

# 生活垃圾焚烧炉渣覆盖层对 2S( 8-) 在填埋场中迁移的影响

詹婷婷<sup>&</sup>, 邱战洪<sup>\$</sup>, 郑婉珍<sup>&</sup>, 姚俊<sup>&!</sup>

( &;台州学院 环境工程系, 浙江 台州 !&' %%%; \$;台州学院 建筑工程学院, 浙江 台州 !&' %%%;  
!;浙江大学 环境与资源学院, 杭州 !&%%\$E)

**摘要:**通过 "G! Y 的模拟填埋场试验, 研究了生活垃圾焚烧炉渣覆盖层对 2S( 8-) 在填埋场中迁移的影响。研究表明, 生活垃圾焚烧炉渣覆盖层对 2S( 8-) 迁移的影响随着填埋进程而变化。在填埋场运行 &g \$G Y, 生活垃圾焚烧炉渣覆盖层截留了渗滤液中的 2S( 8-) , 这可能是生活垃圾焚烧炉渣对 2S( 8-) 的吸附作用所致。第 ! " g EG Y , 生活垃圾焚烧炉渣中 2S( 8-) 溶出量大于吸附量, 导致渗滤液中 2S( 8-) 浓度增加。第 &&\$g "G! Y 覆盖层对 2S( 8-) 又产生截留作用, 表明生活垃圾焚烧炉渣对 2S( 8-) 的吸附重新占据主导作用。

**关键词:** 填埋场; 生活垃圾焚烧炉渣覆盖层; 2S( 8-) ; 迁移

中图分类号: aG%# , R! EG      文献标识码: 3      文章编号: &%%&FG&&E( \$%%' ) %F%\$! AF%"  
4 /- : &%& ! GG" ?H; IJKL; KHMN; \$%%' C %C % " E

## Effect of Municipal Solid Waste Bottom Ash Layer on The Migration of Cr( VI) in the Simulated Landfill

2& )# S%# ' 9%# ' & , T%- 2& )#&0# ' \$ , 2& )# ' ( )#D& " #& , \* ) 0 \$ - # & !

( & ; 40\=SMUOJM 90 +JWLS9JUOJM=: +JPLJ0OSLJP , , =L]V9T ) JIOWOXLM> , , =L]V9T ! &' %%% , 2VLJ=;  
\$ ; 40\=SMUOJM 90 3SIVLMDIMTSO =JY 2LWL: +JPLJ0OSLJP , , =L]V9T ) JIOWOXLM> , , =L]V9T ! &' %%% , 2VLJ=;  
! ; 40\=SMUOJM 90 +JWLS9JUOJM=: +JPLJ0OSLJP , ' VOHL=JP ) JIOWOXLM> , 5=JP]V9T ! &%%\$E , 2VLJ=)

**Abstract:** 3 XLUT:=MOY :=JYQL: [=X 9\OS=MOY 09S "G! Y=>X M9 LJWOXMP=MO MVO 00001M 90 UTJLIL\=: X9:LY [=XND LJILJOS=MPS ( <1@-) N9MM9U =XV :=>OS 9J MVO ULPS=ML9J 90 2S( 8-) ; , VO SOXT:MX XV9[OY MV=M MVO 00001M [=X W=SLOY [LIM MVO STJLJP MLUO 0^MDJXL9J; OS9U Y=> & M9 Y=> \$G , 2S( 8-) LJ MVO :0=IV=MD [=X I=\MTSOY N> MVO <1@- N9MM9U =XV :=>OS , [VLIV I9T:Y NO YTO M9 MVO =YX9S\ML9J 90 2S( 8-) 9J MVO <1@- N9MM9U =XV; OS9U Y=> ! " M9 Y=> EG , MVO 2S( 8-) [=X :=SP0:> :0=IVOY OS9U MVO <1@- N9MM9U =XV , SOXT:MLJP LJ MVO LJISO=XO 90 2S( 8-) I9JIOJMS=ML9J 90 MVO :0=IV=MD; OS9U Y=> &&\$ M9 Y=> "G! , 2S( 8-) LJ MVO :0=IV=MD [=X I=\MTSOY N> MVO <1@- N9MM9U =XV :=>OS , XTPPOXMLJP MVO =YX9S\ML9J 90 2S( 8-) 9J MVO =YX9S\MLWO XTNXM=JIOX Y9ULJ=MOY;

**Keywords:** \* =JYQL:; <1@- N9MM9U =XV :=>OS; 2S( 8-) ; ULPS=ML9J

收稿日期: \$%&GF% ' F&'

基金项目: 浙江省科技计划项目( \$%%#2!! \$! " ); 浙江省大学生科技创新活动计划( \$%%A\_ " ! %&# ); 国家自然科学基金面上项目( #&#G' ! #A) 。

作者简介: 詹婷婷( &E' EF) , 女, 浙江萧山人, 本科在读。

通信作者: 姚俊( &E' ! F) , 男, 浙江台州人, 博士, 副教授, 研究方向: 固体废物处理及资源化利用。

生活垃圾焚烧技术具有卫生可控、减容减量化程度高、能源可回收、场地要求低等特点,成为城市垃圾处理的主要方法之一<sup>[1]</sup>。在过去十年间,我国垃圾焚烧场从 10 座增加至 100 座,处理能力从 100 万吨/年提高至 1000 万吨/年<sup>[2]</sup>。垃圾焚烧的过程产生了大量的生活垃圾焚烧炉渣。据报导,每焚烧 100 吨生活垃圾约产生 100 吨生活垃圾焚烧炉渣<sup>[3]</sup>。在中国,生活垃圾焚烧炉渣被允许直接进入生活垃圾填埋场进行处置。一些国家和地区,包括中国、日本和台湾地区等,已利用生活垃圾焚烧炉渣替代传统的黏土覆盖材料,作为新型的填埋场覆盖层材料<sup>[4]</sup>。生活垃圾焚烧炉渣含有大量的 Ca、Si、Al、Fe 等碱金属,具有很强的酸缓冲能力。生活垃圾焚烧炉渣中还含有大量的吸附性介质,包括 SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 化合物、高岭石、铁氧化物等<sup>[5]</sup>。这些理化特性使生活垃圾焚烧炉渣覆盖层可以改变渗滤液的理化性质。例如,较强的酸缓冲能力可以提高渗滤液的 pH,进而改变渗滤液中金属的浓度和形态。较强的吸附能力可以吸附渗滤液中重金属等污染物质,改变其迁移和释放行为。另一方面,生活垃圾焚烧炉渣含有一定量的重金属,这些重金属溶出则可能加剧填埋场的污染。

2S 是填埋场中较受关注的一种重金属。一方面,2S 在填埋场中浓度较高,其在渗滤液中的浓度可以高达 100 mg/L<sup>[6]</sup>。另一方面,2S 能以 2S(II) 和 2S(IV) 两种价态存在。其中,2S(IV) 毒性较大,其释放可能对周边环境产生较大的影响<sup>[7]</sup>。鉴于生活垃圾焚烧炉渣较强的吸附能力及其对渗滤液理化性质的影响,生活垃圾焚烧炉渣覆盖层可能对渗滤液中 2S(IV) 的迁移产生影响,进而影响其在填埋场中的形态转化和最终释放。目前,关于生活垃圾焚烧炉渣覆盖层对 2S(IV) 在填埋场中迁移行为的影响研究还较少,有必要对此进行研究。本研究通过 10 天的模拟填埋器实验,考察了不同填埋阶段生活垃圾焚烧炉渣覆盖层对 2S(IV) 在填埋场中迁移的影响,以期对填埋场 2S 污染的控制提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 模拟填埋器装置

实验采用的模拟填埋器装置如图 1 所示。模拟填埋器为 R32 材料制成,内径为 100 mm,高为 1000 mm,工作容量为 100 L。每个模拟填埋器设置 4 个出口:顶盖设置出气口和渗滤液回灌口;侧面 2 个出口

从上而下依次为上层渗滤液采样口和下层渗滤液采样口。底部设置渗滤液出口。模拟填埋器底部铺设 100 mm 厚的砾石层。模拟渗滤液导出系统,所选砾石为 2-4 mm 粒径范围,顶部铺设 100 mm 高的砂砾,剩余部分作为气室。

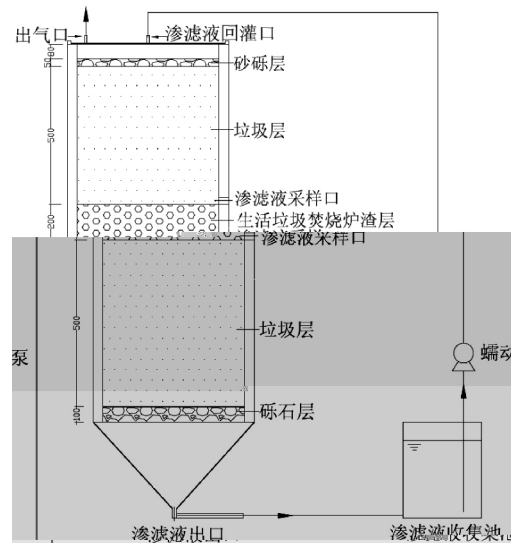


图 1 模拟填埋器装置

OLP; & 11V0U=MLI 90 MM/0 XLUT:=MOY:::=JYQL:: X>XMOUX

### 1.2 供试生活垃圾和生活垃圾焚烧炉渣

供试生活垃圾取自浙江省台州市葭芷街道。取得的垃圾样品去除惰性物质后被破碎至 5 mm 大小。供试生活垃圾焚烧炉渣取自浙江某垃圾焚烧厂,炉渣样品取样前已经过磁选和水淬处理。

### 1.3 填埋场运行

先将 500 g 生活垃圾样品装入模拟填埋器并压实。然后将 500 g 生活垃圾焚烧炉渣样品装入模拟填埋器并压实。最后,将 500 g 生活垃圾样品装入模拟填埋器并压实。生活垃圾的含水率被调节至 60%。装入生活垃圾和生活垃圾焚烧炉渣后,模拟填埋器被封实。产生的渗滤液收集至渗滤液收集池,利用蠕动泵回灌至填埋体。

### 1.4 采样和分析方法

每隔一段时间由上层渗滤液采样口(1)、下层渗滤液采样口(2)和渗滤液出口(3)采集渗滤液,采得的渗滤液测定 pH 和 2S(IV) 浓度。

## 2 结果与讨论

### 2.1 生活垃圾焚烧炉渣覆盖层对渗滤液 pH 的影响

生活垃圾焚烧炉渣覆盖层对渗滤液 pH 的影响

如图 2 所示。在整个填埋场运行过程中, pH 均高于 7, 这是因为生活垃圾焚烧炉渣较强的酸缓冲能力提高了渗滤液的 pH。在填埋场运行的前 100 d, 生活垃圾焚烧炉渣覆盖层对渗滤液 pH 的提升作用尤为明显。随着填埋场的运行, 这种提升作用慢慢变弱, 表明生活垃圾焚烧炉渣中大量的酸缓冲介质被逐渐消耗。

值得注意的是, 虽然生活垃圾焚烧炉渣覆盖层提高了渗滤液 pH, pH 始终与 7 保持在相当的水平。这表明, 生活垃圾焚烧炉渣覆盖层对渗滤液 pH 的影响会被下层填埋体所恢复。

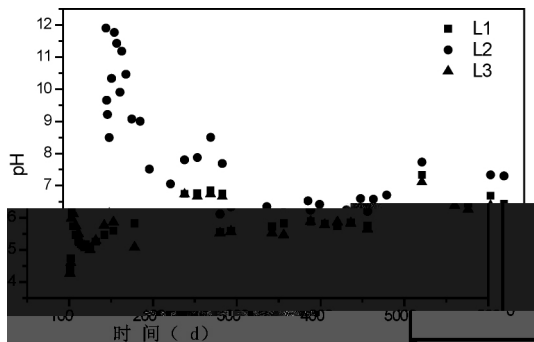


图 2 生活垃圾焚烧炉渣覆盖层对渗滤液 pH 的影响

OLP; \$ +0001M 90 <1@- N9M9U =XV :=>OS 9J MVO \5 90 MVO :0=IV=MDX

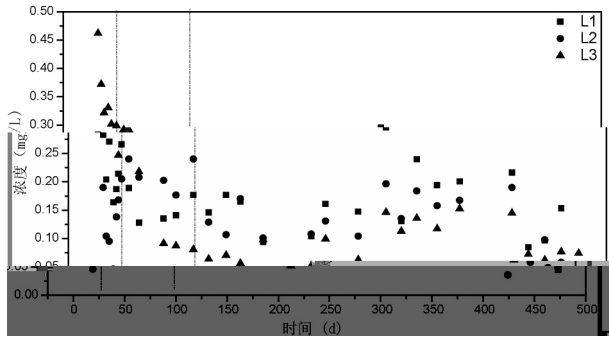


图 3 生活垃圾焚烧炉渣覆盖层对渗滤液 Cr(VI) 浓度的影响

OLP;! +0001M 90 <1@- N9M9U =XV :=>OS 9J MVO

2S 19J10J16=M9J 90 MVO :0=IV=MDX

## 2.2 生活垃圾焚烧炉渣覆盖层对 Cr(VI) 迁移的影响

( & ) 第 &g\$G 天

填埋场运行第 &g\$G 天, pH 中 2S( 8-) 的浓度低于 7, 表明渗滤液中 2S( 8-) 被生活垃圾焚烧炉渣覆盖层截留。这可能是因为生活垃圾焚烧炉渣中吸附性介质对 2S( 8-) 的吸附作用所致。已有研究表明, 生活垃圾焚烧炉渣中的 OSLOYO: 化合物对 2S( 8-) 具有强吸附能力<sup>[E]</sup>, 此外高岭石及铁氧化物也有类似的作用<sup>[88]</sup>。根据渗滤液的体积, pH 和 7

中 2S( 8-) 的浓度差计算, 该阶段有 6CA" UP 的 2S( 8-) 被生活垃圾焚烧炉渣覆盖层截留。

( \$ ) 第 !GgEG 天

填埋场运行第 !GgEG 天, pH 中 2S( 8-) 浓度高于 7, 表明生活垃圾焚烧炉渣中的 2S( 8-) 溶出, 增加了渗滤液中 2S( 8-) 的浓度。在此阶段, pH 的 7 较第 &

LJ UTJLIL\=: X9:LY [=XMD =JY UTJLIL\=: X9:LY [=XMD  
 LJILJOS=ML9J N9M9U =XV I9FYIX\9XOY :=JYQL:: [d]; d9TSJ=:  
 90 <=MDSL=: 2>I:OX =JY @=XMD <=J=POUOJM, \$%&" , &A:  
 GG#FG' !;

[ \$ ] 7=9 , d; , f9JP , Z; . ; , ' VT , 5; 7; , "9 )+; 3YX9S\ML9J  
 IV=S=IMOSLXMLIX 90 JUMSLD 9J OSLOYO: ' X X=:M TJYOS MVO  
 :=JYQL:: ILSITUXM=JIO [d]; 2VOULI=: +JPJ00SLJP d9TSJ=: ,  
 \$%&" , \$#: "GEF" ' #;

[ ! ] 7=9 , d; , f9JP , Z; . ; , ' VT , 5; 7; , \*9JP , 7; 7; , 1VOJ ,  
 4; 1; \_ONDJML9J =JY :0=IVLJP 90 JUMSLD N> UTJLIL\=: X9:LY  
 [=XMD LJILJOS=MPS N9M9U =XV TJYOS MVO :=JYQL::  
 ILSITUXM=JIO [d]; 2VOU9X\VOSO, \$%&# , &&E: \$AGF\$G\$;

[ " ] 中华人民共和国国家统计局; \$%&" 年中国统计年鉴  
 [<]; 北京: 中华人民共和国国家统计局, \$%&#;

[ # ] 2VLUOJ9X , d;<; , 10P=SS= , <; , OOSJãJY0] , <; 3; , "9 )+;  
 2V=S=IMOSL]=ML9J 90 MVO N9M9U =XV LJ UTJLIL\=: X9:LY  
 [=XMD LJILJOS=MPS [d]; d9TSJ=: 90 5]=SY9TX <=MDSL=: ,  
 &EEE , A": \$&&F\$\$\$;

[ A ] , S=W=S , -; , \*LYO:I [ , 1; , 3JYSO=X , \*; , "9 )+; 3XXOXLJP  
 MVO OJWLS9JUOJM=: LU\=IM 90 =XVOX TXOY LJ = :=JYQL::

I9WOS I9JXMSTIML9J [d]; @=XMD <=J=POUOJM, \$%&E , \$E:  
 &!!AF&! "A;

[ G ] FHO:YXOJ , R; , (=S=:] <; 3; , \_99KOS , 3; R; , "9 )+;  
 RSOXOJM =JY \*9JPF , OSU 29U\9XLM9J 90 <1@ \*=JYQL::  
 \*0=IV=MD: 3 \_OWLO [ [ d]; 2SLMI=: \_OWLO[X LJ  
 +JWLS9JUOJM=: 11LOJIO =JY , 0IVJ9:9P> , \$%&\$ , ! \$: \$EG  
 F!!A;

[ ' ] R=mTLJ R; \_; , 1=JMPSO \_; 2; , @T f: ( ; , "9 )+; , VO NL9MLI  
 :LP=JY U9YO: = U9YO: 90 MVO =ITMD M9^LILM> 90 UOM=:X M9  
 =mT=MLI :L00 [d]; +JWLS9JUOJM=: 11LOJIO =JY R9:LI> ,  
 \$%&# , !: &G#F' \$;

[ E ] 4=l 7; 2; , ZL=J 6; \_; , 2=9 7; \*; , "9 )+; +0001MLWO  
 SOU9W=: =JY QL^=ML9J 90 2S( 8-) 0S9U =mT09TX X9:TML9J  
 [LMV OSLOYO: ' X X=:M [d]; d9TSJ=: 90 5]=SY9TX <=MDSL=:X ,  
 \$%&E , &G%: &% ' AF&%E\$;

[ &% ] 3YON9 [=0 f; /; , )JT=N9J=V -; +; , /:Te/[9:=NL ( ; -;  
 3YX9S\ML9J 90 X9UO VO=W> UOM=: L9JX 9J XT:0=MD F =JY  
 \V9X\V=MDdJ9YLQLOY K=9:LJ [d]; 3\ \:LOY 2:=> 11LOJIO ,  
 \$%&# , \$E: &"#F&" ' ;

(上接第 \$!# 页)

[ A ] 王耀南, 孙炜; 智能控制理论及应用 [<]; 北京: 机械工业出版社, \$%&' ;

[ G ] 张亚军, 杨盼盼; 纯电动汽车再生制动系统的建模与仿真 [d]; 武汉理工大学学报, \$%&%( ' ): E%FEG;

[ ' ] 徐国凯, 张涛, 赵秀春; 基于模糊逻辑的电动汽车制动力分配及能量回收控制策略研究 [d]; 大连民族学院学报, \$%&%( # ): \$&\$F\$&A;

[ E ] 张健, 王耀南, 曹松波; 基于模糊逻辑的电动汽车制动

能量回馈控制策略 [d]; 工业控制计算机, \$%&%( G ):  
 #€) . 8301890-Tm1j 0. 49438. 830189008. 8301890-Tm6y] /BZO-016