ICS 27.120.20

CCS F60

**T/CNS**

中国核学会团体标准

T/CNS XXXX—XXXX

|  |
| --- |
|  |

高温气冷堆核动力厂点火源分析方法

Analysis method of ignition source for high temperature gas reactor nuclear power plant

|  |
| --- |
|  |
|  |

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

中国核学会   发布

目次

[前言 3](#_Toc10183)

[高温气冷堆核动力厂点火源分析方法 4](#_Toc6641)

[1 范围 4](#_Toc6868)

[2 规范性引用文件 4](#_Toc18035)

[3 术语和定义 4](#_Toc23403)

[4 总体要求 4](#_Toc11508)

[5 通用区域划分 5](#_Toc16185)

[5.1 固定点火源通用区域分类 5](#_Toc2876)

[5.2 临时点火源通用区域分类 6](#_Toc6252)

[6 点火源识别 6](#_Toc28707)

[6.1 点火源分类 6](#_Toc12885)

[6.2 固定点火源识别 7](#_Toc31272)

[6.3 临时点火源识别 8](#_Toc30758)

[7 点火频率分析 8](#_Toc15289)

[7.1 目标 8](#_Toc16012)

[7.2 点火源权重因子计算 8](#_Toc31454)

[7.3 位置权重因子计算 11](#_Toc12088)

[7.4 点火频率计算 11](#_Toc28456)

[参 考 文 献 12](#_Toc3476)

1. 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。

本标准由中国核学会提出。

本标准由核工业标准化研究所归口。

本标准起草单位：中核能源科技有限公司

本标准主要起草人：何小宁

高温气冷堆核动力厂点火源分析方法

* 1. 范围

本文件规定了高温气冷堆核动力厂点火源分析方法的总体要求、通用区域划分、点火源识别、点火频率计算等相关要求。

本文件适用于高温气冷堆核动力厂点火源分析，其他堆型核动力厂可参照执行。

* 1. 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是重要的参考。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。

NB/T 20037.4-2021 应用于核电厂的一级概率安全评价-第4部分：功率运行内部火灾

* 1. 术语和定义

NB/T20037.4-2021的所有定义适用于本文件。

3.1

固定点火源 fixed ignition source

在核动力厂设计中就已经存在的位置固定、燃烧参数已知的点火源。

3.2

火灾隔间 fire compartment

一个严格定义的封闭空间。

注1：火灾隔间一般和一个防火区相当，其边界为非可燃屏障，封闭区域内火灾产生的热量和产物会被限制在该区域内。

注2：火灾隔间的边界可能包括开放式的设备闸门、楼梯、门道以及未密封的贯穿件。

* 1. 总体要求

点火源分析是火灾概率安全分析（PSA）的重要组成部分。高温气冷堆核动力厂点火源分析主要包括如下任务：

1. 通用区域划分：应根据高温气冷堆核动力厂设计特征和通用点火频率中的通用区域划分，确定适用于高温气冷堆核动力厂的通用区域分类。
2. 点火源类别划分：应根据高温气冷堆核动力厂设计特征和通用点火频率中的点火源分类，确定适用于高温气冷堆核动力厂的点火源类别。
3. 点火源识别：点火源识别应包括火灾隔间内包含的固定点火源和临时点火源的种类及数量。通常确认方法如下：

1）固定点火源识别：根据通用区域的划分结果判断火灾隔间所属的通用区域，结合固定点火源的分类，对火灾隔间中的固定点火源进行识别和计数。大部分固定点火源，可通过其名称、现场走访等方式确定其所属分类和数量。

2）临时点火源识别：根据通用区域的划分结果判断火灾隔间所属的通用区域，根据通用区域的划分及临时点火源的分类，对所有火灾隔间中的临时点火源进行识别和计数。

1. 点火频率计算：应结合点火源的识别、点火源通用点火频率以及相关计算原理，确定每个火灾隔间的点火频率。

点火源分析的任务流程图见图1。



图1 点火源分析逻辑图

* 1. 通用区域划分
     1. 固定点火源通用区域分类

固定点火源是指在核动力厂设计中就已经存在的位置固定、燃烧参数已知的点火源，如电气柜、电动机等。高温气冷堆核动力厂固定点火源划分为八类通用区域，具体分类如下：

1. 蓄电池室：电气厂房中的安全级蓄电池所在的房间；
2. 反应堆厂房：反应堆厂房内，反应堆舱室、蒸汽发生器舱室、燃料装卸舱室及一二回路主系统所在的房间；
3. 控制室：主控室、备用停堆点与主控室功能相关的其它房间，以及DCS设备间；
4. 辅助厂房：电气厂房中，除蓄电池室和控制室之外的所有房间。核辅助厂房的全部区域。其它厂房中与配电、给水等功能有关的房间；
5. 柴油发电机厂房：柴油发电机厂房的全部区域；
6. 变电站：室外的各类变压器站；
7. 汽轮机厂房：常规岛厂房的全部区域；
8. 核动力厂范围设备：除其它7类固定点火源通用区域所包含的区域以外，厂区内其它的所有建、构筑物。
   * 1. 临时点火源通用区域分类

临时点火源主要包含3大类，即：临时火灾、焊接切割引起的临时火灾、焊接切割引起的电缆火灾。高温气冷堆核动力厂可能出现临时点火源的通用区域应分为以下4类：

1. 反应堆厂房：包含反应堆厂房内，反应堆舱室、蒸汽发生器舱室、燃料装卸舱室及一二回路主系统所在的房间；
2. 辅助厂房：包含电气厂房、核辅助厂房的全部区域；其它厂房中与配电、给水等功能有关的房间；
3. 汽轮机厂房：常规岛厂房的全部区域；
4. 核动力厂范围设备：除其它3类临时点火源通用区域所包含的区域以外，厂区内其它的所有建、构筑物。
   1. 点火源识别
      1. 点火源分类

6.1.1 固定点火源分类

针对高温气冷堆核动力厂，其包含的固定点火源分类如下：

1. 蓄电池；
2. 主控制台；
3. 柴油发电机；
4. 空气压缩机；
5. 充电器；
6. 干衣机；
7. 电动机（含电动阀）；
8. 电气柜（非高能电弧故障）；
9. 低压电气柜高能电弧故障；
10. 中压电气柜高能电弧故障；
11. 分段母线槽高能电弧；
12. 离相母线槽高能电弧；
13. 氢气储罐；
14. 各类氢气火灾；
15. 室内变压器；
16. 泵；
17. 通风子系统；
18. 变压器灾难性火灾；
19. 变压器非灾难性火灾；
20. 变电站其它设备；
21. 锅炉；
22. 主给水泵；
23. 汽轮发电机励磁机；
24. 汽轮发电机氢气；
25. 汽轮发电机机油；

6.1.2 临时点火源分类

临时点火源是由于临时性贮存或人员活动引入的位置和燃烧参数均无法确定的点火源。针对高温气冷堆核动力厂，其包含的临时点火源分类如下：

1. 临时火灾（反应堆厂房）；
2. 焊接及切割作业引发的电缆火灾（辅助厂房）；
3. 焊接及切割作业引发的临时火灾（辅助厂房）；
4. 临时火灾（辅助厂房）；
5. 焊接及切割作业引发的电缆火灾（核动力厂范围设备）；
6. 焊接及切割作业引发的临时火灾（核动力厂范围设备）；
7. 临时火灾（核动力厂范围设备）；
8. 焊接及切割作业引发的电缆火灾（汽轮机厂房）；
9. 焊接及切割作业引发的临时火灾（汽轮机厂房）；
10. 临时火灾（汽轮机厂房）；
11. 电缆自燃（核动力厂范围设备）；
12. 接线盒（核动力厂范围设备）；
    * 1. 固定点火源识别

应根据固定点火源分类确定特定区域内所包含的点火源类别及其数量。

针对电气柜、电动机等大部分固定点火源，可通过其名称、现场走访等方式确定类别定义和确切数量。

针对一些难以直接确定数量的点火源，制定计数规则如下：

1. 蓄电池：在同一位置的互相连接的蓄电池应看作是一个蓄电池组，不对每个蓄电池进行单独计数；
2. 电动机：没有包括在其他点火源分类中的额定功率大于为3.7kW的电动机；
3. 低压电气柜高能电弧：注意开关站的变压器和相间隔离母线不属于本类；
4. 离相母线槽高能电弧：离相封闭母线的三相需要统一计数为一个离相封闭母线；
5. 泵：需要将液压驱动的大型阀门（比如主蒸汽隔离阀和汽轮机截止阀）计入泵类；
6. 通风子系统：此类包括的设备如空调单元（空调机组）、冷却器、风扇马达、空气过滤器等；
7. 变电站其它设备：与开关站的变压器相关；
8. 汽轮发电机机油：油贮存罐、泵、热交换器、阀门和控制设备等的组合属于此类。

具备以下特征的设备不应作为点火源：

1. 非能动设备，例如手动阀、截止阀、热交换器、过滤器等；
2. 含电机类设备（泵、电动阀等），若其电机功率在3.7kW以下，或者电动阀的电动头具有严密的密封，则不将其作为点火源。
   * 1. 临时点火源识别

应将电缆自燃和接线盒归为临时点火源考虑，通过确定所在区域电缆火荷载进行点火源计数。

* 1. 点火频率分析
     1. 目标

点火频率计算要素的目标是：

* 建立点火源权重因子计算方法；
* 建立点火源位置权重因子计算方法；
* 建立点火频率计算方法。
  + 1. 点火源权重因子计算

固定点火源属于可数物项，点火源权重因子计算原理如式（1）所示。

(1)

式中：

——通用区域L火灾隔间J内IS类固定点火源的权重因子，常数；

——通用区域L火灾隔间J内IS类固定点火源的数量，常数；

——全厂待分析火灾隔间内IS类固定点火源的总数量，常数。

临时点火源主要分为3大类：临时火灾、焊接切割引起的临时火灾、焊接切割引起的电缆火灾。使用维修、人员通行/居留、可燃物贮存三个影响因子来评价各火灾隔间的临时点火源点火频率。

上述三类临时点火源的权重因子计算方式如下：

1. 对于临时火灾，采用三个影响因子之和作为火灾隔间的权重，利用加权平均法计算火灾隔间的临时点火源权重因子，如式（2）与（3）所示：

(2)

(3)

式中：

是核动力厂通用区域L的火灾隔间J的临时火灾点火源权重因子，常数；

是核动力厂通用区域L的火灾隔间J的维修影响因子，常数；

是核动力厂通用区域L的火灾隔间J的人员通行/居留影响因子，常数；

是核动力厂通用区域L的火灾隔间J的可燃物贮存影响因子，常数；

*NGT,L*是核动力厂通用区域L所有火灾隔间三类影响因子之和，常数。

1. 对于焊接和切割引起的临时火灾，采用维修影响因子作为火灾隔间的权重，利用加权平均法计算火灾隔间的临时点火源权重因子，如式（4）与（5）所示：

(4)

(5)

式中：

是核动力厂通用区域L的火灾隔间J的焊接和切割引起的临时火灾点火源权重因子，常数；

是火灾隔间J的维修影响因子，常数；

是核动力厂通用区域L火灾隔间i的维修影响因子，常数；

是核动力厂通用区域L所有火灾隔间的维修影响因子之和，常数。

1. 对于焊接和切割引起的电缆火灾，采用维修影响因子与电缆火荷载的乘积作为火灾隔间的权重，利用加权平均法计算火灾隔间的临时点火源权重因子，如式（6）与（7）所示：

(6)

(7)

式中:

是核动力厂通用区域L的火灾隔间J的焊接和切割引起的电缆火灾点火源权重因子，常数；

是火灾隔间J的电缆火荷载，常数；

是火灾隔间J的维修影响因子，常数；

是通用区域L所有火灾隔间维修影响因子之和，常数。

维修、人员通行/居留、可燃物贮存三个影响因子在统计时可参照以下规定：

1. 维修因子
2. 核动力厂的维修活动，在特定时间段不同火灾隔间内功率运行时的作业命令次数可以用来建立与维修活动相关的相对等级。
3. 分析人员应采用工程判断来确定在选定时间段内没有作业命令的火灾隔间内的维修因子。此判断基于该隔间相对于有作业命令的隔间的特性。
4. 若很难收集到所有的作业命令，分析人员可采用基于个人经验或从维修人员处获取的信息的工程判断。
5. 核动力厂进入运行阶段后，火灾隔间内临时点火频率受设备的预防性维修和纠正性维修影响；
6. 预防性维修按照维修大纲，定期执行，维修内容可能会因预维发现的设备缺陷而产生不同，这可能会对临时点火源产生影响；
7. 对于纠正性维修，需要考虑的因素主要包括设备在核动力厂寿期内是否需要维修；是否会引入临时点火源，引入临时点火源的设备类型、数量；设备的总体维修频率等。
8. 人员通行/居留因子
9. 若所分析火灾隔间属于核动力厂的巡检路线，则人员通行频率会较高；若隔间内长期有人员作业或值班，则属于有人员长期停留。
10. 一些人员活动具有随机性，无法准确说明人员活动的位置信息，但可以根据火灾隔间的位置及出入口数量，判断火灾隔间是否属于易于人员通行/停留的区域。
11. 一般辐射控制等级越高，人员通行频率及停留时间均越低。火灾隔间的人员居留等级（包括通行）会影响隔间内临时可燃材料出现的概率和点火频率。可采用工程判断来确定人员通行/居留因子。
12. 运行阶段，出入现场的人员主要包括运行人员、维修人员和设备管理人员。除控制室、辐射防护人员值班室需要长期人员居留外，其它房间的人员通行和居留情况视现场巡检和维修作业情况而定。
13. 可燃物贮存因子
14. 若可燃物放置在密封容器内，则认为这些可燃物不易被引燃；若可燃物放置在开口容器中，则具有较高的火灾风险。
15. 对于未封闭贮存的可燃物，需要确认是否有设置明显的防火标志及隔离区，如果标志明显且已规划并标记出隔离区域，也可认为起火可能性较低。
16. 电气柜和其它格架内的临时和固定贮存的可燃/易燃材料会影响其所在火灾隔间内临时火灾的频率和特性。应该考虑在这些贮存容器内保存的可燃材料的数量、类型和使用频率。可采用结合现场走访的工程判断确定贮存因子。

上述三类临时点火源影响因子赋值建议采用下面的五种等级水平，打分准则见表1。

1. 无（0)——仅用于那些在设计时已经排除临时火灾的隔间。
2. 低（1）——反映较低的影响因子。
3. 中（3）——反映中等水平的影响因子。
4. 高（10）——反映高于平均水平的影响因子。
5. 很高（50）——反映明显高于平均水平的影响因子（仅用于“维修”影响因子）。

表1 临时点火源影响因子打分准则

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **影响因子** | **无(0)** | **低(1)** | **中等(3)** | **高(10)** | **很高(50)** |
| 维修因子 | 设计上不允许功率运行阶段进行维修 | 相对于典型火灾隔间的平均水平下，较少的预防性维修/纠正性维修 | 平均水平的预防性维修/纠正性维修 | 相对于典型火灾隔间的平均水平下，较多的预防性维修/纠正性维修 | 相对于典型火灾隔间的平均水平下，极其多的预防性维修/纠正性维修 |
| 人员通行/居留因子 | 运行阶段不允许人员进入 | 不在常规通行路径上，或人员通行很少 | 没有持续的人员居留，但是在常规通行路径上 | 有持续的人员居留 | 不适用 |
| 可燃物贮存因子 | 运行阶段不允许人员进入 | 没有贮存可燃物 | 所有可燃物都贮存在专用防火柜的密闭容器中 | 可燃物会被短暂放置在开放容器内，或放置在密闭容器内，但在长时间内都不在专用防火柜中 | 不适用 |

* + 1. 位置权重因子计算

对单机组核动力厂或具有单机组设计特征的核动力厂，位置权重因子*WL*=1。

对于多机组核动力厂或具有多机组设计特征的核动力厂，若可以获得每台机组的单独的设备数量，取*WL*=1，并进入后续点火源分析。若难以获得每台机组的单独的设备数量，则不同通用区域的位置权重因子评估方法如下：

1. 蓄电池室：核动力厂内共用蓄电池列的机组数目确定*WL*；
2. 反应堆厂房：核动力厂内机组数目除以反应堆数目确定*WL*；
3. 控制室：核动力厂内机组数目除以控制室数目确定*WL*；
4. 辅助厂房：核动力厂内机组数目除以共用的、一体的辅助厂房数目确定*WL*；
5. 柴油发电机厂房：核动力厂内共用柴油发电机的机组数目确定*WL*；
6. 变电站：核动力厂内共用开关站的机组数目确定*WL*；
7. 汽轮机厂房：核动力厂内机组数目除以汽轮机厂房数目确定*WL*；
8. 核动力厂范围设备：核动力厂内机组数目作为*WL*。
   * 1. 点火频率计算

火灾隔间的点火频率为火灾隔间内所有点火源的点火频率之和。每一类点火源的点火频率由式（8）给出，火灾隔间内的点火频率由式（9）给出。

（8）

（9）

式中:

是火灾隔间J中特定类点火源IS的点火频率，单位：每堆年；

是核动力厂区域L所包含的火灾隔间中所有类别点火源的点火频率之和，单位：每堆年；

是特定类的点火源IS的通用点火频率数据，单位：每堆年；

是火灾隔间J中IS类点火源的位置权重因子，常数；

是点火源权重因子，这个因子反映了在核动力厂区域L的火灾隔间J的IS类点火源的数量权重，常数。

参 考 文 献

[1] NB/T 20037.4-2021 《应用于核电厂的一级概率安全评价-第4部分：功率运行内部火灾》

[2] NUREG/CR-6850 Fire PRA Methodology for Nuclear Power Facilities

[3]NUREG-2169 Nuclear Power Plant Fire Ignition Frequency and Non-Suppression Probability Estimation Using the Updated Fire Events Database

[4]ASME/ANS RA-S-1.4-2013 Probabilistic Risk Assessment Standard for Advanced Non-LWR Nuclear Power Plants Draft