

回顾辐射事故后的思考:个人剂量监测

王其亮¹,白 光²,陈 耿²,仲伟伟²

中图分类号:TL73; R144 文献标识码: B 文章编号: 1004- 714X(2002)04- 0241- 03

人们都非常清楚,职业性放射工作人员都必须佩戴个人剂量计。出入大型核设施和强放射源装置的场所,还需有报警功能的电子剂量计。某些重要的放射性工作场所还要备有剂量率仪。然而,在我们总结和回顾辐射事故时却发现,在大多数情况下,这些安全保障措施,并未发生作用。

照射”的辐射事故 136 起(详见表 1),过量受照者> 675 人,辐射致死 106 人^[1]。在这里,“过量照射”定义为:全身、造血器官或其他关键器官受照剂量> 0. 25 Sv; 身体局部受照剂量> 6 Gy; 其他组织或器官受照剂量> 0. 75 Sv; 或放射性核素摄入量> 1/ 2 年摄入量限值(ALD)。

将这 136 起事故按其发生单位的工作性质分为两类,列于表 2。

1 全世界发生的主要辐射事故

1945~1999 年的 55 a 间,世界上发生的对人员造成“过量

表 1 1945~1999 主要辐射事故

序号	年份	地点	源	剂量或摄入量	过量受照(人)	死亡(人)
1	1945/ 46	美国 Los Alamos	超临界	高达 13 Gy, 混合照射 *	10	2
2	1952	美国 Argonne	超临界	0. 1~ 1. 6 Gy, 混合照射	3	
3	1953	前苏联	实验堆	3. 0~ 4. 5 Gy, 混合照射	2	
4	1953	澳大利亚 Melbourne	⁶⁰ Co	不明	1	
5	1955	美国 Hanford	²³⁹ Pu	不明	1	
6	1958	美国 Oak Ridge	临界装置, Y-12 工厂	0. 7~ 3. 7 Gy, 混合照射	7	
7	1958	南斯拉夫 Vinca	实验堆	2. 1~ 4. 4 Gy, 混合照射	8	
8	1958	美国 Los Alamos	临界装置	0. 35~ 45 Gy, 混合照射	3	
9	1959	南非 Johannesburg	⁶⁰ Co	不明	1	
10	1960	美国	电子束	7. 5 Gy(局部)	1	
11	1960	美国 Madison	⁶⁰ Co	2. 5~ 3. 0 Gy	1	
12	1960	美国 Lockport	X 射线	高达 12 Gy, 非均匀	6	
13	1960	前苏联	¹³⁷ Cs, 自杀	约 15 Gy	1	1
14	1960	前苏联	溴化镭, 摄入	74 MBq	1	1
15	1961	前苏联	核潜艇事故	1. 5~ 50 Gy	> 30	8
16	1961	美国 Miamisburg	²³⁸ Pu	不明	2	
17	1961	美国 Miamisburg	²¹⁰ Po	不明	4	
18	1961	瑞士	³ H	3 Gy	3	1
19	1961	美国 Idaho Falls	反应堆内爆炸	高达 3. 5 Gy	7	3
20	1961	英国 Plymouth	X 射线	不明, 局部	11	
21	1961	法国 Fontenay-aux-Roses	²³⁹ Pu	不明	1	
22	1962	美国 Richland	临界装置	不明	2	
23	1962	美国 Hanford	临界装置	0. 2~ 1. 1 Gy, 混合照射	3	
24	1962	墨西哥 Mexico City	⁶⁰ Co 辐照装置	9. 9~ 52 Sv	5	4
25	1962	前苏联 Moscow	⁶⁰ Co	3. 8 Gy, 非均匀	1	
26	1963	中国安徽省	⁶⁰ Co	0. 2~ 80 Gy	6	2
27	1963	法国 Saclay	电子束	不明, 局部	2	
28	1964	西德	³ H	10 Gy	4	1
29	1964	美国 Rhode Island	临界装置	0. 3~ 46 Gy, 混合照射	4	1
30	1964	美国 New York	²⁴¹ Am	不明	2	
31	1965	美国 Rockford	加速器	> 3 Gy	1	
32	1965	美国	衍射仪	不明, 局部	1	
33	1965	美国	谱仪	不明, 局部	1	
34	1965	比利时 Mol	实验堆	5 Gy(全身)	1	
35	1966	美国 Portland	³² P	不明	4	
36	1966	美国 Leechburg	²³⁵ Pu	不明	1	
37	1966	美国 Pennsylvania	¹⁹⁸ Au	不明	1	1
38	1966	中国	“污染区”	2~ 3 Gy	2	
39	1966	前苏联	实验堆	3~ 7 Gy(全身)	5	
40	1967	美国	¹⁹² Ir	0. 2 Gy, 50 Gy(局部)	1	
41	1967	美国 Bloomsburg	²⁴¹ Am	不明	1	
42	1967	美国 Pittsburgh	加速器	1~ 6 Gy	3	
43	1967	印度	⁶⁰ Co	80 Gy(局部)	1	
44	1967	前苏联	X 射线诊断设备	50 Gy(头, 局部)	1	1
45	1968	美国 Burbank	²³⁹ Pu	不明	2	
46	1968	美国 Wisconsin	¹⁹⁸ Au	不明	1	1
47	1968	西德	¹⁹² Ir	1 Gy	1	
48	1968	阿根廷 La Plata	¹³⁷ Cs	0. 5 Gy(全身)+ 局部	1	
49	1968	美国 Chicago	¹⁹⁸ Au	4~ 5 Gy(骨髓)	1	1
50	1968	印度	¹⁹² Ir	130 Gy(局部)	1	
51	1968	前苏联	实验堆	1~ 1. 5 Gy	4	

作者单位: 中国疾控中心辐射防护与核安全医学所, 北京 100088; 2 北京蓝道尔辐射监测技术公司
作者简介: 王其亮(1938~), 男, 山东省人, 研究员, 研究方向, 个人剂量监测与管理。

续 表

序号	年份	地点	源	剂量或摄入量	过量受照(人)	死亡(人)
52	1968	前苏联	⁶⁰ Co 辐照装置	1.5 Gy(局部, 头)	1	
53	1969	美国 Wisconsin	⁸⁵ Sr	不明	1	
54	1969	前苏联	实验堆	5.0 Sv(全身), 非均匀	1	
55	1969	英国 Glasgow	¹⁹² Ir	0.6 Gy	1	
56	1970	澳大利亚	X 射线	4~45 Gy(局部)	2	
57	1970	美国 Des Moines	³² P	不明	1	
58	1970	美国	谱仪	不明, 局部	1	
59	1970	美国 Erwin	²³⁵ U	不明	1	
60	1971	美国 Newport	⁶⁰ Co	30 Gy(局部)	1	
61	1971	英国	¹⁹² Ir	30 Gy(局部)	1	
62	1971	日本	¹⁹² Ir	0.2~1.5 Gy	4	
63	1971	美国 Oak Ridge	⁶⁰ Co	1.3 Gy	1	
64	1971	前苏联	实验堆	7.8 Sv; 8.1 Sv	2	
65	1971	前苏联	实验堆	3.0 Sv(全身)	3	
66	1972	美国 Chicago	¹⁹² Ir	100 Gy(局部)	1	
67	1972	美国 Peach Bottom	¹⁹² Ir	300 Gy(局部)	1	
68	1972	西德	¹⁹² Ir	0.3 Gy	1	
69	1972	中国	⁶⁰ Co	0.4~5 Gy	20	
70	1972	保加利亚	¹³⁷ Cs 辐照装置, 自杀	> 200 Gy(局部, 胸)	1	1
71	1973	美国	¹⁹² Ir	0.3 Gy	1	
72	1973	英国	¹⁰⁶ Ru	不明	1	
73	1973	捷克和斯洛伐克	⁶⁰ Co	1.6 Gy	1	
74	1974	美国 Illinois	谱仪	2.4~48 Gy(局部)	3	
75	1974	美国 Parsippany	⁶⁰ Co	1.7~4 Gy	1	
76	1974	中东	¹⁹² Ir	0.3 Gy	1	
77	1975	意大利 Brescia	⁶⁰ Co	10 Gy	1	
78	1975	美国	¹⁹² Ir	10 Gy(局部)	1	
79	1975	美国 Columbus	⁶⁰ Co	11~14 Gy(局部)	6	
80	1975	伊拉克	¹⁹² Ir	0.3 Gy	1	
81	1975	前苏联	¹³⁷ Cs 辐照装置	3~5 Gy(全身)+> 30 Gy(手)	1	
82	1975	东德	研究堆	20~30 Gy(局部)	1	
83	1975	西德	X 射线	30 Gy(手)	1	
84	1975	西德	X 射线	1 Gy(全身)	1	
85	1976	美国 Hanford	²⁴¹ Am	> 37 MBq	1	
86	1976	美国	¹⁹² Ir	37.2 Gy(局部)	1	
87	1976	美国 Pittsburg	⁶⁰ Co	15 Gy(局部)	1	
88	1977	美国 Rockaway	⁶⁰ Co	2 Gy	1	
89	1977	南非 Pretoria	¹⁹² Ir	1.2 Gy	1	
90	1977	美国 Denver	³² P	不明	1	
91	1977	前苏联	⁶⁰ Co 辐照装置	4 Gy(全身)	1	
92	1977	前苏联	质子加速器	10~30 Gy(手)	1	
93	1977	英国	¹⁹² Ir	0.1 Gy+局部	1	
94	1977	秘鲁	¹⁹² Ir	0.9~2 Gy(全身)+160 Gy(手)	3	
95	1978	阿根廷	¹⁹² Ir	12~16 Gy(局部)	1	
96	1978	阿尔及利亚	¹⁹² Ir	13 Gy(最高值)	7	
97	1978	英国	—	—	1	
98	1978	前苏联	电子加速器	20 Gy(局部)	1	
99	1979	美国 California	¹⁹² Ir	高达 1 Gy	5	
100	1980	前苏联	⁶⁰ Co 辐照装置	50 Gy(局部, 腿)	1	
101	1980	东德	X 射线	15~30 Gy(手)	1	
102	1980	西德	射线照相装置	23 Gy(手)	1	
103	1980	中国	⁶⁰ Co	5 Gy(局部)	1	
104	1981	法国 Saintes	⁶⁰ Co 医疗设施	> 25 Gy	3	
105	1981	美国 Oklahoma	¹⁹² Ir	不明	1	
106	1982	挪威	⁶⁰ Co	22 Gy	1	1
107	1982	印度	¹⁹² Ir	35 Gy(局部)	1	
108	1983	阿根廷	临界装置	43 Gy, 混合照射	1	1
109	1983	墨西哥	⁶⁰ Co	0.25~5 Gy	10	
110	1983	伊朗	¹⁹² Ir	20 Gy(手)	1	
111	1984	摩洛哥	¹⁹² Ir	不明	11	8
112	1984	秘鲁	X 射线	5~40 Gy(局部)	6	
113	1985	中国	电子加速器	不明, 局部	2	
114	1985	中国	¹⁹⁸ Au, 治疗错误	不明	2	1
115	1985	中国	¹³⁷ Cs	8~10 Sv(亚急性)	3	
116	1985	巴西	射线照相源	410 Sv(局部)	1	
117	1985	巴西	射线照相源	160 Sv(局部)	2	
118	1985/ 86	美国	加速器	不明	3	2
119	1986	中国	⁶⁰ Co	2~3 Gy	2	
120	1986	前苏联 Chernobyl	核电站	1~16 Gy, 混合照射	134	28 * * *
121	1987	巴西 Goiania	¹³⁷ Cs	高达 7 Gy, 混合照射	50 * *	4
122	1987	中国	⁶⁰ Co	1 Gy	1	
123	1989	萨尔瓦多	⁶⁰ Co 辐照装置	3~8 Gy	3	1
124	1990	以色列	⁶⁰ Co 辐照装置	> 12 Gy	1	1

续 表						
序号	年份	地点	源	剂量或摄入量	过量受照(人)	死亡(人)
125	1990	西班牙	加速器, 放疗用	不明	27	11
126	1991	白俄罗斯 Nesvizh	⁶⁰ Co 辐照装置	10 Gy	1	1
127	1991	美国	加速器	> 30 Gy(手和腿)	1	
128	1992	越南	加速器	20~ 50 Gy(局部)	1	
129	1992	中国	⁶⁰ Co	> 0. 25 ~ 10 Gy(局部)	8	3
130	1992	美国	¹⁹² Ir 近距离放疗	> 1 000 Gy	1	1
131	1994	爱沙尼亚 Tamniku	¹³⁷ Cs, 废物库	4 Gy(全身)+1 830 Gy(腿)	3	1
132	1996	哥斯达黎加	⁶⁰ Co, 放射治疗	60% 过量	115	B***
133	1996	伊朗 Gilan	¹⁹² Ir, 射线照相	2~ 3 Gy? (全身)+100 Gy? (胸)	1	
134	1997	俄罗斯	临界实验装置	5~ 10 Gy(全身)+200~ 250 Gy(手)	1	
135	1998	土耳其	⁶⁰ Co	3 Gy(全身, 最高值)	10	
136	1999	秘鲁	¹⁹² Ir, 射线照相	100 Gy(局部, 腿)	1	
总计				136 起	> 675	106

注: *混合照射指具有不同传能线密度(LET)的射线同时照射,如中子和 γ 射线,或 γ 和 β 射线。* * *这个数值可能是偏低的,50个受照人员中的大多数受照剂量不低于0.25 Sv。* * * * *指归因于辐射原因致死。* * * * *止于1999年年底。

表 2 1945~ 1999 年主要辐射事故与单位工作性质			
工作性质	辐射事故(起)	过量受照(人)	辐射致死(人)
核设施,核电站及有关研究工作	35	> 260	45
放射源和射线在工业和医学等方面的应用	98	> 412	58
其他	3	3	3
总计	136	> 675	106

表 2 显示,“放射源和射线在工业和医学等方面的应用”领域的“辐射事故”起数、“过量受照”人数和“辐射致死”的人数均高于“核设施、核电站及有关研究工作”领域。所列“核设施、核电站及有关研究工作”领域中,1986 年前苏联切尔诺贝利核电站受照人员占相当份额,其受照人员为 134 人,辐射致死 28 人。若将表 1 所列 136 起事故,按其发生的时间截出 1987~ 1999 年的 13 a 间来看,则更突显了“放射源和射线在工业和医学等方面的应用”辐射事故的份额,此间共发生 16 起辐射事故,有 225 人受到过量照射,占 55 a 间总受照人数的 33. 3%;辐射致死 36 人,占 55 a 间辐射致死总人数的 33. 9%。这可能与该领域的单位众多和放射工作人员众多有关。

IAEA 注意到 γ 辐照装置辐射事故对安全的威胁。自 1975 年 5 月意大利的斯蒂莫斯(Stimos) γ 辐照装置事故开始,止于 1994 年连续 8 起工业用辐照装置导致人体过量受照事故,并致 5 人死亡^[1]。在这些职业性放射工作人员严重受照事故中,仅 1982 年 9 月发生在挪威切勒(Kjeller)能源技术研究所的事故,受照者戴了个人剂量计。但遗憾的是,胶片剂量计对他受照的 22Gy 已无能为力。在其余事故总结中均写明:受照者未佩戴个人剂量计。1989 年 2 月圣萨尔瓦多(San Salvador)的辐射事故,有 3 人同时受过量照射。编者在事故报告中极为惋惜的写到:他们没有一个人佩戴个人剂量计。

2 我国发生的辐射事故与个人剂量监测的重要性

就我国来说,个人剂量监测起步较早。上个世纪 60 年代初,个人剂量监测就在我国核工业系统各厂矿院所得到了普及。射线和放射性同位素在国民经济应用领域的个人监测在 80 年代中期也逐步地推向全国。1990 年就全国平均来说,个人剂量监测率为 19%,到 1999 年全国个人剂量监测率升至 55%^[13]。

回顾 1988~ 1998 年的 11 a 间全国发生的辐射事故^[4],个人剂量计佩戴情况也不那么乐观。在这 11 a 间共发生 332 起辐射事故,其中放射源丢失事故占 80%。 γ 辐照装置的严重事故发生 9 起,无一个佩戴个人剂量计,导致 5 人辐射致死。

综观全国这 332 起辐射事故,涉及有职业性放射工作人员受照的 34 起事故(10. 2%)中有 92 名人员,其中有 10 起事故发生 γ 辐照装置,造成 2 人死亡,1 人双手致残。这些职业性放射工作人员是应该佩戴个人剂量计的,而在生命的紧要关头恰恰没有个人剂量计提供数据,导致两人死亡的 γ 辐照装置所在的省市,时年个人剂量监测率高达 98. 7%^[13]。若究其放射性工作人员未佩戴个人剂量计的原因,一是该单位未开展个人剂量监测,这主要是经营业主的责任;二是放射性工作人员有个人剂量计,而忘记佩戴,这应由放射性工作人员本人负责。对大城市,以后者情况居多;而中、小城市,前者情况也不少见。可见,抓个人剂量监测要抓经营业主,也要抓放射性工作人员的安全教育。抓个人剂量监测的普及率是必要的,但抓住那些辐射危险关键行业和关键岗位更为重要。

让我们再回顾一下 1959~ 1988 年(30 a)间核工业系统发生的 194 起辐射事故,其中提供完整报告的 102 起^[5]。有计划

的排除和排除事故的案例除外,仅在正常工作情况下,职业性放射工作人员意外受到过量照射的案例,共有 25 起,涉及到 207 人受照。其中 14 起(56%)中 183 人(占受照人数的 88. 4%)佩戴了个人剂量计,并从个人剂量计读数中给出了受照剂量。但也有 11 起(44%)中 24 人(占受照人数的 11. 6%)受照时未佩戴个人剂量计。1978 年西北某核燃料厂 γ 探伤的“经验教训”栏中写到:“ γ 探伤操作人员必须佩戴可靠的个人剂量计。必要时还应佩戴具有声光报警的个人剂量计。”这是同行以教训为基础,向我们发出的明确的告诫。

3 个人剂量监测的法律依据

个人剂量监测和场所辐射监测仪表是行走于辐射场中放射性工作人员的“眼睛”和“录音机(黑匣子)”,是不可或缺的。为此,国家颁发了若干法律、法规、条例和标准,已经颁布的“职业病防治法”中也有“放射性工作人员必须佩戴个人剂量计”的明确规定。这些规定的落实,首先要有各放射性工作场所经营业主(即法定代表人)的责任和法律观念作保证;其次是放射性工作人员的职业技能素质和对个人权益的保护意识;第三是相应的配套法规和物质条件的配合。作为辐射防护工作者的义务就是促进前述三个方面的加强。

法律和规章的正面约束是重要的,适度的处罚也不可缺少。我们注意到香港特别行政区第(C)21 号法律公告“辐射条例”中除明确规定经营业主有义务为员工购买个人剂量监测服务和放射性工作人员必须在工作中佩戴个人剂量计外,尚规定:

“(a). 任何受影响的经营或受影响的经营业主,如不遵从本条例的任何条文,即属犯罪,可处罚款 15 000 元。

(b). 任何人被如此指示时,不佩戴其所受雇的任何受影响的经营或受影响的工业经营的业主指示佩戴的适当的工作人员辐射器具,即属犯罪,一经定罪,可处罚款 3 000 元。”

但香港业主和雇员若执行“辐射条例”规定,接受个人剂量监测服务商提供的个人剂量监测服务的话,每人一年仅交 400 ~ 450 元的监测服务费。

可见,是否佩戴个人剂量计,对经营业主来说,是在合法经营和沦为罪犯之间做决定;对放射性工作人员来说,是在安全和罚款之间做选择。在这种情况下作决定和选择显然是轻而易举的。所以,香港的“辐射条例”得以较好的执行。

因此,有要求、又有约束,宽严适度的法律规章,是将人们行为导向正确的基本准绳。值得欣慰的是,我国已经颁布的“职业病防治法”和“放射工作卫生防护管理办法”中也写进了相应的罚则,分别对不执行个人剂量监测管理规定的经营业主、监督管理机构和测量的服务单位规定了相应的处罚办法。

我们深信,“职业病防治法”和“放射工作卫生防护管理办法”的贯彻实施,将会大大地推动辐射安全工作的进展。

参考文献:

[1] 周继文, 孟德山, 谭绍智. 放射性诊断应用手册[M]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
[2] IAEA. 工业辐照装置的事故教训[M]. 北京: 原子能出版社, 1999.
[3] 王其亮. 职业外照射个人剂量监测概况[J]. 中国预防医学杂志, 2(3): 232.
[4] 卫生部卫生法制与监督司, 公安部三局. 1988~ 1998 年全国放射事故案例汇编[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2001.
[5] 潘自强. 核工业辐射事故汇编[M]. 北京: 原子能出版社, 1993.