

核数据的应用及其重要性

王甘棠

核数据是核物理科学研究成果以精确的数值表示的形式，同时也是核能应用与核工程设计的基本依据和出发点。核数据不仅具有重要的科学价值，而且具有重要的使用价值与经济价值。当今世界已积累了数以百万计的核数据，并建立了功能相当齐全的核数据库，能够对用户提供很方便的服务。

核数据的应用范围很广，凡是应用到核反应、核辐射与同位素的地方，都要用到相应的核数据。实际上，核数据是以不同的重要性和精度要求出现在核科学技术及其应用的所有分支领域。

• 核数据与裂变堆

核裂变反应堆大致可分为热堆与快堆两种类型。热堆在技术上已经相当成熟，热堆核电站已在经济上与常规电站相竞争，被认为是本世纪末和下世纪初世界能源的重要补充。快堆已有示范堆，快堆核电站正处在发展研究阶段，快堆能够利用贫乏增殖核燃料，将使人类有足够资源和时间迎接聚变堆时代的到来。

裂变堆的物理设计、安全运行、辐射屏蔽、燃料循环等，要求有大量的、系统的、精度较高的核数据。一般说来，对反应堆所有材料（包括裂变燃料、结构材料、冷却材料、控制材料、屏蔽材料等等）和中子能谱覆盖的整个能区（0—20MeV）的中子数据都是需要的。由这些微观数据计算出反应堆的宏观参数，也称积分量，诸如临界质量，反应率、中子能谱中心反应性价值等。据估算，由于核数据不确定性引起的燃料成本的不确定性相当于一座100万千瓦快堆，运行成本的不确定性为90万美元/年；而有效增殖系数与功率非均匀系数为1%的误差，则分别对应的年费用就是200万和100万美元。以有效增殖系数为例，如果以1%的精度预言有效增殖系数 K_{eff} ，那末， K_{eff} 所依赖的微观中子数据的精度要求最低限度是：平均裂变中子数 \bar{v} 应为1%， Pu^{239} 俘获截面比 α 应为10—20%， Pu^{239} 裂变截面比应为5—10%， U^{238} 吸收截面与 Pu^{239} 裂变截面比应为3—5%。

提高核数据的精度，无疑有现实的经济意义，同时也是安全的要求。近年来世界上用于保证安全防护的投资有越来越高的趋势，核电站设计的安全系统不断增加，一是增加新的安全系统，二是原来的非安全系统升级为安全系统，安全系统的数目由1960年的10个增加到1978年的50个。用于安全防护的投资占设计总投资的比重从1975年的30%增加到1981年的50%。古代建筑师在对力学参数不甚精确了解的条件下也能设计建造相当壮观的建筑物，靠的是经验和多

打安全系数。在今天，核工程的精确设计对核数据提出了很高的要求。

热堆的商用化标志着热堆技术的成熟。这也许会造成一种错觉，似乎热堆设计对核数据的精度要求已经满足。其实不然，仔细分析热堆设计对核数据的要求，一些主要数据只达到了下限要求，有的还相差很远。而且，成熟的技术会得到更广泛的应用，技术本身还要发展。据国际原子能机构（IAEA）预测，到2000年，核电在世界总发电量中的比重将由1982年底的10%上升到23%。所以，继续提高精度的努力是很有意义的。

• 核数据与核聚变

以聚变堆为动力的核电站是迄今为止最理想的新型能源之一，它的实现将为人类从根本上解决能源问题提供可能。聚变反应（热核反应）的研究以及聚变堆的物理设计，当前正处在科学可行性研究阶段和概念设计阶段。虽然还有相当艰难的路程，但是，光辉的前景已经呈现在我们的面前，甚至有人乐观地认为聚变堆可能超越或代替快堆。

聚变反应和聚变堆物理设计对核数据的需要是急切的。与裂变堆相比，不仅需要大量的中子数据，特别是14MeV中子数据及辐照损伤数据，而且需要大量的带电粒子数据和原子分子数据。涉及到远比裂变堆为多的核反应，所涉及的核素包括聚变核素，易裂变核素以及裂变堆所涉及的核素，还有轻杂质核素，低Z材料、捕集材料，以及作为第一壁的冷却层、反射层、屏蔽层等的结构材料等。

当前，聚变研究与聚变堆设计所需要的核数据不足，这或许是聚变堆设计的主要困难之一。为此，聚变堆设计需要的中子数据、带电粒子数据和原子分子数据已引起了普遍关注，并且已开始了国际性的合作计划，以便在不太长的时间内提供这些数据。

• 核数据与核武器

核数据在核能的开发与利用中，核武器占重要地位，这已是众所周知的公开秘密。早在四十年代初期，在美国发展原子弹的“曼哈顿计划”期间就开始了系统收集核数据的工作。随着“曼哈顿计划”的扩大，于1948年成立了中子截面咨询委员会，并有计划地收集和编纂了中子截面数据。核数据的初期发展阶段实际上是与核武器的发展紧密伴随的，只是后来才逐步扩展到民用方面。

核武器所需要的核数据与裂变堆、聚变堆所需要

的核数据有许多共同之处,它要求有关裂变核素、热核材料、结构材料及重要裂变产物的全套中子数据,但它涉及到许多与裂变、聚变堆不同的材料和核素,因为核爆炸产生的中子通量非常强,有许多在一般反应堆不能产生或即使产生也不重要的核素变得重要了。就区而言,所关心的重点也不完全一样。核武器的热测试以及核武器的地下试验对核数据提出了某些特别的要求。

就目前国外核武器发展动向来看,小型化是主要目标。小型化对核数据的精度与类型提出了更加苛刻的要求。

几十年来的历史证明,世界核大国的核军备竞赛从不因核裁军的“马拉松”谈判而止步。公开试验的次数减少了,追求核数据精度的努力加强了。足够精确和充分的核数据可以减少某些耗资巨万的热试验。在目前的国际气氛下,要完全停止核军备竞赛是不可能的。

• 核数据与核废物处理

核工业的兴起和核电站的运行,使核废物的积累量越来越多。据报道,西欧的核电站到1981年已生产了大约3575吨的放射性废物,到1990年将猛增到23000吨。世界核电的最大用户美国已生产了8000吨放射性废物,到2000年仅锕系核产物的积累量将增加到1300吨,而届时的年处理量只有110吨。

反应堆运行产生的裂变产物和锕系核素,都是高放射性的。特别是锕系核素,衰变寿命很长,将给人类带来长期的放射性公害。裂变产物涉及800多种核素,锕系核涉及200多种核素,如何处理积累量越来越多的核废物,引起了人们的关注,是一个必须解决的迫切问题。这在技术上是相当困难的。美国第一座民用后处理厂由于技术、财政和政治原因已于1972年关闭。核废物处理方法的研究,需要裂变产物和锕系元素的所有中子截面和衰变数据,特别是裂变产物的俘获截面、裂变产额、缓发中子数以及锕系元素的裂变和俘获截面数据等。

• 核数据与核技术应用

随着反应堆、加速器、同位素生产的发展,核技术应用领域不断扩展。核技术除用于核能领域,更大量的在“非能”应用方面,这主要是核粒子辐射的应用和同位素的生产及应用。例如,农业上的育种、增产、贮藏保鲜、防治、免疫分析,工业上的检测、探矿、分析、材料改性,生物医学上的核诊断、核治疗、核剂量、生物效应研究,以及地质年代学、核化学、水文学、法学、大气物理、宇宙飞行等等。犹如灿烂的山花,五彩缤纷,不胜枚举。核技术在非能方面的应用最主要的有活化分析、示踪技术、同位素生产和核粒子辐照。这些应用在广阔的领域向核数据提出了越来越多的要求,涉及的

核数据应用的主要领域

应用领域	使用核数据的主要方面	所需要的主要核数据类型
核能应用(包括核动力、核武器)	裂变堆: 物理设计、运行、安全、燃料增殖废物处理、同位素生产等。	所有燃料、慢化、冷却、控制和结构材料的中子核反应数据, 裂变产物的中子截面数据和产额数据, 衰变数据等。
	聚变堆: 聚变研究、堆物理设计、安全辐射损伤、造氚、核热估算等。	中子数据, 特别是14MeV中子辐照损伤数据, 带电粒子核反应数据, 原子分子数据以及裂变堆所需要的一切数据。
	辐射屏蔽: 包括船用堆、空间用堆和宇航飞行的屏蔽	有关结构和屏蔽材料的中子数据和 γ 产生数据。
	生物学和医学	衰变数据、核反应数据, 以及 π 介子重离子数据等。
农业	育种、增产、贮存保鲜、防治、免疫、遗传的辐照与示踪、土壤分析等。	衰变数据
地质学和考古学	地质年代、宇宙年代、找水、探矿、油水分析等。	中子散射、俘获和活化截面、带电粒子活化截面、 γ 数据、衰变数据。
工业	活化分析、粒子束分析、监测、探伤、控制、材料处理、改性等。	核衰变数据、核反应数据。
自然科学	核物理、凝聚态物理、天体物理、化学。	核结构数据、核衰变数据、核反应数据。

核素更多,能区范围更宽,例如核医学需要中子能量高于20MeV到100MeV的核数据。

综上所述,一些主要领域对核数据的需要如表所示。当然,核数据也用于核物理学自身,它对核物理学自身的发展起着重要的推动作用。所以,核数据的重要性不仅表现在它对国家经济建设和国防建设的重要贡献,而且也表现在基础研究方面的重要作用。