

核物理数据智能化管理和网络共享的研究

樊铁栓¹⁾ 郭之虞¹⁾ 刘文龙¹⁾ 叶卫国¹⁾ 冯玉清¹⁾ 宋翔翔¹⁾ 黄 钢¹⁾ 洪英觉¹⁾
刘廷进¹⁾²⁾ 陈金象¹⁾ 唐国有¹⁾ 施兆民¹⁾ 刘 驰¹⁾ 黄小龙²⁾ 陈佳洱¹⁾

¹⁾ 北京大学重离子物理研究所, 重离子物理教育部重点实验室, 北京 100871)

²⁾ 中国核数据中心, 中国原子能科学研究院, 北京 102413)

(2003 年 12 月 24 日收到)

通过对主要的国际核物理基本数据资源收集、遴选和研究分析, 建立了各类数据集合的完整数据字典, 以关系模型理论和面向对象编程技术为指导, 研究设计了不同种类的关系型核物理数据库的管理和检索工具, 实现了由核物理基础数据、关系型数据库管理系统、数据应用服务软件和网络与数据库安全保障等部分组成的核物理数据智能化管理与共享信息系统. 基于 Linux + Apache + SSL + PHP + MySQL 的系统配置, 将在线计算技术和数据可视化研究相结合, 实现了三大类型的 9 个关系型的国际核物理数据库的网上发布, 向用户提供包括在线检索、模糊查询、在线计算和图表绘制等多种智能化共享服务.

关键词: 核物理基础数据, 关系型数据模型, 数据可视化, 在线数据服务

PACC: 2980, 0650D, 9575M

1. 引言

核物理学及其相关学科的长期发展, 人类已经积累了大量的核物理基础数据资源, 发展了不同的核理论模型, 它们反映了原子核的基本性质和核相互作用的基本规律. 自上世纪 90 年代以来, 随着极端条件下核性质、中高能核物理、核天体物理和粒子物理等前沿领域研究的不断深入, 国际及国内新一代大型核实验设施相继建造并投入运行, 源源不断地产生着新的物理结果和实验数据. 在通过新的核物理实验测量、理论模型计算和深入的数据评价不断丰富核物理基础数据资源的同时, 利用先进的计算机技术和网络信息技术开展核物理数据的计算机化管理和有效共享研究, 是新的具有重要意义的研究课题. 近年来在国际核物理学界已经形成了一个十分活跃的研究领域^[1-7]. 国际上一些重要实验室的研究工作已经导致了传统的核物理数据研究手段和共享方式发生了意义深远的变革, 如国际原子能机构提供的核物理数据网上在线检索服务已经占其数据发布总量的 94% 以上^[3, 4].

从 1975 年以来, 我国核物理工作者在核物理数据的收集、编评、理论与实验研究和数据服务等方面进行了大量的工作. 但是由于各种原因, 截至 2001

年, 国内核物理数据的交换主要还是以离线方式(计算机软盘、光盘、磁带和纸介质等)进行, 国内还没有任何核物理数据资源的网上在线查询服务, 也没有任何国外著名核物理数据库站点在国内的镜像. 这种明显滞后的发布手段和共享水平限制了核物理数据广泛而低成本的使用, 对国内核科学研究、核能工业发展和核技术应用带来了不可忽视的影响, 从一个方面凸显了我国核科学信息化建设的滞后.

本文将核物理基础数据研究与先进的计算机信息技术相结合, 研究建设了一个大型的基于关系型数据库理论的核物理数据智能化管理和网上共享信息系统^[8-10], 依托 Linux + Apache + SSL + PHP + MySQL 的系统配置, 通过因特网提供了 9 个著名的国际核物理基础数据库包括在线检索、模糊查询、网上计算和在线图表显示在内的多种数据共享服务, 系统具有操作系统平台无关的性质和智能化远程管理功能.

2. 关系型核物理数据库研究与智能系统功能的实现

由于历史的原因, 国际上积累的核物理数据全部是以固定格式的文本文件发布和交换的, 其特点是数据格式与数据内容混编, 物理数据与应用程序

之间有较强的依赖性,难以进行有效的版本管理和灵活的数据查询,也不能对多种格式的数据文件实行统一管理,导致数据修改维护和二次开发的成本很高.另外,由于核物理数据的实验测量、理论计算和物理编评等研究工作实际上是由国际上众多实验室的大量科学家集体合作进行的,随着合作实验室数量、核物理数据的新种类和数据用户计算机环境的多样性在不断增加,要求新一代核物理数据管理与共享信息系统对各种类型数据库实行统一管理,能够提供更高标准的数据质量保证,并从根本上降低合作实验室的数据研究费用和数据共享成本^[11].为了解决以上的问题和满足新需求,本工作针对主要的国际核物理源数据进行收集、遴选和需求分析,将数据逻辑关系从原有物理数据中剥离,建立各类数据集的完整数据字典,以关系模型理论和面向对象编程技术为基础,研究设计包含不同种类核物理数据的关系型数据库,并进行数据的在线二次处理和可视化研究,选择具有跨系统平台特性的 Linux + Apache + SSL + PHP + MySQL 软件配置,实现大量

核物理数据的智能化管理和网上共享服务.

从核物理基础数据资源的完备性、权威性和用户需求诸因素考虑,描述核反应机理和核结构性质的数据成为本工作的首选物理内容.结合原始数据具有的数据量大、浮点型数据的数值跨度大和数据类型比较规则等特点,进行数据结构抽象和概念模型设计,消除可能的冗余数据和冗余联系,产生相应关系库表设计的基本 E-R(实体-联系)图.作为例子,图 1 给出了 ENDF(evaluated nuclear data file,评价核数据文件)^[12]格式数据的基本 E-R 图.遵循通用的 E-R 模型向关系模型的转换原则实现从实体到关系模式的转换,由关系模型直接转换得到数据表结构.利用面向对象程序设计理论,进行了创建库表、数据导入和系统查询等方面的程序设计,使用 SQL 语言实现数据库表.通过建立适当的索引存储方法,提高大数据量下运行数据库时的查询效率.程序设计中利用了结构化编程特点,重视程序代码的重用性和程序功能的单一化,以便进行系统扩充和系统修改.

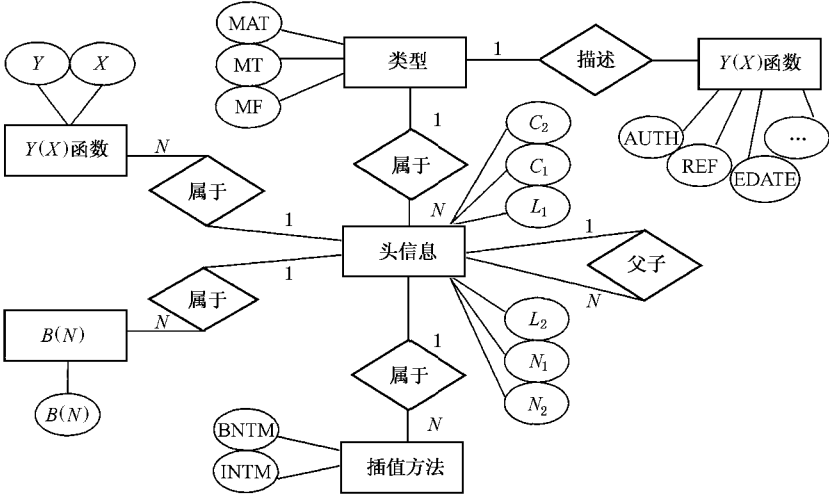


图 1 ENDF 数据的 E-R 图(图中圆形及其名称表示各个实体的属性,具体含义从略)

利用 Linux + Apache + SSL + PHP + MySQL 构建数据库驱动的动态网站,关系型数据库的相应管理技术提供了数据安全保密的基本保障.采用 Linux 操作系统的相应安全技术,实现了包括对读、写进行权限控制、带保护的子系统、审计跟踪、核心授权等,为网络环境中的用户提供了必要的安全保障.对系统用户和数据库用户分别进行账号及密码管理.

核物理数据智能化管理和信息共享系统的逻辑结构如图 2 所示,分为核物理数据库、数据库管理系统、智能化在线检索和用户查询引擎等模块.核物理数据库模块包括了基于关系型数据库理论实现的全部物理数据库.数据库管理系统模块承担关系型数据库系统管理的全部功能,系统可远程完成数据库维护、恢复、版本管理、性能监视和分析等工作,通过版本管理系统实现源数据的输入、修改和更新.系统

还提供包括日志文件管理、查询帮助、核数据文献资料下载、重要核数据程序下载、数据研究动态和核数据资源链接等诸多服务。

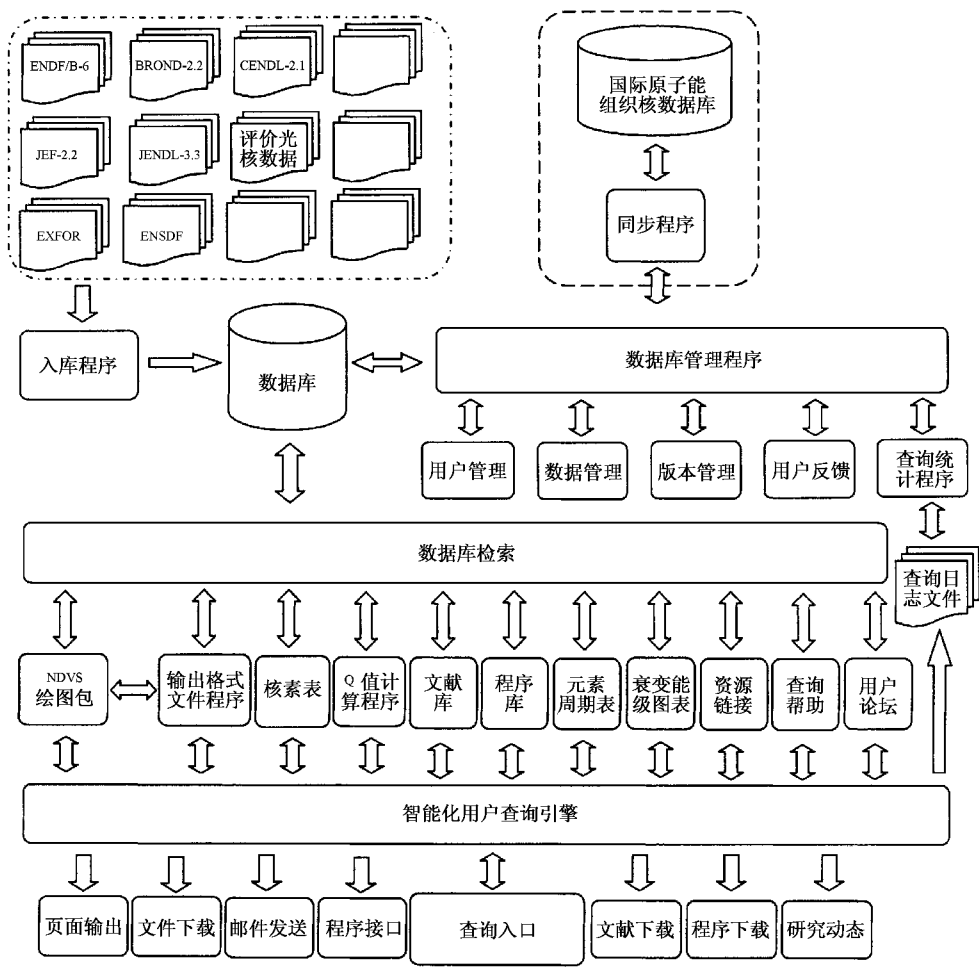


图 2 核物理数据智能化共享信息系统的逻辑结构框图

3. 核物理数据共享与数据可视化实现

3.1. 9 个关系型核物理数据库介绍

本工作实现了国际著名的 9 个核物理数据库的关系型数据管理和在线发布共享功能,可完成网上在线浏览、模糊查询、在线计算、在线绘图、页面输出、数据文件和程序下载、查询结果和邮件发送等多种操作.对于中子核反应、光核反应和带电粒子核反应的各种重要物理量的评价数据,实现了 7 个 ENDF 格式的关系型数据库管理和在线共享服务: 1)BROND-2.2,俄罗斯(USSR)评价中子数据库,提供了 121 个核素的中子核反应数据; 2)CENDL-2.1,中国评价中子数据库,收集有 67 个核素的中子核反

应数据; 3)ENDF/B-6,美国评价中子数据库,收集了 325 个核素的中子核反应数据; 4)JEF-2.2,欧洲核能机构(OECD/NEA)评价中子数据库,收集有 313 个核素的中子核反应数据; 5)JENDL-3.3,日本评价中子数据库,包含超过 300 种核素的中子核反应数据,分为基本库和导出库; 6)IAEA Photonnuclear Data Library,国际光核数据库,包含了 48 个核素的 164 个同位素的评价光核数据,入射光子能量直至 140MeV; 7)FENDL(国际聚变评价核数据库)的带电粒子核反应数据,包括了 $^2\text{H}(d,n)^3\text{He}$ 、 $^2\text{H}(d,p)^3\text{H}$ 和 $^3\text{H}(t,2n)^4\text{He}$ 等 5 个重要的带电粒子核反应截面数据.全部数据均可以按照靶核、入射粒子、剩余核、反应道(MT 号)等多种条件进行在线模糊查询,以 ENDF、宽表、窄表等不同格式输出包括中子角分布、不同反应截面和出射光子多重性等物理量在内的大

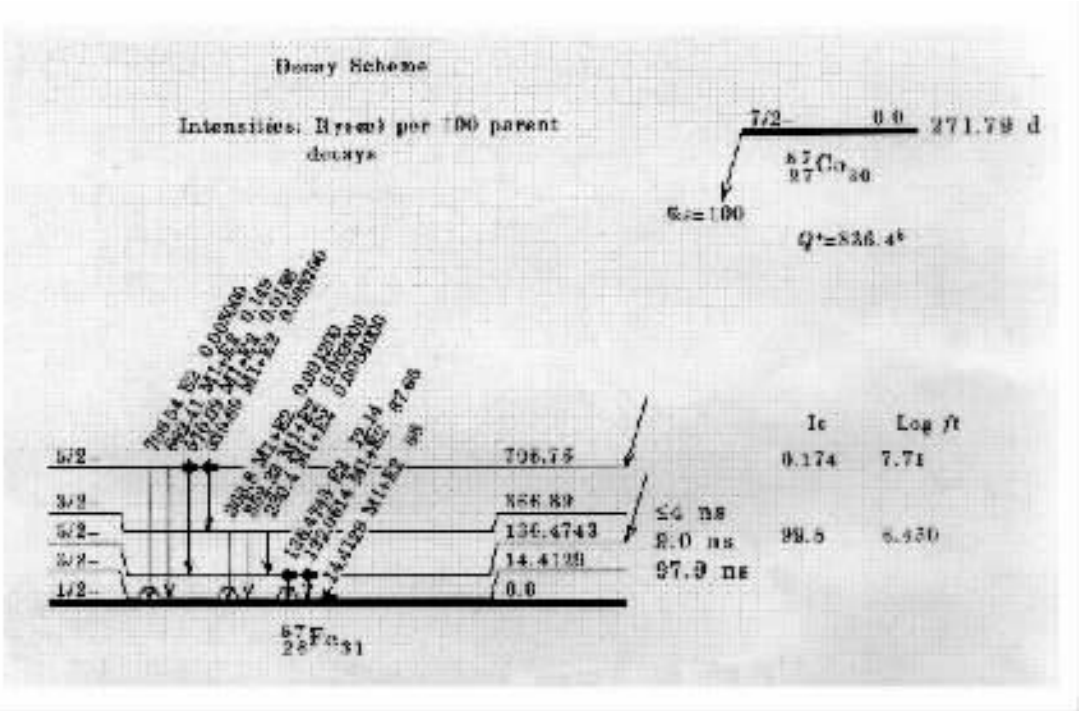


图 4 在线绘制的⁵⁷Fe 衰变纲图

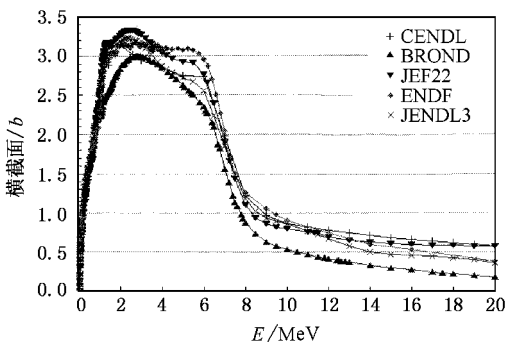


图 5 在 5 个关系型评价中子数据库查询中子诱发²³⁸U 弹散反应数据并在线输出激发函数曲线

4. 结 论

本工作将核物理基础研究与计算机信息技术相结合,利用先进的关系型数据库理论和面向对象程序设计原理,实现了三大类型的9个国际核物理基

础数据库的智能化管理和网上共享服务.该系统实现了整体数据的结构化管理,具有共享性高、冗余度低、易于扩展的特性,可以在从 Windows NT 系统到 Solaris,Unix 和 Linux/xBSD 系统等大量流行平台上运行.这样一个基于关系型数据库理论的网上核物理数据智能化检索、在线计算与绘图软件系统的研究和运行,为下一代的国际核物理数据库的研究及其共享,提供了更高标准的数据质量保证,降低了核物理数据研究费用和数据共享成本,为通用的核物理数据库系统设计和开发提供了一种可行方案,将会促进核反应机制和核结构性质的前沿基础研究和核技术的应用研究.

作者对中国核数据中心在本论文工作中给予的全力支持表示感谢.中国原子能科学研究院核物理研究所夏海鸿教授、庄友祥教授、于保生教授、张竟上教授、葛志刚教授、金永利博士和西北核技术研究所常永福教授曾给予有益的建议和讨论,在此表示感谢.

- [1] Fuketa T 2002 *J. Nucl. Sci. Tech.* supp. **2** 1 Atomic Energy Press)IS3 :1-16
- [2] Muir D W and Herman M 2001 *Report INDC(NDS)*423 [9] Fan T S *et al* 2004 *Ann. Nucl. Energy* **31** 1275
- [3] Oblozinsky P and Schwerer O 1998 *Report INDC(NDS)*378 [10] Fan T S *et al* 2004 *Atom. Energy Sci. Tech.* (in Chinese) accepted [樊铁栓等 2004 原子能科学技术 已接受]
- [4] Oblozinsky P 2002 *J. Nucl. Sci. Tech.* supp. **2** 1493 [11] Pronyay V *et al* 2001 *Proc. of Inter. Con. Nucl. Data for Sci. Tech.* (Ibaraki , Japan)
- [5] Nouri A *et al* 2002 *J. Nucl. Sci. Tech.* supp. **2** 1480 [12] McLane V *et al* 1997 *Report INDC(NDS)*76(Revision 5)
- [6] Grebennikov A N *et al* 2002 *J. Nucl. Sci. Tech.* Supp. **2** 1464 [13] Pronyaev V G *et al* 1987 *Report INDC(NDS)*421
- [7] Zerkov V , Web page of the IAEA Nuclear Data Service , <http://www-nds.iaea.org/ndspub/zvview/> [14] Tuli J K 1987 *Report BNL-NCS-51655*
- [8] Fan T S *et al* 2002 *Proc. 13th Pacific Basin Nuclear Conf.* (Beijing :

Study of relational nuclear databases and online services

Fan Tie-Shuan¹⁾ Guo Zhi-Yu¹⁾ Liu Wen-Long¹⁾ Ye Wei-Guo¹⁾ Feng Yu-Qing¹⁾
 Song Xiang-Xiang¹⁾ Huang Gang¹⁾ Hong Ying-Jue¹⁾ Liu Tin-Jin^{1 2)} Chen Jin-Xiang¹⁾
 Tang Guo-You¹⁾ Shi Zhao-Ming¹⁾ Liu Chi¹⁾ Huang Xiao-Long²⁾ Chen Jia-Er¹⁾

¹⁾ (Institute of Heavy Ion Physics , Peking University and Key Laboratory of Heavy Ion Physics , Ministry of Education , Beijing 100871 , China)

²⁾ (Chinese Nuclear Data Center , China Institute of Atomic Energy , Beijing 102413 , China)

(Received 24 December 2003)

Abstract

A relational nuclear database management and web-based services software system has been developed. Its objective is to allow users to access numerical and graphical representation of nuclear data and to easily reconstruct nuclear data in original standardized formats from the relational databases. It presents 9 relational nuclear libraries : 5 ENDF format neutron reaction databases (BROND , CENDL , ENDF , JEF and JENDL) , the ENSDF database , the EXFOR database , the IAEA Photonuclear Data Library and the charged particle reaction data from the FENDL database. The computer programs providing support for database management and data retrievals are based on the Linux implementation of PHP and the MySQL software , and are platform-independent. The first version of this software was officially released in September 2001 .

Keywords : nuclear data , relational data model , visualization of data , online data services

PACC : 2980 , 0650D , 9575M