

# 一次工业辐照装置倒源剂量分布及分析

王建昌, 朱南康

中图分类号: R144 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2004)03-0105-02

**【摘要】** 目的 实际测量一次工业辐照源装置的源操作过程, 分析具体的空间、时段剂量分布, 为今后指导制定工作计划, 将操作人员的剂量负担控制在一个合理的低水平。方法 做参考点剂量概算, 根据每个辐照装置和源的具体情况和今后连续 365 d 的总操作源计划, 按照国家标准制定一个总剂量限值, 用于一次操作源的实践活动中。结果 操作过程中, 剂量率最大值为 6.27 $\mu$ Sv/h; 剂量率最小值为 0.13 $\mu$ Sv/h。源罐从天窗进入辐射室, 再沉降至井底过程中, 辐照室内剂量率最大值为 22.1 $\mu$ Sv/h; 剂量率最小值为 0.20 $\mu$ Sv/h。本次操作源实践整个过程实测个人最大可能当量剂量为 24 $\mu$ Sv, 完全控制在预期的当量剂量限值 83 $\mu$ Sv 内。结论 人员个体负担当量剂量中有 74% 来自于操作单源上架; 15.2% 来自于源罐操作, 说明操作技能的培训和操作效率的提高对剂量控制起着主要作用。

**【关键词】** 操作源实践; 剂量预期; 控制

一座设计源容 37 PBq 的工业钴-60 辐照装置, 需要将原有的 14 PBq 的钴源从单板源架上卸载并将源棒重新排布上架, 然后加新源使总活度达到 18.5 PBq。单源最大活度为 0.481 PBq 源棒, 尺寸为直径 9 mm, 长 450 mm, 总活度为 (4.83PBq) 13.05 万 Ci。此次操作源实践作为一次具有广泛代表性的工业辐照装置操作源活动, 按照 ICRP 第 62 号出版物的精神, 应有规范的实践计划, 其应包括: 工作计划和程序; 过程质量控制; 剂量预期与事故应急; 安全分析。其中剂量为工作计划和程序提供制定参照, 并与其后的现场跟踪监督、监测构成安全分析的量化信息。

## 1 工作计划中的剂量总控

由于本装置已实现了自动传输辐照系统, 日常工作并不接触射线(源在工作位时, 辐照室外空气比释动能率和源在水井储位时辐照室内空气比释动能率均保持在本底水平), 辐照源的  $\gamma$  射线对工作人员的剂量贡献则集中在操作源过程中。

作者单位: 苏州大学辐照技术研究所, 江苏 苏州 215007  
作者简介: 王建昌(1961~), 男, 副教授, 从事辐照技术研究。

按照 GB10252-1996《钴-60 辐照装置的辐照防护和安全标准》规定, 工作人员的年剂量限值在 5 mSv/a, 公众限值在 0.25 mSv/a。经我们实践提出: 应将其“每年”理解为每个连续的 365 d。这更能表述剂量在客观时间上的联系分担, 而不是一个日历意义的“年”。这样, 在做一次操作源实践的工作计划时, 应从预期实践的第一天算起, 往后连续的 365 d 内共有多少次实践活动, 其中重点要参考每次的操作量(源活度)和操作方式(增源、退源和调整源排布)。本次操作源包括已有源的排布调整和增源两项实践活动。根据该装置今后连续 365 d 的源实践工作计划, 制定本次操作实践最大个体接触剂量当量上限为 83 $\mu$ Sv, 即公众限值的 1/3。

## 2 空间布点和安全概算

由于源在架上的活度分布在其宽度方向是均匀的, 而源并在这个方向上的几何形状也是对称的, 我们只取其半边几个操作人员滞留点作为参考点 P1-8。见图 1 利用一个实用程序(北京三强公司开发)带入该板源参数, 可概算出此次增至源后, 静态板源的安全保障水深。

表 4 评定值与约定真值比较

剂量计编号	约定真值			评定值			偏差(%)	
	Hp(0.07) (mSv)	Hp(10) (mSv)	能量(keV)	Hp(0.07) (mSv)	Hp(10) (mSv)	能量(keV)	Hp(0.07) (mSv)	Hp(10) (mSv)
E <sub>1</sub>	1.03	1.03	662	1.13	1.13	662	+9.71	+9.71
E <sub>2</sub>	2.02	2.02	662	2.11	2.11	662	+4.46	+4.46
E <sub>3</sub>	3.91	3.91	662	3.99	4.42	662	+2.05	+16.04
E <sub>4</sub>	5.06	5.06	662	5.90	5.90	662	+16.60	+16.60

注: 1) 偏差=[(评定值-约定真值)/约定真值]×100%。  
定的系统误差, 这也是给剂量计算带来一定的系统偏差。  
(4) 剂量计采用能量鉴别式方法的实用可靠性还需要进一步研究和实践。每个单位的个人剂量监测所遇到的并不是单一能量的辐射场, 有时会出现 X、 $\gamma$  射线的混合场, 即使是单一的 X 射线, 在一个监测周期里可能出现几种不同能量的 X 射线, 这也是混合场, 比对中给出供使用的两种刻度曲线是否也满足混合场的要求, 有待于进一步研究。

(5) 如果要推广能量鉴别式 TLD, 我们认为只有用本单位所使用的这一批热释光探测器所得到的光子能量刻度曲线才有可靠的保证, 当然还有测量系统的可靠性及其测量人员的技术素质好为前提<sup>[3]</sup>。参加 TLD 比对所使用的 TL 探测器有三种不同补偿条件, 这样探测器的数量要很多, 比如这次比对我们在

一个剂量盒中放 9 支探测器, 这就大大增加了测量的工作量。若每个剂量盒中每个窗口只放一个探测器, 那么测量误差必然大, 这一问题怎样解决有待于探讨。

## 参考文献:

[1] 张兵. 放射工作人员个人剂量监测的实用量及热释光方法实施[J]. 预防医学情报杂志, 1998, 14(1): 29.  
[2] 王建超, 王其亮. 第 3 次全国个人剂量计比对介绍[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2000, 20(4): 231.  
[3] 沈峰, 马玉兰, 桑军阳, 等. 热释光剂量测量中的误差因素分析及其控制措施[J]. 中国辐射卫生, 1998, 7(1): 57.

(收稿日期: 2004-04-00)

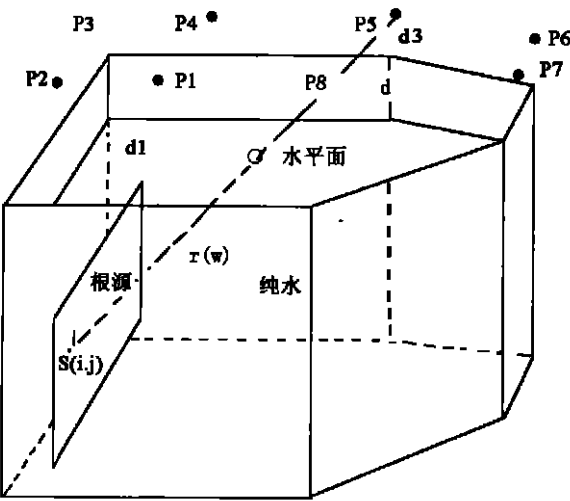


图 1 剂量计算模型

单板源架储水当深大于 4 m 时,是一个长时间工作的安全环境。在应急情况下,工作人员可在 3.5 m 时进行操作,也是相对安全的。单源提升限制:在手工利用长竿钳操作单个放射源时,也有一个计算的安全水深。因本次新增源棒最大活度为 481 TBq(1.3×10<sup>4</sup>Ci),3.5 m 是一个长期安全深度,3 m 是可接受的深度。

3 实践操作阶段的剂量负担

在随后的倒源工作中,经实践检验,可将剂量负担分成若干时段和若干个重要参照点。时段的分担主要是由于在倒源过程中,有几个相对独立的工作时段:①卸老源;②水的处理;③老源的重新排布上架;④操作两个源罐;⑤新源上架。由于考虑源罐操作是剂量率最大的时段,要严格控制操作时间。此次增加的新源,为英国进口源,采用贫铀罐,按相关标准其表面(5 cm)的空气比释动能率限值必须小于 0.2 mGy/h,据此,我们规定,操作分两个小组,并预先经过严格的训练,每组操作时间不大于 90 s,如果不能在预定的时间内完成,立即换第二组,由此控制个体剂量值小于 5 μSv。第二个值得控制的阶段是将单源棒夹入最上排源架。这个过程虽然预计了安全水深,但现行的源架,需要将源棒提起的高度高于源架本身,才能将其插入,所以在预计安全水深时,应考虑到这个因素,即使如此,由于水中的光线折射,这对不熟练的操纵者来说,往往不易判断而延长了操作时间。所以参加操作的人员也必须经过严格的训练和培训,国外的建议是所有操作手均需有两年的工作经验<sup>[2]</sup>,以确保个体和群体有效当量都减小到可以接受的低水平。

4 实际控制水平

该次倒源实践专门成立剂量防护小组,对整个增源过程进行不间断跟踪监测。采用两台仪器同时异点监测以保证操作现场工作人员安全,固定测量位 17 个,操作杆端部及时监测,新源罐的进出过程室内外各两台仪器跟踪监测。监测采用上海电子仪器厂生产 FD-3013 辐射剂量仪(经过上海标准计量研究院线性标定)一台为主,450P 低能 γ、X 剂量仪,FD-3014 数字 γ 辐射仪,BH3103A γ 辐射仪各一台为安全监测和辅助测量。开始进入现场时间为 2002 年 12 月 2 日 9:45,最后离开现场时间为 12 月 5 日 8:00,纯监测时间为 34 h 12 min。共测量数据 277 个。见表 1、表 2。

5 控制结果及评价

由表 1、表 2 可以看出:①工作时段剂量均值,在卸老源和过滤静置过程中,剂量始终处于本底水平。②在老源上架时,单源提升,剂量均值有所提高,达到 0.99 μSv/h。③在新源上架时,由于源强增加了 118.5 PBq(13.05 万居里,相当于老源

活度的 34.5%),所以平均剂量率提高到 1.49 μSv/h。④在两次新源罐进入辐照室内卸源时,剂量率均值分别达到 1.82 μSv/h 和 1.50 μSv/h,但由于水上操作时间极短(一般控制不超过 90 s),其当量剂量可被控制在尽可能小。⑤将各阶段时间乘以剂量率均值,然后求和,得出本次增源过程现场工作人员个体最大可能的当量剂量为 23.95 μSv。

表 1 各点测量剂量率(μSv/h)

测量位置	测量点数	最大读数	最小读数	平均读数	备注
P5	26	1.12	0.14	0.20	水面上
P8	25	6.27	0.13	1.53	水面上
P7	47	4.85	0.13	1.53	水面上
P2	8	1.24	0.15	0.51	
P3	2	0.9	0.18	0.54	井西南角
P6	16	1.42	0.16	0.43	井边沿
第一源罐	15	22.1	0.2	2.86	不同距离
第二源罐	7	5.76	0.66	1.52	不同距离
操作杆头	4	0.18	0.12	0.15	刚下水时

表 2 时段分布的吸收剂量

序号	工作内容	时间(h)	水深(cm)	测点数	当量剂量 H(μSv)	剂量份额(%)
1	卸老源	4.600	400	91	0.736	3.4
2	过滤和静置	6.100	400	35	0.976	4.1
3	过滤和静置	4.133	400	10	0.620	2.6
4	老源上架	6.167	400	86	6.105	25.5
5	第一源罐在辐照室内卸源	1.600	400	9	2.922	12.5
6	第二源罐在辐照室内卸源	0.433	400	8	0.650	2.7
7	新源上架	8.017	400	36	11.945	49.9
合计		37.217		277	23.954	

显然,本次的操作源实践当量剂量完全控制在了预期的剂量限值 83 μSv 之内。

6 讨论

①得出的安全水深仅针对该特定装置本次源操作。②由于是长程散射,钴-60 的 γ 射线在水中的平均能量逐渐降低<sup>[3]</sup>,而采用固定的吸收系数 μ 得出水深应是偏安全的<sup>[4]</sup>。③基于上述理由,能量的降低反会增加人体的当量剂量。④造成操作源上架时段总的剂量占到全部剂量 75.4% 的现象(见表 2)是因为这一时段的工作时间较长和实际操作中单源提升高度仍有超出预设安全水深的现象。所以,对于国内现行的 γ 工业辐照倒源工作,熟练的操作技能是降低剂量的关键。⑤对于大型多装置的企业来讲,其倒源的频度会很高,可考虑采用自动或半自动的专门倒源设备,这是一个值得重视和予以解决的问题。

参考文献:

[1] 李士俊. 发射光子的放射性核素各向同性点源的剂量常数[J]. 辐射防护, 1999, 7(4): 246-257.  
[2] McKinnon R. G., P. Eng. Safety considerations in the design of GAMMA irradiation facilities and the handling of <sup>60</sup>Co sources[J]. Radiation Physics and Chemistry, 1988, 4-6: 563-568.  
[3] 梅镇岳. β 和 γ 放射性[M]. 第 1 版. 北京: 科学出版社, 1964: 95-98.  
[4] 张钦富, 杨晓发, 程晓军, 等. 电离辐射与防护[M]. 郑州: 河南医科大学出版社, 1999: 317-322.

(收稿日期: 2003-10-08)