

# CNDC 核数据研究进展

张竞上 赵志祥

(中国原子能科学研究院 北京 102413)

**摘 要** 本文简要报导了 CNDC 近两年来的核数据活动及核数据研究进展情况, 并提出推广服务的内容。

**关键词** 核数据, 中子数据, EXFOR 库。

## 1 引 言

核数据是核工程及核技术应用的基本数据。世界上诸发达国家都开展核数据工作。60年代以来, 国际上四个中子数据中心相继建立了各自的评价核数据库(美国 ENDF/B 库, 日本 JENDL 库, 欧洲 JEF 库和前苏联 BROND 库)。我国核工业总公司核数据中心于 1975 年成立, 并于 1983 年以中国核数据中心(CNDC)的名义进行国际交流。在 CNDC 的组织协调、中国核数据协作网单位的共同努力下, 1985 年完成中国评价核数据库第一版(CENDL-1)并荣获国家级科技进步二等奖, 1992 年完成了第二版(CENDL-2)。国际原子能机构(IAEA)已把 CENDL-2 作为世界五大重要评价核数据库之一。CENDL-2 的建成是中国评价核数据库进入国际先进行列的重要标志之一。与此同时, 还建立了一些专用核数据库, 及一系列核数据计算、评价、处理和加工等有关的理论方法和程序。核数据的服务和对外交流不断得以加强。

目前, 核数据计算机化已经建成并投入使用, 用户可通过 CNDC 计算机获得国际上最先进的几个评价核数据库(包括 CENDL-2)或 EXFOR 实验数据库中的有关资料。

CNDC 核数据工作的进展情况曾经在 1991 年北京快中子物理国际会议作了报告<sup>[1]</sup>, 本文将介绍 CNDC 近年来在此领域的进展情况。

## 2 通用中子数据评价

### 2.1 中国评价核数据库第二版(CENDL-2)

CENDL-2 评价推荐了 54 个重要核素的全

套、自洽的中子核数据( $^1, ^2, ^3\text{H}$ ,  $^3, ^4\text{He}$ ,  $^6, ^7\text{Li}$ ,  $^9\text{Be}$ ,  $^{10, 11}\text{B}$ ,  $^{14}\text{N}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{23}\text{Na}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $^{27}\text{Al}$ ,  $\text{Si}$ ,  $^{31}\text{P}$ ,  $\text{S}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Ti}$ ,  $^{51}\text{V}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $^{55}\text{Mn}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $^{59}\text{Co}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $^{93}\text{Nb}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $^{107, 109}\text{Ag}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{In}$ ,  $\text{Sn}$ ,  $\text{Sb}$ ,  $\text{Hf}$ ,  $\text{Ta}$ ,  $\text{W}$ ,  $^{197}\text{Au}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235, 238}\text{U}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{239, 240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{249}\text{Bk}$ ,  $^{249}\text{Cf}$ ), 以国际通用的 ENDF/B 格式记入磁带并存入 CNDC 计算机硬盘。这里, “全套”是指在  $10^{-5}\text{eV}$  至  $20\text{MeV}$  能区给出了所有大于  $0.1\text{mb}$  的反应道截面, 次级中子角分布和能谱及共振参数等数据。“自洽”是指评价数据满足物理上的各种自洽要求, 如全截面等于各分截面之和等。

### 2.2 CENDL-2 的进一步改进

为了进一步改进 CENDL-2, 对 CENDL-2 与其它评价核数据库进行了比对。比对工作包括文档完整性比较、评价方法比较、评价数据做图比较和物理分析。

比对结果表明, CENDL-2 虽然核素种类较其它库少, 有的核尚缺部分文档, 但我们采用了最新的实验数据, 评价分析和理论计算都较细致, 部分核的评价较其它库有所改进, 有些核评价已为 ENDF/B6、JENDL-3、FENDL-1 所采用。CENDL-2 中的大部分评价仅包括文档 1~5, 从核能应用的角度需要增补  $\gamma$  产生数据和协方差文档, 对重要核素还需增补双微分截面文档。比对还发现, 对  $(n, p)$ 、 $(n, \alpha)$ 、 $(n, 2n)$  等阈反应截面和结构材料核次级中子角分布和能谱数据, 各评价库之间存在着较大的分歧。为澄清矛盾, 需要做一些新的测量和理论计算, 在此基础上对 CENDL-2 做出进一步改进。

### 2.3 几个重要核素的评价

对  $^9\text{Be}$ 、 $^{56}\text{Fe}$  和  $^{238}\text{U}$  三个核素的再评价正在进

行. 其目的, 不仅要提供高质量的评价数据, 同时为在轻核、中重核、裂变核区完善评价方法和手段做出技术准备.

### 2.3.1 $^{56}\text{Fe}$ 全套中子数据评价(赵志祥)

评价了截面、角分布、双微分截面、 $\gamma$  产生数据以及协方差文档. 与国际上同类评价相比, 这个评价明显改进了次级带电粒子双微分截面, 完整地给出了协方差文档, 其中角分布和双微分截面的协方差文档在国际上是首次给出的.

### 2.3.2 $^{235}\text{U}$ 全套中子数据评价(唐国等有)

与 CENDL-2 相比, 新的评价增补了文档 6、12、13 和 15 并根据耦合道理论和扭曲波波恩近似方法重新计算了非弹性散射截面.

### 2.4 CENDL-2 的核素扩充

为了满足核能应用方面的需要, 除 CENDL-2 目前的 54 个核素外, 还准备增补 42 个核素. 目前, 42 个核素现有评价数据的对比工作已经完成. 对比对的结果进行评论后, 将提出进一步改进内容, 从而进行库的扩充. 除此之外, Cl、Ca、Ga、Lu、Hg 和 Tl 六个元素的全套中子数据评价工作也接近完成. 新的评价全面改进了过去的评价.

## 3 专用核数据评价和建库

### 3.1 核结构和衰变数据评价(周春梅等)

该项目是国际合作内容. 目前, 已完成了  $A = 51, 54 \sim 56, 195$  质量链的核结构数据更新及  $A = 61$  质量链的评价.  $A = 198$  质量链的核结构数据更新正在进行.

评价更新了 330 个核素的衰变数据, 并在 CNDC 计算机上建立了中国常用核衰变数据库, 包括库的管理、检索及绘图等程序系统.

### 3.2 带电粒子核数据库(庄友祥等)

该库包括 25 个热核聚变反应和 83 个活化反应截面数据. 计算机化的中国评价带电粒子核数据库已经建立, 并投入使用. 由于带电粒子实验数据较少且分散, 为此发展了核反应理论和模型计算程序, 并将实验评价和理论计算紧密结合起来, 这是我们的一个重要特色.

### 3.3 裂变产物产额数据(王 汛等)

近年来, 对传统的评价方法进行了改进, 研究发展了考虑数据间关联的评价方法, 重评了标准数据. 在此基础上, 对中国评价的裂变产物产额数据库 1987 年版的改进和更新工作正在进行.

### 3.4 活化和剂量反应数据评价(蔡教九等)

已经评价了用户急需的 28 个反应道的截面和协方差文档.

### 3.5 原子分子数据(姚锦章等)

已经初步建立了离子-原子碰撞数据库. 数据内容包括: 入射能量为  $10\text{eV} \sim 100\text{keV}$ ,  $Z = 1 \sim 90$  的碰撞电离数据; He、C、O 原子及其离子与  $^1\text{H}$  和 He 的碰撞激发函数;  $^1\text{H}$ 、He、Li 和 Fe 原子及其离子与  $^1\text{H}$ 、He、Li 原子及其离子的碰撞电离、激发、电子俘获、电子发射数据等.

编评了  $^1\text{H}^+$ 、 $\text{D}^+$ 、 $\text{T}^+$ 、 $^3\text{He}^+$  和  $^4\text{He}^+$  入射粒子在一些固体表面的反射系数.

### 3.6 EXFOR 库及相关软件(梁祺昌等)

原始实验数据库(即 EXFOR 库)已经安装在 CNDC 的 Vax- I 计算机硬盘上. 移植和研制了相应的管理和检索程序系统. EXFOR 库已经投入广泛使用.

## 4 模型理论研究及核数据计算程序

### 4.1 核反应模型理论的研究

为更进一步给出准确的理论计算结果, 对当前核反应机制进行针对性研究, 在复杂粒子发射的 pick-up 机制(张竞上、申庆彪等); 光核反应机制研究及光核反应数据计算(张竞上等); 量子预平衡理论 FKK 和多步复合核理论的研究(苏宗涤); 以及形变涨落对传统裂变几率修正(王书暖)等方面都有新成果, 有些已用于实际计算. 同时正在开展中高能核反应模型理论研究. 如 QMD 模型研究(申庆彪、陆中道等).

### 4.2 核数据计算程序的研制

UNF(张竞上)

用于  $20\text{MeV}$  以下中重核全套中子数据计算. 这个程序可以计算反应中发射粒子、反冲核

及 $\gamma$ 射线的双微分截面及 $\gamma$ 产生数据. 此程序已用于 $^{56}\text{Fe}$ 、 $\text{Cl}$ 、 $\text{Ca}$ 、 $\text{Lu}$ 、 $\text{Hg}$ 和 $\text{Tl}$ 等全套中子核数据评价.

其裂变核计算的版本(FMT), 已用于 $^{238}\text{U}$ 全套中子核数据计算.

MUP3(余自强等)

MUP2的改进版. 与MUP2相比, 增加了双微分截面计算功能.

CFUP1(蔡崇海、申庆彪)

35MeV以下裂变核中子及带电粒子核数据计算程序, 已用于 $p+^{241}\text{Am}$ 和 $p+^{235}\text{U}$ 系统的计算.

SPEC(申庆彪、张竞上)

60MeV以下中子或带电粒子反应截面及能谱计算程序.

DDCS(申庆彪)

50~100MeV能区中子或带电粒子反应双微分截面计算程序.

#### 4.3 中国评价核参数库(苏宗涤等)

中国评价核参数库即CENPL的建设最近取得很大进展. 它由两部分组成: 数据文件和管理检索程序系统. 数据文件以一定格式存贮评价的核基本常数及理论模型计算所需的参数. 可为用户提供检索、打印及绘图服务.

CENPL包含6个子库: MCC子库 原子质量和核的基态常数; DLS子库 分立能级纲图及 $\gamma$ 衰变分支比; LDL子库 能级密度参数; GDP子库 巨偶极共振参数; FBP子库 裂变位垒参数; OMP子库 光学模型参数.

目前, 6个子库的数据文件及管理检索程序系统已经建成并投入使用. 下一步工作是进一步改进和完善数据文件并在微机上进行总装.

#### 4.4 相关程序库(刘瑞哲等)

近两年来从国外收集程序24个, 国内研制程序入库18个, 开发程序入库3个. 为使程序库在国内核数据的理论计算、处理和加工等方面发挥作用, 加强了程序库的管理和对外服务. 研制了程序库管理系统, 并向国内用户提供复制程序13个.

## 5 评价方法及核数据处理加工程序研究

### 5.1 评价方法研究

建立了估计能级间距的贝叶斯方法并实际计算了240个核素的平均能级间距(赵志祥、黄忠甫); 研究了普适型的后移能级密度参数的系统学公式及考虑色散关系的光学模型参数系统学公式(苏宗涤等); 研究了同质异能态截面比与自旋的依赖关系, 建立了系统学公式(黄小龙等); 开展了角分布和双微分截面协方差的评价方法研究(赵志祥等); 开展了相关数据同时评价方法的研究(刘廷进等).

### 5.2 核数据处理和绘图程序

LSQXY(赵志祥) 考虑自变量不确定性的通用曲线拟合程序.

DDXB1(张紧、刘彤) 粒子发射总谱比对绘图程序.

MAINPLT(刘彤、赵志祥) 评价截面, 角分布处理、绘图程序.

比对程序系统(刘廷进、孙正军) 可以处理截面、角分布、能谱评价数据和实验数据的绘图比对. 程序可以批作业的方式自动完成一批核素的评价数据和实验数据的检索和绘图.

## 6 群常数制作和宏观检验(刘桂生等)

在CIAE的工作站上安装了用于多群常数产生的NSLINK程序系统. 对PASC-1的某些模块作了改进. 使用NSLINK程序系统产生了WIMS69群结构的AMPX主库. 所用的微观评价数据从CENDL-2、ENDF/B-6、JENDL-3、JEF-1中选出, 用改进的PASC-1程序系统, 对10个热堆基准装置的积分量作了计算, 结果与积分实验结果很好地符合. 使用NJOY程序系统从ENDF/B-6和JEF-1的50个核素中产生了快堆50群常数库L50G. 通过对L50G调整得到CL50G库. 为使其合理, 调整在CENDL-2、ENDF/B-6、JENDL-3和JEF-1的范围内进行. 用CL50G计算大量积分量, 与实验数据的符合明显好于L50G及其它作者的计算值.

### 7. 近期工作展望

CENDL-2 已经产生了很好的国际影响和一定的经济效益. 为进一步扩大影响, 产生更大的经济效益, 在继续对 CENDL-2 的改进和扩充工作的同时, 还要加强 CENDL-2 的宏观检验工作.

目前, 核数据领域的国际合作已成为趋势, 应该以国内需要为基础, 积极参加各种形式的国际合作, 以提高水平、锻炼队伍、获得资助和

扩大影响.

CNDC 愿意进一步加强核数据服务工作, 为国内广大用户提供优质服务.

### 参 考 文 献

1 Cai Dunjiu, et al. Progress of Nuclear Data Work of CNDC, proc. Symposium on Fast Neutron Physics, Beijing, 9-133 Sept. 1991, 324

## Recent Progress of Nuclear Data Research in CNDC

Zhang Jingshang Zhao Zhixiang

(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413)

**Abstract** The activity and progress on nuclear data research of Chinese Nuclear Data Center (CNDC) in recent two years are introduced.

**Key Words** nuclear data, neutron data, EXFOR file.

(上接 33 页)

3 Yang Jilian, et al. Acta Metall. Sinica (English Ed.), Series B, 1993, 6(5) : 345

4 Gao Zishuang, et al. Physica C, 1992, 203 : 45

5 阮景辉等. 物理学报, 1993, 42(7) : 1121

6 Gou Cheng, et al. J. Phys., Condens. Matter, 1993, 5 : 2707

7 Hu Huachen. J. Appl. Cryst., 1992, 25 : 731

## Thermal Neutron Scattering Research in CIAE

Ye Chuntang

(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413)

**Abstract** The development and current situation of the thermal neutron scattering research in CIAE are reviewed. The brief descriptions on the experimental equipments and the main progresses made recently are given.

**Key Words** thermal neutron scattering, condensed matter physics, materials science.