

某扩容 γ 辐照加工装置辐射安全分析与评价

金辉¹, 舒庆², 张柱存³, 陈小洁³, 钱俊乐³, 李世华³, 蒋发金³, 韩正伟³, 刘学锋³, 孔令彦³

1. 云南省辐射环境监督站, 云南 昆明 650032;
2. 云南核应用技术有限公司; 3. 云南卓淮检测技术有限公司

摘要: **目的** 评价某 γ 辐照加工装置扩容后的辐射防护效果及运行安全性, 保障环境辐射安全。**方法** 通过测量辐照装置工作场所及周围环境瞬时 γ 辐射剂量率、外照射累积剂量、贮源井水放射性核素含量、工作人员个人剂量等放射性指标, 统计分析及核查运行系统故障率及安全保障系统的有效性等运行指标, 评价该 γ 辐照加工装置扩容后运行的辐射防护效果和运行安全效果。**结果** 结果表明, 扩容后辐照装置工作场所及周围环境瞬时 γ 辐射剂量率为 0.042 ~ 0.55 μGy·h⁻¹, γ 外照射年累积剂量水平在 0.07 ~ 0.97 mSv 之间, 贮源井水中⁶⁰Co 活度浓度未检出, 工作人员年个人有效剂量在 0.079 ~ 1.58 mSv·a⁻¹, 工艺系统运行故障率保持在 0.5% ~ 1.0% 的水平, 所有安全保障设施正常有效。**结论** 该设施扩容后辐射屏蔽设施防护水平可以满足国家相关标准要求, 公众人员和辐射工作人员年有效剂量满足低于 1 mSv·a⁻¹ 和 20 mSv·a⁻¹ 的限值要求。

关键词: γ 辐照加工装置; 扩容; 辐射安全; 评价

中图分类号: R144.1 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2019)05-0695-04

Analysis and evaluation of radiation safety for a capacity expanded γ-irradiation processing facility

JIN Hui¹, SHU Qing², ZHANG Zhucun³, CHEN Xiaojie³, QINA Junle³, LI Shihua³,
JIANG Fajin³, HAN Zhengwei³, LIU Xuefeng³, KONG Lingyan³

1. Yunnan Radiation Environmental Supervision Station, Kunming 650032 China;
2. Yunnan Nuclear Application Technology Co. Ltd. ; 3. Yunnan Zhuo Huai Testing Technology Co. Ltd.

Abstract: **Objective** To evaluate the radiation protection effect and operating safety for a capacity expanded γ – irradiation processing facility, and ensure environmental radiation safety. **Methods** The instantaneous gamma dose rates and cumulative doses of external radiation in the workplace and surrounding environment, radionuclide content of water in the source well, individual doses of personnel and other related indexes were measured. The failure rates of operating systems were statistically analyzed, and the safety assurance systems were verified, in order to evaluate the effect of the radiation protection and operating safety after the capacity expansion. **Results** Results showed that the instantaneous gamma dose rates were 0.042 ~ 0.55 μGy·h⁻¹, the annual cumulative doses of gamma radiation were between 0.07 ~ 0.97 mSv, and the ⁶⁰Co content of water in the source well was not detectable, the annual personal effective doses of radiation workers were 0.079 ~ 1.58 mSv·a⁻¹, the failure rates of the processing facility during regular years were maintained at 0.5% ~ 1.0%. All safety and security systems worked properly. **Conclusion** The protection level of the radiation shielding facility after the expansion can meet the relevant national standards. The individual annual effective doses of public and personnel meet the limit requirements of less than 1 mSv·a⁻¹ and 20 mSv·a⁻¹.

Key words: Gamma-irradiation Processing Device; Capacity Expansion; Radiation Safety; Evaluation

某公司⁶⁰Co γ 辐照装置 1997 年运行, 设计额定装源活度为 18.5 PBq(50 万 Ci)。2010 年经环境影响评价并获得管理部门批准, 在现有辐射防护屏蔽条件不变的情况下, 对部分设备技术改造, 将额定装源活度提升至 37.0 PBq(100 万 Ci)。根据国家有关法律法规,

γ 辐照装置属使用 I 类放射源。II 类放射源可致人伤残^[1], I 类源更应确保使用安全^[2], 且社会对辐射安全的意识也在提高^[3]。⁶⁰Co γ 辐照装置建设前均需严格的设计和评估^[4], 运行后可采用多种方法、多项指标对其进行评估^[5-6]。本文从 γ 辐射水平、累积剂量、井

作者简介: 金辉(1963—), 男, 辽宁沈阳人, 高级工程师。研究方向: 辐射环境监测与评价、辐射防护、辐射安全管理。E-mail: jinh333@sina.com

水中⁶⁰Co 活度浓度和运行稳定性等方面对辐照装置扩容运行后的辐射屏蔽防护效果是否符合规范和辐射安全的要求,辐射安全风险是否增加进行综合评价,有利于保障环境的辐射安全。

1 对象与方法

1.1 辐照装置概况 辐照装置主体结构与原设计建造一致,包括辐照室、升源室、控制室、风机房、水处理、操作大厅及库房等。辐照室为单迷道结构,采用钢筋混凝土一体化浇筑,防护墙及屋顶厚度 2 m,贮源水井深 7.6 m。该辐照装置原设计为双板源悬挂输送链动态辐照工艺,2013 年改造为单板源悬挂输送链自动换面换层动态辐照工艺。扩容后装源 2016 年首次超过原设计容量,至 2018 年最大装源活度达 25.4 PBq (68.7 万 Ci),运行管理人员为 8~12 人。

1.2 监测仪器

1.2.1 γ 辐射监测仪 北京核仪器厂 γ 辐射剂量率仪 BH3103B(能量响应 25 keV~3 MeV,不确定度 $\pm 15\%$;量程范围 $1 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-4}$ Gy/h)。

1.2.2 个人剂量及 γ 辐射累积剂量测量仪器 热释光剂量计(TLD)为片状(圆片) LiF(Mg, Cu, P);热释光仪为 FJ-427A1(线性范围 100 μ Gy~4 Gy,不确定度 <30%)和 HR2000-D(线性范围 1×10^{-7} Gy~12 Gy,最低探测器水平 0.17 mSv)。

1.2.3 水中放射性核素监测仪器 高纯锗 γ 能谱仪 GMX40P4(不确定度 $U = (1.0 \sim 10)\%$ ($K = 3$),对⁶⁰Co 核素的探测下限为 1.7 Bq·L⁻¹)。

1.3 方法

1.3.1 瞬时 γ 辐射剂量率测量 依据《辐射环境监测技术规范》(HJ/T 61—2001),用 γ 辐射剂量率仪测量辐照装置工作场所及周围环境(约 20 m 范围内) γ 辐射剂量率,正常工作状态和非工作状态下各测量一次。共计布设监测点位 17 个,其中工作场所 9 个,周围环境 8 个,每年至少监测一次。

1.3.2 γ 辐射累积剂量测量 依据《个人和环境监测用热释光剂量测量系统》(GB/T 10264—2014),采用热释光剂量计测量辐照装置工作场所和周围环境外照射累积剂量^[6]。剂量计布设高度 1.5~1.7 m,布设点位共 9 个,其中室内工作场所 4 个点,室外环境 5 个点。连续布设两次,每批测量周期 90 d,每批留存 1 个剂量计作为对照,取两次测量平均值,并推算至全年累积剂量。

1.3.3 个人剂量监测 依据《职业性外照射个人剂量

监测规范》(GBZ 128—2016),采用热释光剂量计定期对运行管理人员进行个人剂量监测,监测周期为 30~90 d,不间断监测。

1.3.4 贮源井水中放射性核素活度浓度测量 依据《水中放射性核素的 γ 能谱分析方法》(GB/T 16140—1995),用高纯锗 γ 能谱仪测量贮源井水中的⁶⁰Co 核素活度浓度,测量频次为 2 次/年,分上下半年。

1.3.5 工艺运行系统稳定性和辐射安全保障措施有效性评价 统计分析辐照装置年度工艺系统运行故障总停机时间,计算分析年运行故障率。查阅历史检查记录和现场测试核查安保装置的有效性。

1.4 评价标准

1.4.1 职业照射和公众照射剂量限值 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002)附录 B,职业人员连续 5 年间的年平均有效剂量(但不可做任何追溯平均)为 20 mSv,公众成员个人受到照射连续 5 年平均有效剂量的估计值不超过 1 mSv。

1.4.2 屏蔽墙外 γ 辐射剂量率限值 《 γ 辐照装置设计建造和使用规范》(GB 17568—2008)附录 A,在设计最大装源量的前提下,屏蔽体外剂量率不应超过 2.5 μ Sv·h⁻¹。

1.4.3 贮源井水⁶⁰Co 核素活度浓度 《 γ 辐照装置的辐射防护与安全规范》(GB 10252—2009)4.2.1 贮源井水中⁶⁰Co 的放射性活度浓度应控制在 10 Bq·L⁻¹以下。

1.5 质量保证 监测仪器送国家认定机构校准或检定合格,并在有效期内。监测人员经培训合格上岗。监测数据有记录人员,有校核人员,监测数据按规定统计方法处理。

2 结果

2.1 瞬时 γ 辐射剂量率测量结果 扩容后部分年度 γ 辐射剂量率监测结果见表 1(含天然本底)。该辐照装置工作状态下工作场所及周围环境 γ 辐射剂量率测值在 0.042~0.55 μ Gy·h⁻¹之间。当源处在贮存位置时,辐照室内水井上方的 γ 辐射剂量率为 0.042~0.049 μ Gy·h⁻¹,与扩容前(1998 年)测值比较变化不大,表明贮源水井水层对射线的屏蔽效果良好。工作状态下,放射源提升机室的 γ 辐射剂量率明显高于源在贮存位置时的测值($\sim 0.11 \mu$ Gy·h⁻¹),最大值为 0.55 μ Gy·h⁻¹,主要原因是源架导向孔的泄漏辐射所致。2013 年该装置技术改造时对导向孔的屏蔽进行了加强,泄漏辐射大幅下降。综合而言,屏蔽体外 γ 辐

射水平低于辐照装置的屏蔽设计控制限值 优于个别Ⅳ、Ⅴ放射源周围的辐射水平^[8]。外环境 γ 2.5 μSv·h⁻¹^[7] (约等于 2.5 μGy·h⁻¹), 其屏蔽效果远 辐射水平与建设前的本底测值相当。

表 1 部分年度工作场所及周围环境 γ 辐射剂量率监测结果 单位: μGy·h⁻¹

监测点位	1998 年		2011 年		2014 年		2016 年		2018 年		备注
	(装源 7.4PBq)		(装源 7.4PBq)		(装源 7.4PBq)		(装源 7.4PBq)		(装源 7.4PBq)		
	贮源位	工作位	贮源位	工作位	贮源位	工作位	贮源位	工作位	贮源位	工作位	
辐照室水井上方	0.040	—	0.049	—	0.044	—	0.042	—	0.042	—	
辐照室货物入口	—	—	0.076	0.077	0.073	0.080	0.078	0.079	0.074	0.087	工
辐照室货物出口	—	—	0.077	0.08	0.081	0.076	0.075	0.075	0.071	0.072	作
辐照室南侧屏蔽墙外	—	—	0.072	0.079	0.091	0.089	0.09	0.092	0.081	0.089	场
辐照室北侧屏蔽墙外	0.079	0.085	0.087	0.098	0.101	0.090	0.108	0.110	0.087	0.089	所
辐照室西侧大厅操作位			0.079	0.078	0.091	0.090	0.073	0.083	0.086	0.089	监
辐照室顶提升机室	0.105	0.226	0.119	0.549	0.115	0.108	0.148	0.153	0.120	0.127	督
辐照室顶提升机室旁露台	—	—	0.084	0.302	0.099	0.102	0.119	0.118	0.101	0.106	区
二楼仓库中央	—	—	0.096	0.094	0.089	0.092	0.074	0.077	0.096	0.099	
厂房东侧墙外 1 m 处	—	—	0.065	0.077	0.071	0.075	0.088	0.088	0.090	0.094	周
厂房东侧墙外 18 m 处	—	—	0.076	0.064	0.06	0.058	0.068	0.069	0.044	0.046	围
厂房南侧墙外 1 m 处	0.080	0.082	0.082	0.071	0.079	0.078	0.090	0.093	0.065	0.068	环
厂区南侧边界处	—	—	0.095	0.093	0.072	0.067	0.076	0.077	0.060	0.066	境
西侧办公楼大门前	0.106	0.107	0.079	0.070	0.078	0.078	0.088	0.089	0.063	0.064	公
厂区西侧边界处	—	—	0.079	0.070	0.065	0.066	0.086	0.089	0.068	0.068	共
厂房北侧墙外 1 m 处	—	—	0.083	0.102	—	—	—	—	—	—	区
厂区北侧边界处	—	—	0.097	0.090	0.109	0.098	0.116	0.120	0.056	0.056	

注:该装置建设前本底测量平均值为 0.13 μGy·h⁻¹。

2.2 γ 辐射累积剂量测量 γ 辐射累积剂量测量结 测量结果,年累积剂量是测量结果推算至全年度的 果见表 2,表中检测结果是测量时段内剂量计的直接 值。

表 2 γ 辐射累积剂量监测结果

布设点位描述	水平距离	检测结果/mSv	年累积剂量/mSv	备注
辐照室西侧单位西侧边界(室外)	距辐照室防护墙约 45 m	0.04	0.16	外环境
辐照室西侧操作大厅(室内)	距辐照室防护墙约 3 m	0.02	0.07	监督区
辐照室楼顶液压站内(室内)	距离地面约 1.5 m	0.24	0.97	监督区
辐照室南侧库房内(室内)	距辐照室防护墙约 0.5 m	0.04	0.16	监督区
辐照室南侧单位南侧边界(室外)	距辐照室防护墙约 20 m	0.18	0.72	外环境
辐照室东侧墙外(室外)	距辐照室防护墙约 1 m	0.15	0.62	外环境
辐照室北侧作业间内(室内)	距辐照室防护墙约 0.5 m	0.05	0.19	监督区
辐照室北侧单位北侧边界(室外)	距辐照室防护墙约 20 m	0.04	0.16	外环境
辐照室东侧墙外空地(室外)	距辐照室防护墙约 18 m	0.07	0.28	外环境
对照	办公楼二楼检测室柜内	0.13	0.53	

注:1. 监测结果未扣除本底。2. 测量期间平均放射源活度约为 24.8 PBq。

测量结果表明。工作场所年累积剂量水平在 0.07 ~0.97 mSv 之间,外环境年累积剂量水平在 0.16 ~0.62 mSv 之间。可以预测正常运行期间工作人员和公众成员受到的有效剂量可以满足国家标准规定的限值要求^[10]。

2.3 个人剂量监测结果 该公司运行管理人员 2010—2018 年个人剂量监测结果列于表 3。

放射源的活度大小是引起个人剂量增加的因素

表 3 运行管理人员个人剂量监测结果

监测内容	结果	
	2010—2014	2015—2018
集体剂量当量/(men·Sv)	0.031	0.022
年均集体剂量当量/(men·Sv·a ⁻¹)	0.0063	0.0072
个人年有效剂量范围/(mSv·a ⁻¹)	0.079 ~ 1.58	0.27 ~ 1.38
人均年有效剂量当量/(mSv·a ⁻¹)	0.60	0.60

注:1. 运行管理人员约为 8 ~12 人。

之一。个人剂量监测结果表明,在两个统计时段内集

体剂量当量变化不大,运行管理人员的最大年有效剂量为 $1.58\text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$,人均年有效剂量为 $0.6\text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$,人均年有效剂量高于 2015 年南京市辐射工作人员的人均年有效剂量 $0.16\text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ ^[9]和某⁶⁰Co 辐照装置工作人员的人均年有效剂量 $0.28\text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ ^[6]。远小于国家标准规定的 $20\text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ 限值^[10],同时公众人员也满足低于 $1\text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ 限值要求,符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB 18871—2002 标准的

表 4 2009—2018 年运行故障停机时间和故障率

年度	扩容前				扩容后					
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
装置有效运行时间/h	8 208.8	8 032.6	8 359.2	8 536.5	7 114.4	8 252.4	8 372	8 303.1	8 301.2	8 285.9
故障停机时间/h	53.2	44	33	69.8	294.1	133.7	67.2	88.8	52.4	66.3
故障率/%	0.65	0.55	0.26	0.79	4.1	1.62	0.8	1.07	0.63	0.80

注:1、故障时间是辐照装置系统运行故障造成总停机时间。2、故障率是故障停机时间占有效运行时间的百分比。

该装置 2013 年和 2014 年进行工艺改造,有效运行时间短,故障率较高,按异常处理。其他年度运行故障率总体保持在 0.5% ~ 1.0% 区间。从原理上来讲,放射源活度增加会增加硬件系统的老化和损坏,该装置扩容后运行故障率基本保持稳定。

2.6 辐射安全保障措施有效性检查结果 该辐照装置包括①辐射监测仪与源升降联锁;②防人误入联锁(5 道);③无人巡检开关(3 个);④紧急降源装置(拉线开关、就地按钮 2 个);⑤迷道人员入口内侧紧急开门按钮;⑥源架防碰撞联锁开关(2 个);⑦过源机构超时开关联锁装置;⑧提升源板钢丝绳与源升降联锁装置;⑨降源延迟开门联锁装置;⑩输送链张弛与源升降联锁装置;⑪排风系统与控制系统联锁装置;⑫火灾报警降源联锁装置;⑬断电自动降源;⑭贮源井水位监控与迷道门联锁装置;⑮地震降源联锁装置;⑯入口门、控制台钥匙开关控制装置等 16 项 24 套辐射安全联锁装置,以及警示标识、源状态指示器、视频监控等 9 项安全保障应急装置。经检查和测试,全部处于有效状态。

3 讨论

该辐照装置屏蔽体外 γ 辐射剂量率水平在 $0.042\sim0.55\text{ }\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$, 低于国家标准设计控制限值 $2.5\text{ }\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$;年累积剂量在 $0.07\sim0.97\text{ mSv}$ 之间,远低于职业人员 $20\text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ 和公众人员年有效剂量低于 $1\text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ 的限值要求。表明辐照室的屏蔽效果是可以满足扩容后的辐射安全要求的。

工作人员个人剂量监测结果在 $0.079\sim$

要求。

2.4 贮源井水中⁶⁰Co 核素含量监测结果 经检测,扩容后运行后至 2018 年,井水中⁶⁰Co 活度浓度测量结果均未检出,符合水中⁶⁰Co 活度浓度控制在 $10\text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下的标准要求^[11],说明放射源密封壳未发生泄漏。

2.5 工艺运行系统故障率分析结果 该辐照装置 2009—2018 年运行故障停机时间和故障率见表 4。

$1.58\text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ 之间,满足职业人员 $20\text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ 的限值要求。个人剂量监测结果与年累积剂量结果存在差异,主要是因为工作人员除正常作业活动外,还涉及倒源等活动。

贮源井水⁶⁰Co 活度浓度持续未检出,工艺运行系统稳定,安全保障装置正常有效,表明目前的工艺系统和安保设施可以保障扩容后的安全运行,不会增加辐射事故发生的潜在几率。

该装置原设计屏蔽防护水平冗余度较大,为扩容创造了较好条件,对同类装置的防护评价有较好的借鉴意义。本评价期间⁶⁰Co 最大装源活度为许可容量的 70%,辐照装置尚有增加放射源的余地。进一步增加⁶⁰Co 活度,应加强辐射水平监测和屏蔽效果评估。

参考文献

[1] 周晓剑,周启甫,王晓涛,等. 南京铊-192 放射源丢失事故受照人员物理剂量初步估算[J]. 环境与职业医学,2014, 31 (8): 605-607.

[2] 谢丽娜,申小章,姚斌斌,等. γ 辐照加工装置的安全与防护[J]. 中国辐射卫生, 2012, 21 (1):124-126.

[3] 宋娇健,陈清梅,陈睿,等. 一起医疗机构未按规定为受检者使用放射防护用品案的思考分析[J]. 中国辐射卫生, 2018, 27 (6): 605-607.

[4] 邓君,曹磊,王芳,等. 某⁶⁰Co 辐照装置 γ 外照射屏蔽防护设计的验证与评价[J]. 中国辐射卫生, 2011,20(2): 189-191.

[5] 宫增艳,赵广翠,李雪贞,等. 不同方法监测环境 γ 辐射剂量率的结果比较与分析[J]. 中国辐射卫生, 2018, 27(1): 69-73.

[6] 田崇彬,程晓军,张钦富,等. 某⁶⁰Co 辐照装置职业病危害防护现状调查[J]. 中国辐射卫生, 2016,25(2):213-216.

[5] 史凌云,王伟,董海北,等. 观察三维适形放射治疗结合同步化疗治疗Ⅲ期非小细胞肺癌的临床疗效[J]. 中国辐射卫生,2018,27(4):403-405.

[6] 蒋宗惠,董祥宁,薛松,等. 调强适形放疗技术在非小细胞肺癌寡转移胸部原发灶区域的临床研究[J]. 中国辐射卫生, 2018, 27(4): 354-356.

[7] 邵倩,刘珊珊,李建彬,等. 539 例Ⅳ期肺癌患者首程诊治临床分析[J]. 中国辐射卫生,2017,26(3):372-377.

[8] 马建光,司小三,程长海. 肺癌调强或适形放疗后放射性肺炎发生及计量学预测因素研究[J]. 实用癌症杂志,2018,33(9): 1436-1438,1457.

[9] Jo I Y, Kay C S, Kim J Y, et al. Significance of low-dose radiation distribution in development of radiation pneumonitis after helical-tomotherapy-based hypofractionated radiotherapy for pulmonary metastases[J]. J Radiat Res, 2014,55(1):105-112.

[10] 刘志坤,苏景伟,张魏丽,等. 107 例 NSCLC 患者放疗后 ≥ 2 级放射性肺炎预测模型的建立和分析[J]. 实用肿瘤杂志,2017,32(3):239-243.

[11] 张彦秋,韩阿蒙,李金旺,等. 容积旋转调强放射治疗肺癌患者放射性肺炎发生的相关因素分析[J]. 中国医学物理学杂志,2018, 35(7):771-775.

[12] Bratengeier K, Gainey M B, Flentje M. Fast IMRT by increasing the beam number and reducing the number of segments[J]. Radiat Oncol, 2011,6:170.

[13] 迟子峰,刘丹,曹彦坤,等. IMRT 计划剂量误差与射野特征参数相关性分析[J]. 中华放射医学与防护杂志,2012, 32(3):294-296.

[14] 刘苓苓,费振乐,王宏志,等. 呼吸运动对两种子野分割算法剂量影响研究[J]. 中华肿瘤防治杂志,2017,24(9):626-629.

收稿日期:2019-05-05

(上接第 698 页)

[7] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会. GB 17568—2008 γ 辐照装置设计建造和使用规范[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

[8] 许明发,张红卫,向辉云,等. 广西糖厂放射源应用辐射环境影响监测与评价[J]. 中国辐射卫生, 2018,27(3):261-264.

[9] 扬声,李亘山,李红艳,等. 2015 年南京市放射工作人员外照射个人剂量监测结果分析[J]. 中国辐射卫生,2016,25(6):660-670.

[10] 国家质量监督检验检疫总局. GB 18871—2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S]. 北京:中国标准出版社,2002.

[11] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会. GB 10252—2009 γ 辐照装置的辐射防护与安全规范[S]. 北京:中国标准出版社,2009.

收稿日期:2019-05-30

(上接第 700 页)

[6] 中华人民共和国卫生部. GBZ 130—2013 医用 X 射线诊断放射防护要[S]. 北京: 中国标准出版社,2013.

[7] 赵三虎,吴寿明,俞顺飞,等. 浙江省医用放射诊疗设备辐射防护现况调查[J]. 预防医学,2016,28(7):721-722,725.

[8] 中华人民共和国卫生部. 关于医师执业注册中执业范围的暂行规定[S]. 2001-06-20.

[9] 赵锡鹏,刘晓惠,刘建香,等. 全国放射工作人员 2015 年职业健康监测结果分析[J]. 中国职业医学,2017,44(4):473-477.

[10] 高万泉,高金拽,俞涛,等. 新疆军区医疗卫生单位放射防护管理现状调查[J]. 中国辐射卫生,2010,19(3):284-285.

[11] 穆小苏,皇甫德俊,曹廷志. 放射诊疗设备性能检测的现状评价分析[J]. 中国医学装备,2013,10(9):30-32.

[12] 王新华,刘银银,李烨,等. 甘肃省 2015 年基层放射工作人员职业健康检查结果分析[J]. 中国辐射卫生,2017,26(2):172-173,180.

收稿日期:2019-05-21