

NB

中 华 人 民 共 和 国 能 源 行 业 标 准

NB/T 20531—2018

核电厂主控室可居留性评价用 大气弥散因子分析方法

**Atmospheric dispersion factor analysis method for main control room
radiological habitability assessments at nuclear power plants**

2018 - 12 - 10 发布

2019 - 04 - 01 实施

国家能源局 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 气象数据选取要求 2

5 用于主控室可居留性评价的大气弥散因子分析原则 2

6 用于主控室可居留性评价的大气弥散因子分析参考模型 4

附录 A（资料性附录） 地面释放计算模型..... 5

附录 B（资料性附录） 高架释放（烟囱）计算模型..... 7

附录 C（资料性附录） 瞬时烟团释放计算模型..... 8

附录 D（资料性附录） 烟羽抬升计算模型..... 9

参考文献 10

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由能源行业核电标准化技术委员会提出。

本标准由核工业标准化研究所归口。

本标准起草单位：上海核工程研究设计院有限公司、中国核电工程有限公司、中广核工程有限公司。

本标准主要起草人：孙大威、付亚茹、梅其良、邱林、刘新建、杨杰、潘楠、黄树明、蔺洪涛、李怀斌、毛兰方、高圣钦。

核电厂主控室可居留性评价用大气弥散因子分析方法

1 范围

本标准规定了用于评价主控室可居留性的大气弥散因子分析应遵循的一般原则和方法等。
本标准适用于核电厂事故工况下主控室可居留性评价。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

HAD 002/01—2010 核动力厂营运单位的应急准备和应急响应

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

大气弥散因子 atmospheric dispersion factor

释放每单位活度放射性核素在下风向某处空气中造成的该放射性核素浓度,通常用 χ/Q 表示。

3.2

点源 point source

通过某种装置(如烟囱、集气筒等)集中排放的固定点状源。

3.3

扩散面源 diffuse area source

通过反应堆或安全壳等的外表面直接向环境均匀排放或泄漏的源。

3.4

烟羽抬升 plume rise

释放烟流的初始热力和动力作用造成其继续上升的过程。

3.5

主控室可居留区域 main control room envelope (CRE)

主控室的外围封闭边界包络的区域,核应急情况将主控室可居留区与其他区域或房间隔离开,包括主控室、通风系统支持的其他非关键区域。

3.6

主控室进风口 main control room intake

放射性物质进入主控室可居留区边界的位置,包括通风系统进风口及可能泄漏进入主控室可居留区边界的其他位置。

3.7

内渗漏 inleakage

通过构成主控室可居留区边界的相关建筑物、系统和部件,在内外压力差作用或者开关门等情况下,放射性物质未经过滤而进入到主控室可居留区。

3.8

风向窗 wind direction window

以释放点为顶点,以释放点-接收点的连线为对称轴,所确定的一定的角度范围。

4 气象数据选取要求

4.1 大气弥散因子计算所需的气象数据包括逐时的风速、风向及大气稳定度,所选取的气象数据应能够反映整个厂址情况。与 HAD 002/01 的要求相一致,应从厂址气象测量中选取气象数据。

4.2 大气弥散因子计算中应尽可能采用足够多的有效气象数据,最少保证采用近年一整年逐时气象数据。

5 用于主控室可居留性评价的大气弥散因子分析原则

5.1 释放点(源)特性确定

5.1.1 对于多释放点—接收点组合情况,为了减少计算量,可根据释放点与接收点的实际情况选取包络性位置组合用于确定大气弥散因子,该过程应考虑各释放点与主控室各进风口之间的距离、方位及释放模式,其他参数(如用于确定烟羽抬升的参数等)也应视情况考虑。

5.1.2 对于具有多个释放位置的情况,可进行加权处理,但方案合理性及权重系数保守性应经过论证。

5.1.3 对于已确定的释放点—接收点组合,通常应分别计算并确定 95%概率水平的大气弥散因子。

5.1.4 释放方式包括地面释放、高架释放等点源释放,以及扩散面源释放。

5.1.4.1 地面释放模式适合于大多数情况下的主控室可居留性评价用大气弥散因子计算,通常不考虑烟羽抬升。

5.1.4.2 高架释放模式适用于独立的、竖直的、无盖烟囱等的释放,并且不受周围建筑物的影响。当释放高度大于周围建筑物高度 2.5 倍,或者满足如下条件按高架释放处理:

- a) 与上风向建筑物尾端距离超过 $5L$;
- b) 与下风向建筑物前端距离超过 $2L$;
- c) 与横风向建筑物最近边缘距离超过 $0.5L$ 。

L 为产生上风向、下风向、横风向尾流效应的建筑物高度或宽度中较小者。

5.1.4.3 扩散面源释放仅适用于放射性在建筑物内均匀分布情况,且通过建筑物表面向环境释放呈均匀分布。建筑物贯穿件的位置相对容易发生泄漏,分析中应考虑连通环境的贯穿件对扩散面源的可能影响,甚至不适用的情况。

5.1.4.4 对于扩散面源释放,初始扩散参数在无法通过现场测量确定的情况下,可采用式(1)进行计算:

$$\sigma_{y_0} = \frac{W}{6}, \quad \sigma_{z_0} = \frac{H}{6} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

σ_{y_0} ——横向初始扩散参数,单位为米(m);

σ_{z_0} ——铅直初始扩散参数,单位为米(m);

W ——扩散面源宽度,单位为米(m);

H ——扩散面源高度,单位为米(m)。

5.1.4.5 对于点源释放,释放点到接收点的斜线距离通过两者之间的最短的水平距离及高度差来计算。如果释放点在建筑物群中,释放点与接收点之间的最短路径需穿过中间建筑物的情况,可取绕过或者越过中间建筑物的最小长度。

5.1.4.6 对于扩散面源释放,扩散距离的计算可采用扩散面源距主控室进风口最短的距离。同时,将与进风口距离最短的建筑物垂直投影面的高度及宽度作为扩散面源高度及宽度(见图1)。

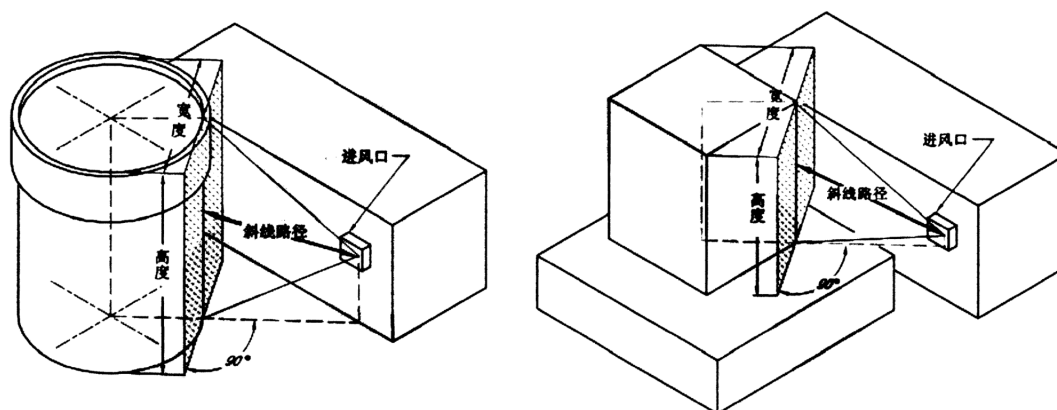


图1 扩散面源参数的选取

5.2 主控室通风系统进风口

5.2.1 正常运行工况下,主控室通风系统的新风来自于环境的空气。事故工况下,切换到应急模式后,通风系统运行模式发生改变。大气弥散因子计算中,应考虑进风口位置可能的变化。除了主控室通风系统进风口外,还需考虑内渗漏等其他可能的污染空气进入主控室的途径。

5.2.2 主控室外部的通风系统进风口应设置在任何风向条件下提供低污染空气的位置。该位置的确定与释放点的设置、建筑物尾流效应、地形及静风或风向逆转的可能性等因素相关。

5.2.3 在仅通过观察难以判断不利或有利的进风口位置的情况下,针对释放点-进风口的每一组合计算出 χ/Q 值,再根据计算结果识别出不利或有利的进风口位置。

5.2.4 如果两个进风口设置在同一个风向窗内,两个进风口将同时受到污染。如果进风流量相同,则采用公式(2)计算有效大气弥散因子;如果进风流量不同,并且两个进风口进风流量不会发生变化,应采用公式(3)计算有效大气弥散因子;如果两个进风口进风流量会发生变化,应采用公式(4)计算有效大气弥散因子。

$$\overline{\chi/Q} = \frac{1}{2}[(\chi/Q)_1 + (\chi/Q)_2] \dots\dots\dots(2)$$

$$\overline{\chi/Q} = \frac{F_1(\chi/Q)_1 + F_2(\chi/Q)_2}{F_1 + F_2} \dots\dots\dots(3)$$

$$\overline{\chi/Q} = \frac{\max(F_1, F_2) \max[(\chi/Q)_1, (\chi/Q)_2] + \min(F_1, F_2) \min[(\chi/Q)_1, (\chi/Q)_2]}{F_1 + F_2} \dots\dots\dots(4)$$

式中:

$\overline{\chi/Q}$ ——有效大气弥散因子,单位为秒每立方米(s/m^3);

$(\chi/Q)_1$ ——进风口1所在位置处大气弥散因子值,单位为秒每立方米(s/m^3);

$(\chi/Q)_2$ ——进风口2所在位置处大气弥散因子值, 单位为秒每立方米 (s/m^3);

F_1 ——进风口1的进风流量, 单位为立方米每秒 (m^3/s);

F_2 ——进风口2的进风流量, 单位为立方米每秒 (m^3/s)。

5.2.5 如果两个进风口不在同一个风向窗内, 并且其同时工作才能满足设计需求的情况下, 应计算确定每一个时间段内最不利进风口的大气弥散因子。如果进风流量相同, 则采用公式(5)计算有效大气弥散因子; 如果进风流量不同, 并且两个进风口进风流量不会发生变化, 应采用公式(6)计算有效大气弥散因子; 如果两个进风口进风流量会发生变化, 应采用公式(7)计算有效大气弥散因子。

$$\overline{\chi/Q} = \frac{1}{2} \max[(\chi/Q)_1, (\chi/Q)_2] \dots\dots\dots (5)$$

$$\overline{\chi/Q} = \frac{\max[F_1(\chi/Q)_1, F_2(\chi/Q)_2]}{F_1 + F_2} \dots\dots\dots (6)$$

$$\overline{\chi/Q} = \frac{\max(F_1, F_2) \max[(\chi/Q)_1, (\chi/Q)_2]}{F_1 + F_2} \dots\dots\dots (7)$$

5.2.6 对于两个进风口不在同一个风向窗内, 并且不需同时投用情况, 可根据实际投用情况选择适用的大气弥散因子。

6 用于主控室可居留性评价的大气弥散因子分析参考模型

6.1 针对地面释放模式, 本标准给出了大气弥散因子计算的参考模型, 参见附录 A。

6.2 针对高架释放模式, 以烟囱为例, 本标准给出了大气弥散因子计算的参考模型, 参见附录 B。

6.3 对于所有的放射性核素在 1min 以内全部释放到环境中的瞬时释放可视为烟团释放, 释放到封闭建筑和释放时间超过 1min 都应视为连续释放。本标准给出了瞬时烟团释放模式大气弥散因子计算的参考模型, 参见附录 C。

6.4 主控室大气弥散因子计算中, 可视具体情况考虑浮力抬升或者机械喷射作用引起的烟羽抬升对释放高度的影响。本标准给出了烟羽抬升计算的参考模型, 参见附录 D。

附 录 A
(资料性附录)
地面释放计算模型

A.1 点源释放

A.1.1 高斯烟羽中心线模型

对于 0~8h 内烟羽未充分膨胀情况,可采用高斯烟羽中心线模型,基本公式如下:

$$\chi/Q = \frac{1}{\pi\sigma_y\sigma_zU} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

χ/Q ——烟羽中心线上的大气弥散因子,单位为秒每立方米 (s/m^3);

σ_y ——考虑建筑物尾流效应及低风速修正后横向扩散参数,单位为米 (m);

σ_z ——考虑建筑物尾流效应及低风速修正后铅直扩散参数,单位为米 (m);

U ——逐时风速,单位为米每秒 (m/s)。

可根据逐时气象资料确定逐时的大气弥散因子,基于滑动平均方法,通过排序确定 0~2h 及 0~8h 等时间段的 95%概率水平的大气弥散因子。

A.1.2 扇形平均模型

对于超过 8h 烟羽已充分膨胀情况,8h 后时间段可采用扇形平均模型,基本公式如下:

$$\chi_{sa}/Q = \frac{2}{\sqrt{2\pi}W_s\sigma_zU} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

χ_{sa}/Q ——经扇形平均后的大气弥散因子,单位为秒每立方米 (s/m^3);

W_s ——烟羽横向膨胀后扇形周长,可取 $\pi x/8$ 与 $k\sigma_y$ 的最大值,单位为米 (m);

x ——释放点到接收点的距离,单位为米 (m);

k ——常数,可取 4~6;

σ_y ——考虑建筑物尾流效应及低风速修正后横向扩散参数,单位为米 (m);

σ_z ——考虑建筑物尾流效应及低风速修正后铅直扩散参数,单位为米 (m);

U ——逐时风速,单位为米每秒 (m/s)。

根据逐时气象资料,采用公式 (A.1) 及公式 (A.2) 可分别确定 8h 前后的逐时大气弥散因子,进一步基于滑动平均方法,通过排序可确定 0~24 h、0~96 h 及 0~720 h 等时间段的 95%概率水平的大气弥散因子。

A.1.3 标准时间段的大气弥散因子

通常,主控室可居留性评价用大气弥散因子考虑的标准时间段为 0~2 h、2 h~8 h、8 h~24 h、24 h~96 h 及 96 h~720 h。对于 0~2h,应选取 1h 时段与 2h 时段之间较大的大气弥散因子。基于 A.1.1 及 A.1.2 确定的以 0 时刻为起点的各时段大气弥散因子,可确定其余标准时段的大气弥散因子。以 2h~8h 为例,其 95%概率水平大气弥散因子计算公式如下:

$$\overline{\chi/Q_{95}}(2 \sim 8h) = \frac{8\overline{\chi/Q_{95}}(0 \sim 8h) - 2\overline{\chi/Q_{95}}(0 \sim 2h)}{8-2} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

$\overline{\chi/Q_{95}}(2 \sim 8h)$ ——2 h~8 h 的 95%概率水平大气弥散因子, 单位为秒每立方米 (s/m^3);

$\overline{\chi/Q_{95}}(0 \sim 8h)$ ——0~8 h 的 95%概率水平大气弥散因子, 单位为秒每立方米 (s/m^3);

$\overline{\chi/Q_{95}}(0 \sim 2h)$ ——0~2 h 的 95%概率水平大气弥散因子, 单位为秒每立方米 (s/m^3)。

A.2 扩散面源释放

对于扩散面源释放, 可基于初始扩散参数, 结合 Pasquill-Gifford 扩散曲线构造虚拟点源, 将其转化为点源释放来确定各时段的大气弥散因子。

附 录 B
(资料性附录)
高架释放(烟囱)计算模型

B.1 高斯烟羽中心线模型

0~8h 内烟羽未充分膨胀情况下, 大气弥散因子可采用如下高斯烟羽中心线模型:

$$\chi/Q = \frac{1}{\pi\sigma_y\sigma_zU} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{h_e-h_t}{\sigma_z}\right)^2} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

χ/Q ——烟羽中心线上的大气弥散因子, 单位为秒每立方米 (s/m^3);

σ_y ——横向扩散参数, 单位为米 (m);

σ_z ——铅直扩散参数, 单位为米 (m);

U ——逐时风速, 单位为米每秒 (m/s);

h_e ——烟囱的有效高度, 考虑了释放点与接收点的地形高差、烟羽抬升以及下洗效应, 单位为米 (m);

h_t ——接收点的高度, 单位为米 (m)。

可根据逐时气象资料确定逐时的大气弥散因子, 基于滑动平均方法, 通过排序确定 0~2 h 及 0~8 h 等时间段的 95% 概率水平的大气弥散因子。标准时段大气弥散因子确定方法同附录 A。

B.2 扇形平均模型

对于超过 8 h 烟羽已充分膨胀情况, 可采用扇形平均模型, 基本公式如下:

$$\chi_{sa}/Q = \frac{2}{\sqrt{2\pi}W_s\sigma_zU} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{h_e-h_t}{\sigma_z}\right)^2} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

χ_{sa}/Q ——经扇形平均后的大气弥散因子, 单位为秒每立方米 (s/m^3);

W_s ——烟羽横向膨胀后扇形周长, 可取 $\pi x/8$ 与 $k\sigma_y$ 的最大值, 单位为米 (m);

x ——释放点到接收点的距离, 单位为米 (m);

k ——常数, 可取 4~6;

σ_y ——横向扩散参数, 单位为米 (m);

σ_z ——铅直扩散参数, 单位为米 (m);

U ——逐时风速, 单位为米每秒 (m/s);

h_e ——烟囱的有效高度, 考虑了释放点与接收点的地形高差、烟羽抬升以及下洗效应, 单位为米 (m);

h_t ——接收点的高度, 单位为米 (m)。

可根据逐时气象资料, 采用公式 (B.1) 及公式 (B.2) 分别确定 8 h 前后的逐时大气弥散因子, 进一步基于滑动平均方法, 通过排序确定 0~24 h、0~96 h 及 0~720 h 等时间段的 95% 概率水平的大气弥散因子。标准时段大气弥散因子确定方法同附录 A。

附 录 C
(资料性附录)
瞬时烟团释放计算模型

无烟羽抬升、无横向偏移(假设烟团中心经过主控室进风口)情况下,瞬时烟团地面释放的大气弥散因子可用式(C.1)计算:

$$\chi/Q(x,u,k,h) = \frac{\int_0^T \frac{2}{[\sigma_z^2(x,k) + \sigma_l^2]^{1/2} (2\pi)^{3/2} [\sigma_{x,y}^2(x,k) + \sigma_l^2]} e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{(x-ut)^2}{\sigma_{x,y}^2(x,k) + \sigma_l^2} + \frac{h^2}{\sigma_z^2(x,k) + \sigma_l^2} \right]} F(t) dt}{\int_0^T F(t) dt} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

$\chi/Q(x,u,k,h)$ ——瞬时烟团释放大气弥散因子,单位为秒每立方米 (s/m^3);

x ——释放点到接收点的距离,单位为米 (m);

u ——风速,单位为米每秒 (m/s),假设 1.0 m/s;

k ——大气稳定度,假设为 F;

h ——释放点与主控室进风口之间的高度差,单位为米 (m),如果主控室进风口高于释放点,并且烟羽可以浮力抬升,则取 $h=0m$;

T ——烟团尾端通过主控室进风口时间, $T = \frac{x + 3[\sigma_y(x,k) + \sigma_l]}{u}$, 单位为秒 (s);

F ——主控室进风流量,单位为立方米每秒 (m^3/s);

$\sigma_{x,y}(x,k)$ ——在 k 大气稳定度条件下,距释放源距离 x 的接收点处的水平扩散参数,单位为米 (m);

$\sigma_z(x,k)$ ——在 k 大气稳定度条件下,距释放源距离 x 的接收点处的铅直扩散参数,单位为米 (m);

σ_l ——烟团初始扩散参数, $\sigma_l = \left[\frac{2V}{(2\pi)^{3/2}} \right]^{1/3}$, 单位为米 (m);

V ——烟团初始体积(换算为标准大气条件),单位为立方米 (m^3)。

附录 D
(资料性附录)
烟羽抬升计算模型

独立烟囱的烟羽抬升先采用公式 (D.1)、公式 (D.2) 及公式 (D.3) 来进行计算, 选取公式 (D.2) 和公式 (D.3) 的结果较大的值, 再与公式 (D.1) 的结果进行比较, 选用较小的值作为最终的结果。

$$\Delta h = \left(\frac{3}{\beta_1^2} \frac{F_m}{U^2} x + \frac{3}{2\beta_1^2} \frac{F_b}{U^3} x^2 \right)^{1/3} \dots\dots\dots (D.1)$$

$$\Delta h = 2.6 \left(\frac{F_b}{Us} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (D.2)$$

$$\Delta h = 2.44 \left(\frac{F_m}{s} \right)^{1/4} \dots\dots\dots (D.3)$$

式中:

Δh ——烟羽抬升高度, 单位为米 (m);

F_m ——动量通量, $F_m = \frac{\rho_0 V_0 w_0}{\pi \rho_a}$, 单位为四次方米每二次方秒 (m^4/s^2);

β_1 ——无量纲夹带常数, 通常取 0.6;

U ——释放高度处的风速, 单位为米每秒 (m/s);

x ——释放点和接收点之间的距离 (x 取下风向最大 χ/Q 对应的距离), 单位为米 (m);

F_b ——浮力通量, $F_b = \frac{g(\rho_a - \rho_0)V_0}{\pi \rho_a}$, 单位为四次方米每二次方秒 (m^4/s^3);

w_0 ——出口速度, 单位为秒每立方米 (s/m^3);

V_0 ——体积释放率, 单位为立方米每秒 (m^3/s);

ρ_0 ——大气压力下的流体密度, 单位为千克每立方米 (kg/m^3);

ρ_a ——空气密度, 单位为千克每立方米 (kg/m^3);

s ——常数, 大气稳定度为 A、B、C、D 时取 0.0001 s^{-2} 、大气稳定度为 E 时取 0.00049 s^{-2} 、大气稳定度为 F 时取 0.0013 s^{-2} 、大气稳定度为 G 时取 0.002 s^{-2} ;

g ——重力加速度, 取 $9.8 \text{ m}/\text{s}^2$ 。

参 考 文 献

- [1] RG 1.194:2003 Atmospheric relative concentrations for control room radiological habitability assessments at nuclear power plants
-

中 华 人 民 共 和 国
能 源 行 业 标 准
核电厂主控室可居留性评价用大气弥散因子
分析方法

NB/T 20531—2018

*

核工业标准化研究所出版发行

北京海淀区骚子营1号院

邮政编码：100091

电 话：010-62863505

原子能出版社印刷

版权专有 不得翻印

*

2019年4月第1版 2019年4月第1次印刷

印数 1—50

定价 28.00 元