

如果……将会怎么样？

ICRP 关于潜在辐射照射的指导

JACK VALENTIN

设 在瑞典的国际放射防护委员会(ICRP)的建议巩固了世界辐射安全规章制度。90年代,专家们特别注意那些在理论上能够使人接触具有潜在危险的辐射源的意外情况,即“如果……将会怎么样?”的分析。

潜在照射虽然预计一般不会要发生,但它们是可以预期的,它们的发生概率是可以预测的。ICRP有关这个概念的早期思想是在关于长寿命放射性废物以及核灾难之类大的事故的考虑中逐渐形成的。

ICRP现在已经考虑三种情况:只影响一个或很少几个人(但有时给受影响者带来严重后果的)事故。尽管这种事故不具有可怕的大核事故产生的破坏性社会影响,但它们的确在以令人惊恐的规律性发生,而且可能给受影响者造成毁灭性的影响。

本文介绍ICRP针对经选择的几种情况下的潜在照射的辐射防护问题提出的概念框架、标准和方法。对这种

“有限的”潜在照射的防护是从对各种情景的结构性分析开始的,利用到目前为止安全工程师比辐射防护专家更熟悉的方法。有了从这种分析中导出的概率,便可计算来自潜在照射的预计危害。可以将这种危害与一个危害限值相比。对于这里所考虑的小规模事故来说,这一点不一定特别难懂。做了这种初步分析以后,可以采用叠代最优化方法,以确保潜在照射的危害以及所造成的剂量都是可合理达到的尽可能低的。

概念框架

根据ICRP出版物60(题为“ICRP 1990年建议”),来自一种实践的正常照射预计几乎肯定要发生,即在按计划进行的作业中发生,或从非计划的、高概率但低后果的事件中发生。相反,潜在照射不一定发生。它来自设备故障或偏离计划的操作程序之类的非计划事件。这类事件虽然不能详细预

测,但能够在理论上预测,因而可确定它们的发生概率。

剂量限值不适用于潜在照射。它们必须用危险约束值加以补充。在ICRP出版物64(题为“潜在照射防护:概念框架”)中提出了这样一种工具的理论基础。一份更新的报告,即ICRP出版物76(题为“潜在照射防护:在经选择的辐射源中的应用”),其目的就是论证如何在实践中将这种工具应用于非安全进入辐照室之类的“有限事故”。

在这类场合,受影响个人人数很少。危害主要限于对实际受照射人员的健康效应。导致潜在照射的过程一般比较简单,并且可能是与所论实践相联系的主要威胁。

Valentin先生是总部设在瑞典斯德哥尔摩的国际放射防护委员会科学秘书。本文基于联合王国国家放射防护委员会以前发表在其《放射防护通报》上的报告。

相反,大的核事故之类的大灾难,会给受影响的人造成超出健康效应的危害(农业的限制、食品消费管制等,以及巨额费用)。国际核安全咨询组(INSAG)已经讨论过这样一些问题。长寿命废物的最终处置给遥远未来的潜在照射增加了一个新的方面。这一点在ICRP出版物46(题为“固体放射性废物处置辐射防护原则”)中讨论过。ICRP现在即将完成对这个报告的修正。

可接受性标准

在出版物60和64中,ICRP曾建议把潜在照射造成的健康危险限制和约束到为正常照射规定的剂量限值和剂量约束值的同一数量级。这些健康危险涉及两种不同的概率分布。第一,这种照射以一特定的概率(譬如说 P)发生。在这种照射发生后,随机的和(或)确定性的健康损害的条件概率是所受剂量的函数(譬如说 $f(E)$)。因此,健康损害的无条件概率是这两个概率的乘积,即 $P * f(E)$ 。这个量应该保持在或低于参考危险(譬如说 R)的水平。就此处讨论的有限事故而言,可将 R 看作是源相关个人危险约束值。

这个危险约束值的大小将不一定是一成不变的。它

ICRP 工作组

国际放射防护委员会(ICRP)始建于1928年,它是一个非赢利性组织,旨在为核能各领域发展中的辐射源的广泛利用提供总的指导。其提供的建议涵盖电离辐射防护的所有方面,目前已成为世界各地辐射安全的基础,包括IAEA颁布的标准和导则,更多信息可向ICRP科学秘书处(SE-171,16 Stockholm, Sweden)索取。传真+46-8-729-729-8,电子信箱:scient.secretary@icrp.org。因特网地址:www.icrp.org。

可能因情况而异,并且可以根据各种理由加以调整。不过,ICRP出版物76为选择因情况而异的约束值时提供了一个可用做起始点的一般危险约束值。对职业照射来说,这个一般约束值是以年有效剂量5 mSv为基础的。在许多优化作业中,最大名义年剂量属于这个数量级。使用职业照射的癌死亡危险系数 $4 \cdot 10^{-2} \text{Sv}^{-1}$,求得死亡的一般参考危险 R 为 $2 \cdot 10^{-4} \text{a}^{-1}$ 。

然后,便可以评估不安全事件的概率 P 是否是可接受地低的,以及所论设施的专设安全和运行程序是否可以接受的。例如,如果所研究的事件是不安全地进入辐照室,辐照室的剂量率高到足以在一次进入后总会发生死亡(即 $f(E)=1$),则概率 P 应该保持在低于 R 的水平。如果分析后发现 P 超过

R ,则需要采取进一步的措施以改善安全。

因为此处所讨论的事故有限性质,公众照射不总是一个问题。不过,在某些情景中,例如涉及密封辐射源丢失或被盗窃的情景中,公众中一个或几个成员受到照射也许是所研究的大事件。对公众的最大正常剂量通常约束到低于 10^{-4}Sv a^{-1} 的水平,公众照射的癌死亡危险系数为 $5 \cdot 10^{-2}$,所以公众照射的一般参考危险将为 $5 \cdot 10^{-6}$ 。

在这种分析中,必须想到,随着源的物理性质的不同,一个源失去控制也会带来发生广泛污染的危险和使公众许多成员受到照射。如果这样一种情景似乎是可能的,则公众的心理和经济状况更会与核灾难(尽管是较小的灾难)中的状况相类似,这里介绍的这些方法也许是

过于简单化的。

确定情景

旨在估算不安全事件发生概率 P 的分析,需要找出可能对潜在照射造成重大影响的所有情景类型。在理论上,这是相当简单的:坐下来,列出所想到的事故可能发生的方式。不过,这样做容易忽略某种可能性,因而应采取一种有条理的方法。使分析正式化的方法有若干种,例如“危害和可操作性研究”、“故障模式和影响分析”等。不同的方法处理不同的问题,如在编制事件清单时如何确保完全性和选用措词的问题,也就是说,可能似乎是“只不过是常识”的问题——这种常识恰恰是故障在过去经常引起事故的地方。

在每种情景中,都要对防护系统提出要求。分析的目的是确定防护系统在需要时会不会失效。要求将是例行地考验防护系统的“正常”行动和“随机”事件(人为错误或设备故障)。

一旦确信所有相关的情景已经列出,必须确定它们的逻辑结构。这种分析在工程中是常见的。通常,这种结构以事件树或故障树的形式表现出来。

事件树以对一个防护系统的初步要求开始,然后通

过该系统的连续响应向上生长,以个个步骤和装置的成功或失败描述结果。故障树从另一端以指明的不希望结果开始,然后向下生长,分析这种结果可能得以产生的可能途径。作为一个实例,我们来考虑一个很简单的带有两个独立传感器和一个用来控制进入辐射室的执行装置的联锁系统。执行装置的不动作位置是使门处于关闭状态。这个门只有当两个传感器都报告不存在辐射时,才会被打开。使用两个传感器的目的是提供冗余度,即在第一个传感器发生故障的场合的备用功能。这个简单的系统可容易地用一个事件树或一个故障树来描述。

从概念上说,事件或故障树的数学分析是简单的,以基本概率理论为基础。不过,这种理论的实际应用往往是相当困难的,因为所研究的有许多可供选择的结局。因此,除最简单的场合,都建议使用计算机以便获得正确计算结果。

防护的最优化

潜在照射防护最优化的正式分析方法仍是基本上未解决的问题,在概率低和后果大的情况下尤其如此。因此,ICRP 在出版物 76 中建议,分析工作者应求助于一

种确定最优化目标的间接方法。

根据这种方法,正常照射防护首先用常规方法(从简单的常识到复杂的定量技术)进行。这将产生预期的平均正常剂量。与这个最优化正常剂量相关的癌死亡危险这时被用作应该在潜在照射最优化中使用的“参考危险”值。实际的最优化将涉及有关成本效率和现有设计、安全装置与程序的各种替代方案的可行性研究的叠代过程。

在这方面,遵从“安全优先顺序”是有益的。它的排序是:1)使危害最小化的设计;2)通过安全装置(例如联锁装置)减小危害;3)安全报警装置(例如辐射报警装置);4)为工作人员提供程序与培训;和5)确认剩余危害供管理者审议。

人为差错和纵深防御

“安全优先顺序”表明,防御的技术层(当然以事故发生的最小可能性开始),通常最好依靠人的行动。这是因为人为差错往往是造成潜在照射的最值得注意的因素。

不幸的是,这类错误也属于最难量化的因素之列。它们过份依赖于当时的状况和所谓的“表现形成因素”

(工作场所布局、噪音量、分心事、紧张程度等)。如果一个给定的错误第一次发生时未导致不幸后果,重复的人为错误概率也会随着时间而增加。

纵深防御是辐射安全的一个重要原则。根据这个原则,要为防护系统提供与所论的源带来的危险相应的重叠安全措施。这个原则的实际应用涉及“冗余度”和“多样化”。所谓冗余度,是指平行地设置多个同样的防护层。所谓“多样化”,是指为解决一个具体问题提供可供选择的防护方式。

这个得到公认的原则在最小的作业中和对大型设施一样有效。例如,我们来考虑流动工业 γ 射线照像工作,这很可能是由一个个体经营者利用一套设备开展的业务。在这种设备完成照像作业后,按照规定,辐射源要放回到它的屏蔽室中,作为事故照射防御的第一层。

作为防御的第二层,通常有一个位置指示器,用来显示源放回的成功或失败。在某些场合,会设两个相互独立的指示器,以便在这一步提供冗余度。防御的第三层是,即使未给出失败的显示,操作者也要按照程序用监测仪器检查工作场所。

作为多样化,操作者还应该佩戴能作声响报警的剂

量计。最后,如果指示器或场所监测表明源未被正确放回屏蔽室中,操作者必须暂时用栅将工作场所隔开,直到源被回收为止。

一些新问题

如果要“在现场”对成熟的设计作改动,便会有因人为错误的高概率而发生潜在照射的大危险。除一些必须采取立即行动的紧急情况外,应在完成彻底的安全评估后实施改动,所建议的改动和相关的评估,均应清楚地加以记录。

有时候,一种特定类型的照射的减小可能与形式为另一类型照射的增加的平衡相联系。例如,为了探测缺陷,以防它们引起部件失效,要定期进行检查。例如,一台加速器的检查频度增高,会提高缺陷早期探知率,从而降低发生潜在照射的概率。

不过,这种设施中存在的辐射场也会引起职业照射的增加。因此,在防护的最优化中,必须考虑这两种照射。

在医学辐射应用中,遇到的另一个新问题是过量的剂量和非常小的剂量对患者可能都不安全。这一点可能排除将预期损害与危害标准 R 相比较的作法。不过,为了找出主要的危害造成因素,使用结构合理的分析方法仍

是有益的。然后,便可考虑用来减小对患者的危害的措施。

上述种种考虑都涉及照射概率 P 。在剂量给定的情况下,产生损害的概率 $f(E)$ 也可能涉及一些新问题。例如,潜在照射情况可能带来高到足以因确定性效应引起必然死亡的剂量。这将引入一个大于与(在生命晚期发生的)由随机效应引起的死亡相联系的寿命损失概率。不过,鉴于概率计算中的总的确定性很大,似乎没有就过早死亡作进一步的加权处理的必要。

此外,在某些实践和作业环境中,来自潜在照射的一些局部损害效应将是主要威胁。就处于现在的剂量限值范围内的照射而言,产生确定性效应几乎是不可能的。因此,ICRP已经明确表示在正常照射计算中不包括这种损害。

不过,对于潜在照射来说,不可避免地要评估来自确定性效应的损害。同时,虽然肯定是值得评估的事,但失去一指(譬如说)显然不能认为等同于死亡。因此,就严重性进行加权是必要的。ICRP出版物76中建议的一个一般加权因数为0.25。这是以多种保险和赔偿制度为依据,并且考虑对合理简单的一般加权因数的需要。□