

高能辐射领域分析设备国产化现状与对策分析

陈双凯, 杜静玲, 赵志祥

(中国原子能科学研究院, 北京 102413)

摘要: 分析中国高能辐射领域分析设备国产化的现状与挑战, 并提出相应对策。通过文献调研与实地考察, 阐述了高能辐射领域分析设备国产化的必要性、市场需求、进口依赖程度及自主研发现状。研究发现, 国产设备面临市场推广困难、自主研发能力不足、关键部件依赖进口等问题。针对这些问题, 研究建议提升国产设备的综合性能指标、加强核心器件自主研发能力, 并提高国产品牌的市场竞争力。研究结果旨在为中国高能辐射领域分析设备的自主创新和产业发展提供策略支持。

关键词: 高能辐射; 分析设备; 国产化; 自主研发; 市场竞争力

中图分类号: G323; G327 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2024.01.006

高能辐射领域分析设备是具有高精度、高灵敏度、高可靠性和高智能化等特点的核领域应用仪器, 可对核材料、燃料、废料和环境进行有效检测、分析和评价, 为核能开发、安全监测和处理提供科学依据和技术支持。高能辐射领域分析设备因需处理放射性样品, 通常具备防护功能, 部分需在密闭环境中操作。设备分为通用型(如质谱仪、光谱仪等)和专用型(如伽马能谱仪、加速器质谱仪等)。

高能辐射领域分析设备在中国核工业发展中具有重要作用和应用前景。一方面, 随着中国核能规模化、多元化和清洁化的发展, 对高能辐射领域分析设备的需求不断增加, 尤其是在新型反应堆、先进燃料循环等领域, 需要更高性能的设备来满足更严格的技术标准和安全要求。另一方面, 随着中国科技创新能力的提升, 对高能辐射领域分析设备的自主研发和产业化也有了更强的动力和信心, 通过引进消化吸收和自主创新相结合的方式, 不断突破关键技术和核心部件, 提升产品质量和竞争力。

然而, 中国高能辐射领域分析设备国产化也面临诸多问题。第一, 市场需求大而供给不足。核

工业全产业链对高端分析设备需求紧迫, 包括地质勘探、核燃料元件制造、核电厂运维和乏燃料后处理等领域, 这些都需要高端分析设备的支持。如质谱仪用于探测铀矿地理来源^[1]; 色谱法有效分离锂-6元素和锂-7元素^[2]; 光谱仪检测主蒸汽湿度^[3]、分析核事故样本^[4]; γ 能谱仪广泛用于乏燃料组件破损检验^[5]等。目前中国自主生产的高能辐射领域分析设备在市场中的占比低^[6], 大部分设备仍依赖进口。第二, 自主研发能力弱而创新难度大。由于高能辐射领域分析设备涉及多学科多领域的复杂技术, 需要长期持续的基础研究和关键技术攻关。第三, 关键部件依赖进口而制约发展。受国外技术封锁和出口限制^[7], 如探测器、离子源和真空泵等还不能完全自主生产或达到国际先进水平。第四, 国产品牌市场难拓展。根据实地调研, 国产分析设备品牌推广难的原因主要有两个: 一是国内政产学研用结合不紧密。产品应用端与开发端存在脱钩现象, 供需双方沟通不畅, 供方对需求方了解不够。二是国内设备质量有待提升。由于国产产品质量不稳定, 故障率高, 间接造成了国内用户

第一作者简介: 陈双凯(1993—), 男, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为情报调研与战略研究、核技术及应用。

通信作者简介: 赵志祥(1950—), 男, 硕士, 研究员, 主要研究方向为加速器驱动核能系统研究、共振参数和平均共振参数分析、核数据评价及评价方法研究、核反应截面系统学研究、数据处理和误差分析。电子邮箱: zhaozx1950@163.com

收稿日期: 2023-09-26

不愿购买使用国产产品, 严重制约国内产业发展。

为了促进中国高能辐射领域分析设备国产化的发展, 本文将从以下两个方面进行研究。一是对中国高能辐射领域分析设备国产化的现状进行分析, 包括重要性需求分析、产品进口情况和自主化研发等方面; 二是提出中国高能辐射领域分析设备国产化的对策建议, 包括提高国内产品综合性能指标、提升国内高端分析设备核心器件自主研发能力和国产品牌市场推广能力等方面。

1 高能辐射领域分析设备国产化现状分析

1.1 高能辐射领域分析设备重要性需求分析

高能辐射领域分析设备是核能领域中不可或缺的一部分, 对于核工业的发展具有重要意义。这些设备能够提供精准、高效、可靠的分析结果, 从而为核工业的安全、稳定和可持续发展提供重要的技术支持。如核能发电需要大量的高能辐射领域分析设备进行安全监控、性能评估和故障排除。这些设备能够实时监测核反应堆的状态和运行情况, 及时发现和解决潜在的安全隐患, 确保核能发电的稳定性和可靠性。根据国家能源局 2023 年 4 月公布的核电机组数据^[8], 随着中国核电机组数量的增加, 每台机组需要配置的高能辐射领域分析设备数量也在大幅增长。在核医学中, 高能辐射领域分析设备能够精确地测定放射性药物的活度浓度, 从而保障患者的安全和治疗效果; 对于核材料, 高能辐射领域分析设备能够提供材料性能评估和质量控制, 从而保障核材料的安全和可靠性。根据中国核能行业协会发布的《中国核技术应用产业发展报告(2023)》^[9], 预计 2025 年, 中国核技术应用可达万亿元市场规模, 其中涉及的高能辐射领域分析设备数量巨大。高端分析设备作为核工业领域必需的分析工具, 随着核工业的蓬勃发展, 其市场发展潜力将会是巨大的。

1.2 国内高能辐射领域分析设备主要依赖进口

当前, 中国高能辐射领域分析设备市场主要由海外产品主导, 国内产品市场份额较小, 竞争力不足。本文调研涉及质谱仪和色谱仪等多种仪器。

质谱仪。根据《2022 年中国质谱仪行业分析报告》, 中国的中高端质谱仪市场主要被国际知名分析仪器公司如沃特世、安捷伦和赛默飞等占据。

2018 年, 中国质谱仪市场规模为 111.93 亿元, 其中, 国外厂商占有率为 85.6%, 国内厂商仅为 14.4%。2020 年, 中国进口质谱仪商品规模为 105.3 亿元, 国外厂商在中国质谱仪市场的占有率为 74.05%。

色谱仪。根据《2020—2026 年中国高效液相色谱仪行业市场发展现状调研与投资趋势前景分析报告》和仪器信息网数据, 中国色谱仪市场中, 安捷伦和岛津占有率约为 50% 和 30%。在液相色谱仪市场, 安捷伦、岛津、沃特世和赛默飞 4 家跨国公司占据约 90% 的市场份额。在气相色谱仪市场, 安捷伦和岛津分别占据 34% 和 23% 的份额, 其他国外品牌如珀金埃尔默等已在中国建厂生产, 国外产品合计占据中国色谱仪市场份额的 74%。

扫描电镜。中国扫描电镜市场约 90% 的份额被海外厂商占据, 其中蔡司、赛默飞(含飞纳)和日立分别占据 22%、21% 和 19% 的份额。国内品牌仅占 10%。排名前 3 位的外国企业所占扫描电镜市场份额均约为 20%, 享受大部分市场红利。

伽马能谱仪。高分辨率、低本底伽马能谱仪市场主要由美国阿美特克奥泰克(AMETEK ORTEC)公司^[10]、堪培拉(CANBERRA)公司^[11]等海外厂商占据, 其在全球市场份额较高, 其中中国市场是他们的主要销售对象。中国伽马能谱仪市场几乎全部被国外厂商占据, 占有超过 90%, 部分类型伽马能谱仪甚至达到 100%。美国阿美特克奥泰克公司是全球领先的核辐射测量设备制造商, 提供全面的谱学测量产品, 主要服务于工业界、学术界和政府机构。堪培拉公司的产品线覆盖整个核测量领域, 也受到中国用户的喜爱。

加速器质谱仪(AMS)。全球 3 家主流加速器质谱仪装置研制公司分别是美国的国家静电公司(NEC)、荷兰的高压工程公司(HVE)和瑞士的艾昂普拉斯(Ion-Plus)股份有限公司。国家静电公司最早开发加速器质谱仪商用装置, 生产多型号产品。高压工程公司主要生产中低电压系列加速器质谱仪装置。艾昂普拉斯则以小型化加速器质谱仪装置为主, 具有场地小、费用低和操控简单等优点。中国尚无具备自主研发生产能力的加速器质谱仪装置公司, 市场份额中至少 50% 被国外产品占据。

中子多重性测量装置。全球中子多重性测量装置研发以欧美为主导, 美国开发的最多且最成熟,

研发机构包括赛默飞世尔、劳伦斯利弗莫尔国家实验室 (LLNL) 和橡树岭国家实验室 (ORNL) 等。这些国外产品在中国市场占比远超国内自主研发产品, 占比超过 60%, 且更受用户喜爱。

近 10 年来, 中国核领域用户对高能辐射领域分析设备的需求不断增长, 这一市场主要由国际知名公司所占据。然而, 中国企业也在不断进步, 例如, 在色谱仪市场, 国内厂商已占据一定份额。此外, 国内政策对于国产化设备的研发给予了大力支持, 为国内企业提供了发展机遇。虽然目前国外产品在市场上仍具有先发优势, 但随着国内技术的不断突破, 高能辐射领域分析设备的自主化生产正在逐步实现。

1.3 国内自主化研发情况分析

中国高能辐射领域分析设备制造单位起步较晚, 面临关键技术瓶颈、成本控制难和资金缺乏等问题, 多数产品覆盖中低端市场。但随着需求增长、投资增加和政策利好, 部分优秀企业崛起, 部分仪器达到国际先进水平。本文以质谱仪、光谱仪、色谱仪、伽马能谱仪和加速器质谱仪为例进行分析, 其中光谱仪和色谱仪在一些方面技术门槛较低, 近年发展迅猛, 较其他仪器发展得更好。

质谱仪。中国已独立研发多种质谱仪, 包括电感耦合等离子体质谱仪 (ICP-MS)、二次离子质谱仪 (SIMS) 和加速器质谱仪等, 达到国际先进水平, 应用于同位素比值测定与微量元素分析等。上市公司中, 聚光科技 (杭州) 股份有限公司^[12]在质谱研发与生产销售方面表现突出, 拥有强大的研发实力和产品线。自 2015 年成立子公司谱育科技 (杭州) 发展有限公司专攻质谱研发, 2019 年其电感耦合等离子体质谱仪产品实现国内量产并升级, 达到了国际先进技术水平。其他涉及质谱研发和生产的公司包括广州禾信仪器股份有限公司、江苏天瑞仪器股份有限公司、舜宇光学科技 (集团) 有限公司、北京东西分析仪器有限公司、北京普析通用仪器有限责任公司等。

光谱仪。中国光谱仪研制起步晚, 但发展迅速。光谱仪包括荧光、紫外、红外和拉曼光谱仪等。光谱法按照电磁辐射的本质可分为原子光谱法和分子光谱法, 前者包括原子吸收光谱、X 线衍射和 X 线荧光光谱等, 后者包括拉曼光谱、近红外光谱和

分子荧光光谱等。

在原子光谱领域, 中国已能独立研发多种 X 线衍射仪, 如 X 线粉末衍射仪 (XRD), 用于分析晶体结构等。丹东浩元仪器有限公司^[13]是专业生产 X 线衍射仪和应力仪的高新技术企业, 其中, DX 系列仪器在稳定性、分析精度和射线探测效率等方面表现出色。在原子吸收光谱仪方面, 北京普析通用仪器有限责任公司、北京北分瑞利分析仪器 (集团) 有限公司和北京瀚时仪器有限公司的产品代表国产最高水平, 性能指标如分辨率和检出限接近国际水平。这些仪器具有独特技术, 如 TAS-990/986^[14]采用横向加热石墨炉, WFX-220^[15]实现高速瞬间升温, 而 CAAM-2001^[16]则集成了多种原子吸收分析方法。

在分子光谱领域, 中国的发展逐渐壮大。拉曼光谱仪^[17]主要由科研机构 and 高校研制, 如浙江大学和北京大学。随着需求增长和技术进步, 国内涌现了奥谱天成 (厦门) 光电有限公司、南京简智仪器设备有限公司等生产厂家。除了拉曼光谱, 近红外光谱仪^[18]也有很多单位在进行研发, 研发厂家包括北京英贤仪器有限公司、北京北分瑞利分析仪器有限公司等。在分子荧光光谱仪方面, 上海棱光技术有限公司、天津港东科技股份有限公司和上海仪电分析仪器有限公司等都是国内知名品牌。这些品牌相关仪器^[19-21]的性能指标已达到国际水平, 具备高灵敏度、高信噪比等特点。

色谱仪。色谱仪分为气相色谱仪和液相色谱仪。气相色谱仪的研发涉及多家研究所、大学和工业部门, 后又有国家企业和民营企业加入^[22]。近年来, 国内气相色谱仪生产商不断进步, 如江苏天瑞仪器股份有限公司生产的 GC-M6800 气相色谱质谱联用仪达到国家相关标准, 显著减少了对进口设备的依赖。此外, 浙江福立分析仪器股份有限公司、东西分析仪器有限公司、天美 (中国) 科学仪器有限公司、北京分析仪器厂和上海分析仪器厂等厂商在气相色谱仪领域取得良好成绩。液相色谱仪国产品牌主要有上海伍丰科学仪器有限公司、大连依利特分析仪器有限公司和山东鲁创分析仪器股份有限公司等。上海伍丰科学仪器有限公司拥有三大液相色谱系统产品, 赢得用户赞誉^[23]。大连依利特分析仪器有限公司是高新技术企业, 其产品性能指标已达到或超

过国外同类产品^[24]。山东鲁创分析仪器股份有限公司专业生产液相色谱仪及相关产品, 产品稳定性高, 已通过 ISO9001 国际质量体系认证^[25]。

伽马能谱仪。虽然国内伽马能谱仪整体发展水平与国外仍存在一定的差距, 其中核心探测器相关技术一直被国外垄断。但清华大学和同方威视技术股份有限公司^[26]经过 10 余年的科技攻关, 已实现高纯锗探测器及谱仪的国产化, 性能达国际水平。高纯锗探测器研制涉及的关键技术均已实现自主化, 这些关键技术包括探测器设计、电极制备、低温/低噪声前端电子学设计等。清华大学从 2009 年起开始高纯锗探测器的技术攻关, 建成了可以完成高纯锗探测器所有工艺步骤的实验室, 并经过了 10 余年的努力掌握了通用 P 型同轴、点电极和反向同轴等探测器制备的所有核心技术。

加速器质谱仪。中国原子能科学研究院(以下简称原子能院)是国内唯一自主研发加速器质谱仪装置的单位, 已实现专用加速器质谱仪装置的国产化。在 AMS 装置国产化和小型化方面取得了卓有成效的研究成果, 这表明中国在 AMS 小型化方面处于国际先进水平。此外, 由国内相关专家创办的启先核(北京)科技有限公司是专门从事加速器质谱仪和高端质谱仪研发与生产的专业化公司, 其超强电离加速器质谱仪/MS 实现了真正质量谱的测量^[27]。

其他类型高能辐射领域分析设备。原子能院成功实现了铀丰度在线分析仪的国产化并研制出了快中子多重性测量装置工程样机, 除少部分部件以外, 其他部件已全部实现国产化。

通过上述案例, 可以看出国产高能辐射领域分析设备虽然起步晚, 整体性能与国外设备存在较大差距, 但得益于政府的大力支持和科研人员的持续创新, 已有一部分仪器达到了国际先进水平, 也涌现出了一批优秀厂家。尽管国内自主化道路充满挑战, 但前景充满希望。

2 高能辐射领域分析设备国产化对策分析

2.1 问题分析

根据上述高能辐射领域分析设备国产化现状分析, 本文提出其存在以下 3 个主要问题。

2.1.1 国内产品综合性能指标差

由于中国高能辐射领域分析设备产业发展滞

后, 产品开发时间较晚, 迭代不足, 导致产品整体稳定性较差, 技术指标与国外设备存在较大差距。本文以电感耦合等离子体质谱仪、紫外分光光度计、气相色谱仪、液相色谱仪和扫描电子显微镜为例, 说明国内外产品指标之间的差别。

中国电感耦合等离子体质谱仪生产商较少, 技术不成熟, 稳定性和可靠性较差。相较之下, 进口设备具有可调节离子化能量(5 ~ 240 eV 任意调节)、整体成形共轭双曲面四极杆作为质量分析器、独立加热最高可达 180 °C、质量轴稳定性优于 0.10 amu/48hr、质量范围大于 1 000 amu 等特点。

根据紫外分光光度计国家检测标准要求, 设备的基线稳定性要求为每小时小于 ± 0.0002 Abs (340nm 处), 噪声水平要求为 ± 0.00005 (RMS)。目前国产紫外分光光度计基线稳定性为每小时小于 ± 0.0004 Abs (340nm 处), 噪声水平为 ± 0.0001 (RMS)。而进口设备更加稳定, 其基线稳定性和噪声水平均能达到国家紫外分光光度计检测标准。

中国国产气相色谱仪的检出限为百万分之一, 与进口仪器的十亿分之一相比, 差距较大。国产气相色谱仪的采样频率为 100 Hz, 而进口仪器能够达到 500 Hz。这一差距为国内企业在提升产品性能方面提供了改进空间。

国产高效液相色谱仪的流速准确度一般为 3% ~ 5%, 而进口仪器可以达到 $\pm 1%$ 的准确度。此外, 国产仪器的最高操作压力一般为 40 MPa 左右, 而进口仪器操作压力 ≥ 60 MPa。这些差异会影响分析结果的准确性和稳定性。然而, 国内企业正致力于提升产品性能, 并在成本控制和服务支持方面具有优势, 为市场提供了多样化的选择。

北京中科科仪股份有限公司是中国性能最好的扫描电子显微镜生产厂商之一, 但其在 30 kV 电压下的分辨率只能达到 1 nm, 而日本日立生产的扫描电子显微镜在 30 kV 电压下却能达到 0.4 nm 的分辨率, 远好于国内指标, 是全球分辨率最好的产品。

2.1.2 国内设备核心器件依赖进口, 关键技术未掌握

高能辐射领域设备的核心器件在全球只有少数供应商, 而国内核心器件的国产化程度较低, 难以自给自足。产品供给的稳定性受国外几家大型供

应商的影响较大。

例如，禾信仪器制造企业每年需要用40%的净利润购买质谱仪所需的高端通用零部件，如高端激光器和分子泵。光谱领域，其核心部件如光栅、高性能滤光片、芯片等，大多仍依赖进口。此外，离子色谱仪的色谱柱研发技术、样品处理技术以及色谱处理软件等方面仍未能完全实现国产化，部分器件仍依赖进口。伽马能谱仪的多种类型探测器也未全部实现国产化。虽然已有实现国产化的探测器，例如，清华大学自主研发的高纯锗伽马探测器，但国内伽马能谱仪行业整体并未完全脱离依赖进口的局面。随着西方势力对中国的科技封锁加剧，高能辐射领域分析仪器整机及关键核心器件存在断供风险。

2.1.3 国产品牌市场推广难

国外高能辐射领域分析设备知名厂商已形成较大规模，占据先发优势，相比之下，中国起步较晚，目前主要集中在中低端市场。究其原因，主要有以下两个：一是国内政产学研用结合不紧密，供需双方沟通不畅；二是国产产品质量不稳定，故障率高。

此外，中国国产分析仪器市场还面临技术更新快、用户对品质和服务要求高和市场竞争激烈等挑战，这些因素使国产品牌更加难以发展和推广。以服务为例，国内外厂商存在明显差距，国外厂商的服务技术水平高、质量好且种类丰富，而中国国内厂商的技术和服务水平较低，难以满足客户需求。这主要是因为国外品牌具有较大的用户群体，因此在售后服务领域投入了更多精力，使得仪器维修和升级服务水平均高于国内同类品牌，而中国国内厂商由于市场竞争力较弱，因此更注重生产和销售环节，从而忽略了售后服务的质量和水平提升。

2.2 对策建议

2.2.1 提高国内产品综合性能指标

在现有支持下进一步加强对本土企业的支持力度，鼓励本土企业进行应用研发，提高本土企业在高端分析设备领域的竞争力。

具体实施可以从以下两个方面入手：一方面，政府可以通过制定相关政策，加大对本土企业的资金和技术支持，促进本土企业的创新发展；另一方面，本土企业应该注重应用研发，积极引入新技术，

不断创新，提高产品的质量和性能，增强企业在高能辐射分析设备领域的竞争力。此外，本土企业还应该加强与高校和科研机构的合作，吸收外部先进技术，提高企业的技术水平和创新能力。

2.2.2 提高国内高能辐射领域分析设备核心器件自主研发能力

针对核工业领域急需的器件，建议相关部门在现有支持政策下进一步加大投入力度，扶持研究基础好、技术成熟度高和产品性能指标较好的研发生产单位。利用新型举国体制优势，提升科技创新能力。联合科研机构 and 高校，集中力量攻关关键技术和工艺，尽快实现自主可控。

促进国内外合作，引进国外先进技术和管理经验，加快国内高能辐射领域分析设备行业的发展。通过合作与交流中不断学习以提升核心器件的自主研发能力。

人才是第一资源，提升自身对高能辐射领域分析设备的研制水准需要加大对科研和人才培养的投入，培养更多具有国际竞争力的科研人才。高能辐射领域分析设备涉及核工业、环境科学、材料科学和物理学等领域。为提升该领域分析设备的自主研发能力，需要培养具有专业技能和跨学科知识的高端人才。例如，培养具备核物理、核工程和材料科学等基础知识的研究人才，掌握核工业分析设备的设计、制造和维护技能。培养核工业与环境保护、材料科学与核工程等方向的复合型人才，进行高能辐射领域分析设备的研究与创新，开发出更先进、更高效的设备和技术。

2.2.3 提高国产品牌市场推广能力

建立用户信任是品牌推广的关键，只有产品的质量和水平不断提高，才能够让用户对品牌产生信任。因此，企业需要注重产品质量的提升，建立完善的质量管理体系，加强生产过程的质量控制，提高产品的性能和质量，赢得用户对产品的信任。

品牌建设是品牌推广的关键部分，需要塑造和宣传品牌形象，提升知名度和美誉度。利用社交媒体、广告、赞助等方式可增加品牌曝光和认知。

在与用户合作交流中，企业要重视用户需求和反馈，及时解决问题，提升满意度与忠诚度。通过用户调研、建立用户俱乐部等方式加强互动，使得

用户参与品牌建设与改进。

此外, 国家可给予国产化设备政策扶持和资金支持, 鼓励政府部门、高校及科研院所优先购置国产科学仪器, 培育核心技术。例如, 建议用户单位优先采购国产分析设备并建立反馈机制, 提高产品更新速度, 激励技术创新, 使国产化产品逐步替代中高端进口产品。

3 结论

本文对中国高能辐射领域分析设备国产化的现状进行了分析, 通过重要性需求分析、产品进口情况、自主化研发等方面的案例与数据分析, 得出中国市场对高能辐射领域分析设备需求旺盛, 但却主要依赖进口, 虽然国内该领域分析设备产业整体发展滞后, 与国外存在差距, 但是随着国内政策向好, 技术水平不断有所突破, 未来定会打破国外垄断, 实现高能辐射领域分析设备完全自主化生产。

本文在国产化现状分析的基础上分析了国产化存在的问题, 并提出了提高国内产品综合性能指标、国内高能辐射领域分析设备核心器件自主研发能力和国产品牌市场推广能力的对策与建议, 以促进中国高能辐射领域分析设备的自主创新和产业发展。

本文认为, 高能辐射领域分析设备是科技创新的重要工具和国家战略的重要支撑, 对中国核能开发、核安全监测、核废料处理等领域具有重要作用, 应用前景广阔。实现该领域分析设备国产化, 不仅可以满足国内市场需求, 提高科研效率和质量, 降低成本和风险, 还可以提升中国在国际核技术领域的话语权和影响力。■

参考文献:

[1] 王俊涛, 汪雅菲, 耿晓光, 等. 自然伽马能谱测井资料在沉积地层分析中的应用 [J]. 能源与环保, 2022, 44(1): 27-32.

[2] 刘丛丛. 冠醚接枝聚砜膜色谱设计及锂同位素分离效应 [D]. 天津: 天津工业大学, 2018.

[3] 刘高勇. 原子吸收光谱仪测量示踪元素锂的方法研究 [J]. 能源与节能, 2019(9): 31-33.

[4] 徐照, 王琦, 吴瑾华, 等. 基于共线 DP-LIBS 检测环境

中核素铯的研究 [J]. 激光与光电子学进展, 2015, 52(8): 308-314.

[5] 刘国良. γ 能谱法在乏燃料组件总破损检验中的应用研究 [C]. 中国核学会核化工分会后处理专业委员会年会. 北京: 中国核学会, 2005: 100-105, 99.

[6] 张盖伦. 近九成科学仪器依赖进口, “国货”如何突围 [EB/OL]. [2023-09-12]. <http://finance.people.com.cn/n1/2021/0706/c1004-32149513.html>.

[7] 美国国防部. 2018 年核态势评估 [EB/OL]. [2023-10-07]. <https://media.defense.gov/2018/Feb/02/2001872889-1/-1/1/EXECUTIVE-SUMMARY-TRANSLATION-CHINESE.PDF>.

[8] 国家能源局. 2030 年前中国在运核电装机规模有望成世界第一 [EB/OL]. [2023-10-07]. http://www.nea.gov.cn/2023-04/28/c_1310715054.htm.

[9] 中国核能行业协会. 中国核技术应用产业发展报告: 预计 2025 年中国核技术应用可达万亿市场规模 [EB/OL]. [2023-10-07]. <https://www.china-nea.cn/site/content/42938.html>.

[10] AMETEK ORTEC. 伽马能谱仪仪器信息 [EB/OL]. [2023-10-07]. <https://www.ortec-online.com/>.

[11] 中国核学会. 2018-2020 核技术应用学科发展报告 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2021: 165-166.

[12] 聚光科技(杭州)股份有限公司. 质谱仪仪器信息 [EB/OL]. [2023-10-07]. <https://www.fpi-inc.com/>.

[13] 丹东浩元仪器有限公司. X 射线衍射仪仪器信息 [EB/OL]. [2023-10-07]. <http://www.haoyuanyiqi.com/>.

[14] 北京普析通用仪器有限责任公司. TAS-990 系列原子吸收分光光度计仪器信息 [EB/OL]. [2023-10-07]. <https://www.pgeneral.com.cn/nav/235/id/35.html>.

[15] 北京北分瑞利分析仪器(集团)有限公司. WFX-220 系列原子吸收分光光度计仪器信息 [EB/OL]. [2023-10-07]. http://www.bfirl.com.cn/art/2021/11/30/art_373_2.html.

[16] 北京瀚时仪器有限公司. CAAM-2001 系列原子吸收分光光度计仪器信息 [EB/OL]. [2023-10-07]. <http://www.hshth.com/productinfo/1537090.html>.

[17] 优尔论文网. 拉曼光谱仪国内外研究现状 (2) [EB/OL]. [2023-10-09]. http://www.youerw.com/yanjiu/lunwen_29803_2.html.

[18] 荧飒光学. 近红外光谱仪仪器信息 [EB/OL]. [2023-10-

- 09]. <http://insaoptics.com/product/186642.html>.
- [19] 上海棱光技术有限公司 . F97 荧光分光光度计仪器信息 [EB/OL]. [2023-10-07]. https://www.lengguang.com/product_detail/3.html.
- [20] 天津港东科技发展股份有限公司 . F-380 荧光分光光度计仪器信息 [EB/OL]. [2023-10-07]. http://www.tjgd.com/ProductsStd_300.html.
- [21] 上海仪电分析仪器有限公司 . 970CRT 荧光分光光度计仪器信息 [EB/OL]. [2023-10-07]. https://ydfx.inesa.com/shydfx_proyfgf/2022-11-01/Detail_164761.htm.
- [22] 搜狐 . 国内外气相色谱仪厂家发展历程 [EB/OL]. [2023-10-09]. https://www.sohu.com/a/252477806_100263749.
- [23] 上海伍丰科学仪器有限公司 . 液相色谱仪仪器信息 [EB/OL]. [2023-10-07]. <https://www.wufengtech.com/about-wufeng/introduction>.
- [24] 大连依利特分析仪器有限公司 . 液相色谱仪仪器信息 [EB/OL]. [2023-10-07]. <https://www.elitehplc.com/>.
- [25] 山东鲁创分析仪器股份有限公司 . 液相色谱仪仪器信息 [EB/OL]. [2023-10-07]. <http://www.lcsepu.com/>.
- [26] 中原新闻网 . 我国拥有了自己的高纯锗伽马能谱仪 [EB/OL]. [2023-10-26]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1745027679175013742&wfr=spider&for=pc>.
- [27] 启先核 (北京) 科技有限公司 . 加速器质谱仪仪器信息 [EB/OL]. [2023-10-07]. <http://qixian-ams.com/sy>.

Current Status and Countermeasures for Domestic Production of Analytical Equipment in the Field of High-Energy Radiation

CHEN Shuangkai, DU Jingling, ZHAO Zhixiang
(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413)

Abstract: This paper aims to analyze the current status and challenges of the domestic production of analytical equipment in the field of high-energy radiation in China, and to propose corresponding countermeasures. Through literature review and field investigation, the paper elaborates on the necessity and market demand for the domestic production of analytical equipment in the high-energy radiation field, as well as the level of import dependence and the current status of independent research and development. It's found that domestic equipment faces difficulties in market promotion, insufficient independent research and development capabilities, and reliance on imports for key components. In response to these issues, the paper suggests improving the comprehensive performance indicators of domestic equipment, strengthening the independent research and development capabilities of core devices, and enhancing the market competitiveness of domestic brands. The research results aim to provide strategic support for the independent innovation and industrial development of analytical equipment in the high-energy radiation field in China.

Keywords: high-energy radiation; analytical equipment; localization; independent research and development; market competitiveness