

文章编号: 1673- 0062(2010) 02- 0001- 04

散裂钨靶辐射剂量计算

尹陈艳, 李志远, 周 超, 左国平, 龚学余*

(南华大学 核科学技术学院, 湖南 衡阳 421001)

摘 要: 研究分析了加速器驱动洁净核能系统 (ADS) 中钨靶受质子照射一段时间后在水体中产生的辐射剂量分布和辐射剂量随存放时间的变化规律. 研究表明: 钨靶的散裂产物中长寿放射性核素较少; 辐射主要分布在沿靶半径方向的 10~30 cm 和距靶两底面的 15 cm 范围内; 靶中的辐射剂量率 10 年后趋于稳定.

关键词: 散裂靶; 散裂产物; 辐射剂量

中图分类号: TL7 **文献标识码:** A

Calculation for Radiation Dose of the Tungsten Spallation Target

YIN Chen-yan, LI Zhi-yuan, ZHOU Chao, ZUO Guo-ping, GONG Xue-yu*

(School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract The dose distribution and dose rate over time of Tungsten target in water irradiated by proton for period of time in ADS are analyzed. Results show that the long-life radiation nuclei in Tungsten spallation target is less. The radiation is mostly distributed in the area of 10~30 cm along the radius and 15 cm underside of target. The dose rate of Tungsten target will be stable 10 years later.

Key words spallation target; spallation product; radiation dose rate

能源是制约经济发展的关键因素. 作为成熟和高效的清洁能源, 核能发电已驶入快车道. 而核电的可持续发展必须解决长寿命核废料的最终处理、核资源的有效利用、核安全等问题, 加速器驱动的次临界系统 (ADS) 正好具备解决这些问题的功能而成为国际研究热点^[1-4]. 散裂靶是 ADS 中的关键耦合部件, 但其受质子照射产生散裂中子嬗变核废料的同时又在不断产生放射性散裂产物. 且靶材要求具有较高中子产量、高熔点和良好

的导热性能, 在散裂反应后能尽快失去其大部分放射性. 综合这些要求, 钨是较理想的靶材. 本文将利用蒙特卡罗方法 (M-C 方法) 对钨靶受质子照射后散裂产物的积累量及其给环境带来的辐射危害进行研究和计算.

1 钨靶散裂产物活度计算

根据龚学余等人^[4-6]对散裂产物的质量分布的计算, 本文相应计算了钨靶受不同能量质子照

收稿日期: 2010- 03- 19

作者简介: 尹陈艳 (1979-), 女, 湖南株洲人, 南华大学核科学技术学院讲师, 硕士研究生. 主要研究方向: 核技术及应用. * 通讯作者.

射后散裂产物的积累量和放射性活度. 由于散裂靶对环境的放射性影响几乎全部来自 辐射, 图 1 - 图 3 分别给出了钨靶受不同能量 (0.8, 1.2, 1.6, 2.0 GeV) 质子照射一年后靶中散裂产物的核数目、活度及其 强度值随质量数的分布. 计算中取入射质子流强为 1 mA, 靶为固态圆柱形, 靶长 60 cm, 直径 20 cm.

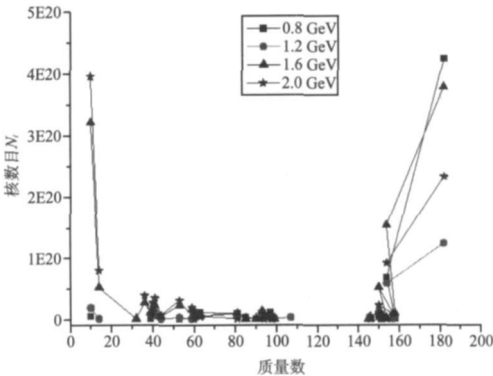


图 1 钨靶受照一年后散裂产物的核数目分布
Fig 1 Nuclei number of spallation products in tungsten target irradiated by proton for one year

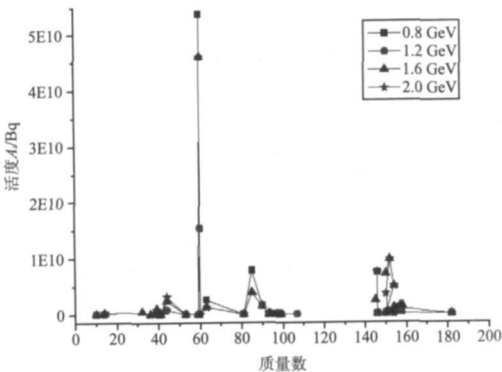


图 2 钨靶受照一年后散裂产物的活度分布
Fig 2 Activity of spallation products in tungsten target irradiated by proton for one year

由图 1 可看出, 钨靶受质子照射后, 其散裂产物中多是轻元素和较重的元素, 而中等质量核素较少. 且随着入射质子能量的增加, 生成的稀土元素 (质量数 $A \approx 150$) 的种类和数量有所增加.

由图 2 可看出, 钨靶受质子照射一年后, 生成的散裂产物因其半衰期 (或衰变常数) 不同, 散裂产物的放射性活度也不同, 其中 ^{60}Co ($T_{1/2} = 5.27 \text{ a}$) 的活度最大, 比其它核素的普遍高了 4~6 个数量级. 稀土元素的活度随入射质子能量增大而增大.

由图 3 可看出, 钨靶受质子照射后, 散裂产物

自发衰变放出对环境影响较大的 γ 射线, 其中 γ 射线强度最大的也是 ^{60}Co 其次是稀土元素.

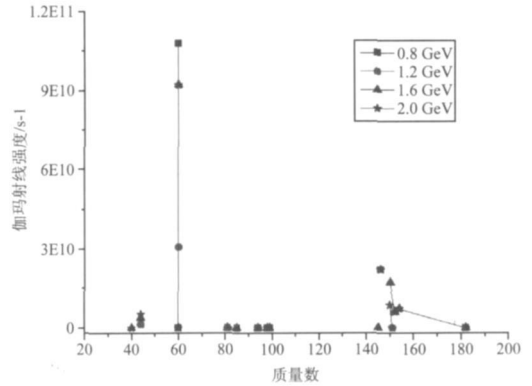


图 3 钨靶受照一年后散裂产物的 γ 强度分布
Fig 3 γ -ray intensity of spallation products in tungsten target irradiated by proton for one year

2 散裂钨靶的辐射剂量计算

散裂靶从次临界堆中取出后, 对环境的影响来自于其散裂产物的放射性衰变. 为评价散裂钨靶对环境的辐射危害, 需要计算出靶对外界 (水或空气) 产生的辐射剂量.

本文利用 M - C 方法对散裂钨靶从次临界堆取出后在水体中存放时产生的辐射剂量进行了研究. 钨靶在水体中的情况描述为图 4 所示.

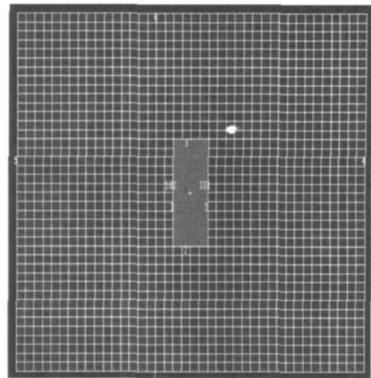
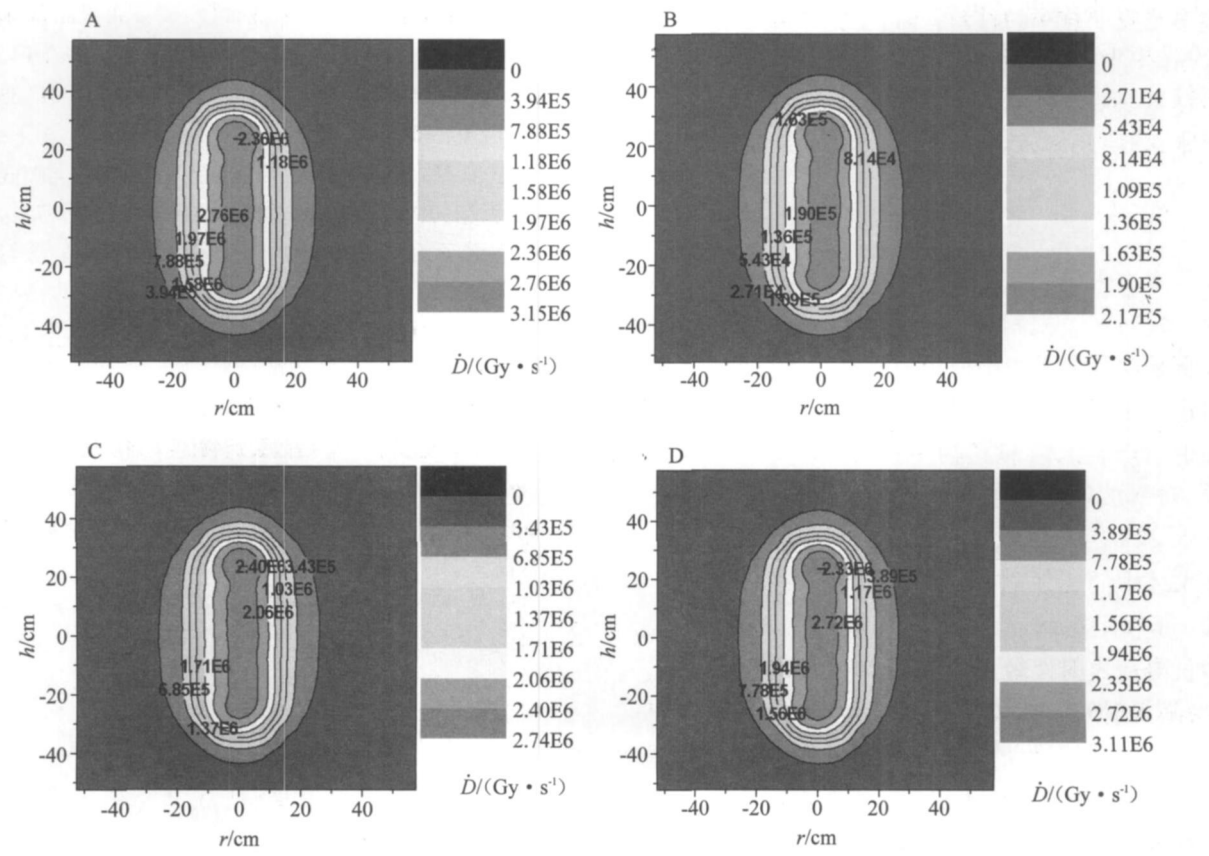


图 4 计算模型
Fig 4 Calculation model

研究选用圆柱形固态钨靶^[8-9], 靶长 60 cm, 直径 20 cm, 靶周围的小方格代表边长为 5 cm 的小水箱, 入射质子流强为 1 mA. 计算结果如图 5 所示.

由图 5 可知, 散裂钨靶产生的辐射剂量主要分布在沿靶径向 10~30 cm 和距靶两底面的 15 cm 范围内, 其值随着入射质子能量的增大变化不大. 在

距靶 30 cm 以外, 水体中的吸收剂量迅速减小, 因此, 对放射性废靶的液封处理是一种好方法.



A—0.8 GeV; B—1.2 GeV; C—1.6 GeV; D—2.0 GeV
图 5 钨靶受不同能量质子照射一年后靶周围水中的等剂量率分布曲面
Fig 5 Equal dose rate distribution surface in water around tungsten target irradiated by proton with various energy for one year

对于钨靶, 由于产生的长寿命放射性散裂产物较少, 且随着入射质子能量增加, 各种能量光子强度所占比例变化不大, 因此钨靶的辐射剂量率较小, 而且随入射质子能量增加变化得也小.

3 辐射剂量率随时间的变化研究

散裂靶从次临界堆中取出液封后, 由于其不再通过散裂反应产生新的散裂产物, 它其中的散裂产物又不断地进行放射性衰变, 其量必会逐渐减少. 但其对环境的辐射剂量又会呈现何种变化趋势? 液封多长时间后其辐射剂量可达到环境可接受的范围? 因此, 需对散裂靶辐射剂量率随时间的变化进行研究和计算. 本文分析和计算了靶中散裂产物的核数目随时间的变化, 采用 MCNP 程序计算辐射剂量率随时间的变化, 计算模型如图 4 所示. 图 6 给出了受 1.6 GeV 质子照射一年后钨靶在水体中距靶心径向和轴向各 37.5 cm 处产生的平均吸收剂量率随时间的变化.

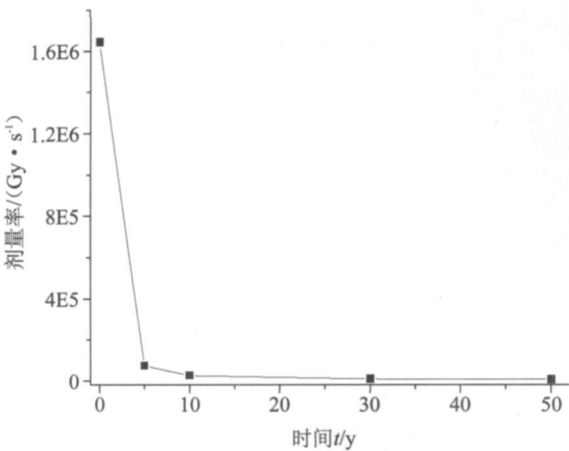


图 6 受 1.6 GeV 质子照射后散裂钨靶的辐射剂量率-时间图
Fig 6 Dose rate- time chart of Tungsten spallation target irradiated by 1.6 GeV proton

由图 6 可看出, 受照后的散裂钨靶水体封装

后,靶中的辐射剂量率衰减得很快,10年后趋于稳定,且剂量率接近于零.原因是散裂产物中存在很多半衰期较小的核素,经过十几年基本衰变完.在50年甚至更长的时间里,辐射剂量主要是由靶中长寿命放射性核素产生,但这些核素放射性活度很小,因此对外环境产生的影响也不大.

4 结论

本文采用MC方法对ADS中钨靶受质子照射一段时间后积累的较长寿命散裂产物的量,以及靶从次临界系统中取出液封后对环境的辐射危害进行了研究.研究结果表明:钨靶受中高能质子照射后产生的散裂产物中长寿命放射性核素较少,对其放射性源强贡献最大的核素是 ^{60}Co ($T_{1/2} = 5.27\text{ a}$);不同能量质子照射靶一段时间后,靶在水体中的辐射剂量主要分布在沿靶径向10~30 cm和距靶两底面15 cm范围内,且由于钨靶中长寿命放射性散裂产物较少,其辐射剂量率较小,随入射质子能量增加变化得也小;散裂靶水体封装后,各靶产生的辐射剂量随存放时间衰减得很快,10年后趋于基本稳定,且剂量率接近于零,对环境的影响不必过分忧虑.

参考文献:

- [1] Alexey Stankovsky, Masaki Saito, Vladimir Arstiyuk et al. Accumulation and transmutation of spallation products in the target of Accelerator-driven system [J]. Journal of Nuclear Science and Technology, 2001, 38 (7): 503–510
- [2] 赵志祥,夏海鸥.加速器驱动次临界系统(ADS)与核能可持续发展[J].中国工程科学,2008,10(3):66–72
- [3] 丁大钊.关于加速器驱动洁净核能系统原理验证装置的几点考虑[C]//赵志祥.加速器驱动放射性洁净核能系统概念研究论文集.北京:原子能出版社,2000:53–69.
- [4] 樊胜,叶沿林,赵志祥.中能质子引起散裂反应的碎片分布研究[C]//加速器驱动放射性洁净核能系统概念研究论文集.北京:原子能出版社,2000:260–269
- [5] 龚学余,樊胜,宋英明,等.ADS散裂靶产生的放射性毒性[J].原子能科学与技术,2006,40(2):180–185
- [6] 樊胜,叶沿林,肖玉衡,等.散裂中子靶能量沉积研究[J].原子能科学与技术,2001,35(4):293–299
- [7] 卢玉楷.简明放射性同位素应用手册[M].上海:上海科学普及出版社,2004
- [8] 万俊生,张颖,张利兴,等.铅散裂靶中子产额及其分布研究[C]//中国核学会2001年学术年会论文集.武汉,2001:715–719