

# 渗滤液的反渗透浓缩液回灌技术应用

宋延冬 左俊芳 朱正贤

(北京天地人环保科技有限公司,北京 100176)

**摘要:**以宜昌、宁国、蒙城垃圾填埋场为例,介绍了碟管式反渗透(DTRO)——浓缩液回灌工艺,研究发现:浓缩液回灌方式应根据垃圾填埋场的地理特征和业主的具体要求来确定。山谷型填埋场可以采用石笼回灌法,施工简单,成本较低,另外也可采用两层生物滤化床方式,成本稍高,但效果较好;平原型填埋场宜采用两层生物滤化床方式,而采用石笼回灌法容易出现短流现象。浓缩液回灌对渗滤液电导率无明显影响,不会影响后续反渗透系统的正常运行。

**关键词:**垃圾填埋场;渗滤液;反渗透;浓缩液;回灌

## USE OF RECIRCULATION TECHNIQUE OF CONCENTRATED LEACHATE PRODUCED BY LEACHATE REVERSE-OSMOSIS

Song Yandong Zuo Junfang Zhu Zhengxian

(Beijing TDR Environ-Tech. Co., Ltd, Beijing 100176, China)

**Abstract:** The paper takes landfills in Yichang, Ningguo and Mengcheng for example, it was introduced a process of disc tube reverse osmosis (DTRO)——concentrated leachate recirculation. The result indicated that the way of recirculation should be based on the geographical features of landfill and owners' demand. Valley landfills can use the way of stone cage recirculation that is built simply at low-cost. On the other hand, the way of two-biological filter bed which is more effective can also be used although more costly. Plain landfills should use two-layer biological filter bed, short flow may be caused if use the way of stone cage recirculation. Conductance will not be influenced obviously due to recirculation, and the normal operation of RO system won't be affected.

**Keywords:** landfill; leachate; reverse-osmosis; concentrated leachate; recirculation

## 0 引言

垃圾渗滤液成分复杂且含大量有毒有害物质,水质水量波动大,国内的垃圾填埋场一般都采用回灌法、物化法或生化法处理。回灌法是一种非彻底的处理方法,而且处理能力有限<sup>[1]</sup>,而常规的物化法和生化法处理垃圾渗滤液很难达标<sup>[2-3]</sup>,用反渗透技术处理渗滤液已逐步变为一种趋势,但是用反渗透处理会有一些量的浓缩液产生,浓缩液的处理是一个新的难点。浓缩液的处理有回灌、焚烧、固化、蒸馏干燥和真空干燥等方法,但是最经济的方法是回灌法。

浓缩液回灌是基于渗滤液回灌的基础上发展而来的,渗滤液回灌法的基本操作原理是用适当的方法将在填埋场底部收集到的渗滤液从其覆盖层表面或覆盖层下部重新灌入填埋场。这样就可利用填埋垃圾中所含的大量微生物对回灌渗滤液中含有的有

机物进行生物降解、吸附、过滤<sup>[4-5]</sup>。国内外大量的研究资料表明,渗滤液回灌利于垃圾场内水分和营养物质的均衡分布,促进垃圾中有机物的降解,从而缩短垃圾场的稳定时间<sup>[6-7]</sup>。在德国,从1986年开始,浓缩液回灌就作为反渗透法处理垃圾渗滤液的一个有机组成部分而被广泛采用<sup>[8]</sup>。从2003年9月起,重庆市长生桥垃圾卫生填埋场就已开始采用反渗透——浓缩液回灌工艺处理垃圾渗滤液<sup>[9]</sup>。下面分别以宜昌市黄家湾垃圾处理场、安徽省宁国市垃圾卫生填埋场、蒙城县垃圾卫生填埋场的反渗透浓缩液回灌工程为实例对浓缩液回灌工艺进行分析和研究。

## 1 工程实例

### 1.1 宜昌市黄家湾垃圾处理场

#### 1.1.1 渗滤液处理工艺

宜昌市黄家湾垃圾处理场为山谷型填埋场,该场

投入使用以后,每年平均无害化处理城市生活垃圾约20万t,每天产生渗滤液约200t,对地下水、地表水和土壤环境产生严重污染。2008年建成渗滤液处理系统,该处理系统采用碟管式反渗透—浓缩液回灌工艺,工艺流程见图1,处理能力为240m<sup>3</sup>/d,回收率约79%,设备每天产生浓缩液约50t。碟管式反渗透系统对污染物的去除率极高,对COD、TOC和金属离子去除率均>99%,氨氮去除率>98%,具有较高且稳定的脱盐率,出水可达GB16889—2008《生活垃圾填埋场污染控制标准》排放标准。

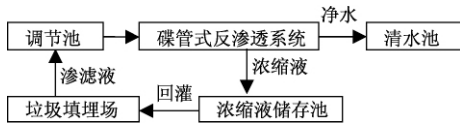


图1 宜昌渗滤液处理工艺流程

### 1.1.2 浓缩液回灌工艺

回灌可分为表面回灌和地下回灌两种方式<sup>[10]</sup>。根据宜昌市黄家湾垃圾处理场山谷型的地理特点,垃圾堆体较大,垃圾层厚,地下回灌方式不易形成短流,另外,适当的表面回灌可以增加浓缩液吸纳量,因此可以采用地下回灌和表面回灌相结合的方式。地下回灌具体采用石笼回灌方法(见图2),石笼回灌法是指在垃圾堆体上挖井2~3m深(垃圾堆体总深度约10m),采用10号铅丝编制石笼,笼内填充直径32~64mm的卵石,石笼直径>1m,石笼中心设DE200的聚丙烯中空管或高密度聚乙烯(HDPE)穿孔管,通过管路将浓缩液注入垃圾堆体深处,再通过石笼的透水性使浓缩液向周围扩散。然后再以石笼底部为圆心水平铺设一层厚度为0.4m的级配卵石,铺设区域直径为16~18m,渗滤液可以通过垂直的石笼和底部的级配卵石层向垃圾堆体进行水平、垂直扩散,另外,随着垃圾埋体高度的增加,石笼的高度也可做相应调整。

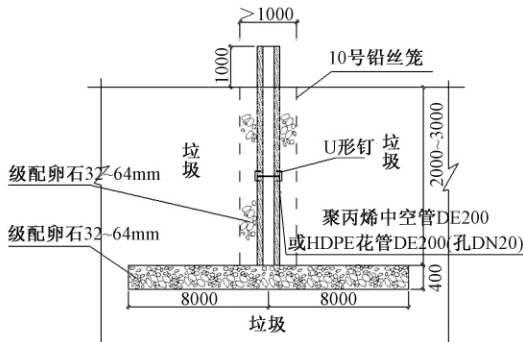


图2 石笼回灌法示意

石笼深度如果过浅(<2m),上层垃圾经浓缩液回灌后变得松软,槽车容易凹陷进去,无法靠近回灌点进行回灌,而深度过大则会增加施工成本,因山区地势崎岖,若不用槽车而用管路进行回灌施工也比较麻烦,经试验证实石笼深度以2~3m为宜。

表面回灌的结构简单,为石笼回灌的下半部分,不做石笼只做卵石坑,见图3,即在垃圾堆体表面铺设一层厚度为0.4m的卵石层,这样回灌车可以开到坑边直接倾泻浓缩液。适量的表面回灌可以吸纳更多的浓缩液,减小处理规模,且该垃圾处理场周围无居民区,所以可以采用地下回灌与表面回灌相结合的方法。另外,当垃圾堆体不断升高后,上面还可以加上铅丝笼及附属物改成石笼。

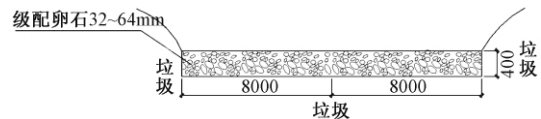


图3 表面回灌示意

根据宜昌黄家湾垃圾填埋场具体情况及现有路况,结合业主方的要求,在不影响垃圾填埋作业的原则下,较规律的分配了5个回灌点,其中2个为表面回灌点,3个为石笼回灌点。经回灌后观察:表层回灌点达到饱和可以吸纳浓缩液100m<sup>3</sup>,石笼回灌点吸纳量为65m<sup>3</sup>,饱和后一周可恢复继续回灌。2个表面回灌点和3个石笼回灌点1周内可消纳浓缩液395m<sup>3</sup>,可以满足全负荷每周350m<sup>3</sup>的要求。

### 1.1.3 回灌后水质变化情况

宜昌垃圾填埋场在反渗透浓缩液回灌后的一段时间内,对渗滤液和浓缩液的电导率和COD进行的监测,结果分别见图4和图5。

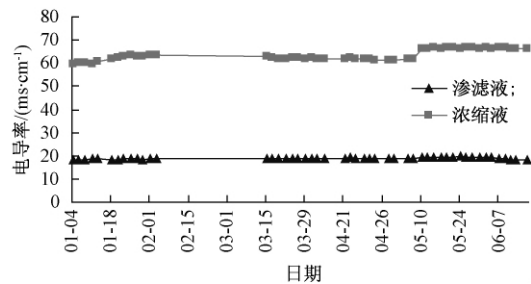


图4 宜昌垃圾填埋场渗滤液和浓缩液电导率变化曲线

影响碟管式反渗透设备运行的主要因素为原水即渗滤液电导率,从图4可以看出:浓缩液和渗滤液电导率均波动不大,渗滤液基本保持在18mS/cm左右,该垃圾填埋场实施浓缩液回灌工程之前,渗滤液电导率在16~18mS/cm,可见浓缩液回灌未对渗

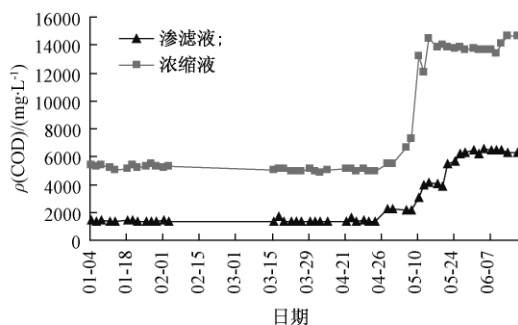


图5 宜昌垃圾填埋场渗滤液和浓缩液的 COD 变化曲线  
滤液电导率造成明显的影响。

一般认为,浓缩液回灌到垃圾场后,经过长期循环可能会导致渗滤液中无机盐的积累从而使电导率升高,不利于反渗透膜系统的正常运行。事实上在垃圾场内的碱性环境下,浓缩液中的重金属离子会形成氢氧化物沉淀,同时会被垃圾、腐殖质和土壤吸附,而且垃圾在降解过程中生成的大分子量腐殖质类有机物能与重金属离子形成稳定的螯合物,此外浓缩液回灌能促使 $\text{SO}_4^{2-}$ 被还原为 $\text{H}_2\text{S}$ , $\text{H}_2\text{S}$ 与渗滤液中的重金属离子反应生成硫化物沉淀,从而使重金属离子浓度大大降低<sup>[11]</sup>。同时,垃圾堆体中存在的大量多孔的腐殖质带负电荷,对某些离子(如钾离子和某些金属离子)具有吸附去除作用<sup>[12]</sup>,此外,腐殖酸盐在有 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 存在时形成沉淀,可去除部分浓缩液中的 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 。因此,浓缩液回灌对盐类有一定程度的去除作用。

从图5可以看出:从1—5月初渗滤液和浓缩液的COD值一直稳定保持在较低水平,从5月10号开始,COD值均有了明显升高的趋势,渗滤液 $\rho(\text{COD})$ 从1400 mg/L上升到6000 mg/L以上,浓缩液 $\rho(\text{COD})$ 从5000 mg/L上升到14000 mg/L左右。原因可能是该填埋场不断有新鲜垃圾填入,进入夏季,新填入的垃圾成分变化大,有机物含量增大,另外由于温度升高,垃圾内部微生物降解速度加快,雨水较多,促使垃圾层中的水解产物一同被冲刷下来,这些都可能导致垃圾渗滤液中COD含量增大。

从图4和图5可以看出回灌对浓缩液的电导率和COD均有较好的去除效果。

## 1.2 安徽省宁国市垃圾卫生填埋场

### 1.2.1 渗滤液处理系统

安徽省宁国市垃圾卫生填埋场也属于山谷型填埋场,渗滤液处理工艺同样采用碟管式反渗透——浓

缩液回灌工艺,处理能力 $100\text{ m}^3/\text{d}$ ,设备每天产生浓缩液约25 t。

### 1.2.2 浓缩液回灌工艺

由于该填埋场属于山谷型填埋场,垃圾堆体较厚,浓缩液回灌采用了柱状卵石井回灌方式(见图6),即在垃圾堆里挖深5 m、直径为8 m的圆柱形大坑,然后填充直径32~64 mm的卵石,最上面覆盖0.5 m厚的垃圾层,中心为DE300的HDPE导液管,深度小于2 m,用于浓缩液回灌。在导液管底部装有2层十字交叉的DE90的HDPE穿孔布水管,使回灌下来的浓缩液在垃圾层中分布更均匀。另外还均匀布有4根对称的DE110的HDPE导气管,从卵石井底部伸出,作用是防止甲烷等气体的积聚。

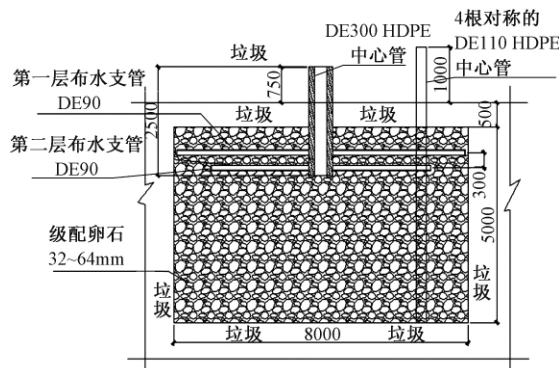


图6 柱状卵石井回灌示意

此回灌方法适合垃圾堆体较大的垃圾填埋场,优点是占地面积小,可以一次性承载较大容量的浓缩液,缺点是施工难度大,投资费用较高。该垃圾填埋场分布有3个回灌井,每天对1个回灌井进行回灌,由1个容积4 t的吸粪车进行回灌,每天回灌7~8车,3个回灌井轮流进行回灌。

### 1.2.3 回灌后水质变化情况

宁国垃圾填埋场渗滤液的浓缩液回灌后,对渗滤液和浓缩液的电导率进行了监测,结果见图7。

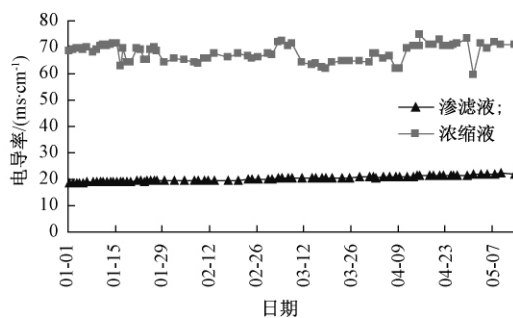


图7 宁国垃圾填埋场渗滤液和浓缩液电导率变化曲线

从图7可以看出:宁国垃圾填埋场的浓缩液回灌

后,渗滤液和浓缩液的电导率都比较稳定,渗滤液电导率没有出现大的波动,不会影响反渗透系统运行,说明此回灌方式适合该垃圾填埋场。

### 1.3 蒙城县垃圾卫生填埋场

蒙城县垃圾卫生填埋场渗滤液处理工艺与宜昌、宁国一样,都是碟管式反渗透——浓缩液回灌,每天产生浓缩液约 22 t。由于该垃圾填埋场属于平原型填埋场,具有垃圾堆体小,垃圾层薄的特点(5 m 左右),浓缩液回灌最初采用的是石笼回灌法,出现了短流现象,另外由于调节池容积较小,再加上短流现象,浓缩液回灌后渗滤液电导率波动较大,影响了后续反渗透设备的正常运行。后来对回灌工艺进行改进,将垃圾层表面覆盖厚度为 0.3 m 的卵石层,相当于两层生物滤床(见图 8),两卵石层间的垃圾层厚度约为 2 m,若垃圾层厚度过小(< 2 m),容易造成上层垃圾层积水较多,导致回灌的浓缩液流速变慢,影响回灌效果;上层垃圾层过厚容易造成短流,经试验厚度以 2 m 为宜。下层卵石可以起到较好的布水和导气作用,在不用石笼回灌时石笼穿孔管可只作导气用。实际回灌时采用 DN63 的新型双层复合水带,水带上均匀打眼进行表面喷洒(石笼回灌暂未使用),见图 9。

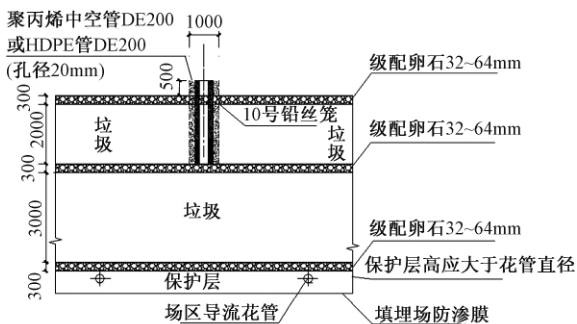


图 8 两层生物滤化床示意



图 9 表面喷洒回灌照片

该回灌法的优点是开挖出的垃圾回填后具有较

大的孔隙率,垃圾可以得到较高的利用率,使生物培养达到最优化,对浓缩液的 COD、电导率等指标具有较好的去除效果,另外布水效果比石笼直灌更均匀,且蒸发量增大;缺点是投资费用相比石笼回灌方式较高,对周围环境污染严重,如垃圾填埋场周围无居民区,可采用此法。

回灌区为 12 m × 100 m 的大区域,均分为 5 个小区,每个小回灌区回灌时间为 1 h,共计回灌约 6 t 的浓缩液。每小时换 1 个回灌区(由阀门控制),每天回灌 4 ~ 5 h。回灌时采取 5 个小回灌区依次单独进行回灌的方式,而非同时进行,因为单独对一个回灌区进行回灌可以使浓缩液喷洒的高度和区域更广,分散更为均匀。浓缩液回灌后渗滤液的电导率比较稳定,不会影响反渗透系统运行。

## 2 结论

1) 浓缩液回灌的条件是垃圾填埋场必须具备良好的防渗措施和畅通的渗滤液导排、收集系统,避免对水体、土壤等造成二次污染或形成短流。宜昌、宁国、蒙城垃圾填埋场具备较好的防渗措施和渗滤液导排系统,因此可以实施回灌。浓缩液的回灌方式需根据垃圾填埋场的具体地理特征和业主需求来确定:山谷型垃圾填埋场垃圾堆较厚,可以采用石笼回灌法,施工简单,投资成本较低且不易造成短流(若环境允许可以考虑兼用表面回灌方法);平原型垃圾填埋场垃圾堆体较小,用石笼回灌法容易造成短流,所以建议采用两层生物滤化床方式,垃圾利用率高,对浓缩液各项指标的去除效果好。环境条件允许的话可以采用表面喷洒方式,若不允许则可以采用埋管方式进行回灌(即将 PE 穿孔管埋入表面卵石层中)。

另外,若投资费用可以接受且想要达到较好回灌效果的话,山谷型填埋场也可以采用两层生物滤化床形式,具体采用何种回灌方式可以根据业主的具体情况和要求而定。

2) 回灌对浓缩液的电导率和 COD 均有较好的去除效果,而影响碟管式反渗透系统运行的主要因素是渗滤液的电导率,从本文中几个工程实例可知,浓缩液回灌后没有对渗滤液电导率造成明显的影响,即不会影响后续反渗透处理系统的正常运行。

3) 浓缩液回灌在垃圾填埋体上作为处理的一种方法有别于渗滤液的回灌,其中有机污染物等的负荷量极高,因此,浓缩液的回灌条件必须紧密配合垃圾

(下转第 10 页)

钠 + 0.15% 三聚磷酸钠方式清洗陶瓷膜效果稳定。

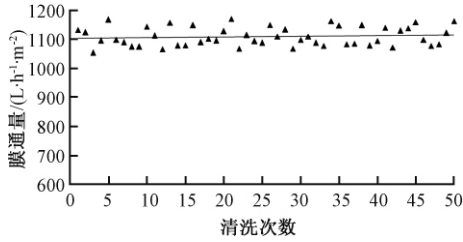


图 12 清洗效果变化情况

#### 4 结论

1) 使用陶瓷膜过滤废碱液会产生一定程度膜污染,根据膜通量随时间变化情况,确定陶瓷膜清洗周期为 2.5 h。

2) 采用 0.2% 硝酸清洗 15 min, 0.55% 次氯酸钠清洗 10 min, 0.15% 三聚磷酸钠清洗 10 min 方式清洗陶瓷膜,可以得到良好的再生效果,膜通量恢复率在 85% 以上,而且连续清洗再生效果稳定。

3) 清洗方式操作简单,清洗用时 35 min,清洗剂量少,可实现在线清洗,具有一定工程适用价值。

#### 参考文献

[1] 沈淞涛,杨顺生,方发龙,等.啤酒工业废水的来源与水质特点[J].工业安全与环保,2003,29(12):3-5.

[2] 邢卫红,翻益群,徐南平.无机陶瓷膜应用过程的进展[J].膜科学与技术,2003,23(4):86-91.

[3] 朱科学,周惠明.陶瓷膜分离技术及其在食品工业中的应用[J].食品技术,2002(5):8-10.

[4] 黄仲涛.无机膜技术及其应用[M].北京:中国石化出版社,1999.

[5] 徐农,黄江丽,刘广立,等.陶瓷微滤膜过滤黑液的清洗与再生[J].重庆环境科学,2003,25(12):54-61.

[6] 段少妮,胡海修.酸性清洗剂清洗陶瓷微滤膜在反渗透给水预处理中膜污染的试验研究[J].西南给排水,2005,27(1):11-13.

[7] 国家环保局.水和废水监测分析方法[M].北京:中国环境科学出版社,2003.

[8] 王君如,汪喜生,裘湛,等.无机陶瓷膜处理废乳液后的污染与清洗[J].净水技术,2009,28(4):32-34.

[9] 王长进,储凌,金江.陶瓷膜处理含油废水的膜化学清洗研究[J].水处理技术,2010,36(11):51-55.

[10] 刘俊,周元祥,汤利华,等.无机陶瓷膜处理生活污水中膜污染及清洗研究[J].安徽建筑工业学院学报,2007,15(3):57-60.

[11] 刘昌盛,傅金祥,李慧.陶瓷膜微滤的影响因素及膜污染再生探讨[J].辽宁化工,2010,39(1):55-60.

[12] 严熙世,范瑾初.给水工程[M].北京:中国建筑工业出版社,1999.

作者通信处 路京鹏 110168 辽宁省沈阳市浑南东路九号沈阳建筑大学  
E-mail ljp6219@163.com

2011-09-15 收稿

(上接第 36 页)

填埋体的形成并结合填埋操作的具体条件,以控制回灌量处于最适宜的程度(即不会造成短流),并限制在最适当的范围之内(以不影响填埋作业)。在我国,反渗透浓缩液回灌技术还处于研究发展阶段,技术尚不够完善,有待于进一步的研究和实践。

#### 参考文献

[1] 张宏忠,松全元,王淀佐.垃圾渗滤液膜处理技术[J].膜科学与技术,2004,24(5):69-73.

[2] 蒋宝军,李俊生,杨威,等.垃圾渗滤液反渗透浓缩液回灌处理中试研究[J].哈尔滨商业大学学报,2006,22(6):36-40.

[3] 李晔,吴飞,张发有,等.垃圾填埋场渗滤液回灌法处理技术探讨[J].工业安全与环保,2004,30(5):19-21.

[4] 胡敏云,陈云敏.垃圾填埋场渗滤液回灌调节池的容量设计方法[J].环境工程,2000,18(6):53-56.

[5] 李青松,金春姬,乔志香,等.渗滤液回灌在实际应用中应注意的问题[J].四川环境,2004,23(4):78-80.

[6] Lawson T A. Leachate recirculation: a landfill management tool[J]. Proceedings of the Institute of Waste Management, 1997

(3): 9-13.

[7] Warith M. Bioreactor landfills: experimental and field results[J]. Waste Management, 2001, 22(1): 7-17.

[8] 刘研萍,李秀金,王宝贞.渗滤液的反渗透浓缩液回灌研究[J].环境工程,2008,26(4):89-93.

[9] 梁梁,尹军,蒋宝军.垃圾渗滤液回灌处理若干参数控制[J].吉林建筑工程学院学报,2009,26(3):63-66.

[10] 张鸿郭,陈振雄,王筱虹.垃圾填埋场渗滤液回灌技术研究[J].新疆环境保护,2008,30(1):42-45.

[11] 王罗春,刘疆鹰,赵由才,等.垃圾填埋场渗滤液回灌综述[J].固体废弃物处置,1999,21(2):48-50.

[12] 刘方春,刘春生,杜振宇,等.褐煤腐植酸对钾的吸附特性研究[J].农业工程学报,2006,22(8):27.

作者通信处 左俊芳 100176 北京经济技术开发区同济中路 7 号  
兴盛工业园 5 号楼  
电话 (010) 51660180-177  
E-mail zuojunfang@163.com

2011-08-15 收稿