

海洋的放射性

李永祺

科学出版社

海洋的放射性

李永祺

科学出版社

1978

内 容 简 介

海洋的放射性污染是海洋污染的重要内容。由于核试验,核动力舰艇在世界各海域游弋,以及一些沿海国家直接将放射性废物抛入海洋,使世界大洋都遭受到放射性污染。富饶、美丽的海洋,如果不加以保护,不仅不能造福于人类,还将变成公害。

本书力图通俗、全面地介绍国内外有关海洋放射性的调查和研究状况,着重介绍海洋人工放射性污染的来源、分布、转移和射线对海洋生物的影响以及防止海洋放射性污染等问题。

本书可供从事水域环境保护、卫生保健工作的工农兵读者和海洋学、化学、水产、生物等方面的科技工作者以及有关专业师生参考。

Et76/01

海 洋 的 放 射 性

李 永 祺

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1978年4月第一版 开本:787×1092 1/32

1978年4月第一次印刷 印张:5 1/4

印数:0001—4,090 字数:116,000

统一书号:13031·723

本社书号:1045·13—17

定 价: 0.44 元

前 言

海洋的放射性污染是海洋环境污染的一个重要内容。由于两个超级大国核争夺越演越烈,越来越多的核动力舰艇在世界各地游弋,一些沿海国家直接将放射性废物排入或抛入海洋,因而海洋受放射性污染的问题引起了人们的关注。海洋受放射性污染后,能破坏海洋资源的利用价值,损害人体的健康。了解放射性物质在海洋的分布、变动规律,对于保护海洋环境而造福人民,对于制定核动力舰艇和原子能工业的排放标准,制定海产食品和沿海工业“三废”的排放标准,对于开发利用海洋资源,以及帮助阐明诸如海与大气的相互关系、海流、元素的分布、生物生态、海洋沉积等重要海洋学问题都是很有意义的。

海洋的放射性大致可分为两大类:一类叫做天然放射性,另一类叫做人工放射性。后者是由人的原子能活动产生的放射性元素造成的。海洋放射性污染指的是海洋受人工放射性的污染。

1943年以前,海洋只有天然放射性,没有人工放射性。1943年末美国汉福特原子能工厂通过哥伦比亚河,开始把放射性废物排入太平洋东岸。后来,美国和苏联又在大气层和太平洋进行了一系列大规模核武器试验,大量人工放射性物质注入海洋,使整个地球的海和洋都受到了放射性污染。

有些人把海洋当作“大垃圾箱”、废物“贮存库”,不管什么污染物质,往海洋一扔就了事。不错,海洋是辽阔的,它的面积占整个地球的百分之七十一,平均深度3,800米,有 $1.4 \times$

10²⁴ 毫升的海水。但是,辽阔并不是无边,巨大并不是无限。把污染物随意往海洋中排放,已经有惨痛的教训。日本发生的水俣病(汞中毒)就是一例。有人曾做过计算,如果把原子能工业所产生的放射性废物都往海里抛,假设在海洋中又是均匀地分布,那么,到了1985年,整个地球的海水,一种最毒的放射性元素——锶-90(⁹⁰Sr)的含量,将要超过卫生防护部门规定的可容许的浓度。

由此可见,富饶、美丽的海洋,如果不加以保护,则将走向反面,不仅不能继续造福于人类,而且将变成公害。事实上,这种情况在国外的局部海域已经发生了。

为了打破超级大国的核垄断,最终在全世界消灭核武器,我国被迫在大气层进行的核试验,不仅次数有限,而且试验是在我国内腹地进行,试验时又充分地考虑到气候、风向等等条件,采取了有效的防止污染的措施。因此无论对本国,还是对其他国家,尤其是对海洋环境所造成的污染是很微小的。正如1966年《联合国原子辐射影响问题科学委员会报告书》中指出:“一九六四年十月及一九六五年五月,在亚洲中部大气中举行试验……据知这些对人类暴露所占的成分都微不足道。”美国学者赖斯(Rice, T. R.)和沃尔夫(Wolfe, D. A.),在1971年指出:“大气核试验在1964—1968年由法国和中国进行,总量小于千万吨,她们投入世界范围的降落灰与以前苏美核试验比较是微不足道的。”

在华主席的英明领导下,祖国大地到处莺歌燕舞,海洋环境保护工作也正迅速地发展。在党组织的关怀和同志们大力的帮助下,根据多年的学习和工作体会,编写了这本书,力求对海洋的放射性作较全面的介绍,以期对海洋环境保护工作的深入开展有所帮助。但由于本人水平有限,书中错误和不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

本书成稿后，承蒙中国科学院海洋研究所李培泉同志提出了许多有益的修改意见，又蒙山东海洋学院阎虹同志协助绘图，特此一并致谢。

目 录

前言	iii
第一章 海洋的天然放射性	1
第一节 海洋天然放射性元素的含量	2
第二节 海洋中几种重要的天然放射性元素	5
第二章 海洋人工放射性的来源	21
第一节 核武器试验的降落灰	21
第二节 原子反应堆低水平放射性废物向海洋的排放	25
第三节 高水平固体放射性废物向海洋的投放	31
第四节 放射性同位素的应用和事故	35
第三章 人工放射性物质在海洋中的分布	37
第一节 海洋人工放射性总量	37
第二节 锶-90 (^{90}Sr) 和铯-137 (^{137}Cs) 在海洋中的分布	38
第三节 氚 (^3H) 和钚-239 (^{239}Pu) 在海洋中的分布	49
第四章 人工放射性物质在海洋中的理化运转	56
第一节 稀释、扩散和运送	57
第二节 人工放射性元素在海洋中的理化特性	63
第三节 人工放射性元素在海洋的沉积作用	69
第五章 海洋生物对人工放射性物质的吸收、浓缩和转移	79
第一节 海洋生物对放射性物质的吸收	79
第二节 浓缩系数和比活性	84
第三节 放射性元素在生物体内的分布	99
第四节 放射性元素从生物体内的排出	102
第五节 影响海洋生物吸收人工放射性元素的因素	106

第六节 海洋生物转移放射性物质	111
第六章 电离辐射对海洋生物的影响	121
第一节 天然辐射对海洋生物的影响	121
第二节 人工辐射对海洋生物的影响	125
第七章 防止海洋放射性污染的几个问题	142
第一节 严格控制沿海原子能工业和核动力船只向海洋排放 放射性废物	142
第二节 制定海产食品放射性标准,对海洋放射性进行调查 和监测	151
主要参考文献	158

第一章 海洋的天然放射性

海洋的天然放射性 (Natural radioactivity), 是由海洋的天然放射性元素产生的。海洋的天然放射性元素有几个来源, 即: 海底岩石风化; 陆地岩石风化通过河流注入; 以及宇宙射线辐射而产生。

早在本世纪初, 就有人开始进行了海洋放射性的初步调查。譬如, 斯特拉特 (Strutt) 于 1906 年描述了海洋的天然放射性; 洛利 (Loly) 于 1908 年发现深海沉积物中镭的含量高。但是, 真正引起大家重视还是近二十年来的事情。因为, 一方面是用同位素方法可以测定水体、沉积物和珊瑚礁的年龄; 另一方面, 借原子反应堆、原子弹而一跃成名的铀, 在陆地矿石中的蕴藏量有限。但是浩瀚的大海却有巨量的铀, 可以说是取之不尽, 用之不竭的大铀库。如能掌握打开这个大铀库的钥匙, 那就掌握了发展原子能的主动权。基于这个热切的愿望, 特别是那些缺乏燃料的国家, 为了摆脱能源危机, 进入六十年代以来, 掀起了从海水中提铀的研究热潮。

海洋的天然放射性元素大体可分为三部分: 铀 (U) 系、钍 (Th) 系和锕 (Ac) 系的放射性元素; 钾-40 (^{40}K)、铷-87 (^{87}Rb) 等单个放射性元素; 碳-14 (^{14}C)、氚 (^3H) 等由宇宙射线辐射形成的放射性元素。目前, 已知海洋含有的天然放射性元素有几十种。主要有钾-40 (^{40}K)、铀-238 (^{238}U)、钍-232 (^{232}Th)、镭-226 (^{226}Ra)、钋-210 (^{210}Po) 碳-14 (^{14}C)、氚 (^3H)、铷-87 (^{87}Rb)、铍-10 (^{10}Be) 等。

第一节 海洋天然放射性元素的含量

一、铀系、钍系和镭系天然放射性元素

铀系、钍系和镭系天然放射性同位素,是分别由这三个系的母体元素 ^{238}U 、 ^{235}U 和 ^{232}Th (这三个元素半衰期都很长),经过不断的衰变产生一系列子体元素所组成。因此,海洋中这三个系的天然放射性元素的含量,取决于母体元素的含量,以及它们的不断衰变。

目前,这三个系在海洋中已实际测定的和估计存在的元素含量,根据杉村行勇 (1970)、约瑟夫 (Joseph, 1971) 和波波夫 (Попов, 1964) 等人的材料,综合于表 1。

表 1 海洋中铀、钍和镭系天然放射性元素

元素名称	半衰期	海水中的浓度		沉积物的浓度 克/克
		克/升	dpm/升*	
^{238}U	4.5×10^9 年	3×10^{-6}	2.0—2.5	1.0×10^{-6}
^{235}U	7.13×10^8 年	2×10^{-8}	0.09—0.17	7.1×10^{-9}
^{234}U	2.48×10^5 年	1.6×10^{-10}	2.3—2.9	8.1×10^{-11}
^{234}Pa	1.14 分	1.4×10^{-19}	220	4.7×10^{-20}
^{231}Pa	3.43×10^4 年	$< 2 \times 10^{-12}$	< 0.2	1.0×10^{-11}
^{234}Th	24.1 日	4.3×10^{-17}	2.2	1.4×10^{-17}
^{232}Th	1.39×10^{10} 年	1.0×10^{-10}	2.4×10^{-13}	5.0×10^{-6}
^{231}Th	25.6 小时	8.6×10^{-20}	0.1	2.9×10^{-20}
^{230}Th	7.52×10^4 年	3.0×10^{-13}	< 0.014	2.0×10^{-10}
^{228}Th	1.91 年	4.0×10^{-17}	< 0.07	7.0×10^{-16}
^{227}Th	18.17 日	$< 7.0 \times 10^{-20}$	< 0.005	1.3×10^{-17}
^{228}Ac	6.13 小时	1.5×10^{-20}	0.075	2.4×10^{-19}
^{227}Ac	21.6 年	$< 1.0 \times 10^{-15}$	< 0.2	5.9×10^{-15}
^{226}Ra	6.7 年	1.4×10^{-16}	0.05	2.3×10^{-15}
^{226}Ra	1.622×10^3 年	1.0×10^{-13}	0.2	4.0×10^{-12}
^{224}Ra	3.64 日	2.1×10^{-20}	0.007	3.4×10^{-18}

(续表)

元素名称	半衰期	海水中的浓度		沉积物的浓度
		克/升	dpm/升*	克/克
^{223}Ra	11.68日	$<4.4 \times 10^{-20}$	<0.005	8.5×10^{-18}
^{223}Fr	32分	$<7.0 \times 10^{-24}$	$<6.0 \times 10^{-4}$	1.4×10^{-21}
^{222}Rn	3.823日	6.3×10^{-19}	0.2	2.5×10^{-17}
^{220}Rn	51.5秒	3.3×10^{-24}	0.007	5.4×10^{-22}
^{219}Rn	3.92秒	$<1.7 \times 10^{-25}$	<0.005	3.1×10^{-23}
^{218}Po	3.05分	3.4×10^{-22}	0.2	1.4×10^{-20}
^{216}Po	0.158秒	1.0×10^{-26}	0.007	1.7×10^{-24}
^{215}Po	1.38×10^{-3} 秒	$<8.1 \times 10^{-29}$	<0.005	1.4×10^{-26}
^{214}Po	1.64×10^{-4} 秒	3.0×10^{-28}	0.2	1.1×10^{-27}
^{212}Po	3.04×10^{-7} 秒	1.2×10^{-32}	0.005	2.4×10^{-29}
^{211}Po	0.52秒	$<6.8 \times 10^{-29}$	$<1.5 \times 10^{-6}$	1.2×10^{-26}
^{210}Po	138日	2.2×10^{-17}	0.2	8.8×10^{-16}
^{214}Bi	19.7分	2.1×10^{-21}	0.2	8.8×10^{-20}
^{212}Bi	60.5分	2.2×10^{-22}	0.007	3.7×10^{-24}
^{211}Bi	2.16分	$<5.6 \times 10^{-24}$	<0.005	1.0×10^{-21}
^{210}Bi	5.01分	7.8×10^{-19}	0.2	3.1×10^{-17}
^{214}Pb	26.8分	2.9×10^{-21}	0.2	1.2×10^{-19}
^{212}Pb	10.6小时	2.4×10^{-21}	0.007	3.9×10^{-19}
^{211}Pb	36.1分	$<9.0 \times 10^{-23}$	<0.005	1.6×10^{-20}
^{210}Pb	19.4年	1.1×10^{-15}	0.2	4.5×10^{-14}
^{208}Tl	3.10分	4.1×10^{-24}	0.003	6.7×10^{-22}
^{207}Tl	4.79分	$<1.2 \times 10^{-23}$	<0.005	2.1×10^{-21}

* dpm (disintegration per minute) 每分钟的衰变数

二、单个天然放射性元素

单个天然放射性元素既不是来源于上述三个系，也不是宇宙射线辐射产生的天然放射性元素。它们是镨-176(^{176}Lu)、钐-147(^{147}Sm)、钕-144(^{144}Nd)、铈-142(^{142}Ce)、镧-138(^{138}La)、锡124(^{124}Sn)、铟-115(^{115}In)、铷-87(^{87}Rb)、镓-48(^{48}Ga)、钾-40

• 3 •

表 2 海洋中单个天然放射性元素

元素名称	半衰期(年)	海水中的浓度		沉积物的浓度
		克/升	dpm/升	克/克
^{176}Lu	2.4×10^{10}	2.0×10^{-12}	—	—
^{147}Sm	1.3×10^{11}	6.0×10^{-11}	—	—
^{144}Nd	5.0×10^{15}	5.3×10^{-10}	—	—
^{142}Ce	5.0×10^{15}	1.0×10^{-10}	—	—
^{138}La	7.0×10^{10}	3×10^{-10}	—	—
^{124}Sn	1.5×10^{17}	2.0×10^{-7}	—	—
^{115}In	6.0×10^{14}	2.0×10^{-5}	—	—
^{87}Rb	4.7×10^{10}	3.3×10^{-5}	64	—
^{68}Ga	2.0×10^{16}	9.0×10^{-4}	—	—
^{40}K	1.25×10^9	4.5×10^{-5}	670	$0.8-4.5 \times 10^{-6}$

(^{40}K) 等。经测定这些元素在海洋中的含量列于表 2。

三、宇宙射线产生的放射性元素

这些元素是由宇宙射线作用于大气中的元素的原子核而

表 3 海洋中宇宙射线辐射产生的天然放射性元素

元素名称	半衰期	海水中的浓度		沉积物中浓度
		克/升	dpm/升	克/克
^3H	12.26年	1.7×10^{-18}	0.036	—
^7Be	53天	$< 4.9 \times 10^{-17}$	< 38	—
^{10}Be	2.5×10^6 年	2.2×10^{-17}	10^{-6}	$1-3 \times 10^{-13}$
^{14}C	5,570年	$2-3 \times 10^{-14}$	0.2—0.3	$0.1-1 \times 10^{-13}$
^{26}Al	7.4×10^5 年	2.9×10^{-19}	1.2×10^{-8}	—
^{32}Si	710年	5.1×10^{-19}	2.4×10^{-5}	$0-2 \times 10^{-6}$
^{32}P	14.3天	$< 1.5 \times 10^{-18}$	—	—
^{33}P	25天	$< 3.1 \times 10^{-18}$	—	—
^{35}S	87天	$< 1.8 \times 10^{-18}$	—	—
^{35}Cl	3.1×10^5 年	7.7×10^{-17}	5.5×10^{-14}	—
^{39}Ar	270年	3.8×10^{-20}	2.9×10^{-6}	—

形成,然后降落于海洋中的,它们是氚(^3H)、铍-7(^7Be)、铍-10(^{10}Be)、碳-14(^{14}C)、铝-26(^{26}Al)、硅-32(^{32}Si)、磷-33(^{33}P)、硫-35(^{35}S)、氯-35(^{35}Cl)、氩-39(^{39}Ar)等(见表3)。

应当指出,由于各学者所测得的数值,有的相差较大,有的仅是根据几个甚至一个测定的数值的结果;或者是将彼此相差很大的数值加以平均而得出的。因此有些元素的数值可能与实际值有较大的差距。

第二节 海洋中几种重要的天然放射性元素

一、钾-40(^{40}K)

^{40}K 的半衰期为 1.25×10^9 年,主要是进行 β 蜕变,但也有 γ 蜕变。 ^{40}K 蜕变后,变成氩-40(^{40}Ar)。虽然在海水中 ^{40}K 仅占K元素的0.0119%,但因海水含钾量较高,平均为380毫克/升,仅次于钠、镁和钙,在阳离子中居第四位。所以, ^{40}K 在海水中所含的天然放射性元素中,具有最高的放射性(见表4)。

表4 海水中几种重要天然放射性元素的放射性强度*

元素名称	放射性强度 (微微居里/升)	元素名称	放射性强度 (微微居里/升)
^3H	0.6—3	^{226}Ra	$4—4.5 \times 10^{-2}$
^{14}C	0.16—0.18	^{222}Rn	$\approx 2 \times 10^{-2}$
^{40}K	320	^{210}Pb	$1—6.8 \times 10^{-2}$
^{87}Ra	2.9	^{210}Po	$0.6—4.2 \times 10^{-2}$
^{238}U	1.2	^{232}Th	$0.1—7.8 \times 10^{-4}$
^{234}U	1.3	^{230}Th	$0.2—3.1 \times 10^{-3}$
^{230}Th	$0.6—14 \times 10^{-4}$	^{235}U	5×10^{-2}

* 引自伍德黑德 (Woodhead, 1973)

从表4可以看出,海水的天然放射性,主要是由 ^{40}K 组成。据估计,整个海洋 ^{40}K 的放射性强度达 460×10^9 居里。

在外海海水中, ^{40}K 的含量变化不大。但在河口、近岸含量变化较大。如在黑海一个海湾水中,随着季节的变化, ^{40}K 的含量波动在154—217毫克/升范围,放射性强度的变化从 1.2×10^{-10} — 1.7×10^{-10} 居里/升。通常海水中 ^{40}K 的含量要高于河水。

海洋生物体内的天然放射性,主要也是 ^{40}K 。据奇普曼(Chipman, 1972)报道,海藻体内 ^{40}K 大约为1—15微微居里/克,无脊椎动物为0.1—4.0微微居里/克,鱼为4.0微微居里/克。在海藻中 ^{40}K 的含量以褐藻最高,红藻次之,绿藻最低。而藻类中 ^{40}K 的含量又高于海洋动物。

有趣的是,有一种海洋动物(*Astacum fluviatilis*)雄的肌肉含 ^{40}K 要比雌的高三分之一。棘皮动物的卵放射性较高, ^{40}K 的活性达 9.3×10^{-9} 居里/千克。在1965到1974年期间,太平洋的长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*)肌肉 ^{40}K 的含量平均每公斤3300微微居里(相当于每公斤肌肉含 ^{40}K 3.9克),不同年份和鱼体大小 ^{40}K 的含量变化不大。海洋哺乳动物肌肉组织的 ^{40}K 活性,如北欧海豹(*Phoca hispida*)为 $2-4 \times 10^{-9}$ 居里/公斤,格陵兰海豹(*Histiophoca groenlandica*)为 3.2×10^{-9} 居里/公斤,而生活在黑海的一种海豚(*Delphinus* spp.)的 ^{40}K 活性要稍高些,为 6.1×10^{-9} 居里/公斤。海洋生物 ^{40}K 的含量随季节而变化,夏天较低,冬季较高。

由于 ^{40}K 易被各种胶状和悬浮物质所吸附,沉于海底。因此,海底沉积物 ^{40}K 的含量通常要高于海水。

在进行海水、海洋生物和沉积物放射性调查时,一般由于 ^{40}K 的 β 活性占样品的总 β 活性的百分比很高(在一般情况下可达百分之九十左右)。为了准确判断所测样品是否受到放射

性污染,通常要把样品的 ^{40}K 去除,然后再进行 β 放射性的测定,即得去 ^{40}K 总 β 放射性。

二、铀(U)

自然界的铀有 ^{238}U 、 ^{235}U 和 ^{234}U 等几种同位素。其中 ^{238}U 含量最多, ^{235}U 在铀中的含量仅占四百分之一。这三种同位素放出 α 射线。 ^{238}U 吸收中子经过蜕变以后的产物为 ^{239}Pu (^{239}Pu)。

铀是原子燃料。所谓原子爆炸,就是在一定量的 ^{235}U 或 ^{239}Pu 中使链式反应无控制地进行而发生的爆炸。而控制 ^{235}U 或 ^{239}Pu 的链式反应的装置,就是原子反应堆(原子堆)。因此可以说,没有铀,也就谈不上原子能在军事、工业、交通等方面的应用。用原子能作为海上交通的动力,具有携带极小量的燃料就可以长期航行的优点。特别是原子燃料不需要空气助燃,更适用于潜艇在水下长期航行。

关于铀在海洋中的含量、分布等问题,已经有不少研究资料。

(一) 海水中的铀

目前,世界各大洋海水中铀的含量已有不少研究报告,所用的分析、测定方法有: 萤光分析法、极谱分析法、同位素稀释法、放射分析法和比色法等。根据所测定的数值来看,早年测定的数值波动较大,且偏小。目前比较普遍地认为: 在公海铀的含量约为每公升海水 3 微克。罗娜(Rona, 1956)用同位素稀释法测定了大西洋和太平洋水中铀的含量,所得的平均值分别为 3.3×10^{-6} 克/升和 3.2×10^{-6} 克/升。威尔逊(Wilson, 1960)用同位素稀释、萤光分析和极谱法测定了英国近岸海水,用三种不同测定方法都得到相同的数值,即平均

为 3.4×10^{-6} 克/升。三宅 (1966, 1970) 测定太平洋西北海域的海水, 铀的含量为 $3.34 \pm 0.28 \times 10^{-6}$ 克/升。日本南极调查船对印度洋和印度洋的南极海区表层水, 进行了铀的测定, 所得的数值分别为 3.1×10^{-6} 克/升和 3.0×10^{-6} 克/升。垣花秀武、尾方升也指出, 现在最能使人相信的测定数值, 是用同位素稀释法所得出的值, 也就是在外海水中铀的含量为 3.3×10^{-6} 克/升。但有些测定值要偏低些。例如, 巴拉诺夫 (Баранов, 1964) 报告, 印度洋中部海水铀的含量仅为 1.8×10^{-6} 克/升。黑海和亚速海铀的含量波动在 $1.5-2.8 \times 10^{-6}$ 克/升。

关于铀在海水中的垂直分布, 据调查, 在太平洋和大西洋铀的最高含量是在 1,000 米处。在印度洋中部, 铀的最高浓度出现在 1,000—2,000 米水层, 最低浓度是在水深 400 米。在日本三陆近海的黑潮和亲潮混合水域, 发现铀的含量随着水深而增高 (见图 1)。

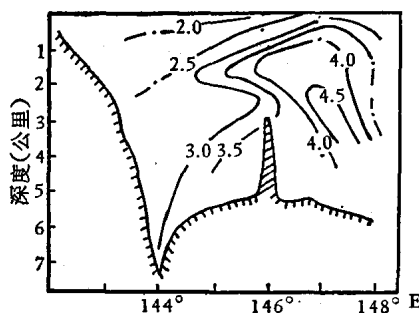


图 1 铀 (U) 在海水中的垂直分布 (38°N)

但是, 这种情况, 在对太平洋西北部的其他几个断面的调查中, 没有得到证实 (见表 5)。也没有发现在 1,000 米深处铀的含量最高。

^{234}U 是 ^{238}U 的蜕变产物。据科伊得 (Koide, 1965) 的调查, 海水中 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 活性比率 (activity ratio) 除了在红海海水中稍高外, 太平洋、大西洋、印度洋和地中海海水中 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 的活性比率平均值为 1.14 ± 0.014 (见表 6)。

三宅 (1970) 对太平洋西北部海域进行了调查, $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 活性比率波动在 1.07—1.20 之间, 平均值为 1.13 ± 0.04 , 与科

表 5 太平洋西北部海水中铀的垂直分布和 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 的活性比率(站位: $31^{\circ}00'\text{N}$, $136^{\circ}26'\text{E}$; 4,280 米深)

深度(米)	水温($^{\circ}\text{C}$)	盐度(‰)	U 的浓度 ($\times 10^{-6}$ 克/升)	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 活性比率
0	23.7	35.034	3.5 ± 0.1	1.18 ± 0.05
500	14.1	34.573	3.2 ± 0.2	1.11 ± 0.05
1,000	4.7	34.301	3.1 ± 0.1	1.15 ± 0.03
2,000	2.1	34.595	3.3 ± 0.2	1.18 ± 0.04
3,000	1.6	34.671	3.1 ± 0.1	1.20 ± 0.07
4,000	(1.6)	(34.60)	2.9 ± 0.1	1.07 ± 0.08

表 6 海水中的 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 活性比率

站 位	水深(米)	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 活性比率	站 位	水深(米)	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 活性比率
太平洋				1,000	1.15 ± 0.02
$26^{\circ}6.5'\text{N}$, $112^{\circ}46'\text{W}$	12—16	1.16 ± 0.01		5,000	1.13 ± 0.02
$44^{\circ}54.9'\text{N}$, $134^{\circ}55.7'\text{W}$	2,000	1.13 ± 0.02	$21^{\circ}06'\text{N}$, $46^{\circ}30.5'\text{W}$	50	1.15 ± 0.02
	4,000	1.13 ± 0.02		3,900	1.14 ± 0.02
印度洋			$17^{\circ}27.7'\text{N}$, $55^{\circ}21.6'\text{W}$	2,800	1.13 ± 0.02
$32^{\circ}00'\text{S}$, $35^{\circ}21'\text{E}$	50	1.16 ± 0.01	南太平洋		
	3,000	1.14 ± 0.01	$30^{\circ}10'\text{S}$, $4^{\circ}21'\text{W}$	50	1.13 ± 0.01
		1.15 ± 0.01		4,000	1.16 ± 0.01
北大西洋			红海		
$34^{\circ}36'\text{N}$, $37^{\circ}29'\text{W}$	50	1.15 ± 0.02	$27^{\circ}32.4'\text{N}$, $34^{\circ}13.2'\text{E}$	0	1.18 ± 0.01
	1,000	1.17 ± 0.02	地中海		
	3,150	1.13 ± 0.02	$40^{\circ}39'\text{N}$, $5^{\circ}48'\text{E}$	0	1.16 ± 0.02
	5,300	1.13 ± 0.02		2,700	1.13 ± 0.02
$26^{\circ}41.5'\text{N}$, $22^{\circ}26.1'\text{W}$	50	1.15 ± 0.02			