

# 美国放射源安全与保安概况

GRETA JOY DICUS

**美**国发生的最严重的核电站事故,即1979年的三哩岛事故,导致放射性物质释入环境。不过,这起事故未使公众受到超过辐射剂量限值的照射。事实上,美国的103台有执照的核电机组的运行或发生的事故,从未使公众任何成员受到超过剂量限值的照射。尽管如此,我们不能就美国对有许可证的放射源的运行经验作出这样的声明。

美国有关放射源的运行经验包括许多小的不幸事件以及导致辐射损伤或放射性污染的事故。曾发生严重事故的主要应用包括辐照、工业射线照相和医疗。

关注的另一个方面是丢失、被窃或被遗弃的和以不受控制的方式进入公众领域的放射源。在这些情况下,就有可能使公众成员受到辐射照射或使财产受到污染。本文的主题就是放射源运行辐射安全的这一方面。

## 问题的范围

与美国的103台有执照

的核电机组相比,约有157 000个许可证按照修正的《美国原子能法》批准使用放射源。其中,22 000个是按照特定许可证批准使用经许可的放射性材料。其余135 000个按照一般许可证批准使用诸如核测量仪器或自发光标牌等装置内的放射性材料。约180万个含有放射源的装置已作为一般许可产品销售。其他类型的含有放射性材料的装置,如自发光表和电离型烟雾探测器等,可根据许可证销售给无须进行许可审批的人。这些装置仅含有少量放射性材料,不是本文讨论主题。

修正的《美国原子能法》并没有涵盖所有的放射性材料。镭源被从该法中排除,美国能源部(DOE)使用的放射源也被排除。

该法规定各州与美国核管理委员会(NRC)达成协议,以便借以对放射性材料使用者实施监管和发放许可证。已有30个州达成这样的协议。它们对约2/3的有许可证的放射性材料使用者进行监管和许可证审批。有关

在NRC和协议州的管辖范围内发生的事故或事件的信息由NRC人员收集、分析和报告。

NRC每年收到约200份关于丢失、被窃或被弃的放射源或装置的报告。这些报告只是在许可证持有者想起他们有放射源、知道它已丢失或被窃、知道有报告丢失或被窃的要求,并且作出报告时才收到。注意到这一点很重要。

## 报告的后果

一些案例中,放射源失去控制造成了毫无戒心的公众成员受到过量的辐射照射。例如,1979年,一个未加屏蔽的1 GBq(28 Ci)铯-192工业用射线照相源被意外地遗留在加利福尼亚的一个临

---

照片:Dicus女士是美国核管理委员会(华盛顿特区)主席。非常感谢NRC人员对本文撰写提供的帮助。全部参考资料可向作者索取。

时工作现场。一名工人不知道其为何物,将其捡起并放入自己长裤的后兜内。他的臀部受到的剂量超过 200 Sv (20 000 rem)。1992 年,一个 0.14 GBq (3.7 Ci) 铯-137 近距离治疗源在被置于患者体内时,意外地与使其与远程后负荷器连接的电缆脱落。这个放射源最终与外科手术服一起从患者身上脱落。丢弃的含有放射源的手术服被送到一家例行进行接收废物的辐射监测的处置设施。这一放射源的放射性被探测出来,从而被发现。这个患者由于过量照射产生的并发症而死亡,并且还有 90 名公众成员意外地受到该放射源的照射。

1996 年,有一些工业用放射照相装置被窃并被当作废金属卖掉。在装置的转移过程中,有 1 个 1.5 GBq (40 Ci) 钴-60 放射源从其中的一个装置上脱落,掉到废金属处理设施营业处附近的地上。这家设施内的工人、客户以及当时正在调查失窃案的执法官员们均受到该放射源的照射,结果造成这些个人的全身剂量高达 0.1 Sv (10 rem)。一名处理该放射源的工人的一个肢体受到过量照射。

放射性污染对财产造成的损失也发生过,在丢失、被窃或被弃的放射源与要送去

年份	金属	地点	同位素	活度 (GBq)
多年	金 多处		铅-210, 铋-210, 钋-210	未知
1983	钢	奥本钢厂, 纽约州	钴-60	930
1983	金	未知, 纽约州	镅-241	未知
1984	钢	美国管道铸造厂, 亚拉巴马州	铯-137	0.37-1.9
1985	钢	塔姆公司, 加利福尼亚州	铯-137	5656
1987	钢	佛罗里达钢厂, 佛罗里达州	铯-137	0.93
1987	铝	联合技术公司, 印第安纳州	镭-226	0.74
1988	铅	ALCO 太平洋公司, 加利福尼亚州	镅-137	0.74-0.93
1988	铜	沃林顿, 密苏里州	加速器	未知
1989	钢	拜尤钢厂, 路易斯安那州	铯-137	19
1989	钢	亚旦普, 宾夕法尼亚州	钍	未知
1990	钢	努科尔钢厂, 犹他州	铯-137	未知
1991	铝	阿尔坎回收公司, 田纳西州	钍	未知
1992	钢	新港钢厂, 肯塔基州	铯-137	12
1992	铝	雷诺兹, 弗吉尼亚州	镭-226	未知
1992	钢	博尔德钢厂, 得克萨斯州	铯-137	4.6-7.4
1992	钢	基斯顿电缆厂, 伊利诺斯州	铯-137	未知
1993	钢	奥本钢厂, 纽约州	铯-137	37
1993	钢	新港钢厂, 肯塔基州	铯-137	7.4
1993	钢	查帕拉尔钢厂, 得克萨斯州	铯-137	未知
1993	锌	南方锌公司, 佐治亚州	贫铀	未知
1993	钢	佛罗里达钢厂, 佛罗里达州	铯-137	未知
1994	钢	奥斯特·勒蒙特公司, 伊利诺斯州	铯-137	0.074
1994	钢	美国管道铸造公司, 加利福尼亚州	铯-137	未知
1996	铝	布卢格拉斯回收公司, 肯塔基州	钍-232	未知
1997	铝	怀特废物利用公司, 田纳西州	镅-241	未知
1997	钢	WCI 公司, 俄亥俄州	钴-60	0.9(7)
1997	钢	肯塔基电气公司, 肯塔基州	铯-137	1.3
1997	钢	伯明翰钢厂, 亚拉巴马州	铯-137/镅-241	7 Bq/g
1997	钢	伯利恒钢厂, 印第安纳州	钴-60	0.2
1998	铝	南方铝公司, 亚拉巴马州	钍	未知

注: 本表数据取自宾夕法尼亚环境保护部 (400 Waterfront Drive, Pittsburgh, PA, 15222-4745, USA) James Yusko 维持的数据库。

回收利用的废金属混在一起时,成为美国金属回收利用业特别关注的问题。1983 年以来,美国的钢铁厂已经发生 20 起将放射源一起熔化的意外事故。在熔炼废旧铝、铜、金、锌或铅的设施内,还发生过 11 起将放射源一起熔化的意外事故。(见本页表。)尽管迄今工厂的工人和公众受到的辐射照射较低并且低于监管限值,但造成的

财政后果较大,因为要支付去污、废物处置费用,以及临时关闭工厂带来收入损失。美国的钢铁厂由于这些事件已经招致平均每起 800 万-1000 万美元的花费,其中一起的花费达到 2300 万美元。

### 采取的行动与担忧

美国金属回收利用业做出的响应是多方面的。在

在美国公共领域发现的未加屏蔽的放射源

年份	地点	同位素	量(GBq)
1992	废物处置场, 俄亥俄州	铯-192	150
1994	废料场, 肯塔基州	铯-137	7.4
1994	废料场, 伊利诺斯州	铯-137	14
1996	废料场, 加利福尼亚州	铯-137	0.37
1996	废料场, 得克萨斯州	铯-192	1 500
1996	焚烧炉, 纽约州	铯-137	2.8
1996	铸造厂, 亚拉巴马州	未确定	
1996	废料厂, 西弗吉尼亚州	未确定	
1997	钢厂, 俄亥俄州	铯-137	19
1997	建筑工地, 宾夕法尼亚州	铯-137	0.22
1997	废料场, 宾夕法尼亚州	镅-241	3.7
1998	废料场, 佛罗里达州	镅-241/铯-137	1.5/0.3
1999	公路, 田纳西州	铯-137	0.3



一个未加屏蔽的铯-137装置被发现埋在伊利诺斯州一家废金属厂的沙砾中。尺刻度单位为英寸。

NRC 人员的支助下, 行业组织编写并出版了信息资料小册子形式的教育材料, 并向其会员推荐了一些程序。许多废金属回收设施和金属制造工厂已经张贴由 NRC 印刷的警示标语以便使其工作人员了解这个问题。

该行业采用的最普遍的保护行动是在金属制造厂和废金属处理设施安装辐射监测系统, 以探测可能混入运进的废金属中的放射源。这些系统设计先进, 非常灵敏, 并且也十分昂贵。1983 年以来, 这些系统已经成功地在美国的废金属中识别出 400 多个放射源或是含有放射源的装置, 其中一半以上是在近 5 年内发现的。

金属回收利用业可以利用各种各样的商用辐射探测设备。1996 年, 代表美国众多钢铁制造商的行业协会

——钢铁制造者联合会主持进行了商用设备的现场试验。

辐射监测也为处理或处置非放射性废物设施的营运者广泛使用, 因为他们的设施未被批准处置经许可的放射性材料。他们的监测程序曾经偶尔发现混在运入废物中的放射源。

1992 年以来, 美国已经有 13 次报告发现未加屏蔽的放射源。(见本页表和照片。)未加屏蔽的放射源造成辐射照射的可能性更大。此外, 由于它们不再受到屏蔽的防护, 就更易于造成包壳损坏和放射性物质释放等实体损害。在一些情况下, 剂量重现是不可能的, 因为人们不了解所论源的历史, 不知道其发现之前的行踪。

金属回收利用业在废金

属中发现放射源后, 产生另一个担忧。这些放射源通常被称为“无管源”。这样的放射源一经发现, 就由其发现者负责, 尽管他并不想要这个放射源, 并且可能不准备占有该源。尽管如此, 过去的惯例一直是要求这些人通常是在有资格的专家的协助下暂时保障放射源的安全。在一些情况下, 装置或放射源上的制造商标记本身能够使人识别最初的许可证持有者或制造者, 并可能把源送回到他们那里。在其他情况下, 这是不可能的, 并且必须转交给自愿的接收者或送去处置。当然这些活动要产生一定的花费。

这并不是令人满意的安排。为缓和这种情况已经采取一些步骤。代表政府辐射控制计划的组织——辐射控制计划负责人大会(股份有

限公司),在美国环境保护局(EPA)和NRC的支持下,正在调研建立一项正式的回收无管源并为其提供最终处置的计划的可行性。DOE正在制订一项将允许向他们转移一定的超铀放射源的计划。

在一个无管源构成对公众健康和安全的即刻威胁且不能找出责任方时,DOE将应NRC的请求回收并保障该放射源的安全。NRC和DOE签署了一项谅解备忘录,以利于这种请求的施行。

放射性沾污产品进口到美国,已发现10起。(见本页表。)污染源中大部分可能是混入制造这些产品的原材料中的放射源。尽管这些案例都没有在美国造成对公众的重大辐射照射,但其在市场上不可预料的出现会引起对确保放射源安全与保安的监管计划的有效性的忧虑。

## 监管行动

美国绝大部分放射性装置是根据一般许可证使用的。这些装置的一个关键特征是设计完善,允许在辐射安全领域受过最低限度培训的人使用。因为条例中已有规定,一般许可证持有者无需申请许可证。一般许可证计划中固有的概念是,一般许可证持有者要保持对这些装置的控制和可说明性,并

适当处置它们。由于这些装置设计完善,就没有例行检查计划和其他定期与一般许可证持有者接触的监管机制。没有这些接触,一些一般许可证持有者的计划已经恶化,这并不令人惊讶。警告标签和标牌由于暴露在不利的环境下,或是不当的维护,或是由于了解这些装置的人员退休、被解雇或主动离职而消失。可以预测的后果是部分这种装置以失控方式(典型的是与废金属一起被丢弃)进入公共领域。

1992年,NRC批准组建国家工作组,以确定该问题的范围并就NRC行动提出建议。1998年,委员会根据工作组的报告,指示要采取制定规章和其他措施,以便达到诸项目的,其中包括与部分一般许可证持有者进行更多的例行接触,以提醒他们负责经许可的材料的核算、控制和适当处置。在风险通知条例的一项适用中,应按该条例办事的一般许可证持有者,是在考虑被使用的放射性同位素、其数量及其对人员照射或财产沾污的可能性的基础上选择的。(见本页表。)

需要指出的一个重要观点是,委员会之所以能够认为有理由做出这个有财政和人员配备影响的决定,是因为收集并分析了支持这一决

### 进口到美国的放射性沾污产品

产品	污染物	发现年份	来源
钢和铁	钴-60	1984	墨西哥
钢	钴-60	1984	中国台湾省
钢	钴-60	1985	巴西
钢	钴-60	1988	意大利
钢	钴-60	1991	印度
磷铁合金	钴-60	1993	哈萨克斯坦
钢	钴-60	1994	保加利亚
炉灰	铯-137	1995	加拿大
铅	钨-210, 铋-210, 钋-210	1996	巴西
钢	铅-60	1998	巴西

### 选定的需加强监管监测的同位素及其数量

(美国一般许可装置中)

同位素	量(MBq)
铯-137	370
钴-60	37
铈-90	3.7
超铀核素	37

定的运行数据。

## 应急响应的意义

当发生严重的紧急辐射事故时,对响应的国家、州和地方主管部门的要求是头等重要的。在这种情况下,就机构间和政府间援助做出的预先安排是必不可少的。为使响应者熟悉应急计划,相互的责任和优势,以及识别计划的薄弱之处,需要进行定期演习。对因放射性材料丢失或被窃,或是在公共领域发现放射源而产生的紧急情况响应所带来的挑战,根本不同于那些在对核反应堆事故产生的紧急情况的响应所带来的挑战。



上图:这件含铯的核仪器上的标签和警告标志已被消除(中间的半球形物)。它是美国阿肯色州一家钢厂在一批运入的废金属中发现的。

其他图片:1999年在美国北卡罗来纳州进行的一次应急响应演习中,一个放射源假想在处理设备废铁的一座废金属处理厂被打碎(左中图)。它模拟1998年发生的一次实际事故。当时一个镭-241放射源在美国宾夕法尼亚州同样地被打碎。此次演习涉及州放射防护人员(左图)、负责危险物质的当地政府部门、州放射应急响应队伍和交通工具(顶图)。(来源:NRC)

正是认识到这一点, 1997年由EPA和NRC牵头的美国联邦机构进行了涉及放射源的应急响应演习。这些演习是在美国联邦放射应急响应计划(FRERP)和国家应急计划下与其他联邦机构、州和地方政府协力进行的, 并得到私有部门的支持。

现已进行两次演习, 第一次在1997年, 第二次在1999年。两次演习都涉及到“桌面”和实地部分。第一次演习模拟在地方性的废物处置设施内发现大的未加屏蔽的 $\gamma$ 放射源。第二次演习则在一家废金属处理设施内进行, 模拟由废金属处理设备造成的镅-241放射源的破损, 以及所导致的设备和一名工人的沾污。

由第一次演习得到的成绩和建议于1998年出版。关于第二次演习的报告正在编写中。这两份演习报告的主要结论是, 需要在全国各地进行更多的演习。通过使主要有关方参加对这样的紧急情况响应, 演习拓宽了对问题的了解, 使响应者熟悉了彼此的责任和优势, 并将提高他们在实际紧急情况中响应的质量。可以指望的美国联邦的优势包括能够帮助确定丢失或被窃放射源位置的航空辐射调查能力, 以及用于回收放射源的专门

设备。

1998年, FRERP启动, 这些优势被用于对北卡罗莱纳一家医院失窃的19个铯-137近距离治疗放射源的响应。用于支持该州的响应的联邦优势包括DOE的航空和地面辐射监测搜寻, 和与联邦调查局就犯罪调查进行的合作。虽然这些放射源尚未被收回, 但采取的行动排除了最可能发生公众潜在照射情况。

### 强有力的监察

NRC有着40多年的放射源使用监察经验。其在放射源安全与保安方面的经验再次肯定了下述原则: 需要有一个强有力且有效的国家监管计划, 来对放射源的使用进行监察。

NRC的审查和分析有关放射源丢失、失窃、丢弃和发现的报告和其他信息的计划, 有助于找出和表征依照一般许可证计划使用的装置中的放射源的安全与保安问题。

作为响应, NRC批准过一项人员配备计划, 以便与参加协议的州共同进行问题的集中审查并提出行动建议。审查是以开放、公开宣布的会议形式进行的, 并包括应邀股东即受到影响或对该问题和可能的管理解决措施

感兴趣的人和组织的参与。

工作组建议NRC: 1) 增加NRC与其一般许可证持有者间的接触频度, 和2) 通过集中精力于丢失、失窃或被弃后最可能使公众受到照射或沾污财产的一般许可装置, 使风险通知方案具体化。

委员会同意所建议的风险通知方案, 并指示员工着手进行将解决这一问题的规章制度和其他更改工作, 使NRC有限的资源得到高效且有效的利用。

同时, 由于认识到放射源丢失、失窃或被弃有可能造成严重的辐射照射或财产的放射性污染情况, NRC和EPA人员已经进行了着重于这类事件的应急响应演习。

总起来说, 美国现有大量的放射性装置在使用中, 并且其总的记录良好。只要由经过培训的人员在管理部门有效的监察下正确使用, 放射源的许多使用是安全的并会为社会带来纯利益。

如果有问题发生, 如过量照射或财产沾污, 关键的是要将它们迅速报告给监管部门。如有必要, 可以采取恰当的应急响应措施并且对问题进行分析。通过这种方式能够推动有效的风险通知监管措施, 从而确保放射源的持续安全和保安。 □