

本文发表于《云南师范大学学报》2010年第六期，pp45-55. 发表版本略有差误：1, 第 50 页（此版本第 7 页）中引文使用了正文普通字体，未能变成楷体，也未打引号；2, 发表版中注释 [20]非本文所有，疑为误植。这里是校正后的版本。发表时的英文摘要为编辑所加，特此致谢。此文本所附英文摘要发表在发表版本的基础上做了适当的校正。

此文发表于“人地关系研究”专栏。作为本期栏目主持人，我还约请了另外一篇关于垃圾问题的文章：北京师范大学历史系博士候选人毛达之《海洋垃圾污染及其治理的历史演变》。主持人的话附在本文后面。

另外，《云南师大学报》还将于明年再发一组关于垃圾问题的文章。

# 工业文明的痼疾——垃圾问题的热力学阐释及其推论

田松<sup>1</sup>

（北京师范大学哲学与社会学学院，北京，100875）

**【内容提要】**垃圾问题以往被认为是枝节问题、技术问题、管理问题，一直没有得到足够的重视。本文从热力学出发对垃圾问题进行分析。一个人，一个社区，一个城市，都可以看作是类似热机的物理系统。这种有序的具有某种功能的物理系统持续运行的前提是，从外界输入低熵状态的能量和物质，并向外界输出高熵状态的能量和物质。后者就是这个物理系统的垃圾。根据热力学第二定律，垃圾是系统必然的产物。因而在工业文明的社会结构下，在地球有限的约束下，技术进步不能解决垃圾问题，反而会使垃圾问题更加严重。垃圾问题将会超过能源问题，成为未来人类社会最严重的问题。人类解决垃圾问题的唯一出路在于，走出工业文明，寻找一个新的文明模式——生态文明。

**【关键词】**垃圾，热力学第二定律，工业文明，生态文明

在主流意识形态和大众话语中，垃圾问题一向被视为是枝节问题、技术问题、管理问题。如果某个地方出现了垃圾问题，人们首先会觉得是管理者失职。有一个比较普遍的乐观的说法，叫做“垃圾是放错了地方的资源”。即相信垃圾问题是工业社会的副产品，可以随着技术的进步得到解决，乃至至于变废为宝。

2009 年可以算作中国的垃圾年。在这一年里，中国的垃圾问题全面爆发，垃圾围城、垃圾处理场超负荷运转、垃圾填埋场提前退役、垃圾填埋场的空气和地下水污染、垃圾焚烧场选址纠纷等各种与垃圾相关的事件在全国范围内此起彼伏。单是围绕垃圾焚烧厂，就有北京六里屯和阿苏卫、上海江桥、南京天井洼、广州番禺和李坑的群众性事件<sup>2</sup>。如果把与液态垃圾和气态垃圾相关的事件考虑进来，则事态更加严重。

本文将从以热力学为基础，讨论人类社会与垃圾的关系；讨论工业文明的社会结构下，垃圾问题的必然性。

<sup>1</sup> 田松（1965-），哲学博士，理学（科学史）博士，北京师范大学哲学与社会学学院副教授，研究方向为科学哲学、科学思想史、科学人类学、科学传播等。

<sup>2</sup> 参考了北京师范大学历史学院博士候选人毛达的归纳，特此致谢。

## 一，垃圾的界定

中文“垃圾”一词最迟到宋代已经成为日常话语，其含义和用法与今无二。《新华字典》“垃圾”词条的释义为：“废弃无用或肮脏破烂之物”。其中，“废弃”是关键。废弃不等于无用，无用也不一定被废弃。“废弃”这个词里，隐含着人的主观色彩。“废弃的”就是“不想要的”。“垃圾”这个词的特殊性在于，它不具体指向任何东西，但是任何东西都可能成为垃圾。一个土豆，放在菜板上，不是垃圾；扔到厨房的垃圾桶里，马上就变成了垃圾；一个无用的手机，一直在抽屉里放着，不是垃圾；扔到客厅的垃圾桶里，马上就变成了垃圾。因此，可以对垃圾做一个非常简单的操作定义：所谓垃圾，就是被扔到垃圾桶的东西，被排除到系统之外的东西<sup>3</sup>。

当然，“废弃”与“无用”又存在关联。就我们将要讨论的物理系统而言，被废弃的，是不能或者难以被这个系统所利用的。“废弃”，是指被我们界定的系统所废弃。在自然界中，一种系统废弃的物质（如粪便），可能会被另一个系统所需要。对于我们所讨论的问题而言，“垃圾”是被人类社会所“废弃”的东西。

## 二，热机与热力学第二定律

热力学是第一个直接从对技术的研究中产生的自然科学分支。它最初的研究对象是蒸汽机（热机）。蒸汽机是工业革命的首要动力，但蒸汽机的效率非常之低，只有百分之几。提高蒸汽机的效率是当时工程师所关注的重要课题。1824年，法国工程师卡诺（Sadi Carnot, 1796—1832年）以热质说为基础，通过对热机效率的研究，给出了后来热力学的几乎全部基本定律。

热力学虽然从研究热机出发，结论却是普适性的。无论什么样的物质系统，都要遵从热力学的基本规律。爱因斯坦对热力学钦佩有加，他说：“一个理论，如果它的前提越简单，而且能说明的各种类型的问题越多，适用的范围越广，那么它给人的印象就越深刻。因此，经典热力学给我留下深刻的印象。经典热力学是具有普遍内容的唯一的物理理论，我深信，在其基本概念适用的范围内是绝不会被推翻的。”<sup>1</sup>

热力学有两个重要的基本定律，第一个定律是人所熟知的能量守恒定律，这个定律虽然不是完全从热力学中产生出来的，但被归到热力学名下。在爱因斯坦的狭义相对论（1905年）诞生之后，由于著名的质能转换关系  $E=mc^2$ ，这个定律在理论上与另一个古老的化学定律——物质不灭定律就合并成了一个，可以叫做物质与能量转化与守恒定律。物质不灭，能量守恒。这个定律说，物质和能量既不能凭空创生，也不能凭空消失，只能从一种形态转化成另一种形态，并在转化的过程中，保持总量不变。这个定律无需过多阐释。

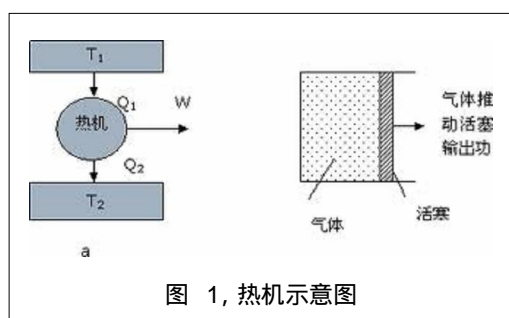


图 1，热机示意图

相对而言，热力学第二定律不大容易理解。

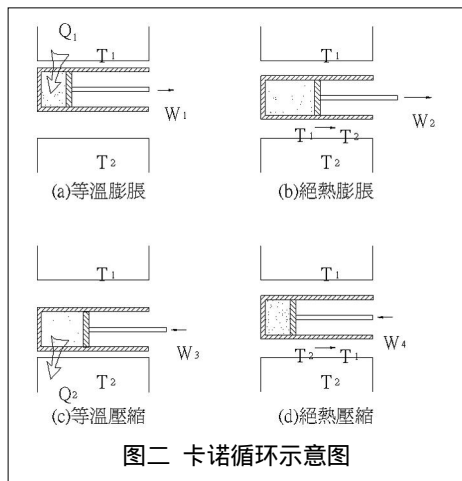
为了研究热机的效率问题，卡诺设想了一种理想的热机（后人称其为卡诺机），它以理想气体为工作物质，在两个热源之间，通过卡诺循环，对外做功。<sup>2</sup>

图一左， $T_1$  代表高温热源， $T_2$  代表低温热源。热机在两个热源之间工作；图一右是热机的示意图。图 2 是卡诺循环的示意图。卡诺循环

<sup>3</sup> 关于这个定义，我将在另外一篇关于垃圾的现象学分析中，另加讨论。

大致如下：

1，等温膨胀：热机先接触高温热源  $T_1$ ，吸收热量  $Q_1$ ，工作气体达到温度  $T_1$ ，等温膨胀，推动活塞对外做功  $W_1$ ；



2，绝热膨胀：热机离开高温热源，在绝热状态下膨胀，对外做功  $W_2$ ，热机工作物质的温度降到  $T_2$ 。

3，等温压缩：热机接触低温热源  $T_2$ ，向低温热源释放热量  $Q_2$ ，外界对活塞做功  $W_3$ 。

4，绝热压缩：热机离开低温热源，在绝热状态下，外界对活塞做功  $W_4$ ，压缩工作气体，使之升温至  $T_1$ ，活塞回到原来位置。

在这个循环中，热机对外界所做净功为  $W=W_1+W_2-W_3-W_4$ 。由于能量守恒，热机对外所做的功等于它从高温热源获取的热量  $Q_1$ ，减去它传递给低温热源的热量  $Q_2$ ，即  $W=Q_1-Q_2$ 。热机的效率

$$=W/Q_1=1-Q_2/Q_1。$$

卡诺证明，卡诺热机的效率  $=1-Q_2/Q_1=1-T_2/T_1$ ，只与两个热源的温度有关，与热机工作物质的属性没有关系。因而提高热机效率的关键在于提高  $T_1$ ，或者减少  $T_2$ 。

卡诺循环是一种理想的状态，如果卡诺循环的每一个步骤都无限缓慢、无限均匀，卡诺循环是可逆的。卡诺证明，可逆热机效率是最高的，并且所有可逆热机的效率都相同。而现实中的任何热机都不可能是可逆的。因而，现实中的任何热机的效率都低于卡诺热机。可逆与不可逆，是引伸出热力学第二定律的关键。

卡诺去世后，克劳修斯(Rudolph Clausius, 1822-1888)和开尔文(Lord Kelvin 1824-1907)分别对卡诺总结出来的规律进行研究和阐发，给出了热力学第二定律的两种表述方式。

克劳修斯表述(1850年)：不可能把热量从低温物体传到高温物体而不引起其他变化。热从高温物体传到低温物体，这个过程是可以自发进行的，比如热水和冷水隔着容器相遇，热量传导，最后成为温水。但是这个过程不可逆。一个盆里的温水，自发地一半变成冷水，一半变成热水，是不可能的。

开尔文表述(1851年)：不可能从单一热源吸取热量，使之完全转变为功，而不产生其他影响。以热机为例，只有高温热源  $T_1$  没有低温热源  $T_2$  是不可能的。热能够转化为功，但是不可能完全转化为功。就是说，热机的效率不可能达到 100%。如果热机在没有低温热源的情况下也能工作的话，就是一个永动机。让一个这样的热机，从任何一个单一热源，比如海水中吸热，哪怕使海水的温度降低一点点，所释放的热量完全转化为功，对于人类来说，也是无穷的能量。然后，由于有热力学第一定律，这些能量在使用之后，还是要转化为热能，就可以重新使海水升温。这样，人类就有了取之不竭的能源。这种装置虽然不违反热力学第一定律，但是违反热力学第二定律，故称为第二类永动机。反过来，热力学第二定律也可以表述为：第二类永动机不可能实现。

第一定律说的是物质和能量的守恒和转化，第二定律说的是，物质和能量的转化是有方向的。但是，哪些过程可以自发进行，哪些过程不能？

克劳修斯指出，在热力学系统中，还有一个隐藏很深的状态量，他命名为“熵”(entropy)。熵来自希腊语，意为“转变”。所谓状态量，是指描述系统状态的量，比如体积、温度、内能，都是状态量。系统的熵值也是标志系统状态的一个量。这个量，就与系统

的“转变”有关。它规定着系统自发过程的方向。一个孤立系统（与外界既无物质交换又无能量交换）能够自发地从低熵状态转变到高熵状态，而不能自发地从低熵状态转变到高熵状态。就好比说，一个物体可以自动地从高处落到低处，而不能自动地从低处升到高处。采用熵这个概念，热力学第二定律就有了一个简单的表述：一个孤立系统的熵的变化大于或等于零。如果系统的初始状态没有达到热平衡，则系统会自发地达到热平衡，这是一个熵增的过程。到达热平衡之后，系统的熵不再变化，此后熵增为零。所以，热力学第二定律也被称为熵增加原理。

“熵”与“功”有密切的关系。一个系统处于低熵的状态，就有更强的对外做功的能力。系统对外做功，熵增加，就失去了对外做功的能力。就如一个物体在高处具有势能，具有对外做功的能力；当它从高处落到低处，对外做功，也就失去了对外做功的能力。所以里夫金对热力学第二定律有更加通俗的解释：能量总是从能用的，变成不能用的。<sup>3</sup>

熵增加原理是针对孤立系的，对于非孤立系，稍作变通，也可以使用。比如把系统放大，把系统相关联的部分包括进来，成为一个更大的系统；或者对系统做一个明确的边界，考虑进出边界的能量流和熵流。

热力学第二定律可以对现实物理世界的很多现象给予解释。比如，从冰箱里取出一块冰，放在手上，冰化成水，水又化成气，从手掌中消失，与此同时，室内的温度略有降低，湿度略有增高。这个过程是我们能够见到的，是一个正常的过程，一个熵增的过程。但是相反的过程——伸出手掌，掌心慢慢变湿，凝结出一颗水珠，水珠越来越大，最后变成一个冰块，与此同时，室内的温度略有增高，湿度略有降低——虽然不违背热力学第一定律，但是违背第二定律，所以这个过程不会发生。

在宏观上，试图脱离卡诺循环，脱离公式，准确地理解熵的概念，是不容易的。1877年，玻尔兹曼（Ludwig Boltzmann, 1844-1906）为熵找到了微观的解释，把熵定义为系统某一个宏观态的微观可到达态的对数<sup>4</sup>。通俗一点儿，可以把熵理解为系统混乱程度的量度。熵值越高，系统越混乱。一个由气体构成的系统，其宏观状态是一个个分子的微观状态所决定的。不同的宏观状态，对应的微观状态的数目是不一样的。某一宏观态所对应的微观状态的数目越多，该宏观态的熵越大。微观状态数目越多，系统就有更高的几率呈现出其所对应的宏观态，因而系统会自动地从微观状态数目少的宏观态，变化到微观状态数目多的宏观态，使得系统的熵增加。比如说，在桌子上放一千个全同不可分辨的硬币，起初，可以让所有的硬币国徽朝上，这时硬币系统的熵最低。随机地持续地拨弄硬币，有些硬币会被翻过来，也可能再被翻过去。但是，我们可以肯定，在足够长的时间之后，国徽朝上和朝下的硬币数目会大体相同。上下各一半的宏观状态，所对应的微观状态的数目最多，系统熵最大。继续随机搅动硬币，再经过同样长的时间之后，可以预期，系统会一直处于这个上下各一半的状态，熵达到极大，不再增加。但是，不可能预期会有某个时刻，所有的硬币回到初始状态，整整齐齐地亮出国徽。虽然理论上存在这种几率，但是几率小到实际上不可能发生。硬币数量越多，越不可能。

熵这个概念虽然最初是针对“能量”的，但是采用玻尔兹曼的微观解释之后，也很容易从“物质”的角度加以考虑。简而言之，物质在聚集的状态下，熵低；离散的状态下，熵高。比方说，人从矿石中提取硅，使硅由离散的状态变成聚集的状态，这是一个熵减的过程，为此，人对矿石做功，付出能量，如果把整个矿山和加工厂作为一个大系统，则大系统熵增；然后，把硅切割开来，放到一个个电子零件中去，硅由聚集态重新变成离散态，熵增。再比如，把一堆红豆和一堆黄豆作为一个系统，当红豆和黄豆分别堆放时，熵低；把它们混在一起，熵增加。

回过头来考虑热机这个系统，它有如下特征：

- 1，封闭系统：热机与外界有明确的边界，与外界没有物质交换，但是有能量交换，从高温热源吸收，向低温热源放热；
- 2，周期系统：热机一涨一缩是一个循环，每经过一个循环，系统回到原来的状态。
- 3，有序系统：热机承担某种功能，对外做功。

显然，热机这个系统的运行是建立在两个前提之上，一是从系统之外（高温热源）吸收低熵状态的热量，二是向系统之外（低温热源）排放高熵状态的热量。二者缺一不可。对于热机这个有序的周期系统而言，从高温热源获得的热量，是维持系统运转的能量；而排向低温热源的热量，则是热机自身所不需要的，必须排除系统之外的——它是热机的废热，是热机的垃圾。

### 三，人体与城市作为物理系统

任何由物质构成的系统，都可以看作是一个物理系统。对于人类社会，也可以把它看作一个物理系统，考察它的物质和能量的输入和输出以及转化。

首先考虑一个相对简单的物理系统——人体。与热机相对应，人体这个系统有如下特征：

1，开放系统：人体需要从外界吸收物质和能量，也需要排放物质和能量。这就是新陈代谢。人需要食物、水、空气，也需要阳光。食物不仅要提供人体所需要的物质，还要提供人体活动所需要的能量。同时，人还需要排泄，把人体内不再需要的物质和能量排到体外，比如粪便、呼出的气体、汗水等。人作为恒温动物，要保持相对稳定的温度，也常常需要散热。出汗主要是为了散热，而不是排水。

2，准周期性系统：人体作为一个物理系统，存在几个周期。一是自身的周期，比如肺部一呼一吸是一个周期，心脏一收一放是一个周期；二是响应外部世界的周期，比如昼夜、四季、晦朔，分别对应着地球的自传、公转和月球绕地球的转动周期。为了说明问题，我们只考虑自身的周期，比如呼吸。人体这个系统在一呼一吸之后，并没有回到系统此前的状态，而是处在与原来相似的状态。如果系统完全回到原来的状态，人就不会变老。所以人体的周期性是准周期。但是，如果不回到与原来状态相似的状态，则系统就谈不上周期性，那样的话，一个人在一呼一吸之后，就不再是原来的人。每个人独特的个体属性将不存在。

3，有序系统：系统具有结构的稳定性，也具有功能，这是系统准周期性的必然结果。一个人从小到大，生老病死，构成其身体的物质可能已经更换了很多遍，但是这个人一直被认为是同一个人。系统的结构比构成系统的物质更加重要。系统的物质的变化是逐渐的，缓慢的，也是因为系统的准周期性，每一个周期之后，系统没有回到原来的状态，也没有偏离原来的状态太远。——如果不仅仅把人体作为物理系统，还作为一个有智慧的生命，这一条是最重要的。

4，系统与外部世界存在相对明确的边界，同时，又能够与外界有物质和能量的交流。非此不足以完成新陈代谢。但是内外的边界也不是截然两分的。比如皮肤上有毛孔，肺泡是分形结构，在这些地方，内与外是搅在一起的。

显然，人体这个系统与热机的差别在于：

1，理想热机不是准周期，而是精确周期。系统每循环一周，就回到原来的状态。但是，现实热机同样是准周期性的。因为热机内部必然有摩擦，系统也会有劳损，最终机器老化，不能运转，相当于人的死亡。

2，人体这个系统与外界不仅有能量交换，还有物质交换。人体获得外界的能量，主要

表现为物质形态——贮存在食物之中。同样，人体向系统外排放的不仅有废弃的热量，还有废弃的物质。

与热机类似，人体这个系统维持运行的前提是：第一，有低熵状态的物质和能量输入体内；第二，有高熵状态的物质和能量排出体外。这些被排除体外的高熵状态的物质和能量，不能再进入人体的物质和能量循环，就是人体这个系统的垃圾。

城市虽然复杂，仍然可以作为物理系统加以讨论。先设定城市的边界。城市的边界不是绝对的。比如北京，可以以四环为城市的边界，也可以以五环、六环为城市的边界。设定了边界之后，就把边界内视为系统内部，边界外视为系统外部。

城市这个系统与人体大致可以对应：

1，开放系统：城市与外界也存在新陈代谢。城市需要从外界获得物质和能量，也需要向外排放废弃的物质和能量。进入城市这个系统的物质和能量包括：电、天然气、清水、粮食、蔬菜……，这些是维系城市日常运行的物质和能量；钢铁、石油、煤炭、建筑材料……，这些材料使得城市的肌体如同人体一样逐日生长……；排出城市这个系统的废弃的物质包括：生活垃圾、工业垃圾、建筑垃圾（通过垃圾车运出）、污水（通过污水管道排出）、废气（直接通过烟囱进入大气），还有废热（也直接进入空气之中，提高街道的温度，使城市出现热岛效应）。

2，准周期系统：城市这个系统过于复杂，其中涉及的周期比较多，但是仍然存在物质和能量转化的周期。尽管城市自身试图免除自然周期的干扰，但是至少昼夜和四季的周期都是存在的。

3，有序系统：系统具有结构的稳定性和独特性，承担复杂的功能。如果不把城市仅仅作为物理系统，而是作为人类社会的物理空间，则这一条是最为重要的。

4，城市与外界只有相对边界。城市自身在膨胀，使得城市的边界逐渐向外移动。但是，作为物理系统而言，尤其是就本文所要考虑的垃圾问题而言，这个边界的设定是相对宽松的。理论上，可以把一个居民小区的院墙作为系统的边界，考虑进出这个边界的物质和能量——进入这个小区主要是清水、电、天然气、粮食、蔬菜、家用电器、日用百货……排出这个小区的主要是垃圾、污水……

与热机和人体类似，城市这个系统运行的前提是，从外界获取低熵状态的物质和能量，并向外界释放高熵状态的物质和能量。释放出去的物质和能量，就是这个系统不需要的，是被这个系统排出边界之外的，是被这个系统废弃的。这些部分，就是垃圾。

这里，我们需要对垃圾做广义的理解。从热力学的角度，把垃圾定义为系统排出边界之外的高熵状态的物质和能量，则垃圾包括：固态垃圾（通常所说的垃圾）、气态垃圾（废气）、液态垃圾（废水）以及耗散热。前三者是物质形态的垃圾，第四个是能量形态的垃圾。在人体和城市系统中，耗散热常常依附于某种物质被排放出去。

考察一个城市边界所进出的物质和能量的状态，可以对这个城市的状态做出判断。对于一个有序的城市，一个繁荣的城市，进入边界的物质和能量的熵值，必然远远低于送出物质和能量的熵值。反过来，如果进入某个城市系统边界的物质和能量的熵值高于排出边界的物质和能量的熵值，这个城市的功能便无法实现，必然处于萧条、颓废、混乱的状态。

## 四，垃圾与工业文明

垃圾问题是工业社会之后才成为问题的。

在传统社会，人是本地生态的一部分。人体系统的废弃物，可以进入周边环境，被土地、

植物、动物、微生物所利用。所以，人体的废弃物不构成垃圾。

人类社会也会产生废弃物，比如废弃的房屋、陶器、吃不住的骨头，等等。人类会把这些废弃物送到人类社会这个系统（比如一个村落）之外。从考古遗址中发现，古代社会就有对垃圾埋放地点的规划。<sup>5</sup>但是，第一，由于垃圾的数量有限；第二，由于人类自身的活动范围有限，总能在远离人类社会的地方（系统之外），埋放垃圾。所以传统社会的垃圾没有成为问题，更不会出现今天这样普遍这样严重的问题。

与传统社会相比，工业社会的垃圾有两点重大的变化。一是量的变化，工业社会产生的垃圾在迅速增多，几乎按指数率增加。人口在急剧增加，每一个个人产生的垃圾总量也在急剧增加；二是质的变化，传统社会产生的垃圾，其中所包含的物质都是大自然自身在演化中形成的，来自于自然，也能回到自然。而工业社会的垃圾，尤其是在化学工业进入人的基本生活之后，有越来越多的物质是人造的，是大自然自身历史中从来没有过的。它们不是也不可能成为大自然自身生态系统的一部分，从而导致了严重的污染问题，环境问题，进而导致生态问题。

与此同时，人类进入了有限地球时代。人类活动遍布全球。任何一个人类社会，想要找到一个没有人类活动的另一个地区作为其下游，作为其排放垃圾的场所，都很难做到了。而当人类不得不把垃圾埋在人类社会内部，则必然使得垃圾问题成为社会问题。总是有一部分人或地区，利用自己的政治优势和经济优势，把自己的垃圾送到另外的地方去，使一部分人不得不接受它的垃圾。

1987年春天……一艘装满垃圾的驳船在纽约港和墨西哥湾之间寻找垃圾场：经过五十天的海上航行和被六个州拒绝驶入港口卸船后，又漂回了出发的港口。<sup>6</sup>

这件事耐人寻味。人都想把自己的垃圾送到自己的小系统之外，但是没有人愿意接受别人的垃圾。

垃圾被排放到系统之外，人类可以视而不见。但是如今，垃圾就放在自家的眼前，人们已经不得不正视它。

在工业文明的体系下，垃圾问题的出现是必然的。

与传统社会相比，工业文明有两个重大的改变。其一改变了理想社会的方向，传统社会追求的是个人精神境界的提升、人与人之间的和谐，而现代社会则追求对物质世界的控制，追求更高的经济指标。比如小康社会，最重要的指标是人均GDP多少美元。其二，改变了物质和能量的转化方式，从传统社会来自于尘土归于尘土的准循环，变成了从自然到垃圾的开放链条。

这两个方面的改变是相互关联的。在传统社会，对于物质财富的追求有着道德和法律的双重限制。在现代社会中，对物质的追求则是一切经济发展的基础。几乎每个国家都把经济发展作为头等大事。而所有的经济活动，都建立在从自然到垃圾的物质和能量转化链条之上。关于现代性、工业文明与物质主义、消费主义、物欲的释放之间的关联，学者的讨论非常多<sup>7</sup>，这里不做详细讨论。

下面以矿泉水为例，讨论工业文明中一切商品的经济链条与物质和能量转化链条。<sup>8</sup>

为什么我们可以在都市的街头喝一瓶来自深山的矿泉水？首先是因为，我们买得到，并且买得起。比如，根据农夫山泉的商标，其部分瓶中水来自长白山错草泉。这意味着，农夫山泉要在错草泉附近建一个灌装厂，把泉水装到瓶子里，通过全球化的经济网络，送到都市街头每一个小卖部中。然而，这些水在错草泉自身的生态系统中本来是承担生态功能的。这些水离开错草泉，那里生活着的植物、动物和人，就失去了这些水。所以，我们都市的街头

喝一瓶矿泉水，就对水源处的生态构成了伤害。而农夫山泉注定不会给以足够的补偿费，否则我们就买不起。这是与矿泉水相关的经济链条的前半截。

其次，要扔得出，扔得起。我们可以把矿泉水的瓶子，随手扔到街头的任何一个垃圾筒里。这是一个常常被我们忽视的条件。这意味着，城市要凭借其政治优势和经济优势，在郊外获取大量的土地，专门放置城市的垃圾。垃圾场处原本的生态系统将被摧毁。所以，我们在都市的街头喝一瓶矿泉水，又对垃圾场处本来的生态构成了伤害。这是与矿泉水相关的经济链条的后半截。

后半截和前半截同样重要，甚至更重要。与前面考虑的热机系统相对比，就会更加简明：城市的垃圾场相当于热机的低温热源，它的存在，是城市这个系统有序运行的前提。

矿泉水的经济链条，也是其物质和能量的转化链条。

矿泉水是一个象征，我们可以用它来象征工业文明里的一切事物。手机、电视、电脑；护肤品、洗涤液、沐浴液；天桥、铁路、隔离墩……所以这一切，当我们追溯它们的来源，总是追到这样几项内容：森林、矿藏（包括煤和石油）、天然水体——低熵状态的物质和能量；再跟踪它们的去处，则必然是垃圾：固态的、液态的、气态的，以及耗散热——高熵状态的物质和能量。所以，现代城市如同一个热机，把自然之物转化成垃圾。按照以往惯常的说法，社会发展程度越高，城市热机功率越大，转得越快。

所谓拉动内需，激活经济，实际上是刺激人们的物欲。科学及其技术不断给发明新鲜的东西，改变我们的生活。比如手机，短短几十年，变成了人所必需的日常用品，又不断集成着各种新的功能。手机的每一轮更新，都会激发物质和能量的转化链条，要开矿，用电，耗费清水，而在手机退役之后，还将变成难以处理的电子垃圾。

在工业文明的体制下，我们的经济链条同时也是从大自然的森林、矿藏、天然水体到垃圾的物质和能量转化链条。所以，垃圾问题是内在于工业文明的。

## 五，垃圾处理只是垃圾转移

“垃圾处理”这种说法常常给人一种幻觉，以为垃圾是可以处理的。但是，归根结底，我们现在采用的各种垃圾处理方式，都只是垃圾转移。即把垃圾输送到系统之外。垃圾问题之所以成为问题，乃在于人们忽然发现，人类无法把垃圾送到人类社会之外。

下面分别阐释各种形态的垃圾的去向。

### 1，耗散热。

热是一切能量转化之后的最终形态，所以耗散热这种形态的垃圾根本上是无法处理的。我们当下的工业文明是建立在大量的化石燃料之上的。石油、煤炭相当于远古的太阳能，这些能量的使用最终将会变成热能。从而提高地球的温度。从这个角度看，全球变暖是能量垃圾的一个自然的结果。地球面临着严重的散热问题。<sup>9</sup>

从太空看，地球相当于一个黑体，它不能通过热传导与对流向外散热，只能通过热辐射。然而，热辐射的功率只于温度的四次方成正比。所以要提高散热能力，必须提高地球的温度。这就构成了一个悖论。

如果把地球当作一个系统，地球系统与热机仍有类似之处。这个系统与外界有能量交换，但是几乎没有物质交换。地球从太阳吸收低熵状态的能量，并把高熵状态的能量辐射到太空中去。太阳相当于地球的高温热源，宇宙背景（温度为 3K）相当于低温热源。来自太阳的能量一部分在地球大气层直接反射出去，一部分进入大气层内，是地表生物圈的最大最稳定的能量来源，这部分热量一部分被植物吸收，贮存起来。此外能量则最终变成热能，以热



辐射的方式辐射出去。辐射的功率与地球黑体温度的四次方成正比。在地球各项条件都保持不变的情况下，人类大量燃烧石油与煤炭，会使地球黑体的平衡温度提高。<sup>10</sup>这表现为全球变暖。如果将来核能大量释放出来，会使这个温度进一步提高。

传统社会，人类的消耗不超过一个太阳所能供给的低熵状态的能源，就使得人类的生存成为地球生物圈的一部分，也成为本地生态的一部分，自然不会产生生态问题和环境问题。

## 2, 气态垃圾。

废气以往都是用大烟囱直接排放到大气之中，导致酸雨等全球问题。废气处理的主要原则是无害化和减量化。针对一些被认为有害的气体，吸附一部分，燃烧一部分。比如，使待处理气体通过某种液体或者固体吸附物（如活性炭），使得一部分“有害气体”被吸附。其余的部分，仍然只能是排放到大气之中。即使不考虑所谓的有害气体，人类实际上已经改变了大气的组分！这对于整个生物圈都必然造成重大的影响。

## 3, 液态垃圾

液态垃圾的处理最能说明所谓的“处理”。通常，我们生活的废水会通过复杂的管道，输出城市之外。以往是直接排入自然江河。现在则是进入污水处理厂。少有人知的是，处理后的废水还是要排放到自然江河中去，而达标排放的废水比天然河流中最脏的劣五类水还要脏。所谓废水处理，最后还要是依靠自然江河的稀释能力。<sup>11</sup>现代垃圾与日俱增，天然江河的自净能力<sup>4</sup>已经被人类排出的液态垃圾耗尽。但是，每天依然大量的城市污水进入到自然江河。“2005年3月，水利部公开承认中国70%以上的水体已经遭到污染”<sup>12</sup>。

## 4, 固态垃圾

相对而言，固体垃圾的处理是最容易操作的。大体如下方式：分类、回收、焚烧、填埋。分类是回收以及焚烧的前提。

回收固然能够使一部分被丢弃的东西重新利用，使垃圾问题有所缓解，但是其作用是有限的。比如矿泉水瓶可以回收，再生。但是，第一，回收的比例非常低；第二，回收塑料瓶不能再来装矿泉水，只能用来再生低一级的塑料，并且，再生的次数是有限的，最终还是要变成垃圾；其三，在塑料瓶回收再生的过程中，依然要用电，用清水，产生污染。一切物质的回收和再生都不例外。

回收不可能做到百分之百，这是热力学第二定律的限制。虽然按照热力学第一定律，物质不灭，我们可以把垃圾中的物质重新清理，比如把所有手机中的硅重新提取出来，重新使用，但是，由于垃圾的物质是处于高熵的状态，是离散态，要使之聚合起来，就要对它做功。综合起来是得不偿失的。

焚烧把固态垃圾的一部分变成了气态垃圾，气态垃圾直接进入大气层，其环境和生态后果，由全人类承担。

固态垃圾的最终处理方式，只能是填埋。目前主要的填埋方式是这样的：选定一个垃圾场，尽可能地深挖，以使垃圾场有最大的容量，在底部铺上隔离膜，防止垃圾渗透到地下水中。然后将垃圾倾倒在填埋场中。当垃圾填满之后，把顶部用隔离膜封住。

固态垃圾处理目前存在几个问题：

第一，垃圾液渗透，导致地下水污染。因为隔离膜不是绝对牢固的。

第二，难以控制的化学反应。垃圾中的物质构成极为复杂，压在一起之后，产生高压、

---

<sup>4</sup> 自净能力，意指在太阳光和河流微生物的作用下，液态垃圾经过一段时间之后，能够被分解。但是在我看来，这是一个可疑的概念。

高温，以及难以预料的化学反应，导致一些不可控的事件，比如垃圾爆炸，空气污染等。此外，还有一些潜在的未知的危险。垃圾之中可能产生的化学反应，人类在实验室里只能模拟很少一部分。

第三，占有土地。即使垃圾填埋达到理想的状态，比如把垃圾填进钢筋混凝土打造的垃圾棺材中，不产生任何意外，仍然是需要占地的。<sup>13</sup> 但国土的面积是有限的。一个地方安放了一个垃圾棺材，就不能安放第二个。而我们的社会还在“进步”，我们的“生活水平”还在提高，我们将会更多更快地生产垃圾。最后的结果必然是，垃圾所占的国土越来越多，地球上铺满人类的垃圾。未来的世界是垃圾作的。<sup>14</sup>

垃圾问题与污染问题其实是一致的。如里夫金所说：“熵的增加意味着有效能量的减少。每当自然界发生任何事情，一定的能量就被转化成了不能再做功的无效能量。被转化成了无效状态的能量构成了我们所说的污染。”<sup>14</sup> 许多人以为污染是生产的副产品，但实际上它只是世界上转化成无效能量的全部有效能量的总和。<sup>15</sup>

有人把希望寄托到未来，相信“垃圾是放错了地方的资源”，幻想未来的某种技术会使现在的垃圾变废为宝，重新成为资源。然而，这在根本上是违背热力学第二定律的。可能某些技术的使用会使某一两种垃圾处理得到解决，但是，如果考虑这种技术本身在运转过程中所消耗的能源和资源，以及由它所造成的污染，必然是得不偿失的。

关于技术与垃圾的关系，历史依据可以给我们提供一种更简明的判断方式：今天的技术水平比二十年前要高得多，但是垃圾问题却比二十年前更加严重，而不是比二十年前轻；同样，再过二十年，技术水平将比今天高得多，所以垃圾问题，只会比今天更严重，而不是比今天轻。

## 六，垃圾与全球化的食物链

热机的原理还可以进一步推广。

如前所述，一个有序的系统，为了维持其有序，必须：1，从外界吸收低熵状态的物质和能量；2，把高熵状态的物质和能量丢弃到外界去。同样，所有现代化国家和地区，它们的现代化也有两个前提：1，从全球非现代化和次现代化国家和地区获得能源和资源；2，把垃圾送到那些地方去。

简而言之，一个地区要发展，就必须有自己的下游，为自己提供能源和资源，并接受自己的垃圾。在全世界范围看，欧美、日本等第一世界、第二世界国家是上游，第三世界国家是下游。在中国内部，东部地区是上游，西部地区是下游。在都市周围，城市核心区是上游，郊区是下游。

传统地区加入现代化，只能下游进入，这就意味着，为上游提供能源和资源，并接受上游的垃圾。有的地方挖山、砍林，在短期内也能够“发展”起来，享受以手机、电视、汽车等现代产品为标志的现代化的生活，但是等到资源枯竭，垃圾遍地，这种好日子便无以为继。来自上游的资本将会离开这块地方，去寻找新的下游。而这里，想要回到当初传统的落后的生活，也不再可能了。这种所谓的发展，相当于卖血、卖肾。

广东贵屿是垃圾全球化的一个极端的表现形态。<sup>16</sup> 贵屿的支柱产业处理来自美国、日本、欧洲、韩国的电子垃圾。成千上万大大小小的作坊，从电子垃圾中提取一些可重新使用的物质（比如铜、金等贵金属），代价则是本地的环境。地下水严重污染、空气严重污染、土地里充满着毒素，草不能生，虫不能活，人怪病频生。

红豆杉事件<sup>17</sup>也是全球化食物链的一种表现形态。1992年，美国发明一项专利，利用红豆杉树皮中提取的紫杉醇制造治疗乳腺癌、卵巢癌的特效药。次年，云南汉德公司成立，建

立了提取紫杉醇的生产线。1992年到2001年间，滇西北有三百万红豆杉惨遭剥皮。在红豆杉的经济链条中，剥皮的农民卖树皮给小贩，小贩卖给小公司，小公司最后卖给汉德公司，汉德公司提取紫杉醇卖给北美的制药厂，表面上看，每一个环节都盈利了，都对经济发展做出了贡献。但是，红豆杉被剥皮的生态后果，首先是由云南本地来承担。距离这个链条越远，盈利最少的环节，受到其生态影响越小。

泸沽湖的垃圾则是另一种形态。

人们幻想能够存在一种两全其美的方式，不用挖山、不用砍林，也能发展。生态旅游就被认为是这种的发展方式。但是，生态旅游存在着天然的悖论。表面上看起来，游客为自然风光和乡土人情所吸引，使当地经济得以发展。然而，发展的目的是提高生活水平，过现代化的生活，那种用手机、看电视、骑摩托车，用洗衣粉、洗涤灵的生活——人们享受了现代化生活的便利和舒适，与此同时，现代化的垃圾随之而入。

2000年我在泸沽湖一带做田野调查，意识到当地已经有相对严重的垃圾问题。2004年，在人类学摄影家画儿的帮助下，问题得到了证实。在落水村村外几公里的公路旁边的一道山沟里，百米长的山坡上铺满了垃圾，雨水冲洗之下，污水直接进湖。<sup>18</sup> 泸沽湖一带没有任何工业，但是也已经有了工业文明的垃圾。固体垃圾不得不放在自己的山里，洗涤剂、农药、化肥，这些人造的东西，是泸沽湖的有史以来从未接触过的，使得湖水变浑。

在泸沽湖周边，没有任何一座工厂，但是泸沽湖有了工业文明的垃圾。它的根源不在于地方政府的监管不力，治理不力，这是传统地区追求现代化生活的必然结果。有效的治理与监管只能使垃圾问题有所缓解，而不可能消灭垃圾问题。

泸沽湖自身已经处于整个全球化的下游，它只能把垃圾放在自己的山里。这导致泸沽湖一带发生分化，一部分成为下游中的上游，一部分成为下游的下游。垃圾自然是送到下游的下游。2008年，我再次前往泸沽湖调研，见到了当地政府于2006年在泸沽湖北侧的山谷中修建的一座现代化垃圾填埋场。白色的垃圾场明晃晃地贴在青山之间，如同一块巨大的痢痢。它的设计寿命是20年。按照计划，这些垃圾将在20年后被永远地埋在山谷之中。然而，即使不发生垃圾泄漏，不发生渗透液污染地下水的“事故”，这样的生活也是不可持续的。因为山谷是有限的。

垃圾问题，内在于工业文明，内在于现代化的生活。

## 七，垃圾问题的解决需要一种新的文明模式

在工业文明内部，垃圾问题是无法解决的。

当下的主流意识形态和大众话语对能源格外重视，仿佛只要有足够的能源，就可以解决一切问题，包括垃圾问题。每个国家都把能源问题作为国家头等战略，寻找新的能源贮藏地，开发新的能源种类。然而，根据热力学第二定律，能源问题的解决将会使垃圾问题更加严重！因为能源开发出来，总是要用的。假设将来常温可控核聚变的技术被发明出来，人类将拥有无穷的能源！无穷的能源将使工业文明的热机运转得无穷地快，便将会以无穷快的速度，把森林、矿藏和天然水体变成垃圾！所以能源问题的解决将不会是人类的福音，而是人类的灾难。

清洁能源同样不能解决垃圾问题。事情上，清洁能源在理论上存在根本性的问题。以往被认为是清洁能源，都逐渐发现了生态问题<sup>19</sup>。在我看来，清洁与否不在于我们使用哪一种类型的能源，而在于使用多少。“一个太阳”是人类使用能源的上限，超过了这个上限，任何类型的能源都不会是清洁的。

人类只有一个地球，这个口号人所共知。以往的阐释是，资源有限，能源有限，所以要精打细算，才能可持续发展。但是，这个阐释只关注了物质与能量转化链条的前半截，是不完整的。考虑到后半截，则需要加上一句：有限的不仅是能源和资源，还包括容纳垃圾的能力。

由于地球有限，垃圾问题将会超过能源问题，成为未来社会最严重的问题。因而垃圾问题不是枝节问题，而是战略问题。甚至未来的战争也将不是去把能源和资源抢回来，而是把垃圾送出去。在某种意义上，京都议定书和哥本哈根会议，都是对于气体垃圾排放的全球性博弈。

垃圾问题是工业文明的内在问题。在工业文明的框架内部，垃圾问题是无法解决的。人类必须寻找一种新的文明形态——生态文明。一种基于“一个太阳”的，与自然和谐的文明形态。生态文明不是通过对工业文明的修修补补能够达到的。要建设生态文明，我们需要对工业文明进行彻底的批判，需要从传统文化中汲取滋养。

2010年8月27日

2010年9月16日

北京 向阳小院

## 参考文献

- <sup>1</sup> 转引自：C. Kittel, 热物理学. 北京: 人民教育出版社. 1981. 扉页
- <sup>2</sup> 关于这个部分，在任何一个热力学教科书上都有详细的论述。本文采用了一部科普著作的说法。参见：陈宜生，刘书声，谈谈熵，湖南教育出版社，1993，pp34-36
- <sup>3</sup> 杰里米·里夫金、特德·霍华德，熵——一种新的社会观，上海译文出版社，1987年
- <sup>4</sup> C. Kittel, 热物理学. 北京: 人民教育出版社. 1981.
- <sup>5</sup> 威廉·拉什杰、库伦·默菲，垃圾之歌，中国社会科学出版社，1999，49
- <sup>6</sup> [法]卡特琳·德·西尔吉，垃圾与人类的历史，刘跃进、魏红荣译，百花文艺出版社，2005，7
- <sup>7</sup> 参见：杜维明，卢风，现代性与物欲的释放，中国人民大学出版社，2009
- <sup>8</sup> 这部分讨论参见拙文：为什么我们可以在都市的街头喝一瓶矿泉水，博览群书，2006（1）
- <sup>9</sup> 关于用热力学讨论地球系统。我将在另外的文章中加以讨论。另外参见：H.Morowitz, J.P.Allen, M.Nelson, A.Alling, Closure as a Scientific Concept and its Application to Ecosystem Ecology and the Science of the Biosphere, *Advances in Space Research* 36(2005) 1305-1311
- <sup>10</sup> 参见：蒋钧，唐耀庚，全球气温变化的热力学平衡和最新发现，地学前缘，2008（6），pp338-341
- <sup>11</sup> 参见苏杨，鱼缸里的江湖，环境，2004年第3期
- <sup>12</sup> 李利锋，邹蓝，中国水危机，2005年：中国的环境危局与突围，社会科学文献出版社，2006，151
- <sup>13</sup> 日本人把垃圾埋到海底，但是海洋依然是有限的，而且潜在的生态危险更严重。“东京湾一处二百公顷的锚地，被厚达二十米的堤坝围住，整个堤坝用钢材包裹，嵌入海底。……锚地被切割成密封的方块，被一层层用土覆盖的垃圾填充。”见：[法]卡特琳·德·西尔吉，垃圾与人类的历史，刘跃进、魏红荣译，百花文艺出版社，2005，37
- <sup>14</sup> 参见拙著：有限地球时代的怀疑论——未来的世界是垃圾做的，科学出版社，2007年。
- <sup>15</sup> 杰里米·里夫金 / 特德·霍华德，熵——一种新的社会观，上海译文出版社，1987年
- <sup>16</sup> 关于贵屿的报道很多。参见：Chien-Min Chung, China's Electronic Waste Village, *Time*, 2008-01-07; Christopher Bodeen, In 'e-waste' heartland, a toxic China, *New York Times*, 2007-11-18.
- <sup>17</sup> 红豆杉事件也曾被广泛报道。参见：曾民,张林.被剥皮的红豆衫在流泪.南方周末.2001-10-18.9.

<sup>18</sup> 赵画儿，就让垃圾之花开放在泸沽湖畔？，科学时报，2004年10月8日。

<sup>19</sup> 关于这个问题，我另有文章讨论。参见：田松，清洁能源不清洁，新知客，2008（3）

## Inveterate Disease of Industrial Civilization: Garbage Problems in the Perspective of Thermodynamics

TIAN, Song

(School of Philosophy and Sociology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** Garbage problems are often considered as technical or management issues, and have not received much attention. This paper discusses garbage problems in the perspective of thermodynamics laws that a human body, a community, or a city is regarded as a physical system, such as a heat engine. The prerequisites for this physical system to be stable are: the input of energy and material in low entropy state from the outside, and the output of energy and material in high entropy state to the outside. The latter is the garbage of this system. According to the second law of thermodynamics, garbage is the inevitable product of a system. Under the social structure of industrial civilization and the restraints of a limited earth, technical progress cannot resolve the garbage problems. Ultimately, garbage problems will become more severe than energy crisis, and grow to be the number one problem in human society. The only way to solve garbage problems is to search for a new model of civilization- ecological civilization.

**Key words:** garbage; second law of thermodynamics; industrial civilization; ecological civilization

2010年第六期《云南师范大学学报》“人地关系研究”栏目主持人语

垃圾问题以往被认为是枝节问题、技术问题、管理问题，一直没有得到足够的重视。人们也往往心存幻想，相信“垃圾是放错了地方的资源”，期望未来的科学和技术能够解决垃圾问题，并使以往的垃圾变废为宝。但是，这种幻想是不可能成立的。从物理学的角度，这种幻想违背热力学第二定律；从历史的角度，技术水平固然随着时间的推移而提高，但是垃圾问题并没有随着时间的推移而减缓。

以往对垃圾问题的研究大多是对垃圾进行一阶研究，比如如何处理某种垃圾，如何选择垃圾场等技术性研究，或者各国垃圾的政策对比研究等。而从哲学、历史、人类学等人文学科对垃圾的研究则极为稀少。这一期我们就选择了两篇从人文学科立场讨论垃圾问题的文章。

一篇是我本人的文章。最迟从2000年期，我开始关注垃圾问题。这是一篇纲领性的文章，将人类社会作为一个物理系统，借用热力学第二定律，论述在工业文明的总体结构下，垃圾问题的必然性。文章对垃圾问题进行了宏观的论述，也讨论了垃圾问题与全球化食物链的关系。并指出：垃圾问题不是枝节问题，而是战略问题。

另一位是毛达的文章。毛达的导师梅雪芹教授是国内环境史领域的先行者之一，对于垃圾问题也长期关注。毛达曾经在美国休斯顿大学作为访问学生有过一年的学习和研究，专攻美国的海洋垃圾问题。这篇论文是其博士学位论文的一部分。既有理论深度，又有丰富结实的史料。这些史料对于中国学者来说，几乎是全新的。

2009年是一个转折点，在这一年，各种垃圾问题频频登上国内报纸的版面。从这一年开始，垃圾将成为中国主流话语回避不开的话题。

人类将面临越来越严重的垃圾问题。垃圾问题也必然引起更多领域学者的关注。