等离子气化技术在垃圾处理中的应用

Ed Dodge

摘要 当前中国各地面临严峻的垃圾问题，卫生填埋已经被公认是最后的选择，而垃圾焚烧又因为二恶英等二次污染的问题而遭到公众的强烈反对。可是，随着人口的增多，城市化进程和人民生活水平的提高，产生的垃圾只会越来越多。不让填埋，又不许焚烧，那么这些垃圾究竟应该向何而去呢？等离子气化已经在国外成功商业化多年，正好能够解决中国面临的垃圾问题，将废物转化成有用资源。本文全面介绍了等离子气化技术的过程，优点，经济性，以及其在垃圾处理中的应用。

关键词 等离子气化，垃圾处理，废物资源化

Plasma Gasification and its Application in Municipal Solid Waste Treatment

Richard Fish (Alter NRG Ltd.)

Abstract：China is facing huge pressure on solid waste management. Landfill is recognized as the last choice, while the incineration is also rejected by the public due to its second pollution issue. However, with the increased population, urbanization and higher living standards, there will be more and more garbage produced every day. No landfill, no incineration, but how to deal with these garbage? Plasma gasification provides a good solution, which converts waste to useful resources and also have been proven successful for many years. The article introduces plasma gasification and its technology, advantages, economic analysis, and its applications in municipal solid waste.

Keywords：Plasma Gasification, Solid Waste Management, Resources Recovery

1 前言

目前中国各大城市都不同程度出现垃圾围城现象。垃圾填埋由于其占用大量空间和对地下水污染而被公认为垃圾处理的最后的选择，更何况大城市周围根本就没有多少剩余的空间可接收垃圾了。因此垃圾减量化和无害化的垃圾焚烧项目最近一些年纷纷上马，但是由于其潜在的二次污染，如二恶英，遭到公众的强烈反对。最近很多拟建的垃圾焚烧项目由于公众的反对而被迫搁置一边。可是，日益增多的垃圾总是需要有个去处的。究竟垃圾处理的出路在哪里呢？

等离子气化是一种新兴技术，它可以从垃圾中提取可回收的商品和转换碳基废物为合成气。这种类似于天然气的合成气是一种简单的一氧化碳和氢气组成的可燃气体，可以直接燃烧或用于提炼成更高等级的燃料和化学品。冷却后的灰渣是一种玻璃状物质，由于其紧密的结构，非常适合作为建筑材料使用。等离子技术已在如焚烧灰和化学武器的危险废物

无害化处理中成功应用多年。利用这一技术将城市固体废弃物转化为能源还比较新，但它具有很大的潜力。

2 等离子体气化技术

气化拥有悠久的工业历史，它已被广泛用来将煤和生物质提炼出液体燃料，气体和化学品。现代清洁煤厂都是使用气化炉，就像19世纪初期的城市照明和电力系统也主要是使用气化炉一样。等离子气化是指利用等离子体炬作为热源，而不是传统的点火和熔炉。等离子火炬有着能产生高强度的热源的优势，而且其操作相对简单。

等离子体是一种过热的导电气体，存在于在自然界的闪电和太阳表面。等离子火炬可以达到5500℃（10000˚F）的高温，这足以能够可靠地摧毁地球上除核废料之外的任何材料。等离子火炬用于铸造行业中的金属熔化并切割金属。当用于废物处理中，等离子体热量能非常有效的使有机物蒸发成气体，而无机物熔化和冷却成玻璃渣。

美国西屋公司早在20世纪60年代就开始为美国航天局建造等离子炬，用于阿波罗太空计划中的在5500˚C下的航空飞船的外壳材料测试。在90年代末，第一个中试规模的等离子气化是在日本建成，主要将生活垃圾，污水污泥，以及废旧汽车粉碎后残留物转化成新能源。日本的中试工厂被证明是成功的，目前有一些如 Alter NRG 的公司正在加拿大以及全球范围积极推进建设商业化规模的等离子体垃圾处理项目。

等离子气化是一个从投入进料开始的多阶段的过程，进料包括废物，煤，生物质，甚至可以是危险废物。第一步是原料的预处理，使其均匀干燥，并分离出可回收的物品。第二步是气化，等离子火炬在一个密封的，控制进气的炉子里产生高温。在气化过程中，原料中有机物分解成气体，而无机物融化成液态渣，排放后被冷却。这种热量能将有害物质完全分解和破坏。第三步是合成气的净化和热回收，去除合成气中的杂质而形成清洁燃料，和利用热交换器将余热转化成蒸汽而回收利用。最后的阶段是产品的生产-可以是电能，或者是各种化学品，氢和聚合物。

3 等离子体气化的优点

3.1 高效

由于其高温和热密度，等离子技术几乎能将碳基废物完全转化成合成气和无机物灰渣。比起其它热解和燃烧系统，等离子技术能更有效地运行。等离子气化产电效率是优于焚化炉燃烧的。通常焚烧炉燃烧的热量驱动汽轮机来产生电力，而气化系统可以使用效率高得多的燃气涡轮机，特别是当使用气化联合循环模式的配置。正如气化联合循环是煤电行业中最先进的技术，同样也适用于垃圾发电行业。

3.2 环保

垃圾气化不是垃圾焚烧！气化优于焚化，在环境影响和能源性能方面有着显著改善。在普通焚烧中，由于温度不够高，复杂的化学反应发生的氧分子结合形成的污染物，如氮氧化物和二恶英。这些污染物将直接通过烟囱排放 - 除非有空气污染净化器来清洁这些排放

气。相比之下，气化是一种低氧的过程，从而减少氧化物的形成。而且等离子气化操作温度通常为1500度左右，足以将所有有机物完全分解，而且能将形成二恶英的有机物分子彻底打散，从而从源头上杜绝了二恶英的产生。

焚烧炉灰渣通常有着高度毒性，需要进行卫生填埋。而经过熔化并形成紧密分子结构的等离子体灰渣通常是安全的。事实上，等离子体炬已经广泛应用在工业危险废物行业中，将焚烧炉飞灰熔融固化成无害的玻渣。这种玻渣经过环保局毒性特性溶出程序测试，通过对8种有害元素的监测，数据表明即使是那些高度危险废物的处理，结果也是远远低于规定的限度的。

等离子气化的碳排放是显著低于其他废物处理方法的。实际上等离子气化的碳排放是负值，尤其是与填埋场排放的甲烷相比。由于其能将固体碳转化为气态碳，气化也是一个重要的新型碳分离技术。合成气主要由一氧化碳和氢气组成。氢很容易被分离从而被利用，同时使得碳也能被分离。美国能源部已确定将气化作为在清洁煤行业中一个重要的碳捕获的技术。

3.3 灵活

除了城市生活垃圾之外，还有一些工业废物因为有毒而能收取更高的垃圾处置费，同时还具有良好的燃烧性。这些能够获得高额处理费和提供良好热值的废物的例子有石油和化学工厂的炼油废物，医疗废物，汽车切碎后残留物，建筑垃圾，轮胎和电线杆等。此外，整个宾夕法尼亚州和西弗吉尼亚州还有着成百万吨的劣质煤，能够用于气化处理。

从单一的气化炉可以生产多种产品，比如热，蒸汽，电能，乙醇或氢，这样可以最大限度地利用资源。合成气中的氢可以很容易地与碳和氧气分离，而且如果提升合成气中甲烷的含量可以制成合成天然气。合成气通常可以通过费托等催化转化过程而生成液体燃料，这在第二次世界大战以来已被广泛用于煤液化中。

使用酶或微生物进行转换的生物技术方法来生产液体燃料的方法也正在开发。许多关于更有选择性的催化剂和生产酶的研究和努力正在进行，将提高效率而使整个系统更具有竞争力。目前，气化乙醇的成本大约是超过每加仑2美元，估计通过进步开发，生产成本将接近每加仑1.25美元到$ 1.50。乙醇生产示范厂显示，美国的1吨垃圾大约可产生100加仑（相当于0.9吨垃圾生产出380升的乙醇），浮动范围为20％。乙醇生产成本很难估算，但是粗略计算表明，产生乙醇有可能比产生电能更有利可图。

4 等离子体气化的成熟性

城市生活垃圾等离子气化是一个新的应用，但是它是由一些使用非常成熟的的子系统组成，比如废物分拣系统，等离子体处理，烟气净化和能源生产。这些系统的整合正在迅速成熟，只是仍然还没有在大型工业系统中应用。示范和中试规模的系统已经在日本和加拿大成功地运行，而且也逐渐开始在美国和欧洲应用。

废物回收产业的分类和处理非常成熟，其干化和分离设备已经得到广泛的商业化。垃圾预处理的目标是把垃圾切碎均匀的小块，分离出金属，玻璃和没有热价值的无机物。有价值的物品应该分离并出售。废物经过预处理后，利用等离子火炬的高温被蒸发成气体，从顶部排出，而熔融的熔渣却从气化炉的底部排出。气体冷却下来，它需要通过一系列的净化过程，已调整到下游工序的要求以及符合环境排放标准。电力主要是通过锅炉，发动机和燃气涡轮机来产生的。燃气发动机和涡轮机需要非常干净的气体，而直接燃烧的蒸汽锅炉可以接受相对脏的气体，而且成本最低。每吨生活垃圾经过蒸汽系统可能产生450-550度电，而使用联合循环燃气涡轮机可能会产生900-1200度电。联合循环燃气涡轮机是目前最先进和最有效的发电方法，已经在现代清洁煤发电厂得到广泛使用。

在与燃气轮机组合汽轮机联合循环燃气发电系统中，合成气在涡轮机里燃烧而发电。同时热涡轮废气通过一个余热蒸汽锅炉而推动汽轮机发电。除了涡轮排气外，热交换器还可以回收合成气的冷却的热量。从气化炉出来的合成气大约1200˚C，含有大量的热能。理论上，等离子火炬和整个工厂设施只消耗约25％的电能，剩下75％是可以销售的净产电能。

5 等离子体气化的经济性

城市生活垃圾的等离子气化尽管比较复杂，但是从经济上是可行的。垃圾处理设施可以对废物收取一定的垃圾处理费用，然后还拥有销售电能的收入。目前的产出主要是电能，但液体燃料，氢气，合成天然气等在将来都是可能的。第三个收入来源是从城市生活垃圾分拣回收一些有回收价值的商品，如金属和高价值的塑料。另外一个收入来源包括销售炉渣和硫。炉渣有可能回收作为建筑产品，如岩棉，砖和建筑用砖，硫磺则可以作为肥料。此外，由于避免了垃圾填埋和减少废物运输，等离子技术可以节省一些 额外费用。最后，政府对于可再生能源和碳排放额度的补贴虽然在将来也可能是一大笔收入，虽然目前很难预测。

在中国，一个典型的小城市或地区大约需要一个每天750吨的垃圾气化厂，估计将花费0.8亿美元兴建。该城市投入到整个项目通过债券募集的资金应当能在几年后通过收取垃圾处理费，可回收物质和电能销售，以及销售灰渣和硫磺的收入实现正的现金流。 这些变量的值波动范围非常大，任何拟建的项目都将需要广泛的尽职调查，以确定每个变量的实际值。不同项目的垃圾处理费，电费，回收商品价格，以及利率和税收都相差很大。

从垃圾中回收可用物质对于垃圾气化很有利。如金属和玻璃的无机物没有作为燃料的价值，尽管等离子火炬有能力融化他们，但这只能使气化过程效率降低。这些可以很容易地分离的高价值塑料和纸类是比生成的燃料更有价值的物质。某些塑料可以卖到每吨300美元，而某些类型的纸张可以赚取每吨75美元。相比之下，一吨废物可能产生0.8兆瓦的电能也就大约值70美元。显然，上述任何可以分离和销售的物质，是要比作为燃料商品更有价值的。冷却后的灰渣是一种玻璃状物质，由于其紧密的结构，非常适合作为建筑材料使用。

6 结论

等离子气化在中国进行垃圾处理的时机已经成熟。世界正面临搜寻新能源的挑战，同时还要面对环境持续退化的问题。而垃圾的等离子气化可以成为同时解决两个问题的一个方案。使用有害废料，生产出可再生燃料。作为一个市政资助的系统，一个垃圾气化厂可以帮助平衡预算，而且可以应付将来能源可能的价格上升。但是，由于系统的复杂性和昂贵费用使得等离子气化对于私人投资者和市政府来说也是一个挑战。

幸运的是，垃圾等离子气化系统的发展非常迅速。最令人鼓舞的一点是每个子系统都是非常成熟的工艺，等离子气化系统只不过是它们之间的结合，只是需要进一步的完善而已。所有的垃圾分类和预处理设备非常成熟，等离子火炬已被可靠运用于数十年，气体净化系统也是被很好的掌握了的工艺。

从合成气发电今天已经可以做到赢利，并希望不久能经济地产生乙醇。经济地生成氢气和合成天然气也只是一个时间早晚的问题。在今后10年内是完全有可能利用目前去填埋的垃圾产生大量可再生燃料，而且同时能减少环境污染。