

·述评·

放射性同位素应用中的辐射防护概况与事故分析

范深根 贺青华¹ 侯庆梅 杨霞¹ 李晓颖 周启甫 申宝鸣

(卫生部工业卫生实验所, 北京 100088)

中图分类号: R145; TL73 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2000)04-0200-05

摘要: 本文较全面地阐述了我国辐射防护管理体系、规章和标准, 并根据全国放射卫生统计数据 and 11 年放射事故资料, 从预防性监督、经常性监督、职业照射剂量、屏蔽与安全技术和安全教育 5 个方面总结了我国辐射防护管理现状, 列出了 329 起放射事故的年度分布, 重点分析了 γ 辐照装置、 γ 工业探伤、放射性物质运输和污染以及丢失事故。通过对放射事故原因的分析, 提出做好放射性同位素应用中安全与防护, 严格执法, 推行安全评价制度, 广泛应用安全技术和加强安全教育等建议。文中列出最新的图表数据, 供广大同行和有关管理部门参考。

关键词: 同位素应用; 辐射防护管理; 放射事故

1 引言 随着国民经济的发展, 我国放射性同位素与辐射技术的应用也迅速地发展着。据不完全统计^[1], 到 1999 年底全国放射性同位素的放射治疗装置约有 950 台、辐射加工装置有 120 余台、工业探伤设备有 400 余台在运行, 另外还有其他应用密封源的装置近 2.9 万台。总装源活度达 5.0×10^{17} Bq (1.350 万 Ci, 其中 80% 用于工业辐照)。非密封源应用达 1.0×10^{14} Bq (2.700 Ci, 其中 95% 用于核医学)。这类设备每年还在以 10% 左右的速度增长着。我国现有放射工作人员约 20 万, 主要集中在放射诊断领域, 从事放射性同位素应用和生产的约有 4.7 万, 主要集中在核医学、放射治疗和密封源的其它应用领域。潜在照射相对比较大的辐照应用和工业探伤领域的约有 3 400 人。

有人估计, 我国现有密封型放射源约 5 万枚, 但与美国有 200 万枚相比, 还有很大发展空间, 在我国这项技术的发展方兴未艾。

放射性同位素的广泛应用已给人类带来了巨大利益, 但是辐射也会发生事故, 造成财产和生命的损害。即使是发达国家也常有放射事故发生, 但在我国事故发生的概率要比他们高许多。所以, 放射性同位素的广大用户和有关管理部门, 对辐射防护与安全必须给予足够重视。

2 法规与标准

2.1 管理体系 1989 年国务院发布了《放射性同位素与射线装置放射防护条例》(国务院 44 号令, 下称《条例》), 使我国对放射性同位素与射线装置的放射防护管理比较完整地进入了法制管理的轨道。该《条例》和国务院批准的三方方案中都明确规定国务院卫生行政部门主管全国放射卫生工作, 行使放射卫生监督职责, 县级以上卫生行政部门是放射卫生监督执法的主体。《条例》第五条明确规定“国家对放射工作实行许可登记制度, 许可登记证由卫生、公安部门办理。”第六条又明确规定“新建、改建、扩建放射工作场所的放射防护设施, 必需与主体工程同时设计审批、同时施工、同时验收投产。放射防护设施的设计, 必需经所在省、自治区、直辖市的卫生行政部门会同公安等部门审查同意。竣工后须经卫生、公安、环境保护等部门验收同意, 获得许可登记证后方可启用。涉及放射性废水、废气、固体废物治理的工程项目, 必须在申请审查的同时, 提交环境保护部门批准的环境影响评价文件, 竣工后必须经卫生、公安、环境保护等部门验收同意。”第二十五条明确了卫生行政部门放射防护监督的五项职责: 负责对放射工作监督检查; 组织实施放射防护法规; 会同有关部门调查处理放射事故; 组织放射防护知识的宣传、培训和法规教育; 处理放射防护监督中的纠纷。还规定了申请许可登记的基本条件, 许可登记证核查、放射防

护监督与管理、放射事故管理和违章处罚以及环境保护和公安部门职责的相应内容。

十多年的实践证明, 该《条例》的颁布实施, 有效地提高了我国放射防护监督管理工作水平, 提高了放射卫生监督依法行政的能力。

2.2 管理规章 放射防护法规与标准的建立与实施是提高一个国家放射防护水平的基础性工作。我国自 60 年代初开始逐步建立了适合我国国情的放射卫生法规体系和标准系列, 特别在《条例》颁布以后, 进一步加快了研制的步伐, 目前已形成了较为完整的体系。

在法规方面, 除了《条例》以外, 卫生部发布(或与有关部委共同发布)的有关放射卫生的重要行政法规和规范性文件有 30 余项, 它包括了各类核设施和放射设施(放射工作实践)的申请和审查程序、预防性监督和经常性监督内容和程序, 放射防护条件的要求, 含放射性物质消费品、放射性物质运输、放射事故分级和报告、放射工作人员的管理和剂量计算、辐照食品和监督队伍建设与管理等。与此同时, 卫生部在 1980 年发出了“省(市、自治区)级放射卫生防护机构的基本任务”之后, 很多省级放射卫生行政部门也制定了不少相应的规定。这些行政法规和规范性文件的颁布和实施, 使我国放射防护的监督管理基本做到了有章可循, 促进了全国放射防护水平的不断提高。

2.3 防护标准 我国放射卫生防护标准专业委员会把放射防护标准分为基础标准、医疗照射、职业照射、公众照射、天然照射和核设施等六类, 目前已有的标准达到了基本能满足国内需要的程度, 以职业照射方面的标准为例, 分别由该专业委员会和核工业系统的辐射防护专业委员会制定并已颁布的有 46 项, 正在制订(修订)的有 16 项, 共 62 项。它大体上已涉及到放射性同位素和射线装置应用的各个领域, 不但对工作场所的要求给出了设计建造方面的标准, 也给出了操作、运行、维修和源贮存的规范化要求。对安全和辐射防护要求技术难度较高的放射设备作了规定, 也对内外照射受照剂量的测量和估算作了规定。这些标准既参照了 ICRP 和 IAEA 的相应标准或导则, 也注意结合我国实际, 实用性较强, 对我国放射防护水平的提高, 促进核技术健康有序的发展起到了很好的推动作用。例如对安全防护技术难度大, 潜在照射危险度很高的 γ 辐照装置, 为适应这项技术的特点和发展的需要, 我国在 1988 和 1989 年适时地分别颁布了“辐照加工用钴-60 辐照装置的辐射防护规定”(GB10252)和“钴-60 辐照站的辐射安全防护设计规范”(EJ377)。90 年代, 随着国内外安全技术经验的不断完善, 以及 80 年代中期我国辐照装置放射事故较多的情况, 1991 年卫生部不失时机地颁发了“ γ 辐照加工装置放射卫生防护管理规定”, 把正在设计和建造的辐照装置纳入了安全技术标准化管理的轨道。不久, 对上述 2 个标准作了修改, 1998 年又颁布了“ γ 辐照装置设计建造和使用规范”, 这样, 我国在 γ 辐照装置方面已具有了一套较为完善的安全与防护标准。

3 现状与问题

3.1 放射工作许可(预防性监督) 《条例》规定, 凡在我国境

1 卫生部卫生法制与监督司

作者简介: 范深根(1940~), 男, 上海市人, 研究员, 现任卫生部放射卫生专家组副组长, 中国核学会同位素学会常务理事, 主要从事全国放射卫生监督管理。

内生产、使用、销售放射性同位素的单位和个人，必须持有放射性同位素工作许可证，此证由卫生行政部门根据工作的具体情况进行审查同意后颁发。这里的“审查”就是预防性卫生监督。预防性卫生监督是“预防为主”卫生工作方针的具体体现。通过该项监督可以发现和解决设计、施工等过程中存在的不安全因素，做到防患于未然。表 1 给出了 1997—1999 年我国放射卫生预防性监督率和 1999 年的实审查项目数^[1-3]。从表中可以看出，我国放射卫生预防性监督率不高，而且很不恒定。另据统计，1999 年审查的 240 个项目中有 13 个项目不合格，而且其中一个为辐照装置。辐照应用、放射治疗和工业探伤的监督率都应控制在 100%，因为这些场合发生事故后很容易引起大剂量照射，而且设备数量也很有限。密封源其它应用的监督虽难以做到 100%，但近两年的监督率也是实在太低了，这是丢源事故多的主要原因。从审查项目的合格率上看，今后进一步加强预防性监督也是完全必要的。

表 1 1997—1999 年放射卫生预防性监督率^①(%)

行 业	1997 年	1998 年	1999 年
核医学	91.4	86.9	91.3(52) ^②
放射治疗	86.4	93.5	90.9(36)
辐照应用	90.9	100.0	100.0(3)
工业探伤	49.0	85.8	83.4(10)
密封源其它应用	95.6	65.4	74.7(115)
非密封源其他应用	91.7	66.7	100.0(13)
生产	100.0	100.0	100.0(11)
平 均(合计)	87.5	73.4	82.8(240)

① 预防性监督率=实审查项目数/应审查项目数，② 括号内为 1999 年实审查项目数

3.2 经常性监督 经常性卫生监督是监督机构对已运行的放射设备和场所是否符合有关法规和标准的要求进行监督检查，帮助业主完善防护条件，防止放射事故发生和减少工作人员受照剂量。从表 2^[1-3]可以看出，近 3 年放射卫生经常性监督率虽然在不断提高，但也是不能令人满意的。特别是同位素生产部分的监督很不得力，造成有关生产单位发生丢源事故和生产人员受照剂量较高的情况。对密封源其它应用的监督率虽不很低，但因用户较多，每年仍有约 1 000 户没有受到监督检查，而且，据 1999 年统计，被检查的单位中只有 78.7% 是合格的。很明显，这些都是丢源事故多的重要原因。

表 2 1997—1999 年放射卫生经常性监督率^①(%)

行 业	1997 年	1998 年	1999 年
核医学	74.3	84.1	85.9(1 249) ^②
放射治疗	79.2	85.5	88.5(561)
辐照应用	87.3	93.0	82.9(87)
工业探伤	67.8	87.3	90.4(271)
密封源其它应用	71.8	80.1	81.8(5 035)
非密封源其他应用	70.4	54.0	80.2(291)
生产	35.8	57.2	82.9(111)
平 均(合计)	72.3	79.7	83.1(7 605)

① 经常性监督率=实监督户数/应监督户数，② 括号内为 1999 年实监督户数

3.3 职业照射剂量 放射工作人员个人剂量监测率及其所受剂量高低表示了一个国家或单位的放射防护工作的水平。表 3 给出了我国近 3 年操作放射性同位素的个人剂量监测结果。从表 3 可以看出，我国个人剂量监测率在不断提高，而且近 3 年的人均年剂量当量分别是 1.346 mSv，1.134 mSv 和 1.171 mSv，说明也在下降。但是，与发达国家相比，我国的个人剂量监测率还很低，人均年剂量也偏高，特别是同位素生产人员的年剂量均值常是上述均值的几倍。另据统计，近 3 年接受个人剂量监测的人员中，所受剂量超过年剂量限值的比例分别达 0.03%，0.05% 和 0.04%，其中主要是同位素生产人员。这个比例与发达国家相比也高出几倍。

3.4 屏蔽与安全技术 辐射屏蔽技术的应用在我国一直得到比较好的重视，近几年新的技术在我国核技术应用领域被广泛采用^[4-8]。但是，从近几年的放射防护评审中看，普遍有过于

偏安全现象，即在屏蔽墙计算和设计中的安全系数过大。例如， γ 辐照装置的屏蔽墙很多比实际需要的厚几十厘米，个别的达 50 cm，这是很大的浪费。在防止误照的安全技术方面，这几年也有很大的发展，其可靠性、实用性、多样性和规范化都有很大的提高。例如 γ 辐照装置上防止人员误入、门机联锁和防止误升源的技术已有数 10 种^[9]，防止运行中的小放射源被盗的技术也有很多种，还总结了很多经验^[10-14]，常州市还举办了丢失放射源事故应急处理的演习^[15]，介入放射学诊断与治疗中的防护也得到了重视^[16-21]。但是，这些技术和经验没有很好地推广，主管部门的监督力度也不够。这些是我国某些领域特别如 γ 辐照装置和小密封源使用场所等放射事故较多和介入放射学工作者的受照剂量较高的主要原因。

表 3 1997—1999 年个人剂量监测率^①(%)

行 业	1997 年	1998 年	1999 年
核医学	60.6	56.9	55.5(1 524) ^②
放射治疗	58.6	67.7	64.6(0.988)
辐照应用	56.7	61.8	58.8(0.983)
工业探伤	53.8	63.2	55.7(1.403)
密封源其它应用	39.6	41.4	48.6(0.852)
非密封源其他应用	34.3	45.5	48.5(1.024)
生产	50.9	42.5	36.1(5.069)
平 均(合计)	46.1	49.0	51.4(1.171)

① 个人剂量监测率=实监测人数/应监测人数，② 括号内为 1999 年人均年剂量(mSv·a⁻¹)。

3.5 安全教育 随着现代管理的发展，世界各国都认识到对放射工作人员进行必要的安全教育是做好放射防护工作的重要组成部分，它可以使直接接触辐射的人员自觉地充分利用和采取有效的防护措施，减少受照和避免事故的发生。我国东部有一个直辖市，1975—1986 年间几乎年年有事故发生，1985 年开始他们对放射工作人员全面地有计划地开展安全教育培训至今达到了 10 多年无事故的高水平。表 4 给出了我国各放射防护机构近 3 年对放射工作人员进行教育培训的概况。从表中可以看到，这些年的培训率虽然有所提高但仍然很低。特别是如大剂量受照事故很容易发生的辐照应用和工业探伤的工作人员平均 4 年才能受到一次安全教育培训，有的甚至 10 多年也未受过一次正式的安全培训，有很多单位的法定代表人和安全负责人从未受过正式的安全教育，所以他们很少能有效地解决安全问题。这是我国放射事故较多的主要原因之一。

表 4 1997—1999 年安全教育培训率^①(%)

行 业	1997 年	1998 年	1999 年
核医学	18.7	30.9	25.2(1 666) ^②
放射治疗	22.5	29.0	30.9(1 509)
辐照应用	13.5	23.1	24.5(316)
工业探伤	17.7	27.7	29.0(605)
密封源其它应用	17.7	25.4	24.4(6 436)
非密封源其他应用	16.7	18.0	14.3(534)
生产	3.9	14.9	10.8(226)
平 均(合计)	17.4	25.5	24.0(11 292)

① 安全教育培训率=受培训人数/放射工作人员数，② 括号内为 1999 年受培训人数

4 事故与原因

4.1 年度与行业事故统计 图 1 和表 5 给出了 1988—1998 年我国发生的放射事故(含射线装置的事故，它约占总数的 10%，下同)年度和行业分布。我国发生放射事故每年大约在 25~30 起。1995—1996 年曾有降低的趋势，但随后的 2 年又明显的升高了。美国 NRC(核管理委员会)每年要向国会报告一次当年放射事故的发生情况，他们每年也有约 30 起事故。但前面说到，美国应用放射源的规模比我国大得多，放射源的数量(枚)约是我国的 40 倍，因此，实际上我国放射源应用中的事故发生率比美国高许多倍。

从表 5 可以看出，在 1988—1998 年的 11 年中，放射性同位素应用中放射事故主要发生在小型密封源(主要是“三计”和核子称)应用的单位，约占全部事故的 80%。据不完全统计，它的

受照人数和工作日损失也最多, 分别约占 55% 和 78%。该领域中的事故主要是丢失放射源, 导致很多公众受照, 找源过程又占用了很多劳动力。辐照应用中的事故虽然绝对数不高, 但后果最严重, 除辐照死亡 5 人外, 受照集体剂量和经济损失也均在各行业之首, 分别约占总数的 67% 和 58%。

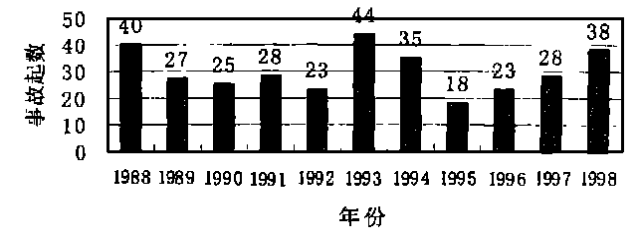


图 1 1988—1998 年放射事故年度分布

表 5 1988—1998 年放射事故行业分布*

行 业	事 故 总起数 (起)	受照 人数 (人)	受照 剂量 (人·Sv)	经济 损失 (万元)	工作日 损失 (人·月)
核医学	2	1(1)		1.3(2)	
放射治疗	22	86(7)	16.65(4)	31.8(13)	5.0(2)
辐照应用	9	163(8)	55.98(7)	741.2(7)	10.6(2)
工业探伤	12	66(11)	6.69(10)	99.5(9)	33.3(3)
密封源其它应用	244	460(45)	3.34(38)	385.9(164)	242.1(50)
非密封源其他应用	5	1(1)		10.3(2)	1.3(1)
运输	13	57(4)	0.91(3)	14.5(10)	18.3(3)
合 计	307	834(77)	83.57(62)	1 284.5(207)	310.6(61)

* 括号中数字表示该项统计所涉及事故起数。

4.2 γ 辐照装置事故概况 表 6 给出了 11 年中 9 例 γ 辐照装置事故的简要情况。从表中可以看到, “921119” 事故是退役源

没有正确处理造成的。装置退役后 13 年才处理源, 而且放射源的资料不清楚(装置贮存池内有几个放射源也未搞清), 参与处理的技术人员违反技术规程, 在储源井数米深的水未排的情况下结束处理源的工作。但是, 其它所有事故都是在装置运行中发生的。如“900625”事故, 在“四未”(未在操纵台降源, 未进行安全检查, 未确定源位置, 未带个人剂量报警仪)的情况下直接用钥匙打开早知联锁失灵的防护门, 7 人进辐照室, 直到操纵室核对记录时才发现源在照射位置, 事故导致两人死亡。必须强调的是, 这 7 起运行中事故, 进入现场受照的人员都没有带个人剂量报警仪。有 3 起事故与运行设备经常有故障有关, 有 2 起事故与安全措施不完善有关。另外, 1994 年两座运行不久的装置各发生了一次“降源反卷”(源降到安全位置后马达不停钢丝绳反绕继续把源往上提升)事件, 幸好进入人员带的个人剂量报警仪和剂量仪表报警后即退出, 未造成人员超剂量受照事故^[2]。这与设计错误有关, 所以高度危险装置的设计资格管理也迫在眉睫。

4.3 γ 工业探伤事故 11 年中 γ 工业探伤方面发生的事故共 12 起, 其受照人数、集体剂量、经济和工作日损失已列于表 5。表 7 给出了其中 5 起事故概况。表 7 表明, 在 3 起事故中, 收工后员工对放射源丢失(脱落)几乎没什么警惕性; 再是多数未带个人剂量报警仪, 自我保护意识很差。这些都与安全教育不够有关。

4.4 丢源事故 表 8 给出了丢失放射源事故的有关统计。11 年中发生丢失放射源事故共 250 起, 占同位素应用领域全部事故的 80.9%; 共丢失 546 个源, 未找回的源 235 个, 占丢失源的 43.0%; 250 起事故中有 133 起的源全部或部分未找回; 丢失的放射源其核素主要是¹³⁷Cs、⁶⁰Co。表中的“其它应用”包括地质勘探、油田测井、燃煤生产、化工、科研和学校等。由表可见, 丢失放射源事故主要发生在水泥生产行业, 占丢失源总事故的 37.2%。该行业中乡镇企业占绝大多数, 安全管理的意识比较差。地质勘探中丢失的源也不少, 但主要是检验源, 放射性活度较低。

表 6 γ 辐照装置事故概况

序号	时间	地点	事故发生概况	主要 辐射伤害	经济 损失 (万元)	工作日 损失 (人·月)
1	880818	天津	源室员工做完排风后, 误认为该源(5.9×10 ⁴ Bq)已降到水井, 在未佩戴剂量计和报警仪情况下进辐照室搬移样品, 约 40 s 后发现源仍在辐照位置立刻退出。	2 人分别受到 1.28 和 0.28 Gy 照射。	12	9.3
2	891212	上海	辐照结束, 苏陆两人在降源(2.9×10 ⁴ Bq)后, 未观察升降源钢丝绳状态即进入源室, 由于被辐照的反应器器壁变形, 源卡在其内壁上, 发现后即撤离。经模拟, 苏距源中心 1 m 处停留 22 s, 陆 7 s。	2 人性腺受照各为 1.4 和 0.45 Gy, 人体直立时胸腹部平均剂量 0.4 和 0.127 Gy		
3	900625	上海	6 时员工陈给源室通风而后外出购物。9:00 陈未在操纵台降源, 未进行安全检查, 未确定源位置, 未带剂量计而直接用钥匙打开防护门, 7 人先后进入源室搬运物品。9:40 陈在操纵室核对记录时发现源仍在工作状态才降源。	7 人剂量分别为 2.0, 2.4, 2.5, 4.1, 5.2, 11 和 12 Gy。2 人死亡。	500	
4	911206	河北	6 人送牙膏到辐照室灭菌, 员工误以为源在井下, 引导两人进入, 另一人进入并绕辐照台缓慢走了半圈, 此时发现源仍在井上。	体检未见明显异常改变。	0.5	1.3
5	921113	湖北	55×10 ⁴ Bq 钴-60 辐照装置, 因无有效联锁设施, 员工疏忽大意违章而误入。	4 人分别受到 0.47~3.6 Gy 照射	167	装置 停产
6	921119	山西	某地区科委 1980 年使用新建钴源室, 而旧址归地区环监站, 源室封存。该站急于扩建, 有关部门私邀技术人员在源资料不全情况下组织处理。一民工在拆除源储存井时捡到了未处理完的一个源(当时误为贵重物)放入衣袋里带回家, 发病就诊时丢弃, 后在一路旁垃圾堆中找到该源(4.7×10 ¹¹ Bq)。	4 人发生急性放射病, 其中 3 人死亡。另受照在 5 mGy 以上的有 141 人。		
7	930910	四川	辐照场 2 职工在辐照室控制系统失控, 无灯光下, 忘带剂量报警器进辐照室, 分别在距源(3.6×10 ¹⁵ Bq ⁶⁰ Co)1 m 和 2.2 m 处同时发现源板未降至贮存位, 立即跑出。	2 人全身剂量分别为 380 和 130 mSv。	0.7	
8	980128	黑龙江	凌晨悬挂链故障停车, 员工未注意辐照室外门红灯和控制台上辐射仪表指示, 也未携带剂量报警仪和剂量计进入辐照室。	一生物剂量达 5 Gy	60	

4.5 放射性物质运输事故 据不完全统计, 11 年内放射性物质运输中共发生事故 13 起, 主要后果已统计在表 5 中, 表 9 给

出了其中比较典型的 5 例。这些事故中有 4 例与发货人使用的运输容器或操作不符合安全要求有关, 运输途中震碎内容器、污染或源滚出暴露; 也有 3 例与承运部门管理不善有关, 造成源丢失或把货发给非货主; 有 3 例与运输工具不合要求(如车底板漏等)有关, 造成源或源连同铅罐一齐丢失在途中, 其中 2 起丢的源没找到, 一起的源丢后 13 d 在一农民家中找到, 幸好源的活度不大, 铅罐也未破坏, 否则后果不堪设想; 有 2 例是自带源乘公共汽车, 途中车停人下车, 回来时车已开走。

4.6 放射性物质污染事故 据不完全统计, 11 年中造成放射性物质污染的事故共 18 起, 其中 6 起只污染在工作场所, 12 起形成了环境污染。表 10 给出了 8 例放射性物质污染事故的概况。污染工作场所的事故中最严重的是 1998 年 5 月山西某核医学室张某分源操作时把注射器抽取的药液推洒在盐水瓶外,

纱布沾擦后不久, 又误拿到办公桌上并用其刷洗水杯, 该水杯冲茶饮用, 茶叶倒入花盆, 进入甲功室时甲功仪计数增高确认受了内污染。经测定张某误服碘-131 活度为 1.20×10^7 Bq, 甲状腺表面照射量率为 6.2×10^{-7} C·kg⁻¹·h⁻¹。倒入花盆茶叶照射量率为 2.58×10^{-7} C·kg⁻¹·h⁻¹。

造成外环境污染的事故主要是料位计(一起密度计)上的源连同铅罐被盗经废品收购站进了炼钢(铁)炉熔化在大量钢(铁)材中。据不完全统计, 11 年中我国共发生了 6 起这样的事故, 相当于每年 0.545 起。据报道, 美国 1983—1998 年的 16 年中, 共发生 30 起放射性物质意外熔化事件, 相当于每年 1.875 起。从事故起数看, 他们是我们的 3.44 倍, 但考虑到使用放射源的规模, 实际上, 我国的放射性物质意外熔化事件的概率比美国高约一个数量级。

表 7 γ 工业探伤事故概况

序号	时间	地点	事故发生概况	主要 辐射伤害	经济 损失 (万元)
1	880310	辽宁	铱-192(1.3×10^{12} Bq)探伤机在现场失灵, 员工处理中源脱落(当时未发觉), 一人误认为探伤机零件拾起拿在手中, 被发现后装入探伤机内。	一人手部剂量范围 4.5~13.358.5 mGy, 数人全身 0.30~84.6 mGy。	1.5
2	881222	江苏	探伤机故障未及时修理, 卡源, 源脱落, 被一员工拾回家。铱-192, 源强 2.5×10^{11} Bq。	14 人受不同程度照射, 1 人局部皮肤放射性烧伤 III°	
3	890531	北京	使用输源不畅的探伤机, 将 0.56×10^{12} Bq 铱-192 源拽出, 在慌乱中徒手将源抛至 3 m 以外, 后以徒手装入铅罐内。	1 人手部受照 10~30 Gy。	1
4	911203	内蒙古	晨 5 点多收源, 发现源(铱-192, 1.3×10^{12} Bq)卡在输源管中, 两人强行将放射源绞回源室而受照。	2 人全身分别为 0.24 和 0.07 Gy, 手部 2.0 和 0.5 Gy。	
5	960105	吉林	夜 12 点照明灯发生故障而收源(铱-192, 2.7×10^{12} Bq)时, 发现探伤机钥匙把断了, 在探伤机未放入库房前关闭了剂量报警仪, 致源脱落, 在现场未发现。次日晨被一民工拣到带在身上受照约 10 h。	民工全身剂量约 3 Gy, 中度骨髓型急性放射病。已截去四肢。	51

表 8 丢失放射源事故统计

行 业	事故起数(起)	放射性核素	丢失源数量(枚)	未找回源数量(枚)	未找回源活度(G Bq)	经济 损失(万元)
医用	22	⁹⁰ Sr, ⁶⁰ Co	27(22)*	10(8)	7.1(7)	21.3(14)
工业探伤	4	¹⁹² Ir	6(4)			93.3(3)
水泥生产	93	¹³⁷ Cs, ⁶⁰ Co	148(93)	66(49)	587.1(39)	101.2(63)
其它应用	131	¹³⁷ Cs, ⁶⁰ Co, ²²⁶ Ra	370(131)	159(76)	1 075.3(61)	303.3(74)
合 计	250	¹³⁷ Cs, ⁶⁰ Co, ⁹⁰ Sr, ²²⁶ Ra, ¹⁹² Ir	546(250)	235(133)	1 669.5(107)	519.1(154)

* 括号中数字表示该项统计所涉及事故数起

4.7 事故原因分析 根据资料, 笔者对 329 起(含射线装置)放射事故的主要直接原因进行了分析, 其原因分布列于表 11。由表 11 可以看出, 由人为因素造成的责任事故占绝大部分, 达 84.5%, 其中主要原因是管理不善, 占 47.7%。管理不善的表

现为缺乏维修维护、职责不清、防护条件不完善和缺乏检查。其次是领导失职, 占 19.5%, 它的表现形式为无证使用、雇用临时工不教育、长期不明确管理人员和长期不检查。这些问题的存在, 与对各方面人员的安全教育培训很不够有关。

表 9 放射性物质运输事故概况

序号	时间	地点	运输方式	事故经过和原因	后 果
1	890331	甘肃	汽车	从夹江装运源 32 枚, 一枚 6.3×10^8 Bq 钴-60 源撒落丢失在夹江→兰州约 1 400 公里的途中。事故原因是铅罐盖子没铅封, 外包装木箱简陋。另 2 枚源的铅罐盖子也翻倒, 源暴露。	11 人查寻, 工作日损失 300 个, 经济损失 5 万元。丢失一枚钴-60 源。
2	900517	山西	汽车	测井工程车在灵丘测井后, 沿沙河→繁峙→原平→忻州→太原返榆次途中, 固定专用铅罐的钢焊接处颠簸断裂, 源丢失。	源未找到。
3	910810	陕西	汽车	地质队搬迁途中因测井车底部钢板腐蚀, 颠簸破烂, 钴-60 源(5.8×10^7 Bq)连同铅罐外漏, 被一农民捡回家, 13 d 后找到(铅罐未破坏)。	经济损失约 3 000 元。
4	940419	重庆	自带	携带碘-125(液体)乘小公共汽车, 途经一加油站加油, 乘员全部下车, 肇事者去厕所, 出来车已走, 立即上另一车追去, 但未追到。	经济损失约 2 万元
5	960703	广东	空运	将 2 个铱-192 源装在同一铅罐内, 而其中一个(6.8×10^{10} Bq)被卡在罐顶, 包装表面超剂量, 托运者未检测, 自填剂量证明交付空运, 抵达港检查发现。	42 名乘客等人均受照 1.63 mGy, 集体剂量 0.89 man·Sv

表 10 放射性物质污染事故概况

序号	时间	地点	经过和原因	主要后果
1	890112	吉林	私自将料位计钴-60源(7.4×10^8 Bq)运到另单位山洞存放。2 a 后发现由于没有交接手续并没有专人管理,致使铅罐被盗,源被砸碎造成放射源散漏在山洞内。	污染 $1.5\text{ m}\times 1.5\text{ m}$, 水泥沙浆覆盖 15 cm 厚, 做标记, 洞口石头封死。经济损失 $5\,000$ 元。
2	890307	河南	计划在放射性污水蒸发池内养鱼净化, 将污泥全部挖出扔到池的周围, 后又扔到墙外, 发现后又全部清理回蒸发池(锶- $90, 6\times 10^7$ Bq)。	工作日损失 $30\text{ a}\cdot\text{天}$, 经济损失 $3\,000$ 元。
3	890630	湖南	立窑检修时拆卸料位计, 不慎将源(铯- $137, 7.4\times 10^8$ Bq)掉入熟料输送带输入球磨机, 随水泥包装销售出厂。水泥用于水利建设工程。	
4	910427	内蒙	两个月内一学生(14 岁)从源库内盗走铅罐、铅衬 30 个, 钴针 92 根, 总活度 5.2×10^7 Bq。在源库门口砸碎, 液体源(锶- $90, 1.1\times 10^6$ Bq)撒在铅室内, 标准源(3.7×10^5 Bq)打碎。源库门口污染 5 m^2 。钴针 70 根找回。污物存废源库。	钴针 22 根未找回, 社会影响大。受照 4 人, 1 人 11.5 mGy , 3 人 $1\sim 5\text{ mGy}$ 。
5	930531	湖北	密度计 4 台, 各含铯- 137 源一枚, 总活度 6×10^6 Bq。1988—1992 年先后两次拆卸至矿药剂库, 后在清理药剂库时发现 4 个源全部被盗。经查, 已投入黄石二钢熔炉熔化。	公司上京咨询、事故调查处理等直接经济损失 9.6 万元。
6	940418	山东	大修拆卸料位计时打开源(钴- 60)罐安全销, 铅塞转到安全位置, 未插上安全销就一手扶梯子另一手抓铅罐向下提, 不慎铅罐抛落到坑内, 源抛出罐外混入上百吨水泥中。	被污染的水泥一次性销售给某深海港口打桩建设。
7	980710	贵州	设备上料位计放射源(铯- $137, 1.1\times 10^9$ Bq)被盗, 后在一冶炼厂炉渣中发现可疑放射性物质, 经 γ 谱仪分析确认该放射源已被冶炼厂熔化。炉渣全部用于垫路。	冶炼厂停产, 数十平方米公路被污染, 清理污染渣土上千公斤。经济损失 27 万元。
8	981020	广东	工厂停产后拆厂房设备, 将料位计铅罐(含镭- $226, 3.7\times 10^8$ Bq)熔炼成铅块存放于仓库, 但无专人看管。卫生部门检查时发现丢失。	未找回含源铅块, 估计已作废金属熔化。

表 11 放射事故原因分类及占总事故比率

主要直接原因	事故起数	占总事故比率(%)
责任事故	278	84.5
违反操作规程和有关规定	15	4.6
安全观念薄弱	22	6.7
缺乏知识	4	1.2
操作失误	16	4.9
管理不善	157	7.7
领导失职	64	9.5
技术事故	42	12.8
设计不合理	5	1.5
设备意外故障	34	10.4
监测系统缺陷	3	0.9
其它事故	9	2.7
自然事故	8	2.4
原因不清	1	0.3

5 经验与发展

国内外的经验都表明 要做好放射性同位素应用中的安全与防护, 法规和标准的健全与严格执行是最首要的。放射防护安全评价制度开展是预防性监督的关键, 安全技术的积极采纳是消除事故隐患提高运行安全率的有效措施。对各类人员进行安全教育与培训中加强管理的重要环节。为了我国放射性同位素生产和应用的安全防护达到国际水平, 广大用户和主管部门还有大量工作要做。

参考文献:

[1] 卫生部卫生法制与监督司. 1999 年卫生监督工作情况通报 [R]. 待发表.

[2] 卫生部卫生法制与监督司. 1997 年卫生监督工作情况通报 [R]. 1998. 4.

[3] 卫生部卫生法制与监督司. 1998 年卫生监督工作情况通报 [R]. 1999. 4.

[4] 王运来, 孙菊梅. CI2100 医用电子直线加速器机房的防护设计[J]. 辐射防护通讯, 1998, 18(5): 47.

[5] 林殿科. 伽玛刀治疗室混凝土屏蔽厚度的设计[J]. 辐射防护通讯, 1996, 16(1): 22.

[6] 张继勉. 天津市工业用放射源仪表的防护剂量调查[J]. 中国

辐射卫生, 1997, 6(1): 37.

[7] 辛彩民, 李丽华, 王贵学, 等. 核子称周围环境辐射水平调查与防护措施[J]. 中国辐射卫生, 1998, 7(4): 256.

[8] 孙文钧, 俞荣生. 10 次倒装钴源的现场监督体会[J]. 中国辐射卫生, 1997, 6(4): 213.

[9] 范深根. γ 源辐照装置安全要求与技术[Z]. γ 辐照装置辐射防护与安全分析、管理与检测技术学习班教材. 北京市放射卫生防护所, 1999.

[10] 李全太, 林俊明, 孙作忠. 浅谈小型密封放射源的安全防护管理[J]. 中国辐射卫生, 1998, 7(1): 17.

[11] 李全太, 朱建国, 官庆超, 等. 154 枚小型密封放射源安全防护状况调查[J]. 中国辐射卫生, 1997, 6(1): 27.

[12] 李天来, 张居政, 陈彦斌, 等. 应重视对刻度仪器用的弱放射源的防护管理[J]. 中国辐射卫生, 1998, 7(2): 181.

[13] 孙健, 汪春亮. 小型密封放射源安全贮存的几点做法[J]. 中国辐射卫生, 1998, 7(4): 245.

[14] 谢华, 范辉堂. 一起丢失放射源事故的处理与分析[J]. 中国辐射卫生, 1998, 7(2): 112.

[15] 徐开宇, 尤建国, 黄泽民. 常州市丢失放射源事故应急处理演习的体会[J]. 中国辐射卫生, 1998, 7(1): 20.

[16] 鲍首琛. 放射治疗与核安全文化[J]. 辐射防护通讯, 1996, 16(6): 14.

[17] 朱建国, 侯金鹏, 邓太平, 等. 介入放射学诊断与治疗中患者剂量水平测试与评价[J]. 中国辐射卫生, 1997, 6(3): 144.

[18] 邓太平, 陈玉祥, 侯金鹏, 等. 介入放射学辐射场分布及防护设施的研制[J]. 中国辐射卫生, 1997, 6(4): 231.

[19] 侯金鹏, 邓太平, 朱建国, 等. 介入放射学工作者剂量水平与评价[J]. 中国辐射卫生, 1997, 6(4): 216.

[20] 金振祥. 介入放射学与辐射防护[J]. 中国辐射卫生, 1998, 7(1): 60.

[21] 王骏, 袁仁松. 医学成像系统的卫生防护[J]. 辐射防护通讯, 1997, 17(4): 41.

[22] 李显明, 卓维海, 魏木水. 一起源辐照装置降源反卷事件及其处理[J]. 中国辐射卫生, 1997, 6(2): 115.

[23] GRETA JOY DICUS. 美国放射源安全与保安情况[R]. IAEA 通报, 1999, 41(3): 22.

收稿日期: 2000—06—23