

核电站流出物监测仪的校准

黄 鸿 章文华

(秦山核电公司安防处, 海盐, 314300)

阐明核电站流出物监测仪的校准方法和初级校准与次级校准的转换关系, 并就这种方法的合理性和可行性以及传递误差进行了简单的讨论。

关键词 核电站流出物 初级校准 次级校准 传递系数

核电站流出物监测仪的校准, 存在两个基本问题。第一, 系统正常运行期间, 需要对仪表进行定期校准, 校准方法必须易于实施; 第二, 国家标准 GB7165-1/37 等文件要求对流出物监测仪的初始校准应使用相应状态的标准源进行。

为此, 工作中考虑了两步校准。首先用气态源和液态源对仪表进行初级校准, 求得仪表对初级源的灵敏度。其次, 用适合于现场在线校准的一套固体源, 对仪表进行次级校准, 求得仪表对固体源的灵敏度。通过上述两个“灵敏度”, 求得它们之间的传递系数。利用该传递系数, 在现场即可求出仪表对初级源的灵敏度。但这里要提及的是, 对次级校准源的要求, 必须在几何位置上与求传递系数时的保持一致, 以保证校准的可重复性。同时还要求与初级校准源有相近的能量。

秦山核电站使用气态流出物监测仪和液态流出物监测仪。本文就气态和液态监测仪的校准工作进行阐述。

1 气态流出物监测仪的校准

以高架排放低 γ 惰性气体监测仪为例, 由于它的监测对象主要为 ^{133}Xe , 因此就用 ^{133}Xe 气体源作为初级校准源, 选 ^{241}Am 固体源作为次级校准源。校准操作分为以下两个步骤。

1.1 仪表的初级校准

1) 探测器的结构和相对位置应与仪表在现场安装时一致, 并按要求连接各部件, 仪表选择适当的工作参数, 使装置投入运行。

2) 在天然本底条件下, 测得仪表的一组本底计数率, 并求出平均值 \bar{n}_b 。

3) 测得一组(4个)不同浓度 ^{133}Xe 气体源的计数率, 并求得平均值 \bar{n}_{1i} 。同时应注意按照由低浓度到高浓度的顺序进行, 以减少对气体回路的污染, 影响测量准确度。

4) 测得一组(3个)不同活度 ^{241}Am 固体源的计数率, 并求得平均值 \bar{n}_{2i} 。

收稿日期: 1993-10-20 收到修改稿日期: 1993-12-16

5)用公式 $S_{1i} = (\bar{n}_{1i} - \bar{n}_b)/C_i$ 分别求出仪表对不同浓度 ^{133}Xe 气体源的响应,其中 C_i 为气体源放射性浓度,并求出仪表对气体源的平均响应(即灵敏度) $S_1 = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 S_{1i}$,单位为 $\text{min}^{-1}/(\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1})$,即 $1/(\text{Bq}\cdot\text{min})$ 。

6)同样,可求出 $S_2 = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 S_{2i}$,单位为 $\text{min}^{-1}/(\text{Bq})$ 。其中 $S_{2i} = (\bar{n}_{2i} - \bar{n}_b)/A_i$, A_i 为固体放射性活度。

7)利用 S_1 及 S_2 求出传递系数 K

$K = S_1/S_2$,单位为 $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}/\text{Bq}$,即 l^{-1} 。其物理含义为每单位固态放射性活度(Bq)所相当的气态放射性浓度($\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$)。

1.2 仪表在安装现场的校准

1)在确定仪表正常工作的高压及放大倍数后,需确定仪表的甄别阈。由于该仪表监测对象主要为 ^{133}Xe (光电峰能量为 0.081 MeV),因而在选择固体源时用了 ^{241}Am (光电峰能量为 0.059 MeV)。为提高仪表的探测效率,用以下方法确定阈值:测出仪表对 ^{241}Am 的微分谱,并在谱中找出光电峰位 0.059 MeV,在峰位和康普顿平台之间可以找到一个谷点,我们就以该点所对应的电位作为仪表的工作阈值。

2)求得仪表对固体源 ^{241}Am 的灵敏度 S_2 。

3)利用 K 值求出仪表对 ^{133}Xe 的灵敏度 S_1 。

4)求出 S_1 后,可得到仪表现场安装后的指标:最低可探测下限,最大可探测浓度等。

5)在最后需测得的有关参数如仪表现场本底、分辨时间等求出并输入计算机后,仪表在现场的调试工作即告完成,仪表可投入正常运行。

2 液态流出物监测仪的校准

液态流出物监测仪的校准方法与气态排出流监测仪的比较后,可以认为除了以下2点之外基本相同。以 T_3 的低放水监测仪为例,可作如下说明:

1)初级校准源用 ^{137}Cs 液体源,次级校准源用 ^{137}Cs 固体源。同时,测量固体源时,取样回路中应充满除盐水;

2)阈值的确定。由于低放水监测仪用来监测取样水中 γ 放射性能量在 0.1 MeV 以上的放射性浓度,因而在确定阈值时用 ^{241}Am (0.059 MeV)、 ^{137}Cs (0.662 MeV)及 ^{60}Co (1.17、1.33 MeV)3种核素画出仪表的能量线性关系,然后取对应于 0.1 MeV 能量点的电位值,以该值作为仪表的阈值工作点。

3 传递系数 K 值误差的讨论

对于一组初级源响应 S_{1i} 及灵敏度 S_1 ,可以得到仪表对初级源灵敏度的最大相对误差 E_1 :

$$E_1 = |S_{1i} - S_1|_{\max}/S_1 \quad (1)$$

同理,可以得到仪表对次级源灵敏度的最大相对误差 E_2 :

$$E_2 = |S_{2i} - S_2|_{\max}/S_2 \quad (2)$$

因而,传递系数 K 值的最大误差 E 为:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \quad (3)$$

由于灵敏度的测量方法,该误差实际包括了仪表本身的误差、统计涨落的误差等,因此根据国际 GB7165-1/87 号文件,对气态和液态放射性流出物连续监测设备的相对固有误差为 $\pm 20\%$ 。下面通过表 1 的一组测量数据,来看传递系数的误差是否符合要求。

以高架排放低 γ 惰性气体监测仪为例。

表 1 灵敏度计算

Table 1 Calculation of sensitivity

| | $S_{1i}/10^8 \cdot l \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$ | $S_{2i}/10^{10} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$ |
|-----|--|---|
| | 1.617 | 1.102 |
| | 1.713 | 1.027 |
| | 1.759 | 1.027 |
| | 1.783 | |
| 平均值 | 1.724 | 1.052 |

故 $S_1 = 1.724 \times 10^8 \text{ min}^{-1} / (\text{Bq}^{-1} \cdot l^{-1})$; $S_2 = 1.052 \times 10^{10} \text{ min}^{-1} / \text{Bq}^{-1}$

则 $E_1 = 5.9\%$ $E_2 = 5.0\%$; $E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = 7.7\% < 20\%$

由此可从得到的数据看到, $E = 7.7\%$ 。因此用次级源来传递仪表对流出物放射性浓度的灵敏度是符合国家标准的,因而是可行的。

THE CALIBRATION OF EFFLUENT MONITORING ASSEMBLY FOR NUCLEAR POWER STATION

HUANG HONG ZHANG WENHUA

(*Safety and Radioprotection Department of Qinshan Nuclear
Power Company, Haiyan, 314300*)

ABSTRACT

The calibration method of effluent monitoring assembly for nuclear power station, and the relation between the primary and the secondary calibration are described. The reasonableness and feasibility of the method and error of transfer coefficient are discussed briefly

Key words Effluent of nuclear power station Primary calibration Secondary calibration
Transfer coefficient