

核事故后为保护公众而进行的干预

控制污染食品的销售和消费

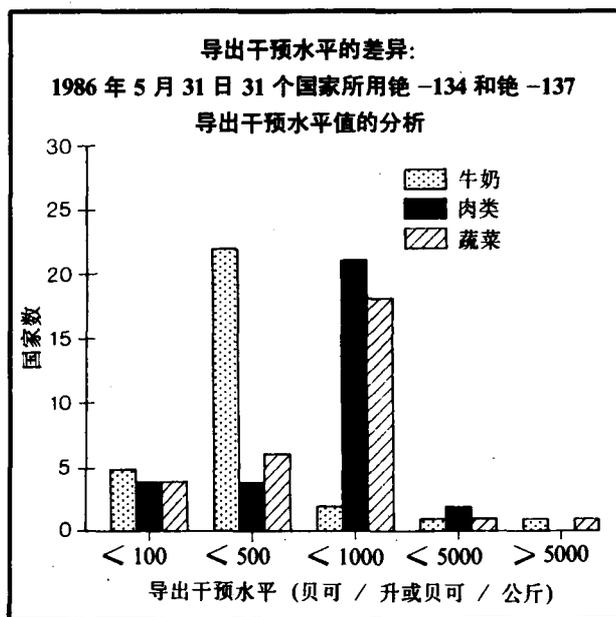
B. W. Emmerson

1986年4月26日，爆炸毁坏了切尔诺贝利核动力厂4号机组。在这以前，在已发表的任何国际应急响应导则或国家应急计划安排中，从未考虑到这种类型的事故。它可将可测出数量的放射性核素迅速散布在欧洲广大地区，使北半球许多地方都有可察觉数量的放射性核素。上述导则和安排的重点主要放在位于一个国家国境内特定地点的核设施放射性物质较短时间的事故性释放上，而不是基于国外污染物超越国界的后果上。它们强调在事故早期阶段采取紧急防护措施，以保护直接受影响地区和距释放点较近地区的公众。特别关心的是，使可能被照射的个人避免受到非随机性效应的危险，并限制来自随机性效应的危险。^{*} 它们对于放射性物质的释放时间较长、波及范围较大、并在大面积内有潜在影响的情况下理应采取的那些补充措施，未作任何具体的考虑。

各国的主管部门对切尔诺贝利事故中的放射性释放的反应有很大差别：从简单地加强现有环境监测计划到禁止某些指定食品销售（见附表）。无疑，

Emmerson 先生是 IAEA 核安全处高级职员。

^{*} 非随机性效应是指在剂量特定阈值水平以上可能发生的效应，这种效应发生后的严重程度随剂量增加而增大。随机性效应是指它们的发生几率随剂量增加而增大的效应，不存在阈值；这种效应的严重程度与剂量水平无关。



国内和国家间采用的各种防护措施的差别，和缺少对公众前后一致和通俗易懂的劝告（尤其在有关食品和环境的污染，以及最终产生的任何辐射剂量和效应方面），引起了不少多余的担忧和不必要的混乱。

现已确定，引起上述混乱的主要原因有两个。它们都源于，人们在解释和应用已经制订的公众辐射防

护基本准则方面所采取的那种互相矛盾的作法。第一个原因是，未能区别适用于照射源完全受控的正常情况和适用于事故情况的标准是不同的。第二个原因是，未能区别为保护某些指定的食品消费者群体而制订的污染控制水平与比较通用的保守水平。后者被认为是国际贸易中对食品流动实行全面控制以避免任何不必要的贸易混乱所必需的。本文将讨论这两个主要原因，目的是使人们更好地理解有关辐射防护的基本原则。

为避免今后再次发生这种混乱现象，对应急响应导则负有责任的有关国际组织已密切配合地进行工作，以便审查他们的建议的适用性，必要时制订进一步的导则，和寻求国际上一致同意的方法来制订控制可能污染食品的消费或在国际贸易中流动的标准。过去两年中，这些工作已取得了显著的进展，1988年4月在澳大利亚悉尼举行的国际原子能机构（IAEA）核能领域辐射防护国际大会上，已介绍了这些国际组织所采取的行动及其当前的建议。*

控制的基础

有关国际组织（包括IAEA）提供的辐射防护导则，是以国际放射防护委员会（ICRP）的建议为基础的。它的一般建议陈述在ICRP第26号出版物内。** 这些建议确认了有关辐射照射控制的两种迥然不同情况。第一种情况是，照射是可预见的，并可采取某种形式的控制措施对产生照射的辐射源加以限制。对于这类有计划的情况，必须满足该委员会的剂量限制体系中三个要点，即：

- 不应引入任何可能招致辐射源照射的实践，除非能够证明这种实践能够带来超过代价（包括对健康的任何危害）的纯利益（照射必须正当化）；

- 在考虑到一切有关的经济和社会因素之后，由这种实践所致的一切照射必须保持在可以合理做到的最低水平（ALARA）（照射必须最优化）；以及

- 不得超过该委员会建议的剂量限值。

为了满足剂量限制体系的各项要求，工厂必须设置合适的核安全和辐射防护设备。这些设备应根据纵深防御思想运转，并且能够对人为差错、设备故障和极端的自然现象进行超前预防和补救。这些设备得到各种正式的规章制度的支持，由它们支配工厂的正常运行，并且保证对异常或事故情况作出适当反应。

第二种情况与照射源不受控制的情形有关；例如，与天然本底辐射有关的源、建筑物中的氡气和事故情况。对于这类非计划的情况，只有用某种外部干预行动才能限制照射的可能性。虽然这三个要点中的两个，即正当化和最优化，有助于事故后的干预决策，但ICRP剂量限制体系的概念是不适用的。第三个要点，即剂量限值，与之是没有关系的，因为ICRP的限值是为了用于有计划的（可控的）照射情况预定组合所产生的总剂量，因而不能包括环境中存在的未受任何人为控制的放射性源的照射。再者，ICRP针对可控情况的公众中某些人员而建议的剂量限值，是在很低的危险度下规定的，因而必须在大量超过这个限值之后，才会产生放射学方面的问题。

在涉及向环境中释放大量放射性物质的大事故中，为限制个人危险而采取的直接干预措施，诸如隐蔽、提供稳定碘、撤离和搬迁，在离释放点也许不超过几十公里的距离以外，未必是正当的。相反，因为释放的放射性物质将在大气中稀释，并且可能随后散布到广大地区，所以一次事故造成的居民集体剂量（即居民中个人剂量的总和）的大部分，一般将如切尔诺贝利事故那样，累积在距离远得多的范围内。虽然在这样的距离上，个人受到的任何剂量将大大低于与非随机性效应或与大的个人随机性危险有关的剂量，但被逐渐扩散的放射性物质飘过的国家，出于谨慎，仍然可以采取一些不太直接的保护措施，如控制污染食品或饮用水的销售和消费，以减少居民的集体剂量。

两种照射情况之间的基本差异是，在有计划的情况下，如果辐射源的存在不能使社会得到纯利益，这种辐射源的存在是不允许的；而在非计划的或事故的情况下，社会从照射源得不到纯利益，而且缓解问题的任何干预行动充其量只能使有关的剂量降低到零。

* 见“The development of intervention levels for the protection of the public in the event of a major nuclear accident – past, present and future”, by B.W. Emmerson, *Proceedings of the international conference on radiation protection in nuclear energy*, Sydney, April 1988, IAEA (to be published).

** *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, ICRP Publication 26, Pergamon Press, Oxford and New York (1977).

这样，在有计划的情况下，人们利用最优化来使社会得到最大的纯利益；而在非计划的情况下，人们应用最优化来保证对社会的纯危害最小。

事故后干预的原则

ICRP 为规划事故后干预行动而制订的基本原则是：

- 应该采取适当的防护措施，使个人剂量保持在严重的非随机性效应的阈值以下；
- 还应采取使随机性效应引起的个人危险下降的防护措施，其条件是考虑到与它们的引入有关的其他危险和代价之后，这些措施将使那些用这些措施防护的人们得到纯利益；以及
- 被照射群体的集体剂量应当降低到可合理做到的低水平，以便限制随机性效应发生的总数。

前两项原则涉及对个人或人群采取直接防护措施。它们一般仅适用于事故的早期阶段和离释放点较近的距离。第三项原则不涉及个人，而是涉及采取措施降低集体剂量，从而限制全体居民中随机性效应的总发生率。

为保护公众而采取的措施的性质和采取措施的时机，将取决于那些在不采取措施的情况下可能被照射的个人潜在的（预计的）危险，和将运用这些措施的地区的主要环境条件（时刻、气候条件等）。可能需要采取特定防护措施的特定危险，通常以毫希沃特（mSv）为单位的辐射剂量当量来表示。这些数值通常称为剂量干预水平。^{*} 由于采取任何防护措施的本身就包含某种将随环境而变化的危险、困难和社会代价，所以不可能规定一个固定的应当采取特定措施的剂量水平。然而，根据放射学的理由，对于每种防护措施，都可确定一个较低剂量水平（低于此水平时并不一定要采取措施），和一个较高剂量水平（达到此水平时几乎毫无疑问应该设法采取措施）。

在实践中，如果剂量干预水平以有关物质中存在的放射性核素实测水平或浓度表示，例如贝可每立方米（空气）或每升（牛奶）或每千克特定种类食品（奶粉、肉类等），那么紧急情况下的决策将会更快和更有效。这些被称为导出干预水平。这种污染水平

的食品的年消费量，不应使有关消费者群体受到的辐射剂量超过原始的剂量干预水平。^{*}

特定食品的导出干预水平与剂量干预水平之间的关系（有时称为剂量转换因子），取决于许多参数。其中比较重要的参数有：潜在受照个人的饮食习惯，释放的放射性物质的物理和化学形态，放射性物质摄入人体后的代谢作用，以及有关特定放射性核素每单位摄入量使人体不同器官受到的辐射剂量。农业技术和食品生产与加工中采用的方法也有重要影响。从原则上说，构成剂量转换因子的这些参数如果能被定量地确定，核事故后许多可能具有重要辐射意义的放射性核素的导出干预水平就能被确定。为使这些导出水平有最大的价值，应针对具体事故释放情况、当地环境条件和与它们直接有关的居民的情况，专门地加以确定。

由于这些参数中的许多参数可能变化很大，不可能为每种食品确定通用的导出干预水平。然而，通过将这些可变参数进行保守的组合，人们就能有充分的共同依据制订广泛适用的一般导出干预水平。

污染食品的消费将是放射性物质广泛散布和进入不同食品途径后的集体剂量的一个主要来源。即使特定种类食品污染水平可能大大低于对单个消费者有影响的水平，但全体居民消费食品导致的集体剂量水平本身，也可能被认为是不可接受的。因此，污染食品的销售和消费必须加以控制，以满足两条重要辐射防护标准的要求，即降低个人的危险和使社会总危害降至最低限度。

控制污染食品

ICRP 提供的导则指出，如果由于事故后第一年的消费结果，单个消费者受到的剂量可能超过 5mSv，则应考虑采取限制食品销售的措施。^{**} 这相当于常人理论上的终身危险度为万分之一。这可与来自另

^{*} 机构已在《安全丛书》第 72 号和 81 号出版物中发表了有关确定这种干预水平和导出干预水平原则的导则。考虑到切尔诺贝利事故后取得的经验而制订的暂行补充导则，发表在 IAEA TECDOC 473 中。

^{**} *Protection of the public in the event of major radiation accidents: principles for planning*, ICRP Publication 40, Pergamon Press, Oxford and New York (1984).

^{*} 有时称为应急参考水平（ERL）或防护行动准则（PAG）。

一种外加的和广泛分布的环境照射源——建筑物中氡气的危险度相差不多。ICRP 已建议，在氡照射招致的年剂量超过 20mSv 的地方，应当采取简单易行的补救措施。还应当指出，天然本底辐射的年照射量会导致 1—10mSv 剂量。因此，5mSv 干预水平在数量级上与天然辐射源引起的年剂量相当。

仅依靠一个固定值（例如 5mSv / 年）作为干预的标准也许会受到批评，因为，虽然该值能确保个人危险得到充分控制，但它没有限制对社会的总危害。这种对社会的总危害取决于受照射的总人数，因而取决于集体剂量。它将随着到释放点的距离的增加，和个人剂量标准的作用的减小而变得越来越重要。应用代价—利益最优化分析的概念，能够把对社会的危害限制到再进一步降低即被认为是不正当的水平。在这种最优水平上，干预的代价为所避免的健康危害的代价所平衡。目的在于证明，通过采取干预措施能使受照射的居民，处于一种较之不采取干预措施“更好的”地位，因为从经济和社会角度看，人们将以一种“合理的”代价使对社会的总危害达到一个较低的水平。实际上，剂量最优干预水平一般介于 1 与 10mSv 之间。不过，通过这种最优化方法得到的最大值，还是要受个人的剂量干预水平（5mSv）的限制，因为只有在有最重要的社会理由或人道主义理由时，它才会被超过。

世界卫生组织（WHO）和联合国粮农组织

（FAO）很关心有关污染食品销售和消费的专门导则的拟订工作。当实施这种导则时，必须区分两种干预水平，即作为控制特定人群或居民的食品消费以尽量减少健康危害而确定的水平，和为将国际贸易中的混乱减至最低程度而确定的比较保守的水平。这两种水平在本文中分别称为消费者相关水平和贸易相关水平。

● **消费者相关水平：**由于切尔诺贝利事故，以及认识到有关事故后管理的可用导则没有适当地包括保护远离事故现场地区的居民所必需的措施，WHO（卫生方面起主导作用的国际组织）已着手拟订和出版相应的导则。通过一系列国际专家会议，WHO 审议了用于建立食品和饮用水消费者相关导出干预水平的各种方案，并为这些导出干预水平的应用拟订了准则草案。这个准则草案曾分发给各国管理机构征求意见。随后于 1988 年 5 月发表。^{*} WHO 拟订这个准则和有关导出干预水平的目的，在于帮助那些非辐射防护专家的公共卫生决策者作出可靠的判断。它们被认为特别适用于没有核动力计划的，而且在干预方面没

^{*} *Derived intervention levels for radionuclides in food; guidelines for application after widespread radioactive contamination resulting from a major radiation accident.* WHO, Geneva (1988).

WHO 规定的各种食品的导出干预水平（贝可 / 公斤）

放射性核素类别	食 品 种 类							
	谷物	块根	蔬菜	水果	肉类	牛奶	鱼	饮水
* 单位摄入量剂量因子 (10^{-6} 希 / 贝可) 较高	35	50	80	70	100	45	350	7
** 单位摄入量剂量因子 (10^{-8} 希 / 贝可) 较低	3500	5000	8000	7000	10 000	4500	35 000	700

* 适用于铯-239 及其他锶系元素。

** 适用于有关的所有其他放射性核素，其中包括铯-134、铯-137、锶-90 和碘-131。

有专门知识的国家。不超过 ICRP 建议的较低剂量干预水平 5mSv 或甲状腺干预水平 50mSv, 是确定 WHO 导出干预水平的依据。该辅助性导则建议, 在决定实施防护措施之前, 应当用最优化方法确定进行干预用的较低个人剂量水平是否合理。

对食品消费模式在全球进行调查之后, 根据来自约 130 个国家的数据确定了 8 种不同的地区模式。在主要食品种类的地区性最大消费量的基础上, 针对每人每年消费量在 20 千克以上的食品编制了假设饮食谱 (参看第 15 页附表)。然后, 利用每人每年 550 千克食品和 700 升饮水的假设消费量, 把剂量干预水平 (5mSv) 算成主要食品种类中每类食品的相应放射性核素的浓度 (导出干预水平)。

尽管在制定通用的事故对策方案时不可能预测有哪些放射性核素将进入环境中, 但通常要考虑的是铯-90、碘-131、铯-134、铯-137 和钚-239。虽然食入数量 (单位摄入量的剂量) 相同时, 每种放射性核素导致的剂量略有不同, 但可以把它分成两大类: 第一类包括所有锶系元素, 如钚-239 等。在准则草案中, 已认定每摄入 1 贝可的这类核素, 将产生 10^{-6} Sv 的剂量。第二类是除上述以外的放射性核素, 如放射性铯等。准则草案已认定, 每摄入 1 贝可的这类核素, 将产生 10^{-8} Sv 的剂量。在每一类的放射性核素内部之间, 单位摄入量剂量方面的差异非常小, 以致可以为每一类食品只确定一组通用的导出干预水平。然而, 对于年消费量小于 20 千克/人的少数食物品种 (如香料、药草和茶叶), 需要消费很大数量才能对剂量有重要影响。对于这类食物品种, 也许有必要考虑采用略松的限制水平。

虽然这些准则值能够充分保护一般居民, 但已为

婴儿规定了补充值。这样做之所以必要, 不仅是因为婴儿的饮食一般仅限于不多的几种食品, 而且因为婴儿对于这些食品中可能存在的某些放射性核素的单位摄入量剂量高于成人 (见附表)。

由于人们不可能一般地预测在核事故情况下, 何种食品将受到何种放射性核素污染, 所以 WHO 准则值是基于这样一个前提, 即只涉及一种放射性核素, 而且只有一类食品受到影响。但在任何具体事故情况下, 一般要涉及几种放射性核素和几类食品。鉴于有发生多重食品污染的可能性, WHO 导则包含一种用来按比例分摊导出干预水平的方法, 从而保证了干预水平 (5mSv) 不被超过。

认识到下述一点是重要的, 即 WHO 制定的这些准则值是针对即将被特定居民群体消费, 并处于其被消费时所取形式的食品的。此外, 由于食物供应来源的复杂性和大多数人从极不相同的地区获得其各种饮食, 所以仅一部分消费的食品可能被污染到相当于与他们居住地区放射性物质沉积造成的水平。这样, 由于应用 WHO 准则值, 受到影响的居民中一些人所受最终平均剂量, 便可能大大低于剂量干预水平。

● **贸易相关水平。**在支配污染食品贸易的标准方面要有一个商定一致的导则, 这是最重要的事故后干预要求之一。发生切尔诺贝利事故时, 没有这些标准, 因而导致国际社会发生相当大的混乱, 失去公众信任和形成许多人为贸易壁垒。为避免今后发生事故时出现类似的情况, 人们一直在寻找一种国际上协调一致的制定导出干预水平的方法。虽然干预的基本原则对制订消费者相关水平和贸易相关的控制水平, 应当是共同的, 但重要的是, 为控制国际贸易中流动的食品而制订的任何标准, 必须让那些负责进出口的货运结关人员, 以及在辐射防护方面非专家人员易于理解和执行。就这样一些目的而言, 许多有关不同放射性核素和各类食品的干预水平, 例如 WHO 制定的消费者相关控制水平, 都是不适用的。最好是能够有一个适用于所有食品的行动水平。在这种水平以下, 交运货物毋需任何进一步的限制便可被接受。实际上, 解决办法将在这两种方法之间。

在国际一级就食物质量和保护消费者方面做促进工作和提出建议, 是 FAO 的业务。鉴于 FAO 的一些成员国曾要求, 就国际贸易中流动的污染食品方面可能要采取的行动提出建议。为此, FAO 的一个专家顾问组于 1986 年 12 月制订了临时的国际食品放射

WHO 规定的婴儿用牛奶和水的导出干预水平 *
(贝可 / 升)

放射性核素	导出干预水平 (贝可 / 升)
铯-90	160 (牛奶和水)
碘-131 **	1600 (牛奶)
铯-137	1800 (牛奶)
钚-239	7 (牛奶和水)

* 基于消费量为 250 升 / 年。

** 假定该放射性核素在人体中总的平均寿命为 11.5 天和甲状腺的器官剂量为 50mSv。

性核素行动水平 (IRALF)。* 使用“临时”一词,意味着将根据经验和 FAO、WHO 和 IAEA 的进一步建议,定期对它们进行审议和可能的修订。在制订这些水平中,采用了比较保守的方法。其目的是提供较大的安全余量,这样,这些水平将得到尽可能广泛的应用,以便将国际贸易中不必要的限制减至最低程度。FAO 已建议,将 IRALF 用于国际食品装运。FAO 还认为,IRALF 的实施将特别有助于保护农渔业界的利益,否则,他们可能受到贸易混乱的影响。该专家顾问组的报告和建议,已提交食品规范委员会 (CAC)** 于 1987 年 6 月召开的第 17 次会议供“参考”,以便今后就贸易相关水平拟订 FAO/WHO 联合建议。

1988 年 3 月举行了 FAO、WHO 和 IAEA 间的秘书处联席会议,会上应用相似于确定 WHO 消费者相关水平时采用的程序,拟定了用来确定贸易相关水平的共同方法。然而,为使贸易相关水平在简单的控制体制内易于应用,曾对这种程序作了修改,以保证将控制水平的个数减至最少。除牛奶和婴儿食品外,WHO 提出的单个的食品种类概念已被单一的一般食品组代替,控制水平保守地以每人每年 550 千克的食品消费量为基础,而且假定消费的所有食品都已被污染。建议的控制水平(见附表)已提交 1988 年 7 月 CAC 执行委员会第 35 次会议。执行委员会指出,FAO/WHO 联合提出的贸易相关水平制订方法与 WHO 建议的消费者相关水平制订方法,是完全互补的。如果得到实施,这些方法将使各国能够对贸易中流动的食品的放射性核素污染进行充分的控制。此外,这些方法将有助于各国食品控制(卫生)主管部门,对特定居民群体正在消费的食品中的放射性核素污染实际水平进行监测和控制。

应 CAC 执行委员会的请求,FAO/WHO 的联合文件将加以修订,以便写入基于所建议贸易相关水平的进一步说明性材料。然后,该文件将通过各国食品规范委员会联络中心分发给各国,征求意见。经修订的文件和评论意见,将提交食品规范委员会添加剂

* *Recommended limits for radionuclide contamination of foods; report on an expert consultation*, FAO, Rome (1986).

** 食品规范委员会是负责制订协调的食品标准的国际机构。这些标准包括食品添加剂或污染物的限值,旨在保护消费者健康和便利国际贸易。

FAO / WHO 联合提出的国际贸易中流动的污染食品控制用导出干预水平 (贝可 / 公斤)

放射性核素	食 品 组	
	所有食品 (除牛奶和婴儿食品中的铯-90 外)	牛奶和婴儿食品 (铯-90)
铯-90	1000	100
钚-239	10	—
其他放射性核素的总 γ 活度	1000	—

注:脱水或浓缩的食品,必须根据在消费调制后,即在相应稀释或泡制后食物中的放射性核素水平进行控制。因此,给出的放射性核素水平应当乘以同一种食品的稀释或复原因子。

与污染物委员会 1989 年 3 月的会议,供一个由政府代表组成的特设工作组进行任何必要的审查。然后,该委员会将修订文件、评论意见和特设工作组报告,提交 1989 年 7 月的 CAC 第 18 次会议,以便在该文件正式发表前对其作最后的审查和通过。

展望

回顾最近 18 个月来为补救污染食品销售和消费方面的导则之不足所做的工作,便可清楚地看到,已经取得了许多进展,并有充分的共同理由来支持有关国际组织,特别是 WHO 和 FAO 目前建议的干预标准。人们应当对照所有食品和环境物质中存在的天然放射性核素水平,来看待这些标准(见第 18 页附表)。这些不可避免的放射性核素水平清楚地说明,如果不现实地采用低的水平作为食品进出口控制的依据,则是错误的。

对于国际贸易中污染食品的存在必须进行管理。事实已经证明,在这种管理中,有一个经过协调的方法是至关重要的。这样一种方法的基础应当是一种简单的控制制度,它所涉及的放射性核素和食品种类的数目应是最少的。FAO/WHO 联合建议的贸易相关水平看来十分适合这一目的。一种简化的通用方法的代价是,必须赋予某些输入参数以这样一些值,它们要比其他方法中从严格的辐射防护角度来看将是合理

食品、人和环境中天然存在的放射性核素水平实例*

牛奶 (来自钾 -40)	50 贝可 / 升
威士忌酒	50 贝可 / 升
鱼 (来自钾 -40)	100 贝可 / 公斤
马铃薯	100-150 贝可
食油	180 贝可 / 公斤
海水 (来自钾 -40)	12 000 贝可 / 立方米
人从食物中食入的碳 -14	100 贝可 / 天
人从食物中食入的钾 -40	100 贝可 / 天
成人体内天然放射性量	5000 贝可
为达到 5mSv 干预水平个人 必须食入的放射性估计量 (来自铯 -137)	400 000 贝可

注: 铯 -137 和天然钾 -40 具有类似的放射性毒性。钾 -40 存在于一切食物产品和生物中。

* 数字为平均值。

的那些值更保守。虽然这将增加防护的费用,但是,如果与协调一致的国际贸易控制准则带来的利益相比,这将被认为是一种可接受的“牺牲”。

相反,消费者相关水平的国际协调也许更难完成。虽然 WHO 最近发表的导则和建议水平是在与其他国际组织和政府间组织合作下制订的,但是,某些国家和政府间组织也许不会痛痛快快地接受这些水平,如果这些水平同他们已在使用的水平相差很大,特别他们已把使用中的水平写进国家法规的话。即使做到了广泛的协调一致,也总是需要有足以照顾到一些特殊情况(其中包括可能适用于实施防护措施的人们的特殊习惯)的灵活性。虽然如此,在 WHO 水平及有关这些水平实施辅助导则制订中采用的通用方法还是提供了一个统一的基础,各国据之可以制订他们自己的、与实际情况相符合的消费者相关导出干预水平。它在今后任何核事故情况下的应用,都将十分有助于避免再次出现过去两年中的混乱和忧虑。

