动有可能存在部分分层的现象。但总体上,稻壳颗粒在炉内仍可简化认为是均匀混合的^[28]。

黑龙江建三江分局华盛热电股份责任有限公司将原来烧烟煤的35t/hCFB锅炉改烧烟煤和稻壳的混合物。根据不同的煤质变化情况,煤和稻壳的混料比例一般在2 1和3 1之间时燃烧工况最佳。在一年的运行过程中,锅炉节煤在20%~45%(相当于原煤款200万元),经济效益相当可观^[29]。

3.3果核在CFB锅炉里的燃烧

杏核和桃核等果核非常适合燃烧,它们的湿度很低,而且不含有像氯这样的有害成分。因为含有很高的木质素,热值和木材差不多。

AyselTA等^[19]

在直径125mm、高1800mm的CFB燃烧装置里燃烧杏核和桃核发现,杏核和桃核燃烧时燃烧效率可以达到96%~98.95%,而且燃烧效率随着过量空气系数和床料固体颗粒循环倍率的增加而增加。试验中使用这种燃料时所需的过量空气系数 λ 在一个较高

的水平(1.6~2.1): λ 低于1.6时,燃

烧效率仅仅为74%~85%; $\lambda=2.1$ 时,燃烧时产生的 SO_2 和 NO_x 都会低于欧共体的限制要求。

文献[19]中还指出,对于小容量的CFB锅炉和洁净能源生产来说,水果核是一种很有潜力的燃料。H üseyinT等[30]通过研究杏核、桃核等农业废弃物与土耳其煤在CFBC里的混合燃烧情况后指出,杏核、桃核与煤在CFBC里混烧不仅可以保持较高的燃烧效率(93.5%~97%),而且可以实现锅炉机组的大型化。他们同时还发现,为了维持较低的污染物排放量,果核与煤混合时存在着最小混合质量比(1 4左右)。

3.4橄榄饼(Olivecake)在CFB锅炉里的燃烧

CliffeKR等^[20]、SuksankraisornK等^[21]、ArmestoL等^[31]及AyselTA等^[32]

发现,在CFB锅炉里燃烧橄榄饼与煤的混合燃料可以保持较高的燃烧效率。CliffeKR等还发现:与纯煤燃烧相比,在橄榄饼的质量占20%时,燃烧效

率降低最多,但也仅仅下降5%;随着橄榄饼含量的增加, NO_x 和 SO_2 的排放量减少,而 N_2

O的

排放量

稍有增加。而S

uksankraisornK等发现,随着

橄榄饼含量的增加, NO 的排放量也稍有增加。ToramanOY

等^[33]

通过试验指出,对于利用CFB锅炉来燃烧像污泥这样的低燃烧质量的燃料来说,橄榄饼将会是一个很好的辅助燃料。

TopalH等^[34]

还分别进行了橄榄饼独自燃烧,和油页岩、柴油一起混烧的试验。所有结果均表明,对于洁净煤燃烧技术来说,橄榄饼在小规模的工业CFB锅炉里混烧是很好的。

3.5甘蔗渣在CFB锅炉里的燃烧

目前对CFB锅炉里使用甘蔗渣作为燃料的研究开展的不多,相关文献也很少。米铁等对甘蔗渣在循环流化床燃烧装置里的燃烧热解进行了研究,相关的信息参见文献[35]。

另据文献[36]报道,中国广西露塘糖厂35t/h混烧甘蔗渣和煤的循环流化床锅炉取得了成功。该厂的实际运行经验表明,锅炉也可纯烧甘蔗渣,但纯烧甘蔗渣时锅炉的热效率会有所下降。另外,由于进料的问题,纯烧甘蔗渣时会使锅炉蒸发量下降,甘蔗渣的供给方式有待进一步研究改进。

3.6向日葵茎干在CFB锅炉里的燃烧

由于向日葵茎干在农业废弃物中所占的比例较秸秆、稻壳等要小得多,所以它在CFB锅炉里的燃烧特性还没有得到太多的关注。H ü seyinT等^[30]

通过实验指出,向日葵茎干与煤在CFB燃烧装置里的混烧是可行的。而且,当向日葵茎干与煤混合的质量比为1 : 3时,污染物的排放量最小。

4存在问题及展望

1)国内外对各种生物质燃料的研究力度区别明显:对生物质燃料所占比重较大的废弃木材、秸秆、稻壳研究的较多,而对果核、橄榄饼、甘蔗渣等生物质燃料的研究相对较少。另外,目前尚未发现研究水生植物在CFB锅炉里燃烧的相关文献。

2)采用CFB锅炉燃烧生物质燃料,独烧效果不如混烧好,这是各国学者的共识。但是,国内外对各种生物质燃料与高热值燃料混烧的研究还不系统,应在混合比例和相应的污染物排放方面(特别是金属排放方面)进行全面的研究,最好能够形成生物质在CFB锅炉燃烧的数据库。其中,将城市生活污水泥、煤泥、水煤浆和TDF作为生物质的辅助燃料,均是不错的选择。

3)目前,各国对采用CFB锅炉燃烧农业废弃物因其高碱金属含量所导致的碱金属腐蚀问题认识还不够深刻,应该在腐蚀机理、腐蚀区域以及相应的对策上进行全面的研究。

4)空气的分段送入对控制木材、污泥等高挥发分燃料燃烧的气体排放效果不明显,其原因尚待进一步研究,而分级送风对流场的影响以及挥发分析出和燃烧所发生的区域则是研究此问题所应该着重考虑的。

5)燃料特性对循环流化床锅炉的设计与运行有很大影响,而关于CFB锅炉燃烧生物质燃料数值模型方面的研究目前还不多见。如果能够对生物质燃料在CFB锅炉里的燃烧进行充分的数值研究也将会极大地促进CFB锅炉在生物质燃料燃烧中的应用。

[参考文献]

[1]Gross R , Leach M , Bauen A.Progress in renewable energy[J].Environment International , 2003 , 29(1) : 105-122.

[2]Yokoyama S Y , Ogi T , Nalampoon A , et al.Biomass energy potential in Thailand[J].Biomass and Bio-energy , 2000 , 18 (5):405-410.

[3]Klass DL.Biomassforrenewable energy , fuels , and chem icals[M].Academ ic Press;San Diego; U SA 1998.

[4]孙振钧.中国生物质产业及发展取向[J].农业工程学报, 2004 , 20(5) : 1-5.

[5]Cook J , Beyea J.Bioenergy in the U nited States : progress and possibilities[J].Biomass andBio-energy , 2000 , 18(6) : 441.

[6]M andal K G , Saha K P , Ghosh P K , et al.Bio-energyand econom ic analysisofsoybean-based crop production system s incentral India[J].Biomass and Bio-energy , 2002 , 23(5) : 337-345.

[7]Duo WL , Karidio I , Cross L , et al.Combustion and em ission performance of a hog fuelfluidized bed boiler w ith addition of tire derived fuel[A].Sama V pisupat ed proceedings of 17th International Conference on Fluidized Bed Combustion[C].Florida ASM E,2003,3,18-21.

[8]别如山,李炳熙,陆慧林,等.燃生物废料流化床锅炉[J].热能动力工程, 2000 , (15) : 343-347.

[9]ConnellM G R.Carbonsequestration and biomass energy offset: theoretical,potential and achievable capacities globally , inEurope and the U K[J].Biomass and Bio-energy , 2003 , 24(2) : 97-116.

[10]Kaygusuz K , Toker M F.Biomass energy potential in Turkey[J].Renewable Energy , 2002 , (26) : 661-678.

[11]Preto F.Combustion of wood processing residuesin a circulating fluidized bed[A].Sama V pisupat ed proceedings of 17th International Conference on Fluidized Bed Combustion[C].Florida ASM E , M ay 2003 : 607-612.

- [12]Hiltunen M A , V ilokki H A J , Holopainen H A.Green energy from wood-based fuels using foster wheeler CFB boilers[A]. Sama V pisupat ed proceedings of 17th International Conference on FluidizedBed Combustion[C].Florida ASM E , M ay 2003 : 77-81.
- [13]Amand LE,LecknerB.Metal em issions from co-combustion of sewage sludge and coal/ wood in fluidized bed[J].Fuel , 2004, (83) : 1803-1821.
- [14]O rjalaM , Karki J , Hasa H , et al.Theeffect of wood fuels on power plant availability[J].TheFinnishWood Energy TechnologyProgramme , 2004 : 139-154.
- [15]Leckner B , AmandL E , K L ü cke , et al.Gaseous em issionsfrom co-combustion of sewage sludge and coal/woodin a fluidized bed[J].Fuel , 2004 , (83) : 477-486.
- [16]Amand LE , Leckner B , Svard S H , et al.Co-combustion of pulp-and paper sludgew ith wood-em issions of nitrogen , sulphur and chlorinecompounds[A].Sama V pisupat ed proceedings of 17th InternationalConference on Fluidized Bed Combustion[C].FloridaASM E , M ay2003:871-882.
- [17]Amand LE , Leckner B , Hansson L , et al.Co-combustion of municipal sludge w ith wood/coalin CFB-enrichment of phospho-rous and cadm ium in ashes[A].SamaV pisupat ed proceedings of 17th InternationalConference on Fluidized Bed Combustion[C]. FloridaASM E , M ay2003:883-908.
- [18]陈冠益, 方梦祥, 骆仲决, 等.生物质流化床的试验研究及设计要点[J].动力工程, 1999 : 19-24.
- [19]Aysel T A , H ü seyin T.Agro-waste combustion in a irculating fluidizedbed[A].Kefa cen ed proceedings of 8th International Conference on Circulating FluidizedBeds , Hangzhou : China , M ay2005 : 609-616.
- [20]Cliffe K R , Patum sawad S.Co-combustion ofwaste from olive oil production w ith coal in a fluidised bed[J].W aste M anagement , 2001 , 21(1) : 49-53.
- [21]Suksankraisorn K , Patum sawad S , Fungtammasan B.Combus-tion studies of high moisturecontent waste in a fluidized bed[J].W asteManagement , 2003 , 23(5) : 433-439.
- [22]GlazerM P , Sch ü rmann H , Monkhouse P J,et al.Co-combus-tion of coalw ith high alkali straw[A].Kefa cen ed proceedings of 8th International Conference onCirculatingFluidized Beds[C].Hangzhou : China , M ay 2005 : 630-636.
- [23]沈伯雄, 姚 强, 刘德昌.流化床中煤和生物质混烧N-O和NO_x排放规律研究[J].电站系统工程, 2002, 18(2) : 51-53.
- [24]Grubor B D , Oka SN ,L licM S , et al.Biomass FBC combustion bed agglomeration problem s[A].Rubow L N ed proceedings 13th International Conference on Fluidized BedCombustion[C].New YorkASM E , M ay 1995 , (1) : 515-522.
- [25]许卫国, 王学全, 吴履琛.燃烧稻壳流化床的技术特点[J].锅炉制造, 2001 , (4) : 22-2.
- [26]Hansen L A , M ichelsen H P , Dam-JohansenK.A lkalimetalsin a coal-and biomass-fired CFBC-measurements and thermodynam-ic modeling[C].Rubow L N ed proceedings 13th International Conference on Fluidized Bed Combustion[C].New York ASM E,1995 : 39-48.
- [27]张殿军, 陈之航.生物质燃烧技术的应用[J].能源研究与信息, 1999 , 15(3) : 15-21.
- [28]王智微, 李定凯, 唐松涛, 等.生物质燃料循环流化床锅炉的模型化设计[J].能源研究与信息, 2002 , 18(1) : 21-29.
- [29]吉东建, 于振庆, 赵振林, 等.循环流化床锅炉原煤掺烧稻壳初探[J].工业锅炉, 2005(4) : 38-39.
- [30]H ü seyin T , Aysel T A.Co-combustion of agriculturalwastes in a circulating fluidizedbed[A].Kefa cen ed proceedings of

8th International Conference on Circulating Fluidized Beds[C]. Hangzhou: China, May 2005: 617-622.

[31] Armesto L, Bahillo A, Cabanillas A, et al. Co-combustion of coal and olive oil industry residues in fluidized bed[J]. Fuel, 2003, 82(8): 993-1000.

[32] Aysel T A, Huseyin T. Co-combustion of olive cake with lignite coal in a circulating fluidized bed[J]. Fuel, 2004, 83(7-8): 859-867.

[33] Toraman O Y, Huseyin T, Bayat O, et al. Emission characteristics of co-combustion of sewage sludge with olive cake and lignite coal in a circulating fluidized bed[J]. Journal of Environmental Science and Health-Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering, 2004, 39(4): 973-986.

[34] Topal H, Altintay A T, Durmaz A. Olive cake combustion in a circulating fluidized bed[J]. Fuel, 2003, 82(9): 1049-1056.

[35] 米铁, 陈汉平, 高斌, 等. 生物质的流化床热解实验研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2005, 3(9): 71-74.

[36] 刘德昌, 王贤华, 刘昕, 等. 25t/h 煤粉锅炉改为燃甘蔗渣、煤混合燃料流化床锅炉的技术改造[J]. 工业锅炉, 2003, (6): 39-41.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/93819.html>