ICS 77.040.01

H 20

|  |
| --- |
|  |

团体标准

T/CNS xx—202X

|  |
| --- |
|  |

高温气冷堆核动力厂

事故工况下气载放射性物质释放的环境影响评价技术规范

**Technical specification for environmental impact assessment of airborne radioactive material release under accident Conditions for high-temperature gas-cooled reactor nuclear power plants**

|  |
| --- |
| 征求意见稿 |
|  |

2025 - xx - xx发布

2025 - xx - xx实施

中国核学会   发布

|  |
| --- |
|  |

目  次

[前  言 III](#_Toc201155690)

[1 范围 4](#_Toc201155691)

[2 规范性引用文件 4](#_Toc201155692)

[3 术语和定义 4](#_Toc201155693)

[4 总的要求 6](#_Toc201155694)

[5 基础资料 6](#_Toc201155695)

[6 大气弥散 7](#_Toc201155696)

[7 辐射剂量 7](#_Toc201155697)

[8 参数选择 7](#_Toc201155698)

[9 验收准则 8](#_Toc201155699)

[附　录　A （资料性附录） 事故工况下气载放射性物质释放的环境影响评价模式 9](#_Toc201155700)

[附　录　B （资料性附录） 呼吸率的取值 14](#_Toc201155701)

[附　录　C （资料性附录） 干沉积速率的取值 15](#_Toc201155702)

[参考文献 16](#_Toc201155703)

前  言

本文件按照GB/T 1.1－2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国核学会提出。

本文件由核工业标准化研究所归口。

本文件起草单位：清华大学核能与新能源技术研究院、中核能源科技有限公司、中核战略规划总院标准化所。

本文件主要起草人员：

高温气冷堆核动力厂事故工况下气载放射性物质释放的环境影响评价技术规范

1. 范围

本文件规定了高温气冷堆核动力厂事故工况下气载放射性物质释放的辐射环境影响评价的原则、方法和参数选择。

本文件适用于高温气冷堆核动力厂选址、建造和运行各阶段事故工况下气载放射性物质释放的环境影响评价。

1. 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，仅所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。

GB 18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。



事故工况 **accident conditions**

指选址假想事故和设计基准事故。



短期大气弥散因子 **atmospheric dispersion factor**

事故发生后，放射性物质释放造成的环境空气中某点短期的放射性物质相对浓度。



事故源项 **accident source term**

在事故情况下用于表示从核动力厂中放射性物质实际的或潜在的释放信息。它包括放射性物质的数量、同位素组成、释放率和释放方式等。



联合频率 **joint frequency**

对一段时间的气象观测数据进行统计得到的结果，表示某风速、某风向、某稳定度、某雨量在一段时间内的出现频率。

设计基准事故 **design basis accident**

核动力厂按确定的设计准则和保守方法进行设计，且确保放射性物质释放不超过规定限值的事故。

极限事故 **limiting accidents**

在核动力厂运行寿期内发生频率极低的事故（预计为10-6/堆年~10-4/堆年）。

稀有事故 **infrequent accidents**

在核动力厂运行寿期内发生频率很低的事故（预计为10-4/堆年~10-2/堆年）。

选址假想事故 **postulated siting accident**

仅适用于场址选择阶段，用于评价场址选择的适当性，并作为确定场址非居住区、规划限制区边界主要技术依据的选定事故。

碘的化学形态 **chemical species of iodine**

碘元素在环境中所呈现的原子、离子、分子或化合物状态。主要分为元素碘、有机碘和气溶胶碘。

非居住区 **exclusion area**

反应堆周围一定范围内的区域，该区域内禁止有常住居民，由核动力厂的营运单位对这一区域行使有效的控制，包括任何个人从该区域撤离；公路、铁路、水路可以穿过该区域，但不得干扰核动力厂的正常运行；在事故情况下，可以做出适当和有效的安排，管制交通，以保证工作人员和公众的安全。在非居住区内，与核动力厂运行无关的活动，只要不影响核动力厂正常运行和危及公众健康与安全是允许的。

规划限制区 **planning restricted area**

由省级人民政府划定的与非居住区直接相邻的区域。规划限制区内的工业设施和活动不会对核动力厂安全产生不可接受的威胁；规划限制区内限制人口的机械增长，人口集中地区对场外应急不会产生不可接受的影响，确保核动力厂安全运行并保护公众健康和环境。

复杂地形 **complex terrain**

不平坦地形（如山脊和谷地）以及沿海或靠近大面积水体的区域地形。

1. 总的要求
   1. 评价目的

高温气冷堆核动力厂选址阶段需要评价选址假想事故对公众的辐射影响，以论证厂址非居住区、规划限制区设置的合理性，为厂址选择提供科学依据。

高温气冷堆核动力厂建造阶段和运行阶段均需要评价设计基准事故对公众的辐射影响，前者的目的是论证专设安全设施的工程设计性能能否满足保护环境的要求，后者的目的是验证最终建成的专设安全设施的性能能否满足保护环境的要求。

* 1. 评价原则

高温气冷堆核动力厂事故工况下气载放射性物质释放的环境影响应满足 9.2 验收准则的要求，并保持在可合理达到尽量低的水平。

* 1. 评价内容

高温气冷堆核动力厂事故工况下气载放射性物质释放的环境影响评价内容应包括：设计基准事故源项；短期大气弥散因子；考虑放射性烟云γ辐射引起的外照射、事故期间的地面放射性沉积γ辐射引起的外照射、以及吸入空气中的放射性核素引起的内照射三种途径对公众引起的辐射剂量。

1. 基础资料
   1. 源项

设计基准事故辐射环境影响评价可采用经过安全分析得出的设计基准事故源项及释放方式。

对于选址假想事故源项的确定应基于高温堆的设计特征提出，并经监管部门认可。

放射性事故源项释放阶段按照如下原则划分：瞬时释放和连续释放，对于连续的释放应该划分为0-8小时、8-24小时、1-4天、4-30天四个释放时段。

无论事故进程中瞬时释放发生于何时，均应将其释放量归并至0-2小时时段内释放。

* 1. 气象数据

应获取厂址附近具有代表性的气象观测系统近五年内连续12个月的逐时（次）气象数据。

逐时（次）气象数据应包括可确定联合频率的气象观测要素。

在核动力厂初步可行性研究阶段，若在保守估计的原则下，事故后果评价结果占验收准则的比例小于30%，则可沿用初步可行性研究阶段所采用的气象数据进行后续阶段的评价工作；若评价结果占验收准则的比例高于30%，则需在后续阶段中开展厂址气象数据收集（如建立气象铁塔）工作进行后果评价。

* 1. 与尾流计算相关的建筑物参数

邻近建筑物高度、宽度及建筑物最小截面积。

* 1. 人口分布信息

在进行事故集体剂量计算时应获取厂址半径80km范围内的人口分布信息。

应按照有关技术规范的要求获取相关的人口信息。

1. 大气弥散
   1. 一般原则

在某些气象学或地形较为特殊的厂址上（如静风频率很高、厂址周围为复杂地形等），需要分析本标准推荐模式和方法的适用性，必要时应对其予以修正或选用其他模式和方法。

考虑5.2节对气象数据的要求，如有必要获取反映厂址大气弥散特征的相关参数，在厂址评价阶段可收集相关资料或开展厂址相关的大气扩散试验。

* 1. 大气弥散因子的计算

可采用美国核管会管理导则RG1.145和研究报告NUREG/CR 2858的模式，给出16个方位时间保证概率水平为99.5%的高斯烟羽轴线上的小时大气弥散因子和全厂95%的大气弥散因子。依据RG1.145的要求选择各方位上最大弥散因子（99.5%概率）和全厂95%概率水平的弥散因子两者中的较大者用于事故后果评价。当评价区域小于0.5km时，可采用美国联邦管理导则RG1.194模式和研究报告NUREG/CR 6331推荐的模式计算大气弥散因子。

1. 辐射剂量
   1. 个人剂量

个人剂量评估考虑放射性烟云γ辐射引起的外照射、事故期间的地面放射性沉积γ辐射引起的外照射、以及吸入空气中的放射性核素引起的内照射三种途径。

地面放射性沉积γ外照射的积分时间应为事故中放射性物质释放的持续时间。当事故仅有瞬时释放时，保守考虑地面放射性沉积γ外照射的积分时间为30d。

* 1. 集体剂量

集体剂量评估采用扇形平均的大气弥散因子，评估过程如下：

1. 计算事故期间同一方位的集体剂量，即该方位各子区集体剂量之和。
2. 将连续相邻三个方位的集体剂量相加，选取最大值作为厂址半径80km范围内公众群体可能受到的集体剂量。

集体剂量计算时应选择核动力厂并网发电当年的预期人口分布数据作为输入参数。

1. 参数选择
   1. 剂量转换因子

应选取业内认可的剂量转换因子。

推荐按下列优先顺序选择剂量转换因子：

1. GB 18871中的推荐值；
2. IAEA安全报告丛书第19号报告；
3. ICRP第71,72号出版物及其替代文件；
4. 美国环保局联邦导则FGR12,FGR15。

上述部分资料的简写所对应的技术文件全称见参考文献。

* 1. 呼吸率

呼吸率取值见附录B。

* 1. 干沉积速率

干沉积速率取值见附录C。

* 1. 碘化学形态份额

在没有明确证据时，碘化学形态均应保守考虑为元素碘。

1. 验收准则
   1. 设计基准事故

在发生一次稀有事故时，非居住区边界外公众在事故的整个持续期间可能受到的有效剂量应小于5mSv；

在发生一次极限事故时，非居住区边界外公众在事故的整个持续期间可能受到的有效剂量应小于10mSv。

* 1. 选址假想事故

在事故的整个持续期间内，非居住区边界和规划限制区边界外公众可能受到的有效剂量应小于10mSv；环境影响评价范围内公众群体集体有效剂量应小于2×104人·Sv。

1. （资料性附录）  
   事故工况下气载放射性物质释放的环境影响评价模式
   1. 概述

推荐的模式为高斯烟羽扩散模式，该模式适用于大多数地形较为开阔平坦的厂址。对于某些气象学或地形较为特殊的厂址，需要开展专门的大气扩散实验对该模式和参数进行必要的修正，或采用其他适用的模式和参数。

* 1. 大气弥散计算模式
     1. 大气弥散计算一般模式

采用高斯烟羽轴线浓度公式计算小时大气弥散因子，计算中考虑建筑物尾流效应。对于地面源释放方式，小时大气弥散因子计算模式如下：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A-1） |
|  |  | （A-2） |
|  |  | （A-3） |
|  |  | （A-4） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | 小时大气弥散因子，s/m3； |
|  | *u* | 10米风速，m/s； |
|  | *A* | 建筑物最小截面积，m2； |
|  | *Cw* | 0.5，建筑物尾流修正因子； |
|  | D:/zlg/Temp/qt_temp.ss6360qt_temp，D:/zlg/Temp/qt_temp.PS6360qt_temp | 横向和垂向的大气扩散参数，m，根据稳定度类别由P-G扩散参数曲线确定或者由厂址扩散参数确定。 |
|  |  | 考虑风摆效应修正后的横向大气扩散参数，m，根据地面风速、稳定度和释放距离确定（具体参见美国管理导则RG1.145，下式中的M取值参见该导则的图3）：   |  |  | | --- | --- | |  | 当下风向距离x≤800m | |  | 当下向距离x＞800m | |

按照极坐标网格分别确定各子区某概率水平的小时大气弥散因子，然后利用该子区某概率水平的小时大气弥散因子与全年平均大气弥散因子之间对数内插求得各子区不同时段的某概率水平的大气弥散因子。

不同方位各子区的年均大气弥散因子由式（A-5）-（A-7）计算得到。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A-5） |
|  |  | （A-6） |
|  |  | （A-7） |

式中：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | 年均大气弥散因子，s/m3； |
|  | *x* | 下风向距离，m； |
|  |  | 1，大气回流与迟滞修正因子； |
|  |  | 给定风向k上，风速分组*i*和稳定度分组*j*联合频率，无量纲。 |
|  |  | 给定风向k上，风速分组*i*和稳定度分组*j*的10m平均风速，m/s； |
|  |  | 稳定度类别*j*的垂向扩散因子，m； |
|  |  | 0.5，体积混合系数； |
|  |  | 建筑高度，m。 |

* + 1. 近区大气弥散计算模式

可参照美国核管理委员会管理导则RG1.194和研究报告NUREG/CR 6331中确定大气弥散因子的方法，以获得更适合释放点近区范围内的大气弥散因子。

* + - 1. 点源的大气扩散模式

基本模式是直线高斯烟羽模式。地面源情况下近地面轴线大气弥散因子由下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A-8） |

当释放时长大于8h时，采用扇形平均扩散模型进行估算，即对直线高斯烟羽模型进行积分，再除以扇形的宽度*Ws*得到：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A-9） |

大部分情况下，*Ws*定义为22.5°的扇形宽度，是释放点到下风距离的函数。扇形宽度的最大值等于以源到关注点直线距离为半径的圆的周长，如式（A-10）所示。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  | （A-10） |

其中4≤α≤6由用户指定，默认α=4。

在计算释放点近区范围内的大气弥散因子时，将关注点周围按22.5°间隔均分为16个风向扇区，分别计算每个扇区内的逐时大气弥散因子，然后可采取与NUREG/CR 2858相同的方式确定某概率水平的短期大气弥散因子。

* + - 1. 面源的大气扩散模式

三种典型情况需要将释放源近似为面源：(1) 建筑物表面释放，如安全壳释放；(2) 多个(≥3)屋顶排气口发生的放射性释放；(3) 垂直墙体上的百叶窗板或大的开口释放。可通过调整初始横向和垂直扩散参数，将面源问题转化为虚拟点源问题。

在缺乏厂址特定经验公式的情况下，可使用确定论方程来计算初始弥散参数：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | |  | （A-11） | |
| —— |  | 面源宽度，m； | | |
| —— |  | 面源高度，m/s； | | |
| —— |  | 横向初始扩散参数，m，通常≤100m； | | |
| —— |  | 垂向初始扩散参数，m，通常≤50m。 | | |

结合P-G扩散曲线可得，在计算横向大气弥散参数σy时，相对于释放源的等效下风距离为

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A-12） |

在计算垂向大气弥散参数σz时，相对于释放源的等效下风距离为

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A-13） |

其中*ay*，*az*，*bz*，*cz*在不同稳定度与下风距离范围下的值参见下表。当初始参数均为0时，则表示释放源为点源。

表A-1 P-G曲线估计的参数在不同稳定度与下风距离范围下的值

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 参数 | 下风距离  (单位 m) | A | B | C | D | E | F | G |
| ay | x ≥ 0 | 0.3658 | 0.2751 | 0.2089 | 0.1471 | 0.1046 | 0.0722 | 0.0481 |
| az | x ≤ 100 | 0.192 | 0.156 | 0.116 | 0.079 | 0.063 | 0.053 | 0.032 |
| 100 < x ≤ 1000 | 0.00066 | 0.0382 | 0.113 | 0.222 | 0.211 | 0.086 | 0.052 |
| x > 1000 | 0.00024 | 0.055 | 0.113 | 1.26 | 6.73 | 18.05 | 10.83 |
| bz | x ≤ 100 | 0.936 | 0.922 | 0.905 | 0.881 | 0.871 | 0.814 | 0.814 |
| 100 < x ≤ 1000 | 1.941 | 1.149 | 0.911 | 0.725 | 0.678 | 0.74 | 0.74 |
| x > 1000 | 2.094 | 1.098 | 0.911 | 0.516 | 0.305 | 0.18 | 0.18 |
| cz | x ≤ 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 < x ≤ 1000 | 9.27 | 3.3 | 0 | -1.7 | -1.3 | -0.35 | -0.21 |
| x > 1000 | -9.6 | 2 | 0 | -13 | -34 | -48.6 | -29.2 |

* + - 1. 扩散参数在尾流和低风速情况下的修正

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | D:/zlg/Temp/qt_temp.tN6360qt_temp  D:/zlg/Temp/qt_temp.dK6360qt_temp | （A-14） |
| —— | qt_temp | 修正后的横向大气扩散参数，s/m3； | |
| —— | D:/zlg/Temp/qt_temp.Ik6360qt_temp | 修正后的垂向大气扩散参数，s/m3； | |
| —— | qt_temp | 横向大气扩散参数的建筑物尾流修正项，m； | |
| —— | D:/zlg/Temp/qt_temp.Rl6360qt_temp | 垂向大气扩散参数的建筑物尾流修正项，m； | |
| —— | D:/zlg/Temp/qt_temp.Br6360qt_temp | 横向大气扩散参数的低风速修正项，m； | |
| —— | D:/zlg/Temp/qt_temp.nF6360qt_temp | 垂向大气扩散参数的低风速修正项，m。 | |

其中，建筑物尾流与低风速修正项表达式如下：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A-15） |
|  | D:/zlg/Temp/qt_temp.nz6360qt_temp  D:/zlg/Temp/qt_temp.bh6360qt_temp | （A-16） |

出于保守估计的考虑，为修正的横向大气扩散参数设定最大值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *x* | （A-17） |

从而有

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A-18） |

* 1. 剂量模式
     1. 烟羽浸没外照射产生的剂量

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | （A-19） |
| —— | *Da,n* | 事故发生后第*n*个时段释放量产生的烟羽浸没外照射剂量，Sv; | |
| —— | *Qin* | 事故发生后第*n*个释放时段核素*i*的释放量，Bq； | |
| —— |  | 事故发生后第*n*个释放时段短期大气弥散因子，s/m3； | |
| —— | *Fa,i* | 核素*i*的烟云浸没剂量转换因子，(Sv/s)/(Bq/m3)； | |

其余同前。

* + 1. 地面沉积外照射产生的剂量

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | （A-20） | |
| —— | *Dg,n* | 事故发生后第*n*个时段释放量产生的地面沉积外照射剂量，Sv; | |
| —— | *Fg,i* | 核素*i*的地面沉积剂量转换因子，(Sv/s)/(Bq/m2)； | |
| —— | *Vd,i* | 核素*i*的干沉积因子，m/s； | |
| —— | *ts,n*, *te,n* | 分别为释放时间段*n*的开始时间和结束时间，s； | |
| —— | *λi* | 核素*i*的衰变常数，s-1； | |
| —— | *td* | 沉积照射持续时间，取事故持续时间，通常为30d。 | |

其余同前。

* + 1. 吸入内照射产生的剂量

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | | （A-21） |
| —— | *Dh,n* | 事故发生后第*n*个时段释放量产生的吸入内照射剂量，Sv; | |
| —— | *Bn* | 事故发生后第*n*个释放时段人员呼吸率，m3/s； | |
| —— | *Fh,i* | 吸入核素*i*的有效剂量转换因子，Sv/Bq； | |

其余同前。

* + 1. 所有途径造成的总剂量

第*n*释放时段内所有途径所致剂量*Dn*和整个事故期间所致个人剂量*D*分别由下列两式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A-22） |
|  |  | （A-23） |

1. （资料性附录）  
   呼吸率的取值

用于事故工况下辐射环境影响评价的呼吸率取值，参照美国核管会管理导则RG1.195，如表B.1。

* 1. 呼吸率的取值

|  |  |
| --- | --- |
| 时段（h） | 成人呼吸率（m3/s） |
| 0~8 | 3.5×10-4 |
| 8~24 | 1.8×10-4 |
| >24 | 2.3×10-4 |

1. （资料性附录）  
   干沉积速率的取值

用于事故工况下辐射环境影响评价的干沉积速率取值，参照联邦德国辐射防护委员会第十七卷出版物（SSK No.17）：

a) 气溶胶（含粒子碘），干沉积速率取1.5×10-3m/s；

b) 分子碘，干沉积速率取1.0×10-2m/s。

c) 有机碘，干沉积速率取1.0×10-4m/s。

参考文献

【1】 GB 6249-2025 核动力厂环境辐射防护规定；

【2】 NB/T 20182-2012 核电厂事故工况气载放射性物质释放辐射环境影响评价技术规范；

【3】 Regulatory Guide 1.145: Atmospheric dispersion models for potential accident consequence assessment at nuclear power plants, 1982.

【4】 PAVAN: An Atmospheric-Dispersion Program for Evaluating Design-Basis Accidental Releases of Radioactive Materials from Nuclear Power Stations, NUREG/CR-2858, 1982.

【5】 Regulatory Guide 1.194: Atmospheric Relative Concentrations for Control Room Radiological Habitability Assessments at Nuclear Power Plants, 2003.

【6】 Atmospheric Relative Concentrations in Building Wakes, NUREG/CR-6331, 1997.

【7】 IAEA Safety Report Series No.19: Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment, 2001.

【8】 ICRP Publication 71: Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides - Part 4: Inhalation dose coefficients, 1995.

【9】 ICRP Publication 72: Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients, 1995.

【10】 Federal Guidance Report No. 12: External Exposure to Radionuclides in Air, Water, and Soil, 1993.

【11】 Federal Guidance Report No. 15: External Exposure to Radionuclides in Air, Water, and Soil, 2019.

【12】 Regulatory Guide 1.195: Methods and Assumptions for Evaluating Radiological Consequences of Design Basis Accidents at Light-water Nuclear Power Reactors, 2003；

【13】 联邦德国辐射防护委员会第十七卷出版物（SSK No.17），1992。