

文章编号: 1007-4627(2008)01-0091-06

## $n + {}^{46-50}\text{Ti}$ 全套中子数据评价\*

续瑞瑞<sup>1,2</sup>, 葛志刚<sup>1,2</sup>, 刘挺进<sup>1,2</sup>

(1 中国核数据中心, 北京 102413;

2 中国原子能科学研究院, 北京 102413)

**摘要:** 在入射中子能量为  $10^{-5}$  eV—20 MeV 的范围内, 对  $n + {}^{46-50}\text{Ti}$  的全套数据进行了评价。首先, 在  $10^{-5}$  eV—0.3 MeV 的能区, 选取了合适的共振参数来描述共振, 并且做好了平滑区与共振区的连接。同时, 详细分析了 20 MeV 以下  $n + {}^{46-50}\text{Ti}$  的各个反应道测量截面以及出射中子双微分截面谱、能谱的实验数据。根据对实验数据的分析并且结合理论模型的计算结果, 完成了对  $n + {}^{46-50}\text{Ti}$  的全套中子数据评价。所有的评价结果都分别与实验数据、JENDL-3.3 和 JEFF-3.1 的评价数据进行了比较。

**关键词:** 全套中子数据; 数据评价; 双微分截面

**中图分类号:** O571.4

**文献标识码:** A

## 1 引言

Ti 是一种重要的结构材料核, 对 Ti 元素中子数据的评价是关系到生产和生活等许多领域的一项很有意义的工作。

自然界中 Ti 有 5 个稳定的同位素, 它们的丰度分别是:  ${}^{46}\text{Ti}$  (8.25%),  ${}^{47}\text{Ti}$  (7.44%),  ${}^{48}\text{Ti}$  (73.72%),  ${}^{49}\text{Ti}$  (5.41%),  ${}^{50}\text{Ti}$  (5.18%)。国际上主要的评价数据库 (JENDL-3.3<sup>[1]</sup>, JEFF-3.1<sup>[2]</sup>, ENDF/B-VII.0<sup>[3]</sup>) 和实验数据库 (EXFOR 库) 中已存入大量 Ti 元素的中子数据, 并且还在不断更新。在文献[4]中已经采用程序 APMN<sup>[5]</sup> 调节好一套适用于天然 Ti 和 Ti 的各个稳定同位素的普适光学参数, 并且应用核反应程序 UNF<sup>[6]</sup> 和 DWUCK4<sup>[7]</sup> 在理论上给出了 20 MeV 以下  $n + {}^{46-50}\text{Ti}$  各个反应道的截面以及出射中子的双微分截面和能谱。本文在文献[4]的理论结果中添加了共振参数, 并且做好了平滑能区与共振能区截面的连接。接着详细评价了各个反应道的实验数据, 根据评价结果相应地修改了理论计算不完善的反应道数据, 最后给出一套符合 ENDF/B-VI 格式要求的评价库结果。

## 2 共振参数

对于共振能区 ( $10^{-5}$  eV—200 keV 附近) 的评

价数据, 国际上主要采用 SUMMY<sup>[8]</sup> 等程序, 应用大量的高精度实验数据作为参考, 给出评价的点截面或者共振参数。但是因为国内现在缺少对 Ti 元素共振能区点截面的测量结果, 因此我们采用国外库的共振参数来描述这一能区的评价数据。JENDL-3.3 库和 JEFF-3.1 库分别在 1992 年和 2004 年给出了各个同位素核的评价数据, 因为 JEFF-3.1 库中所有的同位素核都采用了同一套点截面的评价价值, 而 JENDL-3.3 库中的共振参数是针对每一个同位素核都给出了各自的共振参数, 并且针对各个核的特点给出了不同的共振连接点。因此我们的评价数据完全采用 JENDL-3.3 库中各个同位素核的结果, 天然核的共振参数采用 CRECTJ6 程序<sup>[9]</sup> 进行合成。

JENDL-3.3 的共振参数按照多能级 Breit-Wigner 公式给出, 表 1 给出了各个同位素核的可分辨共

表 1  ${}^{46-50}\text{Ti}$  共振参数信息

参数名称	连接能量点/keV	负共振个数
${}^{46}\text{Ti}$	300	1
${}^{47}\text{Ti}$	100	1
${}^{48}\text{Ti}$	300	0
${}^{49}\text{Ti}$	180	1
${}^{50}\text{Ti}$	300	1

\* 收稿日期: 2007-05-24; 修改日期: 2007-08-20

作者简介: 续瑞瑞(1979—), 女(汉族), 山西太原人, 硕士, 从事核数据评价工作; E-mail: xuruirui@ciae.ac.cn

振区和不可分辨共振区的连接点，同时还给出了满足热能点附近的实验数据，在评价时给出的负共振个数。

### 3 全截面

$n + {}^{46-50}\text{natTi}$  全截面在 EXFOR 库中存在较多测量值。其中，以天然核的实验数据为主，各个同位素核在平滑区域基本没有数据，只有在低能区存在极少的一两家实验点。因此，在评价时，低能区部分为了与天然 Ti 核保持一致，各个同位素核全部采用了经过评价的天然核的实验数据。在平滑区域，采用文献[4]中的理论计算结果作为评价数据。

在选取全截面的实验数据时，主要参考以下几个方面，其中包括实验过程中要选取时间分辨较小和能量分辨高的飞行时间谱仪；同时也要选取探测时计数足够多的，也就是统计误差要小的实验数据点，而在 0.1—4 MeV 能区，实验数据存在明显的结构。因此，这里需要选取的测量道宽要窄，但是还要保证有足够的计数给出较小的统计误差，所以这个能区对于中子源的强度要求很高。依据以上的原则，我们分析了 EXFOR 数据库中的实验数据，最后这个能区的评价结果是由两家实验数据来共同给出的，它们分别是 1974 年 Barnard 等<sup>[10]</sup>测量的 0.1—1.49 MeV 的数据和 Schwartz 等<sup>[11]</sup>测量的 0.499—4.00 MeV 的数据。他们测量的实验值有很好的能量分辨，并且数值的结构清晰，结果如图 1 和图 2 所示。

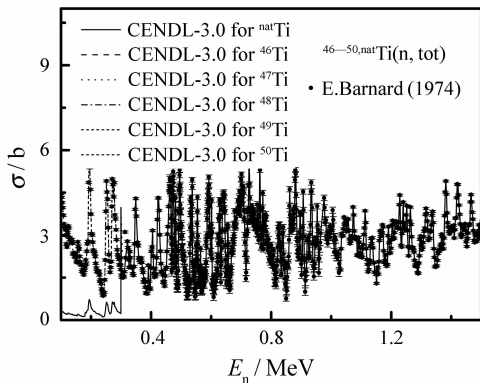


图 1 0.1—1.49 MeV 能区  $n + {}^{46-50}\text{natTi}$  全截面评价结果与实验数据的比较图

在 4 MeV 以后是全截面相对平滑的区域，因此在这个能区测量的结果相对更容易一些，实验数据

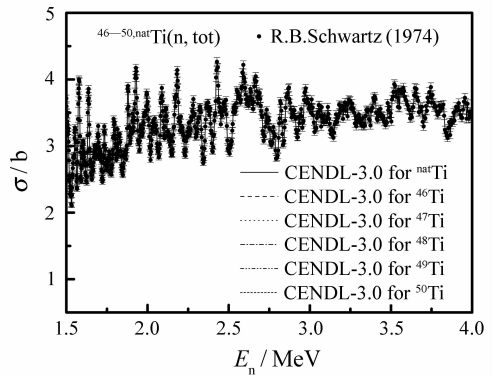


图 2 1.49—4.0 MeV 能区  $n + {}^{46-50}\text{natTi}$  全截面评价结果与实验数据的比较

大多可以测量得比较精确，且可以给出很好的统计误差，大部分都可以小于 1%。EXFOR 库中的两家实验数据，分别是 Foster Jr 等<sup>[12]</sup> 1971 年测量的 2.25—14.9 MeV 能区的全截面和 Abfalterer 等<sup>[13]</sup> 2001 年测量的 5.29—559 MeV 能区的全截面，它们在数值上都保持着很好的一致性。该能区的评价结果没有直接采用实验数据，而是以 Foster, Abfalterer 的结果作为参考，理论计算得到的。图 3 给出了评价值与实验数据的比较结果，可以看到评价值与实验点很好地符合在一起。

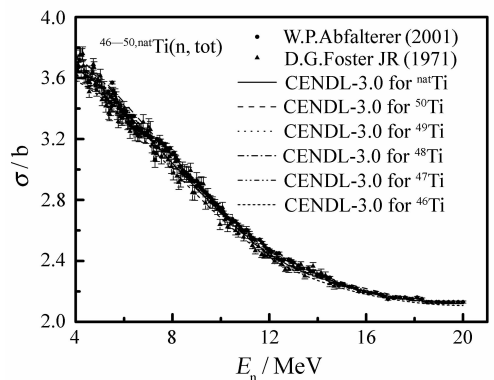


图 3 4—20 MeV 能区  $n + {}^{46-50}\text{natTi}$  全截面评价结果与实验数据的比较

### 4 ${}^{46-50}\text{Ti} (n, p)$ 反应道

${}^{46-50}\text{Ti} (n, p)$  反应道在反应堆测量剂量过程中起着很重要的作用，是重要的指示剂反应，并且在 EXFOR 数据库中也有大量的实验数据可以作为评价的参考，因此在这次新的评价过程中是一个重点的内容。 ${}^{46-50}\text{Ti}$  的  $(n, p)$  反应道都采用了活化法进

行测量, 本工作对各个同位素 ( $n, p$ ) 反应道的实验数据, 尤其是存在较大分歧的测量结果进行了认真分析, 最后给出评价数据。在分析中我们对样品纯度、入射中子品质以及监视器反应的域值等方面进行了考虑, 详细地进行了讨论。

#### 4.1 ${}^{46}\text{Ti}$

在 EXFOR 数据库中, 从 1959 年到 1996 年, 共有 28 家实验数据直接给出了  ${}^{46}\text{Ti}(n, p){}^{46}\text{Sc}$  反应的截面值。

首先在 3—12 MeV 能区内, 多家实验数据测量的结果较相近, 但是仍需要选取能散较小并且强度较高的中子源, 这样测量的结果就可以更清晰地给出反应截面的信息。因此我们选取 1975 年 Smith 和 Meadows<sup>[14]</sup> 的 3.67—3.98 MeV, 4.20—5.94 MeV, 5.41—9.95 MeV 3 个能区的实验数据。这家数据采用的中子源品质较好, 并且对数据考虑的修正较细致, 因此在 5.3 和 6.7 MeV 两个能点可以明显地显示出数据的微小结构。1971 年, Ghorai 等<sup>[15]</sup> 测量了 4.10—6.1 MeV 的 3 个数据点, 采用  ${}^{27}\text{Al}(n, p)$  反应作为监视器监视中子源。按照新的监视器修正之后, 测量值与 Smith 等<sup>[14]</sup> 的结果重合。1975 年, 卢涵林等<sup>[16]</sup> 在较大的能区内测量了  ${}^{46}\text{Ti}$  的 ( $n, p$ ) 反应截面, 在这个能区也与 Smith 的结果重合。因此本工作采用文献[14—16]中给出的测量值作为参考, 应用样条拟合给出新的评价数据。

在 12—20 MeV 入射能区内, 1966 年 Pai<sup>[17]</sup> 测量了 13.6—19.5 MeV 之间的实验数据, 采用了这个能区品质较好的 D-T 中子源。实验样品的成份是:  ${}^{46}\text{Ti}$ (84.26%),  ${}^{47}\text{Ti}$ (2.39%),  ${}^{48}\text{Ti}$ (11.48%),  ${}^{49}\text{Ti}$ (0.96%) 和  ${}^{50}\text{Ti}$ (0.91%)。因为活化法测量截面时, 主要依靠探测剩余核的特征  $\gamma$  谱线来实现, 因此  ${}^{46}\text{Ti}(n, p){}^{46}\text{Sc}$  反应在这个能区很容易受到相邻核  ${}^{47}\text{Ti}(n, np){}^{46}\text{Sc}$ ,  ${}^{47}\text{Ti}(n, pn){}^{46}\text{Sc}$  和  ${}^{47}\text{Ti}(n, d){}^{46}\text{Sc}$  反应的影响。而文献[17]中采用了  ${}^{46}\text{Ti}$  的高纯样品, 较好地解决了其他反应道的影响问题。1988 年 Ikeda<sup>[18]</sup> 测量了 13.3—14.9 MeV 的数据, 也采用了同位素样品, D-T 中子源, 数据点与 Pai 的结果一致。另外, 1975 年卢涵林等<sup>[16]</sup> 也在这个能区有测量结果, 因为采用了天然 Ti 元素, 故有  ${}^{47}\text{Ti}(n, np){}^{46}\text{Sc}$ ,  ${}^{47}\text{Ti}(n, pn){}^{46}\text{Sc}$  和  ${}^{47}\text{Ti}(n, d){}^{46}\text{Sc}$  的影响, 测量结果明显偏高。同样, 采用天然样品

的还有 1965 年 Liskien 等<sup>[19]</sup>, 1992 年袁俊谦等<sup>[20]</sup> 的结果, 他们的实验数据都与卢涵林的数据相符合。因此, 在这个能区我们以文献[17, 18]中的实验数据为参考, 应用样条拟合给出评价数据。

$10^{-5}$  eV—20 MeV 范围内,  ${}^{46}\text{Ti}(n, p){}^{46}\text{Sc}$  的评价数据与主要的实验数据, 以及 JENDL-3.3, JEFF-3.1 库的评价数据的比较列在图 4 中。在整个能区范围内, 新评价结果与实验数据符合较好; 在 5.3 和 6.7 MeV 两个能点, 本工作的评价值与 JEFF-3.1 中数据保持一致, 并且与实验数据符合较好。

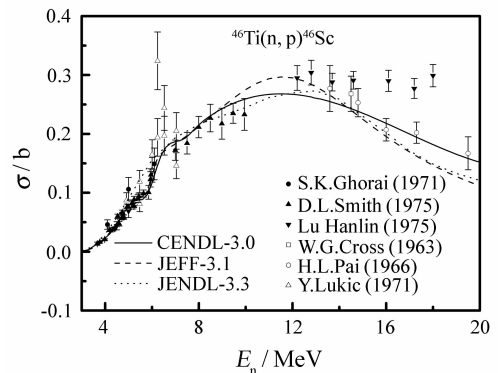


图 4  ${}^{46}\text{Ti}(n, p){}^{46}\text{Sc}$  本工作数据与实验数据、JENDL-3.3 和 JEFF-3.3 评价结果的比较

#### 4.2 ${}^{47}\text{Ti}$

${}^{47}\text{Ti}(n, p){}^{47}\text{Sc}$  反应在实验数据库中同样存在大量的测量值, 本工作详细评价了从 1959 年到 2004 年近 40 家实验数据, 并且从中选取了 6 家作为新数据的参考。主要考虑因素与  ${}^{46}\text{Ti}(n, p)$  反应相似。

首先, 1989 年 Mannhart 等<sup>[21]</sup> 在 1.19—1.9 MeV, 1.97—4.29 MeV 和 6.98—7.98 MeV 3 个能量范围内测量了  ${}^{47}\text{Ti}(n, p){}^{47}\text{Sc}$  反应的截面, 特别是在文献[21]中, 同时对微观数据进行了标准的宏观实验检验, 二者数据符合得很好, 同时也说明了其数据的可靠性。1991 年 Qaim 等<sup>[22]</sup> 发布了 5.37—10.5 MeV 的  ${}^{47}\text{Ti}(n, p){}^{47}\text{Sc}$  反应数据, 与文献[21]中的结果一致。1989 年, 卢涵林等<sup>[23]</sup> 测量了  ${}^{47}\text{Ti}(n, p){}^{47}\text{Sc}$  反应在 8.50 MeV 单点的截面, 与文献[21, 22]中的数据都保持一致。1991 年, Ikeda 等<sup>[24]</sup> 在 11 和 12 MeV 两个点测量了截面值, 其结果与 Qaim 等<sup>[15]</sup> 的实验数据可以衔接。因此, 这个能区的评价数据我们推荐文献[21—24]中的结

果。

在 12—20 MeV 能区, 活化测量仍然主要受到样品纯度的影响, 即受到<sup>48</sup>Ti(n, np)<sup>47</sup>Sc, <sup>48</sup>Ti(n, pn)<sup>47</sup>Sc 和<sup>48</sup>Ti(n, d)<sup>47</sup>Sc 等反应的影响。在测量<sup>46</sup>Ti(n, p)的同时, Pai<sup>[17]</sup>也应用高纯样品(其中,<sup>47</sup>Ti(85.6%), <sup>48</sup>Ti(11.3%))测量了 13.6—19.5 MeV 的<sup>47</sup>Ti(n, p)截面, 很好地解决上述问题。1988 年, Ikeda 等<sup>[18]</sup>应用高纯同位素样品测量了 13.3—14.9 MeV 的截面, 其数据经过对次级中子以及 D-D 破裂中子修正后与文献[17]中结果较相近。1977 年, Qaim 等<sup>[25]</sup>应用高纯样品测量了 14.7 MeV 的(n, p)截面, 其值与文献[17, 18]的数据一致。另外, 1989 年 Hecker 等<sup>[26]</sup>应用纯度为 95% 的钛氧化物样品测量了 14.3—19.1 MeV 的数据, 采用 D-T 中子源, 没有详细做次级中子散射和 D-D 破裂影响的测量, 因此, 其结果略高于文献[17, 18]的数据。综上所述, 这个能区我们推荐文献[17, 18, 25]中提供的结果作为参考截面, 同样应用样条拟合给出最后的评价结果。

新评价数据与主要实验数据, JENDL-3.3, JEFF-3.1 评价库的比较列在图 5 中。在 20 MeV 以下的整个能区, 本评价工作与 JENDL-3.3 和 JEFF-3.1 库的结果都与实验数据符合较好, 其中新评价数据和 JENDL-3.3 的都较光滑, 而 JEFF-3.1 库的结果不光滑。

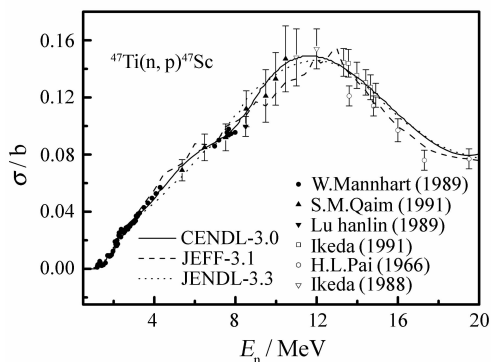


图 5 <sup>47</sup>Ti(n, p)<sup>47</sup>Sc 本工作数据与实验数据、JENDL-3.3 和 JEFF-3.3 评价结果的比较

对于其他同位素核的<sup>48-50</sup>Ti(n, p)截面, 与<sup>46, 47</sup>Ti(n, p)的分析方法类似。最后选取的参考数据较集中并且平滑, 因此本工作直接采用了理论计算数据作为评价值。详细结果请参阅中国核数据中心评价数据库中 Ti 元素的评价库<sup>[27]</sup>。

## 5 出射中子双微分截面和能谱

出射中子双微分截面与能谱在中子入射的反应过程中可以体现出很多的信息, 包括某能量点弹性散射截面、各个非弹能级截面计算的正确与否以及平衡与预平衡在各个反应道中的贡献大小等。因此它在整个数据评价过程中起很重要的检验作用, 并且对于某些缺少实验数据的反应道的评价有很好的指导作用。经过对 20 MeV 以下 n + <sup>46-50, nat</sup>Ti 各个同位素核 (n, n'), (n, p), (n, d), (n, 2n), (n, np) 等一系列反应道的评价, 本工作给出了 Ti 元素的双微分截面与能谱数据。同时, 在 EXFOR 库中主要参考了两家测量结果, 分别是 1988 年 Baba 等<sup>[28]</sup>和 1990 年 Takahashi 等<sup>[29]</sup>的测量值。他们都同时给出了 14.1 MeV 次级中子出射的双微分截面和能谱数据。两家数据都采用飞行时间法进行测量, 飞行距离都在 8 m 以上, 具有不错的能量分辨, 中子源使用了在这个能量点品质较好的 D-T 源。

图 6 给出了本工作的评价数据与 Baba 等<sup>[28]</sup>的测量值在 52.5°—100°之间的比较结果。可以看出, 在整个出射中子的能区范围内实验数据都与评价值符合得很好。同时也说明在 14.1 MeV 理论计算的弹性散射截面是正确的, 在这个能点各个分立能级的截面累计也是合理的, 并且还可以说明连续非弹与二次粒子发射过程总的评价是合理的。

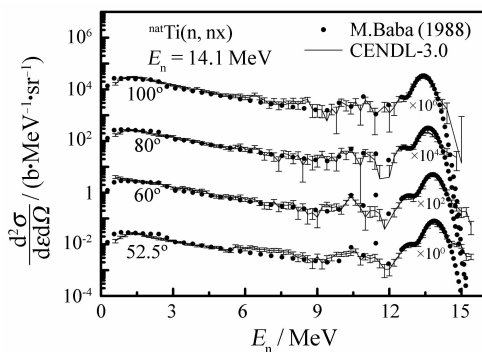


图 6 14.1 MeV <sup>nat</sup>Ti(n, nx) 双微分截面评价结果与实验数据的比较

另外, 通过对双微分能谱各个角度进行积分, 可以得到 14.1 MeV 出射中子的能谱。图 7 给出了评价值与上述两家测量能谱的比较结果。从图中可以看出, 在右边弹性峰的位置, 评价值和两家实验数据分歧都比较大, 而在双微分截面中则符合得较

好, 因此怀疑能谱的实验数据在这一能区处理时可能有问题。出射能量从在 10—13 MeV 范围内, 两家实验数据存在较大分歧, 其中 Baba 的实验细节中并未表示详细地考虑靶头多次散射的影响, 因此可能是引起测量值太低的原因, 而 Takahashi 的后期工作中应用 MUSCC3 程序对多次散射做了认真的修正, 因此我们的评价相对与 Takahashi 的测量比较接近。在 10 MeV 以下的能区与我们的评价价值相对于 Baba 的数据符合较好。

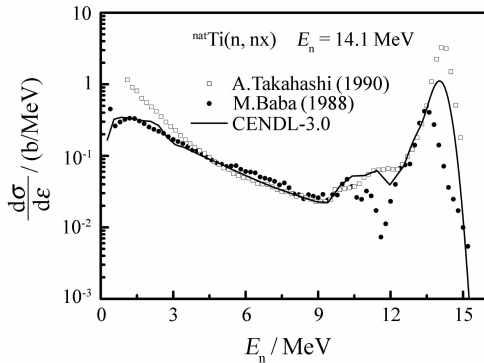


图 7 14.1 MeV  ${}^{\text{nat}}\text{Ti}(n, \text{nx})$  能谱评价与实验数据的比较

## 6 总结与展望

Ti 元素在生产和生活中起到了很重要的作用。对 Ti 元素中子数据的评价是一项很有意义的工作。本工作详细分析了 10<sup>-5</sup> eV—20 MeV 能量范围内,  $n + {}^{46-50}\text{Ti}$  各个反应道的实验数据, 以全截面、(n, p) 反应道和出射中子双微分截面为例详细说明了整个评价过程, 给出了  $n + {}^{46-50}\text{Ti}$  的全套评价数据。本工作的评价数据分别与国际上主要的评价数据库和已有的实验数据进行比较, 取得了较为满意的结果。以上结果均被 CENDL 库收录。

今后, 我们将进一步讨论各同位素分立能级的选取和相应截面的大小。在保证次级中子双微分截面和能谱的前提下, 进一步调整  $\gamma$  出射数据, 给用户提供更好的 Ti 元素中子数据。

## 参考文献 (References):

[1] Kobayashi K, Hashikura H. Nucl Sci Technol, 2002, **39**: 1125.  
 [2] Tagesen S, Vonach H. 2005, 5, <http://www.nea.fr/html/dbdata/JEFF/>.  
 [3] Chadwick M B, Oblozinsky P, Herman M, et al. Nuclear Data

Sheets, 2006, **107**: 2931.  
 [4] Xu Ruirui. Commun Nucl Data Prog, 2007, **31**: 30.  
 [5] Shen Qingbiao. Commun Nucl Data Prog, 1992, **7**: 43.  
 [6] Zhang Jingshang. User Manual of UNF Code. China Nuclear Science and Technology Report, CNIC-01616, CCDC-0032, 2002.  
 [7] Kunz P D. Computer Code DWUCK4 (unpublished).  
 [8] Larson N M, ORNL/TM-9179/R3, September 1996, Oak Ridge National Laboratory; ORNL/TM-9179/R5, October 2000, Oak Ridge National Laboratory.  
 [9] Tsuneco Nakagawa. CRETJ: A Computer Program for Compilation of Evaluated Nuclear Data. Report of Japan Atomic Energy Research Institute, JAERI-Data/Code 99-041, 1999.  
 [10] Barnard E, Villiers J D, Reitmann D, et al. Nucl Phys, 1974, **A229**: 189.  
 [11] Schwartz R B, Schrack R A, Heaton H T. MeV Total Neutron Cross Sections. Report of National Bureau of Standards, Washington, D C, NBS-MONO-138, 1974.  
 [12] Foster Jr D G, Glasgow D W. Phys Rev, 1971, **C3**: 576.  
 [13] Abfalterer W P, Bateman F B. Phys Rev, 2001, **C63**: 044608.  
 [14] Smith D L, Meadows J W. Nuc Sci Eng, 1975, **58**: 314.  
 [15] Ghorai S K, Cooper J R, Moore J D, et al. Journal of Nuclear Energy, 1971, **25**: 319.  
 [16] Lu Hanlin, Wang Dahai, Xia yijun, et al. High Energy Physics and Nuclear Physics, 1979, **3**(1): 87 (in Chinese). (卢涵林, 王大海, 夏宜君等. 高能物理与核物理, 1979, **3**(1): 87.)  
 [17] Pai H L. Canadian Journal of Physics, 1966, **44**: 2337.  
 [18] Ikeda Y, Konno C, Oishi K, Nakamura T, et al. Activation Cross Section Measurements for Fusion Reactor Structural Materials at Neutron Energy from 13.3 to 15.0 MeV Using FNS Facility. Report of Japan Atomic Energy Research Institute, JAERI-1312, 1988.  
 [19] Liskien H, Paulsen A. Nucl Phys, 1965, **63**: 393.  
 [20] Yuan Junqian, Wang Yongchang, Kong Xiangzhong, et al. High Energy Physics and Nuclear Physics, 1992, **16**(1): 57 (in Chinese). (袁俊谦, 王永昌, 孔祥忠等. 高能物理与核物理, 1992, **16**(1): 57.)  
 [21] Mannhart W, Smith D L, Meadows J W. Measurement of The  ${}^{47}\text{Ti}(n, p)$  Reaction Cross Section. Proceedings of the Specialist Meeting on Neutron Activation Cross Sections for Fission and Fusion Energy Applications; Argonne, USA, 13th-15th September 1989, NEANDC-259, 121.  
 [22] Qaim S M, Molla N I, Woelffe R, et al. Differential and Integral Cross Section Measurements of Some (n, charged particles) Reactions on Titanium. Proceedings of Conference on Nuclear Data for Science and Technology, Juelich, 1991, 297.  
 [23] Lu Hanlin, Zhao Wenrong, Fan Peiguo, et al. Measurement of Cross Sections at Neutron Energy 8.50 MeV. Reprint of Interna-

- tional Nuclear Data Committee, INDC(CPR)-16, 1989.
- [24] Ikeda Y, Konno C, Mizumoto M, *et al.* Activation Cross Section Measurement at Neutron Energies of 11.0, 12.0 and 13.2 MeV Using  $^1\text{H}(^{11}\text{B}, \text{n})^{11}\text{C}$  Neutron Source at JAERI. Report of Japan Atomic Energy Research Institute, JAERI-M-91-032, 281, 1991.
- [25] Qaim S M, Molla N I. Nucl Phys, 1977, **A283**: 269.
- [26] Hecker W V, Williams J R, Alford W L, *et al.* Nucl Instr and Meth, 1989, **B40/41**: 478.
- [27] Xu Ruirui. 2006, 12, <http://159.226.2.40/>.
- [28] Baba M, Ishikawa M, Yabuta N, *et al.* Double Differential Neutron Emission Cross Sections of Cu, Ti, Zr and C. Proceedings of Conference on Nuclear Data for Science and Technology, Mito, 1988, 291.
- [29] Takahashi A, Sugimoto H, Gotoh M, *et al.* Measurement of Double Differential Neutron Emission Cross Sections at 14.1 MeV for Ti, Mo and Sn. Report of Japan Atomic Energy Research Institute, JAERI - M - 90 - 220, 1990.

## Evaluation of Complete Set of Neutron Data for $n + {}^{46-50}\text{Ti}^{\text{nat}}$ \*

XU Rui-rui<sup>1, 2, 1)</sup>, GE Zhi-gang<sup>1, 2</sup>, LIU Ting-jing<sup>1, 2</sup>

(1 *China Nuclear Data Center, Beijing 102413, China*;

2 *China Institute of Atomic Energy, Beijing 102412, China*)

**Abstract:** The complete neutron data of  $n + {}^{46-50}\text{Ti}^{\text{nat}}$ , including cross sections of all reactions, angular distributions, double differential cross sections between  $10^{-5}$  eV—20 MeV, are evaluated by analyzing the experimental data and modifying theoretical results. And resonance parameters of multilevel Breit-Wigner, which are offered in JEDNL3.3, are adopted into the new evaluated data sets. Meanwhile, all of evaluated values have been compared with existing experimental values and other evaluated results from JENDL-3.3 and JEFF-3.1.

**Key words:** complete neutron data; data evaluation; double differential cross section

\* **Received date:** 24 May 2007; **Revised date:** 20 Aug. 2007

1) E-mail: xuruirui@ciae.ac.cn