

海阳核电站周边地区水中总  $\alpha$  和总  $\beta$  放射性水平李海亮<sup>1,2</sup>, 陈英民<sup>1</sup>, 许家昂<sup>1</sup>, 李全太<sup>1</sup>, 邓大平<sup>1</sup>, 毕明卫<sup>1</sup>中图分类号: TL75<sup>+</sup>1 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2011)04-0455-02

**【摘要】** 目的 调查山东海阳核电站周边地区水中总  $\alpha$ 、总  $\beta$  放射性水平。方法 采用饱和厚度相对测量法测量水中总  $\alpha$ 、总  $\beta$ 。结果 地表水枯水期总  $\alpha$ 、总  $\beta$  平均活度浓度分别为 0.21 Bq/L、0.49 Bq/L, 丰水期 0.084 Bq/L、0.22 Bq/L; 饮用水(主要是地下水)枯水期总  $\alpha$ 、总  $\beta$  平均活度浓度分别为 0.18 Bq/L、0.61 Bq/L, 丰水期 0.22 Bq/L、0.49 Bq/L。结论 山东海阳核电站周边 30 km 范围内水中总  $\alpha$ 、总  $\beta$  平均活度浓度均未超出《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)规定的总  $\alpha$ 、总  $\beta$  放射性限值。

**【关键词】** 水; 总放射性; 海阳核电站

山东海阳核电站采用美国西屋公司开发的 AP1000 第三代核电技术, 于 2010 年 3 月正式动工, 计划 2014 年投入运行发电。AP1000 运用非能动的安全系统, 目前世界上尚未有建成的 AP1000 反应堆在运行。

山东海阳核电站位于山东省烟台市辖海阳市留格庄镇董家庄村(冷家庄和董家庄原址), 东北有乳山湾; 西南有凤城港; 东部和南部面临广阔的黄海。厂址距海阳市留格庄镇约 9.7 km(厂址 NW ~ NNW 方位); 距凤城街道办事处约 12.5 km(厂址 W 方位); 距海阳市市区直线距离约 21 km(厂址 WNW 方位)。厂址附近有白沙河、东村河、留格河、东五龙河等河流。东村河(流域面积 184 km<sup>2</sup>, 河长 35.0 km)上游建有里店水库, 该水库为中型水库, 距厂址直线距离 28 km, 总库容 2 483 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>, 兴利库容 1 510 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。留格河(流域面积 322 km<sup>2</sup>, 河长 31.0 km)上游建有盘石水库, 该水库为中型水库, 距厂址直线距离 23 km, 总库容 1 370 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>, 兴利库容 945 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。盘石水库考虑作为核电厂用水水源地, 里店水库是海阳市饮用水备用水源地<sup>[1]</sup>。

本研究属于核电站周边地区水中的放射性基线调查, 是为了掌握该地区水中放射性的本底水平, 为快速初判可能发生的核与辐射突发事件及时上报信息提供基础数据。

## 1 材料和方法

**1.1 仪器设备** BH1216 II 型低本底  $\alpha$   $\beta$  测量装置, 饱和厚度相对测量法, 样品用量为 2.00 L, 测量盘面积: 3.14 cm<sup>2</sup>, 样品源的有效厚度: 63.7 mg/cm<sup>2</sup>。刻度源镭-241(中国计量科学研究院, 参考日期: 2006.3.6): 总  $\alpha$  效率为 1.4%; KCl(分析纯): 总  $\beta$  效率为 27.4%。化学回收率为 80%。

**1.2 样品采集** 根据核电站的源项特征和放射性三废排放的主要特点和敏感地区可能受污染的情况, 参考气象条件以及人口分布等因素确定采样点布设如下: 核电站周边 10 km 内 4 方向, 每个方向布 1 个采样区, 每个采样区内设 3 个采样点, 每个采样点采集 1 个样品, 共 12 个样品; 30 km 内 2 个方向, 每个方向布 1 个采样区, 每个采样区内设 3 个采样点, 每个采样点采集 1 个样品, 共 6 个样品; 丰水期和枯水期各采集 1 次, 共采集样品 36 个。样品采集方法参照国标 GB5750.2-2006<sup>[2]</sup>的要求进行。

**1.3 水样品的处理** 按照 GB5750.13-2006<sup>[3]</sup>的要求进行。

取经沉淀过滤的水样 2.00 L 于 5 L 的烧杯中, 加入 6 N 盐酸适量, 蒸发至约 200 ml, 小火蒸至 50 ml 左右, 转移至已恒重的瓷蒸发皿中, 小火慢慢蒸干。冷却后, 逐滴加入 1:1 硫酸, 用大火加热至不冒黑烟, 再放入高温炉内灼烧 1 h(温度为 430 ± 10℃), 在空气中冷却后放入干燥器内冷却 0.5 h, 恒重后称量。

**1.4 样品的测量** 参照 GB5750.13-2006<sup>[3]</sup>的要求进行。

### 1.4.1 总 $\alpha$ 放射性计算公式

$$A = K \cdot N \cdot S \cdot M \quad \Delta = \pm \sqrt{\frac{N_1}{T_1} + \frac{N_2}{T_2}}$$

式中  $A$  为样品总  $\alpha$  活度浓度(Bq/L);  $K$  为测量装置的探测系数(Bq/g 样/cph);  $N \cdot S$  为样品净计数率;  $\Delta$  为测量误差(cph);  $N_1$  为样品测量总计数率(cph);  $N_2$  为本底计数率(cph);  $T_1$  为样品测量时间(h);  $T_2$  为本底测量时间(h);  $M$  为水样残渣总质量(g)与所量取水样体积(L)的比值。

### 1.4.2 总 $\beta$ 计算公式

$$A = \frac{(n_1 - n_2)}{\eta \cdot W} \quad \Delta = \pm \sqrt{\frac{n_1}{t_1} + \frac{n_2}{t_2}}$$

式中  $A$  为总  $\beta$  活度浓度(Bq/L);  $n_1$  为水样残渣计数率(cps);  $n_2$  为本底计数率(cps);  $\eta$  为计数效率(4 $\pi$ );  $M$  为每升水样浓集烘干后的灰重(g/L);  $W$  为测量时所用水样残渣质量(g);  $t_1$  为样品测量时间(s);  $t_2$  为本底测量时间(s);  $\Delta$  为样品测量计数误差。

## 2 结果

山东海阳核电站周边地区水中总  $\alpha$ 、总  $\beta$  测量结果列于表 1 和表 2。

**2.1 总  $\alpha$  放射性水平** 从表 1 可以看出, 地表水总  $\alpha$  平均活度浓度枯水期为 0.21 Bq/L, 丰水期为 0.084 Bq/L, 枯水期大于丰水期。从表 2 可以看出, 饮用水(主要是地下水)总  $\alpha$  平均活度浓度枯水期为 0.18 Bq/L, 丰水期为 0.60 Bq/L, 丰水期大于枯水期; 在丰水期数据中, 如果排除高家庄的 3.32 Bq/L, 则平均值为 0.22 Bq/L, 与枯水期相当。地表水枯水期与地下水总  $\alpha$  平均活度浓度相当, 大约是黄河水系山东段水中总  $\alpha$  平均活度浓度  $2.11 \times 10^{-2}$  Bq/L<sup>[4]</sup> 的 10 倍, 长江水系总  $\alpha$  平均活度浓度  $6.9 \times 10^{-2}$  Bq/L<sup>[5]</sup> 的 3 倍, 低于国家《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)规定的总  $\alpha$  放射性限值 0.5 Bq/L<sup>[6]</sup>。

从波动范围来看, 本次调查的地表水总  $\alpha$  活度浓度波动枯水期在 0.021 ~ 0.837 Bq/L, 丰水期在 0.022 ~ 0.405 Bq/L, 最高值出现于乳山河的样品; 地下水总  $\alpha$  活度浓度波动枯水期在 0.062 ~ 0.477 Bq/L, 最高值出现于桃源村的样品, 丰水期在 0.076 ~ 3.32 Bq/L, 最高值出现于高家庄的样品。相对于黄河水系山东段总  $\alpha$  范围  $(0.5 \sim 4.7) \times 10^{-2}$  Bq/L<sup>[4]</sup>, 长江水系总

基金项目: 卫生行业科研专项(200802018); 山东省科技攻关项目(2011GSF12006)

作者单位: 1 山东省医学科学院放射医学研究所, 山东 济南 250062; 2 中国原子能科学研究院, 北京 102413

作者简介: 李海亮(1974~)男, 山东安丘人, 助理研究员, 博士生在读, 研究方向: 辐射监测与评价。

$\alpha$  范围( 1.1 ~ 27.4)  $\times 10^{-2}$  Bq/L<sup>[5]</sup> ,本次调查结果高于前两者的水平。从最高值的比较来看 ,也高于土耳其某花岗岩附近的地表水总  $\alpha$  波动范围( 0.009 ~ 1.64) Bq/L<sup>[7]</sup>。丰水期高家庄地下水中的总  $\alpha$  是其他样品总  $\alpha$  平均活度浓度的 100 倍 ,是导致平均值偏高的主要原因。

表 1 山东海阳核电站周边地区地表水总  $\alpha$ 、总  $\beta$  测量结果

序号	采样地点	水样来源	总 $\alpha$ 浓度( Bq/L)		总 $\beta$ 浓度( Bq/L)	
			枯水期	丰水期	枯水期	丰水期
1	东村河 1	河水	0.075 $\pm$ 0.016	0.022 $\pm$ 0.013	0.180 $\pm$ 0.009	0.284 $\pm$ 0.014
2	东村河 2	河水	0.021 $\pm$ 0.026	0.051 $\pm$ 0.024	0.284 $\pm$ 0.015	0.253 $\pm$ 0.020
3	留格庄河 1	河水	0.059 $\pm$ 0.015	0.058 $\pm$ 0.013	0.219 $\pm$ 0.011	0.039 $\pm$ 0.006
4	留格庄河 2	河水	0.110 $\pm$ 0.019	0.042 $\pm$ 0.011	0.174 $\pm$ 0.010	0.156 $\pm$ 0.008
5	乳山河 1	河水	0.492 $\pm$ 0.096	0.405 $\pm$ 0.073	1.50 $\pm$ 0.060	0.557 $\pm$ 0.036
6	乳山河 2	河水	0.837 $\pm$ 0.186	0.030 $\pm$ 0.019	1.29 $\pm$ 0.103	0.172 $\pm$ 0.017
7	盘石水库	水库水 <sup>1)</sup>	0.034 $\pm$ 0.009	0.023 $\pm$ 0.008	0.117 $\pm$ 0.006	0.157 $\pm$ 0.007
8	里店水库	水库水 <sup>2)</sup>	0.079 $\pm$ 0.018	0.043 $\pm$ 0.019	0.146 $\pm$ 0.010	0.164 $\pm$ 0.014
范围			0.021 ~ 0.837	0.022 ~ 0.405	0.117 ~ 1.50	0.039 ~ 0.557
平均值			0.21 $\pm$ 0.30	0.084 $\pm$ 0.13	0.49 $\pm$ 0.56	0.22 $\pm$ 0.15

注:1) 核电站生活用水水源; 2) 海阳市备用水源地。

表 2 山东海阳核电站周边地区饮用水总  $\alpha$ 、总  $\beta$  测量结果

序号	采样地点	水样来源	总 $\alpha$ 浓度( Bq/L)		总 $\beta$ 浓度( Bq/L)	
			枯水期	丰水期	枯水期	丰水期
1	凤城黄家村	自来水 地下井水	0.274 $\pm$ 0.057	0.133 $\pm$ 0.038	1.165 $\pm$ 0.040	0.986 $\pm$ 0.033
2	高家庄	地下水 井水	0.238 $\pm$ 0.083	3.32 $\pm$ 0.151	3.07 $\pm$ 0.089	2.92 $\pm$ 0.042
3	东迟格庄	地下水 井水	0.084 $\pm$ 0.029	— <sup>1)</sup>	1.85 $\pm$ 0.038	— <sup>1)</sup>
4	大辛家村	地下水 井水	0.154 $\pm$ 0.040	0.200 $\pm$ 0.051	0.099 $\pm$ 0.022	0.120 $\pm$ 0.022
5	留格庄村	自来水 水库水	0.129 $\pm$ 0.034	0.102 $\pm$ 0.029	0.108 $\pm$ 0.016	0.412 $\pm$ 0.022
6	乳山寨寨中村	自来水 地下井水	0.062 $\pm$ 0.024	0.480 $\pm$ 0.098	0.148 $\pm$ 0.018	0.198 $\pm$ 0.035
7	桃源村	自来水 地下井水	0.477 $\pm$ 0.091	0.376 $\pm$ 0.049	0.534 $\pm$ 0.045	0.355 $\pm$ 0.019
8	梁家村	自来水 地下井水	0.088 $\pm$ 0.030	0.138 $\pm$ 0.048	0.600 $\pm$ 0.027	1.02 $\pm$ 0.042
9	海阳市区	自来水末梢水	0.071 $\pm$ 0.027	0.076 $\pm$ 0.028	0.414 $\pm$ 0.024	0.364 $\pm$ 0.023
范围			0.062 ~ 0.477	0.076 ~ 3.32	0.099 ~ 3.07	0.120 ~ 2.92
平均值			0.18 $\pm$ 0.14	0.60 $\pm$ 1.10	0.89 $\pm$ 1.00	0.80 $\pm$ 0.92

注:1) 该采样点丰水期未采集样品。

2.2 总  $\beta$  放射性水平 从表 1 可以看出 ,地表水总  $\beta$  平均活度浓度枯水期为 0.49Bq/L ,丰水期为 0.22 Bq/L ,枯水期大于丰水期。从表 2 可以看出 ,饮用水( 主要是地下水) 总  $\beta$  平均活度浓度枯水期为 0.89Bq/L ,丰水期为 0.80Bq/L ,枯水期与丰水期大致相当; 如果排除高家庄数据 ,则枯水期平均值为( 0.61  $\pm$  0.61) Bq/L ,丰水期的平均值为( 0.49  $\pm$  0.36) Bq/L ,也大致相当。地表水与地下水总  $\beta$  平均活度浓度相当。以枯水期饮用水( 主要是地下水) 总  $\beta$  平均活度 0.61 Bq/L 来看 ,大约是长江水系总  $\beta$  平均活度浓度  $1.06 \times 10^{-1}$  Bq/L<sup>[5]</sup> 的 6 倍 ,黄河水系山东段的总  $\beta$  平均活度浓度  $2.04 \times 10^{-1}$  Bq/L<sup>[4]</sup> 的三倍。低于国家《生活饮用水卫生标准》( GB5749 - 2006) 规定的总  $\beta$  放射性限值 1.0 Bq/L<sup>[6]</sup>。

从波动范围来看 ,本次调查的地表水总  $\beta$  活度浓度波动枯水期在 0.117 ~ 1.50 Bq/L ,丰水期在 0.039 ~ 0.557Bq/L ,最高值出现于乳山河的样品; 地下水总  $\beta$  活度浓度波动枯水期在 0.099 ~ 3.07 Bq/L ,丰水期在 0.120 ~ 2.92Bq/L ,最高值出现于高家庄的样品。相对于黄河水系山东段总  $\beta$  范围( 1.61 ~ 3.49)  $\times 10^{-1}$  Bq/L<sup>[4]</sup> ,长江水系总  $\beta$  范围( 0.41 ~ 2.99)  $\times 10^{-1}$  Bq/L<sup>[5]</sup> ,本次调查结果高于前两者的水平。乳山河和高家庄地下水中的总  $\beta$  较高 ,是导致平均值偏高的主要原因。

### 3 讨论

山东海阳核电站周边 30km 范围内 ,地表水中水中总  $\alpha$ 、总  $\beta$  测量结果均为枯水期大于丰水期; 饮用水( 主要是地下水) 总

$\alpha$ 、总  $\beta$  测量结果大致相当。

山东海阳核电站周边 30km 范围内水中总  $\alpha$ 、总  $\beta$  测量结果平均值均未超出《生活饮用水卫生标准》( GB5749 - 2006) 规定的总  $\alpha$ 、总  $\beta$  放射性限值。

饮用水( 主要是地下水) 总  $\alpha$ 、总  $\beta$  测量结果最高者为高家庄样品 ,可能与该村靠近海边 ,地下水受海水影响有关 ,可进一步做核素分析以确定引起总  $\alpha$ 、总  $\beta$  偏高的具体原因。

### 参考文献:

- [1] 中广核集团苏州热工院. 山东海阳核电厂环境影响评价报告书[Z]. 2008.
- [2] GB 5750.2 - 2006 ,生活饮用水标准检验方法水样的采集与保存[S].
- [3] GB 5750.13 - 2006 生活饮用水标准检验方法 放射性指标[S].
- [4] 程杰 张连平. 黄河水系放射性水平与卫生学评价[M]. 济南: 黄河出版社 ,1999.
- [5] 李振平. 长江水系放射性水平调查及评价: 1984 [M]. 北京: 原子能出版社 ,1989: 1 - 16.
- [6] GB5749 - 2006 ,生活饮用水卫生标准[S].
- [7] Orgun Y , Altinsoy N , Gultekin AH et al. Natural radioactivity levels in granitic plutons and groundwaters in Southeast part of Eskisehir , Turkey [J]. Appl Radiat Isot , 2005 , 63( 2) : 267 - 75.

( 收稿日期:2011 - 04 - 14)