

• 调查与评价 •

田湾核电站原野 γ 辐射剂量率调查

刘 明, 吕 魁, 张 斌

(江苏省辐射环境监测管理站, 江苏 南京 210036)

摘 要: 对田湾核电站外围原野 γ 辐射剂量率 3 次调查数据进行了比较分析, 表明, 第 3 次测量值比第 1 次约高 5%, 比第 2 次约高 15%。3 次调查都是按照国家标准规定的方法进行, 有严格的质量保证措施, 在误差允许的范围内, 均为可信数据。

关键词: 原野 γ 辐射剂量率; 调查; 数据分析; 田湾核电站

中图分类号: X34 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2003)06-0017-04

田湾核电站位于江苏省连云港市连云区高公岛乡田湾, 北靠后云台山, 东临黄海, 西临宿城乡山谷地带, 南面是黄海滩地。江苏省辐射环境监测管理站于 1983 年—2002 年对田湾核电站外围辐射环境进行了 3 次原野 γ 辐射空气吸收剂量率调查。

1 调查方法

第 1 次是 1983 年—1990 年国家环保局组织开展的全国环境天然放射性水平调查(简称第 1 次调查)。采用 25 km \times 25 km 网格对连云港市布设原野点 15 个, 对城区 2 km \times 2 km 加密布设原野点 13 个, 对郊区 5 km \times 5 km 加密布设原野点 15 个, 监测频次为 1 次, 获取 1 组数据。

第 2 次是 1998 年核电站申请建造许可证阶段辐射环境本底调查(简称第 2 次调查)。采用以核电站为中心, 分别以 2 km、5 km、10 km、20 km、30 km、50 km、80 km 为半径, 按方位近密远疏间隔布设原野点 64 个, 监测频次为 2 次, 每次使用 2 台仪器同时测量, 获取 4 组数据。

第 3 次是 2000 年 4 月—2002 年 3 月核电站申请装料许可证阶段辐射环境本底调查(简称第 3 次调查)。布点方案基本上同第 2 次, 但因国家标准和现场环境有所改变, 对调查半径缩减到 50 km, 其中部分点位进行了增减和位置调整, 布设原野点 70 个, 监测频次为 8 次, 获取 8 组数据。

监测仪器采用北京核仪器厂生产的 FT-620 型和 FH-3013A 型 γ 辐射剂量率仪、山东即墨市微机应用研究所生产的 JW 3104 型微电脑 X- γ 辐射剂量率仪、中国原子能研究院研制的 FJ-202 型高气压电离室环境辐射剂量率仪。这些仪器有较

好的能量响应和宇宙射线响应, 仪器量程 (10 nGy/h \sim 10⁶ nGy/h) 和误差 ($\pm 15\%$) 能满足辐射环境监测的要求。

2 质量保证

在整个监测过程中, 严格按照质量保证要求, 每年对仪器进行一次计量检定。每次测量前后用检验源检查仪器稳定性, 并选定一个稳定辐射场检查仪器的长期稳定性和数据的可比性。在仪器相对偏差大于 $\pm 15\%$ 的情况下, 停止使用, 检修后经计量检定合格再重新使用。监测点位选择在离建筑物 30 m 以外的开阔地带, 如田地、草坪、山坡或空地。仪器的有效体积中心距地面 1 m 高。测量每点读 10 个数, 取其算术平均值为测量值。为避免降雨等影响, 在降雨、化雪、灌溉 6 h 后进行测量。

仪器宇宙射线响应值的测量选择在太湖或石梁河水库等淡水水面的木船上进行, 水深大于 1 m, 距岸边 1 km 以上。仪器宇宙射线响应值的扣除均按照全国天然放射性水平调查规定的方法进行, 由于连云港市测点均在海拔 100 m 以下, 且地理纬度跨度还不到 1°, 因此采用的宇宙射线响应扣除公式简化为: $D = D_P - D_W$, 式中 D 、 D_P 和 D_W 分别为 γ 射线在测点辐射剂量率、测点贯穿辐射剂量率和仪器在水面上的宇宙射线响应值, 单位为: nGy/h。

3 3 次调查数据的比较

收稿日期: 2003-04-10; 修订日期: 2003-08-09

作者简介: 刘 明 (1944—), 男, 安徽宿州人, 高级工程师, 大学, 从事辐射环境监测管理工作。

第 1 次调查采用 25 km × 25 km 网格布点(其中近郊区 5 km × 5 km, 城区 2 km × 2 km 网格布点), 用地图确定各点位的经纬度, 大致定在小数点后 2 位, 不确定度在 1 000 m 数量级。后 2 次调查均使用 GPS 卫星定位仪, 点位经纬度不确定度在 10 m 数量级。通过经纬度排序, 从 3 次调查数据中找出几何位置尽可能相接近的点位 12 个。在不同时间由不同的人员进行调查, 又由于定位条件的限制等原因, 3 次都调查到的几何位置重合的点位是难以找到的, 通过经纬度排序找到相距最近的点, 称作接近点(每次都调查到的相同的点位)。

从 3 次调查数据中找出接近点 12 个, 从第 2

次、第 3 次调查数据中找出接近点 45 个, 将其比较结果分别列于表 1、表 2。表 1、表 2 中 D_I 代表第 1 次调查的 1 组数据平均值, D_{II} 代表第 2 次调查的 4 组数据平均值, D_{III} 代表第 3 次调查的 8 组数据平均值。D_I 代表 3 次调查共 13 组数据的总平均值; 序号为 12 的猴嘴, 第 3 次调查编号为比对, 表示在该点进行仪器比对测量时获得的数据, 但在调查方案中不含该点位。D_{II} 代表后 2 次调查共 12 组数据的总平均值; 序号为 44 的平山、45 的猴嘴, 第 3 次调查编号为比对, 表示在该点进行仪器比对测量时获得的数据, 但在调查方案中不含该点位。

表 1 田湾核电站外围原野 γ 辐射剂量率 3 次调查 12 个接近点数据比较

接近点	点位名称	点位编号			北纬 /(°)	东经 /(°)	平均值 D/(nGy·h ⁻¹)				比值					
		第 1 次	第 2 次	第 3 次			D _I	D _{II}	D _{III}	D _I	D _I /D _{II}	D _I /D _{III}	D _{II} /D _{III}	D _I /D _I	D _{II} /D _I	D _{III} /D _I
1	连云港镇	L- J6	19	10	34.73	119.42	69.6	65.4	80	74.4	1.06	0.87	0.82	0.94	0.88	1.08
2	宿城	L- J1	15	23	34.70	119.43	60.8	48.2	56	54.1	1.26	1.09	0.86	1.12	0.89	1.03
3	台南盐场	L- J12	21	28	34.57	119.48	53.8	50.7	68	61.5	1.06	0.79	0.75	0.87	0.82	1.11
4	徐圩	L- J11	34	39	34.52	119.52	58.6	51.1	61	57.5	1.15	0.96	0.84	1.02	0.89	1.06
5	花果山	L- J13	36	44	34.65	119.25	48.6	47.1	62	56.5	1.03	0.78	0.76	0.86	0.83	1.10
6	市开发区	L- J17	30	46	34.68	119.35	68.4	52.3	58	57.0	1.31	1.18	0.90	1.20	0.92	1.02
7	海滨公园	L- J9	31	47	34.75	119.35	43.3	50.8	55	52.6	0.85	0.79	0.92	0.82	0.97	1.05
8	云台农场	11- 17	37	53	34.58	119.28	66.8	62.5	69	66.5	1.07	0.97	0.91	1.00	0.94	1.04
9	新浦公园	L- 10	39	54	34.58	119.17	68.2	60.1	65	63.8	1.13	1.05	0.92	1.07	0.94	1.02
10	灌云县城	L- X3	49	62	34.30	119.25	57.7	62.0	65	63.5	0.93	0.89	0.95	0.91	0.98	1.02
11	白塔埠	10- 17	53	65	34.60	118.95	42.8	40.0	53	48.0	1.07	0.81	0.75	0.89	0.83	1.10
12	猴嘴	L- J15	35	比对	34.67	119.23	69.4	52.2	58.4	57.4	1.33	1.19	0.89	1.21	0.91	1.02
12 个接近点平均值							59.0	53.5	62.5	59.4	0.92	0.95	0.86	0.99	0.90	1.05

表 2 田湾核电站外围原野 γ 辐射剂量率第 2 次、第 3 次调查 45 个接近点数据比较

接近点	点位名称	点位编号		北纬 /(°)	东经 /(°)	平均值 D/(nGy·h ⁻¹)			比值		
		第 2 次	第 3 次			D _{II}	D _{III}	D _{II}	D _{II} /D _{III}	D _{III} /D _{II}	
1	柳河	3	4	34.70	119.47	51.7	71.0	64.3	0.73	0.80	1.10
2	城港紫菜厂	5	7	34.68	119.44	58.4	64.0	62.2	0.91	0.94	1.03
3	南山湾	8	8	34.68	119.44	60.1	64.0	62.4	0.94	0.96	1.02
4	东崖屋小学	10	9	34.70	119.44	59.6	74.0	69.0	0.81	0.86	1.07
5	连云港镇	19	10	34.73	119.44	65.4	80.0	74.8	0.82	0.87	1.07
6	磨刀塘	18	12	34.73	119.47	61.3	73.0	68.8	0.84	0.89	1.06
7	高公岛	9	13	34.70	119.47	70.9	73.0	72.5	0.97	0.98	1.01
8	羊山岛	11	14	34.70	119.48	68.7	82.0	77.6	0.84	0.88	1.06
9	烧香河北闸	6	15	34.67	119.45	42.3	58.0	52.8	0.73	0.80	1.10
10	蒿西工区	16	16	34.66	119.44	56.3	63.0	60.5	0.89	0.93	1.04
11	港校	12	20	34.69	119.43	44.9	59.0	54.4	0.76	0.83	1.08
12	蟹琪沟	17	21	34.69	119.41	57.1	70.0	65.4	0.82	0.87	1.07
13	宿城	15	23	34.70	119.43	48.2	56.0	53.6	0.86	0.90	1.05
14	夏庄	13	24	34.70	119.43	50.0	68.0	61.9	0.74	0.81	1.10
15	扬水站	22	27	34.61	119.46	49.6	60.0	56.6	0.83	0.88	1.06
16	台南盐场	21	28	34.65	119.41	50.7	68.0	62.2	0.75	0.82	1.09
17	凤凰嘴	26	29	34.63	119.38	61.0	69.0	66.5	0.88	0.92	1.04
18	跃进村	20	30	34.67	119.41	55.1	63.0	60.4	0.87	0.91	1.04

续表

接 近 点	点位名称	点位编号		北纬 $/(^{\circ})$	东经 $/(^{\circ})$	平均值 $D/(nGy \cdot h^{-1})$			比值		
		第 2 次	第 3 次			D2	D3	D _{II}	D2/D3	D2/D _{II}	D3/D _{II}
19	朱麻	25	31	34.65	119.36	55.1	60.0	58.2	0.92	0.95	1.03
20	隔村	27	33	34.67	119.36	50.6	66.0	60.8	0.77	0.83	1.09
21	远洋大厦	23	37	34.74	119.39	60.3	71.0	67.3	0.85	0.90	1.06
22	徐圩	34	39	34.53	119.54	51.1	61.0	57.5	0.84	0.89	1.06
23	东辛一分场	29	41	34.60	119.41	59.8	68.0	65.3	0.88	0.92	1.04
24	东辛集团	33	42	34.55	119.38	56.2	67.0	63.5	0.84	0.89	1.06
25	花果山	36	44	36.64	119.24	47.1	62.0	57.1	0.76	0.82	1.09
26	市开发区	30	46	34.70	119.34	52.3	58.0	56.0	0.90	0.93	1.04
27	海滨公园	31	47	34.75	119.37	50.8	55.0	53.4	0.92	0.95	1.03
28	圩丰	38	48	34.45	119.54	57.3	71.0	66.1	0.81	0.87	1.07
29	四队	40	49	34.43	119.51	56.0	67.0	63.5	0.84	0.88	1.06
30	同兴	42	50	34.42	119.41	52.0	61.0	58.0	0.85	0.90	1.05
31	板浦	41	51	34.48	119.25	59.0	65.0	62.6	0.91	0.94	1.04
32	云台农场	37	53	34.58	119.27	62.5	69.0	66.5	0.91	0.94	1.04
33	新浦公园	39	54	34.60	119.17	60.1	65.0	63.4	0.92	0.95	1.03
34	陈港	50	57	34.37	119.81	51.2	63.0	58.9	0.81	0.87	1.07
35	伊芦山	43	61	34.44	119.32	55.6	66.0	62.7	0.84	0.89	1.05
36	灌云县城	49	62	34.31	119.26	62.0	65.0	64.0	0.95	0.97	1.02
37	龙苴	52	63	34.35	119.11	45.1	58.0	53.8	0.78	0.84	1.08
38	白塔埠	53	65	34.57	118.94	40.0	53.0	48.4	0.75	0.83	1.09
39	半滩	44	66	34.58	119.13	54.0	66.0	61.5	0.82	0.88	1.07
40	罗阳	48	67	34.71	119.11	47.1	72.0	63.5	0.65	0.74	1.13
41	宋庄	46	69	34.78	119.14	61.5	60.0	60.3	1.03	1.02	0.99
42	西张夏	54	73	34.97	119.04	52.6	68.0	62.7	0.77	0.84	1.08
43	柘汪	51	74	35.08	119.23	64.7	74.0	70.7	0.87	0.92	1.05
44	平山	32	比对	34.73	119.35	53.6	50.6	51.6	1.06	1.04	0.98
45	猴嘴	35	比对	34.67	119.24	52.2	58.4	56.4	0.89	0.93	1.04
45 个接近点平均值						55.1	65.2	61.8	0.85	0.89	1.06

由表 1、表 2 可见, 3 次测量值是有差异的, 第 2 次测量值偏低, 第 3 次测量值偏高, 第 1 次测量值介于 2 者之间。

4 3 次调查数据综合比较结果分析

4.1 3 次调查数据综合比较结果

田湾核电站外围原野 γ 辐射剂量率 3 次调查数据综合比较结果见表 3、表 4。

表 3 田湾核电站外围原野 γ 辐射剂量率 3 次调查数据综合比较结果

比较对象	3 次调查 12 个接近点 13 组数据比较					
3 次调查数据比值	D1平均/ D2平均= 1.10	D1平均/ D3平均= 0.95	D2平均/ D3平均= 0.86	D1平均/ D _I = 0.99	D2平均/ D _I = 0.90	D3平均/ D _I = 1.05
相对偏差 $\leq \pm 15\%$ 的 位数与总位数比值 / %	9/12= 75.0	6/12= 50.0	7/12= 58.3	10/12= 83.3	9/12= 75.0	12/12= 100
相对偏差 $\leq \pm 20\%$ 的 位数与总位数比值 / %	9/12= 75.0	8/12= 66.7	9/12= 75.0	11/12= 91.7	12/12= 100	12/12= 100
相对偏差 $\leq \pm 26\%$ 的 位数与总位数比值 / %	10/12= 83.3	12/12= 100	12/12= 100	12/12= 100	12/12= 100	12/12= 100

4.2 3 次调查数据分析

4.2.1 调查数据的代表性

第 1 次调查数据是一次性的测量值, 只取得 1 组数据, 其代表性有一定局限性。第 2 次调查数据

是在一个季度内所进行的 2 次监测, 每次使用 2 台仪器同时监测, 取得 4 组数据, 代表性要好于第 1 次调查数据。第 3 次调查数据是在连续 2 年的 8 个季度内, 每个季度进行 1 次监测, 取得 8 组数据,

其代表性更好。

4. 2. 2 测量值的允许偏差

表 4 田湾核电站外围原野 γ 辐射剂量率 2 次调查数据综合比较结果

比较对象	第 2 次、第 3 次调查 45 个接近点 12 组数据比较		
两次调查数据比值	$D2_{\text{平均}}/D3_{\text{平均}}=0.85$	$D2_{\text{平均}}/D_{\text{II}}=0.89$	$D3_{\text{平均}}/D_{\text{II}}=1.06$
相对偏差 $\leq \pm 15\%$ 的点数与总点数比值 / %	21/45= 46.7	34/45= 75.6	45/45= 100
相对偏差 $\leq \pm 20\%$ 的点数与总点数比值 / %	34/45= 75.6	44/45= 97.8	45/45= 100
相对偏差 $\leq \pm 26\%$ 的点数与总点数比值 / %	42/45= 93.3	45/45= 100	45/45= 100

国家标准规定, 环境地表 γ 辐射剂量率测定的总不确定度应不超过 20%^[1]。为保证现场监测数据的质量, 在全国环境天然放射性水平调查中, 采用对现场测量值抽样核查, 根据核查结果进行评价。用闪烁型仪表和高气压电离室同时测量某一环境点剂量率水平其偏差应在 $\pm 19\%$ 以内, 而环境辐射场水平年变化可达 $\pm 20\%$, 为此, 估计测量值与核查值的偏差可在 $\pm 26\%$ 以内, 对某个具体原测点的核查而言, 由于不同时间土壤湿度、气温及周围环境条件的可能变化, 其偏差大于 $\pm 26\%$ 仍是可能合理的。

由表 3 可见, 相对偏差在 $\pm 26\%$ 以内的点占接近点总点数的百分数为: 第 1 次与第 2 次之比为 83.3%; 由表 4 可见, 第 2 次与第 3 次之比为 93.3%, 其余为 100%。此结果表明, 接近点的 3 次测量值中, 任意 2 次测量值相互之间的相对偏差, 总体上基本与全国放射性水平调查数据的核查结果相符合, 均在误差允许范围内。

4. 3 造成 3 次测量值系统偏差的原因

由表 3 可见, 第 2 次测量值与多组测量值的总均值相比偏低约 10%~11%, 第 3 次测量值则偏高约 5%~6%, 第 1 次测量值仅偏低约 1%。

4. 3. 1 仪器性能

由于仪器性能的局限性, 如能量响应、角响应、温度效应等, 国家标准规定仪器固有相对误差在小于 $\pm 15\%$ 的范围内^[1]。

4. 3. 2 宇宙射线响应值的扣除

不同仪器对宇宙射线的响应值不同, 国家标准要求在水深大于 3 m, 距岸边大于 1 km 的淡水水面上测量得到。由采用的扣除方法所产生的单点方法误差一般不超过 3.5%, 平均值的方法误差不超过 2%^[2]。由于受水面上方空气中氦等核素子体

和水中 γ 核素贡献的剂量率, 以及人体、船体的剂量率贡献和屏蔽影响, 可能产生宇宙射线测量值偏高或偏低的现象, 因而存在少扣或多扣的问题。

4. 3. 3 仪器刻度误差

仪器刻度的不确定度一般为 5%~10%, 会造成一次刻度后测量值偏高, 另一次刻度后测量值偏低的现象。

4. 3. 4 接近点点位的几何位置差异

第 2 次和第 3 次调查使用了 GPS 卫星定位仪, 经纬度不确定度为 10 m 数量级。而第 1 次调查是在地图上确定经纬度, 其不确定度为 1 000 m 数量级。所以, 用经纬度排序的方法确定接近点, 第 1 次与第 2 次、第 3 次调查点位几何位置相差较大, 因而会对调查结果造成较大的偏差。

4. 3. 5 其他影响因素

不同时间土壤湿度、气温及周围环境条件的变化等均会对测量结果产生影响。根据有关资料, 环境辐射场水平年变化可达 $\pm 20\%$ 。1998 年 8 月、9 月份调查时, 正值洪涝季节, 土壤含水量大, 可能造成测量值偏低。

5 结语

通过对 3 次调查数据的比较分析, 表明, 第 3 次测量值比第 1 次约高 5%, 比第 2 次约高 15%。3 次调查都是按照国家标准规定的方法进行, 有严格的质量保证措施, 在误差允许范围内, 均为可信数据。

[参考文献]

- [1] GB/T 14583-93, 环境地表 γ 辐射剂量率测定规范[S].
- [2] 胡逢全, 徐明达, 李德平. 测量陆地 γ 辐射剂量率中扣除宇宙射线响应的方法误差估计[J]. 辐射防护, 1991, 11(4): 444.