

辐射加工过程中错步辐照的判别及影响程度估算

郭仕源¹ 李阳¹ 汤清松²

¹ (中金辐照有限公司 深圳 518019)

² (天津金鹏源辐照技术有限公司 天津 300308)

摘要 为探讨判断动态步进辐射加工过程中错步对辐照产品吸收剂量的影响程度,通过不同辐照位影响的实验研究了44个辐照位对模拟产品瓦楞纸的吸收剂量贡献率。结果显示,个别辐照位对模拟产品的吸收剂量贡献极其明显,错步辐照在关键辐照位对吸收剂量影响较大。文章结合工艺特点分析了错步辐照的成因、核查错步辐照的判别条件和预防措施,并给出吸收剂量影响程度的测算公式。

关键词 辐照加工, 错步辐照, 吸收剂量

中图分类号 R144, TL7, TP202⁺.2

利用钴源辐照装置进行辐射加工的应用非常广泛,在工业、农业和医疗卫生领域均发挥了重要作用^[1]。被辐照产品被送到辐照室经由不同辐照路径和辐照时间,使辐照产品所吸收的辐射剂量达到某个设定标准。

目前国内大中型伽玛辐照装置已经对传统的人工堆码工艺进行了技术改造,普遍采用气动式或悬挂链式传输系统。在新型规模化装置中,过源辐射区大多采用周期性气动步进传送形式。车中慧等^[2]认为动态辐照过程中,被辐照产品所受到的总辐射剂量为各个被照位置吸收剂量的总和。为达到产品所需吸收剂量,装有同类产品的辐照容器必须走遍辐射区特定路径上的 n 个辐照位置,在每个辐照位(辐照产品箱在辐照室间歇停顿的位置)都停留一个等量设定的主控时间 T (每次步进移动及歇停周期时间)接受辐射,任一辐照箱内产品吸收的总剂量就是该产品在每个辐照位所吸收剂量的总和。相对于设定的主控时间 T 而言,如果辐照箱在辐照运行中发生任一位置重复性多照、缺照或少照若干时间,称之为错步辐照。显然,错步辐照会导致产品欠照或过量照射。

本文重点关注的是如何判定发生错步辐照对产品吸收剂量的影响程度,以及在辐照操作过程中怎样检查和避免错步辐照的发生,为商业化辐照提供理论依据。

1 实验材料和方法

1.1 实验材料

实验所需的均匀模拟产品采用装载密度为 $0.1\text{g}/\text{cm}^3$ 瓦楞纸。

1.2 钴源辐照装置

γ 射线辐照装置(天津金鹏源辐照技术有限公司),钴源活度为50.78 PBq,辐照箱按4列双层围绕钴源排列,有44个辐照位(见图1),采用动态步进辐照^[3]。

1.3 辐照吸收剂量测定及测量仪器

由于不同辐照位剂量监测点的吸收剂量率差异较大,单一剂量计量程有其局限性等因素,选取3种不同量程的剂量计监测吸收剂量,分别为HARWELL AMBER 3042、HARWELL RED 4034以及重铬酸钾银剂量计(深圳金鹏源辐照技术有限公司,制作方法参见文献[4]),共132个剂量计。测量仪器采用TU-1800PC紫外分光光度计(北京谱析通用仪器有限责任公司)。

1.4 实验过程

不同辐照位吸收剂量影响度实验:辐照加工关注的是产品最小吸收剂量和最大吸收剂量,首先将剂量计布放到已知的位于44个辐照位中模拟产品

第一作者:郭仕源,男,1953年11月出生,1977年毕业于华南工学院(现华南理工大学),机械制造工艺与设备专业,高级工程师, E-mail: shiyuan.guo@jpy.com.cn

收稿日期:初稿 2008-03-24, 修回 2008-07-03

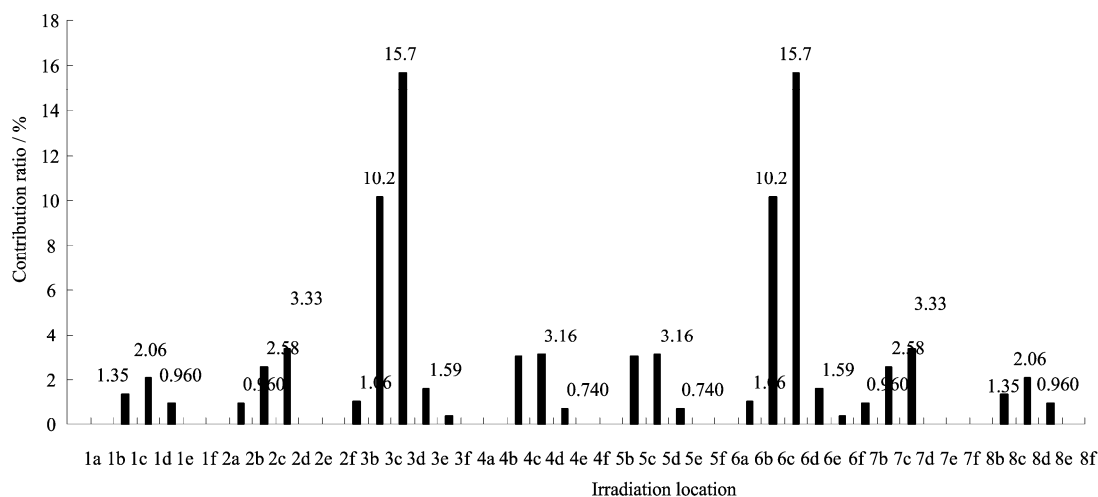


Fig. 3 The contribution of absorbed dose at different location for the point B

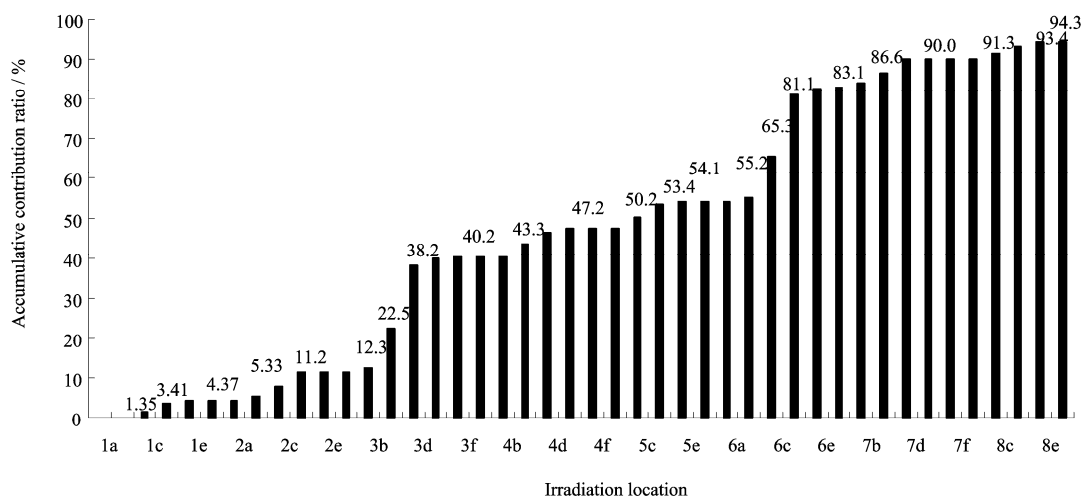


Fig. 4 The accumulative contribution of absorbed dose at different location for the point B

2.2 错步辐照主要原因

对辐射运行控制特点进行分析,造成错步辐照主要有 3 方面原因所致:一是因在过源机构故障降源检修时,工作人员有时会忽略降源前过源区辐照箱占位状态,或排除故障时错误向前移动了辐照箱或简单地维持辐照箱于原位不动;二是人为设置错误参数;三是设备控制系统的过源控制单元有缺陷,当辐照中降源或重新升源时,系统不能可靠保留降源前主控定位辐照的剩余时间,导致产品在原位重照一个完整的主控时间,或因立即进位而减少了这一辐照位的照射。

2.3 错步辐照的核查

错步辐照的检查难易取决于辐照监控系统的智能化程度,记录参数较少的监控系统给核查增加了时间,同时也给位置的推断增加了难度。近年广泛

采用的过源机构汽缸驱动式,使 γ 辐照装置基本实现计算机监控及信息储存,比较有利于错步辐照的检查。

2.3.1 错步辐照的判断 针对每次辐照中停、降源再升源后的某些记录参数作重复性检查,重点检查四种情况:(1)属于非过源机构故障的中停,升源到正常工作时,辐照室内辐照箱占位和中停时的顺序位置相同;(2)属于过源机构故障的中停,升源到正常工作时,辐照室内辐照箱顺序位置应提前整体前移一位;(3)升源后起始主控时间保持与中停时的主控剩余时间 ΔT 相同;(4)完成 ΔT 辐照后能自动恢复到原主控时间 T 。如果与这四种情况有任何不相符,可断定为有错步辐照现象。

2.3.2 某一错步辐照箱号的判断 一般情况下,对于过源步进式 γ 辐射装置,涉及运行中停的记录至少包括以下信息:中停时的时间点 t_s 、中停时对应运行总步数(辐照箱步进总周期数) m_s 、主控时间

T 及运行剩余主控时间 ΔT 、辐照箱在输送线的排列顺序、中停后恢复升源辐照的时间点 t_r 以及辐照箱在输送线的排列顺序和主控时间等情况。

首先, 查出中停降源时的时点 t_s 和对应运行总步数 m_s , 根据排列顺序, 找出紧贴放射源最大吸收剂量率占位的辐照箱号(下面统称为焦点箱), 其次, 根据恢复辐照运行后对该批产品的最早跟踪运行记录, 查出该焦点箱前移到了某一新的占位对应运行实际总步数 m 和时点 t_e 。显然, 中停降源的时间加上升源后焦点箱行至时点 t_e 的时间, 必等于从中停时刻 t_s 到焦点箱于 t_e 时刻进入某一新的占位的时间, 可以按下列简化公式(2)、(3)、(4)对辐照产品吸收剂量作出判断:

$$t_e = t_r + T \times (m - m_s - 1) + \Delta T \quad \text{正常辐照} \quad (2)$$

$$t_e > t_r + T \times (m - m_s - 1) + \Delta T \quad \text{过量辐照} \quad (3)$$

$$t_e < t_r + T \times (m - m_s - 1) + \Delta T \quad \text{缺量辐照} \quad (4)$$

式中, t_e 为升源后焦点箱移动到任一新位置的时刻(s); t_r 为中停后恢复升源辐照的时刻(s); m_s 为中停时对应运行总步数; m 为焦点箱移动到任一新位置对应运行实际总步数; T 、 ΔT 分别为主控时间及剩余主控时间(s)。

2.4 错步辐照影响程度的测算

特定装载密度的产品辐照吸收剂量 D_0 与辐照主控时间 T 呈线性比例关系, 已知在主控时间偏离量 Δt_i (错步辐照引起)作用下, 一个辐照位对焦点产品(焦点箱内的产品)监测点的吸收剂量影响系数:

$$\delta_i = \Delta d_i / D_0 = \Delta t_i / T \quad (5)$$

式中, D_0 为某产品在给定一主控时间对应的参考吸收剂量(kGy); Δd_i 为焦点产品所在辐照位监测点的吸收剂量增量(kGy); Δt_i 为与辐照主控时间 T 发生偏离的偏差值(s)。

当超时辐照时取 Δt_i 为正值, 当缺时辐照时取 Δt_i 为负值, 若焦点产品在一次循环辐照中在第 i 个辐照位发生错步辐照, 则焦点产品监测点吸收剂量为:

$$D = D_0 + \Delta d_i = D_0(1 + \delta_i) = D_0(1 + \Delta t_i / T) \quad (6)$$

若焦点产品在一次循环辐照中有 X 个辐照位发生错步辐照, 则该批产品吸收剂量为:

$$D = D_0(1 + \sum_{i=1}^X \Delta t_i / T) \quad (7)$$

若产品被分解为 j 次循环辐照, 并每次循环辐

照有 Y 个辐照位发生错步辐照, 则该批产品吸收剂量增量为:

$$\Delta D = \sum_{j=1}^Y \sum_{i=1}^X \Delta t_{ji} / T_{ji} \quad (8)$$

实际运行当中, 每次因故中停运行、升降放射源耗时 ΔT_m (20~50 s), 如果产品吸收剂量要求很低, $\Delta T_m / T$ 便成了不可忽略因素, 对于紧贴放射源的少量产品会产生过照射影响, 影响度还与重复升降次数成正比。产品吸收剂量的要求精度决定是否允许忽略这一影响。

2.5 错步辐照的预防

(1) 选购监控系统完善的辐照装置。辐射装置必须配置完善的计算机辐照监控系统, 系统能够跟踪记录钴源升降时间、每个辐照主控时间, 能记录每个辐照箱在进出某个辐照位置的准确时间和运行累计总步数, 中停辐照剩余时间能够可靠保留, 中停降源后过源区若辐照箱发生人为移动, 计算机能提示类似“核实辐照箱正确位置”信息, 甚至与升源操作产生连锁功效。(2) 对于每次因故中停辐照加工, 必须记录剩余主控时间; 恢复升源之前, 必须严格核查, 将在线辐照箱实际占位情况和降源之前应有的进位状态进行比较, 确认主控剩余时间未发生异常改变, 或做出必要的调整。(3) 将核查错步运行记录环节列为常规工作, 纳入质量管理体系, 强化现场监控管理。

3 结论

本文对辐照加工过程中错步辐照进行较全面的研究分析, 结果表明错步辐照在 γ 辐射装置关键辐照位置对吸收剂量影响较大, 时间控制尤为重要, 可以通过初期的设备选购以及后期强化管理, 减少或避免错步辐照事件的发生, 事件发生严重程度可以借助数学模型进行量化测算。

参考文献

- 1 王建华, 邱小平, 罗志平, 等. 辐射研究与辐射工艺学报, 2008, 26(1): 5-8
WANG Jianhua, QIU Xiaoping, LUO Zhiping, et al. J Radiat Res Radiat Process, 2008, 26(1): 5-8
- 2 车中慧, 伍骏. 西南民族学院学报·自然科学版, 1994, 20(3): 282-288
CHE Zhonghui, WU Jun. J Southwest Natl Coll · Nat Sci Ed, 1994, 20(3): 282-288
- 3 《辐射加工剂量学术语》. GB/T 15446-1995: 12

- 《Terminology relating to radiation processing dosimetry》. GB/T 15446-1995: 12
- 4 《使用重铬酸钾(银)剂量计测量 γ 射线水吸收剂量标准方法》. JJG1018-90: 1-14
- 《Standard Method for using the Potassium (Silver) Dichromate Dosimeter to Measure γ -ray Absorbed Dose in Water》. JJG1018-90: 1-14
- 5 陈玉霞, 夏和舟, 林勇, 等. 核农学报, 2002, **16**(6): 370-375
- CHEN Yuxia, XIA Hezhou, LIU Yong, *et al.* Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2002, **16**(6): 370-375

Identification of misstep irradiation and evaluation of effect on absorbed doses in the irradiation process

GUO Shiyuan¹ LI Yang¹ TANG Qingsong²

¹ (Zhongjin Irradiation Co., Ltd. Shenzhen 518019, China)

² (Tianjin JPY Ion-Tech Co., Ltd. Tianjin 300308, China)

ABSTRACT In order to determine the effect of misstep irradiation on the absorbed doses of irradiated products in the process with moving shuffle-dwell irradiation system the contribution ratio of absorbed doses had been measured at 44 irradiation location with corrugated paper as model of irradiated products. It has been revealed that the contribution of absorbed doses obviously comes from that at some special irradiation location with the irradiated dummy. And misstep irradiation at special irradiation location has large effect on the total absorbed doses. In this paper the reason, identification and protection of misstep irradiation has been discussed. And the predicated formula of effect on absorbed doses has been given.

KEYWORDS Irradiation process, Misstep irradiation, Absorbed dose

CLC R144, TL7, TP202+.2