

Waste Gasification & Pyrolysis:  
High Risk, Low Yield Processes  
for Waste Management

# 气化和热解： 高风险、低产出 的固废处理技术选择

**全球焚烧替代联盟（GAIA）**

英文版发布时间：2017年3月

中文版发布时间：2017年7月

主要作者：Neil Tangri 和 Monica Wilson。  
感谢 Shlomo Downen、Jane Bremmer、Bradley Angel、Anne Larracas 等人士提供的帮助和评审。

中文版翻译：周勇  
校对：夏志坚、毛达、何玲辉  
排版：孙文恒

# 摘要

气化和热解旨在把固体废弃物转化为合成气或油，然后焚烧（这意味着在美国和欧洲，它们是按照垃圾焚烧炉的要求进行管理）。30 多年来，相关企业一直在开展这些技术的实验。本报告认为：尽管几乎无法获得试验性商业设施的运营数据，但已有许多实例显示这类设施会因技术故障或财务困难而被迫关闭。此外，另一些项目在筹集到大笔资金之后，由于社区的反对以及政府对虚假夸张声明的审查，在项目建议书阶段就宣告失败。

单是本报告所列项目的投资总额就已超过 20 亿美元，它们全都是在投入运营之前就被关闭或取消了。涉及企业包括 Air Products & Chemicals、Thermoselect、Plasco、Compact Power、Caithness、Interserve 和 Brightstar。

气化项目面临的技术和经济挑战包括无法实现预期的能源产量、收入和排放目标。气化厂传统上也一直在寻求公共补贴来实现盈利。厂商们尤其乐于寻求可再生能源补贴，但这类工厂实际上却由于使用源自化石燃料的材料而排放二氧化碳，这类材料包括废塑料和煤炭。这和“可再生能源”的宗旨背道而驰。

我们的结论是：废弃物气化的潜在回报低于其支持者们宣称的水平，且更加不确定，而风险则要高得多。那些依靠废弃物产生预防、源头分类、强度更大的循环利用和堆肥，以及无价值产品再设计的垃圾管理战略，在经济和技术方面已经取得了成功。

# 引言

全世界都在设法应对日益增多的废弃物。企业家和地方政府在寻找固体废弃物处理和处置新方法，这类废弃物包括各种塑料和复合材料。一些地区对气化和热解重新产生了兴趣，它们虽然不是新工艺，但其目标是在生产能源的同时，显著减少废弃物数量。如果投资者有兴趣支持这些做法（尤其是在发展中国家

支持它们），那么他们应该被详细告知以前的此类尝试及其对当地废弃物系统产生的影响。

本文分析了气化和热解技术支持者们宣称的内容以及运营设施所遇挑战的相关记录，并为潜在投资者和监管机构提供了决策意见。

## 何为气化和热解技术？

气化和热解是高能耗工艺，它们把废弃物转化为合成气或油并在随后把产物焚烧，来减少废弃物数量。欧盟和美国环保署把废弃物气化归类为一种焚烧方式（USA 40 CFR § 60.51a; EU Directive 2010/ 75/ EU Art 3.40），原因是它包含了废弃物的热处理，并在多数情况下会对热处理过程产生的气体进行燃烧（在现场燃烧，或作为配送至别处使用的燃料）。

固体废弃物在高温（一般超过 600℃）缺氧环境中发生气化过程。氧气浓度保持在低水平，以防止直接燃烧。固体废弃物的含碳部分会分解为合成气以及炉渣、炉灰或炭渣形式的固体残余物。需要指出的是，（多个厂商宣称的）缺氧或无氧工作条件在商业规模经营

中是难以实现的。合成气的主要成分是一氧化碳、氢气和二氧化碳，并带有污染物<sup>[1]</sup>。合成气有足够大的热值用于燃烧释放能量，但是需要先进的污染控制系统（APC）<sup>[2]</sup>。运营设施经常无法产生足以盈利的能量<sup>[3]</sup>。这些工艺的副产品包括大气排放物、炉渣（一种固体废弃物的形式）、空气污染控制设备排放的飞灰（由于它具有毒性，因此需要特殊处理）、废液和（或）废水。

热解是一种类似方法，它在不添加氧气的情况下利用热量来产生油和（或）合成气（以及固体废弃物），并需要废弃物原料的成分更加匀质。和通常的气化厂商相比，一些热解技术厂商提供的燃料生成设施的规模更小。（见附文《变废弃物为燃料的方法》）。

### 附文：《变废弃物为燃料的方法》

一些企业提出利用热解和气化来把废弃物变为日后在其它地方可使用的燃料，但这种工艺尚未实现大规模的成功应用。这需要额外的气体净化过程来使燃料可用，并且这些过程的能耗很高，降低了总体效率 [4]。由于这类燃料都是分散使用的并产生数量较多的分散排放源，因此人们对相应的大气污染监测工作会产生更多担忧。例如，气化过程产生的油类分散于如汽车、锅炉等不同的用途时，由此产生的分散排放几乎无法监测。此外，规模较小的焚烧装置一般缺乏大型集中处理设施必备的空气污染监控装置。这可能会导致下列污染物的过度排放：二恶英和多氯联苯等持久性有机污染物，铅、砷、汞等重金属，多环芳烃（如阻燃剂燃烧产生的物质），以及其它接受监管的污染物。

等离子弧在气化过程中用于制造更高的温度，有时也会用于热解过程。该工艺的能耗远远高于普通气化和热解过程，进一步提高了技术应用的成本门槛。

上述工艺之间的区别并不总是那么明晰 [5]，每一种主要工艺的内部都多少有些变化，而厂商们经常宣称自己的工艺具有独特性。

大多数生活垃圾埋技术都试图能够应对大量成分

混杂的废弃物流。对于那些不想应用源头分类战略，而只想寻求单一技术解决方案的政府而言，这类技术可能很有吸引力。但是，寻求一种专门处理混合垃圾的工艺的想法会面临一些特别的挑战，且不如更加全面的源头分类策略来得成功。以往，气化、热解和等离子弧技术通常用于单一成分物料流的处理。生活垃圾成分混杂的性质导致这类技术不太适用。

### 附文：《生物气》

厌氧消化和类似的生物处理工艺有时也被称作“变废为能”，原因是这些技术利用食物和植物残屑等有机材料生产生物气。由于它们是生物工艺（不是热工艺），因此超出了本文范围。

2008年，美国一项为政府机构而做的研究活动 [6] 调查了多种气化和等离子技术，发现这些工艺在以商业规模处理美国城市生活垃圾（MSW）方面的能力尚未得到证明。它还发现相关的固体和液体残留物可能具有危险性，并且这些技术需要对废弃物实施预处理，成本高于常规焚化或填埋。

气化技术拥有 30 多年的运营记录，借此可以检验厂商关于该技术适用于废弃物处理的声明 [7]。遗憾的是，气化厂提供的运营数据几乎为零 [8],[9],[10],[11]。项目支持者们一般利用预测数据或目标数据，但由于多数设施的运营历史很短，并且缺乏持续监测，因此无法对这些目标值实施事后验证，甚至无法计算基本的

质能平衡 [12]。

和气化工艺相比，尝试以相近规模应用热解和等离子工艺的工厂为数较少 [13]。和气化工艺的相似之处在于，可利用的运营数据几乎为零。本文的案例包含了某些工厂的信息。

现有数据的确表明数十个项目由于各种技术和财务原因而宣告失败，下文将做讨论。这些失败案例凸显了以下事实：这类项目普遍无法实现预期的能源产量、收入和排放目标，或者干脆无法维持运营。需要吸取的根本教训就是：废弃物气化的效益低于其支持者们宣称的水平，且更加不确定，而风险则要高得多。

### 附文：《英国在气化和热解工艺领域的公共投资》

在气化和热解工艺的公共投资方面，英国是一个很有趣的样本，因为该国曾出台一系列激励气化、热解和等离子新设施建设的经济措施，但现在已被废除。2006年，英国环境、食品与农村事务部 (DEFRA) 启动了新技术示范项目 (NTDP)，以期“克服在英格兰实施新技术过程中的已知风险，并提供准确公正的技术、环境和经济数据”<sup>[14]</sup>。NTDP 计划对 10 个项目投入 3,200 万英镑<sup>[15], [16]</sup>。相关项目后来接受了评估，结论是在很大程度上未取得成功<sup>[17]</sup>：在 4 个气化和热解项目当中，2 个项目在 NTDP 期间未能投入运营，另一个项目未能运营足够长的时间以对工艺进行研究就被关闭<sup>[18]</sup>，最后一个项目遭遇种种问题，至今仍在重建<sup>[19], [20]</sup>。

英国的气化尝试依赖于高额的垃圾倾倒费和公共补贴，以便维持运营。但是，未来的公共补贴选项似乎比较有限。这些技术被排除在英国的上网电价补贴 (FIT) 项目之外。全国性的可再生能源义务证书 (Renewable Obligation Certificate) 提供了另一个融资机会，但该项目从 2017 年 3 月后不再接受新的发电产能。一项名为“差价合约” (Contract for Difference) 的国家政府新项目近期仍在接受气化项目申请，但在是否包括未来若干年的气化项目方面仍未做出决定。

# 风险和挑战

## 技术风险和运营挑战

数十年试图用气化、热解和等离子弧技术处理城市生活垃圾的尝试已经暴露出这类工艺的潜在副作用，正如这些工厂的高失败率所证明的那样。

在欧洲大陆、英国、加拿大和美国现有的商业规模设施当中，许多设施在维持日常运营和生产足够多的能源以保持营业方面遇到了麻烦 [21]。

下列技术原因对其运营工作构成了妨碍：

- 无法满足污染控制限制（下文的“环境风险”一节做了介绍）；
- 设备腐蚀（比如德国哈姆 - 于特罗普的废弃物气化厂的房顶和钢制烟囱坍塌，参见“环境风险”一节）；
- 在保持合适的反应温度方面遇到问题；
- 能效低下。

气化一直广泛用于煤炭或木屑等单一成分燃料，但即使是这些领域的应用也面临严峻的技术障碍 [22], [23]。德国技术合作公司（GIZ）2010 年的一份生物质能气化报告的结论是“虽然生物质能气化在理论上是一项对农村发展来说值得关注的选项”，但一些严峻挑战仍然有待化解，具体来说：“目前缺乏可靠技术；高昂的技术开发、修理和维护成本导致无利可图；由于存在致癌废弃物，因此环境和人体健康面临严重威胁” [24]。

相比之下，目前未经分类的城市生活垃圾流包含的废弃物类型极多，因此在技术方面和木屑相比，处理和管理都更加复杂。城市生活垃圾流往往包含大量食物残渣、庭院修剪碎枝叶、塑料、金属、纸张、电子产品、家具、家庭危险废弃物等。它们还可能随时间而发生变化，例如在热带气候中，含水量表现出明显的季节性 [25]。

---

如需了解世界各地相关设施的情况，请参阅本报告末尾的气化、热解和等离子弧技术应用重要案例清单。

---

由于气化工作温度超过水的沸点，因此较高的含水量会显著降低工艺能效。废弃物不断变化的成分和含水量对保持稳定运营，尤其是在保持反应容器温度方面（这对于合成气生产至关重要）构成了挑战。

《英国政府变废为能指南》（The UK Government Energy from Waste Guide）中说，合成气需要清洁之后才能在燃气涡轮或发动机中燃烧，并且清洁工艺的能耗很高。这种总体工艺的效率或许还不如常规焚化<sup>[26]</sup>。

实现可靠的能源生产是气化厂面临的共同难题。虽然一些厂商宣称合成气可当做化工原料出售，但实际上，合成气往往含有很多污染物，并且有用成份浓度过低，无法作为商业化产品来出售<sup>[27]</sup>。多数厂商都希望在气化现场焚烧合成气，以便产生能量。即使是这种情况，许多经营者发现：产生的能量也和这套高耗能系统的运行所需的能量相差无几<sup>[28]</sup>。这个问题在发展中国家更加严重，这些国家的废弃物流中有机物（即食物和生物质）含量更高。这导致合成气的热值太低，以至于无法产生能量，表明这些技术不适用于发展中国家的大规模城市生活垃圾管理<sup>[29]</sup>。在发达国家，尽管废弃物流的热值更高，但气化厂依然会遭遇难以实现预期产能目标的挑战（参见本文的“重要案例”一节，其中包括 Scotgen、Thermoselect 和 Plasco 的案例）。

这些问题的解决办法之一是废弃物和化石燃料共烧。在日本，有一部分工厂是把化石燃料添加到废弃

物中用于气化（日立金属<sup>[30]</sup>和 JFE 钢铁株式会社<sup>[31]</sup>的做法是添加焦炭）。另一种办法是添加少量的合成气（最多 10%）和煤炭共烧。这些做法的准确能量平衡数据无法获得。应该注意的是，这种办法更加依赖化石燃料的持续燃烧，增大监管风险（下文有介绍），并且应该会使相关技术无法获得可再生能源补贴。

还有一个办法是对废弃物做预处理，即去除湿有机物和惰性材料，同时保留废弃物流中的高能塑料。但这会使气化技术失去其基本吸引力，即它是一种通用型的废弃物处理技术<sup>[32]</sup>。塑料（它也是化石燃料）的较高浓度会增大焦油的生成量<sup>[33]</sup>，并再次排除了获得可再生能源补贴的可能性。

“变废为能”的主要支持者们承认对废弃物运用气化工艺时的这些缺点。国际固体废弃物协会（ISWA）前主席、瑞典 South Scania Waste 公司（一家常规废弃物焚化企业）首席执行官 Hakan Rylander 在一篇文章中写道：“废弃物并非均质的燃料。迄今为止的事实表明，它们的成分过于复杂，因此无论你对它们做何种预处理，都无法在气化或热解工艺中处理它们。目前的技术绝对不适用于混合型城市生活垃圾。另一个非常负面的因素是能量平衡的结果通常是负的。”<sup>[34]</sup>

有时还无法区分气化和热解项目的技术失败和财务失败：许多工厂在实现稳定运营之前就倒闭了，原因是成本过高（参见下文的“财务风险”）。

### 附文：《常规“变废为能”焚化》

和常规“变废为能”的焚化装置相比，废弃物气化、热解或等离子弧有相似的缺点。成本是一个主要因素，事实表明这些手段是成本最高的废弃物处理备选方法<sup>[35]</sup>。其后果还包括：

- 废弃物重量的 20-30% 沦为炉灰<sup>[36]</sup>。焚化不是为了避免填埋，只是废弃物填埋之前的一个步骤，而且焚烧会让这些废弃物变得更危险；
- 大量排放碳，并且还会排放持久性有机污染物（如二噁英、呋喃）、重金属、颗粒物、纳米颗粒及其他污染物<sup>[37]</sup>；
- 2015 年一份关于中国 160 座现有且在运行的城市生活垃圾焚烧厂的报告表明：40% 的焚烧厂的空气排放数据不完整，只有 8% 的焚烧厂有可供公布的二噁英排放数据。在数据不完整的厂家当中，69% 有违反环保新标准的记录<sup>[38]</sup>。

## 财务风险

许多气化项目之所以失败，是因为财务方面不可行。例如：

- 2016 年取消的两个设在英国提斯谷地区的气化项目，曾让美国公司 Air Products 亏损 9 亿至 10 亿美元<sup>[39]</sup>；
- 德国卡尔斯鲁厄的 Thermoselect 气化厂在 5 年运营期间亏损 5 亿多美元；
- 在英国，Interserve 公司在气化项目

亏损 7,000 万英镑之后退出了“变废为能”领域，其它一些企业则由于试图建设气化工艺或类似工艺而破产，其中包括 Energos、BCB Environmental、Waste2Energy、Biossence、Compact Power 和 New Earth Solutions 集团<sup>[40]、[41]</sup>。

2013 年，美国的一份工业贸易期刊为产能为 15 兆瓦的工厂估算了下列资金成本：

估算成本（美元） <sup>[42]</sup>		
每种热能工艺的资金成本区间	下限	上限
直接焚烧（大批量焚烧和垃圾衍生燃料（RDF））为 7,000 至 10,000 美元 / 千瓦	105,000,000	150,000,000
热解为 8,000 至 11,500 美元 / 千瓦	120,000,000	172,500,000
常规气化为 7,500 至 11,000 美元 / 千瓦	112,500,000	165,000,000
等离子弧气化为 8,000 至 11,500 美元 / 千瓦	120,000,000	120,000,000

总之，成本要高于项目支持者们的预测，而收入则更低更不确定。对欧洲工厂的调研表明：许多工厂由于经济问题而关闭，例如收入过低和原料准备成本过高<sup>[43]</sup>。此外，当工厂的运营状况不符合预期，或是由于修理而关闭时，废弃物处理承包商们还必须承担把废弃物送往别处的额外成本。

与循环利用、堆肥制造和填埋等废弃物管理策略相比，气化工艺的高昂资金成本和高能耗使其在财务方面毫无吸引力。为了收回这些成本，财务模式经常寄希望于垃圾处理费（向垃圾生产者，例如市民，收取的处置费）的收取。这些项目还需要通过合成气来创收。一些技术厂商还宣称炉渣可当作建筑材料出

售，这种做法让在此类建筑居住和工作的人们的健康面临更高风险和潜在危害。

另一个财务挑战就是废弃物预处理成本。送到工厂的废弃物经常不适合气化，原因是它们太湿、热值太低、或者惰性材料含量太高。一些工厂披露自己使用了额外的常规化石燃料，或添加了废弃物分离工艺来制造合适的原料<sup>[44]</sup>。这可能是一项重要的额外运营费用。

最近有人呼吁在更多国家通过上网电价补贴等可再生能源鼓励措施和补贴来提供额外公共资金支持，此内容参见下文的“监管风险”。

## 监管风险

作为一项仍在发展的技术，气化依赖于包括环境排放实时监测在内的强有力监管环境，以确保运营安全与合规。目前只有极少数政府具备合格的能力、技术知识或监管框架来确保气化厂的安全运营，但由于这些技术内在的环境和健康风险，投资者们应该要预见到监管环境未来会不断演变并日益严格。

另一方面，鉴于该行业面临的财务挑战，一些人呼吁提供上网电价补贴等公共补贴<sup>[45]</sup>。上网电价补贴是一项电力生产补贴，已成功地激发了可再生能源的广泛使用，尤其是欧洲的光伏发电。一些上网电价补贴旨在向房主提供普遍补贴以鼓励他们改用太阳能板。与此不同的是，气化上网电价补贴只惠及少数商业化经营者，其受欢迎程度无法和光伏发电上网电价补贴相比。可再生能源方案的提倡者们和其他人共同呼吁：诸如上网电价补贴之类的可再生能源政策不应涵盖包括气化在内的“变废为能”技术。这将使得经营者的资产负债表极其脆弱，经不起任何政策变化。

更大的问题是，尽管厂商经常鼓吹合成气是“绿色”或“可再生”能源，但以塑料（主要源自化石燃料）为原料生产的合成气和其它不可再生能源本质上都是化石燃料。例如，只接受塑料作为燃料的气化焚化装置所产生的完全是化石燃料衍生的合成气和电力。从科学角度来看，这些产物不是可再生燃料，实际上，即使是源自废弃物的生物质能部分的合成气也未必是气候中性的。

废弃物气化工艺如此低的碳绩效对电网低碳化尝试直接产生了不利影响。结果，把气化长期包括在可再生能源方案中的做法在面对监管纠正时显得格外脆弱。这方面的一个实例就是欧盟最近的一项举措，其目的是阻止废弃物焚化获得可再生能源补贴，并要求实施有机物强制分离<sup>[46]</sup>。

监管方面的另外一项风险是一些厂商通过将技术描述为非燃烧技术而给监管带来困扰。气化初始高温处理阶段产生的合成气几乎总是要在现场或作为燃料焚烧的，使得这些工艺不应被列入任何有关“非焚烧”技术的监管范围。

而且，多数国家都是《斯德哥尔摩公约》<sup>[47]</sup>的签署国，因此有义务减少乃至杜绝排放无意产生的持久性有机污染物，比如由常规废弃物焚化、废弃物气化、热解和等离子弧产生的这类污染物。

“许多经营者发现：产生的能量和这套高耗能系统的运行所需的能量相差无几。”

## 环境风险

虽然气化在学术研究和厂商文件中被描述为比常规“变废为能”焚化更“清洁”的焚烧方式，但相关数据并不支持这种说法。尽管运营设施很少披露全面排放数据，但监管机关和媒体报道都描述了多处设施严重且反复的违规排放事件（参见本文的“重要案例”部分）。

只要气化被用于包括含氯材料和重金属在内的混合废弃物流或塑料废弃物流，那么它就会导致和常规焚化相似的排放情况。排放物可能包含氮氧化物、硫氧化物、碳氢化合物、一氧化碳、颗粒物、重金属、二氧化碳等温室气体，以及二噁英/呋喃<sup>[48]</sup>。

混合塑料包含的化学物质会在此类系统中产生危险排放物。聚氯乙烯（PVC）是一种常见的含氯塑料，受热或燃烧时会导致二噁英的形成。制造企业引入包括铅、砷、铬和邻苯二甲酸酯在内的添加剂，来改善 PVC 的延展性、强度和刚性。这些添加剂及其焚烧副产品给气化或任何混合塑料的热处理都带来了排放难题。

合成气燃烧需要采取重要的空气污染控制措施，这尤其是因为合成气带有颗粒物、焦油、碱金属、氯化物和硫化物等污染物<sup>[49]</sup>。其中的一些污染物必须在合成气燃烧之前被清除，以避免内燃机遭受严重损坏<sup>[50]</sup>。另一些污染物则必须从燃烧后的废气中滤除。这就需要两阶段污染控制，而每个阶段又都产生了各自的废弃物：有毒废水和飞灰。即使是现代化的污染控制技术有时也无法避免严重的污染物排放和设备损坏。德国哈姆-于特罗普（Hamm-Uentrop）一座废弃物气化厂的房顶和钢制烟囱坍塌就是有力证明。这次事故损毁了气化厂，而坍塌的原因则是酸性烟气的腐蚀<sup>[51]</sup>。

残余产物的处置也有争议。飞灰、废水和炉渣在某种程度上都沾染了包括二噁英、汞和其他重金属在内的多种有毒污染物。此外，对于德国 Thermoselect 工厂这种大规模但短命的设施来说，水消耗和污染也是大问题<sup>[52]</sup>。

## 声誉风险

作为一种运行记录时断时续的工艺，气化已经在公众心目中留下了坏名声，气化企业面临着当地反对的风险，其中包括诉讼、抗议和长期反对活动，这在拟建“变废为能”设施的地方很常见。部分原因是有关方面在较早时候试图大力吹捧这种技术，比如咨询公司 Juniper 在 1997 年的一份报告中预测，到 2007 年，气化将覆盖欧洲市场的 20%；一些不道德的厂商要么许诺其工厂不会有高大烟囱，要么许诺“零排放”。

气化面临的声誉风险在某种程度上是由几家商业化工厂的失败所致。那些已不存在的工厂，比如 Air Products 公司设在英国提斯谷地区的大规模气化项

目、Plasco 公司设在加拿大渥太华的等离子气化厂，以及苏格兰 Dargavel 的 Scotgen 公司，都曾被地区和国际媒体报道。

此外，由于所在城市和社区的失业问题，变废为能工厂经常面临抵制。这类工厂经常会使循环利用从业者失业，并且创造的工作岗位明显少于那些依靠源头分类以及集中循环和堆肥的项目。这可能会使气化和类似项目在当地不受欢迎，给它们的建设工作带来更多挑战。

和这种坏名声形成鲜明对比的，是物料回收和循环经济体系（包括循环利用），公众对它的看法往往非常积极<sup>[53]</sup>、<sup>[54]</sup>。

## 备选方法

混合型废弃物流的传统管理方法——填埋和常规焚化——已经失宠，而能够取代它们的单一技术则尚未浮现。许多城市正通过成功运用源头分类及后续的集中回收和堆肥，以及其它一些创新的方法来减少过多的塑料和另外一些问题物料，并为再设计创造条件。这种综合的方法被称作“零废弃”。

零废弃项目案例研究表明：这类项目在技术和财务方面取得了成功，其中包括解决了最多可达 90% 的原本要被送往焚烧厂和填埋场的垃圾问题、为城市节省资金、提高当地就业率 [56], [56], [57]。零废弃物带来的机会不仅包括慈善机构的参与，还包括建立循环贷款基金或融资机制，来支持这类城市自我维持项目。

## 结论

通过审视现有的生活垃圾处理工艺的商业化尝试，我们会发现：和技术支持者宣称的水平相比，废弃物气化的益处显然更小并且更加不确定，而风险却高得多。

即使相关企业试图强化气化技术的技术功能，气化和其它“变废为能”技术仍面临来自城市循环利用和堆肥制造项目的竞争，这类项目在全球各地日益受

到欢迎。越来越多的城市正在转向零废弃体系，而这一切将使“变废为能”技术成为过去式。

和“变废为能”损害环境和健康的名声截然相反的是，零废弃体系得到了地方政府和公民社会的广泛支持。这些项目之所以赢得支持，还因为它们为城市节省资金，创造了本地循环利用、堆肥制造和重复使用领域的工作岗位，并提供了投资机会。

# 城市生活垃圾气化、热解和等离子技术重要实例一览

## Air Products 公司在英国提斯谷地区（Tees Valley）的 Teesside 项目

2014 年，名列《财富》500 强的 Air Products 公司和英国政府签约，利用废弃物气化技术为政府供电，并建议在英国提斯谷设厂。两年后，该公司放弃了这项技术，原因是设计和运营遭遇挑战。废弃物产业贸易媒体发文称：“……在未来若干年，提斯谷或许会由于‘代价最高昂的废弃物基础设施错误之一’而被人们记住。”<sup>[58]</sup>就在 Air Products 公司取消该

项目之前不久，公司首席执行官表示：“事实证明，这项技术的难度比人们的最初预想高得多，我不得不说的是，自从我们上次和大家沟通以来，我们没能取得明显进展。”<sup>[59]</sup>据 Air Products 公司透露，它在“变废为能”业务相关资产方面花费了 9 亿至 10 亿美元<sup>[60]</sup>。

## 苏格兰达尔嘉维（Dargavel）的 Scotgen 公司（Ascot Environmental 的子公司）

2009 至 2012 年期间，Scotgen 公司经营了一家城市生活垃圾气化厂，遭遇了本文所述的各种风险。2012 年，苏格兰环保署撤销了该厂的营业执照，导致该厂永久关闭。

苏格兰环保署给出了撤销气化厂营业执照的一系列理由：

- 长期不符合营业执照的要求；
- 未能遵守执法通知；
- 无法维持经济来源和符合营业执照要求的资源；
- 未能高效回收能量。<sup>[61]</sup>

该项执法行动的起因是过量排放和工厂火灾，被当地媒体频繁曝光，引起了国际关注。<sup>[62]</sup>

## 加拿大渥太华的 Plasco 公司

2008 至 2011 年，Plasco 公司在加拿大渥太华附近经营一个等离子气化示范项目。公司获得了索罗斯基金管理公司等投资<sup>[63]</sup>。那些年，该工厂在线提供的运营信息数量非同寻常，包括排放量、接收吨数、处理吨数。披露的一些排放问题包括二氧化硫高排放量和其它过量排放情况<sup>[64]</sup>、<sup>[65]</sup>。在那三年里，运营问题如此普遍，以至于工厂处理废弃物的天数仅占总天数的 25%，并且那些天的日均处理量仅为 23 吨<sup>[66]</sup>。这约为 Plasco 公司预计处理能力（85 吨/天）的 27%（译者注：原文的 7% 有误）。2005 至 2015 年期间，Plasco 公司获得了 3.90 亿美元的权益资本。<sup>[67]</sup>

在加利福尼亚州，Plasco 公司试图在拉丁裔为主的冈萨雷斯（Gonzales）社区建设一个等离子气化焚烧厂。由于社区强烈反对，因此该项目未能获得所需的营业执照，并且由于未能获得州政府可再生能源补贴，项目提案也被搁置。

2012 年，Plasco 公司与渥太华市签订了一份为期 20 年的 1.80 亿美元的合同，为一个 300 吨/天处理能力的城市废弃物等离子气化新项目融资<sup>[68]</sup>、<sup>[69]</sup>。该公司在两年内多次超过融资期限<sup>[70]</sup>。2015 年，渥太华市终止了合同，而 Plasco 公司则申请了信用保护<sup>[71]</sup>、<sup>[72]</sup>。

## 美国威斯康星州绿湾的 Oneida Seven Generations 公司

2011 年，威斯康星州绿湾市议会为 Oneida Seven Generation 公司（OSGC）在该市的废弃物气化项目颁发了营业执照 [73]。活动人士梳理了州监管档案，发现有关键证据未被披露给市议会，这些证据是关于潜在的环境危害和 60 英尺高的烟囱（超过了该市的 35 英尺限制）。市议会最终撤销了营业执照 [74]，理由是该公司未能在口头声明和图纸（省略了烟囱）

中充分披露这些信息。OSGC 就撤销一事提起诉讼，威斯康星州最高法院推翻了初审法院做出的有利于绿湾市的简易判决裁定。此事被发回初审法院，继续原始诉讼，但 OSGC 未能继续诉讼，从而使此事适用于威斯康星州一项关于不受理陈旧诉讼的法律，并使被告收到了基于诉讼案情做出的裁定 [75]。

## 英国的 New Earth Solutions 公司

New Earth Solutions 公司涉及英国 6 个失败或废弃的气化项目 [76]。该公司在 2015 年 7 月告诉股东：“……业绩始终明显低于目标水平。3 月沟通过的工厂项目尽管仍在开展，但已证明未取得成功。运营、人力、保养和修理成本始终远高于最初的计划。” 2016

年，该公司披露自己将无法偿还 900 万英镑的债务。地方政府的财务状况也收到了影响：New Earth Solutions 公司一个项目的失败就将导致苏格兰边区议会至少损失 240 万英镑 [77]。

## Yorwaste Scarborough Power 公司

### 在英国辛莫尔·卡尔（Seamer Carr）地区的 GEM 闪速热解项目

Yorwaste 公司曾试图从英国新技术示范项目为 Yorwaste Scarborough Power 的 GEM 闪速热解厂争取资金。在项目的正式评估报告中，利兹大学认为该厂“不断遭遇调试问题，且无法实现持续而完整的运行周期；这种情况下，想要确定能够指导有意义

的研究的技术参数都非常困难。”该报告进一步声明：“在短期试运行期间，不存在数据收集工作所需的稳定持续运营期，而这些数据对运行状况进行可靠评估不可或缺。” [78]

## 英国苏格兰高地议会区的 Caithness Heat and Power 公司

2004 年，Caithness Heat and Power 公司在苏格兰维克（Wick）启动了新的生物质能气化项目，计划为 200 户当地家庭供热。该项目 2008 年投入运营，但在遭遇技术和财务问题之后，于 2009 年关闭，导致高地议会损失了 1,150 万英镑 [79]。一份专家报

告的结论是该项目无法成功运营，而一份政府审计报告则称该项目是一个“沉重的教训”，并且“该公司获得的是无法成功运行的“试验性的”高风险气化技术……” [80], [81]

## 英国的 Compact Power 公司

Compact Power 公司的气化及类似设施建设计划遭到媒体频繁曝光，并且由于导致投资者损失 2,000 万英镑而接受行政管理 [82]。Compact Power 公司当

时面临运营和燃料方面的挑战：2005 年的一份现场调查报告表明运营成本太高，而热值太低以至于让气化厂发电根本不可行 [83]。

## 德国卡尔斯鲁厄的 Thermoselect 工厂

气化技术不可靠性的最佳证明，就是欧洲旗舰气化设施——德国卡尔斯鲁厄的 Thermoselect 工厂——在经历问题重重的运营之后遭到关闭。运营问题包括：某些年份的电力产量过低或干脆为零，设备腐蚀，水污染，水消耗，以及二噁英<sup>[84]</sup>、氮氧化物、颗粒物和氯化氢排放量超标<sup>[85]</sup>。地区政府发现：气化室的墙壁破损严重，有碎片掉落，还好那个时候没有造成爆炸<sup>[86]</sup>。该厂经常由于这些问题而关停，并且

在 5 年运营期间，处理的废弃物数量仅占合同约定数量的 20%。这导致了它在履行与地方政府签订的城市废弃物管理合同过程中的额外成本。事实证明该厂的能源生产是一个难题。2002 年，该厂使用 1,700 万立方米天然气来加热废弃物，却未将任何电力或热力输送回热电网<sup>[87]</sup>。最终，卡尔斯鲁厄工厂的母公司 Energie Baden-Württemberg 公司在亏损 4 亿欧元（2004 年约合 5 亿美元）后关闭了该厂<sup>[88], [89], [90]</sup>。

## Brightstar 设在澳大利亚卧龙岗的固体废弃物和能源循环利用厂（SWERF）

2001 年，气化技术的支持者 Brightstar Environmental 公司和 Energy Development 有限责任公司（EDL）在新南威尔士州卧龙岗市设立了澳大利亚唯一一座处理城市废弃物的气化厂。卧龙岗 SWERF 在 3 年测试期间饱受运营问题和排放违规的困扰。排放违规<sup>[91]</sup>包括砷和硫氧化物严重超标，一氧化碳排放量超过德国限值（50 毫克/米<sup>3</sup>）的 13 倍。该气化厂还排放了大量二噁英、氯化氢、氟化氢、多环芳烃、六氯苯和重金属。SWERF 的母公司 EDL

在 2003 年年中撤回了项目资金，然后在 2004 年突然关闭了该工厂<sup>[92]</sup>。Brightstar Environmental 公司还曾洽谈在印度、英国、美国和澳大利亚其它城市建设废弃物气化厂的合同。这些合同在卧龙岗 SWERF 项目失败后被取消，并且 Brightstar Environmental 公司如今已不再运营。到了 Energy Developments 有限公司决定关闭 SWERF 时，它已在该厂亏损了至少 1.75 亿澳元（1.34 亿美元）<sup>[93]</sup>。

## 参考文献

- [1] Arena, U. (2012). Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review. *Waste Management*, 32(4), 625–639.
- [2] Arena, U. (2012). *ibid.*
- [3] See Notable Cases section of this paper.
- [4] DEFRA (2014). *Energy from Waste Guide*. [www.gov.uk/defra](http://www.gov.uk/defra)
- [5] Gleis, M. (2012). Gasification and Pyrolysis – Reliable Options for Waste Treatment? *Waste Management*, Volume 3 (Vivis), 403–410.
- [6] Foth Infrastructure & Environment, LLC (2008) Updated Research Study Gasification, Plasma Ethanol and Anaerobic Digestion Waste Processing Technologies. Prepared for Ramsey/ Washington County Resource Recovery Project. p. viii
- [7] Some lists of such facilities may give the impression that more facilities are in operation than the reality. Lists do not always distinguish between facilities that accept municipal wastes, other waste streams like tires and auto shredder materials, facilities that combine various fossil fuels with different waste streams, or ash vitrification facilities, nor facilities that have been shut down.
- [8] Consonni, S., & Viganò, F. (2012). Waste gasification vs. conventional Waste-To-Energy: A comparative evaluation of two commercial technologies. *Waste Management*, 32(4), 653–666.
- [9] Dimpl, E. (2010). Small-scale Electricity Generation from Biomass: Experience with Small-scale Technologies for Basic Energy Supply. GTZ-HERA.
- [10] UKWIN (2016). Gasification Failures in the UK: Bankruptcies and Abandonment. <http://ukwin.org.uk/resources/>
- [11] Gleis, M. (2012). Gasification and Pyrolysis – Reliable Options for Waste Treatment? *Waste Management*, Volume 3 (Vivis), 403–410.
- [12] Gleis, *ibid.*
- [13] Gleis, *ibid.*
- [14] LetsRecycle.com, Defra opens second round of 30m new technologies fund, September 1, 2004. [www.letsrecycle.com/news/latest-news/defra-opens-second-round-of-30m-new-technologies-fund/](http://www.letsrecycle.com/news/latest-news/defra-opens-second-round-of-30m-new-technologies-fund/)
- [15] LetsRecycle.com, *ibid.*
- [16] W Powrie (2010), The New Technologies Demonstrator Programme: Summary and Key Findings, <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20140305123955/http://archive.defra.gov.uk/environment/waste/residual/newtech/demo/documents/TAC-Summary.pdf>
- [17] Government pages on these projects are archived at <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20140305123955/http://archive.defra.gov.uk/environment/waste/residual/newtech/demo/factsheets.htm>
- [18] See Yorwaste example facility case.
- [19] See Energos example facility case in this paper.
- [20] W Powrie (2010), The New Technologies Demonstrator Programme: Summary and Key Findings (DEFRA). <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20140305123955/http://archive.defra.gov.uk/environment/waste/residual/newtech/demo/documents/TAC-Summary.pdf>
- [21] Gleis, M. (2012). Gasification and Pyrolysis – Reliable Options for Waste Treatment? *Waste Management*, Volume 3 (Vivis), 403–410.
- [22] Consonni, S., & Viganò, F. (2012). Waste gasification vs. conventional Waste-To-Energy: A comparative evaluation of two commercial technologies. *Waste Management*, 32(4), 653–666.
- [23] Peake, Libby. (2016). Advanced Conversion Technologies: A Heated Debate. Resource. <http://resource.co/article/advanced-conversion-technologies-heated-debate-11503>
- [24] GTZ, Small-scale Electricity Generation from Biomass: Part I: Biomass Gasification, 2010.
- [25] Personal communication with Pune (India) Municipal Corporation Waste Management.
- [26] DEFRA, *Energy from Waste Guide*, February 2014, [www.gov.uk/defra](http://www.gov.uk/defra)
- [27] Consonni, S., & Viganò, F. (2012). Waste gasification vs. conventional Waste-To-Energy: A comparative evaluation of two commercial technologies. *Waste Management*, 32(4), 653–666.
- [28] See Notable Cases section of this paper.

- [29] Dalai, A. K., Batta, N., Eswaramoorthi, I., & Schoenau, G. J. (2009). Gasification of refuse derived fuel in a fixed bed reactor for syngas production. *Waste Management*, 29(1), 252–258.
- [30] Greenaction for Health and Environmental Justice, “Toxic Scandal and Toxic Threat: The Plasma–Arc Garbage Incinerator in Disguise Proposed for Sacramento,” August 2008. [greenaction.org](http://greenaction.org)
- [31] JFE website, <http://www.jfe-eng.co.jp/en/products/link/t06.html>
- [32] Consonni, S., Giugliano, M., & Grosso, M. (2005). Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste: Part B: Emission and cost estimates. *Waste Management*, 25(2), 137–148.
- [33] Kaminska–Pietrzak, N, Smolinski, A (2013). Selected Environmental Aspects of Gasification and Co–Gasification of Various Types of Waste. *Journal of Sustainable Mining*, 12 (4), 6–13.
- [34] <http://mavropoulos.blogspot.com.au/2012/04/lets-speak-about-waste-to-energy.html>
- [35] U.S. Energy Information Administration (2013). Updated Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants.
- [36] Zero Waste Europe (2015). Zero Waste to Landfill and/ or Landfill Bans: False Paths to a Circular Economy.
- [37] Thompson, J, Anthony, H (2008). The Health Effects of Waste Incinerators: 4th Report of the British Society for Ecological Medicine.
- [38] Hong'e, Mo (May 28, 2015). “121 waste incinerators refuse to disclose data on fly ash.” [Ecns.com](http://Ecns.com).
- [39] Messenger, Ben (April 5, 2016). Air Products to Ditch Plasma Gasification Waste to Energy Plants in Teesside, *Waste Management World*.
- [40] Perchard, Edward (July 13, 2016). Another Setback for Gasification Sector as Incineration Specialist Enters Administration. [Resource.co](http://Resource.co).
- [41] UKWIN (2016). Gasification Failures in the UK: Bankruptcies and Abandonment. <http://ukwin.org.uk/resources/>
- [42] Stringfellow, Thomas (1/ 13/ 2014). An Independent Engineering Evaluation of Waste–to–Energy Technologies, *Renewable Energy World*.
- [43] Gleis, M. (2012). Gasification and Pyrolysis – Reliable Options for Waste Treatment? *Waste Management*, Volume 3 (Vivis), 403–410.
- [44] Gleis, M. (2012). *ibid*.
- [45] [worldwastetoenergy.com/wp-content/uploads/2016/05/Lukas-Hutagalung.pdf](http://worldwastetoenergy.com/wp-content/uploads/2016/05/Lukas-Hutagalung.pdf) ; [enterprise.press/stories/2016/07/17/government-to-look-for-waste-to-energy-feed-in-tariff-projects/](http://enterprise.press/stories/2016/07/17/government-to-look-for-waste-to-energy-feed-in-tariff-projects/)
- [46] [ec.europa.eu/environment/waste/waste-to-energy.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/waste-to-energy.pdf)
- [47] <http://chm.pops.int/Countries/StatusofRatifications/PartiesandSignatoires/tabid/4500/Default.aspx>
- [48] Kaminska–Pietrzak, N, Smolinski, A (2013). Selected Environmental Aspects of Gasification and Co–Gasification of Various Types of Waste. *Journal of Sustainable Mining*, 12 (4), 6–13. Foth Infrastructure & Environment, LLC (2008) Updated Research Study Gasification, Plasma Ethanol and Anaerobic Digestion Waste Processing Technologies. Prepared for Ramsey/ Washington County Resource Recovery Project. p. viii
- [49] Arena, U. (2012). Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review. *Waste Management*, 32(4), 625–639.
- [50] Consonni, S., & Viganò, F. (2012). Waste gasification vs. conventional Waste–To–Energy: A comparative evaluation of two commercial technologies. *Waste Management*, 32(4), 653–666.
- [51] Gleis, M. (2012). Gasification and Pyrolysis – Reliable Options for Waste Treatment? *Waste Management*, Volume 3 (Vivis), 403–410.
- [52] See Thermoselect case in Notable Cases section of this paper.
- [53] Anderson, M. (2016). For Earth Day, here’s how Americans view environmental issues. Pew Research Center.
- [54] Recycling Today. (2015). ISRI, Earth911 poll reveals support for separating recyclables from trash.
- [55] GAIA (2012). Zero Waste Case Studies. Accessed Feb 3, 2017 at <http://www.no-burn.org/zero-waste/>.
- [56] Mother Earth Foundation. MEF @ 15: On the Road to Zero Waste. Accessed Feb 3, 2017 at <http://www.motherearthphil.org/p/mefat15.html>
- [57] Zero Waste Europe (2017). Zero Waste Case Studies. Accessed Feb 3, 2017 at <https://www.zerowasteurope.eu/zw-library/case-studies/>
- [58] Goulding, Tom. (2016). Air Products – what happens now?. [LetsRecycle.com](http://LetsRecycle.com)
- [59] Air Products and Chemicals, Inc. (2016). Air Products and Chemicals? (APD) CEO Seifi Ghasemi On Q1 2016 Results – Earnings Call Transcript. Seeking Alpha.
- [60] Air Products and Chemicals, Inc. (2016). Air Products Will Exit Energy–from–Waste Business.
- [61] Blake, A. (2013). Scotgen permit revoked after series of breaches. [Resource](http://Resource).
- [62] Zero Waste Europe (2015). "Air Pollution from Waste Disposal: Not for Public Breath," 22–23. <https://www.zerowasteurope.eu/zw-library/reports/>

- [63] Business Wire (2011). Plasco Completes C\$140 Million Equity Financing Led by Funds Managed by Soros Fund Management.
- [64] Plasco (March 2009). Monthly Engineer's Report, Plasco Trail Road, Gasification Process Demonstration Project. Decommissioning Consulting Services Limited.
- [65] Chianello, Joanne and Matthew Pearson (February 10, 2015). Ottawa severs ties with Plasco as company files for creditor protection. Ottawa Citizen.
- [66] Plasco project documents downloaded 2012 from Plasco corporate website [www.zerowasteottawa.com](http://www.zerowasteottawa.com) (website no longer in operation, documents can be found at <https://archive.org/web/>)
- [67] Susan Sherring (Feb 10, 2015). Deal with waste to energy pioneer Plasco was risky business. Ottawa Sun. Waste Gasification and Pyrolysis Technology Risk Assessment 16
- [68] CBC News. (Feb 11, 2015). Plasco obtains creditor protection, 80 jobs terminated.
- [69] CBC News. (January 5, 2015). Ottawa searches for new waste company after Plasco misses deadline.
- [70] Chianello, Joanne and Matthew Pearson (February 10, 2015). Ottawa severs ties with Plasco as company files for creditor protection. Ottawa Citizen.
- [71] *ibid.*
- [72] CBC News. (Feb 11, 2015). Plasco obtains creditor protection, 80 jobs terminated.
- [73] Supreme Court of Wisconsin. (May 29, 2015). Review of a Decision of the Court of Appeals.
- [74] Supreme Court of Wisconsin. *ibid.*
- [75] Personal communication with John Filcher, Green Bay resident and public health advocate (February 2017).
- [76] UKWIN (2016). GASIFICATION FAILURES IN THE UK: Bankruptcies and Abandonment. <http://ukwin.org.uk/resources/>
- [77] UKWIN (2016). GASIFICATION FAILURES IN THE UK: Bankruptcies and Abandonment. <http://ukwin.org.uk/resources/>
- [78] Williams, PT and JR Barton. (2010). New Technologies Demonstrator Programme – Research, Monitoring and Evaluation Project Report. University of Leeds.
- [79] BBC. (January 9, 2014) Caithness Heat and Power 'an expensive lesson.'  
<http://www.bbc.com/news/uk-scotland-highlands-islands-25650461>
- [80] Garder, C. (2010). A Report by the Controller of Audit to the Accounts Commission Under Section 102(1) of the Local Government (Scotland) Act 1973. The Highland Council.
- [81] Audit Scotland. (2014). The Highland Council: Caithness Heat and Power. Accounts Commission.
- [82] Insider Media Limited. (2011). Compact Power Holdings enters liquidation.
- [83] IDeA Knowledge (2005). Materials Research Management Contract.
- [84] District Administration of Karlsruhe (Regierungspräsidium Karlsruhe) (5 Nov. 1999). Press release.
- [85] Baldas, Bernhard (28 Aug. 2001). "Magic Gone from Miracle Garbage Weapon [Entzauberte Müllwunderwaffe]." Die Tageszeitung [Germany].
- [86] Fränkische Landeszeitung (29 Jan. 2003). "Natural Gas Use Should Be Halved This Year [Erdgas-Verbrauch soll dieses Jahr halbiert werden]."
- [87] Fränkische Landeszeitung. *ibid.*
- [88] Süddeutsche Zeitung [Munich, Germany] (5 Mar. 2004). "The End for Thermostelect [Aus für Thermostelect]."
- [89] Frankfurter Allgemeine Zeitung [Frankfurt, Germany] (3 Mar. 2004). "No Future for Thermostelect [Keine Zukunft für Thermostelect]."
- [90] Further details found in: GAIA & Greenaction for Health and Environmental Justice (2006). Incinerators in Disguise: Case Studies of Gasification, Pyrolysis, and Plasma in Europe, Asia, and the United States.
- [91] Brightstar Environmental. "Emissions Data from Solid Waste and Energy Recycling Facility (SWERF)," 1–2 Mar. 2001.
- [92] Energy Developments Limited (21 July 2003). "ENE to cease SWERF development expenditure and focus on traditional energy business." (Press release).
- [93] Rod Myer (July 23, 2003). DL Prepared to Give Up on Recycling Project. The Age [Australia].