

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

团 体 标 准

T/CNEA XXXX—XXXX

核电厂设备可靠性数据采集技术导则

Guideline for equipment reliability data acquisition for nuclear power plants

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国核能行业协会 发布

目 次

前 言	II
引 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 采集对象	1
5 采集周期	2
6 采集过程	2
7 设备可靠性数据采集	2
8 失效统计准则	3
9 数据采集人员要求	4
10 设备可靠性采集统计结果	4
11 VVER 机组设备类划分	5

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。

本文件由中国核能行业协会提出并归口管理，技术支持单位为上海核工程研究设计院有限公司、核工业标准化研究所、苏州热工研究院有限公司。

本文件起草单位：江苏核电有限公司、生态环境部核与辐射安全中心、中国核电工程有限公司、中核核电运行管理有限公司、中机生产力促进中心有限公司、上海核工程研究设计院股份有限公司。

本文件主要起草人：顾晓慧、李友谊、郎锡野、赵芑菲、于文革、孙扬、依岩、安瑾、陈洪浩、孟少朋、黄志超、郭依文、曹勇、初永越、谭坤、李乐、臧小川、杨健、余欢、杜东晓、邵舸。

本文件首次发布。

引 言

设备可靠性数据是国内核电厂设备管理、配置风险管理、维修有效性改进工作的必要输入条件，直接关乎核安全决策正确与否，且国家核安全局要求每个核电厂定期采集并报送可靠性数据，制定该技术导则是必要的。

核电厂设备可靠性数据采集技术导则

1 范围

本文件适用于核电厂设备可靠性数据采集工作，同样适用于核电厂改进维修有效性评价与管理（维修规则）的相关工作。本标准提供了VVER-1000堆型的设备类划分结果供参考，其他堆型的核电厂可参照应用。

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。

HAF 103 核动力厂调试和运行安全规定 2022

3 术语和定义

3.1 可靠性

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。

3.2 设备类

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。

3.3 失效

设备丧失了执行任何一种预定功能的能力。

3.4 降级

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。

3.5 失效模式

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）。

3.6 随机不可用

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。

3.7 计划不可用

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。

3.8 维修规则

改进维修有效性评价与管理的俗称。对核电厂构筑物、系统和设备维修活动进行有效性评价的规则体系，其实施的基本原则为：首先基于安全重要原则，确定适当的构筑物、系统和设备范围，纳入维修有效性管理。随后确定这些构筑物、系统和设备的风险重要类，结合其运行或备用的状态，制定适当的性能指标，并开展监测。核电厂运行中，定期对这些构筑物、系统和设备的实际运行情况进行评价，判定是否满足已制定的性能指标，并根据评价结果对维修策略进行优化调整。同时，对开展维修活动所引入的机组运行风险进行评估，必要时采取相应的预防措施。

4 采集对象

本导则的设备可靠性数据采集对象主要为核电厂概率安全评价模型中涉及的设备以及维修规则管理的设备。另外考虑到技术可行性，暂不对数字化仪控系统设备，例如卡件等，作专门要求。

5 采集周期

鉴于核电厂在安装调试期间的设备可靠性数据并不稳定，处于浴盆曲线的开始段，所以这期间的数据不宜采集，宜采集自满足商业运行条件以来的可靠性数据。

建立了维修规则体系的核电厂，应至少每个月，最佳时间为每周，对历史数据进行搜集整理。未建立维修规则体系的核电厂为了避免所有数据集中到一起采集，由于工作量的巨大可能不利于保障正确性，核电厂宜定期，例如每周或每月，对产生的电厂历史数据进行采集与分析，每年或每个换料周期整理与分析。

6 采集过程

设备可靠性数据的主要来源有隔离数据、状态报告、运行日志、定期试验报告和维修报告等。数据来源涉及到设备的运行、维修和试验等信息，需要对电厂运行、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。

设备可靠性数据的采集过程为：

步骤一：确定设备可靠性数据采集对象

根据本文件第4节的要求，设备可靠性数据的采集对象包括概率安全评价模型以及维修规则中涉及的设备。在采集之前应梳理好设备清单，避免遗漏。

步骤二：确定采集对象设备类

核电厂应确定设备类和设备边界的划分，并将步骤一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。

步骤三：确定需采集的设备可靠性数据

各设备类在概率安全评价模型以及维修规则中的所需要的数据可能是不同的。电厂应根据概率安全评价报告中的需求、维修规则运作的需求确定各设备类需要采集的数据。

步骤四：原始数据采集

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。

步骤五：统计各设备类的可靠性数据并填写设备可靠性数据采集表

根据本文件第10节要求统计并填写设备可靠性数据采集表。

7 设备可靠性数据采集

在概率安全评价模型中，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，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）：

$$\lambda = \frac{\text{某类设备在采集时间区间内运行失效次数的总和}}{\text{某类设备在采集时间区间内的运行时间的总和}}$$

需求失效概率P：

$$P = \frac{\text{某类设备在采集时间区间内需要其状态改变时其状态未能改变次数的总和}}{\text{某类设备在采集时间区间内需要其状态改变次数的总和}}$$

不可用度 P_1 ：

$$P_1 = \frac{\text{某设备在规定的可用时间内因维修或离线试验造成不可用时间的总和}}{\text{某设备规定的可用时间总和}}$$

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 P_1 ，在采集过程中，电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, 电厂需采集设备类累积运行时间。

(2) 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。

(3) 维修数据的采集

设备维修数据包括维修日期、维修时间和维修类型。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。

(4) 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。

(5) 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，可不采集。

(6) 失效数据的采集

设备类或设备的失效判断标准需与电厂运行、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。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。

8 失效统计准则

8.1 失效模式

核电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。下表给出了常用的典型失效模式，可以为核电厂将失效事件分配至具体失效模式时提供参照。

表 1 典型失效模式与定义

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、气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，如调节阀未动作到位。
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。

8.2 失效统计准则

设备可靠性数据的采集涉及到大量的核电厂运行、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程度上与设备的失效模式是无关的。因此应该明确核电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) 柴油发电机发生定期试验不合格，空转没有带负荷属于启动失效；已经启动并带负荷，升功率过程中失效属于运转失效。

9 数据采集人员要求

核电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：

- (1) 需熟悉电厂的系统和设备，并了解可靠性的基本概念；
- (2) 能够对设备故障数据进行识别和判断，并确定故障模式；
- (3) 需具备从电厂各原始数据源获取数据的权限和能力。

核电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。

10 设备可靠性采集统计结果

核电厂采集设备可靠性数据后,应形成统计性的可靠性数据采集结果,包括“设备失效事件记录”、“设备可靠性数据统计结果”和“安全重要系统列不可用情况统计”。

表 2 设备失效事件记录表

序号	事件主题	所属电厂	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)
1.	***	VVER	1	***	***	**	拒开		

表 3 设备可靠性数据统计结果

序号	设备类	统计样本量	设备类失效模式	失效次数	总的需求次数/运行时间	备注
1	**	1	**	3		

表 4 安全重要系统设备列不可用时间与总的需求时间表

电厂	机组	所属系统	设备列名称	要求可用时间 (h)	维修不可用时间 (h)
VVER	1	**	**	123	12

11 VVER 机组设备类划分

11.1 VVER 机组设备类清单

VVER机组与其他类型的机组在设备类的划分上不尽相同,划分如下。

表 5 设备类清单

序号	设备类	子类	编码
1.	220kV 辅助电网	220kV 辅助电网	AOP
2.	500kV 主外电网	500kV 主外电网	MOP
3.	停堆断路器	停堆断路器	RCB
4.	电动泵	应急注硼泵	AP-JDH
5.		低压安注泵	AP-JNG
6.		高压安注泵	AP-JND
7.		设冷水泵	AP-KAA
8.		喷淋泵	AP-JMN
9.		上充泵	AP-KBA
10.		辅助给水泵	AP-LAJ

序号	设备类	子类	编码
11.		应急给水泵	AP-LAS
12.		凝结水泵	AP-LCB
13.		补水泵	AP-LCU
14.		主给水泵	AP-LAC
15.		循环水泵	AP-PAC
16.		常规岛辅助冷却水泵	AP-PCC
17.		重要厂用水泵	AP-PEB
18.		EDG 工艺水泵	AP-PEK
19.		常规岛设备冷却水泵	AP-PGB
20.		EDG 冷却水泵	AP-PJK
21.		冷冻水泵	AP-QKM
22.	冷冻机	冷冻机组	AH
23.	变压器	6kV/0.4kV 变压器	TR
24.		24kV/6kV 变压器	TRB
25.		主/辅变压器	TRA
26.	储罐	储罐	TK
27.	传感器/变送器	中子通量传感器	SEN-CR
28.		电压传感器	SEN-CE
29.		功率传感器	SEN-FJ
30.		流量传感器	SEN-CF
31.		温度传感器	SEN-CT
32.		压力传感器	SEN-CP
33.		液位传感器	SEN-CL
34.		变送器	SEN-FU
35.	地坑	地坑	SP
36.	断路器/接触器/开关	0.4kV 断路器/接触器	SW1
37.		6kV 断路器/接触器	SW2
38.	发电机组	机组柴油发电机组	DG
39.		应急柴油发电机	EDG
40.	阀门	大气释放阀	BRUA
41.		调节阀	RG
42.		二回路电动阀	VM2

序号	设备类	子类	编码
43.		旁路排放阀	BRUK
44.		稳压器安全阀	PRSV
45.		一回路电动阀	VM1
46.		主蒸汽安全阀	SV
47.		止回阀	VC
48.		大气释放阀前截止阀	VS
49.		主蒸汽阀	MSV
50.		主蒸汽隔离阀	MSIV
51.		风机	风机
52.	过滤器	过滤器	FL
53.	孔板	孔板	BP
54.	空调机组	空调机组	AC
55.	母线	中低压交流母线	BUS
56.		直流配电盘	DC
57.	逆变器	逆变器	IN
58.	热交换器	板式热交换器	HEP
59.		管式热交换器	HET
60.	蓄电池	蓄电池	BT
61.	整流器	整流器	RC

11.2 VVER 设备类定义

国内通常使用的设备类和 VVER 机组设备类之间的边界划分对照情况详见下表。

表 6 设备类边界划分对照表

序号	设备类	本项目设备类边界定义	与国家数据库设备边界对照
1.	电动泵	包括机械部分、电动机、耦合或变速箱、润滑油系统、冷却系统、电动机电源电路、开关、仪表和控制系统。	一致
2.	汽动泵	/	/
3.	柴油机泵	/	/
4.	电动阀	含阀门本体、阀门驱动装置（电机、联轴	一致

		器等)、断路器、控制回路和测量仪表。	
5.	气动阀	/	/
6.	电磁阀	/	/
7.	先导式安全阀	包括主阀门、脉冲阀、脉冲线路电源和脉冲阀控制仪表系统	一致
8.	弹簧加载式安全阀	/	/
9.	逆止阀	从阀门本体到其与其它设备相连接的第一道焊缝或法兰。主要装置：阀门本体	一致
10.	手动阀	含阀体和阀门操纵装置	一致
11.	应急柴油发电机组	包括柴油机、发电机、润滑油系统、空气供应系统、启动空气供应系统、励磁系统。	本项目未包括出口断路器
12.	其它柴油发电机组	包括柴油机、发电机、润滑油系统、空气供应系统、启动空气供应系统、励磁系统。	本项目未包括出口断路器
13.	小汽轮发电机组	/	/
14.	高压电路断路器	/	/
15.	中低压电路断路器	包括操作装置、驱动装置、传递设备、驱动电源电路、绝缘、电弧熄灭器、断路器控制链。	一致
16.	停堆断路器	含停堆断路器本身及其所包含的的子部件。	一致
17.	高压母线	/	/
18.	中低压母线	包括母线本体，导体部分、绝缘部分和支撑部分	一致
19.	蓄电池组	包括电池本体及其子装置	一致
20.	电池充电器	包括整流器本体，线路装置等	一致
21.	逆变电源	包括逆变器本体及其子装置	本项目未包括 RAM 设备类
22.	继电器	/	/
23.	过滤器	包括过滤器本体，测量控制装置等	一致
24.	旋转滤网	/	/
25.	地坑滤网	包括地坑滤网本体	一致

26.	孔板	包括孔板本体	一致
27.	板式热交换器	包括热交换器本体，测量装置等	一致
28.	管式热交换器	包括热交换器本体，测量装置等	一致
29.	水箱	包括水箱本体及其所包含的所有子部件	一致
30.	储气罐	/	/
31.	变压器	包括变压器本体，冷却装置，保护装置和通风装置等	本项目包括冷却装置、通风装置等
32.	流量传感器/变送器	包括传感器/探测器本身，信号传输装置等	一致
33.	液位传感器/变送器		
34.	压力传感器/变送器		
35.	温度传感器/变送器		
36.	转速传感器/变送器	/	/
37.	风机	包括机械部分、耦合、电动机、电动机电源电路、开关、仪表和控制系统、润滑或冷却系统	本项目包括断路器
38.	冷冻机组	包括压缩机、电机、电动机电源电路、开关、仪表和控制系统、润滑或冷却系统	本项目包括断路器
39.	空气压缩机组	/	/
40.	空气干燥器	/	/
41.	控制棒及驱动机构	包括控制棒、导向管、线圈、固定和活动棘爪、操作装置	一致
42.	爆破阀	/	/
43.	非能动氢气复合器	/	/
44.	氢气点火器	/	/
45.	空调机组	包括空调本体，冷却器/加热器、驱动装置、传动装置，冷却装置等，但不包括冷媒供应系统	一致