

放射性生态地质危险性的地质-地球物理评价准则

区域的潜在放射性危险(首先是氡危险)性取决于下列主要因素:该区域的地质构造、岩石的放射性地球化学特征(放射性地球化学环境)、水文地质特征、地震活度、人为活动。为了进行放射性生态地质分区,广泛采用地质、地球物理和地球化学等方法,方法的相互关系与工作量依据研究的比例尺而改变。放射性生态地质危险性的区域评价在定性的水平上完成,详细评价则是根据现行规范进行。

关键词 氡危险 人工污染 评价准则

在近几十年间积累了大量实际资料,更充分地说明辐射源及其对人体和周围环境的影响。在研究辐射源时,起主要作用的不仅是人工放射性核素污染地区的放射性生态地质填图,而且还有天然放射性地质体的填图,尤其是在受人为影响的条件下。

放射性生态地质调查的主要目的是对不同地质构造、景观和气候等条件的区域进行辐射环境评价,同时预测在天然或人工因素影响下放射性元素的放射性及其迁移变化。评价是在对较高放射性(其中包括岩石、风化壳、地下水和地表水释放的氡)区域、地区和局部地带进行调查和填图的基础上进行的。

根据生态强度体的成因特征,按确定的准则对天然放射性核素(EPH)和人工放射性核素(THP)分别进行分区。这种方法的基础是形成生态不利区域或地区的个别放射性元素,以及所有放射性元素的成因差别、寿命和动态等。

地球岩石圈的天然放射性来自其物质组分中不同元素的放射性同位素。

环境中 α 、 β 和 γ 辐射的主要剂量与天然放射性铀系、钍系、锕-铀系元素,以及 ^{40}K 的放射性衰变有关,其中有一些是有毒的。其他元素的同位素分布较少或者放射性较弱,且在地壳总的放射性中的贡献不大(表1)。

从生态角度来说,在辐射方面不利的是岩石中放射性元素含量值较高的那些地区。辐射背景值增大到10~100倍不可避免地影响到生

物体受照射的水平,特别是在天然放射性核素及其衰变子体同食物、水或空气一起进入机体的情况下。

在天然放射性核素中最大的辐射危险来自氡及其衰变子体。它们对总照射量的贡献为50%以上。由于对不同国家铀矿山工人和其他居民组多年跟踪观测的结果,查明了这些物质的致癌作用(表2)。特别应强调指出,在电离辐射和其他致癌因素的综合影响下,电离辐射会增强致癌作用。

氡异常含量可能与任何成分、成因和年龄的岩石有关,只要它含有背景铀含量,特别是含有较高铀含量。

居住地点和办公场所大气中氡的积累问题引起了全社会的注意。根据在美国抽查的结果,8%~12%的住宅氡含量超过了规定的允许值($200\text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$),在英国和瑞典氡含量值更高。根据圣彼得堡辐射防护科学研究所的计算结果("氡"程序),在俄罗斯氡及其衰变子体的辐射剂量降低20%~25%至少可以使50万人免受癌症袭击,从而证明在预防和防护措施方面的巨大投资是合理的。

在核爆和生产性与研究性核反应堆、加速器等工作时,核反应所产生的人工放射性核素导致了地质环境的放射性污染。

人工放射性核素主要是来自 ^{232}Th ~ ^{238}U 的放射性同位素,它们在衰变时发射 α 和 β 粒子以及 γ 光子,产生放射性同位素。从放射性生

收稿日期:2001-09-10

表1 主要放射性核素(天然和人工)的一些物理特征(据 HPB-96)

类	元素	主要同位素	半衰期(a)	主要辐射类型	允许进入机体		备 注
					与水食物一起(Bq·a ⁻¹)	与空气一起(Bq·a ⁻¹)	
1	铀	²³⁴ U	2.44 × 10 ⁵	α	2.0 × 10 ⁴	1.8 × 10 ³	铀盐强毒,由α射线引起 获取核燃料的原料
		²³⁵ U	7.04 × 10 ⁸	α	2.7 × 10 ³	2.0 × 10 ³	
		²³⁸ U	4.47 × 10 ⁹	α	6.0 × 10 ²	2.0 × 10 ³	
		²³² Th	1.4 × 10 ¹⁰	α、γ	4.3 × 10 ³	24	
		²³⁰ Th	7.7 × 10 ⁴	γ	4.8 × 10 ³	25	
2	镭	²²⁶ Ra	1 600	β、γ	3.6 × 10 ³	63	在一生中人体内的 Ra 剂量不超过10 ⁻⁷ g,具化学毒性,实际上不脱离机体
		²³⁹ Pu	2.41 × 10 ⁴	α	4.0 × 10 ³	21	
3	钾	⁴⁰ K	1.28 × 10 ⁹	β、γ	1.8 × 10 ⁵	4.8 × 10 ⁵	亲生物元素 放射性毒性弱
		⁸⁶ Rb	18.6 d	β	3.6 × 10 ⁵	1.0 × 10 ⁶	
		¹⁵¹ Sm	90	α	1.0 × 10 ⁷	2.7 × 10 ⁵	
4	碳	¹⁴ C	5 730	β	1.7 × 10 ⁶	1.7 × 10 ⁶	亲生物元素。气体的允许浓度为 5.55 × 10 ¹⁷ Bq·a ⁻¹ 挥发性化合物毒性很强 毒性中等
		³ H	12.3	β	2.4 × 10 ⁷	5.6 × 10 ⁷	
		⁷ Be	53.3 d	γ	3.6 × 10 ⁷	2.0 × 10 ⁷	
		²² Na	2.6	α	3.1 × 10 ⁵	7.7 × 10 ⁵	
5	铯	¹³⁷ Cs	30.0	γ、α	7.7 × 10 ⁴	2.1 × 10 ⁵	U 和 Pu 裂变时的大量产物几率为 7% 毒性中等 毒性非常强,特别是 ¹³⁷ Sb
		¹³⁴ Cs	2.06	γ、α	5.3 × 10 ⁴	1.5 × 10 ⁵	
		¹²⁵ Sb	2.77	α	9.1 × 10 ⁵	7.1 × 10 ⁵	
	钼	¹⁰⁶ Ru	366.6 d	α	1.4 × 10 ⁵	1.3 × 10 ⁵	毒性中等
		¹⁰³ Ru	39.3 d	α	1.4 × 10 ⁶	2.0 × 10 ⁶	
	铌	⁹⁵ Nb	35 d	γ	1.7 × 10 ⁶	7.1 × 10 ⁵	238U 裂变产物几率为 6.4% 毒性最强的同位素之一
		⁹⁵ Zr	64 d	γ、β	1.1 × 10 ⁶	4.0 × 10 ⁵	
	锶	¹⁴⁴ Ce	284 d	β	1.9 × 10 ⁵	2.9 × 10 ⁴	毒性很强 放射性毒性中等
		¹⁴¹ Ce	32.5 d	β	1.4 × 10 ⁶	3.2 × 10 ⁵	
	碘	¹³¹ I	8 d	β、γ	4.5 × 10 ⁴	1.3 × 10 ⁵	放射性毒性中等
		¹²⁵ I	60.1 d	β	6.7 × 10 ⁴	1.9 × 10 ⁵	
	钡	¹⁴⁰ Ba	12.7 d	β、γ	3.8 × 10 ⁵	1.0 × 10 ⁶	核电站核反应的主要产物
		⁹⁰ Sr	29.1	β	3.6 × 10 ⁴	4.2 × 10 ⁴	
		⁸⁹ Sr	50.5 d	β	3.8 × 10 ⁵	1.0 × 10 ⁶	
6	钇	⁹⁰ Y	2.67 d	β	3.7 × 10 ⁵	7.1 × 10 ⁵	伴随着 ⁹⁰ Sr,赋予射线具有高穿透能力
		⁶⁰ Co	5.27	γ	2.9 × 10 ⁵	1.0 × 10 ⁵	

注:对于氧(镭的衰变子体),在生活和生产场所空气中规定的允许含量是:在旧建筑物中为 200 Bq·m⁻³,在新建筑物中为 100 Bq·m⁻³。

表2 评价氡所造成的危险(AOOC,1986)

Bq·L ⁻¹	评价由于氡照射引起的肺癌死亡率(‰)	可比照射值	可比危险性
7.4	400~770	超过户外平均值 1 000 倍	对不吸烟者危险性超过 60 多倍;对吸烟者的危险性相当于一天抽 4 包烟
3.7	270~630	超过室内平均值 100 倍	
1.48	120~380		对吸烟者的危险性相当于一天抽 2 包烟,或相当于一照 20 000 张 X 胸片
7.4 × 10 ⁻¹	60~210	超过户外平均值 100 倍	
3.7 × 10 ⁻¹	30~120	超过室内平均值 10 倍	对吸烟者的危险性相当于一天抽 1 包烟
1.48 × 10 ⁻¹	13~50	超过户外平均值 10 倍	对不吸烟者危险性超过 5 倍,相当于一照 200 张 X 胸片
7.4 × 10 ⁻²	7~30		对不吸烟者有导致肺癌而死亡的危险
3.7 × 10 ⁻²	3~13	室内平均值	相当于一照 20 张 X 胸片
7.4 × 10 ⁻³	1~3	室外平均值	

态观点研究最多的是放射性同位素 ^{90}Sr 、 ^{85}Kr 、 ^{137}Cs 、 ^{134}Cs 、 ^{89}Sr 、 ^{131}I 、 ^{95}Zr 、 ^{106}Ru 、 ^{103}Ru 、 ^{140}Ba 、 ^{144}Ce 、 ^{141}Ce ，在核爆或核电站(或装置)发生事故时，上述放射性同位素分布最广。在这种情况下，前 3 种核素是长寿命的，半衰期分别为 28、30 和 10.7 a。此外，核爆产物中包括来不及反应的核燃料 (^{239}Pu 或 ^{235}U)，以及中子活化产物 (^3H 、 ^{14}C 、 ^{54}Mn 、 ^{55}Fe 、 ^{60}Co 、 ^{111}Ag)。

对放射性元素进行简短说明以后，可以指出，天然放射性核素的主要危险是进入生物体内部(外部照射危险性仅在铀矿床的个别地段)。由于核事故和核爆炸产生的放射性污染，外照射也是不可忽视的危险。

根据天然放射性核素辐射危险程度对国土进行分区是统一的辐射监督系统首要的和主要的阶段，目的是解决关于保护居民免受有害电离辐射影响的问题。它可以整体评价全国及其个别区域内的规模，划分出首先需进行现场、医学和其他研究的地区。

综合分析天然放射性核素资料表明，区域的潜在天然辐射危险性，首先是氡的危险性，取决于以下主要因素：(1)地质构造、岩石的成分和结构；(2)组成该区域的岩石放射性地球化学特征(放射性地球化学环境)；(3)水文地质特

征；(4)地震活动；(5)人为活动。因此，人们应广泛运用地质、地球物理和地球化学的研究方法进行区域放射性生态地质分区。

形成与天然放射性核素有关的辐射强度条件，主要来自 2 个方面：即在开采矿产(主要是铀矿)时氡的危险和人为的环境污染。考虑到氡的危险对于划分放射性生态不利地区的重要性，作者将更详细地研究氡危险性的评价准则。

氡的区域潜在危险性是指，在该地区内存在能引起对于没有专门保护的住宅和生产场所(包括地下和露天矿山)的空气中出现超过临界值和临界浓度的氡及其衰变子体的条件。在大多数情况下，进入住宅和生产场所的主要放射性射气(氡和钍射气)来源是地质环境和使用的建筑材料。通常，土壤空气中的射气越高，从地表散发出来的气体就越多，生活场所空气中射气浓度增高的可能性也越大。

在国内进行各种比例尺的放射性生态调查的目的除了查明在旧住宅中的高氡浓度外，还有评价土壤空气中较高氡浓度的地区新建住宅和生产厂房对居民受照射增加的危险性。考虑到氡对环境产生的不利影响，选择了氡危险地区的评价准则和原则(表 3)。

表 3 区域氡危险性的评价准则

调查比例尺	地质-构造	放射性地球化学	水文地质	地震	人 工
1:2 500 000 ~ 1:1 000 000	地台边缘部分、中间地块、褶皱逆掩断层的复背斜、构造和构造岩浆活化带	含铀或含钍的地球化学带	广泛发育含氡水的水文地质省(包括铀和油田含氡水)	地震活跃和现代火山活动区	具有正在进行工业开采矿床的铀矿省
1:500 000 ~ 1:200 000	具有专属放射性元素的地质建造；铀矿区和构造成矿带；存在排水构造和氡的排泄区	含铀或含钍的地球化学带	广泛发育含氡水的水文地质地块	地震活跃和现代火山活动区	具有工业矿床的铀矿区或矿结
1:50 000 ~ 1:25 000	地质体，包括高放射性的岩石和矿石——氡的源体、氡的富集区、迁移途径及其排泄带	放射性元素(U、Th、Ra、Rn)的迁入带	含氡水(其中包括放射性元素矿床)的构造排泄	地震活跃和现代火山活动区，新构造断裂	铀矿石或含铀矿石堆置场、尾矿场、地质区域的人工破坏区和破坏带
1:10 000 以及更大比例尺	具有高射气系数的高放射性岩石和矿石，排水构造和排泄源	铀、钍富集场，岩石或矿石中存在易溶形式的铀和钍，土壤中存在氡异常场	含氡水源，包括放射性元素矿床的矿井水	地震活跃带和现代火山—新构造断裂	铀矿石和含铀矿石堆置场、尾矿场、地质区域的人工破坏区和破坏带

分析已有资料表明, 氡危险评价准则可根据上述(地质构造、放射性地球化学、水文地质、地震、人为等)因素进行分类。

地质构造研究的作用对氡潜在危险地区的所有评价阶段都很重要。在概略性和小比例尺工作时, 它们具有决定性作用。实际上, 这里可以利用区域含铀性评价准则。在区域评价时, 应高度重视在地质发展进程中放射性元素强聚集和物质高度分异的巨型构造。

每一项更详细的研究都应考虑区域研究的资料。同时, 相应于这个级别的氡危险性的划分准则和标志在这里具有主导作用。其中, 中比例尺氡源体研究应该依靠建造分析, 而存在氡危险的标志是专属放射性元素的地质建造、铀矿区和铀构造带。同样重要的是存在相应的排水构造和氡的排泄区。

划分氡和其他放射性元素局部增高风险带的准则是确定有高放射性岩石的地质构造和深部氡流排泄带。寻找氡的中间储集层和排水构造(穹隆、屏蔽层、渗透层、断裂等)也是重要的研究要素。

在详细调查中划分高放射性岩体, 特别是具有高射气系数的岩体、具体的断裂和渗透层及土壤中的局部氡异常, 确定它的排泄源, 以作为评价氡危险性的准则。

在解决各种比例尺的地质调查任务时, 可广泛利用构造物探方法。

放射性地球化学准则在一定程度上能可靠地用于不同比例尺的调查。对于俄罗斯或者其他大区域来说, 为了进行概略性和小比例尺调查, 应具有根据大量放射性地球化学分析而客观绘制的小比例尺放射性元素〔U(Ra)、Th 和 K〕分布图, 这些图可用于划分大型的高氡危险区。在这些情况下, 氡危险的放射性地球化学准则是在上述图中存在的含铀地球化学省(区)和(或)铀矿省(区)。

对于中比例尺的调查, 当研究对象是大型区域和地区时, 放射性地球化学准则是根据同级别的放射性地球化学图(其中包括航空 γ 能谱测量图)划分的地球化学带。当具有这些放射性地球化学图(而它们用来编制铀矿区和含铀构造带)时, 在该比例尺范围内利用放射性地球化学准则是最重要的和公正可靠的方

法。

对于氡危险增高地区的大比例尺调查, 需要专门研究岩石和土壤中放射性元素的分布, 并且应该在专属铀的热液交代地球化学带、新构造断裂和其他潜在的氡危险区内现场测量土壤空气中的氡浓度。岩石物理性质(渗透性、孔隙度、射气系数等)的具体数据具有重要意义, 这些数据能可靠地评价氡的迁移及其进入周围介质的途径。在这种比例尺工作中, 为了证实根据放射性地球化学资料所划分出的氡危险区, 最好评价住所和生产厂房内的氡浓度, 哪怕是抽样和少量都行。

对于详细调查通常无法确保提供生态调查用的放射性地球化学图件。

此外, 在住所和生产场所现场调查时, 应注意建筑材料和建筑物地基中铀(镭)含量是否增高、有无含铀带或建筑物附近运移氡的构造断裂带的存在, 以及某些其他特征等, 这些都应列为建筑物的氡危险性的放射性地球化学评价准则的内容。

放射性水文地球化学准则是重要的和直接的氡危险标志。在概略性和中小比例尺调查时, 利用广泛发育氡、镭和氡-镭水(其中包括油气省层间水)的水文地球化学省、盆地和地块作为准则。

地震和火山评价准则实际上在所有比例尺调查时都是必需的。

根据氡的危险程度, 运用所述准则建议划分出3类地区:

(1)没有危险(相对没有危险)的地区: 在地质剖面中岩石处于平坦的、没有受到碎裂的状态, 没有或少量发育有专属性岩石——氡的源体;

(2)潜在危险的地区: 高度专属铀的氡源地质体被不同厚度的屏蔽层覆盖区;

(3)危险地区: 广泛发育专属放射性元素的岩石、铀矿床和含铀的矿石和存在氡水的排泄区。

目前, 积累了大量有关有用矿产矿床开采区的地质生态调查经验。在人为污染及其对地质环境作用之间发现了主要的因果关系。这是制定在地质勘探工作和其后的矿床开采过程中的环境地质生态调查方法的基础。

辐射影响的评价奠定了矿床放射性生态分类的基础。该辐射影响是由矿石中存在的天然放射性核素——铀、钍及它们的衰变产物和放射性同位素 ^{40}K 引起的。同时应该指出,铀系中最危险的是 ^{222}Rn 及其短寿命衰变产物,并注意,就其影响而言,钍比铀更具毒性。

按辐射危险程度分类,所有工业类型固体矿产矿床均可分为4类:没有危险的、潜在危险(相对没有危险)的、危险的、特别危险的。

不含铀和钍的矿床应该属于不危险的。对这些矿床不需要对工作人员和居民进行辐射危险性的专门研究。

按其放射性地球化学指标来看,不具有危险性的矿床属于潜在危险的。但是,没有对辐射环境的补充研究,就不能得出关于其辐射危险(或不危险)的结论。

危险的和特别危险的主要是铀矿床和钍矿床,在其勘探和开采时,应采取专门措施,保证工作人员及其附近居民的安全。

开采铀矿床的常规方法包括地下开采和露天开采。此外,开采铀的新工艺——在铀矿床上利用硫酸溶液对有益组分进行地下浸出(矿体内浸出),其中采用了钻孔方法、矿井方法及其他组合方法,还有各种方案的堆浸方法,从开采的低品位矿石和非工业品位矿石中提取铀,并顺便获得分散元素和稀土元素(铯、钷、钷)。开采出的铀矿石以及堆浸和地浸溶液在水冶厂进行加工处理。矿山和水冶厂在开采和初步加工矿石时,对低尾矿和无尾矿工艺的应用、环境保护以及辐射安全保证给予极大关注。

铀矿开采被一系列特殊的矿山地质特征复杂化。由于矿体形态复杂,在延伸厚度小和延展面积小的大多数情况下,这些矿床要求对矿山地质进行仔细研究,这将导致掘进地质勘探坑道和开采勘探工作量的加大及费用开支的增高。矿床的勘探、评价和开采被矿体中铀的不均匀分布、富矿石与表外贫矿石及无矿岩石相互交替所复杂化。

放射性矿床所特有的铀矿开采特征要求在工作面取样、 γ 测井、快速分析以及在开采和运输过程中、选矿时进行系统放射性监测。

在铀矿床开采时要特别认真履行环境保护标准:保护区域空气免受矿山有害废物污染、净

化矿井水质、保护地表和水介质免受污染、隔离开固体废物并在铀的开采和加工企业活动区消除对生态环境的有害影响,保护和合理利用地下矿藏。

同时,对正在开采和勘探的铀、钍矿床一定要像对待潜在辐射危险的对象一样,注意矿区内存在的矿石堆置场和露天采矿场,它们遭受风化,产生污染,破坏地下水和地表水原始成分及动态,在个别情况下,在近地表大气层中还有氢浓度的增加。

铀矿床的地质环境状况的评价准则是熟知的(地球化学、水文地质、地球物理),通过系统监测实现对它们的监督。

根据人工放射性核素污染的范围和强度,对生态系统破坏的分类如下:

全球放射性核素污染:它相对均匀地充斥全球范围并导致相对不大的电离辐射剂量。全球污染是由于核爆产生的微小粒子上升到大气层上部(10~25 km),并随后在若干年之内慢慢地降落到地面形成的。在这种情况下,起主要作用的是长寿命放射性核素(^{137}Cs 、 ^{90}Sr 等)。

区域放射性核素污染:是在某些区域核爆炸后的几天(甚至几个小时)内由辐射云团中的所有放射性核素产生的。这里除了上述长寿命放射性核素外,又补充了更短寿命的核素。放射性云团可以延伸几千公里,且覆盖面积为成百上千平方公里(切尔诺贝利、东乌拉尔云迹)。

局部污染:包括与直接污染源距离不等的相对较小的地区(数十上百平方公里)。它们可能产生在各种核生产企业或相应的军事设施附近。这时可以观察到各种不同成分的放射性核素。

俄罗斯人工放射性核素的主要区域污染源是切尔诺贝利核电站、“马亚克”企业、西伯利亚化工联合企业发生的核事故。据不同行业专家们的评估,切尔诺贝利核事故排放放射性物质的总量为 $185 \times 10^{16} \sim 370 \times 10^{16} \text{ Bq}$ 。从地区污染和对人体威胁的角度来说,产生的辐射威胁比广岛原子弹爆炸时大得多。

东乌拉尔区域辐射污染与“马亚克”企业的3次核事故有关,期间约10%的放射性物质排

入大气中,其余90%(总活度原为 7.77×10^{14} Bq)飞溅到混凝土平台上。由于气象条件不利,形成了放射性污染带。

在遭受污染的地区,放射性核素污染和聚集的分布具有斑点状特征。应当注意,“事故成因”的放射性核素主要呈细小尘粒和砂等难溶解的固态物。只有少量(10%)以可溶于水的形式存在。

还可划分出一种局部放射性污染源类型,虽然在标准范围之内,但可持续污染环境的工程设施。核电站、放射性物质储藏库、核燃料加工厂等便属于这一类。由于非标准的内外因,核电站、核潜艇和其他核工程的反应堆发生的小规模事故,以及用于解决国民经济任务的核装料的爆炸同样亦应列入这一类。俄罗斯的所有这些工程设施见1996年出版的专门图件。

在核电站正常运行时,对居民增加的辐射作用与自然背景的影响相比只占其几分之一或几百分之一。可是放射性排放和泄漏的数量变化范围很大,且对同一装置在不同的年份可能相差几百万倍。所有与规模和运行持续时间无关的没有预料的和没有监督的排放和泄漏,应视为事故前状态标志和辐射危险增加的预兆。根据核电站的某些资料报道,在其所有运行期间内发生了大约300次事故。因此,核电站和其他核装置的位置是放射性生态图的必要要素。

埋藏乏燃料及处理工程对于核电站和反应堆是大问题。目前的技术尚不能处理这些乏燃料,且没有集中的储藏库。在核电站的储藏库中总共累积了约40 000 m³的放射性废物。

埋藏放射性废料的场所和工业核爆点也属于局部污染类型。放射性废料埋藏企业包括:接收核废站、废料处理站、处置场、安全防护带、观察和生态监督系统。

从放射性生态地质填图目的角度考虑,根据核爆炸的影响可划分为3类:

(1)同设计任务完全一致。该任务与土壤的变迁无关,爆炸的过程中在给定深度形成并“封闭”着聚积的放射性核素(地表没有放射性生态显示)。绝大多数爆炸属于这一类。

(2)偏离了设计的目标。其中包括放射性

核素以不同形式进入爆炸地区地表层位,形成了含有放射性核素的土壤物质或液气态物质。这些物质的进一步迁移需要进行监视和研究。

(3)在爆炸地区深部或地表,发生了设计以外的变化,即岩体的移动、洞穴的形成、裂隙系统的发育,以及放射性核素同时积累和进一步迁移的其他参数的变换。

为了查明非事故性的人为污染,在城市地区进行辐射研究时,采用的主要研究方法是1:10 000直升飞机航空 γ 能谱测量、1:2 000或更大比例尺的汽车 γ 能谱和步行 γ 测量,同时在放射性污染地区进行详测和评价工作及在办公和生活场所测定Rn浓度。

人工类型的放射性污染区的特征是, γ 辐射照射量率变化范围较大,从超过背景值的几十倍的 $2.58 \times 10^{-10} \text{C} \cdot (\text{kg} \cdot \text{h})^{-1}$ 到 $5.16 \times 10^{-2} \sim 7.74 \times 10^{-2} \text{C} \cdot (\text{kg} \cdot \text{h})^{-1}$ 不等,放射性核素组分多样化,污染点所在的不同景观区以及成因也呈多样化。照射量率低于 $2.58 \times 10^{-10} \text{C} \cdot (\text{kg} \cdot \text{h})^{-1}$ 的地区占总数的60%,处于 $2.58 \times 10^{-10} \sim 2.580 \times 10^{-10} \text{C} \cdot (\text{kg} \cdot \text{h})^{-1}$ 的占32%,大于 $2.58 \times 10^{-4} \text{C} \cdot (\text{kg} \cdot \text{h})^{-1}$ 的占2%。最多的放射性污染区与放射性废料有关,包括天然放射性矿石、肥料和矿渣(20%)、成因不明的对象(15%)、持续作用的萤光剂物体(10%)和电离辐射源(3%)。所有已发现的放射性高的污染区已有效消除了放射性污染。

利用上述研究准则可以建立俄罗斯及其个别区域的一系列各种不同比例尺的放射性生态地质图,并进行放射性生态地质填图。

分析综合的放射性生态资料可以得出某些有关待优先解决的辐射安全问题的结论。无疑,其中最为尖锐的是一些地区被人工放射性核素强烈污染的问题,这些核素是与可裂变物质有关的不同类型的核反应堆和生产单位的故事所产生的。

第2个重要的区域范围内的问题与天然放射性核素(首先是与氡)有关。氡受区域地质特征、地壳中放射性核素含量的不均匀性所控制。

最主要的具有实际意义的建议归纳如下:

(1)上面所列举的2个最重要的生态问题

在国家放射性生态专项“切尔诺贝利”和“氡”框架内解决。我们认为,对放射性目标的动态调查和放射性元素迁移的研究应给予重视,并考虑其地质因素和其他天然因素(组织不同级别的监测)。

(2)按照区域规划,在辐射危险区内进行系统的中比例尺放射性生态测量。一些区域(列宁格勒州、乌拉尔某些地区、伊尔库斯克州)已经开始审查这些规划。在建设任何类型的新工程时,一定要进行大比例尺的调查,同

时,在住宅和生产场所对氡的危险性进行系统调查。

(3)在俄罗斯联邦国土进行区划时,为了保证结果的一致性,必须对按区域规划进行的地区中比例尺的调查结果协调处理,注意仪器-方法保障和计量保证。

郝金龙摘译自对外交流资料

(内蒙古包头市 128 号信箱 014010)

蒋永一 校

(上接第 129 页)

② 2000 年

美国(Christensen Ranch, 250 t U);

③ 2001 年

加拿大(Rabbit 湖水冶厂暂时停产,3900 t U);

法国(Jouac, 600 t U);

葡萄牙(Urgeirica, 170 t U);

美国(Canyon 城水冶厂暂时停产,210 t U);

④ 2002 年

加拿大(Cluff 湖,1 900 t U);

南非(Palabora 铀生产线,90 t U);

(2)新开工的矿山

① 1999 年

加拿大(McArthur 河, 6 900 t U, McClean 湖,2 300 t U);

巴西(Lagoa Real, 250 t U)

② 2000 年

澳大利亚(Beverley, 848 t U)

(3)现有生产设施扩建

① 1999 年

澳大利亚(Olympic 坝从 2 290 t U 扩大至 3 900 t U; Ranger 水冶厂从 1 270 t U 扩大至 4 240 t U);

加拿大(Key 湖水冶厂从 4 615 t U 扩大至 6 923 t U);

(4)计划建设的新矿山

① 2002 年

澳大利亚(Honeymoon, 820 t U);

哈萨克斯坦(Katco-Moynkum, 700 t U; Inkai, 700 t U);

俄罗斯(Dolmatov, 700 t U);

② 2005 年

加拿大(Cigar 湖, 4 600 t U, 拟在 McClean 湖和 Rabbit 湖水冶厂处理矿石)

参考文献

- 1 OECD/IAEA. Uranium Resources, Production and Demand. Vienna:2001.
- 2 OECD/IAEA. Uranium Resources, Production and Demand. Vienna:1999.