

研究简报

六氟化铀中杂质元素热中子吸收的 硼当量的测定和评价

罗文宗

(中国原子能科学研究院, 北京)

关键词 硼当量, 热中子吸收, 六氟化铀。

一般杂质元素对热中子的吸收, 以相当于硼的量来表示, 称为热中子吸收的硼当量^[1]。美国材料试验学会(ASTM)的规格中规定六氟化铀中总杂质元素吸收热中子的硼当量不得大于8 ppm, 因为硼当量过大会无效地消耗中子, 影响核燃料元件的反应性。

设杂质元素与硼的吸收热中子等效, 则根据两者吸收中子的反应速率(R)相等^[2], 可得

$$R = \frac{W_1 N}{M_1} \sigma_1 f = \frac{W_2 N}{M_2} \sigma_2 f \quad (1)$$

这里, W_1 和 W_2 , M_1 和 M_2 , σ_1 和 σ_2 相应地表示硼和杂质元素的重量, 原子量及热中子吸收截面。 N 为阿佛加德罗常数, f 为中子通量。式(1)经过整理和简化, 可得硼当量因子:

表1 杂质元素的硼当量因子

| 序号 | 杂质元素 | σ | M | F | 序号 | 杂质元素 | σ | M | F |
|----|------|----------|--------|--------|----|------|----------|--------|---------|
| 1 | Ag | 63 | 107.87 | 0.0084 | 21 | Mo | 2.70 | 95.9 | 0.0004 |
| 2 | Al | 0.241 | 26.98 | 0.0001 | 22 | N | 1.88 | 14.01 | 0.0019 |
| 3 | B | 755 | 10.81 | 1.0000 | 23 | Na | 0.536 | 22.99 | 0.0003 |
| 4 | Ba | 1.2 | 137.3 | 0.0001 | 24 | Nb | 1.16 | 92.906 | 0.0002 |
| 5 | Be | 0.009 | 9.012 | 0 | 25 | P | 0.19 | 30.97 | 0.00009 |
| 6 | Bi | 0.034 | 208.98 | 0 | 26 | Pb | 0.17 | 207.2 | 0 |
| 7 | Ca | 0.44 | 40.08 | 0.0002 | 27 | Ru | 2.6 | 101.1 | 0.0004 |
| 8 | Cd | 2450 | 112.40 | 0.3121 | 28 | Sb | 5.7 | 121.7 | 0.0007 |
| 9 | Cl | 33.8 | 35.45 | 0.0136 | 29 | Si | 0.16 | 28.08 | 0.00008 |
| 10 | Br | 6.7 | 79.9 | 0.0012 | 30 | Sm | 5600 | 150.35 | 0.5334 |
| 11 | Cr | 3.1 | 51.996 | 0.0009 | 31 | Sn | 0.62 | 118.7 | 0.00007 |
| 12 | Cu | 3.85 | 63.54 | 0.0009 | 32 | Ta | 19 | 180.95 | 0.0015 |
| 13 | Dy | 950 | 162.50 | 0.0837 | 33 | Th | 7.6 | 232.04 | 0.0005 |
| 14 | Eu | 4300 | 151.96 | 0.4052 | 34 | Ti | 5.8 | 47.9 | 0.0017 |
| 15 | Fe | 2.62 | 55.84 | 0.0007 | 35 | V | 5.00 | 50.94 | 0.0014 |
| 16 | Gd | 46000 | 157.25 | 4.189 | 36 | W | 19.2 | 183.8 | 0.0015 |
| 17 | K | 2.07 | 39.09 | 0.0008 | 37 | Ni | 4.6 | 58.7 | 0.0011 |
| 18 | Li | 71 | 6.94 | 0.1465 | 38 | Sr | 1.21 | 87.62 | 0.0002 |
| 19 | Mg | 0.069 | 24.305 | 0 | 39 | Zn | 1.10 | 65.38 | 0.0002 |
| 20 | Mn | 1.33 | 54.938 | 0.0035 | 40 | Zr | 0.185 | 91.22 | 0.00003 |

$$F = \frac{W_1}{W_2} = \frac{M_1 \sigma_2}{M_2 \sigma_1} = \frac{C_1}{C_2} \quad (2)$$

$$C_1 = F c_2 = \frac{M_1 \sigma_2}{M_2 \sigma_1} \cdot C_2 \quad (3)$$

这里, C_2 为杂质元素的含量, C_1 为与杂质元素热中子吸收相当的硼含量(即硼当量), 一般以 U 为基的相对浓度(ppm)表示。

由式(3)可知, 以硼作为对热中子吸收的标准, $\frac{M_1}{\sigma_1}$ 为一常数。杂质元素的硼当量与其热中子吸收截面和含量成正比, 与其原子量成反比。

按式(2)计算杂质元素的硼当量因子列于表 1。

按式(3)计算六氟化铀中各杂质元素的硼当量, 其中硼当量较大者列于表 2。

由表 2 可知, 所列 8 个元素的硼当量占总杂质元素的 97%(对样品 404)和 95%(对样品 FG)。所以一般情况下, 只要测定上列 8 个元素的硼当量, 即可代表总杂质元素的硼当量。

表 2 六氟化铀中杂质元素的硼当量

| 杂质元素 | 硼当量因子 | 样 品 404 | | 样 品 FG | |
|-----------------|--------|---------|----------|---------|----------|
| | | 含量, ppm | 硼当量, ppm | 含量, ppm | 硼当量, ppm |
| Gd | 4.189 | 0.04 | 0.1676 | 0.007 | 0.0293 |
| B | 1.000 | 2.8 | 2.8 | 0.6 | 0.6 |
| Sm | 0.5334 | 0.02 | 0.0107 | 0.007 | 0.0037 |
| Eu | 0.4052 | 0.02 | 0.0081 | 0.002 | 0.0008 |
| Cd | 0.3121 | 0.1 | 0.0312 | 1 | 0.3121 |
| Li | 0.1465 | 0.14 | 0.0205 | 0.14 | 0.0205 |
| Dy | 0.0837 | 0.04 | 0.0033 | 0.009 | 0.0007 |
| Cl | 0.0136 | 29 | 0.3944 | 30 | 0.4080 |
| 上列 8 个元素的硼当量之和 | | | 3.44 | | 1.38 |
| 所测 40 个元素的硼当量之和 | | | 3.53 | | 1.44 |

参 考 文 献

- [1] C-761-75, Standard Method for Chemical, Mass Spectrometric, Spectrochemical, Nuclear and Radiochemical Analysis of Uranium Hexafluoride.
- [2] Friedlander, G. et al., Nuclear and Radiochemistry, Second Edition, 1964, p. 524.

(编辑部收到日期: 1985 年 10 月 29 日)

DETERMINATION AND ESTIMATION OF BORON EQUIVALENT OF THERMAL NEUTRON ABSORPTION OF IMPURITY ELEMENTS IN URANIUM HEXAFLUORIDE

LUO WENZONG

(Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275, Beijing)

ABSTRACT

A formula for the calculation of boron equivalent of impurity elements in uranium hexafluoride was deduced. The sum of boron equivalents of eight elements (Gd, B, Sm, Eu, Cd, Li, Dy, Cl) which possess larger boron equivalent factors was calculated by using experimental data. It contributes over 95% of the total boron equivalent of all the impurity elements (40 elements). In general, boron equivalent of above-mentioned eight elements may be used for the estimation of the total boron equivalent of all the impurity elements.

Key words Boron equivalent, Thermal neutron absorption, Uranium hexafluoride.

阴离子交换法从高通量堆辐照二氧化 钍中分离铀

包伯荣 王荫淞 陈洛卿 李燕飞

(中国科学院上海原子核研究所)

关键词 U, Th, 阴离子交换。

目前世界上已探明的具有开采价值的钍资源几乎与铀相等。Th/U 燃料循环的主要优点在于 ^{233}U , 相对于 U/Pu 燃料循环中的 ^{239}Pu , 有更高的中子产额。事实上只有用钍作为再生燃料, 热堆才可能实现增殖。作为钍基核燃料利用的基础研究的一部分, 我们制订了一个从辐照二氧化钍中分离 ^{233}U ($+^{232}\text{U}$) 的阴离子交换程序。

每个辐照样品压成小药丸状、重 80 mg 的核纯 ThO_2 。装入辐照管中, 在国内热功率为 12.5 万千瓦的高通量工程试验堆的铍反射层中辐照。热中子通量为 2×10^{14} 中子/cm²·s, 快热中子比为 1:1。热中子积分通量约为 $1 \times 10^{20} - 1 \times 10^{21}$ 中子/cm²。照好后的样品移至水池冷却, 数月后处理。

二氧化钍用含 NH_4F 及 AlCl_3 的浓 HCl 加热迴流溶解, 然后将料液调至 8 mol/l HCl