

## 【论著】

## 参考水平在核与辐射突发事件应急救援中的应用初探

唐木涛,黄尉初,王猷金,孙华斌,王修德,李奇慧,张惠彬

中图分类号:TL73 文献标识码:A 文章编号:1004-714X(2012)04-0391-02

**【摘要】** 目的 探讨参考水平对核与辐射突发事件应急救援防护策略制定的影响。方法 根据 IAEA、ICRP 等国际组织发布的新的核应急实施导则,建立基于参考水平的防护策略。结果 参考水平从建立方法、采用的剂量学量及优化方法等方面均比过去的干预水平更趋合理。结论 参考水平的提出对制定核应急响应计划和标准具有深远的影响,建议加强其优化分析的方法学研究,推荐统一的优化分析方法。

**【关键词】** 核与辐射; 应急救援; 参考水平

Preliminary Study of Reference Levels on Nuclear and Radiation Emergency Rescue. TANG Mu-tao, HUANG Wei-chu, WANG You-jin, SUN Hua-bin, WANG Xiu-de, LI Qi-hui, ZHANG Hui-bin. *Jinan Military Center for Disease Control and Prevention, Jinan 250014 China.*

Corresponding author: TANG Mu-tao

**【Abstract】 Objective** To discuss the influence of reference levels used to construct protection strategy in nuclear and radiation emergency rescue. **Methods** Protection strategies based on reference levels are constructed according to the newly published nuclear safety standards of IAEA and ICRP. **Results** The application of reference levels is more reasonable than the intervention levels proposed before from the established method to the indication quantity on dosimetry and the methods of optimization. **Conclusions** The application of reference levels have a far-reaching impact on making nuclear rescue standards and plans. It is suggested that the research on optimization of reference levels should be strengthened, and a unified method should be recommended.

**【Key words】** Nuclear and Radiation; Emergency Rescue; Reference Levels

基于 ICRP(国际辐射防护委员会)建议书的权威性,目前有关放射防护的国际、国家标准都是基于 ICRP 建议书的。2007 年 3 月 ICRP 第 103 号建议书正式代替 1990 年第 60 号建议书,但现在大多数国家包括我国的有关法律法规都是基于第 60 号建议书的,如我国的《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。2007 年以来,ICRP、IAEA(国际原子能机构)等国际组织发布了一系列文件,特别是 ICRP109、112 号建议书,IAEA No. GSG-2 号核应急安全标准,对新的核应急框架体系进行了详细阐述,提出了参考水平的概念。新概念的提出,对制定核应急响应计划和标准具有深远的影响,笔者试图就参考水平在核与辐射突发事件应急救援中的应用做一些初步探讨。

## 1 参考水平的提出

在以 60 号建议书为基础的现行防护体系中,把涉及照射的人类活动分为实践和干预两类,核应急属于干预活动。用于响应的准则是干预原则,当防护措施的可防止剂量高于干预水平时,采取干预行动是正当的,低于它时则不需要采取行动<sup>[1]</sup>。

在以 103 号建议书为基础的防护体系中,不再按人类活动进行区分,而演变为对所有可控照射情况应用防护正当性和最优化基本原则的基于情况的方法,把照射情况分为计划照射、应急照射和现存照射。核应急属于应急照射情况<sup>[2]</sup>,即在计划照射情况的运行过程中可能发生,或由恶意行为引起的,并需采取应急措施的意外情况。在应急照射情况下,干预水平的概念不再有效,取而代之的是参考水平。参考水平是在应急照射情况下,监管机构规定不得超过的,由突发事件所引起的总的个人剩余剂量,用以评价防护策略的有效性,并作为是否需要修正或采取附加防护行动的基准。

## 2 参考水平的应用

在 1984 年 ICRP 第 40 号建议书和 1985 年 IAEA 第 72 号安全丛中,提出了干预原则和干预水平的剂量学量,1990 年 ICRP 第 60 号建议书对干预的正当性和最优化原则作了明确清晰的阐述,1994 年 IAEA 第 109 号安全丛书全面阐述了干预的概念、干预原则和通用干预水平的选择与应用,使用了预期剂量、可防止剂量和剩余剂量<sup>[3]</sup>,在 ICRP 第 103 号建议书中,上述 3 个量虽然得到保留,但在其概念和使用上发生了一定的变化。过去在响应决策上主要考虑不同防护措施的可防止剂量,其中作为响应准则的干预水平就是用可防止剂量表示的;在新的框架体系中,取代干预水平的参考水平是用执行防护策略后的剩余剂量来表示的,与过去推荐的干预水平相反。这使得原来有关实践和干预的辐射防护体系产生了较大的变化,也就是事故后果评价的理论基础发生了变化,集中反映在参考水平所使用的剂量学量、参考水平的建立与优化方法等方面。

2.1 使用的剂量学量 过去的应急响应主要集中在应急情况出现后当时所需要采取的行动上,主要考虑可防止剂量,使用的剂量学量主要有个人剂量当量、周围剂量当量、当量剂量和有效剂量。新的核应急框架需要考虑总体的防护策略,不仅要考虑对急需采取的防护行动进行优化,还要对以后各个阶段总体方案进行优化,主要考虑参考水平,使用的剂量学量包括操作量和防护量:操作量包括个人剂量当量(个人监测)和周围剂量当量(环境监测),防护量除了过去采用的当量剂量(评价随机性效应)和有效剂量(辐射防护,评价人群的随机性效应)外,2011 年 5 月 IAEA No. GSG-2 号核应急安全标准<sup>[4]</sup>增加了大剂量范围内适用于确定性效应的相对生物效应(RBE, relative biological effectiveness)加权吸收剂量  $AD_{R,T}$ (评价确定性效应)。

$$AD_{R,T} = \sum_R D_{R,T} \times RBE_{R,T}$$

式中  $D_{R,T}$  为组织或器官的平均吸收剂量,  $RBE_{R,T}$  为相对生物效应因子,随照射类型和受照器官的不同而不同,文献[4]第 25 页给出了相对生物效应因子的值,可供参考。

在使用参考水平时,当涉及到预期剂量或已接受剂量比较大,可能会引起严重的确定性效应的情况下,应当使用  $AD_{R,T}$  计

作者单位:济南军区联勤部疾病预防控制中心,山东 济南 250014  
作者简介:唐木涛(1973~),男,硕士,副研究员,主要从事放射防护监督监测和核化突发事件医学应急救援工作

算剩余剂量,当剩余剂量超过可引起严重确定性效应的通用参考水平时,应采取紧急防护行动;若已经受照,则应采取紧急医学救治措施治疗严重的确定性效应。当预期剂量和可防止剂量都比较大,从而作为它们差的剩余剂量却比较小时,还需将计算得到的剩余剂量转化为当量剂量或有效剂量,与可能会引起随机性效应的通用参考水平比较,以采取紧急防护行动,合理降低随机效应的危险。

2.2 参考水平的建立 在新的框架体系中,参考水平是用执行防护策略后的剩余剂量来表示的,参考水平在数值上等于预期剂量与可防止剂量的差。它首先要求设法采取防护策略,使执行防护策略后的剩余剂量不超过参考水平,其次当剩余剂量低于参考水平时,还要以它为上界,对防护方案进行详细的优化。ICRP 第 103 号建议书给出的计划剩余剂量的参考水平,典型值在 20~100 mSv 之间,其与干预水平的区别见表 1。文献 [4] 第 10~11 页给出了任何情况下都要采取行动的通用准则和以预期剂量及接受剂量表示的通用参考水平。

表 1 应急照射下 ICRP 60 号与 103 号建议书防护准则的比较

公众照射	干预水平(60号及后续出版物)	参考水平(103号建议书)
食品	10 mSv/a	
稳定碘分发	50~500 mSv(甲状腺)	
隐蔽	2天内 50~500 mSv	
临时撤离	1周内 50~500 mSv	
永久迁居	第一年 100 mSv 或 1000 mSv	
总体防护策略中的所有防范措施	...	视情况,在计划过程中典型值在 20~100 mSv/a 之间

在应急情况下,为制定防护措施,进行防护最优化,首先必须建立合适的参考水平。考虑到受照射人群的多样性,ICRP 第 101 号建议书<sup>[5]</sup>推荐使用代表人代替早期的关键人群组的概念。代表人是假定的,101 号建议书对代表人的特征及剂量估算做了详细的阐述。参考水平的确定必须确保代表人平均剂量及最高受照剂量均在参考水平以下<sup>[6]</sup>,如图 1 中的计划 B,而计划 A 和计划 C 是不可接受的。

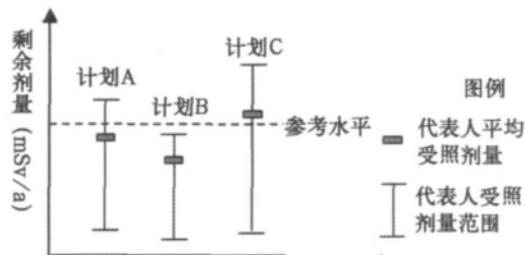


图 1 参考水平的确定

2.3 参考水平的优化 干预水平是一种基于事件的防护策略,主要侧重在应急情况出现后当时所需要采取的行动上;而参考水平则是一种基于情况的、循序渐进的防护策略,需要考虑总体的防护行动,不仅要重视不同阶段所采取的防护行动,还要考虑到所有照射途径和已接受的照射。

2.3.1 防护策略的循序渐进性 应急照射情况包括应急准备和应急响应两个阶段:应急准备包括在紧急情况出现时执行最优化防护策略的计划,以达到使照射低于设定的参考水平的目的;在应急响应时,参考水平将作为评估防护行动效果的准则,以决定是否需要进行下一步行动。因此,平时应制定好应急预案,根据可能发生的突发事件和设定的参考水平,确定最优化防护措施。应急响应初期,最优化防护措施是以代表人受到的照射为基础的,因此实施某个计划的防护策略引起的剂量分布,可能包含也可能不包含参考水平以上的照射,如果包含高于参考水平的照射,应对其进行重点关注,并根据现场情况,对

防护措施做进一步优化,努力把参考水平以上的照射降低到参考水平之下,使防护措施逐渐演变到最佳地适应所考虑的所有受照射人群的情况(图 2)。IAEA 根据核事故发展进程将事故全程分为早、中和晚期三个阶段,并建议在各阶段对公众采取相应的防护措施,因此应急响应开始后,随着现场获取信息的增加,应根据源项参数和环境监测结果,计算预期剩余剂量的分布,进行剂量测量和评价,并以设定的参考水平为基准,对已执行的防护行动进行回顾性判断,及时修正后续防护行动。因此应急防护行动是一个渐进的发展过程,应当随着事件的发展定期进行评议并灵活推进,是一个评议、计划和执行的迭代循环过程<sup>[7]</sup>。同时,上述基于参考水平的防护策略的最优化是针对代表人而非单个工作人员或公众个人的,也体现了防护行动的总体性。

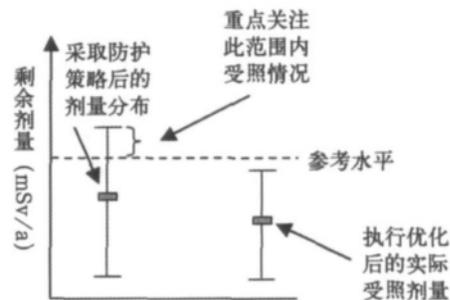


图 2 执行防护策略后受照剂量和执行优化后实际受照剂量

2.3.2 照射途径的复杂性 在应急照射情况下,可能存在多个、独立、同时、并随时间变化的照射途径,因此为确保采取总体防护措施后的剩余剂量不超过设定的参考水平,制定防护措施时需要考虑所有途径可能导致的总照射。但是在应急响应初期,要确定所有照射途径几乎是不可能的,这就需要首先确定有重要影响的主要照射途径,明确受照类型和受照时间,制定针对主要照射途径的防护措施,随着掌握信息量的增加,针对不同的照射途径采取综合性的防护措施。如为防止严重的确定性效应,对于外照射,红骨髓的外照射 RBE 加权吸收剂量在 10h 内不得超过 1Gy,内照射 RBE 加权吸收剂量在 30d 内不得超过 0.2Gy;为降低随机性效应,甲状腺当量剂量在 7d 内不得超过 50mSv,应针对不同的照射途径,对重点部位进行重点防护。

2.3.3 已接受照射情况考虑 参考水平和过去的干预水平明显不同的另外一个特点是,除了根据预期剂量和可防止剂量进行响应决策以外,还包括了已经受到的剂量情况,也就是它针对预期受照剂量和已接受剂量情况分别推荐了各种措施的通用响应准则<sup>[4]</sup>(表 2)。在后面的响应行动方案中要同时考虑先前过程中已经受到的照射,此时可能会涉及不同范围剂量的量值转换问题,比如 RBE 加权吸收剂量和当量剂量以及有效剂量的转换问题。

表 2 针对预期剂量和已接受剂量的通用响应准则

健康效应	执行防护行动和其他行动的原则	
	预期剂量	已接受剂量
严重的确定性效应	即使在不利的情况下,都要采用预防性紧急防护行动。	采取正当的医疗措施,检查和处理严重确定性效应;检查和处理随机效应,并提供心理咨询。
可察觉的随机性效应的升高	采取预防性紧急防护行动(如重新定居和饮食饮水限制)以合理降低可察觉的随机效应增加的危险。	采取正当的医疗措施,检查和处理随机效应。

2.4 应急人员指导水平 应急照射情况下应急人员的指导水平见表 3,需说明的是,在应急照射情况的后期,承担恢复和重

【论著】

# 全国饮用水中总 α 总 β 数据管理软件的研发

张 京,吉艳琴,周 强,尹亮亮,李文红,徐翠华,苏 旭

中图分类号:TL81 文献标识码:A 文章编号:1004-714X(2012)04-0393-03

【摘要】 目的 为了更有效地保存和利用好我国各地饮用水中总 α、总 β 调查数据,设计了本软件。方法 选用 Microsoft Access 数据库存放调查数据,利用 Visual Basic 6.0 企业版编写前台客户端程序。结果 根据现有数据的情况,设计完成了本调查数据库,并撰写了相关软件说明文件。结论 本软件对充分利用好全国各地饮用水中总 α、总 β 数据提供了便捷的平台。

【关键词】 总 α; 总 β; 饮用水; 数据库

Management Software for the Database of Gross α and Gross β in the Nationwide Drinking Water. ZHANG Jing, JI Yan-qin, ZHOU Qiang, YIN Liang-liang, LI Wen-hong, XU Cui-hua, SU Xu. *Key Laboratory of Radiological Protection and Nuclear Emergency, China CDC, National Institute for Radiological Protection, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100088, China.*

Corresponding author: SU Xu, Email: suxu@nirp.cn

【Abstract】 **Objective** A software was designed and developed for effective utilization sampling survey data of gross α and gross β in drinking water throughout China. **Methods** Survey data were picked up by using Microsoft Access data base. Management software of the data base was developed with Visual Basic 6.0 Enterprise Edition. **Results** Based on current status of the survey data, the database was established and the relevant help file was set up. **Conclusions** A convenient platform for the full use of the document of gross α and gross β in drinking water has been provided with the software in China.

【Key words】 Gross α; Gross β; Drinking Water; Database

饮用水的安全性是人类所关心的问题,人类通过饮用水摄入体内的天然或人工放射性核素对人体产生的剂量贡献约占

基金项目:卫生行业科研专项(201002009)  
作者单位:中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所,辐射防护与核应急中国疾病预防控制中心重点实验室,北京 100088  
作者简介:张京(1960~),男,北京市人,副主任技师,研究方向为辐射检测与评价。  
通讯作者:苏旭,Email: suxu@nirp.cn

饮食所致总量的 20% 以上<sup>[1]</sup>。因此,饮用水的放射性水平一直是人们关注的重点。饮用水中总 α 和总 β 放射性测量是经常被使用的一种筛选监测手段<sup>[2]</sup>。20 世纪 80 年代原卫生部工业卫生研究所组织全国卫生系统,进行了水中天然放射性核素水平调查<sup>[3]</sup>。近年来,各地也开展了大量这类监测工作,积累了大量的调查数据。为便于保存和利用好这些数据,本研究建立了全国饮用水中总 α、总 β 数据库,并研发了数据管理软件。

建作业的响应人员应视为职业受照射人员,并按正常的职业放射防护标准进行防护,他们所受到的照射不应超过 ICRP 推荐的职业剂量限值。

结合我国国情,修改现行各级应急计划中关于干预原则和干预水平的内容,采用国际推荐的参考水平,并应用于目前已经使用或正在开发的应急决策支持系统中,尽快与国际接轨。

表 3 应急人员指导水平

应急任务	指导水平
生命救援行动	个人剂量当量 $H_p(10) < 500\text{mSv}$ 如果对被救人员带来的利益明显超过抢救者自身的危险时,原则上可不对剂量进行限制,但工作人员应当是自愿的,并且已被告知照射危险及可能后果。
防止严重的确定性效应的行动或防止演变为灾难性条件的行动	个人剂量当量 $H_p(10) < 500\text{mSv}$
防止较大集体剂量的行动	个人剂量当量 $H_p(10) < 100\text{mSv}$

参考文献:

[1] ICRP. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection [P]. ICRP Publication 60, 1991.

[2] ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection [P]. ICRP Publication 103, 2008.

[3] IAEA. Intervention Criteria in a Nuclear or Radiation Emergency [P]. Safety Series No. 109, Vienna, 1994.

[4] IAEA. Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency [P]. No. GSG-2, Vienna 2011.

[5] ICRP. Assessing Dose of the Representative person for the Purpose of Radiation Protection of the Public and the Optimization of Radiological Protection [P]. ICRP Publication 101, 2007.

[6] ICRP. Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations [P]. ICRP Publication 109, 2010.

[7] 夏益华,严源. 关注核应急框架体系的演变和扩展 [J]. 辐射防护通讯, 2011, 31(4): 1-7.

### 3 结果与讨论

笔者根据近年来 IAEA、ICRP 等国际组织发布的新的核应急框架实施导则,对参考水平在应急照射情况下的应用进行了初步探讨,阐述了参考水平的概念、应用原则和优化方法及其与干预水平在使用等问题上发生的变化,可供应核应急决策提供参考。鉴于目前推荐的参考水平的概念,从建立的方法、采用的剂量学量及优化方法等均比过去更趋合理,因此建议加强有关参考水平优化分析的方法学研究,推荐统一的优化分析方法。并