

# 城市垃圾卫生填埋场粘性土衬垫的 截污容量及其研究意义

刘长礼 王秀艳 张云

中国地质科学院水文地质工程地质研究所, 石家庄, 050061

**内容提要** 垃圾卫生填埋法的关键技术之一是防渗垫层的铺设, 国内外对防渗垫层的要求是“防渗”, 所设计的防渗垫层所用材料种类多、价格贵、铺设复杂、成本高。若把垫层铺设的指导思想改为“截污”, 可充分利用对垃圾污染质具有净化或阻隔能力的场地粘性土, 降低垫层铺设成本。“截污容量”是基于这种思想提出来的、用于表征粘性土的截污能力的物理参量, 其科学和实用意义、试验测试及计算方法将在本文得到探讨。

**关键词** 垃圾卫生填埋场 粘性土垫层 截污容量

## 1 粘性土的截污容量的研究意义

卫生填埋法是城市垃圾处置时用得最多的方法。由于此法具有处置彻底、成本低廉(是焚烧法的  $1/15 \sim 1/8$ , 是堆肥法的  $1/5 \sim 1/3$ )等优点, 因而被世界上大多数国家普遍采用(巴斯頓等, 1993; 张锡根等, 1996; 陈岳等, 1993)。卫生填埋法被认为是最适合我国国情的处置方法(刘长礼等, 1998)。

卫生填埋法最关键的技术之一是防渗垫层的铺设。以往, 国内外学者对填埋场粘性土阻隔能力的研究, 焦点集中在土中污染质的迁移、转化机制、转化的速度、深度和距离及垫层土的密度、渗透性能等方面(Van Impe et al., 1996)。防止渗滤液污染环境的思路是: 禁止渗滤液向场外渗漏。在这种思想的指导下, 目前国内外所用的防渗衬垫的结构复杂(图1)(巴斯頓等, 1993; Van Impe et al., 1996)、材料昂贵, 铺设难度大。一个垃圾场的防渗垫层的造价可高达数百万至上千万人民币, 这显然不适合于中国经济基础差的国情。造成这种情况的原因之一, 是长期以来没有一个能完全、准确地表征粘性土对污染物的截污能力的参数, 因而不能充分利用粘性土的截污潜力。

许多工程实践和研究结果表明, 粘性土对污染质具有净化能力, 渗滤液在土中运移一定的深度或距离后, 污染质会留在土中, 水将得到一定程度的净化(巴斯頓等, 1993; Mohamed et al., 1995)。根据这一事实, 我们可以设想, 若渗滤液中污染物留在垫层土中, 通过垫层而进入地下水或其他环境中的水是不超标的, 这同样不污染环境。在这种思想的指导下, 所铺设的垫层的主要标准是其截污能力足够大, 不一定要求其不透水。衡量土的截污能力大小, 我们认为用“截污容量”这个指标较合适。粘性土的“截污容量”, 是指单位重土对污染物的最大截污能

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(编号 49502043)成果之一。

本文 1999 年 4 月收到, 9 月改回, 周健编辑。

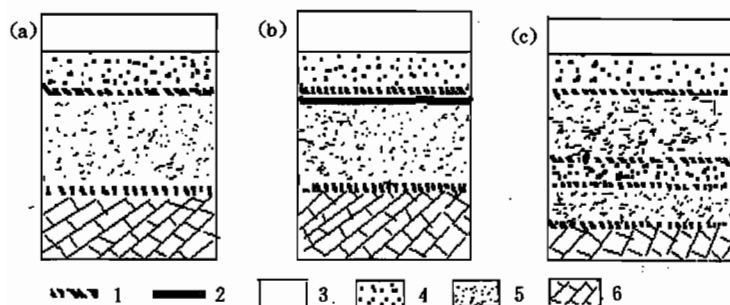


图1 国外发达国家常用的防渗垫层示意图

Fig. 1 The sketch of liners used in developed countries

1—土工织物;2—土工膜;3—垃圾;4—排水层;5—粘土衬垫;6—基岩

1—Geotechnical fabric;2—geomembrane;3—garbage;4—drainage sand layer;

5—clayey layer;6—base rock

工程性质等都掌握后,再对该场地的粘性土进行土工试验及下面要叙述的模拟淋滤实验、分析和计算,确定该场地粘性土截污容量为  $M$ ,而该填埋场拟填埋垃圾可产生的污染质总量不超过  $M$ 。在这种条件下,对垫层的设计便可简单些,在其他条件配合时,甚至可以不用。这可节省一大笔开销。这是截污容量概念的实用意义。

## 2 粘性土的截污容量的试验研究方法

### 2.1 试验研究思路

粘性土对污染物的阻隔或净化主要是通过机械过滤、物理吸附、阳离子交换、化学反应、生物或生物化学作用来实现(巴斯顿等,1993;张锡根等,1996)。我们认为,粘性土层作为填埋场衬垫时,前4种作用是主要的。而生物或生物化学作用则是通过土壤微生物活动来实现的。现有土壤微生物学的研究成果表明,土壤中微生物绝大多数在深0~0.5m的范围内活动,在此之下,微生物活动很少(亚历山大,1991)。粘性土垫层在填埋场使用期一般深度都超过了6m(McEnroe, 1993; Bishop et al., 1995)。因此,我们在研究粘性土的截污能力时,重点研究机械过滤、物理吸附、阳离子交换作用和化学反应。具体研究思路是,在了解粘性土的物理性质和工程性质的情况下,把土体视为一个黑箱,只关注向该黑箱的输入输出因素及其参量之间的相互关系和变化规律,而对污染物在土中的过滤、吸附、阳离子交换等作用的具体方式、作用机制和强度等不予考虑。这样便于在分析和解决问题时抓住主要矛盾,揭示问题的实质,研究结果实用。

### 2.2 试验研究方法

在上述思路的指导下,我们选用了广泛分布于石家庄地区表层、对垃圾填埋具有重要实用价值的粘性土为研究对象;根据石家庄垃圾淋滤液中主要的污染组分,选用了COD、总氮、氨氮、电导率等几种污染项目作为研究对象;为研究不同深度、不同厚度、不同密度土的渗透性能、阻隔能力等以及单位重土对土的污染物的截污能力等,制作了如图2所示的系列淋滤试验模型。试验操作和注意事项:①按原地质矿产部《土工试验规程》,作土工试验,测试土的物理和工程性质等参数;作击实试验,测试击实后土的密度、容重、比重、渗透系数等参数。②根据上述试验结果,分别向图2所示的高强度塑料筒(共6个)中按不同的密度装土,在此过程中,为预

力,即当经过单位重土的污染物超过此值时,超过部分将越过土层污染环境。这是截污容量的科学含义和意义。“截污容量”的概念与污水土地处理中的“同化容量”的概念是有区别的。“截污容量”概念的使用,可在保证工程质量和环保效果的情况下,最大限度地利用场地粘性土的净化能力,降低防渗垫层铺设成本。举例来说,通过勘察,对某拟填埋场粘性土的分布、厚度、物理及

防由于土与塑料壁之间接触不良或开裂所造成的影响,我们采用了在装土之前向塑料筒边壁上先涂抹一层凡士林的办法,效果很好。③为真实地模拟垃圾渗滤液在土中的运移及粘性土的截污能力,我们采用填埋场渗滤液的原液来作系列淋滤试验。④由于土柱上的淋滤液向土中渗滤,再从土柱中孔中取出水之间存在一个时间差,为避免这个时间差造成的误差,我们在测试从土柱中取出的水的污染组分的同时,也测试土柱之上的淋滤液的相应成分的浓度,通过计算,消除误差。⑤不同密度土的渗透试验采用常规的渗透试验方法,而土中孔隙水的运移规律研究,采用专门的微渗流试验。试验时的实验室温度变化范围用空调器控制在4℃以内,以避免由于热胀冷缩过大带来的误差。由于粘性土中孔隙水渗流量特别小,为避免由于干燥产生蒸发对观测流量带来的误差,在实验室安装了加湿器,以保证室内湿度在80%以上。⑥土柱中水样的采集采用真空负压计,保证随时取到水样。土柱中淋滤水的污染组分由中国地质科学院水文地质专业测试中心测试。

### 2.3 粘性土截污容量的计算

在计算粘性土截污容量前,要确定净化率和截污值。

**净化率  $R$**  指渗滤液经过土体后,留在土中的污染质与原状渗滤液中污染质的量的百分比率,计算时用原状渗滤液的浓度  $C_{原}$  与渗滤液过土体后流出水的污染质的浓度  $C_{出}$  的差  $(C_{原} - C_{出})$  与渗滤液的浓度  $C_{原}$  的百分比,即:

$$R = (C_{原} - C_{出}) / C_{原} \times 100\% \quad (1)$$

净化率  $R$  是一个衡量粘性土对污染质阻隔或净化能力的重要指标。当土对污染质净化率  $R = 0\%$  时,说明该土已经不再对污染质有净化能力。在实际使用时,为更有效地保护环境,土不再对污染质有净化能力的标准可根据具体情况而定,我们认为  $R$  可以定在  $0 \sim 25\%$  之间。

**截污值  $S$**  指渗滤液经过土体后,留在土中的污染质的量,计算时可采用渗滤液的原状浓度  $C_{原}$  与渗滤液经过土流出的污染质浓度  $C_{出}$  的差  $(C_{原} - C_{出})$  与渗滤液的体积  $V_{原}$  的乘积。即粘性土对污染质截污值  $S$  为:

$$S = (C_{原} - C_{出}) \times V_{原} \quad (2)$$

为便于在工程实践中的应用,我们引入单位重土截污值  $S_D$  的概念,即用粘性土对污染质截污值  $S$  除以参与截污值  $S$  的土的重量  $W$ 。计算式为:

$$S_D = S / W = (C_{原} - C_{出}) \times V_{原} / W \quad (3)$$

$S$ 、 $S_D$  单位分别为  $\text{mg}$ 、 $\text{mg/g}$ 。

**截污容量的确定** 单位重土截污值  $S_D$  表明每单位重的土里截留了多少重量的污染质,就同一种土来说,是一个不定值,它的大小与渗滤液的量、污染质的浓度、经过土的时间有关,也与土本身的性质有关。对于同一种土,对污染质的吸附、过滤、离子交换等作用并非是无限制的。换句话说,到一定程度后,土中污染质达到饱和,这时,单位重土截污值为单位重土最大截污值或土的饱和截污值  $S_{DM}$ ,所累积的污染质的总量就是所谓的土的截污容量(用  $S_{DM}$  来表示),它是一个只与土的性质(土的颗粒组成、密实度、矿物成分、有机物成分、渗透性等)有关,

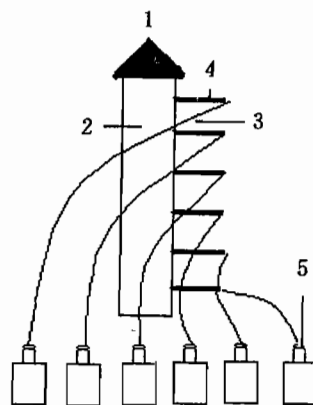


图2 粘性土淋滤试验模型示意图

Fig. 2 The sketch of clayey soils model for filtering test  
1—密封盖;2—土柱;3—导水管;  
4—取水器;5—集水瓶  
1—Airproof cover; 2—clayey column; 3—plastic water pipe;  
4—fetching water implement;  
5—catchment bottle

而与渗滤液的量、污染质的浓度、经过土的时间等无关的参量。

### 3 粘性土截污容量及其特性

对石家庄表层粘性土,采用上述试验方法研究,并根据土的净化率和单位重土的截污值随着淋滤次数的增多要发生变化,及不同密度的土对污染质的净化或截污能力也是不同的推理,我们对不同密度的粘性土土柱进行了不同淋滤次数的系列化淋滤试验,并通过计算得到如表 1、2 及图 3、4、5、6 所示的结果。

表 1 石家庄表层粘性土对污染质阻隔能力试验研究结果

Table 1 The testing results of obstructing ability of surface clayey soils to pollutants in Shijiazhuang

| 淋滤次第 | 试验土柱 | COD(mg/L) |        |        | 电导率( $\mu\text{S}/\text{s}$ ) |        |         | 总氮(mg/L) |        |        | 氨氮(mg/L) |        |        |
|------|------|-----------|--------|--------|-------------------------------|--------|---------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|
|      |      | 实测值       | 净化率(%) | 截污值    | 实测值                           | 净化率(%) | 截污值     | 实测值      | 净化率(%) | 截污值    | 实测值      | 净化率(%) | 截污值    |
| 淋滤 1 | TN1  | 53.55     | 94.31  | 887.65 | 4674.75                       | 50.3   | 3395.25 | 28.00    | 94.22  | 456.44 | 19.81    | 95.41  | 411.79 |
|      | TN2  | 36.52     | 96.12  | 904.68 | 4269.75                       | 56.3   | 3800.25 | 9.96     | 97.83  | 474.48 | 9.67     | 97.76  | 421.93 |
|      | TN3  | 26.26     | 97.21  | 914.94 | 2501.93                       | 82.49  | 5568.07 | 4.44     | 99.01  | 480.00 | 8.63     | 98.00  | 422.97 |
|      | TN4  | 22.03     | 97.66  | 919.17 | 2085.45                       | 88.66  | 5984.55 | 43.09    | 91.00  | 441.35 | 5.78     | 98.66  | 425.82 |
|      | TN5  | 13.46     | 98.57  | 927.74 | 1997.70                       | 89.96  | 6072.30 | 26.79    | 94.36  | 457.65 | 2.94     | 99.32  | 428.66 |
|      | TN6  | 6.03      | 99.35  | 935.17 | 1832.32                       | 92.41  | 6237.68 | 13.89    | 97.02  | 470.55 | 1.94     | 99.55  | 429.66 |
| 淋滤 2 | TN1  | 89.98     | 90.44  | 851.22 | 2559.81                       | 68.28  | 5510.19 | 46.44    | 89.26  | 385.96 | 38.37    | 91.11  | 393.23 |
|      | TN2  | 79.44     | 91.56  | 861.76 | 2642.92                       | 67.25  | 5427.08 | 46.44    | 89.76  | 385.96 | 26.72    | 93.81  | 404.88 |
|      | TN3  | 24.00     | 97.45  | 917.20 | 2479.88                       | 69.27  | 5590.12 | 24.95    | 94.23  | 407.45 | 22.44    | 94.81  | 409.16 |
|      | TN4  | 17.79     | 98.11  | 923.41 | 2069.18                       | 74.36  | 6000.86 | 20.15    | 95.34  | 412.25 | 21.93    | 94.92  | 409.67 |
|      | TN5  | 15.44     | 98.36  | 925.76 | 1775.40                       | 78.00  | 6294.60 | 7.70     | 98.22  | 424.70 | 21.67    | 94.98  | 409.93 |
|      | TN6  | 18.82     | 98.00  | 922.38 | 1756.04                       | 78.24  | 6313.96 | 5.36     | 98.76  | 427.04 | 20.11    | 95.34  | 411.49 |
| 淋滤 3 | TN1  | 356.63    | 56.44  | 462.07 | 4030.08                       | 43.44  | 4039.92 | 79.30    | 81.66  | 353.10 | 58.09    | 86.54  | 373.51 |
|      | TN2  | 280.32    | 65.76  | 538.38 | 3823.60                       | 45.66  | 4246.40 | 53.84    | 87.55  | 378.56 | 56.28    | 86.96  | 375.32 |
|      | TN3  | 229.40    | 71.98  | 589.30 | 3870.12                       | 45.16  | 4199.88 | 49.25    | 88.61  | 383.15 | 54.34    | 87.41  | 377.26 |
|      | TN4  | 213.19    | 73.96  | 605.51 | 3717.60                       | 46.8   | 4352.40 | 47.56    | 89.03  | 384.84 | 49.34    | 88.80  | 382.26 |
|      | TN5  | 208.67    | 74.51  | 610.03 | 3648.78                       | 47.54  | 4421.22 | 45.40    | 89.50  | 387.00 | 46.61    | 89.20  | 384.99 |
|      | TN6  | 178.48    | 78.21  | 640.22 | 3529.42                       | 48.88  | 454.58  | 44.40    | 89.84  | 388.00 | 42.68    | 90.11  | 388.92 |
| 淋滤 4 | TN1  | 380.21    | 53.16  | 438.49 | 5223.42                       | 35.23  | 2846.58 | 101.18   | 76.60  | 331.22 |          |        |        |
|      | TN2  | 367.21    | 55.16  | 451.59 | 4930.10                       | 38.86  | 3139.90 | 62.53    | 85.54  | 369.87 |          |        |        |
|      | TN3  | 142.54    | 82.59  | 676.16 | 3185.64                       | 60.45  | 4884.36 | 42.76    | 90.11  | 389.64 |          |        |        |
|      | TN4  | 108.32    | 86.77  | 710.39 | 3023.83                       | 62.46  | 5046.17 | 22.57    | 94.78  | 409.83 |          |        |        |
|      | TN5  | 99.15     | 87.89  | 719.55 | 2941.62                       | 63.47  | 5128.38 | 14.44    | 96.66  | 417.96 |          |        |        |
|      | TN6  | 97.92     | 88.04  | 720.78 | 2666.10                       | 66.88  | 5403.90 | 8.04     | 98.14  | 424.36 |          |        |        |
| 淋滤 5 | TN1  | 746.98    | 8.76   | 71.72  | 6466.93                       | 19.8   | 1603.07 | 182.47   | 57.8   | 249.93 |          |        |        |
|      | TN2  | 742.97    | 9.25   | 75.73  | 5742.96                       | 28.8   | 2327.04 | 103.30   | 76.11  | 329.10 |          |        |        |
|      | TN3  | 734.78    | 10.25  | 83.92  | 5098.99                       | 36.77  | 2971.01 | 92.70    | 78.56  | 339.70 |          |        |        |
|      | TN4  | 705.06    | 13.88  | 113.64 | 4469.55                       | 44.55  | 3600.45 | 90.85    | 78.99  | 341.55 |          |        |        |
|      | TN5  | 689.59    | 15.77  | 129.11 | 3994.45                       | 50.44  | 4075.55 | 84.62    | 80.43  | 347.78 |          |        |        |
|      | TN6  | 656.27    | 19.84  | 162.43 | 3366.61                       | 58.21  | 4703.39 | 77.31    | 82.11  | 355.09 |          |        |        |

表 1、表 2、图 4 中的“淋滤 1”是指从第一次把渗滤液注入实验土柱之上、到这些渗滤液完全进入土柱中、并把水取出进行污染质成分化学分析后得到结果为止的过程。“淋滤 2”、“淋滤 3、……”的意义可依此类推。图 3、4、5、6 显示出:

(1)同一淋滤次第的渗滤液经过土后,污染质成分 COD、电导率、总氮等的浓度,都随淋滤

深度的加大而减少,净化率随之增大。表明土层越厚,净化能力越强(图 3)。

表 2 石家庄表层粘性土单位重土对污染质的截污值(mg/g)

Table 2 filtration values (mg/g) of unite weight of surface clayey soils to pollutants in Shijiazhuang

| 土柱  | 淋滤 | COD     | 总氮      | 氨氮      | 土柱  | 淋滤 | COD     | 总氮      | 氨氮      | 土柱  | 淋滤 | COD     | 总氮      | 氨氮      |
|-----|----|---------|---------|---------|-----|----|---------|---------|---------|-----|----|---------|---------|---------|
| TN1 | 1  | 0.11623 | 0.05976 | 0.07643 | TN3 | 1  | 0.09323 | 0.04894 | 0.04323 | TN5 | 1  | 0.08740 | 0.04312 | 0.04038 |
|     | 2  | 0.11465 | 0.05054 | 0.05150 |     | 2  | 0.09352 | 0.04154 | 0.04172 |     | 2  | 0.08722 | 0.04001 | 0.03862 |
|     | 3  | 0.06050 | 0.04624 | 0.04892 |     | 3  | 0.06010 | 0.03907 | 0.03847 |     | 3  | 0.05747 | 0.03646 | 0.03627 |
|     | 4  | 0.05742 | 0.04338 |         |     | 4  | 0.06894 | 0.03973 |         |     | 4  | 0.06779 | 0.03938 |         |
|     | 5  | 0.00939 | 0.05630 |         |     | 5  | 0.00856 | 0.03464 |         |     | 5  | 0.01216 | 0.03276 |         |
|     | 总和 | 0.35819 | 0.25622 | 0.17685 |     | 总和 | 0.32435 | 0.20392 | 0.12342 |     | 总和 | 0.31024 | 0.19173 | 0.11527 |
| TN2 | 1  | 0.11040 | 0.05791 | 0.05148 | TN4 | 1  | 0.09082 | 0.04361 | 0.04207 | TN6 | 1  | 0.08413 | 0.04233 | 0.03866 |
|     | 2  | 0.10514 | 0.04709 | 0.04940 |     | 2  | 0.09123 | 0.04073 | 0.04048 |     | 2  | 0.08298 | 0.03842 | 0.03702 |
|     | 3  | 0.06568 | 0.04619 | 0.04579 |     | 3  | 0.05982 | 0.03802 | 0.03776 |     | 3  | 0.05760 | 0.03495 | 0.03499 |
|     | 4  | 0.05509 | 0.04512 |         |     | 4  | 0.07018 | 0.04049 |         |     | 4  | 0.06485 | 0.03818 |         |
|     | 5  | 0.00924 | 0.04015 |         |     | 5  | 0.01123 | 0.03375 |         |     | 5  | 0.01461 | 0.03194 |         |
|     | 总和 | 0.34555 | 0.23646 | 0.14667 |     | 总和 | 0.32328 | 0.19660 | 0.12031 |     | 总和 | 0.30417 | 0.18582 | 0.11067 |

(2)从理论上分析,粘性土的密度越大,其机械过滤作用就越强,对污染物的截留或净化作用就越大。图 4 揭示出:①渗滤液经过同样的深度时,该土对 COD 的净化率随土的密度的增加而增加。②无论哪个淋滤次第,在该粘性土的密度达到  $1.936 \text{ g/cm}^3$  之前,净化率的增长都比较迅速,而在  $1.936 \text{ g/cm}^3$  之后,净化率的增长速度明显变慢。

(3)理论上讲,在土中污染物未达到饱和之前,随着淋滤次数的增多,污染物在土的积累就越多,淋滤次数增多到一定值时,土对污染质的截留能力达到饱和状态,此时的截污值即是截污容量。图 5 揭示:①在同一密度的土中,淋滤次第不同,该土对污染质的截污值不同,渗滤液对土的淋滤次数越多,土对污染质的截污值就越小。②试验中所有密度的土柱在淋滤次数达到 5 时,COD 的净化率均达到 20% 以下(表 2),即这些土柱对 COD 的截污能力几乎达到了极限,此时的单位重量粘性土对 COD 截污值即是土对 COD 的截污容量。

(4)随同一类型土的密度的增大,截污容量反而有减小的趋势(图 6)。

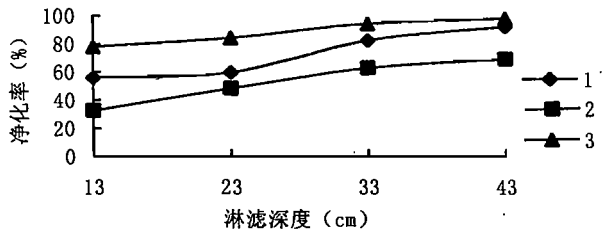


图 3 同一淋滤次第粘性土对污染质的净化率与淋滤深度的关系

Fig. 3 The relationship between the purification rate of soil to pollutant and the filter depth in the same filter sequence

1—COD; 2—电导率; 3—总氮

1—COD; 2—ratio of conductance; 3—total nitrogen

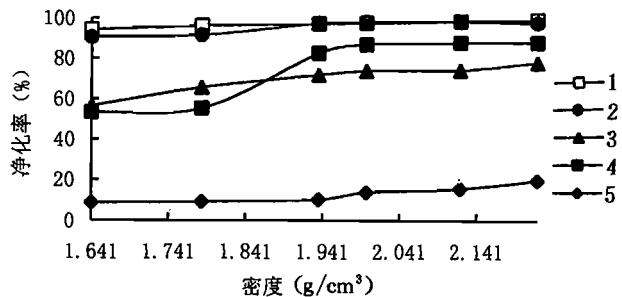


图 4 粘性土密度与其对 COD 的净化率的关系

Fig. 4 The relationship between the clayey soil density and the purification rate of soil to COD

1—淋滤 1; 2—淋滤 2; 3—淋滤 3; 4—淋滤 4; 5—淋滤 5

1—First filtering; 2—second filtering; 3—third filtering;

4—fourth filtering; 5—fifth filtering

## 4 讨论

就石家庄表层粘性土截污能力的试验研究结果来看,可得到以下几点认识:

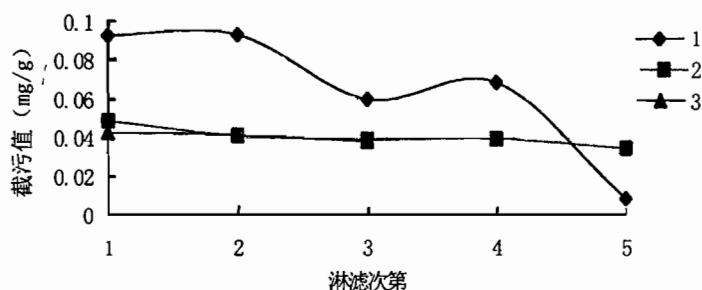


图 5 粘性土单位重土对垃圾污染物的截污值与淋滤次第的关系  
Fig. 5 The relationship between filtration value of unite clayey soil to contamination of clayey soil of garbage and filter sequence

1—COD; 2—总氮; 3—氨氮

1—COD; 2—total nitrogen; 3—smmonia nitrogen

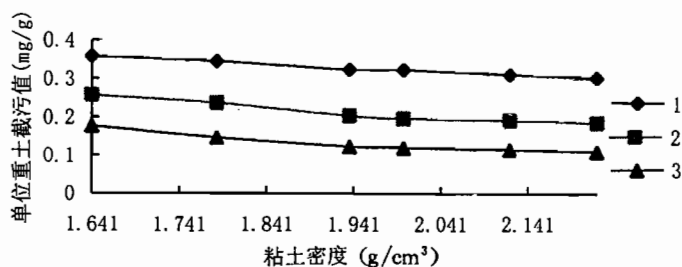


图 6 粘性土截污容量与土的密度的关系

Fig. 6 The relationship between filtration capability and density of clayey soil

1—COD; 2—总氮; 3—氨氮

1—COD; 2—total nitrogen; 3—smmonia nitrogen

践中具有十分重要的应用意义:如用该粘性土作垃圾填埋场底部的防渗衬垫层,把土夯实到密度为此值时最为合适,而在密度达到此值以后继续夯实,土垫层对污染物的净化能力的增长速度就缓慢了,会造成财力、物力、时间和人力的浪费。

(5) 同一类型土的不同密度土柱中,随土的密度的增大,截污容量反而有减小的趋势。这表明粘性土截污容量不完全由土的密度来决定,还受土的物理力学性质、颗粒成分、化学成分等综合影响。在上述实验结果(表 1)中,只测算出了粘性土对 COD 的截污容量,而总氮、氨氮等项目在所做的 5 次淋滤试验中,其净化率都未降低到 20% 以下,说明该粘性土对此两项目的净化还有潜力。但在作填埋场衬垫设计时,只能以率先达到截污容量的污染质项目为依据。

(1) 粘性土对垃圾污染物的净化或阻隔能力是有限的,当土中污染质累积到一定程度后会达到饱和状态,此时土中污染质的总量便是土的截污容量。截污容量具有重要的科学意义和实用价值。

(2) 粘性土的截污容量可采用常规土工试验、淋滤实验、渗流及渗透试验等方法,按照严格的操作规程,联合测试,并按一定的计算方法求得。

(3) 淋滤次第不同,粘性土同一密度的土对污染物的净化率不同,垃圾渗滤液对土的淋滤次数越多,土对污染物的净化率就越小。土的密度增大,土对污染物的净化率就增大。粘性土的截污值随着淋滤次数的增多而随之减少。

(4) 在石家庄粘性土的密度达到  $1.936 \text{ g/cm}^3$  前,净化或阻隔能力的增长都比较迅速,而在此值之后,净化能力的增长速度明显变慢。这一结果在工程实

## 参 考 文 献

- 巴斯顿 罗杰等著. 1993. 有害废物的安全处置——发展中国家的特殊需要和问题. 马鸿昌等译. 北京: 中国环境科学出版社.  
陈岳, 孔德坊. 1993. 生活垃圾卫生填埋的地质环境效应国内外研究现状. 地质灾害与环境保护, (2): 36~41.

刘长礼,张云,王秀艳. 1998. 城市垃圾地质填埋场地的优选方法. 地球学报, (4): 438~442.

亚历山大 M. 1991. 土壤微生物学导论. 广西农学院译. 北京: 科学出版社.

张锡根,袁兆盾,费瑾,阎葆瑞,刘长礼等. 1996. 城市垃圾堆埋的地质环境效应及地质处置——以上海浦东为例. 北京: 地质出版社.

Bishop D et al. 1995. Waste disposal by landfill—German Lining systems. In: Sarsby ed. Waste Disposal landfill—GREEN 93. Balkema, Rotterdam, 127~134.

McEnroe B M. 1993. Maximum saturated depth over landfill liner. Journal of Environment Engineering, 119(2): 262~269.

Mohamed A M O, Yong R N. 1995. Contaminant migration in engineered clay barriers due to heat and moisture redistribution under freezing conditions. Can. Geotech. J., 32: 40~59.

Van Impe W F, Bouazza A. 1996. Barrere detancheite dans les sites de decharges; developpements recents. Revue Francaise de Geotechnique, 1er Trimestre, (74): 3~17.

## Filtration Capability of Clayey Soil Liner for Garbage Sanitary Burial Fields and Its Significance

Liu Changli Wang Xiuyan Zhang Yun

*Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, CAGS, Shijiazhuang, Hebei, 050061*

### Abstract

One of the key techniques for garbage sanitary burial is the pavement of a liner, which is designed to prevent seepage. It is very expensive. If the aim of paving the liner is turned to "filtration", we can make full use of the purification or partition capability of the clayey soil to reduce the cost. The term "filtration capability" is a physical parameter put forward to describe the capability of the clayey soil to cut off the pollutants based on the above idea. The following conclusions are arrived at through the study: (1) The filtration capability of the clayey soil can be obtained through experiments and by using some special calculation methods. (2) The more times of leaching of garbage infiltration fluids, the poorer the purification capability of the soil to the pollutants. Also, the purification capability of the soil to the pollutants rises with increasing soil density, and the filtration capability of the clayey soil is lowered with the increasing number of leaching. (3) In the Shijiazhuang area, the purification or partition capability increases rapidly before the soil density reaches a certain value ( $1.936 \text{ g/cm}^3$ ), but obviously slower after reaching the value. This result is of very important application significance in engineering projects. (4) In the soil columns of different densities of the same type of soil, there seems to be a trend of lowering of filtration capability with the increase of soil density.

**Key words:** garbage sanitary burial field; clayey soil liner; filtration capability

### 作者简介

刘长礼,男,1963年生.1990年于中国地质科学院获水文地质工程地质专业硕士学位.现为中国地质科学院水文地质工程地质研究所副研究员,从事固体废物地质填埋等环境工程地质研究.通讯地址:050061,河北省石家庄市石岗大街150号,地科院水文所.