

文章编号: 1006-3617(2013)06-0416-04

中图分类号: R146

文献标志码: A

【论著】

上海市地铁站 X 射线行李包检查系统辐射水平监测结果分析

谭红汕¹, 王桂敏¹, 姜永根¹, 郑懿², 王彦梅¹, 孙中兴¹, 蒋元强¹

摘要: [目的] 掌握上海市地铁站 X 射线行李包检查系统放射防护基本情况, 以及公众和安检工作人员可能暴露的辐射剂量状况, 为加强放射卫生防护管理工作提供基础资料。[方法] 随机选取上海市 6 座地铁站共 19 台 X 射线行李包检查系统, 监测系统外表面 0.05 m 不同位置, 以及系统入口和出口不同距离、不同角度(包括乘客和工作人员操作位置)空气比释动能率, 对系统放射防护状况和周围辐射剂量进行分析与评价。[结果] 工作人员操作位、乘客通道、系统上盖板、系统乘客通道侧监测值与环境本底值差别无统计学意义($P>0.05$)。系统入口和出口 5 个位置中, 下方位置辐射强度最高, 19 台仪器中有 3 台监测结果超标; 其次是中间位置空气比释动能率, 有 2 台监测结果超标; 系统入口和出口表面平均空气比释动能率最大, 分别为 $1.585 \mu\text{Gy}/\text{h}$ 和 $0.248 \mu\text{Gy}/\text{h}$, 均显著高于环境本底值, 差别有统计学意义($P<0.001$), 但均未超过 $5 \mu\text{Gy}/\text{h}$ 的限值要求。系统入口和出口随着距离和角度的不断增加, 空气比释动能率不断降低, 其中距离 5 m 和角度 90° 处辐射强度接近环境本底值。[结论] 系统工作时入口和出口存在一定的辐射泄漏, 对公众和安检工作人员影响较小, 但不符合放射豁免要求, 应加强地铁站 X 射线行李包检查系统的放射卫生防护管理。

关键词: 地铁站; X 射线行李包检查系统; 空气比释动能率; 辐射剂量; 监测

Radiation Levels of X-Ray Baggage Inspection Systems in Shanghai Subway Stations TAN Hong-shan¹, WANG Gui-min¹, JIANG Yong-gen¹, ZHENG Yi², WANG Yan-mei¹, SUN Zhong-xing¹, JIANG Yuan-qiang¹ (1. Songjiang District Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 201620, China; 2. Technology Center of Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., Shanghai 201103, China) • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: [Objective] To evaluate the radiation prevention of X-ray baggage inspection system and possible exposure doses received by the public and the security officers in Shanghai subway stations, in order to provide basic data for radiological health protection and management. [Methods] Nineteen X-ray baggage inspection systems were randomly selected from 6 subway stations in Shanghai to detect the air kerma at 0.05 m from the external surface and at various distances and angles from the inlets and outlets of the inspection system (including spots where passengers and the staff could stand). [Results] The monitoring results at the staff position, the passenger channels, the X-ray machine upper covers, and the X-ray machine covers facing passenger flow showed no statistical difference with the local environmental background level ($P>0.05$). At all the 5 sampling spots of the systems inlets and outlets, the air kerma rates at the lower positions were recorded the highest value, with 3 out of 19 systems above the national protection standard; and the middle position showed the second highest, with 2 systems above the standard. The average air kerma rates at the surface of inlets and outlets were $1.585 \mu\text{Gy}/\text{h}$ and $0.248 \mu\text{Gy}/\text{h}$, both of which were significantly higher than the local environmental background level ($P<0.001$), but still within the limit of $5 \mu\text{Gy}/\text{h}$. With the distance and angle increasing, the air kerma rates were gradually reduced. When the distance was 5 m and the angle was 90° from the center of the sampling doors, the radiation intensity was close to the local environmental background level. [Conclusion] The possible level of radiation leakage of X-ray baggage inspection system is low and poses minor health hazard to the public and the security officers, but the current inspection protocol doesn't meet the radiation exemption requirements, and therefore need to strengthen the X-ray inspection management.

Key Words: subway station; X-ray baggage inspection system; air kerma rate; radiation dose; monitoring

为保障地铁站运输安全, 上海市在全国率先开展地铁站乘客行李包安全检查, 先后在该市各地铁站进

[基金项目] 上海市申通地铁集团有限公司技术中心专项课题(编号: JS-KY12R026); 上海市松江区卫生系统科研课题项目(编号: 2012-3-62)

[作者简介] 谭红汕(1983—), 男, 硕士, 医师; 研究方向: 职业卫生与放射卫生管理; E-mail: ths_sam@163.com

[作者单位] 1. 松江区疾病预防控制中心, 上海 201620; 2. 上海市申通地铁集团有限公司技术中心, 上海 201103

站检票入口处安装了 X 射线行李包安全检查系统(下称系统)对行李包进行安全检查。截至 2012 年 9 月, 上海市有 237 座地铁站, 有超过 500 台 X 射线行李包安全检查系统。地铁人流量大, 公众和工作人员对系统辐射水平存在盲区。迄今, 国内研究多针对机场和铁路的 X 射线行李包安全检查系统, 对于地铁站新安装并使用的相关系统的辐射水平缺乏相关研究。本研究拟了解上海市 X 射线行李包安全检查系统的放射防

护情况,为确保系统安检工作人员、乘客免受不必要的照射和制定必要的防护措施提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究对象

目前上海地铁站使用的X射线行李包安全检查系统主要来自同方威视技术股份有限公司(型号: CX6040BI)和上海高晶影像科技有限公司(型号: XS6550)。按照分层随机抽样的原则,选取人流量较大、安检频率较高的6座地铁站,共19台行李包安全检查系统(上述两种型号分别为8台和11台)进行监测。

1.2 测量仪器

6150 AD 6/H 环境监测 X-γ 辐射空气吸收剂量率仪(德国 Automess 公司)、钢卷尺均通过国家计量部门检定,并提供校准因子。标准行李箱采用长、宽、高为 41.5 cm × 30.5 cm × 16.0 cm 行李包。

1.3 测量方法

地铁站 X 射线行李包检查系统额定电压和电流分别为 160 keV 和 50 mA, 本研究选用标准行李箱经过铅胶帘进出系统,依据 GBZ 127—2002《X 射线行李包检查系统卫生防护标准》^[1](下称《标准》),采用环境监测 X-γ 辐射空气吸收剂量率仪监测行李箱进出铅胶帘系统时周围外表面 0.05 m 不同位置空气比释动能率。同时对系统入口和出口不同距离、不同角度,工作人员操作位,乘客通道侧等位置空气比释动能率进行监测。(1)乘客和工作人员操作位置空气比释动能率:屏幕监督工作人员位于系统扫描监视屏前,其操作位设 1 个监测点,系统乘客通道设在离系统外侧中点 1 m 处。(2)系统外表面 0.05 m 处空气比释动能率:在系统入口、出口外表面 0.05 m 处选择上、中、下、左、右设 5 个监测点,并计算系统入口和出口泄漏射线空气比释动能率平均值,另外监测系统上盖板外表面中点 0.05 m 处、系统乘客通道侧离系统外侧中点 0.05 m 处空气比释动能率。(3)系统入口、出口不同距离、不同角度空气比释动能率:系统入口、出口的中心位置离系统入口、出口不同距离(0.05 m、1 m、2 m 和 5 m)处各设 1 个监测点。另系统入口、出口中心位置水平面靠近乘客行李包安检侧并离系统入口、出口中心 1 m 远处不同角度(0°、30°、60° 和 90°)各设 1 个监测点(同时记录监测环境中空气比释动能率本底值,所有监测结果均未扣除环境本底值)。

1.4 系统辐射泄漏超标评判标准

系统正常工作状态下,表面 0.05 m 处任意位置空

气比释动能率超过《标准》限值 5 μGy/h,即判断系统辐射泄漏超标。

1.5 统计方法

空气比释动能率以中位数和四分位数描述,选择 SPSS 15.0,应用配对 t 检验进行两两比较。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 X 射线行李包安全检查系统外表面和周围不同位置空气比释动能率

系统外表面和周围环境 7 个位置的监测结果显示:系统入口与出口外表面平均空气比释动能率较高,分别为 1.585 μGy/h 和 0.248 μGy/h,入口是出口的 6.4 倍。分别与环境本底值进行配对 t 检验发现,系统入口和出口位置平均空气比释动能率明显高于环境本底值($P<0.001$)。其余位置如工作人员操作位、乘客通道、系统乘客通道侧、系统上盖板监测值与环境本底值相当($P>0.05$)。将其分别与系统入口、出口外表面平均空气比释动能率进行两两比较,差别均具有统计学意义($P<0.001$),见表 1。

表 1 系统外表面和周围环境不同位置空气比释动能率比较
(μGy/h)

Table 1 Comparison of air kerma rates at different positions of system external surface and system vicinity

监测位置 Monitoring position	数量 Number	中位数 Median	$P_{25} \sim P_{75}$	t	P
工作人员操作位 Staff operating position	19	0.128	0.116~0.137	1.809	0.128
乘客通道 Passage channel	19	0.131	0.126~0.139	2.339	0.098
系统乘客通道侧 X-ray machine covers facing passenger flow	19	0.128	0.119~0.134	1.509	0.149
系统入口 System inlet	19	1.585	1.337~2.277	7.213	<0.001
系统出口 System outlet	19	0.248	0.229~0.407	4.425	<0.001
系统上盖板 System upper cover	19	0.118	0.108~0.127	-0.180	0.859
环境本底 Environment background	19	0.125	0.117~0.131	—	—

2.2 X 射线行李包安全检查系统入口和出口外表面空气比释动能率

系统入口和出口外表面上、中、下、左、右 5 个位置空气比释动能率监测结果显示,系统入口外表面下方位置空气比释动能率最大,中位数为 4.020 μGy/h,最大监测值达到 12.800 μGy/h,共有 3 台机器超过《标准》的规定限值(5 μGy/h),超标率为 15.8%;系

统入口中间位置空气比释动能率低于下方,中位数为 $2.600\mu\text{Gy}/\text{h}$,但仍高于其他位置,最大监测值为 $8.690\mu\text{Gy}/\text{h}$,有2台机器超过 $5\mu\text{Gy}/\text{h}$ 的限值要求,超

标率为10.5%。系统出口相应的5个位置空气比释动能率值均低于入口位置,其下方和中间位置监测值较高,但均未超过 $5\mu\text{Gy}/\text{h}$ 的限值范围,见表2。

表2 系统入口、出口外表面空气比释动能率($\mu\text{Gy}/\text{h}$)

Table 2 Air kerma rates at external surfaces of system inlets and outlets

监测位置 Monitoring position	数量 Number	中位数 Median	最大值 Maximum	$P_{25}\sim P_{75}$	超标数 Number of positions exceeding limits	超标率(%) Rate of positions exceeding limits
系统入口(System inlet)						
左(Left)	19	0.344	1.798	0.264~0.611	0	0.0
中(Middle)	19	2.600	8.690	1.380~4.010	2	10.5
右(Right)	19	0.426	2.990	0.328~0.829	0	0.0
上(Upper)	19	0.345	0.922	0.280~0.677	0	0.0
下(Down)	19	4.020	12.800	3.080~4.920	3	15.8
系统出口(system outlet)						
左(Left)	19	0.244	4.822	0.210~0.302	0	0.0
中(Middle)	19	0.283	0.579	0.242~0.360	0	0.0
右(Right)	19	0.246	1.020	0.213~0.353	0	0.0
上(Upper)	19	0.250	0.711	0.204~0.316	0	0.0
下(Down)	19	0.325	0.736	0.251~0.429	0	0.0

[注]仪器监测下限为 $0.001\mu\text{Gy}/\text{h}$ (The detection limit of the device is $0.001\mu\text{Gy}/\text{h}$).

2.3 X射线行李包安全检查系统入口和出口不同距离、不同角度空气比释动能率

在系统工作状态下,对系统入口和出口不同距离(0.05 m 、 1 m 、 2 m 和 5 m)处空气比释动能率的监测结果发现,系统入口中心外表面 0.05 m 处空气比释动能率最大为 $2.60\mu\text{Gy}/\text{h}$, 1 m 和 2 m 处分别为 $0.863\mu\text{Gy}/\text{h}$ 和 $0.334\mu\text{Gy}/\text{h}$,入口 1 m 处虽未有数值超过国家标准限值,但仍有6个监测结果超过放射性豁免限值 $1\mu\text{Gy}/\text{h}$;相对于系统入口位置,系统出口位置空气比释动能率较低, 0.05 m 处空气比释动能率为 $0.283\mu\text{Gy}/\text{h}$,未有结果超过豁免限值, 1 m 和 2 m 处分别为 $0.173\mu\text{Gy}/\text{h}$ 和

$0.147\mu\text{Gy}/\text{h}$ 。系统入口和出口 5 m 处空气比释动能率较小,基本接近环境本底值。从表3可以发现,随着距离增加,空气比释动能率逐渐降低。

同时,对系统入口和出口中心位置水平面 1 m 处不同角度空气比释动能率的监测结果如表3。 1 m 处 0° 时空气比释动能率最大,随着角度增大,空气比释动能率不断降低,角度呈 60° 时入口和出口空气比释动能率分别为 $0.153\mu\text{Gy}/\text{h}$ 和 $0.146\mu\text{Gy}/\text{h}$,当角度呈 90° 时,入口和出口处的空气比释动能率与环境本底值基本一致。

表3 系统入口及出口不同距离、不同角度空气比释动能率($\mu\text{Gy}/\text{h}$)

Table 3 Air kerma rates at different distances and angles of system inlets and outlets

监测位置 Monitoring position	数量 Number	中位数 Median	$P_{25}\sim P_{75}$	监测位置 Monitoring position	数量 Number	中位数 Median	$P_{25}\sim P_{75}$
入口 0.05 m (Inlet 0.05 m)	19	2.600	1.380~4.010	出口 0.05 m (Outlet 0.05 m)	19	0.283	0.242~0.360
入口 1 m (Inlet 1 m)	19	0.863	0.522~1.240	出口 1 m (Outlet 1 m)	19	0.173	0.152~0.268
入口 2 m (Inlet 2 m)	19	0.334	0.232~0.503	出口 2 m (Outlet 2 m)	19	0.147	0.138~0.195
入口 5 m (Inlet 5 m)	19	0.158	0.145~0.178	出口 5 m (Outlet 2 m)	19	0.142	0.133~0.161
入口 0° (Inlet 0°)	19	0.863	0.522~1.240	出口 0° (Outlet 0°)	19	0.173	0.152~0.268
入口 30° (Inlet 30°)	19	0.315	0.267~0.657	出口 30° (Outlet 30°)	19	0.151	0.145~0.190
入口 60° (Inlet 60°)	19	0.153	0.141~0.180	出口 60° (Outlet 60°)	19	0.146	0.141~0.161
入口 90° (Inlet 90°)	19	0.138	0.135~0.151	出口 90° (Outlet 90°)	19	0.143	0.139~0.147

3 讨论

系统在正常工作状态下,行李包置于传送带上,通过入口铅胶帘进入系统内,通过仪器X射线曝光对行李进行安检,然后通过出口铅胶帘完成整个安检工作。由于行李包进入系统时铅胶帘被掀起,从而产生

一定的X射线辐射泄漏。当没有行李包通过系统、仪器处于休息状态时,系统不曝光。

放射工作人员和公众的安全性评价《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》^[2](GB 18871—2002)规定,放射工作人员和公众在规定的5年内平均年有效

剂量限值分别为 20 mSv/年 和 1 mSv/年 。本次监测结果表明：地铁站工作人员在屏幕监视处即操作位监视行李照射情况时，其空气比释动能率为 $0.128 \mu\text{Gy/h}$ 。同时，工作人员会每 0.5 h 自动更换岗位，站在系统旁监督并协助乘客进行行李包的安检。此时，工作人员主要站在系统入口 60° 甚至 90° 处，即使其位于最大平均空气比释动能率处 (30°)，其空气比释动能率为 $0.315 \mu\text{Gy/h}$ ，扣除环境本底值后每年增加的辐射剂量较低，也远低于国家标准规定的 20 mSv/年 。公众每次接受安检时间较短 (约为 10 s)，由此增加的辐射剂量也极低，基本可以忽略不计。因此，在正常情况下，X 射线行李包检查对安检工作人员和公众产生辐射危害较小。

本次研究结果表明：系统入口表面 0.05 m 处平均空气比释动能率最大，特别是入口下方 0.05 m 处，最高值达到 $12.80 \mu\text{Gy/h}$ ，超过《标准》规定的限值要求 ($5 \mu\text{Gy/h}$)。而谢健华、刘慧等^[3-4]对国内铁路、机场的系统表面辐射泄漏值检测结果均在 $5 \mu\text{Gy/h}$ 范围内，两者结果不一致。原因可能为机场、铁路和地铁站选择使用不同型号的 X 射线行李包检查系统，其额定电压、电流等工作条件不一致。本次监测了 19 台 X 射线行李包检查系统，监测结果发现其中有 3 台空气比释动能率超标，可能与系统入口处铅胶帘破损老化有关。建议应对系统进行定期维护和保养，使铅胶帘单片厚度不得小于 0.35 mm 铅当量，当发现破损时即及时更换。

本次研究对系统入口和出口表面 0.05 m 处，以及不同距离和不同角度空气比释动能率情况进行了监测。结果发现，系统入口空气比释动能率明显高于出口，随着距离和角度的增加空气比释动能率不断减低， 5 m 和 90° 处空气比释动能率接近环境本底值。这与朱连标等^[5]的研究结果即 3 m 处空气比释动能率接近本底相一致。本次调研发现：系统除入口和出口附近存在一定的辐射泄漏外，其他位置监测值与环境本底值相当，提示地铁站 X 射线行李包检查系统放射工作人员在监督乘客安检工作时最好站立在系统入口旁边与入口呈 90° 的位置附近；其次，乘客在行李包安检过程中，摆放行李时最好与入口保持一定距离，不要把行李直接塞进入口铅胶帘处，以免接受不必要的辐射。

目前，我国大陆 X 射线行李包检查大多未作为放射性工作进行监管。《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》^[2](GB 18871—2002)中对豁免准则和豁免水平作出了规定。其中，适合于分析判断地铁站 X 射线

行李包检查系统是否应予放射性豁免的主要豁免原则和豁免水平可归纳为：(1) 设备表面 0.1 m 处辐射水平低于 $1 \mu\text{Gy/h}$ ；(2) 该实践导致的集体有效剂量低于 $1 \text{人} \cdot \text{Sv/年}$ ；(3) 公众成员个人受照剂量低于 $10 \mu\text{Gy/年}$ ；(4) 所产生辐射的最大能量不大于 5 keV 。2011 年上海市地铁站年乘客吞吐量约为 21.01 亿人次^[6]，若乘客人均日接触时间为 10 s ，结合入口与出口辐射剂量均值，可估算出 X 射线行李包检查系统所增加的集体有效剂量 (为入次数、入口与出口剂量均数和接触时间的乘积) 约为 $5.9 \text{ 人} \cdot \text{Sv/年}$ ，由于上海市地铁人流量大，此值高于豁免准则要求的集体有效剂量 $1 \text{ 人} \cdot \text{Sv/年的豁免水平}$ 。本次对 X 射线行李包检查系统外表面测量结果表明，系统入口和出口外表面 0.05 m (上、中、下、左、右) 5 个位置空气比释动能率较高，且入口和出口 1 m 处也监测到部分数据超过 $1 \mu\text{Gy/h}$ ，该部分监测值显然超出设备表面 0.1 m 处辐射水平 $1 \mu\text{Gy/h}$ 的豁免水平。系统正常工作时额定电压和电流分别为 160 keV 和 50 mA ，也超过辐射最大能量 5 keV 限值要求。

综上所述，地铁站 X 射线行李包检查系统存在一定的辐射泄漏，对安检工作人员和公众影响较小，但地铁站 X 射线行李包安全检查系统不符合放射性豁免要求，因此，建议将地铁站 X 射线行李包检查系统纳入放射卫生工作监管范围。

· 作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。 ·

参考文献：

- [1] 中华人民共和国卫生部. GBZ 127—2002 X 射线行李包检查系统卫生防护标准 [S]. 北京：法律出版社，2002.
- [2] 中华人民共和国卫生部. GB 18871—2002 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》[S]. 北京：法律出版社，2002.
- [3] 谢健华，蔡巍，朱连标，等. 福建铁路行李包检查系统 X 射线防护调查与对策 [J]. 中国辐射卫生，2010, 19(4): 465-466.
- [4] 刘慧，潘兴平，赵强，等. 机场 X 射线行李包检查系统辐射检测与安全评价 [J]. 职业卫生与病伤，2006, 21(3): 169-171.
- [5] 朱连标，傅志军，张伟俐，等. 铁路 X 射线行李包检查系统放射防护现状调查 [J]. 中国辐射卫生，2004, 13(1): 54-55.
- [6] 上海市统计局. 2011 年上海市国民经济和社会发展统计公报 [EB/OL]. [2012-02-24]. <http://www.stats-sh.gov.cn/sjfb/201202/239488.html>.

(收稿日期：2012-09-12)

(英文编审：金克峙；编辑：王晓宇；校对：徐新春)