

Research on Traceability Technology of Common Pollution Measurement Instruments in Nuclear Power Plants

Hai Zheng Xiaolong Wang Yelei Yin Zhuo Chen

Suzhou Nuclear Power Research Institute Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu, 215000, China

Abstract

This paper briefly introduce several types of situation where metering instruments are contaminated with radioactive substances in the control area of nuclear power plants, as well as the periodic traceability requirements for radioactively contaminated measuring instruments. By analyzing the measurement principles and characteristics of various radioactively contaminated instruments, the difficulties in tracing the values of radioactively contaminated instruments is studied. The control conditions for conducting traceability testing of radioactively contaminated measuring instruments in control zones of nuclear power plants is proposed which is based on the standard instruments, calibration process, and national calibration specifications requirements. By analyzing typical examples of commonly used radioactive contaminated measuring instruments such as pressure gauges, torque wrenches, targeted calibration strategies are proposed, the entire calibration process is designed to prevent radioactively contamination in calibration, and some design ideas for specialized calibration devices to prevent radioactive contamination are provided.

Keywords

nuclear power plant; control area; radioactively contaminated measuring instruments; value traceability

核电厂常见沾污计量器具的溯源技术研究

郑海 王晓龙 尹叶磊 陈卓

苏州热工研究院有限公司, 中国·江苏·苏州 215000

摘要

论文简要介绍了在核电厂热区内计量器具受到放射性沾污的几类情形, 以及现阶段沾污计量器具的周期性溯源需求。通过分析各类沾污仪表的测量原理与沾污特点, 研究其具有放射性污染后的量值溯源难点, 结合标准装置、校准过程及国家校准规范要求等, 提出热区内开展沾污计量器具溯源的前置管控条件, 对压力表、力矩扳手等常见沾污计量器具进行典型示例分析, 提出针对性的校准策略, 对校准全过程进行防沾污设计, 并提供一些专用防沾污校准装置的设计思路。

关键词

核电厂; 热区; 沾污仪表; 量值溯源

1 引言

核电厂热区内的辐射来源, 主要是一回路冷却剂从反应堆中带出的放射性核素及腐蚀活化产物。在热区内使用的在线监测仪表以及试验用计量器具, 在接触放射性物质后, 存在被沾污的可能。当热区内的计量器具需要开展周期性量值溯源时, 首先须通过辐射防护的检测, 如检测结果显示仪表未有沾污, 则运出热区送计量单位进行校准; 当仪表检测出被沾污后, 由专业部门进行去污处理, 若无法进行有效去污, 则不允许运出热区。

现阶段, 由于中国尚无成熟的用于校准沾污仪器的计量技术和设备, 部分仪表具有放射性之后, 无法通过常规计量工作进行周期性的量值溯源, 一旦超过溯源有效期后,

沾污仪表只能作为放射性物质进行保存管理, 等待衰变或报废。

2 概述

热区内沾污仪表的种类众多, 因其测量原理和使用方式的不同, 沾污位置和水平也各有特点。总体上, 主要有仪表外表面沾污和内部腔体沾污两种。仪表外表面的放射性沾污, 一部分是由于高温高压环境影响, 在设备外表面形成含放射性物质的致密氧化层, 另一种是设备表面所附着的含放射性的污垢、杂质以及较疏松的表面其他物质。内部腔体沾污主要是所检测的工艺系统中, 具有较高的放射性和松散污染, 与系统相连的后, 仪表内部管道可能会附着放射性杂质, 同时安装连接处外表面也可能附着放射性污垢。

如果按照现有的常规计量方法, 直接对沾污仪表开展校准, 操作过程中存在可能导致标准装置、试验环境和校准人员被交叉污染的风险。论文根据辐射防护监测情况及过往

【作者简介】郑海(1989-), 男, 中国浙江舟山人, 本科, 工程师, 从事核电计量检测研究。

经验,根据沾污仪表的测量原理、污染位置,结合国家校准规范的量值溯源要求,分析在校准过程中,可能存在的标准装置及人员交叉污染的风险点,并针对性地提出一些解决思路,如前置条件管控、专用防沾污测试装置设计、测试方案定制等手段。

3 常见沾污计量器具溯源难点及解决思路

3.1 先决条件

对于被沾污计量器具的溯源,一种可行的方法是在核电厂热区内设立计量校准实验室,将已溯源的计量标准装置,运送至热区校准实验室,在做好相应的防护措施下,对已沾污的仪表进行校准。被校准计量器具须在送检前进行去污,目的是尽量去除沾污计量器具的表面松散污染,达到可接受水平后,才能送至热区计量实验室。

热区实验室内的校准过程同外部实验室一致,应从人料法环等方面进行质量控制,以保障数据溯源的准确性。热区校准实验室温湿度等环境条件须符合相关检定/校准规范要求,内部进行分区设计,被检污染计量器具所存放区域,须按核电厂热区管理要求进行布置及标识。校准工作台应整洁有序,必要时在校准前进行辐射剂量测量,以避免因校准台面存在松散污染,导致标准器或人员沾污。扳手,连接线缆等辅助工器具应有明确标识,按是否与被检仪表直接接触,进行分区存放、分类使用。

校准作业过程首先应遵守核电厂热区内作业管理规定,每类校准项目应编制作业指导书,识别潜在沾污风险,规定操作步骤。校准人员除须取得所开展项目的资质外,须参加核电厂辐射培训考核,并取得热区内工作的相应授权。非全自动采集的校准工作,一般需两人以上执行,一人负责沾污仪表的连接与拆卸,一人负责标准设备的操作与数据记录,以避免交叉操作引入污染。

3.2 沾污压力类仪表的溯源难点及解决思路

核岛热区内的压力类在线监测仪表主要为压力表和变送器。从测量原理上看,无论是压力表,还是压力变送器,都是介入到系统中,由腔体内部元器件进行直接测量,当系统内部存在放射性松散物质时,其腔体内部很容易受到沾污,且很难进行去污处理。

压力表的示值校准是采用标准器示值与被校压力表的示值直接比较的方法,通过压力引压管,将压力控制器与待测压力仪表直接相连。以标准器选取电子压力计校准压力表为例,连接示意图如图1所示。将压力控制器与待测压力仪表直接相连。校准时,由电子压力计从零点开始均匀缓慢地加压至第一个校准点,然后读取被校压力表的示值,接着用手指轻敲一下压力表外壳,再读取被校压力表的示值并进行记录,如此依次在所选取的校准点进行校准至测量上限^[1],耐压3min后,再通过②标准器开关阀释放大压力,以及④

压力调节阀进行微调,依次逐点进行降压校准至零位。并通过泄压口释放管路的压力,完成压力下降的回程校验。

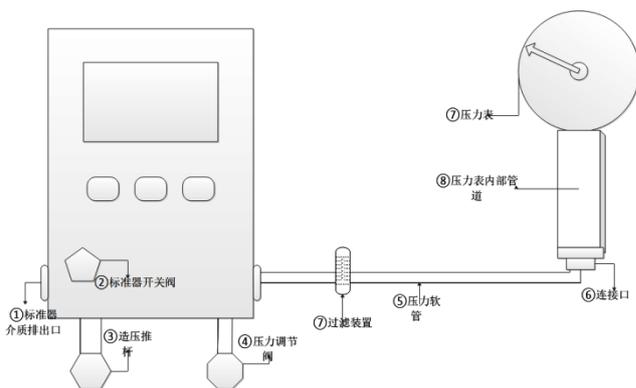


图1 常规压力仪表校准示意图

因核电热区内压力类仪表所监测参数和安装位置的特殊性,可能在外表面的松散污染和仪表内部引压管路的松散污染,按既有常规校准方法开展校准,会存在标准器及人员沾污风险,主要溯源难点如下:压力表引压管内部的松散沾污会在校准泄压过程中,随介质流动方向,回流至标准器中,导致标准器腔体内污染。即使配备油液分离器等装置,也无法完全隔绝;压力管路连接时可能导致标准器接触污染;在校准的回程测量及泄压排空过程中,校准用气体介质对空释放,对人员、标准装置及场地存在沾污风险。当校准介质为水时,校准完毕后管道余压的排放,只能通过拆卸连接用转接头进行排空,因管道内有一定压力,水即从转接头处溢出,无法恰当收集校准介质,存在校准试验台及人员的沾污风险。

根据上述分析可能存在的风险,以校验用介质为气体作为示例,提供一种解决思路。鉴于在泄压过程中,松散放射性颗粒随介质回流标准装置的风险,考虑将泄压模块前置,置于压力控制器主机与被校仪表之间,即在回程降压校验过程中,从前置第三通道直接泄压,泄压过程介质不再回流通过主标准器。而正向加压时仍由压力控制器主机提供压力。

考虑前置泄压模块在使用后可能被沾污,为便于标准器周期送检,泄压模块与主控制器间可考虑模块化设计,后续只需拆卸后送检主控制器部分。对于校准气体介质的最终排放,考虑先用高效过滤器进行吸附,并对排放的介质进行有效收集,避免直排至空气中。设计校准装置示意图如图2所示。

为避免连接和拆卸过程中的交叉污染,与沾污压力仪表直接接触的扳手、转接头等工器具,均应有明确标记,按规定对应使用并分区存放。连接用引压管路,其各端口也应有明显标记区分,连接时接口一一对应,不得混用。

因部分压力仪表为单引压口设计,为避免被沾污仪表

腔体内部未清理干净,校准装置可设计预清洗功能,在校准前对腔体进行预清洗,最大限度地减少污染风险。

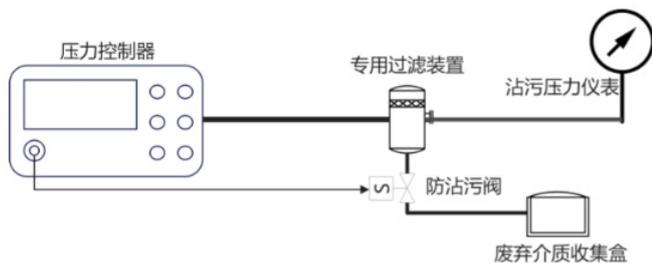


图2 压力标准器防沾污校准示意图

3.3 沾污力学类仪表的溯源难点及解决思路

核电厂热区内常用的力学类仪表主要有扭矩扳子,液压扳手等。根据既往经验,扭矩扳子的沾污位置主要在工作头和扳子手柄,液压扳手的污染位置主要在工作头、反作用支撑护脚以及液压油缸内的液压油。

以沾污情况更为复杂的液压扳手为例,液压扳手工作系统主要由液压扳手及相应的油路和液压扳手指示器组成,工作时由油泵对液压扳手供油,液压扳手对施力体施加扭矩,通过与液压扳手相连的模拟式指示器直接或间接指示所施加的扭矩值^[2]。在校准安装中,须将沾污液压扳手的扭转轴与标准装置的测量轴同轴串接^[3],液压扳手的反力杆与液压扳手检定仪的挡块平行接触,面积一般应大于2/3。通过被校仪表沾污位置及校准过程的分析,沾污液压扳手在溯源过程中主要存在两类风险:一是因标准力传感器与被校仪表直接接触,造成表面接触污染的风险;二是液压泵供压管道中的液压油与扳手油缸内油共用油回路,导致标准器内部腔体污染的风险。

鉴于上述风险分析,需要对校准用标准装置及辅助配件进行改进设计。如对液压扳手与标准器相接处进行防沾污转接设计,增设热区内专用转接模块,避免直接接触,所设计几何尺寸及材质应满足相应要求。重新设计测试逻辑,改变供压方式,内部油回路供压可采用二次增压设计,使校准用油进行物理分隔,避免造压介质交叉污染。此外,可通过软硬件集合,实现校准装置液压泵的压力自动控制、扭矩值采集的全自动测试,减少人员直接接触。全自动液压扳手校准装置组成示意图如图3所示。

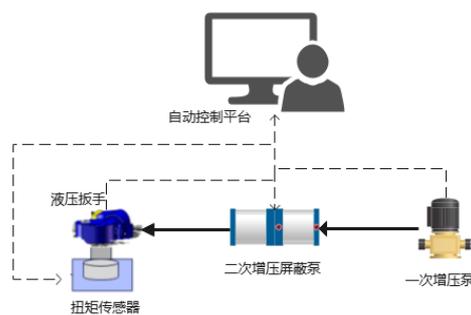


图3 全自动液压扳手校准装置组成示意图

4 结语

随着核电运行机组的增多,每年因无法校准而报废的仪表逐渐增加,造成电厂成本的上升,同时也积累了大量带放射性的报废仪表。为提升沾污仪器的周期使用率,减少设备采购和固废处理成本,保障核电厂热区内测量参数的准确可靠,完善测量活动的闭环管理,亟待大幅提升热区内沾污仪表的溯源能力。

不同类型的测量仪表,应根据其沾污水平与沾污位置的差异,结合其量值溯源过程特点,制定针对性的校准策略。通过研制专用防沾污校准装置,设计专用校准方法,校准条件前置管控等措施,以期降低或避免计量校准器和校准人员受交叉污染的概率,并确保测试数据可溯源至国际单位制或国家基准,目前较为可行的手段主要有物理隔离,非接触测量,机械手控制等。

随着测量技术水平的进步,以及信息化技术在计量校准/检测领域的深化应用,远程计量,在线计量、全自动计量等技术手段不断丰富。核电厂热区内沾污仪表的量值溯源,也将通过先进计量技术的应用,逐步优化校准方案,解决现有溯源难题,降低校准过程的人员受照剂量与交叉污染风险。

参考文献

- [1] 屠立猛,胡安伦,周春龙,等.JJG52—2013弹性元件式一般压力表、压力真空表和真空表检定规程[S].国家质量监督检验检疫总局,2013.
- [2] 谭斌,李浩,黄云鹏.JJG(新)16-2014 液压扭矩扳手表检定规程[S].新疆维吾尔自治区质量技术监督局,2014.
- [3] 李涛,张智敏.JJG707—2014扭矩扳子检定规程[S].国家质量监督检验检疫总局,2014.