

核工业可持续发展的基石——核废料科学管理与处置

徐 凯

(韩国浦项工科大学(POSTECH)材料科学与工程学院及先进核能中心, 韩国 浦项)



徐 凯

摘 要:核燃料能量密度大、成本低、运输存储方便,且在发电过程中不产生任何大气污染。但核燃料在处理及加工中以及核设施退役过程中,产生的放射性废物或被其所污染的物质,即核废料,因难以再循环利用而具有长期危害。因此,如何高效、安全处置核废料一直是国际社会关注的热点话题。1978年,美国MRS秋季年会首次设置以科学管理与处置核废料为主题的Scientific Basis for Nuclear Waste Management分会场,集中重点讨论核废料固化基材(Waste-Form),涵盖核废料的存储、分离和地质处置等多学科,至此从未间断。该分会从最开始以寻找合适的固化基材为目标,到今天向更加深入研究固化基材结构、生产工艺、长期化学稳定性模拟计算的实际应用研究迈进。

关键词:核废料;核能;固化基材;核循环;MRS

1 前 言

目前,全球电力约13%由核能提供。法国高达约75%的电力来自核能,居世界第一。而美国每年生产的核能总量(约790太瓦·时/年)位全球首位,满足约20%的美国电力需求。截止2014年,中国运营的核电站共5座,仅为全国提供约2%的电力。随着我国经济的稳步发展和不断上涨的能源需求,政府已确定大力发展核电以解决化石燃料带来的严重大气污染。日前有超过30座核电站在建或确认筹建,在建机组数位居世界第一,预计到2020年,将为我国提供约5%的电能。

2 核废料分类及处理技术

核废料按放射性水平不同,可分为高、中、低三级。其中,中级和低级放射性废物占据主要部分,高放废物较少。全球每年制造超过20万 m^3 的中、低级放射性废物,仅产生约1万 m^3 的高放废物。一般来说,中、低级废物放射性低、寿命短,与外界隔绝一定时间,待其主要放射性核素衰变后,采用工艺简单、成本低廉的沥青、水泥或塑料等基材将其固化,然后做近地面浅埋处置($< 100\text{ m}$)。而高级放射性废物数量虽少,但含有较多长寿命的 α 、 β 放射体或高强 γ 放射体,如铯系元素、 ^{99}Tc 、 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 等,对人类活动危害极大,需置入深度大于500 m、透水性差的岩洞中封藏上千年。在做深地质处置之前,如何将这衰变时间长、放射性强的核素固化在耐辐射、耐长期化学腐蚀的稳定基材中,一直是MRS核废料科学管理分会场围绕的中心话题。

硼硅酸盐玻璃由于其耐辐射性强、化学性质稳定、生产工艺相对简单,因此已被美、法、英、德、日等国家应用于高放废物的固化。合成岩固化,又叫晶格固化,由澳大利亚科学家Ringwood教授于20世纪70年代末提出,将放射性核素固化于钙钛矿、碱硬锰矿、烧绿石、独居石、锆英石等晶体结构中,形成更强的耐腐蚀、辐射和抗压性的稳定基材,使得高放废物固化更加安全,但由于其生产工艺复杂、操作成本高昂,目前仅限于科学研究。

3 MRS核废料科学管理分会

参加该分会的研究机构主要来自发达国家的重点实验室及研究机构,如美国太平洋西北国家实验室、萨瓦娜河国家实验室、橡树岭和洛斯阿拉莫斯国家实验室、密西根大学以及西屋电气、法国原子能科学院、英国谢菲尔德大学、德国核废料管理中心、澳大利亚核科学与技术研究院和日本原子能研究所。

2014年美国MRS核废料科学管理分会场除继续讨论核废料玻璃生产工艺优化和合成岩基材结构外,特别邀请了来自日本九州大学、法国原子能科学院和美国太平洋西北国家实验室的科学家作了关于易挥发核素 ^{129}I 和 ^{99}Tc 的捕获、固化和处置研究报告,提出了用金属硫化物、焦炭溶胶和 SiO_2 气凝胶等材料捕获 ^{129}I 的想法和探讨了铸石固化尾气中 ^{99}Tc 的可行性。澳大利亚和德国的科学家继续就经高能射线辐照的烧绿石、独居石做了深入研究,除用传统的X射线衍射(XRD)分析外,还采用高分辨透射电镜(HR-TEM)、切入X射线衍射(GIXRD)和时间分辨激光荧光光谱(TRLFS)先进测试手段,证实了这些晶体结构在高能辐射后的稳定性。韩国作为一个新兴核能国家,发展迅速,其中约35%的电力来自核能。本次会议,韩国核电公司科学家也受到邀请,介绍了韩国中、低核废料的玻璃化应用及研究进展。

4 我国突破核电关键核心技术刻不容缓

核废料的处理与处置是核循环的最后一个环节,却是决定核工业和核能安全利用、能否持久发展的关键。我国核废料处理与处置虽起步较晚,但发展迅速。位于甘肃省的西北处置场已开始运行,但关键核心技术还是依赖国外,例如玻璃固化技术,包括玻璃体等,都需从德国引进。所以,为提升我国核工业竞争力,推动核电装备“走出去”,我国科学家仍需不懈努力。(DOI: 10.7502/j.issn.1674-3962.2015.02.11)

(编辑 惠 琼)