

切尔诺贝利事故对西安地区 环境的影响和卫生学评价

庞巨丰 郑桂芳 王 亮 刘庆表 吴 荣 阎复兴 侯晓凤

(陕西省预防医学研究所)

本文介绍在苏联切尔诺贝利核电站事故后,采用 Ge(Li) 反康普顿 γ 谱仪计算机系统对西安地区放射性落下灰、空气气溶胶和葛笋叶进行的分析和获得的各种放射性核素污染浓度。以这些数据为基础,利用某些模式,对西安地区受这次事故放射性污染后的环境质量进行评价,并与我国一些地区放射性污染的环境质量进行比较。同时估算西安地区居民受到这次事故污染所致的辐射剂量,并作出卫生学评价。

关键词: 切尔诺贝利事故 反康普顿 Ge(Li) γ 谱仪 放射性核素浓度 环境质量 健康评价

一、前 言

苏联切尔诺贝利核电站事故是核电站历史上最严重的一起恶性事故。大量放射性物质外泄,造成全球性的环境放射性污染。前文^[1]我们已采用 Ge(Li) 反康普顿 γ 谱仪计算机系统,分析了西安地区放射性落下灰(沉降物)、空气气溶胶和葛笋叶中的放射性核素含量,获知该次事故泄漏出的各种裂变核素和活化核素对西安地区的污染水平。本文评价这次污染对西安地区环境带来的影响,放射性环境质量下降程度,并与其它地区进行比较;同时从卫生学的角度评价西安地区这次放射性污染对广大居民潜在的危害程度。

我们认为,放射性环境评价应包括放射性环境质量评价和放射卫生学评价(放射性核素对人所致剂量和对健康影响)两个方面。放射性环境质量评价是评论由于放射性物质污染造成环境质量的好坏,是对放射性环境素质优劣的定量描述;环境放射卫生学评价的基础是居民所受到的内外照射剂量(即剂量估算)。评价指标包括关键居民组所受平均有效剂量当量;集体剂量当量等(此处所述与文献[2]的观点不同)。关于放射性环境评价方法有另文报道^[3],这里只引用有关结论性模式。

二、放射性环境质量评价

放射性环境质量指数的定义为:

$$F_{ij} = C_{ij} / S_j \quad (1)$$

式中, C_{ij} 为 i 地区第 j 种放射性核素在环境介质中的实测浓度; S_j 为第 j 种放射性核素在环境介质中的限制浓度; F_{ij} 为 i 地区第 j 种核素的放射性环境质量指数。

那么,放射性环境质量的数值计算表达式为^[3]:

$$Q_i = \sqrt{\max_{1 \leq j} m(F_{ij}) \cdot \sum_{j=1}^m (F_{ij})^2} \quad (2)$$

式中, m 为污染的放射性核素种数; Q_i 为 i 地区放射性环境质量判断值。由 Q_i 判断放射性环境质量级别,可分为 6 级,如表 1 所示。

表 1 按Q值定出的放射性环境质量分级标准

Table 1 Grade standard of radioactive environmental quality from Q values

Q_f	放射性食物质量 Radioactive food quality	Q_a	放射性空气质量 Radioactive air quality
<0.05	优 Very good	<0.04	优 Very good
0.05—0.10	良 Good	0.04—0.08	良 Good
0.11—0.50	尚可 Pretty good	0.081—0.40	尚可 Pretty good
0.51—1.00	差 Poor	0.41—0.80	差 Poor
1.01—2.00	很差 Very poor	0.81—1.60	很差 Very poor
>2.00	危险 Dangerous	>1.60	危险 Dangerous

我们利用公式(2)及表1的分级标准,评价苏联切尔诺贝利核电站事故对西安地区放射性环境质量的影响。用Ge(Li)反康普顿 γ 谱仪测得苏联核电站事故后西安地区莴笋叶中的放射性核素浓度、食入限制浓度以及食品质量指数如表2所列。表3是这次事故后西安地区空气中放射性核素的污染浓度、吸入限制浓度和空气质量指数值。由表2和表3的数据,考虑天然本底^[3]时,求得这次苏联核电站事故造成西安地区放射性食物质量判断值 $Q_f=0.0534$;放射性空气质量判断值 $Q_a=0.0324$ 。由表1的判断标准可知,西安地区食物(已洗的蔬菜等)已受到微量的放射性污染,其质量从优下降到良。而空气污染十分轻微,并不改变空气的质量。这是因为放射性核素随雨水沉降致使土壤污染较严重,从而较多转移到农作物中。

为了将苏联核事故后西安地区与其他省市放射性环境质量进行比较,我们选择了采用Ge(Li) γ 谱仪进行监测的地区,这些地区对空气气溶胶和蔬菜分析的最大污染结果分别列于表4和表5。由于各地分析的放射性核素数目不等,因此,用北京地区给出的核素为基础。计算Q值时,空气气溶胶选¹³¹I、¹³²I、¹³⁴Cs和¹³⁷Cs四种核素,蔬菜选¹³¹I、¹³⁷Cs、¹³⁴Cs和¹⁰³Ru四种核素。按(2)式计算的Q值也列于两个表中。从表中的结果可见,在所比较的几个地区中,北京的放射性环境质量最差,即放射性污染最重,西安地区居中,华东的上海、福州地区放射性环境质量未受影响,污染十分轻微。这与国内各航线飞机表面污染的分析结果^[1]一致。

表 2 切尔诺贝利事故后西安地区莴笋叶核素浓度及质量指数

Table 2 Concentrations of radionuclides and quality index in lettuce leaves in Xi'an area following the Chernobyl accident

核 素 Radionuclides	污染浓度(Bq/kg) Contamination levels	食入限制浓度(Bq/kg) ^[4] Intake limited levels	$F_{\text{Xi'an}}$
¹⁴¹ Ce	0.30±0.13	7.2×10^3	4.2×10^{-5}
¹³¹ I	13.76±0.26	1.3×10^3	0.106
⁷ Be	3.2 ±0.8	2.0×10^5	1.6×10^{-5}
¹⁴⁰ Ba	0.30±0.37	2.7×10^5	1.1×10^{-4}
¹⁴⁰ La	0.50±0.15	3.0×10^5	1.7×10^{-4}
¹⁰³ Ru	1.91±0.12	8.5×10^3	2.25×10^{-4}
¹³⁴ Cs	0.21±0.09	3.1×10^3	6.8×10^{-4}
¹³⁷ Cs	0.77±0.10	4.6×10^3	1.7×10^{-3}
⁹⁵ Zr	0.14±0.13	6.8×10^4	2.1×10^{-6}
⁹⁵ Nb	0.12±0.10	1.0×10^4	1.2×10^{-6}

表 3 切尔诺贝利事故后西安地区空气中核素浓度及质量指数

Table 3 Concentration of radionuclides and quality index in air in Xi'an area following the Chernobyl accident

核素 Radionuclides	污染浓度 (mBq/m ³) Contamination levels	吸入限制浓度(Bq/m ³) ⁽¹⁾ Inhalation limited levels	F_{air}
¹³⁷ Cs	2.6±3.0	2.1×10 ²	1.24×10 ⁻⁴
²³⁹ Np	41±20	8.4×10 ²	4.88×10 ⁻⁶
¹³² I	8.1±2.2	2.8×10 ³	2.89×10 ⁻⁶
¹³¹ I	120.6±4.4	1.6×10 ³	7.54×10 ⁻⁵
⁷ Be	24±17	6.4×10 ³	3.75×10 ⁻⁶
¹⁴⁰ Ba	18±9	4.4×10 ²	3.67×10 ⁻⁶
¹⁴⁰ La	12.6±4.1	4.1×10 ²	3.07×10 ⁻⁵
¹⁰⁶ Ru	52±10	2.3×10 ²	2.24×10 ⁻⁴
¹⁰⁶ Rh	51±10	4.0	1.28×10 ⁻³
¹³⁴ Cs	10.7±1.9	3.8×10 ³	2.82×10 ⁻⁴
¹³⁶ Cs	3.6±1.7	2.4×10 ²	1.50×10 ⁻⁵
¹³⁷ Cs	22.2±2.6	5.5×10 ³	4.04×10 ⁻⁴

表 4 切尔诺贝利事故后西安与其它地区放射性空气质量比较

Table 4 Comparison of the radioactive air quality in Xi'an area with that in other areas following the Chernobyl accident

核素 Radionuclides	西 安 ⁽¹⁾ Xi'an	北 京 ⁽⁵⁾ Beijing	济 南 ⁽⁸⁾ Jinan	上 海 ⁽⁷⁾ Shanghai	福 州 ⁽⁶⁾ Fuzhou
¹³¹ I(mBq/m ³)	120.6	96.2	296.1	68.2	19.4
¹³² I(mBq/m ³)	8.1	92.5×10 ³	39.4	3.44	1.09
¹³⁴ Cs(mBq/m ³)	10.7	12.2	25.5	8.88	3.06
¹³⁷ Cs(mBq/m ³)	22.2	13.7	51.9	16.2	6.59
$Q_i(\times 10^{-4})$	6.56	61.0	25.2	2.78	0.424

表 5 切尔诺贝利事故后西安与其它地区放射性蔬菜质量比较

Table 5 Comparison of the radioactive vegetable quality in Xi'an area with that in other areas following the Chernobyl accident

核素 Radionuclides	西 安 ⁽¹⁾ Xi'an	北 京 ⁽⁵⁾ Beijing	上 海 ⁽⁷⁾ Shanghai
¹³¹ I(Bq/kg)	13.8	65.5	10.2
¹³⁷ Cs(Bq/kg)	0.77	4.85	0.48
¹³⁴ Cs(Bq/kg)	0.21	2.62	0.14
¹⁰⁶ Ru(Bq/kg)	1.91	6.00	0.35
$Q_i(\times 10^{-2})$	3.46	35.8	2.20

三、环境放射卫生学评价

苏联切尔诺贝利核电站事故对西安地区的影响,除了要对放射性环境质量进行评价外,

还要进行环境放射卫生学评价,即首先要估算有关受照剂量。

1. 苏联核电站事故放射性污染所致西安地区居民内照射剂量

1) 关键核素、关键居民组的平均有效剂量当量和集体剂量当量 关键核素是 ^{131}I ,关键居民组是通过饮用牛奶摄入 ^{131}I 的两岁婴儿以及通过吸入和食入 ^{131}I 的成人。摄入 ^{131}I 致甲状腺的待积剂量当量为^[16]:

$$H_{50,T} = (1.52 \times 10^{-4} \cdot E_{eff} \cdot f \cdot q_0) / m \quad (\text{Sv}) \quad (3)$$

式中, E_{eff} 为 ^{131}I 在甲状腺中的有效能量,成人 $E_{effb} = 0.23\text{MeV}$,婴儿 $E_{effy} = 0.19\text{MeV}$; f 为摄入体内的 ^{131}I 进入甲状腺的份额,食入 $f_i = 0.3$;吸入 $f_i = 0.23$; m 为甲状腺的质量,成人 $m_b = 20\text{g}$,婴儿 $m_y = 1.8\text{g}$; q_0 为单次摄入 ^{131}I 的总量(Bq)。由(3)式得:

$$\text{成人食入: } H_{50,Tbe} = 5.244 \times 10^{-7} q_0 \quad (\text{Sv}) \quad (4)$$

$$\text{成人吸入: } H_{50,Tbi} = 4.021 \times 10^{-7} q_0 \quad (\text{Sv}) \quad (5)$$

$$\text{婴儿食入: } H_{50,Tye} = 4.81 \times 10^{-6} q_0 \quad (\text{Sv}) \quad (6)$$

$$\text{婴儿吸入: } H_{50,Tyi} = 3.69 \times 10^{-6} q_0 \quad (\text{Sv}) \quad (7)$$

假定婴儿平均每天用牛奶量为0.7 l,成人为0.25 l,成人每天吸气量为 20m^3 ,每天食用蔬菜0.5kg,饮水2.2 l,这次西安地区放射性污染持续时间为30天,那么,居民甲状腺所受待积剂量当量和全身所受有效待积剂量当量如表6所示。从西安市统计局获得1986年西安地区总人口是564万,其中婴儿为10万,从而算得甲状腺和全身的集体待积剂量当量约分别为620(人·Sv)和20(人·Sv),如表6最后一行所列。

其它器官(既是源器官也是靶器官时)如肾、肝、脾等所受剂量也可按公式(3)计算,但 ^{131}I 达到这些器官的份数较低,而器官质量又较大,总共要低两个数量级以上,因而可不考虑。

2) 其它放射性核素所致的全身(总计权)待积剂量当量和集体待积剂量当量 对于成人的全身待积剂量当量的估算,用文献[4]中给出的单位活度(1Bq)某种核素所致全身(总计权)待积剂量当量 $\left(\sum_T W_T H_{50,T}\right)$ 是比较方便的。对其它放射性核素,为简单起见,用文献[4]中所列数据估算,结果列于表7,表中“*”号数值是用污染最大的一天数据计算的。从表

表6 西安居民摄入 ^{131}I 致甲状腺待积剂量当量和全身待积剂量当量

Table 6 Committed dose equivalent on thyroid and on body due to ^{131}I intake for residents in Xi'an.

环 境 样 品 Environmental samples		$q_0(\text{Bq})$	$H_{50,T}(\mu\text{Sv})$	$H_{E,50}(\mu\text{Sv})$
婴儿 Baby:	牛奶 Milk	6.13*	29.5	0.885
成人 Grown-up:	叶菜 Leafy vegetables	170.84	89.6	2.69
	空气 Air	44.07	17.7	0.531
	牛奶 Milk	2.19*	1.15	0.035
	渭河水 Weihe River water	5.23*	2.74	0.082
成人合计 Adult total		222.43	111.2	3.34
集体剂量当量(man·Sv) Collective dose equivalent			619	18.6

* 数据来自文献[9] The data are from Ref. [9]

中摄入¹³¹I所致剂量的估算结果可见,与上述估算方法结果接近。考虑到放射性核素通过蔬菜食入虽然占主要,但人们每天膳食中蔬菜只约占~35%,而且污染的天数超过所假定的30天,因此,食入和吸入浓度,采用污染浓度最高的一天的数据来估算。

表 7 西安居民(成人)摄入各种核素致全身待积剂量当量和集体剂量当量

Table 7 Committed dose equivalent on body and collective dose equivalent due to radionuclides intake for grown-up in Xi'an

核素 Radionuclides	食入 q_0^* (Bq) Intake	吸入 q_0^* (Bq) Inhale	$H_{E,50}(\mu\text{Sv})$	集体 $H_{E,50}(\text{man}\cdot\text{Sv})$ Collective $H_{E,50}$
¹³¹ I	206.4	72.4	3.62	20.1
¹⁴¹ Ce	4.5	1.56	0.0067	0.037
¹³² Te	/	4.72	0.0099	0.055
¹³² I	/	4.86	0.00044	0.0024
¹⁴⁰ Ba	4.5	10.8	0.0208	0.115
¹⁴⁰ La	7.5	7.56	0.0227	0.126
¹⁰³ Ru	28.7	30.9	0.0859	0.476
¹⁰⁶ Ru	/	30.6	3.67	20.3
¹³⁷ Cs	11.6	13.3	0.278	1.54
¹³⁴ Cs	3.15	6.42	0.146	0.811
¹³⁶ Cs	/	2.16	0.0043	0.024
⁸⁵ Zr	2.1	/	0.0019	0.011
⁸⁵ Nb	1.8	/	0.0011	0.006
²³⁹ Np	/	23.6	0.0131	0.673
合计 Total	270.3	210.7	7.88	43.7

表 8 西安地区居民所受外照射剂量的估算结果

Table 8 Estimated results of external exposure for residents in Xi'an

核素 Radionuclides	地表总污染浓度(Bq/m ²) Earth surface total contamination levels	全身剂量转换因子($\mu\text{Sv/a}\cdot(\text{Bq/m}^2)$) Whole body dose transform factor	年剂量当量(μSv) Annual dose equivalent	集体剂量当量 ($\text{man}\cdot\text{Sv}$) Collective dose equivalent
⁹⁹ Mo- ^{99m} Tc	1.21	9.05×10^{-5}	0.0110	0.0203
¹⁴¹ Ce- ¹⁴⁴ Pr	2.66	1.82×10^{-5}	0.00483	0.0089
¹⁴¹ Ce	2.50	2.57×10^{-5}	0.00644	0.0119
²³⁹ Np	9.60	5.76×10^{-5}	0.0553	0.102
¹³² Te- ¹³² I	6.35	7.28×10^{-2}	0.462	0.852
¹³¹ I	26.6	1.21×10^{-2}	0.322	0.594
¹⁴⁰ Ba	11.3	4.62×10^{-5}	0.0523	0.0965
¹⁴⁰ La	9.63	6.27×10^{-2}	0.604	1.11
¹⁰³ Ru	60.4	1.44×10^{-2}	0.869	1.60
¹⁰⁶ Ru- ¹⁰⁶ Rh	16.2	6.08×10^{-5}	0.0986	0.182
¹³⁴ Cs	13.5	1.97×10^{-2}	0.266	0.491
¹³⁵ Cs	1.69	3.24×10^{-2}	0.0546	0.101
¹³⁷ Cs	28.8	1.75×10^{-2}	0.503	0.928
⁹⁵ Zr	0.909	2.12×10^{-2}	0.0193	0.0356
⁹⁵ Nb	1.87	2.40×10^{-2}	0.0451	0.0832
¹²⁵ Sb	1.74	1.30×10^{-2}	0.0226	0.0417
合计 Total	195.0	0.3197	3.396	6.26

2. 苏联核电站事故放射性污染所致西安地区居民外照射剂量

对于外照射剂量,我们只考虑放射性沉降灰污染地表面所致的外照射剂量。假定放射性沉降灰在地表面上分布是均匀的,城市居民室外居留因子为0.2,农民室外居留因子为0.4。又根据西安市统计局获得,非农业人口206万,农业人口358万。则利用文献[11]附录中给出的剂量率转换因子,计算得全身的外照射剂量当量列于表8,表中数值均考虑了居留因子。对于外照射来说,一年以后,大部分核素都衰变完,加上各种因素引起核素的转移,无需考虑五十年内的总照射剂量。将表8与表7的数据进行比较可见,外照射的集体剂量当量要比内照射低得多,内照射剂量的估算是主要的。

3. 对人体健康影响评价

根据放射卫生的防护标准的规定^[4],公众中个人受到的年剂量当量应低于下列限值:全身5mSv;任何单个组织或器官50mSv。这次苏联切尔诺贝利核电站事故致西安地区居民内、外照射剂量当量的总和低于国家标准440倍以上,甲状腺所受剂量当量低于标准450倍以上。可见影响是微小的。

根据ICRP26号出版物^[12],辐射致甲状腺癌的危险度为 $5 \times 10^{-4} (\text{Sv}^{-1})$;全身均匀照射的总危险度为 $1.65 \times 10^{-2} (\text{Sv}^{-1})$ 。因此,切尔诺贝利事故,使西安地区居民发生甲状腺癌的只有0.3人;发生各种癌瘤的人数是0.8人。即西安地区由于这次事故的放射性污染所致各种癌瘤,最多是1人。

四、小 结

通过采用Ge(Li)反康普顿 γ 谱分析方法,获得切尔诺贝利核电站事故后西安地区空气、蔬菜和沉降灰中各种放射性核素的浓度数据。以一定的模式计算这次事故对西安的影响:

(1) 放射性环境质量变化甚微。但与有关省市比较,放射性空气质量次于上海、福州,而优于北京、济南。放射性蔬菜质量介于北京、上海之间。即放射性环境质量次于华东而优于华北地区。

(2) 关键居民组:2岁婴儿摄入关键核素 ^{131}I 所致甲状腺待积剂量当量为 $29.5\mu\text{Sv}$;成人甲状腺所受待积剂量当量为 $111.2\mu\text{Sv}$ 。甲状腺集体剂量当量为 $619(\text{人} \cdot \text{Sv})$ 。

(3) 西安地区居民(成人)摄入各种放射性核素致全身待积剂量当量 $7.88\mu\text{Sv}$;集体剂量当量 $43.7(\text{人} \cdot \text{Sv})$ 。放射性物质沉降至地面所致居民外照射年剂量当量为 $3.40\mu\text{Sv}$;年集体剂量当量为 $6.26(\text{人} \cdot \text{Sv})$ 。

参 考 文 献

- [1] 庞巨丰等,中华放射医学与防护杂志,(1987),7(增刊):96.
- [2] 二机部环保教材编写组,核工业环境保护(下册),1982年,第86页。
- [3] 庞巨丰,放射性环境影响评价方法(待发表),(1987),
- [4] 中华人民共和国国家标准,GB4792-84,1985.
- [5] 任天山等,中华放射医学与防护杂志,(1987),7(增刊):12.
- [6] 福建省劳动卫生职业病研究所,同上,(1987),67.
- [7] 吴水龙等,同上,(1987),47.
- [8] 刘志和等,同上,(1987),73.
- [9] 陕西省卫生防疫站,同上,(1987),93.
- [10] 李星洪,辐射防护基础,北京原子能出版社,1982年,第205页。
- [11] D. C. Koche., *Heal. Phys.* 38(1980), 4:543.
- [12] ICRP, 26号出版物,(1977).

Environmental impact of Chernobyl accident on Xi'an area and health evaluation

Pang Jufeng Zheng Guifang Wang Liang Liu Qingbiao

Wu Rong Yan Fuxing Hou Xiaofeng

(Shaanxi provincial Institute of preventive Medicine Research)

Abstract

After Chernobyl nuclear reactor accident, by using an Ge(Li) anti-Compton gamma-ray spectrometer, we analyzed fallout, aerosol and lettuce leaves in Xi'an area, and knew the contamination levels by radionuclides. On the basis of the data and making use of some models of evaluation, we evaluated the environmental quality in Xi'an area and compared it with that in other areas in China following the accident. The radiation hazard to the public in Xi'an area was discussed and health evaluation was made.

Keywords: Chernobyl accident Ge (Li) anti-Compton gamma-ray spectrometry Concentration of radionuclides Environmental quality
Health evaluation

(1987年10月21日收到)