

鉴于以上情况,考虑到冶金废渣的处理现状,我们认为 GBJ 8-74 的限值应放宽,应结合废渣数量和放射性物质含量水平定出新的分类处理标准。

五、建 议

为促进我国共生矿的开发利用和工业的发展,保护环境,建议工业废渣的分类处理标准为:

含有天然放射性核素的工业废渣,当比活度处于 $(2-7) \times 10^4 \text{Bq/kg}$ 时,应建坝存放;渣坝服务期满后,应妥善管理,防止工业废渣再悬浮和扩散。对于比活度大于 $7 \times 10^4 \text{Bq/kg}$ 者,应建渣库存放。

参 考 文 献

- [1] IAEA S.S., No. 9, p 20, 1967.
- [2] D. Van As, *Radiation Protection*, (2), 853 (1980).
- [3] 刘树仁, 稀土, (2), 55 (1984).
- [4] 黄忠兴等, 国外低放废物管理概况, 南京放射性废物处置讨论会议文件, p.26, 1983 年。

DISCUSSES ON STANDARDS FOR DISPOSAL OF INDUSTRIAL WASTE SLAG

ZHANG YOUFANG

(General Institute of Nonferrous Metal Metallurgical Design and Research, Beijing)

ABSTRACT

This paper discusses the classifications and standards for industrial waste slag issued by some countries or organizations, According to the concrete practice in china, an initial standard for treatment of industrial waste slag is proposed on the basis of cost-benefit analyses.

Key words Industrial Waste Slag, Radiation Protection Standard.

核 辐 射 事 故 照 射 与 对 策

郭 力 生

(北京放射医学研究所)

本文重点讨论了核辐射(主要针对核电站)事故的有关问题。简要论述了辐射事故的分类、分期及主要照射途径;事故应急对策的利益、代价和风险;采取对策的干预剂量水平和导出干预水平等问题。

关键词 辐射事故, 应急对策, 干预水平。

一、引言

国内外多年实践证明，核设施在正常运行或生产情况下，工作人员与公众的安全是有充分保证的。但一旦发生事故，不仅可危及人体健康，更重要的是会造成较大的心理和社会影响^[1]。为确保安全，各国在建核电站等设施时，都从选址、设计、建造、运行、退役等各环节注意抓好安全防护工作。尽管如此，仍不能完全排除发生事故的可能性。因此核设施，特别是大型设施在运行前应制定出应急计划，以便一旦出现核事故，可减轻造成的后果^[2,9]。本文仅简要论述辐射事故的分析、安全防护对策及采取对策的剂量当量等问题，主要针对核电站发生事故的情况进行讨论。

二、对辐射事故的分析

对事故的分析是制定和实施应急计划的基础。一般将事故的全过程大体分为两个或三个阶段^[3,7]。早期阶段为有严重放射性物质排放的先兆，到开始排放后的最初几小时，这个阶段的主要照射途径是来自核设施本身、烟云中的放射性物质以及沉降在地面、衣服、皮肤上的放射性物质的外照射和内照射。中期阶段为事故开始发生后的最初几小时到几天，主要照射途径一是沉降于地面的放射性物质的外照射，二是因摄入受污染的食品或水的内照射。晚期或恢复期阶段要作出恢复正常生活状况的决定，可能延续较长时间，其主要照射途径与中期相似。事故发生后放射性物质释放出的时间和过程简列于表 1。

表 1 释放起始和过程指南

由事故起始到开始向大气中释放	0.5小时—1天
放射性物质可持续释放的时间	0.5小时—几天
大部分可释放出来的时间	开始释放后的0.5小时—1天
从释放到照射点的运行时间	8km: 0.5—2小时 16km: 1—4小时

国际放射防护委员会(ICRP)和国际原子能机构(IAEA)均未对事故作具体分类。但有的国家提出了具体建议，如荷兰按事故发生后对厂区以外可能造成的影响，将事故分成三级^[4]：一级：气态放射性物质即将释放或已经排放的量超过规定限值 10 倍以内；二级：排出量超过规定限值 10 倍以上；三级：排出量不明，但已表明有可能引起较严重的危害。他们还依放射性物质排放的速度、时间、气象、地理条件和其它因素，把特定地点可能导致的辐射危险分为三级（见表 2）。这种分级的目的在于能够正确地采取适当的对策。

表 2 特定地点辐射危险级别的划分（荷兰）

危险级别	全身剂量, mSv	甲状腺剂量, mSv
I	<50	<100
II	50—150	100—300
III	>150	>300

由于照射方式和受照组织、器官不同，起重要作用的核素也不同。在反应堆事故情况下，主要考虑的是对全身(骨髓)、甲状腺和肺的照射。当考虑全身照射时，起作用的主要是放出能量在 80 keV—2 MeV γ 射线的核素(见表 3)^[5]。

表 3 对主要照射方式起重要作用的放射性核素

对 甲 状 腺		对 全 身		对 肺*	
核 素	半衰期, d	核 素	半衰期, d	核 素	半衰期, d
¹³¹ I	8.05	¹³¹ I	8.05	¹³¹ I	8.05
¹³² I	0.0958	¹³² Tc	3.25	¹³² I	0.0958
¹³³ I	0.875	¹³³ Xc	5.28	¹³³ I	0.875
¹³⁴ I	0.0366	¹³³ I	0.875	¹³⁴ I	0.0366
¹³⁵ I	0.280	¹³⁵ Xc	0.384	¹³⁵ I	0.280
¹³² Tc	3.25	¹³⁵ I	0.280	¹³⁴ Cs	750
⁸⁸ Kr	0.117	¹³⁴ Cs	750	⁸⁸ Kr	0.117
		⁸⁸ Kr	0.117	¹³⁷ Cs	11 000
		¹³⁷ Cs	11 000	¹⁰⁶ Ru	365
				¹³² Tc	3.25
				¹³⁴ Ce	284

* 当碘的吸收受阻或释放期延迟时，肺成为控制器官。

三、辐射防护对策

采取一切对策的基本目的均在于直接或间接地减少人员受照剂量。表 4 和 5 分别列出了事故不同阶段和不同照射途经可采取的对策。必须指出，将家畜撤离受污染的牧场，并喂以贮存的未污染饲料，这种措施虽不是立即对人直接有利，但从长远看是有价值的。此措施采取得越早，剂量减少得就越多^[3,5]。

表 4 可采取的防护措施对事故的不同阶段的适用性*

措 施	早 期	中 期	晚 期
隐 蔽	++	+	-
放射性核素预防剂	++	+	-
控制出入	++	++	+
撤 离	++	++	-
个人防护方法	+	+	-
人员清除污染	+	+	+
医学处理	+	++	+
改变食物和水供应	+	++	++
用贮存的动物饲料	++	++	++
地区清除污染	-	+	++

* ++ 为适用，且可能是主要措施；+ 适用；- 为不适用或有限制地应用。

IAEA 在建议书中对事故发生后不同阶段可能造成人体危害的途径，以及应采取的防护措施等进行了综合分析，其结果列入表 6^[5]。

采取任何对策都会给涉及的人员带来某种不利影响，因此采取任何一种措施所带来的

表 5 对各种照射途径可采取的防护措施

照射途径	防护措施
烟云中放射性核素的外照射	隐蔽, 撤离, 控制出入
吸入烟云中放射性核素的内照射	隐蔽, 呼吸道防护, 服稳定性碘, 撤离, 控制出入
烟云中沉降的或已沉降于地面的放射性核素对人体 的外沾染	隐蔽, 撤离, 控制出入, 除沾染
沉降在地面的放射性核素的外照射	隐蔽, 撤离, 搬迁, 控制出入, 除沾染
吸入再悬浮的放射性核素的内照射	撤离, 搬迁, 控制出入, 除沾染
食入受污染的食品或水的内照射	控制食品和水, 使用贮存的动物饲料

表 6 防护措施与特定的危害途径的关系*

可能危害的途径	时 间	对公众可采取的防护措施
来自核设施的直接照射		撤离, 控制出入
来自烟云直接照射 (及可能的地面沉降)		隐蔽, 控制出入, 撤离
吸入挥发性物质(如碘)		隐蔽, 服用放射性核素预防剂, 控制出入, 撤离, 个人防护方法
吸入气溶胶		隐蔽, 控制出入, 撤离, 个人防护方法
皮肤和衣服沾染		隐蔽, 控制出入, 撤离, 人员除沾染
吸入再悬浮粒子		撤离, 控制出入, 个人防护方法, 地区除沾染
来自地面沉降的照射		撤离, 控制出入, 隐蔽, 地区除沾染
食入污染的食品和水		改换食品和水

* 任何阶段都可能需医学处理, 必要时由主管部门进行; 在任何阶段可采取使用贮存饲料的方法以限制家畜由食物链中摄取放射性核素。

社会代价和风险应该比要避免的照射剂量所致的社会代价和风险小。ICRP, IAEA 和 WHO 均对防护措施的利益、困难、风险和代价进行了具体分析, 其中主要论点概括于表 7^[3,6-8,13]。

在恢复期应对下述问题作出决定: 对已采取对策的地区能否恢复正常生活, 是否应进行除沾染, 或是否应作出另一种生活安排。在作出任何决定时, 均应进行代价-利益分析。此决策过程也应是一个与防护最优化程序相似的过程。因而当考虑一个人群是否返回原先居住的沾染区时, 也应具体分析: 应将他们返回后所受辐射危害的代价与继续采取对策或采取其它减少辐射危害的对策的代价相加, 在这两者代价总和的最低处可找到相应的个人剂量当量水平, 即 H_{opt} , 这就是最佳或最适剂量水平(见图 1)^[3]。

四、采取对策的剂量当量水平

当发生核事故时, 制定干预计划应遵循的基本原则是: ① 采取对策, 限制个人受照剂量, 使其低于引起非随机性效应的阈值, 以免发生严重的非随机性效应; ② 采取对策, 限

表 7 不同防护对策的代价和利益

对 策	利 益	困 难、风 险 及 代 价
隐蔽	可使烟云所致外照射剂量减少到1/2—1/10, 可减少吸入所致的内照射剂量	超过12—24 h可引起社会、医学及其它方面的问题
服稳定性碘	摄入放射性碘前或摄入后立即服用效果最好; 6 h后服可使甲状腺剂量减少约50%	24 h后服药已基本无效; 短期内分发给广大公众较困难; 极少数人有过敏反应
个人防护方法	简单呼吸道防护(用湿手帕、毛巾、有吸附力的软纸等捂口鼻), 可使吸入的放射性物质减少约10倍	困难、风险、代价很小; 一般公众不需专门的防护
撤离	照射量率高时采取此措施。可减少或避免来自各种途径的照射	易引起混乱, 进行不当可导致严重后果。故应认真分析各方面情况后决定是否采取此措施。我国人口众多, 更应慎重
搬迁	照射量率未达到需紧急撤离, 但长时间照射, 剂量又较大时, 就可有计划地搬出污染区。也可避免来自各种途径的照射	因有较充分时间准备, 困难不如采取撤离措施时大。但社会风险和代价较大, 故应认真分析后再决定是否采取本措施
控制食品和水, 使用贮存的动物饲料	对奶牛控制越早, 奶中污染水平越低。控制食品可防止污染扩散	要等监测结果以判断是否采取此措施。如有其它未污染的食品供应, 本措施的困难、风险不大
控制出入	可减少或防止污染扩散; 避免进入污染区的人员受照射	控制时间久, 可使生产和生活出现困难
人员除污染	可除去体表及衣物上的放射性污染	风险、代价较小, 故采取其它对策(如撤离、搬迁等), 不影响人员除污染
区域除污染	清除污染, 可减少进污染区的人员所受内外照射剂量	大面积、大量建筑物除污染困难, 代价较大。但措施本身对公众健康的影响较小
医学处理	可减少或防止严重的放射损伤, 保障人员安全与健康	事故严重、早期对策无效时才采用, 需一定人力和物力, 处理人员多时困难及代价较大

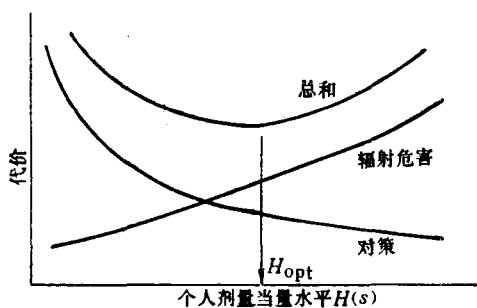


图 1 为撤销对策而确定的最佳剂量水平

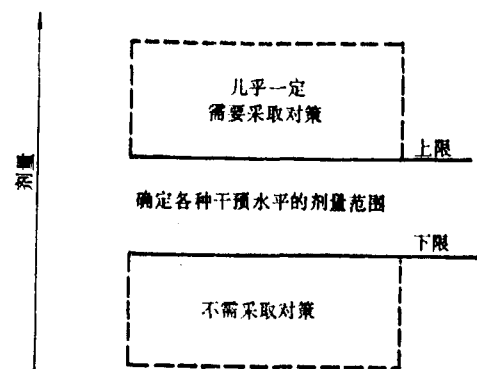


图 2 适用于各种对策的剂量范围示意图

制随机性效应的危险度, 要使受牵涉的个人得到真正的纯利益; ③ 通过降低集体剂量当量的办法, 使随机性效应的总发生率限制到可合理达到的水平。

由上述原则可见, 在决定采取对策时, 个人剂量水平才是重要的参数^[1,3], 虽然在第③项原则中集体剂量当量是主要参数, 但一般事故所致大部分集体剂量当量负担是在较远的地方积累着, 而且个人剂量水平低, 要完全避免也不切合实际。

确定干预剂量水平时还应考虑辐射剂量与效应的关系。为了防护目的, ICRP 第 26 号出版物将辐射损伤分为随机性效应与非随机性效应两类, 并提出了随机性效应的危险度。ICRP 第 40 号出版物根据已有资料, 综合分析了某些组织、器官被引起非随机性效应的阈值剂量(见表 8)。

表 8 可引起某些器官、组织非随机性效应的阈剂量

器官、组织	非 随 机 性 效 应	剂 量, Gy
全 身	呕 吐	0.5
骨 髓	死 亡	1.0
皮 肤	一过性红斑, 暂时性脱毛	3
肺	肺 炎	5
肺	死 亡	10
甲 状 腺	非致死病变, 粘液水肿和功能丧失	10

如上所述, 采取不同对策所产生的风险、困难、代价等有很大差别, 因此实施某一措施所依据的全身或单个组织器官的剂量水平应考虑这些因素的影响; 同时在采取对策时, 还要考虑受影响人群的特点。因而不可能定出一个普遍适用、且总是需要采取某种特定对策的干预剂量水平。为此, ICRP 及某些国家提出一个剂量范围。低于剂量下限值不需采取对策; 高于剂量上限就需要采取对策; 在两个剂量限值之间就是确定干预水平的剂量范围 (见图 2)^[3,4,12,13]。

为了在辐射防护实践中对采取对策所依据的剂量水平作一般性指导, ICRP 提出了事故早期阶段和中期阶段采取对策的剂量当量水平 (见表 9 和 10)^[3]。并认为晚期阶段作出恢复正常生活的决定较复杂, 尚难提出指导性数据。但 IAEA 认为, ICRP 建议的剂量限值, 原则上可作为晚期的干预水平, 因为此时源已被控制住^[7]。

表 9 早期阶段采取对策的剂量当量水平

对 策	策	剂 量 当 量, mSv	
		全 身	肺*、甲状腺和任何一个器官
隐蔽和服用稳定性碘	上 限	50	500
	下 限	5	50
撤 离	上 限	500	5000
	下 限	50	500

* 肺受 α 辐射照射时, 此值用 RBE 和吸收剂量 (mGy) 的乘积, 预计此 RBE 值小于 10。

表 10 中期阶段采取对策的剂量当量水平

对 策	策	第一年的预期剂量当量, mSv	
		全 身	单 个 受 照 器 官
控制食品	上 限	50	500
	下 限	5	50
搬 迁	上 限	500	无预期值
	下 限	50	

一般认为,事故情况下干预水平的确定是国家主管部门的责任。而确定干预水平时,除了上述的技术资料外,每个国家还要根据本国的社会、经济条件,核设施类型,地理环境特点等具体情况,因而不大可能建议一个通用值^[3,7]。综合分析美国、苏联、法国、英国、日本、联邦德国、荷兰的有关资料后可见,这些国家提出的干预剂量水平和具体规定的内容虽有差异,但建议采取不同对策的剂量范围,概括起来如表 11 所示^[1,4,7]。

表 11 某些国家建议采取应急对策的剂量范围

对 策	剂 量, mSv	
	全 身	甲状腺或其它任何组织器官
隐蔽,服用稳定性碘	5—250	50—750
撤离,搬迁	50—500	300—5000

表中所给出的剂量范围,其上限无论对全身或甲状腺等单个组织器官,均不致引起严重的非随机性效应。其全身照射剂量的下限,相当于一般公众个人的年剂量当量限值。

在发生核事故情况下,要在有限的时间内迅速判定人员受照情况比较困难。为便于在实际防护工作中应用,对于有些干预剂量水平需确定出相应的“导出干预水平”,例如放射性核素在空气、水和食物中相当于干预剂量水平的浓度,以便评价监测结果。从干预水平换算为导出干预水平要考虑多种因素,IAEA 将应考虑的主要项目列成表 12,供人们在确定导出干预水平时参考^[7]。

表 12 确定导出干预水平应考虑的项目

项 目	早 期 阶 段 (小时)	中 期 阶 段 (天、周)	晚 期 阶 段 (月、年)
关键途径	设施直接照射 烟云全身照射 吸入再悬浮液 食用直接沾染的水和食品	饮牛奶 吃第一次收获的谷物 地面沉降物的照射	吸入再悬浮物 吃第二次和以后收获的谷物 地面沉降物的照射
关键核素	惰性气体 碘	碘同位素, ⁸⁹ Sr ⁹⁰ Sr, ¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs, ¹³² Te 微粒(堆芯熔化事故)	⁹⁰ Sr, ¹³⁷ Cs 及其它长寿命核素 (取决于源项)
剂量概念 导出干预水平*	仅个人剂量 空气浓度时间积分 食品活度 饮用水活度	个人及集体剂量 表面沾染活度 牛奶活度 谷物、蔬菜等活度 饮用水活度 空气活度	个人及集体剂量 耕作深度的土壤活度 谷物活度 饮用水活度 空气活度

* 关键核素为碘时,应分别确定儿童和成人的导出干预水平。

一些国家结合实际条件,参考文献中有关的剂量学和生物代谢资料,推导出了实际应用的导出应急参考水平。例如,英国 MRC(Medical Research Council) 提出核反应堆事故时的导出应急参考水平建议值(见表 13 和 14)^[10]。联邦德国也根据预期的甲状腺受照剂量(即应急参考剂量水平),推导出相应的导出行动水平建议值(表 15)^[7]。

表 13 内照射导出应急参考水平建议值(英国)

项 目	¹³¹ I		¹³⁷ Cs		⁹⁰ Sr		⁸⁹ Sr	
	儿 童	成 人	儿 童	成 人	儿 童	成 人	儿 童	成 人
空气, Ci·s·m ⁻³	0.04	0.15	3.5	1.5	0.05	0.08	0.85	6
牛奶, Ci·l ⁻¹	0.25	3.5	5.5	10	0.15	0.55	3.5	100
牧草, μCi·m ⁻²	2	25	20	35	0.5	25	200	6500

注 (1) 表列各项导出应急参考水平, 空气为放射性浓度的时间积分值; 牛奶为活度峰值; 牧草为初始活度。表列值所依据的应急参考剂量水平是:
¹³⁷Cs——全身100mSv; ⁹⁰Sr, ⁸⁹Sr——骨髓 100 mSv; ¹³¹I——甲状腺 300 mSv。
 (2) 1Ci=3.7×10¹⁰Bq。

表 14 某些核素在空气中的导出应急参考水平⁽¹⁾(英国)

核 素	吸入引起的剂量 ⁽²⁾⁽⁴⁾ , mSv·μCi ⁻¹		空气中的活性浓度时间积分, ⁽³⁾ Ci·s·m ⁻³	
	成 人	6 月儿童	成 人	6 月儿童
²³⁹ Pu	2800	28000	4.7×10 ⁻⁴	1.5×10 ⁻⁴
²⁴¹ Cm	330	3300	16×10 ⁻⁴	5.2×10 ⁻⁴
⁹⁵ Zr + ⁹⁵ Nb	1.7	17	0.77	0.25
¹⁰⁶ Ru + ¹⁰⁶ Rh	31	310	0.042	0.014
¹⁴⁰ Ba + ¹⁴⁰ La	1.2	12	1.1	0.36
¹⁴⁴ Ce + ¹⁴⁴ Pr	26	260	0.050	0.016

注 (1) 上述值是根据肺组织平均受300mSv照射时的应急参考剂量水平。
 (2) 吸入有子体的β辐射体时, 吸入每μCi所致剂量是1μCi母体加上1μCi子体所致的剂量, 即假设吸入时母体与子体处于放射平衡状态;
 (3) 计算时, 假设粒子的AMAD=1μm;
 (4) 1Ci=3.7×10¹⁰Bq。

表 15 对吸入¹³¹I的导出行动水平建议值(联邦德国)

危 险 程 度	预期甲状腺剂量, mSv	在空气中的活性浓度时间积分, Ci·s·m ⁻³	
		儿 童	成 人
I	<250	<0.035	<0.08
II	250—5000	0.035—0.7	0.08—1.5
III	>5000	>0.7	>1.5

注 1Ci=3.7×10¹⁰Bq

对工作人员的应急照射, ICRP 26号出版物和IAEA的基本安全标准都作了原则说明, 但未提出具体剂量限值。ICRP 40号出版物明确提出, 在严重事故情况下, 为了抢救生命、防止严重损伤或重新控制核装置, 此时无法也不宜规定剂量限值。这种超剂量限值的照射应出于受照者自愿, 且应让其了解可能带来的危害。此时为了防止严重的非随机性效应, 全身受照剂量(低LET辐射)不应超过0.5 Gy; 最易受照的器官或组织不应超过

5 Gy。有的国家也提出过一些规定,如美国有关部门提出,在平时核事故情况下,为了抢救生命可接受 30—2000 mGy 的全身照射剂量;为了控制局势可接受 30—1000 mGy 的全身照射剂量;为了抢救财产可接受 30—250 mGy 的全身照射剂量^[11]。这些可供我们在确定应急照射剂量时参考。

参 考 文 献

- [1] Preparedness and response in radiation accident, U.S. HHS Publication, FAD 83-8211, 1983.
- [2] ICRP, Publication 26, 1977.
- [3] ICRP, Publication 40, 1984.
- [4] John, W.L. (ed.) et al., Planning for rare events: Nuclear accident preparedness and management, Proceeding of an international workshop, Pergamon press, 1980.
- [5] IAEA Safety Series, No. 55, 1981.
- [6] ICRP, Publication 26, 1977.
- [7] IAEA Safety Series, No. 47, 1978.
- [8] The dose limitation system in the nuclear fuel cycle and in radiation protection, IAEA, Vienna, 1982.
- [9] IAEA Safety Series, No. 9, 1982.
- [10] Criteria for controlling radiation doses to the public after accidental escape of radioactive material, MRC, London, 1975.
- [11] The control of exposure of the public to ionizing radiation in the event of accident or attack, Proceeding of a symposium, NCRP, 1981.
- [12] Nuclear Power: Accident releases—principles of public health action, WHO Regional Publications, European Series, Copenhagen, No. 16, 1981.
- [13] Emergency plan in the event of an accident in a nuclear installation, WHO, International Collaborating Centers in Radiopathology, 1983.

ACCIDENTIAL RADIATION EXPOSURE AND COUNTERMEASURES

GUO LISHENG

(Institute of Radiation Medicine, Beijing)

ABSTRACT

This paper discusses briefly about some aspects of an accident in a nuclear installation. The main contents include the classification, successive phases of radiation accident and exposure pathways, benefits, costs and risks of emergency countermeasures, intervention level and derived intervention levels.

Key words Radiation accident, Emergency countermeasure, Intervention level.