

第二届和平利用原子能国际会议文献

辐射的生物效应与 安全防护

5

中国科学院原子核科学委员会编辑委员会编

科学出版社出版

輻射的生物学全防护(5)

中国科学院原子核科学委员会編輯委员会編

*

科学出版社出版 (北京朝阳門大街 117 号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总經售

*

1960 年 10 月第 一 版	书号: 2301 字数: 102,000
1960 年 10 月第一次印刷	开本: 787×1092 1/16
(京) 0001-4,900	印张: 3.5/8 插页: 6

定价: 0.60 元

目 录

P/741	工业应用放射綫的放射防护.....	1
P/743	在一个大的生产性原子能工厂周围环境中对人的放射性照射.....	7
P/745	一个重水減速反应堆的輻射防护.....	21
P/1344	家蚕卵对于卵孵化率降低的不同放射敏感性及有关細胞学及生物化学方面的研究.....	33
P/1618	γ 射綫产生的自由基团对細胞色素 C 的还原作用.....	45
P/1796	处置穿透放射装置的新近发展.....	48
P/2522	核子譜仪方法对 β - γ 射綫剂量的应用.....	62

工业应用放射綫的放射防护†

W. A. McAdams*

在合众国大部份关于放射防护及其根据暴照射和伤害情况来衡量的有效程度的报告,皆来自原子能委员会和它的主要包工者。从进行放射性工作而未与原子能委员会有合同关系的私人企业中几乎没有什么消息报告出来。实际上在这些私人企业中的记录,对衡量原子能工业在将来扩展中的保健与安全问题是相当的重要。

通用电气公司是一个典型的美国公司,此企业发现在许多产品及制法中应用放射綫和放射性物质是有利的。目前,此公司中至少有 72 个部门从事于某些种的放射性的工作。因为此公司有高度的分工并且很分散,这些不同部门的工作各自独立,在很多方面就象是 72 个不同的工业企业一样,其所包括的工厂是分布在 20 多个州的 40 多个城市内,在这许多设施内的放射性工作包括:核反应堆的设计与运转,制造 X 光及其他发生放射綫的设备,在商业产品及制造过程,科学研究及机械研究,活化分析及质量监督,以及成分及产品之试验等各方面放射性物质应用。这些企业被认为是一个能代表遍及美国的数千个工厂中的典型范例。本篇论文中讨论私人工厂中放射防护的计划及其全体人员照射情况的记录,在此论文中并未涉及原子能委员会中通用电气部门所领导的工厂的情况。

放射防护计划

任何工厂中放射防护的类型与数量是由许多因素决定的,其中最重要的一个因素是受到放射源照射或有可能遭受到照射的人数。表 1 所示所调查的企业中有 22% 的企业中真正进行放射性工作的人数少于 10 人,然而,如表 2 所示,几乎一半的企业中有 10 人以上在放射源附近工作。而且,如果我们考虑所有在一个机构内服务的人员都有某种受到照射机会的话,自表 3 可以看出实际上放射性防护计划可影响更大量的职工。

几乎所有企业皆配备有进行放射綫探测和监督放射源的人员,至少有部份时间来进行这项工作。在有些情况这件工作是由受过放射防护专门训练的工业卫生医师或安全工程师来完成的。有的厂这项工作是用钱从几个专门作这种工作的私人工厂请人来做。有些部门是依靠付款的办法由公司的总机械实验室进行相当的测定等工作。另外也由在公司服务的至时间的放射防护专家详细的提出专门的建议。

表 4 说明所调查的 72 个工厂所需要的专门的放射防护人员,这些数目指出平均一个放射防护专家要照顾 60 个放射工作人员,另外要对 150 个在放射源附近工作的人员提出防护对策。平均有占全体工作人员数的 0.02% 或大约占可能遭受照射的工作人员数的

† “第二届和平利用原子能国际会议文献”编号 A/CONF.15/P/741, 美国,原文为英文。

* 通用电气公司,斯奇尼斯特德,纽约。

0.5% 的人員是专门从事放射防护工作的。与之相比較,在原子能委员会所属之工厂其专门从事放射防护工作人员数大約为全体工作人员数的 1.5%。

表 1 從事放射綫工作的人數

职 工 人 数	企 业 数
<4	16
4—10	27
11—25	14
26—50	7
51—100	4
>100	4

在各厂全部从事放射性职工总数 1850 人

表 2 在放射源附近的职工人数

职 工 人 数	企 业 数
<10	15
10—40	23
41—100	19
101—200	7
201—500	5
>500	3

所有工厂中靠近放射源的职工总人数 6430

表 3 各个企业的职工人数

职 工 数	企 业 数
<100	10
100—500	16
500—1000	12
1000—3000	21
3000—6000	11
>6000	2

在各企业中全部职工人数 112,000

表 4 放射綫防护人員

专 家 数	企 业 数
0	3
偶然协助	30
部分时间服务的1—2人	28
有 1 人全时间服务	6
多于 1 个人	5

相当全时间服务的专家 30 人

在私人工业企业中放射綫防护专家所占百分数較低的原因有下列几种。

1. 大部分放射綫的工业使用者,对放射防护方面并不从事任何研究或发展的的工作,而只依賴原子能委员会及其包工者供給他們关于新方法新技术的报导。

2. 将近半数的工业放射设备是經原子能委员会批准的并主要依凭原子能委员会所供給的条例,和监督检查等。

3. 有些州的代理人对于工厂企业作定期的监督,并在放射性意外事故方面給予特别的帮助。

4. 許多放射綫的工业使用者只有一种或几种类型的放射源,它們的放射防护問題并不复杂。

然而,由以下关于照射的統計数字来看,可以看出在工业上已学会在最少专门防护人員的情况下广泛应用放射綫的計劃。

职工的外部照射

职工接受外部照射之測量常用一种普通型式的相片佩章,此种佩章由全美国的 18 或

20 家私人相片佩章供应处供应并洗出的。有些工厂除了用相片佩章外还用其他个人探测装置如袖珍电离室等来辅助。有些相片佩章供应处供应二种或更多种的佩章，每一种是为了一个特定范围的件而设计的。每种企业挑选最适合于它的照射情况的佩章。在最多数的工厂这种相片佩章要佩用两周或一个月，但在少数特殊情况一周更换一次就更合适一些。许多商品的相片佩章，报告的最小读数是零，虽然实际上能测出的最小剂量是 20—50 mrad。大部分的企业中将应用的相片佩章经已知放射源一定时间的照射以测知其性能。

在不用相片佩章的工厂，对全体人员接受的照射是根据剂量率仪在工作区定期探测的结果来估计。

一般来说凡是仅依靠这种方式探测的工厂往往只具有永久性装置的放射源，并具有建立良好的放射性照射条件。

表 5 说明三组工作人员遭受穿透性放射全身照射的平均年度剂量。第一组包括工作中真正与放射源接触全部工作人员。第二组包括所有第一组的人以及在有放射源的区域工作的人员，也就是很有可能受到照射的人员。第三组包括工厂中所有的工作人员。无论在何处可能时，表 5 的材料是要五年的平均数，然而很多部门进行放射性工作时期没有这样长，而另一些部门则没有保持好这样一个时期的照射记录。

应该注意由于很多相片佩章报告的最小读数是零，所以表 5 上的平均数是可能人为的降低了，但是这种误差至少可以被以下情况抵销一部分，即有的地方所供应的佩章的最小读数是小于 50, 30 或 20 毫伦，在这一些情况所累积的个人照射记录是人为的提高了。

在照射记录可以被利用的这些时期内曾经有 16 个人的全身性（或主要部份）照射量多于 3 伦琴，两个最高的照射量分别是 12 及 40 伦琴，接受到这样高剂量的人中没有一个人有明显的血液变化或其他损伤的证据。

为了比较各种不同类型放射性工作的相对危害性平均年照射量是按好几种类型的放射性工作来确定的。此项材料列于表 6 中。可以看出在应用放射线或放射性物质的制造性作业中的工人较之其他放射性工作人员接受的照射量要高。在产品制造部分接受照射剂量较高可能因为工人接受照射的时期较长之故。在制法及质量监督作业中照射量较高可能因为全部照射量分布在比较少的几个人身上所致。但不论那一种情况其所接受的照射量均都没有高达到足以忧虑的程度。

表 5 全身性照射

人 員 分 組	平均年照射量(rads)
1	0.22
2	0.062
3	0.004

部份身体遭受照射

许多工业性放射源是有一定的装备或屏蔽以防止对全身的照射。然而双手或身体的另一些部分受到照射常常是可能的。通常相片佩章对于这种部分照射不能给予准确的测定。在这次调查中发现只有极少数的工厂对于部分身体所接受的照射的断定有令人满意之办法。这首先是因为对这种测定来说最有效的探测装置也是不可靠或难以进行这样的测量。总之，不论基于什么原因，能对身体一部分受到的照射量作出适当分析持的材料显然是不足的。

表 6 在一些代表性类型工作中所受到的照射

放 射 性 工 作 的 类 型	工 厂 数 目	平均年照射量(伦琴)	
		1 组	2 组
制造含有放射性物质的产品	11	0.35	0.140
制法及质量监督(不包括放射线照相)	16	0.34	0.089
工业上的X线照相及X光透视	14	0.28	0.058
使用X线折射设备	14	0.26	0.110
应用放射线及放射性物质的研究工作	19	0.23	0.057
制造及试验产生放射线之装备	21	0.19	0.055
X线在工业医学上之应用	19	0.18	0.043

最为遗憾的是,在所调查的 72 个工厂中仅有的放射性损伤的报告是由于手部被照射之结果。有三个受这样损伤的人发生于最近五年之中,他们都是由于在实验室内运用X线装备所致。

放 射 性 污 染

一般来讲,在所调查的大部分工厂中,放射性污染看来并不是严重的工业上的问题,曾经有几次污染到非控制地带,但是没有一次有任何证明可示出污染已超过公司允许之范围。仅有三分之一企业用的放射性物质是非封闭型的放射源(开放性放射源),仅有少数企业在任一时间内手头上有 1 居里以上的放射性物质。

在应用大量放射性物质的工厂,定期的给有可能遭受照射的职工进行尿液中某些专门的放射性同位素的分析检查。也有些部门规定在任何含有放射性物质的意外事故发生后进行一些专门的尿液检查。几乎所有工厂皆在厂外一些专门进行这种工作的公司或由公司的总机械化验室来进行尿液分析。记录的结果说明没有人在体内蓄积放射性物质的量超过最大容许浓度的百分之几。

需要特别注意的放射能防护问题

在本文所讨论的 72 家工厂中的放射性工作种类有很多不同,但是所遇到的防护问题大多数是与本文在前面所详细描述过的相似。然而,有少数制造性的问题却值得特殊注意。

产生放射线的装置的制造

制造X线摄影及透视机器,核子加速器,及各种产生放射线的装置包括放射性测量仪电疗设备等制造商都有对他的顾客进行放射防护的责任。一般在这些设备上都有特殊的防护屏或一些在适当的地方装在内部的安全机械。有些厂商也帮助他们的顾客进行设计并试验设备的性能,此外他们常教给顾客一些关于运用这些设备时所能遇到的放射性危害的专门知识。所调查工厂大约有三分之二是应用这种发生放射线的装置;而其中半数以上的工厂都说他们从制造者方面得到了一些有关放射性危害的训令(Instructions)。

产生 X 綫的高伏特設備的制造

所調查的企业中有些单位制造一些产品,在这些产品为了其他目的而正常地开动时,也产生 X 射綫,进行这种装置的产品檢驗时必需小心的控制,并应考虑到对顧客可能发生的危险。如 Kenetron, Klystron 及其他电子能管,高伏特的整流器,示波器及观察飞点的屏幕(scanners)等等都是这种能产生 X 綫的装置的典型例子。这些产品所产生放射綫的质和量当然取决于作用的电流及电压的大小,但是剂量率在 100 伦/小时以上而能量在 200 千电子伏(Kev)以上的并不少见。这些装置很多是与其他产品联合在一起的如雷达的装置,变压器组等等,而为了保护顧客,应在发生 X 綫的装置外或在最后装置一起的装置之外装上特殊的防护层。为了进一步的預防,有些制造者供給專門的指导并且在装备上附有警报信号以使人注意危险。

电视接受裝置的制造

在最近几年关于电视接受装置中产生 X 放射可能引起危害的問題曾进行了很多宣传。制造者对此問題曾給以相当的注意。

显然,軟的 X 綫在电视机的某些阴极管上可以产生,但当电压少于 20—25 千伏时, X 綫可以被管壁或周围的箱子所吸收。按大致估計,电视管(TV Tube)的千伏数与銀幕直径的吋数相当。例如,1 个 17 吋的管子将在 17 千伏左右工作,而 21 吋的管子則将在大約 21 千伏左右进行工作。彩色的电视装置工作时电压通常皆高于黑白的电视装置。投影型的电视装置則更为危险,因为敏感的銀幕是装在管子外面。此时可能发生的危害是双重的,一是来自原发的电子流,二是来自銀幕上产生的 X 綫。制造者曾經彻底的研究了这个問題,并且制造了能完全滿意地防止放射危险的装置。然而,各种电视机的产品試驗还需要对严格的放射性防护規則进行加强。

含有放射性物質的产品的制造

美国原子能委员会現在可以供給以前所不能供給私人工业的許多放射性同位素。这就使制造者应用这些物質作出一系列的新产品,例如放射性电池,光源,电热开关(glow switch),发光信号及标记等等。另外,制造者們也发现在某些电子管,螢光灯的起动开关以及其他許多产品上应用少量的放射性物質,可使其工作特性显著改善。应用这些放射性物質可能对工人及顧客引起危害。

作这些产品的几个工厂曾采取許多办法使放射綫危害减少到可以容許的程度。由于进行研究及技术性試驗,在放射性物質的数量和种类上选用了效果最好可能引起照射最少的物質。例如以前在钟上的夜光針上用鐳,現在用其他危险性小的放射性同位素代替了,并具有更长的发光期和更好的亮度及顏色。在另一个工厂发现一种用量較少危险性小的放射性同位素可以进一步改善电子管的性能。有一些被調查的部門为了更进一步的保护顧客,将一些含有放射性物質的量在允許范围以上的产品給予标记。

結 論

通用电气公司在 72 个高度分工广泛分布的工业企业中的經驗是認為可以代表目前从事于放射性工作的数千个工业企业。此 72 个企业的报告說明工业的放射性危害能够被完全滿意的控制,同时为保証此种控制是需要少数的专家。

在一个大的生产性原子能工厂周围环境中 对人的放射性照射[†]

J. W. Healy, B. V. Andersen, H. V. Clukey, J. K. Soldat*

可以用一个原子能工厂很好的来示范工厂与其周围环境之间的相互关系，在该处少量的放射性物质可被丢弃于周围环境中，而也可被追踪这些放射性物质对于附近生物的

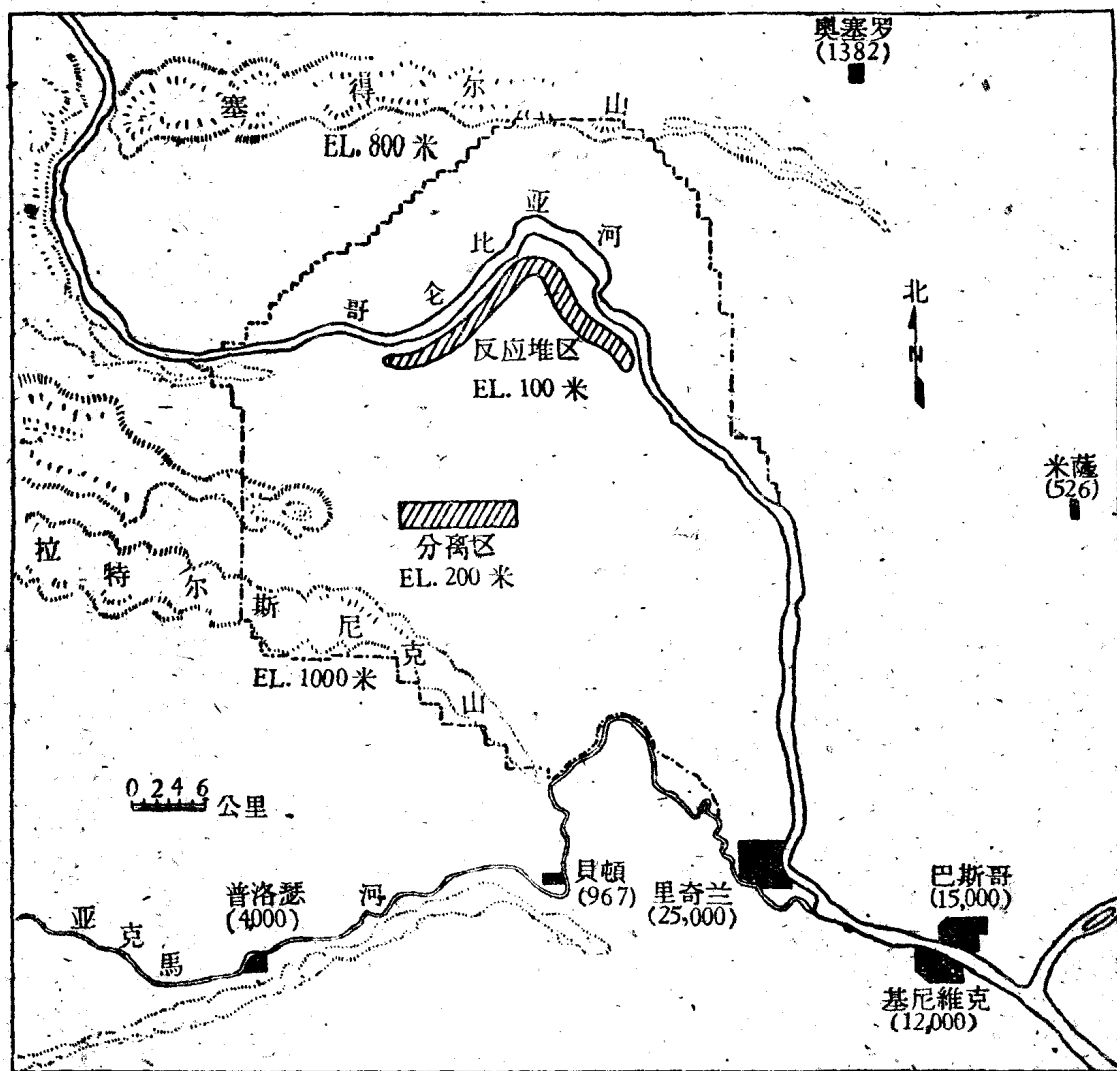


图1 汉福特厂的周围环境

[†] “第二届和平利用原子能国际会议文献”编号 A/CONF.15/P/743, 美国, 原文为英文。

* 汉福特实验室工作委员会, 汉福特原子能器械生产委员会, 通用电气公司, 里奇兰, 华盛顿。

影响,包括被生物机体的再蓄积以及经过很多微妙的,甚至没有被完全发现的途径进入人们食物环节的可能性,现在对于废弃物处理的限制,如见于各种规划和条例主要是以饮用水或呼吸空气甚或通过各种已由许多学者指出的环境因素^[1,2,3]的照射为基础,从废弃物排除的实际工作中获得的经验是很重要的,可以作为对废弃物处理工作的实际限制的指导。

在此研究中主要的方面,即废弃物对人们的影响,或是直接对人的放射性照射,或是间接的伤害为了人们所依赖的生物生态环节中一个或一个以上的种属,这篇报告介绍了住在有少量放射性废弃物环境中的人们,所受辐射剂量率的计算是选择了1957年来说明人们所受的剂量,虽然这种测量被经常发出的核爆炸所混杂;具有一次循环冷却水的生产性反应堆和大的化学分离厂房的汉福特(Handford)计划不能代表现代设计的核能工厂。

周 围 环 境

汉福特位于华盛顿东南方面一个半干旱地区,年降雨量20厘米,在此区域中天然的植物很稀少,主要适于牧畜,虽然很大的面积已变为灌溉区。工厂的厂址占有1600平方公里面积(不算公共活动区域),见图1。哥伦比亚河流经此区的一部分,形成东方的境界,河的东岸为自由活动区域,距南方境界10里。在此区域下面的河床起源于工厂西方山脉,在北方由哥伦比亚河有些支流,一般向东或东南流入河中。在此区域的居民点绘于图1中,主要有兴趣的地点即里奇兰,巴斯哥,基尼维克,在哥伦比亚河下游距工厂厂址约15—30公里,以及奥塞罗和米萨在此区域的北面塞得尔山的北方。在工厂四周区域内住有8万人,约有2万5千人住在工厂下游的巴斯哥及基尼维克两地区,其供水源直接取自哥伦比亚河水。此区域的其他供水源是井水。此区的气象状况是典型的沙漠区,夜间常有强烈的降温发生,白天天气的急变造成不安定和骚乱。工厂区的经常风向是西北方向带有强烈的吸力使气流变得混乱。

废 弃 物 来 源

(一) 反 应 堆 区

此反应堆是被一次循环的已处理的河水所冷却,该水以后即被排入哥伦比亚河的沟道中。此水中含有一定数量的放射性同位素是由腐蚀产物或由腐蚀胶膜中杂质的滞留所形成。这些物质的绝大部分是稳定的同位素如钠、砷或磷的反应产物。但有些分裂产物的发生是由于在进入的水中天然的铀以及燃料元素偶然的分裂而发生。现在在流出物中已检出约61种放射性同位素,常规测定只26种同位素。表1指出正常存在的同位素,依重量渐次减少的次序排列之。

由于除污过程或严重的燃料元素泄漏所产生的液体废物被排入河堤岸上的沟或池中,因此,在流入河中以前先渗入经过土壤的过滤及离子交换容量处理标准的要求,不认为这种处理方法排除方式是特别的安全。由反应堆作业而来的固体废物被埋在此区域的永久性河床上面的沟中,距河1—3公里。

每一个反应堆建筑物都具有一个60米的通风道。此通风道将已集中起来的建筑物内污染区和反应堆气体系统泄漏的灰尘运走,这些通风道散布的放射物是按照硬 β -射线

表1 經照射4小时后反应堆流出物中的同位素(依濃度降低次序排列)

大量 (90%)	少量 (8%)	痕 跡 (2%)		
Mn-56*	Zn-69	Eu-152	I-131*	Pr-145
Cu-64*	Ga-72	Sm-153	Ce-141	Pm-151
Na-24*	Sr-92*	W-187	Pr-142	Co-60
Cr-51*	U-239	La-141	C-14	Pr-143
Np-239*	I-133*	Nd-149	Nd-147	Ru-108
As-76*	Y-92*	La-140	Ca-45*	Sc-47
Si-31*	Nb-97*	I-132*	Ag-111	Sr-90*
	Sr-91*	Eu-157	Y-91	Ca-137
	Zu-65*	Ba-140*	Fe-60*	Sr-85
	P-32*	Mo-99	Sr-89*	U-238*
	Y-90*	Sm-156	Mn-54	Pu-239*
	I-135*	Sc-46*	Zr-95	Ac-227
	Y-98	Cd-115	Pm-149	Po-210*
		Ce-143	Eu-156	

* 这些同位素做常规检量

每天5—15毫居里的規定,而 S^{35} 及 C^{11} 为每天3—6毫居里,氚为痕跡。 α -射綫每天平均少于1微居里。

(二) 分 离 区

两个溶剂萃取分离厂房位于此工厂区中心部分的高地上,距最近居民区約30公里。距地下水的深度为60—90米,表土为含有百分之几粘土的沙地。分离铀及钚后的裂变产物貯存在大的地下池槽中,此池槽截堵大量放射性物质在池底沉淀泥中。在长寿命放射物质留在土壤中不能污染地下水的严格的标准要求下,大量的裂变产物已经被排入此区的地下排水槽中,这些废物包括低水平操作程序的废液,除沾污的水,以及一些由废水池来的经过处理减少了裂变产物的污水。蒸气冷凝反应器及冷却水是经常未受污染的,大量被排入地面水池中。表2指出在1957年排入地里的液体总量及各种放射性物质的重量。

这些工作是由連至地下的井以及由土壤滞留同位素变化的研究计划来进行探测的。虽然,釘在排出地点附近的地下水中被发现了,但靠近河的地下水中的浓度是在检出限度以下,因此,甚至在河水稀释以前也远在其最大容許浓度以下。由分析过程而来的固体废物被埋在沟道中,因为在干旱地区不存在滤渗的問題,所以不必固着放射性同位素。

气体废物包括由反应器(process vessel)反应間(process building)的排出气,在由60米的通风道排出之前先经过高效率的滤器过滤在最早由于溶解状态碘 I^{131} 的挥发問題,已导致特殊除尘器的发明,以致使放射物排出率每天平均一个居里以下。貴重气体向来不是一个难题,而对于这些同位素要求进行特殊探测是偶然的。别的同位素被有效的过滤器除去了,故放射物排出率一般都是低的,表3介绍了由通风道裂变产物逸出的平均排出

表2 1957年排入地里的分析厂房的废水

	地 面	地 下
容量,升	2.3×10^{10}	2.1×10^9
α , 居里	8.6	3.5×10^3
β , 居里	5.7	5.7×10^5

表3 1957年由分离区通风道中的 I^{131} 和通过性 β -放射体的排出率

同 位 素	平均 居里/天
碘 131	1.0%
铯+钡	0.02
铷 95	0.01
铊 95	0.004
氙 103	0.004
氪 106	0.002
铯 89	0.0035
铯 90	0.0005

率。

虽然这些物质大部分都是细小颗粒的气溶胶体，但也偶然可找到含有大量放射性同位素的大颗粒。这些颗粒是由通风道及管道壁上的放射性同位素及载体物质所构成，以后裂成片被气流带出。这些颗粒一般都沉降在通风道附近，也可以被风传送到远的距离。

周围环境的浓度

被排出及分布于环境中的放射性同位素的浓度，被常规的取样并依例引的放射化学分析法检查之。分析技术的不断改进与由发生条件改变以及工厂工作效率的改进相平行。自1956年以来，有特殊价值的即 γ -射线谱仪，它使得许多样品中同位素的鉴别和测量技术比过去可用的方法大大简化了。

在工厂区外五个地点进行碘 I^{131} 和 α -放射体的空气浓度常规测量，而在14个地点进行总 β -放射体及放射性颗粒的测定。这些资料综合于表4中。

表4 1957年空气浓度的测定

月 份	I ¹³¹	α-放射体	β-放 射 体			颗 粒 数		
			四 周	60—160 公 里	>160公里	周 围	60—160 公 里	>160公里
单 位 10 ⁻¹³ 微 居 里/毫 升						颗 粒/立 方 米		
1	0.5	0.03	1.7	1.8	3.5	0.02	0.03	0.05
2	0.9	0.02	2.2	2.0	3.4	0.02	0.02	0.04
3	0.9	0.02	2.5	1.9	3.3	0.006	0.006	0.02
4	0.09	0.004	2.2	3.4	5.9	0.02	0.03	0.05
5	0.9	0.03	5.4	4.5	7.9	0.04	0.06	0.09
6	5.4	0.02	11	12	42	0.08	0.10	0.19
7	2.0	0.01	3.1	2.1	4.8	0.02	0.02	0.03
8	1.6	0.02	2.5	2.2	38	0.01	0.02	0.65
9	1.1	0.01	3.2	2.7	8.0	0.02	0.02	0.04
10	3.4	0.02	7.0	11	32	0.04	0.1	0.50
11	0.9	0.03	2.2	1.6	3.8	0.01	0.02	0.02
12	1.8	0.02	2.0	2.4	8.5	0.06	0.1	0.02
平 均	1.7	0.02	3.9	4.0	13.0	0.02	0.03	0.14

正如资料所示在工厂附近与较远距离间比较小的差别，显示出核爆炸产物的影响。在四周的测定点主要集中在里奇兰——基尼维克——巴斯哥地区，而>160公里处的测定点主要是在南方的奥里根，爱达何及西方蒙塔那空气取样及计数的方法使得天然氦及钍和它们的蜕变产物在所报告的空气浓度中的混杂含量大大的减少。

(一) 植物及土地

由于 I^{131} 在溶解状态的挥发性及其在植物和其他物质表面强烈的沉降趋向，所以

在汉特福大部分环境检验程序是以 I^{131} 的测定作为基础，控制这种污染是以放牧动物甲状腺照射剂量及人们从叶菜及污染地区牧放牲畜的乳汁摄入的可能为基础。地区性限制允许每周放射 10 居里的 I^{131} 。图 2 说明 I^{131} 的年平均沉降状态，是以每天 1 居里的平均放射率为基础。这个图形表现出受经常风向和时常疾风发作的影响。

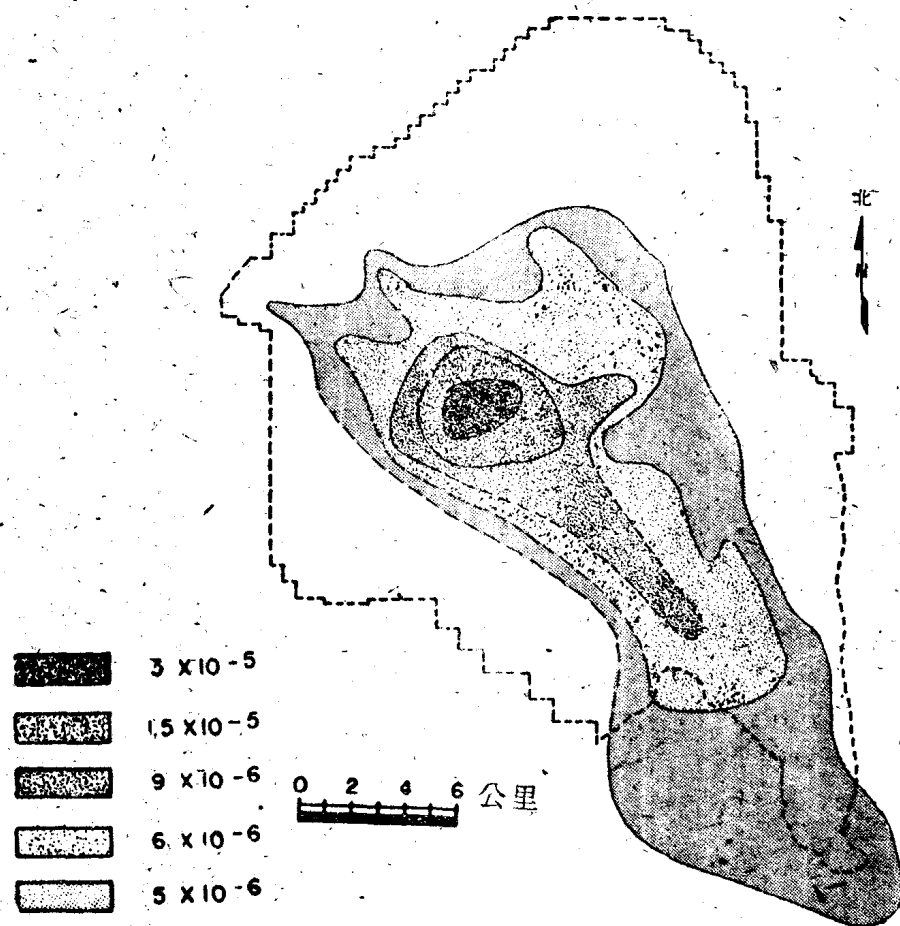


图 2 放射率为每天 1 居里时 I^{131} 的平均沉积 ($\mu\text{c/gm}$)

别的同位素是采取生长此区的植物按常规测定的，直到 1957 年中，此种测定只包括灰化而不被挥发的同位素；由该时起，个别的同位素已可用 γ -线谱仪测定。结果见表 5。

β -放射体为 15—20% 的锆⁹⁵，5—7% 的钆¹⁰³，2—3% 钆¹⁰⁶，3—10% 钆¹⁴⁰，12—15% 钆¹⁴¹及 17—20% 钆¹⁴⁴。由于核爆炸影响的显著性，铯⁹⁰的分析在 1957 年初指出，在工厂区为 0.1 微居里/克，在四周区为 0.03 微居里/克，而在较远的距离为 0.2 微居里/克，但是 I^{131} 很明显的是在工厂区和四周区比在较远的地点更高些。

(二) 水

由汉福特工厂进入饮用水中的放射性物质的唯一来源就是流到哥伦比亚河的反应堆的冷却迴流水。此河是下游几个居民点饮用水的水源，巴斯哥及基尼维克是第一个使用

表5 1957年植物的污染單位 10^{-6} 微居里/克重量

月 份	在 工 厂 区			四 周			60—250 公里	
	I^{131}	β -放射体	α -放射体	I^{131}	β -放射体	α -放射体	I^{131}	β -放射体
1	9.3	68	0.6	2.6	71	0.2	1.3	88
2	3.7	74	0.5	2.1	63	0.1	0.6	75
3	2.7	79	0.7	1.7	69	0.1	0.6	85
4	<2	82	0.6	<2	67	0.03	0.7	80
5	<2	79	0.5	<2	65	0.02	0.6	53
6	13	390	0.4	11	280	0.03	8.1	180
7	2.1	110	0.3	0.6	130	0.03	0.2	47
8	1.9	59	1.5	0.6	35	0.04	0.4	25
9	1.0	57	0.7	0.7	17	0.03	0.5	23
10	13	230	1.5	16	240	0.04	16	270
11	3.4	180	3.2	7.0	180	0.2	1.7	110
12	7.0	140	1.5	8.0	110	0.2	0.4	94
平 均	5.5	130	0.9	4.5	110	0.08	2.6	94

者。經常詳細分析进入該河的迴流水以及巴斯哥-基尼維克处的河水及經過处理的清洁水。其目的即为了估計放射性物质被清除量。供应此两个城市的清洁水及河水的放射性物质的浓度見表6。

表6 放射性物質在河水及清潔水中之濃度(1957年)單位 10^{-6} 微居里/毫升

	巴 斯 哥		基 尼 維 克	
	河 水	清 洁 水	河 水	清 洁 水
1月	9.0	1.4	6.4	1.9
2月	8.4	1.8	6.8	2.2
3月	8.2	2.0	6.0	1.9
4月	6.1	1.5	4.9	1.6
5月	4.1	1.4	3.7	1.2
6月	2.6	0.9	2.4	1.0
7月	3.7	1.2	3.0	1.3
8月	4.9	2.0	4.4	1.6
9月	6.7	2.7	5.4	2.6
10月	7.8	2.0	6.8	2.4
11月	8.1	2.5	8.1	2.9
12月	7.8	2.0	6.3	3.5
平均	6.4	1.8	5.4	2.0

在年中(六、七月)放射性含量的降低是由于季节性水流量的增加所致。放射性物质的总量,被巴斯哥处理水厂降至河水的0.28倍,而在基尼維克水厂降至0.37倍。这个比例的变动范围在巴斯哥由0.16至0.42,而基尼維克地区由0.3—0.56。

这些放射性物质,不是純的同位素,而是許多同位素的复杂混合物。直到1957年,下游浓度是測定由反应堆放入河中的每种同位素的量来計算的,計算时須考虑到当这种同位素的下游移动时,放射性的分解及河水的稀释。新的方法发明后就可在感兴趣的点直

接测量每种同位素的量就变为可能,而最近的计划就采用了这种方法。

在这种测定时,要常规的检查存在的 100 多种同位素是不切合实际的,为此原因,裂变产物及稀土属的同位素组成经过详细的测定后,认为是不变的混合物,所以常规的测定仅分析有代表性的裂变产物及稀土属。第三部分,“平衡数”的定义即总的 β -辐射体的分析结果和同一样品各 β -辐射体测量之和间的差数。这部分包括很多种不被常规测定的同位素以及分析的误差。由此平衡数减去常规测定的同位素,并鉴定主要的剩余的同位素,平衡数的有效的最大容许浓度可计算出来。表 7 列出了 1957 年每季度末一个月在巴斯哥-基尼维克区河水水样常规检查的主要的放射性同位素的浓度。

表 7 1957 年在巴斯哥-基尼维克河水中个别同位素的浓度单位 10^{-8} 微居里/毫升

	3 月	6 月	9 月	12 月
钠 ²⁴	56	77	81	110
磷 ³²	0.20*	4.7*	<3.0	0.22*
磷 ³³	18	4.3	7.0	3.5
钙 ⁴⁵	1.3*	0.21*	<1.7	2.0
Sc ⁴⁶	1.6	0.57	<.20	3.0
铈 ^{51(γ)}	270	170	620	1000
铈 ⁵⁸	2.3*	59*	<18	1.3*
铁 ⁵⁹	2.0*	0.14*	<0.22	0.3
铜 ^{64(42%γ)}	32	88	93	130
锌 ^{65(γ)}	14	4.5	8.2	29
砷 ⁷⁶	47	27	59	240
铯 ⁸⁰	1.3*	0.054*	0.94*	2.0*
铯 ⁹⁰	<0.019*	6.0045*	0.028*	0.024*
碘 ¹³¹	1.8*	0.22*	4.3	1.5
钡 ¹⁴⁰	3.5	0.47	4.6	2.4
Np ²³⁹	78	39	150	370*
稀土	<4.2	27*	19	34
总β	1500	500	1100	2200

* 由反应堆流出物分析外插而来。

如下所示,未超过最大容许浓度。由巴斯哥-基尼维克处河水同位素测定及反应堆流出水的测量结果相比较,说明了河水在约 60 公里流程中重要的“自净作用”。个别同位素

表 8 由水中除去的放射性同位素

同 位 素	除 去 部 分		
	在 河 水	在巴斯哥水的处理	在基尼维克水的处理
钠 ²⁴	0.5	0.5	0.4
磷 ³²	0.3	0.9	0.7
Sc ⁴⁶	0.4	0.8	0.6
铈 ⁵¹	0.2	0	0.1
铜 ⁶⁴	0.6	0.8	0.4
锌 ⁶⁵	0.4	0.6	0.4
砷 ⁷⁶	0.4	0.9	0.6
钡 ¹⁴⁰	0.4	0.4	0
Np ²³⁹	0.3	0.2	0.3

进一步的洁治,则发生在水的处理厂。

表8综合了由这些方法清除同位素的测量结果。

(三) 食物环节

在汉福特工厂周围食物污染的主要来源,除了由空气中同位素沉降在植物上以外,就是哥伦比亚河水。河中的鱼或野鸟含有由饲料蓄积而来的放射性同位素^[4,5]。这种污染依据河水温度成为一循环形式,在鱼中最大的摄入量与河水最高温度阶段相吻合,移栖的种类,如鲑鱼,只有很少的沾染,而哥伦比亚河当地被打鱼的人捉的最广泛的白鱼,被当做摄入量的指标。表9为汉福特生物学科测量结果,提出了沿反应堆以上及以下第一个公共打鱼区的白鱼肉中的平均浓度,并附有在禁止区鸟类中的鸭肉中的浓度。

放射化学分析指出这些同位素75—90%为磷³²其他主要是Na²⁴。附加的3%Fe⁵⁹及15%Zn⁶⁵未用常规方法测定。最近Zn⁶⁵曾由用河水灌溉的植物中在灌溉土地上放牧的动物乳汁中及在灌溉土地上生长的动物肉中被发现了。表10综合了这些测定的结果数值。

表9 1957年水棲动物体内放射性同位素的浓度

	白 鱼 肉		食、用 鸭 肉
	反应堆以下	反应堆以上	
	微居里/克	微居里/克	微居里/克
1月	1.2×10^{-4}	4×10^{-5}	2×10^{-5}
2月	5.4×10^{-5}	8×10^{-6}	2×10^{-5}
3月	—	—	4×10^{-5}
4月	—	—	4×10^{-4}
5月	—	—	3×10^{-4}
6月	—	—	2×10^{-4}
7月	4.8×10^{-5}	1.3×10^{-5}	4×10^{-4}
8月	—	3.2×10^{-5}	2×10^{-5}
9月	1.1×10^{-3}	5.0×10^{-5}	5×10^{-5}
10月	1.5×10^{-3}	3.3×10^{-5}	4×10^{-5}
11月	1.5×10^{-3}	1.2×10^{-4}	4×10^{-4}
12月	9.6×10^{-4}	1.5×10^{-5}	2×10^{-5}
平 均	7.6×10^{-4}	7.2×10^{-5}	2×10^{-5}
收 获 季 节	8.3×10^{-4}	9.5×10^{-5}	2×10^{-5}

辐 射 计 算

(一) 总合的方法

为了评价一羣人的全部照射量,需要将照射及照射物质的测量,简化为一个通用的单位以互相比較及综合。“生物等效伦”最初是用来总合外部照射剂量,故而最終数字是代表“生物学”的主要剂量^[6],这种技术曾被引用于内部照射源,但由于許多物质局限在骨中以及骨探测器的推論为錯的限制。最近全身的限制被ICRP及NCRP所降低。内部与外部照射剂量之和变得更困难了。由于内部照射源的限制(除外全身照射及生殖腺)未改变,因而一个简单的能代表所有照射方法的最大容許限度的照射量数值不再存在了。