

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2021.10.005

医学放射物理

方舱CT防护设计快速估算方法研究及防护监测分析

凌玉婷¹, 康立丽¹, 杨绍洲², 蓝坤明², 高扬¹

1. 南方医科大学生物医学工程学院, 广东 广州 510515; 2. 南方医科大学南方医院增城分院设备信息科, 广东 广州 511356

【摘要】目的:探讨方便、快捷的屏蔽计算方法用于方舱CT机房的屏蔽设计,使其防护检测结果符合周围剂量当量率要求的国家标准。**方法:**在不考虑工作负荷情况下,利用周围剂量当量率目标管理值和CT剂量分布曲线进行屏蔽透射因子 B 的计算,从而快速估算各方向屏蔽体的设计值。根据实际防护检测结果结合机房防护进行防护效果分析。**结果:**优化了CT设备方舱在不同目标管理值、不同机房布局条件下的快速屏蔽估算方法,在确保施工质量的前提下使其符合《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)对防护的要求。**结论:**优化的方舱式CT影像设备机房屏蔽计算方法可在不考虑CT工作负荷情况下方便快捷地对各方向屏蔽体进行设计。

【关键词】方舱CT; 剂量分布; 屏蔽物质; 铅当量; 防护检测

【中图分类号】R318

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2021)10-1209-07

A method to rapidly estimate the protective design for CT shelter and analysis of radiation protection monitoring

LING Yuting¹, KANG Lili¹, YANG Shaozhou², LAN Kunming², GAO Yang¹

1. School of Biomedical Engineering, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China; 2. Department of Equipment and Information, Zengcheng Branch of Nanfang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 511356, China

Abstract: Objective To discuss a fast and convenient shielding estimation method for CT shelter, making the radiation protection conform to the national standards for peripheral dose equivalent rate. **Methods** Without regard to work load, the management objective values of peripheral dose equivalent rate and the CT dose distribution curves were used to calculate the shielding transmission factor B , thereby quickly estimating the design value of the shield in every direction. Based on the test results of radiation protection in practice and the protection condition of X-ray room, the protective effect was analyzed. **Results** The method for the rapid shielding estimation for CT shelters with different management objective values and different layouts was optimized, and the optimized method made CT shelter meet the requirements for radiation protection in "Radiation Diagnostic Radiological Protection Requirements" (GBZ 130-2020) under the guarantee of construction quality. **Conclusion** The optimized shielding estimation method for CT shelter can realize the rapid design of the shield in every direction, without regard to CT work load.

Keywords: CT shelter; dose distribution; shielding material; lead equivalent; protection detection

前言

2019年12月,武汉市部分医疗机构陆续出现不明原因肺炎病人^[1]。实验室病原学检测感染者的呼吸道上皮细胞并分离出一种新型冠状病毒^[2]。国际病毒分类委员会将该病毒命名为严重急性呼吸综合

征冠状病毒2(SARS-CoV-2),WHO将该病毒引起的疾病命名为新型冠状病毒病(COVID-19)^[3],引起的肺炎命名为新型冠状病毒肺炎。为了应对疫情爆发,国家要求相关医疗机构建立发热门诊,确保对新冠患者和疑似患者做到及时有效的处置。研究表明SARS-CoV-2可造成以肺部为主的多器官功能损害,并具有较强的传染性,对国民健康形成严重威胁^[2]。在中国疫情得到有效控制的同时,疫情在全球迅速蔓延,给临床带来极大挑战。首先是核酸试剂盒检测等待时间长,且存在一定假阴性率,需反复检测;其次是试剂盒容易出现短缺,很多高度疑似患者仍难以确诊。X射线CT作为一种医学影像检查技术,对

【收稿日期】2021-05-15

【基金项目】广东省医学科研基金(201711815831371)

【作者简介】凌玉婷,就读于南方医科大学生物医学工程(医学物理师)专业, E-mail: 312307790@qq.com

【通信作者】康立丽,博士,副教授,研究方向:医疗设备质量保证测试与放射防护评价, E-mail: 1035685370@qq.com

COVID-19的诊断价值日益重要^[4-8]。利用CT对疑似病例进行筛查,使其成为新冠肺炎疫情中筛查、诊断和疗效判定的关键方法^[6]。CT可以清晰显示病灶细节,并可对图像进行量化评估,新型冠状病毒肺炎的CT表现依据病灶的范围和演变分为早期、进展期、重症期、恢复期^[7]。COVID-19患者肺部影像表现变化快,病灶多,并且需要短期内多次复查,显著增加了影像诊断医师的负荷。近年来人工智能(AI)技术在肺结节检出、肺癌筛查方面得到了临床认可。基于CT的AI辅助定量分析快速用于新冠肺炎诊断,其可全自动、快速、准确地为医生提供诊疗意见,分担一线医护的重负,缓解医务人员紧缺的困难局面,并且可以高效客观准确地进行肺炎严重程度的量化评估,有助于临床分诊及疗效评价,是新冠肺炎疫情筛查、诊断和疗效判定的又一有力武器^[9]。许多发热门诊的建设都考虑配置CT作为影像学检查手段。由于医院新建发热门诊容易受到建筑区域大小和构造等因素的影响,购置方舱CT,将其放置在发热门诊区域成为医院建设发热门诊简便、快捷的方法。

对于医用诊断X射线,需要考虑的辐射主要有两类:其一是初级辐射,又被称为有用线束,是辐射源发出的未经X射线管组装体屏蔽的、用于病人检查的辐射束;其二是次级辐射,即是初级辐射区以外的辐射,包括散射辐射和泄漏辐射^[10]。对于CT成像系统机房防护,主要考虑次级辐射。为了便于实践,《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)^[11]对传统CT机房的面积尺寸和辐射屏蔽提出了要求,使得传统CT机房可无需屏蔽计算即可进行设计。但是方舱CT机房面积尺寸较小,无法直接按照现有国家标准选取屏蔽体的铅当量。方舱CT主要有两种安装模式:一种是厂家在符合防护标准的一体化方舱内部安装调试好CT后发货到医疗机构进行吊装;另一种是委托当地有防护设计和施工能力的机构生产方舱部件,运输到医疗机构现场组装好后,再将CT部件搬至方舱内部安装调试。相对于传统CT机房,方舱CT面积尺寸小,对屏蔽要求较高。如果屏蔽不当会对机房外人员产生电离辐射危害。因此合理设计应对疫情的CT方舱非常必要,既要满足辐射防护要求,又应便于发热门诊的使用与管理。方舱CT所选择的防护设计方案,导致其所需的舱体质量和方舱布局不同,这些都会对方舱CT的加工工艺以及制造成本产生重大影响^[3]。如何合理地设计方舱尺寸、屏蔽厚度、CT摆放、防护门窗布局等,是减少不必要的电离辐射、确保其防护检测结果符合国家标准要求的关键。为方便方舱的屏蔽设计和分析,尽量避免因设计不合理导致的重新拆修,确保方舱CT及

时安全投入使用,本文探讨方舱CT防护设计快速估算方法及防护监测分析。

已有国内外学者根据屏蔽计算方法对方舱CT的屏蔽设计进行了探讨^[11-20]。屏蔽计算主要是利用工作负荷、人员驻留因子、单层扫描辐射剂量等参数计算屏蔽透射比 B ,然后利用求得的 B 值及拟采用的材料进行屏蔽厚度的计算。该方法得到的屏蔽设计值会因工作负荷和居留因子等参数的选取出现较大差异^[15],而且不能保证防护测量结果低于国家限值要求。本文将管理目标值和未屏蔽情况下的剂量率值用于方舱屏蔽计算,不仅计算过程方便、快捷,而且可将防护设计与防护检测效果相联系,对防护监测结果有较好的保证。

1 屏蔽透射比 B 值计算

1.1 方法一

GBZ/T 180-2006^[12]给出的 B 值计算公式见式(1):

$$B = \frac{5d^2}{D_0 \cdot d_0 \cdot T \cdot W} \quad (1)$$

式中 d 为距离扫描中心的距离(cm); D_0 为距扫描中心 d_0 处的单层扫描的辐射剂量($\mu\text{Gy}/\text{层}$); W 为 D_0 扫描条件作为参考条件下的周归一工作负荷(层/周); T 为CT扫描室外距离扫描中心 d 处的人员驻留因子。该方法中 D_0 可根据拟购置设备提供的材料获得; W 需要根据预计的工作量和扫描条件得到周归一的工作负荷,不同的受检者数量和扫描条件,会有不同的周归一工作负荷; T 在不清楚方舱具体摆放位置的情况下很难确定,即人员驻留因子取值不同会有不同的计算结果。

1.2 方法二

针对CT机房,NCRP No.147报告^[13]给出了利用CTDI(CT Dose Index)和DLP(Dose Length Product)计算 B 值的方法。

(1)利用CTDI₁₀₀值计算次级空气比释动能。

1 m处轴扫和螺旋扫的散射空气比释动能见式

(2)和式(3):

$$\text{轴扫: } K_{\text{sec}}^1 = \kappa \cdot L \cdot \text{mAs} \cdot \text{CTDI}_{100} \quad (2)$$

$$\text{螺旋扫: } K_{\text{sec}}^1 = \kappa \cdot \frac{L}{\text{pitch}} \cdot \text{mAs} \cdot \text{CTDI}_{100} \quad (3)$$

由式(2)、(3)可计算出每周头部(轴扫)和体部(螺旋扫描)在 $r(\text{m})$ 处的次级空气比释动能(mGy/week),见式(4):

$$K_{\text{sec}} = \frac{1}{r^2} [\kappa_{\text{head}} \cdot L_{\text{head}} \cdot \text{mAs} \cdot \text{CTDI}_{100\text{head}} + \kappa_{\text{body}} \cdot \frac{L_{\text{body}}}{\text{Pitch}} \cdot \text{mAs} \cdot \text{CTDI}_{100\text{body}}] \quad (4)$$

(2)利用DLP计算次级空气比释动能。

1 m处散射空气比释动能见式(5):

$$K_{\text{sec}}^1 = K_{\text{sec}}^1(\text{head}) + K_{\text{sec}}^1(\text{body}) = \kappa_{\text{head}} \cdot \text{DLP}_{\text{head}} + 1.2 \kappa_{\text{body}} \cdot \text{DLP}_{\text{body}}$$

(5)

结合每周头部和体部扫描的工作负荷计算次级空气比释动能(mGy/week),见式(6):

$$K_{\text{sec}} = \frac{1}{r^2} [K_{\text{sec}}^1(\text{head}) N_{\text{head}} + K_{\text{sec}}^1(\text{body}) \cdot N_{\text{body}}]$$

(6)

(3)根据周工作负荷计算B值。

根据设定的周工作负荷W(mGy/week),则可以利用由CTDI和DLP得到的K_{sec}计算B值,见式(7):

$$B=W/K_{\text{sec}}$$

(7)

NCRP No.147报告两种计算B值的方法均需要预知每周头部检查、体部检查的数量以及曝光条件,这些条件的可变性较大也会导致B值计算结果的多样性。

1.3 方法三

考虑国家标准关于CT机房的防护监测是以周围剂量当量率为检测结果并进行评价^[11],而该结果不与每周工作负荷有直接关系,因此为了确保屏蔽估算结果能保证建成机房的防护效果,本文基于B值概念所反映的原理,将周围剂量当量率的控制目标(μGy/h)作为有屏蔽时期望的辐射剂量率进行B值计算。屏蔽透射比B的计算见式(8):

$$B = \frac{\dot{H}}{\dot{H}_0}$$

(8)

其中, \dot{H} 是关注点未屏蔽时的辐射剂量率(μGy/h); \dot{H}_0 是关注点有屏蔽时期望的辐射剂量率(μGy/h)。 \dot{H} 可通过空间剂量分布曲线求得,一般CT设备的剂量分布曲线呈蝶形分布,见图1。

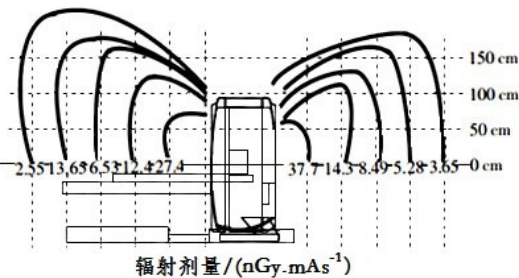


图1 CT设备空间剂量分布曲线示意图
Fig.1 Schematic diagram of spatial dose distribution curves of CT equipment

2 屏蔽厚度估算

GBZ/T 180-2006给出的方法是将B值乘以斜射修正因子(1+cosθ)/2后,然后查阅辐射透射比与屏蔽材料厚度关系表^[12],即可得到各个具体点位所需屏

蔽材料的厚度。保守起见,同一侧屏蔽体采用同一厚度,可忽略斜射修正因子。

GBZ 130-2020标准^[11]和NCRP No.147报告^[13]给出了已知B值计算材料厚度X的计算方法,见式(9):

$$X = \frac{1}{\alpha \gamma} \ln \left(\frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right)$$

(9)

式中α、β和γ是某种材料的相关拟和参数,可查表。CT系统方舱各个方向的屏蔽体根据式(8)和式(9)即可得到需要的屏蔽厚度。

3 屏蔽计算分析

3.1 屏蔽关注点及控制目标的选取

典型的方舱CT布局见图2。X-CT的剂量分布在空间上呈现出蝴蝶形状式样分布,在CT机架两侧和上方由于设备自身很多部件产生衰减的原因,辐射剂量较低;在CT空腔前后两侧则存在较高的辐射剂量,且离CT机架越近辐射剂量越高、离CT机架越远辐射剂量越低,参见图1。

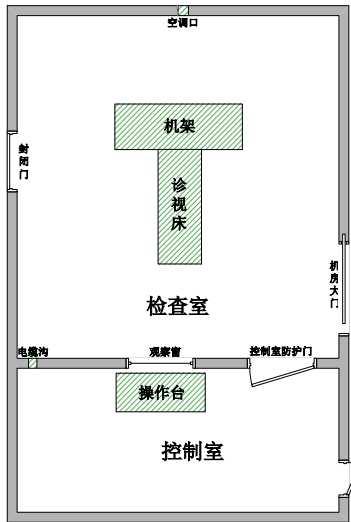


图2 方舱CT典型布局示意图
Fig.2 Schematic diagram of typical CT shelter layout

为了简化屏蔽计算,不同方向的方舱壁体尽量选取距离短、辐射剂量率大的位置作为关注点。按机架距后方墙壁关注点距中心1.5 m;机架两侧宽度3 m,关注点选取两侧中剂量率高的机房大门区域(距离控制室侧壁2.0 m、距离设备中心1.5 m);控制室侧关注点选取距中心3 m。

根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020),CT机房外的周围剂量当量率应不大于2.5 μSv/h^[11],因此控制目标值可选择2.5 μGy/h。为使方舱CT达到辐射防护标准,减少不必要的辐射,保障医护人员

以及病人的安全,医院可根据自身需求制定控制目标值,可以设置更低的控制目标值,如 1.25 $\mu\text{Gy/h}$ 甚至更低。

3.2 CT 机房屏蔽材料厚度计算

利用CT设备的剂量分布曲线查找相关关注点的剂量参数。考虑常规管电流设置和较大管电流设置,可得到关注点在未屏蔽情况下的辐射剂量率,见表1。利用式(8)和设定的控制目标计算屏蔽透射因子 B ,利用式(9)可得到相应关注点的屏蔽需求,见表2。

表1 未屏蔽情况下机房外各关注点辐射剂量率($\mu\text{Gy/h}$)
Tab.1 Radiation dose rate at each concern position of the room without shielding ($\mu\text{Gy/h}$)

mA 值	关注点辐射剂量率		
	A	B	C
300 mA	9 169.20	2 755.08	13 392.00
160 mA	4 890.24	1 469.38	7 142.40

表2 各位置所需屏蔽透射因子 B 及屏蔽厚度估算结果

Tab.2 Shielding transmission factor B and the estimation of shielding thickness for each position

条件		A		B		C	
控制目标	管电流	B 值	屏蔽厚度/mmPb	B 值	屏蔽厚度/mmPb	B 值	屏蔽厚度/mmPb
1.25 $\mu\text{Gy/h}$	300 mA	1.36326E-04	3.15	4.53707E-04	2.59	9.33393E-05	3.33
	160 mA	2.55611E-04	2.85	8.50701E-04	2.30	1.75011E-04	3.03
2.5 $\mu\text{Gy/h}$	300 mA	2.72652E-04	2.82	9.07415E-04	2.28	1.86679E-04	3.00
	160 mA	5.11222E-04	2.53	1.701403E-03	2.00	3.50022E-04	2.71

大小进行布点;寻找管道穿墙区域进行布点,如通风口、电缆沟、空调管道穿墙口。图3为某CT方舱监测点位置示意图。

4.2 材料与方法

(1)辐射剂量检测仪器:ATOMTEX 的 AT1123 辐射剂量测量仪。(2)散射体模:采用 32 cm 均匀圆柱形体模。(3)受检设备:对 6 台方舱 CT 机房进行辐射防护检测,其 CT 型号分别为 uCT 710、NeuViz 64 In(2 台)、NeuViz 128、ANATOM 64 FIT、NeuViz Glory。选取设备能够达到的最大电压(如 140 kV),管电流选取较大管电流。

4.3 检测结果

对 6 台方舱 CT 机房进行防护监测,防护监测结果见表3。针对方舱 4 对机房大门进行检查,发现机房大门门缝较大,其关闭后与壁体间有较大缝隙。对机房大门的缝隙进行调整后,机房大门监测值降低到 2.09~2.52 $\mu\text{Sv/h}$,仍较高。为了使方舱 4 能够符

只要给出剂量分布曲线,都可以按照上述方法对方舱 CT 各位置所需的屏蔽材料厚度进行估算。结合以上厚度的计算结果以及实际的加工工艺,可知上述方舱 CT 所需的屏蔽材料的厚度以不小于 3.5 mmPb 为宜。一般 CT 设备的方舱防护设计采取了不低于 3.5 mmPb 的防护设计,如果方舱尺寸较小,则根据式(8)和式(9)进行计算,采用更高铅当量的防护设计。不同厂家、不同机型的剂量分布曲线会有所差异,在未确定设备前,为确保机房防护效果可选用目前常见较大辐射剂量 CT 设备的剂量分布曲线进行屏蔽设计计算。

4 CT 方舱防护检测结果与分析

4.1 防护监测点的选取

监测点随着所检测方舱 CT 机房的面积尺寸、设备摆放、防护门窗的布局等变化而有所不同。在巡测基础上,针对观察窗、机房门在屏蔽体中央和外围缝隙区域进行布点;对于一体化屏蔽墙体,按照尺寸

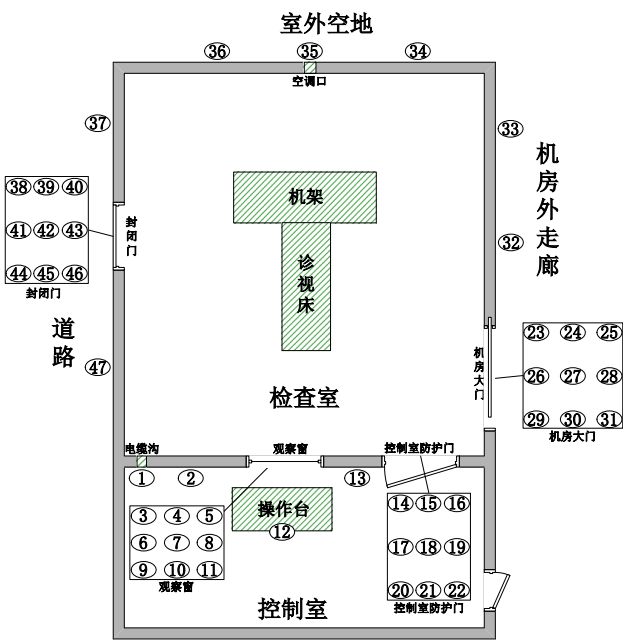


图3 辐射监测位置示意图

Fig.3 Schematic diagram of radiation monitoring positions

表3 X射线设备机房防护监测结果(μSv/h)

Tab.3 Monitoring results of the radiation protection of X-ray equipment room (μSv/h)

位置		监测结果					
		方舱1	方舱2	方舱3	方舱4	方舱5	方舱6
控制室一侧	电缆沟	0.16	0.24	0.29	0.15	0.20	0.18
	防护墙(左)	0.23	/	0.33	0.40	0.42	0.19
	观察窗(上)	0.16	0.21	/	0.25	0.22	0.20
	观察窗(下)	0.15	0.23	/	0.15	0.24	0.19
	观察窗(左)	0.25	0.22	0.35	0.37	0.20	0.16
	观察窗(中)	0.14	0.21	0.37	0.30	0.21	0.14
	观察窗(右)	0.13	0.23	0.41	0.40	0.55	0.17
	控制室操作位	0.14	0.22	0.23	0.28	0.26	0.19
	防护墙(右)	0.28	0.27	0.39	0.38	0.54	0.18
	防护门(上方门缝)	0.22	0.24	0.86	0.41	0.86	0.31
	防护门(左侧门缝)	0.24	0.25	0.39	0.44	0.85	0.19
	防护门(中间)	0.35	0.24	0.38	0.34	0.28	0.19
	防护门(右侧门缝)	0.34	0.27	0.43	0.30	0.60	0.21
	防护门(下方门缝)	0.26	0.25	0.35	0.26	0.15	0.21
机房大门一侧	机房大门(上方门缝)	0.23	2.14	0.49	1.44	0.82	0.61
	机房大门(左侧门缝)	0.34	1.36	0.41	1.02	0.73	1.91
	机房大门(中间)	0.36	2.28	0.61	2.56	1.67	0.71
	机房大门(右侧门缝)	0.39	1.01	0.48	2.42	1.55	0.50
	机房大门(下方门缝)	0.88	1.50	0.46	1.04	1.23	0.65
	机房外走廊(左)	0.39	0.81	/	1.50	0.16	0.37
	机房外走廊(右)	0.33	0.23	0.21	0.30	0.17	0.24
CT设备后方屏蔽体	室外空地(左)	1.52	0.25	0.22	0.98	0.87	0.42
	室外空地(右)	1.86	0.24	0.23	1.32	0.63	/
	空调管口	/	0.28	0.47	0.56	0.59	1.88
机房大门对侧	道路(左)	0.21	0.22	0.25	0.18	0.32	0.23
	侧门上方门缝	/	0.24	/	0.44	0.20	/
	侧门(左侧门缝)	0.30	0.28	/	0.23	0.33	0.47
	侧门(中间)	0.33	0.24	0.27	0.23	0.17	0.40
	侧门(右侧门缝)	0.37	0.29	/	0.27	0.39	0.38
	侧门下方门缝	0.23	0.29	/	0.21	0.17	0.39
	道路(右)	0.30	0.24	0.23	0.25	0.52	0.22

合国家标准限值以便能够迅速投入使用,工作人员提高了铅板之间的重合度,机房大门的防护监测结果见表4。

4.4 分析与讨论

4.4.1 屏蔽设计厚度 表3的防护监测结果显示扫描床两侧的屏蔽墙体、机房大门的关注点出现了较大

的监测值,其中5个方舱在机房大门一侧出现了较高的监测值。产生这种情形的原因是因为CT设备在检查床一侧两端区域等剂量线伸展范围更大,为便于受检者进出机房和上下检查床,机房大门普遍安装在这一区域。CT机房检查床两侧的屏蔽体以剂量分布最大的区域进行这一侧屏蔽体的屏蔽设计估算

表4 方舱4机房大门整改后防护监测结果($\mu\text{Sv/h}$)
Tab.4 Monitoring results of the radiation protection
of No.4 shelter door after rectification ($\mu\text{Sv/h}$)

位置	监测结果
机房大门上方门缝(中)	0.62
机房大门上方门缝(右)	0.63
机房大门左侧门缝	1.08
机房大门(中间)	2.12
机房大门(右侧门缝)	1.89
机房大门下方门缝(右)	1.13

是必要、合理的,防护检测结果也说明同等防护条件下机房大门及其对侧区域易出现较高监测值。表3的防护监测结果显示4台方舱在靠近机架后侧的壁体的关注点出现了较大的监测值,由图1可知在机架后方区域也是剂量分布较高的区域。针对传统CT设备机房,为了降低该区域对机房外人员的影响,一般是将该区域置于两屏蔽墙体夹角区域,利用一体化墙体对射线有效防护。对于方舱CT设备,无法沿用传统CT机房的屏蔽体设计和摆放要求,CT设备靠近后壁舱体距离短,在该侧区域屏蔽设计时尽量采用保守的屏蔽估算条件进行屏蔽设计。由监测结果可知针对机房大门区域、CT设备后侧舱体区域对屏蔽要求高,建议使用更加严格的控制目标值进行屏蔽计算,合理地提高屏蔽设计厚度确保防护监测结果在满足国家标准要求的前提下进一步降低对周围人员的影响。

4.4.2 材料与施工环节 在设备、方舱尺寸、布局和屏蔽设计一样的情况下,部分方舱局部监测点的监测结果有明显差异。由表4可知方舱4机房大门的监测结果超过了防护标准要求。机房大门的缝隙容易使X射线经缝隙泄漏到机房大门外导致辐射监测值升高。整改门缝后,监测结果有一定下降,但仍较高,提示仍有其他环节导致泄漏辐射偏大。在进一步调整机房大门防护材料拼接缝隙的重合度后,机房大门的防护监测结果符合了国家标准要求。针对监测值进行屏蔽体整改和防护复检的过程说明屏蔽材料的选取、加工和安装环节仍会对屏蔽效果产生明显影响,甚至是严重影响。在进行方舱CT机房加工时,应加强防护门与屏蔽墙体的缝隙、防护板缝隙重合度、防护门的把手和锁眼、电缆沟、空调管口、通风设施管线口等位置的屏蔽施工质量。尤其是防护门在使用过程中由于撞击、磨损等也会造成较大的门缝或者门体内防护材料的移位,这些情况均可能导致泄漏辐射增加使得机房外的防护监测值升高。

4.4.3 防护监测条件 一般CT的最大管电压为140 kV,CT临床常用管电压一般为120 kV左右,120 kV条件产生的X射线穿透能力低于140 kV条件的X射线,因此120 kV相对于140 kV条件下的防护监测值会明显下降。为确保机房在使用中的防护效果,防护监测时应选取CT球管能够实现的最高管电压和管电流条件进行监测。在最高管电压和管电流条件下进行监测容易寻找防护设施薄弱点,该条件下防护监测结果如果符合国家标准和管理目标值要求,则临床常用条件下的防护效果亦会满足要求。防护监测过程中,在巡测基础上做好各侧屏蔽体的防护监测,特别要关注一些屏蔽施工环节容易出问题位置的监测,如防护门与屏蔽墙体的缝隙、防护门把手和锁眼,以及一些管道穿墙口(电缆沟、空调管口、通风设施管线口等)。

5 总结

对CT设备的方舱进行屏蔽估算时,在利用CT设备剂量分布特点、控制目标值、机房布局和选择的材料进行屏蔽估算时,应适当结合屏蔽施工易出问题的区域、使用环节中易损耗的区域以及使用需求和特点等因素综合设计,确保方舱易于使用、摆放,使方舱的防护效果能较好地满足国家标准要求。对于CT设备的方舱的防护监测布点要有代表性,尤其是防护薄弱点。确保方舱CT在使用过程中的辐射安全性,使方舱CT在新冠肺炎的筛查、疗效评估等方面有效发挥作用。

【参考文献】

[1] ZHU N, ZHANG D Y, WANG W L, et al. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019[J]. N Engl J Med, 2020, 382: 727-733.

[2] CHAN J F, YUAN S, KOK K H, et al. A familial cluster of pneumonia associated with the 2019 novel coronavirus indicating person-to-person transmission: a study of a family cluster[J]. Lancet, 2020, 395: 514-523.

[3] World Health Organization. Novel Coronavirus-China[EB/OL]. <http://www.who.int/csr/don/12-January-2020-novel-coronavir-us-china/en>.

[4] HUANG C L, WANG Y M, LI X W, et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China[J]. Lancet, 2020, 395: 497-506.

[5] 吴哲, 翟亚楠, 岳平, 等. CT诊断新型冠状病毒肺炎的进展与争议[J]. 兰州大学学报(医学版), 2020, 46(2): 38-44.

WU Z, ZHAI Y N, YUE P, et al. Progress and controversy in CT diagnosis of new coronavirus pneumonia[J]. Journal of Lanzhou University (Medical Edition), 2020, 46(2): 38-44.

[6] 傅菲, 刘筠. 方舱CT技术进展与临床应急使用现状[J]. 国际医学放射学杂志, 2020, 43(3): 335-337.

FU F, LIU J. Progress of shelter CT technology and current status of clinical emergency use[J]. International Journal of Medical Radiology, 2020, 43(3): 335-337.

[7] 张凤艳, 乔英, 张辉. 新型冠状病毒肺炎的临床及CT表现研究进展[J]. 山西医科大学学报, 2020, 51(5): 466-469.

ZHANG F Y, QIAO Y, ZHANG H, et al. Research progress on clinical and CT manifestations of novel coronavirus pneumonia[J]. Journal

- of Shanxi Medical University, 2020, 51(5): 466-469.
- [8] 马琼,石秀东,陆阳,等.新型冠状病毒肺炎临床及影像学研究进展[J].中国临床医学,2020,27(1): 23-26.
MA Q, SHI X D, LU Y, et al. Clinical and imaging research progress of novel coronavirus pneumonia [J]. Chinese Journal of Clinical Medicine, 2020, 27(1): 23-26.
- [9] 李欢,程尼涛,孙文博,等.人工智能辅助定量分析新型冠状病毒肺炎的CT进展类型[J].武汉大学学报(医学版),2021,42(1): 1-5.
LI H, CHENG N T, SUN W B, et al. AI-assisted quantitative analysis of chest CT progression patterns of COVID-19[J]. Medical Journal of Wuhan University, 2021, 42(1): 1-5.
- [10] 冯泽臣,姜云,万玲,等.医用诊断X射线防护中不同屏蔽物质的铅当量[J].首都公共卫生,2012,6(5): 211-214.
FENG Z C, LOU Y, WAN L, et al. Lead equivalent of different shielding substances in medical diagnostic X-ray protection [J]. Capital Journal of Public Health, 2012, 6(5): 211-214.
- [11] 中华人民共和国国家卫生健康委员会.放射诊断放射防护要求(GBZ 130-2020)[S].
National Health Commission of the People's Republic of China. Requirements for radiation protection in radiological diagnosis (GBZ130-2020)[S].
- [12] 中华人民共和国卫生部.医用X射线CT机房的辐射屏蔽规范(GBZ/T 180-2006)[S].
The Minister Of Health of the People's Republic of China. Radiation shielding specification for room of medical X-ray CT scanner (GBZ/T 180-2006)[S].
- [13] Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities[C]. NCRP Report No. 147.
- [14] 中华人民共和国卫生部.电离辐射防护与辐射源安全基本标准(GB 18871-2002)[S].
The Minister Of Health of the People's Republic of China. Basic standards for ionizing radiation protection and radiation source safety (GB 18871-2002) [S].
- [15] 易艳玲,卓维海,郑钧正,等.不同方法计算医用诊断X射线机房屏蔽厚度的比较[J].中国辐射卫生,2007,16(4): 441-442.
YI Y L, ZHUO W H, ZHENG J Z, et al. Comparison of different methods for calculating the shielding thickness of medical diagnostic X-ray room[J]. Chinese Journal of Radiological Health, 2007, 16(4): 441-442.
- [16] 石梅生,谢瑞民,姚录成.X线方舱X射线防护设计[J].医疗卫生装备,2004,11: 16-18.
SHI M S, XIE R M, YAO L C. X-ray protection design of X-ray shelter [J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2004, 11: 16-18.
- [17] 王洪杰,于霞,王振宇,等.车载移动医用CT方舱在新型冠状病毒肺炎筛查中的研究设计[J].中国医学装备,2020,17(3): 160-163.
WANG H J, YU X, WANG Z Y, et al. Research design of mobile medical CT shelter in the screening of new coronavirus pneumonia[J]. China Medical Equipment, 2020, 17(3): 160-163.
- [18] 晁勇,帅万钧,张少东,等.CT方舱电离辐射防护方法的研究[J].医疗卫生装备,2014,35(5): 91-94.
CHAO Y, SHUAI W J, ZHANG S D, et al. Research on the conformal protection method of CT shelter from ionizing radiation[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2014, 35(5): 91-94.
- [19] 张丹枫,赵兰才.工业射线探伤的防护[M]//辐射防护技术与管理.南宁:广西民族出版社,2003: 376.
ZHANG D F, ZHAO L C. Protection of industrial radiographic inspection [M]//Radiation protection technology and management. Nanning: Guangxi Minzu Publishing House, 2003: 376.
- [20] 许靖宇,苏永兴,夏慧琳,等.COVID-19疫情下方舱CT的紧急建设[J].现代仪器与医疗,2020,26(5): 28-30.
XU J Y, SU Y X, XIA H L, et al. Emergency construction of CT in the cabin under the COVID-19 epidemic[J]. Modern Instruments and Medical Treatment, 2020, 26(5): 28-30.

(编辑:黄开颜)