

# 新疆兵团某医院非密封放射性物质工作场所 环境影响分析

张 锐

新疆辐射环境监督站, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2022年9月6日; 录用日期: 2022年10月5日; 发布日期: 2022年10月12日

---

## 摘 要

医院非密封放射性物质工作场所的辐射防护问题不容忽视, 为减少辐射对人体的伤害, 实施屏蔽和严格管理是目前防护非密封放射性物质辐射问题的主要方法。本文通过对新疆兵团某医院非密封放射性物质工作场所的进行计算量化分析和所提辐射防护措施, 期望对同类型医用非密封放射性物质工作场所辐射防护屏蔽体的设计及电离辐射影响评价有参考借鉴意义。

## 关键词

非密封放射性物质, 辐射屏蔽, 机房

---

# Environmental Impact Analysis of Unsealed Radioactive Material Workplace in a Hospital of Xinjiang Production and Construction Corps

Rui Zhang

Xinjiang Radiation Environment Supervision Station, Urumqi Xinjiang

Received: Sep. 6<sup>th</sup>, 2022; accepted: Oct. 5<sup>th</sup>, 2022; published: Oct. 12<sup>th</sup>, 2022

---

## Abstract

The problem of radiation protection in unsealed radioactive material workplaces in hospitals can not be ignored. In order to reduce the harm of radiation to human body, shielding and strict man-

agement are the main methods to protect the radiation problem of unsealed radioactive materials. In this paper, the rationality of the thickness of the shield in the workplace of unsealed radioactive substances in a hospital of Xinjiang Production and Construction Corps is calculated and analyzed quantitatively and verified by actual monitoring. It is expected that it will be of reference significance to the design of radiation protection shield and the evaluation of ionizing radiation impact in the workplace of unsealed radioactive substances in the same type of medical use.

## Keywords

Unsealed Radioactive Substances, Radiation Shielding, Machine Room

Copyright © 2022 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

随着医疗器械技术的发展进步及医院发展的需要, 为更好地为医学诊疗提供支持, 满足不断增长的就诊需求, 新疆兵团某医院结合现有辐射工作实际, 拟在医院新建综合楼东南角建设核医学科, 从原子高科股份有限公司购入放射性同位素  $^{99m}\text{Tc}$  (年最大用量  $3.7 \times 10^{13}$  Bq, 日等效最大操作量  $1.48 \times 10^8$  Bq) 和  $^{131}\text{I}$  (年最大用量  $4.6 \times 10^{11}$  Bq, 日等效最大操作量  $1.85 \times 10^8$  Bq) 在 1 台 SPECT 设备上开展医疗诊疗工作, 更好地为病患服务。该非密封放射性物质工作场所属于乙级工作场所。

通过对医院使用的非密封放射性物质工作场所(包含放射性同位素  $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$  和 SPECT 设备)应用过程中的辐射环境影响分析, 本文对该设备周围环境可能产生的不利影响和存在的问题提出防治措施, 把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽可能低的水平”; 以期满足国家和地方环境保护部门对建设项目环境管理规定的要求, 为环境保护主管部门对该类别的项目进行辐射环境管理提供科学依据。

## 2. 工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) [1]附录 C 提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法, 可以计算出医院使用各核素的日等效最大操作量。

日等效最大操作量的计算如公式 1:

$$\text{日等效操作量} = \text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子/操作方式的修正因子} \quad (\text{公式 1})$$

医院使用的  $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$  核素, 根据医院使用的日实际操作量以及从该标准附录 C 中表 C2、C3, 可查得各核素的毒性因子和操作方式的修正因子, 医院的各核素日等效操作量结果见表 1, 对照非密封放射性同位素工作场所分级标准确定的分级结果同见表 1。

**Table 1.** Classification of unsealed radioisotope workplaces

**表 1.** 非密封放射性同位素工作场所分级

核素名称	实际日最大操作量(Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量(Bq)	工作场所分级
$^{99m}\text{Tc}$	$1.85 \times 10^{10}$	0.01	10	$1.85 \times 10^7$	乙级
$^{131}\text{I}$	$1.18 \times 10^{10}$	0.1	1	$1.18 \times 10^9$	乙级

## 工作场所分区管理

根据 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的要求,同时参照 GBZ 120-2020《核医学放射防护要求》[2]的要求,核医学工作场所依据管理的需要,可分为控制区和监督区。①放射性药物给药、储存、受药后病人候诊室、SPECT 扫描室等可划为控制区。②操作室、标记实验室和卫生通过间等可划分为监督区。

目前该院拟建核医学科的设计布局已考虑了病人专用的候诊室和病人厕所,患者在住院期间应使用专用厕所,不得使用其他厕所。

对于注射含  $^{131}\text{I}$  的病人回到病房住院观察期间,病人无专用厕所,应收集含  $^{131}\text{I}$  患者排泄物,应同时加入 NaOH 或 10% KI 溶液后密闭存放待处理。

根据机房与周围建筑和通道的关系,设置专用的医生通道和病人通道,病人通道两端设置门禁系统,能确保能满足控制区、监督区分区管理的要求。

## 3. 三废处理

### 3.1. 放射性废液(废水)处理

由污染源分析可知,放射性废水主要来自工作人员操作过程中手部可能受到微量放射性同位素污染的洗手水,清洗室内地面、工作台和一些重复使用的医疗器械带有微量放射性核素的清洗水、未用完已没有医用价值的其它放射性药品、病人排泄物等。

根据 GBZ133-2009《医用放射性废物的卫生防护管理》[3]的要求,由于核医学科注射病人后医生的洗手水中含很少量的放射性同位素,可以不排入衰变池,而是可以直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水管道。

对未用完已没有医用价值的其它放射性药品(不超过购置活度的 10%,即含  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  年排放活度低于  $4.6 \times 10^{11} \text{ Bq}$ ,含  $^{131}\text{I}$  年排放活度低于  $2.96 \times 10^{11} \text{ Bq}$ )统称为废液,医院要严格控制其产生,根据病人的实际或预计使用量,预定放射性药品。对残余的微量余液(低于购置药物的 10%),应存放在原容器内,经过 10 个半衰期(按  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  病人一次注射药物 50 mCi,注射针头、针管、手套等重量约 100 克,则 10 个半衰期后放射性比活度约为  $1.8 \times 10^1 \text{ Bq/g}$ , $^{131}\text{I}$  病人一次注射药物 80 mCi,则 10 个半衰期后放射性比活度约为  $2.9 \times 10^1 \text{ Bq/g}$ )其放射性比活度低于  $1 \times 10^2 \text{ Bq/g}$ ,达到了清洁解控水平,可以按照普通医疗废物进行处理。

对于注射后病人排泄物(含  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  年排放活度  $3.25 \times 10^{12} \text{ Bq}$ ,含  $^{131}\text{I}$  年排放活度  $1.48 \times 10^{12} \text{ Bq}$ ),应设置衰变池,在衰变池内停留 10 个半衰期以上的时间后再排入医院污水系统。

医院的衰变池设置在综合楼南面地下,采用 4 个串联方式,每个容积约为  $18 \text{ m}^3$ ,采用混凝土结构,抗压耐腐,顶板采用 30 cm 的混凝土现浇板。盖板厚,300 mm,池子内部高 2940 mm,地板砣厚 240 mm,池子内径宽 2520 mm,长度 2600 mm,墙体是 240 mm 砣,整体外径宽 3000 mm。

### 3.2. 放射性固体废弃物处理

由污染源分析可知,放射性固体废弃物主要包括一次性注射器、吸水纸、棉花、纱布、洗脱操作用的手套等物品,年产生量低于 100 kg。所有放射性固体废弃物采用先收集在各自相关工作场所的专用铅桶内(桶表面应有电离辐射警示标志),再将存放有放射性固体废弃物的专用铅桶存放到设置在核医学科的专用放射性废物高活室内,高活室应实行双人双锁管理,集中收储一段时间后(一般为 10 个半衰期,视视不同的核素,控制不同的收贮时间,以减少放射性废物的收贮量)再与医院的其他固体废物一起作为普通的医疗垃圾处理。

需要指出的是,核医学科应加强管理,用来收集放射性固体废弃物的专用铅污物桶应贴上电离辐射

标志，并把受不同核素污染的固体废物分开收储，每次收集时收集袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间。

### 3.3. 放射性废气处理

由污染源分析可知，核医学科使用的核素在使用过程介质均为水，操作比较简单，不经过加热、振荡等步骤，因此，基本无放射性气体污染。但是为了安全起见，医院放射性药物的一般操作都将在通风柜内进行[4]，通风柜内通过专门排气通道连接到室外排风口。

## 4. 类比监测

### 1) 类比对象选择

为分析本项目核医学科 SPECT 机房投入运行后对周围环境产生的辐射环境影响，评价采用类比监测的方法进行分析，类比对象选取浙江省肿瘤医院目前在用的 SPECT 机房。类比可比性分析见表 2。

**Table 2.** Comparison of analogy analysis in SPECT machine room  
**表 2.** SPECT 机房类比分析对比表

比对内容	本项目 SPECT 机房	浙江省肿瘤医院 SPECT 机房	分析比对结论
使用核素及用量	$^{99m}\text{Tc}$ , $1.48 \times 10^{11}$ Bq	$^{99m}\text{Tc}$ , $1.48 \times 10^{11}$ Bq	一致
药物来源	外购	外购	一致
屏蔽能力	墙体建设采用 37 cm 实心砖墙 + 60 mm 防护涂料, 墙体表面涂刷辐射防护材料, 门窗均采用具有 5 mm 铅防护当量。	墙体建设采用 37 cm 实心砖 + 40 mm 防护涂料(约 5 mm 铅当量), 门窗均采用具有 5 mm 铅防护当量。	本项目防护条件更优
工作区域设置	分区管理设计, 可实现控制区、监督区和非限制区的分区管理, 受药病人设有专门通道。	现有格局基本可分为控制区、监督区和非限制区三区, 受药病人设有专门通道。	格局均布置合理, 可满足分区管理要求, 避免不必要的照射。
病患受检流程	先注射药物, 然后上机检查。	先注射药物, 然后上机检查。	工作流程一致, 均不需要药物的分装。

### 2) 类比监测结果

**Table 3.** Analogy monitoring results of SPECT machine room in Zhejiang Cancer Hospital  
**表 3.** 浙江省肿瘤医院 SPECT 机房类比监测结果

点位序号	点位描述	剂量当量率(nSv/h)	
		平均值	标准差
▲1	病人表面 5 cm 处	45,934	1003
▲2	病人表面 1 m 处	3368	80
▲3	ECT 机房内铅衣后 5 cm 处	3308	75
▲4	内有注射 $^{99m}\text{Tc}$ 15 mCi 铅屏风后	188	5
▲5	核素注射室注射时(注射 $^{99m}\text{Tc}$ 15 mCi) 病人 1 名	27,894	584
▲6	医生门右缝外 30 cm 处	156	2
▲7	机房观察窗外 5 cm	151	2
▲8	操作位	148	1

### 3) 剂量估算

根据表 3 的类比监测结果可见, SPECT 机房在运行过程中, 医护人员所受的辐射照射主要来自放射性核素的注射和近距离接触受药病人的两个环节, 因此本次剂量估算根据类比监测数据结合 SPECT 机房预计门诊量计算得到辐射工作人员可能受到总的照射剂量, 并以此根据医护人员的轮值班时间, 计算得到每位辐射工作人员可能受到的最大照射剂量。

#### ① 剂量估算公式

根据潘自强主编的《电离辐射环境监测与评价》[5], 职业人员因射线装置所致的年附加有效剂量当量计算如公式 2:

$$E = \sum W_r \cdot HT = \sum WT \cdot \sum W_r \cdot D = \sum WT \cdot \sum W_r \cdot \dot{D} \cdot T \quad (\text{公式 2})$$

其中:  $E$ ——有效剂量(Sv/a)

$HT$ ——组织或器官 T 所接受的当量剂量(Sv/a)

$\sum WT$ ——组织或器官 T 所接受组织权重因子, 取 1。

$\sum W_r$ ——辐射权重因子, 取 1。

$\dot{D}$ ——X、 $\gamma$  致空气吸收剂量率(Gy/h)

$T$ ——年受照时间(h/a)

#### ② 辐射工作人员

根据医院的预计门诊量, 医院注射  $^{99m}\text{Tc}$  的病人每天 10 人, 每周工作 5 天, 每年工作 50 周, 则每年的最大门诊病人约 2500 人, 根据类比监测结果, 辐射工作人员受到的辐射照射来自为病人注射核素、侍服病人上机等过程产生的照射。现假设: a) 工作人员每次注射  $^{99m}\text{Tc}$  核素分别为 0.5 分钟( $\gamma$  辐射剂量率取 27,894 nGy/h), 服侍已注射  $^{99m}\text{Tc}$  核素的病人上机检查时间分别为 0.5 分钟( $\gamma$  辐射剂量率取 45,934 nGy/h), 本底值为 0.15  $\mu\text{Gy/h}$  (150 nGy/h)。b) 核医学科的医疗检查诊断工作将由 3 班医生轮流负责。

按 2 倍安全裕量考虑, 根据监测结果和剂量估算公式, 可以计算出所有辐射工作人员中可能所受到最大辐射照射的工作人员所接受的附加年有效剂量约为 1.02 mSv/a。

核医学实践过程中放射线的来源主要是各种放射性药物, 为非密封源, 可经由消化道、呼吸道、皮肤黏膜或伤口进入人体, 在体内发射  $\beta$  或  $\gamma$  射线引起内照射[6]。本评价项目以 5 mSv 作为管理限值, 相比之下, 该院的辐射工作人员所接受剂量低于管理限值, 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求。

#### ③ 公众成员

医院对核医学科严格管理, 使公众成员不会到达控制区与监督区, 同时病人一般如无特殊情况, 即由病人专门出口处离开, 因此公众成员不会在该院内受到额外的辐射照射。

因此医院的只要根据设计, 保证施工质量, 其建成投入运行后, 能够符合辐射环境保护的要求。

## 5. 辐射防护措施

医院针对放射性医疗设备使用项目应落实以下几项要求[7]:

### 5.1. 医生的防护要求

- 1) 提高安全文化素养, 全面掌握辐射防护法规与技术知识;
- 2) 结合诊疗项目实际, 综合运用时间、距离与屏蔽防护措施;
- 3) 佩带好个人防护用具;
- 4) 必须开展核医学科操作医生的个人剂量监测;

- 5) 发现问题及时整改。

## 5.2. 非密封放射性物质工作场所辐射防护措施

- 1) 时间防护：加强操作人员培训，安排熟练操作分装、注射的工作人员进行操作，尽量缩短工作时间。
- 2) 屏蔽防护：注射工作在有铅屏蔽的屏风后操作，减少受照剂量。
- 3) 做好工作台面的清洁：工作台面选用防渗性能良好的聚乙烯材料或其他材料，防止放射性药物洒落在台面上渗入，发生药物洒落及时清理。
- 4) 充分利用各种防护器材：操作者穿戴铅衣、铅围脖、铅帽、铅眼镜或铅面罩；处于生育年龄者还可加穿铅三角裤，做好其他个人防护。
- 5) 在不影响图像质量和诊疗需要的前提下，尽量使用低剂量。

## 6. 总结

由于在核医学诊断、治疗中使用的放射性药物、用后废弃的医疗材料及病人的排泄物等均是非密封源，易于扩散，可以进入人体形成内照射危害或污染环境[8]。因而在非密封放射性物质工作场所建设、运行过程中，医院要严格按照本文提出的污染防治措施及环保部门的要求进行，严格放射性三废管理制度，确保达标排放；建立放射性废水衰变池定期检查制度，防止泄漏，严格放射性固体废弃物贮存和處理工作，做好防护工作[9]。

本文通过对新疆兵团某医院非密封放射性物质工作场所的进行计算量化分析和所提辐射防护措施，期望对同类型医用非密封放射性物质工作场所辐射防护屏蔽体的设计及电离辐射影响评价有参考借鉴意义[10]。综上所述，新疆兵团某医院的非密封放射性物质工作场所使用放射性同位素  $^{99m}\text{Tc}$  (年最大用量  $3.7 \times 10^{13} \text{ Bq}$ ，日等效最大操作量  $1.48 \times 10^8 \text{ Bq}$ )和  $^{131}\text{I}$  (年最大用量  $4.6 \times 10^{11} \text{ Bq}$ ，日等效最大操作量  $1.85 \times 10^8 \text{ Bq}$ )在 1 台 SPECT 设备上开展医疗诊疗工作，属于乙级工作场所。在落实国家有关法律法规和标准及本文所提出的各项防护和安全措施后，该医院具备所从事辐射活动的技术能力，其应用的辐射医疗设备，在严格执行国家法律法规要求和上面提出的防治措施情况下，严格按照操作规范正确使用，可满足 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》等相关标准当中的辐射医疗设备使用过程中辐射安全防护要求。

## 参考文献

- [1] 国家质量监督检验检疫总局. GB18871-2002 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.
- [2] 国家卫生健康委员会. GBZ 120-2020 核医学放射防护要求[S]. 北京: 人民卫生出版社, 2020.
- [3] 国家卫生部. GBZ133-2009 医用放射性废物的卫生防护管理[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [4] 严源, 金潇, 邵明刚. I-131 治疗场所放射性废气排放源项调查与评价[J]. 同位素, 2019, 32(6): 388-394.
- [5] 潘自强. 电离辐射环境监测与评价[M]. 北京: 原子能出版社, 2009.
- [6] 王红波, 张庆召, 张震, 侯长松, 孙全富. 核医学科工作人员职业性内照射研究进展[J]. 中国辐射卫生, 2016, 25(2): 251-254.
- [7] 李少林, 张永学. 核医学与放射防护[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2003.
- [8] 杨晓光, 赵力, 李冰, 关立军, 李雪, 陈大伟. 某医院核医学科综合防护措施的调查与评价[J]. 中国辐射卫生, 2008, 17(1): 37-38.
- [9] 汪传文, 肖华, 李德龙, 刘军. 某医院 SPECT-CT 工作场所放射防护监测结果与分析[J]. 中国辐射卫生, 2017, 26(3): 363-365.
- [10] 宋超. 医用电子直线加速器机房屏蔽合理性分析探讨[J]. 青海环境, 2020(4): 204-209.