

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.07.072

# 危险废物刚性填埋场工艺设计要点探讨

施孟帕, 曹伟华, 王艳明

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

**摘要:** 随着危险废物填埋场污染新标准的实施, 刚性填埋场的建设成为当前危险废物处理的热门, 其作为我国当下工业废盐等危废的主要处理手段, 不仅保留了废物今后资源回收和再生利用的可能性, 也是有效降低土壤地下水污染风险的重要途径。以成都危险废物处置中心三期项目(10万 m<sup>3</sup> 刚性填埋场工程)为案例, 针对刚性填埋场在工艺设计中的要点, 包括填埋作业方式、雨棚形式、防渗系统设计、渗滤液导排系统设计等做了全面分析和阐述, 为刚性填埋场的实际工程应用提供借鉴。

**关键词:** 危险废物; 刚性填埋场; 填埋作业; 防渗系统; 渗滤液导排

**中图分类号:** X799.3

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2023)07-0310-04

## 0 引言

据统计, 我国每年危险废物产生量超过1亿 t, 其中工业废盐产生量逾2 000万 t, 占总危废产生量的15%<sup>[1-2]</sup>。工业废盐为工业生产中产生的副产结晶盐类, 主要产废行业有石油天然气开发钻井过程中的钻井液、农药行业(除草剂、杀虫剂、杀菌剂)、煤化工、纯碱行业、氯碱行业、印染行业、固废处置行业(高盐废水、焚烧飞灰)等。工业废盐若处置不当, 会直接造成地表水、地下水、土壤等污染, 致使土地盐碱化, 生态环境遭到严重破坏<sup>[3-4]</sup>。

工业废盐处理主要采用资源化回收和填埋法。其中, 资源化回收处置面临成分复杂、设备难以标准化、缺少政策与相关标准支撑、国内外缺乏工程应用相关经验等问题。因此, 填埋法是目前我国处理工业废盐的主要手段<sup>[5]</sup>。根据《危险废物填埋污染控制标准》(GB 18598—2019)<sup>[6]</sup>规定, 水溶性盐总量 $\geq 10\%$ 的废物, 不得进入柔性填埋场填埋, 需刚性填埋处置。刚性填埋场对实现工业废盐的合理处置, 以及实践落实我国可回取式填埋的思路具有重要意义。

成都危险废物处置中心三期项目(10万 m<sup>3</sup> 刚性填埋场工程), 建成时为当时国内最大的刚性安全填埋场, 2020年9月开始建设, 2021年9月投入运营, 至今运行效果良好。

该项目位于成都市龙泉驿区洛带镇狮子村(长安静脉产业园园区内), 有效库容约10万 m<sup>3</sup>, 占地

面积约15 500 m<sup>2</sup>, 共建设404个单元格, 每个单元格净尺寸为5.3 m $\times$ 5.3 m $\times$ 9.0 m(长 $\times$ 宽 $\times$ 高)。

根据《危险废物填埋污染控制标准》(GB 18598—2019), 刚性填埋场设计应符合下列规定:

(1) 刚性填埋场钢筋混凝土的设计应符合GB50010的相关规定, 防水等级应符合GB 50108一级防水标准;

(2) 钢筋混凝土上应覆有防渗、防腐的人工合成材料;

(3) 钢筋混凝土抗压强度不低于25 N/mm<sup>2</sup>, 厚度不小于35 cm;

(4) 应设计成若干独立对称的填埋单元, 每个填埋单元面积不得超过50 m<sup>2</sup>且容积不得超过250 m<sup>3</sup>;

(5) 填埋结构应设置雨棚, 杜绝雨水进入;

(6) 在人工目视条件下能观察到填埋单元的破损和渗漏情况, 并能及时进行修补。

根据上述标准, 刚性填埋场的结构布置、防雨、防渗等设计至关重要。然而在成都刚性填埋场项目设计时, 我国对于刚性填埋场的认识、实际工程操作中的重难点问题及解决方案尚处于初步探索阶段, 更详细的实际操作指南尚未成型。对此, 将结合成都市10万 m<sup>3</sup> 刚性填埋场项目, 对刚性填埋场的结构布置、填埋作业、防渗、防雨、渗滤液导排等重点方面的设计思路及要点进行分析探讨, 供未来相关项目设计运营参考。

## 1 主要设计要点分析

### 1.1 结构布置型式

根据新标准中相关附图, 刚性填埋场是地下式布

收稿日期: 2022-09-14

作者简介: 施孟帕(1993—), 男, 工学硕士, 工程师, 从事环保设计工作。

置,在其四周及地下均为检修层。显然该布置型式在建设属于深基坑,且成都刚性填埋场选址位于山体,开挖难度大,将大大增加建设投资,可实施性不高。考虑到规范条文提到在人工目视条件下能观察到填埋单元的破损和渗漏情况,并能及时进行修补,为有效降低投资,成都刚性填埋场采用地上布置,库区主体工程为架空混凝土水池结构,检修夹层设置在库区主体底板下部,检修夹层净高 1.8m,在满足规范前提下,大大降低建设投资。

### 1.2 填埋作业方式

成都地处四川盆地,雨量十分充沛,且该项目为当时国内最大的刚性填埋库,因此填埋作业需考虑尽可能受雨水影响较小,同时操作简单,工人生产安全性好的形式,为刚性填埋库的建设运营积累经验。

合理的填埋作业工艺可分为以下几类:

#### (1)桥式吊车吊运吨袋填埋作业

在刚性库顶部建设固定的钢结构雨棚,同时结合钢结构雨棚布置桥式吊车。以桥式吊车作为填埋作业的主要吊运设备,作业时将吨袋包装的危废运至库边,通过桥式吊车将每袋废物吊运至指定填埋

单元。

#### (2)龙门吊吊运吨袋填埋作业

在刚性库混凝土结构顶部铺设龙门吊行走轨道。以龙门吊作为填埋作业的主要吊运设备,作业时将吨袋包装的危废运至库边,通过龙门吊将每袋废物吊运至指定填埋单元。库区通常搭配移动的雨棚、平台作为遮雨设施。遮雨设施主要用于遮蔽处于填埋过程中的单元格,并即时对已经填满的单元格实施封场。

#### (3)移动作业平台吊运吨袋填埋作业

在刚性库混凝土结构顶部铺设移动作业平台行走轨道。移动作业平台由储料平台和吊车组成。作业时将吨袋包装的危废运至库边,通过移动作业平台自带吊车或固定在库边的吊车将袋装危废吊运至平台上。并由移动作业平台携料移动至指定填埋单元附近,并通过平台自带的吊车将袋装危废吊运至填埋单元格内。

从填埋作业效率、自动化程度、操作复杂性、安全生产条件、雨污分流效果、经济性等方面对目前常用的三种作业工艺方案进行对比分析,如表 1 所列。

表 1 填埋作业工艺对比论证表

对比项目	方案一:桥式吊车吊运吨袋作业	方案二:龙门吊吊运吨袋作业	方案三:移动作业平台吊运吨袋作业
填埋作业效率	一般	较高	一般
自动化程度	自动化程度一般,需要人工将袋装危废挂钩,并通过操作人员在地面控制作业	自动化程度一般,需要人工将袋装危废挂钩,并通过操作人员在地面控制作业	自动化程度一般,需要人工将袋装危废挂钩,并通过操作人员控制作业
操作复杂性	操作简单	需要管理人员合理规划作业,及时移动雨棚遮蔽填埋单元格,并对填满的单元格及时封场,需要精细化管理	需要管理人员合理规划作业,及时移动雨棚遮蔽填埋单元格,并对填满的单元格及时封场,需要精细化管理
安全生产条件	工人安全生产条件较好	在填埋单元顶部同时有填埋作业人员和封场施工人员交叉作业,存在安全风险	移动作业平台上需要人员长期操控,存在安全风险,但方便人员对库体进行检修维护
雨污分流效果	固定雨棚遮蔽,雨污分流效果好	通常搭配移动雨棚,雨污分流效果不佳	通常搭配移动雨棚,雨污分流效果不佳
经济性	桥式吊车投资低	龙门吊投资一般	移动平台投资较高

经过综合对比论证,方案一的优点在于雨污分流效果好、运行操作逻辑简单,缺点在于填埋作业效率一般,适合用于多雨地区的刚性填埋场。方案二的优点在于龙门架的作业效率较高,方案三的优点在于人员对填埋操作的控制更为精准、灵活,同时便于人员对库体进行检修维护,但方案二、方案三的操作均需要精细化管理,工人的安全生产较方案一存在更大风险,且相对投资高,搭配移动雨棚导致雨污分流效果不佳等。

因此,成都刚性填埋场选用方案一:桥式吊车作业。

### 1.3 防渗系统设计

填埋场的关键作用是将危险废物与周边环境完全分隔开,使周边环境不受到影响,因此填埋场建设中最核心、耗资最大的便是防渗系统。新标准中要求钢筋混凝土上应覆有防渗、防腐的人工合成材料,然而对于铺设何种材料未提及。

常用的防渗层采用 HDPE 膜,其在防渗性、抗腐蚀、抗老化、焊接难易程度、抗高温低温能力等方面均表现出优异的性能<sup>[7-8]</sup>,在传统柔性填埋场的衬垫和封盖系统的防渗工程中应用极为广泛,依旧可作为刚性填埋场的主要防渗材料。

对于 HDPE 的膜下防护,在柔性填埋场项目中一般选用粘土或钠基膨润土衬垫作保护层,且不应含有尖锐颗粒物。由于刚性填埋场是采用抗渗钢筋混凝土底板做基础层,可保证基础层表面的平整度,HDPE 膜因膜下影响而被破坏的可能性小,因此可考虑省掉膜下防护层,直接将 HDPE 膜铺设在钢筋混凝土底板和侧面挡墙上。

刚性填埋场因其结构形式的特点,如何将 HDPE 膜很好地固定在侧面挡墙上将直接影响到填埋单元的防渗效果,常用的方法是采用 E 型锁将二者相连。E 型锁是 E 字型的高密度成型 HDPE 产品,通过将其锚固在混凝土中,焊接面外露,通过焊接固定 HDPE 膜<sup>[9]</sup>。E 型锁与混凝土连接的牢固程度将直接影响 HDPE 膜的固定质量,固定方式有一次浇筑成型法和二次灌浆法两种。相对来说一次浇筑法施工更简便、锚定质量更可靠,因此现多采用一次浇筑成型法进行固定。该方法操作简单,技术成熟,可实施性较高,但为局部固定,防渗膜平整性不足。

另一种新型的土工膜固定方法为 HDPE 自粘胶膜防水卷材,使 HDPE 膜可以直接铺贴在混凝土表面。这种 HDPE 自粘胶膜是在 HDPE 主防水层的基础上设置自粘层、抗环境变化保护层和隔离层,其自粘层和抗环境变化保护层具有自愈功能,与液态混凝土浆料反应固化过程中,自粘层中的活性官能团能与水泥中的硅酸根形成化学键,使防水层与混凝土结构无间隙结合,杜绝层间窜水隐患,能有效提高防渗系统的可靠性<sup>[10]</sup>。为了使 HDPE 自粘胶膜最大程度地发挥抗渗性能,工程铺设过程的施工质量需严格把控:保证铺设基面平整坚固、无明水积水,卷材长边采用自粘边搭接,短边采用胶粘带搭接,卷材端部搭接区相互错开等。该方法对施工要求极高,且自粘技术是否容易老化变质等未受时间检验。

综合考虑到刚性库对防渗膜平整度要求不高,防渗膜延长在单元格顶部搭边可有效预防雨污水窜水,因此该项目防渗材料采用 2.0 mm 厚 HDPE 膜,采用 E 型锁固定。

#### 1.4 雨棚形式设计

危险废物填埋场渗滤液的主要来源是降雨,为了最大程度地减少渗滤液产量,降低后续处理难度,填埋作业时合理设置雨棚防雨。雨棚通常具有固定式或移动式两种形式。

固定式雨棚通常采用全覆盖的方案,填埋场所单元格上方一次性全部安装,具有美观、运营维护

方便等优点,在填埋前、填埋中、填埋后封场的全周期中都杜绝了雨水带来的问题。同时,因危险废物来料的不确定性,固定式雨棚易于根据来料情况更加灵活调整填埋单元格位置。但固定式雨棚一次性投资大,且需在库顶预留出填埋作业设备的运行空间。

移动式雨棚仅覆盖于正在填埋作业的相应填埋单元上方。通常考虑在填埋场单元格侧壁顶端安装滑轨,雨棚底板下端安装滑轮并与滑轨相连,雨棚面积一般为数个单元格大小,配套起重机跨度相应设计,随着填埋作业的移动而移动。相比固定式雨棚,移动式雨棚整体投资较小,经济性好。但是移动式雨棚仅仅满足正在填埋作业的单元格的防雨需求,填埋完毕的单元格需及时封场方可移开雨棚,继而进行后续单元的填埋作业,对填埋效率具有一定限制。待填埋单元也容易出现雨水积水和雨水冲刷破坏防渗结构等问题,在开始填埋前需首先进行抽水等维护工作,运营十分复杂。

因此综合考虑到便于维护,填埋灵活,填埋效率高,造型美观等优点,成都刚性填埋场选择固定式全覆盖雨棚。

#### 1.5 渗滤液导排系统设计

由于刚性填埋场是采用钢筋混凝土外壳与柔性人工衬层组合的刚性结构,并设置了雨棚,因此原则上渗滤液渗出几乎为零,然而考虑到填埋对象通常具有盐腐蚀性,若不考虑渗沥液导排问题,将对填埋场的长期稳定运行带来极大的挑战。

刚性填埋场通过混凝土隔墙将填埋场区划分成多个独立填埋单元,每个填埋作业单元分别采用独立的渗滤液收集与导排系统,首先在库底设置渗滤液收集导排层。经渗滤液导排层导出的渗滤液的排出方式通常有以下两种:

##### 1.5.1 重力导排

采用重力导排需在每个填埋单元底部中间最低处单独设置一根渗滤液导排管,用于渗滤液导排。每个作业单元底部均按一定坡度从四周向中间找坡,使渗滤液从底部导排管排出。导排管多采用 HDPE 管,其具有较强抗腐蚀性,且管内部光滑,可有效降低渗滤液流动阻力,导排效果好。每个单元经渗滤液导排层和底部导排管将收集的渗滤液汇集到检修夹层内的渗滤液收集池中,然后由渗滤液提升泵通过渗滤液输送管压力流至场区调节池进行后续处理。

底部导排方式只需建造初期一次施工,后期运行和操作简便,且由于该项目采用地上式架空结构,

渗滤液经导排管汇集到检修夹层收集池的方式可视化程度高,检修容易。底部导排管容易出问题的地方在于管材的连接施工:HDPE 导排管一般采用热熔焊接方式将其与钢筋混凝土层和防渗层相连,对施工质量要求极高,需确保焊接部位完全满足设计要求,施工稍有偏差便易导致连接位置发生渗滤液泄漏,影响防渗层、钢筋混凝土层等的稳定运行。

### 1.5.2 压力抽排

采用压力抽排常在每个作业单元边角处设置渗滤液集液坑,单元底部均按一定坡度向集液坑处找坡,单元格内沿侧壁布置 HDPE 穿孔管至集液坑。运营人员可定时利用自吸泵连接软管,软管通过穿孔管向上抽吸集液坑内渗滤液。或者将移动离心泵放置于集液坑,通过软管向上泵出渗滤液。穿孔管在封场后可兼做排气管道。

这种导排方式可以保证填埋场防渗系统的完整,提高了防渗系统的可靠性,更加符合刚性填埋场的设计初衷,但对运营人员的操作更为复杂。同时,由于自吸泵吸程的限制,对于单元格高度较高的填埋场(超过自吸泵吸程),必须选用离心泵置于集液坑中向上泵出渗滤液的方式。

结合刚性库防渗完整性、库区结构、运行维护、库容利用率等方面对两种方式进行对比,如表 2 所列。

表 2 渗滤液导排方式对比表

项目	重力导排	压力抽排	结论
防渗完整性	底部防渗膜需开孔,防渗膜与重力导排管焊接	单元格内设置提升井,防渗膜无需开孔	压力导排方式不影响膜的完整性;重力导排需在底膜上开孔,存在渗漏隐患
运营维护	巡检方便,但出现孔洞堵塞导致渗滤液堆积等问题难以发现	需定期利用泵排出渗滤液,运营人员工作量较大	运营维护均有一定弊端

综上,考虑到要杜绝渗滤液泄露的隐患,成都刚性填埋场选用压力抽排形式,因单元格高度较高,采用将移动离心泵放置于集液坑,通过软管向上泵出渗滤液的方式。

## 2 案例总结

经过上述论述,成都刚性填埋场选址位于山体,故结构布置形式选择地上式,大幅降低投资,库体底板下设置 1.8 m 检修层,便于运营人员检修维护。同时考虑到成都地区雨量充沛,选择固定式雨棚全覆盖库体,可彻底杜绝雨水带来的问题,同时简化了运

营人员的操作,提高了填埋效率;搭配桥式起重机吊运垃圾,工人操作简单、安全,在刚性填埋场运营经验十分匮乏的情况下,尽可能保障安全生产同时积累运营经验。

在防渗形式上,选择填埋库常用的 HDPE 膜作为主要防渗材料,可满足刚性填埋库的防渗需求,但不同于柔性填埋库的方面在于膜的固定,综合考虑到填埋库对于平整度要求不高,且新固定技术未完全成熟的情况下,选择 E 型锁固定,成熟可靠,施工便捷。

针对渗滤液导排形式,选择压力抽排形式,杜绝了因防渗膜不完整而导致的渗滤液泄露风险。同时,因雨棚形式为固定式全覆盖,杜绝了雨水影响,避免了需频繁压力抽排雨水的问题。

综上,成都刚性填埋场最终建设形式见表 3 所列。

表 3 成都刚性填埋场工艺设计概要一览表

要点内容	建设形式	特点
结构布置型式	地上式,1.8 m 净高目视检测夹层	地上式投资小,目视检测,维修维护便捷
填埋作业方式	采用桥式起重机	可与固定式雨棚共用支撑柱,操作简单,安全性好
防渗系统	防渗膜采用“抗渗混凝土(抗渗等级 P8)+2 mmHDPE 膜(E 型锁固定)”	双重防渗,确保危险废物渗滤液不外渗
雨棚形式	固定式全覆盖雨棚	杜绝雨水影响,便于填埋作业,美观
渗滤液导排系统	压力抽排	杜绝渗滤液泄露风险

## 3 结论

随着工业的快速发展,工业废盐类危废产量规模不断增大,刚性填埋场具有对环境污染风险可控,可进行分类贮存且方便未来取回实现“资源循环”等优势,是当前危险废物填埋的主要型式。在工程应用过程中务必重视填埋结构型式和作业方式,综合考虑雨棚设置、防渗系统、渗滤液导排系统等设计要点,保障安全填埋场的可靠安全环保的建设与运行。

### 参考文献:

[1] 王丽佳,顾娅,郗逸棋,等.包装方式对工业废盐填埋过程的影响[J].环境科学学报,2020,40(3):1023-1028.

[2] Y. T. Hung, H. A. Aziz, M. S. Yusoff, M. A. Kamaruddin, R. Y. L. Yeh, L. H. Liu, C. R. Huhnke, Y. P. Fu. Chemical waste and allied products[J].Water Environment Research, 2015,87(10): 1312-1359.

[3] S. Huang, X. Zhao, Y. Sun, J. Ma, X. Gao, T. Xie, D. Xu, Y. Yu, Y. Zhao. Pollution of hazardous substances in industrial construction

(下转第 318 页)

- 业研究,2021,34(5):32-37.
- [12] ZHANG J, YUE W, FAN P, et al. Measuring the accessibility of public green spaces in urban areas using web map services [J]. Applied Geography, 2021, 126(5):102381.
- [13] 俞佳俐, 严力蛟, 邓金阳, 等. 城市绿地对居民身心福祉的影响 [J]. 生态学报, 2020, 40(10):3338-3350.
- [14] 秦娟, 许克福. 我国城市绿地土壤质量研究综述与展望 [J]. 生态科学, 2018, 37(1):200-210.
- [15] 朱本国, 陈祥, 吴松成, 等. 浅析城市绿地土壤改良技术和工作程序 [J]. 现代园艺, 2021, 44(21):175-177.
- [16] CJ/T 340—2016, 绿化种植土壤 [S].
- [17] DB31/T 661, 绿化用表土保护和再利用技术规范 [S].
- [18] LV/T 1225, 森林土壤颗粒组成(机械组成)的测定 [S].
- [19] LV/T 1218, 森林土壤渗透率的测定 [S].
- [20] LV/T 1239, 森林土壤 pH 值的测定 [S].
- [21] LV/T 1251, 森林土壤水溶性盐分析 [S].
- [22] LV/T 2445—2015, 绿化用表土保护技术规范 [S].
- [23] LV/T 1237, 森林土壤有机质的测定及碳氮比的计算 [S].
- [24] 杨丽军, 何琴, 朱本国, 等. 重庆市道路绿地绿化种植土壤渗透性分析研究 [C]. 中国环境科学学会. 2020 中国环境科学学会科学技术年会论文集. 北京: 中国环境科学出版社, 2020, 3:822-826.
- [25] 王彤, 封超年, 靳瑞萍, 等. 苏北滨海盐碱土壤盐碱化特征 [J]. 江苏农业科学, 2018, 46(19):339-343.
- [26] 周建强, 郝冠军, 方海兰, 等. 上海典型新建园林绿化工程土壤质量调查分析 [J]. 园林科技, 2016, 32(4):71-75.
- [27] 张丽芳, 胡海林. 土壤酸碱性对植物生长影响的研究进展 [J]. 贵州农业科学, 2020, 48(8):40-43.
- [28] SHAABAN M, PENG Q A, BASHIR S, et al. Restoring effect of soil acidity and Cu on N<sub>2</sub>O emissions from an acidic soil [J]. Journal of Environmental Management, 2019, 250: 109535.
- [29] KANG E, LI Y, ZHANG X, et al. Soil pH and nutrients shape the vertical distribution of microbial communities in an alpine wetland [J]. Science of The Total Environment, 2021, 774: 145780.
- [30] WANG Q, SHENG J, PAN L, et al. Soil property determines the ability of rhizobial inoculation to enhance nitrogen fixation and phosphorus acquisition in soybean [J]. Applied Soil Ecology, 2022, 171: 104346.
- [31] 孟莹, 刘妍君, 纪丹丹, 等. 土壤盐分过高对园林植物的危害及对策 [J]. 绿色科技, 2021, 23(15):91-93.
- [32] 邹晓君, 郑欣颖, 列志扬, 等. 3 种园林植物的土壤元素及酶活性对盐胁迫的响应 [J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(9):41-49.
- [33] 王小慧, 陶武杰. 南昌市绿地种植土壤质量情况分析 [J]. 绿色科技, 2017, (11):17-18, 22.
- [34] 张文渊. 滨海地区盐碱土类型与形成条件分析 [J]. 水土保持通报, 1999, 19(1):19-23.
- [35] 何小军. 上海地区冲填土固结特性研究 [D]. 上海: 同济大学, 2009.
- [36] 史玉金, 严学新, 陈大平. 上海海陆一体工程地质结构构建及地质条件评价 [J]. 水文地质工程地质, 2017, 44(2):96-101.
- [37] SUN M, CHEN S, KURLE J E. Interactive Effects of Soybean Cyst Nematode, Arbuscular-Mycorrhizal Fungi, and Soil pH on Chlorophyll Content and Plant Growth of Soybean [J]. Phytobiomes Journal, 2022, 6(1): 95-105.
- [38] 邵丽杰. 浅谈滨海地区盐碱地园林绿化 [J]. 城乡建设, 2010(3):81.
- [39] 马赞留, 戴云新, 蔡红海, 等. 江苏滨海地区盐碱地现状及改良措施 [J]. 现代园艺, 2015, 7(14):189-190.
- [40] 王璐, 于沁沁, 陈嫣, 等. 上海滨海盐碱地区雨水花园适应性结构设计——以临港海绵城市建设示范区为例 [J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2019, 37(4):29-36.
- [41] 凌玲. 上海临港新城道路土壤特征及改良对策 [J]. 上海建设科技, 2018(4):88-90, 94.
- [42] 李银, 谢腾芳, 刘斌, 等. 广东阳江滨海地区园林绿化土壤化学性质分析 [J]. 现代园艺, 2015(9):22-23.

\*\*\*\*\*  
 (上接第 313 页)

- and demolition wastes and their multi-path risk within an abandoned pesticide manufacturing plant [J]. Frontiers of Environmental Science & Engineering, 2017, 11(1): 12.
- [4] Z. Zhang, L. Guo, Q. Li, Y. Zhao, M. Gao, Z. She. Study on substrate metabolism process of saline waste sludge and its biological hydrogen production potential [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2017, 24(19): 16383-16395.
- [5] S. Dai, Y. Zheng, Y. Zhao, Y. Chen, D. Niu. Molten hydroxide for detoxification of chlorine-containing waste: Unraveling chlorine retention efficiency and chlorine salt enrichment [J]. Journal of Environmental Sciences, 2019, 82: 192-202.
- [6] GB 18598—2019, 危险废物填埋污染控制标准 [S].
- [7] 李锐. 城市生活垃圾卫生填埋场防渗材料的力学性能研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2008.
- [8] 杨成. 城市生活垃圾卫生填埋场防渗设计 [J]. 科技创新导报, 2010(26):129-129.
- [9] 秦昊. HDPE 膜在大型污水池防渗施工中的质量控制要点 [J]. 山西建筑, 2017(29):66.
- [10] 史德立. 浅谈 HDPE 自粘胶膜防水在通道施工中的应用 [J]. 河南建材, 2018(1):164-165.