ICS 21.020

CCS F 63

|  |
| --- |
|  |

**T/****CNS**

中国核学会团体标准

T/CNS XXXXX—XXXX

|  |
| --- |
|  |

高温气冷堆核动力厂人员可靠性数据采集方法

Data collection methodology for human reliability analysis in high-temperature gas-cooled reactor（HTR）nuclear power plants

|  |
| --- |
|  |
| 本稿完成日期：2025年7月 |

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

中国核学会   发布

目  次

[前言 II](#_Toc196745194)

[1 范围 3](#_Toc196745195)

[2 规范性引用文件 3](#_Toc196745196)

[3 术语和定义 3](#_Toc196745197)

[4 人员可靠性数据采集的基本要求 5](#_Toc196745198)

[5 采集方法 6](#_Toc196745199)

[6 人员可靠性数据采集内容 7](#_Toc196745200)

[参考文献 12](#_Toc196745201)

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、清华大学核能与新能源技术研究院。

本文件主要起草人员： 田秀峰、蔡艺伟、张立伟、张艳辉、吴昊、袁睿。

高温气冷堆核动力厂人员可靠性数据采集方法

1. 范围

本文件规定了核动力厂人员可靠性数据采集活动的基本要求、内容、方法和过程等，作为核动力厂人员可靠性数据采集的程序性指南。

本文件适用于核动力厂运行机组、模拟机和运行事件报告中的人员可靠性数据采集，采集的数据可用于人员可靠性分析（HRA）、人员效能评估和提升、人机接口优化、规程优化、培训优化等活动。

1. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 20297 核电厂人员可靠性分析导则

GB/T 36625.3 智慧城市-数据融合-第3部分：数据采集规范

GB/T 31916.1 信息技术-云数据存储和管理 第1部分：总则

GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。



应激 stress

影响操纵员顺利完成任务的非预期情景或环境水平，包括精神压力、超负荷工作量、身体压力等。



规程 procedure

对作业、安装、鉴定、安全、管理等技术要求和实施程序所做的统一规定。

人机接口 human-system interface

系统的一部分，用于人与系统交互以完成他们的功能和任务

注1：系统指核电厂。

注2：在运行和控制中心，典型的人机接口有报警、显示、控制、规程（纸质的、计算机的）、通信等。

注3：在就地区域，典型的人机接口有就地控制盘/箱/柜、阀门、手套箱、出入口（设备上不同尺寸需要人局部或全身通过的开口）、规程（纸质的、计算机的）、通信、标识等。

[来源：GB/T 41145-2021，定义3.1.5]

事件 incident

事物在一定时期内发生的变化，或是一个实时发生的事情。通常指不期望或非计划发生的事情。可能有突发的情形和严重后果

[来源：NB/T 20489-2018，定义3.1]。

事件序列 event sequence

始发事件发生后，一系列事件（如系统、功能和操纵员响应）的成功或失败，并最终成功缓解或导致不希望后果的事件情景。一个事件序列有一个明确的终态。

人员可靠性分析 human reliability analysis

用于识别潜在的人员失误事件，并应用数据、模型或专家判断来系统的评估这些事件的发生概率的一种结构化方法。

[来源：NB/T 20297-2014，定义2.1.10]

1. 人员可靠性数据采集的基本要求
   1. 质量要求

对数据的质量控制应贯穿整个采集过程，应遵循但不限于以下原则：

1. 完整性：应包含数据规则要求的数据的必要元素；
2. 准确性：应真实反应数据所描述的实体和状态；
3. 一致性：应保证数据与其他特定上下文中使用的数据无矛盾；
4. 时效性：应保证数据发生变化后及时被更新；
5. 可访问性：应保证数据在需要时能被安全访问；
6. 可追溯性：应保证数据能够被跟踪和管理。
   1. 安全要求

人员可靠性数据采集的全过程应贯彻数据所属或主管部门的安全要求，包括但不限于：

1. 应按照GB/T22239-2019中对人员离岗、备份管理、无线接入、个人信息、通信传输、沟通合作等数据应用安全的相关要求；
2. 数据在整个采集、 转化、传输过程中应依据授权使用，不被非法冒充、窃取、篡改；
3. 应对数据采集环境、设施和技术采取必要的安全管控措施；
4. 应明确数据采集过程中个人信息和重要数据的知悉范围和安全管控措施，并采取必要的技术手段和管理措施保证数据不被泄露；
5. 应能够对数据采集过程进行安全审计及监测。
6. 采集方法
   1. 采集人员

人员可靠性数据采集应根据具体的工作任务和工作方法，组建相应的人员可靠性数据采集团队，团队成员可以是电厂内部人员、外部人员可靠性数据采集专家等。

* 1. 采集工具

DCS系统

DSC系统可采集运行过程中的实时数据，如果部分数据无法通过DCS获取，可对DCS系统进行适当升级。

模拟机数据采集软件

模拟机数据采集软件可辅助数据采集人员更高效快捷地记录规程的执行时间、机组状态变化、人员行为绩效等。

生理数据采集工具

生理数据可通过近红外光谱成像仪、脑电设备、多导生理仪、眼动仪等对人员的脑皮层氧水平、脑电、皮电、肌电、心电、眼动等数据进行采集，便于对人体及人员行为、人因失误有更加深入的分析。

量表、问卷、访谈工具

认知测试工具（如手眼协调测试、多任务追踪等）

其他（麦克风、摄像头、智能手环等）

* 1. 数据采集过程

数据源选择

根据需要采集数据的数据源类型（如：事件/状态报告、模拟机数据、实时运行数据等），确定数据源连接通讯的方式，明确采集范围及属性。可支持结构化数据和非结构化数据类型。

数据采集方式选择

数据采集按照GB/T36625.3-2021的规定进行，分为人工采集和系统采集两种，通过分析相关数据源类型，根据可操作性、成本导向等原则选定数据采集方式。

数据汇总

数据汇总按照GB/T36625.3-2021的规定进行，对采集的原始数据进行整理、清洗、转换、分析等处理，确保数据的完整性、准确性和时效性。

数据存储

可按照GB/T31916.1-2015的规定进行，处理后的数据存储应满足安全、高性能、高可靠、易管理等特征。

数据质量

数据采集周期内应保证数据的完整性、准确性、一致性、时效性、可访问性、可追溯性。

数据安全

数据采集周期内应按数据安全及安全控制要求，实现授权访问、可定加密、安全审计及监测等。



图1 人员可靠性数据采集过程

1. 人员可靠性数据采集内容
   1. 人因相关事件/状态报告数据

行为类型

对于人因事件选择人员行为类型：技能型行为（不完全依赖于给定任务的复杂性而只依赖于人员培训水平和完成该任务经验的行为）、规则型行为（由一组规则或程序所控制和支配的行为）、知识型行为（操作人员无现成的规程可循，必须依靠自己的知识经验进行分析、诊断和决策的行为）。

情景信息

对事件发生的情景，应记录的信息包括：事件序列、事件发生前后功率水平、诊断信号及信号出现时间、设备/部件和系统故障等。

操作人员行为时序

应记录操作人员的行为时序，如：取规程时间、诊断时间、操作时间、路径时间等。

规程路径/动作序列

宜尽量记录操作人员执行的规程路径或动作序列。

事件相关人员信息

对事件相关人员的信息进行记录，包括岗位、职责、姓名、年龄、工作年限、资质、换班信息等。

绩效水平

根据事件发生的情景和人员行为要求等，判断事件发生时的操作人员应激水平、经验/培训水平、职责适宜度、任务复杂程度、规程质量、工效学/人机接口质量。数据采集人员应提供绩效水平的判断理由。具体判断方法见附录A给出的示例。

设备的可达性

1. 房间是否有烟雾、水、火、辐射等；
2. 设备高度以及是否需要采用辅助装置（钢平台、梯子、脚手架）；
3. 操作空间是否充足；
4. 从主控区域到达就地设备的时间等。

设备的可操作性

1. 是否需要工具、需要工具类型；
2. 工具是否可用、取工具所需时长；
3. 设备是否容易维护、维护时长等。
   1. 模拟机数据

模拟机情景信息

应记录模拟机培训时的情景信息，包括培训初始情景、事件序列、诊断信号及信号出现时间、设备/部件和系统故障等。

操纵员行为时序

应记录操纵员的行为时序，如：取规程时间、诊断时间、操作时间、路径时间等。

规程路径/动作序列

宜尽量记录操纵员执行的规程路径或动作序列。

培训人员信息

对模拟机培训的教员和参培人员的信息进行记录，包括岗位、职责、对应人员姓名、年龄、工作年限、资质、倒班信息等。

观察事实

1. 对操纵员完成任务的评价：非常满意、满意、有偏差、不满意；
2. 操纵员完成任务的基本功分类：监视（电厂状态和参数）、控制（电厂工况演变）、保守（电厂运行决策）、团队（沟通合作）、知识（理解电厂设计和工程原理）；
3. 如配备有生理测量工具，可补充采集以下数据：
4. 操纵员应对非预期事件时的生理数据（如皮电、肌电、脑电、眼动等）；
5. 操纵员在处理故障或执行规程时脑力负荷（也叫心理负荷、精神负荷等，形容人在工作中的心理压力或信息处理能力）和应激反应的变化情况等。

绩效水平

1. 全局情景因子：工作负荷（单位时间内人体承受的工作量，包括体力工作负荷和心理工作负荷）、时间临界状态、交流的程度和其他方面等；
2. 识别警报：识别模式、报警盘状态、警报/指示变化的预期；
3. 监测指示状态：识别模式、变化幅度、报警/指示变化的预期；
4. 情景/问题理解：识别模式、熟悉程度、输出、信息集成、信息具体性、信息质量等；
5. 响应计划决策：决策基础、熟悉性、不确定性；
6. 操作：操作类型、位置、导则、恢复能力、信息具体性；
7. 交流和协调：交流驱动、方向等；
8. 人误问题与评分：人误恢复情况、人误对核电站的影响、改进措施和建议、相关文件等。
   1. 实时运行数据

运行数据应包括正常运行的场景参数、状态变化及与其相应的人员响应行为、非预期事件从开始到结束的关键环节及重要缓解措施等，此类数据可通过DCS获取。实时运行数据的类型有：

——信号名

——信号描述

——操纵员动作

——报警信息

——实时功率水平

——表征电厂工况状态的工艺系统参数及变量信息

——提示电厂工况或系统异常及事故的报警信息等

1. （资料性附录）  
   人员绩效判断方法参考

操作人员应激水平、经验/培训水平、职责适宜度、任务复杂程度、规程质量、工效学/人机接口质量的具体采集内容和判别理由如下所示：

1. 应激水平

影响操纵员顺利完成任务的非预期情景或环境水平，包括精神压力、超负荷工作量、身体压力等。

1. 复杂程度

在事件发生前操作人员执行任务的难度，应考虑完成任务和环境，智力需求和身体动作需求。

1. 经验/培训水平

针对事件发生前操作人员执行的任务，评价该操作人员的经验和培训水平。

1. 规程质量

完成任务所使用的正式操作规程。规程的问题比如：某种情境下，对于特殊的控制序列，规程信息错误或不完善、步骤不明确等。

1. 工效学/人机接口

操作人员在执行任务中与之交互的设备、画面、控制器、布置、仪表等可用信息的质量和数量、计算机软件的完善程度。

1. 职责适宜度

操纵员的身体和精神和执行任务需要的匹配程度。影响适宜度的因素包括：疲劳、病疾、药物使用（合法的和非法的）、过于自信、个人问题、精力不集中等。

表1 绩效水平判断标准

| **绩效因子** | **定义** | **绩效水平** | **判断标准** |
| --- | --- | --- | --- |
| 应激水平 | 指影响操纵员顺利完成任务的非预期情景或环境水平。 | 很高 | 当紧张性刺激因素突然出现且此种压力场景持续很长一段时间；这种压力水平也与感受威胁的程度（对身体健康、自尊或职业地位）有关。 |
| 高 | 同一时间段内出现大量的不可预见的仪表、警报器报警；持续的声音/噪声影响操纵员注意力；任务后果将威胁到电厂安全。 |
| 正常 | 在该水平下，可以确保人发挥较好的人员绩效。 |
| 复杂程度 | 指在给定场景下执行任务的困难程度。 | 高度复杂 | 很难完成，需要诊断和执行的任务很不明确，包含许多变量。如，需要较高的技能水平来完成不熟悉的维修任务。 |
| 中等复杂 | 存在一些难度，需要诊断和执行的任务有些不明确，包含少量变量。如，通过周期性的重复操作步骤来完成某一进程。 |
| 一般 | 执行无难度，诊断或操作行为相对清晰，只包括单个或很少量的变量。 |
| 易于诊断 | 时间充裕，诊断所需信息充分，诊断变得很简单。 |
| 经验/培训水平 | 指针对特定任务中，所包含的操纵员经验和培训水平。 | 低 | 少于6个月的经验或培训。 |
| 一般 | 大于6个月的经验或培训，操纵员熟悉日常运行知识，能够应对异常工况。 |
| 高 | 广泛的经验知识，能够使操纵员很好地应对各种可能的工况。 |
| 规程质量 | 指完成任务所使用的正式操作规程。 | 不可用 | 没有规程或规程不可用。 |
| 不完善 | 规程不含所需信息或缺少任务指令等。 |
| 可用，但质量较差 | 如格式问题、文本内容不明确或缺乏一致性。 |
| 一般 | 规程可用，能够提高人员行为绩效。 |
| 诊断/征兆导向规程（仅适用于诊断部分） | 诊断规程能够支持操纵员/班组正确地诊断事件；征兆导向规程提供了获取重要安全功能的途径，使运行人员维持电厂安全状态，而不需要正确诊断发生了什么事件。操纵员选用这类规程，将有效减少由于人员失误导致的负面结果。 |
| 工效学/人机接口 | 指设备、画面、控制器、布置、仪表可用信息的质量和数量、操纵员与执行任务的设备之间的交互作用。 | 缺失/误导 | 仪器/仪表不能支持诊断和诊断后的行为，或者仪器/仪表信息不准确；获取的信息无论如何均不可用。 |
| 差 | 电厂设计对任务完成有负面作用（如，标签差、较差的计算机界面）。 |
| 一般 | 电厂设计基本满足任务需求，但不能提高绩效或使得任务比预期容易完成。 |
| 好 | 电厂设计提供了必要信息，有助于提高绩效，减少错误几率。 |
| 职责适宜度 | 指操纵员的身体和精神是否满足执行任务的需要。 | 不适宜 | 由于疾病、其它身体或精神因素导致个人无法完成要求的任务。 |
| 不太适宜 | 个人能够完成任务，尽管人员绩效有负面影响，如过于自信、长时间工作疲劳、药后昏睡等。 |
| 一般 | 个人能够完成任务，无任何降低人员绩效的因素。 |



参考文献

[1] GB/T 36625.3-2021 智慧城市 数据融合 第3部分：数据采集规范

[2] GB/T 31916.1-205 信息技术 数据存储和管理 第1部分：总则

[3] NB/T 20297-2014 核电厂人员可靠性分析导则