

变垃圾为能源

杨成凡 博士

Charles C. YANG, President & CEO

Hudson Electek Co., Inc., Florida, USA

Abstract: Metro Solid Wastes (MSW) become a very serious problem for the cities around the world, landfill & incineration usually are the solution ways, but it caused a lot of problem, such as underwater pollution, Dioxin pollution etc. Especially in China, Population and land pressure are the biggest in the world. This paper would introduce the ThermoSelect Technology, which is used in Germany、Japan、USA etc., as a solution for the MWS problem in China, Shanghai just finished a pre feasibility study, many other cities, such as Harbin and Liuzhou are working on their study based on the ThermoSelect Technology.

摘要：本文主要介绍第三代垃圾变能源的技术----“热分选煤气化(ThermoSelect)”技术，是一个完全无污染的、百分之百资源回收的垃圾处理厂的系统。为了遏制空气中二恶英生成的主要源头，据说在2002年3月召开的政协九届五次会议上，委员们大声疾呼，应停止建设垃圾焚烧炉；上海市人大会议上对上海浦东、浦西建焚烧炉争议很大；广州市建焚烧炉遭到大坦沙等当地居民抵制而五易厂址。国人对二恶英的危害是有认识的，可惜对先进的解决办法和相关的技术措施缺乏了解。其实，八十年代西方就开始对垃圾“热解气化”进行过大量研究，主要是针对二恶英的处理，有些已形成成熟的技术和设备，其中瑞士科学家斯登贝格博士的热分选煤气化技术(ThermoSelect)更是比较完善。用热分选煤气化技术，1992年在意大利米兰北部建立了示范厂。1998年在德国法兰克福南部的卡兹鲁克建成了商业运行的热分选煤气化垃圾处理厂。1999年日本川崎重工将热分选煤气化技术引入日本，在东京千叶县建成了示范厂，意在改造日本现有的一千多座焚烧炉。（众所周知，日本是工业国家中二恶英污染最严重的国家，1900多座垃圾焚烧炉是主要祸首，据说日本国内已不准再建焚烧炉）。用热分选煤气化技术已在世界许多国家建厂。2000年以来中国已有四个代表团去德国热分选垃圾处理厂参观过，2005年我们完成了上海示范厂预可研报告。

一. 一个世界性的大难题

随着工业化、都市化及近代科技的发展，废物处理，酸雨，臭氧层消失及温室效应已成为威胁全世界人类生命和环境问题的四个大问题。从墨西哥市恶臭的雨水，纽约及洛杉矶污染的海滩，到第三世界穷人捡破烂的垃圾山，全世界到处都碰到废物处理的问题。工业发达的国家，尤其是美国，用了就丢的生活习惯，制造了全球第一的垃圾。据统计，美国每年人均产固态垃圾达 600 Kg，欧洲是 280~ 350 Kg，而亚洲平均是 200 Kg 左右。

中国经济飞速发展，也会提升消费数量及改变消费方式，垃圾的增长也是可以预见的。加之人口密集度大，50 万以上人口的城市多。垃圾问题也已成为市政管理的一个大课题。上海浦西地区每天面对垃圾 9,000 多吨，广州每天 6,000 多吨，武汉 5,000 吨，南昌也有 1,500 吨，大成都地区有 4~ 6 千吨之多。

城市管理者用过很多方法处理垃圾：有的把垃圾倾倒入水里(如芝加哥)；有的把垃圾抛到荒岛上，大海里；1870年欧洲出现了专用的垃圾焚化炉，把垃圾烧掉，余下约30%的灰渣埋掉；也有的城市，采取长途运输的方法，把垃圾送得远离市区，甚至跨州过郡，去人烟稀少的山地。最普遍的方法是在市郊设垃圾场，倾倒入埋。但是年复一年堆放的垃圾成了山。自然腐烂的垃圾经雨水冲刷，污水横流，不仅污染了地面，河流及湖泊，也污染了地下水源；大风一刮，垃圾的灰尘，垃圾的臭气更是无所不在；垃圾山产生的沼气也污染整个大气层，还导致许多火灾，爆炸事故。据调查，美国佛州杰克斯威尔市沼气之多可替代每年 143,000 桶原油的能量（杰市有人口 63 万）。佛州迈阿密市（人口 35 万）原在 20 公里外设的垃圾场，随都市发展，该垃圾场已成为市区边缘地，所在的达德郡人口发展到 193 万，垃圾每年有 3 百万吨之巨，郡里已再没地方去建垃圾山了。

处理垃圾成了市政管理一个回避不了的难题，一个清洁、文明的现代化都市不能不解决好垃圾问题。开放改革，经济迅速发展的中国也开始面临垃圾问题的挑战。人口大量涌入大、中、小城市里，居住密度却远高于美国，而垃圾管理装备设施亟待改善，使这一挑战更显得越加严峻与急迫。本集团、公司愿与贵市通力合作，发挥我们在技术、网络等各方面的优势。引进外资，采用世界最新技术，不仅处理，消化掉人人头痛的垃圾，而且化废为宝。变垃圾为能源，发出电力，供应煤气、蒸汽。甚至燃烧后残留的垃圾灰渣(约10%)也可变为筑路用‘水泥’（强度比波特南水泥高出一倍），实现无污染排放。这就是我们在此向各位领导与同仁们推荐的“垃圾变能源工厂”。

二. 综合利用的大突破

早在 1870 年就出现了专用垃圾的焚化炉。1950 年美国工程师布朗杰设计出更新的焚化炉，用在纽约威廉堡大桥侧垃圾场，每天处理 175 吨从曼哈顿（纽约市中心）运来的垃圾。每小时可发 180 千瓦的电能，供给大桥照明。尽管存在着燃烧不完全，热效率很低，空气污染严重，但变废为宝的思路一直为后来所追索。技术的进步，特别是燃烧工程的研究与发展，使完全自动化的现代垃圾变能源的热电厂，在高效率，低排放，综合利用等方面，达到较完美的阶段。80 年代末在西方开始广为采用，成为 80 年代解决都市垃圾问题的最佳选择。

现代生活的发展，钢铁制品，易拉罐，饮料塑胶桶，车用轮胎及旧报纸杂志等，也成了垃圾一大成份。全美国，每三个月丢出的铝废料可用于制造一架商用飞机；每三个月丢出的钢铁废料可供全国汽车用料；每三周丢出的玻璃瓶罐可填满纽约世界贸易中心(二栋百多层的大楼)。真是触目惊心！可是钢铁等不能放到焚化炉去烧，因为它们不光不可燃烧而且吸收掉很大的热能，降低了系统的热效率。世界各国都有回收再生制度：从古老的挑担串巷，鸡毛换火柴，到大型专用的回收车辆。可惜现代人的急性子生活步调，随手就扔的习惯，使传统的回收方式已不能适应。在美国，人工昂贵，回收的收入不足以抵消劳力，设备，车辆及管理的支出。不得不在居民头上加收垃圾及回收的费用。佛罗里达州每户每月平均交\$25元垃圾处理费，\$1元回收再生费，而且回收率并不高，因为很多可回收再生的物品也混在普通的垃圾里，加上有些物品，如铁木旧家具，可回收与不可回收的混在一起，回收变得更难了。

第一代垃圾变能源的综合利用电热厂 (Martin Boiler 炉排式锅炉的焚烧技术), 就是针对能源与回收二个目标设计的, 处理过程全自动化, 99% 的钢铁, 55% 的铝材可以回收, 旧轮胎充作部份燃料消化掉, 现简介美国佛州迈阿密垃圾资源回收工程(Montenay Power公司负责运行管理)于下.

平均日处理垃圾:	3,000 吨, 每日 24 小时运行, 每周七天
年处理垃圾:	919,930 吨 (占全郡总垃圾量的三分之一)
输出电力:	317,039 MWH (即 3 亿多度, 装机容量 7.7 万千瓦)
回收废钢铁	28,216 吨 (占 99%)
回收废铝	403 吨 (占 60%)
处理废轮胎	15,463 吨

部分垃圾被制成肥料, 燃烧锅炉排出的垃圾灰(占10%)可制成筑路水泥. 处理烟气的泥浆, 据说可做化妆用面油 (已同化妆品制造厂签订售出合同). 燃烧温度低 (1600 ~ 1700 °F) 产生有害的氮的氧化物已比传统的焚化炉 (2000 °F 以上) 大为降低. 经过熟石灰及活性碳的处理, 排放烟气符合当时严格的标准, 烟囱已不用传统的高耸入云的昂贵结构了. 整个系统监控, 管理, 每班只须 3 人 (垃圾线, 锅炉房, 透平发电机及电控室), 二班倒作业, 全厂员工 208 人 (包括行政, 门卫, 维护, 现场指挥, 运行人员). 是个盈利企业.

北卡州 B.C.H 三郡人口 33 万, 年产垃圾 245,000 吨. 1993 年 11 月破土动工建垃圾热电厂, 1995 年三季交付使用, 预算七千万美元. 每小时可处理 1, 000 吨垃圾燃料, 发电一万千瓦, 主要供蒸汽给杜邦化工厂, 20,000~ 100,000 pph @ 275 psia & 650~ 750 °F. 这是一个发电与供热相结合的实例. 该厂采用 **第二代垃圾变能源的技术, 沸腾流化床燃烧锅炉**.

第二代垃圾变能源的技术, 垃圾处理包括垃圾分选及垃圾粉碎两个大部份. 垃圾分选在一条自动传送带上完成, 由分类, 筛选, 磁选及涡流分选几个过程, 把不可燃烧的剔出去. 利用电磁铁对导磁材料的吸力作用, 磁选可分出 99% 的钢铁类材料. 涡流分选是使非磁性金属材料感生高频涡流场而产生的排斥力, 把铝和铜等推出传送带, 50~ 60% 的铝铜材可以分离出来. 经过分选的垃圾经余热干燥、锤磨机打成小块即可被吹入锅炉内达到完全的燃烧.

燃烧锅炉是系统的核心部份, 已发展出几种主要被采用于垃圾燃烧的技术, 概述如下:

1. 传统的废物固定床燃烧技术, 炉温过高 (2,000 °F 以上), 灰渣比例大 25~ 30% ;
2. 转动炉排, 旋风火焰流动床燃烧技术, 以燃烧工程公司的为代表产品. 可燃烧固体, 液体及煤气等多种混合燃料.

3. 沸腾流化床燃烧技术 (Fluidized Bed Combustion Technology), 又分为 BFB 及 CFB 两种类型, 此法的特点是用强风使粉碎过的垃圾悬浮在炉膛中, 充分燃烧. 采用水管式热交换结构, 优点是热效率高, 燃烧完全而出渣少 (10%). 燃烧温度低 (1600~ 1700 °F) 而致有害废气少.

蒸汽轮机及发电机是热能转换成电能的关键部份, 发出电能约 20% 作垃圾电厂自用电, 80% 可通过厂内主控室, 开关站, 升压变电站送入电网. 供热与发电的比例可以调节.

其它设施还包括冷却塔, 废气处理系统, 回收物质清洗打包等. 对处理轮胎的系统还有轮胎打碎设备, 搭配供料以防止过量硫排放.

下表一为美国北卡州 BCH 厂燃料设计数据:

<u>成 份</u>	<u>重量百分比</u>
------------	--------------

碳	42.6%
氢	5.7%
氮	0.7%
氧	31.2%
硫	0.3%
氯	0.3%
灰分	18.7%
垃圾热值 (Btu/lb)	5,555

下表二为美国北卡州 BCH 厂排放值设计数据:

<u>排放物</u>	<u>排放量 lbs/hr</u>
颗粒	5.0
NO	22.4
SO 2	17.4
HCl	2.37
CO	22.4
NMOC 3	7.5

1995 年 5 月美国机械工程杂志报导. 美国全国已在 33 个州内建成了 121 个废物变能量设施 (垃圾堆放场则有 4,000 多个), 服务于 3,750 万居住于 1,300 个社区的民众. 每天可处理 97,000 吨垃圾, 占全国垃圾量的 15%. 供给一百二十万个家庭用电, 相当于每年可节省三千万桶原油.

垃圾电热厂, 最重要的是化垃圾为能源, 把人见人烦的问题以最理想的方式解决. 全面的综合利用, 回收再生物质的方法也是变相的改善了污染问题, 其好处下表可见:

铝	再生为新制的能量的	1/20	减少制造过程排放污染 95%
钢	再生为新制的能量的	2/3	减少制造过程排放污染 45%
纸	再生为新制的能量的	20~ 60%	减少制造过程排放污染 75%
玻璃	再生为新制的能量的	1/3	减少制造过程排放污染 38%

THERMOSELECT



上图是个第三代垃圾变能源的技术，热分选煤气化(ThermoSelect)技术，完全无污染的垃圾电厂的系统原理图。

垃圾气化发电(热分选技术 ThermoSelect Technology)过程说明：

热分选技术，是一种全新的处理垃圾的方法，没有传统的锅炉，而是模拟地层中的化工过程，将垃圾气化。在一个封闭环境中，在高温高压下气化，将有机垃圾完全转换成可燃气体。高温及较长的驻留时间甚至可摧毁最复杂的有机化合物而产生可回收的综合性燃气。任何残留的酸性气体及易发散的金属都在厂内加以处理及回收，重金属成份可作为易管理的沉淀态加以回收。酸性气体变成盐份加以处理及回收。排放显著地减少了，由于清洁过的综合燃气可直接用作工业煤气；也可用于产生热量供热能，或经过高效燃气轮机发电机系统发电。所产生的富余电能可供销售。废物中的无机成份被熔化及淬硬而形成有用的建筑材料及金属合金，这两种材料都转成惰性的及无毒性的产品。全过程产生的水被净化、回收利用，无废水的排放。

基本步骤及原理：

1) 废物压缩：

都市垃圾密度小而占很大容积，本过程使用标准的，放在流水线上的、工业上有30年以上使用经验的废金属压机来压缩垃圾，使之增加密度达到只有原容积的10%。高压形成的垃圾包，湿度均匀分布，而其中的空气则减至最少。

2) 放气：

高度压缩了的垃圾，直接推入压阻式的通道，形成气密的楔形块。在一个外部加热的通道(600°C)中，垃圾由传导法集中加热，使其中水份汽化。这种热的蒸汽分子传递能量至深一层加热废料块。这股热气流进入下一级高温反应室(HTC)。压缩了的废料块中的有机成份释放气体并被碳化。而无机矿物及金属物质被已碳化的材料包复着。这种热碳块由喂料操作推动进入下一道工序。气化成份，包括：水，CO, CO₂, H₂及碳氢化合物，继续由放气通道进入高温反应室(HTC)。

3) 高温气化：

碳块分裂成碳和无机部分进入高温反应室HTC。氧气可从一个矛状工具引入，提供高温氧化环境。有蒸汽时，氧使化学反应进行得更快。其基本过程为：

- a) 全部有机成份被完全破碎和分解成原子级；
- b) 综合燃气形成，由于碳、氧、碳氢化合物和水联合反应形成CO, CO₂和H₂。一般，每吨垃圾可产生约900 Nm³(29,000 ft³)的综合燃气，当然与垃圾的热值有关。这种形成燃气的方法已有60年以上历史，重要的是如何保证设计合理及在多种温度及压力下安全运行；
- c) 垃圾中的戴奥辛(Dioxin, 二恶英)及呋喃全部分解, 矿物质及金属被液化(2000 °C)，并在全部包复碳的氧化作用下精炼，这就构成了金属及矿物熔融体。它们以无毒、玻璃状熔合材料形式回收，其符合TCLP的淘选测试标准。冶金及玻璃工业界已发展出一种方法转换这种材料成有用的产品，本集团公司正在继续发展使用这些材料的上市产品；

d) 被综合燃气带入的无机成份，进入高温反应室HTC的上端部，由于高温而被蒸发(1200°C)，这些材料在下一段气体清理部分被安全收集起来。

4) 综合燃气的处理：

从高温反应室HTC出来的综合燃气及其他成份由1200°C用水骤冷至70°C，液状熔化矿物质及残留碳被沉淀在水中，碳可再循环用至加热过程。在缺氧状态下，热燃气速冷防止了戴奥辛(Dioxin, 二恶英)及呋喃的合成。在第一道燃气水洗时，金属及其伴生物被沉淀了，氯化氢及氟化氢流入下面多级碱洗。多级碱洗使硫成份完全分离。综合燃气在此第二段洗涤中被清理，而且脱去残存的湿气。最后经活性炭过滤就得到了纯净的综合燃气，活性炭过滤无氧的综合燃气是在80°C以下进行的，具有更安全的优点。低容积制气过程使整个净化系统只有传统烟道气净化系统的十分之一。

5) 废水处理：

在洁气过程中产生的水溶液再经过常用的化学材料分离处理。在重金属被分离后，钙离子被加入，去分离不可溶解的成分。当残留溶液靠蒸发浓缩后，钠盐被浓缩分出来。由洁气及水回收利用过程产生的产品包括：工业级氯化钠(盐)，元素硫及含重金属的沉淀物。上述沉淀物浓缩而产生富集的锌及铅，可经重熔而回收这两种材料。所有剩下的水被回收及在系统内再用，无污水排放。

6) 发电：

清理后的综合燃气通过高效、低速燃气发动机拖动发电机而发电，此综合燃气尾气用来加热放气道。

三, 多行业的大工程

垃圾变能源是一个多行业的大工程，涉及煤气，热能，电力，机械，化工及计算机自动控制等许多工程学科。经过多年的发展，目前技术已成熟，大型设备制造公司也有多家可供选择，并且积累起了完善的运行管理经验。欧美各国在世界领先一步，正在大力推广。美国已有15%的垃圾得到转换(共121项)，全国现有4,000多个垃圾点，还有很长一段路要走。中国目前尚无一处完全无污染的垃圾变能源工厂，正是急起直追，迎头赶上的大好时机。

按处理垃圾的能力来分,从日处理 100吨至 3,000 吨以上的系统都有实例可借鉴.

四. 一种新的产业与技术 (未来展望)

此类工程的完成,变废为宝,解决环境问题,又改善能源短缺状况,增加劳动就业面引进此项最先进的技术及产业,可带动国内已有的制造技术如燃气轮机、汽轮机,发电机制造,甚至燃烧锅炉的制造技术.除解决今后维修,改建之需,国内垃圾变能源、发电已是一个大市场,依仗中国的庞大制造能力及相对廉价的劳动力成本,进入世界市场也是可以展望的.例如美国现有 4,000 个垃圾设施,只有121个点实现了垃圾电厂,很多设备也从欧洲进口.中国大、中城市都建立起来,市场也够大了.

这类中小型燃气轮机、汽轮机,发电机(0.5~4万KW),国内已有多家生产厂家,稍加改型,就能满足这一特殊的需要;压缩机、传送带及垃圾破碎设备,技术原理不是很复杂.国内有成熟的经验,可供借鉴,乡镇企业亦可接任;高温反应室 HTC、转筒筛选器及锤磨机用于垃圾处理当然有其不同特点,国内已有相类产品生产厂家,经过参考国外产品当可制造出相应设备;磁选,铝选等项目,国内有废旧物质公司回收,目前尚无此必要,将来若要出口该设备,则宜尽早安排;技术可买国外专利或使用许可证,以后再消化,投入研究力量不断更新改进提高竞争能力.施工力量经过一次实战,就可有经验了,今后也可组织劳务出口,到世界各地去施工.现在美国这部份开支占的比例较大,因为劳务费用太高.中国可有很大潜力出口劳务.

五. 多方合作的解决办法 (合作建议)

这样一个系统工程,涉及许多方面.政府部门中环保,环卫,城市建设,土地规划,电业运营,运输服务,以致财务金融等机构都要卷入.分管的副市长的协调,组织成为首要的成功条件.

这样一项复杂的工程涉及中外双方,中央和地方关系,要引进国外先进设计,制造,运行,管理的技术,甚至引进全部资金及部份人才.合资政策,优惠政策,协商谈判,关税安排,政府银行担保安排.

这也是一起全面的工程,涉及千家万户,要改变旧有的垃圾外扔的习惯,要建立相应的收集系统,规定分区收集的时间表,划分不同堆放区,制定奖惩办法.

这项工程的完成必将改善城市环境卫生的面貌,提高人民生活素质,减少污染而产生的癌症,传染性疾病,是一项造福人民,造福后代的世纪工程.

结合到城市的具体情况,展望未来20~30年,我们应选用那种类型的设计.这就是我们公司可为各城市作出的第一类贡献,技术咨询,以下几点供参考:

1. 垃圾为患的地区当以处理垃圾为主;
2. 垃圾多而又缺电的地区则可发挥垃圾燃烧锅炉可吃劣等混合料的优点.把发电摆在重点,搞一些别的燃料来(如干蔗渣,废木屑,低质煤,废水处理后的淤泥)以发电为主.
3. 垃圾多而又缺煤气的地区则可供工业用煤气或生活用煤气(与液化气或天然气混合以提高垃圾煤气的热值及降低一氧化碳的比例)
4. 发电与供蒸汽何者为重?北方冬天取暖,化工类工业用蒸汽能否就此合在一起办.
5. 垃圾变能源工厂,前部的垃圾运输车,后部的水泥制造厂;设备,技术,管理问题,资金来源,都涉及选型好坏.

下面的项目建议已提交给许多中国城市,有的已完成或正在做针对本城市具体情况的可研分析,如上海、哈尔滨、柳州:

1、资金:直接投资,不要政府担保

2、技术是世界上最先进的第三代垃圾处理技术(热分选-煤气化技术)

1) 无废水、废气、废渣排放,无二恶英等二次污染问题;

2) 可处理各种类型的垃圾,生活垃圾和产生各类污染的种种工商垃圾:如产生“黑色污染”的废旧轮胎;“白色污染”的废塑料;“生物医学污染”的医疗垃圾(如沙士病毒SARS)、家禽废物(禽流感预防),屠宰坊废物(口蹄疫及疯牛病预防);“电子污染”的废电池,废日光灯,废家电,废电脑等。不需要进行垃圾分选;

3) 垃圾变能源的三种方式可供选择:煤气、热、电:

每吨垃圾约可发电453度或产生煤气900立方米(1800-2000大卡热值)或供蒸汽和热水。

3、建设周期一年半(采用积木式的模块设备及钢结构厂房),占地少(日处理1000吨的垃圾项目占地约30亩,投资约12亿美元)

4、资金回收方式:

1)能源销售收入

2)垃圾处理费收入,取决于上述能源价格及垃圾厂规模,每吨垃圾处理费美国焚烧垃圾发电厂是25

至90美元,德国气化垃圾发电厂约为275马克左右,上海浦东焚烧垃圾发电厂约240元,我们正在上

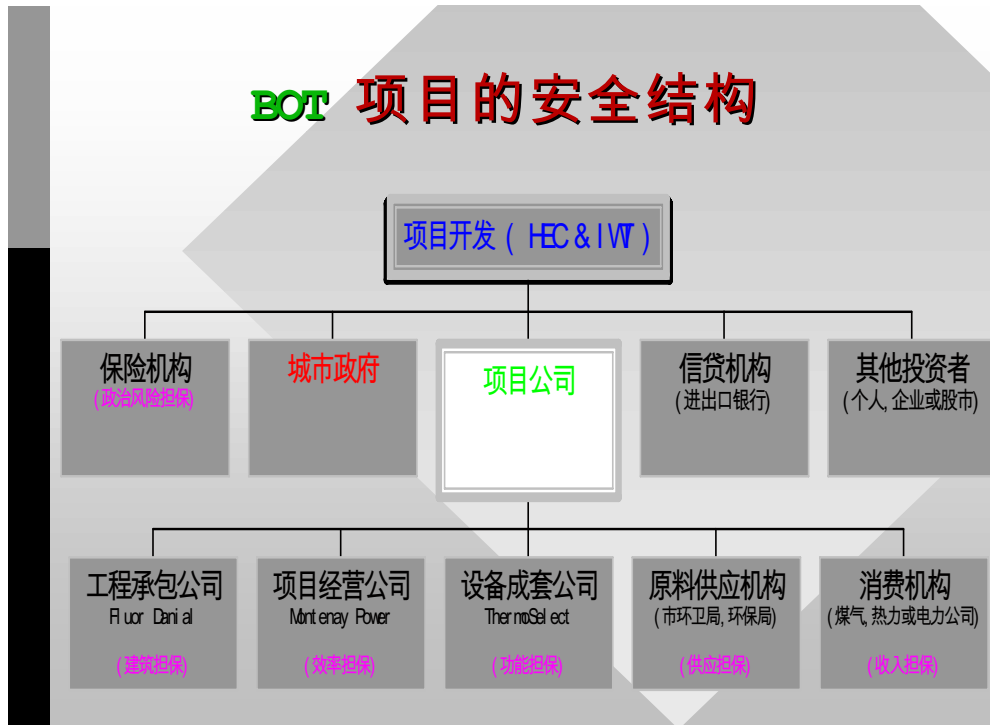
海合作的气化垃圾变煤气厂每吨垃圾处理费在0-35美元之间。

5、合作方式:

1) BOT:外商与政府合作,20-30年后交给政府(免费或少量钱),外商出资建设,运行管理,中方出土地;

2) BOO:外商投资建设,运行管理及全资所有产权;

3) DBO: 外商负责设计, 运行建设, 当地出钱并拥有产权。



上海垃圾变能源项目开发按上图结构安排. 予可行分析报告已经完成.