

环境放射性：对工业贡献的看法

海洋研究有助于证实常规“非核”工业如何增强 天然辐射环境

M. S. Baxter

人们对工业和环境这两个领域天然放射性照射的认识，以及对这种照射因工业活动而增强的认识，正在不断加深。遗憾的是，人们时常产生一些共同性的错误，也就是把环境放射性只同核工业联系起来，甚至认为，放射性或多或少是人为的。

从根本上说，放射性始于宇宙诞生之初。宇宙是核反应和放射性的结合，这种结合创造了万物。核的稳定性决定了我们宇宙中哪些元素丰富，哪些稀少。5000多种已知的原子(核素)中，放射性的约占95%。这是宇宙间的一般情况。实际上，我们星球上的所有物质和环境都是放射性的，而且都受到电离辐射的天然照射。来自这种辐射的能(热)量，一直为地球上主要地质变化，地球分作地核、地幔和地壳，地球内部对流循环，以及地震、火山活动、山脉形成和大陆移动等地球外部现象提供动力。

天然辐射环境还触发和促进了生物进化本身的若干关键阶段。当然，还有“聚变反应堆”——我们的太阳和恒星——一直为我们提供核能。它是我们日常光、热和气候，乃至煤、石油、天然气、薪材、泥炭、风等替代能源和二次能源的基本来源。岩石中的放射性同样也供给地热能源。因此从根本上说，几乎所有工业热源和民用热源都源于核能，而且如上所述，所有天然物质都是放射性的。甚至还可顺便指出，天然放射性核素提供了一种独特的可用来认识自然过程的速度和机理的手段，因为放射性衰

变是自然界唯一真正独立的有已知速率的“时钟”。我们可用它测定岩石、沉积物、古代遗迹和其他物质的年代。

就许多日常接触的物质而言，其典型放射性浓度的变化范围是很大的。(见第35页表。)为便于参考，应该记住，固态放射性物质活度的下限——即高于此限的物质被视为放射性的——一直根据具体情况和用途传统地定在100—400贝可/千克的范围内。

许多日常接触物质的放射性水平高于这些限值，这个事实当然不意味着它们有值得注意的危害。在作这种估计时，必须考虑到照射途径和持续时间。但是关键在于，这些天然发生的放射性核素——主要是钾-40和那些属于铀和钍衰变系列的核素——在一些天然物质和人工物质中出现时往往浓度充分增高，以致它们可被视为放射性物质，而且在某种情况下可产生值得注意的辐射照射剂量。

天然放射性作为日常辐射总照射量的一个来源，人们对其重要性的认识逐步提高，这在联合国原子辐射效应科学委员会(NUSCEAR)给出的不断修改的估计值中有所反映。该委员会给出的公众中每个成员接受来自天然衰变系列放射性核素的平均天然剂量的估计值，已从1962年约50微希/年，改变为1972年约150微希/年，1977年1040微希/年，1982年1140微希/年和目前约1400微希/年。

本文对放射性在自然界的普遍存在提出一种看法。我们把这种看法建立在核过程的基本性质的基础上，以证明我们所说

Baxter 教授是 IAEA 摩纳哥海洋环境实验室主任，《环境放射性杂志》常务编辑。



的实际存在,并强调天然放射性在我们日常辐射照射剂量中所占的份量。文中简要提到一些“常规”工业和“老式”工业。它们有的经常使用和有的总是使用含有天然放射性的材料,并且在浓集这些放射性核素之后把浓度增高的放射性核素释放到环境中。

本文的目的只是提高人们对这些工业的认识,而并非责难,也许能帮助人们对各种工业活动的环境影响,有一个更客观更公平的比较性评估。

放射性和矿物燃料

使人类生存环境中天然放射性浓度增高的主要因素,是矿物燃料即煤、石油和天然气。这一点虽有丰富的资料证明,却也许仍未引起注意。矿物燃料的放射性源于所含相当数量的铀、钍、镭、钍和钾的同位素。它们在开采和燃烧过程被浓集,然后被排放。最近有一篇评论文章说,在一般情况下,功率为1吉瓦电(GWe)的燃煤发电每年以飞灰和废气的形式向环境排放氡-220和氡-222约 10^4-10^{11} 贝可,铜-210、钍-210、镭-226(包括镭-228)、钍-232和铀-238各约 10^8-10^{10} 贝可。

这些例行排放率(主要排入大气)小于或相当于正常运行的核电站的排放率。它们在全球也给环境增加了约5000吨铀、8000吨钍,以及它们的所有子体产物,包含约600太贝可 α 辐射体。主要结果是,集体剂量负担约200人一希,典型的关键人群组剂量率高达50微希/年。

飞灰废物产品中的天然放射性,是由与燃烧的原煤有关的挥发过程和吸附过程浓集的。(见第37页表。)飞灰中放射性的这种浓集的一个直接后果是,由于建筑材料生产普遍使用这种飞灰,致使用这种砖和预制构件建造的房屋和各种设施中的 γ 剂量和氡发散率相应地大大提高。

海洋环境研究有助于科学理解天然放射性及其与人接触的途径。(来源:波哥大 Aldo Brando)

代表性浓度(范围)			主要核素浓度			
注:所有浓度单位为贝可/千克			α		β/γ	
物质	α	β/γ	钍-232	铀-238	钍-232	钾-40
岩石						
火成岩	140	800	48	48	48	800
花岗岩	170		90	80		
砂岩	64	330	26	14	24	330
页岩	95	800	40	40	15	800
石灰岩	36	80	16	5	15	80
磷块岩	1500	260	1400	50		260
一般土壤						
	550 (300-1000)	440	70 (7-180)	40 (4-100)	24 (8-110)	440 (0.2-1200)
砖	110 (7-170)	600 (10-1000)	60 (2-90)	46 (3-80)		600 (10-1000)
石膏和水泥	300 (30-800)	90 (40-160)	300 (20-800)	25 (8-60)		90 (40-160)
沙和砾石	200-2000	30	4	20-200	20-90	30
混凝土	90 (40-170)	500 (210-650)	60 (7-140)	30 (13-42)		500 (210-560)
人体器官和组织	0.2	67 (包括钍-87)	0.003	0.0002	0.003	60
书	30	100	0.9-30 (钍-210)			100
煤						
约克郡 1982 年	62	300	20	20	20	300
英国 1984 年	82	170	15	12	14	170
飞灰	1400	1100	200 (600 钍-210)	200	200	500
化肥						
正常过磷酸盐	2200		770	20	740	
浓缩过磷酸盐	4600	800	800	10	2000	
干草		600	300 (钍-210)			600
海草 (康沃尔郡)	17				8	

煤燃烧中释放的飞灰为玻璃化微粒形式(直径为 1—100 微米)。尽管采取了烟囱过滤和其它捕集方法,仍常发现燃煤电厂周围土壤富含这类灰载放射性核素。烟囱过滤器收集的飞灰及煤渣,也经常被处置在当地的渣坑或半干枯湖中,这些也使放射性水平增高。

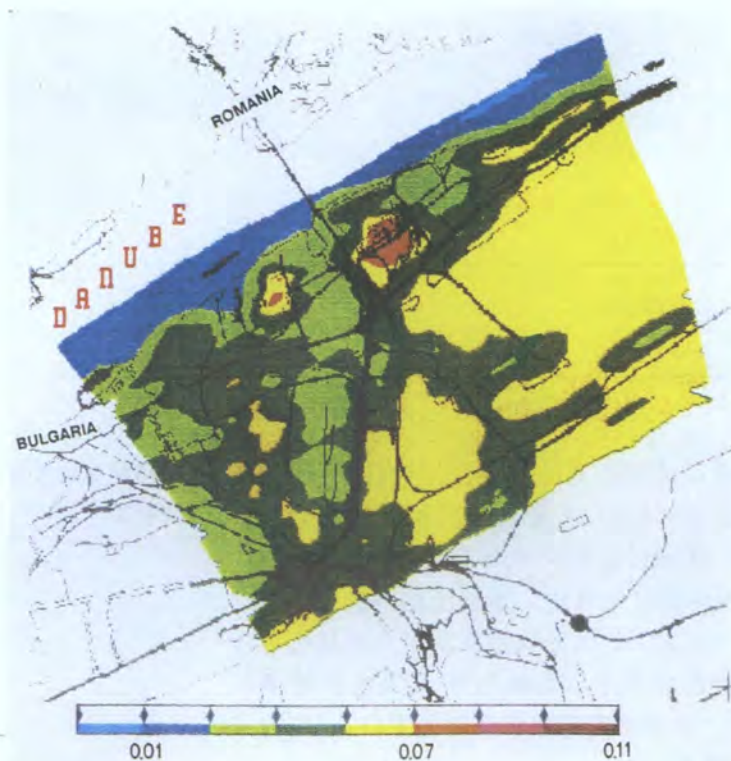
最近,对多瑙河流域进行的航空 γ 能谱测量研究,就是一个辐射环境增强的例子。在这项研究中,来自设在摩纳哥的 IAEA

海洋环境实验室的科学家,与法国原子能委员会(CEA)、水道测量队和成员国当地的一些部门及研究机构合作,调查了多瑙河两岸地区的环境。他们使用一台装在直升飞机之下的大体积锗探测器。这是用来绘制环境中天然辐射和人为辐射地图的、一种非常有效非常省时的手段。(见方框,照片。)

在石油和天然气燃烧中,也存在人们感兴趣的天然衰变系列核素,特别是镭和

一般材料中的天然放射性浓度

根据 IAEA-MEL 的一个项目,1992 年曾对处置在保加利亚境内多瑙河附近的一个湖中的典型飞灰,做过一次直升飞机调查。下图所示,为几个已发现常规工业对当地辐射环境有明显影响的工业地区之一的 γ 辐射剂量率的分布。保加利亚的鲁塞城附近的几个黄色区域,示出钾-40 引起的增强的 γ 放射性。可以看到,这些区域与施用富钾化肥的农田有密切关系。靠多瑙河(由于放射性含量低为蓝色)更近的两个较小桔红/红色区域表示航空能谱仪所测铀-214 信号增强,从而表明其母体镭-226 的存在。科学家在保加利亚随后进行的调查表明,这些“热点”是由一些部分被填满的沉积物池引起的。一座 200MWe 燃煤电厂的煤灰和废渣,被运来并允许处置到这些沉积池中。这些池排出的水流入多瑙河。随后在索非亚大学和 IAEA-MEL 做的分析表明,沉积池附近的土壤含有 500—700 贝可/千克的钾-40、约 160 贝可/千克的镭-226、约 60 贝可/千克的钍-232、约 50 贝可/千克的铅-210 和约 75 贝可/千克的钋-210。这个场地上的 γ 剂量率已被增高约 70%。从直升飞机测到的最大空间平均剂量率约为 100 纳戈瑞/小时,处于正常环境值范围的高端。(欧洲共同体委员会最近发表的辐射图谱表明,欧洲境内典型室外 γ 剂量率从小于 30 纳戈瑞/小时到大于 90 纳戈瑞/小时,平均值约 50 纳戈瑞/小时。)虽然这里的煤灰和土壤的放射性有所增强而且该场地本身未采取防护措施,但不一定有放射学问题。上述放射性增强都很小。居民剂量情况,取决于当地接角途径和生活习惯。可能的照射途径包括流入多瑙河的水,河边食物链,以及吸入和摄取富含飞灰的风吹尘。然而,在这种特殊的情况下,已通知当地卫生检查部门,以便作出一个全面的评价。环境放射性增强不是保加利亚特有的现象,所有国家和烧煤地方都如此。



注:照射单位为微戈瑞/小时。
比例尺:1 厘米=359 米。

氢同位素的转移现象。例如,氡-222 不断扩散到地球内的天然气和油田中,而它和(或)它的子体核素随后在燃烧矿物燃料的电厂或住房中释放出来。据估计,燃气电厂附近关键人群组每年通过摄取海味和多叶蔬菜中的氡-222 子体,可能接受高达 200 微希的有效剂量当量。在使用天然气的家庭内,由于氡-222 的吸入,每年也可造成同样的有效剂量当量。

在这方面,得到较多资料证明的环境照射途径之一,也许涉及石油和天然气开采期间上升到地表的那些卤水内发生的核素浓集过程。过饱和卤水中的一些盐主要是碱土金属的硫酸盐和碳酸盐,往往会沉淀出来,并作为“结垢”固结在管道、泵或槽的内部。这最后会减少并阻塞流体的流量,迫使人们拆卸设备除去结垢。

由于在这些调查研究中遇到的主要天然阳离子是钙、锶和钡,能够非常有效地清除和浓集性质与它们很相近的镭,即卤水、地下水和海水中的镭-226 和镭-228。已发现浓度高达和高于 10^6 贝可/千克的镭-226 和镭-228。清洗和净化这类设备的工人,必须遵守与高放核实验室所用大体一致的严格的安全程序。

不过,这类工业现场的流出物,往往被



直接排入环境。例如,我们最近注意到在这样一种管道排放口附近收集的海洋生物中的钋-210 浓度增高(达 625 贝可/千克)。附带提及,在苏格兰大学研究和反应堆中心进行的同样的研究中,也观察到在采煤废物直接排入海洋地点附近收集的滨海沉积物中,铅-210、钋-232 和钍-238 浓度增高。

我们未必可以得出结论,矿物燃料动力工业释放的放射性是数量大的或有害的。不过,在某些情况下,它们的放射性释放在局部范围可能是很有影响的,而且同与之竞争的核工业释放同样数量放射性相比,往往被人认识和控制的程度差得多。

矿物燃料工业界已经知道有关全球气候变化、酸雨、有毒金属和有机化合物造成的污染、采矿事故、销售和使用期间发生爆炸,以及燃烧这种可用来制造药品和聚合物材料的宝贵而有限的天然资源不受欢迎等问题。如果对使用矿物燃料引起的环境放射性增强得到更深的认识和考虑,那么肯定会在政策上和科学上作出适当的决策。

其它常规工业

设在摩纳哥的机构海洋环境实验室(IAEA-MEL),特别是通过 Robin Cherry 教授及其合作者的工作,已在证明自然界海洋生物浓集海水中钋-210 的研究方面处于领先地位。通过浓集,这些海洋生物的个别组织特别是肝胰腺,接受了很大的局部剂量。肝腺体中的放射性核素浓度高达若干千贝可/千克(湿重),仅由钋-210 便可造成约 100 毫希/年的剂量率。因此,这种海洋生物器宇经受的天然辐射剂量,即使不是最高的,看来也是最高的天然辐射

选择的材料中的天然放射性浓度

总浓度($\alpha+\beta/\gamma$)	
100-400 贝可/千克	>400 贝可/千克
谷物	茶叶
肉类	咖啡
家禽肉	干蘑
马铃薯	某些贝类
某些绿色蔬菜	某些巴西坚果
根菜类	某些饮用水
某些新鲜水果	某些岩石
水果产品	土壤
某些豆类	某些砖
鱼,某些贝类	某些石膏
某些巴西和其它坚果	某些混凝土
某些饮用水	飞灰
某些岩石、砖	化肥
某些石膏	
某些混凝土	
水泥、沙、砾	
书	
煤	

剂量之一。

然而,IAEA-MEL 的 Scott Fower 博士和我本人在一位共同研究生(现在的 Paul McDonald 博士)帮助下,到 80 年代中期才发现,甚至在靠近英国塞拉菲尔德的一个主要的核排放点附近,普通可食贻贝的天然钋-210 α 放射性也超过受到人工放射性核素照射的关键人群组的 α 放射性。贝肉中的钋-210 活度为 124 贝可/千克,内脏中的为 600 贝可/千克。

McDonald、本人和一些合作者后来在一项跟踪研究中发现,在爱尔兰海的滨海地区确实另有一个相当大的,来自非核工业的钋-210 源。在采自英国怀特黑文地区的贻贝中,深测到的钋-210 浓度在 0.3-3 千贝可/千克以上。放射性增高是一座磷酸盐加工厂(现已关闭)例行排放废物的结果。

英国农粮渔业部进行的一项跟踪研究

飞灰和煤中放射性浓度比较

浓度(单位为贝可/千克)

	钾-40	钍-235	钍-232	铅-210	钋-210	钍-232	钍-238	镭-238
煤	50	20	20	20	20	20	20	20
飞灰	265	200	240	930	1700	70	110	130

表明,从这家洗涤剂生产厂排放的废物也含有较多的镭-226和钍同位素。当地海味食者关键组剂量为0.3—3毫希/年,超过了英国当时核排放所引起的任何剂量值。

在一些磷酸盐加工厂附近,人们经常观测到天然衰变系列核素的类似环境增强现象。这反映的事实是,铀和镭对磷酸根有天然化学亲合力,因而积累在磷石膏废物产品中。就以磷酸盐废物形式释放增强的天然放射性而言,化肥和洗涤剂工业是主要祸源。

这种现象最著名的例子之一,是荷兰鹿特丹工业区的磷石膏流出物的排放。荷兰国家公共卫生和环境保护研究所的Heko Köster博士及其合作者已发现,每年被释放的钋-210和镭-226各约为 10^{12} 贝可。这样多的钋和镭,使生活在距工业区50—100公里处的贻贝和对虾的可食部分中的钋-210提高到大约100贝可/千克。在海味消费者人群中,预计个人剂量率为0.3—1毫希/年,而用鹿特丹附近受污染淤泥回填围垦田也可通过消费当地家禽产品和吸入增强的室内氡-222,造成0.3—1毫希/年的个人剂量率。

这个以磷酸盐为中心的例子代表着数量相当大的其它“常规”工业的情况。它们主要因为供料富含天然放射性,而能够向环境并且确实在向环境释放增强的放射性。

最近有人邀我考察,世界最大矿冶工厂(锡厂、铜厂、铅厂等)之一的放射性流入、流过和流出情况。我们在一小组辅助人员协助下发现,工厂供料含有高达66千贝可/千克的钋-210,而工业加工过程进一步浓集了放射性核素。例如,半成品的钋-210浓度高达2.2兆贝可/千克,整个工厂的放射性年流量在太贝可量级。除烟囱排放以外,风吹的污染废物尘埃也成为—个潜在的在环境中分散的途径。

在钛的氧化物生产、稀土化合物生产、矿泉水生产、涂料和陶瓷材料生产,以及应用明矾页岩工业尾料和富锆砂矿,即在颜料业、服装业、石灰烧制业、石油和建筑业

中,也会发生类似的放射性增强现象。在所有这些场合下,源材料中天然衰变系列核素浓度都比较高,并可在工业生产过程被浓集和排放。

这方面例子不胜枚举,但要提供的信息到此结束。上述信息是从“常规工业”常常会造成环境放射性增强这个事实开头的。正如前面所述,我们的工作最近已进入一个新阶段。在这个阶段中我们发现,至少在一个核大国(联合王国)，“非核”工业(磷酸盐加工业)给公众中关键人群组造成的潜在最大剂量率,高于世界上最大核场地之一(塞拉菲尔德)造成的潜在最大剂量率。像核工业引起的放射性照射一样,“常规”工业引起的环境放射性增强现象,在全球或局部地区,对健康真正值得注意的影响即使有也是很少的。

向更好的平衡迈进

我们生活在一个放射性的世界中,并且应感恩于它。这个世界的天然本底辐射场过去和现在的变化,远远超过这里讨论的微不足道的人为辐射影响。如拿核工业和非核工业作比较,值得注意的是以下几方面存在不平衡:(1)对这两类工业释放的放射性的认识和控制,(2)与这两类工业释放的放射性有关的所需安全标准,和(3)使这两类工业释放的放射性减至最小的财政负担。

现在国际上要采取的一个步骤是,协调对这两类核素源的评估和控制,也就是对非核工业释放的控制标准能够与核工业中比较严格采用的标准相一致。一旦对非核工业释放的放射性根据影响评估和费用两方面比较均等地加以处理,那么为了使“常规”工业排放的非核污染物所造成的环境损害和健康损害定量化,看来也要花同样的力气。

不过,还需相当长一段时间,非核工业污染物的接触—效应关系的确定和对污染物的控制,才能达到象放射性释放物的那样水平。 □