

CNIC-01257

CIRP-0022

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY REPORT

600 MWe 核电站事故工况下气态排出物
环境弥散模式、参数与程序

MODEL, PARAMETER AND CODE OF
ENVIRONMENTAL DISPERSION FOR AN
ACCIDENTAL RELEASE OF GASEOUS EFFLUENT
FROM NUCLEAR POWER PLANT WITH 600 MWe

(In Chinese)



中国核情报中心
原子能出版社

China Nuclear Information Centre
Atomic Energy Press

图书在版编目 (CIP) 数据

中国核科技报告 CNIC-01257, CIRP-0022: 600 MWe
核电站事故工况下气态排出物环境弥散模式、参数与程序
/胡二邦等著. —北京: 原子能出版社, 1998. 6
ISBN 7-5022-1829-7

I. 中… II. 胡… III. 核技术-中国-研究报告 IV. TL-

2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 07565 号

600 MWe 核电站事故工况下气态排出物环境弥散模式、参数与程序

胡二邦等著

©原子能出版社, 1998

原子能出版社出版发行

责任编辑: 宋清林

社址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码: 100037

中国核科技报告编辑部排版

核科学技术情报研究所印刷

开本 787×1092 1/16·印张 1·字数 27 千字

1998 年 6 月北京第一版·1998 年 6 月北京第一次印刷

定价: 5.00 元



胡二邦：研究员，中国辐射防护研究院环境科学所所长。中国环境评价学会常务副主任，中国大气环境学会副主任，中国环境评价学会环境风险专业委员会主任，国家环保局核环境专家技术委员会成员。享受政府特殊津贴，被授予部级“有突出贡献的中青年专家”称号。作为主持人完成的科研项目中，获国家级科技进步三等奖一项，部级二等奖三项，部级三等奖三项，在国内外杂志及学术会议上发表论文 60 余篇，1964 年毕业于清华大学工程物理系。

Hu Erbang: Professor, director of Environmental Science Institute, China Institute for Radiation Protection; executive deputy president of Chinese Association for Environment Assessment (CAEA); deputy president of Chinese Association for Atmospheric Environment (CAAE); director of Speciality Committee of Environment Risk, CAEA; Member of Specialist Committee for Nuclear Environment, NEPA. Enjoy special government allowance and being granted the Ministry-level Outstanding Young and Middle-aged Specialist, CNNC. Win some prizes for progress of science and technology of third class at national-level, second and third class at ministry-level respectively in these research projects which he took charge of. More than 60 papers were published in international or domestic journals and symposiums. Graduated from Department of Engineering Physics, Tsinghua University in 1964.

600 MWe 核电站事故工况下气态排出物 环境弥散模式、参数与程序

胡二邦 高占荣

(中国辐射防护研究院, 太原)

摘 要

在分析了 IAEA、美、日、以及我国国家环保局、国家核安全局有关导则的基础上, 分别以确定论方式和概率论方式给出核电厂可行性研究阶段与设计阶段计算事故大气扩散因子的模式与相应程序。不但给出了设计阶段通用概率计算模式, 计算了不同方位 99.5% 累积概率水平事故扩散因子和整个厂址 95% 累积概率水平事故扩散因子及用于评价的最终事故扩散因子, 也尝试了应用分段烟羽模式估算个人有效剂量及事故致死性癌的余补累积分布曲线 (CCFD)。程序命名为 "ACCLEA"。ACCLEA 程序包含下述五个子程序: ROULE 子程序, 计算常规大气扩散因子; ACCD 子程序, 计算确定论下的事故大气扩散因子与剂量; SOU1 子程序, 用于通用概率方法估算事故概率扩散因子与剂量; SAMPL 子程序, 用于天气取样; TEMP 子程序, 估算个人有效剂量与致死性癌的余补累积频率分布曲线 CCFD。

**Model , Parameter and Code of Environmental
Dispersion for an Accidental Release of
Gaseous Effluent from a Nuclear
Power Plant with 600 MWe
(In Chinese)**

HU Erbang GAO Zhanrong

(China Institute for Radiation Protection, Taiyuan 030006)

ABSTRACT

The model and code for calculating the accidental atmospheric dispersion factor are presented for feasibility study and design phases of nuclear power plant by using deterministic method and probabilistic method, respectively, based on the analysis of related guide of IAEA, USA, Japan, China National Environmental Protection Administration and China National Nuclear Safety Administration. A common probabilistic model is given to estimate the 99.5% cumulative probabilistic level accidental dispersion factor for various wind directions, 95% cumulative probabilistic level accidental dispersion factor for whole site and the final accidental dispersion factor for assessment in the design phase. A segment plume model is adopted to estimate the complementary cumulative frequency distribution (CCFD) of individual effective dose and mortality cancer for accidental release. The code is named as ACCLEA. The ACCLEA code contains following 5 sub-codes; ROULE for normal atmospheric dispersion factor; ACCD for atmospheric dispersion factor and dose of accidental release with deterministic method; SOU1 for probabilistic dispersion factor and dose with common probabilistic method; SAMPL used for sampling; TEMP for the CCFD of individual effective dose and mortality cancer.

1 绪论

1.1 不同评价(或分析)阶段对大气扩散的不同要求

1.1.1 国家环保局(NEPA)有关导则中的规定

在国家环保局发布的《核电厂环境影响报告书的内容和格式》(NEPA—RG1, 1988)的总则中,明确规定:“核电厂营运单位应在申请审批厂址、建造许可证和反应堆首次装料三个阶段提交相应的环境影响报告书”。申请审批厂址阶段也称可行性研究阶段,“该报告书可以在资料调研、现场踏勘、以及利用参考电厂的数据资料的基础上编制”。申请建造许可证阶段一般称设计阶段,此报告书中“必须通过就地调查和(或)实验的手段,提供核电厂所在地和可能受影响地区的实测环境资料”。申请装料阶段“应根据所建核电厂的实际情况……来评价核电厂运行后的环境影响”。由此可见,上述三个阶段都在核电厂正式运行之前。

在国家环保局发布的《核电厂环境辐射防护规定》(GB 6249—86, 1986)中的2.3条规定:“核电厂周围应设置非居住区,非居住区的半径(以反应堆为中心)不得小于0.5 km。核电厂非居住区周围应设置限制区,限制区的半径(以反应堆为中心)一般不得小于5 km。在第4.1条款中规定:“按可能导致对环境危害程度的大小,对核电厂的事故分为预期运行事故、大事故、重大事故和最大可信事故。”其中,“大事故和重大事故用于核电厂事故工况下的环境评价”(见第4.2条款)。而“最大可信事故仅用于厂址选择时的环境评价”(见第4.2条款)。并在第2.5条款中规定:“在发生最大可信事故条件下,非居住区边界上的任何个人(成人),在事故发生后8 h内所接受的有效剂量当量应不大于0.25 Sv (25 rem),甲状腺剂量当量应不大于2.5 Sv (250 rem)。在事故的整个持续期间内(事故持续时间可取30 d),在半径80 km范围内公众群体接受的集体有效剂量当量必须小于 2×10^4 人·Sv (2×10^6 人·rem),集体甲状腺剂量当量必须小于 2×10^4 人·Sv (2×10^6 人·rem)。”此外,在本规定的其他条款中给出了相应于大事故和重大事故时的剂量控制限值以及应急事故干预水平。

1.1.2 国家核安全局(NNSA)有关导则中的规定

国家核安全局发布的安全导则《核电厂厂址选择的大气弥散问题》(HAF 0103, 1987),基本上采纳IAEA的相应安全导则《核电厂选址中的大气弥散》(IAEA安全丛书No. 50—SG—S3, 1980, 等效采用)中第1.2条款中的规定“核电厂安全分析的不同阶段,对弥散估算有不同的侧重点和不同的精度要求,这几个阶段是:(a)厂址查勘,(b)厂址评价,(c)核电厂运行及应付意外事故”。该导则还规定,在厂址查勘阶段“通常不进行专门的气象观测,主要采用现有的气象资料,用常规天气分类方法进行估算”(见第1.2.1条款);在厂址评价阶段,规定“应在现场进行逐时的气象观测,包括测定或选择合适的扩散参数,以进行弥散计算和统计分析,并用这些资料求出核电厂释放出来的放射性物质浓度的概率分布。”

1.2 IAEA及美、日的有关导则

1.2.1 IAEA

IAEA 1980年发布了安全导则《核电厂选址中的大气弥散》(安全丛书No. 50—SG—S3),此导则的内容与国家核安全局的导则HAF 0103基本相同。此外,IAEA于1986年发布了技术文件379号《应用于放射性核素释放的大气弥散模式》,推荐了用于不同尺度的各

类大气弥散模式。

1.2.2 美国

美国核管会(NRC)曾就核电厂事故条件下的大气扩散发布过3个导则,其一为导则1.3《评价沸水堆失水事故潜在辐射后果时采用的假定》(USNRC1.3, 1974),其二为导则1.4《评价压水堆失水事故潜在辐射后果时采用的假定》(USNRC1.4, 1974),其三为导则1.145《用于核电厂潜在事故后果评价的大气弥散模式》(USNRC1.145, 1979)。

在USNRC1.4中指出,在未获得足够的厂址特定的气象数据之前,要按下述假定进行大气弥散计算:(地面源浓度)在最大可信事故(30 d)发生后的0至8 h内,假定为F类,风速为1 m/s,风向不变;在8~24小时期间,天气为F类,风速为1 m/s,风向为22.5°扇形内均匀摆动;在1至4 d,天气类型D与F类分别占40%与60%,相应风速分别取3 m/s与2 m/s,风向在22.5°扇形内均匀摆动;4至30 d期间,出现C, D, F类天气的频率各为33.3%,其风速相应为3 m/s, 3 m/s和2 m/s,风向仍在22.5°扇形内均匀摆动。

USNRC1.145规定每个申请建造许可证或运行执照申请者必须提供关于该设施对公众健康与安全造成的风险。要求计算16个方位中每一个方位的非居住区边界与低人口区边界的99.5%累积概率水平(小时)事故扩散因子,然后从16个值中取出最大者,同时计算包括所有方位在内的非居住区边界与低人口区边界的95%累积概率水平事故扩散因子,此因子与上述最大者相比较,取其大者作为评价用的扩散因子。对于各种不同释放持续时间的事,建议采用小时(或2 h)事故扩散因子与年均扩散因子对数内插方法求得相应的扩散因子。文中并推荐了相应于不同释放高度的大气弥散模式。

1.2.3 日本

日本原子力委员会在1977年发布的《发电用反应堆设施安全分析的气象指南》中,关于事故条件下的大气扩散计算建议采用下述方式:先根据每小时实测的气象数据计算每个方位中每个适当距离处一年中每小时的相对浓度即扩散因子 X/Q (共8760个数据),取其年累积出现频率为97%的那个 X/Q 值(即把1年中每小时的 X/Q 值由小到大顺序排列,比其小的次数占总次数的97%相对应的 X/Q 值)作为每个距离处的 X/Q 的代表值,然后取此方位中各距离处的 X/Q 代表值中的最大值作为该方位的 X/Q 代表值,16个方位中 X/Q 的最大者又被选出作为计算事故剂量时采用的相对浓度 X/Q 值。

1.3 指导思想

1.3.1 由上所述可见:①NEPA要求的三个阶段与NNSA要求的前两个阶段都是在核电厂正式运行前要完成的;②NEPA中的“申请审批厂址阶段(可行性阶段)基本上相当于NNSA中的“厂址查勘”阶段;而“申请建造许可证阶段(设计阶段)大体上可与NNSA的“厂址评价”阶段相应;③在可行性阶段或厂址查勘阶段,一般还未作大气扩散试验,无一年逐时气象数据,宜采用USNRC1.4所推荐的公式处理;④在NEPA的后两个阶段即设计阶段与装料阶段及NNSA的厂址评价阶段,已具有详细的气象资料,有可能也有必要给出浓度值的概率分布资料;⑤在厂址选择(包括厂址查勘与厂址评价)中应考虑最大可信事故(目前常称设计基准事故),在正式运行阶段,要考虑大事故和重大事故,而作为应急评价与应急计划应考虑严重事故。

1.3.2 最终确定的模式与参数应该是:①既满足国家有关标准与导则等规范的要求又尽可能与国际组织(IAEA)的接轨;②既具有系统性、科学性和实用性又具有先进性;③既适

用于秦山二期, 又具有通用性。

2 申请审批厂址(可行性阶段)或厂址踏勘阶段事故大气扩散模式与剂量估算模式

此阶段因为属于厂址踏勘与筛选阶段, 一般不进行专门的大气扩散试验, 只能通过现有的气象数据进行评估, 所考虑的事故为设计基准事故。

2.1 事故源项

一般考虑失水事故(LOCA)为设计基准事故, 作为缺省值, 表1为按照设计基准事故LOCA事故的保守模型给出的秦山核电厂(二期, 2×600 MWe)事故各个时段放射性核素释放量。

表1 秦山核电厂(二期)LOCA事故各时段核素释放量 GBq

核素	0~2 h	0~8 h	8~24 h	24~96 h	96~720 h
^{83m}Kr	4.35E4	7.86E4	4.18E3	5.39E0	0.0
^{85m}Kr	1.13E5	3.01E5	1.09E5	4.78E3	0.0
^{85}Kr	3.47E3	1.39E4	2.77E4	6.23E4	5.27E5
^{87}Kr	1.57E5	2.36E5	3.35E3	0.33	0.0
^{88}Kr	2.84E5	6.26E5	9.82E4	9.53E2	0.0
^{131m}Xe	5.29E3	2.10E4	4.07E4	8.21E4	3.28E5
^{133m}Xe	2.99E4	1.15E5	1.98E5	2.64E5	1.78E5
^{133}Xe	9.70E5	3.81E6	7.13E6	1.27E7	2.49E7
^{135m}Xe	3.53E4	3.55E4	0.0	0.0	0.0
^{135}Xe	2.03E5	6.56E5	5.55E5	1.18E5	5.20E2
^{138}Xe	1.65E5	1.66E5	0.0	0.0	0.0
^{131}I	5.36E3	2.12E4	4.05E4	7.79E4	2.33E5
^{132}I	5.86E3	1.18E4	1.15E3	4.67E0	0.0
^{133}I	1.07E4	3.89E4	5.28E4	3.44E4	3.50E3
^{134}I	0.14E3	7.74E3	1.46E1	0.0	0.0
^{135}I	9.35E3	2.81E4	1.76E4	2.08E3	1.20E0

2.2 事故大气扩散因子 X/Q

设计基准事故各时段的短期扩散因子 $(X/Q)_w$, ($\text{s} \cdot \text{m}^{-3}$) 建议采用下述公式计算:

$$0 \sim 8 \text{ h}, (X/Q)_{b1} = \frac{1}{\pi u \Sigma_{YF} \Sigma_{ZF}} \quad u = 1 \text{ m/s} \quad (1)$$

$$8 \sim 24 \text{ h}, (X/Q)_{b2} = \frac{2.032}{ux \Sigma_{ZF}} \quad u = 1 \text{ m/s} \quad (2)$$

$$1 \sim 4 \text{ d}, (X/Q)_{b3} = \frac{2.032}{x} \left(\frac{0.4}{u_D \Sigma_{ZD}} + \frac{0.6}{u_F \Sigma_{ZF}} \right) \quad (3)$$

$$4 \sim 30 \text{ d}, (X/Q)_{b4} = \frac{2.032}{9x} \left(\frac{1}{u_C \Sigma_{ZC}} + \frac{1}{u_D \Sigma_{ZD}} + \frac{1}{u_F \Sigma_{ZF}} \right) \quad (4)$$

式中, $u_C = u_D = 3 \text{ m/s}$, Σ_{ZF} , Σ_{YF} , Σ_{ZD} , Σ_{ZC} 分别表示相应于 F, D, C 类天气类型的考

虑了建筑物尾流影响的扩散参数,其表达式如下:

$$\Sigma_Y = (\sigma_Y^2 + CA/\pi)^{1/2} \quad (5)$$

$$\Sigma_Z = (\sigma_Z^2 + CA/\pi)^{1/2} \leq \sqrt{3} \sigma_Z \quad (6)$$

式中, C 为建筑物形状系数,取 $C=0.5$, A 为与风速垂直的反应堆截面积,作为实测值,这里给出秦山核电厂(二期)的 A 值, $A=60 \times 38.8 \text{ m}^2 = 2328 \text{ m}^2$ 。

2.3 剂量估算

2.3.1 烟羽浸没照射全身剂量

事故时某时段 ΔT_i 内下风向某距离处的烟羽浸没照射全身剂量由下式估算

$$[D_{i,\Delta T_i}]_j(x) = (X/Q)_{\Delta T_i} \cdot Q_{ij} \cdot S_F \cdot g_{ij} \quad (7)$$

式中 $[D_{i,\Delta T_i}]_j(x)$ 表示发生设计基准事故时,在 ΔT_i 时段内在下风向 x 距离处烟羽中 j 核素通过烟羽浸没途径造成的外照射剂量 (Sv); $(X/Q)_{\Delta T_i}$ 为 ΔT_i 时段的事事故扩散因子 ($\text{s} \cdot \text{m}^{-3}$); Q_{ij} 为设计基准事故第 i 时段内 j 核素释放总量 (Bq); S_F 为建筑物屏蔽因子,若有厂址实测值最好,若无实测值,建议采用下值:对于 0~8 小时, S_F 分别取 1 (对个人) 和 0.7 (对群体),在 8 至 720 小时期间, S_F 分别取 0.7 (对个人) 和 0.5 (对群体); g_{ij} 为 j 核素烟羽浸没照射全身剂量转换因子 [$\text{Sv} (\text{s} \cdot \text{Bq} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$].

2.3.2 烟羽吸入剂量

事故时某时段 ΔT_i 内下风向某距离处的烟羽吸入剂量由下式估算,

$$[D_{A,\Delta T_i}^a]_j(x) = (X/Q)_{\Delta T_i} \cdot Q_{ij} \cdot R_a \cdot g_{Aaj} \quad (8)$$

式中 $[D_{A,\Delta T_i}^a]_j(x)$ 表示发生基准事故时,在 ΔT_i 时段内在下风向 x 距离处烟羽中 j 核素通过吸入途径对 a 年龄组人员造成的内照射剂量 (Sv); R_a 为 a 年龄组个体的空气摄入率 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$); g_{Aaj} 为 a 年龄组对 j 核素的吸入剂量转换因子 ($\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$).

2.3.3 地面沉积外照射剂量

2.3.3.1 湿沉积因子

各时间段的湿沉积因子 W_{bi} (m^{-2}) 可采用下述表达式估算,

$$0 \sim 8 \text{ h}, W_{b1} = \frac{\sqrt{2} \Lambda}{\sqrt{\pi} u \Sigma_{YF}} \exp\left(-\frac{\Lambda x}{u}\right) \quad u = 1 \text{ m/s} \quad (9)$$

$$8 \sim 24 \text{ h}, W_{b2} = \frac{2.032 \sqrt{2\pi} \Lambda}{xu} \exp\left(-\frac{\Lambda x}{u}\right) \quad u = 1 \text{ m/s} \quad (10)$$

$$1 \sim 4 \text{ d}, W_{b3} = \frac{2.032 \sqrt{2\pi} \Lambda}{x} \left[\frac{0.4}{u_D} \exp\left(-\frac{\Lambda x}{u_D}\right) + \frac{0.6}{u_F} \exp\left(-\frac{\Lambda x}{u_F}\right) \right] \quad (11)$$

$$4 \sim 30 \text{ d}, W_{b4} = \frac{2.032 \sqrt{2\pi} \Lambda}{9x} \left[\frac{1}{u_C} \exp\left(-\frac{\Lambda x}{u_C}\right) + \frac{1}{u_D} \exp\left(-\frac{\Lambda x}{u_D}\right) \right] + \frac{1}{u_F} \exp\left(-\frac{\Lambda x}{u_F}\right) \quad (12)$$

式中, Λ 为核素的冲洗系数, 其值见表 2。

表 2 碘和其它粒子态核素的冲洗系数

降水强度/mm · h ⁻¹	冲洗系数/S ⁻¹	
	碘	其它粒子态核素
<1	3.7 × 10 ⁻⁵	2.9 × 10 ⁻⁵
1~3	1.1 × 10 ⁻⁴	1.22 × 10 ⁻⁴
>3	2.37 × 10 ⁻⁴	3.4 × 10 ⁻⁴

2.3.3.2 地面沉积外照射剂量

事故时某时段 ΔT_i 内下风向某距离处因 j 核素的地面沉积造成的外照射剂量由下式给出, 此中假定降雨时间长度为 Δt_i 。

$$[D_{B,\Delta T_i}^G]_j(x) = \left[V_{d,j}(x/Q)_{\Delta T_i} + W_b \frac{\Delta t_i}{\Delta T_i} \right] Q_{ij} g_{ij}^G \quad (13)$$

式中, $V_{d,j}$ 为 j 核素沉积速度, 由表 1 可见应考虑沉积的只为碘元素, 其 V_d 可取 2×10^{-2} m/s, g_{ij}^G 为 j 核素地面沉积全身剂量转换因子 [$Sv \cdot (S \cdot Bq \cdot m^{-2})^{-1}$]。

注意: 计算时 Δt_i 与 ΔT_i 都以小时为单位。

2.3.4 有效剂量

事故时, 某时段 ΔT_i 内下风向某距离处 a 年龄组成员所接受的有效剂量 $D_E(x)$ (Sv) 由下式给出:

$$D_{E,\Delta T_i}(x) = \sum_j \{ [D_{I,\Delta T_i}]_j(x) + [D_{A,\Delta T_i}^A]_j(x) + [D_{B,\Delta T_i}^G]_j(x) \} \quad (14)$$

2.3.5 集体剂量

作为偏保守的估算, 假定在前三个时间段, 风向都吹向人口最密集的方位, 在第四时间段 (4~30 天), 原假定只有 1/3 的频率, 风向吹向关心方位, 其余 2/3 的频率吹向相邻方位, 因此, 在计算第四时间段的集体剂量时, 作为偏保守的考虑, 应把人口最密集方位的集体剂量乘以 3 倍。因此, 在设计基准事故整个持续期间内 (取 30 天), 在半径 80 km 范围内公众群体接受的集体有效剂量由下式给出:

$$D_{E,C} = \left[\sum_{i=1}^3 \sum_{f=1}^{12} D_{E,\Delta T_i}(x_f) N_{f,\max} \right] + 3 \sum_{f=1}^{12} D_{E,\Delta T_4}(x_f) N_{f,\max} \quad (15)$$

式中, X_f 表示第 f 经向子区的下风向距离, $f=1, 2, \dots, 12$, $X_f=0.5, 1.5, 2.5, 4.0, 7.5, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75$ km; $N_{f,\max}$ 表示人口最大扇形方位第 f 经向子区内的居民人数。

3 厂址评价阶段或申请建造许可证 (和首次装料) 阶段事故大气扩散模式与剂量估算模式

3.1 事故扩散因子估算模式

3.1.1 低烟囱释放

假定事故时, 安全壳完好, 污染物从烟囱释放。考虑到烟囱高度一般低于安全壳高度的 2.0 倍, 例如, 秦山核电厂二期的烟囱高度设计为 62.5 m, 安全壳高度为 60 m。其事故

扩散因子可由下述一组公式决定：

$$(X/Q) = \frac{1}{\bar{u}_{10}(\pi\sigma_Y\sigma_Z + A/2)} \quad (16)$$

$$(X/Q) = \frac{1}{\bar{u}_{10}(3\pi\sigma_Y\sigma_Z)} \quad (17)$$

$$(X/Q) = \frac{1}{\bar{u}_{10}(\pi\Sigma_Y\sigma_Z)} \quad (18)$$

式中， $\bar{u}_{10}$ 表示 10 m 高度测得的平均风速， Σ_Y 定义见 (5) 式， A 定义如前所述，因是厂址评价或设计（装料）阶段，扩散参数尽量采用厂址实测数据。作为推荐值，可采用表 2 列出的秦山核电厂（二期）厂址扩散参数的实验测量值。

表 3 秦山核电二期厂址的扩散参数实测值

天气类型	P_Y	q_Y	P_Z	q_Z
A	0.444	0.884	0.337	0.844
B	0.456	0.835	0.294	0.822
C	0.270	0.856	0.247	0.788
D	0.246 $x \leq 2$ km	0.845 $x \leq 2$ km	0.295 $x \leq 2$ km	0.704 $x \leq 2$ km
	0.266 $x > 2$ km	0.856 $x > 2$ km	0.215 $x > 2$ km	0.745 $x > 2$ km
E	0.134	0.867	0.186	0.719
F	0.095	0.847	0.227	0.622

①对于 D, E, F (或 G) 类天气，且 $\bar{u}_{10}$ 小于 6 m/s 时， (X/Q) 由式(16)与式(17)中的大者与式(18)相比，取其中小者，则由下式给出，

$$(X/Q) = \min \left\{ \frac{1}{\bar{u}_{10}\pi\Sigma_Y\sigma_Z}, \max \left[\frac{1}{\bar{u}_{10}(\pi\sigma_Y\sigma_Z + A/2)}, \frac{1}{\bar{u}_{10}(3\pi\sigma_Y\sigma_Z)} \right] \right\} \quad (19)$$

②当 $\bar{u}_{10} \geq 6$ m/s 时，或天气类型为 A, B 或 C 时， (X/Q) 由式(16)与式(17)两者中的大者给出，其表达式为，

$$(X/Q) = \max \left\{ \frac{1}{\bar{u}_{10}(\pi\sigma_Y\sigma_Z + A/2)}, \frac{1}{\bar{u}_{10}(3\pi\sigma_Y\sigma_Z)} \right\} \quad (20)$$

3.1.2 安全壳泄漏

若事故发生后，污染物是通过安全壳泄漏至大气环境中时，则采用虚源模式，假定源在建筑物上风向某距离处，经过此距离 x_{vyj} 其 $\sigma_Y(x_{vyj})$ 恰好等于 $W/4.3$ ，而经过距离 x_{vzj} 其 $\sigma_Z(x_{vzj})$ 恰好等于 $H/2.15$ 。其中， W 为安全壳宽度（即直径，作为实测值，取秦山二期的 $W=38.8$ m）， H 为安全壳高度（作为实测值，取秦山二期的 $H=60$ m）。此虚设距离不但对 σ_Y 与 σ_Z 不等，也与稳定度 j 有关，其事故扩散因子由下式给出：

$$(X/Q)_j = \begin{cases} \frac{1}{\pi u \sigma_Y(x + x_{vyj}) \sigma_Z(x + x_{vzj})} & x \leq x_L \\ \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{u \sigma_Y(x + x_{vyj}) L_j} & x \leq 2x_L \end{cases} \quad (21)$$

式中， x_L 为烟羽上部边缘碰到混合层顶时的下风向距离。当 $x_L < x < 2x_L$ 时，由上述两式内插求得 (X/Q) 值。式中 L_j 为 j 类天气混合层高度，尽可能取厂址实测值，作为推荐

值, 取秦山二期实测值如下: A, B, C 类天气, $L_j=600$ m, D 类; $L_j=450$ m。

3.2 事故扩散因子的通用概率计算方法

3.2.1 各扇形方位不同距离处 99.5% 累积概率水平短时 (小时) 事故扩散因子 $(X/Q)_{i,f}$

利用气象铁塔实测的一年的逐时污染气象学数据 (风向、风速、大气稳定度), 根据事故源项的释放状况 (低烟囱释放还是安全壳泄漏), 按上述公式对 16 个方位中每个方位的每个下风距离 (共 12 个下风距离) 计算一年中每个小时的短期事故扩散因子, 然后对每个方位每个距离上的所有扩散因子, 按大小顺序排队, 取出其 99.5% 概率 (由小到大次序算) 的值, 此值则为该方位该下风距离处的 99.5% 累积概率水平短时 (h) 事故扩散因子值, 依次类推, 可得到 16 个方位不同下风距离处的 99.5% 累积概率水平短时 (h) 事故扩散因子 $(X/Q)_{i,f,h}$ (共 $16 \times 12 = 192$ 个)。此中 i 表示方位 ($i=1, 2, \dots, 16$)、 f 表示下风向子区数 ($f=1, 2, \dots, 12$)、 h 表示小时事故扩散因子。因此, $(X/Q)_{i,f,h}$ 表示 i 方位 f 下风子区 99.5% 累积概率水平小时事故扩散因子。这意味着, 对于每个方位每个下风距离而言, 一年中短期事故扩散因子超过此值的可能性为 0.5%, 每个方位中 12 个 $(X/Q)_{i,f,h}$ 中的最大值则取出作为该方位的代表值 $(X/Q)_{i,f,h}$ 。作为示例, 根据秦山核电厂 (二期) 实测一年逐时气象数据 (1991 年 10 月 31 日 21 时至 1992 年 10 月 31 日 20 时), 按上述方法计算了低烟囱排放与安全壳泄漏两种情况下 16 个方位不同下风距离处的 99.5% 累积概率水平短时 (h) 事故扩散因子 (因篇幅所限, 计算结果表略)。

3.2.2 不同事故释放持续时间各方位距离处的事故概率扩散因子

对于释放持续时间长于 1 h 的事故 (对于设计基准事故更应考虑不同的释放时间段: 0 ~ 8 h, 8 ~ 24 h, 1 ~ 4 d, 4 ~ 30 d), 因为不同时间段释放源强不同, 因而应求出不同释放时间长度的事故概率扩散因子。设事故释放持续时间为 ΔT_i (ΔT_i 长于 1 h), 则各方位不同距离处的 99.5% 累积概率水平事故扩散因子 $(X/Q)_{i,f,\Delta T_i}$ 可由该处的小时扩散因子 $(X/Q)_{i,f,h}$ 与此处的年均扩散因子 $(X/Q)_{i,f}$ 对数线性内插求取, 计算公式如下,

$$(X/Q)_{i,f,\Delta T_i} = \exp \left\{ \left[\ln(X/Q)_{i,f,h} - \ln(X/Q)_{i,f} \right] \frac{(8760 - \Delta T_i)}{8760} + \ln(X/Q)_{i,f} \right\} \quad (22)$$

此处, $(X/Q)_{i,f}$ 表示 i 方位 f 下风子区的年均扩散因子, 这样就能获得 16 个方位不同下风距离处相应于 ΔT_i 释放持续时间的 99.5% 累积概率水平事故扩散因子 $(X/Q)_{i,f,\Delta T_i}$ 。这些值可应用于计算事故期间的集体剂量。每个方位中 12 个 $(X/Q)_{i,f,\Delta T_i}$ 中的最大值被取出作为该方位的代表值 $(X/Q)_{i,\Delta T_i}$ 。

3.2.3 整个厂址不同距离处 95% 累积概率水平事故扩散因子

在环境评价中我们只关心计算个人最大有效剂量, 非居住区边界个人所接受的有效剂量与集体剂量。因而, 这里只讨论非居住区边界 (0.5 km) 及计算个人最大剂量用的事故扩散因子。鉴于低烟囱排放与安全壳泄漏都属地面源, 因而最大浓度点一定出现在非居住区边界, 所以两个扩散因子合而为一。

① 整个厂址非居住区边界 95% 累积概率水平小时事故扩散因子 $(X/Q)_{T,1,h}$

根据一年中每小时的风向、风速及大气稳定度资料, 计算非居住区边界 0.5 km 处的小时扩散因子, 然后对 8760 个数据按大小顺序排列, 从中选出累积出现频率 (由小到大) 为 95% 的值, 作为非居住区边界的小时事故扩散因子代表值。

② 释放持续时间为 ΔT_i 时, 整个厂址非居住区边界 95% 累积概率水平事故扩散因子

$$(X/Q)_{T,1,\Delta T_i}$$

与前面同理,可以由整个厂址非居住区边界 95%累积概率水平小时事故扩散因子 $(X/Q)_{T,1,\Delta}$ 与 16 个方位非居住区边界 (0.5 km) 处的年均扩散因子中的最大值,进行对数内插求得,其计算公式如下:

$$(X/Q)_{T,1,\Delta T_i} = \exp \left\{ \left[\ln \left(\frac{X}{Q} \right)_{T,1,\Delta} - \ln \left(\frac{X}{Q} \right)_{\max} (0.5 \text{ km}) \right] \frac{8760 - \Delta T_i}{8760} + \ln \left(\frac{X}{Q} \right)_{\max} \right\} \quad (23)$$

式中, $(X/Q)_{\max} (0.5 \text{ km})$ 表示 0.5 km 处 16 个方位中的最大年均扩散因子,即

$$(X/Q)_{\max} = \max \left\{ \left(\frac{X}{Q} \right)_1, \left(\frac{X}{Q} \right)_2, \dots, \left(\frac{X}{Q} \right)_i, \dots, \left(\frac{X}{Q} \right)_{16} \right\} \quad (24)$$

作为示例,表 4 给出应用秦山二期实测数据计算的释放持续时间为 8 h 的非居住区边界 95%累积水平事故扩散因子的 $(X/Q)_{i,f,\Delta T_i}$ (假定为低烟囱释放)。

表 4 秦山核电厂 (二期) 非居住区边界事故扩散因子 (0~8 h)

名 称	$(X/Q)_{T,1,\Delta}$	$(X/Q)_{\max}$	$(X/Q)_{T,1,\Delta T_i}$
扩散因子值/s · m ⁻³	2.92E-4	7.98E-7	2.89E-4

3.2.4 整个厂址最终评价用事故扩散因子

在环境评价中作为整个厂址用于下一步剂量估算的最终事故扩散因子由 16 方位 99.5%累积概率水平事故扩散因子中的最大值与整个厂址 95%累积概率水平事故扩散因子相比较,取其大者为之。

因此,用于评价个人最大有效剂量亦即非居住区边界的最终小时事故扩散因子 $(X/Q)_A$ 和相应于 ΔT_i 释放持续时间的事事故扩散因子 $(X/Q)_{\Delta T_i}$ 分别由下述两式表示。

$$(X/Q)_A = \max \left\{ \left(\frac{X}{Q} \right)_{T,1,\Delta}, \max \left[\left(\frac{X}{Q} \right)_{i,1,\Delta} \right] \right\} \quad (25)$$

式中 $(X/Q)_{i,1,\Delta}$ 表示 i 方位第 1 子区 (0.5 km) 99.5%小时事故扩散因子, $i=1, 2, \dots, 16$ 。

$$(X/Q)_{\Delta T_i} = \max \left\{ \left(\frac{X}{Q} \right)_{T,1,\Delta T_i}, \max \left[\left(\frac{X}{Q} \right)_{i,1,\Delta T_i} \right] \right\} \quad (26)$$

3.3 采用天气取样技术与分段烟羽模式估算事故概率风险的余补累积频率分布 (CCFD) 曲线

3.3.1 天气取样技术

对于概率风险评价而言,决定后果大小的重要参数之一是释放发生以后出现的天气条件。实际上,许多天气序列可能导致类似的放射性弥散。对这类天气序列归并成组,然后从每一组中选出几个代表性序列进行分析,可大大减少计算时间。因此,天气取样的目的是鉴别出符合下列条件的适量的天气序列,即这些天气序列足以代表弥散物质可能遇到的全部范围的天气序列,然后分别给每一类天气序列以合适的出现概率。

目前天气取样技术主要有下述三种:循环取样、随机取样和分层取样。前二种方法都有下述缺陷,即频繁地对经常出现的那些气象序列组取样而忽略了比较罕见 (可能也比较

严重)的天气序列。而分层取样技术基本上克服了上述缺陷。本项目中的天气取样序列的分类基于 MACCS 程序 (NUREG/CR-4691-V2), 共分 32 组天气取样序列。根据 MACCS 程序给出的分类特征, 把秦山二期一年的逐时气象数据代入, 得到每类天气序列出现次数及其频率。

对于在 32 组天气序列中, 每组取几个代表性序列, 如何取法及总数取多少为宜, 本项目采用下述方法: 对每一类天气序列取相同数目的代表性序列, 这里与 MACCS 程序相同, 每组取 4 个, 一共取出 128 个。在确定 32 组天气序列每组应取样的数目后, 采用拉丁超立方方式进行取样。

3.3.2 分段烟羽模式计算不同下风距离处的事故扩散因子

3.3.2.1 计算方法

采用分段烟羽模式。若事故释放持续时间小于或等于 1 h, 则为一个烟段, 对于释放持续时间长于 1 h 的事故, 则按其核素释放速率的不同分成若干个烟段。例如, 对于设计基准事故, 其释放速率共有五组, 因而可分成 5 个烟段, 每个烟段相应的释放持续时间分别为 $\Delta t_1 = 2 \text{ h}$ ($7.20 \times 10^3 \text{ s}$), $\Delta t_2 = 6 \text{ h}$ (即 $2 \sim 8 \text{ h}$, 相当于 $2.16 \times 10^4 \text{ s}$), $\Delta t_3 = 16 \text{ h}$ ($5.76 \times 10^4 \text{ s}$), $\Delta t_4 = 72 \text{ h}$ ($2.95 \times 10^5 \text{ s}$), $\Delta t_5 = 696 \text{ h}$ ($2.25 \times 10^6 \text{ s}$)。上述每个烟段的代表点取烟段的前端, 其起始释放时间为天气取样获得的 128 个时刻中的任何一个, 例如取出一时刻为 11 月 9 日上午 9 时, 每个烟段长度由下节给出, 每个烟段释放的起始速度与稳定度条件由该小时的实测风速及稳定度给出, 此烟段的起始释放方向, 可以为 16 个方位中的任意一个, 在每个方位出现的频率由该厂址的年风频给出。表 5 给出秦山二期厂址实测全年风频数据 (70 m 高度)。此外假定, 烟段释放后沿其初始方向直线迁移, 扩散模式为高斯烟羽模式, 在直线迁移过程中的扩散天气条件 (即释放后各小时的风速与大气稳定度) 由释放时刻后各小时的实测数据给出。例如, 对于设计基准事故第一个烟段释放时刻为 11 月 9 日上午 9 时, 即由此时刻及其以后各时刻的天气条件计算下风向各子区 (x_f) 的扩散因子并根据此烟段的长度 (L_1) 计算有效剂量 (D_{E1}), 第二个烟段 (长度为 L_2) 释放时刻为 11 月 9 日上午 11 时 (因为第 1 个烟段释放持续时间为 2 h, 因此, 第 1、第 2 两烟段释放间隔时间为 2 小时, 同理, 第 2、第 3 两烟段释放间隔时间为 6 小时, 依次类推), 然后由此时刻及其以后各小时的实测风速及稳定度计算各 x_f 处的扩散参数及有效剂量, 其余各烟段依次类推。该事故期间各个烟段在不同方位的集体剂量叠加就可得到假定基准事故发生于 11 月 9 日上午 9 时可能造成的集体有效剂量, 对于 128 个天气时刻就可获得 128 组值, 由此可求得致死率的 CCFD 曲线。

表 5 秦山二期厂址年风频

	N	NNE	NE	NEE	E	EES	ES	SSE	S
$f_i/\%$	4.26	10.2	3.57	5.97	4.39	10.2	10.7	10.5	3.62
	SSW	SW	SWW	W	NWW	NW	NNW	C	
$f_i/\%$	7.31	4.84	3.54	1.27	2.23	4.83	11.4	1.13	

3.3.2.2 烟段初始长度

假定以 L_0 (m) 表示烟段初始长度, 则 L_0 由下式给出,

$$L_{0i} = \Delta t_i u_i \quad (27)$$

式中, L_{0i} 表示某事故第 i 烟段的长度 (m), Δt_i 为 i 烟段的释放持续时间 (s), u_i 为 i 烟

段释放起始时刻的实测风速 (m/s), 假定烟段迁移过程中, 烟段长度 L_w 不变。

3.3.2.3 大气扩散模式

假定事故时, 污染物从烟囱释放, 考虑到烟囱高度一般只略高于安全壳高度 (例秦山二期烟囱高度为 62.5 m, 安全壳高度为 60 m), 作为偏保守考虑, 采用下述地面源事故扩散因子公式,

$$(X/Q) = \begin{cases} \frac{1}{\pi u \Delta_y \Delta_z} & x \leq x_L \\ \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{u \Delta_y L_j} & x \geq 2x_L \end{cases} \quad (28)$$

当 $x_L < x < 2x_L$, 线性内插。

式中 L_j 为 j 类稳定度的混合层高度, 取厂址实测值, 作为推荐值, 取秦山二期厂址实测值: A, B, C 类 $L_j = 600$ m, D 类 $L_j = 450$ m。

$$\begin{aligned} \Sigma_z &= \sigma_z^2 + \sigma_{z_0}^2 \\ \Sigma_y &= \sigma_y^2 + \sigma_{y_0}^2 \end{aligned} \quad (29)$$

$$\sigma_{z_0}^2 = \sigma_{y_0}^2 = \frac{CA}{\pi} = 0.5 \frac{A}{\pi} \quad (30)$$

式中, C 为形状因子, 常取 $C = 0.5$, A 为安全壳截面积 (高度与直径乘积), 对秦山二期, 取其实测值, $A = 60 \times 38.8 = 2328 \text{ m}^2$ 。

3.3.2.4 下风向各子区的代表距离 x_f

下风向各子区的经向距离 x_f 如下:

$f = 1, 2, \dots, 12$, $x_f = 0.5, 1.5, 2.5, 4.0, 7.5, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75 \text{ km}$ 。

3.3.2.5 有效扩散参数 σ_{Ej} 的确定

考虑到烟段迁移距离为 80 km, 迁移时间一般要几小时至几十小时, 鉴于在不同时段 (以小时为单位) 的稳定度是不同的, 这里采用有效扩散参数概念以考虑稳定度的影响, 若取 $\sigma_y = P_y x^{q_y}$, $\sigma_z = P_z x^{q_z}$ 则有,

$$\sigma_{Eyk}(x_f) = \left\{ \left[\sum_{i=1}^{k-1} P_y^2 (\Delta T u_i)^{2q_y} \right] + \left[P_y^2 \left[x_f - \sum_{i=1}^{k-1} (\Delta T u_i) \right]^{2q_y} \right] \right\}^{1/2} \quad (31)$$

$$\sigma_{Ezk}(x_f) = \left\{ \left[\sum_{i=1}^{k-1} P_z^2 (\Delta T u_i)^{2q_z} \right] + \left[P_z^2 \left[x_f - \sum_{i=1}^{k-1} (\Delta T u_i) \right]^{2q_z} \right] \right\}^{1/2} \quad (32)$$

式中, $\sigma_{Eyk}(x_f)$ 与 $\sigma_{Ezk}(x_f)$ 表示当烟段在 k 小时到达 x_f 处时, x_f 的 Y 方向与 Z 方向有效扩散参数 (m), $\Delta T = 3600 \text{ s}$, P_y, P_z, q_y, q_z 为扩散系数, 作为推荐值, 取秦山二期厂址实测值, 见表 2。

3.3.2.6 时间积分浓度

第 i 烟段通过下风子区代表处 x_f 的 n 核素时间积分浓度 $\psi_{in}(x_f)$ ($\text{s} \cdot \text{Bq}/\text{m}^3$) 由下式估算,

$$\psi_{in}(x_f) = Q_{in} \cdot \left(\frac{X}{Q} \right) (x_f) \cdot T_i(x_f) \quad (33)$$

式中, Q_{in} 为事故 i 时段 n 核素的释放率 (Bq/s), $T_i(x_f)$ 表示 i 烟段通过 (x_f) 点所需的时间 (s), $T_i(x_f) = L_{0i}/u_{ik}$, L_{0i} 表示 i 烟段初始长度 (m), u_{ik} 表示 i 烟段到达 x_f 处那个时刻的风速, 相应于不同 x_f 处的 k 值由 3.4.2.5 节中的 (32) 式计算。

3.3.2.7 烟段浸没照射全身剂量

i 烟段经过 x_f 处时, 烟段中的 n 核素对 x_f 处人员造成的浸没全身剂量 $D_{in}(x_f)$ (Sv) 由下式给出,

$$D_{in}(x_f) = S_F \phi_{in}(x_f) g_{in} \quad (34)$$

式中, S_F 为建筑物屏蔽因子, 对个人, $S_F=1$, 对集体剂量, $S_F=0.7$, 或取现场实际调查值; g_{in} 为 n 核素浸没外照射剂量换算因子, $[Sv \cdot (s \cdot Bq \cdot m^{-3})^{-1}]$ 。

3.3.2.8 烟段吸入剂量

i 烟段经过 x_f 处时, 烟段中的 n 核素对 x_f 处人员 (成人) 造成的吸入剂量由下式给出,

$$D_{An}(x_f) = R_{\phi_{in}(x_f)} g_{An} \quad (35)$$

式中, R 为成人呼吸率, 在 0~8 h 内 (即第 1, 第 2 烟段), 取 $R=3.81 \times 10^{-4} m^3/s$; 在 8~270 h (即第 3, 4, 5 烟段), 取 $R=2.54 \times 10^{-4} m^3/s$ 。 g_{An} 为 n 核素吸入剂量转换因子 ($Sv \cdot Bq^{-1}$)。

3.3.2.9 烟段沉积外照射剂量

① i 烟段经过 x_f 处在该子区造成的 n 核素 F 沉积量 $W_{din}(x_f)$ (Bq/m²) 由下式给出,

$$W_{din}(x_f) = V_{dn} \phi_{in}(x_f) \quad (36)$$

式中, V_{dn} 为 n 核素的沉积速度 (m/s), 对于设计基准事故, 只考虑碘, 其 V_d 值取为 $2 \times 10^{-2} m/s$ 。

② i 烟段 n 核素在 x_f 处的湿沉积量 $W_{win}(x_f)$ (Bq/m²) 由下式给出,

$$W_{win}(x_f) = \sum_{m=1}^{m_{if}} 3600 \times \frac{2.03 \sqrt{2\pi Q_{in}}}{x_f u_{ik}} \Lambda_{nm}(I_m) \quad (37)$$

式中, m 作为烟段经过 x_f 持续时间长度的指标, $m=1$ 表示烟段到达 x_f 点后的第 1 小时, m_{if} 表示 i 烟段通过 x_f 点所需的时间长度的小时数, $m_{if} = T_i(x_f)/3600$, 取整数 (例 $T_i(x_f)/3600=5.2$, 则 $m_{if}=6$), I_m 表示烟段前端通过 x_f 点后的第 m 小时的降水强度 (mm/h), Λ_{nm} 表示相应于此强度的 n 核素的冲洗系数 (S^{-1}), 其值见表 2。若第 m 小时的 $I_m=0$, 即未下雨, 则该小时的 $\Lambda_{nm}(I_m)=0$, u_{ik} 表示 i 烟段到达 x_f 处那个小时的实测风速 (m/s), Q_{in} 表示 i 烟段 n 核素释放率 (Bq/s), 3600 表示 1 小时的秒数。

③ i 烟段经过 f 子区期间造成的地表沉积量使该子区人员在此期间受到的 n 核素地表沉积外照射 $D_{Bin}^G(x_f)$ (Sv) 由下式给出,

$$D_{Bin}^G(x_f) = [W_{din}(x_f) + W_{win}(x_f)] S_F g_B^G T_i(x_f) \quad (38)$$

式中, g_B^G 为地表沉积外照射剂量转换因子 $[Sv \cdot (s \cdot Bq \cdot m^{-2})^{-1}]$ 。

3.3.2.10 各子区个人有效剂量

位于 x_f 处个人在事故期间接受的有效剂量 $D_E(x_f)$ (Sv) 由下式给出,

$$D_E(x_f) = \sum_n \sum_i [D_{in}(x_f) + D_{An}(x_f) + D_{Bin}^G(x_f)] \quad (39)$$

3.3.2.11 个人有效剂量的 CCFD 曲线

余补累积频率分布 (CCFD) 这一概念在 ACA 得到广泛的应用。CCFD 之所以称为“余补”，是因为 CCFD 是基本的累积频率分布 CFD 的补余，CFD 定义为从最低的等级开始直至比考虑的低一等级的边界所规定的等级止（但不包括此等级）的所有频率之叠加。

以下式表示风险 R ，

$$R = \{ (E_i, PE_i, CE_i), i = 1, \dots, nE \} \quad (40)$$

式中， E_i 为一组相似偶发事件（例如事故发生天气序列）， PE_i 为 E_i 组偶发事件出现的概率； CE_i 为与偶发事件 E_i 相关联的事故后果； nE 为所考虑的偶发事件数目。

若假定某一特定事故后果 CE 的大小排列满足 $CE_i \leq CE_{i+1}$ （此中 $i = 1, \dots, nE - 1$ ），那末此事故后果的余补累积分布函数 CCFD 就是由下式定义的函数 F ， $F(CE_i)$ 为事故后果 CE 超过某一特定值 CE_i 的概率

$$F(CE_i) = \sum_{j=i}^{nE} PE_j \quad (41)$$

图 1 显示函数 F 的形状，函数 F 是一个阶梯函数，它表示事故后果超过横线表达值的概率。

由于 x_f 有 12 个值， $f = 1, 2, \dots, 12$ ，天气序列又有 128 个，所以总共有 $12 \times 128 = 1536$ 个 $D_E(x_f)$ 值，由此可求得它们的 CCFD 曲线及 95% 累积概率水平值。

作为实例，以秦山厂址一年实测逐时气象数据，以表 1 给出的设计基准事故计算其个人剂量的 CCFD 曲线，结果示于图 2。

3.3.2.12 集体有效剂量

事故期间造成的集体有效剂量 D_c (Sv) 由下式给出，

$$D_c = \sum_{j=1}^{16} \sum_{f=1}^{12} f_j D_E(x_f) N_{jf} \quad (42)$$

式中， f_j 为 j 方位年风频， $j = 1, 2, \dots, 16$ ； N_{jf} 为 j 方位 f 子区的人口数， $f = 1, 2, \dots, 12$ 。

3.3.2.13 事故致死性癌的 CCFD 曲线

① 事故导致的致死性癌发生数

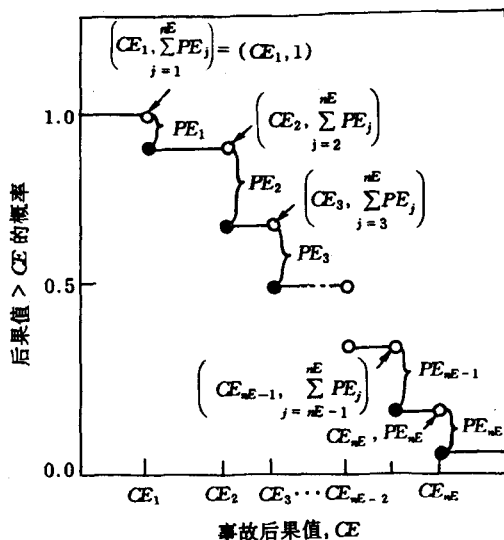


图 1 相应于事故后果 CE 的 CCFD 值

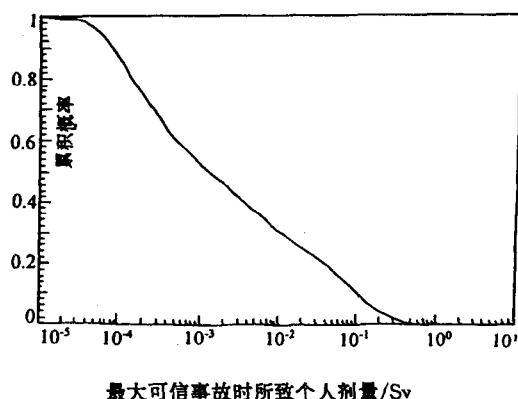


图 2 秦山核电二期工程发生最大可信事故时个人剂量的 CCFD 曲线图