

辽东湾地区大气扩散因子的应用研究*

杨洪斌 刘万军 马雁军 赵国珍

(辽宁省气象科学研究所, 沈阳 110015)

提 要

利用离海岸约 800 m 的气象铁塔上获得的数据,对辽东湾地区大气扩散因子的特征进行了研究. 结果表明:在核设施正常运行期间,主要以高架排放方式为主. 当风速较大时,烟羽抬升高度低于 30 m.

关键词: 大气扩散因子 核电厂 抬升高度 污染

引 言

扩散因子尤其是长期(年均、季均)扩散因子,代表了一个地区的平均大气扩散特征,其优点是:①用污染源强乘以扩散因子可以得到污染物的浓度;②若干年内只要该地区的风场没有发生显著变化,则该扩散因子仍然有效,因而在工厂改扩建时,很容易估算改扩建后各种污染物的浓度,而不用进行较复杂的计算;③根据两个厂址扩散因子的比较,可知哪一个厂址的扩散条件较好. 此外,烟囱排出的烟气会因热力和动力的作用而上升,因而可增加烟源的高度. 而烟源的高度将直接影响大气扩散因子的精确性^[1]. 因此,有必要计算和分析烟气抬升的高度及大气扩散因子,为厂址选择提供科学依据.

1 大气扩散因子的计算

1.1 资料来源和观测年度资料的代表性

利用辽宁省瓦房店市东岗乡小孙屯境内的 100 m 气象铁塔 1993 年的风向、风速资料、三轴风速仪资料及温坨子海洋气象站的太阳总辐射和净辐射资料,分别计算该地区的短期大气扩散因子和长期大气扩散因子.

表 1 给出了观测年度(1993 年)温坨子海洋气象站 10 m 高各月平均风速和该站历年平均风速. 从表 1 可以看到,观测年度温坨子海洋气象站冬季平均风速与该站多年平均风速有一定偏差,而春、夏、秋三季的平均风速接近历年平均风速. 说明观测年度的平均风速能反映该地区的平均状况.

* 本文为辽宁省核电办公室“辽宁核电厂大气扩散试验研究”课题资助项目.
1997-10-30 收到,1998-07-20 收到再改稿.

表 1 温垞子海洋气象站月平均风速(m/s)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
1993年	5.1	6.4	5.9	6.5	5.9	5.3	4.1	3.9	6.0	6.8	8.5	7.5	6.0
历年平均	6.5	6.9	6.2	6.3	5.8	5.1	4.3	4.3	5.8	6.7	8.1	8.2	6.2

1.2 短期大气扩散因子的计算公式

国家环保局监督管理司 1996 年编制的《环境影响评价培训教材》^[2]中指出,短期扩散因子为单位源强排放在下风向地面轴线上某处所造成的污染物时间积分浓度。

根据国家核安全局 1987 年 7 月发布的安全导则——核电厂厂址选择的大气弥散问题^[3]的规定,对于核设施事故性排放,可看作地面释放.此时,地面轴线上短期扩散因子 X/Q 的计算公式为:

$$X/Q = \frac{1}{U_{10}(\pi\sigma_y\sigma_z + CA)} \quad (1)$$

式中: U_{10} 为距地面 10 m 处风速(m/s), σ_y 为横向烟羽扩散参数(m), σ_z 为垂直烟羽扩散参数, A 为核反应堆建筑物的最小垂直截面积(m²), C 为建筑物尾流效应使烟羽弥散占面积 A 的份额。

利用推移平均间隔的方法计算 X/Q 的频率分布. 首先把全年的逐时资料依时间顺序排列, 计算出每小时的 X/Q 值. 然后确定概率为 5% 和 50% 的 X/Q 值. 其它不同时间间隔的短期大气扩散因子, 由推移平均间隔的方法首先确定相应间隔内大气扩散因子的频率分布, 然后确定相应时间间隔内概率为 5% 和 50% 的短期大气扩散因子。

1.3 长期大气扩散因子的计算公式

长期扩散因子定义为单位源强排放在年、季(月)时段内所产生的平均浓度。

为了得到核电站烟囱的设计参数和气体排放的运行限值与条件, 需要确定长期大气扩散因子. 而对于较长的排放时间, 可假定污染物总量在关心方位内均匀分布, 这时可以应用风向、风速及稳定度联合频率参数 f_{ijk} 得出第 i 个方位(按 16 方位制)的长期扩散因子 $(X/Q)_i$ ^[2].

$$(X/Q)_i = \frac{8\sqrt{2}}{x\pi^{3/2}} \sum_{j=1}^6 \sum_{k=i}^M \frac{f_{ijk}}{\sigma_{zj}U_{jk}} \exp\left(-\frac{H_e^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) \quad (2)$$

式中: i 为风向, j 为大气稳定度类别, k 为风速级别, M 为风速级总数, f_{ijk} 为风向、风速及稳定度的联合频率, H_e 为烟囱有效高度(m), 其它符号同式(1). H_e 的计算公式为:

$$H_e = H + \Delta h \quad (3)$$

式中: H 为烟囱的几何高度(m), Δh 为烟羽的抬升高度。

1.4 高烟囱的烟羽抬升高度

从高度至少为邻近建筑物 2~2.5 倍的烟囱排放的污染物, 在中性或不稳定条件下, 烟羽抬升高度可用下式计算。

$$\Delta h = 1.44D_i(W_0/U)^{2/3}(X/D_i)^{1/3} - C \quad (4)$$

式中: W_0 为烟气出口速度(m/s), X 为下风向距离(m), U 为烟囱出口处的风速(m/s), D_i 为烟囱口的内径(m), C 为 $W_0 < 1.5U$ 时的下冲修正因子。

$$C = 3 \times (1.5 - W_0/D) \times D_e \quad (5)$$

式中: D_e 是烟囱内径(m).

在用式(4)估算 Δh 时,同时还要用下式估算 Δh .

$$\Delta h = 3(W_0/U)D_i \quad (6)$$

用式(4)和式(6)计算出两个 Δh 值,取较小的 Δh 值作为烟羽抬升高度.

在稳定条件下式(4)计算的结果还要与下面两个公式的计算值相比较,即

$$\Delta h = 4(F_m/S)^{1/4} \quad (7)$$

$$\Delta h = 1.5 S^{-1/6}(F_m/U)^{1/3} \quad (8)$$

以 3 个 Δh 值中的最小值作为烟羽抬升高度.其中: $F_m = W_0^2(D/2)^2$,是动量通量参数,稳定度参数 $S = g/T(-\frac{\partial \theta}{\partial Z})$, g 为重力加速度(m/s^2), T 为周围空气温度(K),对于 E 类稳定度 $S = 8.7 \times 10^{-4}$,对于 F 类稳定度 $S = 1.75 \times 10^{-3}$.

1.5 低烟囱的烟羽抬升高度

高度低于邻近建筑物 2~2.5 倍的烟囱,定义为低烟囱.对低烟囱释放,只要排出物出口的垂直速度 W_0 大于出口处风速 U 的 5 倍时,就可以作为高架源,这时就可以用式(4)计算.如果 $W_0/U < 1$,为得到保守的浓度估算值,假设其为地面释放.若 W_0/U 在 1~5 之间,可假设一个混合模式,在一部分时间里,把烟羽看作高架释放,而在其余时间里,作为地面释放.其夹卷系数 ET 由下式确定:

$$ET = 2.58 - 1.58(W_0/U) \quad (1 \leq W_0/U \leq 1.5)$$

$$ET = 0.3 - 0.06(W_0/U) \quad (1 \leq W_0/U \leq 5)$$

在 $100(1-ET)\%$ 的时间内作高架释放,在 $100 ET\%$ 的时间内,作为地面释放.

2 计算结果与分析

烟囱设计参数如下:烟囱高度 100 m,烟囱口内径 2 m,烟气量 17 万 m^3/h .与烟囱邻近的最大建筑物高度为 72.2 m,反应堆建筑物的最小垂直截面积(宽×高)3415.42 m^2 .

表 2 给出了夹卷系数 ET 的统计结果.烟气出口速度分 4 个级别,分别为 9.0、12.0、15.0 和 18.0 m/s .由表 2 可见,该厂址核设施正常运行时以高架释放方式为主.当出口速度为 18.0 m/s 时,地面释放份额仅占 12.8%.

表 2 夹卷系数 ET

$W_0(m/s)$	样本数	ET
9.0	8400	0.404
12.0	8400	0.265
15.0	8400	0.182
18.0	8400	0.128

注:采集样本时间为 1993-01-01~1993-12-31.

表 3 给出了有效释放高度的计算结果.烟气出口速度分级与计算夹卷系数时烟气出口速度分级相同.从表 3 可见,风速较大($>4.0 m/s$)时,烟气抬升高度均低于 30 m.风速较小($<1.0 m/s$)时,不稳定类的烟气抬升高度为 50~200 m.

表3 有效释放高度(m)

风速(m/s)	类别	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0	10.0
$W_0=9$ m/s	ABCD	213.4	156.7	128.4	118.9	114.2	109.4	107.1	105.7
	E	127.3	121.7	117.2	115.0	113.7	109.4	107.1	105.7
	F	124.3	119.3	115.3	113.4	112.2	109.4	107.1	105.7
$W_0=12$ m/s	ABCD	251.2	175.6	137.8	125.2	118.9	112.6	109.4	107.6
	E	133.1	126.3	120.9	118.2	116.6	112.6	109.4	107.6
	F	129.5	123.4	118.6	116.2	114.7	112.6	109.4	107.6
$W_0=15$ m/s	ABCD	289.0	194.5	147.3	131.5	123.6	115.8	111.8	109.4
	E	138.4	130.5	124.2	121.2	119.2	115.8	111.8	109.4
	F	134.2	127.2	121.5	118.8	117.1	114.9	111.8	109.4
$W_0=18$ m/s	ABCD	317.1	213.4	156.7	137.8	128.4	118.9	114.2	111.3
	E	143.4	134.4	127.3	123.9	121.7	118.9	114.2	111.3
	F	138.6	130.7	124.3	121.3	119.3	116.9	114.2	111.3

表4给出了概率为5%的短期大气扩散因子.由表4可见,时间间隔愈大,大气扩散因子愈小,而且随着距离增大而单调递减.

表4 概率为5%的短期大气扩散因子(s/m^3)

轴线距离(km)	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	10.0	20.0	30.0
0~2 h	0.249×10^{-3}	0.141×10^{-3}	0.693×10^{-4}	0.436×10^{-4}	0.254×10^{-4}	0.103×10^{-4}	0.457×10^{-5}	0.283×10^{-5}
0~8 h	0.780×10^{-4}	0.447×10^{-4}	0.216×10^{-4}	0.137×10^{-4}	0.776×10^{-5}	0.342×10^{-5}	0.155×10^{-5}	0.969×10^{-6}
8~24 h	0.311×10^{-4}	0.179×10^{-4}	0.860×10^{-5}	0.544×10^{-5}	0.304×10^{-5}	0.143×10^{-5}	0.658×10^{-6}	0.415×10^{-6}
24~72 h	0.124×10^{-4}	0.721×10^{-5}	0.342×10^{-5}	0.217×10^{-5}	0.119×10^{-5}	0.594×10^{-6}	0.279×10^{-6}	0.178×10^{-6}
72~720 h	0.181×10^{-5}	0.107×10^{-5}	0.495×10^{-6}	0.315×10^{-6}	0.166×10^{-6}	0.950×10^{-7}	0.464×10^{-7}	0.300×10^{-7}

表5是烟囱高度为100 m,不考虑混合层影响时,厂址(小孙屯)地区的长期大气扩散因子.由表5可见,在厂址的SSW、NNW和N方位上,长期扩散因子的量值比其它方位的大,其主要原因是1年中NNE、SSE和S方位的风频较高,而这3种风向基本上是吹向海面的,对陆地影响较小.从这一角度来看,该厂址较好.

表5 小孙屯地区30 km范围内长期大气扩散因子

距离(km)	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	10.0	20.0	30.0
S	0.213×10^{-6}	0.102×10^{-6}	0.520×10^{-7}	0.362×10^{-7}	0.201×10^{-7}	0.125×10^{-7}	0.619×10^{-8}	0.404×10^{-8}
SSW	0.332×10^{-6}	0.168×10^{-6}	0.920×10^{-7}	0.656×10^{-7}	0.378×10^{-7}	0.212×10^{-7}	0.997×10^{-8}	0.630×10^{-8}
SW	0.177×10^{-6}	0.936×10^{-7}	0.567×10^{-7}	0.426×10^{-7}	0.264×10^{-7}	0.159×10^{-7}	0.791×10^{-8}	0.516×10^{-8}
WSW	0.481×10^{-7}	0.298×10^{-7}	0.216×10^{-7}	0.199×10^{-7}	0.167×10^{-7}	0.134×10^{-7}	0.742×10^{-8}	0.499×10^{-8}
W	0.702×10^{-8}	0.528×10^{-8}	0.490×10^{-8}	0.475×10^{-8}	0.469×10^{-8}	0.429×10^{-8}	0.252×10^{-8}	0.174×10^{-8}
WNW	0.284×10^{-7}	0.210×10^{-7}	0.151×10^{-7}	0.131×10^{-7}	0.100×10^{-7}	0.739×10^{-8}	0.392×10^{-8}	0.258×10^{-8}
NW	0.984×10^{-7}	0.559×10^{-7}	0.391×10^{-7}	0.318×10^{-7}	0.219×10^{-7}	0.135×10^{-7}	0.694×10^{-8}	0.457×10^{-8}
NNW	0.246×10^{-6}	0.120×10^{-6}	0.773×10^{-7}	0.616×10^{-7}	0.416×10^{-7}	0.232×10^{-7}	0.110×10^{-7}	0.691×10^{-8}
N	0.228×10^{-6}	0.125×10^{-6}	0.720×10^{-7}	0.549×10^{-7}	0.358×10^{-7}	0.214×10^{-7}	0.104×10^{-7}	0.660×10^{-8}

3 结 论

(1)该厂址核设施正常运行时以高架释放方式为主.当烟气出口速度达 18.0 m/s 时,地面释放份额仅占 12.8%.

(2)当风速较大时,烟气抬升高度低于 30 m;当风速较小时,烟气抬升高度在 50~200 m 之间.

(3)计算表明:短期大气扩散因子随着时间间隔增大而减小,而且随着距离增大而单调递减.

(4)厂址(小孙屯)地区长期大气扩散因子较大的 3 个方位(SSW、NNW 和 N)均位于海面,大气污染物对陆地影响较小.

参 考 文 献

- 1 李宗恺,潘云仙,孙润桥.空气污染气象学原理及应用.北京:气象出版社,1985.303~306.
- 2 国家环保局监督管理司.环境影响评价培训教材.北京:中国环境科学出版社,1996.12~40.
- 3 国家核安全局.安全导则——核电厂厂址选择的大气弥散问题.北京:原子能出版社,1987.17~33.

APPLICATION OF ATMOSPHERIC DIFFUSION FACTOR IN THE BAY OF EAST LIAONING

Yang Hongbin Liu Wanjun Ma Yanjun Zhao Guozhen

(Liaoning Research Institute of Meteorological Science, Shenyang 110015)

Abstract

The characteristics of atmospheric diffusion factor in the Bay of East Liaoning are studied using the data obtained from meteorological tower-based sensors at the site located about 800 m from the coast. The results show that the nuclear power station emits pollutants as a high source during its operation. Furthermore, it is found that the lifting level of plume is lower than 30 m when wind speed is greater.

Key words: Atmospheric diffusion factor Nuclear power station Lifting level Pollution