ICS 21.020

CCS V05

**T/CNS**

中国核学会团体标准

T/CNS XXXX—XXXX

|  |
| --- |
|  |

高温气冷堆核动力厂

设备可靠性数据采集方法

Component reliability data collection method for high temperature gas-cooled reactor nuclear power plant

|  |
| --- |
| 征求意见稿 |
|  |

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX – XX 实施

中国核学会   发布

目  次

[目  次 I](#_Toc204155431)

[前  言 II](#_Toc204155432)

[1 范围 1](#_Toc204155433)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc204155434)

[3 术语和定义 1](#_Toc204155435)

[3.1 可靠性 reliability 1](#_Toc204155436)

[3.2 设备类 component category 1](#_Toc204155437)

[3.3 失效 failure 1](#_Toc204155438)

[3.4 降级 degradation 1](#_Toc204155439)

[3.5 失效模式 failure mode 1](#_Toc204155440)

[3.6 随机不可用 random unavailability 1](#_Toc204155441)

[3.7 计划不可用 planned unavailability 1](#_Toc204155442)

[3.8 低功率、停堆工况 low power & shutdown (LPSD) 2](#_Toc204155443)

[3.9 核动力厂运行状态 plant operation state (POS) 2](#_Toc204155444)

[4 数据来源 2](#_Toc204155445)

[5 采集周期 2](#_Toc204155446)

[6 采集过程 2](#_Toc204155447)

[6.1 确定采集对象 3](#_Toc204155448)

[6.2 确定采集对象设备类 3](#_Toc204155449)

[6.3 确定需采集的设备可靠性数据 5](#_Toc204155450)

[6.4 原始数据采集与统计 5](#_Toc204155451)

[6.5 填写设备可靠性数据采集表 5](#_Toc204155452)

[7 可靠性模型与原始数据采集要求 5](#_Toc204155453)

[8 失效统计准则 6](#_Toc204155454)

[8.1 失效模式定义 6](#_Toc204155455)

[8.2 统计准则 7](#_Toc204155456)

[9 数据采集的质量保证 7](#_Toc204155457)

[9.1 人员要求 8](#_Toc204155458)

[9.2 数据采集结果的确认、校核和审定 8](#_Toc204155459)

[10 上报设备可靠性数据采集结果 8](#_Toc204155460)

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：中核能源科技有限公司、清华大学。

本文件主要起草人：杜志豪、赵鸿儒、陈婷婷、孙凤、钟山、赵军、张拙。

高温气冷堆核动力厂设备可靠性数据采集方法

1. 范围

本文件规定了高温气冷堆核动力厂设备可靠性数据采集的要求。

本文件适用于高温气冷堆核动力厂，其他非轻水堆型核动力厂可参照执行。

本文件适用于高温气冷堆核动力厂概率安全分析（PSA）模型中涉及的设备，核动力厂在数据采集工作中可根据自身需求扩大采集范围。

本文件不涉及数字化仪控系统（DCS）设备。

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。

|  |  |
| --- | --- |
| NB/T 20037.11-2018RK | 应用于核电厂的一级概率安全评价 第11部分：功率运行内部事件 |

1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

* 1. 可靠性 reliability

设备在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的能力。

* 1. 设备类 component category

一个设备类表示具有相似的工艺性能、功能和运行条件的一组设备。

* 1. 失效 failure

设备丧失了执行任何一种预定功能的能力。

* 1. 降级 degradation

设备执行其预定功能能力的下降，但并未完全丧失其预定功能。

* 1. 失效模式 failure mode

设备不能实现某一具体功能的表现。一般表现为妨碍某一设备、某一部件或某一系统的成功运行（如：不能启动、不能正常运行、泄漏等）。

* 1. 随机不可用 random unavailability

设备由于随机、偶发原因产生且未按既定计划退出服务造成的不可用。

* 1. 计划不可用 planned unavailability

设备由于计划性的试验、检修、维修等活动而退出服务造成的不可用。

* 1. 低功率、停堆工况 low power & shutdown (LPSD)

低功率：一个（或组）电厂运行状态，在这些状态下，反应堆功率低于满功率工况下的功率，此时，功率水平可随着反应堆停堆或启动而变化。满功率和低功率的功率水平的区别是低于该水平要求电厂的主要进程降低或提高功率水平。

停堆：指反应堆达到次临界深度的过程，也指反应堆达到规定次临界深度的状态。

* 1. 核动力厂运行状态 plant operation state (POS)

一种标准的核动力厂组态，其运行参数相对恒定（建模时看作是恒定的），并且在影响风险的方式上与其他组态有所不同，这些参数如：堆芯功率水平，一回路温度与压力，一回路开口状态，衰变热排出机制等。

1. 数据来源

可靠性数据可以来源于设备寿命周期中各个阶段的一切可靠性活动,如可靠性试验，可靠性评审报告、使用过程中的失效数据、维护与修理记录以及退役报废记录等。主要包括以下几方面：

1. 机组运行状态的在线采集数据
2. 机组运行状态的历史数据
3. 设备运行状态的在线采集数据
4. 设备运行状态的历史数据
5. 设备维修的历史数据
6. 设备工程改造历史数据
7. 设备定期试验的历史数据
8. 设备的失效数据
9. 操作员指令数据

以上这些数据的数据来源来自：

1. 数字化仪控系统的数据采集接口
2. 设备的运行历史数据，来自：运行规程、运行值班记录、运行日报、运行周报
3. 设备的维修历史记录，来自：维修规程、维修工作票等
4. 设备的工程改造历史记录，来自：变更申请单、变更工作票
5. 设备的定期试验历史数据，来自：试验细则、试验报告
6. 设备的失效数据，来自：缺陷通知单、缺陷维修报告、事件报告、数字化仪控系统
7. 采集周期

高温气冷堆核动力厂应按年度对设备可靠性数据进行采集，在首次满功率运行后24个月内首次将采集到的设备可靠性数据上报到国家核安全局，并在此后每年上报上年的设备可靠性数据，以满足国家核安全局更新设备可靠性数据库之需。

1. 采集过程

应对核动力厂运行、维修和试验等活动中的原始数据记录进行采集，并对其进行筛选、分配与统计，最终得到可靠性数据的统计结果。

高温气冷堆核动力厂设备可靠性数据的采集过程要求见6.1-6.5节。

* 1. 确定采集对象

设备可靠性数据的采集对象包括但不限于核动力厂PSA模型中涉及的设备。

由于PSA具有较强的专业性，核动力厂可在本厂PSA报告编写单位的支持下确定需开展设备可靠性数据采集的对象。

* 1. 确定采集对象设备类

核动力厂可在本厂PSA报告编写单位的支持下确定设备类和设备边界的划分，并将根据6.1节技术要求所确定的采集对象映射到各设备类中，形成各设备类的采集样本空间。

每一个采集对象都应属于且只能属于一个设备类。

高温气冷堆核动力厂设备类和设备边界的划分见表1。

表1高温气冷堆核动力厂设备类与设备边界定义

| 序号 | 设备类 | 设备类边界定义 |
| --- | --- | --- |
| 1 | 电动泵 | 包括泵本体、电动机、连轴器、本地断路器、润滑或冷却系统、本地测量仪表和控制回路 |
| 2 | 电动隔离阀  （水回路） | 包括阀门、阀门操作机构、本地断路器和本地测量仪表和控制回路 |
| 3 | 阻压阀 | 包括阀门、阀门操作机构、本地断路器和本地测量仪表和控制回路 |
| 4 | 电动隔离阀  （蒸汽回路） | 包括阀门、阀门操作机构、本地断路器和本地测量仪表和控制回路 |
| 5 | 电动隔离阀  （氦气/空气回路） | 包括阀门、阀门操作机构、本地断路器和本地测量仪表和控制回路 |
| 6 | 电动调节阀  （给水回路） | 包括阀门、阀门操作机构、本地断路器和本地测量仪表和控制回路 |
| 7 | 电动调节阀  （蒸汽回路） | 包括阀门、阀门操作机构、本地断路器和本地测量仪表和控制回路 |
| 8 | 吸收球落球装置 | 包括步进电机、联轴器、滚珠丝杠副、支撑架、行程开关组件、一体化料位计、承压壳组件、一回路电气贯穿件等组件 |
| 9 | 电磁阀 | 包括阀门、阀门操作机构和本地断路器和本地测量仪表和控制回路 |
| 10 | 弹簧式安全阀 | 包括阀门本体以及包含的所有子部件 |
| 11 | 先导式安全阀 | 包括阀门和阀门操作机构 |
| 12 | 止回阀 | 包括阀门本体以及包含的所有子部件 |
| 13 | 手动阀 | 包括阀门本体以及包含的所有子部件 |
| 14 | 应急柴油机 | 包括柴油机、发电机、柴油机与发电机之间的联轴节、发电机直至母线端子排。柴油机本体、发电机本体、祸合装置、机油系统、启动系统、冷却水系统、调速及控制系统 、励磁系统 、供电系统（蓄电池、硅整流器等） |
| 15 | 组合式开关设备（GIS） | 10KV以上的组合式开关设备，包括外壳、母线筒、进出线套管、绝缘子、高压断路器、隔离开关、检修用接地开关、快速接地开关、电流互感器、电压互感器等部件 |
| 16 | 中低压断路器 | 10KV及以下的电路断路器，包括电路断路器本体及所包含的所有子部件 |
| 17 | 主氦风机断路器 | 用于主氦风机停机功能的的中压电路断路器，包括电路断路器本体及所包含的所有子部件 |
| 18 | 停堆断路器 | 包括停堆断路器本体以及所包含的所有子部件 |
| 19 | 高压母线 | 10KV以上的母线，包括母线本体，导体部分、绝缘部分和支撑部分 |
| 20 | 中低压母线 | 10KV及以下的母线，包括母线本体，导体部分、绝缘部分和支撑部分 |
| 21 | 蓄电池组 | 包括蓄电池本体以及所包含的所有子部件 |
| 22 | 整流器 | 包括电池充电器本体以及所包含的所有子部件（其接线端子包括在内） |
| 23 | 逆变器 | 包括逆变器和RAM 设备类本体以及所包含的所有子部件 （其接线端子和静态开关包括在内） |
| 24 | 继电器 | 包括继电器本体以及所包含的所有子部件 |
| 25 | 过滤器 | 过滤器本体以及所包含的所有子部件 |
| 26 | 氦净化系统特殊设备 | 氦净化系统包含的特殊设备，包括活性炭床、低温吸附器、分子筛床、氧化铜床、电加热器等，这些设备本体以及所包含的所有子部件 |
| 27 | 换热器 | 包括热交换器本体以及所包含的所有子部件 |
| 28 | 水冷壁 | 包括水冷壁筒体、隔热板、冷却水管、联箱、出入口主管、锥形支撑底座等部件 |
| 29 | 冷冻机组 | 包括压缩机、电机、润滑或冷却系统 |
| 30 | 水箱 | 包括水箱本体以及所包含的所有子部件 |
| 31 | 储气罐 | 包括储气罐本体及相关的释放阀 |
| 32 | 高压变压器 | 包括继电器本体以及所包含的所有子部件 |
| 33 | 中低压变压器 | 包括继电器本体以及所包含的所有子部件 |
| 34 | 流量传感器 | 包括传感器和变送器本体及电缆端子 |
| 35 | 压力传感器 | 包括传感器和变送器本体及电缆端子 |
| 36 | 温度传感器 | 包括传感器和变送器本体及电缆端子 |
| 37 | 循环风机 | 包括风机本体及其电机、联轴器、润滑或冷却系统 |
| 38 | 空冷塔风机 | 包括风机本体及其电机、联轴器、润滑或冷却系统 |
| 39 | 氦气压缩机 | 包括氦气压缩机本体及其电机、联轴器、润滑或冷却系统 |
| 40 | 空气压缩机组 | 包括空气压缩机本体及其电机、联轴器、润滑或冷却系统。从空气压缩到与被压缩介质相连接的输入输出管嘴（包括管嘴） |
| 41 | 控制棒及驱动机构 | 包括控制棒本体与控制棒孔道，以及控制棒驱动机构的内部件，包含限位装置、联轴器、驱动机构电机、主减速器、涡流限速器、棒位指示器、环链机构、支承筒、转向件等；不包含驱动机构压力边界部件 |
| 42 | 母线自动切换开关 | 包括开关本体 |
| 43 | 静态开关 | 包括开关本体 |
| 44 | 湿度传感器 | 包括传感器和变送器本体及电缆端子 |
| 45 | 中子注量率传感器 | 包括传感器和变送器本体及电缆端子 |
| 46 | 变频器 | 包括变频器本体以及所包含的所有子部件 |

* 1. 确定需采集的设备可靠性数据

各设备类在PSA模型中的需求数据是不同的，核动力厂可在本厂PSA报告编写单位的支持下确定各设备类需要采集的数据。

设备类失效模式的定义应尽可能与表4（见第10章）保持一致，对不一致项应给出说明。

* 1. 原始数据采集与统计

筛选本厂设备可靠性相关原始数据记录，将对应的数据记录分配至具体设备类对应失效模式，统计各设备类的可靠性数据。数据来源应符合第4章技术要求。

* 1. 填写设备可靠性数据采集表

根据第10章要求填写设备可靠性数据采集表。

1. 可靠性模型与原始数据采集要求

在PSA模型中，设备的失效与不可用是以基本事件的形式表示的。对于不同的设备，根据其运行、维修和试验等条件的不同，会为其对应的基本事件选取合适的可靠性模型。

系统中设备随机失效特性的模型，可用来估算某设备不能执行其预定功能的概率，这些模型与设备所在系统的运行模式（备用或运行）有关。相关参数及计算公式如下：

运行失效率*λ*（1/小时）：

需求失效概率P：

不可用度P1：

为了得到各设备类的运行失效率λ、需求失效概率P和不可用度P1，在采集过程中，核动力厂需要采集与各设备类相关的运行、维修和试验失效等方面的数据，具体包括：

1. 运行数据的采集

设备运行数据的采集，核动力厂需提供设备类累积运行时间。

1. 需求数据的采集

设备需求数据包括设备状态变换模式和各状态变换次数。

1. 维修数据的采集

设备维修数据包括维修日期和各设备类所涉及的试验维修项目以及在项目所处的运行模式下的设备不可用时间。维修时间应包括维修实际时间和维修后设备功能再鉴定的时间。

核动力厂采集的维修不可用时间应是实际发生的不可用时间，不宜由核动力厂运行文件估计推算。设备不可用度应以设备列的形式统计计算，并对不同运行模式分别计算不可用度。

1. 试验数据的采集

设备试验数据包括设备因离线试验造成的不可用时间和设备规定的可用时间。试验周期、试验过程中设备的需求和运行情况以及试验中的失效情况已在需求数据的采集和运行数据的采集中涉及

核动力厂采集的试验不可用时间应是实际发生的不可用时间，不宜由核动力厂运行文件估计推算。设备不可用度应以设备列的形式统计计算，并对不同运行模式分别计算不可用度。

1. 更换数据的采集

如果设备在采集时间段内进行过更换，则应将设备的更换情况采集下来，包括更换原因、更换后的供应商和更换数量。设备更换前后的运行数据都应当采集下来。如果更换前后的设备是一样的，可不提供。

1. 失效数据的采集

设备类或设备的失效判断标准需与核动力厂运行、检修人员讨论确定。具体可依照如下准则：

1. 设备丧失其既定功能；
2. 设备本身的震动、温度等监测参数超出其保护定值导致的设备停运；
3. 其他原因导致的设备停运或维修。

在采集失效数据时，为避免数据遗漏，应将设备在采集区间内所有可能是失效的样本都进行采集，然后再确定失效数据，失效统计准则见本文件第8章。设备失效数据包括失效发生时间、失效模式、失效次数。失效模式的判断可结合根本原因分析和失效模式功能定义进行。

1. 失效统计准则
   1. 失效模式定义

核动力厂在可靠性数据采集的过程中，需将每一个失效事件分配至具体设备类下的具体失效模式，为后续的失效统计奠定基础。

表2给出了PSA中常用的典型失效模式，可以为核动力厂将失效事件分配至具体失效模式时提供参照。

表2 PSA中的典型失效模式定义

| 序号 | 失效模式 | 编码 | 定义及应用范围 |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 内漏 | IL | 设备内部出现泄漏。 |
| 2 | 外漏 | EL | 存储液、气、汽体的设备边界不能保持完整。 |
| 3 | 拒开 | FO | 设备未能运动到开启位置，与“拒关”相反。 |
| 4 | 拒关 | FC | 设备未能运动到闭合位置。适用于闭合是该设备完成功能必须环节的设备；阀门为“拒关”；对于接触器为“拒合”。 |
| 5 | 误动作 | SA | 设备在没有要求的情况下改变状态，如阀门的误动作。 |
| 6 | 运行中卡死 | FA | 设备未能运动到一个要求的新位置，如调节阀门未动作到位。只适用于调节阀。 |
| 7 | 运行失效 | FW | 非转动设备在处于运行时产生的没必要继续分类的失效。 |
| 8 | 启动失效 | FS | 当要求启动时设备不能启动，适用于所有通过启动并连续运动（转动、移动）来实现功能的设备。 |
| 9 | 运转失效 | FR | 在要求的任务时间内，设备不能连续运转。适用于所有通过连续运转来完成其功能的设备。 |
| 10 | 堵塞 | GP | 非设备正常运行引起的，以任一方式阻止沿要求方向的流动。 |
| 11 | 功能丧失 | FF | 在要求的任务时间内，设备丧失其既定功能。 |
| 12 | 卡开 | FP | 设备开启后不能闭合。适用于安全阀，指阀门由于压力开启后不能闭合。 |
| 13 | 过水卡开 | FL | 设备开启后通过液体时不能闭合。 |
| 14 | 不能保持开 | FX | 在需求的时候不能保持开的状态，仅适用于常开止回阀。 |

* 1. 统计准则

设备可靠性数据的采集涉及到大量的核动力厂运行、维修和试验等原始记录。在采集过程中，数据采集人员应从覆盖采集时间范围的原始数据源中找出每个设备相关的运行、维修和试验失效记录。但是，并非所有的这些记录都在统计的范围之内，设备的原始数据记录在很大可能上与设备的失效模式是无关的。因此应该明确核动力厂设备的失效统计准则，这些准则包括：

1. 对经过设计改进或工程改造的系统或设备，改进前的部分历史数据有可能不再适用，一般情况下应将改进前的数据记录从统计结果中剔除，但这会降低样本空间，所以需要研究设计改进或工程改造是否会导致所有的相关记录都不可用；
2. 在数据记录统计中，应区分降级和失效。对于事件报告对部件相关记录描述不清晰的情况，应研究确定是否为失效；严重程度不足以使设备丧失其功能的降级不应包含在设备失效的统计之中；
3. 启动失效可以分为需求失效和备用失效模型。在需求失效模型中，设备已经处于待运行状态，但是因为某种原因，当对其有需求时，未能启动或改变状态。在备用失效模型中，当响应需求时，设备已经处于一种未知的阻止其启动的状态，使得设备未能启动。一般情况下，在处理原始数据记录时，很难判断设备在需求时发生失效或在需求之前发生失效。在这种情况下两种失效模型均可以使用，对于采用需求失效模型，应采集需求次数，对于采用备用失效模型，应采集备用时间；
4. 应统计备用设备在非计划需求期间的运行记录；
5. 对于由于支持系统的失效而导致的设备失效，应将失效事件分配至对应的支持系统；
6. 如果失效是由试验、维修后的人员差错所引起的，则这类事件不应该包含在设备硬件失效统计中。这些事件通常采用人员可靠性分析方法来进行处理量化，但需统计由于人员间接差错造成的设备失效（例如：不当维修、保养或设备错装）；
7. 应将同一设备在短时间内的连续失效视为同一个失效事件。另外，应将设备在维修后再鉴定试验中发生的失效，按照初始失效的延续来处理，不再统计该失效；
8. 如果设备边界内包括冗余部分，并且冗余部分的失效不会导致设备整体的失效，则在失效统计中不应该计入冗余部分的失效（例如：如果柴油发电机设备边界中有两个冗余的部件，这两个冗余部件是为了完成同一功能，则在不影响柴油发电机整体功能的情况下发生的某一冗余部件的失效，不应该计入柴油发电机的失效统计之中）；
9. 假如在试验中或实际需求时发生的失效在紧接着的尝试中不再重复发生（例如：短时间内再次启动尝试等），则其不应该被包含在失效统计中；
10. 对于定期试验下由于保护信号导致的设备失效，应判断保护信号在事故工况下是否被隔离，对于已经被隔离的信号导致的失效不应计入失效事件中。
11. 数据采集的质量保证
    1. 人员要求

核动力厂设备可靠性数据的采集是一项专业性较强的工作，负责人员应具备如下条件：

——需熟悉核动力厂的系统和设备，并了解可靠性的基本概念；

——能够对设备失效数据进行识别和判断，并确定失效模式；

——需具备从核动力厂各原始数据源获取数据的权限和能力。

核动力厂宜积极开展可靠性基础、可靠性数据采集方面的培训工作，保证设备可靠性数据采集的人员投入。

* 1. 数据采集结果的确认、校核和审定

数据采集结果的确认、校核和审定是确保采集质量所必须的。在数据采集工程师初步完成采集工作的基础上，核动力厂宜组织有丰富运行、维修和设备管理等工作经验的专家开展对初步采集结果的确认、校核和审定工作，重点是按照本文件8.2节的失效统计准则对所确定的设备失效事件进行审查。对于有异议的采集结果应根据核动力厂原始数据源重新进行判断和统计。

核动力厂可在本厂PSA报告编写单位的支持下进行数据采集结果的确认。

1. 上报设备可靠性数据采集结果

高温气冷堆核动力厂应按照本文件的要求，定期向国家核安全局提交可靠性数据采集结果，包括表3“设备失效事件记录”、表4“设备可靠性数据统计结果”和表5“安全重要系统列不可用情况统计”的纸质版文件和可编辑电子版文件。

高温气冷堆核动力厂在首次上报数据时应对与表1“设备类与设备边界定义”不一致处进行详细说明。

高温气冷堆核动力厂可不提交原始数据记录，但应对原始数据记录给予适当保存，以便于追溯和复查。

高温气冷堆核动力厂在上报设备可靠性数据时应说明设备样本数量，包括总数量和各设备类样本数量。

高温气冷堆核动力厂在统计安全重要系统列不可用度数据时应统计功率运行工况与LPSD工况的所有试验和维修不可用数据，在上报数据时应说明不可用数据对应的核动力厂运行模式或（POS）；安全重要系统列不可用数据的报送范围应至少包括：

1. 舱室冷却系统
2. 压力容器支承冷却系统
3. 蒸汽发生器事故排放系统
4. 一回路压力泄放系统
5. 应急柴油发电机组
6. 一回路隔离系统
7. 设备冷却水系统
8. 厂用水系统
9. 屏蔽冷却水系统
10. 反应堆厂房负压排风系统

表3 设备失效事件记录

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 事件主题 | 所属  核动力厂 | 所属机组 | 事件概述 | 事件来源 | 失效设备 | 失效模式 | 所属设备类 | 恢复时间  （若有） |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

表4 设备可靠性数据统计结果

| 序号 | 设备类 | 失效模式 | 失效次数 | 总的需求次数/运行时间（小时） |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 电动泵 | FS：启动失效 |  |  |
| FR：运转失效 |  |  |
| 2 | 电动隔离阀  （水回路） | FO：拒开 |  |  |
| FC：拒关 |  |  |
| FA：运行中卡死 |  |  |
| SA：误动作 |  |  |
| 3 | 阻压阀 | FO：拒开 |  |  |
| FC：拒关 |  |  |
| FA：运行中卡死 |  |  |
| SA：误动作 |  |  |
| 4 | 电动隔离阀  （蒸汽回路） | FO：拒开 |  |  |
| FC：拒关 |  |  |
| FA：运行中卡死 |  |  |
| SA：误动作 |  |  |
| 5 | 电动隔离阀  （氦气/空气回路） | FO：拒开 |  |  |
| FC：拒关 |  |  |
| FA：运行中卡死 |  |  |
| SA：误动作 |  |  |
| 6 | 电动调节阀  （给水回路） | FO：拒开 |  |  |
| FC：拒关 |  |  |
| FA：运行中卡死 |  |  |
| SA：误动作 |  |  |
| 7 | 电动调节阀  （蒸汽回路） | FO：拒开 |  |  |
| FC：拒关 |  |  |
| FA：运行中卡死 |  |  |
| SA：误动作 |  |  |
| 8 | 吸收球落球装置 | FO：拒开 |  |  |
| SA：误动作 |  |  |
| 9 | 电磁阀 | FO：拒开 |  |  |
| FC：拒关 |  |  |
| FA：运行中卡死 |  |  |
| SA：误动作 |  |  |
| 10 | 弹簧式安全阀 | FO：拒开 |  |  |
| FP：卡开 |  |  |
| SA：误动作 |  |  |
| FL：过水卡开 |  |  |
| 11 | 先导式安全阀 | FO：拒开 |  |  |
| FC：拒关 |  |  |
| SA：误动作 |  |  |
| 12 | 止回阀 | FO：拒开 |  |  |
| FC：拒关 |  |  |
| FX：不能维持开 |  |  |
| 13 | 手动阀 | FO：拒开 |  |  |
| FC：拒关 |  |  |
| 14 | 应急柴油机 | FS：启动失效 |  |  |
| FR：运转失效 |  |  |
| 15 | 组合式开关设备（GIS） | FO：拒开 |  |  |
| FC：拒关 |  |  |
| SA：误动作 |  |  |
| 16 | 中低压断路器 | FO：拒开 |  |  |
| FC：拒关 |  |  |
| SA：误动作 |  |  |
| 17 | 主氦风机断路器 | FO：拒开 |  |  |
| FC：拒关 |  |  |
| SA：误动作 |  |  |
| 18 | 停堆断路器 | FO：拒开 |  |  |
| 19 | 高压母线 | FW：运行失效 |  |  |
| 20 | 中低压母线 | FW：运行失效 |  |  |
| 21 | 蓄电池组 | FW：运行失效 |  |  |
| 22 | 整流器 | FW：运行失效 |  |  |
| 23 | 逆变器 | FW：运行失效 |  |  |
| 24 | 继电器 | FW：运行失效 |  |  |
| 25 | 过滤器 | GP：堵塞 |  |  |
| 26 | 氦净化系统特殊设备 | GP：堵塞 |  |  |
| 27 | 换热器 | GP：堵塞 |  |  |
| IL：内漏 |  |  |
| EL：外漏 |  |  |
| 28 | 水冷壁 | GP：堵塞 |  |  |
| EL：外漏 |  |  |
| 29 | 冷冻机组 | FS：启动失效 |  |  |
| FR：运转失效 |  |  |
| 30 | 水箱 | EP：外漏（承压） |  |  |
| EN：外漏（常压） |  |  |
| 31 | 储气罐 | FF：功能丧失 |  |  |
| 32 | 高压变压器 | FW：运行失效 |  |  |
| 33 | 中低压变压器 | FW：运行失效 |  |  |
| 34 | 流量传感器 | FW：运行失效 |  |  |
| 35 | 压力传感器 | FW：运行失效 |  |  |
| 36 | 温度传感器 | FW：运行失效 |  |  |
| 37 | 循环风机 | FS：启动失效 |  |  |
| FR：运转失效 |  |  |
| 38 | 空冷塔风机 | FS：启动失效 |  |  |
| FR：运转失效 |  |  |
| 39 | 氦气压缩机 | FS：启动失效 |  |  |
| FR：运转失效 |  |  |
| 40 | 空气压缩机组 | FS：启动失效 |  |  |
| FR：运转失效 |  |  |
| 41 | 控制棒及驱动机构 | FF：功能丧失 |  |  |
| 42 | 母线自动切换开关 | FF：功能丧失 |  |  |
| SA：误动作 |  |  |
| 43 | 静态开关 | FF：功能丧失 |  |  |
| SA：误动作 |  |  |
| 44 | 湿度传感器 | FW：运行失效 |  |  |
| 45 | 中子注量率传感器 | FW：运行失效 |  |  |
| 46 | 主氦风机变频器 | FR：运转失效 |  |  |
| FF：功能丧失 |  |  |

表5 安全重要系统列不可用统计结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 核动力厂 | 机组 | 系统 | 设备列名称 | 随机不可用时间 | 计划不可用时间 | 所处运行模式 | 所处POSs |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |