

一个世纪的挑战

美国辐射源历史概况

JOEL O. LUBENAU

不能适当地控制、处理和处置放射源与装置,可能导致它们毫无控制地进入公共领域。一旦这样,遗失或丢弃的放射源可能引起对公众的辐射照射和放射性污染等安全问题。防止放射源毫无控制地进入公共领域对于负责管理放射源安全利用与处置的主管部门来说已成为一种国际性挑战。但是,这个问题已有些年头,可追溯到20世纪镭利用的最早时期。

镭在美国的早期利用

镭源在美国的利用早于修订后的《美国原子能法》,而且,该法不涵盖镭源,因此,镭源不受美国核管理委员会(NRC)监管。镭于1898年被发现后不久,它的潜在医疗价值就被人们所认识,导致对镭源的需要。有关镭在美国早期利用的资料虽然很少,但可获得的资料表明,在第二次世界大战到来之前镭的利用是缓慢增加,大战

期间镭的利用先是猛增,随后逐渐减少。(见第50页图。)1921年,美国利用的镭为35—40克,医疗用户在400和500之间。1932年,美国矿务局估计,美国的镭医疗用户有710户,共用镭124.7克。第二次世界大战期间镭的利用扩大,主要由于其用于工业射线照相。当时用于这个目的的镭多达200克。另有190克镭在大战期间用于制造镭发光涂料。

1964年,美国公共卫生服务部(PHS)得出结论,在第二次世界大战结束后的几年里镭的利用可能达到高峰,估计美国有4500个镭用户,用作标明源的镭在300和700克之间。其中大部分用户(3500户)是医疗用户。

此后,镭的利用减少,主要原因是可以获得其他放射性材料,以及各州加强了对镭的管理监督,致使许多镭用户中断了镭的利用。

1975年,美国有3600个镭用户。今天镭的用户数肯定比这更少。即使在第二次世界大战以后镭用户数达到5000—6000个的可能最高峰,这个数字比美国目前利用副产品、源和特种核材料的许可证持有者也少得多——估计特别许可证持有者为2.2万人,一般许可证持有者为13.5万人。

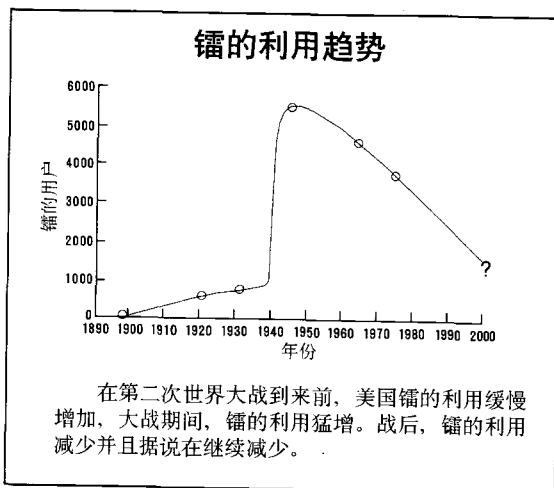
从矿石中提取镭是很困难的,而且在本世纪早期是昂贵的。1923年,镭的成本是每克12万美元。因此,当镭源丢失或被盗时,总是鼓

Lubenu先生是美国核管理委员会(NRC)主席高级助理和美国保健物理学院学位证书持有者。本文的所有参考文献可向作者索取。本文只反映作者个人观点,不代表NRC的见解,同时NRC也没有认可其技术内容。它基于作者1998年在IAEA国际辐射源安全和放射性材料保安会议上发表的一名报告员的综述。一些部分载入他发表在《保健物理》1999年2月号增刊中的文章。

励人们去寻找并找回镭,以避免因替代镭源而造成的费用损失。

镭事故

1968年,PHS根据一篇文献和《纽约时报》的评述发表了1913年至1964年美国已知镭事故的概况。列入表内的总共有396起事故,其中包括261起丢失事故,25起被盗事故。其余事故涉及污染、过度照射和其他事件。这396起事故中的绝大多数(331起或84%)涉及医疗源。找回率为:丢失的医疗源是71%(即240个找回170个),丢失的非医疗源是53%(即17个找回9个),被盗的是60%(即25个找回15个)以及运输中丢失的是50%(即4个找回2个)。已知日期的最早一些事故发生在1911—1920年间,总共丢失9个镭源。以后丢失和被盗事件日益增多,1961—1967年时间范围内最多。PHS认为,这种增加反映了直至二十世纪五十年代镭的利用不断增加,也反映了在调查所涉及的最近几年内提供的事故报告更多了。所提供报告的增加,可能反映了新颁布的有关修订的《美国



原子能法》未涵盖的放射性材料丢失和被盗报告的国家要求得到遵守。

但是,许多镭事故可能逃避了公众的细察。例如,以私人身份从事寻找丢失的或被盗的镭源工作的专家通常不公开发表或报道他们的工作。国家辐射控制计划是在镭源丢失和被盗以及有人请求帮助处置无用镭源时作出响应的,它们的书面报告常常直接进入档案。幸运的是,一些从事过丢失镭源搜寻工作的个人留下了自己经验的公开记录。

1914年,Arthur L. Miller从Purdue大学毕业后接受了到宾夕法尼亚州匹兹堡市的标准化学公司去工作的邀请。该公司是当时最大的镭生产者。在那里,他的工作是用验电器标定镭源。他自精通验电器的操作以后,经常被叫去用那种仪器寻找丢失的镭源。1923年,

他写下有关7个案例的经验。他的最让人感兴趣的故事介绍的是他怎么努力也未能找回一家医院丢失的150毫克镭的过程。正如通常那样,镭已进入该医院的燃煤焚烧炉。Miller在那里找到了污染的证据,但没有找到理

应含镭源的灰。经询问,他得知焚烧炉的灰已卖给附近一个合同商。该合同商用炉灰生产混凝土的集料,混凝土已用于铺设人行道。Miller找到了这条人行道,并证实镭就包埋在人行道里。因为镭不容易回收,所以人行道原封未动,寻找工作于是终止。遗憾的是,Miller没有说此人行道铺在哪里。当时,没有考虑来自被包埋的镭的辐射危害。后来,另一个镭寻找者Robert B. Taft对此事进行了调查。Taft同赔偿该医院镭源损失的保险公司取得联系,但发现该公司记录后来被毁。因此,可能在美国东部的一个地方,有一条或曾有一条包埋有150毫克镭的人行道。

Taft是医生,常有人请他去寻找丢失的镭。1935年,他开始在送交美国伦琴射线学会的一篇文章中介绍其1933年以来的经验。后

来,他在一本名为《镭——丢失和寻找》的书里详细介绍了他的经验。Taft 寻找镭的工具包括(受辐射照射时闪烁的)硅锌矿、验电器和早期的 GM 探测器。Taft 报道了 187 起事故,其中有些事故是他亲身经历的,其他事故是别人向他报告的。大多数事故涉及镭源丢失或被盗,但有些也涉及污染。

许多案例涉及丢失的医疗镭源。这些源与处置在地面处置场的医院废物混杂在一起。当时的一个常见作法是,在这些处置场上养猪。Taft 报道说,有一次一些寻找人员去这样的一个废物处置场寻找一个丢失的镭源,他们的验电器显示镭就在附近,但不能对它准确定位。他们注意到一群猪从身旁走过去。他们把这群猪抓住,并证实其中一头有放射性。然后屠宰这头猪,找回丢失的镭源。

在费城,镭销售代理人 Frank Hartman 在个人笔记中记下了其寻找丢失和被盗窃源的书面记录。Hartman 的笔记涉及从 1930 年至 1958 年的 120 个案例。象 Taft 一样,他利用硅锌矿以及 ZnS、验电器和 GM 探测器。120 个案例共涉及 4.259 克丢失或被盗窃的镭。他找回其中的 3.806 克镭或 89%。考虑到他的辐射探测装置的原始

性,这是一个令人惊异的百分比,也体现了他的耐性和韧性。令人惊异的还有一些“回头客户”,其中一个用户的镭源丢过 8 次!

另一类事故涉及运输。令人大感兴趣的一个案例发生在美国的标准化学公司。这家公司在其位于匹茨堡以南的卡农斯堡工厂生产精制镭,然后把其一部分运到设在匹茨堡的实验室作最后精炼。运输是通过把镭带到往返于这两个城市间的客运电车上完成的。1959 年,Miller 介绍过这种作法的细节:人们先把镭装入有瓶塞的玻璃瓶,然后将瓶子放入被汲干了的镀锌钢罐中。这些钢罐由乘坐上述电车的两名使者带到匹茨堡实验室。Miller 的记录表明,两名使者之一定期作这种旅行。这个人名叫“Tommie”Thomas。他也是卡农斯堡工厂用分级结晶方法把镭从其氯化物溶液中初步分离出来部门负责人。Miller 未介绍任何防护措施,很可能什么措施也没有。一次旅行携带的镭多达“200 毫克”。按这两个城市间已知客运次数计算,在标准化学公司高峰生产年份 1920 年(这年产镭 18.5 克),Thompson 单从这种活动中接受的年剂量就高达 1 Sv。附近的乘客和列车员当然也受到照射。另一起事故涉及

美国邮电局,是 1921 年美联社报道的。

在这起事故中,门诊部用镭治疗的一个病人误解了医生对他说的话,带着给他治病的镭回家。在家里,他从身上取下镭,并把它放在一旁。后来医生登广告寻找这个价值 3500 美元的镭源,该病人看到此通告时,立即把此源放进信封,通过邮寄将它送还。镭的当时价格为每克 12 万美元,这些邮寄的镭量约为 29 毫克。

被污染的金银珠宝首饰

目前,金属回收业正面临这样一个棘手问题:防止被丢弃、被盗或不适当处置的放射源与废金属混在一起,或在做不到这一点的情况下,要在废金属处理或熔化制成新产品前探测到这些放射源。有意思的是,这个问题早在 1910 年就有过历史先例。

人们研制了含氦小管,作为用于医疗植入管的镭源的一种替代物。最常用的技术是把由镭盐溶液产生的氦泵入薄金管子里,然后把它切成短段(小管)并密封。经标定后,把这些小管运送到医院和诊所供植入用。

与镭相比,氦管工艺技术用途更广,并因为氦子体的辐射特征,这些含氦小管

可以永久植入。

当时由于没有目前可利用的生物组织显像技术,治疗学家必须尽最大努力对肿瘤大小作出估计,以便确定所需氦小管的数量。因为对肿瘤体积的估计通常偏高,所以订购的氦小管经常会有一些未被用上。可以凭信用把剩余的氦小管送还给供应商,但有些医生却把这些小管留下来,然后把它们卖给金回收者。当含氦金管被熔化时,金属性氦子体:铅-210、铋-210和钋-210(用镭衰变链术语表示为 Ra DEF)就与金混在一起。用这些金制成的珠宝饰物就成为一种射线照射源,尤其当贴近皮肤佩戴这种珠宝饰物时。二十世纪六十年代,在文献中出现了关于因佩戴这种珠宝饰物造成辐射伤害的报告。1981年,纽约州卫生部发动了一场特别运动寻找这种珠宝饰物,并使其停止流通。对大约16万件饰物进行了甄别,结果收集133件放射性饰物,还对另外22件进行了鉴别,但所有者拒绝放弃它们。其中大多数物项是二十世纪三十年代和四十年代生产或购得的,但有1件物品(平常的金戒指)是1910年生产的。

美国最后一座氦生产厂由纽约州昆斯的镭化学公司运营,采用由 Gioacchino

Failla 设计的设备。该厂于1981年停运,从而终止了新的氦小管进入金再循环流的可能性。但是,1982年,当镭化学公司受命开出其贫化金小管存货清单时,它说不清楚,也没有它们出现在什么地方的轶事证据。人们不得不推测,这些贫化金小管库存已在金再循环市场中处理掉了。

上文强调了这样一点,即关于丢失、被盗和无用的或不适当处置的镭源的已知数据只不过是众所周知的冰山之顶。真实情况将永远不会被人所知。

美国政府监督

尽管有关镭源的丢失、被盗和其他安全问题方面的资料是不完全的,但文献中有许多报告足以引起公众和立法部门的关注。他们的关注导致政府对镭源用户的监督。到二十世纪六十年代,许多州都在制定或已经制定管理控制镭的计划。PHS 以出钱资助和个人贷款的形式向这些州提供直接的援助,以便建立他们的辐射控制计划。

到那个时候,许多镭源已不再需要,而镭源的所有者不能或不愿意负担处置费用。人们发现一些不想要的镭源贮存在诸如银行保险库

等意外地方。据此,PHS 在1965年开始实施镭处置计划。根据此计划,有不想要的镭源的人可以把它们转给PHS。在大多数情况下,国家辐射控制计划检查人员充当把镭源运送到亚拉巴马州蒙哥马利东南地区辐射保健实验室的转运代理人。这些源就贮存在那里。该实验室最初由美国食品和药物辐射保健管理局运营,现在是美国环境保护局(EPA)的设施。1983年,140克镭累积存量被转运到并处置在华盛顿州汉福德的低放废物处置场。

随后,其他大量镭在别处处置。1989年,120克镭从纽约州昆斯的前镭化学公司厂址运出,处置在内华达州比蒂的低放废物处置场。

二十世纪九十年代,若干州发动运动以确定镭源的位置,并把它们找回和加以处置。俄克拉何马州和俄亥俄州共收集和处置了4.2克镭。辐射控制计划负责人会议估计,二十世纪七十年代镭处置量达每年12克,八十年代每年10克,九十年代每年8克。

原子能委员会的一般许可证计划

1958年,PHS 开始帮助各州开展旨在改善镭源控制、可衡算性和处置的监



管活动。大约与此同时,另一个联邦机构,美国原子能委员会(AEC)工作人员建议把一般许可证概念推广到经修订的1954年原子能法所涉及的含放射性物质的“测量、校准和控制装置”。AEC工作人员指出,“约有1000个用户将受到影响”。

原子能委员会于1959年批准了此建议的修改。令

照片:在废料装运中发现丢失或被弃的辐射源,因而在没有监管控制的情况下进入公共领域。美国工业界和政府正在采取措施,以防止发生此类问题。(来源:NRC)

人啼笑皆非的是,此规则的修改最终导致这种放射性源在控制、可衡算性和处置方面发生一些问题。回想起来,这些问题与镭源以往遇到的问题类似。

一般许可证概念使在辐射安全方面受过最低限度培训的人能够拥有和使用经批准的并且在使用中对用户或公众危害极小的装置。适用于这些装置的完善的设计和制造标准是这种独特方法可行的保证。

使用这种装置的人虽然不需要申请特别许可证,但要根据一般许可证和条例中规定的条件拥有和使用这种装置。人们提出这种概念出

于以下的信念:一般许可证持有者将使这些装置得到适当控制和保持适当的可衡算性,并将在不再需要这些装置时适当地处置它们。

由于对一般许可装置的完善设计的要求提供了它们能被安全地使用的保证,所以没有例行检查计划或其他与大多数一般许可证持有者定期接触的监管机制。大多数一般许可证持有者被免除用户费。因此,这种许可证持有者群体(目前总人数约为13.5万,使用180万个装置)中的大多数很少与监管机构接触。

没有这种接触,一些一般许可证持有者用于控制、说明和适当处置这些装置的计划就会变差。随着时间的推移,一般许可装置上的警告标签和符号常常由于暴露于不利环境和不适当的维护而被擦掉。另外,了解装置情况的工作人员退休、被辞或因别的原因离开许可证持有者的工厂。

这些发展的可预测的后果是,一般许可镭源正在毫无控制地进入公共领域,最常见的是随废金属一起被丢弃。一些特别许可装置也错误地与废金属一起被丢弃。但是,特别许可装置是较少的,而且由于收费和例行检查,它们的用户是要定期与监管机构接触的。

这些一般许可证持有者与二十世纪六十年代前的镭用户相似之处是：他们都不普遍地定期接触监管者，后者可能提醒他们需要保持对他们的镭源的控制及其可衡算性，当不再需要时适当地处置它们，以及安全地使用它们。

但是，这两种用户在数目上相差很大。正如所指出的那样，镭的用户数大概在二十世纪五十年代达到高峰，约为 5000 至 6000 个。这是美国使用放射性装置的一般许可证持有者总数的一部分，后者从 1958 年的 1000 个增加到 40 年后的 13.5 万个。

早在 1981 年，一些州就曾向 NRC 表示过对一般许可证计划的担忧。1986 年，一个审查过 NRC 有关燃料循环和放射性材料设施的许可证审批和检查计划的外部专家建议 NRC 要更优先考虑一般许可证政策与程序的不断审议问题，因为存在诸多与废弃的源、以未经许可的方式处置掉的源、失效和缺少可衡算性的源有关的问题。

二十世纪九十年代，废金属回收业也表示过担心。这反映了他们在许可的放射源和装置与作为回收用的废金属混合方面的经验。他们还编制过资料性的和指导性

的参考材料。由 NRC 及其协议州组成的一个联合工作组撰写的一份 1996 年报告也表示类似的担心，并建议对 NRC 一般许可证计划作些更改。

该工作组还讨论过另一个问题，即“无管源”问题。这些常常是由金属回收者在公共领域发现的源或放射性装置。当这些源或装置被报道时，常常要求发现者暂时把此源或装置控制和保护起来，从而避免给公众带来潜在危害。这样做是因为监管机构通常没有可用来接受或安排转移许可的放射性物质的手段，除非对公众健康和安全有直接威胁。

如果能够找出此源的所有者或其制造者，那么常常可以作出安排退还该源或负担其处置费用。另一方面，如果不能确定源的所有者或制造者或他们不再存在，那么此源被认为是“无管源”，该发现者可能要对该不想要的源负长期安全责任，并最终处置它。显然，这是不公平的，并很可能打击报告发现放射性源的某些人的积极性。该工作组建议解决这个问题。

1998 年，即一般许可证计划扩大后 40 年，该委员会命令 NRC 工作人员对该一般许可证计划作些改动。其目的是改善对一般许可装置

的控制及其可衡算性，并采取措​​施以确保适当处置不想要的许可源。

此外，一些州在 EPA 和 NRC 的支持下，通过辐射控制计划负责人会议建立一个关于不想要的放射性物质委员会。该委员会将试图解决“无管源”问题。

运用汲取的经验教训

总之，要从与镭用户打交道中汲取的一个重要教训是，管理人员要与放射源用户定期接触，提醒他们需要保持对源的控制及其可衡算性，在不再需要这些源时适当地处置它们，并保证它们的安全使用。

AEC 修改规则把一般许可证计划扩展到包括放射性装置用户以后的经验加深了这种教训。此外，监管者没有与放射源用户定期接触导致这部分用户在源的控制、可衡算性和处置方面产生问题。监管者与放射性物质用户定期接触，是监管计划的一个基本要素。

有了这个历史的看法，也许可从本文得出另一个结论，当处理辐射防护问题时，我们不应该忽视从过去经验中汲取的教训。否则，正如 George Santayana 所写道的，“不能记住历史的人，肯定会重蹈覆辙。” □