

**CNIC-01572**  
**CNDC-0030**

国际评价中子核数据库  
**INTERNATIONAL EVALUATED NEUTRON  
NUCLEAR DATA LIBRARIES**  
*(In Chinese)*

中国核情报中心  
China Nuclear Information Centre

**CNIC-01572**  
**CNDC-0030**

## 国际评价中子核数据库

刘廷进

(中国核数据中心, 中国原子能科学研究院, 北京, 102314)

### 摘 要

介绍了当今世界上五大评价中子数据库, 美国的 ENDF/B-6, 日本的 JENDL-3.2, 欧洲的 JEF-2.2, 中国的 CENDL-2.1 及俄罗斯的 BROND-2 的现况; 还介绍了国际评价中子数据库的发展趋势及用户如何获得和使用这些数据。

关键词: 中子数据, 核数据库, ENDF/B-6, JENDL-3.2, CENDL-2.1

# **International Evaluated Neutron Nuclear Data Libraries**

*(In Chinese)*

LIU Tingjin

(China Nuclear Data Center, China Institute of Atomic Energy, Beijing, 102413)

## **ABSTRACT**

The current status of five major evaluated neutron nuclear data libraries in the world are introduced. They are ENDF/B—6 (U. S. A.), JENDL—3.2 (Japan), JEF—2.2 (Europe), CENDL—2.1 (China), BROND—2 (Russia). The developing trend of the international neutron evaluated nuclear data library is discussed. How to get and use these data for the domestic users is given.

**Keywords:** Neutron data, Nuclear data library, ENDF/B—6, JENDL—3.2, CENDL—2.1

为实际应用的需要，如核武器研制，核反应堆建造，核聚变研究等，从 20 世纪 60 年代开始，一些国家就建立了自己的评价中子核数据库，且以美国为首，互相保密，互相竞争。虽然自 20 世纪 90 年代前后，随着美国 ENDF/B-6 库的公开，各国的评价中子核数据相继公开，开始了国际合作，但是，为各自的应用目的，仍然保留发展自己的评价中子核数据库，而没有一个像实验中子数据库（EXFOR）那样的国际上统一的评价中子数据库。现今，世界上主要有五个评价中子数据库<sup>[1]</sup>：美国的 ENDF/B，日本的 JENDL，欧洲的 JEF，中国的 CENDL，俄罗斯的 BROND。本文所介绍的“国际评价中子核数据库”，就是指这五个数据库。值得注意的是，中国的评价核数据库 CENDL 也是国际公认的世界五大评价中子核数据库之一。

如上所述，1990 年前后，评价中子核数据库开始解密，公开发行，中子核数据评价开始了国际合作。至今，这种国际合作已经有了很大发展，有了固定的模式，积累了成熟的经验。核数据评价的国际合作通过两种渠道进行协调组织。一是国际原子能机构（IAEA）的国际核数据委员会（International Nuclear Data Committee），定期研究国际核数据的发展，确定核数据的发展项目，由国际原子能机构的核数据科（NDS）通过组织 CRP（Coordinate Research Project 协调研究项目），予以实现。一个 CRP 项目，有来自世界各国的（包括发达国家和发展中国家）5~8 个小组参加（每个小组都与 IAEA 签合同或协议），定期召开研究协调会议，CRP 项目完成后都要给出一个技术报告及相应的成果（如程序、数据磁带、光盘等），这是一种比较紧密的组织。另一种渠道是欧共体核能局（NEA）组织的国际评价合作工作组（Work Party on International Nuclear Data Evaluation Co-operation，简称 NEA WPEC），虽然这是欧共体组织的，主要由欧美、日本参加，但后来也有 IAEA，并通过 IAEA 邀请中、俄参加，因此可以说，NEA WPEC 实际上也是国际性的。工作组根据需要，对于在评价中需要解决的、重要的、共同关心的问题，确定设立若干分组（Subgroup），由各国有领域的、感兴趣的专家参加。每个工作组完成任务后（一般 3~5 年），均有总结报告。较之 CRP，小组参加成员无合同约束，一般也不召开会议，是比较松散的组织，但参加人员有责任感，在欧美国家很有成效。CRP 及其分组的题目，在很大程度上可以认为是当今世界上核数据评价领域的重要课题和发展趋势。

## 1 各评价中子核数据库的发展和现状

五大评价中子数据库，都在不断更新再版，不断增加核素、增加数据文档（类型），提高精度。图 1 给出了各库更新再版的情况，图 2 给出了近期情况，表 1 给出了各库包含的核素和文档情况。

### 1.1 ENDF/B-6 和 ENDF/B-7<sup>[2]</sup>

美国自 1990 年发行 ENDF/B-6 以来，每二年更新一次，至 1997 年发行 ENDF/B-6.4，此后每一年更新一次，至 1999 年发行 ENDF/B-6.6，2000 年甚至一年更新二次。美国现在正在考虑在未来 3~5 年内，建立 ENDF/B-7，该版将包含新的标准，可能运用新的格式，并可能将入射粒子（如中子、质子等）能量向高能延伸（例如 150 MeV）。

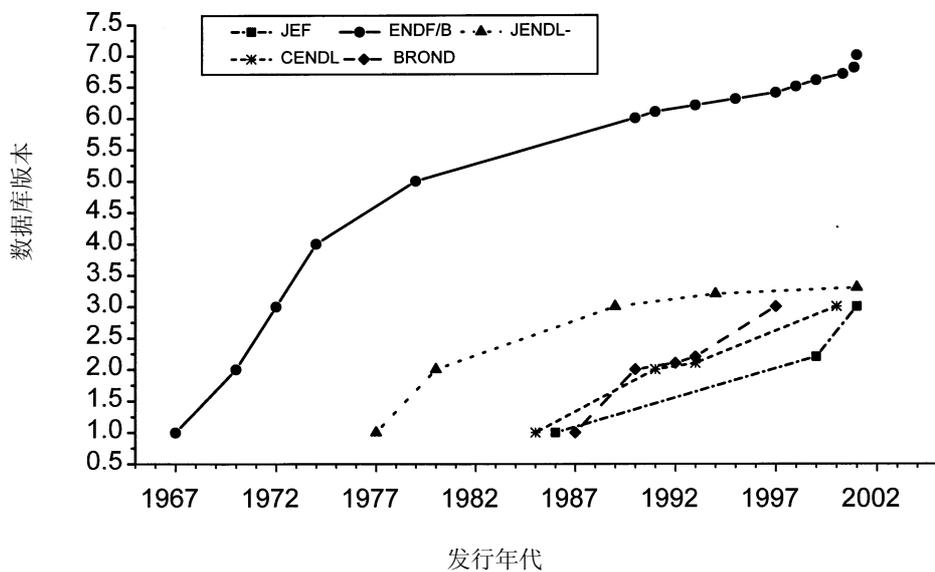


图1 主要评价核数据库的发展

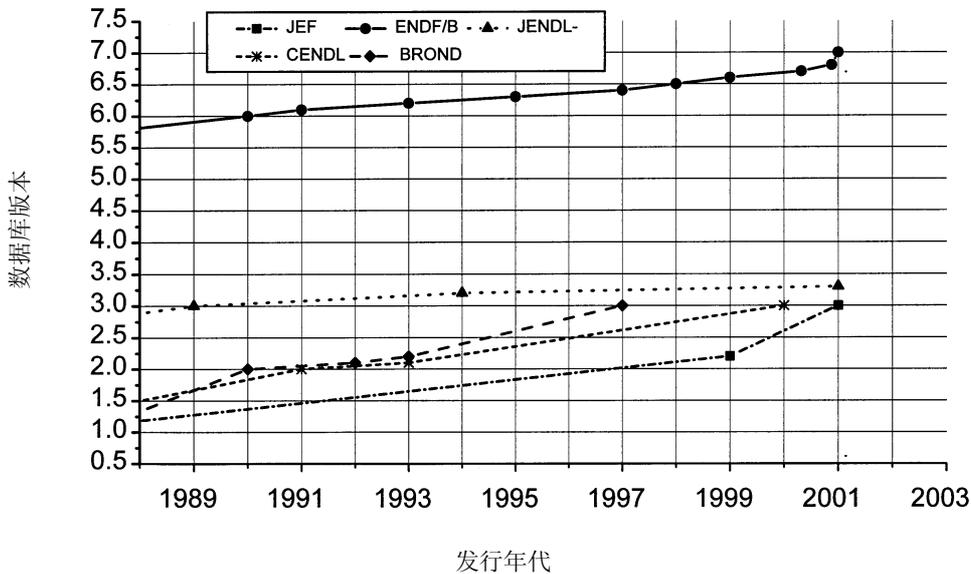


图2 主要评价核数据库的近期发展

### 1.2 JENDL-3.2 和 JENDL-3.3<sup>[3]</sup>

JENDL-3.2 完成发行于 1994 年 6 月。此后在使用和宏观检验中发现了一些问题，于 1997 年 4 月开始对其进行改进，建立改进版 JENDL-3.3。该版将于 2001 年完成发行。

较之 JENDL-3.2，JENDL-3.3 将有下列特点和改进：

- (1) 增加协方差文档，包括主要的铀系核、结构材料和冷却剂核素；
- (2) “同位素评价政策”，强调给出同位素的数据，而 JENDL-3.2，“天然元素政策”，强调给出天然元素的数据；
- (3) 增加新的核素，如 Er（可燃毒物）等；
- (4) 增加聚变用核素的  $\gamma$  产生数据；
- (5) 更新数据，如 U, Pu 同位素的共振参数及阈反应截面，结构材料的共振参数， $\gamma$  产生数据，中子发射谱等共约 30 几个核素。

表 1 当今世界主要评价中子数据库概况

库 版	完成时间 (发行时间)	核 素	文档 <sup>1)</sup> 1~5	文档 <sup>2)</sup> 6	文档 <sup>3)</sup> 12~15	文档 <sup>4)</sup> 31~33
ENDF/B-6 (美国)	1990 (1990 1991)	319	319	18	70	34
JENDL-3 (日本)	1989 (1989)	340	340	0	59	0 <sup>5)</sup> (~30)
JEF-2 (欧洲)	1987 (1990)	314	314	0	48	6
CENDL (中国)	1992 (1991)	67 (200)	67	18	22	7
BROND-2 (原苏联)	1990 (1992)	121	121	0	21	0

注：1) 文档 1~5，中子反应数据；2) 文档 6，双微分截面；3) 文档 12~15， $\gamma$  产生数据；4) 文档 31~33，协方差数据。

5) 重要的裂变核、结构材料和反应堆冷却剂。

### 1.3 JEF-2.2 和 JEFF-3<sup>[4]</sup>

欧共体的 JEF 库有两部分，通用库 JEF 和聚变堆用库 EFF。从 1996 年开始了它们的最新版本 JEF-2.2 和 EFF-4。二者已于 1999 年完成并提供使用。与此同时，NEA 决定于 1997 年将二者合并，建立 JEFF-3 库，此库将于 2001 年完成。JEFF-3 是综合库，是多用途的，特别是对裂变堆、核废物处理、加速器驱动系统和聚变。较之 JEF-2.2，JEFF-3 有下列特点和发展：

- (1) 改进了数据质量保证体系；
- (2) 主要同位素能量延伸至 150 MeV；
- (3) 重点在协方差数据；
- (4) 考虑到 JEF-2.2 基准检验结果；
- (5) 采用欧洲活化库 (EAF) 的最新版本。

### 1.4 CENDL-2.1 和 CENDL-3<sup>[5]</sup>

中国的 CENDL-2.1 于 1993 年完成发行，虽然包含了代表当时先进水平的双微分截面和协方差文档，说明我们在评价方法、评价技术和评价手段上具有相当的水平，但核素比较少，很难满足实用的需要。我们从 1996 年开始建立 CENDL-3，并将于 2000 年底按计划完成。较之于 CENDL-2.1，CENDL-3 将有下列特点和改进：

(1) 增加核素至约 200 个，其中包括裂变产物核 91 个，所有这些核的数据都是新评价和计算的；

(2) 增加结构材料核同位素的数据，与天然元素数据同时给出，天然元素数据与其同位素数据之间满足物理上的自洽关系；

(3) 部分轻核的双微分截面数据明显改进；

(4) 重要裂变核素数据的更新改进，如  $^{235,238}\text{U}$ ， $^{239}\text{Pu}$  等；

(5) 与宏观检验紧密结合。

### 1.5 BROND-2.2 和 BROND-3<sup>[6]</sup>

俄罗斯（原苏联）的 BROND-2.2 于 1993 年底完成，此后作了一些评价改进，特别是铀系核素数据。但看不出其国内的统一安排和计划，大多是国际合作（ISTC）项目。大约于 1997 年他们提出了建立 BROND-3，但至今没有具体的计划和时间表，无从知道所包含的内容和完成时间。

## 2 国际评价中子核数据库发展趋势

综合各国评价核数据库发展和现状，分析国际原子能机构正在进行的 CRP 项目<sup>[7]</sup>和 NEA WPEC 的 Subgroup<sup>[8]</sup>，可以看出当前国际评价核数据库发展的一般趋势。

### 2.1 协方差数据

协方差数据对核数据的实际应用很重要，如评价设计的精度，群常数的调整等。然而由于协方差数据评价的困难性，虽然在 20 世纪 80 年代就已经开始，但至今各库的协方差数据还很不完全。如表 1 所示，除 ENDF/B-6 中有部分协方差数据外，其他库中只有很少的或根本就没有协方差数据。将于 2001 年完成的日本的 JENDL-3.3<sup>[3]</sup>和欧洲的 JEFF-3<sup>[4]</sup>的重要改进之一均是增加重要核素的协方差数据，日本几乎已完成了这方面的工作。为了适应这种需要，NEA WPEC 正在组织一个工作组<sup>[9]</sup>，其工作内容包括准备协方差数据，产生群常数的协方差，用协方差数据调整群截面，收集研究用户反馈意见。工作组的目标是发展协方差评价方法，研究协方差文档处理中的问题，完成用协方差数据对核数据的调整。工作组将从 2001 年开始，约 2003 年结束。协方差数据，国内用户已提出了需要，已列入了核数据“十五”规划，是“十五”期间核数据评价的重要任务之一。该工作组与我们“十五”期间的协方差任务同步，对我们会有很大帮助和促进。

### 2.2 标准数据

众所周知，ENDF/B-6 中的标准数据（H， $^3\text{He}$ ， $^6\text{Li}$ ， $^{10}\text{B}$ ， $^{12}\text{C}$ ， $^{197}\text{Au}$ ， $^{235}\text{U}$ ）是国际公认通用的，是核数据测量、评价的基础。但这些数据是 1987 年评价的，距今已经 13 年了，这期间有了许多新的重要测量，原有的标准已过时，需要综合的全面重新评价（图 3 给出一个例子）。为此，NEA WPEC 已经建立了一个工作组<sup>[10]</sup>，其工作内容包括实验数据的收集评价，建立实验测量数据库， $R$  矩阵计算（ $^6\text{Li}$ ， $^{10}\text{B}$ ）及推广的最小二乘法同

时评价。将要评价的截面包括  $H(n, n)$ ,  $^{10}B(n, \alpha)$ ,  $^{10}B(n, \alpha_1)$ ,  $Au(n, \gamma)$ ,  $^{235}U(n, f)$ ,  $^{238}U(n, f)$ ,  $^3He(n, p)$  及  $C(n, n)$  新的实验数据很少, 不包括在内。实验数据的收集已在进行, 有许多新完成的数据, 但有些还在进行。评价何时完成还不能确定, 但至少要 3~4 年。与此同时, IAEA 正在着手建立一个 CRP<sup>[7]</sup>, 解决轻核标准的协方差问题。ENDF/B-6 标准数据的评价, 特别  $R$  矩阵的计算给出的误差太小, 因而, 美国评价工作组标准分委员会给出了一组扩大的误差, 其数值是假定利用现代最好的技术进行标准截面的测量, 将有约 2/3 的结果落在所给的误差范围内。这只是一个假设, 只是一个半定量的估计。CRP 的任务是比对  $R$  矩阵的计算, 研究误差的传递, 严格地、定量地给出轻核标准截面的协方差矩阵。CRP 将于 2002 年开始, 要 3~4 年时间才能完成。

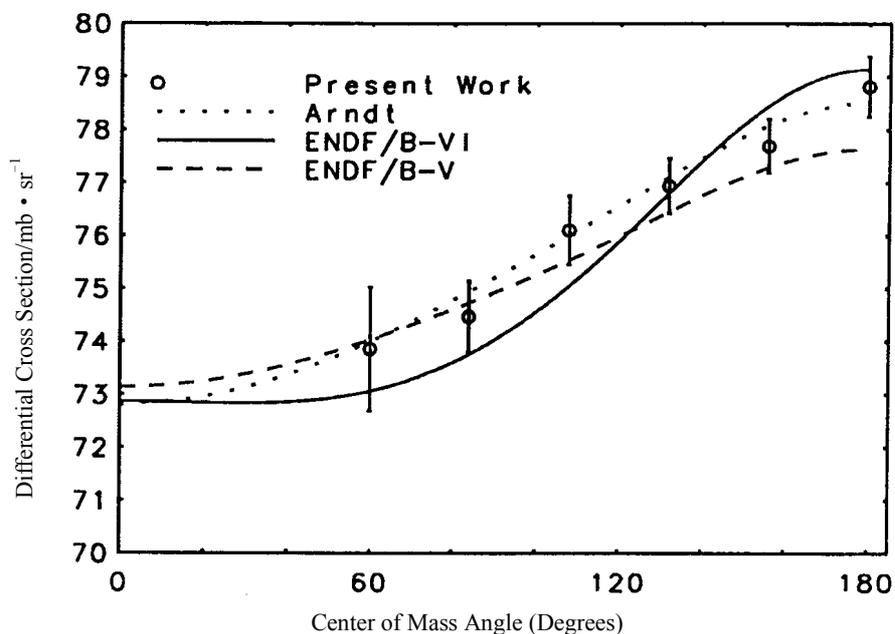


图3  $H(n, n)$  散射微分截面,  $E_n=10$  MeV

### 2.3 中高能数据

由于加速器驱动 (ADS) 的需要, 近几年来中高能数据有了很大发展, 许多国家都建立了专用中高能数据库, 如美国的 LA150, 欧洲的 NRG/CEA, 日本的 JENDL/HE, 俄罗斯的 IPPE/FZK, IPPE/KTH。这些库的共同特点是:  $n$  和  $p$  入射, 其入射能量上限到 150 (50) MeV, 下限为 20 MeV (20 MeV 以下利用已有的数据), ENDF/B-6 格式。在此基础上 NEA WPEC 先后成立了两个工作组<sup>[11]</sup>, 第一个是“中能核数据的评价”, 研究了中能核数据评价计算方法, 收集、编纂形成中能核数据库, 并进行了检查。第二个是“中能评价核数据库的处理和检验”, 用 NJOY 把评价库的微观数据处理成 MCNP 工作库, 并用 MCNPX 进行计算, 与日本的宏观测量数据 (68 MeV 中子打到不同厚度的 Fe 及其他材料的板上, 探测在不同的位置的泄漏谱) 进行比较。结果表明 LA150, NRG/CEA

(ECN/BRC) 均与实验很好符合 (见图 4)。

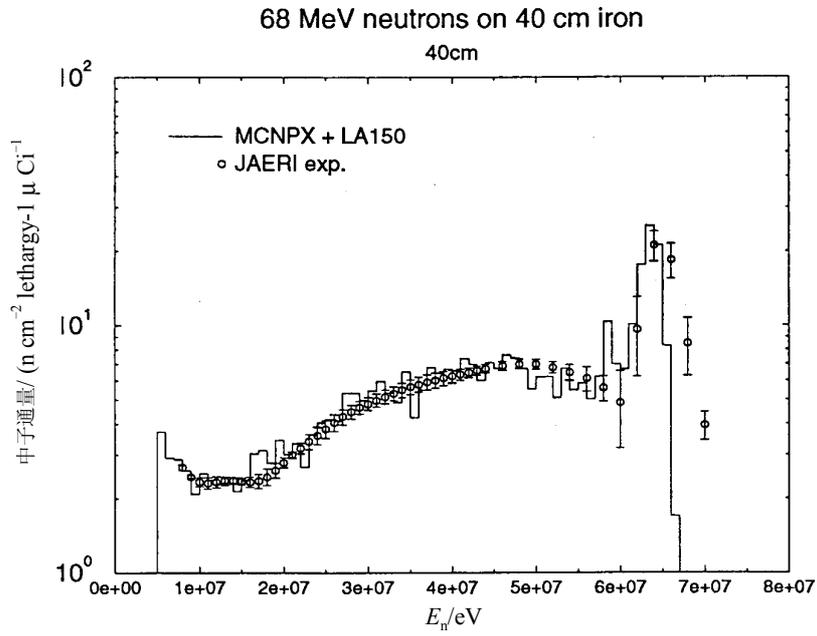


图 4a 中能核数据的检验: (68 MeV 中子, 40 cm Fe, MCNPX+LA150)  
(1 Ci=3.7×10<sup>10</sup> Bq)

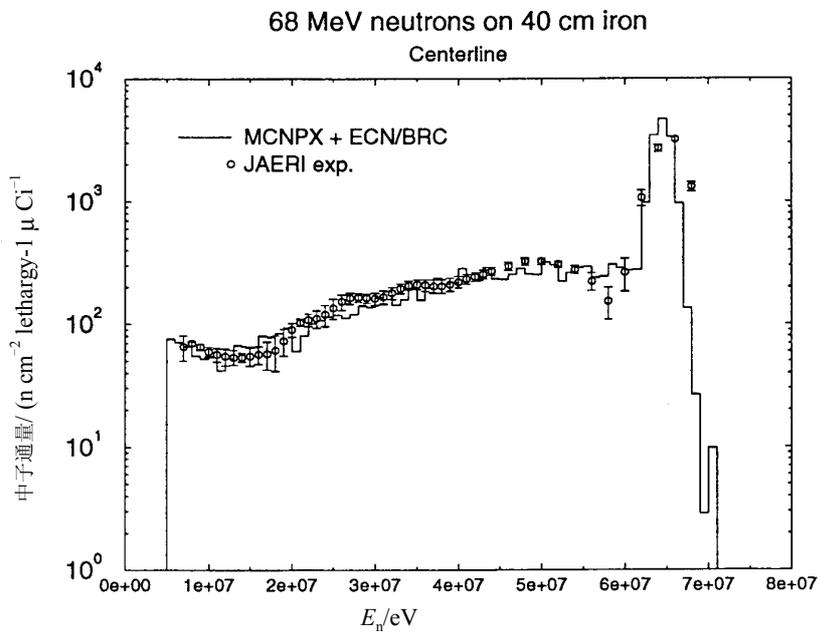


图 4b 中能核数据的检验: (68 MeV 中子, 40 cm Fe, MCNPX+NRG/ECN)

## 2.4 专用库

为了满足某一领域的特殊需要，发展通用库（General purpose file）的同时，以通用库作基础，同时补充、改进一些特殊需要的数据，建立各种专用数据库（Special purpose file）。如日本 JENDL<sup>[3]</sup>的聚变数据库 JFF96（1998 年发行，下同），铀系核数据库（2001），剂量数据库 JENDL-D99（1999），活化截面数据库 JENDL-A96（1996），高能数据库（2000），KERMA 因子数据库（2000），光核反应数据库（2000）等。欧洲 JEF<sup>[4]</sup>的聚变数据库 EFF2.4（1999），高能数据库（2001/2002），衰变数据库（2001/2002），裂变产额库（2001/2002）等。

## 2.5 模型理论计算程序和输入参数

为建立评价核数据库，相应地发展了核数据模型理论计算程序及相应的输入参数库。如美国的 GNASH, TNG, MCGNASH, 欧洲的 JALYS, 日本的 DSD 等。在此基础上，NEA WPEC 曾组织了核模型程序比对、检验工作组，并且于 1999 年又决定建立了一个核模型程序<sup>[12]</sup>工作组，研究发展建立一个国际上通用的、功能强的、模块化的核反应模型程序，用于核数据评价和理论研究。这个程序将类似于群常数加工制作程序 NJOY，即很好地检验过，可靠并广泛应用。该组已经开始工作，取得了不少进展。与此同时，IAEA 还组织了核模型计算输入参数库（RIPL）的 CRP<sup>[7]</sup>，现在第一阶段已经完成，建立了国际的 RIPL，正在进行第二阶段，对其进行检验和改进，产生一个检验过的国际标准模型计算输入参数库，发展相应的计算程序和与国际通用核模型计算程序的接口程序。该 CRP 从 1998 年开始，预计 2001 年结束。上述 NEA WPEC 核模型工作组和 IAEA 标准模型计算输入参数库的 CRP 的工作完成以后，可望国际将有一个通用的核模型计算程序和国际标准的核模型计算输入参数库。

## 2.6 网上在线检索服务和光盘<sup>[7]</sup>

最近几年，国际核数据库在技术上最重要的发展是网上在线检索服务，IAEA 核数据科的统计数字充分说明了这一点（见表 2），可以看出，1999 年，在线检索已占总数的 94%。离线检索，包括文件资料的出版物，数据软盘、磁带及光盘等，虽然略有增加，但仅占不足 6%。在线检索包括，Telnet 和 Web，后者增加的尤为迅速。现在 5 个评价中子数据库及其有关资料均可从网上直接检索（CENDL-2.1 和 BROND-2 可由 NDS 的网址检索）。

为了解决拉丁美洲地区上网检索速度慢，提高核数据服务的质量，IAEA/NDS 已经在巴西建立了一个与 NDS 完全一样的数据库，叫作镜像站点（Mirror Site 或 Mirror Library）。包括硬软件的安装和举办地区性的讲习班，现在站点已正常运转，为拉美地区提供服务。NDS 正在考虑在亚洲建立类似的库，我们中国在这方面有许多有利条件，正在争取，如能成功，将对我们的计算机条件、数据库管理和在线检索均会有很大改善。

国际核数据在技术上发展的另一个重要特点是以光盘提供数据。现在一些重要数据，如美国的 ENDF/B-6, 日本的 JENDL-3.2, 中国的 CENDL2.1, 国际聚变核数据库 FENDL-2.0, 国际实验中子数据库 EXFOR, 国际中子数据计算机索引 CINDA 等，均以光盘（CD-Room）提供，并带有相应的检索程序，在微机上使用起来很方便。

表 2 IAEA/NDS 核数据检索、存取按年统计

Type of Medium	Year				
	1995	1996	1997	1998	1999
<b>Offline retrievals prepared upon request, including:</b>	<b>1556</b>	<b>786</b>	<b>1846</b>	<b>1995</b>	<b>2290</b>
Documents (hardcopies)	1155	554	1547	1533	1060
Data (diskettes)	373	219	286	115	105
Data (CD-ROM)	-	-	-	205	420
<b>Online retrievals (Telnet)</b>	<b>4462</b>	<b>5688</b>	<b>7350</b>	<b>2700</b>	<b>2180</b>
<b>Online retrievals (Web)</b>			<b>40</b>	<b>4964</b>	<b>9070</b>
Including retrievals from:					
ENDF			-	2618	4820
EXFOR			32	784	568
CINDA			3	470	498
NUDAT			5	1092	3185
<b>Web pages accessed</b>			<b>40</b>	<b>18474</b>	<b>26195</b>
NGAtlas			286	613	1074
MIRD			257	453	493
Thermal Neutron Capture			353	714	514
IRDF90-NMF90			259	322	263
Masses			337	479	428
Programs			1109	1695	1769
FENDL			279	580	440
RIPL			23	841	962
Newsletters and Reports			787	1256	1376

### 3 国际评价中子核数据库的使用

原则上，国际评价中子核数据库的数据可以不受限制地免费地从网上检索取用。按照国际正式协议，世界上四个核数据中心，美国的 NNDC，欧洲的 NDB，俄罗斯的 JDC 和 IAEA 的 NDS 分别负责美国和加拿大、西欧和日本、独联体、东欧和其他发展中国家核数据的收集和服务，我国属于 IAEA/NDS，因而可以更多地、更方便地从 NDS 检索或取要所需的数据。

中国核数据中心已经与世界上其他数据中心，如美国的 NNDC，日本的 NDC，俄罗斯的 JDC，欧洲的 NDB，特别是 IAEA 的 NDS 建立了联系和合作，互相交换信息、数据和资料，参加有关的国际会议和合作。上述五个评价中子核数据库的数据均在数据中心的评价核数据库中，原则上免费为国内用户提供服务，根据用户的需要进行检索，以 E-mail，软盘，光盘，打印等多种形式提供。

如果现有数据不能满足需要，如现有的数据库中没有，需要进行新的评价，或已有的数据需要加工处理（如由共振参数处理成点截面，由微观数据制作成群常数等等），或相关的计算等，可向中国核数据中心提出任务，由中心进行安排。提出任务的渠道有两种，一是通过上级主管部门，作为任务下达；二是订立双边合同。

从以上介绍可以看出，国际评价核数据库不论在内容上技术上都在不断地进一步发展，各有关国家和国际组织都为此做了很多工作，且在继续努力。我国用户可通过不同渠道

方便地得到这些数据。

### 参考文献

- 1 Lemmel H D, et al. IAEA-NDS-7 Rev. 97/12 (1997.12)
- 2 Dunford C L. Report on 12th Meeting of the Working Party on International Nuclear Data Evaluation Co-operation, June 20-21, 2000, JARERI, Tokai, Japan
- 3 Akira Hasegawa. Report on 12th Meeting of the Working Party on International Nuclear Data Evaluation Co-operation, June 20-21, 2000, JARERI, Tokai, Japan
- 4 Robert Jacquemin. Report on 12th Meeting of the Working Party on International Nuclear Data Evaluation Co-operation, June 20-21, 2000, JARERI, Tokai, Japan
- 5 LIU Tingjin. Report on 12th Meeting of the Working Party on International Nuclear Data Evaluation Co-operation, June 20-21, 2000, JARERI, Tokai, Japan
- 6 Ignatyuk A. Report on 11th Meeting of the Working Party on International Nuclear Data Evaluation Co-operation, April 19-21, 1999, BNL, USA
- 7 Lone M A, Muir D W. INDC(NDS)-414 (2000, 4)
- 8 Claes Nordborg, NEA/SEN/NSC/WPEC(98)2, Report on 11th Meeting of the Working Party on International Nuclear Data Evaluation Co-operation, April 19-21, 1999, BNL, USA
- 9 Kawano T. WPEC subgroup proposal, Report on 12th Meeting of the Working Party on International Nuclear Data Evaluation Co-operation, June 20-21, 2000, JARERI, Tokai, Japan
- 10 Carlson A D. Status Report of Subgroup 7 to NEANSC WPEC, Report on 12th Meeting of the Working Party on International Nuclear Data Evaluation Co-operation, June 20-21, 2000, JARERI, Tokai, Japan
- 11 Koning A J. Report on 12th Meeting of the Working Party on International Nuclear Data Evaluation Co-operation, June 20-21, 2000, JARERI, Tokai, Japan
- 12 Chadwick M B, Koning A J. Report on 12th Meeting of the Working Party on International Nuclear Data Evaluation Co-operation, June 20-21, 2000, JARERI, Tokai, Japan



刘廷进：中国原子能研究院研究员，北京大学兼职教授。1963 年中国科学技术大学原子核物理和工程系毕业，1967 中国科学院原子能研究所研究生毕业，中子物理专业。主要从事中子物理研究和核数据评价及建库工作。

LIU Tingjin: Professor working in China Institute of Atomic Energy, Concurrent Professor of Peking University. Graduated from the Department of Nuclear Physics and Engineering, China University of Science and Technology, in 1963. Graduated as post student from Atomic Energy Institute, the Chinese Academy of Sciences in 1967, specialized in Neutron Physics. Majoring in Neutron Physics research and nuclear data evaluation and nuclear data library development.