

文章编号: 1673-193X(2011)-08-0210-04

## X射线防护服所需铅当量的研究与应用

梁丽, 赵蕊, 李胜, 岳强, 徐健

(黑龙江省劳动安全科学技术研究中心, 哈尔滨 150040)

**摘要:** 铅当量是X射线防护服最重要的性能指标, 铅当量的大小决定着X射线防护服屏蔽X射线的能力。X射线防护服的铅当量有不同的等级, 需根据不同的X射线照射条件和工作情况选择使用。本文通过计算给出了几种常用管电压下防护服屏蔽散漏X射线所需的铅当量值, 可为X射线防护服的使用单位或个人在购买和使用时提供参考。选择适合铅当量的X射线防护服, 可以避免因选用的防护服或用具铅当量不足而达不到有效屏蔽X射线的效果, 造成健康的危害; 也可以避免因选用过大铅当量的X射线防护服或用具, 致使作业人员过多负重, 导致疲劳, 发生人为失误, 也可以避免造成不必要的经济浪费。另外, 为了保证X射线防护服的使用效果, 本文给出了X射线防护服的检验、贮存和使用等管理方法。

**关键词:** X射线; 防护服; 铅当量; 研究; 应用

**中图分类号:** X96

**文献标识码:** A

### The study and application on the required lead equivalents of protective clothing

LIANG Li, ZHAO Rui, LI Sheng, YUE Qiang, XU Jian

(The Labor Safety Science and Technology Research Centre of Hei Longjiang, Haerbin 150040, China)

**Abstract:** Lead equivalent is the most important performance of X-ray protective clothing, lead equivalent size determines the shielding X-ray ability of X-ray protective clothing. The lead equivalent of X-ray Protective Clothing has different grades, the selection and using should be based on different X-ray exposure conditions and working conditions. This paper provides the required lead equivalents of protective clothing to shield the scattered leak X-ray under some common tube voltages, which can provide the reference on the purchase and use of X-ray Protective Clothing for units or individuals. Selecting suitable lead equivalent of the X-ray protective clothing can avoid the insufficient of the lead equivalent when choosing protective clothing or appliance, which can bring healthy hazards because the shield for the X-ray is not effective. It also can avoid selecting the excessive lead equivalent of the X-ray protective clothing or appliance, with which the excessive lead equivalent of the X-ray protective clothing or appliance may cause too much load to operating personnel, cause fatigue, and human error will be occurred. It also can avoid unnecessary financial waste. In addition, in order to ensure the using effect of X-ray protective clothing, this paper gives the management methods of test, reposition and using to the X-ray protective clothing.

**Key words:** X-ray; protective clothing; selection; using

### 1 引言

收稿日期: 2011-06-12

随着国防科研、放射性医学、工业探伤和核技术

应用的不断发展,各种放射性射线被广泛应用,但人们利用和享受放射性射线技术成果的同时,也受到其给人类带来的危害<sup>[1-2]</sup>。X射线防护服是在放射源和人员之间使用的一种能有效吸收X射线的屏蔽物,以消除或减弱X射线对人体的危害。屏蔽材料对电离辐射的屏蔽机理是通过材料中所含吸收物质对电离辐射的吸收完成的。能量吸收的大小与吸收物质原子序数的4次方成正比。铅的原子序数为82,具有良好的能量吸收特性,且易获得,是一种用以屏蔽高能电离辐射的理想材料,人们用铅当量来衡量屏蔽材料对X射线的吸收能力<sup>[3]</sup>。所以铅当量是X射线防护服最重要的性能指标,铅当量的大小决定着X射线防护服屏蔽X射线的能力。本文将通过计算给出几种常用管电压下防护服屏蔽散漏X射线所需的铅当量值。

## 2 X射线防护服所需铅当量计算

对于X射线的防护,我国有些国家标准(如GBZ130-2002《医用X射线诊断卫生防护标准》)中明确规定:每台X射线机应配备适量的符合防护要求的各种辅助防护用品,如铅橡胶手套、铅橡胶围裙等<sup>[4]</sup>。我们知道凡是要求使用个体防护用品的场合,均是对人体健康有危害、对生命安全有威胁的场合。所以,在这种有X射线危害的场合,选用多大铅当量的X射线防护用品才能不超出国际放射防护委员会(简称ICRP)第103号出版物规定的工作人员职业照射剂量限值,即工作人员职业照射剂量为5年平均每年20mSv,其中任何一年内都不得超过50mSv的限值<sup>[5]</sup>。对于这一问题,需要对各种照射条件和工作情况下所需铅层厚度进行计算,以达到有效屏蔽X射线的目的,消除或减少X射线对人体健康的危害及生命安全的威胁。

### 2.1 计算方法简述

防护X射线管有用射线束(通过过滤片的初级X射线束)的屏蔽称主屏蔽,防护泄漏辐射和被受照物体(或人体)散射辐射的屏蔽称次级屏蔽。X射线防护服主要是对泄漏辐射和被受照物体(或人体)散射辐射的屏蔽,所以X射线防护服所需铅层厚度计算应按次级屏蔽计算,X射线机的布置一般如图1。

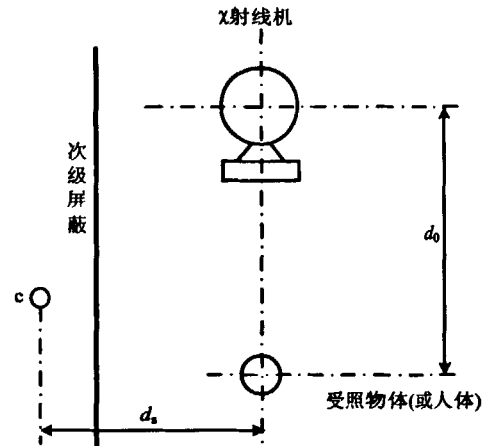


图1 X射线机布置图

X射线机的工作通常是间断性的,因此在计算铅层厚度时,一般按周照射量限定。

X射线机的照射量率( $X_{10}$ )与管电压、过滤板等因素密切相关。其可由“各种管电压和过滤板的X射线机输出额-照射量率( $X_{10}$ )曲线”查出。

由于X射线是连续能谱,很难用简单方法计算它在物质中的减弱,故一般通过实验得到其在各种屏蔽材料中的减弱曲线。由X射线在铅中的减弱曲线查得所需铅层厚度。

次级屏蔽厚度取决于漏射束和散射束。由于一般X射线机的侧向漏束很小(我国安全标准规定X射线机机头的漏射线的最大容许照射量率不得超过100mR/h),起决定作用的是被照体(如人)的散射束。假设已知受照物体(或人体)对入射X射线的散射比为 $\alpha$ ,散射面积为 $s, \text{cm}^2$ ;则C点(防护点)的周照射量为

$$X_w = \frac{X_{10} W u \eta \alpha s f}{(d_0)^2 (d_s)^2}$$

式中, $d_0$ 为源与受照体的距离,m; $d_s$ 为受照体与防护点的距离,m; $X_{10}$ 为每mA管电流产生的X射线在1m处的照射量率, $\text{R}/\text{mA} \cdot \text{min}$ ;  $w$ 为X射线机的每周工作量, $\text{mA} \cdot \text{min}/\text{周}$ ;  $W = It$ ,其中 $I$ 为管电流,mA; $t$ 为每周工作时间,min/周; $u$ 为利用因子,它表示射线被利用的程度,也就是有用射线束指向有关照射点的工作负荷分数,在不改变方向的水平照射情况下, $u = 1$ ; $\eta$ 为对防护区的占用因子,人员在防护区停留时间,在“全居住”的情况下, $\eta = 1$ ; $f$ 为屏

蔽物对初级 X 射线束的减弱因子(或叫透射率);  
 $x_{wp}$ 为周照射量限值, R/周 = 10mSv/周。按上式计算后,查“X 射线在铅中的减弱曲线”得出屏蔽漏射束和散射束的铅层厚度<sup>[68]</sup>。

### 2.2 所需铅当量计算

选择几种常用管电压及其他有关因素,进行屏蔽散漏 X 射线所需铅当量计算,下面以管电压为 250kV 时的计算为例,详述如下。

当管电压为 250kV,管电流为 10mA,源与受照体的距离  $d_0 = 3m$ ,受照体与防护点的距离  $d_s = 0.3m$ ,散射面积  $S = 100cm^2$ ,  $x_{wp} = 0.4mSv/周 = 0.04R/周$ (按  $\leq 20mSv/年$ ),周工作时间为 10 小时,过滤片为 0.5mmCu,垂直入射,查《辐射防护手册》<sup>[9]</sup>表 10.1 得  $\alpha = 0.0019$ ,即  $\alpha = 4.75 \times 10^{-6}$ ,查《辐射防护手册》图 4.4d 得 X 射线机的照射量率  $X_{10} = 1.8 R/mA \cdot min$ 。

$$X_w = \frac{X_{10} W u \eta \alpha s f}{(d_0)^2 (d_s)^2}$$

$$= \frac{1.8 \times 10 \times 60 \times 10 \times 4.75 \times 10^{-6} \times 100f}{3^2 \times 0.3^2} = 0.56f$$

$$f = \frac{0.01}{0.56} = 7.1 \times 10^{-2}$$

散射后的 X 射线能量可以用一次散射作偏安全的近似计算:

$$\frac{E}{E_0} = \frac{1}{1 + \frac{E_0}{0.511}(1 - \cos\theta)}$$

$$= \frac{1}{1 + \frac{0.25}{0.511}(1 - 0)} = 0.671$$

因此,散射后的 X 射线能量可按  $250 \times 0.671 = 168kV$  的管电压 X 射线来计算。这样,查《辐射防护手册》图 10.5g 可得铅厚度为 0.5mm。

按上述方法计算出其他几种常用管电压下防护服屏蔽散漏 X 射线所需铅层厚度,结果见表 1。

表 1 几种常用管电压下防护服屏蔽散漏 X 射线所需铅当量

管电压(kV)	50	70	100	125	150	200	250	300
过滤板	2mmAl	2mmAl	2mmAl	0.5mmCu	0.5mmCu	0.5mmCu	0.5mmCu	3.0mmCu
管电流(mA)	5	10	15	15	10	15(10)	10	10
周工作时间(h)	30	30	30	30	30	15(10)	10	10
源与受照体的距离(m)	1	1	1.5	1.5	2	3(2)	3	3
受照体与防护点距离(m)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
计算铅当量(mmPb)	0.11	0.2	0.3	0.33	0.4	0.485	0.5	0.5
选用铅当量(mmPb)	0.15(0.125)	0.25	0.35	0.35	0.5	0.5	0.5	0.5

### 3 X 射线防护服铅当量等级的选择

根据国际放射防护委员会(ICRP)关于放射防护 103 号建议书对职业照射剂量限值的规定,即工作人员职业照射剂量 5 年平均每年 20mmSv,且其中任何一年内都不得超过 50mmSv 的规定,对几种典型管电压下防护服屏蔽散漏 X 射线所需铅当量值进行计算的结果见表 1,供从事 X 射线放射性工作的人员根据本岗位具体情况选择 X 射线防护服铅当量等级时参考。

### 4 X 射线防护服的使用管理

X 射线防护服如果运输、贮存和使用不当,就会引起防护服屏蔽材料铅当量的变化,降低屏蔽材料对 X 射线的吸收能力,破坏 X 射线防护服的防护性能。因此,必须做好 X 射线防护服的运输、贮存和使用管理工作,注意以下几方面的问题:

(1)运输和贮存时切勿重压、日晒、雨淋。严禁与酸、碱、油、有机溶剂等腐蚀及溶解性物质接触。

(2)产品应贮存在干燥通风的库房内,贮存温度为 0-40℃,离地垫高 150mm 以上。

(3)产品在上述保存条件下,从出厂日期算起,产品的贮存期为一年,在贮存期内产品质量应符合本标准要求。过期存放应重新抽检,合格后方可销售和使用。

(4)根据不同作业场所 X 射线强度的差异或按有关标准和规定,选择不同等级铅当量的 X 射线防护服。

(5)使用单位宜定期对 X 射线防护服进行铅当量检测,对使用年限超过三年的 X 射线防护服宜增加检测频次,防止 X 射线防护服因龟裂、开裂、拉伸变薄等原因导致屏蔽能力降低,对人的健康造成危害。

(6)不要将 X 射线防护服暴露在阳光下或储藏在臭氧发生器附近。

(7)X 射线防护服宜用肥皂和热水清洗,并用干布擦拭<sup>[10]</sup>。

(8)X 射线防护服使用后应挂在远离热源处,并避开强光,不得压成死褶和损伤。

(9)按规定做好 X 射线防护服的报废处理,不应擅自埋进土壤里,以免对环境造成污染。

## 5 结语

在工作中接触 X 射线放射设备的工作人员不可避免地会受到散漏 X 射线的照射,长期在这种工作环境中工作,必将会损害 X 射线放射设备操作人员的身体健康,所以对其进行防 X 射线的个体防护是极其必要的。但如果 X 射线防护服或用具选择不当,一是达不到有效屏蔽 X 射线的效果,二是会造成作业人员过多负重而导致疲劳。另外,如果 X 射线防护服运输、贮存和使用不当也会引起 X 射线防护服屏蔽材料铅当量的变化,破坏 X 射线防护服的防护性能,因此,必须做好 X 射线防护服的运输、贮存和使用管理工作。

本文依据国际放射防护委员会(简称 ICRP)第 103 号出版物规定的工作人员职业照射剂量限值,通过对几种常用管电压下 X 射线防护服屏蔽散漏 X 射线所需铅当量的研究计算,解决了如何正确选用 X 射线防护服及其用具的问题,给出了几种常用管电压下 X 射线防护服屏蔽散漏 X 射线所需的铅当

量值,可以为 X 射线防护服的使用单位或个人在购买和选用时提供参考。按照表 1 中各管电压下及相应工作条件,选择适合铅当量的 X 射线防护服,可以避免因选用的防护服或用具铅当量不足而达不到有效屏蔽 X 射线的效果,造成健康的危害;也可以避免因选用过大铅当量的 X 射线防护服或用具,致使作业人员过多负重,导致疲劳,发生人为失误,也可以避免造成不必要的经济浪费。同时,从 X 射线防护服运输、贮存和使用的角度提出了正确的管理方法。

## 参考文献

- [1] 刘显坤,等. 辐射屏蔽材料的研究进展[J]. 材料导报, 2006,20(6):32-35  
LIU Xian-kun, et al. The Advance in Study on Radiation-proof Shielding Material[J]. Materials Review, 2006, 20(6):32-35
- [2] V. N. Filatov 著,许元巨译. 电离和电磁辐射防护材料的开发[J]. 产业用纺织品, 1994, 13(5):41-43  
V. N. Filatov, Xu yuan-ju, et al. The Exploitation of the Ionization and Electromagnetic Radiation Protection Material[J]. Technical Textiles, 1994, 13(5):41-43.
- [3] 张桂敏,等. 医用射线防护屏蔽材料的研究及应用[J]. 中国辐射卫生, 2005, (3):184  
ZHANG Gui-min, et al. The Study and Application of Protection Shielding Material to Medical Ray[J]. Chinese Journal of Radiological Health, 2005, (3):184
- [4] 郑均正,等. GBZ130-2002 医用 X 射线诊断卫生防护标准[S]. 中华人民共和国卫生部, 2002
- [5] 国际放射防护委员会第 103 号出版物[Z]. 北京:原子能出版社, 2008
- [6] 李星洪等. 辐射防护基础[M]. 北京:原子能出版社, 1982
- [7] 苏森龄. X 射线和射线防护手册[M]. 贵州:贵州人民出版社, 1982
- [8] 栾耀君等. X 射线防护与管理[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 1997
- [9] 李德平,潘自强. 辐射防护手册[M]. 北京:原子能出版社, 1987
- [10] 国际电工委员会. 医用诊断 X 射线辐射防护器具 第 3 部分:防护服和性腺防护器具[S]. 国家药品监督管理局, 2000, 7

# X射线防护服所需铅当量的研究与应用

作者: 梁丽, 赵蕊, 李胜, 岳强, 徐健, LIANG Li, ZHAO Rui, LI Sheng, YUE Qiang, XU Jian  
作者单位: 黑龙江省劳动安全科学技术研究中心, 哈尔滨, 150040  
刊名: 中国安全生产科学技术   
英文刊名: Journal of Safety Science and Technology  
年, 卷(期): 2011, 07(8)

## 参考文献(10条)

1. 刘显坤 辐射屏蔽材料的研究进展[期刊论文]-材料导报 2006(06)
2. V. N. Filatov; 许元巨 电离和电磁辐射防护材料的开发 1994(05)
3. 张桂敏 医用射线防护屏蔽材料的研究及应用[期刊论文]-中国辐射卫生 2005(03)
4. 郑均正 GBZ130-2002医用X射线诊断卫生防护标准 2002
5. 国际放射防护委员会第103号出版物 2008
6. 李星洪 辐射防护基础 1982
7. 苏森龄 X射线和射线防护手册 1982
8. 栾耀君 X射线防护与管理 1997
9. 李德平; 潘自强 辐射防护手册 1987
10. 国际电工委员会 医用诊断X射线辐射防护器具第3部分: 防护服和性腺防护器具 2000

## 引证文献(1条)

1. 王猛, 梁明, 姚天明, 孙景阳, 邵会雨, 韩雅玲 综合手术救治方舱X线辐射防护措施的评价[期刊论文]-医学研究生学报 2013(2)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_zgzyaqwsgltxrz201108039.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zgzyaqwsgltxrz201108039.aspx)