

核电站职业性放射线照射的动向

今堀 彰:产业医学25(2):61,1983(日文)

日本从1966年开始建立核电站以来,目前已有20多个核电站在工作。本文介绍在核电站特有的放射线辐射下从事工作人员受照射问题的实际状况。

一、日本核发电的现状

当前有24个商业用核反应堆在运行工作。第一个反应堆由英国引进是气体冷却反应堆(GCR),以天然铀为燃料,CO₂为冷却剂。1970年后的反应堆均为由美国引进的轻水反应堆,以低浓缩铀为燃料,用水冷却。轻水反应堆分沸水反应堆(BWR)及加压水冷却反应堆(PWR)。最初为16万KW的小型反应堆,最近以100万KW的超大型反应堆为主。当前24个核电站总发电量已达1,717.1万KW,约占全部供电量的20%。

二、因核电站而受照射的动向

(一)个人受照射的管理:在设计核电站时就要保证站内工作人员健康与作好站内外环境保护的义务。作为放射线管理的一个环节,要测定放射线作业

者个人受照射剂量,对外部受照射常用软片剂量剂(FB)、热发光剂量计(TLD)和袖珍剂量计(PD)。高剂量作业时携带报警信号仪预防过多受照射。对体内受照射当前用全身计数器来定期测定全身放射能量或测定尿中放射能来推断内部受照射剂量。

从受照射管理上将现场作业者分经常进入放射线管理区的“从事者”与平时同放射线作业无关的“非从事者”加以区别,目前前者仅限于男性。在春或秋需电量少时进行一次定期检查,要停炉检修,停炉期短者2个月,长者6个月。

(二)个人受照射剂量:表1分别列出最近3年间厂内外人员年个人受照射量的分布,归纳全国1978~1980年个人受照射剂量,均不超出年容许剂量5雷姆的限量,约有75%的人员受照射剂量在0.5雷姆以下,相当于1名“从事者”的平均受照射剂量在年容许限量的1/10以下,即已管理到相当低的水准。从一个现场转到另一现场的包工作业者外部人员受照射剂量由全国统一掌握,从1978年制定了中央登记管理制度。

(三)年集体剂量(Collective dose; man-rem),是一集体中个人受照射剂量的总和,如100人每人受

表1 日本核电站个人年受照射量的分布(1978~1980)

年份	剂量范围 (雷姆)	<0.5	0.5~1.5	1.5~3.0	3.0~5.0	75.0	工人数	集体剂量 (人·雷姆)	平均值 (人·雷姆)
1978	厂内人员	3,077		501	0	0	3,578	782	0.22
	外部人员	22,297		8,242	38	0	30,577 (89%)	12,418 (94%)	0.41
	总人数	25,374 (74%)		8,743 (26%)	38	0	34,155 (100%)	13,200	0.39
1979	厂内人员	3,171	547	42	0	0	3,759	858	0.23
	外部人员	22,835	5,814	1,841	5	0	30,495 (89%)	10,872 (93%)	0.36
	总人数	26,006 (76%)	6,361 (14%)	1,882 (5%)	5	0	34,254 (100%)	11,730	0.34
1980	厂内人员	3,415	541	20	0	0	3,976	828	0.21
	外部人员	23,611	6,268	2,120	7	0	31,978 (89%)	12,105 (93%)	0.38
	总人数	27,026 (75%)	6,779 (19%)	2,142 (6%)	7	0	35,954 (100%)	12,933	0.36

照射剂量为1雷姆,同1000人每人受照射剂量为0.1雷姆的年集体受照射剂量皆为100人·雷姆。年集体剂量用于评价受放射线照射对集体的影响,也适应于计算一般群众受照射剂量。在受照管理上过去将重点放在限定个人所受照射在一定水平之下,最近开始重视对集体的总受照射剂量的限制,即正引进“限制集体剂量规定”的想法。

集体受照射剂量的变化是随着发电量的增长几乎呈平行的增加。反应堆型之间也存在着受照射剂量的差别,原因之一系因反应堆结构不同,即BWR的放射线污染区不仅限于核反应堆建筑还波及周围建筑,故BWR的集体受照射剂量高于PWR。随着集体受照射剂量的增加,放射线作业从事者的数目也增加,如1980年从事者的89%是包工作业者外部人员。他们接受集体受照射剂量的93%。核电站高受照射剂量作业是在反应堆定期与临时停工检修,包工作业者的总集体受照射剂量在明显增加。

被广泛应用的放射线防护三原则是时间、屏蔽、距离。此三原则是以防护外部受照射为目的。对三原则适当组合足能减少因放射线作业而受的照射。对发生辐射的反应堆要用厚的铁及混凝土墙壁屏蔽2~3层,在正常运转时要限制作业者进入放射线强的场所,定期检修时进入反应堆周围的高剂量区域、多是缺乏屏蔽又难于保持距离的场所,进入该场所作业时要“用时间”来控制受照射剂量。要限制每人作业时间使受照射控制在一定水平下那就需要较多人参加作业,其结果是造成了集体受照射剂量的增加。

随反应堆运转时间的延长,年集体受照剂量也在增加,这种趋势已被国内外运行中的核电站所公认。这是由于反应堆周围的管道、阀门、泵等附属器械逐渐蓄积了放射能,提示在定期与临时检修时作业环境的放射能水平是逐年上升的。在限制个人受照射剂量的同时应考虑给予集体受照射剂量以限制、例如每座核电站规定年集体受照射剂量上限为500人·雷姆,然而统一规定容许限量在使用上问题很多,目前颇难实行。为了减少个人的受照,动员使用较多不熟练的劳动者时可使非生产性受照射加大、结果造成集体受照射剂量增加的不利后果。因此,限制集体受照射剂量的具体实施将是核电站受照射管理上的主要课题。

(四) 设备利用率与集体受照射剂量

除为了定期检修反应堆要有计划地停产外,还有因各种原因的临时停产,同时由于从确保安全观点出发,设有在轻微异常时反应堆即能自动停止运转的安全设备2~3套,故遇有各种麻烦时可多次停止运转。

表现运转情况的指标之一是设备利用率,这是将定额1日24小时全年365天完全运转的总发电量作为100,将实际年间发电量的比例用%比来表示。如定期检修计划需停产90~100日时,则年间设备利用率为70%,这就是运转目标。每年度设备利用率均有较大变动,特别是BWR在1975、1977年每座仅为30%的利用率,与此相对应造成了较高的集体受照射剂量。所有反应堆平均利用率从1970年以来有逐渐减低的趋势。1975年、1977年约为50%,这种利用率低下不仅在技术安全性上,而且在经济上也是个重大问题。同时还意味着高剂量作业的增加,继而造成作业者集体受照射剂量的增加。1977年以来利用率已逐渐上升,1980年已达61%呈现出良好地运转状态。

三、职业性受放射线照射对机体的影响

从日本核电站职业性放射线受照射的状况可知,虽然每个作业者的受照射剂量保持在低于当前国家容许剂量标准以下,但随着核发电事业的迅速发展,从事放射线工作人员的增加,以致集体受照射剂量也在急剧的增加。核电站的工作人员受照射剂量及集体受照射剂量,对个人或集体健康的影响是大家所关心的问题。对放射线损害,尤其是有关低剂量受照射的损害可作如下概述,放射线对人体的影响,可分为对受照射者本人及其后代(遗传)二方面的影响。对人体损害可分为受照后短时间发病的急性损害与经过较长潜伏期后的迟发性损害。放射性皮炎与白细胞减少症等是急性损害并认为超过一定的受照射剂量时就会出现,这种剂量称为阈值。阈值是非随机作用,损害的程度随着剂量变化而改变。例如,皮肤损害时由500拉德照射而引起的临时性红斑与脱毛,而剂量再增加则出现永久性脱毛、形成溃疡、坏死等更严重的症状。另外,在白血病与放射线诱发突变时并不存在阈值,可假设受照射剂量与损害发生率间呈直线型的剂量-效果关系、即或是轻微的受照射就能发生与剂量相应的某些损害。将此种不存在阈值而引起损害的发生率依存于受照射剂量的情况、称为随机作用。

考虑在核电站工作者由于受照射而影响健康时则有受高剂量照射而发生的人体急性放射线损害的问题,但在目前放射线管理体制下,除特殊事例外,这一问题并不严重,更主要的问题是长年累月的接受容许剂量水平以下的低剂量受照射,受照射的集体及其后代的迟发性损害及遗传问题,评价这种低剂量照射的危险性、不仅仅是核电站职工、也关系到发电站周围居民的健康问题,这是围绕原子能发电的利弊而成

为争论问题之一。

原子能发电的历史已超过30年的英国与美国,对有从事核能工业经历的人员进行了跟踪调查,并研究比较了这些职业受照射集体与对照组间的死亡率、致癌率等,最近发表了一些阶段报告指出,受放射线照射的迟发性损害是以白血病及其他恶性肿瘤为其特征的损害,存在受照射到发病潜伏期很长(数年至数十年),并有发生频率低的疾病及与放射线无特异性关联的疾病等情况,因此,要对受低剂量照射影响进行流行病学方面的调查,并作出有统计学意义的结果,这就需要暴露人群作长时间的跟踪调查,并与不受放射线照射而其他各种条件相类似的对照群体进行比较。目前的情况是以原子能工业从事者为对象的流行病学调查的结果,关于以白血病为首的恶性肿瘤的发生情况是否受容许剂量以下的低剂量照射的影响尚不能作出结论。当前对迟发性损害的了解,是用在高剂量区域发生的人体损害的例子和动物实验资料为基础。作为迟发性损害的代表事例即白血病的发生情况,已有很多用广岛、长崎原子弹爆炸的幸存者群体对象的流行病学调查报告,从这些研究中得知,在100雷姆以上的高剂量受照射人群的白血病发病确实有所增加,并认为白血病的发病率随同受照射剂量呈直线性的增加。另外,指出容许剂量以下的低剂量区域可利用的资料极少。因此,目前判断低剂量区域损害发生率,只能是以高剂量区域的资料为基础,同时将假设的剂量效果关系的直线性关系延伸到低剂量区域求得,像这样在高剂量区域的剂量和效果的直线性关系延伸到低剂量区域能否成立,倒是放射线生物学上一个有趣的课题,也是评价伴随受低剂量照射造成的危险性的一个经常的问题。

在缺乏低剂量区域的实际资料的情况下,由于假定直线性剂量效果关系有可能过高地判定其危险性,而不会过低。换言之,在假定安全范围时采用直线性的假说,这在评价低剂量区域危险性,虽可能会包含许多不确定的因素,但根据假定的直线性关系就可能使对受照射人群的随机作用进行定量的评价。例如,美国科学院的一个专门委员会,最近详细调查了到目前为止已发表的由电离放射线引起的健康损害的资料,并报告了由于低剂量受照射可以致癌的危险性。如果按此资料在1百万人各自受1雷姆照射的情况下则全部癌的增加值为160~450,这就是说1,000人的放射线作业者在全部就业期间平均受10雷姆照射时,则集体受照射剂量是1万人·雷姆,其结果是这1,000人的受照射人群中除予期自然发生1~4例癌死亡外,还要添加

大约250多例癌死亡者。

目前放射线防护的基本方针,在国际与日本国内法规上均要按照国际放射线防护委员会(ICRR)的建议。1977年ICRR曾在建议中规定放射线防护目的是“防止由于放射线的非随机的有害作用,并将随机作用限制在可接受的水平以下。”可看到“防止”与“限制”所表达的内容不同,限于以直线性假说为基础,提示利用放射线就必然伴随某些危险,严格的说迟发性损害与遗传障碍等的随机作用的危险不能认为是零。因此,现行的容许剂量所具有的意义,是在此水平以下的照射是安全的,并非是在安全与危险之间能划出一个截然的安全剂量,至多不过是为了从放射线损害中保护人体作为放射线管理上的一个标准而已。必须考虑容许标准以下的放射线受照射产生的危险虽非为零,但此种危险的程度比起日常生活中的诸多危险和其他职业性危险相比较还是很小的。若从放射线所获得的利益来考虑,也是可以容忍的。在利用放射线时,不只是一要遵守容许剂量,而且还要避免不必要的受照射,当必须受照射与不得已不受照射时也要作到合理受照射,降低到尽可能的水平。

四、作到“使受照射尽可能低水平”的方法

对核电站职业性放射线受照射,必须作到使受照射剂量达到尽可能低的水平,这不仅是把个人受照射限制在尽可能低的水平来加以管理,还必须把集体受照射剂量也降到尽可能的低水平。为了减少个人受照射而增加更多的作业者,这样反而增加了集体受照射剂量。这在剂量与效果直线性假说成立的情况下虽然减少了个人危险性,却在集体中分散了危险性,即意味着增加了集体的危险性。减少个人与集体受照射的对策是:

1. 改革设计反应堆本身的结构,制造不发生故障、易于检修的系统;
2. 定期检修的保养修理作业,要由少数熟练的作业人员进行,力争作到作业的自动化、远距离操纵等合理化作业;
3. 对作业人员进行认真彻底的放射线防护教育,努力作到每个作业者积极地减少受照射剂量;
4. 每次做伴有受照射的作业时,要事先制定个人与集体受照射剂量的目标数值,为降低受照射要仔细想出更多的办法;
5. 要掌握各核电站受照射的实际情况,制定限制集体受照射剂量法规。

(贾馨如摘译 张衡 任恕审校)