

中国生活垃圾卫生填埋处理现状分析

一、城市生活垃圾处理总体发展状况

随着中国城市化进程的发展和人口水平的提高，城市垃圾产生量越来越多，城市历年来垃圾堆存量高达 66 亿吨，侵占 35 亿多平方米的土地，全国已有 200 多个城市陷入垃圾包围之中。根据国家统计局发布的城市建设统计年报数据，目前城市生活垃圾清运量达 1.8 亿吨，近 2 年来垃圾总量增长率达到 8~10%，人日均产生量在 1.0~1.2 kg，预计至 2010 年城市生活垃圾总量可达 2.6~2.8 亿 t。如何妥善处理城市垃圾，实现垃圾的无害化、减量化和再资源化，已成为我国面临的重大问题。

至 2004 年底，全国 661 个设市城市有各类生活垃圾处理厂 559 个，垃圾集中处理量 7828 万 t，集中处理率 51.4%；填埋处理厂 444 个，处理量 6865 万 t，占集中处理量的 87.7%。我国不同地区垃圾处理方式有所差别（表 1）。根据垃圾处理量统计，填埋处理的比例一般在 90%以上。

表 1 不同地区垃圾处理量及处理方式

	东部沿海和京津地区		东北地区		中部地区		西部地区	
	数量 (万 t)	比例 (%)	数量 (万 t)	比例 (%)	数量 (万 t)	比例 (%)	数量 (万 t)	比例 (%)
填埋	3521.5	84.7	865.1	90.1	1249.7	90.5	1242.15	93
堆肥	292.9	7.0	51.4	5.4	112.5	8.1	59.35	4
焚烧	346.3	8.3	43.2	4.5	18.75	1.4	40.34	3
合计	4160.7	100	959.7	100	1381.0	100	1342	100

今年是“十一五”计划的第二年，“稳健的财政政策”将会继续推动生活垃圾处理建设。《国务院关于落实科学发展观 加强环境保护的决定》（国发 2005[39 号]）指出，“到 2010 年，生活垃圾处理率不低于 60%”，这个目标不仅包括城市，也包括重点城镇。

二、生活垃圾中主要成分及对环境的危害

我国城市垃圾按照不同的处理方式分为有机垃圾、无机垃圾、有害垃圾及大件垃圾等。其中有机垃圾主要指厨房垃圾，如果皮、菜叶、剩饭菜等。无机垃圾分为可燃或不可燃两种，可燃垃圾包括废纸张、废塑料、废织物等，可回收利用，也可焚烧。不可燃垃圾主要指废金属、废玻璃等，可作回收处理。有害垃圾指对环境或人体造成危害或具有危险性的垃圾，主

要包括废电池、废荧光灯管、水银温度计、废油桶、过期药品等，应送至专门的设施进行处理。而大件垃圾则指废旧家具、电器等，也须进行专门的处理回收。

我国城市的垃圾成分受城市居民生活水平、民用燃料结构、生活习惯和地理条件的影响有较大的差异。近年来随着人民生活水平的提高，生活垃圾各组分的比重也相应发生了变化。城市生活垃圾的成分具有如下特点：①垃圾中的有机物（主要是厨余垃圾）所占比例上升到50%左右；②垃圾中无机物（灰、土、砖、瓦、石块等）所占比例与有机物相反，基本呈下降趋势；③垃圾中可回收物所占比例有大幅增长，达25%左右；④垃圾中可燃物成分增加，热值有所提高。

垃圾直接堆放和简易填埋会向大气释放大量的有害气体，其中还含有致癌、致畸物，垃圾在堆放腐败过程中产生大量酸性和碱性有机污染物，并溶解出其中的重金属，形成有机物、重金属和病原微生物三位一体的污染源。

三、垃圾处理的主要方法

现阶段我国城市的生活垃圾处理方式主要有：卫生填埋、堆肥、焚烧热解。其中卫生填埋法占到全部垃圾处理的90%以上，堆肥法也占有一定比例，在5%左右，近年来一些新建垃圾处理厂采用焚烧法，但尚处于起步阶段。

垃圾填埋处理分为传统填埋与卫生填埋两类。传统填埋法实际上是在自然条件下，利用坑、塘、洼地，将垃圾集中堆置在一起，不加掩盖，未进行灭菌、除臭、防污染等处理的堆填。这种带有盲目性的非卫生填埋，不但侵占了宝贵的土地资源，而且对环境造成了潜在的影响和危害。特别是填埋场的渗滤液，由于没有进行必要的收集和集中净化处理，已导致水资源和周围环境的严重污染。垃圾填埋以后因生物分解作用生成甲烷和一氧化碳，从中逸出后，可能引起火灾，其中的病原菌还可能导致疾病的传染。所以，传统的填埋技术已很难和城市的现代化发展相适应，需要进行合理改进。

卫生填埋法是采用工程技术措施，防止产生污染及危害环境的土地处理方法。它是在科学选址的基础上，采用必要的场地防护手段和合理的填埋场结构，以最大程度地减缓和消除垃圾对环境，尤其是对地下水污染的技术。它的特点是适用范围广，无二次污染，另外技术比较成熟，操作管理简单，处理量大，投资和运行费用低，是当今世界各国主要的垃圾处理方式。

堆肥处理是指在有控制的条件下，利用微生物对垃圾中的有机物进行分解转化的生物化学反应，最后形成类似腐殖质土壤的物质，可作肥料或土壤改良剂。堆肥包括好氧发酵和厌氧发酵两种方式。一般常用的是好氧发酵工艺，周期短、无害化效果好。厌氧发酵工艺相对

周期较长，占地面积大，工厂化生产困难。目前虽然我国在上海、杭州、无锡、天津、重庆等地陆续建成一批城市生活垃圾的机械化连续堆肥化设施，取得了较好的处理效果，但限于现实的经济和社会条件，机械化高温堆肥由于处理成本较高而难以推广应用。目前应用较多的是一些机械化程度低、主要采用静态通风的好氧发酵技术，其特点是工艺简单，使用机械设备少，投资少，操作简单，运行费用低，但同时也存在堆肥质量不高、堆肥筛上物未得到处理和气味及污水对周围环境影响较大等问题。

焚烧法是使垃圾中的可燃成分经过燃烧反应，最终成为无害稳定的灰渣。焚烧法是一种高温热处理技术，即以一定的过剩空气量与被处理的物质在高温（800~1000℃）的焚烧炉内进行氧化燃烧反应，废物中的有害有毒物质在高温下氧化、热解而被破坏的一种可同时实现废物无害化、减量化、资源化的处理技术。焚烧法一般可使垃圾减少 75%~95%。现今全世界有上千家垃圾焚烧工厂，西欧 20%~25%的垃圾是焚烧处理的，焚烧后体积可减少 85%。同时现代化的垃圾焚烧炉还回收热量用于城市供暖或发电。

四、垃圾卫生填埋

由于垃圾填埋处理具有操作设备简单、适应性和灵活性强的特点，它是我国城市垃圾处理的一种主要方式，并且在今后相当长时间内将占垃圾处理的主导地位。近几年来许多大城市都在建设或已建成大型甚至超大型的垃圾卫生填埋场，这些填埋场在技术水平上总体而言采用了和发达国家接轨的技术要求。

1. 垃圾填埋基本工艺流程

填埋处理是将垃圾埋入地下，通过微生物长期的分解作用，使之分解成无害的化合物。它分为简易填埋、卫生填埋、压缩填埋、破碎填埋四种方法。卫生填埋是各国应用的最普通的方法，其工艺流程见图 1。垃圾填埋场垃圾由垃圾车或压实机压实，这样既提高了场地的利用率，又减少了雨水对垃圾的冲刷。现代化大型垃圾卫生填埋场多采用单元填埋法，对垃圾应逐层压实和每日覆盖。

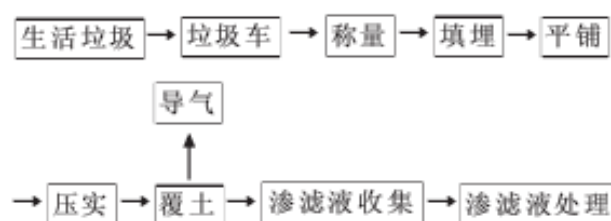


图 1 生活垃圾填埋作业流程图

2. 填埋场的废气问题

填埋垃圾经微生物的好氧分解和厌氧分解产生大量填埋沼气，其成分主要有： CH_4 、 CO_2 、 NH_3 、 H_2S 等，其中 CH_4 、 CO_2 占绝大多数。由于气体扩散，当甲烷浓度达到 5~15%，在有氧条件下可能发生爆炸； CO_2 易溶于水，不仅会导致地下水 pH 值降低，而且会使地下水的硬度及矿物质增加。此外，植物由于受根部积聚的 CO_2 和甲烷的影响，因缺氧被危害其生长。垃圾产生的臭气扩散到空气中，严重地影响场区及周边环境。因此，必须对填埋场产生的气体加以收集控制，排除烧掉，或作为能源加以回收利用。通常采取的方法有：①通过石笼等形式将填埋沼气导排；②石笼和收集灌将沼气导排并使之安全燃烧；③经管网系统收集净化作能源回收利用；④对垃圾进行覆盖。

3. 垃圾渗沥液问题

填埋场另一关键是渗沥液引起的二次污染问题。垃圾经微生物分解和地表水的影响会产生一定数量的渗沥液。垃圾渗沥液中含有多种污染物，尤其是重金属离子和有机物，是一种高浓度的有机废水，不仅存在时间长，范围广，而且危害大，若处理不当，会穿透周围地层，对生态环境和人体健康造成巨大危害。因此，在垃圾填埋场应采取特殊措施保护地下水，常用方法有：①设置防渗衬里；②选择合适的覆盖材料；③设置导流渠或导流坝；④对渗沥液进行收集与处理。

4. 垃圾场使用的防渗技术与防渗材料

渗滤液控制是填埋场建设中最关键的问题之一。对渗滤液最直接、最有效的防治与控制措施就是建立防渗系统，将渗滤液及其有害污染物控制在一定范围内，同时建立渗滤液处理设施进行处理，使其达到相关排放标准再排放。

我国早期的中、小填埋场大多数只是在底部采用了粘土等简单的防渗材料，渗滤液和填埋气收排系统、保护层、过滤层等很不完善，因而常会出现地下水污染等环境问题。对于大型填埋场，防渗方案应因地制宜，根据场址的地形地质状况灵活选用：对于拥有独立水文地质单元和良好地质条件的山谷沟壑地区，一般采用垂直防渗以节省投资，如杭州天子岭和南昌麦园的帷幕灌浆防渗墙；水平防渗较多地应用于平原性填埋场中，它是在对场区地基严格处理后，再对其底部及四侧边坡用防渗材料进行全面防渗，如深圳下坪和广州兴丰的聚酯纺粘土工布（HDPE）膜/膨润土防水毯（CGL）双层防渗系统；另外，为防止降水进入填埋体，除了顶部覆土防渗外，必要时还可在封顶层使用土工薄膜。

在垃圾填埋场中，土工材料得到越来越多的广泛应用，其中应用范围最广的是 HDPE 和 GCL。聚酯纺粘土工布是卫生填埋场防渗设计和施工必备材料，它是由聚脂纺织纤维制成，

用机械（针刺）或加热或化学方法加固的织物，按材料类型分为长纤无纺土工布和短纤无纺土工布。膨润土防水材料利用了钠基膨润土本身所特有的遇水膨胀的特性，并通过使用一组特殊的复合添加剂使其形成能抵抗较高水压的胶体体系，将膨润土的自然膨胀特性转换成了填埋场经常使用的土工聚合粘土衬垫

5. 垃圾的覆盖及覆盖材料

（1）垃圾的覆盖操作

根据我国《城市生活垃圾卫生填埋技术规范(CH17-2004)》和《生活垃圾卫生填埋场运行管理规范(DB11/T270-2005)》中的要求，在卫生填埋场的设计和运行过程中，垃圾进场后应于24h内完成垃圾的摊铺、压实、覆盖工作，覆盖层厚度宜根据覆盖材料确定，土覆盖层厚度宜为20~25 cm。选取20~25 cm这个厚度值主要是考虑到该厚度的压实土壤覆盖到固体垃圾上后，可以防止成年苍蝇从填埋场的垃圾中出入。如果应用得当，这种作业可以为人员健康提供基本的保证。另外，20~25 cm的覆盖还有以下功能：①对病媒动物的控制。减少蚊子的栖息场所，并防止固体废物成为滋生各种有害生物的场所。②防火。防止填埋场堆体中发生火灾，或者降低火势蔓延的可能性。③防飞散控制。有助于对轻质垃圾的控制。④恶臭控制。可以成为恶臭的屏障，或者作为过滤器，控制固体垃圾散发恶臭。⑤美化环境。每个工作日结束时用20~25 cm的压实土壤可以美化作业环境，并突出卫生填埋场与垃圾堆的区别。⑥雨污分流。有效降低雨水进入堆体的量，强化雨污分流效果。

（2）覆盖材料概况

在使用压实土壤进行填埋场覆盖时，存在以下问题：①填埋场中使用的覆盖土会占用大量的库容。填埋场的本质是对空间的利用，因此必须想方设法研究出空间利用的最大化方案。由于粘土是惰性材料，不会随时间的流逝而降解，因而使用粘土做覆盖材料时，粘土所消耗的空间是无法重新利用的。而从理论上讲，20~25 cm的粘土覆盖量将消耗填埋场中大约10%的空间。②土壤本身也可能价格不菲。比如在北京市的安定填埋场，由于场方本身没有现成的土壤进行每日覆盖作业，因此必须从外部购买并引进粘土，这无疑对作业成本造成了相当大的冲击。而这种运输过程还将增加交通负荷、加速道路与轮胎的磨损、提高燃料消耗并加重了污染物的排放等等。③设计因素。当前的卫生填埋场设计中都考虑到了渗沥液和沼气的收集与控制问题，而使用粘土做为覆盖材料对沼气和渗沥液的运移产生一定的影响。

虽然传统的粘土覆盖材料应用技术比较成熟，但其对填埋场的使用寿命有很大的不利影响，另外还牵扯到相当数目的间接成本。随着固体废弃物管理的不断进步，现在已经有很多的每日覆盖替代材料（ADC）可以应用在填埋场中来替代20~25cm的压实土壤。这些材料包

括堆肥残渣、泡沫、防水帆布、粉碎后的废旧轮胎以及某些工业材料等。

(3) 选择每日覆盖替代材料需注意的成本问题

利用 ADC 的成本可能要比向填埋场运输土壤的成本低，因此可以大大降低填埋场作业中的总运行成本。但选择它还需考虑以下问题：

①材料成本

在材料成本方面，除了购买材料本身所需要的成本外，还包括材料运输成本和储存成本。因为无论购买使用哪一种产品，运费都是不可缺的。可能运费在总成本中的比例不高，但仍然需要重视。和运输成本一样，储存成本也需要在产品成本中得到重视。某些产品需要在室内或者特定的设备中存放，比如某些产品需要保存在气压储存装置中。在这种情况下，就需要确定该装置所能盛装的每日覆盖替代材料的量以及相关的储存成本。

②机械成本

如果使用的材料要求配置专门设备，则需要考虑到所购买设备的折旧情况。设备成本是材料选用中必须考虑的因素，因为某些 ADC（每日替代覆盖材料）的供应商生产非常廉价的每日覆盖替代材料产品，但设备成本却相当高。

③人员劳务成本

首先，不同种类的 ADC 可能涉及到不同的劳动力需求。例如不同种类的防水帆布就可能涉及到不同形式的人力投入：有些可以完全使用机械铺设，有些需要机械辅助，而有些则完全依靠人力铺设。有些 ADC 在混合后必须尽快使用，否则可能固结硬化，非常难以清理。而另外一些材料则可以事先混合好，并且可以在设备中盛装很多天。因此，需要计算准备相关材料所需要的时间以及人力情况。如果准备好的材料可供多天使用，则还需要将预备该材料所需要的总人工成本除以使用的天数，以得到每日人工成本。其次，人工成本中还要考虑到将相关施工机械运送到工作面所需要的成本。某些机械可能自带驱动装置，因此无需其他人力操作，而其他一些设备可能需要拖拽或者其他的相关人力操作才能达到作业面。第三，还要考虑到每日作业后设备的清洁整理。同样，如果产品可以在设备中盛装多日，则需要将清洗时间分解到对应的多天中，这样就可以明确清洗作业所需要的工作量，并进一步确定人工成本。另外在对每日覆盖替代材料的成本估算中还应考虑到设备的维护保养。某些 ADC 产品只需要简单的维护成本，加上燃料油、液压油、零部件以及机油等成本，而其他一些产品则需要对作业设备进行长期精心维护。因此，相关的维护保养成本可以分解为年度、月度、每日成本，甚至是每平方米的对成本。

④其他需要考虑的因素

在对 ADC 的成本估算中,还应该考虑到堆体使用新材料后发生边坡垮塌事故的可能性以及沼气和渗沥液运移等问题。同时也要研究相关产品和设备应用于其他用途的能力以及与其他技术的兼容性等可能造成其他间接费用的问题。

6. 垃圾填埋需解决的主要技术问题

若建设一个现代卫生填埋场并能够良好运行,需处理好以下几个主要技术问题:

- (1) 场址的选择
- (2) 提高场地空间的利用率
- (3) 选择合适的设备来取得理想的压实水平和垃圾密度
- (4) 选择覆盖材料,确保节省空间,场区及周边环境不受污染
- (5) 减少渗沥液的数量,选择高效的渗沥液处理方法
- (6) 选择合适的废气收集与处理方案。

五、我国几个典型垃圾填埋场概况

目前只有中国科学院等少数单位在城市垃圾处理技术的研究方面开展了一些工作,并完成了160立方米规模的中间试验。在试点示范和工程建设方面实践也不多。现已建成的大体上符合填埋工艺要求的工程主要有以下几处:包头市青山区、北京市昌平区阿苏卫、上海市老港、杭州市天子岭、广东省中山市仔坑、广州市大田山、深圳市下坪、南昌市梦园。

1. 广州大田山垃圾填埋场

每天进场垃圾1000~1200t(约占广州市每天垃圾产量的42%),占地160008m²,最大填埋容积1800000m³。垃圾单位消纳量的建设总投资及其中的基础设施的工程投资分别为12.0元/t和6元/t,1989年底基本建成投入使用。

填埋场采用分区分块堆置法卫生填埋。其填埋的作业工程主要包括运、卸、推平铺匀和碾压。垃圾运进场后,按预先划好的区、块卸下,用推土机推平摊铺均匀,每次堆置推平后的垃圾层厚度为0.6~0.7m,再用垃圾压实机械或履带式推土机反复压实,压实密度要求不小于0.8t/m³。然后,再按此程序在上面填埋第二层、第三层……,在垃圾填埋层厚度达2.0~2.5m后,立即覆盖0.2m厚的黏土并予压实。每个填埋块的大小以按2~3天的垃圾量来划分为宜,以便能及时覆土,减少垃圾的裸露时间,减少对环境的污染。填埋到最终顶面标高时,覆盖封顶的黏土厚0.5~0.7m,再加0.2~0.3的耕植土,并作成中间高四面低的坡状,压实后进行植被绿化,保护坡面。

填埋作业的机械设备有:推土机、垃圾压实机、装载机、挖掘机、自卸载重汽车。

大田山垃圾填埋场已经封场。

2. 杭州天子岭垃圾填埋场

有效库容540万m³，设计使用年限13年。填埋场每吨垃圾基建费用为4.8元/t，运营费用暂不确定，1991年一期工程投入使用。

填埋场采用斜坡作业法，垃圾按单元分层填埋。填埋单元按1~2天的垃圾填埋量划分，冬季可延长到5~7天。每单元后2.5m，长约50m。分4~5层碾压，每层需铺垃圾约0.8m厚，压实后厚度约0.5~0.6m。在每单元2.5m厚度中压实垃圾约占2.3m，覆盖黏土约0.2m。由于现场实际操作很严格、准确地掌握厚度，覆盖土只能是近似的占总体积的1/10左右。覆土分三级覆盖，小分层原则上每天覆盖厚度约0.2m，大分层中间覆盖厚度约0.4m，终场覆盖厚度约0.8m。填埋场使用初期，覆土可就地采用第四季表层土，这样一方面可缓解大量覆土的土源问题，同时可以增大库容，后期覆土需场外取得，则在管理站需设专用覆土备料场。

根据设计库容量，一期工程垃圾填埋场已接近饱和。总投资达3.5亿元、设计使用年限为24年的杭州市第二垃圾填埋场将于近期开工建设。

3. 包头青山垃圾填埋场

该场占地总面积411866.7m²，垃圾日处理能力210t，总库容1987800t，设计使用年限20年，建场总投资300万元，垃圾处置费用为2.84元/m³。1990年7月竣工并投入运行。

每年的6月15日~10月15日采用好氧填埋方式。填埋操作分区进行，每个作业区有填埋单元120个备有三套通风系统。每日填埋垃圾占地一个单元（18m²），每单元填至规定标高后，顶部覆土10cm，待10~20天垃圾堆体沉降后，再作50cm的最终覆盖并压实，并整修场项，使中间区域比填埋边缘高出1m，形成缓坡，利用场地四周设置的明渠排泄雨水径流。此好氧填埋技术适宜在少雨、干旱、垃圾水分会含量低的地区推广使用。10月16日至次年6月14日采用厌氧填埋。将场地铺设30cm厚度的粘土压实后即可利用。每填埋1m高垃圾即进行一次压实覆盖（覆土10cm）。如此循环至要求标高，再在顶部进行一次性最终覆盖（覆土100cm）。

填埋场配备压实机、装载机、推土机、运输车、消洒车、风机、防护网、通风管道、自动计量地上衡等设备。

4. 上海老港垃圾填埋场

采用分层压实终面覆土填埋。处置能力为109.6万m³，日班垃圾处置量为3000m³，垃圾填埋场面积3900亩，围堤顶面以下总容积为1200万m³，建设总投资10494万元，单位消纳量总成本13.01元/m³。使用年限18年，1990年一期工程投入使用。

生产用工程机械主要有：JN612—8T黄河牌底盘改装的垃圾输送自卸车46辆、上海—120A型推土机7台、YZT8Q垃圾场专用压实机1台、WY100挖掘机2台、Z2—130装载机3台、CA141

喷药车1辆等。

目前，该场经过一、二、三期工程建设，已从日填埋生活垃圾3000 m³发展到9000 m³，填埋总面积超过333.3hm²，现已填埋180hm²，填埋时间超过3年的约133.3hm²。

5. 2005年投入运行的部分生活垃圾填埋场

据不完全统计，2004年我国投入运行的填埋场总规模超过3万t/d。2005年我国生活垃圾填埋场建设稳步推进，一批新的填埋场建成并投入运行。在这些新投入运行的填埋场中，中、小型填埋场占据相当大的比例。部分填埋场情况见表2。

表2 2005年投入运行的部分生活垃圾填埋场

垃圾场名称	处理规模 (t/d)	基本状况
广东潮州市生活垃圾填埋场	750	填埋区占地面积43万m ² ，总库容1027万m ³ ，总投资1.2亿元。
广东佛山市高明生活垃圾填埋场	2000	总投资3亿元
江苏淮安市王元生活垃圾卫生填埋场	1100	占地416.7亩，总库容726万m ³
上海老港填埋场四期工程	6300	占地361公顷，可填埋垃圾8000万t
湖南益阳城市垃圾填埋场	400	占地342亩，总投资6700万元，总容量400万m ³
贵阳市比例坝填埋场	600	总投资约1.5亿元