

水泥厂大气污染物健康风险评估初探

林亲铁¹, 肖艳云², 徐文彬¹

(1. 广东工业大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510090;

2. 湖南省洞口县环境保护局, 湖南 洞口 422300)

摘要:根据大气污染物的环境行为, 沿着污染物排放—迁移转化—人体吸收这条途径, 提出了以致残调整生命年为最终评价指标的大气污染物人体健康风险定量评价方法。对广东某水泥厂实例分析说明, 水泥生产过程排放的各种大气污染物中, NO_x 的人体健康风险最大, 占水泥生产过程所有大气污染物健康风险的 43.9%, SO_2 的人体健康风险最小。

关键词:大气污染物; 健康风险评估; 致残调整生命年; 水泥厂

中图分类号: X823 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2007)02-0047-03

Human Health Risk Assessment of Airborne Pollutants from Cement Plant

L N Q in-tie¹, XIAO Yan-yun², XU Wen-bin¹

(1. School of Environmental Science and Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510090, China; 2. Environmental Protection of Dong kou, Dongkou, Hunan 422300, China)

Abstract: According to the environment behavior of air pollutant and the way of emission, migration, transform, and absorption by human body of pollutants, a method of disability adjusted life years was established for final quantitative risk assessment of human body. Investigation in a Guangdong cement plant shows that NO_x is the most harmful factor to human health, which amounts to 43.9% of total human risks caused by airborne pollutants and the SO_2 is the smallest factor for the risks.

Key words: Airborne pollutant; Health risk assessment; Disability adjusted life years; Cement plant

广义上的环境健康风险评估包括人体健康风险评估和生态系统健康风险评估, 狭义上的环境健康风险评估是指人体健康风险评估, 它基于污染物在环境介质中的迁移和通过水、陆生动植物链的聚集、转移, 以及居民生活习性等参数, 计算出污染物对人体产生的集体有效剂量和人体对化学物的摄入量, 再进一步求出这些物质对人体产生的健康危害, 其中健康危害对个体而言指发生等效死亡 (如死亡、癌症及其他后果严重的疾病等) 的概率, 对群体而言是指该群体发生等效死亡的人数。水泥厂在生产运行中向环境排放出大量的大气污染物, 这些化学污染物对环境特别是人体健康的危害究竟有多大, 当前环境评价中普遍采用的“等标污染指数法”无法定量回答这一问题。

现根据大气污染物的环境行为, 沿着污染物排放—迁移转化—人体吸收这条途径, 提出大气污染

物人体健康风险的定量评价模型, 在此基础上, 分析水泥生产过程大气污染物所产生的人体健康风险。

1 评价模式

从大气污染物的归宿和暴露分析开始, 依据归宿分析—效应分析—危害分析的途径, 将排放到大气中的化学污染物与人体健康危害的因果关系用每 kg 化学污染物所引起的残疾调整生命年 (Disability Adjusted Life Years, DALYs) 表示。

1.1 归宿分析

收稿日期: 2006-09-19; 修订日期: 2007-01-13

基金项目: 广东省社会发展计划基金资助项目 (2003C103040); 广东工业大学博士启动基金资助项目 (053006)

作者简介: 林亲铁 (1972—), 男, 湖南洞口人, 博士, 主要从事循环经济与环境评价研究工作。

归宿分析 (Fate analysis) 主要研究各种污染物在环境中的迁移转化和最终在各种介质中产生的浓度。该文主要研究已经有充分的流行病学证据表明能够引起人体呼吸系统疾病的大气污染物, 包括一次污染物 TSP、SO₂、O₃、CO、NO_x、VOCs 和二次污染物硝酸盐、硫酸盐等。

归宿因子是污染物归宿分析中的一个重要参数, 它是指一定范围内的大气污染物浓度的增加量与该环境中污染物排放总量的比值^[1]。归宿因子 F_i 可以根据下式计算:

$$F_i = \frac{C_i}{\frac{M_i}{A}} \quad (1)$$

式中: F_i ——归宿因子, $m^2 \cdot a/m^3$;

C_i ——大气中物质 i 浓度的增量, kg/m^3 ;

M_i ——环境中物质 i 的年平均排放量, kg/a ;

A ——环境面积, m^2 。

Jolliet 等^[2-4]利用这种方法计算得到大量的归宿因子。

1.2 效应分析

效应分析 (Effect analysis) 可以分析环境中的污染物浓度与人类发生疾病之间的关系, 它将作为终点的可观察健康效应, 并且与污染物 i 的归宿因子 F_i 联系在一起。

污染物 i 通过呼吸产生的效应因子可以根据下式计算:

$$E_i = S \times \rho_i \times R_i \quad (2)$$

式中: E_i ——效应因子, $人/(a \cdot m^2 \cdot \mu g/m^3)$;

S ——所涉及的人口比例;

ρ_i ——人口密度, $人/m^2$;

R_i ——污染物 i 通过呼吸途径产生的单位风险, $(a \cdot \mu g/m^3)^{-1}$ 。

根据式 (1) 和式 (2) 可以计算排放到环境中的单位重量污染物 i 通过呼吸途径所产生的发病率 T_i :

$$T_i = F_i \times E_i \times C \quad (3)$$

式中: T_i ——排放到环境中的单位重量污染物 i 通过呼吸所产生的发病率, $人/kg$;

C ——单位转换因子, 10^9 。

1.3 危害分析 (Damage analysis)

衡量污染物对人体健康的一个重要指标是残疾调整生命年, 它是反映疾病所致的伤残和死亡带来的健康寿命损失年数的综合指标。它由残疾造

成的损失—残疾生命年 (Years Lived Disabled, YLDs), 以及早死造成的损失—生命损失年 (Years of Life Lost, YLLs) 两部分组成。残疾调整生命年可以通过下式计算^[5]:

$$DALYs = YLDs + YLLs \quad (4)$$

式中: $DALYs$ ——残疾调整生命年, $a/人$;

$YLDs$ ——残疾生命年, $a/人$;

$YLLs$ ——生命损失年, $a/人$ 。

根据式 (3)、式 (4), 可以计算单位质量污染物排放物对人体的健康危害:

$$DALY_{S_{n_i}} = T_i \times (YLDs + YLLs) = F_i \times E_i \times 10^9 \times DALY_{S_i} \quad (5)$$

式中: $DALY_{S_{n_i}}$ ——单位物质 i 引发的残疾调整生命年, a/kg ;

$DALY_{S_i}$ ——单位病例通过吸入途径引发的残疾调整生命年, $a/人$ 。

2 实例

2.1 源项

研究目标为广东某水泥厂 (产量为 $395 \times 10^4 t/a$) 在水泥生产过程中排放的对人体健康产生危害的大气污染物, 这些大气污染物主要包括 TSP、SO₂、NO_x, 各种污染物测定结果见表 1。

表 1 广东某水泥厂大气污染物排放量

污染物	SO _x	NO _x	TSP
排放量 $Q/(t \cdot a^{-1})$	1 970	3 286	2 495

根据《环境影响评价技术导则·大气环境》(HJ/T 2.2-1993), 确定环境空气影响评价工作等级为二级, 其影响范围以厂区为中心向北 6 km, 向东、南、西各 4 km, 总面积 80 km², 该区域内的平均人口密度为 $2.56 \times 10^{-4} 人/m^2$ 。

2.2 参数选择和健康危害

根据文献 [2-3] 可查出污染物的归宿因子, 也可查出污染物的单位风险^[3,6-8], 还可计算各种污染物引起的单位病例引发的残疾调整生命年^[3,7]。

根据式 (2)、式 (3)、式 (5) 计算大气污染物的健康风险, 计算结果见表 2。

根据表 2, 可以计算该水泥厂每年排放的 3 种主要污染物所产生的健康危害。由于该厂每年的水泥产量为 $395 \times 10^4 t$, 该厂生产每吨水泥排放大气污染物的健康风险结果见表 3。

表 2 广东某水泥厂大气污染物归宿因子、单位风险及危害结果

污染 排放物	污染 转化物	F_i $/(m^2 \cdot a \cdot m^{-3})$	E_i $/(人 \cdot a^{-1} \cdot m^{-2} \cdot \mu g^{-1} \cdot m^3)$	$DALYs_i$ $/(a \cdot 人^{-1})$	$DALYs_{m_i}$ $/(a \cdot kg^{-1})$	总 $DALYs_i$ $/a$
SO _x	SO ₂	3.00×10^{-6}	3.19×10^{-6}	0.75	2.62×10^{-8}	5.17×10^{-2}
	硫酸盐	1.30×10^{-6}	3.58×10^{-4}	9.4	1.60×10^{-5}	31.5
NO _x	硝酸盐	3.60×10^{-6}	2.18×10^{-4}	9.4	2.70×10^{-5}	88.7
	NO ₂	2.50×10^{-6}	1.50×10^{-6}	0.75	1.03×10^{-8}	3.38×10^{-2}
	O ₃	1.50×10^{-6}	5.09×10^{-6}	0.75	2.09×10^{-8}	6.88×10^{-2}
TSP	PM ₁₀	4.40×10^{-6}	2.18×10^{-4}	9.4	3.30×10^{-5}	82.3

总 $DALYs_i = DALYs_{m_i} \times$ 污染量 (kg)。

表 3 广东某水泥厂大气污染物人体健康归一化风险

污染物	总 $DALYs$	$DALYs / (a \cdot t^{-1})$
SO _x	31.6	7.99×10^{-6}
NO _x	88.8	2.25×10^{-5}
TSP	82.3	2.08×10^{-5}

$DALYs =$ 总 $DALYs / (395 \times 10^4 t/a)$; 1 t 水泥产生的人体健康风险。

3 结果与讨论

由表 3 可见,该厂水泥生产过程中排放的大气污染物人体健康归一化风险为 $5.13 \times 10^{-5} a/t$,其中 NO_x 的人体健康归一化风险最大,为 $2.25 \times 10^{-5} a/t$,占水泥生产过程所有大气污染物健康风险的 43.9%; SO_x 的人体健康归一化风险最小,为 $7.99 \times 10^{-6} a/t$,占水泥生产过程所有大气污染物健康风险的 15.6%。

从上述分析可见,单从人体健康角度考虑,NO_x 产生的健康危害大于 SO_x,这是因为:

(1)在分析中,SO_x 是经过治理达标后才排放,其排放量少于 NO_x 排放量;

(2)单位质量的 NO_x 转化成硝酸盐等二次污染物后,其危害大于 SO_x 转化成的硫酸盐等二次污染物^[3]。

因此,在对水泥厂大气污染物治理时,从保护人体健康的角度出发,必须重点减少 NO_x 的排放^[9]。以残疾调整生命年为指标,将排放到大气中的化学污染物对人体健康危害定量地联系起来,可以为确定污染物主次、治理优先顺序和环境风险管理提供科学依据。但该评价方法还处在早期萌芽阶段,理论上不是很完善,实践应用上也不成熟,还存在较多的局限性:

(1)人体健康除考虑人体本身之外,还应该综合考虑环境、经济和社会因子,这些因素很难简单

地概括为一些容易测定的具体指标,对于不同时间和空间的人群而言,人体健康评价难度较大,即使残疾调整生命年也不能完全准确地代表人群的健康状况。

(2)在建模过程中,需要大量有关毒理学、流行病学和健康统计方面的资料,而这些资料在我国比较缺乏,受经费和时间的限制,大部分数据主要根据国外资料采用外推法推算,而这些数据在中国的适用性较难判断,并且这种外推法也有一定的不确定性。

[参考文献]

- [1] PAMELA L, MARGARET K, DAWN R. Life cycle assessment of coal-fired power production[M/OL]. available at <http://www.pre.nl> June 1999, NREL/TP-570-25119.
- [2] JOLLIET O, CERTAZ P. Fate coefficients for the toxicity assessment of air pollutants[J]. Int J LCA, 1997(b), 2(2): 104-110.
- [3] HOFSTTER P. Perspectives in life cycle impact assessment: A structured approach to combine models of the technosphere, ecosphere and valuesphere[M]. Boston: Kluwers Academic Publishers, 1998.
- [4] 林亲铁,李适宇,厉红梅. 基于生命周期分析的致癌排放物人体健康风险评价[J]. 化工环保, 2004, 24(5): 32-36.
- [5] MURRAY C J, LOPEZ A D. The global burden of disease, volume 1 of global burden of disease and injury series[M]. Boston: Harvard University Press, 1996: 10-52.
- [6] OSTRO B D, ROTHSCHILD S. Air pollution and acute respiratory morbidity: An observational study of multiple pollutants[J]. Environ Res, 1989, 50: 238-247.
- [7] 林亲铁,李适宇,王志宏,等. 大气污染物对人体健康危害的定量评价[J]. 中山大学学报, 2004, 43(增刊): 395-398.
- [8] WHO. Diesel fuel and exhaust emission, environmental health criteria 171[M]. Geneva: WHO Regional Publications, 1996.
- [9] 胡雁,赵书佑. 空气污染对健康影响及有关方法学研究[J]. 环境监测管理与技术, 1998, 10(6): 11-13.