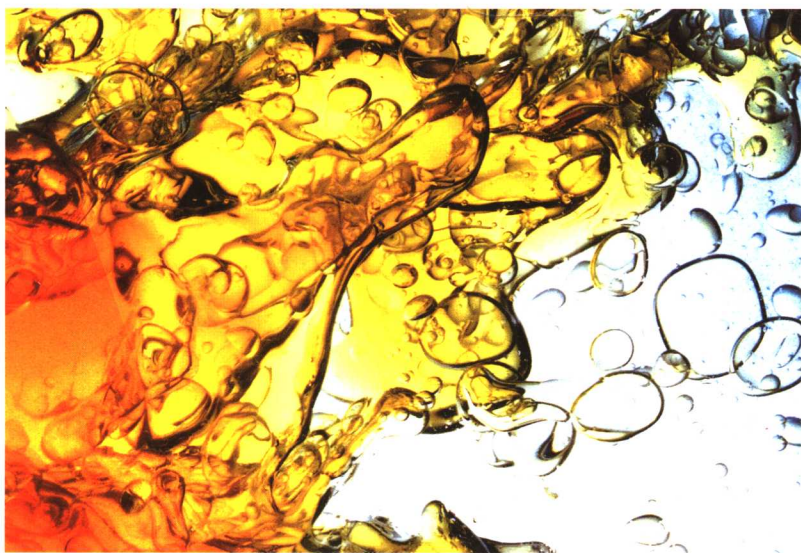


渗滤液处理处置技术 及工程实例

楼紫阳 赵由才 张 全 编著



Chemical Industry Press



化学工业出版社

X705

40

渗滤液处理处置技术 及工程实例

楼紫阳 赵由才 张 全 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书较为系统地总结了国内外有关渗滤液的研究现状以及取得的成果。内容包括渗滤液的由来、产生的影响因素,渗滤液的宏观、微观多相性质,渗滤液的毒性,渗滤液的常规处理方法以及各自的优缺点,最后,结合作者十多年的研究成果,对矿化垃圾生物反应床以及亚滤技术处理渗滤液的特点给予简要的介绍。本书基本囊括了国内外研究渗滤液的一手资料,可供从事填埋场技术与管理工作的有关人员、大中专师生、环境保护工作者参考,也可作为有关人员的专业培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

渗滤液处理处置技术及工程实例/楼紫阳,赵由才,
张全编著. —北京:化学工业出版社,2006.8
ISBN 978-7-5025-9222-6

I. 渗… II. ①楼…②赵…③张… III. 垃圾处
理 IV. X705

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第100540号

渗滤液处理处置技术及工程实例

楼紫阳 赵由才 张全 编著

责任编辑:董琳 管德存

责任校对:周梦华

封面设计:史利平

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码100029)

购书咨询 (010)64982530

(010)64918013

购书传真 (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市万龙印装有限公司装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 21 $\frac{3}{4}$ 字数 567千字

2007年1月第1版 2007年1月北京第1次印刷

ISBN 978-7-5025-9222-6

定 价: 58.00元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

随着我国城市化进程的加快,城镇数目不断增加,城市规模日益扩大(我国现有建制市668座,包括县城在内的中小城镇则达3万多座),人口也急剧增长,直接导致城镇生活垃圾大幅度增长,而垃圾处理设施、处理资金却面临很大的缺口,呈现垃圾包围城市的局面。垃圾问题已成为制约我国城镇发展的重要因素。

作为垃圾处理过程的副产品,渗滤液问题已严重影响我国垃圾处理事业的健康发展。现有的垃圾处理设施中,包括填埋场、焚烧场、垃圾中转站、堆场以及堆肥场都将产生大量的渗滤液。目前我国城市生活垃圾的新鲜渗滤液年产量约2900万吨,可控点源排放的渗滤液为1515万吨,如果加上填埋场/堆场历年垃圾产生的渗滤液,则其年产量估计为新鲜渗滤液的数倍,而1t渗滤液约相当于100t城市污水所含污染物的浓度。但到目前为止,适合我国国情、符合“高效、低耗”处理标准的渗滤液处理工艺仍处于研发阶段,渗滤液问题已成为垃圾产业化进程的“瓶颈”,严重威胁了垃圾处理设施周围环境的安全及居民的健康生活。

渗滤液作为一种高浓度、多组分、易变化的污水,仅凭经验模仿一般污水的处理技术,对一些处理单元进行强化或改良,效果并不理想。经过国内外学者的长期研究,认为必须充分考虑垃圾填埋场与渗滤液的特点,首先弄清楚“什么是渗滤液”,再结合渗滤液的特点,有针对性地开发新的工艺,即用科学来指导工程的发展,才能找出解决问题的根本。因此,本书的前半部分主要论述渗滤液的性质,后半部分则主要针对现有工艺进行阐述,但要明确的是,虽然到目前为止,已发展了很多渗滤液处理工艺,但真正能够正常稳定运行的工艺还不多。

近十几年来,本课题组对渗滤液进行了较为深入的研究,特别是对渗滤液的微观性质、处理工艺等方面取得了不少研究结果。本书的不少内容融合了十多位博士、硕士研究生的研究成果,为首次公开发表。

本书较为系统地总结了国内外有关渗滤液的研究现状以及取得的成果。内容包括渗滤液的由来、产生的影响因素,渗滤液的宏观、微观多相性质,渗滤液的毒性,渗滤液的常规处理方法以及各自的优缺点,最后,结合作者十多年的研究成果,对矿化垃圾生物反应床以及亚滤技术处理渗滤液的特点给予简要的介绍。应该说,本书基本囊括了国内外研究渗滤液的第一手资料,可供从事填埋场技术与管理工作的有关人员、大中专师生、环境保护工作者参考,也可作为有关人员的专业培训教材。

参加本书编著的人员具体分工如下:魏俊、楼紫阳(第一章),楼紫阳、张全、赵由才(第二章),楼紫阳、欧远洋、赵由才(第三章),李广科、兰吉武、楼紫阳、赵由才(第四章),楼紫阳、陆鲁、郝广才(第五章),楼紫阳、刘振宇、宋玉(第六章),黄仁华、孙英杰、孙晓杰(第七章),石磊、赵由才、楼紫阳、李雄(第八章),奚旦立、陈季华(第九章),任鹤云、陆嘉泓(第十章第一节),韩亮(第十章第二节),兰吉武(第十章第三节)。刘振宇、焦钢珍参与了部分书稿的编辑工作。

由于国内外渗滤液相关资料众多,书中遗漏之处,敬请有关专家谅解;由于编者水平有

限，书中不妥之处，敬请各位专家与广大读者批评指正；如有任何问题，请与编者联系，louworld123@sina.com。

本书得到国家自然科学基金、国家“863”计划、上海市科委重大专项、教育部重大科技项目的部分资助。

编 者
2006 年 6 月

目 录

第一章 填埋场的建设标准	1	二、采样过程对渗滤液性质的影响	49
第一节 填埋场的结构	1	第四节 填埋场渗滤液水质及其变化特征	50
一、陆地填埋场和海上填埋场	1	一、填埋场中渗滤液的水质状态及变化规律	50
二、干燥地区填埋场和潮湿地区填埋场	1	二、渗漏过程渗滤液组分的变化特征	51
三、山谷型填埋、滩涂型填埋和平地型填埋	2	第三章 渗滤液性质的表征	73
四、厌氧性填埋场、好氧性填埋场、准好氧性填埋场	4	第一节 渗滤液宏观性质	73
第二节 中国城市垃圾卫生填埋场工程建设标准	5	一、渗滤液总体性质	73
一、建设规模与使用年限	5	二、老港填埋场渗滤液的宏观性质	77
二、选址过程	5	三、渗滤液宏观性质与紫外可见光谱关系	80
三、填埋场防渗	6	第二节 渗滤液中观性质	84
四、填埋场渗滤液和填埋气体处理	9	一、中观分离手段	84
五、填埋机械与设备	9	二、老港填埋场渗滤液的中观性质	85
六、填埋场建设用地、建筑标准与劳动定员	10	第三节 渗滤液微观性质	89
七、填埋场主要技术经济指标	10	一、微观渗滤液的组成	89
第三节 渗滤液收集系统	12	二、渗滤液性质研究方向	92
一、导流层	12	第四章 渗滤液毒性	94
二、收集沟和多孔收集管	13	第一节 渗滤液毒性研究概述	94
三、集水池及提升系统	14	一、环境毒理学在污染物处理中的应用	95
四、调节池	15	二、生物检测技术在环境毒理学中的应用	95
五、清污分流	15	三、渗滤液毒性研究的发展方向	98
第四节 填埋场的地址状况	15	第二节 渗滤液的植物毒效应	99
一、选址原则	15	一、渗滤液的预处理	99
二、选址步骤	16	二、垃圾渗滤液对大麦的毒效应研究	103
三、环境影响评价	22	三、渗滤液对高等植物及土壤的毒效应研究	109
第二章 渗滤液现状及其影响因素	24	第三节 渗滤液的动物毒效应	123
第一节 渗滤液现状	24	一、渗滤液尾水对鲫鱼肝脏抗氧化系统的影响	123
一、渗滤液的形成过程	24	二、渗滤液诱发小鼠骨髓微核效应过程	125
二、实际填埋场渗滤液的性质	27	第五章 渗滤液的常规生物处理方法	127
三、我国渗滤液处理现状	29	第一节 生物法概述	127
第二节 渗滤液组成与产量	30	第二节 好氧生物处理技术	128
一、渗滤液组成状况	30	一、活性污泥法	129
二、渗滤液的产量预测	37		
第三节 渗滤液性质影响因素	45		
一、渗滤液性质影响因素	45		

二、生物膜	134	二、回灌对填埋场的作用	234
三、稳定塘法	136	三、渗滤液回灌技术的作用机理	236
四、好氧生物处理优化技术	136	第三节 回灌工艺的探讨	238
第三节 厌氧生物处理工艺	140	一、对于有渗滤液处理设施的填埋场	238
一、高速厌氧反应器	141	二、对于新建填埋场的启示	238
二、厌氧固定膜生物反应器	145	三、渗滤液回灌工艺	238
三、厌氧 SBR	146	第四节 渗滤液回灌技术设计	240
四、厌氧生物滤池	148	一、调蓄池设计	241
五、稳定塘	148	二、渗滤液回灌操作注意事项	244
第四节 生物处理组合工艺	151	三、回灌残液的处理	244
一、厌氧与好氧结合方式	151	第五节 回灌实例	245
二、生物法处理技术评述	156	一、渗滤液回灌的工艺流程	245
第五节 渗滤液处理工艺	156	二、上海市废弃物老港处置场回灌实例	246
一、渗滤液的处理方案	157	三、北神树卫生填埋场的回灌措施	248
二、填埋场现行渗滤液处理工艺	160	四、美国垃圾渗滤液在填埋场中的回灌处理	249
三、渗滤液处理工艺发展历程及存在的问题	164	五、英国垃圾渗滤液在填埋场中的回灌处理	250
第六节 土地处理法	166	第八章 渗滤液的矿化垃圾生物反应床处理技术	252
一、人工湿地	167	第一节 矿化垃圾总体性质	252
二、回灌处理	170	一、矿化垃圾的形成及概念	252
第六章 渗滤液的物化处理方法	171	二、矿化垃圾的基本组成与性质	254
第一节 混凝处理技术	171	第二节 矿化垃圾生物反应床处理渗滤液原理	261
一、混凝-化学沉淀法	171	一、矿化垃圾生物反应床处理渗滤液原理分析	261
二、渗滤液处理中混凝吸附法发展方向	180	二、矿化垃圾生物反应床净化渗滤液的生物相机理研究	265
第二节 高级氧化技术	180	第三节 矿化垃圾生物反应床处理渗滤液过程	271
一、蒸发处理	181	一、矿化垃圾生物反应床渗滤液去除机理	271
二、化学氧化法	184	二、矿化垃圾生物反应床处理渗滤液影响因素研究	274
三、光催化氧化法	200	三、矿化垃圾生物反应床处理渗滤液历程	277
四、电解技术	208	第四节 矿化垃圾的开采及矿化垃圾生物反应床的构建	281
第三节 膜分离技术	213	一、矿化垃圾开采的意义和条件	281
一、膜分离技术优势	213	二、国内外填埋场的开采利用实践	284
二、现有膜技术工艺	214	三、矿化垃圾的综合利用途径	289
三、反渗透工艺介绍	217	四、矿化垃圾生物反应床设计	291
四、膜处理技术在垃圾渗滤液净化处理中的应用	227		
第七章 渗滤液回灌处理技术	230		
第一节 概述	230		
一、渗滤液回灌定义	230		
二、渗滤液回灌发展历程	230		
三、渗滤液回灌的分类	231		
第二节 渗滤液回灌技术的作用机理与特点	233		
一、渗滤液回灌的优点	233		

第九章 渗滤液尾水的亚滤深度处理技术	294	二、工艺流程及主要设计参数	321
第一节 废水深度处理技术	294	三、运行结果与处理成本	323
一、高效亚滤复合分离技术概述	294	第二节 上海浦东新区黎明生活垃圾填埋	
二、亚滤技术的基础	296	场渗滤液处理工程 (RO 系统)	324
三、亚滤设备的研制和产品开发	302	一、工程概况	324
四、亚滤膜精细分离技术的工艺原理	303	二、工艺流程	325
五、亚滤处理技术在垃圾渗滤液净化		三、运行结果与成本核算	330
处理中的应用	305	第三节 泰州市生活垃圾卫生填埋场渗滤	
第二节 纤维膜亚滤设备的研发	314	液处理工程 (膜生化 BIOMEMBRAT	
一、大通量纤维膜亚滤分离技术概述	314	处理工艺)	330
二、纤维膜材料的研究	314	一、工程概况	330
第十章 渗滤液处理工艺的工程实例	321	二、工艺流程及主要设计参数	332
第一节 松江垃圾填埋场渗滤液处理工程		三、工艺原理	335
(内置式 MBR 处理工艺)	321	四、运行结果及成本核算	335
一、工程概况	321	参考文献	336

每日被填埋的废物逐层压实，其表面于当日操作结束后用 15~30cm 厚度土壤覆盖，边坡坡度为 (2:1)~(3:1)，使形成规整的菱形单元。当填埋场全部完成填埋操作后，外表面再用 0.5~0.7m 厚的覆盖土封场，为最终场地开发利用创造一良好的表面条件。结构单元数视地形与最终利用目的而定。

沼泽与潮汐洼地、水塘与采土、采石场等可作为潮湿地卫生填埋场。这类填埋场在设计时应特别注意防止地下水的污染及填埋结构的稳定性等问题，一般需要设置地下水抽提、排泄系统与气体收集系统。潮湿地填埋场通常分隔成若干单元或贮留槽，每一单元或储留槽满足一年的填埋量。在高地下水位区，常将固体废物直接卸入水中，水下底层先填充较为清洁的废物，直至高出水面，再填埋垃圾。为使填埋结构有足够的稳定性，通常这类填埋单元或储留槽用木条、石块或城市废建筑砌块衬砌，再用清洁填料填充。为防止污染的渗滤液与臭气扩散，常用黏土类铺衬底部。

三、山谷型填埋、滩涂型填埋和平地型填埋

城市垃圾填埋场的构筑方式和填埋方式还与地形地貌有关，可以分为山谷型填埋、滩涂型填埋和平地型填埋。平地型填埋又可分为地上式和地下式（表 1-1-1）。

表 1-1-1 城市生活垃圾填埋场地理类型分类比较

类 型		地质/地形	施工难度	建设投资	防渗方式	应用情况
山谷型填埋场		复杂	较大	较低	垂直或水平、斜坡防渗	广泛应用
平地型	地下式填埋	地下水位较深	较大	较高	水平防渗	较普遍
	地上式填埋	地下水位较高	较小	较高	水平防渗	一般
滩涂型填埋场		浅海或滩涂	较大	较高	垂直或水平防渗	一般

1. 山谷型卫生填埋场

山谷型卫生填埋场是一种利用天然的沟壑、山谷对城市垃圾进行处理的方式，具有埋容量大、建设费用低等优点。这种类型填埋场的高差比一般比较大，而且地质属于稀释性与

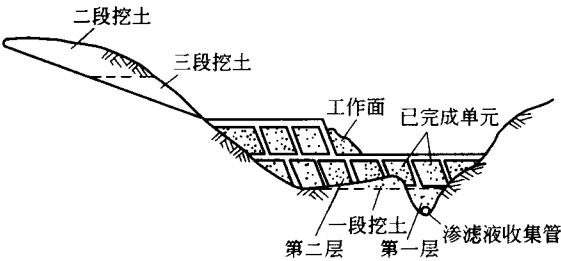


图 1-1-2 山谷型卫生填埋场断面示意

渗透性之间，同时，由于山谷大多位于地下水上游，填埋场对地下水的影响必须重点考虑，因此，雨污水的分流与导排及防渗系统的设计是此类填埋场安全运营的关键。通常做法是在山谷出口处设置一垃圾坝，在填埋场上部设置挡水坝，在填埋场四周开挖排洪沟，严格控制地表水进入填埋场。填埋场的防渗有两种办法：最简单的是采用垂直密封技术，在填埋场周围设置垂直防渗帷幕；另一种方法是采用水平基础密封和斜坡密封技术，在填埋场的底部和边坡铺设防渗衬层。山谷型卫生填埋场断面示意如图 1-1-2。目前我国的许多填埋场为这种类型，如杭州的天子岭填埋场。

2. 滩涂型卫生填埋场

滩涂主要是指位于海滩附近、经过长期冲击淤积而成的滩地。它的场地标高低于正常地面。设计此类填埋场时，首先要在规划填埋区域建造人工防渗堤坝。由于这类填埋场的地下水位较高，因此，其关键点在于地下水防渗系统的设计。上海老港废弃物填埋场就是这种类型。

3. 平原型卫生填埋场

平原型通常适用于地形比较平坦且地下水较浅的地区。一般采取高层堆放垃圾的方式，确定高于地平面的填埋高度时，必须充分考虑到作业的边坡比。填埋场顶部的面积能保证垃圾车和推铺压实机械设备的上面安全作业，但是存在覆盖土源短缺的突出问题，所以目前大量使用在填埋场的底部开挖基坑的方法来保证覆盖土供应的办法。北京的阿苏卫填埋场属此类型。

(1) 地上式填埋 如图 1-1-3 所示，地上式填埋场是建造在地面上，完全利用堤坝围筑而成，适用于地下水位较高或地形不适合开挖的地方。覆盖材料必须从附近地区运送或采土坑中取土。这种方式工程量过大、填埋量小、占用大量土地。同时，填埋垃圾中的气体容易进入大气，还要采取边作业边封顶的方式，对有机物质、有害物质含量高的垃圾不适用。因此，无特殊需要不宜采用这种形式。

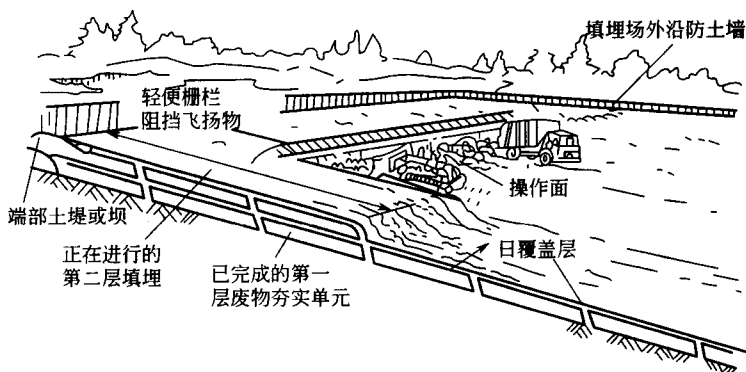


图 1-1-3 地上式填埋场结构示意图

(2) 地下式填埋 地下式填埋在有的参考书上又将其称为沟塘型填埋，大致有两种方式。其一为利用地面上自然或人工形成的坑、沟、塘，如采土（石）坑、废河沟、废水塘、低洼坑地等，经人工修整后建造而成。其二即直接在平地上用人工挖掘建造而成，开挖的单元一般为方形，边长一般为 60~300m，深度为 3~9m，宽度为 5~15m。地下式填埋一般适合于场地有丰富的覆盖层物质可供开挖，而且地下水位较深的地方。底部采用防渗衬层技术。图 1-1-4 和图 1-1-5 所示为两种不同操作方式下填埋场结构示意图。

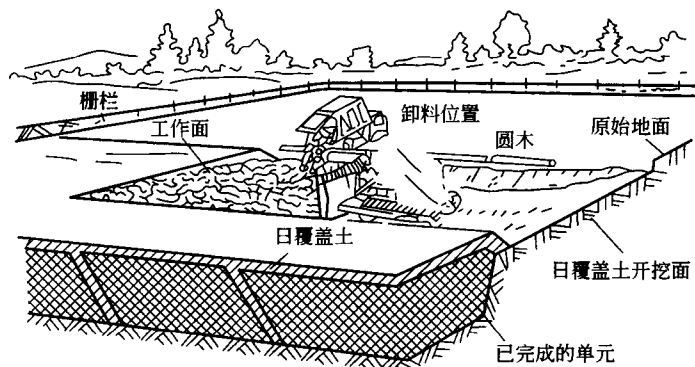


图 1-1-4 开槽法操作方式下填埋场结构示意图

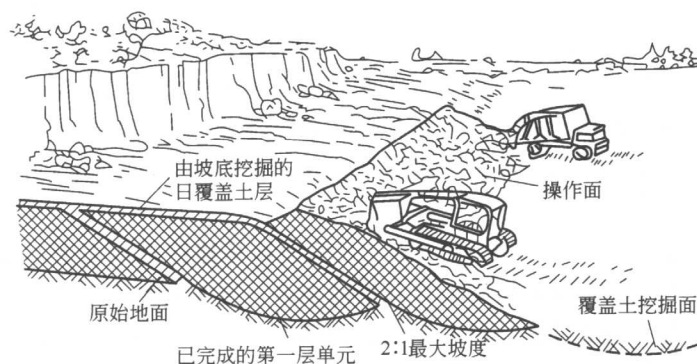


图 1-1-5 坡道法操作方式下填埋场结构示意图

四、厌氧性填埋场、好氧性填埋场、准好氧性填埋场

城市垃圾填埋处理、处置过程可以看成是一个“最大限度的利用自然循环和分解机制”的过程。从这种观点出发填埋场可以被分为厌氧性填埋场、好氧性填埋场、准好氧填埋场，其区别见表 1-1-2。

表 1-1-2 城市生活垃圾填埋场反应机制分类比较

类 型	建设投资	运行费用	稳定化速度	管理要求	应用情况
厌氧填埋场	一般	一般	慢	高	较普遍
好氧填埋场	较高	较高	快	较高	较少
准好氧填埋场	一般	一般	较快	较高	较普遍

1. 厌氧填埋场

在水浸渍的状态下填埋，空气无法进入，在填埋体内部形成厌氧状态，垃圾中的有机物分解缓慢。厌氧分解分为两步：首先是有机物被分解为有机酸或乙醇，然后进一步分解为甲烷和二氧化碳。从废弃物填埋开始到填埋物稳定需要一个很长的时间。在一些地域宽阔的国家，填埋场地无需恢复利用，较多采用厌氧填埋方式，同时可收集甲烷气体用于发电。但近年来由于发现甲烷气体严重破坏臭氧层，所以好氧填埋场也得到了部分学者的关注。

2. 好氧填埋场

好氧填埋按供气方式不同有两种形式：一种是用鼓风机直接向填埋场中鼓风的“好氧填埋”；另一种是在集水管末段利用自然通风达到填埋体中空气流通的“准好氧填埋”。这两种都有早期加速稳定有机物的效果，但是好氧填埋需要外加动力，费用是个影响因素。

3. 准好氧填埋场

准好氧性填埋结构的主要特点是集水井末段敞开，利用自然通风，使空气通过集水管向填埋体中流通。填埋体中的有机物通过与空气接触，发生好氧分解，产生二氧化碳气体，气体经过排气设备排出。随着堆积的垃圾越来越多，表层空气被上层的垃圾和覆盖土挡住无法进入下层，下层生成的气体穿过垃圾间的空隙，由排气设施放出。这样，在填埋体中形成一定的负压，空气就可以从开放的集水管中吸入，向填埋体扩散，从而扩大好氧范围，促进有机物的分解，但是，空气无法到达整个填埋体，当垃圾层变厚以后，填埋地表层、集水管附近、立渠和排气设施周围成为好氧状态，而空气接近不了的填埋体中部则处于厌氧状态。在

厌氧状态区域,部分有机物被分解,硫化物被还原成硫化氢,垃圾中含有的镉、汞和铅等重金属与硫化氢反应,生成不溶于水的硫化物,存留在填埋体中。这种好氧厌氧共存的方式,称为“准好氧填埋”。准好氧填埋在建设费用上比厌氧填埋稍大,而在有机物分解方面则比好氧填埋稍逊,因此研究也较多。

第二节 中国城市垃圾卫生填埋场工程建设标准

从1989年我国第一座卫生填埋场——杭州天子岭填埋场建设以来,我国陆续建成或在建一些大型甚至超大型的垃圾卫生填埋场,在技术水平上也基本接近发达国家的相关标准,其运营管理也积累了相当经验。但在建设用地、建设规模、技术选择、投资及运营费用指标控制等方面仍然存在一些问题,因此“卫生填埋场建设标准”是否合理化,对于实现卫生填埋场建设项目在技术、经济、管理上的宏观调控具有重要意义,而且填埋场建设的标准化,对于预测渗滤液的产量以及采用合适的处理工艺具有重要的作用。

一、建设规模与使用年限

一般对于填埋场建设规模主要从日处理规模和总容量两方面考虑,而要使两者达到有机结合,则需根据垃圾产生量、场址自然条件、地形地貌特征、服务年限及技术、经济合理性等因素综合考虑确定。在建设标准研究过程中,综合国内外的相关经验将填埋场的建设规模按如下标准确定。

1. 填埋场建设规模分类

- I类 总容量为1200以上(含1200) $\times 10^4 \text{ m}^3$;
- II类 总容量为 $[500(\text{含} 500) \sim 1200] \times 10^4 \text{ m}^3$;
- III类 总容量为 $[200(\text{含} 200) \sim 500] \times 10^4 \text{ m}^3$;
- IV类 总容量为 $[100(\text{含} 100) \sim 200] \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

2. 填埋场建设规模日处理能力分级

- I类 日处理量为1200(含1200)t/d以上;
- II类 日处理量为500(含500) ~ 1200 t/d之间;
- III类 日处理量为200(含200) ~ 500 t/d之间;
- IV类 日处理量为200t/d以下。

为了减少初期投资,发挥投资的规模效益,填埋场使用年限应大于10年,特殊情况下不应低于8年。但可根据实际条件,将填埋场库区工程分期建设,避免一次投资的过大。

二、选址过程

选址是填埋场建设的重要组成部分,好的选址不但可以有利于保护环境,而且也可以节省工程投资。国外发达国家都非常重视填埋场的选址,并将选址技术报告作为重要文件向社会公开,广泛争取公众意见。在中国有关选址的技术要求在相关标准中已有明确规定,目前大多数城市也非常重视填埋场的选址,这为填埋场的建设和运营打下良好的基础;但也还存在不能以科学的态度对待选址的现象,造成基建投资过大,甚至出现严重的二次污染,因此确定选址程序十分重要,为此对选址步骤提出如下规定。

1. 选址初选

根据城市总体规划、区域地形、工程地质和水文地址资料确定多个候选场址。

2. 场址推荐

对候选场址进行踏勘,并通过对场地的地形、地貌、工程地质、水文地质、植被、水文、气象、交通运输、覆盖土源和人口分布等对比分析,征求当地政府意见,确定2个以上(含2个)的预选场址。

3. 场址确定

对预选场址进行技术、经济 and 环境的综合比较,提出首选方案,完成可行性研究报告(或选址报告),通过审查确定场址。

三、填埋场防渗

防渗处理是生活垃圾卫生填埋场建设要考虑的重要因素之一。在填埋场自然条件达不到《生活垃圾卫生填埋技术规范》(CJJ 17—2004)要求时,应采取相应的工程措施,如铺设高密度聚乙烯防渗膜等人工防渗材料等,以防止渗滤液对周围环境的影响。

填埋场的防渗处理包含水平防渗和垂直防渗两种方式。水平防渗是指防渗层水平方向布置,防止垃圾渗滤液向下渗透污染地下水;垂直防渗是指防渗层竖向布置,防止垃圾渗滤液向周围渗透污染地下水。水平防渗已成为发达国家普遍采用的填埋防渗方式,也是我国垃圾填埋防渗的发展趋势。根据防渗材料来源的不同,可将水平防渗系统分为天然防渗系统和人工防渗系统。

1. 天然防渗系统

天然防渗是指采用黏土类土层或改良土作防渗衬层的防渗方法。

(1) 黏土衬层的设计 黏土衬层的设计应考虑黏土的渗透性、含水率、密实度、强度、塑性、粒径与级配、黏土层的厚度、坡度等因素对防渗效果的影响。

① 渗透性。度量黏土衬层渗透性的主要指标是渗透系数,根据《生活垃圾卫生填埋技术规范》(CJJ 17—2004),天然黏土类衬里的渗透系数不应大于 $1.0 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ 且场底及回壁衬里厚度不应小于2m。渗滤液在黏土中的渗透系数要根据渗滤液的实际成分、在填埋场可能的温度范围内、运用设计的黏土材料性质和厚度进行试验才能确定。

② 含水率与密实度。土壤要有一定的含水率和密实度,以达到渗透性能低和强度高的目的。试验研究表明,当土壤含水率略高于土的最佳含水率时,通常可以获得最佳渗透性。在具体工程设计前,应进行密度、湿度和渗透性的试验,建立三者之间的关系曲线,以确定最优值。

③ 强度。黏土材料应具有足够的强度,不应在施工和填埋作业负荷作用下发生变形。

④ 黏土衬层的厚度。黏土衬层愈厚,渗滤液透过衬层移动的速度愈慢,其防渗能力越强,但衬层厚度过大,不仅占据了大量有效填埋空间,而且将大幅增大土建工程费用。因此,必须根据具体情况合理设计填埋场黏土衬层的厚度,达到既能满足防渗要求,又能降低建设费用的目的。单独用黏土作衬层的厚度一般为1~3m。

⑤ 粒度与级配。土块的粒度将影响土的渗透性和施工质量。通常土块越小,水分分布越均匀,压实效果越好。尤其当土壤含水率小于拟定的压实最佳含水率时,土块的粒度将更为重要。在设计中一般推荐土块的粒度为2cm,如果现场土块粒度太大,应首先进行机械破碎。

土壤颗粒的级配同样影响着土壤的透水性,级配良好的土壤,其透水率较小,具有较低比例黏土成分但级配良好的材料仍可作衬层材料。一般而言,具有较高黏土成分或较高的淤泥和黏土成分的材料具有低渗透性;具有高比例石块或过多大颗粒的材料一般不适于作衬层

材料。

⑥ 塑性。黏土要形成有效的衬层或衬层组成部分，需具有一定的可塑性，但高度塑性的土壤容易收缩和干化断裂。一般液限指数在 25%~30% 之间；塑限指数在 10%~15% 之间。

⑦ 黏土衬层的坡度与排水层。黏土衬层的设计坡度一般为 2%~4%，排水层厚度 30~120cm，集水管最小直径 15cm，管道间距 15~30m。

(2) 改良土衬层的设计 改良土衬层设计的影响因素与黏土衬垫设计相类似。但使用膨润土作添加剂时要注意，膨润土中的可置换阳离子种类是一个重要的控制参数，直接影响膨润土的渗透性能。通常而言，膨胀性能越好的膨润土，其添加量越少；具有高膨胀性能的黏土矿物要比其它黏土矿物更易受化学物质的影响。例如，钠是高膨胀膨润土的主要阳离子，在钠型土与高钙盐溶液进行离子交换时，它很容易转变为钙型土，这一变化将严重降低膨润土的膨胀能力，从而增大混合土的渗透性。膨润土的混合比率随土壤条件而变化，一般在原土中掺入 3%~8% 的膨润土，即可将大部分土壤材料的渗透系数降低到设计标准。在进行混合衬层设计时应确定下列参数：① 原土与膨润土的最佳混合比率；② 密度、含水率和渗透系数三者之间的关系；③ 干燥膨润土的颗粒尺寸。

典型的天然防渗系统结构见图 1-2-1。随着工程技术的发展，用于生活垃圾填埋场的衬层系统也在不断改进，以美国为例，1982 年以前主要使用单层黏土衬层，1982 年开始使用单层土工膜衬层，1983 年改用双层土工膜衬层，1984 年又改用单层复合衬层，1987 年后则广泛使用带有两层渗滤液收集系统的双层复合衬层。

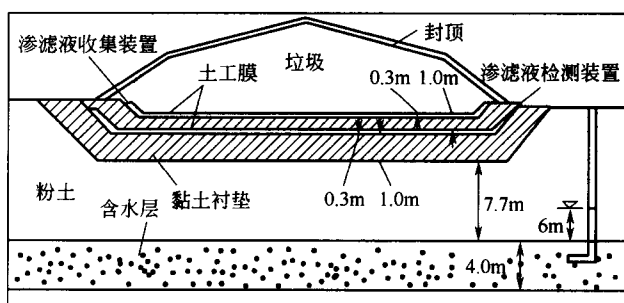


图 1-2-1 典型黏土防渗系统结构

2. 人工防渗系统

人工防渗是指采用人工合成有机材料（柔性膜）与黏土结合作防渗衬层的防渗方法。根据填埋场渗滤液收集系统、防渗系统和保护层、过滤层的不同组合，一般可分为单层衬层防渗系统、单复合衬层防渗系统、双层衬层防渗系统和双复合衬层防渗系统，如图 1-2-2 所示。

① 单层衬层防渗系统。此种防渗系统只有一层防渗层，其上是渗滤液收集系统和保护层，必要时其下有一个地下水收集系统和一个保护层。这种类型的衬垫系统只能用在抗损性低的条件下。对于场地低于地下水水位的填埋场，只要地下水流入速率不致造成渗滤液量过多或地下水的上升压力不致破坏衬垫系统，则可采用此系统。

② 复合衬层防渗系统。此种防渗系统是采用复合防渗层，即由两种防渗材料相贴而形成的防渗层。两种防渗材料相互紧密地排列，提供综合效力。比较典型的复合结构是上层为

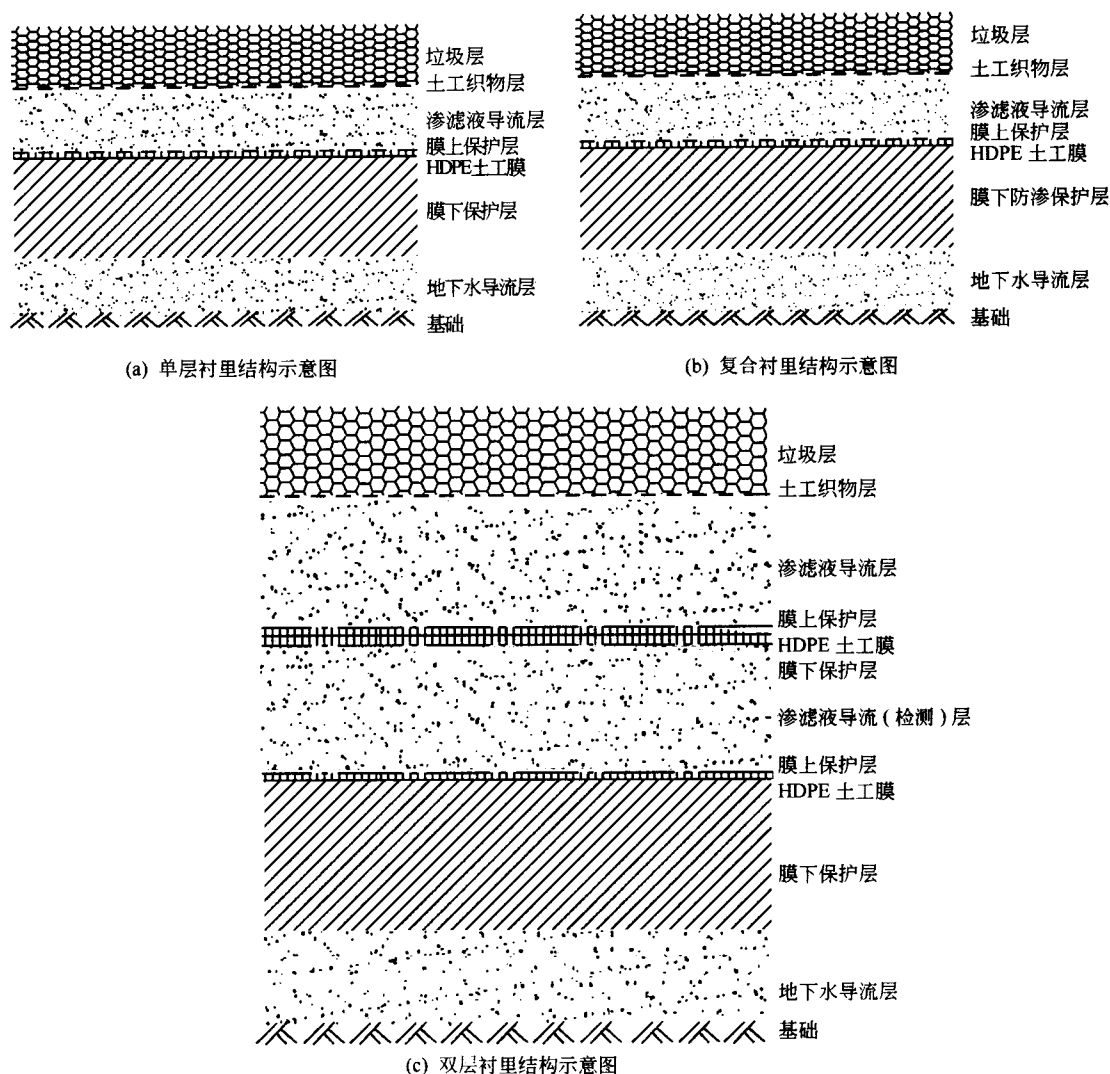


图 1-2-2 不同衬层防渗系统

柔性膜，其下为渗透性低的黏土矿物层。与单层衬垫系统相似，复合防渗层的上方为渗滤液收集系统，下方为地下水收集系统。

复合衬层系统综合了物理、水力特点不同的两种材料的优点，因此具有很好的防渗效果。有关研究表明，用黏土和高密度聚乙烯（HDPE）材料组成的复合衬层的防渗效果优于双层衬层（有上下两层防渗层，两层之间为排水层）的防渗效果。复合衬层系统膜出现局部破损渗漏时，由于膜与黏土表面紧密连接，具有一定的密封作用，渗漏液在黏土层上的分布面积很小。当 HDPE 膜发生局部破损渗漏时，对双层衬层系统而言，渗漏液在下排水层中的流动可使其在较大面积的黏土层上分布，因此向下渗漏的量就大。

复合衬层的关键是使柔性膜与黏土矿物层紧密接触，以保证柔性膜的缺陷不会引起沿两者结合面的移动。

③ 双层衬层系统。此种防渗系统有两层防渗层，两层之间是排水层，以控制和收集防渗层之间的液体或气体。衬层上方为渗滤液收集系统，下方可有地下水收集系统。透过上部

防渗层的渗滤液或者气体受到下部防渗层的阻挡而在中间的排水层中得到控制和收集，在这一点上它优于单层衬垫系统，但在施工和衬层的坚固性等方面不如复合衬层系统。

四、填埋场渗滤液和填埋气体处理

垃圾渗滤液是高浓度有机污水，受季节影响变化大，处理难度大。国内外渗滤液的处理一般不外乎以下几种形式：

- (1) 不同形式外处理后或直接回喷至填埋场的回灌处理；
- (2) 输送至邻近城市污水处理厂混合处理；
- (3) 现场采用各种工艺直接处理。

垃圾渗滤液回喷主要用于降雨量少的干旱地区（年降雨量小于700mm）；垃圾渗滤液经过适当处理运输（或管道输送）至城市污水处理厂是目前比较好的选择方式之一。由于渗滤液水质水量变化大，且污染物浓度高，垃圾渗滤液现场处理并达标排放的处理工艺较复杂，投资和运行成本较高。因此，首先要求从填埋场管理和填埋工艺等方面尽可能减少污水产生量，并应优先考虑渗滤液处理与城市污水处理相结合。在不具备排入城市污水处理厂条件时，要根据环保部门要求的排放标准建设污水处理设施。

目前我国渗滤液的处理基本有两种形式，即在填埋场就地处理或排入城市污水处理厂处理，回灌的应用基本没有。由于现有的渗滤液处理装置其处理效果均不够理想，鉴于此，在填埋场建设标准中提出：渗滤液处理应优先考虑排入城市污水处理厂进行处理，在不具备排入产生污水处理厂条件时，应建设污水处理设施。渗滤液作为填埋场过程的一个必然副产物，其主要性质以及处理方式是本书阐述的重点内容，将在后续章节中进行论述。

垃圾填埋气体主要成分为甲烷，这种气体不仅是影响环境的温室气体，而且是易燃易爆气体。填埋气体与空气混合，甲烷浓度达到5%~15%范围时遇火即会爆炸，国内外由于填埋气体的聚集和迁移引起的爆炸和火灾事故时有发生，因此填埋气体对周围的安全始终存在着威胁，必须对填埋气体进行有效地控制。

但填埋气体的热值很高，对其进行合理的利用，既能取得环境效益和社会效益，同时又能获得一定的经济效益。填埋气体经过收集、储存和净化后其利用方式主要有气体发电、提供燃气、供热等。

目前我国垃圾填埋场填埋气体普遍采用被动自然排放的方式，无论对大环境、还是局部环境都存在许多隐患；因此对新建卫生填埋场的填埋气体应提出“主动抽气、合理利用、集中点燃排放”的技术要求，从技术、投资比例看，这种要求是与我国新建卫生填埋场的水平相适应的。因此我们在填埋场建设标准提出：填埋气体的导排、处理和利用措施应根据填埋场规模、生活垃圾成分、产气速率、产气量和用途等确定，填埋气体不利用时，应主动导出，并采取集中燃烧处理。

五、填埋机械与设备

根据垃圾卫生填埋工艺要求，垃圾填埋一般采用单元填埋，经压实的垃圾要进行日覆盖，填埋作业单元完成后要进行中间覆盖，达到最终填埋标高后进行终场覆盖。要完成这一系列操作过程，必须配备填埋作业机械。填埋作业机械主要为垃圾压实机、推土机和覆盖土运输车辆。填埋场作业机械的配备要根据作业机械的能力和垃圾处理规模设置，并考虑一定的机械使用率和完好率。一般情况下，推铺、压实机械的工作范围不超过60m。为此确定填埋场工艺设备的选用符合表1-2-1。