文章编号: 1673-0062(2010)02-0008-04

30万居里⁶⁰Co辐照装置贮源井屏蔽计算

周 刚^{1,2},于 涛^{2*},谢金森¹

(1. 南华大学 核科学技术学院, 湖南 衡阳 421001; 2 大唐耒阳发电厂, 湖南 耒阳 421800)

摘 要:使用 MCNP计算 30万居里⁶⁰Co辐照装置贮源井铅屏蔽盖中心轴不同点处的 光子注量率,通过拟合得出光子注量率的衰减系数,外推出铅屏蔽盖上表面中心点处 的剂量.结果表明,铅屏蔽盖表面最大剂量率为 5.91×10⁻⁹Sv/s,检修时工作人员受 到的年最大剂量水平为 0 55 mSy 低于 20 mSv每年的职业照射限值. 关键词: 贮源井;屏蔽计算; MCNP, 曲线拟合 中图分类号: TL77 文献标识码: B

Shielding Calculation of the StorageW ell for 3×10^5 Curie⁶⁰Co Irradiation Facility

ZHOU G ang^{1, 2}, YU Tao^{2*}, X IE Jin-sen¹

(1. School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang Hunan 421001, China
 2. Datang Leiyang Power Plant Leiyang Hunan 421800, China)

Abstract Photon fluence rate on different points of central axis in Pb shielding cover of storage well for 3×10^5 Curie⁶⁰ Co irradiation facility were calculated by using MCNP, attenuation coefficient of fluence rate was obtained by liner fitting and the dose rate on center point of Pb cover surface was calculated by extrapolation. The results show that maximum dose rate on cover surface is 5 91 $\times 10^{-9}$ Sv/s; the maximum year dose level is 0 55 mSv, which is bower than occupational dose lim its 20 mSv.

Keywords storage well shielding calculation, MCNP, curve fitting

大型辐照装置在使用一段时间后主井内需要 进行故障检修. 在检修过程中为了避免工作人员 受到不必要的照射,必须将源临时贮存在主井底 部的贮源井中. 由于主井底部的空间有限, 贮源井 的大小受到限制,因此对贮源井的屏蔽设计有特 殊要求. 本文使用 MCNP建立了文献 [1]中的 30 万居里⁶⁰Co辐照装置贮源井屏蔽计算代码,计算 了贮源井井盖表面的最大辐射剂量.

1 贮源井设计方案

⁶⁰Co源为栅板结构,单根源棒直径 1.45 m, 长度 19 m,活度 1×10⁴居里,棒间距为 10 m,

收稿日期: 2010-05-06

作者简介:周 刚(1971-),男,湖南耒阳人,大唐耒阳发电厂工程师,南华大学工程硕士.主要研究方向:核科学 技术.*通讯作者.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

9

分 3排排列,每排 10根,共 30根. 源板在检修时 放置在主井底部深 2 m 的贮源井中,主井底部横 截面为 0 6 m × 0 6 m. 贮源井采用铅与混凝土多 层屏蔽,井壁包裹 10 cm 厚的铅屏蔽,最外层为混 凝土屏蔽,上方井盖厚 26 m. 在正常检修时,主 井中的水抽干,工作人员进入主井底部进行检修. 主井与贮源井如图 1所示.





Fig. 1 Schematic diagram of main well and storage well

2 MCNP屏蔽模型建立

M CNP通过描述栅元 (Cell)建立需要求解问 题的几何信息,在栅元中需要填写各栅元的物质、 密度、粒子重要性等^[2].在计算过程中底部中心 源棒坐标为 (000),在 Z 轴坐标为 (00100)、(0 0110)、(00120)、(00130)、(00140)、(00 150)、(00160)、(00165)、(00170)、(00 175)、(00180)、(00185)处设置了光子注量率 计数区,(00190)为贮源井井盖上表面中心,该 点为井盖上方剂量最大值点,该点的剂量如果不 超出限值就认为贮源井设计达到要求.贮源井计



3 井盖上方剂量计算与分析

⁶⁰Co栅板源介质中的衰减规律为:

$$N = BN_0 e^{-4t} \tag{1}$$

式 (1)中 N 可以是注量率、照射量率等 B 为累积 因子 μ 为线衰减系数 d 为物质厚度^[3].⁶⁰ Co源 射线的累积因子随穿透深度增加变化并不大,因 此⁶⁰Co的 Y射线在铅中的衰减近似为指数衰减规 律, 对式 (1)两边求对数, 得:

$$\log_{10} N = \log_{10} \left(B N_0 \right) - \mu d \tag{2}$$

将式 (2)中的 N 用注量率 Φ代替 得到光子注量 率随距离的变化:

$$\log_{10} \Phi = \log_{10} (B \Phi_0) - \mu d$$
 (3)

Z 轴上各点的光子注量率计算值列于表 1



表 1 Z 轴方向各点光子注量率

Table 1Photon fluence rate on Zax is points

坐标 /m	0 0 1 0 0	00110	0 0 120	0 0 1 30	0 0 140	0 0 150
<u>注量率 / (粒子• m⁻²s⁻¹)</u>	3.57×10^{11}	1. 92× 10 ¹¹	1. 08×10^{11}	5 40×10^{10}	2.68×10^{10}	1. 43×10^{10}
坐标 /m	0 0 1 60	0 0 165	0 0 170	0 0 1 7 5	0 0 180	0 0 185
注量率 / (粒子・ m ⁻² s ⁻¹)	6.65×10^9	$3.70 \times 10^{\circ}$	1. 43× 10 ⁸	6 41×10^{6}	$3 87 \times 10^{5}$	2. 31×10^4

图 3是 Z 轴方向各点的注量率变化曲线 将 图 3的纵坐标取对数得到图 4 从中可以明显的 看出在水中 (Z = 100~160)和铅盖中 (Z = 165~ 185)具有不同的衰减系数.

为了能求出在铅中的衰减系数 需要将图 4 中在铅盖中的衰减部分做直线拟合⁽⁴⁾ 铅盖中心

轴上各点注量率取对数后的结果列于表 2

表 2中的数据的直线拟合结果为:

$$\log_{10}(\Phi) = 52 \ 363 - 0 \ 2598d \tag{4}$$

将井盖上表面中心点坐标 Z = 190代入式(4)

得到井盖表面中心点处注量率为 1002 31 cm⁻²

s^{-1} . 照射量率 X 与注量率 Φ 有如下关系

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



表 2 Z 轴方向注量率	対数值
--------------	-----

Table 2 Logarithm ic Photon flence rate on Z axis points

坐标 /m	0 0 165	0 0 170	0 0 175	0 0 180	0 0 185
注量率对数 $(\log_{10} \Phi)$	9 57	8 16	6 81	5. 59	4.36

表 3 照射量因子 fx

Table 3 Exposure factor f_x

光子能量 M eV	$f_x / (\mathbf{C} \cdot \mathbf{k} \mathbf{g}^{-1} \cdot \mathbf{m}^2)$	光子能量 /M eV	f_x (C• kg ⁻¹ • m ²)
1. 0	1. 319×10^{-17}	2 0	2. 217×10^{-17}
1. 5	1. 807×10^{-17}	3. 0	$2 918 \times 10^{-17}$

对于平均能量为 1. 25 M eV 的⁶⁰ Co ¥射线, 照射量 因子可以由表 4中的数据插值得到, $f_x = 1$ 563 × 10^{-17} C• kg⁻¹• m². 由式 (5)得到井盖表面中心 处照射量率为 *X* ≥ 1 57 × 10⁻¹⁰ C• kg⁻¹• s⁻¹. 照

射量率与吸收剂量与照射量率转换公式为:

 $\dot{D}_m = f_m \dot{X}$ (6) 式中 f_m 为照射量转换因子 不同能量的光子对某 些物质的 f_m 列于表 $4^{[3]}$.

表 4 不同能量光子对某些物质的 f_m 值

光子能量 M eV -		$f_{_m}$ /(J•	C ⁻¹)		
	水	软组织	肌肉	骨	
1. 0	37. 64	37. 29	37. 29	35 93	
1. 5	37. 64	37. 29	37. 29	35 93	
2 0	37. 64	37. 25	37. 29	35 93	

Table 4 D ifferent energy photons f_m values for certain substances

人体主要由水、软组织、肌肉和骨骼组成,对 于平均能量为 1. 25 M eV 的⁶⁰ Cox射线,人体不同 成分的 f_m 基本相同,可以用水作为人体等效材 料,由式(6)得到井盖表面中心处人体的吸收剂 量率为 5. 91×10⁻⁹ Gy/s 光子的辐射品质因子为 1.吸收剂量率转化为当量剂量率为 5. 91×10⁻⁹

Sy/s

根据国内外已运行的⁶⁰ Co辐照装置经验,最 大可能为平均 3年检修一次,每次 8人,平均每人 每次检修时间为 24 h^[1],由当量剂量率可计算出 人员一年受到的最大剂量为 0 55 mSv,低于 CRP60推荐的职业照射年剂量限值 25 mSv^[5].

4 结论

使用 Monte-Carb方法计算了铅屏蔽盖中心 轴线不同位置的光子注量率,结果表明在贮源井 顶部铅屏蔽盖中光子注量率很好地满足指数衰减 规律,通过曲线拟合得出光子注量率在顶部铅屏 蔽中的衰减曲线,外推得到井盖上表面中心处的 光子注量率,通过光子数量率计算得出贮源井盖 表面最大当量剂量率为 5.91×10⁻⁹ Sy/s,检修人 员受到的年最大剂量为 0.55 mSy 低于 ICRP60 推荐的职业照射年剂量限值 20 mSy 贮源井屏蔽 设计能够满足辐射防护要求.

参考文献:

- [1] 李星洪,陈俊珍,孙建永.30万居里⁶⁰Co贮源井多重
 屏蔽的最优化计算[J].核科学与工程,1995,15(4): 367-375.
- [2] Judith F. Briesmeister, M CN PTM A General M on te Carb N – Particle Transport Code Version 4C [R]. LA – 13709– M, 18 December 2000
- [3] 李星洪. 辐射防护基础 [M]. 北京: 原子能出版社, 1982
- [4] 石振东, 刘国庆. 实验数据处理与曲线拟合技术[M].哈尔滨:哈尔滨船舶工程学院出版社, 1991.
- [5] ICRP Pub 60. 国际辐射防护委员会 1990年建议书[M]. 李德平,译. 北京:原子能出版社, 1993.

(上接第7页)

等离子体中电流可以有较大的份额但其中空分布 不能满足高性能运行模式下等离子体平衡电流剖 面分布要求.本文利用电子回旋波能够传到等离 子体的中心区域并且有效的驱动等离子体电流的 特征,通过调整电子回旋波波谱和波发射的位置 来控制驱动电流的分布.在本文选取的等离子体 装置参数下,研究结果表明最佳的波频率为 220 GHz,功率为 20 MW,并且从中平面强场侧发射角 为 21°. 从图可以看出,单一的电子回旋波并不能 完全满足平衡电流剖面分布,下步将研究电子回 旋波和快波协同作用来驱动等离子体中心的电 流,以满足平衡电流分布,能使将来聚变堆稳态运 行和等离子体高性能运行.

参考文献:

 [1] Kessel C E Bootstrap Current in a Tokamk [J]. Nuclear Fusion, 1994, B4(9): 1211-1238

- [2] Ott E, Hui B, Chu K R. Theory of electron cyclotron resonance heating of tokam ak plasmas [J]. Phys Fluids 1980, 23(5): 1031-1045.
- [3] 李庆扬, 王能超, 易大义. 数值分析 [M]. 武汉: 华中科 技大学出版社, 1982
- [4] 刘文艳,曹锦佳,彭晓炜,等.射频波加入下的 Fokker
 Planck方程 [J].南华大学学报(自然科学版),
 2005, 19(4): 1-6
- [5] Peyyson Y, Shoucri M. An approximate factorization procedure for the solving nine - point elliptic difference equations - application for a fast 2-D relativistic fokker - planck solver[J]. Computer Physics Communications, 1998, 109(1): 55-80
- [6] 彭晓炜, 龚学余, 刘文艳. Numerical Sinulation of Electron Cyclotron Current Drive in Negative Central Magnetic Shear Mode[J]. 湘潭大学自然科学学报, 2006, 28 (4): 24-30