

工业固体废物容量总量控制的研究*

杨玉峰 傅国伟

(清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要 针对工业固体废物如何进行容量总量控制的问题, 在研究工业固体废物中有毒有害物质污染迁移转化规律的基础上, 提出了相对工业固体废物中有毒有害物质进入大气、地表水体、地下水和在生物体内积累的相对容量总量控制概念, 并探讨了城市或区域工业固体废物容量总量控制标准的确定方法.

关键词 工业固体废物排放量, 污染物迁移转化, 相对容量, 总量控制.

Research on the Volumetric Total Amount Control of Discharged Solid Waste from Industry

Yang Yufeng Fu Guowei

(Dept. of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract This paper put forward the volumetric total pollutants control connected to which the poisonous and harmful substance in the solid waste go into air, surface water, and ground-water and accumulate in organisms aiming at how the solid waste can be on volumetric total pollutants controled and by researching the transport and transformation law of the poisonous and harmful substance in the solid waste. The method of determining the urban or regional standards of the volumetric total pollutants control to the solid waste was discussed in this paper.

Keywords discharged amount of solid, waste from industry, the transport and transformation of pollutant, the relative volume, total pollutants control.

以往的研究^[1-3]对容量总量控制给出了明确的定义, 但它是针对大气污染物排放量(如 SO_2 等)或水污染物排放量(如 COD 等)而言的, 这是因为无论是大气还是水都存在明确的容量介质(一定区域的大气、水体), 因而使容量总量控制的研究成为可能, 而对固体废物来讲, 很难找到象大气、水那样明确的容量介质, 这就是为什么有些专家和学者认为固体废物难以进行容量总量控制研究的原因. 但是, 可以通过研究工业固体废物中有毒有害物质污染迁移转化的规律及其对大气环境和水环境等的影响, 来确定其容量总量控制标准, 这样也可达到固体废物总量控制的目的.

1 相对工业固体废物中有毒有害物质进入大气的容量总量控制

工业固体废物中的有毒有害物因挥发释放进入大气中, 通过控制挥发进入大气中的有毒有害物质的浓度而达到间接控制工业固体废物排放量的目的. 工业固体废物排放量 W 与挥发进入大气中有毒、有害物质的浓度 C_{air} 之间的响应关系: $W = f(C_{\text{air}})$.

1.1 工业固体废物处于无覆盖层无控排放或填埋时有毒有害物的释放量

* 国家自然科学基金资助课题 (Project Supported by National Natural Science Foundation of China): 59508004
杨玉峰: 男, 30岁, 工学博士
收稿日期: 1997-11-10

废物中有毒有害物质进入大气环境的释放速率^[4-6] $Q_{air}(g/s)$ 为:

$$Q_{air} = S_0 c_0 \frac{2}{\pi^{1/2}} \frac{\epsilon_a^{5/3}}{\epsilon} D_a^{1/2} t^{-1/2} \quad (1)$$

(1) 式中, S_0 : 排放(堆放)的固体废物占地面积(cm^2); c_0 : 有毒有害物质在土壤中的初始浓度(g/cm^3); ϵ_a : 土壤的空气孔隙度(cm^3/cm^3); ϵ : 土壤的总孔隙度(cm^3/cm^3); D_a : 有毒有害物质在空气中的扩散系数(cm^2/s); t : 时间(s).

将 $S_0 = \frac{W}{\rho_0 h_0}$ 代入(1)得:

$$Q_{air} = \frac{W c_0}{\rho_0 h_0} \frac{2}{\pi^{1/2}} \frac{\epsilon_a^{5/3}}{\epsilon} D_a^{1/2} t^{-1/2} \quad (2)$$

其中, W 代表总排放(堆放)或填埋的工业固体废物量(g), ρ_0 为排放(堆放)的工业固体废物密度(g/cm^3), h_0 为排放(堆放)高度(cm). 而考察点空气中有毒有害物质浓度应以长期浓度为准, 而长期浓度是以污染源下风向22.5度弧线上均匀高斯扇形浓度平均公式为依据, 即:

$$c_{air} = \frac{16}{2\pi X_c} \frac{2}{\pi} \frac{Q_{air}}{u \sigma_z} \exp(-\lambda_a \frac{X_c}{u}) f\% \quad (3)$$

式中, X_c : 沿烟羽中心线的考察点与源点的距离(m); u : 风速(m/s); σ_z : 垂直方向大气扩散系数(m); λ_a : 有毒有害物质在大气中的一级降解反应常数($1/s$); $f\%$: 在考察区域的风向频率.

由(2)和(3)得:

$$W = \frac{\pi^2 X_c c_0 u \sigma_z \rho_0 h_0 t^{1/2}}{16} \frac{\epsilon_a^{5/3}}{2 c_0 D_a f\% \epsilon} \exp(\lambda_a \frac{X_c}{u}) c_{air} \quad (4)$$

(4) 式中的参数 X_c , u , σ_z , ρ_0 , h_0 , t , c_0 , D_a , $f\%$, ϵ , ϵ_a , λ_a 相对具体区域、具体气象条件、具体固体废物时均可确定.

1.2 当工业固体废物处于有覆盖层但无控排放或填埋时有毒有害物的释放量

此时废物中有毒有害物质进入大气环境的释放速度^[5-7] $Q_{air}(g/s)$ 为:

$$Q_{air} = S_0 \frac{D_a p_0 M}{RT L} X_i \frac{W_x \epsilon_a^{10/3}}{W \epsilon^2} \quad (5)$$

(5) 式中, p_0 : 有毒有害物质饱和蒸汽压(Pa); M : 有毒有害物质分子量(g); R : 气体参数, $R = 82(Pa \cdot cm^3 / K \cdot mol)$; T : 温度(K); L : 覆盖层厚度(cm); X_i : 有毒有害物质在废物中的质量百

分比(g/g); W_x : 此种工业固体废物排放(堆放)量(g); W : 总排放(堆放)或填埋的工业固体废物量(g); 其它符号意义同前.

同理, 可由(3)、(5)求得:

$$W_x = \frac{\pi^{3/2} X_c \rho_0 h_0 RT L u \sigma_z}{8} \frac{\epsilon_a^{10/3}}{2 X_i D_a p_0 M f\% \epsilon} \exp(\lambda_a \frac{X_c}{u}) c_{air} \quad (6)$$

(4)与(6)式所计算的最终量 W 、 W_x 其含义虽然不同, 但它们存在关系 $W = W_x$, 故均可作为总量控制变量.

2 相对工业固体废物中有毒有害物质进入地表水体的容量总量控制

一方面指排放场(堆放场)的固体废物中有毒有害物质由于降水和废物本身所含水分沥出产生的渗滤液经地表径流进入地表水体, 另一方面指固体废物被直接排入水体而引起有毒有害物质全部进入地表水体. 通过控制这2种情况下进入地表水体的有毒有害物质的浓度, 进而控制废物总量.

2.1 由于降水和废物本身所含水分沥出产生的渗滤液经地表径流进入地表水体的容量

进入地表水体的有毒有害物质的释放速率^[5,8] $Q_{suf}(g/s)$ 为:

$$Q_{suf1} = X_i \frac{W_x}{W} S q_s \quad (7)$$

(7) 式中, S : 此种有毒有害物质在水中的溶解度(g/cm^3); q_s : 进入地表水体的渗滤液流量(cm^3/s).

而根据河流一级降减反应方程可得河流中参照点 X_c 处有毒有害物质浓度^[5,6] 为:

$$c_{suf}(X_c) = \frac{Q_{suf}}{q_2} \exp(-\lambda_w \frac{X_c}{v}) \quad (8)$$

(8) 式中, $c_{suf}(X_c)$: 考察点 X_c 处地表水流中有毒有害物质浓度(g/m^3); q_2 : 河流平均流量(m^3/s); λ_w : 有毒有害物质在河流中的一级降解常数($1/s$); X_c : 考察点距释放源(有毒有害物质流入河流点)的距离(m); v : 河流水流流速(m/s).

由(7)、(8)可得在这种情况下的废物排放量(堆放量)为:

$$W_{x_1} = \frac{W_{q_2} \exp(\lambda_w \frac{X_c}{v})}{X_i S q_s} c_{\text{su}f(X_c)} \quad (9)$$

(9) 式中, W , q_2 , λ_w , X_c , v , X_i , S , q_s 在具体条件下是可以确定的。

2.2 由于固体废物直接排入水体而引起有毒有害物质全部进入地表水体的容量

这种情况下的有毒有害物质的释放速率^[5]

$Q_{\text{su}f}$ (g/s) 为:

$$Q_{\text{su}f} = W_{x_i} X_i / T \quad (10)$$

(10) 式中, T 表示时间, 考虑控制时间为年, 故 $T = 365(\text{day}) = 3.15 \times 10^7(\text{s})$ 。

于是由(8)、(10)得:

$$W_{x_2} = 3.15 \times 10^7 \frac{q_2 \exp(\lambda_w \frac{X_c}{v})}{X_i} c_{\text{su}f(X_c)} \quad (11)$$

3 相对工业固体废物中有毒有害物质进入地下的容量总量控制

指对于无控排放、堆放、填埋的固体废物产生的渗滤液渗入地下, 通过控制其在处置点下部潜水层中有毒有害物质的浓度而间接控制其排放总量。

而进入地下的有毒有害物质释放速率^[5, 8] Q_{und} (g/s) 为:

$$Q_{\text{und}} = X_i \frac{W_x}{W} S q_u \quad (12)$$

(12) 式中, q_u 表示渗入地下的渗滤液流量, 其它符号意义同前。

当潜水层高度为 h , 地下水流速为 v_u , 假设固体废物排放(堆放)场和填埋场为方型, 则边长为 S_0 , 则在潜水层中有毒有害物质的浓度^[5] 为:

$$c_{\text{und}} = \frac{Q_{\text{und}}}{v_u h S_0} \exp\left(-\frac{\lambda Z_c R_d}{v}\right) \quad (13)$$

(13) 式中, λ : 有毒有害物质在非饱和土壤中的一级降解常数 (cm^2/s); Z_c : 包气带厚度 (m); R_d : 有毒有害物质在非饱和土壤中的滞流系数, 无量纲; v : 非饱和土壤中的水流流速 (cm/s)。

由式(12)、(13)可得(为了区别起见, 将 W_x 记为 W_x):

$$W_x = \frac{W_{v_u h} S_0}{X_i S q_u} \exp\left(\frac{\lambda Z_c R_d}{v}\right) c_{\text{und}} \quad (14)$$

给定 c_{und} 标准, 即可求出容许的排放(堆放)量。其它参数可根据具体条件而定。

4 相对工业固体废物中有毒有害物质在生物体内积累的容量总量控制

以有毒有害物质在水生生物体内积累为例说明, 水生生物体内有毒有害物质浓度^[5, 10] 为:

$$c_{\text{bio}} = \frac{Q_{\text{su}f}}{\rho_w q_2} \text{BCF} \quad (15)$$

(15) 式中, c_{bio} : 水生生物体内有毒有害物质浓度 (g/kg); $Q_{\text{su}f}$: 废物进入河流的释放速率 (g/s); BCF: 生物积累因子, 无量纲; ρ_w : 水密度 (kg/m^3); q_2 : 河流平均流速 (m^3/s)。

则由(15)和(7)、(10)可导出2种情况下的排放量(为了与前区别, 将 W_{x_1} 、 W_{x_2} 记为 W_{x_1} 、 W_{x_2}):

$$W_{x_1} = \frac{\rho_w q_2}{X_i S q_s \text{BCF}} c_{\text{bio}} \quad (16)$$

$$W_{x_2} = 3.15 \times 10^7 \frac{\rho_w q_2}{X_i \text{BCF}} c_{\text{bio}} \quad (17)$$

这样通过给定 c_{bio} 的控制标准, 即可求出具体条件下的2种容量总量控制值。

5 城市或区域工业固体废物容量总量控制标准的确定方法

以上是针对每一种污染迁移转化规律研究得出的结论。对一个具体的城市或区域可能会同时存在2种或2种以上的污染迁移, 如何确定其容量总量控制标准, 这是实施工业固体废物容量总量控制的基础。其具体步骤如下:

(1) 现状调查与评价 调查与评价城市或区域工业固体废物的种类、数量、去向, 明确划定其各种去向影响的空间范围和结构关系。

(2) 污染迁移转化规律研究 研究城市或区域内各受影响体的污染迁移转化规律, 针对具体水文、地质、气象等条件和特点测定与确定各种参数值, 明确响应关系: $W = f(c)$ 。

(3) 环境本底值与标准值的确定 环境本底值 c_0 的确定可根据有代表意义的对照点(如:

大气本底值可选择同一气象条件下未受污染迁移转化的点,地表河流本底值可选择同一河流内未受污染迁移转化的点)的监测值来确定.环境标准值*c*标准的确定则要根据功能要求来定.

(4) 容量总量控制标准的确定 当某一特定废物排放或堆放同时存在*i*种污染迁移时,则可算出*i*种标准,此时 $W_{标准}=f(c_{标准})$ 的确定应是 $W_{标准}=\text{Min}f_i(c_{标准})$.

(5) 总量核定与削减量的确定 总量核定可以通过污染物实测浓度值*c*_{实测}求出, $W_{核定}=f(c_{实测}-c_0)$,然后比较申报的排放量*W*_{申报}与*W*_{核定}的大小,这样可以检查*W*_{申报}的真实性,避免弄虚作假.而削减量则可根据 $W_{削减}=\text{Max}[f_i(c_{实测}-c_0)]-\text{Min}[f_i(c_{标准})]$ 来计算.

参 考 文 献

1 刘鸿亮等. 总量控制技术手册. 北京: 中国环境科学出版

社, 1991: 1—18
2 祝兴祥. 中国的排污许可证制度. 北京: 中国环境科学出版社, 1991: 1—11
3 郝喜顺等. 总量控制排污许可证管理与实施. 北京: 中国环境科学出版社, 1991: 1—20
4 U. S. EPA. Land Disposal of Hexachlorobenzene Waste: Controlling Vapor Movement in Soil. EPA: 600/2-80-119
5 钱海燕. 危险废物优先控制名录确定方法研究. 清华大学硕士论文集, 1997: 27—38
6 U. S. EPA. Multimedia Exposure Assessment Model. EPA 706/ 546-3549
7 刘春华. 固体废物处置场气体产生过程及模型研究. 清华大学硕士论文集, 1995: 63—73
8 鲍海明. 填埋场废物浸出特性及控制浸出技术的研究. 清华大学硕士论文集, 1993: 17—24
9 Paolo F Ricci. Principles of health risk assessment. New Jersey: Prentice-Hall inc, ISBN 0-13-709197-4, 1985
10 D Lofi Asante-Duah. Hazardous Waste Risk Assessment. New York: Lewis Publishers, 1993: 34—67

《环境科学》征稿简则

1 《环境科学》由中国科学院环境科学委员会和中国科学院生态环境研究中心主办, 中国环境科学研究院、清华大学环境科学与工程系和北京市环境保护科学研究院协办, 创刊于1976年, 是我国最早正式出版的关于环境科学的学术期刊. 本刊宗旨是报道我国环境科学领域中的最新科研成果, 促进国内外学术交流, 读者对象为环境科学研究人员、工程技术人员、环境管理干部和大专院校有关专业的师生等.

2 《环境科学》力求及时报道我国环境科学领域的具有创造性的、高水平的、有重要意义的基础研究和应用研究方面的成果以及阶段性科技成果. 也发表科研成果的专题评述和学科最新进展的综合评述以及反映控制污染, 清洁生产和生态环境建设战略思想的专论等.

3 来稿要求和注意事项

(1) 来稿要求论点明确、数据可靠、层次分明、结构完整, 文字图表精练. 研究报告一般不超过5000字(含图、表和文献), 专论综述不超过6000字, 文首给出中英文文摘和关键词, 以及英译题目、作者姓名汉语拼音和工作单位的英文名, 一式2份激光打印稿.

(2) 来稿务必做到清稿定稿. 稿中外文缩写在大第一次出现时应写明中文名称、外文全称; 外文字母必须分清大、小写; 上、下角的字母、数码和符号, 其位置高低应区别明显; 容易混淆的外文字母、符号, 请在第一次

出现时用铅笔批清. 计量单位一律使用《中华人民共和国法定计量单位》.

(3) 文中插图必须用计算机绘图并出激光样, 图中文字、符号、数码和纵横坐标量及其单位与正文一致. 照片要求黑白清晰, 层次分明, 插图切勿过大.

(4) 参考文献择主要的列入, 未公开发表的内部资料可以脚注形式引用. 文献按文中出现先后次序编排并在引证处用右上角方括号标出序号. 所引文献内容包括作者、文题、杂志名、年、卷(期)、页码; 书籍或文集还应有出版地、出版社, 所引文献具英文表达形式的要用英文表达.

(5) 来稿要注明课题性质, 如国家(省、部级)自然科学基金资助课题, 国家(省部级)攻关课题和863课题等.

(6) 给出第一作者的性别、年龄、学位和职称, 以便国内外检索系统采用.

(7) 来稿文责自负, 编辑对来稿可作文字上和编辑技术上修改或删除. 切勿一稿两投, 三个月内未见通知者, 作者可另行处理, 对未刊稿件一般不退, 请自留底稿.

(8) 来稿请写明作者详细地址, 邮政编码, E-mail, 电话, 挂号寄至北京2871信箱《环境科学》编辑部.

邮政编码: 100085
电话: 62925511-2138