生物质气化耦合发电炉型选择及应用分析

李国林，孔岩，范振兴，刘志华

（国家电投集团远达环保工程有限公司重庆科技分公司，重庆401122）

摘要：结合国家能源局对生物质耦合发电技改试点的批复，分析耦合发电技改工艺发展趋势，对比直接耦合、气化耦合及蒸汽耦合方式的发电效率及投资成本，就气化耦合方式开展调研。对不同生物质气化炉在处理规模、燃气特性及组成方面与气化耦合发电需求进行了匹配，参考国内外耦合发电的实施案例，选择气化耦合最适炉型，并分析现存政策及市场气化耦合存在的问题。

0引言

随着国家碳排放交易政策以及非化石能源替代战略的逐步推行，燃煤电厂技术革新的压力越来越大，利用现役燃煤机组耦合生物质发电的模式将成为生物质清洁高效利用的必然选择。为加速煤电转型，降低碳排放量以应对气候变化，我国在“十三五”规划中明确地将生物质与燃煤耦合发电项目作为重点任务。

2017年11月、2018年6月，国家能源局接连公布了《关于开展燃煤耦合生物质发电技改试点工作的通知》、《关于燃煤耦合生物质发电技改试点项目建设的通知》，通知规定了开展燃煤耦合生物质发电技改试点工作事宜，并确定了技改试点项目名单。明确了燃煤耦合优先选取热电联产煤电机组，布局一批燃煤耦合农林废弃残余物发电技改项目的要求。提出优先采用便于可再生能源电量监测计量的气化耦合方案的建议。产出电量单独计量，由电网企业全额收购，采用经国家强制性产品认证的计量装置，可再生能源电量计量在线运行监测数值同步传输至电力调度机构。本次通知共批准了84家发电公司，89项耦合发电项目，其中农林废弃物耦合项目58项，污泥耦合项目29项，垃圾耦合2项。其中，污泥耦合均采取了干化后掺烧的耦合工艺，而垃圾耦合则选用了焚烧后蒸汽送至汽轮机的耦合工艺。农林生物质项目中，直接耦合2项，蒸汽耦合1项，气化耦合55项。

可见，生物质气化技术已经成为了燃煤电厂改造的热点技术，具有广泛的改造需求及应用市场。本文就国内外气化炉技术及其应用情况进行了广泛调研，就不同炉型的技术特点和应用范围以及燃煤电厂生物质耦合发电气化炉选择进行了分析[1]。

1气化耦合发电工艺

生物质耦合发电主要有3种方式，直接耦合、气化耦合和蒸汽耦合。直接耦合是研磨过的生物质与燃煤直接在电厂锅炉中混燃的工艺过程；气化耦合则需要设置单独气化炉，生物质气化后将产出的燃气引入电厂锅炉中混燃；生物质在单独设置的锅炉中燃烧，产出的蒸汽并入电厂锅炉蒸汽联箱的工艺则被称为蒸汽耦合。

不同耦合方式工艺特点各异，基于耦合发电技术成熟的欧洲地区的应用情况，对不同耦合方式发电效率及单位投资进行了对比，对比结果如表1所示[2]。

表1摇不同耦合方式发电效率及单位投资对比表

工艺类型	生物燃料净发电效率/%低位热值		需增加的额外投资/（欧元/kW）	
耦合比例/%	10	40	10	40
直接耦合	39.5	39.5	40	25
气化耦合	38	38	455	300
蒸汽耦合	38.5	38.5	940	575

从对比数据来看，直接耦合的方式在改造费用及发电效率方面均处于优势地位，但对生物质种类及预处理深度要求较高，容易产生结渣及腐蚀问题，同时也会影响燃煤锅炉的灰渣性质，降低利用价值。蒸汽耦合通过单独设置燃烧锅炉避免了生物质对原有设备的影响，生物质混燃比例仅收到发电汽机制约，但是需要单独增设除尘等净化系统，投资成本将大大增加。气化耦合发电效率与蒸汽耦合接近，但投资成本减少了近1/2，通过气化方式减少了生物质对燃煤锅炉的影响，扩大了可消纳原料的种类，便于灰分的收集及综合利用，同时可以利用现有的空气净化系统达到排放要求，是比较理想的耦合方式。因此，考虑到耦合发电计量问题及国家政策的倾斜，生物质气化将成为主流的耦合工艺。

2生物质气化炉技术比较

生物质气化反应需要在气化炉内完成，根据气固接触方式的不同，生物质气化炉主要分为固定床（上吸式、下吸式）、流化床（鼓泡流化床、循环流化床）和气流床；根据运行压力不同可分为常压、加压气化炉。气流床对生物质粒径要求较高（颗粒＜3mm），并不适用于大规模的生物质处理过程，因此，现行的生物质气化技术一般是固定床及流化床2种类型。固定床及流化床气化炉结构的差异影响了其处理规模，燃气特性及品质，从而决定了不同炉型的应用场合。

（1）不同气化炉型适用规模。固定床气化炉内部混合程度及热传导都比较差，导致难以达到同一截面物料分布、温度分布、燃气组成均匀一致，随着尺寸放大，上述问题将更加严重。相对而言，流化床气化炉虽然对原料的尺寸要求更加严格，但其物料及温度均匀性更好，运行较为稳定，在处理规模上更具优势。在正常操作条件下，以常规秸秆为原料的不同气化炉处理能力如图1所示。由图1可知，常压流化床气化炉的处理能力可达100MW左右（约600t/d），而固定床气化炉的处理能力不超过10MW（约60t/d）。由于耦合发电需要达到一定规模才具有较高的经济效益，因此，具有更大处理能力的流化床气化炉将更具优势[3]。

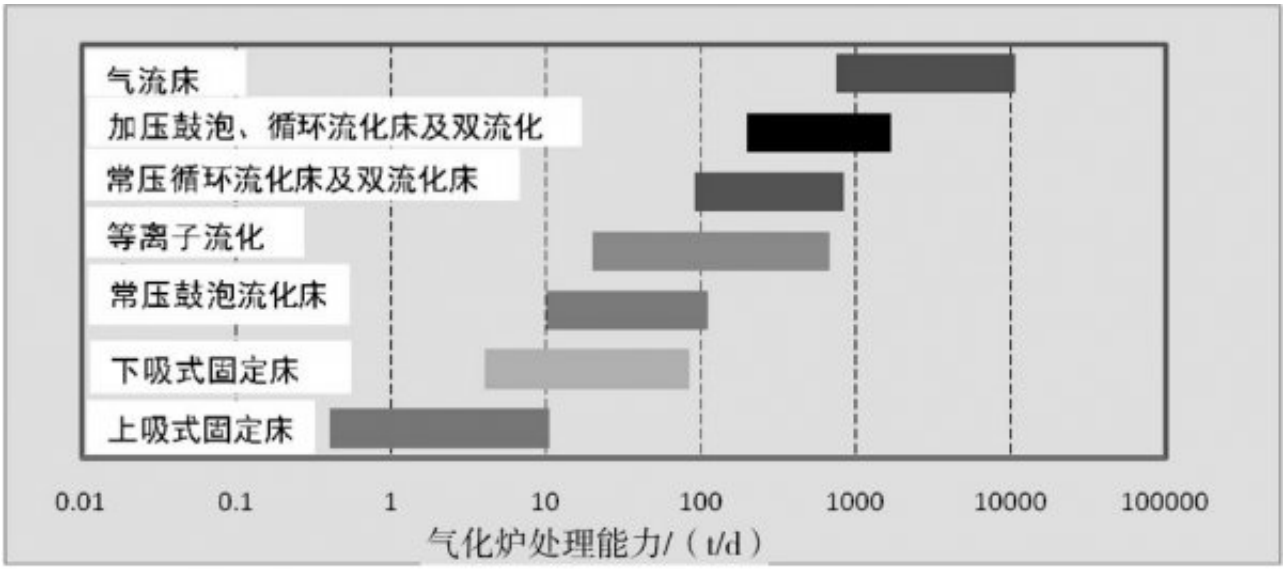

图 1　不同气化炉处理规模

（2）不同气化炉型焦油产量。生物质气化往往伴随着焦油的产生，造成能源浪费的同时还降低了气化效率，还影响了气化设备的稳定运转，不经净化的生物质燃气还会对后续管路及燃烧设备造成严重危害。

不同气化炉由于结构不同，其焦油产生量有比较大的差别，其中上吸式固定床气化燃气由于经过低温区域而无法完全裂解，焦油含量最高；下吸式固定床气化燃气则可以保证充分的热解温度，焦油含量最少，鼓泡式及循环流化床气化炉介于以上2者之间，具体数据见表2[4, 6]。

表2摇不同气化炉气化燃气中焦油含量

气化炉类型	燃气中焦油含量范围
下吸式固定床	0.01 – 6
上吸式固定床	10 – 150
循环流化床	1 – 30
鼓泡流化床	1 – 23

（3）不同气化炉型燃气成分。生物质燃气成分是决定燃气热值及燃烧性能的关键因素，理想的燃气组分可以保证更高的耦合发电参数。在气化剂选用空气的条件下，不同类型气化炉产出燃气组成如表3所示。

表3摇不同气化炉燃气成分表

气化炉类型	H_2 /%	CO /%	CO_2 /%	CH_4 /%	N_2 /%	HHV /（MJ/m^3）
下吸式固定床	17	21	13	1	48	5.7
上吸式固定床	11	24	9	3	53	5.5
流化床气化炉	9	14	20	7	50	5.4

可以看出，固定床与流化床气化炉燃气热值相差不大都具有较高的气化效率，但由于流化床内部温度、物料分布更均匀，产气量、燃气成分相对稳定，其燃气的品质更高[4, 6]。

（4）气化耦合发电炉型选择。固定床气化炉由于其自身的种种局限性，不适于用于燃煤电厂生物质耦合发电项目。首先，固定床气化炉规模较小（一般＜10MW），无法产生规模效应，限制了项目盈利的可能。其次，固定床气化炉下料过程易产生搭桥现象而控制困难，因此燃气品质波动较大，影响了锅炉的安全运行。处理规模相对较大的上吸式固定床因出口燃气温度较低（约450℃左右）且波动较大，燃气内焦油含量高，在输送过程中存在堵塞管道的风险，也不适用于耦合发电过程。固定床气化炉更加适用于生物质处理规模较小的情况，其中上吸式固定床比较适用于粗燃气不需冷却及净化的场合，比如直接作为小型锅炉或加热炉的燃料或向系统提供工艺热源；下吸式气化炉由于产出焦油含量较低，可以较好的和内燃机联合工作，适用于1MW以下的分布式气化发电。

根据国内气化耦合运行情况估算，耦合发电需要达到一定规模才具有较高的经济效益，折算机组发电容量至少约15 MW以上。同时为降低对锅炉燃烧的影响，气化燃气的热值、气量也应具有较高的稳定性。流化床气化炉由于其良好的混合效果，均匀的温度分布，稳定的运行效果，更适用于燃煤电厂气化耦合发电、较大规模气化发电、气化合成气制备高附加值生物燃料等场合，也适用于中小城镇生物质（含垃圾）气化供热等。因此，针对燃煤电厂生物质耦合发电项目，最适宜采用运行稳定性高的流化床气化炉技术，尤其是负荷灵活度更高，原料混合更均匀的循环流化床。

3气化耦合发电应用情况

欧美国家在《京东议定书》通过后，在政策法规及技术开发上采取了各种措施以降低碳排放，生物质耦合发电是其中关键的技术之一。经过多年的积累，欧美在耦合发电领域已非常成熟，我国积极吸纳芬兰、德国、意大利等国生物质气化经验，正逐步加快气化工艺的研究。

（1）国际气化耦合发电应用。在气化耦合发电领域，结合国际能源组织提供的相关案例，对国际范围内正在商业化运行的气化耦合发电案例进行了统计，相关信息见表4。

表4摇国际气化耦合发电案例基本情况 MW

项目地	燃煤机组	气化发电功率	气化炉型	气化原料
英国雷特福德	1980	100	CFB	农林生物质
英国雷特福德 II	2000	100	CFB	农林生物质
美国伯灵顿	50	7.5	CFB	农林生物质
芬兰拉赫提	138	70	CFB	农林生物质、垃圾
芬兰瓦萨	585	140	CFB	农林生物质
荷兰海特勒伊登贝赫	600	85	CFB	农林生物质

总体而言，生物质气化技术在欧美发展较为成熟，尤其是拥有丰富林业资源的地区，与内燃机结合的小型生物质气化设备应用非常普遍，主要面向区域供热及发电。在规范了生物质回收及储运市场后，欧美地区一度出现了大量的气化耦合发电气化装置。后来，随着相关市场、补贴政策与技术的革新，大量的生物质被用于与煤炭直接混合燃烧发电（即直接耦合发电），相应的气化技术也逐步向附加值更高的生物燃料合成方向转型。目前仍在运行的气化耦合发电装置气化发电的功率基本在50MW以上，利用规模效应保证了耦合发电的盈利，各装置均选用了处理量较大的循环流化床气化炉。

（2）我国气化耦合发电应用。虽然欧美等国正在用利用效率更高的直接耦合技术替代气化耦合，但是基于我国并不规范的生物质处置市场，便于计量的气化耦合仍是最适宜大规模推广的技术。气化耦合发电在我国应用时间较短，因原料供给、监管模式等制约，仍处在推广阶段。能源局燃煤耦合发电技改相关文件的推行，将为我国气化耦合发电技术提供更多的发展空间。

目前，国电长源荆门电厂拥有我国唯一稳定运营的10.8MW生物质气化耦合发电装置，该电厂选用国内德博生物能源自主研发的流化床气化炉以稻壳为耦合发电燃料，生物质处理量8t/h。该项目于2013年10月正式投运至今，享受0.75元/（kW·h）上网电价，超出当地燃煤标杆电价部分，由可再生能源发展基金补贴。近期，湖北华电襄阳发电有限公司使用同样的技术利用秸秆为主要原料的生物质气化耦合发电项目试运行成功，预计一期工程完工后年消纳秸秆、稻壳、木料等生物废物5.14万t。哈尔滨锅炉厂提供技术支持的大唐长山热电厂20MW发电项目以及聚能环保作未技术支持的华润驻马店古城电厂2×20MW发电项目均已开工建设，已批复的技改试点电厂也将寻找技术支持方并陆续开工改造。

在去煤电、碳减排的环境趋势及生物质补贴政策的引导下，我国气化耦合发电项目在短期内激增，拥有生物质资源的粮食主产省份同时有多套技改试点获批待建，基于流化床气化炉的生物质气化耦合发电已成为我国短期内电厂技改的主流技术。但需要注意的是，我国气化耦合技术刚刚起步，应用案例并不多，运行中暴露出的问题也并没有得到系统的研究解决，大规模的发展还需要验证。

4气化耦合发电技术发展存在的问题

气化耦合发电的模式可以依托现有燃煤机组的发电设施及净化系统实现清洁高效发电，对现有锅炉改造影响小。单独增设的气化炉降低了对生物质燃料的依赖性，增加了原料成本的议价可能，产出的生物灰分在不影响燃煤锅炉炉渣的同时可以单独处理加工。另外，气化技术在一定程度上解决了生物质发电量难以计量的问题，保证了生物质发电量的监管。

但是，在我国范围内大规模推广生物质气化耦合发电仍需要解决许多关键问题。与作为城市刚性产物的垃圾不同，生物质的产生具有显著的季节性与区域性，生物质的来源、储存及收集转运是生物质集中处置的核心障碍，气化耦合发电的技改需要详细考虑电厂规模、交通运输、电网结构和堆存方式。

同时，生物质气化耦合发电的改造投资相对较高而盈利能力却依赖于政策补贴，投资回报率低而回收期长，商业化运营十分困难。虽然能源局本次《通知》中明确了全额收购、优先调度、采用政府购买公共服务等多方式合理补偿生物质消纳，但生物质上网电价仍然由各地方政府给予补贴，仅少数财政宽裕的地区可以提供足够支持。在最新发布的《关于公布可再生能源电价附加资金补助目录（第七批）的通知》中，作为唯一的耦合发电示范项目，国电长源项目也被移除了补贴名录，生物质耦合发电补贴电价具体数额亟待敲定。

另外，生物质利用监管困难，最为突出的问题就是发电量的计量。国外耦合发电法律监管力度严格，违规操作后果严重，而我国并无相关的监督管理条例，这就造成了同类项目往往以生物质的名义提高煤电小时数，燃煤与生物质发电比例的确定是造成该问题的主要原因。如何精准计量、在线监测、实时管控是保障生物质耦合发电有序运行的关键问题[7]。

5总结

基于我国富煤贫油的能源结构，电力去煤炭化的目标短期内无法实现。在碳交易市场逐步开放，碳捕集技术并不完善的现状下，燃煤耦合生物质发电是解决碳排放，实现非化石能源替代的关键技术。能源局此次对生物质耦合发电技改项目的通知将加速我国电厂的技改进度，尤其是基于生物质气化工艺的气化耦合发电技术，在政策导向下市场空间广阔。

从气化炉型分析，固定床气化炉处理规模较小，燃气品质较差，适合于直接气化供热、发电的场合，整体处置规模在10MW以下，在城镇等分布式能源极具发展潜力。流化床气化炉从体量规模及燃气稳定性而言，更适宜与电厂结合实现耦合发电。在应用角度，国际现存的气化耦合发电商业运行装置均选用循环流化床炉型，与我国的运行项目一致，客观验证了循环流化床气化耦合工艺的适应性。

可以预见，燃煤耦合发电，尤其是气化耦合工艺随着《通知》的明确将赢来良好的发展契机，但是，生物质的收存、技改后的运营模式及监管细则仍在很大程度上制约着耦合发电的发展，大规模的推广需要进一步完善补贴电价、上网电量细则，改进现有计量设施及监管机制，形成行业标准与法规制度，共同推动生物质耦合发电产业规范化发展。

参考文献

1 毛健雄.燃煤耦合生物质发电[J].分布式能源,2017,2(5).

2 Gielen D J,Fujino J,Hashimoto S,et al.Biomass strategies for climate policies[J].Climate Policy,2002,2(4):319-333.

3 Souza-Santos M L D.Solid fuels combustion and gasification:modeling,simulation,and equipment operation[J].Journal of Food Science,2004,24(1):57-61.

4 Han J,Kim H.The reduction and control technology of tar during biomass gasification/pyrolysis:An overview[J].Renewable & Sustainable Energy Reviews,2008,12(2):397-416.

5 Siedlecki M,Jong W D,Verkooijen A H M.Fluidized bed gasification as a mature and reliable technology for the production of bio-syngas and applied in the production of liquid transportation fuels - a review.[J].Energies,2011,4(3):389-434.

6 Hasler P,Nussbaumer T.Gas cleaning for IC engine applications from fixed bed biomass gasification [J].Biomass & Bioenergy,1999,16(6):385-395.

7 易超,张俊春,叶子菀,等.生物质气化耦合燃煤发电项目经济性分析[J].中国电力企业管理,2018(12).

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/149974.html