

生物质气化锅炉废气源强核算及效益分析

王玉焕¹ 付盈² 王燕华¹

(1. 潍坊市环境科学研究设计院有限公司, 山东 潍坊 262410)

(2. 山东华建铝业集团有限公司, 山东 临朐 262600)

摘要: 生物质气化得到的生物质气具有可燃性, 因其绿色环保被直接作为燃料用于锅炉产热发电等。而在环境影响评价中, 燃生物质气锅炉燃气废气源强核算是一项重要的工作。本文在生物质气成分分析基础上, 对此核算方法进行了简单总结, 并以一实例对燃煤、燃生物质气锅炉的废气源强进行核算对比, 分析生物质气代替燃料煤所引起的环境效益变化, 以及对经济效益和社会效益的影响。

关键词: 生物质气化; 锅炉; 废气; 源强核算; 效益

目前, 化石能源因人类的过度使用已引起资源短缺和环境污染等严重问题, 为了生活、工业持续稳定进行, 保护改善环境污染状况, 生物质作为一种可再生绿色能源, 因其资源丰富、环境友好、易于转换等优点而被全社会关注。在众多生物质应用研究中, 生物质气化产生的生物质气具有可燃性, 可直接作为燃料使用。在锅炉“煤改气”政策下, 考虑到企业经营成本和节省能源, 相关企业直接将生物质气化以后产生的生物质气作为燃料应用于锅炉产热或产电。本文重点对燃生物质气锅炉的燃气废气源强核算方法进行简单总结, 并以一实例对 10t/h 燃煤、燃生物质气锅炉的废气源强进行比较分析, 从原料、污染物产排等方面分析“煤改生物质气”所带来的环境效益、社会效益和经济效益。

1 生物质气化技术

1.1 生物质气化技术原理

生物质是指农林工业生产过程中产生的秸秆、树木、废木材、花生壳等, 将太阳能转换为化学能储存在内部的可利用的废弃物。生物质气化是生物质热化学转化的一种生物质热裂解技术, 是在缺氧燃烧且有气化剂条件下, 高温加热将较大分子量的碳氢化合物链裂解, 生成较小分子量的 CO、H₂、CH₄ 等的可燃气体。一般来说, 生物质气化过程会经历干燥、气化、氧化(燃烧)和还原四个阶段, 会发生如下的反应:

生物质干燥 → 生物质 + H₂O (吸热过程)

生物质气化 → H₂ + CO₂ + CO + CH₄ + H₂O + N₂ (吸热过程)

氧化:

C + O₂ → CO₂

2CO + O₂ → 2CO₂

CH₄ + 2O₂ → CO₂ + 2H₂O

还原:

C + H₂O → CO + H₂ (吸热反应)

C + CO₂ → 2CO (吸热反应)

CO + H₂O → H₂ + CO₂

CH₄ + H₂O → CO + 3H₂

C + 2H₂ → CH₄

2CO + 2H₂ → CH₄ + CO₂

重整 → CO + H₂ + CO₂ + CH₄

生物质气化的还原过程非常复杂, 是针对热解和氧化两个反应过程产生的所有产物, 再进行重整, 形成最终的生物质气。

1.2 生物质气主要成分

生物质气化过程需要加入气化剂, 典型的气化剂有空气、富氧、空气-水蒸气、氧气-水蒸气、水蒸气等, 产生的燃气组分虽大体相同, 组分占比却有所不同。根据相关研究发现, 采用空气作气化剂时, 燃气主要成分含量 N₂ > CO > CO₂ > H₂ > CH₄; 采用富氧作气化剂时, 燃气主要成分含量 CO > CO₂ > H₂ ≈ CH₄ > N₂; 采用空气-水蒸气作气化剂时, 燃气主要成分含量 N₂ > CO ≈ H₂ ≈ CO₂ > CH₄; 采用氧气-水蒸气作气化剂时, 燃气主要成分含量 CO₂ > H₂ ≈ CO > CH₄, N₂ 含量约为 0.3%; 采用水蒸气作气化剂时, 燃气主要成分含量 H₂ > CO ≈ CO₂ > CH₄, N₂ 含量约为 0.3%。另外还发现, 五种气化剂条件下, H₂ 含量水蒸气 > 氧气-水蒸气 > 空气-水蒸气 > 空气 ≈ 富氧; N₂ 含量空气 > 空气-水蒸气 > 富氧, 水蒸气、氧气-水蒸气约为 0.3%; CO 含量富氧 > 氧气-水蒸

气>空气>空气-水蒸气≈水蒸气; CO₂ 含量氧气-水蒸气>富氧>水蒸气≈空气-水蒸气≈空气; CH₄ 含量富氧>氧气-水蒸气≈水蒸气>空气-水蒸气≈空气。因此,在减少环境污染的基础上,为了得到更好的可燃生物质气,建议在水蒸气、氧气-水蒸气条件下进行气化,得到的生物质气主要可燃成分是 H₂、CO、CO₂、CH₄,且 H₂ 含量最高,CH₄ 含量最低。因其具有可燃性、燃烧污染物环保清洁,生物质气被用于锅炉燃料产热、发电,废气源强的核算是体现环境效益的一种有效方法。

2 燃生物质气锅炉废气源强核算方法

2.1 燃气废气量

该锅炉燃气废气量除了不能采用排污许可中的经验系数法外,根据燃料气体获得资料选择合适的废气量计算方法即可。

2.2 废气污染物源强核算

①物料平衡法:二氧化硫、氮氧化物排放量均可采用此法进行核算,但二氧化硫要在已知燃料生物质气成分中总硫的质量浓度条件下才可采用;②类比法:在满足可类比条件情况下,二氧化硫、氮氧化物和颗粒物源强核算均可采用此法;③产污系数法:此法最主要的是要确定二氧化硫、氮氧化物和颗粒物的产排系数。目前,暂无针对生物质气燃气废气污染物的产污系数。可以通过成分含量及组成的分析,参考相似气体燃料燃气废气污染物的产排系数,然后在进行相应污染物的源强核算。

3 废气源强核算和效益分析

某企业拟淘汰 1 台 10t/h 燃煤循环流化床锅炉(废气处理措施为 SNCR-SCR 脱硝+袋式除尘器+双碱法脱硫+多管束除尘器处理由 1 根 40m 高排气筒排放),并新上 1 台 10t/h 燃生物质气循环流化床锅炉配套 1 台气化炉,燃气废气经低氮+SNCR 脱硝+袋式除尘器+单碱法三级喷淋脱硫处理由 1 根 40m 高排气筒排放。

3.1 燃生物质气锅炉废气源强核算

气化使用的生物质原料主要是秸秆、木材,原料生物质的主要成分及含量见表 1。锅炉生产商提供的氮氧化物控制保证浓度值≤50mg/m³。采用空气-水蒸气作为气化剂气化之后,生物质气主要成分及含量见表 2。按照表 2 热值 5000kJ/m³(即 1200kJ/m³),锅炉热效率 92% 计算,10t/h 锅炉燃生物质气 5435m³/h。生物质气中总硫浓度≤100mg/m³。几种常见的气体燃料主要成分及含量见表 3。

3.1.1 单位废气量计算

根据表 2 资料,本案例废气量计算方法采用锅炉污染源源强核算指南中的经验公式法,经计算:

$$V_0=5680\text{m}^3/\text{h}, V_s=11304.8\text{m}^3/\text{h}.$$

3.1.2 单位废气污染物源强计算

物料衡算法:根据上述分析,只有氮氧化物排放量可采用此法,根据相关公式计算得氮氧化物单位时间排放量为 0.284kg/h。按照低氮+SNCR 综合脱硝效率 82.5% 计算,氮氧化物单位时间产生量为 1.62kg/h。

类比法:暂未找到符合类比条件的现有数据。

产污系数法:对比分析表 2、表 3 气体燃料成分,本案例二氧化硫、颗粒物产污系数可参考混合煤气相应污染物的产污系数进行计算,根据锅炉排污许可技术规范指南,混合煤气二氧化硫、颗粒物的产污系数分别为 0.02Skg/万 m³-燃料、2.86kg/万 m³-燃料,经计算,燃生物质气锅炉二氧化硫、颗粒物的单位时间产生量分别为 2.17kg/h、1.55kg/h。按照脱硫效率 92%,除尘效率 99% 计算,二氧化硫、颗粒物的单位时间排放量为 0.17kg/h、0.016kg/h。

其中,颗粒物产污系数还可参考《大气可吸入颗粒物一次源排放清单编制技术指南(试行)》中颗粒物的产生系数,即:0.03g/m³-燃料,经计算,颗粒物单位时间产生量为 0.16kg/h,按照除尘效率 99% 计算,颗粒物单位时间排放量为 0.0016kg/h。考虑到此产污系数是在无实测数据的情况下,采用的是文献中相同生产工艺和控制技术的系数,建议颗粒物源强核算尽量不采取此产污系数计算。

3.2 燃煤锅炉废气源强核算

根据企业实际用煤煤质分析报告数据,涉及到的参数如下:硫份≤0.2%;灰份≤10%;燃料收到基低位发热量(Q_{net.ad}),5500kJ/kg(23022kJ/kg)。按锅炉热效率 88% 计算,10t/h 锅炉燃煤 1.24t/h。

根据源强核算指南,燃煤锅炉废气量及废气源强无法采用物料平衡法和类比法进行计算,本案例采用产污系数法进行计算,产污系数采用《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》之锅炉产排污量核算系数手册中的产污系数。经计算,废气量为 11675.84m³/h,二氧化硫、氮氧化物、颗粒物的单位时间产生量为 2.79kg/h、3.348kg/h、64.356kg/h;按照双碱法脱硫效率 81.5%,SNCR+SCR 综合脱硝效率 80%,带式除尘+多管束综合除尘效率 99.9% 计算,二氧化硫、氮氧化物、颗粒物的单位时间排放量为 0.52kg/h、0.67kg/h、0.06kg/h。

经以上分析计算,本案例中燃生物质气循环流化床锅炉燃气废气氮氧化物、二氧化硫、颗粒物的单位时间排放量分别为 0.284kg/h、0.17kg/h、0.016kg/h,排放浓度分别为 25.12mg/m³、15.04mg/m³、1.42mg/m³;燃煤锅炉燃烧废气氮氧化物、二氧化硫、颗粒物的单位时间排放量分别为 0.67kg/h、0.52kg/h、0.06kg/h,排放浓度分别为 44.5mg/m³、57.4mg/m³、5.14mg/m³。

3.3 效益分析

环境效益是指在工农业生产中,人类通过采取一系列的措施,预防或者防止或者减少对人类生活环境的污染,或者提高环境质量方面所取得的成果。环境效益与经济效益之间相互制约,互为因果。

我国可利用的生物质资源广泛,原料成本明显降低,“煤改生物质气”后,既消耗了过多的“生物质废料”,又提高了锅炉热效率,对企业来说节省了燃料使用费用,在实际运行的费用上也会比燃煤要低一些。因为生物质能量是太阳能的一种转化,碳排放几乎为 0;生物质气的硫含量及颗粒物含量明显低于煤,经废气源强核算分析可知,燃生物质气锅炉生产运行时排放的污染物颗粒物、二氧化硫和氮氧化物的排放量和排放浓度都远远低于燃煤锅炉;如果燃料煤中含有的硫和灰分含量较高,产生的废气源强就会较大,不仅排放的污染物会增多,使周边环境质量下降;还会为了满足或者达到规定的污染物排放标准,增加对废气处理措施的成本投资和运行费用。从环境保护角度和企业投资运行角度来说,燃生物质更有益于周边环境质量改善、节约成本及运行费用。

4 结语

生物质作为一种可再生能源被广泛研究和应用,

利用气化技术得到的生物质气主要成分是 N₂、H₂、CO、CO₂、CH₄,因其燃烧产物绿色环保等优点被普遍用于锅炉燃气产热、发电等。通过对燃煤、燃生物质气锅炉燃气废气污染物的源强核算分析比较,生物质气具有原料来源丰富、低碳、污染物产排低、锅炉热效率高等优点,在一些行业中取代燃料煤是可行的。生物质气使用引起的节能减排、环境改善的环境效益是人类创造经济效益和社会效益的基础,而社会的不断进步和经济的持续发展是良好的环境效益的后果。人们在社会生产活动中要维护环境、经济和社会效益的平衡。

参考文献:

- [1] 李学琴,刘鹏,吴幼青,等.生物质气化技术的发展现状及展望[J].林产化学与工业,2022,42(5):113-121.
- [2] C.Sasikumar,R.Sundaresan,R.Kannan,etc.Investigation on biomass gasification process[J].Materials Today: Proceedings.64(2022):1844-1848.
- [3] 肖陆飞,哈云,孟飞,等.生物质气化技术研究与应用进展[J].现代化工,2020,40(12):68-72,76.
- [4] 高嘉楠,方小里.生物质气化原理及设备浅析[J].锅炉制造,2020,2:36-37,40.
- [5] 何喜梅,李宝权.本钢高炉煤气成分及杂质的检测分析研究[J].辽宁科技学院学报,2021,23(5):18-20.
- [6] 吴檬檬.环境影响评价中污染源源强核算技术方法分析[J].中国科技投资,2022,15:100-102.
- [7] HJ 991-2018.污染源源强核算技术指南锅炉[S].中华人民共和国生态环境部,2018.
- [8] HJ953-2018.排污许可证申请与核发技术规范锅炉[S].中华人民共和国生态环境部,2018.

表 1 原料生物质成分分析一览表

燃料	Cad	Had	Oad	Nad	St,ad	Aad	Mad	Qgr,net
木材	43.99%	5.39%	37.78%	0.5%	0.02%	2.84%	9.5%	16713.706kJ/kg
玉米秸秆	42.11%	5.29%	37.44%	1.2%	0.05%	4.49%	9.43%	16282.465kJ/kg
混合	43.43%	5.36%	37.68%	0.71%	0.03%	3.34%	9.48%	16557.4kJ/kg

表 2 生物质气成分分析一览表

燃料	CO	H ₂	CO ₂	CH ₄	N ₂	O ₂	CxHy	Qgr,net
生物质气	9.76%	15.27%	13.75%	1.57%	56.22%	3.12%	0.31%	5000kJ/m ³

表 3 几种常见气体燃料成分分析一览表

燃料	CO	H ₂	CO ₂	CH ₄	N ₂	O ₂	CxHy
天然气	/	/	0.06%	94.56%	1.18%	0.02%	4.18%
焦炉煤气	8%	60%	1.5%	23%	3%	0.3%	4.2%
高炉煤气 ^[8]	22.9%	3.35%	14.84%	0.02%	56.99%	1.9%	0
转炉煤气	80%	/	20%	/	/	/	/
混合煤气	24%	15%	6%	1.5%	51%	0.5%	2%

注:①液化石油气主要成分是丙烷、丁烷、丙烯等碳氢化合物,成分含量不再列举;
②除高炉煤气外,其他气体燃料成分均来自互联网。