城市垃圾填埋与沼气化技术的现状与发展

安静[1]，常军[1]，朱宗强[2, 3]

(1.中国石油新疆油田公司陆梁油田作业区，新疆克拉玛依834000；2.广西环境工程与保护评价重点实验室，广西桂林541004；3.桂林工学院资源与环境工程系，广西桂林541004)

摘要：综合阐述国内外在城市垃圾填埋与沼气化领域的应用现状、城市垃圾填埋以及沼气化技术原理，结合经济和技术实际，详细分析城市垃圾填埋与沼气化技术在我国的可行性，并对其在我国大范围推广的发展前景和存在的问题进行简析。

随着我国城市垃圾状况和管理方式的变化，我国的城市生活垃圾管理正从单纯的末端处理向源头治理和综合管理方向发展。近年来，我国相继建造了不少大型的垃圾卫生填埋场，填埋沼气的问题也日益突出，成为城市垃圾填埋处置过程中引起广泛关注的最重要的环境影响因素之一，同时，填埋沼气也是可以加以利用的宝贵资源。因此，随着人民生活水平的提高和垃圾分类收集工作的试行和推广，采用填埋与沼气化技术工艺处理城市生活垃圾无疑将成为一个非常重要的将城市垃圾资源化处理方法。

1城市垃圾填埋与沼气化技术的应用现状

1.1国外利用现状

利用厌氧消化能产生沼气的现象早已为人们所知，其应用也已有100多年的历史。进入20世纪以来，科学家分离出产甲烷的厌氧细菌，进一步揭示出了有机物厌氧消化产生沼气的微生物学机理。1896年，英国小城市Exeter建起了一座处理生活污水污泥的厌氧消化池，所产沼气用作一条街道的照明燃料；1906年印度Matunga建造了利用人粪生产沼气的沼气池。随着工艺的进步与发展，厌氧消化被应用于畜牧业和农产品加工废料的处理，并逐渐在高浓度有机废水的处理上得到广泛应用，但将其应用于固体废物的处理，尤其是有机生活垃圾的处理，则只有十余年的历史。

由于对城市垃圾采用填埋与沼气化技术不仅可以能减轻其对环境的污染，而且可以回收利用能源，创造财富，变废为宝。因此世界上许多国家如美国、英国早在20世纪70年代就开始了对垃圾填埋的填埋气进行研究，20世纪80年代初便开始利用填埋气。随着近些年来环境变迁和温室效应的加剧、石油价格的上涨以及能源危机的加剧，采用填埋与沼气化技术处理城市垃圾更加得到重视。

美国对垃圾填埋的沼气利用发展较快，1982～1990年，利用填埋沼气的填埋场由16个发展到244个。美国对填埋沼气的利用主要集中在发电，也有部分将填埋沼气转化为管道天然气。据估算，美国全国天然气消费量的1%可以被填埋气体中的甲烷所代替，
全国约有1000个填埋场适合开展填埋气体的利用
，每年可产生570亿m^3的沼气，如果全部加以利用相当于4～5亿美元的价值[1]。

截止1990年，欧盟的垃圾填埋的沼气利用项目就有175个。欧洲对填埋沼气的利用以将其转换为热能和发电为主。欧洲第一个完全使用垃圾填埋的沼气发电的工厂建于1987年。1995年底，英国共有33个商业性填埋气体利用项目1个，另有20个项目正在规划和建设中，其发电总装机容量约为190MW。据估计，英国可利用的垃圾填埋的沼气总能源价值相当于500～600MW。德国垃圾填埋的沼气的主要利用方式是通过内燃机发电和直接燃烧供热，到1991年，295个正在运行的城市垃圾填埋场中有32%的填埋场拥有气体利用设备[2]。

从1996年起，荷兰填埋沼气的利用量为1.15亿m^3
，其中约1000万m3用于直接燃烧以供热，约2000万m3经过加工处理用作燃料气，大部分(约8000万m3)用于25个发电机组进行发电，其发电量为150MW·h，可以满足约5万个荷兰家庭的用电量。此外，热电连产机组用沼气生产供热31MW·h。在荷兰，1t垃圾在20年中可产生200m^3
沼气，发电成本为0.03～0.05美元/度，上网售价为
0.05～0.07美元/度[3]
。拉丁美洲自1977年以来，已完成5个填埋沼气利用项目，使拉丁美洲在发展中国家中居于领先地位。填埋沼气经过净化后主要用于厨房、照明、机动车燃料和管道煤气，年利用量约为2.17亿m^3[4]。

近年来，在可持续发展原则指导下，欧洲国家纷纷立法，限制有机垃圾进入卫生填埋场。在德国，2005年以后，有

机物含量高于5%的垃圾即被禁止直接进入垃圾卫生填埋场。这种情况下，有机垃圾的处理和利用成为一个迫切的问题。由于堆肥存在这样那样的问题，人们不断探讨有机垃圾处理和利用的新技术方法。近十年来，有机垃圾厌氧消化系统在德国、瑞士、奥地利、芬兰、瑞典等国家发展尤其迅速，日本荏原公司也从欧洲引进技术，在日本建设了首座厌氧消化示范工程。有机垃圾的厌氧消化处理成为有机垃圾处理的一种新的趋势。

1.2国内利用现状

我国对城市垃圾填埋制取沼气技术的研究起步较晚，只是近一、二年进行了一些实验性研究。1997年，国家环保总局在南京、鞍山和马鞍山三城市启动了“促进中国城市垃圾填埋沼气收集利用”项目。目前，南京市已成功实现气体收集发电的目标。鞍山市的“收集甲烷用于汽车燃料”项目，马鞍山市的“收集甲烷用于焚烧医院有毒有害废物”项目，也已于2003年完成[4]。

2002年8月开始运营的广州市兴丰生活垃圾卫生填埋场是我国第一座与国际技术管理接轨的大型生活垃圾处理设施。兴丰垃圾场设置有垂直和水平填埋沼气收集管网系统，有130个竖井，气体收集率可达70%。根据兴丰场未来的垃圾量计算，该场至少能发电20年以上，最高发电装机容量可达1.3万kW。由国家计委、国家环保总局、国家经贸委、财政部、建设部、科技部等共同编写的《中国城市垃圾填埋气体收集利用国家行动方案》于2002年10月23日正式出台，预计到2015年中国城市垃圾填埋无害化处理将达到60%至70%。据预测和专家估计，到2015年，我国的城市垃圾年产量将达1.79亿t，预计其中60%采用卫生填埋处理，则每年需填埋处置1.1亿t垃圾，假设对填埋垃圾所产生的沼气全部进行回收利用，按每kg垃圾产生0.064～0.44m^3
填埋气来计，则可产生总量相当于10～70亿m^3
的天然气，其最小值与目前我国煤层气产量相当，最大值相当于我国目前天然气产量的1/5，这是一个相当可观的数字。同时大量减少甲烷排放量，对环境保护所起的作用将更为可观[5]。

根据我国政府制定的计划，到2010年所有城市都要建设符合环境要求的城市垃圾处理设施，使全部垃圾做到无害化处理。据预测，到2010年我国城市垃圾的产生量将达到2
19亿t[6]
。随着垃圾分类收集工作的大力推广与发展，必将有更多的厨余类有机垃圾被分选出来，有机垃圾含量按45%计算，则到2010年约有113亿吨的有机垃圾产量。若按约有30%的有机垃圾被用来进行厌氧消化处理计算的话，则每年可产生生物气体量约为50亿m^3
，其中蕴含的能量大约为300亿kWh，相当于30亿升柴油，可供车辆行驶420亿公里，另外厌氧消化残渣产量约为1000万吨，其经过静态腐熟一段时间后即可作为粗堆肥产品出售，产生附加的经济效益。

2城市垃圾填埋与沼气化技术的原理

2.1城市垃圾填埋技术的原理

我国对城市垃圾填埋主要采用卫生填埋技术，后来又逐渐发展成为生态填埋。所谓卫生填埋就是能对垃圾渗滤液和填埋气体进行控制的填埋方式[7]
，通常首先要进行防渗处理，在填埋场底采用人工衬层，四周采用垂直防渗幕墙并使之与天然隔水层相连接，使填埋场场底下形成一个独立的水系，使之不会污染地下水，渗滤液一般通过管道收集后直接处理或送城市污水处理厂处理。垃圾填埋场气体中含有大量甲烷、二氧化碳及其他微量成分，若不采取适当的收排系统进行处理，则会在填埋场累积，通过填埋覆盖层或侧壁向场外释放，对周围环境和人类健康造成很大危害。

2.2城市垃圾沼气化技术的原理

城市垃圾沼气化技术就是利用垃圾厌氧消化制沼气。厌氧消化Anaerobic Digestion又称为厌氧发酵，是指在没有溶解氧和硝酸盐氮的
条件下，微生物将有机物转化为甲烷
、二氧化碳、无机营养物质和腐殖质的过程[8～10]
。在这个过程中有机物不断被几种微生物的组合体分解，最后将其中大部分的碳以甲烷和二氧化碳的形式释放出来。被分解的有机碳化物中的能量大部分储存在甲烷中，仅一小部分有机碳化物氧化成二氧化碳，释放的能量作为微生物生命活动的需要。厌氧发酵是一个复杂的生物学过程，在自然界内厌氧发酵过程也广泛存在着。有机物在有水的地方，在无氧条件下，很容易发生厌氧发酵，并产生厌氧发酵的代表性产物甲烷和硫化氢。

3城市垃圾填埋与沼气化技术在我国的可行性分析

3.1城市垃圾填埋与沼气化技术的技术经济性分析

3.1.1城市垃圾填埋与沼气化技术的技术性分析

城市垃圾填埋与沼气化技术的关键问题是沼气的收集与导出和渗滤液的处理与防护，以防止爆炸和造成二次污染。对沼气收集采用布设集气管道的方式，在国内外已经有了一定的应用，技术上也基本成熟；而对沼气的导出通常采取的方法有：①通过石笼等形式将填埋沼气导排；②进石笼和收集灌将沼气导排并使安全燃烧；③经管网系统收集净化作能源回收利用。另一个对防止垃圾渗滤液的方法有：①设置防渗衬里；②设置导流渠或导流坝；③选择合适的覆盖材料。同时，对渗滤液收集之后采取专门的处理，再引入污水处理厂，最终达到达标排放。

3.1.2城市垃圾填埋与沼气化技术的经济性分析

从投资的角度看，一个处置能力为2000t/d的垃圾卫生填埋场，其填埋气体回收利用系统的建设费用约为2000～3000

^{3}，热值按18MJ/m^{3}计，则每年可回收热能1800万m^3×18MJ/m^3
=01324PJ；如果全部用于发电，能量转移率暂以30%计，则每年可发电27.1GWh，上网电价按0.5元/kWh计，年发电收入可达0.5元/kWh×27.1GWh/a=1355万元/a，运行
两年即可回收投资[10]
。根据以上分析，对于较大规模的垃圾填埋场建设填埋气体回收利用系统，无论是对投资方，还是对管理方都具有较大的市场吸引力。

3.2在我国当前城市规划发展的前提下，垃圾填埋与沼气化技术的可行性分析

初步研究结果表明，该方法在我国是可行的，并且具有广阔的应用前景。主要原因如下：

3.2.1技术设备简单

该方法工艺要点是：垃圾分单元以约2m厚一层逐层填埋，每层设置集气系统，层与层之间隔绝，整体封闭，靠调节湿度来控制温度以获得预期的气体回收率。设备简单，投资较少，可伸缩性强，处理彻底，比较适合我国国情。

3.2.2我国城市垃圾的特性适于填埋制沼

一是数量大，便于建造大规模、效率高的填埋场；二是质量好[10]。虽然我国城市垃圾平均有机物含量较低，但我国部分大城市及城市的双气户(暖气、煤气户)地区有机物含量仍较高，而且有机物中动植物残骸等食品垃圾比例高，有利于产沼，并且随着我国燃料结构的改变，垃圾中有机成分的增加，将有利于填埋制沼技术的推广。

3.2.3经济效益较高

我国目前能源紧张，劳动力便宜，从经济效益或所谓竞争性价格角度看采取该方法比发达国家更有利。根据我国现有城市垃圾特性推算，我国年产垃圾8000万t，能量相当于270万t标准煤，价值约1.6亿元。由于没有考虑已填埋垃圾的潜在能量，因而上述数字是最保守的估计。而且随着我国城市垃圾中有机成分的不断增加，垃圾填埋产沼量还会不断增加。杭州天子岭卫生填埋场[11]是国内第一家进行填埋气体回收利用的填埋场，其下设的填埋气体发电厂设计规模4～6MW，于1998年正式发电，并入华东电网，年上网电量达14343MW·h，年产值717万元，投资回报周期为6～7年
。

4城市垃圾填埋与沼气化技术在我国的发展前景及存在的问题

4.1城市垃圾填埋与沼气化技术在我国的发展前景

近年来我国城市垃圾填埋气体显著增加，表现为：

①随着城市化的快速发展、人口的增加和居民消费水平的稳步提高，我国城市垃圾产生量以每年8%～10%的比例递增。目前，城市人均垃圾日产量略高于1.0kg，全国每年的垃圾总产量已超过1亿t。垃圾填埋量的增加使得填埋气体产

生量呈上升趋势。

②近20年来，城市垃圾最终处置已开始由无控的分散堆放向有控的集中处置发展，发生源的集中使填埋气体对环境的影响变得更加突出。

③居民生活水平的提高使垃圾中有机物组分大大增加，这种垃圾组分的变化也使得单位重量的垃圾填埋气体产生量提高。

而相对来说，大多数填埋场建造技术水平较低，大量气体处于无序排放状态，造成严重的环境危害。上海、北京、重庆、岳阳等城市都发生过填埋气体导致爆炸的事故。因此，对现有垃圾堆放场以及正在建设和将要建设的卫生填埋场所产生的填埋气体加以控制已成为迫在眉睫的问题。

根据我国政府制定的计划，到2010年所有城市都要建设符合环境要求的城市垃圾处理处置设施，使全部垃圾做到无害化处理。据预测，到2010年我国城市垃圾产生量将达到219亿t，按处理率计算，卫生填埋占70%、焚烧占20%、综合利用(堆肥或厌氧发酵等)
占10%，到2010年垃圾卫生填埋的能力将是2亿t，
产生沼气约25亿m^3
。如此多的垃圾填埋，其沼气的产生及对大气环境的影响将不可忽视。而这些沼气能全部回收的话，可相当于356万t标准煤的热量可利用。可见，填埋气体的回收利用在我国也是有很大的发展潜力的。

4.2推广城市垃圾填埋与沼气化技术存在的问题

尽管垃圾填埋与沼气化技术在环境效益和经济效益方面都有不容忽视的优点，但其在应用和大范围的推广仍然存在一定问题。

4.2.1项目准备费用过高

通常情况下，垃圾填埋场不具备电力传输系统，出售填埋气体发电系统的电力，必须得到电力公司的许可并取得合法的、规范的上网协议和合理的上网电价，而这一过程是非常复杂的。常规能源发电项目的准备费用大约为几百万美元，占项目总投资额的1%～3%，比填埋气体发电项目的准备金要高出许多。

4.2.2缺乏可操作的经济激励政策

尽管我国政府已经出台了一些经济激励政策以促进包括填埋气体

发电在内的可再生能源的发展，但在实际操作过程中如何贯彻这些政策仍存在不少问题，如缺少标准的上网协议、购电协议、计算电价的方法等。

4.2.3没有专用的甲烷发电设备

杭州天子岭所采用的填埋气体发电设备是由美国公司提供的。

4.2.4技术推广的可行性和决策难度大

填埋气体产生量不稳定，对合适的发电装机的估算很困难，增大了可行性研究和决策的难度。

参考文献：

[1]周红军，吴全贵.垃圾填埋气的回收利用[J].环境保护，2001，(8)：44～46

[2]E，J.，G.A.Landfill Gas from Environment to Energy[J].WatSci Tech，1993，27(3)：253～259

[3]杨卫国.垃圾填埋气体作为可再生能源在荷兰的利用[J].世界环境，2001，1(1)：33～34

[4]李辉.垃圾填埋气体资源化利用的现状和途径[J].武汉工学学院学报，2007，2(26)：67～70

[5]时景丽.促进城市生活垃圾填埋气体资源化的有关问题[J].中国能源，时景丽.10(9)：24～26

[6]孟宝峰.我国城市垃圾资源化处理技术的现状与发展趋势[J].垃圾处理，2003(6)：28～30

[7]李冰.城市生活垃圾处理现状与垃圾资源化[J].黑龙江环境通报，2002.7.26(3)：65～69

[8]T，R.G.，D.H.C，L.M.Dekken.Biological wastewa tertreatment C.PLeslie Grady[J].Inc：599～671

[9]Hill，M.～.Biosolids Engineering[J].3：41～93

[10]徐海云，徐文龙，等.中国大城市垃圾问题研究[J].中国城市环境卫生，2001(4)：32～37

[11]国家环保总局污染控制司.城市固体废物管理与处理处置技术[M].北京：中国石化出版社，2000：82～86

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/101431.html