

北京市“学术创新团队”项目——可持续水与废物循环利用技术 (BJE 10016200611)

垃圾渗滤液处理技术及 工程实例

李 颖 主 编
郭爱军 副主编

中国环境科学出版社·北京

前 言

随着我国城市化建设步伐的加快,城市人口的急剧增加,城市生活垃圾产生量日益增多,垃圾污染环境现象也日趋严重。目前,我国把城市生活垃圾无害化处理作为一项重要的城市基础设施建设来抓,努力消除生活垃圾的污染,提高社会环境的可持续发展能力。

根据我国垃圾处理“无害化、减量化、资源化”的原则,近几年,将会有大批生活垃圾卫生填埋场应运而生,与此同时,垃圾渗滤液的处理和处置程度已被确认为衡量一个填埋场是否为卫生填埋场的重要指标之一。作为一种高浓度有机废水,垃圾渗滤液的处理近几年得到了广大研究人员的密切关注,并进行了大量的试验研究,取得了不少的研究成果,并有一批垃圾渗滤液处理厂已经或正在兴建。

垃圾渗滤液作为一种特殊废水,其处理的投资、运行成本远远高于一般城市污水和工业废水,这主要是由于垃圾渗滤液成分复杂、氨氮浓度很高、有机物浓度高,导致处理工序和设备繁多,处理时间较长。垃圾渗滤液由于在垃圾体已经经历了厌氧过程,其生化性相对较差,生物处理的停留时间较长,导致设施、设备的投资较大,同时垃圾渗滤液处理量一般相对较小,导致折旧、维修费较高。

近年来,国内出版了部分关于城市生活垃圾渗滤液处理的书籍,这些书籍内容丰富,资料翔实,涵盖了城市生活垃圾渗滤液处理的方方面面,对垃圾渗滤液处理的研究和设计起到了很大的推动作用。但是,书中对城市生活垃圾渗滤液的设计方面还缺少系统性和实用性,而且内容多侧重于已有的处理工艺的研究,对于一些新的理论和工艺涉及较少,鉴于此,我们编写这本城市生活垃圾渗滤液处理技术一书,希望本书的出版能够对在校学生和工程设计人员在从事城市生活垃圾渗滤液处理工艺的选择和设计等方面的工作时起到一定的指

导作用。

本书内容覆盖了城市生活垃圾渗滤液的各个方面,包括城市生活垃圾渗滤液水质和水量特征、垃圾渗滤液的处理方案与预处理技术、垃圾渗滤液物化处理技术、垃圾渗滤液生物处理技术、垃圾渗滤液土地处理技术等。同时考虑到垃圾渗滤液高氨氮浓度这一显著特点,特别编写了垃圾渗滤液脱氮技术。本书还援引了部分工程实例,使本书的理论和实际结合得更加紧密,具有较强的针对性、实用性和可操作性。

参加本书编写的人员有:李颖、郭爱军、刘涛、王利军、王坤、李蔚然、赵国华、宋振林、许少华、周玉坤、王敬民、翟力新、郑胤、王伟、尹荔堃、杨建荣。

本书适合大专院校师生、广大的工程设计人员、管理人员以及科研人员参考。

由于编者水平有限,书中的错误和纰漏在所难免,希望广大读者不吝指正。

编者

2006年6月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 垃圾渗滤液的危害	2
一、垃圾渗滤液的产生与组成	2
二、垃圾渗滤液的污染	4
三、垃圾渗滤液的危害	7
第二节 我国目前垃圾渗滤液处理现状	10
一、我国垃圾渗滤液处理经历的阶段	10
二、垃圾渗滤液处理工艺	12
三、存在问题	13
四、今后的研究方向	15
第二章 垃圾渗滤液水质和水量特征	18
第一节 垃圾渗滤液	18
一、垃圾渗滤液的来源	18
二、垃圾渗滤液的特点	19
第二节 垃圾渗滤液的水质特征	19
一、渗滤液的水质特点	20
二、影响垃圾渗滤液水质变化的因素	23
第三节 垃圾渗滤液的水质预测	29
第四节 垃圾渗滤液的水量	31
第五节 影响渗滤液产量的因素	36
第六节 控制渗滤液产量的工程措施	39
第七节 垃圾渗滤液收排系统	44
一、收排系统的作用	44
二、收排系统的构造	45
三、系统布置	45
四、排水层	46
五、渗滤液收集沟(管)	47

六、渗滤液收集泵和提升站	48
七、渗滤液容留罐	49
八、防渗环	50
九、避免系统失效的措施	50
第三章 垃圾渗滤液的处理方案与预处理技术	52
第一节 垃圾渗滤液的处理方案	52
一、与城市污水厂的合并处理（场外处理）	52
二、渗滤液的场内单独处理	58
三、预处理—合并处理方案（场内一场外联合处理方案）	64
四、循环喷灌处理（场内处理）	67
五、方案的选择	70
第二节 垃圾渗滤液的预处理技术	71
一、格栅或格网	71
二、调节池	72
第四章 垃圾渗滤液的物化处理技术	79
第一节 混凝沉淀	79
一、混凝沉淀原理	79
二、混凝剂分类	81
三、影响混凝效果的因素	81
四、混凝剂投配方法及设备	83
五、混凝沉淀的应用	89
第二节 吹脱技术	96
一、吹脱原理	97
二、影响吹脱的因素	97
三、设备及工艺过程	99
四、吹脱法的应用	102
第三节 吸 附	106
一、活性炭吸附	106
二、蒙脱石吸附	110
第四节 膜分离技术	110
一、膜分离技术	110
二、反渗透	113
三、超滤	125
第五节 化学氧化法	126
一、臭氧氧化	126
二、电解氧化法	130
三、Fenton 试剂氧化法	144

四、TiO ₂ 光催化氧化技术	147
五、高压脉冲放电技术	149
第六节 AMT 工艺技术	151
第七节 辐射法	157
第八节 蒸干技术	158
第五章 垃圾渗滤液的生物处理技术	161
第一节 厌氧生物处理技术	163
一、厌氧生物处理原理	163
二、厌氧生物处理技术的特点	164
三、厌氧反应器发展的经历	164
第二节 厌氧生物处理技术的类型	165
一、厌氧生物滤池	165
二、上流式厌氧滤池 (Anaerobic Filter, AF)	170
三、上流式厌氧污泥床反应器 (UASB)	172
四、厌氧折流板反应器 (ABR)	179
五、厌氧序批式反应器 (ASBR)	184
六、厌氧复合床反应器 (UASBF)	186
七、EGSB 反应器	190
八、水解酸化	191
第三节 好氧处理生物技术	205
一、好氧生物处理技术原理	205
二、好氧生物处理对废水水质的要求	206
三、好氧生物处理和厌氧生物处理的区别	207
第四节 常用的好氧生物处理技术	208
一、活性污泥法	208
二、PACT 活性污泥法	217
三、生物转盘	219
四、氧化沟	226
五、SBR 工艺	240
六、序批式生物膜反应器 (SBBR)	255
七、CASS 工艺	258
八、膜生物反应器污水处理技术	271
第五节 稳定塘处理技术	292
一、稳定塘	292
二、稳定塘的特点	292
三、稳定塘的分类	293
四、稳定塘对污水的净化作用	294
五、稳定塘生态系统	295

六、稳定塘净化过程的影响因素	299
七、好氧塘	300
八、厌氧塘	303
九、曝气塘	305
十、兼性塘	307
十一、应用实例	309
第六节 其他生物处理方法	309
一、土地处理法	309
二、木屑-微生物系统	312
三、新技术	312
第七节 组合处理工艺	313
存在的问题	318
第六章 垃圾渗滤液土地处理技术	322
第一节 垃圾渗滤液回灌处理技术	322
一、垃圾渗滤液回灌技术的发展及特点	323
二、垃圾渗滤液回灌的工艺流程	326
三、垃圾渗滤液回灌系统的设计	330
四、垃圾填埋场渗滤液回灌效果的理论研究	332
五、垃圾渗滤液回灌系统的应用	336
第二节 垃圾渗滤液人工湿地处理技术	340
一、人工湿地处理技术	341
二、人工湿地处理系统的设计	349
三、人工湿地处理系统的应用实例	352
第七章 垃圾渗滤液脱氮技术	356
第一节 渗滤液中的氮	356
一、渗滤液中氮的形态及基本特性	356
二、水体中氮的危害	359
三、渗滤液中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的特性及其衰减规律	360
第二节 渗滤液物化脱氮技术	362
一、空气吹脱法	363
二、折点氯化法	368
三、离子交换法	371
四、化学中和法	374
五、化学沉淀法	375
六、乳化液膜分离	378
七、超声波吹脱	381
第三节 渗滤液生物脱氮技术	385

一、废水生物脱氮原理	385
二、生物脱氮的影响因素	403
三、生物脱氮工艺	408
四、生物脱氮技术的新进展	419
第四节 生物脱氮新技术	421
一、短程硝化反硝化	421
二、同时硝化反硝化 (SND)	427
三、厌氧氨氧化	436
四、好氧反氨化脱氮技术	453
 第八章 垃圾渗滤液处理工程实例	 456
一、重庆长生桥垃圾填埋场渗滤液处理工程	456
二、浙江省诸暨市垃圾填埋场渗滤液处理工程	460
三、沈阳老虎冲生活垃圾填埋场渗滤液处理工程	464
四、南京市江宁区东善乡某垃圾场的垃圾渗滤液处理工程	467
五、某市垃圾卫生填埋场渗滤液处理工程	470
六、中山市老虎坑垃圾填埋场渗滤液处理工程	474
七、宁波市布阵岭 (枫林) 垃圾焚烧厂渗滤液处理工程	475
八、贵阳高雁城市生活垃圾填埋场渗滤液处理工程	476
九、江西某市垃圾填埋场渗滤液处理工程	479
十、三峡库区向家湾垃圾填埋场渗滤液处理工程	481
十一、北京六里屯垃圾卫生填埋场渗滤液处理工程	485
十二、泉州市生活垃圾卫生填埋场渗滤液处理工程	486
十三、杭州市天子岭废弃物处理总场渗滤液处理工程	488
十四、上海松江生活垃圾卫生填埋场渗滤液处理工程	490
十五、嵊州市垃圾卫生填埋场渗滤液处理工程	492
十六、北京安定垃圾卫生填埋场渗滤液处理工程	494
十七、某市垃圾卫生填埋场渗滤液处理工程	497
十八、天津市滨海新区汉沽垃圾处理场渗滤液处理工程	500
 参考文献	 504

第一章 绪 论

改革开放以来,我国经济持续高速增长,城市化进程发展迅速。随着我国城市数量的增加、规模的扩大和人口的增多,城市垃圾也相应的迅速增长。自 1979 年以来,我国的城市垃圾的年平均增长率达 8.98%,由 1980 年的 3 132 万 t 猛增至 1995 年的 10 748 万 t。我国城市人口约 2.1 亿,城市居民生活垃圾产出量大,人均年产垃圾约达 440 kg。据统计表明,目前我国每年的城市垃圾生产量达到 1.5 亿 t,并正以每年约 9% 的速度递增,未经处理堆积下来的垃圾量已达到 70 亿 t,侵占土地 8 亿多 m^2 。全国每年仍有 5 600 万 t 的城市垃圾露天堆放在郊区,2/3 的城市陷入生活垃圾包围之中。全国 5 000 多个大小开发区大多存在着严重的垃圾污染问题。垃圾填埋场和加油站被人们称为“地球的两颗毒瘤”。现代医学发现,人的疾病 80% 与水有关。垃圾、污水、农药类、石油类等废弃物中的难降解有毒物,很容易通过地下水直接进入食物链系统,当食物链上游的动植物食品或地下水直接进入人体后,就会使人体罹患癌症。

对全国 298 个城市的调查结果表明,不适当的处理和处置城市垃圾,不仅造成了严重的环境卫生的恶化,且要占用大量的土地。据粗略估计,城市垃圾一年要占用土地 266.7 hm^2 (4 000 亩) 以上,若考虑增长及累积因素,则城市固体废弃物将以每 10 年占地 3 067 hm^2 (4.6×10^4 亩) 的速度增加。因此,我国政府部门及各地环境卫生和环境保护专家相继进行了城市垃圾的处理(置)和污染控制技术的研究与开发。

为了消除垃圾对环境的恶劣影响,常采用焚烧、堆肥、填埋和综合利用等方法对垃圾进行处理。垃圾填埋因技术成熟、处理费用低、管理和运输方便而被广泛使用。垃圾填埋产生的垃圾渗滤液水质极其恶劣,对水体能够产生严重污染,为了防止垃圾渗滤液污染水体,美国、英国等国家对垃圾填埋提出了严格技术要求。认识渗滤液的危害程度、提出对策、采取措施,防止其产生二次污染对保护环境非常重要。我国在 1989 年颁布了《城市生活垃圾卫生填埋技术标准》(GJJ 17—1988),但是对垃圾渗滤液的处理无具体规定;同时因为垃圾渗滤液水质变化范围极大,各种污染物浓度高,因此垃圾渗滤液的处理一直是一个世界性的难题。虽然各国开展研究的时间已较长,但迄今尚无比较切实有效的处理方法。因而我们应更加努力,科学地去解决这一世界性难题,为改善人类生存环境作出应有的贡献。

国务院发布了《国务院关于落实科学发展观加强环境保护的决定》。该《决定》确定了“以饮水安全和重点流域治理为重点,加强水污染防治;以强化污染防治为重点,加强城市环境保护”等 7 项重点任务。这意味着我国将新建一大批生活垃圾卫生填埋场,伴随着新一轮垃圾填埋场建设高峰,垃圾渗滤液处理过程中的问题也随之暴露出来,并且将越来越受到社会的关注和重视。

第一节 垃圾渗滤液的危害

垃圾渗滤液，又称渗沥水或浸出液，是指垃圾在堆放和填埋过程中由于发酵和降水的冲刷，地表水和地下水的浸泡而渗出来的污水，渗滤液的来源及相关影响因素表明：渗滤液的主要来源是降水和垃圾本身含水量，因而渗滤液的产生随季节变化较大。

一、垃圾渗滤液的产生与组成

1. 垃圾渗滤液的产生

随着我国城市垃圾产生量的不断增加，无害化处理越来越重要。垃圾处理的方法有很多，有卫生填埋、堆肥、焚烧、厌氧发酵、热解等。我国垃圾无机成分含量高，可燃物质少，热值低，且垃圾填埋技术成熟、处理费用低、管理和运输方便，这些特点就决定了卫生填埋是我国处理垃圾的主要方式。卫生填埋，它不仅是我国现今垃圾处理的主要方式，还将在今后很长的时间内存在。卫生填埋存在一个很关键的问题，即垃圾渗滤液的收集和处理问题。垃圾在堆放和填埋过程中由于压实、发酵和降水渗流作用，会产生一种高浓度的有机废水，我们称之为垃圾渗滤液。垃圾填埋后，在微生物的作用下，垃圾中的有机物经过好氧反应和厌氧反应产生降解，其反应可分别用下式表示：



垃圾降解后生成的无机物以及垃圾中的可溶污染物，大量进入垃圾渗滤液中，这就使渗滤液中污染物含量极高。产生垃圾渗滤液的同时，垃圾中的病原微生物也会在雨水的淋溶作用下进入垃圾渗滤液。垃圾降解产生的 CO_2 溶于垃圾渗滤液以后使垃圾渗滤液偏酸性，这种酸性环境使得垃圾中不溶于水的碳酸盐、金属及其金属氧化物等无机物发生溶解，继而使垃圾渗滤液中含有种类繁多且含量超标的重金属类物质。垃圾渗滤液的高浓度有机污染物和还原态金属的渗滤液进入地表水体后，将大量消耗水中的氧气，最终导致水体需氧生物的死亡，使水质恶化，造成严重的环境污染。地下水一旦被垃圾渗滤液污染，将在以后很长时间内不能作为饮用水源。此外，渗液中的重金属污染也是一个严重而又难以有效解决的问题。所以，为保护环境，对垃圾渗滤液的处理是必不可少的，同时它也是垃圾填埋场正常运行的必不可少的条件之一。

2. 垃圾渗滤液的组成

垃圾渗滤液的组成十分复杂，表 1-1 列出了我国部分城市的垃圾渗滤液水质情况。

此外，经发射光谱定性分析，垃圾渗滤液中检测到的金属有：Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、Hg、Na、Mg、Ca、K、Si、B、Sn、Al、Ti、Ag、Bi、Pd、Gd、Ni、Mn、Co、Hf、Sc、

V、Rb 26 种。

表 1-1 我国部分城市垃圾渗滤液水质

单位: mg/L (pH 除外)

项目	色度	pH	COD _{Cr}	BOD ₅	BOD ₅ / COD	SS	NH ₃ -N	TP	Cl ⁻
上海	—	5.0~6.0	1 500~8 000	200~4 000	0.2~0.5	30~500	60~450	—	—
杭州	—	6.0~6.5	1 000~6 000	400~5 000	0.4~0.8	60~650	50~500	—	—
广州	—	6.5~7.8	1 400~10 000	400~2 500	0.3	200~600	130~600	0~130	—
深圳	—	6.2~9.5	3 000~60 000	1 000~36 000	0.3~0.6	100~600	400~1 500	30	—
中山	—	—	4 800	1 520	0.3	—	2 070	—	—
南昌	—	6.0~7.0	3 785~12 000	1 900~7 030	0.5~0.6	100~6 000	200~300	—	—
绍兴	—	6.5~8.0	5 050~5 850	2 970~3 100	0.5~0.6	350~400	750~800	20	—
成都	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(长安)	150~350	8.1~8.5	3 360~24 000	1 240~12 000	0.4~0.5	500~6 300	1 920~3 300	2.8~17	1 400~4 000
成都	200~300	7.5~8.1	800~12 000	500~800	0.1~0.6	600~22 000	770~3 200	—	—
(洪河)	500~1 000	—	1 000~2 290	240~360	0.2	17~30	13~80	2.6~4.6	2 100~2 290
德阳	—	—	—	—	—	—	—	—	—
乐山	750~850	8.3	4 560	150	0.03	—	460	0.8~1.0	—
南充	500	8.0	7 100	690	0.1	310	660	6.8	—
雅安	600	11.0	4 850~5 300	2 200~2 400	0.5	—	330~410	—	—

用原子吸收分光光度法定量分析某填埋场渗滤液, 金属含量分别为: Cu 0.2 mg/L、Zn 0.2 mg/L、Pb 0.2 mg/L、Cr 1.0 mg/L、Cd 0.88 mg/L、无机汞 0.2 mg/L、有机汞 1.4 mg/L。

采用 GC-MS-DS 技术已在长春市和广州市垃圾渗滤液中分别检出有机污染物 99 种和 77 种, 其中主要有机物有萘、蒽、芘、荧蒽、苊、茚、1-甲基萘、1, 5-二甲基萘、3-甲基-氮茚、二甲基苯、十五烷、十六烷、乙醇、3-戊烯-乙醇、对甲酚、氯苯、二氯苯、PCBs、己烷、甲胺、乙胺、环己酰胺、脲、苯乙酸等。

据长期对不同垃圾填埋场渗滤液的监测可知, 垃圾渗滤液的来源使得垃圾渗滤液的水质具有与城市污水不同的特点:

- (1) 有机物浓度高 垃圾渗滤液中的 BOD₅ 和 COD 浓度最高可达几万毫克每升, 主要是在酸性发酵阶段产生, pH 达到或略低于 7, BOD₅ 和 COD 比值为 0.5~0.6。
- (2) 金属含量高 垃圾渗滤液中含有十多种金属离子, 其中铁和锌在酸性发酵阶段较高, 铁的浓度可达 2 000 mg/L 左右, 锌的浓度可达 130 mg/L 左右。
- (3) 水质变化大 垃圾渗滤液的水质取决于填埋场的构造方式、垃圾的种类、质量、数量以及填埋年数的长短, 其中构造方式是最主要的。
- (4) 氨氮含量高 垃圾渗滤液中的氨氮浓度随着垃圾填埋年数的增加而增加, 氨氮浓度过高时, 会影响微生物的活性, 降低生物处理的效果。
- (5) 营养元素比例失调 对于生化处理, 污水中适宜的营养元素比例是 BOD₅: N: P=100: 5: 1, 而一般的垃圾渗滤液中的 BOD₅/P 大都大于 300, 与微生物所需的磷元素相差较大。

(6) 其他特点 渗滤液在进行生化处理时会产生大量泡沫,不利于处理系统正常运行。由于渗滤液中含有较多难降解有机物,一般在生化处理后,COD 浓度仍在 500~2 000 mg/L 范围内。

二、垃圾渗滤液的污染

垃圾渗滤液是一种高浓度污水,一般呈黑褐色,含有大量的有机污染物。张兰英等人采用色谱—质谱联用技术鉴定出长春市的垃圾渗滤液中有 93 种有机污染物,多为芳烃、杂环化合物、卤代物、烷烃、烯烃、醇、酚、醛、酮、羧酸、酯类、胺及酰胺类等,其中 22 种被列入我国和美国 EPA 环境优先控制污染物的黑名单。同时垃圾渗滤液还溶解和携带有氨氮、细菌、病毒以及重金属离子等污染物,如果不加处理,必将对受纳水体和周围环境造成恶劣的影响。西安市江村沟垃圾填埋场 1994 年 11 月建成并投产,由于一期工程未建设污水处理厂,填埋场产生的垃圾渗滤液严重污染了下游的环境。在经过 3 年的使用后,该填埋场下游的地表水从原来的Ⅱ类水质,变成Ⅴ类以上水质;地下水除一个采样点满足Ⅲ类水质外,其余几个采样点为Ⅳ或Ⅴ类水质;土壤中 Hg 的含量增加了 2 倍以上。上海黄浦江上游港口段,近年检测水质时发现水中氨氮和硝酸盐的含量明显增高,原因是位于该江段距江堤不足 200 m 的地方有一个三林塘垃圾填埋场,其垃圾渗滤液不停地流入江中。

由此可见,垃圾渗滤液由于含有大量的污染物,必将严重地污染周边环境,不仅污染地下水、地表水源和土壤,危及周边动植物的生存,更威胁到广大人民群众的身体健康。因此必须对垃圾渗滤液进行有效的处理,将其对环境的影响降至最低。具体垃圾渗滤液的污染表现如下。

1. 恶臭污染

垃圾渗滤液中存在大量碳水化合物和含氮有机物质,溶解氧不足,处于厌氧或兼性厌氧环境,会形成多种恶臭物质,如甲烷、氨、硫醇、硫化氢等。因发臭团的不同而臭气各异,如:腐败的鱼臭(胺类)、烂圆白菜臭(硫醇类)、腐卵臭(硫化氢)、刺激臭(氨、醛类)。渗滤液多属有机质,在厌氧条件下的腐败发臭,属综合性发臭,有明显的阴沟臭。一般可用污染指数=氨氮实测值(mg/h)/(溶解氧饱和率+0.4)表示黑臭的标志,经试验研究,垃圾的污染指数大于等于 5 为发生黑臭,具体的臭强度等级见表 1-2。

表 1-2 臭强度等级

等级	强度	说明
0	无	无任何气体
1	勉强感到臭味	一般饮用者难以察觉,嗅觉敏感者可以察觉
2	易感到微臭味	一般饮用者刚能察觉
3	明显感到臭味	已能明显察觉,不处理,不能饮用
4	较强臭味	有很明显的臭味
5	强烈臭味	有强烈的恶臭

2. 需氧有机物的污染

有机污染状况可利用有机污染综合评价值来进行评价，有机污染综合评价值（A）可以定义如下：

$$A=BOD_j/BOD_0+ COD_j/COD_0+ (NH_3-N)_j / (NH_3-N)_0 -DO_j/DO_0$$

式中：BOD_j、COD_j、(NH₃-N)_j和DO_j都为实测值；
BOD₀、COD₀、(NH₃-N)₀和DO₀都为标准值 [BOD₀为4 mg/L，COD₀为6 mg/L，(NH₃-N)₀为1 mg/L，DO₀为4 mg/L] 。

垃圾渗滤液的主要污染为需氧有机物的污染，它能提供微生物所需的营养物质，并易于在生物化学作用下分解，分解时消耗水中溶解氧，故称需氧有机物。需氧有机物由于造成水体缺氧，对水生生物中鱼类危害很严重。另外当水中溶解氧消失，厌氧细菌繁殖，形成厌氧分解，发生黑臭，同时放出甲烷（CH₄）、硫化氢（H₂S）、氨（NH₃）等有害气体。一般新鲜垃圾渗滤液的A值均大于4，污染程度为5级以上。

3. 病原微生物的污染

受病原微生物污染后的水体（特别是医院垃圾）微生物激增，其中许多是致病菌，病虫卵和病毒，它们往往和其他细菌、大肠杆菌共存，所以通常规定用细菌总数和大肠杆菌菌群数为病原微生物污染的间接指标。据研究，高温发酵后垃圾渗滤液中大肠菌群数偏低，其余垃圾渗滤液中均偏高，同时垃圾渗滤液是含有大量病原微生物与病毒的液体，对人体健康有害。国外某垃圾填埋场对其渗滤液的毒性测试结果见表1-3。

表 1-3 国外某垃圾填埋场渗滤液毒性测试结果

测试项目	预处理	毒性值	测试过程中的溶解
微生物分析	不过滤	5 min, EC ₅₀ =14	氧范围/（mg/L）4.0
发光菌属: <i>phosphoreum</i>	过滤	5 min, EC ₅₀ =17	
藻类分析	过滤	1<EC ₅₀ <10	
月牙藻属: <i>capricornutum</i>			
微无脊椎动物分析	不过滤	48 LC ₅₀ =62~66	4.8~7.4
水藻属: <i>magna</i>		1 LC ₅₀ =37	4.8~7.4
鱼类分析		96 LC ₅₅ =100	5.0~8.3
<i>Pimephales</i> 属: <i>promelas</i>	过滤	96 LC ₁₅ =100	4.0~7.9

4. 垃圾渗滤液对地下水的污染

垃圾渗滤液属高浓度有机废水，由于浓度高，渗滤持续时间长，对周围地下水和地表水均会造成严重的污染。一个不合格的垃圾填埋场，就是一个巨大的污染源，其污染持续时间可以长达数十年，甚至上百年。一旦地下水源和周围土壤被其污染，人工方法实施再净化，技术上将非常困难，费用也极其昂贵，难以实施。从而严重威胁生活和生产。国内外有关垃圾渗滤液污染地下水和取水水源地的事件屡有发生，如 20 世纪 40 年

代发生在美国的腊夫运河事件，当时胡克化学公司把一个废弃的水电运河作为倾倒废物的场所，倾倒有害废物 2 万多 t，加上附近地区倾倒的废物，总量达 3 亿多 t。由于堆放场所产生的污染物向地下水迁移，进入该区的饮用水系统，几十年来，人们由于饮用该区的水而中毒、致癌。根据 1977 年资料，美国共有 18 500 个垃圾填埋场，几乎有一半对水体产生了污染。再如加拿大的蒙克顿，早在 20 世纪 40 年代就在城市附近河边设垃圾填埋场。近年来的调查研究发现，垃圾中大量的有机污染物和无机污染物通过降水渗滤，进入周围地下水和河流，河水遭到严重污染，其硬度、氟化物、砷、铬、钴的含量远远超过生活饮用水标准，迫使自来水厂不得不到更远的河流上游取水。我国兰州东盆地雁滩水源地因垃圾渗滤液污染而废弃，西盆地马滩水源地部分水井也因此而报废；澳门与珠海市交界处的茂盛围因澳门垃圾渗滤液污染，当地河流鱼虾绝迹，农田失收。在上海黄浦江上游的港口段，曾是水质较好的江段之一，但近十多年来，由于在离该段不足 200 m 处建设了上海最大的垃圾填埋场之一的三林塘垃圾场，渗滤液流入江中，尤其是在雨季，雨水洗淋垃圾层后随同渗滤液汇入江中，对该段的水造成了极大的污染。又如哈尔滨市韩家洼子垃圾堆放场，由于露天不卫生堆放，监测表明对地下水造成严重污染：地下水的浊度、色度、各种重金属及细菌等已远超过地下水水源及饮用水水质标准，其中地下水中含汞量超标达 29 倍，大肠杆菌超标 40 倍。

5. 垃圾渗滤液对土壤的污染

土壤污染，是指人类活动产生的污染物质，通过各种途径进入土壤，其数量和速度超过了土壤净化作用的速度，破坏了自然动态平衡，使污染物质的积累过程逐渐占据优势，从而导致土壤正常功能的失调，土壤质量下降，影响到农作物的生长发育，使农作物的产量和质量下降。同时土壤污染还包括土壤污染物的迁移转化，引起大气或水体的污染，最终影响到人类的健康甚至生命安全。

垃圾对土壤的污染，通常由垃圾填埋和垃圾散布施用两种途径产生。而垃圾堆放对土壤的污染主要是通过垃圾渗滤液渗入土层所致。渗滤液污染物在土壤中产生一系列物理、化学和生物作用，如过滤、吸附、沉淀或通过土壤孔隙水携带迁移。一般情况下，潜水位以下饱和水带中，土壤与地下水污染范围大体一致，但在潜水位以上，一般由于地下水不饱和，土壤中的污染范围相对稍小一些。

对北京郊区某垃圾填埋场周围不同距离处表层土壤的基本理化性状进行测定，结果见表 1-4。

表 1-4 北京郊区某垃圾填埋场周围不同距离处表层土壤的基本理化性状

与垃圾填埋场距离/m	pH	总氮/%	总磷/%	速效钾/(mg/kg)	有机质/%	电导率/(μ s/cm)
1	7.38	0.43	0.092	234.0	8.49	241.5
10	7.66	0.22	0.060	123.5	5.24	186.6
20	7.83	0.18	0.058	102.3	3.85	176.2
50	8.07	0.20	0.042	115.4	3.64	158.8
100	8.14	0.17	0.046	89.0	2.63	170.1
200	8.11	0.15	0.032	95.9	2.74	138.6
对照	8.09	0.09	0.038	78.8	1.49	155.2

由表 1-4 可见,受垃圾渗滤液的侵蚀影响,垃圾填埋场周围土壤的各种理化性状都有不同程度的变化。土壤 pH 对土壤中的物质迁移转化有着重要的影响,由于该垃圾场场龄较短,渗滤液偏酸性(pH 5.6~6.3),因而周围土壤在偏酸性污水的长期浸泡、淋洗下,土壤 pH 有下降的趋势。这是由于垃圾渗滤液本身就偏酸性,而且渗滤液中的有机物含量很高,入渗土壤后提高了土壤的有机质,增加了土壤微生物的活性,促进了土壤有机质的分解,而有机质分解的产物中有低分子量的有机酸,从而使土壤的 pH 大大下降。其中离垃圾填埋场最近的土壤 pH 与对照区相比下降了 0.73,变化幅度较大,较远距离的土壤 pH 也有不同程度的变化,但变化不大。分析原因可能是因为北方土壤本身呈碱性,而渗滤液的酸性又不强,因而离垃圾填埋场较远的土壤,受渗滤液影响较小,酸度降低不明显。

受渗滤液的影响,垃圾填埋场周围土壤养分含量明显提高,其中增幅较大的是土壤的总氮含量和有机质。离填埋场不同距离处土壤的总氮含量和有机质与对照区土壤比较都有显著提高,特别是距堆体最近 1 m 处的土壤其有机质和总氮含量,是对照土壤的 5.7 倍和 4.8 倍,增幅很大。此外,垃圾区土壤总磷、速效钾及电导率等理化性质都受到了垃圾渗滤液的影响。

从表 1-4 还可以看出,随着离垃圾堆体距离的增大,土壤各养分含量都呈下降趋势,这说明在毫无防渗措施的垃圾堆放场,垃圾渗滤液对周围土壤确实存在侧渗作用,离堆体越近渗滤液对土壤的浸渗效果就越明显。试验结果表明,在该垃圾填埋场以垃圾堆体为圆心半径 200 m 的范围内,土壤都已受到垃圾渗滤液不同程度的影响。虽然土壤养分含量的增高有利于土壤的培肥保肥,但在垃圾堆放区由于土壤 pH 降低和有机质增加等变化会导致土壤中重金属溶解趋势的增强,因而潜在的土壤以及地下水的重金属污染不容忽视。

夏立江等通过试验研究了渗滤液对土壤铁、锰有效性及地下水质的影响,试验结果表明:受垃圾渗滤液的影响,垃圾场周边土壤有机物含量增加,随土壤有机物含量增加,土壤中有效态的铁、锰含量增大。垃圾场周边土壤中渗滤液有机物和金属铁、锰共存时,大量的有机物质能活化土壤中的铁、锰,增加其有效性,增强其在土壤中的迁移能力,从而造成垃圾场地下水较严重的铁锰污染。

三、垃圾渗滤液的危害

渗滤液处理是卫生填埋场的最后一道环节,如果不高标准严要求,不仅对周围环境带来不可估量的污染和危害,对人体健康带来威胁,同时也使卫生填埋丧失原有的意义。渗滤液一旦进入环境,再先进的技术都将回天无力。

渗滤液污染物的浓度很高,相当于普通市政污水的一两百倍。一个日填埋 1500 t 的垃圾填埋场产生的渗滤液,其污染物大致相当于一座十几万人口的中小城镇的生活污水。全国渗滤液的污染排放量约占年总排污量的 1.6%,以化学耗氧量核算却占到 5.27%,可见,垃圾渗滤液排放量虽小,但污染“威力”却不可小视。

据测定,渗滤液中含有 93 种有机污染物,其中有 22 种已被列入我国和美国国家环保署的重点控制名单,一种可直接致癌,5 种可诱发致癌;除此之外还含有多种高浓度的

重金属、盐类和多种病原微生物，没经过严格处理或处理不达标的渗滤液，会对周围的地下水、地表水、土壤及生态环境带来严重的污染和危害。而且渗滤液的成分组成，会随着填埋时间的延长发生很大的变化，更对处理工艺的选择增加了难度。

据环境医学和环境生物学理论分析，环境中的有毒有机物及汞、镉、铅、铬、铜、镍等重金属类污染物，经过呼吸道、消化系统、皮肤等途径被人或动物吸收后，有些与体内黏液中的有机分子结合成络合物附着在体壁上，能阻碍氧和二氧化碳的交换，抑制细胞的生长发育，破坏细胞内含物，降低酶类活性，从而引起急慢性中毒，致使细胞畸变，或引发癌变，以致死亡。

当有些重金属在饮用水中的含量达到百万分之一的浓度时，就会使肝、肺、心脏等发生病变。比如，重金属镉在人体内能致使肝肾发生癌变，使动脉血压升高；甲基汞能使脑和神经细胞的核糖核酸减少，并分裂成碎片而死亡；重金属铅会影响青少年儿童的智商和身高；石油类中的碳氢化合物、酸性类、铅类重金属毒性较大，其中芳香烃是一类有毒物和致癌物质，影响肝、肾、心血管系统等。因此，有毒物是人体发生畸变、癌变类怪病的直接元凶。尤其是那些难以降解的有毒物质，会在其迁移途径中在人体内不断积累，使人体发病机会逐渐增多。

1. 重金属的危害

重金属污染物主要有 Hg、Cd、Cr、Pb 和 As。渗滤液中含量超标的 Hg、Cd、Cr、Pb、As 等一旦进入水体，将会产生水体重金属污染。这些重金属对人体的危害主要有：汞能危害人体神经系统、心脏、肾脏、胃肠道；镉则引起人体“骨痛病”；铬有六价铬和三价铬，其中六价铬毒性是三价铬的 100 倍，对中枢神经有毒害作用；铅在人体组织中富集，会影响神经的正常功能，砷中毒则表现为肝、胃炎症多发性神经类，皮肤和指甲病变。

2. 阴离子的危害

渗滤液中含有一定量的亚硝酸和硝酸离子 (NO_2^- 和 NO_3^-)。 NO_2^- 对人体的最大危害在于引发癌症； NO_3^- 虽对人体无直接危害，但可转化为 NO_2^- ，间接对人体产生危害。

3. 有机化合物的危害

在生活垃圾填埋时，溶入地下水的有机物会导致地下水缺氧，此时溶入地下水的铁和盐易被转化成 NO_2^- 和 NO_3^- ，从而导致阴离子污染。

4. 微生物的危害

渗滤液中的碳水化合物、蛋白质、油脂等有机物为各种细菌、病菌、病毒和寄生虫的繁殖创造了条件，从而使水质进一步恶化。

“垃圾渗滤液”对一般人来说显得有些陌生，因为这是一股潜伏的浊流，因而很多时候它都被人们忽略了。然而垃圾渗滤液并没因人们的忽视就变得无足轻重，大量分析数据时刻提醒着我们，垃圾渗滤液将成为污染地表水、地下水、土壤和生态环境的罪魁祸首。

我们先来看看发生在我们身边的几则污染事故：

事故一:

黑龙江齐齐哈尔的垃圾污染,摧毁这个在 10 年前曾是经济生产总值高达亿元的小康村。

4 年前向阳村村内兴建首个垃圾场,不断倾倒城市垃圾,严重污染空气和饮用水,令该村臭气冲天、蚊蝇乱飞的垃圾村。迄今已有近 30 人相继患上肺结核、肺炎等呼吸系统疾病。据向阳村委会不完全的统计,近年与垃圾为邻的村民健康每况愈下,患肺结核的 13 人,癌症和肝炎的 16 人,死于上述疾病有 9 人。村委会副主任袁玉洪表示:“37 户人家,一年死了 6 个。”

调查污染原因,发现污染有二,首先是近年来倾倒的垃圾总量已超过百万立方米,未经无害化和防渗漏处理;其次是村内西侧地势低洼,每年有大量城市污水排放到此。经水质化验显示,地下水的水浊度、臭味、铁、锰等严重超标,达不到饮用水标准,邻近垃圾场的池塘水也变成绿水。

事故二:

南京市江宁区麒麟镇窦村始建于南北朝时期。村中依山傍水,风景宜人。

村民们说,“自从 1992 年一公里外轿子山建成垃圾场后,过去的山清水秀就渐渐没了。”村中间有一口古井,井水呈墨绿色,井旁有 2 口大水池,水同样是墨绿色。村民到池边洗衣,都戴着皮手套,“水有毒,不戴手套,皮肤会痒”。村里多数人家院子都有口水井,但井口几乎全被铁皮或水泥盖封住。“几年前就不用了,怕污染啊。”村民龙师傅说,“垃圾场建成几年后,村民们都不敢用井水了,据说是地下水被污染,后来给每家每户装了自来水。”

村委会工作人员说,窦村现有农田 60 hm^2 (900 多亩),因为地下水污染,收割的粮食成黑色。“这些米一般不出售,只能用来喂猪,自己吃到外面买。”村民们告诉记者,他们下田插秧,皮肤与水接触后,又红又痒。村里几十亩鱼塘也因为污染而无法养鱼。

“垃圾的危害近几年开始显现。”窦村村委会潘书记说,“其中最大的,就是窦村人口首次出现负增长趋势,患癌症死亡的村民开始增多,而且越来越年轻。”村委会工作人员给了记者一份统计数据,垃圾场建成前,窦村有人 2 237 人,如今只有 1 949 人,迁入迁出人数基本持平。“死亡高峰主要出现在最近几年,而且是一年比一年多。去年因病死亡 16 人,今年到目前为止已死了 19 人。”村委会陆会计说,近几年的死亡人员中,患癌症的占了 99%,其中以肺癌、胃癌、食道癌居多。“而且死者越来越年轻,以前都是 60 岁以上的老人,这几年开始有年轻人,并逐年增多。今年死者最小的只有 33 岁。”村民梁师傅说,“在我 50 多年的记忆中,还是第一次见到这么多生怪病死的。以前村里也死人,但都是正常的老死。”

事故三:

全国人大代表、福建众和股份有限公司董事长、总经理许金和在接受记者采访时,出示了一份“生活环境污染清单”。这份清单列举了一个个与生活环境污染相关的数字,令人触目惊心:

日益增多的垃圾产生大量的二次污染。福州红庙岭垃圾处理厂由于渗滤液处理不过关,大量的垃圾严重污染了周围的土地和水源,致使近 26.66 hm^2 (400 亩) 水稻等农作物颗粒无收,2 600 多村民生活面临威胁。福建平潭县澳仔村有一个垃圾场,由于都是简易堆放,