

# 秦山核电基地外围 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 公众摄入量估算及内照射剂量评价\*

刘翠红<sup>\*\*1 2</sup> 张磊<sup>1</sup> 郭秋菊<sup>1</sup>

(1. 北京大学物理学院技术物理系 北京 100086 2. 海军 92609 部队 北京 100077)

**摘要**  $^{90}\text{Sr}$  和  $^{137}\text{Cs}$  是核电站环境监测中受关注的两种重要核素。本文采用一种食物链转移剂量估算模式和中国参考人及浙江(省)人食品消费量等参数,结合秦山核电基地外围环境放射性水平监测数据,计算了秦山核电基地外围  $^{90}\text{Sr}$  和  $^{137}\text{Cs}$  的公众食入摄入量及内照射剂量。结果表明,  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  摄入量的主要食物来源为米及其制品、蔬菜以及水产品,且  $^{90}\text{Sr}$  所致公众年平均待积有效剂量为  $2.5 \mu\text{Sv}$ , 明显高于  $^{137}\text{Cs}$  的剂量贡献( $0.36 \mu\text{Sv}$ )。本文仅以秦山核电基地作为例子,介绍评价方法。实际上,秦山核电基地外围环境介质中  $^{90}\text{Sr}$  和  $^{137}\text{Cs}$  的含量水平与运行前的本底调查结果比较没有改变。

**关键词** 秦山核电基地外围 公众 内照射 年摄入量 待积有效剂量  $^{90}\text{Sr}$   $^{137}\text{Cs}$

随着我国原子能事业的发展,尤其是核电站的兴建,核电站所致公众内照射剂量评价成为辐射防护工作的一项重要内容。在核电站可能排放的人工放射性核素中,裂变产物  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  为公众所受内照射剂量的主要贡献者<sup>[1]</sup>。

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)<sup>[2]</sup>和《放射性核素摄入量及内照射剂量估算规范》(GB/T 16148-1995)<sup>[3]</sup>中规定了职业人员的剂量限值,给出了职业人员内照射摄入量估算和剂量评价方法。但一般公众的内照射剂量估算,由于受放射性物质转移途径、居民膳食结构等因素的影响,变得非常复杂。国际放射防护委员会(ICRP)已经确立了公众年龄别剂量转换系数的内照射剂量估算方法,并不断更新完善相关系数。

1962 年 联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR) 给出了放射性核素在环境中的迁移以及向人类转移的模式。UNSCEAR 1993 年报告汇集了不同核素吸入和食入途径的转移系

数。UNSCEAR 2000 年报告中,委员会给出了详细的剂量评价方法,对先前的模式和参数值的选择进行了调整<sup>[4]</sup>。

本文应用 UNSCEAR 2000 年报告书中推荐的食物链转移剂量评价模式和中国参考人及浙江(省)人食物消费量等资料,并结合秦山核电基地外围环境放射性水平监测数据,对秦山核电基地外围居民  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  的摄入量及所受内照射剂量进行了估算。这里需要指出的是,本文仅以秦山核电基地作为例子,介绍评价方法。实际上,秦山核电基地外围环境介质中  $^{90}\text{Sr}$  和  $^{137}\text{Cs}$  的含量水平与运行前的本底调查结果比较没有改变。

## 2 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 公众摄入量估算及剂量评价模式

人体所受辐射剂量主要来源于空气、土壤所致的外照射与吸入受污染的空气和食入受污染的食物所致的内照射。释入环境中的放射性核素

\* 国家自然科学基金资助项目(项目编号:10775007)。

\*\* 第一作者简介:刘翠红,女,1979 年 11 月出生,2001 年毕业于山东轻工业学院电气自动化专业,现为北京大学物理学院在读硕士研究生,工程师。China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

<sup>90</sup>Sr、<sup>137</sup>Cs 的照射途径主要以食入内照射为主 [4]。

在 UNSCEAR 2000 年报告中,委员会给出了放射性核素向人体转移及剂量贡献途径,如

图 1 所示 [4]。委员会认为,对一特定环境转移途径,最终的有效剂量可由一系列转移系数乘以释入环境的核素的多少来估算。

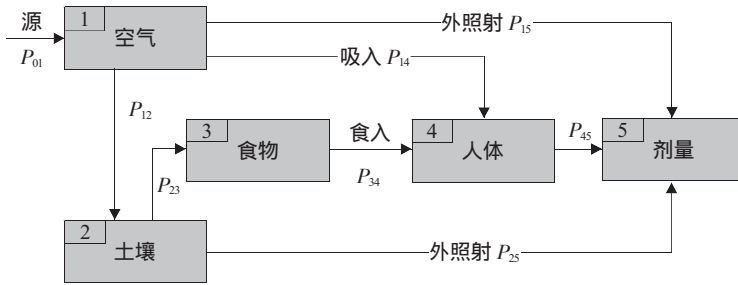


图 1 放射性核素陆生转移途径和对人体的剂量 [4]

Fig.1 Terrestrial pathways of radionuclide transfer and dose to human

若某一特定核素进入大气中的活度总量为  $A_0$ , 则该核素通过食入途径进入人体的摄入量  $I_{食入}$  估算如下式所示:

$$I_{食入} = A_0 P_{01} P_{12} P_{23} P_{34} \quad (1)$$

式中  $P_{01}$  为某一特定核素从源进入到大气中的转移系数, 等于空气中该核素的积分浓度除以释放量;  $P_{12}$  为大气到土壤的转移系数, 等于核素沉积密度除以积分空气浓度;  $P_{23}$  为地表沉积到食物的转移系数, 等于食物中放射性核素的时间积分活度浓度除以地表核素沉积密度, UNSCEAR 2000 年报告给出了 <sup>90</sup>Sr、<sup>137</sup>Cs 的  $P_{23}$  推荐值 (见表 1);  $P_{34}$  为从食物到人体组织的转

移系数, 等于体内某核素的活度除以该核素在食物中的时间积分活度浓度,  $Bq / (Bq \cdot a \cdot kg^{-1})$ , 等于个人年食物消费量  $kg \cdot a^{-1}$ , 表 2 给出了 1992 年全国第三次营养调查所得我国参考人食品日消费量及浙江(省)人食品日消费量 [5]。

核素经食入途径所致公众内照射剂量  $E_C$  为:

$$E_C = I_{食入} \times P_{45} \quad (2)$$

式中  $P_{45}$  为食入放射性核素的剂量转换系数, 即单位摄入量所致的待积有效剂量  $nSv \cdot Bq^{-1}$ 。表 1 中给出了食入途径 <sup>90</sup>Sr、<sup>137</sup>Cs 的剂量转换系数 ( $P_{45}$ ) 推荐值。

表 1 食入途径放射性核素 <sup>90</sup>Sr、<sup>137</sup>Cs 的转移系数 [4]

Tab.1 Transfer coefficients of radionuclides in food chain

核素	$P_{23} [(mBq \cdot a \cdot kg^{-1}) / (Bq \cdot m^{-2})]$	$P_{45} (nSv \cdot Bq^{-1})$
<sup>90</sup> Sr	3.8	28
<sup>137</sup> Cs	8.4	13

表2 中国参考人与浙江(省)人食品日消费量推荐值(g/人)<sup>[5]</sup>

Tab.2 Daily food consumption and dietary composition for Chinese reference man and for reference man of Zhejiang province

食品种类	中国参考人	浙江(省)人	食品种类	中国参考人	浙江(省)人	
谷类	米及其制品	226.7	417.1	猪肉	37.1	47.2
	面及其制品	178.7	30.2	其它畜肉	8.9	4.7
	其它谷类	34.5	7.0	肉类 动物内脏	4.0	6.3
	小计	439.9	454.3	禽肉	8.9	17.7
薯类	86.6	55.8	小计	58.9	75.9	
豆类	干豆类	3.3	7.4	植物油	22.4	14.2
	豆制品	7.9	17.6	油脂类 动物油	7.1	11.8
	小计	11.2	25.0	小计	29.5	26.0
蔬菜类	深色	102.0	107.6	饮料与水	512.1	512.1
	浅色	208.3	160.9	酒类	1.8	3.9
	腌菜	9.7	34.7	糖和淀粉	4.7	6.6
	小计	320.0	303.2	食盐	13.9	13.8
水果类	鲜果	49.2	57.9	调味品 酱及酱油	12.6	14.4
	干果	3.1	6.6	小计	26.5	28.2
	小计	52.3	64.5	糕点类	7.1	7.1
奶及其制品	52.3	8.3	其它	11.5	12.1	
蛋及其制品	16.0	16.0				
水产类	27.5	61.5				

在应用食物链转移途径构建中国参考人<sup>90</sup>Sr、<sup>137</sup>Cs 公众食入摄入量估算及剂量评价模式时,评价内照射剂量的起点通常选择为核素地面沉积密度、水中核素浓度、食物中核素浓度。因此,把核电基地外围<sup>90</sup>Sr、<sup>137</sup>Cs 公众摄入量估算及内照射剂量评价分为三部分:一是评价公众食入食物及饮用水所致剂量,评价的起点为食物和饮用水中的放射性核素浓度;二是评价放射性核素经陆生食物链转移途径进入人体所致剂量,评价的起点为核素地面沉积密度;三是评价放射性核素经水生食物链转移途径进入人体所致剂量,评价的起点为水中核素浓度。

### 2.1 食入食物和饮用水

通过食入食物和饮用水所致公众<sup>90</sup>Sr、<sup>137</sup>Cs 年摄入量及年待积有效剂量( $E_{ij}$ )由下式估算:

$$E_{ij} = C_{ij} P_{34} P_{45} \quad (3)$$

式中  $C_{ij}$  为核素  $i$  在  $j$  类食品中的活度浓度, Bq/kg  $P_{34}$  为  $j$  类食品的年消费量 kg/a  $C_i P_{34}$  即为核素  $i$  经食品  $j$  的年摄入量 Bq  $P_{45}$  为核素  $i$  的食入剂量系数, nSv/Bq  $P_{ij}$  为核素  $i$  经食品

所致的年待积有效剂量 nSv/Bq。

### 2.2 陆生食物链转移途径

从长期效果而言,从作物根部吸收是更重要的。放射性核素经由陆生食物链转移途径进入人体的年摄入量及年待积有效剂量( $E_{ij}$ )由下式估算:

$$E_{ij} = F_i P_{23} P_{34} P_{45} \quad (4)$$

式中  $F_i$  为核素  $i$  在地面的沉积放射性面密度, Bq/m<sup>2</sup>  $P_{23}$  为地表沉积到食物的转移系数 (mBq·a·kg<sup>-1</sup>)/(Bq·m<sup>2</sup>)  $P_{34}$  为  $j$  类食品的年消费量, kg/a  $P_{45}$  为核素  $i$  的食入剂量系数 nSv/Bq。

### 2.3 水生食物链转移途径

放射性核素经由水生食物链转移途径进入人体的年摄入量及所致年待积有效剂量( $E_{ij}$ )由下式估算<sup>[6]</sup>:

$$E_{ij} = C_i P_{23} P_{34} P_{45} \quad (5)$$

式中  $C_i$  为水中的放射性核素  $i$  的活度浓度, Bq/kg  $P_{23}$  为核素  $i$  在水生食物  $j$  中的活度浓度与核素  $i$  溶解在水中的活度浓度的比值 (Bq·kg<sup>-1</sup>)/(Bq·L),即生物浓集因子  $B_p$  L/kg,  $P_{34}$  为核素  $i$  经食品

<sup>90</sup>Sr 的生物浓集因子  $B_p$  列于表 3  $P_{34}$  为  $j$  类食品的年消费量 kg/a。

### 3 秦山核电基地外围 <sup>137</sup>Cs 和 <sup>90</sup>Sr 摄入量及内照射剂量计算结果与讨论

#### 3.1 秦山核电基地外围环境中 <sup>137</sup>Cs 和 <sup>90</sup>Sr 的

#### 放射性水平

1992~2005 年浙江省辐射环境监测站对秦山核电基地外围环境的水体、土壤和生物样品中 <sup>137</sup>Cs、<sup>90</sup>Sr 的放射性水平的监测结果已公开发表 [7~10] 土壤、食品及水体中放射性核素平均浓度和波动范围如表 4 所列。

表 3 <sup>137</sup>Cs、<sup>90</sup>Sr 的生物浓集因子  $B_p$  [4]  
Tab.3 Bioaccumulation factor of <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr

核素	淡水鱼(L/kg)	海鱼(L/kg)	海贝(L/kg)
<sup>137</sup> Cs	2000	100	30
<sup>90</sup> Sr	60	2	2

表 4 土壤、食品及饮用水中 <sup>137</sup>Cs、<sup>90</sup>Sr 的放射性水平 [7~10]  
Tab.4 Concentration of <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr in soils, food and freshwater

	测量年份	<sup>137</sup> Cs			<sup>90</sup> Sr			
		样品数	范围 <sup>1)</sup>	均值	样品数	范围 <sup>1)</sup>	均值	
土壤(Bq/kg,干重)	1992~2004	467	1.9~4.4	3.3				
食品	大米(Bq/kg)	1993~2004	43	0.02~0.41	0.12	43	0.01~0.19	0.07
	青菜(Bq/kg)	1992~2004	75	0.01~0.17	0.05	73	0.07~0.91	0.28
	茶叶(Bq/kg)	1992~2004	22	0.08~0.80	0.51	22	0.47~11.2	3.7
	猪肉(Bq/kg)	1992~2004	15	0.02~0.17	0.08	5	0.013~0.150	0.06
	羊肉(Bq/kg)	1998~2005	8	0.01~0.07	0.03	5	0.06~0.20	0.11
	鱼虾(Bq/kg)	1993~2005	13	0.01~0.14	0.05	13	0.054~0.228	0.13
	螺蛳(Bq/kg)	1996~2005	14	0.01~0.08	0.03	7	1.02~2.70	1.80
	牛奶(Bq/L)	1992~2005	22	0.009~0.045	0.02	5	0.007~0.043	0.03
饮用水(mBq/L)	1997~2003	15	0.2~0.8	0.3	15	0.60~7.40	3.5	
陆地淡水(mBq/L)	1992~2004			0.3			4.4	
近海海水(mBq/L)	1992~2004	56	0.6~1.1	0.7	57	1.9~16.5	5.4	

1)测量年份内逐年均值的范围值。

#### 3.2 计算结果与讨论

结合中国参考人和浙江(省)人的食物消费量数据(见表 2)以及表 4 的数据,应用相应的公式(3)、(4)、(5)我们将经由食品及饮用水、经由陆生食物链及经由水生食物链(陆地淡水→淡水鱼 近海海水→海鱼、海贝)途径计算得到的居民 <sup>137</sup>Cs、<sup>90</sup>Sr 年摄入量、年待积有效剂量及不同食物对剂量的相对贡献分别列入表 5、表 6、表 7。

##### 3.2.1 食入食品及饮用水

由表 5 可见:

(1)在分析的 8 种食品及饮用水中 秦山核电基地外围 <sup>137</sup>Cs 年摄入量为 27.3 Bq, 大于中国参考人年摄入量 18.0 Bq; <sup>90</sup>Sr 年摄入量为 88.4 Bq 大于中国参考人年摄入量 60.3 Bq。

(2)比较年待积有效剂量看出 秦山核电基地外围食物中 <sup>137</sup>Cs 所致公众总的年待积有效剂量为 0.36 μSv, 高于中国参考人水平 0.23 μSv, <sup>90</sup>Sr 所致公众年平均有效剂量为 2.5 μSv, 高于中国参考人水平 1.7 μSv。

(3)在食品及饮用水中 秦山核电基地外围居民  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  的食品来源与全国参考人相一致,  $^{90}\text{Sr}$  主要来源于螺蛳和青菜,  $^{137}\text{Cs}$  主要来源于大米和青菜。比较各种食物对年待积有效剂量的相对贡献可以发现, 对浙江(省)人而言, 对  $^{137}\text{Cs}$  所致年待积有效剂量贡献最大的是大米, 占 67.4%; 其次是青菜, 占 20.2%; 贡献最小的是羊肉和牛奶, 分别占 0.2%。对  $^{90}\text{Sr}$  贡献最大的是螺蛳, 占 45.7%; 其次是青菜, 占 35.1%; 贡献最小的是牛奶, 占 0.1%。对中国参考人而言, 对  $^{137}\text{Cs}$  所致年待积有效剂量贡献最大的是大米, 占 55.4%; 其次是青菜, 占 31.6%; 贡献最小的是饮用水, 占 0.4%。对  $^{90}\text{Sr}$  贡献最大的是青菜, 占 52.7%; 其次是螺蛳, 占 29.9%; 贡献最小的是牛奶, 占 0.3%。

(4)  $^{90}\text{Sr}$  所致总的年待积有效剂量为 2.5  $\mu\text{Sv}$ , 明显高于  $^{137}\text{Cs}$  (0.36  $\mu\text{Sv}$ )。

### 3.2.2 陆生食物链途径

由于缺乏土壤中  $^{90}\text{Sr}$  的环境监测数据, 故本文对不同陆生食物链途径公众年摄入量和内

照射剂量只对  $^{137}\text{Cs}$  作出了估算, 结果列于表 6。

由表 6 可见, 在陆生食物链转移途径中, 对于浙江(省)人和中国参考人,  $^{137}\text{Cs}$  的主要来源相一致, 为谷类(大米和面)和蔬菜(深色和浅色蔬菜), 贡献最小的是奶及其制品。但对于浙江(省)人而言, 大米的相对贡献值(42.0%)远高于中国参考人(22.6%), 面及其制品的相对贡献值(3.0%)远低于中国参考人(17.8%)。这与我国南方居民以大米为主要粮食来源的膳食习惯相一致。

### 3.2.3 水生食物链途径

计算结果显示, 秦山核电基地外围居民经由水生食物链途径的  $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{90}\text{Sr}$  摄入量及年待积有效剂量与陆生食物链各转移途径所得到的结果处于同一数量级。因此, 在估算基地外围居民  $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{90}\text{Sr}$  摄入量及年待积有效剂量时, 水生食物链转移途径同样不容忽视。这与秦山核电基地的地理位置、气候等自然条件及居民膳食组成有关。

表 5 食入食品及饮用水公众  $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{90}\text{Sr}$  的年摄入量及所致年待积有效剂量

Tab.5 Annual intake and committed effective doses of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  in single polluted food and drinking water

食品	$^{137}\text{Cs}$						$^{90}\text{Sr}$					
	浙江(省)人			中国参考人			浙江(省)人			中国参考人		
	年摄入量 (Bq)	年待积有效剂量 ( $\mu\text{Sv}$ )	对剂量的相对贡献 (%)	年摄入量 (Bq)	年待积有效剂量 ( $\mu\text{Sv}$ )	对剂量的相对贡献 (%)	年摄入量 (Bq)	年待积有效剂量 ( $\mu\text{Sv}$ )	对剂量的相对贡献 (%)	年摄入量 (Bq)	年待积有效剂量 ( $\mu\text{Sv}$ )	对剂量的相对贡献 (%)
大米	18.3	0.24	67.4	9.9	0.13	55.4	10.7	0.3	12.1	5.8	0.16	9.6
青菜	5.5	0.07	20.2	5.7	0.07	31.6	31.0	0.9	35.1	31.7	0.9	52.7
猪肉	1.2	0.02	4.4	1.1	0.01	6.0	1.0	0.03	1.2	0.8	0.02	1.4
羊肉	0.1	0.001	0.2	0.1	0.001	0.5	0.2	0.01	0.2	0.4	0.01	0.6
鱼虾	1.1	0.01	4.1	0.5	0.007	2.8	2.9	0.08	3.3	1.3	0.04	2.1
螺蛳	0.7	0.01	2.5	0.3	0.004	1.7	40.4	1.1	45.7	18.0	0.5	29.9
牛奶	0.1	0.001	0.2	0.1	0.001	0.6	0.09	0.003	0.1	0.16	0.005	0.3
茶叶	0.2	0.002	0.7	0.2	0.002	1.0	1.4	0.04	1.5	1.4	0.04	2.3
饮水	0.1	0.001	0.3	0.1	0.001	0.4	0.7	0.02	0.8	0.7	0.02	1.1
合计	27.3	0.36	100	18.0	0.23	100	88.4	2.5	100	60.3	1.7	100

表 6 不同陆生食物链途径公众 <sup>137</sup>Cs 年摄入量、年待积有效剂量及相对贡献<sup>1)</sup>

Tab.6 Annual intake and annual committed effective dose of <sup>137</sup>Cs and relative contribution of various terrestrial food chains

食品	浙江(省)人			中国参考人		
	年摄入量 (Bq)	年待积有效剂量 (μSv)	对剂量的相对贡献 (%)	年摄入量 (Bq)	年待积有效剂量 (μSv)	对剂量的相对贡献 (%)
米及其制品	425.7	5.5	42.0	229.0	3.0	22.6
面及其制品	30.8	0.4	3.0	181.0	2.4	17.8
其它谷类	7.1	0.09	0.7	35.0	0.5	3.4
薯类	56.9	0.7	5.6	88.0	1.1	8.6
干豆类	7.6	0.1	0.8	3.3	0.04	0.3
豆制品	18.0	0.2	1.8	8.0	0.1	0.8
深色蔬菜	110.0	1.4	10.8	103.0	1.3	10.1
浅色蔬菜	164.0	2.1	16.2	211.0	2.7	20.7
腌菜	17.7	0.2	1.8	9.8	0.1	1.0
鲜果	59.1	0.8	5.8	49.8	0.6	4.9
干果	6.7	0.09	0.7	3.1	0.04	0.3
猪肉	48.2	0.6	4.8	37.5	0.5	3.7
其它畜肉	4.8	0.06	0.5	9.0	0.1	0.9
动物内脏	6.4	0.08	0.6	4.0	0.05	0.4
禽肉	18.1	0.23	1.8	9.0	0.12	0.9
奶及其制品	8.2	0.11	0.8	15.1	0.2	1.5
蛋及其制品	16.3	0.2	1.6	16.2	0.2	1.6
糖和淀粉	6.7	0.09	0.7	4.8	0.06	0.5
合计	1012.0	13.0	100	1017.0	13.1	100

1)在缺乏 <sup>137</sup>Cs 沉积密度的外照射调查值的情况下 根据土壤中 <sup>137</sup>Cs 比活度与土壤的有效表层密度的乘积 对 <sup>137</sup>Cs 在地面的沉积放射性面密度进行粗略估算<sup>[11]</sup> 其中土壤的有效表层密度值取 2 类土壤的预置值(100 kg/m<sup>2</sup>)<sup>[6]</sup>。

表 7 不同水生食物链途径公众 <sup>137</sup>Cs、<sup>90</sup>Sr 年摄入量、年待积有效剂量及相对贡献

Tab.7 Annual intake and annual average committed effective dose of <sup>137</sup>Cs , <sup>90</sup>Sr and relative contribution of various aquatic food chains

	<sup>137</sup> Cs						<sup>90</sup> Sr					
	浙江(省)人			中国参考人			浙江(省)人			中国参考人		
	年摄入量 (Bq)	年待积有效剂量 (μSv)	对剂量的相对贡献 (%)	年摄入量 (Bq)	年待积有效剂量 (μSv)	对剂量的相对贡献 (%)	年摄入量 (Bq)	年待积有效剂量 (μSv)	对剂量的相对贡献 (%)	年摄入量 (Bq)	年待积有效剂量 (μSv)	对剂量的相对贡献 (%)
淡水鱼	13.5	0.18	85.7	6.0	0.08	86.0	5.9	0.17	89.4	2.7	0.08	93.0
海鱼	1.6	0.02	9.5	0.7	0.01	10.8	0.24	0.01	5.3	0.11	0.003	3.5
海贝	0.5	0.01	4.8	0.2	0.003	3.2	0.25	0.01	5.3	0.11	0.003	3.5
合计	15.6	0.2	100	6.9	0.09	100	6.4	0.2	100	2.9	0.09	100



## 4 讨论

4.1 通过应用  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  公众摄入量估算及剂量评价模式,结合中国参考人及浙江(省)人食品消费量,对秦山核电基地外围公众的  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  的年摄入量及所受内照射剂量进行估算。我们认为在对核电基地外围  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  摄入量估算及所致居民内照射剂量评价时,应用 UNSCEAR 2000 年报告给出的地表沉积到食物的转移系数( $P_{23}$ )和食入摄入量到待积有效剂量转换系数( $P_{45}$ )的参数值(见表 1),对估算我国具体核电基地的  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  摄入量及待积有效剂量,带有一定的不确定性。但是,委员会会根据  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  的较为完整的沉积和食谱数据,利用回归分析方法,针对  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  给出了可靠性较高的转移系数  $P_{23}$  值。因此,对于放射性核素在环境中释放的一般条件下,使用该通用模式计算平均剂量,已经足够了<sup>[4]</sup>。

4.2 通过三种食入途径对秦山核电基地外围的  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  摄入量估算及所致居民内照射剂量数据分析,我们得到:在食入食品及饮用水途径中,大米和螺蛳分别是  $^{137}\text{Cs}$  和  $^{90}\text{Sr}$  主要膳食来源;陆生食物链途径中,大米和蔬菜是  $^{137}\text{Cs}$  的主要来源;水生食物链途径中,鱼贝类是  $^{137}\text{Cs}$  和  $^{90}\text{Sr}$  的主要来源。这为简单快速地评价核电基地外围  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  所致居民内照射剂量,提供了依据。

4.3 本文将秦山核电基地外围的  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  摄入量估算及所致居民内照射剂量评价分为三部分,主要依据监测量的不同。从保守估算的角度考虑,评价模式的后两部分和第一部分间可能存在的部分重复计算对结果的影响暂可忽略。

4.4 本文仅以秦山核电基地作为例子,介绍评价方法。实际上,秦山核电基地外围环境介质中  $^{90}\text{Sr}$  和  $^{137}\text{Cs}$  的含量的监测结果<sup>[7-9]</sup>与运行前的本底调查结果<sup>[12]</sup>相比并没有改变。

## 参考文献

- 1 陆梅. 我国参考人主要放射性核素(元素)膳食摄入量及其所致内照射剂量的现状. 中国辐射卫生, 1999. 8(2): 59
- 2 中华人民共和国国家标准. 电离辐射防护与辐射源安全基本标准. GB 18871-2002. 北京: 中国标准出版社, 2002
- 3 中华人民共和国国家标准. 放射性核素摄入量及内照射剂量估算规范. GB/T 16148-1995. 北京: 中国标准出版社, 1995
- 4 UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume 1: Sources, United Nations Sales Publication. United Nations, New York, 2000
- 5 王继先, 陈如松, 诸洪达. 中国参考人解剖生理和代谢数据. 北京: 原子能出版社, 1998
- 6 任天山, 程建平, 朱立, 等. 环境与辐射. 北京: 原子能出版社, 2007
- 7 向元益, 叶际达, 曹钟港, 等. 秦山核电基地外围环境陆生植物放射性水平监测. 辐射防护通讯, 2007. 27(1): 31
- 8 梁梅燕, 宋伟力, 叶际达, 等. 秦山核电基地外围环境动物性食物样品放射性水平监测. 辐射防护通讯, 2007. 27(2): 28
- 9 向元益, 王侃, 吴虔华, 等. 秦山核电基地外围环境土壤放射性水平监测. 辐射防护通讯, 2007. 27(3): 32
- 10 叶际达, 曾广建, 曹钟港, 等. 秦山核电基地外围环境水体放射性水平监测. 辐射防护通讯, 2006. 26(3): 18
- 11 毛兴俭, 任天山. 人体与放射剂量学研究. 北京: 原子能出版社, 1993
- 12 王文海, 侯爱珍, 刘建, 等. 秦山核电厂运行前的环境放射性本底调查和运行期间的环境监测计划. 辐射防护, 1995. 15(2): 89

(编辑部收稿日期 2008 年 9 月 22 日)

(下转第 254 页, Continued on page 254)

## RESEARCH ON DETERMINING THE MEASUREMENT EFFICIENCY OF HPGe $\gamma$ SPECTROMETER BY USING THE DECAY PRODUCTS OF $^{232}\text{Th}$ AND $^{226}\text{Ra}$ IN SOIL SAMPLES

Yang Yifang Wang Yuexing Wang Haijun Wang Zhentao Li Kexian

(The Naval Medical Research Institute , Shanghai , 200433)

**Abstract** In the study on the measurement of radioactivity in soil , by using the relativity of the emissivity of gamma photons when  $^{232}\text{Th}$  decay series ,  $^{226}\text{Ra}$  and its short-life daughter , which naturally exist in soil , are both balanced , we first establish relative efficiency calibration curves for gamma photons of different energy with HPGe  $\gamma$  spectrometer. Then by using the emissivity of the photon of  $^{40}\text{K}$  in KCl , we determine the measurement efficiency of spectrometer for the 1.460 MeV $\gamma$  photon and thus obtain the efficiency calibration of HPGe  $\gamma$  spectrometer. Compared with the results provided by Radiation Metrology Center of China National Nuclear Company who measured the same samples , our results are consistent with theirs well.

(Key Words: HPGe  $\gamma$  Spectrometer , Efficiency Calibration , Relative Efficiency ,  $^{232}\text{Th}$  ,  $^{226}\text{Ra}$  ,  $^{40}\text{K}$ )

(上接第 249 页 ,Continued from page 249)

## INTAKE ESTIMATION AND DOSE ASSESSMENT OF $^{90}\text{Sr}$ , $^{137}\text{Cs}$ AROUND QNPP BASE

Liu Cuihong<sup>1,2</sup> Zhang Lei<sup>1</sup> Guo Qiuju<sup>1</sup>

(1. Department of Technology Physics , School of Physics , Peking University , Beijing , 100871 ;

2. Navy Unit 92609 , Beijing , 100077)

**Abstract**  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  are important radionuclides in environmental investigation related to nuclear power stations. A mode of intake estimation and dose assessment via various food chains is made in this paper. Based on daily food consumption and dietary composition for Chinese reference man and for man of Zhejiang province and the concentration of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  around QNPP Base , the intake estimation and dose of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  around QNPP Base are calculated. It shows that the main food sources of intake of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  are rice , vegetable and aquatic product. Also the public average annual committed effective dose of  $^{90}\text{Sr}$  (2.5  $\mu\text{Sv}$ ) is obviously higher than the contribution of dose of the  $^{137}\text{Cs}$  (0.36  $\mu\text{Sv}$ ). A practical estimation method was made by taking QNPP Base as an example in this paper , while no background change occurs after its commercial operation.