

工业企业卫生防护距离确定原则与方法

胡更新

(中国医学科学院卫生研究所)

在产生大气污染物、噪声等有害因素及可能有爆炸危险的工业企业与居住区之间设置卫生防护带(或称缓冲带)是防止这些有害因素对居民造成危害的重要措施之一。卫生防护距离的宽度关系到保护人民的身体健康及合理的工业布局、土地利用与规划、建设投资等重大问题。我国早在1962年颁布施行的《工业企业设计卫生标准》(以下简称《卫生标准》)中就对九类230多种工业企业所需卫生防护距离作了具体的规定。由于这些规定与我国工业发展及污染控制水平已不相适应,因此,在1979年修订后颁布的《卫生标准》中已暂将其取消,仅原则性地规定“产生有害因素的工业企业与居住区之间应设置一定的卫生防护距离”。具体要求则建议地方有关主管部门根据具体情况确定。因此,对卫生防护距离的制订原则与方法进行探讨是当前环境保护科学研究工作中重要课题之一。1977年至1979年我们曾与一些协作单位即中小型磷肥厂大气污染科研协作组*,共同对几类工业企业进行了大气污染综合调查实测,并就无组织源排放量的测定与计算方法作了一系列的实验研究。在此基础上,我们又对确定卫生防护距离的原则、方法进行了初步的探讨,现将结果报告如下。

一、卫生防护距离确定原则的探讨

(一)卫生防护带作用的分析

从大气卫生的角度来说,卫生防护带的主要作用就是为其所排放的大气污染物提供一段扩散稀释距离,使之到达居住区时其浓度符合《卫生标准》的有关规定。如所周知,工业企业排放大气污染物分集中的高空排放与无组织排放两种方式。对于前者,许多国家制定污染物排放标准,限定一定高度的排气筒的排放量,以防止对其下风方向居住区的污染危害,我国也在1973年颁布了《工业“三废”排放试行标准》(以下简称《排放标准》)。根据理论推算与实测资料可以看出,当排气筒排放量符合《排放标准》的规定时,在绝大多数情况下其下风方向地面大气中污染物浓度均低于居住区容许浓度值。因此,不必再在周围设置卫生防护带。

无组织排放源是由于大气污染物的跑、冒、滴、漏等原因造成的,其特点是污染源分散与排放高度低。因其排放高度低、污染物未经较充分的扩散稀释就进入地面呼吸带,故即使在排放量很小时,也可能在其附近形成一个浓度高于容许浓度的污染区。下图为一个硫酸厂在中性状态下,下风方向大气中 SO_2 浓度分布图。

图中高架源的影响是按《排放标准》的计算参数计算的,无组织排放量按我们实测的几个企业的中等水平取10公斤/小时,只有60米高排气筒允许排放量110公斤/小时的十一分之

* 主要参加单位有中国医学科学院卫生研究所,江苏省卫生防疫站,湖南省劳动卫生研究所,福建、广东省职业病防治院,气象科学研究院天气气候所及南京大学气象系等。

一,但在距源250米处地面浓度还是超过了卫生标准所规定的一次最大容许浓度 $0.5\text{毫克}/\text{米}^3$ 。因此,为了保证居住区的大气卫生条件,在无组织排放源与居住区之间设置卫生防护带是完全必要的。从图中还可以看出,无组织排放的污染物在源附近的地面浓度随距离急剧下降,一般都能在不太大的距离内降低到《卫生标准》的容许浓度。从以上分析可知,在无组织排放源附近设置卫生防护带是必要且可行的。

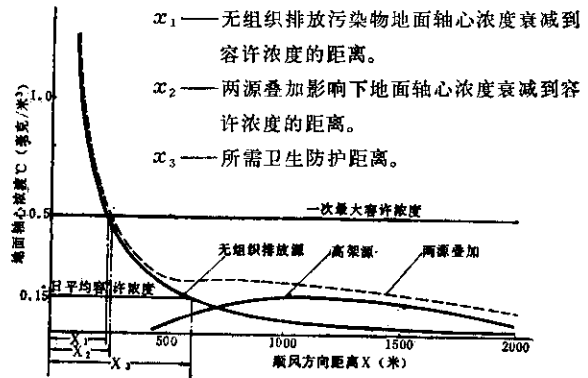
(二) 卫生防护距离确定原则

目前,世界各国确定防护距离宽度的方法可归纳为两大类。一类是按工业企业可能产生危害的性质与程度,将它们分为若干类级,制定统一的国家标准,或由各地区在它们有关城乡规划中对各类工业企业所必需的卫生防护距离提出具体要求。另一类是用大气污染扩散的

数学模式确定单个企业(或工业区)所需的卫生防护距离。苏联、西德、波兰、以色列等国都制定了卫生防护距离的标准;荷兰及英国的英格兰、威尔士则在其城乡规划的指令中规定了各类工业企业所需最小的卫生防护距离宽度。这些国家还规定在特殊情况下应加大卫生防护距离的宽度。至于用数学模式确定卫生防护距离的方法,在西德、美国、澳大利亚等国均有所报导^[1~3]。

我国原《卫生标准》中有关卫生防护距离的标准是参照苏联的标准制定的。在现阶段,除个别新建大型企业有可能及有必要用大气扩散的数学模式专门确定其所需卫生防护距外,对于大量的中小企业,仍有必要由国家或地方制定统一的标准。

从大气卫生的角度来说,在我国已颁布施行《排放标准》的情况下,工业企业所需卫生防护距离的宽度主要取决于其无组织排放的方式、数量及污染物的有害程度。显然,不同种类的工业企业由于它们生产工艺流程及排放的污染物种类不同,在确定其防护距离时应分别考虑。关于同一类工业企业是否可以规定统一的卫生防护距离的问题,有待进一步研究。苏联与我国原《卫生标准》对同一类工业企业,有的按生产规模再加以分级,如对规模较大的厂,则要求设置较大宽度的卫生防护距离。我国目前各工业企业的生产管理与设备维护水平存在相当大的差异。如我们调查测定的几个硫酸厂虽然都是采用水洗接触法制酸工艺,但年产十万吨的大厂的无组织排放量却只有另一个年产仅4万吨的小厂的二十几分之一。其他工业企业也程度不同地存在这种情况。这说明在确定工业企业的卫生防护距离宽度时,不但应考虑其种类与规模,更主要的还应考虑其实际的无组织排放水平。如采用合理的生产工艺流程,加强生产管理与设备维护,目前由于无组织排放造成较严重的大气污染的企业的无组织排放量可较大幅度地下降。另一方面,由于我国许多工业企业分布在人口稠密地区,在它们的周围要求过宽的卫生防护距离难于实现。无组织排放量过大时对工厂厂区将造成严重污染,从而危害工厂职工的健康及防护带内农作物与绿化植物的生长。因此,应当在尽量控制无组织排放的前提下确定卫生防护距离。基于上述分析,我们提出按工业企业无组织排放量可以达到的控制水平确定其所需卫生防护距离的原则。所谓可以达到的控制水平,是指一类工业企业中生产工艺流程合理、生产管理与设备维护处于先进水平的那些企业,在采取符合于目前的技



术经济水平的污染控制措施后可以达到的无组织排放量。这一控制水平既体现一定的先进性，又是绝大部分企业通过努力可以达到的。按照这一控制水平确定的卫生防护距离也较易实现。

由于卫生防护距离是按每一类企业无组织排放量可以达到的控制水平确定的，因此，工业企业不仅应设置规定宽度的卫生防护距离，也应要求它们的无组织排放量限期达到这一控制水平。

按照这一原则，如某类工业企业中有几种不同的生产工艺流程和不同的生产规模时，也可按几种工艺流程和生产规模再进一步分类。

二、确定卫生防护距离的方法

如果一类工业企业无组织排放量可以达到的控制水平为 Q_c ，则其所需卫生防护距离实质上是一个排放量为 Q_c 的污染源所排放的大气污染物，在大气扩散稀释作用下其地面轴心浓度衰减到居住区容许浓度所需要的距离。从大气扩散理论可知，这一距离 L 与源的排放量 Q_c ，容许浓度 C_0 ，影响大气扩散稀释能力的参数[主要是扩散层的平均风速 \bar{u} 与表征大气水平方向与垂直方向扩散特性的浓度分布标准差 $\sigma_y(x)\sigma_z(x)$]与源的特性参数[主要是排放高度 H 及与源的平面尺寸(以平均半径 \bar{R} 为特征参数)有关的初始扩散方差 σ_{y_0}]等诸因素有关。亦即：

$$L=f(Q_c \cdot C_0, \bar{u}, \sigma_y, \sigma_z, \sigma_{y_0}, H) \quad (1)$$

上式中 σ_y 、 σ_z 既与大气的扩散稀释能力有关，又与顺风方向距离 x (即这一关系式中的 L) 有关，而且 $\sigma_y(x)$ 、 $\sigma_z(x)$ 都是经验关系式。(它们可分别表述为 $\sigma_y(x)=ax^b$ ， $\sigma_z(x)=cx^d$ 的形式，式中 a 、 b 、 c 、 d 是随大气稳定度类级变化的经验常数)。因此，在求解 L 时需采用试算法(逐次逼近法)。为了简化计算，我们先算出特定条件 ($Q_c=1$ 克/秒， $C_0=0.1$ 毫克/米³， $\bar{u}=3$ 米/秒， $H=0$) 下不同平均半径 \bar{R} 的源所需要的卫生防护距离 X (见附表 1)，根据 L 与 Q_c 、 C_0 、 \bar{u} 的关系，则在给定条件下的卫生防护距离 L 可用下式计算

$$L=0.25 \frac{Q_c X}{\bar{u} C} \quad (2)$$

下面对 (1) 式中各参数的选取分别进行讨论。

(一) 无组织排放量可以达到的控制水平 Q_c 可在对该类工业企业无组织排放与污染控制措施的一般情况作广泛调查的基础上，选定一个或几个符合条件的试点单位实测与估算无组织排放量，然后在综合考虑国内(或本地区内)污染控制技术水平与经济能力后，确定一个较合理的值。

(二) 源特性参数。源特性参数是指污染源本身所具有的、对扩散稀释作用有影响的因素。由于大多数的无组织排放源是分散的不规则排放源，表征源的分散性的 σ_{y_0} 是一个重要参数。目前广泛使用的面源扩散模式就是在点源扩散模式中引入 σ_{y_0} (即以 $\sqrt{\sigma_y^2 + \sigma_{y_0}^2}$ 或 $\sigma_{y_0} + \sigma_y$ 代替点源模式的 σ_y)。在面源模式中， σ_{y_0} 一般取源横截风向宽度 L' 的四分之一^[3]。对于近似于圆形的源，不同风向时 L' 与 σ_{y_0} 都不同。由于卫生防护距离是从源的边缘起算的，不同风向时 σ_{y_0} 的差别可从源中心至边缘距离的差别得到部分抵消，因此取 σ_{y_0} 等于源平均半径的二分之一是较合理的。

对于计算卫生防护距离来说，大多数工业企业的无组织排放源可看做面源。对于大部分排放高度与抬升高度都不大的源，作地面源处理误差不大。因此简化公式(2)中取 $H=0$ 。

(三) 计算状态。由于大气污染物对人体健康的危害与其接触时间有关(《卫生标准》规定了日平均与一次最大两个容许浓度指标),影响大气扩散稀释能力的大气稳定度类级、风速等也随时变化。因此应当从它们相互关连的角度一并考虑。我们把这些参数的一定组合称之为一种计算状态。选定合适的计算状态,对于确定既安全又经济的卫生防护距离宽度是重要的一环。

据气象科学研究所根据全国近年风向脉动资料统计,我国大部分地区全年平均的大气稳定度类级接近于中性状态(Pasquill 大气稳定度 C、D 级)选用中性状态下的扩散参数较能代表全年大多数情况下的扩散能力。另一方面,由于《卫生标准》规定的一次最大容许浓度是任何情况下均不应超过的值,当排气筒高度较低时,在中性状态下无组织排放源与高架源的叠加影响也不可忽视。为了在不利的扩散条件下及两种源叠加时保证居住区的大气卫生条件,相应的计算浓度指标必须低于一次最大容许浓度。《排放标准》在确定大部分污染物的高架源允许排放量时选用中性条件与平均容许浓度作为计算状态的。从《卫生标准》可以看出,大部分大气污染物的日平均容许浓度大约是其一次最大容许浓度的三分之一。因此,如果计算卫生防护距离时也选用中性条件与日平均容许浓度这一参数组合作为计算状态,在两种源叠加时至少还留有一定的安全系数。故我们建议以之作为卫生防护距离的计算状态。对于《卫生标准》未规定日平均容许浓度的大气污染物,可以其一次最大容许浓度的三分之一作为计算浓度指标。由于大气稳定度取近年的平均状态,无组织排放的污染物的扩散层又较接近地面,相应地计算风速,建议取近年十米高度上的平均风速。

在大气处于稳定状态时,大气的垂直与水平混合较弱,相应地风速一般也较小,无组织排放源排放高度低,其轴心浓度接近地面,因此在稳定状态时污染距离最远。所幸在这种情况下高架源的轴心浓度虽然也较高,但在近距离内它对地面浓度的影响可忽略不计。为了在常见的不利扩散条件下保证居住区的大气卫生条件,我们选用偏稳定状态(Pasquill 大气稳定度 E 级)与一次最大容许浓度这一参数组合进行校验(由于没有全国各地稳定状态下的风速统计资料,风速取 2 米/秒)证实按前一种参数组合所计算的卫生防护距离可满足第二种参数组合的要求。这进一步说明所取的计算状态是合理的。

现举例说明这种方法的应用。通过调查与对一些有代表性的工厂的实测,得知目前采用水洗接触法制酸工艺的硫酸厂,二氧化硫的无组织排放量与其生产规模关系不大,可控制在 5 公斤/小时(1.39 克/秒)的水平。制酸车间无组织排放源主要是由于高炉等设备的漏气及污水中逸出二氧化硫气体形成的,整个车间均应视为无组织排放源,其有代表性的平面尺寸是 120 米×60 米。因此源平均半径 $R=4.85$ 米,据此从附表 1 查得卫生防护距离计算参数 $X=490$ 米。从《卫生标准》查得,居住区二氧化硫日平均容许浓度为 0.15 毫克/米³。从气象资料查得,徐州、青岛、湛江等地区,1961 年至 1970 年的十年间地面(十米高度上)平均风速均为 3.0 米/秒,则这些地区的硫酸厂所需卫生防护距离 $L=0.25 \frac{Q_c X}{C_0 u} = 0.25 \frac{1.39 \times 490}{0.15 \times 3} = 378$ 米,因此这些地区硫酸厂卫生防护距离标准可定 400 米这一级。

取一中等规模的企业作一验算(排气筒高度取 45 米),按《排放标准》参数计算,距源 400 米处高架源对地面浓度的贡献仅 0.055 毫克/米³,两种源叠加仅 0.205 毫克/米³,未超过一次最大容许浓度 0.5 毫克/米³。

三、无组织排放量的测定与计算方法

为制订卫生防护距离标准需要测定无组织排放源的排放量。由于无组织排放源情况复杂准确地测定其排放量是比较困难的。在1977年至1979年磷肥厂、硫酸厂大气污染调查实测工作中，我们摸索出元素平衡法、通量法与污染源下风方向地面大气中污染物浓度反推法（以下简称地面浓度反推法）三种方法，并作了初步的验证。这三种方法分别适用于不同的场合，如运用得当，均可获得基本正确的结果。现分别简单介绍如下：

（一）元素平衡法。根据物质不灭定律，对于单位时间内进入与离开某一生产设备或系统的待测物质元素，应符合如下关系式：

$$[\text{无组织排放量}] = [\text{输入量}] - [\text{贮留增量}] - [\text{有组织排出量}]$$

式中有组织排出量应包括随产品、废水、废渣及经由排气筒排出的废气中所含的待测元素的总量。由于上式中，等号右边各项往往比无组织排放量大得多，对它们能否作出准确的定量分析是这一方法的关键。因此，应该对生产工艺流程进行深入的了解，确实弄清待测元素的所有进入与排出的途径，并使用正确的方法进行测定与分析。有时，如根据对生产工艺过程的深入了解与生产过程中有关参数及生产设备周围大气中待测物质浓度的测定，即能正确地判断哪些设备或过程作元素平衡计算，并据此估算出整个生产系统的无组织排放量。

（二）通量法。在无组织排放源下风方向近旁设置垂直测定断面，测定该断面上有代表性的测点上的平均风速、平均风向与污染物浓度，即可据此计算出无组织排放量。

$$Q = \sum_{i=1}^n 3.6 \bar{u}_i c_i f_i \sin \varphi \times 10^{-3} \quad \text{公斤/小时} \quad (3)$$

式中 u_i (米/秒) c_i (毫克/米³) f_i (米²) 分别表示采样期间测点上的平均风速、污染物浓度与测点所代表的那一部分测定断面的面积。 φ 为采样期间平均风向与测定断面的夹角。

测定断面的高度与宽度，按源所排放的绝大部分污染物通过它这一原则确定。测定断面至源的距离，根据源所排放的污染物能较充分混合而定，并应尽量避免其他排放源（如排放同种污染物的排气筒）的干扰。

（三）地面浓度反推法。从大气扩散理论可知，污染源下风方向定点上大气中污染物浓度与其排放量成正比。浓度反推法就是根据无组织排放源下风方向地面上一定条件下测得的污染物浓度而推算出源的排放量。根据污染源的形状，可分别采用下列计算式。

对于点源：

$$Q = 11.3 C_{(x,0,0)} \bar{u} \sigma_y \sigma_z \exp \frac{H^2}{2\sigma_z^2} \times 10^{-3} \quad (4)$$

对于线源：

$$Q = 4.5 l C_{(x,0,0)} \bar{u} \sigma_z \exp \frac{H^2}{2\sigma_z^2} / \int_{p_1}^{p_2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-0.5p^2) dp \times 10^{-3} \quad (5)$$

对于面源或线源

$$Q = 11.3 C_{(x,0,0)} \bar{u} \sigma_z (\sigma_y^2 + \sigma_{y_0}^2)^{\frac{1}{2}} \exp \frac{H^2}{2\sigma_z^2} \times 10^{-3} \quad (6)$$

或

$$Q = 11.3 C_{(x,0,0)} \bar{u} \sigma_z (\sigma_y + \sigma_{y_0}) \exp \frac{H^2}{2\sigma_z^2} \times 10^{-3} \quad (7)$$

上列各式中:

Q ——源的排放量, 公斤/小时;

$C_{(x,0,0)}$ ——地面轴心浓度, 毫克/米³;

\bar{u} ——采样期间十米高度上的平均风速, 米/秒;

H ——源排放高度, 米;

σ_y ——水平方向浓度分布标准差;

σ_z ——垂直方向浓度分布标准差;

σ_{y_0} ——源的初始扩散标准差;

l ——线源长度, 米;

φ ——线源与平均风向的夹角, 度;

$$p_1 = \frac{-l \cdot \sin \varphi}{2\sigma_y}, \quad p_2 = \frac{l \cdot \sin \varphi}{2\sigma_y}。$$

积分值 $\int_{p_1}^{p_2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-0.5p) dp$ 可根据 p 值从误差函数表中查取。 σ_y, σ_z 可根据测定时的

的风速云量、辐射强度用 Pasquill-Turner 方法确定大气稳定度类级后查表求得。当源附近下垫面粗糙度较大时, 可酌情考虑提高大气稳定度级别半级。 σ_{y_0} 取测定时源横截风向宽度的四分之一^[3]。

尺寸不太大的单一露天设备可视为点源。大部分无组织排放源应作面源或线源考虑。线源积分公式(5)只适用于排放强度较均匀的线源, 且测定时风向与源的夹角不应小于 45°。公式(6)与公式(7)都是在点源公式(4)的基础上引入 σ_{y_0} 以考虑源分散性的影响, 故对于线源面源均可应用。我们对同一无组织排放源用不同的测定方法与计算公式估算其排放量, 以检验它们各自的适应性。测定结果列于表 2。从表中所列的初步实验数据可以看出, 对于象磷肥车间这样近似于线源(污染物从天窗排出)的污染源及象硫酸车间这样长宽两个方向均有一定尺寸的面源, 用公式(6)计算的结果与用线源积分公式(5)计算及用元素平衡法、通量法测定的结果有较好的一致性, 故建议将公式(6)作为非点源的浓度反推法公式。为了简化计算, 按不同的大气稳定度类级、源高及源横截风向宽度 L' 预先计算出称之为无组织排放源计算参数 Q' 的值, 根据实测的地面轴心浓度 $C_{(x,0,0)}$ 与平均风速 \bar{u} , 即可用下式计算源的排放量

$$Q = C_0 \bar{u} Q' \quad \text{公斤/小时} \quad (8)$$

Q' 值列于表 3。

应当指出, 为了测得较为准确的结果, 在测定之前应对测试对象作深入的了解或辅之以必要的试测, 以正确判断源的范围, 排放高度及重心位置等有关参数。浓度、风速测点的位置及数量也是影响测定结果的重要因素。

卫生防护距离计算参数 X

表 1

源平均半径 R (米)	<30	30~50	50~80	80~100	100~120	120~150	150~180	180~200	>200
X (米)	510	490	460	400	355	310	250	205	185

无组织排放量测定计算方对比

表 2

测定对象	测定序号	地面浓度反推法推算结果(公斤/小时)			元素平衡法 估算结果 (公斤/小时)	通量法测定结果 (公斤/小时)
		公式(5)	公式(6)	公式(7)		
磷肥车间	1	2.05	1.87	2.64	2.0	
	2	2.15	1.72	2.42		
	平均	2.10	1.80	2.53		
硫酸车间	1	2.57	2.30	3.25		2.86
	2	1.40	1.18	1.67		1.53
	3	2.40	2.75	3.75		2.34
	4	0.96	1.04	1.44		1.16
	5	2.75	2.79	3.88		2.65
	平均	2.01	2.01	2.80		2.11

无组织排放源排放量计算参数Q

表 3

大气稳定度 类别	源高 H (米)	测点至 源的距离 (米)	源在与平均风向垂直的方向上的投影L'(米)					
			<30	30~60	60~100	100~150	150~200	>200
D	<7.5	100	1.58	1.86	—	—	—	—
		200	2.49	2.83	3.73	4.86	—	—
		300	4.98	5.32	6.22	7.46	8.93	10.55
		400	8.03	8.37	9.27	10.63	12.32	14.14
	10±2.5	100	4.18	4.98	—	—	—	—
		200	3.39	3.96	5.09	6.67	—	—
		300	5.77	6.11	7.24	8.71	10.40	12.21
		400	8.82	9.16	10.18	11.64	13.46	15.49
	15±2.5	200	5.77	6.56	8.48	10.97	—	—
		300	7.46	7.92	9.39	11.20	13.46	15.95
		400	10.41	10.86	11.99	13.69	15.83	18.21
		500	14.48	14.48	15.60	17.30	19.34	21.72
C	10~15	100	3.48	4.26	6.03	8.17	10.46	12.81
		200	7.42	7.91	9.18	10.98	13.10	15.40
		300	14.50	14.93	16.16	18.02	20.85	23.00
		400	24.24	24.66	25.88	27.73	30.27	33.18
B	10~15	100	4.85	5.44	6.91	8.84	10.97	13.23
		200	15.05	15.55	16.98	19.08	21.70	24.67
		300	31.76	32.25	33.67	35.92	38.05	42.31
		400	54.22	54.70	56.12	58.40	61.46	65.19

参 考 文 献

- [1] WHO Regional Publications European Series №1, Manual on Urban air quality management, P67~77, WHO Regional Office For Europe, Copenhagen, 1976.
- [2] N.F.Izmerov WHO Public Health Papers. №54, Control of air pollution in the USSR, P19, P132~148, WHO, Geneva,1973.
- [3] H.E.Hesketh, Understanding and Controlling air pollution, Ann Arbor Science Publishers, Michigan USA, 1972.