

<sup>60</sup>Co 辐照装置剂量场物理设计及辐射安全防护

哈益明

(山东农业大学生命科学学院, 泰安 271018)

中图分类号: R145; X591 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2000)01-036-02

本文介绍我校钴源辐照装置的概况, 着重说明剂量场分布的物理设计及安全联锁装置, 结合运行实践介绍了防护效果。

1 辐照装置概况

辐照装置系统由辐照室、控制室、货物仓库和办公、实验室(剂量室、微生物室)组成。

辐照室: 长 10m × 宽 7m × 高 4.5m

屏蔽墙: 总厚度 2m, 内外两层, 其中内层 1.2m, 外层 0.8m。顶厚 1.5m。钢筋混凝土结构, 一次浇筑完成。混凝土密度 ρ=2.3g/cm<sup>3</sup>。

屏蔽防护设计要求: 辐照室周围环境 H<2.5×10<sup>-3</sup>mSv/h(二倍安全系数)

迷道: 人行迷道和货运迷道两部分, 总长 40 米, 采用直角弯道以减少散射的逸出, 迷道设计宽 1.2m, 高度 4.5m。

贮源井: 位于辐照室中央, 井口尺寸 2.5m × 1.5m, 井深 6 米, 井水为自来水。井壁用混凝土结构并进行防渗处理, 采用 6 毫米的不锈钢制作井的内衬, 并经 X 射线探伤检测无缝隙。贮源井除源架升降口外均用不锈钢覆面。

辐照方式: 单栅板源静态堆放式辐照(一期工程)。

双板 25 工位 5 通道积放式动态辐照(二期工程)。

2 静态剂量场的物理设计

2.1 单栅板源最佳源排列方式

源架结构: 14 根不锈钢源管排列而成, 源板宽度为 1100mm。

源管: Φ12×1260mm, 每一源管可装载两根 Φ11×456mm 的进口源棒。若采用国产源棒, 每一源管可装载 12 根。国产源棒尺寸为 Φ11×90mm。最大装载源棒的总高应与源管高度留有 200~300mm 的余量。

源棒: <sup>60</sup>Co 放射源

1989 年 10 月, 我校从英国进口五根 Φ11×456mm 双层不锈钢包壳源棒, 总活度: 2.035×10<sup>15</sup>Bq (5.5×10<sup>4</sup>Ci)。1997 年 6 月, 再次由中国同位素总公司从英国进口两根 Φ11×456mm 源棒, 总活度: 7.9×10<sup>14</sup>Bq。

利用自行设计的计算机软件系统, 给出最佳静态辐射场的源排列方式。

最佳源排列方式的理论依据:

(1) 源架中源管个数和源棒个数在最优化条件下应组成最少的组合源棒组(N), 从而在现有源架的情况下, 实现或接近源一靶几何中的超覆盖。

(2) 在一定范围内使每一源棒组中上下的活度基本对称, 实现剂量场纵向分布的基本一致。

(3) 将(N)组等效组合源棒按活度大小沿横向进行排列, 并使源架两侧的组合源棒活度最大。

(4) 根据计算机优化排列的源架形式, 计算出空间任一点的剂量的大小。

(5) 程序设计, 由计算机绘制 z=0 平面的等剂量曲线图, 见图 1。其中, z 为纵向分布的坐标函数。z=0 平面为当源位于辐照源位时, 过组合源棒中心并与纵向垂直的 XOY 平面。

分析参考平面的等剂量线走向, 结合辐照室的空间大小, 从而获得优化排源方式和最佳辐射空间的剂量场分布。

2.2 静态辐照的剂量场分布

2.2.1 垂直于轴的不同平面上的剂量分布规律, 结果见表 1。图 2。

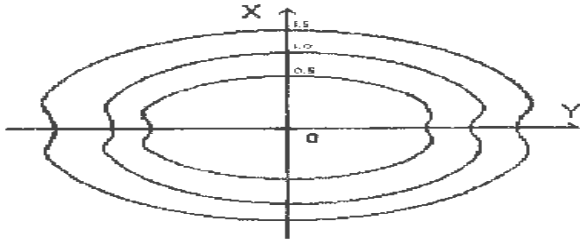


图 1 Z=0 平面的等剂量曲线图

2.2.2 照射量率随高度的变化, 结果见表 2

表 1 Z=0.5m 平面上, 过 X=1.0m 的等剂量线测点数据

测点	坐标(X, Y)	理论值(Gy)	测量值(Gy)
A-0	-1.00, 0.00	98.664	96.561
A-1	-0.95, -0.30	100.842	96.673
A-2	-0.85, -0.55	102.151	107.284
A-3	-0.60, -0.85	105.184	98.384
A-4	-0.35, -1.00	106.893	101.782
A-5	-0.20, -1.05	106.947	88.477
A-6	-0.98, 0.20	99.347	108.462
A-7	-0.95, 0.40	96.735	104.448
A-8	-0.90, 0.55	95.330	103.017
A-9	-0.80, 0.75	92.674	89.459
A-10	-0.55, 1.00	91.444	82.133

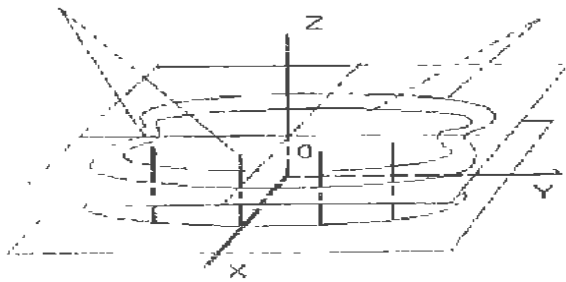


图 2 Z=0.5m 平面上, 过 X=1.0m 的等剂量曲线

表 2 X=1.5m, Y=0.0m 时照射量率随高度 Z 变化的理论数据

坐标	剂量率	坐标	剂量率
Z(m)	(C/kg·h)	Z(m)	(C/kg·h)
-2.00	1.956	0.20	5.174
-1.80	2.226	0.40	4.734
-1.60	2.535	0.60	4.576
-1.40	2.889	0.80	4.153
-1.20	3.283	1.00	3.712
-1.00	3.712	1.20	3.283
-0.80	4.153	1.40	2.889
-0.60	4.576	1.60	2.535
-0.40	4.934	1.80	2.226
-0.20	5.174	2.00	1.959

作者简介: 哈益明(1957~), 男, 山东蓬莱市人, 教授, 主要从辐射技术应用研究。

在  $Y=0$  平面上, 不同  $X$  情况下, 剂量率随高度的变化规律如图 3 所示。当  $Y$  一定,  $X$  愈小, 随着  $|Z|$  的增加, 照射量率减少的速度愈快。

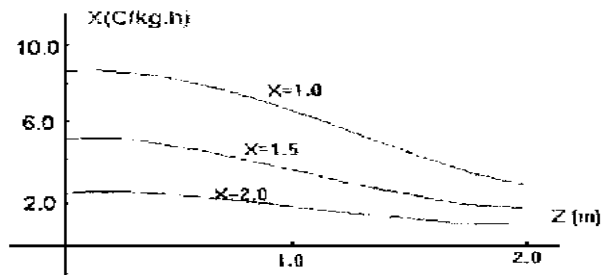


图 3 剂量率随高度的变化规律

3 辐射安全防护

3.1 环境监测与安全评价经运行中监测, 结果见表 3.4。

表 3 工作场所的剂量当量率( $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ )

测量地点		剂量当量率
操作位置	头	0.18
	胸	0.18
	腹	0.16
	脚	0.18
潜望镜	防护门外	0.18
	上	0.20
	中	0.50
	下	6.00
提升机		0.20

表 4 辐照室外环境的剂量当量率 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )

测量地点		剂量当量率
东侧	1	0.18
	2	0.20
	3	0.20
南侧	1	0.22
	2	0.20
	3	0.20
西侧	1	0.20
	2	0.20
	3	0.20
北侧	1	0.18
	2	0.20
	3	0.20

测量仪器为 FJ-317 型便携式  $\gamma$  测量仪。表中数据未扣除本底。

结论: 除潜望镜下部因管道进入辐射室形成剂量率略高外(现已用铅块屏蔽), 工作场所和周围环境均接近本底水平(环境放射性本底为  $0.18\mu\text{Sv}/\text{h}$ )。

3.2 多重连锁防护系统

3.2.1 源位指示

① 辐射监控仪(清华大学核能研究院)。电离室探头设在辐射室上部, 仪器面板显示的数据可对照射室内的剂量和源位进行昼夜监测, 监测与升源、开门电路连锁同步。

② 控制电路、行程开关。控制电路使控制台上的光电管连续显示源的位置。行程开关控制防护门上的源位指示(光字牌), 给出安全、危险和照射信号。

3.2.2 升降源控制

① 升源控制采用与门控制电路。按操作规程, 一切就绪后(即多重连锁回路所要求的条件均满足时)方可升源。

② 相序指示电路。预备升源按钮按下后, 自动启动。相序正常, 按升源按钮后方可升源; 线路反相时, 报警并自动切断升、降源电路。

③ 降源控制采用或门控制电路。运行中, 只要连锁回路中出现任一异常情况(如防护门被强制性打开)则自动降源。

④ 卡源监控装置。按装在钢丝绳上, 若源被卡则钢丝绳松脱, 监控装置在控制台上显示并报警。同时启动迫降装置, 使源架返回安全源位。

3.2.3 开门控制

① 钥匙开关。防护门电磁锁与控制台升降源开关共用一把钥匙, 只有锁好门, 接近开关接触时钥匙才可取下, 源方能升起。

② 照明控制。源在辐照位置时, 门打不开, 辐照室及迷道内则无照明。

③ 红外光电控制。人行和货运迷道口设有红外光电控制开关, 若源在辐照位置时有人误入, 控制系统使源自动迫降。

3.2.4 室内无人控制:

① 紧急降源按钮。按装在辐照室内和迷道口, 防止有人被关后紧急降源并将防护门从里面打开。

② 钥匙挂牌。迷道入口处设有与升源电路连锁的钥匙挂牌。人员进入时每人取其一, 同时切断升源电路。工作完毕待全部钥匙插入复位后, 升源电路才自行接通。

③ 人员撤离按钮。防护门关闭前按该按钮, 警铃响且辐照室内灯光熄灭。此时迷道灯光仍然亮, 督促人员撤离。

3.2.5 观察系统与入室控制

① 利用潜望镜和强制照明系统监视辐照室内的运行情况。

② 利用控制台上的试灯、试铃按钮, 检查灯光信号和报警装置是否正常。

③ 进入辐照室前须携带  $\gamma$  辐射仪。该仪器与防护门上的电磁锁连锁, 取下后方可开门进入。否则, 防护门不能开启。

4 小结

几年来的运行实践表明: 该辐照装置的剂量场物理设计准确可靠, 优化排源技术在理论与实践上已达国内领先水平。自行研制的描述辐射场分布的计算机软件系统, 揭示了整个辐照空间的三维剂量场分布规律, 为辐照加工产品的质量控制在严格的剂量依据。另外, 该装置屏蔽防护符合设计要求, 自行设计的安全连锁装置确实行之有效, 设计思想有独到之处, 系统安全可靠。辅之以严格的安全运行操作规程, 可确保辐照装置的正常运行。

收稿日期: 1999-01-14, 修回日期: 1999-03-04

·小资料· 肠型急性放射病 肠型急性放射病, 比骨髓型更为严重。虽然同时存在严重的造血障碍, 但肠道损伤广泛、严重、发展迅速, 是危及病人生命的主要因素。人体受  $10\sim 20\text{Gy}$  大剂量照射后, 最突出的损伤是肠隐窝上皮细胞停止分裂, 更新活跃的肠上皮细胞无法得到补充, 几天内全部脱落。肠吸收功能破坏后, 胆盐不能吸收而刺激肠道。患者发生剧烈的呕吐、腹泻, 多数发展为血水便。肠道各种变化导致严重脱水, 电解质平衡失调, 血液浓缩、循环血量减少。同时肠内细菌及有毒物质大量入血引起菌血症等, 病情急转直下至死亡。肠上皮修复能力很强, 若能再生在受照射后 1 周左右再生的上皮即可覆盖全肠, 但又随即出现极严重的骨髓综合征仍然迅速死亡。因胃肠型急性放射病除胃肠道症状突出外, 造血组织损伤也很严重, 表现为白细胞数急剧下降, 在照射后第 6 天即可降至  $(1\sim 2)\times 10^3$  个/ $\text{mm}^3$  以下, 但是它被严重的胃肠道症状所掩盖, 因病情急剧发展, 使造血功能障碍的症状如出血等尚未来的及表现, 病人已死亡。消化道对电离辐射比较敏感, 全身或腹部受一定剂量照射后便可出现消化系统损伤, 其中以小肠最敏感, 胃和结肠次之。小肠上皮细胞  $\text{D}_{01}$  为  $1.3\text{Gy}$ 。肠型急性放射病时, 最主要的改变是肠隐窝部上皮细胞变性坏死, 肠粘膜脱落肠壁变薄等。