

C 核电厂放射性固体废物储存间剂量率高报警原因分析

孙涛

大亚湾核电运行管理有限责任公司, 广东 深圳 518000

摘 要： C 核电厂采用 DCS（集散控制系统）系统设计有数字化报警，用于操纵员对机组状态监视和事故干预处理。当机组出现故障报警时需要操纵员及时查找原因消除报警。本文阐述 C 核电厂放射性固体废物储存间放射性剂量率高报警从产生到原因的查找，报警原因分析，以及采取具体措施，最终消除报警，恢复系统正常运行。使得 C 核电厂安装时一个隐蔽性的问题得以被发现并得到纠正，确保核电站机组的安全运行。

关 键 词： DCS 系统；放射性；固体废物；计量率；辐射监测

C Analysis of The Reasons for High Dose Rate of Radioactive Solid Waste in Nuclear Power Plant

Sun Tao

Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract： C nuclear power plant adopts DCS (distributed control system) system design with digital alarm for the operator to monitor the unit status and accident intervention. When the unit has a fault alarm, the operator needs to find the cause and eliminate the alarm in time. This paper describes the search from the occurrence to the cause of the high radioactive dose rate alarm in the radioactive solid waste storage room of C nuclear power plant, the analysis of the alarm cause, and the concrete measures to eliminate the alarm and restore the normal operation of the system. A hidden problem in the installation of the C nuclear power plant can be discovered and corrected, ensuring the safe operation of the nuclear power plant units.

Keywords： DCS system; radioactivity; solid waste; measurement rate; radiation monitoring

引言

自从 C 核电厂商运以来，主控室一直存在 8KRT508KA（固体废物处理系统 3 号树脂槽 γ 剂量率 2 级报警）和 8KRT509KA（固体废物处理系统 2 号树脂槽 γ 剂量率 2 级报警）。根据现场反馈，报警原因为固体废物处理系统 2、3 号树脂槽所在房间真实剂量率高，报警卡要求，需在 L8TES003BA（固体废物处理系统 3 号罐）固化完毕后报警消除。该报警是 C 核电厂的顽疾，报警长期存在影响主控对报警的监视，当房间的剂量率变化时无法再次确认。由于 C 核电厂是新电厂固体废物储存量不高，真实剂量率不高，不应该出现该报警，所以需要查清楚报警产生的根本原因^[1]。

一、风险描述

（一）主控电站计算机信息和控制系统（KIC）出现的报警，根据报警类型操纵员要及时响应，如果是状态报警长期存在影响主控操纵员的监盘，如果状态报警过多易漏看一些重要的异常报警。

（二）如果辐射监测系统 8KRT508/509KA 报警属于异常报警，需要及时响应查找报警原因，定位故障点，及时消除故障。

（三）如果是现场放射性真实高，超出规定范围需要及时处理，导致人员装桶时受到过量剂量照射^[2]。

二、原理及分析

（一）原理

1. 放射性废物的收集

在各种放射性废物的产生场所就地分类收集，以不同的接收方式和输送设备将各种废物分门别类集中到暂时贮存设施中。通常首先将废物按其物理状态分成液体、固体和气体废物，还可进一步按废物比活度或放射性浓度、分成高、中、低放射性水平的废物，简称高、中、低放废物。对某些特殊放射性核素也应单独分类收集，如含氚废物、超铀废物见超铀元素等^[3]。

作者简介：孙涛（1983.6-），男，汉，宁夏银川市，大亚湾核电运营管理有限公司，工程师，研究生，研究方向：工商管理（MBA）。

2.放射性废物的固化

为了安全贮存，减少对环境的污染，须将放射性废液或其浓缩物转化为固体。放射性废物固化的基本要求是：固化体的物理化学性能稳定，有足够的机械强度，减容比大，在水中的浸出率低；操作过程简单易行，处理费用低等。针对不同类型的废物可采用不同的固化方法。

3.放射性废物的贮存

未经固化处理的放射性废液和浓缩物以及尚未选定最终处置方案的固化体等放射性废物，都应在固定地点贮存在专用的容器中，贮存过程中要注意安全，不能使放射性废物泄漏。对贮存比活度高、释热量大的高放废液的贮罐有特别严格的要求：材料要耐腐蚀，结构要牢固可靠，设有通风散热装置、检漏系统和料液转运装置等，并须进行监测。

（二）具体分析

1.辐射监测系统报警8KRT508/509KA简述

辐射监测系统报警8KRT508/509KA分别属于辐射监测仪表（8KRT511MA）测量固体废物处理系统（8TES）3号树脂槽 γ 剂量率2级报警和辐射监测仪表（8KRT508MA）测量固体废物处理系统8TES 2号树脂槽 γ 剂量率2级报警，报警定值均为 $2.5 \times 10^3 \mu\text{Gy/h}$ ，报警出现的后果均为：剂量率增加导致固体废物装桶时产生可以预见的困难^[4]。

2.分析过程

（1）报警出现原因可能有以下原因

- 1）固体废物放射性剂量率真高，导致报警出现；
- 2）相关的辐射监测探头或探测回路故障导致报警出现；
- 3）报警设计定值与现场真实放射性差异过大，导致报警出现；
- 4）其他异常原因导致。

（2）固体废物放射性真高原因查找

某核电基地A、B、C三个核电厂中，C核电厂固体废物储存8TES 2/3号树脂槽对比A核电厂和B核电厂固体废物量不多，但是每次出现报警后就需要移除固体废物，由于公司对固体废物的处理有要求：需要存储在规定时间和积累到规定的产量，而且有考核指标，如果固体废物产量不高，尽量不提申请将其移除他处。

实际剂量偏高的原因首先是2012年之前C核电厂固体废物处理系统（TES）不可用，导致积压了部分废物，另外，由于受废液处理系统储存罐（8TEU001/002BA）混流器和低性能树脂的影响，废液处理系统除盐床（8TEU001/002DE）处理效率不佳，导致2012年、2013年C核电厂放射性浓缩液产量较正常运行状态超出很多，所以2013年产生的部分废树脂只能在2014年、2015年逐步处理。但是固体废物的总量在可接受范围^[5]。

其次，某核电基地A、B、C三个核电厂的固体废物处理系统储存罐（TES002/003BA）的运行上有区别，A核电厂和B核电厂核固体废物处理系统储存罐（TES002BA）接低放射性树脂，固体废物处理系统储存罐（TES003BA）接高放射性树脂；C核电厂是混合接收，所以两个罐子都是高放射性储存罐。原因为C核电厂固化的配方不一样，咨询服务部门相关人员得知，C核电厂运行模式不可能恢复到另外两个核电站的运行模式。查询A核电

厂和B核电厂过去的辐射监测报警记录，A核电厂最近几年没出现过辐射监测仪表KRT508/511MA报警，B核电厂的辐射监测仪表KRT511MA在接收高放树脂后会出，最近一次是2013年12月接受化学和容积控制系统除盐床（RCV002DE）树脂时，后来由于衰变实测值低于一级报警，经手动复位报警消失；辐射监测仪表KRT508MA很少出报警^{[6][7]}。

（3）仪表部门检查电厂辐射监测仪表KRT探测回路及探头可能异常分析：

经过出票校验辐射监测仪表8KRT508/511MA探测回路及探头本身，结果合格。根据仪表人员反馈，A核电厂和B核电厂辐射监测仪表KRT508/511MA探头在固体废物处理系统储存罐（TES002/003BA）房间位置与C核电厂基本一致。

辐射监测仪表8KRT508/511MA从2012年运行至今，其中8KRT508MA平均值为 $1.67 \times 10^4 \mu\text{Gy/h}$ ，8KRT511MA平均值为 $3.77 \times 10^4 \mu\text{Gy/h}$ ，两块仪表的实际测量值均高于二级报警值 $2.5 \times 10^3 \mu\text{Gy/h}$ 。

（4）报警设计定值与现场真实放射性差异过大，分析讨论修改定值：

三个核电厂报警设计定值对比分析：C核电厂辐射监测报警8KRT508KA对应辐射监测仪表8KRT 511MA探头，测量固体废物处理系统3号树脂 γ 剂量率2级报警辐射监测报警8KRT509KA对应辐射监测仪表8KRT 508MA探头，测量固体废物处理系统2号树脂 γ 剂量率2级报警，三电站报警定值相同。如表1所示：

表1 KRT508/511MA三个核电厂对比表

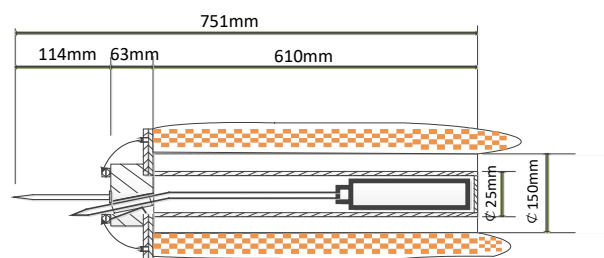
报警	探头	A核电厂二 级报警定值 / $\mu\text{Gy/h}$	B核电厂二 级报警定值 / $\mu\text{Gy/h}$	C核电厂二 级报警定值 / $\mu\text{Gy/h}$
固体废物处理系统3号树脂槽 γ 剂量率2级报警 KRT508KA	辐射监测仪表 KRT511MA	2.5×10^3	2.5×10^3	2.5×10^3
固体废物处理系统2号树脂槽 γ 剂量率2级报警 KRT509KA	辐射监测仪表 KRT509MA	2.5×10^3	2.5×10^3	2.5×10^3

现场测量固体废物处理罐8TES002/003BA房间固体废物的放射性真实高，与辐射监测仪表8KRT509/511MA的显示一致。

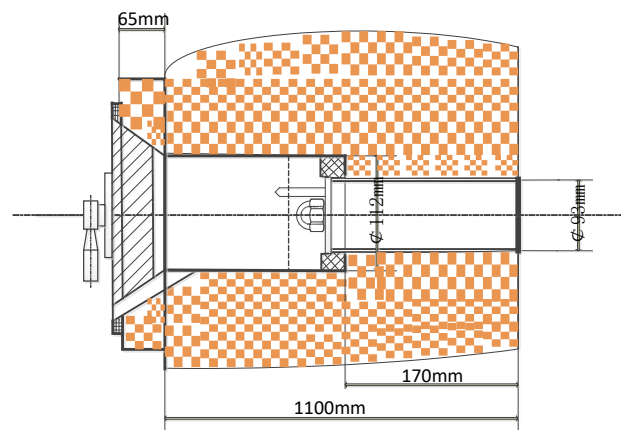
经过与核电厂多个专业部门讨论，解决方案有2个：方案一、将固体废物清理，受到固化指标的限值无法清除；方案二、通过修改报警定值消除报警（房间放射性真实高，报警长期存在失去监视意义）。后来决定采用方案二，通过提工程服务申请（ESR）执行修改报警定值的方式消除报警。但由于三个核电站的定值均一致，申请理由不符合核电厂要求，此方案行不通。此时陷入僵局，又回到了起始点。显然，这两个报警的出现是有问题的，但是根本原因仍未找到。从运行情况来看无法找到原因，于是决定从设计、安装方面开始查找原因^{[8][9]}。

首先，检查固体废物处理罐8TES002/003BA的材质及放射

性的屏蔽性能,查阅设计安装手册,B核电厂与C核电厂都是相当于304L的材质,A核电厂的材质未能找到,但通过对比其罐子的厂家以及结构图信息,判断是和B核电厂材质都采用的304不锈钢,且三个核电站罐子的厚度都是5mm,对放射性的屏蔽效果应该不会有太大的区别,排除了固体废物处理罐材质及放射性的屏蔽性能;接着检查三个核电站固体废物处理罐房间墙壁的壁厚是一致的;然后再检查辐射监测的测量探头的设计、现场安装情况,测量探头安装在一个金属套管内(某核电基地A、B、C三个核电厂也是一样的),金属套管内壁的材质和套管底部的材质、厚度均一致;最后写通知单核对现场实际探头与孔洞的安装距离,发现与A核电厂和B核电厂安装一致;测量探头在孔洞内的位置至固体废物处理罐的距离,C核电厂比A核电厂和B核电厂多深入了500mm以上。具体对比如图一、图二所示:



> 图一: A核电厂和B核电厂辐射监测仪表KRT508/511MA安装简图



> 图二: C核电厂辐射监测仪表8KRT508/511MA安装简图

三、结语

通过历时近一年的查找和分析,排除了C核电厂辐射监测报警8KRT508/509KA的对应的测量仪表无异常和故障;确认了固体废物处理罐8TES002/003BA所在房间的放射性剂量是真实存在,且与A核电厂和B核电厂相比实际固体废物量略多一些,但在合理可以接受的水平,但放射性固体废物的剂量率并没有超标^[10]。

C核电厂辐射监测报警8KRT508/509KA产生的根本原因是辐射监测探头的安装距离过于接近所要测量的固体废物处理罐,导致辐射监测仪表直接测量固体废物处理罐,与实际的设计原理不符。后续经厂家核实、确认后,调整设计、安装,与A核电厂和B核电厂保持一致,实施改造后,辐射监测仪表定期检验合格,C核电厂辐射监测报警8KRT508/509KA报警未在出现。至此,C核电厂这一顽疾最终得到了纠正。

参考文献

- [1] 谢荣荣,李峰,朱杰,等.我国核电运行与退役产生放射性废物回顾与发展[J].核安全,2024,23(03):45-50.DOI:10.16432/j.cnki.1672-5360.2024.03.013.
- [2] 唐辉,谷洪,刘佩,等.城市放射性废物库区域 γ 剂量监测系统的设计[J].核电子学与探测技术,2023,43(05):1014-1020.
- [3] 王兴华,侯铁钢,王学思,等.放射性废物暂存库安防及废物桶自动运输系统的设计探讨[J].产业与科技论坛,2022,21(22):38-40.
- [4] 陈超,邵明刚,陈春燕,等.某城市放射性废物库退役的辐射影响评价[J].同位素,2023,36(01):35-42.
- [5] 李元岗,刘颖,苏晓书,等.城市放射性废物库辐射环境影响研究[J].环境科学与管理,2023,48(02):173-178.
- [6] 罗晶,喻亦林.云南城市放射性废物库建设、运维与辐射环境监测分析[J].辐射防护,2023,43(S1):111-122.
- [7] 姚建新,王侃,王娟,等.我国城市放射性废物库运行实践探讨与展望[J].中国环保产业,2022,(10):64-67.
- [8] 刘首正,张子伯,宋金田,等.浅谈放射性废物治理的方法与思路——以辽宁省旧城市放射性废物贮存库为例[J].新农业,2021,(08):92-93.
- [9] 日本拟修改法律允许放射性废物出口[J].国外核新闻,2021,(09):18.
- [10] 王兴春,张焰.法德企业签订放射性废物返还合同[J].国外核新闻,2021,(09):19.