核领域安全级（1E）传感器安装技术改进

商旺旺

中国电建集团核电工程有限公司

摘要：在核燃料循环设施后处理厂、核动力厂、研究堆以及核设施等核领域，电气设备有自己的核安全级别划分，即 1E 级和非 IE 级。其中，IE 级表示核级电气设备，属于核电最高级应急设备，在事故工况或者偏离正常工况的时候 1E 级设备必须能保证功能不失效，是核电厂的最高级别安全要求的设备。本文结合现场施工及行业规范标准，对核 1E 级传感器在不同核领域技术要求进行对比分析。

关键词：核燃料循环；设施；后处理厂；核动力厂；核（1E）传感器

在核行业领域内，传感器是根据核电厂的构筑物、系统功能以及部件功能等划分安全等级，不同等级传感器的质保等级、质检要求、抗震等级是不相同的，所以造成安装施工方案、验收要求也是不相同的。

1　核燃料循环设施后处理厂 1E 级传感器技术改进

1.1　专用 1E 级传感器技术改进

在核燃料生产、加工、后处理等领域，安全性始终是首要的考虑因素。在核燃料循环设施中，特别是后处理厂，临界事故报警仪和吹气装置是不可或缺的核安全设备。它们在保障核燃料循环设施的安全运行中发挥着至关重要的作用。

1.1.1　吹气装置

在核燃料循环设施的后处理厂中，吹气装置是液位、界面、密度等参数测量的常用工具。特别是在常压设备的测量中，吹气式仪表因其独特的测量方式被广泛使用。对于有压设备的测量，虽然也可使用其他类型的仪表，但吹气式仪表因其特有的安全性和可靠性，在采取必要的防反冲措施后，依然是一种理想的选择。

吹气装置的安装位置至关重要。其安装位置应高于测量点，尤其是在需要清洗解析的测量系统中，安装位置更应高于解析液的最高点，以确保测量的准确性和设备的安全。为了提高测量工作的效率和准确性，主工艺厂房内部的大量吹气式仪表装置应当被集中且合理地布置在专用的仪表廊内，同时，在规划仪表廊的位置时，必须周全考虑热室核设备室可能带来的影响，从而选取一个最为合适的高度。

此外，为了最大限度地减少管道的压损，对于同一个吹气式仪表而言，其吹气测量管的管径大小以及管道走向都应维持一致。

1.1.2　临界事故报警仪

在后处理设施中，涉及易裂变同位素的操作活动必须进行严格的核临界安全分析。当总量超过一定限值时，必须评价并安装核临界事故报警系统。这种报警仪能够有效地对现场区域的中子辐射剂量进行监测，并在发生临界事故时准确、及时地发出报警信号。

核临界事故探测系统的施工与安装必须严格遵守一系列相关标准和规范。如 GB/T 15146.9—1994《反应堆外易裂变材料的核临界安全》详细规定了反应堆外易裂变材料的核临界安全要求，以及临界事故探测与报警系统的性能标准与检验流程；GB/T 12787—1991《临界事故报警设备》与 EJ/T 20139—2016《后处理厂过程中环存量中子监测装置设计准则》则分别对后处理厂中钚存量监测装置的设计与安装设定了明确准则。这些标准和规范共同确保了核临界事故报警系统的精确度和可靠性，为核安全提供了坚实保障。

在后处理设施的特定作业区域内，针对任何涉及超过安全阈值的易裂变同位素操作活动，如操作总量超过 700 g 的 235U、520 g 的 233U、450 g 的 钚，或是这些同位素以任意形式组合的总量，都需进行深入的核临界事故报警系统必要性评估，这一步骤直接关系到设施内工作人员的安全以及环境的保护。

基于严格的核临界安全分析，后处理设施内所有被认定为高风险或关键性的区域，均需安装精密的仪表设备，以

持续监测易裂变物质的积累和存量，这些专业仪表的设计旨在即时响应任何可能的核临界事故前兆，从而有效预防事故的发生。在系统的施工与安装过程中，所有操作均须严格遵循一系列国家和行业标准，包括但不限于 GB/T 15146.9《反应堆外易裂变材料的核临界安全及临界事故探测与报警系统的性能及检验要求》、GB/T 12787—2020《临界事故报警设备》以及 EJ/T 20139—2010《后处理厂过程中钚存量监测装置设计准则》等，以确保系统的性能稳定、准确且可靠，为核设施的安全运行提供坚实的技术支撑。

1.2 通用 1E 级传感器技术改进

1.2.1 传感器安装位置布置

关于就地显示表的安装，务必高度重视其作业环境及操作便捷性。首要任务是确保安装地点光照充足，不仅便于日常操作，也有利于后续的维修工作。同时，需规避靠近任何可能的辐射源区域，以此预防设备因辐射影响而出现性能衰退或损坏。再者，为了日常维护和清洁作业的高效进行，应选择易于接近且便于操作维护的安装位置。针对用于测量放射性介质气体的压力压差变送器，其安装位置必须严格设定在取压点或设备管道系统中解析液最高点的上方。

这一布局策略能确保传感器测量数据的准确无误，并有效减轻放射性介质可能对设备造成的损害风险 [2]。在高辐射风险的红色与橙色区域内，对于需频繁操作的设备，其安装位置应精心规划，以便于实施远程操作。此举旨在缩减工作人员在高辐射环境中的暴露时间，从而大幅度降低他们遭受辐射危害的风险。

1.2.2 电缆敷设要求

若与热管道平行或交叉，需确保其与热管道保温外表面的净距达到规定要求。平行敷设时净距不少于 500mm，交叉敷设时净距不小于 200mm。对于冗余设备的电缆，应采取分开敷设的方式，以减少相互间的干扰。必须依据红区内的辐射强度情况，选用适当的过渡接头或弧形套管进行引出，并采取相应的封闭性防护措施以确保安全。当电缆需要穿越橙区、绿区、白区等不同安全等级区域的交界处时，必须严格执行封闭隔离措施，有效阻止放射性物质的扩散与泄漏。

1.2.3 接地要求

对于有抗干扰需求的电缆，为确保信号传输不受外界干扰，应采用屏蔽电缆或双绞线电缆。在接地处理上，电缆的屏蔽层和备用芯线需采取一端接地的方式，有效防止多点接地可能引起的电位差和干扰，保障信号质量 [1]。此外，仪表和控制系统的接地工作涵盖保护接地、仪表专用接地及计算机接地，它们的正确实施对于确保系统稳定运行、数据准确无误以及人员安全具有不可忽视的重要意义。

1.2.4 放射性区域仪表安装

在放射性区域内，用于测量放射性介质参数的一次表，其安装与布置需严格遵循防护规定。关键要求包括：有效封闭或限制放射性物质扩散，最大程度减少维修人员所受辐射剂量，同时确保设备易于清洁去污及拆装检修。此外，应将一次表的电子部件尽可能远离辐射源安装，以降低辐射对电子部件的损害，保障其稳定运行，确保测量数据的准确性。在放射性区内有辐射防护要求的一次表应安装在封闭防护设施内。这些设施可以有效隔离放射性物质，保护人员和设备的安全。而在非放射性区域内的一次表则应按照一般化工工程的要求进行安装和布置。

2 核动力厂及研究堆中 1E 级传感器技术改进

2.1 核动力厂及研究堆中 1E 级堆芯仪表技术改进

2.1.1 技术要求

电缆端接在技术要求上扮演着电力系统稳定运行的关键角色。特别是在处理堆顶电缆与堆芯底部电缆的端接密封时，采用高安全级别（1E 级）的电缆热缩管进行操作至关重要。这一举措确保了电缆连接的稳定性和安全性，有效减少了潜在的风险因素。

在冗余系统与仪表管路的敷设过程中，实体分割的要求必须得到严格遵守。这不仅保证了系统间的独立性，也确保了安全壳的密封完整性，从而维护了整个电力系统的稳定运行。

对于电气贯穿件和安全壳密封的安装，其调平、定位和准直工作必须准确无误，这关乎整个系统能否顺利运作。而安装后的各类检查也必不可少，例如，电缆与测量管线的精确定位与支撑、确保连接部位的紧密无漏，以及保持整体结构的灵活适应性等关键要素。这些细致的环节都体现了对质量与安全的追求。

2.1.2 试验要求

在电气试验方面，需对线路的连续性、接地、绝缘电阻和极性进行全面检查。同时，设备的各项功能及指示仪表、记录传感器等也应得到严格地测试与验证。此外，介质绝缘和耐压试验更是必不可少的环节，这直接关系到设备的正常运行与使用寿命。

在机械试验中，针对一回路边界上的承压设备，如堆芯仪表探测器组件及堆芯热电偶等关键组件，其密封性的检查尤为重要。这些设备需要在水压试验期间承受系统的设计压力，因此其性能的可靠性直接关系到整个电力系统的安全。

设备功能试验则是对系统进行全面测试的环节。从供电与断电测试到系统间的通信测试，再到与外部系统的通信测试，每一步都体现了对系统性能的严格把控 [3]。

在热态功能试验中，需要全面而细致地检查系统自身仪表的精确度和热工水力等关键参数的可靠性，确保它们

能够准确无误地反映系统状态。同时，也要高度关注从外部系统接收的参数信息的可靠性，确保整个系统信息的完整性和一致性。其中，堆芯仪表控制功能的检查被视为此环节的重中之重，因为它与电力系统的整体性能和稳定性息息相关，任何细微的偏差都可能对系统造成不可估量的影响。

在起动及临界前试验中，确认微型裂变室、热电偶、堆芯仪表等关键设备正确安装且运行良好，确保机组在反应堆装料后的各个阶段都能展现出优秀的综合性能。

2.2 核动力厂及研究堆等核设施通用传感器技术改进

2.2.1 传感器位置布置

传感器的安装位置应避免那些可能超出其环境耐受范围的区域，除非这些不利环境条件仅在非工作状态下才会出现。为确保传感器的安全，它们应被安装或封闭在能够有效防护物理损害、辐射暴露、低温冷冻等影响的区域内，且这些区域的环境条件及其变化速率均不应超出传感器在鉴定测试中所依据的标准。

对于支撑安全关键系统运作的冗余传感器配置，其布局需确保任何单一的可预见故障均不会妨碍整个系统的正常功能。与传感器相连的管道、毛细管及电缆同样需采取类似的环境隔离措施，以确保其稳定运行。在冗余传感器的安装中，两台传感器之间的最小表面距离应保持 450 mm，以减少相互干扰。理想情况下，冗余传感器应分别安装在独立的支撑结构上；对于非冗余传感器，它们可以共享同一安装结构。

然而，在必须将冗余传感器安装在同一结构上的情况下，必须精心规划，确保它们的维修通道互不冲突，从而保障维护工作的顺利进行。

2.2.2 电缆要求

在桥架铺设电缆和导线的过程中，或是当采用专门设计的连接电缆连接传感器与辅助设备时，必须使用低烟、无卤且具备阻燃特性的材料，以确保满足既定的设计要求。当电缆穿过接线盒、贯穿件及各类连接部件时，必须维持屏蔽层的连续性，以保障信号的完整性。在选用安装在端子板或导轨上的认证螺钉端子时，这些端子的额定值应至少为仪表信号电压和电流的两倍，以确保安全可靠的电气连接。推荐使用环形舌片接线端子，因其能提供更稳固的连接，而应避免使用可能带来连接不稳定风险的开式舌片端子。

2.2.3 接地要求

除非系统设计说明中明确指定了特定的接地部位，否则所有需要屏蔽保护的区域都应保持对地绝缘状态。屏蔽的接地处理应严格遵循系统设计说明中的明确指示，仅限于指定的位置进行。至于用于机械保护的外层编织或螺旋铠装层，它们不应被视为屏蔽层的一部分，因此在接地处理时不应考虑在内。

2.2.4 核电厂安全级重要仪表

在传感器的连接方式中，法兰连接型式设计允许使用专用法兰作为传感器与传感管线之间的可拆卸接口，同时不影响传感器的正常使用。对于需要频繁拆装的应用场景，锥形管螺纹作为可拆卸接头并不理想，而应选择直螺纹配件，并确保采用金属对金属密封或弹性密封，以保证其可靠性。传感管线的安装，除非是为仪表维修预留的可拆卸接头，否则应优先采用焊接管道及焊接配件进行连接。对于外径不超过 25 mm 的管道，卡套连接则更适合作为可拆卸接头的选择。

在线传感器的安装布局需考虑流体的流动路径。对于非安全一级的管道，推荐使用法兰与管道相连，便于更换和定期维护，并确保管道的自重不会直接作用于仪表上。若仪表的自重作用于不允许受力的管道部位，应增设辅助支撑结构来固定仪表。

在离线传感器的安装过程中，紧固件如螺栓、螺钉等需确保在化学和冶金方面与设备和周围环境相兼容，其力学性能应能承受所有预期的载荷，包括正常操作、结构振动以及地震载荷。安装结构件的材料必须能够承受设计环境因素的影响，例如，在腐蚀性喷淋环境中应避免使用铝材料。每个安装结构件应通过螺栓联接或焊接方式牢固地固定在其支撑结构上。对于需要固定在混凝土地板或墙壁上的安装结构件，可采用带锚的预埋钢板、膨胀螺栓、黏接或其他合适的固定方法。

3 结语

综上所述，核 1E 级传感器在核领域中扮演着至关重要的角色。不同核领域对 1E 级传感器的技术要求各不相同，但都强调了高精度、高可靠性、抗辐射性能等特点。在现场施工和设备制造过程中，必须严格遵守相关的行业规范和标准，以确保设备的性能和质量。只有这样，才能保障核设施的安全和稳定运行。

参考文献：

[1] 和定繁，代显忠，杨琼珍，等．一种带压力传感器的变电站接地线装设装置研制 [J]. 电力安全技术 ,2024,26(11):41-46.

[2] 胡锐，芮忠，董兴法，等．多传感器融合的智能电力系统设计与应用 [J]. 现代电子技术 ,2021,44(17):178-181.

[3] 吕国策．传感器在变电站通信控制系统中的应用研究 [J]. 科技传播 ,2015,7(18):70-71