

Radiation Environmental Impact Analysis of Vehicle Inspection System in Urumqi Logistics Park

Chunna Diao

Radiation Environment Supervision Station of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi Xinjiang
Email: diaochunna@126.com

Received: May 13th, 2020; accepted: Jun. 1st, 2020; published: Jun. 8th, 2020

Abstract

By means of theoretical prediction and analogy analysis, this paper analyzes the impact of the newly built PDS1000LC vehicle inspection system on the surrounding radiation environment, and concludes that the vehicle inspection system meets the radiation protection requirements of "Radiological protection requirements for cargo/vehicle radiological inspection systems" (GBZ 143-2015).

Keywords

Vehicle Inspection System, Radiation, Environmental Impact

乌鲁木齐市某物流园车辆检查系统辐射环境影响分析

刁春娜

新疆维吾尔自治区辐射环境监督站, 新疆 乌鲁木齐
Email: diaochunna@126.com

收稿日期: 2020年5月13日; 录用日期: 2020年6月1日; 发布日期: 2020年6月8日

摘要

本文通过理论预测、类比分析的方法, 对新建PDS1000LC车辆检查系统周边辐射环境影响进行了分析, 得出该车辆检查系统满足《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》(GBZ143-2015)。

关键词

车辆检查系统, 辐射, 环境影响

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

乌鲁木齐市某物流园入口处拟新建一套 PDS1000LC 车辆检查系统(含一枚⁶⁰Co放射源),用于集装箱、货运车辆的安全检查。本项目 PDS1000LC 车辆检查系统是由北京华力兴科技发展有限责任公司研制生产,其中⁶⁰Co放射源的出厂活度为 2.22×10^{12} Bq。按照《关于发布放射源分类办法的公告》(国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号)的分类办法,该检查系统中所含的⁶⁰Co放射源属于 II 类放射源。该 PDS1000LC 车辆检查系统最大扫描车辆限宽 3.5 m,限高 5 m,扫描速度小于 15 km/h。

根据《辐射环境监测技术规范》(HJ/T 61-2001)对辐射监测技术的要求,结合本项目环境影响因素的特征和项目周围环境的特点,确定本项目的辐射评价范围是以 PDS1000LC 车辆检查系统为中心、半径 50 m 以内的区域。环境保护目标是辐射工作场所周围(50 m 范围内)活动的职业人员和周围公众人员。车辆检查系统工作过程中将产生 γ 射线,对周围环境产生辐射影响,防护不当可能会造成辐射损伤[1]。本文以乌鲁木齐市某物流园拟新建的货车辆检查系统为例,预测、分析其运行期产生的辐射环境影响。

2. 理论预测及分析

通过理论计算的方式,预测物流园新建 PDS1000LC 车辆检查系统在正常运行状态下,其周围工作场所的辐射水平。放射源的体积相对于工作容器及整个工作场所非常小,因此可将放射源作为点源进行考虑。

放射源为⁶⁰Co同位素源,放射源的物理参数如表 1 所示。

Table 1. Physical parameters of ⁶⁰Co radioactive source

表 1. ⁶⁰Co 放射源的物理参数

核素	射线能量(MeV)	半衰期(年)	最大活度(T Bq/Ci)	照射率常数 $\Gamma(\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$	一米处剂量率 $D_0(\text{Gy/h})$
⁶⁰ Co	1.33/1.17	5.27	2.22/60	8.67×10^{-17}	0.69

该项目的⁶⁰Co放射源出厂活度为 1.22×10^{12} Bq,未经任何屏蔽时,点源 1 m 处的 γ 空气吸收剂量率 D_0 约为 0.69 Gy/h。

根据各预测点与点源的距离,以及射线通过相应的屏蔽厚度,引用方杰主编的《辐射防护导论》[2]由式(1)可计算经相关屏蔽以及距离衰减后,预测点的 γ 空气吸收剂量率 D_1 。

$$D_1 = \frac{D_0}{10^{d/TVL} \cdot R^2} \quad (1)$$

式中:

D_1 : 各预测点的 γ 空气吸收剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;

D_0 : 无屏蔽点源 1 m 处的 γ 空气吸收剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;

d : 屏蔽层的厚度, cm;

TYL : 屏蔽材料对 ^{60}Co 产生的 γ 射线的 1/10 值层的厚度;

R : 预测点到点源中心的距离, m。

2.1. 源箱外的辐射水平

本项目源工作容器的屏蔽材料是厚度为 140 mm 的钨合金, 根据国防基础科研计划基金资助项目论文《钨和铅作为 γ 射线屏蔽材料的性能对比研究》[3], 引用论文对钨合金与铅的衰减特性的研究数据如下表 2 所示, 根据表中数据可以计算得到钨合金对 ^{60}Co 产生的 γ 射线的 TVL 为 2.15 cm。

Table 2. Attenuation properties of tungsten and lead

表 2. 钨和铅的衰减特性

能量/MeV	衰减系数		衰减 10 倍所需厚度	
	钨*	铅	钨*	铅
0.1	64.8	60.4	0.036	0.038
0.2	11.5	10.6	0.20	0.22
0.5	2.14	1.70	1.08	1.35
1.0	1.08	0.77	2.14	2.98
1.25	0.929	0.598	2.48	4.62

*合金: 90%的钨, 6%的镍, 4%的碳。

根据式 1 可以计算出源工作容器表面 5 cm 处的 γ 空气吸收剂量率约等于 84.97 $\mu\text{Gy/h}$, 源工作容器表面 100cm 处的 γ 空气吸收剂量率约等于 0.21 $\mu\text{Gy/h}$ 。

以上估算结果是 ^{60}Co 只经源容器屏蔽后在工作容器表面 5 cm 和 100 cm 处的 γ 空气吸收剂量率, 由于源工作容器安装在源箱中, 还有进一步的距离衰减, 源箱表面 5 cm 和 100 cm 处的实际 γ 空气吸收剂量率将低于以上估算值。

结论: 根据以上理论预测与分析, 源箱表面的辐射水平满足《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》(GBZ143-2015) [4]中 γ 辐射源箱外的漏射线周围剂量当量率控制值: 距固定式辐射源箱体外表面 5 cm 不超过 1000 $\mu\text{Sv/h}$, 距辐射源箱体外表面 100 cm 不超过 100 $\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

2.2. 检查场所的辐射水平

1) 关注点位

本项目 PDS1000LC 车辆检查系统运行过程中辐射剂量预测计算的关注点位如图 1 所示。图中 A 点为主防护墙外 30 cm 处, B 点为次防护墙外 30cm 处, C 点为控制室, D 点为司机所在位置, E 点为检查亭与挡车器, F 点为商铺, G 点为行人(包括小车上的人)的最近位置。

2) 主射辐射剂量率

探测器位于放射源箱体的北侧, 主射束朝向北侧, 距离放射源约 5.3 m, 捕集器的防护厚度为 140 mm 的铅, 主屏蔽墙为 300 mm 的混凝土。查表得到铅和混凝土对 ^{60}Co 产生的 γ 射线的 TVL 分别为 4 cm 和 20.3 cm。根据式 1 可以计算出主屏蔽墙外 30 cm 处的 γ 空气吸收剂量率约为 0.23 $\mu\text{Gy/h}$ 。

检查系统控制室为非有用线束方向, 远离放射源区域, 控制室距放射源 37 m, 根据式 1 可以计算出控制室的 γ 空气吸收剂量率约为 1.45×10^{-4} $\mu\text{Gy/h}$ 。

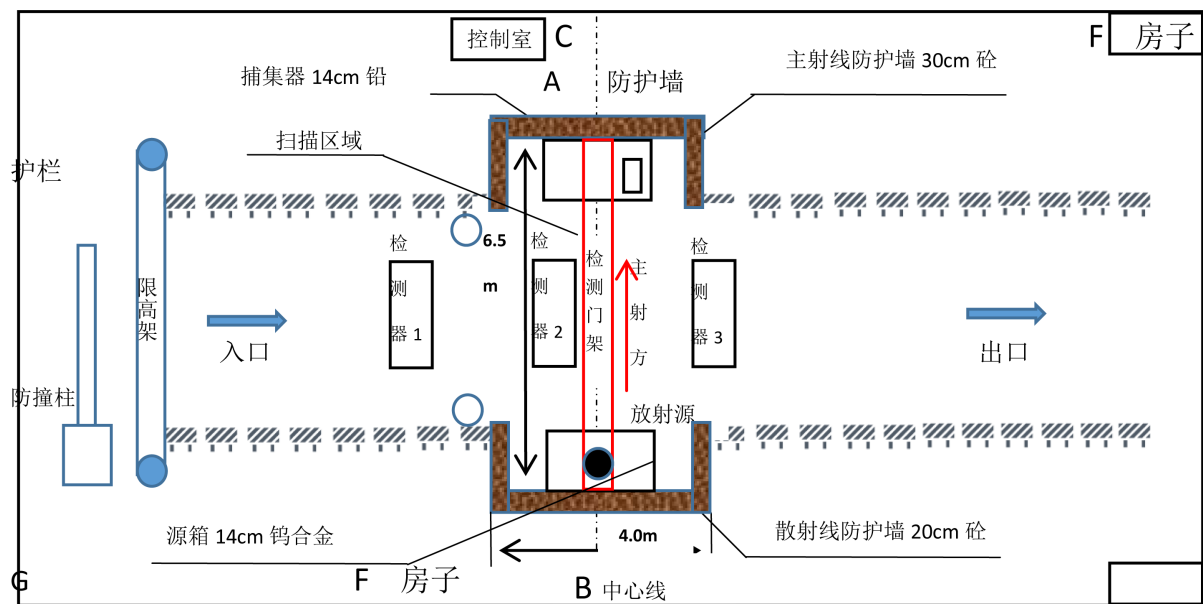


Figure 1. Schematic diagram of the points of interest for radiation dose prediction calculation

图 1. 辐射剂量预测计算的关注点位示意图

3) 散射辐射剂量率[5]

$$H_s = \frac{H_0 \times a \times S}{K \times d_0^2 \times d_s^2} H = 0.7 D r \cdot T \cdot t \cdot U \quad (2)$$

式中:

H_s : 关注点的散射辐射剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;

H_0 : 源在 1 m 处无屏蔽条件下的辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

a : 散射系数(前散射取 0.02, 后散射和边散射取 0.002);

K : 屏蔽衰减倍数;

S : 散射面积, 取 0.02 m^2 ;

d_0 : 源与散射面的距离, m;

d_s : 散射面与关注点的距离, m。

散射射线束为主射线束在检测门架和被检物上的散射, 由于射线先经过被检物体, 因此主要考虑被检物的散射[6]。源至被检物散射面的距离为 1 m; 被检物散射面至主屏蔽墙的距离为 4.5 m, 至次屏蔽墙的距离为 2 m, 至控制室的距离为 36 m, 至司机的距离为 1 m, 至检查亭的距离为 18 m, 至商铺的距离为 30 m, 至行人的距离为 2 m, 计算结果如表 3。

由式 2 可以算得检查系统四周关注点的散射辐射剂量率, 如表 3 所示。

Table 3. Dose rates of scattered radiation at points of concern

表 3. 关注点的散射辐射剂量率

位置	相对源的方位	散射体	入射 d_0 /散射 d_s 距离(m)	散射系数 α	散射面积 $S(\text{m}^2)$	屏蔽设施衰减倍数 K	屏蔽后剂量率 $H_s(\mu\text{Gy/h})$
A	北侧	被检物	1 m/4.5 m	0.02	0.02	30 (混凝土 30 cm)	0.45
B	南侧	被检物	1 m/2 m	0.002	0.02	10 (混凝土 20 cm)	0.69

Contineud

C	西北侧	被检物	1 m/36 m	0.02	0.02	-	0.21
D	东北侧	被检物	1 m/1 m	0.002	0.02	-	27.6
E	东、西侧	被检物	1 m/18 m	0.002	0.02	-	0.09
F	东北、东南侧	被检物	1 m/30 m	0.002	0.02	-	0.03
G	南侧	被检物	1 m/2 m	0.002	0.02	10 (混凝土 20 cm)	0.69

综上所述,考虑散射的因素,主屏蔽墙外 30 cm 处的 γ 空气吸收剂量率约为 0.68 $\mu\text{Gy/h}$, B 墙外 30 cm 处的 γ 空气吸收剂量率约为 0.69 $\mu\text{Gy/h}$, 检查亭外 30cm 处的 γ 空气吸收剂量率约为 0.09 $\mu\text{Gy/h}$, 满足《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》(GBZ143-2015) [4]中检查系统监督区边界处的周围剂量当量率控制值应不大于 2.5 $\mu\text{Gy/h}$ 的要求。

车辆到达检测器 3 时,车头完全通过射线扫描端面,放射源快门打开,系统发射出 γ 射线,开始扫描检测[7]。

控制室外 30 cm 处的 γ 空气吸收剂量率约为 0.21 $\mu\text{Gy/h}$, 满足《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》(GBZ143-2015) [4]中检查系统控制室内的周围剂量当量率应不大于 2.5 $\mu\text{Gy/h}$ 和操作位置的周围剂量当量率应不大于 1.0 $\mu\text{Gy/h}$ 的要求。

3. 类比分析

类比项目采用已安全运行的河北省唐津高速丰南西收费站绿色通道检查系统作为类比对象,进行类比分析。类比项目与本评价项目拟购设备可比性分析见表 4。

Table 4. Comparability analysis of analogy project and evaluation project

表 4. 类比项目与评价项目可比性分析

对比项	类比项目	评价项目
	唐津高速丰南西收费站	乌鲁木齐某物流配送公司
设备型号	TC-SCAN 绿色通道检查系统	PDS1000LC 车辆检查系统
所用放射源	^{60}Co	^{60}Co
放射源活度	2.37×10^{12} Bq	2.22×10^{12} Bq

两个检查系统均为北京华力兴科技发展有限公司生产、安装,所用源容器相同,原产地均为美国 QSA 公司,类比项目使用的放射源均为 ^{60}Co ,且活度稍微大于本项目,两个项目的设计布局与评价项目相似,因此采用该类比监测数据进行分析是可行的。

北京市疾病预防控制中心于 2010 年 4 月 22 日对唐津高速丰南西收费站绿色通道检查系统进行了监测(2010FS-T0014)。类比监测分别在检查系统处于非工作状态、工作准备状态、工作状态的各个主要区域进行了 γ 辐射剂量率监测。

3.1. 源箱外的辐射水平

通过现场监测,源处于非工作状态下,及源处于工作容器但快门关闭时的工作准备状态下,源箱外的辐射水平见表 5。

Table 5. Radiation level outside the radiation source box
表 5. 源箱外的辐射水平

位置(角度)	源处于源储存器时($\mu\text{Gy/h}$)		源处于工作容器(快门关闭) ($\mu\text{Gy/h}$)	
	5 cm	100 cm	5 cm	100 cm
前侧(0°)	30	3.6	12.5	1.9
右侧(90°)	7.6	1.6	45	2.6
右侧(180°)	10.4	1.8	13.9	4.5
右侧(270°)	16.3	2.7	5.5	0.8

由类比监测数据可知, TC-SCAN 绿色通道车辆检查系统的源箱外 5 cm 处的 γ 辐射剂量率为 5.5 $\mu\text{Gy/h}$ ~45 $\mu\text{Gy/h}$, 100 cm 处的 γ 辐射剂量率为 0.8 $\mu\text{Gy/h}$ ~4.5 $\mu\text{Gy/h}$, 满足《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》(GBZ143-2015) [4]中 γ 辐射源箱外的漏射线周围剂量当量率控制值: 距固定式辐射源箱体外表面 5 cm 不超过 1000 $\mu\text{Sv/h}$, 距辐射源箱体外表面 100 cm 不超过 100 $\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

3.2. 检查场所的辐射水平

正常工作状态下, 即源处于工作容器且快门打开时, 围栏内检查区域的 γ 辐射剂量率为 12 $\mu\text{Gy/h}$ ~15 $\mu\text{Gy/h}$, 围栏内探测器附近 γ 辐射剂量率为 36 $\mu\text{Gy/h}$ ~54 $\mu\text{Gy/h}$, TC-SCAN 绿色通道车辆检查系统的图像分析室的 γ 辐射剂量率为 0.4 $\mu\text{Gy/h}$ ~0.5 $\mu\text{Gy/h}$, 通道入口处的 γ 辐射剂量率为 0.5 $\mu\text{Gy/h}$ ~0.6 $\mu\text{Gy/h}$, 即围栏外的测量点的 γ 辐射剂量率均低于 2.5 $\mu\text{Gy/h}$, 满足《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》(GBZ143-2015)中检查系统控制室内的周围剂量当量率应不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 和操作位置的周围剂量当量率应不大于 1.0 $\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

4. 保护目标所受剂量评价

该项目拟设置 12 名辐射工作人员, 实行四班三运转制, 每班 1 名引导员、1 名图像检查员和 1 名稽查人员[8]。年工作 365 天, 每天检查车辆最多 1500 次, 每次射线出束时间约 10 秒钟, 则每年检查系统的射线出束累计总时长约 1500 h。

4.1. 有效剂量当量计算公式

$$H = 0.7Dr \cdot T \cdot t \cdot U \quad (4)$$

式中:

H : 年有效剂量当量, Sv/a;

0.7: 转换系数;

Dr : 空气吸收剂量率, Gy/h;

t : 年受照时间, h/a;

T : 居留因子;

U : 使用因子, 放射性核素以点源考虑, U 取 1;

4.2. 辐射工作人员有效剂量当量计算

在实际操作中, 需要 1 名引导员在距源容器 18 m 处的检测通道入口(检查亭处)引导车辆, 无车辆检查时引导员回控制室, 1 名图像检查员在距源容器约 37 m 处控制室操作, 另外 1 名稽查人员在检查系统周围不定点工作。工作人员采用四班三倒的运转制度, 可以得出引导员和稽查人员在检查系统的射线出束状态下累计受照时间为 $1500 \div 4 = 375$ h, 偏保守图像检查员每年受照时间为 $365 \times 8 = 2920$ h。

1) 引导员年所受剂量计算

在快门关闭状态下,源工作容器表面 100 cm 处的 γ 空气吸收剂量率取理论计算值和类比监测中数值较大者为 4.5 $\mu\text{Gy/h}$, 引导员离源工作容器表面 37 m, 其所受 γ 空气吸收剂量率为 0.003 $\mu\text{Gy/h}$;

引导员在快门打开状态下, γ 辐射剂量率取理论计算值和类比监测中数值较大者, 为 0.6 $\mu\text{Gy/h}$; 引导员其余时间在控制室, 所受 γ 辐射剂量率为 0.003 $\mu\text{Gy/h}$, 居留因子取 1, 根据式 2 计算得: $H_1 = 0.7 \times 375 \times 0.6 \times 10^{-3} + 0.7 \times (2920 - 375) \times 0.003 \times 10^{-3} = 0.16 \text{ mSv/a}$ 。

2) 图像检查员年所受剂量计算

在快门关闭状态下,源工作容器表面 100 cm 处的 γ 空气吸收剂量率取理论计算值和类比监测中数值较大者为 4.5 $\mu\text{Gy/h}$, 图像检查员离源工作容器表面 37 m, 其所受 γ 空气吸收剂量率为 0.003 $\mu\text{Gy/h}$;

在快门打开状态下 γ 辐射剂量率取理论计算值和类比监测中数值较大者, 为 0.5 $\mu\text{Gy/h}$, 居留因子取 1, 根据式 2 计算得: $H_2 = 0.7 \times 375 \times 0.5 \times 10^{-3} + 0.7 \times (2920 - 375) \times 0.003 \times 10^{-3} = 0.14 \text{ mSv/a}$ 。

3) 稽查人员年所受剂量计算

在快门关闭状态下,稽查人员在没有防护墙保护的情况下离源工作容器表面最短距离为 6 m, 源工作容器表面 100 cm 处的 γ 空气吸收剂量率取理论计算值和类比监测中数值较大者为 4.5 $\mu\text{Gy/h}$, 稽查人员其所受 γ 空气吸收剂量率最大为 0.13 $\mu\text{Gy/h}$;

稽查人员在快门打开状态下, γ 辐射剂量率取理论计算值和类比监测中数值较大者, 为次屏蔽墙外 0.69 $\mu\text{Gy/h}$, 居留因子取 1, 根据式 2 计算得: $H_3 = 0.7 \times 375 \times 0.69 \times 10^{-3} + 0.7 \times (2920 - 375) \times 0.13 \times 10^{-3} = 0.41 \text{ mSv/a}$ 。

4.3. 公众人员有效剂量当量计算

1) 司机一次所受剂量计算

由表 3 可知司机所受的散射辐射剂量率为 27.6 $\mu\text{Gy/h}$, 而类比监测数据为 15 $\mu\text{Gy/h}$, 计算取较大值 27.6 $\mu\text{Gy/h}$ 。司机一次射线出束时间约 10 秒钟, 根据式 11-3 计算得: $H_4 = 0.7 \times 27.6 \times (10 \div 3600) = 0.054 \mu\text{Sv}$ 。

满足《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》(GBZ143-2015) [4]中对于有司机驾驶的货运车辆或列车的检查系统, 驾驶员位置一次通过的周围剂量当量应不大于 0.1 μSv 的要求。

2) 检查亭工作人员

检查亭工作人员的受照时间同引导员。在快门关闭状态下,源工作容器表面 100 cm 处的 γ 空气吸收剂量率取理论计算值和类比监测中数值较大者为 4.5 $\mu\text{Gy/h}$, 检查亭工作人员离源工作容器表面 18 m, 其所受 γ 空气吸收剂量率为 0.014 $\mu\text{Gy/h}$;

检查亭工作人员在快门打开状态下, γ 辐射剂量率取理论计算值和类比监测中数值较大者, 为 0.6 $\mu\text{Gy/h}$; 居留因子取 1, 根据式 2 计算得: $H_5 = 0.7 \times 375 \times 0.6 \times 10^{-3} + 0.7 \times (2920 - 375) \times 0.014 \times 10^{-3} = 0.18 \text{ mSv/a}$ 。

3) 商铺工作人员

商铺工作人员的受照时间同引导员。在快门关闭状态下,源工作容器表面 100 cm 处的 γ 空气吸收剂量率取理论计算值和类比监测中数值较大者为 4.5 $\mu\text{Gy/h}$, 商铺工作人员离源工作容器表面 30 m, 其所受 γ 空气吸收剂量率为 0.005 $\mu\text{Gy/h}$;

商铺工作人员在快门打开状态下, γ 辐射剂量率取理论计算值和类比监测中数值较大者, 为 0.03 $\mu\text{Gy/h}$; 居留因子取 1, 根据式 2 计算得: $H_6 = 0.7 \times 375 \times 0.03 \times 10^{-3} + 0.7 \times (2920 - 375) \times 0.005 \times 10^{-3} = 0.017 \text{ mSv/a}$ 。

4) 行人

由表 3 可知行人所受的最大散射辐射剂量率为 0.69 $\mu\text{Gy/h}$, 受照时间取 375 小时, 居留因子取 1/16, 根据式 2 计算得 $H_7 = 0.7 \times 375 \times 0.69 \times 10^{-3} \times 1/16 = 0.012 \text{ mSv/a}$ 。

5. 结论

由以上估算可得出,本项目引导员、图像检查员和稽查员所受辐射年有效剂量分别为 0.16 mSv、0.14 mSv 和 0.41 mSv,检查亭工作人员、商铺工作人员、行人所受辐射年有效剂量分别为 0.18 mSv、0.017 mSv、0.012 mSv。均符合评价标准的 5.0 mSv/a 和 0.25 mSv/a 的年管理剂量约束值[9],符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) [10]中关于“剂量限值”的要求。

司机一次检查所受辐射有效剂量为 0.054 μ Sv, 低于本评价提出的 0.1 μ Sv 管理剂量约束值,符合满足《货物/车辆辐射检查系统的放射防护要求》(GBZ143-2015)中对于有司机驾驶的货运车辆或列车的检查系统,驾驶员位置一次通过的周围剂量当量应不大于 0.1 μ Sv 的要求。

本项目 PDS1000LC 车辆检查系统按控制区和监督区进行划区管理。放射源室及有用线束区两侧距中心轴不小于 1 m 的区域属于控制区;防护栏、防护墙与检查亭围成的除控制区外的区域属于监督区。PDS1000LC 车辆检查系统主防护墙是 30 cm 混凝土,次防护墙 20 cm 混凝土,源箱采用 14 cm 的钨合金防护,捕集器是 14 cm 的铅防护。由预测计算可知,主防护墙、次防护墙、源箱、捕集器等的设计屏蔽厚度基本能够满足辐射防护屏蔽要求。

参考文献

- [1] 陆书玉. 电离辐射环境安全[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2016.
- [2] 方杰. 辐射防护导论[M]. 北京: 原子能出版社, 1991.
- [3] 王建, 邹树梁. 钨和铅作为 γ 射线屏蔽材料的性能对比研究[J]. 南华大学学报: 自然科学版, 2011(4): 19-22.
- [4] GBZ143-2015 货物车辆辐射检查系统的放射防护要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [5] GB/T19211-2015 辐射型货物和(或)车辆检查系统[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [6] 谢为民. 某港口车辆安检系统周围环境辐射水平监测与分析[J]. 中国辐射卫生, 2013(2): 161-162.
- [7] 吴丰德. 铁路 X 射线行李包安全检查系统放射防护及工作人员个人剂量估算监测分析[J]. 铁路节能环保与安全卫生, 2014, 4(4): 195-197.
- [8] 郭庆礼, 等. 车载移动式 MT1213DE 集装箱/车辆检查系统辐射防护评价[J]. 铀矿冶, 2017: 231-235.
- [9] 仇春光. 铁路车辆/货物检查设备辐射防护系统改进研究[J]. 南方农机, 2019, 50(8): 115.
- [10] GB18871-2002 电离辐射防护与防护源安全基本标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.