

评估由残留放射性物质造成的辐射剂量 穆鲁罗瓦和方阿陶法环礁上的潜在剂量

GORDON LINSLEY 和 ANDREW McEWAN

穆鲁罗瓦环礁过去只是偶尔有人居住，方阿陶法环礁上则没有证据表明有人居住过。缺少淡水和易受海水侵袭，使人很难在这些环礁上住下去。

但是，就“国际性的穆鲁罗瓦和方阿陶法环礁放射学状况研究”而言，为了算出潜在的辐射剂量，我们假定在穆鲁罗瓦环礁上有假想的常住居民存在。为了弄清楚大大小小的放射性物质释放的含义，估算一下较远社区的受照剂量也是必要的。

此次评估既考虑了由地下和大气层核试验所造成的放射性核素分散，也考虑了由滑坡之类的自然或人因破坏性事件或气象条件的变化引起的物质释放加速所造成的放射性核素分散。

这次的评估工作涉及到由穆鲁罗瓦和方阿陶法环礁上的放射性残留物引起的现在的和未来的辐射剂量。本次研究中未对过去由于法国大气层核试验时代产生的放射性落下灰所引起的剂量进行评价，尽管联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)提供过有关该

地区的此种剂量的估计值。(见下页方框。)

受照量的类别

该项研究估算了关键人群现在和将来由于受源自法国核试验的残留放射性核素的照射而产生的剂量率，取得了有关下列几类人群的估算值：

- 穆鲁罗瓦和方阿陶法环礁上的假想居民现在的受照量；

- 该地区中离上述两环礁最近的有人居住环礁(图雷亚环礁)上的居民现在的受照量；

- 该地区的居民和穆鲁罗瓦与方阿陶法环礁上的任何居民未来的受照量，即未来受到目前存在于环境中的残留放射性物质以及地下包含的将来会迁移到居民可接触到的环境中的那部分放射性物质的照射所引起的受照量；

- 该地区的居民和穆鲁罗瓦与方阿陶法环礁上的假想居民受到假想破坏性事件的照射所引起的潜在受照量。

受照射途径。据鉴定，大部分剂量是通过食入照射途

径产生的。对于居住在图雷亚环礁(离得最近的有人居住的环礁)上的居民和穆鲁罗瓦与方阿陶法环礁上的假想居民来说，按实际的膳食成分进行估算。对于其他地方的假想居民来说，假定他们的食量较大(尤其是海味的食用量)，以确保所获得的剂量率估计值为上限值。

只要有可能，就通过直接测量获得食物中的放射性核素浓度值；如果不可能进行直接测量，就像假想的居民那样，那就只得靠估计了。**这些环礁上现在的剂量**

对于永久地居住在这些环礁上且以当地产品和环礁湖中的海产品为食的居民，由残留放射性物质引起的辐射剂量率一般不超过 0.01 mSv/a。这相当于这些常住居民不可避免地会受到的来自各种天然辐射源的全部剂量的极小部分(小于

Linsley 先生是 IAEA 辐射与废物安全处废物安全科科长。McEwan 先生是新西兰国家辐射实验室主任，曾任穆鲁罗瓦和方阿陶法环礁放射学状况研究 A 任务组组长。

1/200)。(见第 40 页表和方框。)

这些剂量估计值是以测得的这些环礁环境中的人工放射性核素水平为基础的,其中当然包括全球放射性落下灰(即来自所有大气层核武器试验的放射性落下灰)的贡献。除海产品的情况之外,要求出这些落下灰对所测得的环境水平的贡献是不可能的,因而也不可能求出全球放射性落下灰所引起的剂量在这种剂量估计值中的份额。

据估计,在穆鲁罗瓦环礁南纬 20°至 30°的整个地带内,由全球放射性落下灰引起的年平均剂量目前约为 0.002—0.003 mSv。

南太平洋现在的剂量

还估算了南太平洋其他岛屿的居民现在受到的来自可接触到环境中的残留放射性物质的年剂量。大约有 5000 人生活在穆鲁罗瓦环礁方圆 1000 公里的范围内。图雷亚环礁是离穆鲁罗瓦和方阿陶法环礁最近的有人居住的陆地,离穆鲁罗瓦环礁约 130 公里,人口约 120 人。据该项研究的估算,该环礁居民受到的由穆鲁罗瓦和方阿陶法环礁的放射性核素释放引起的剂量是可忽略不计的(每年小于 0.0001 mSv)。

但在穆鲁罗瓦和方阿陶法环礁上进行大气层核试验

历史上源于放射性落下灰的辐射剂量

在 1966—1974 年间的法国大气层核试验时代,大约有 5000 人生活在法国核试验场方圆 1000 公里的范围内,局部地区确实有人受到过照射,尤其是其中的 5 次核试验(见下表)出现了异常的风向和降雨。1966—1971 年的 4 次核试验,使图雷亚环礁(离得最近的有人居住的环礁,位于穆鲁罗瓦环礁以北 130 公里)和甘比尔群岛(穆鲁罗瓦环礁东南 400 公里)的居民受到 1—5 mSv 的有效剂量。1974 年进行的 1 次核试验使塔希提岛(穆鲁罗瓦环礁西北 1200 公里)的居民受到最高达到 0.8 mSv 的剂量。这些岛屿上只有少数人受到了下表列出的最大估算剂量。例如,塔希提岛上的大多数人只受到了外照射。其他岛屿上的居民估计还受到了一些内照射,这是由食用绿色蔬菜或环礁湖软体动物引起的。

当时的照射主要是由短寿命放射性核素的落下灰引起的,例如放射性碘(尤其是半衰期为 8 天的碘-131)。在穆鲁罗瓦和方阿陶法环礁上进行大气层核试验期间,南半球的许多地方测量过牛奶中的碘-131 浓度。可以相信,在 1966—1974 年的整个大气层核试验期间,居民们受到的由上述两个环礁上的核试验引起的甲状腺当量剂量未超过 10 mSv。

历史上的个人最大受照剂量

核试验日期	受照地点	年有效剂量(mSv)			
		外照射	吸入	食入	总计
1966 年 7 月 2 日	甘比尔群岛	3.4	0.18	1.9	5.5
1967 年 7 月 2 日	图雷亚环礁	0.7	0.023	0.17	0.9
1971 年 6 月 12 日	图雷亚环礁	0.9	0.003	0.43	1.3
1971 年 8 月 8 日	甘比尔群岛	0.9	0.002	0.24	1.2
1974 年 7 月 17 日	塔希提岛(马希纳)	0.6	0.08	0.06	0.8

的时代,图雷亚环礁的确还在全球放射性落下灰之外接受过一些放射性落下灰。其居民目前受到的由所有早期的放射性落下灰引起的辐射剂量估计约为 0.005 mSv/a。与前面提到过的情况一样,无法求出此剂量中光是由穆鲁罗瓦和方阿陶法环礁上的核试验所产生放射性落下灰引起的那部分剂

量,因为这些剂量估计值是以测得的图雷亚环礁环境中的全部人工放射性核素的水平为基础的,其中当然包括全球放射性落下灰的贡献。与图雷亚环礁居民接受的来自各种天然辐射源的总剂量相比,每年 0.005 mSv 的剂量是很小的,并与计算出的穆鲁罗瓦环礁上的假想居民所接受的剂量率近似。



成年居民现在受到的由残留放射性物质和 全球放射性落下灰引起的剂量

途径	年剂量 (穆鲁罗瓦环礁上 Anemone 试验场处的假想估计值) (mSv)	图雷亚环礁上的 年剂量 (mSv)
外照射	~0.0011	<0.001
吸入	<0.0001	—
食入陆地食物	0.0009 ^a	0.004 ^a
食入海产品	0.0043 ^b	0.00001 ^b
总计	~0.006	~0.005

^a无法求出此剂量中由全球放射性落下灰导出的那部分剂量。

^b由全球放射性落下灰引起的对食入海产品所致剂量的贡献 0.0004 mSv 未包括在此剂量估计值内。

应该指出,对于图雷亚环礁和穆鲁罗瓦环礁来说,不同照射途径引起的剂量是不同的。在图雷亚环礁,海产品的食用量较高,但这一照射途径引起的剂量不大,因为此处的环礁湖沉积物中实际上没有由放射性落下灰带来的放射性物质。跟穆鲁罗瓦环礁相比,由于沉积在图雷亚环礁陆地上的来自当年大气层核试验的铯-137 更多,所以对该环礁来说食用陆地食物是产生剂量的更重要的原因。对于穆鲁罗瓦环礁来说,那里的环礁湖沉积物中含有铯,因而食用海产品是更重要的照射途径。

对食用从较远太平洋渔区捕获的海产品的人所受到的剂量也作了估算。算出的剂量率无一例外地比针对穆鲁罗瓦和方阿陶法环礁估算出的剂量率低得多。食用从澳大利亚和新西兰附近海域捕获的海产品较多的人和食

辐射剂量的相互比较

剂量源	剂量 (mSv/a)
全球天然本底剂量	(mSv/a)
■ 典型的范围	1—10
■ 最大值	~100
■ 平均值	2.4
穆鲁罗瓦和方阿陶法环礁	
■ 由天然本底辐射引起的剂量	1.4—3
由仍然在穆鲁罗瓦和方阿陶法环礁上的残留放射性物质引起的现在的额外剂量估计值	
■ 图雷亚环礁上的最大剂量	<0.0001
■ 穆鲁罗瓦和方阿陶法环礁上的平均剂量	<0.01
■ 方阿陶法环礁 Kilo-Empereur 地区的最大剂量	~0.25
穆鲁罗瓦环礁上发生岩体滑坡后图雷亚环礁上的最大额外剂量	0.007(头一年)

用同样数量的从南美洲附近海域捕获的海产品的人,目前所受到的年剂量都是可以忽略不计的;具有代表性的剂量值都比由天然本底辐射引起的平均剂量低许多个数量级。

特殊的状况

该项研究还考察了穆鲁罗瓦和方阿陶法环礁上的四种比较特殊的状况。

■ 环礁湖中的铯。积

存在这两个环礁湖的沉积物中的铯量相对较多;穆鲁罗瓦环礁上大约有 5 kg,方阿陶法环礁上有 3 kg。但是,由于这部分铯通过各种可能的途径转移至居民的速率较低,因而引起的剂量极小。由于环礁湖沉积物在不断地排向海洋,并逐渐地被积累起来的新沉积物覆盖和稀释,因而铯的可获得性也正在减小。

■ **环礁湖中的氡。**由于地下的氡的释放,目前这些环礁湖中的氡浓度大约是公海中极低的氡浓度(分别为 1000 Bq/m^3 左右)的10倍。不过,氡是放射性毒性最低的放射性核素之一。若要使每年接受的剂量达到 2.4 mSv (天然辐射源的年平均剂量),就需要连续不断地饮用放射性浓度高达 $1.6 \times 10^8 \text{ Bq/m}^3$ 的淡水。可见,由这些环礁湖中的氡引起的辐射剂量是可以忽略不计的。

■ **含钷微粒可能引起的受照量。**在穆鲁罗瓦环礁上的科利特、埃里尔和韦斯塔岛进行的大气层安全试验,曾导致钷(连同少量的锶)的爆炸性分散。该项研究表明,该区域内残留钷的总表面活度,也许是法国为了限制由吸入极细的含钷珊瑚粉引起的潜在照射而给清理作业规定的判别标准 10^6 Bq/m^2 的3倍。但是,这种总表面活度的增大只能产生不大的剂量;例如,每年或许会在该地区呆上120小时的渔民或其他人每年受到的剂量不到 0.001 mSv 。

但是,有些分散的放射性物质是以离散的颗粒形式出现的,大小从约 0.1 mm 到最大约 1 mm 不等。在科利特岛上收集到的沙、珊瑚和珊瑚基岩的样品中,以及在邻近科利特地区的环礁湖

中的沙洲的沙中,都发现有钷颗粒。

这些颗粒在科利特地区形成了另一条潜在的照射途径。如果有人要到科利特岛或更小的埃里尔岛和韦斯塔岛(这些小岛在该环礁边缘的远处,刚刚露出海面)上去,就会有危险(尽管危险很小),因为这种颗粒有可能通过伤口进入人体并留在体内。除非这样的颗粒通过自然的过程或人的行动被清除出体外,否则随后会发生持续的照射,并可能累积起较大的辐射剂量。具体的设想是,当该颗粒滞留在体内时,它就是一种持续存在的钷源;钷会慢慢地溶解在体液中,并转移到关键的器官和组织(尤其是骨)中,使它们不断受到照射。

从该项研究本身的普查和对收集到的颗粒的分析获得的数据,足以估算出可能产生的总的放射学危害。估算时还使用了吸收来自澳大利亚马拉拉加核试验场的类似的放射性颗粒的实验研究数据。对滞留在体内的氧化钷颗粒来说,估计成人可能受到的有效剂量可能在 9×10^{-8} 到 $9 \times 10^{-6} \text{ Sv/Bq}$ 之间。

假如人体内滞留了放射性活度非常大(约 10^5 Bq)的钷颗粒,则此人一生中的受照剂量最多可能达到 1000 mSv 左右。此值是50年

内累积的由各种天然辐射源引起的平均剂量的10倍左右。该终生剂量当然与个人的年龄和该颗粒在体液内的溶解度有关。对于儿童来说,这种终生剂量有可能达到成人的2倍。考虑到这种照射是持久性(慢性)的,因此除了在该颗粒周围产生一个由坏死组织组成的小结以外,不大可能因摄入此种钷颗粒(即使是高放射性颗粒)而立即出现明显的健康效应。

但是,据估计,实际发生这种照射的可能性微乎其微。住在穆鲁罗瓦环礁上的人通过此种方式患致死癌的概率低于一百万分之一每年。

■ **方阿陶法环礁上假想关键人群受到的剂量。**该项研究表明,可能受到的由法国核试验产生的放射性残留物引起的最高剂量,大概是只食用来自方阿陶法环礁Kilo-Empereur地区有限区域的当地产品的假想人群(人数很少)所受到的剂量。这个地区处于1966年9月24日进行12.5万吨级大气层“游船”试验的试验场的下风向。该游船试验在沿该环礁边缘三公里长的一个窄长地带的土壤中留下了较多的铯-137和其他的放射性核素,尽管其分布是很不规则的。此处的剂量主要是由假定食用了全都长在铯-137含

量最高的这个狭长地带内的含铯-137的椰子和其他产品所致。由此引起的有效剂量率估计低于 0.25 mSv/a。此值相当于长住于此的此类居民不可避免地要受到的仅仅来自天然源的年本底辐射剂量的约 10%。但是,这种假想的情景被认为实际上是极不可能发生的,因为方阿陶法环礁实际上不适宜那些靠传统的半自给方式生活的人居住;该环礁时常被海水淹没,除几种椰子以外没有淡水和可食用的作物。

估算出的未来剂量

估算居民的未来剂量时考虑了三种情况。

■ 由目前存在于可接触到的环境中的残留放射性物质引起的未来剂量。未来可能居住在穆鲁罗瓦和方阿陶法环礁上的居民所受到的、由广泛存在于该环境中的核试验残留放射性核素所引起的年辐射剂量,其绝对值都是很小的,根据现行的判别标准或相比较而言都是微不足道的。由早已存在于可接触到的环境中的放射性物质(主要是铯-137、钚-239 和钚-240)所引起的辐射剂量将继续存在。但是,它们将由放射性衰变和能使环境中的这些放射性核素的可获得性减小的其他一些过程而成数量级地下降。

据该项研究预测,这些

环礁湖沉积物中的铯-137、锶-90 和钚-239、钚-240 的浸出率(目前环礁湖水中的这些放射性核素就是这一过程造成的)将继续随时间而减小,估算出的与这些放射性核素有关的辐射剂量亦将减小。估算出的设想这些环礁上真的有人居住时、由穆鲁罗瓦环礁上已有放射性源引起的未来剂量,随着地表残留放射性物质的衰减和分散,在今后 100 年内将由目前的最大值(不超过 0.01 mSv/a)降到约 0.001 mSv/a。(应该指出,在遥远的将来,这些剂量会随着从地下迁移出的钚进入此处的环礁湖而有所增加,但增加后的值绝不会超过目前的值。)

■ 由地下放射性核素可能引起的受照量。对未来可能从地下放射性源迁移出放射性核素的这种释放进行的评价表明,释入这些环礁湖的铯-137 和锶-90 量将随时间而减少,钚的释放速率则开始时下降,然后上升,五、六千年后达到最大。但是,即使在达到此最大值时,穆鲁罗瓦环礁上的假想居民接受的与此有关的剂量估算值,也会低于相同的假想居民现在接受的剂量的估算值,即低于 0.01 mSv/a。同样,据预测,南太平洋其他地点由穆鲁罗瓦和方阿陶法环礁地

下放射性的释放引起的未来受照量,低于由目前存在于可接触到环境中的放射性核素引起的本身就很低的价值。

■ 假想的破坏性事件可能给该地区居民带来的受照量。该项研究研究了假想破坏性事件的放射学后果。这样的事件包括冰河化和导致放射性核素释入海洋的碳酸盐岩体滑坡。在岩体滑坡的情况下,这些环礁附近的居民有可能受到的假想年剂量最高,因为海流会带走此时释放出的任何放射性核素。对图雷亚环礁上的居民来说,即使悲观地假定滑坡时涉及的钚全都进入了海水,这种岩体滑坡后第一年内的受照剂量也不会大于千分之几 mSv。这种剂量只发生于岩体滑坡后的一年内;随后的剂量将随着放射性物质的分散而逐渐减小。

结论

总之,该项研究分析了这些环礁上的现在和未来的假想人群可能受到的辐射剂量。其结论是,除方阿陶法环礁的 Kilo-Empereur 边缘上的假想情况外,人群受到的归因于穆鲁罗瓦和方阿陶法环礁上的残留放射性物质的剂量,任何时候都不可能超过该人群不可避免地接受的来自天然辐射源的本底辐射剂量的约 1%。 □