

## 大型集装箱检查系统辐射防护检测与评价

梁绵英, 黄伟旭, 耿继武, 杨宇华

中图分类号: R148; R144 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2004)03-199-03

【摘要】目的 通过现场辐射剂量检测, 对屏蔽体防护与安全连锁等防护设施的可靠性予以评价。方法 按照国家职业卫生标准《集装箱检查系统放射卫生防护标准》GBZ143-2002 执行。结果 安全连锁及相应安全设施均能正常发挥效应; 辐射源箱辐射泄漏率为 0.2%, 小于国家标准规定的限值; 放射工作人员受职业照射有效剂量为 0.36 ~ 0.50 mSv/a, 公众成员附加剂量为 0.03 mSv/a, 均符合 GB18871-2002 规定的限值。结论 集装箱检查系统其辐射防护与安全符合国家有关法规与标准的要求。

【关键词】固定式集装箱检查系统; 辐射水平; 防护效果

目前, 在我国各海关口岸对进出口查禁车违禁物品任务, 以辐射成像技术为核心的电子直线加速器系统, 逐步取代人工开箱检查的操作方式。在广东省内已安装有不同类型(固定式、组合式和车载式)的集装箱检查系统共 17 台; 其中在 5 台固定式大型集装箱检查系统中, 由清华同方核技术股份有限公司制造的占 3 台。在这些类型的检查系统以固定式的输出辐射剂量最大, 其产生电子的最大能量为 9 MeV, 电子脉冲强度为 150 mA, 高能电子打靶后产生的韧致辐射束的最高能量接近 9 MeV, 平均能量为 2.55 MeV。在 0°方向上距靶 1 m 处瞬间剂量为 30 Gy/min<sup>[1]</sup>。由于每天的开机(扫描)时间较长, 是否对工作人员或公众的造成危害, 这是人们关注的重点。为此, 笔者对安装在广东省内的 3 台 FG9056 型大型集装箱检查系统(其屏蔽体结构与布局基本一样), 针对来自加速器室、探测器室、扫描通道和防护门等工作场所以及屏蔽体外的公共场所(包括司机通道、业务办公室等), 进行了全面的防护检测及安全连锁等防护设施的可靠性现场检查。试图通过对该系统的

作者单位: 广东省职业病防治院, 广东 广州 510310

作者简介: 梁绵英(1950~), 男, 主管医师, 主要从事放射医学与防护工作。

量, 由于电离室不同, 得到的结果不同; 对于同一种射线和能量, 由于测量方法不同, 其结果也不同, 国标法误差较大。

3.2 国标法与 IAEA 法的主要区别 定义电离室空气吸收剂量较正因子  $N_D$  依赖于电离室的几何形状和制作材料, 对不同的电离室取不同的数值, 它由电离室的比释动能校准因子  $N_X$  计算得来; 不再使用  $C_A$  和  $C_E$  转换因子和单一的置换因子, 引入相对不同能量 X( $\gamma$ )射线和电子束的质量阻止本领和扰动因子。

3.3 国标法存在的主要问题<sup>[1]</sup>。

(1) 使用空气照射量校准因子测量模体内的照射量是有问题的, 因为这要求电离室的空气较准因子在模体中不随测量深度和射野的变化而保持为一常数。而在实际体模中, 相当部分的吸收剂量的贡献是由能量较低的散射线给予的, 这完全不同于空气中校准时的情况。

(2) 在测量高能 X( $\gamma$ )射线时, 国标法将电离室假设为水的等效材料, 而高能电子线测量时, 国标法又假设电离室为空气的等效材料。实践中一个电离室既要适合测量高能 X( $\gamma$ )射线又要适合测量电子束, 应用时陷入了矛盾。

(3) 对所有的电离室都应用相同的置换因子, 而不考虑辐射质和测量深度的影响, 显然是不正确的。实际上这一因子既依赖于电离室的几何构造又依赖于射线能量和测量条件。根据 IAEA 的关于 TRS277 号报告的评述资料, 使用电离室在模体中测量吸收剂量, 电离室测量有效点位于电离室几何中心向射

屏蔽防护效果检测及安全控制系统的效能检查, 对其结果作出相应的评价意见, 并提出改进措施, 为消除人们的恐惧心理, 有效地保障放射工作人员和公众的安全长健康。

## 1 材料与方法

1.1 仪器 ① 2570A 照射量计, 不确定度  $\pm 2.5\%$ 。② GH-102A-X 剂量率仪, 不确定度  $\pm 11.0\%$ 。③ PDR-2 剂量率仪, 不确定度  $\pm 6.0\%$ 。④ FJ-427 热释光仪, 剂量探测器为 LiF (Mg, Cu, P); 检出下限 0.01 mSv。

1.2 检测项目 ① 加速器输出量、辐射源箱泄漏辐射水平。② 检查系统出束扫描时建筑物外场所辐射水平。③ 加速器机房屋顶天空辐射水平。④ 连锁保护与报警系统等安全系统性能。⑤ 放射工作人员职业照射剂量。⑥ 天然辐射外照射水平。

1.3 检测方法 按国家相关规范的方法进行, ①《环境地表  $\gamma$  辐射剂量率测定规范》(GB/T 14583-93)。②《环境核辐射监测规范》GB12379-1990。③《 $\gamma$  射线和电子束装置防护检测规范》GBZ 141-2002。④《职业性外照射个人监测规范》GBZ 128-2002。

线方向前移 0.6 r 为电离室空腔内半径; 如 RT100 剂量仪电离室空腔内半径为  $r=0.315$  m, 0.6 r = 0.19 cm。对于加速器 8 MV X 射线, 如果把电离室几何中心置于水下 5 cm, 实际测量到的是水下 4.81 cm 处的吸收剂量。按 IAEA 的准则要求, 要把电离室测量有效点置于校准参考深度 5 cm, 有两种做法: 一是把电离室几何中心置于水下 5.19 cm 处; 二是把电离室几何中心置于水下 5 cm, 再根据百分深度剂量曲线进行附加 0.19 cm 的吸收校正。

(4) IAEA 法完善了其他国家测量方法中理论上的某些不足, 纠正了相关参数引用上的混乱, 提高了测量精度。用 IAEA 法电离室测量高能 X( $\gamma$ )射线和高能电子线的吸收剂量, 其结果与量热法、化学剂量法的结果比较, 误差小于 1%<sup>[2]</sup>。

(5) IAEA 法是一种简捷、易于执行的方法, 它提供了一个世界范围内统一的放疗剂量测定程序, 以促进放疗剂量测量的准确度达到国际上可以接受的一致性。IAEA 法已在国际范围内被比较广泛地采用。

## 参考文献:

- [1] 胡逸民. 肿瘤放射物理学[M]. 第 1 版. 北京: 原子能出版社, 1999. 71-79.
- [2] IAEA. Absorbed dose determination in photon and electron beams an international code of practice[R]. Technical reports series No. 277, sec. Ed.. International Atomic Energy, Vienna, 1997.

(收稿日期: 2003-11-19)

1.4 评价依据 ①《工业企业设计卫生标准》GBZ1—2002。②《工作场所有害因素职业接触限值》GBZ2—2002。③《集装箱检查系统放射卫生防护标准》GBZ143—2002。④《电离辐射防护与辐射源安全标准》GB18871—2002。

1.5 评价标准<sup>[3,5]</sup> ①辐射源箱泄漏辐射水平: 小于 1.0‰。②放射源箱体外漏辐射控制值: 1000 $\mu$ Gy/h(表面)。③检查厅

墙外或屏蔽体外表面 30 cm 处的比释动能率: 不大于 2.5 $\mu$ Gy/h。④放射工作人员剂量限值: 20 mSv/a。⑤公众中有关成员剂量限值: 1 mSv/a。

2 结果  
2.1 防护检测 该系统用房共三层, 检测布点见图 1~3。

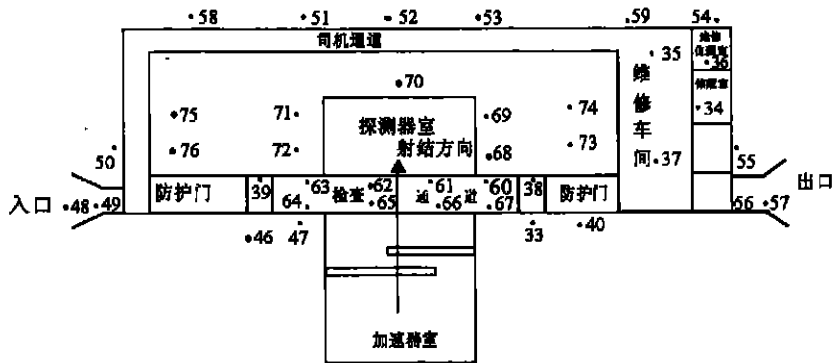


图 1 环境  $\gamma$  剂量及 X 漏射线检测布点图(扫描大厅)

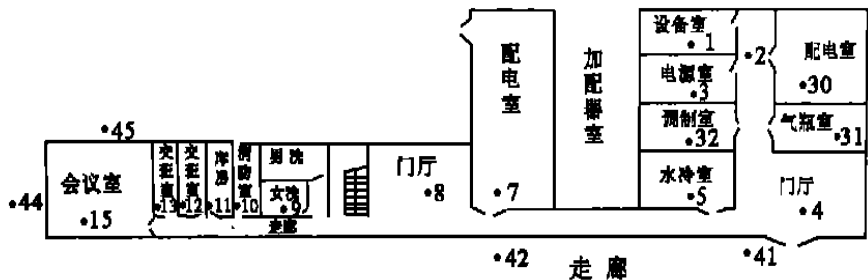


图 2 环境  $\gamma$  剂量及 X 漏射线检测布点图(二层)

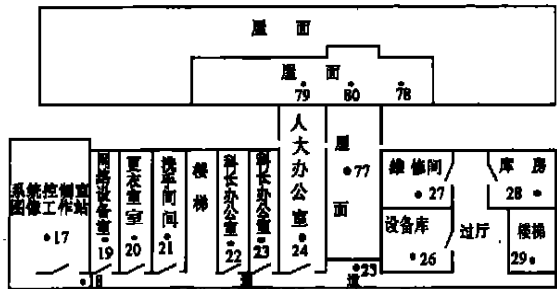


图 3 环境  $\gamma$  剂量及 X 漏射线检测布点图(三层)

2.1.1 源相关的辐射测量结果(表 1)  
(1)加速器输出量: 在出束口 0° 方向上离靶 1 m 处的实测值为 27.32 Gy/min, 略低于设计值 30 Gy/min<sup>[1]</sup>。  
(2)辐射源箱辐射泄漏率为 0.2‰, 小于国家职业卫生标准规定的固定式检查系统应小于 1‰ 的限值<sup>[3]</sup>。

表 1 放射源箱体外漏射线空气比释动能率

空气比释动能率				备注
测量位置	离靶 1.0 m 中心主射线 (Gy/min)	辐射源箱体后面漏射线 (cGy/min)	辐射源箱漏射线率 (‰)	
距地面高 0.5 m	27.32	0.54	0.2	出束口 0° 方向

(3)天空辐射水平: 加速器室屋顶辐射水平, 在扣除本底值后的有效剂量为 2.0 $\mu$ Gh/h, 相当于当地平均水平的 8 倍, 距离加速器室 50 m 半径范围内平均辐射剂量率约为 0.24 $\mu$ Gy/h(属扫描前的本底水平)。

2.1.2 放射工作人员职业照射水平

(1)工作位置剂量率估算: 在设备室、系统控制室与图像工

作站及网络设备室等主要工作场所中测点(图 1~3)的实测结果, 按均值 0.25 $\mu$ Gy/h 计算, 年平均有效剂量为 0.5 mSv(详见表 2)。

(2)个人剂量实测值: 用 TLD 按季对从事放射工作的 40 名工作人员进行职业照射外照射个人剂量监测, 结果 33 人有效剂量低于剂量仪的最小探测限(0.01 mSv), 7 人的剂量为 0.012~0.090 mSv/季, 按全年计算, 放射工作人员所受有效剂量最大为 0.36 mSv/a, 平均值为 0.02 mSv/a(见表 3)。

2.1.3 公众成员附加照射水平 对涉及公众活动的邻近场所(见布点图), 在出束时的剂量监测结果均低于 0.25 $\mu$ Gy/h。假设每年 2000 h(开机时间)居因子取 1/16 计算, 估计附加年有效剂量为 31.25 $\mu$ Gy(0.03 mGy)。

2.2 安全控制系统及联锁装置检查 安全控制系统与联锁保护装置非常重要, 本次检查按生产厂家所提供的设备清单, 对其功能逐项核查与试验, 内容包含警示系统、监视与通讯系统、安全联锁系统、应急求助设施、光电安全装置等。检查结果, 当有关辐射安全的其他条件均具备, 而上述条件中任何一项不具备时, 加速器不能出束。反之, 当加速器出束时, 启用任何一个应急求助设施都能使加速器马上停止出束。

2.4 周围环境放射性本底水平 环境  $\gamma$  辐射水平: 出束前周围地球  $\gamma$  辐射平均剂量率为 (0.24 $\pm$ 0.02) $\mu$ Gy/h(见表 2)

3 辐射安全评价

3.1 关于设备安全 我们的检测结果表明, 清华同方核技术股份有限公司生产的固定性集装箱检查系统, 除输出量略低于设计值外, 辐射源箱辐射泄漏率(0.2‰), 小于相应限值(1‰)<sup>[3]</sup>, 安全联锁及相应安全设施均能正常发挥效应。总体来说, 设备的安全性能良好。

表 2 加速器扫描前环境地表  $\gamma$  剂量率和出束时 X 射线漏射线剂量率( $\mu\text{Gy/h}$ )

测点	出束前环境 $\gamma$ 射线剂量率	出束时 X 射线剂量率	测点	出束前环境 $\gamma$ 射线剂量率	出束时 X 射线剂量率	测点	出束前环境 $\gamma$ 射线剂量率	出束时 X 射线剂量率	测点	出束前环境 $\gamma$ 射线剂量率	出束时 X 射线剂量率
1	0.25	0.26	21	0.21	0.22	41	0.22	0.23	61	0.25	—
2	0.26	0.25	22	0.30	0.29	42	0.20	0.20	62	0.26	—
3	0.25	0.26	23	0.30	0.31	43	0.22	0.21	63	0.25	—
4	0.25	0.25	24	0.31	0.30	44	0.22	0.23	64	0.25	—
5	0.29	0.30	25	0.28	0.28	45	0.27	0.26	65	0.24	—
6	0.28	0.28	26	0.32	0.31	46	0.26	0.27	66	0.28	—
7	0.26	0.26	27	0.29	0.29	47	0.26	0.23	67	0.26	—
8	0.31	0.29	28	0.24	0.24	48	0.19	0.21	68	0.25	0.26
9	0.22	0.23	29	0.26	0.27	49	0.22	0.21	69	0.22	0.21
10	0.29	0.30	30	0.26	0.25	50	0.20	0.22	70	0.20	0.35
11	0.30	0.30	31	0.28	0.28	51	0.25	0.24	71	0.25	0.23
12	0.30	0.29	32	0.27	0.26	52	0.25	0.25	72	0.22	0.24
13	0.30	0.28	33	0.28	0.29	53	0.23	0.23	73	0.23	0.25
14	0.28	0.28	34	0.22	0.25	54	0.26	0.25	74	0.24	0.25
15	0.27	0.09	35	0.25	0.26	55	0.26	0.30	75	0.26	0.25
16	0.28	0.29	36	0.18	0.20	56	0.22	0.21	76	0.25	0.23
17	0.23	0.25	37	0.22	0.23	57	0.25	0.26	77	0.28	0.27
18	0.25	0.24	38	0.21	—	58	0.25	0.24	78	0.24	0.26
19	0.22	0.23	39	0.25	—	59	0.23	0.22	79	0.22	0.27
20	0.27	0.28	40	0.24	0.26	60	0.26	—	80	0.22	2.0

表 3 放射工作人员个人剂量监测结果

工种	人数	监测周期	监测结果( $\text{mGy/季}$ )	
			平均值	标准差
主控	16	一季度	0.02	0.001
图像	8	一季度	0.02	0.001
业务	6	一季度	0.05	0.006
放行	3	一季度	0.14	0.012
管理	7	一季度	0.25	0.042
总平均			0.04	0.014

注: 低于最小探测限(0.01 mSv)取其 1/2 值参与均数。

3.2 关于人员受照剂量 就职业性照射来说, 由剂量率估算所得的年平均有效剂量为 0.5 mSv, 用 TLD 累计测量均值为 0.36 mSv/a, 两种方法所得结果相近似, 均低于国标 GB18871—2002 规定的限值; 公众成员的个人所受照射, 由剂量率、开机时间、2 000 h 及居留因子(1/16)估算, 其结果为 31.25  $\mu\text{Gy/a}$ (0.03 mGy/a), 约为标准规定限值(1 mSv/a)的 1/3。据此, 无论是职业性照射或是公众照射, 其照射水平均在国家标准体系限值以内。

3.3 关于环境漏射线 加速器出束扫描时, 本次检测仅见加速器屋面 80 号测点漏射线剂量率为 2.0  $\mu\text{Gy/h}$ , 但距加速器室 50 m 的半径范围内平均辐射水平为 0.24  $\mu\text{Gy/h}$ 。由于该测点为

屋顶天台, 属无人员进出的地带, 不属防护区域。对此薄弱点可增加屏蔽厚度, 同时对进出屋顶的楼门实施防护管理, 可列入监督区域<sup>[4]</sup>。从防护最优化的角度考虑, 除非工作需要, 不得进入该处停留。除此之外, 检查厅墙外或屏蔽体外表面的比释动能率平均值为 0.25  $\mu\text{Gy/h}$ , 属该检查系统邻近环境辐射水平<sup>[2]</sup>。

3.4 关于职业病危害评价 在检测项目中, 除了电离辐射外, 从职业病危害综合评价考虑, 其他有关职业有害因素, 例如噪声、振动、微波和臭氧等不应忽视, 但在《集装箱检查系统放射卫生防护标准》GBZ143—2002 中无相关受控项目, 似应列入综合评价范畴。

(广东省放射卫生防护所的曾锡慎、麦维基、吴增汉及清华同方威视技术股份有限公司华南中心黄世德、袁彦芳等同志参加了本调查, 并得到了查永如主任的技术指导, 特致谢意。)

参考文献:

[1] 张化一, 唐华平. 9 MeV 电子直线加速器屏蔽设计与评价[J]. 辐射防护, 2001, 21(2): 99—100.  
[2] 吴增汉, 陈子正. 广东省天然辐射外照射水平及其所致居民剂量[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1985, 5(增刊): 46.  
[3] GBZ143—2002, 集装箱检查系统放射卫生防护标准[S].  
[4] GB5172—85, 粒子加速器辐射防护规定[S].  
[5] GB18871—2002, 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S].

(收稿日期: 2004—05—10)