

以外),天化厂排放到大气中的汞、应当由目前的 9.45t/a 削减到 5.0t/a (158.5ng/s) 以下。此数值的核算依据是,当风速为 4.0m/s , 大气稳定度为不稳定状态(相当于秋季的日间中午),此时距离天化中心 1km 高出地面 1.5m 处,大气中汞浓度值为 361ng/m^3 。若风速减小,或大气稳定度趋于轻度不稳定,中性状态,排放量应当比 5.0t/a 还要低^[5]。

应当指出当排放量削减到 5.0t/a 时,在厂区 1km^2 的范围内仍遭受不同程度的汞污染,还需要采取某些环保措施。

(三) 汉沽区大气汞污染预报方法的建立

本文叙述的研究工作只是初步的,若建立起切实可行的汞污染预报,应按预报流程图(图2)指出的,进一步实测及调整模式方程。

本文提出的大气汞扩散预报模式,应当

说,原则上适用于其他类似地区,至于其他类型的重金属扩散问题,不一定适用,应根据其状态研究与实测数据等条件另行推证。

致谢: 本工作承蒙中国科学院大气物理所洪钟祥、雷孝恩等同志的支持,在此表示感谢。

参 考 资 料

- [1] 余国泰 庞叔薇 郭作金 刘公棣 周文轩 李润兴 唐广泉 傅丽娅, 汉沽区大气中汞的状态研究及质量评价, 中国科学院环境化学研究所, 内部资料, 1983年3月。
- [2] 铃木武夫, 大气污染の機構と解析, 日本大阪, 1980年。
- [3] Choremisionff, P. N. and R. A. Young, Air Pollution Control and Design Handbook, New York, 1977.
- [4] Turner, D. B., Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates, Washington D. C., HEW, 1969.
- [5] 张孟威, 计算机模拟汉沽区大气中汞污染预报, 中国科学院环境化学研究所, 内部资料, 1983年3月。

一组饮水调查结果的模糊数学综合评价

黄世泉 马伟运

(山东滕县卫生防疫站)

本文试用模糊数学方法,对参加1984年全国生活饮用水水质调查的一组采水点调查结果,作了综合评价,供讨论。

一、相对污染值计算

为了应用模糊集合理论,将水质检验结果换算成相对污染值,作为隶属函数值。相对污染值必须①当水质检验结果符合卫生标准时值为0,且不合格的程度越大值越大,但不超过1,②为便于模糊数学分析,仅有少量值为1。基于以上原则,本文结合目前使用的水质标准和本次调查的实测数据,采用简单的内插或取对数后再插值的办法,分别对

18项必测项目中的17个项目(水温项目未计)建立了计算相对污染值的函数式,见表1。

一般地说,在环境质量评价中,根据监测数据是否超过卫生标准或超过卫生标准的程度确定污染的轻重程度,表1中各式基本体现了这一特性。其中,式(1.1)直接采用超标倍数作为相对污染值;由于式(1.2)所代表的各项目,其实测值远远大于标准值,若仍用式(1.1)计算,则相对污染值 $\gg 1$,不能用模糊数学方法处理,因而通过乘以适当常数而使其满足 $0 \leq x_i \leq 1$; 对于细菌学指标,由于检

表 1 各项目检出范围、参考标准及相对污染值计算公式

项 目	单 位	检出范围	参考标准*	相对污染值计算公式
色 度(x_1)	度	0—25	≤ 15	$x_i = \begin{cases} 0 & c_i \leq s_i \\ \frac{c_i - s_i}{s_i} & s_i < c_i < 2s_i (i = 1, 5, 8, 9, 10, 17) \\ 1 & c_i \geq 2s_i \end{cases} \quad (1.1)$ c_i——实测值(下同) s_i——标准值(下同)
总 硬 度(x_2)	mg/l	90.5—424.5	≤ 250	
氯 化 物(x_3)	mg/l	7.24—301.7	≤ 200	
硫 酸 盐(x_9)	mg/l	7.00—233.0	≤ 200	
耗 氧 量(x_{10})	mg/l	0.30—2.90	≤ 0.3	
砷 (x_{17})	mg/l	< 0.020	≤ 0.04	
浊 度(x_5)	度	0—25	≤ 5	$x_i = \begin{cases} 0 & c_i \leq s_i \\ \frac{c_i - s_i}{o_i} & s_i < c_i < o_i + s_i (i = 3, 6, 7, 11, 12, 13) \\ 1 & c_i \geq o_i + s_i \end{cases} \quad (1.2)$ o_i——使 $0 \leq x_i \leq 1$ 而取的常数, 其中 $o_3, o_6, o_7, o_{11}, o_{12}, o_{13}$ 分别为 20, 0.70, 0.49, 0.47, 0.099, 20
铁 (x_6)	mg/l	< 0.05 —1.32	≤ 0.3	
锰 (x_7)	mg/l	< 0.05 —1.00	≤ 0.1	
氨 态 氮(x_{11})	mg/l	< 0.02 —0.54	≤ 0.03	
亚硝态氮(x_{12})	mg/l	< 0.001 —0.102	≤ 0.001	
硝 态 氮(x_{13})	mg/l	< 0.01 —30.17	≤ 10	
大肠菌群(x_{14})	个/l	< 9 — > 2380	≤ 10	$x_i = \begin{cases} 0 & c_i \leq s_i \\ \frac{\lg c_i - \lg s_i}{3} & s_i < c_i < \lg^{-1}(3 + \lg s_i) \\ 1 & c_i \geq \lg^{-1}(3 + \lg s_i) \end{cases} \quad (1.3)$
细菌总数(x_{15})	个/ml	4—23000	≤ 100	
pH 值 (x_4)		6.7—7.9	6.5—8.5	$x_4 = \begin{cases} 0 & 6.5 \leq c_i \leq 8.5 \\ \frac{ c_i - 7.5 - 1}{2} & 4.5 < c_i < 6.5 \\ 1 & \text{或 } 8.5 < c_i < 10.5 \end{cases} \quad (1.4)$
氟 化 物(x_{16})	mg/l	0.13—3.50	0.5—1.0	$x_{16} = \begin{cases} 0 & 0.5 \leq c_i \leq 1.0 \\ \frac{c_i - 1.0}{1.0} & c_i > 1.0, c_i < 2.0 \\ \frac{0.5 - c_i}{2} & 0 < c_i < 0.5 \\ 1 & c_i \geq 2.0 \end{cases} \quad (1.5)$
嗅 味(x_2)	级	0—3	< 1	$x_2 = c_2 \times 0.2 \quad (1.6)$

* 参考国家标准及 1980 年中央爱卫会办公室编印的内部交流资料《全国农村环境卫生科研资料选编》第一辑中使用的标准。

出范围很大, 且其分布形状接近于对数正态分布, 因此在式(1.3)中采用了对数变换; 式(1.4)、(1.5)、(1.6)的意义基本同上, 亦是根据卫生标准、测项的检出范围及模糊分析的需要建立的。

根据表 1 将各项目检验结果换算成相对污染值。相对污染值是进行模糊数学分析的

基础。

二、水样及各类饮水水质的综合评价

水源能否作为饮用水源, 主要是依据监测项目的检验结果, 参照水质标准作出结论。实际上, 目前使用的饮用水源, 各项目全部符合水质标准的数量很微, 如这次调查的 46 个水点的 92 个水样, 全部符合标准的仅 2 个,

占 2.2%。因此将至少有一项监测项目不合格的水样,均作出“不合格”或“不能饮用”的结论是不客观的。借助于模糊数学的个体识别理论,综合各项目对水质影响的权重,通过构造水质清洁程度(水质级别)隶属函数,计算清洁程度隶属度,依最大隶属原则作出的结论是恰当的。

为了便于构造隶属函数,将十七项监测项目归为四类; A, 一般性项目: 色度(x_1)、嗅味(x_2)、浊度(x_3)、pH 值(x_4)、总硬度(x_5)、铁(x_6)、锰(x_7)、氯化物(x_8)、硫酸盐(x_9)、耗氧量(x_{10}), 即 $A = \{x_1 x_2 \cdots x_{10}\}$; B, 表示有机物污染的项目: 氨态氮(x_{11})、亚硝态氮(x_{12})、硝态氮(x_{13}), 即 $B = \{x_{11} x_{12} x_{13}\}$; C, 表示有粪便或细菌污染的项目: 大肠菌群(x_{14})、细菌总数(x_{15}), 即 $C = \{x_{14} x_{15}\}$; D, 有急性和慢性毒性作用的项目: 氟化物(x_{16})、砷(x_{17}), 即 $D = \{x_{16} x_{17}\}$ 。

本文将水质划分为五个级别^[4], I 级水: 极清洁, 符合水质标准; II 级水: 清洁, 可以饮用; III 级水: 不太清洁, 勉强可以饮用; IV 级水: 不清洁, 不能饮用; V 级水: 极不清洁, 绝对不能饮用。五个水质级别的隶属度分别用下列数学式表示;

$$\begin{aligned} \text{V 级: } X_5 &= \left(\bigcap_{i=1}^{13} x_i \right) \cup \left(\bigcap_{i=14}^{15} x_i \right) \\ &\quad \cdot \bigcup_{i=16}^{17} x_i \\ \text{IV 级: } X_4 &= \left(\bigcap_{i=1}^{10} x_i \right) \cup \left(\bigcup_{i=11}^{15} x_i \right) \\ &\quad \cdot \bigcup_{i=16}^{17} x_i^{1/2} \cap \bar{X}_5 \\ \text{III 级: } X_3 &= \left(\bigcup_{i=1}^{10} x_i \right) \cup \left(\bigcup_{i=11}^{15} x_i^{1/2} \right) \\ &\quad \cdot \bigcup_{i=16}^{17} x_i^{1/3} \cap \bar{X}_5 \cap \bar{X}_4 \end{aligned}$$

$$\text{II 级: } X_2 = \left(\bigcup_{i=1}^{17} x_i^{1/5} \right) \cap \bar{X}_5 \cdot \cap \bar{X}_4 \cap \bar{X}_3$$

$$\text{I 级: } X_1 = \bar{X}_5 \cap \bar{X}_4 \cap \bar{X}_3 \cap \bar{X}_2$$

其中 $\bar{X}_i$ 为 X_i 的补, $\bar{X}_i = 1 - X_i$

很显然, 上式有两个主要特点; ①给毒理学(D类)指标以最大权重, 细菌学(C类)和有机物污染(B类)指标稍次, 一般性(A类)指标最次; ②对于可以饮用的 II 级水和勉强可以饮用的 III 级水, 对某些指标没有实行强制性标准。事实上, D类各指标, 是由毒理学实验或流行病学调查证明对机体有明显的急性或慢性毒性作用的物质, 一般都有确定的剂量——反应关系; C类和B类指标, 是提供各种致病微生物(细菌、病毒等)污染的有效指标, 但某些指标作为未经处理水的卫生学指标并不太适宜。比如大肠菌群, 不仅来自温血动物的粪便, 也来自植物和土壤, 如不存在粪便污染即使超过标准若干倍, 其卫生意义也并不大; 对于A类指标的建立, 主要是考虑饮水为居民所乐用及对给水设施不引起损坏等, 目前尚没证明对机体具有危害作用。由于农村和小城镇的给水, 在选择水源和处理方面往往受到条件的限制, 因而对它们的评价应首先注意与健康直接相关的指标, 对于其他指标可以根据性质适当放宽。

依据上式计算出水质对各级别的隶属度、根据最大隶属原则作出结论。92个水样处理情况见表2。

对于某种类型的饮水, 以各水样水质级别隶属度的平均值作为隶属度, 即由下式计算各类饮水的隶属度;

$$X_{iA} = \frac{\sum_{j=1}^n X_{ij}}{n} \quad (i = 1, 2 \cdots 5, \\ j = 1, 2 \cdots n)$$

X_{iA} 表示A类饮水第*i*级别的隶属度, X_{ij} 表示A类饮水第*j*个水样第*i*级的隶属度, *n* 为A类饮水的水样数。然后依最大隶属原则

表 2 92 个水样的水质结论

水质级别	I	II	III	IV	V	合计
饮水种类						
自来水		7	7	8		22
简易自来水		2	6	5	1	14
大口井			3	25	6	34
手压插管井	2	1	7	9	3	22
合 计	2	10	23	47	10	92

作出结论。四种饮水类型的评价结果见表 3。

显然,表 3 中除对各种类型饮水水质作出结论外,还给出了不同种饮水水质的模糊状态。

表 3 四种类型饮水的评价结果

水源种类	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	最大隶属 级别
自来水	0.2190	0.2354	0.2084	0.2732	0.0642	IV
简易自来水	0.1970	0.2130	0.2187	0.2918	0.0796	IV
大口井	0.1514	0.1514	0.1555	0.3373	0.2044	IV
手压插管井	0.2467	0.1586	0.1935	0.2833	0.1177	IV

三、区域饮水状况的综合评价

区域内,人们饮用着多种类型的水,若对某个区域的饮水状况给予综合评价,一般方法不易获得满意的结果。应用模糊数学综合评判理论,通过模糊矩阵复合运算^[2],可以客观地对某个区域的饮水状况作出恰当结论。

某地主要有上述四种类型饮用水源,饮用人数百分比分别为,自来水(u_1):7.79%;简易自来水(u_2):1.95%;大口井(u_3):46.35%;手压插管井(u_4):43.10%。于是;

$$\text{因素集 } u = \{u_1 u_2 u_3 u_4\}$$

$$\text{评价集 } X = \{X_1 X_2 X_3 X_4 X_5\}$$

$$\text{权重 } A = \{0.0779 \ 0.0195 \ 0.4635$$

$$0.4310\} = \{0.0785 \ 0.0197$$

$$0.4673 \ 0.4345\}^*$$

由因素集 u 和评价集 X 构造出评判矩阵 R (见表 3)

$$R = \begin{bmatrix} 0.2190 & 0.2354 & 0.2084 & 0.2732 & 0.0642 \\ 0.1970 & 0.2130 & 0.2187 & 0.2918 & 0.0796 \\ 0.1514 & 0.1514 & 0.1555 & 0.3373 & 0.2044 \\ 0.2467 & 0.1586 & 0.1935 & 0.2833 & 0.1177 \end{bmatrix}$$

$$A \odot R = \{0.0785 \ 0.0197 \ 0.4673 \ 0.4345\}。$$

$$\begin{bmatrix} 0.2190 & 0.2354 & 0.2084 & 0.2732 & 0.0642 \\ 0.1970 & 0.2130 & 0.2187 & 0.2918 & 0.0796 \\ 0.1514 & 0.1514 & 0.1555 & 0.3373 & 0.2044 \\ 0.2467 & 0.1586 & 0.1935 & 0.2833 & 0.1177 \end{bmatrix}$$

$$= \{0.2163 \ 0.1391 \ 0.1697 \ 0.2957$$

$$0.1792\}^{**}$$

上述计算给出了该饮水系统的模糊状态,依最大隶属原则得出结论:IV 级。

作为尝试,本文将模糊数学的某些方法,应用于饮用水水质综合评价,认为模糊数学能够客观地刻划水质状态,得出切实的结论,特别是随着毒理、流行病学等学科和检验技术的发展,环境中对人体有害物质的不断发现,饮用水评价指标的增多,模糊数学评价方法更实用。

本文使用数学方法由山东大学数学系王树棠副教授审查指导,使用原始数据由枣庄市卫生防疫站魏成刚、杨忠海同志提供,一并致谢。

主要参考文献

- [1] 上海第一医学院,《环境卫生学》,248 页,人民卫生出版社,1981 年。
- [2] 容跃、金键,环境科学,3(2),69,1982。

* 权重矩阵必须作归一化处理。

** 为归一化后的结果。