

# 智能机器人活跃核电舞台

随着我国核电发展,研发需求日益迫切

◆本报记者唐斐婷

在核电站核岛厂房反应堆换料水池上,一个看似体态笨拙的机器人正在手脚灵活地装卸核燃料,核电站工作人员则紧张地关注着换料进程。

这不是科幻电影里的场景,而是核电站里的一幕。除了装卸核燃料,这类体态憨厚、头脑精准、温暖如“大白”的核电站智能机器人还会在危急时刻挺身而出,为血肉之躯的工作人员筑起一道安全防线。

日前,由中国广核集团(以下简称中广核)牵头、国家863计划“核反应堆专用机器人技术与应用”课题在广西壮族自治区防城港核电基地通过国家科技部专家组的验收。

随着核电站建设数量的日益增加,我国核电站机器人的研发工作也进入了需求更为迫切的阶段。

## 完成人类不可能之重任

在位于广东省深圳市大亚湾核电基地的国家能源核能级设备研发中心实验基地,核电站机器人是重要的研发方向之一。每天都有不同种类的机器人在基地实验室的试验平台上进行实战演练与培训。

这个基地身兼核电技术研发与培训功能。为了让研发和培训效果更好,基地布局按照核电站的核岛设备1:1比例建设。“除了没有放射性,其他都与核电站的核岛一样。”中核核电技术研究院辅助设备研究所所长吴凤岐介绍,这也是国内第一个完备的核电技术研发、实验基地。

在这些机器人中,“老大哥”非“反应堆换料机器人”莫属。这个外观庞大的机器人横跨反应堆水池,跨度达7.9米,是每个核电站建设时必须配备的机器人之一。据吴凤岐介绍,它是反应堆专用的装卸核燃料组件的机器人,负责从核燃料厂房把一个燃料组件装进反应堆,或者从反应堆把乏燃料组件卸出运到核燃料厂房贮存。

“在核电站的应急救灾、事故处理、设备维修等方面,智能机器人及相关技术具有重要的应用价值。”吴凤岐告诉记者,“核电站专用机器人技术与应用”课题以核电站工程和运营需求为背景,研制核环境下代替人员进行工作,提高核电站安全性和经济性的机器人。

据了解,这一课题由中广核牵头,由中广核下属的多家单位及北京航空航天大学、北京理工大学、河北工业大学等高校共同参与完成,是国家“十二五”期间唯一一项核能机器人研发课题。经过4年多的研究,课题组掌握了相关应用技术并研制成功若干工程样



图为中科院核能技术研究院研发的换料机器人。

吴凤岐供图

机产品,且部分产品已经在防城港核电站得到工程示范应用。

“此次课题研发共包括6款核电智能机器人。”课题组组长、中科院核能技术研究院副院长张一心介绍说,目前我国是世界上在建核电机组最多的国家,机器人的需求量也日益增加。日本福岛事故后,我国核电站安全要求全面提升,核电机器人的研发工作也变得日益迫切。

## 解放高辐射环境下的工作人员

“核电站具有高放射性、环境复杂、空间狭小等特点。高放射性会严重危害维修、作业人员的身体健康,而智能机器人不惧危险环境作业,工作效率高、耐久性强,精确程度也大大超过人类。”在与机器人打交道多年的吴凤岐眼里,这些“大家伙”优点很多,但最重要的是“它们可以减少人员受到的高剂量辐射”。

据介绍,我国相关法律规定,核电站的每个工作人员接受的剂量照射一年不能超过50毫西弗,而企业的规定一般更为严格,一个工作人员每年不能超过20毫西弗的剂量。

“目前在我国核电站,一些剂量特别大的工作场所如果需要人员进入操作,如蒸汽发生器一次侧堵板工作,通常是采用剂量分担的方式去做。比如一组人员轮流进入,每个人进去1分钟~两分钟。”吴凤岐表示,这种方式相对麻烦,也存在一定风险。“因此,最好的方式是使用机器人替代,这也是我们未来研发的方向。”

据介绍,核电站智能机器人当前主要有两个研发方向。一是每个核电站

必备的机器人,主要负责完成核电站中人力不可能完成的任务,比如反应堆换料机器人、反应堆整体螺栓拉伸机、反应堆无损检测机器人等;而另一个研发方向则是研究尽可能减少核电站工作人员受照射剂量的机器人,在一些高辐射工作场所,尽管依靠人力也可以完成任务,但由于对人体伤害较大,因此,研发替代机器人尤为必要。

“以反应堆密封面打磨抛光机器人为例,这个机器人的主要功能是对核电站反应堆压力容器密封面和顶盖密封槽进行打磨、抛光和检测。”据吴凤岐介绍,以往压力容器密封面采用人工打磨的方式,顶盖密封槽由于密封面内凹设计,无法进行人工打磨抛光作业,并且此处剂量强度高,高出密封面3倍~4倍,以往采用不处理的方式,增加核电站设备的运行风险。压力容器密封面打磨一般需要10人~12人同时工作,连续作业20多分钟。由于剂量水平偏高,需要考虑剂量分担,每人承受剂量300微西弗~400微西弗,所有人员的总照射剂量可能达到5毫西弗以上。使用抛光机器人进行操作,仅需两名操作人员进行操作,但不能打磨抛光密封面,也能打磨抛光顶盖密封槽,在打磨抛光作业期间操作人员可以不留守高剂量现场,设备作业时间不超过30分钟,作业人员总照射剂量仅为几十微西弗,只有原来的百分之一。另外,放射性设备抛光作业属于高吸入性照射(内照射)风险工作,使用抛光机器人代替人则可以有效消除作业人员内照射风险。

据记者了解,像这样为减少人员辐射而研发的机器人还包括蒸汽发生器一次侧堵板操作机器人、反应堆压力容器螺栓孔清洗机、反应堆主螺栓螺母清洗机机器人等。

“下一步我们的研发重点就是把人员从高劳动强度和高辐射环境中解放出来,真正的安全不仅要保证核电站的运转安全,也要保证操作人员的安全,这也是使用机器人的最终目的。”吴凤岐说。

## 自主核电技术的配套研发

随着我国具备完全自主知识产权的三代核电技术“华龙一号”的落地,自主研发核电站配套机器人的任务在科研人员脑海中的弦绷得更紧了。

“使用‘华龙一号’三代核电技术的机组在某些技术参数上与当前国内大多数使用二代改进型核电技术的核电站存在不少区别,因此,智能机器人的参数设置也不同。”吴凤岐说。

以换料机器人为例,吴凤岐告诉记者,采用“华龙一号”示范机组的核电站,载装燃料组件要用177个,而现在普遍使用的二代技术载装燃料组件是157个,那么,换料机器人在这方面的参数就要根据我国的技术进行调整。

“在我国核电站建设初期,配套的智能机器人一般都要依靠进口,但随着核电站建设数量的增加,一直依靠进口会限制我们的发展,因此,研发出具有我们自主知识产权的机器人变得越来越重要。”谈起我国核电站智能机器人的自主研发,吴凤岐深有感慨,“核电技术上我们有了具备完全自主知识产权的‘华龙一号’,配套的智能机器人没理由要一直依靠进口。”

据介绍,当前我国核电站智能机器人的自主研发主要是参考国外先进技术再吸收或自主创新。机器人的研发还会根据不同核电站的具体技术在某些参数上做一些调整,从而使之符合每个核电站的实际情况。

“换料机器人在2011年开始自主研发,2013年在大亚湾核电基地技能培训中心投入培训使用,其技术水平即使在国际上也处于领先地位,甚至比国外的设备还好。”吴凤岐说,“研发时我们参考了国外设备,比如在核电设备上非常专业的美国西屋公司和法国RELL公司的设备等。”

然而,吴凤岐也坦言,当前我国核电机器人水平与国际先进水平仍有一段距离。

“目前世界核电智能机器人的研发强国是美国、法国和日本等,主要是他们起步较早,研发时间长。我国核电机器人目前已经经历了起步和初步发展阶段,未来方向主要是追赶国际先进技术,达到国际先进水平,同时研发出更适应我国自主技术的核电站智能机器人。”

对安全问题严谨质疑的态度,这种态度不仅存在于技术理性中,也要体现在社会理性中。通过“反核”人士或有质疑意见的人士沟通,倾听不同的声音,尊重反对的意见,换位思考,咨政善道,察纳雅言,有则改之,无则加勉,对于提高核安全水平、避免重大决策失误都有重大意义。

国家核安全局副局长郭承站指出,我国核电发展面临的不是技术问题,不是资金问题,也不是安全问题,而是公众认知问题。如何加强与公众沟通、创新沟通方式、增进互信,将是核电安全工作的重中之重。

要实现真正意义上的沟通,我们必须敞开心扉、热情主动,建立有效地沟通机制,进行建设性的沟通。如设立局长邮箱,征集不同意见并及时进行回复;定期召开座谈会对一些热点问题进行深入讨论,找出分歧,求同存异。

同时,还要开通微博、微信,广泛利用新媒体,及时推动信息公开及公众参与,对留言与咨询进行梳理,请专业人士进行研究、分析和研判并积极回复,对于经过论证是科学合理的应及时纳入核安全工作中。与“大V”们加强线上线下联系,取得理解,形成互动,让关心核安全的人士都能把他们的热情和力量纳入核安全建设中,同时也让他们感觉到尊重,形成互信的基础。

只有这样,才能将习近平总书记“要充分发挥民主,尊重包容差异,尽可能通过耐心细致的工作找到最大公约数”的指示落实到核安全的统一战线中。

核安全离不开“严之又严,慎之又慎,细之又细,实之又实”独立、权威的监管,但同时也必须善用社会的力量,只有在全社会公开、透明、有效的监督和参与下,才能避免“虎兕出于柙,龟玉毁于椟中”,才能真正实现“环境保护的社会共治”。

作者单位:  
环境保护部核与辐射安全中心



## 核与辐射安全培训班在新疆举办

上百名新疆环境友好使者参加

据了解,在此次培训中,新疆环保宣教中心正式启动了2015年的新疆青年环境友好使者小额资助项目,今年下半年,自治区环保宣教中心将对各高校报送的小额资助项目进行审核,并提供5000元以下的经费支持和技术指导。这是新疆环保宣教中心第三年实施小额资助项目,此前已成功对新疆多所大学的使者团队报送的11个环保公益项目进行了资助,各使者团队开展了形式多样的环境宣传、环境调查活动,得到了高校师生和社会公众的认可。

据悉,“千名青年环境友好使者行动”项目由环境保护部会同全国人大环资委、全国政协环资委、发改委、科技部、教育部、共青团中央、全国妇联等部门共同主办。这一项目旨在调动青年志愿者保护环境的热情,鼓励和支持他们积极投身到环境保护的实际行动中,发挥青年人在环境保护事业中的生力军作用。目前,新疆共有20人获得了由环境保护部授予证书的“千名青年环境友好使者”称号。

侯卫婷

## 中国核电在上海上市

募集资金将用于福清核电等核电项目建设

本报综合报道 6月10日上午9时30分,上海证券交易所五层发布大厅,随着铜锣敲响,A股市场近5年来规模最大的IPO交易,也是首个纯核电股——中国核电成功挂牌上市,开盘价4.07元,随即以4.88元秒停,涨幅43.95%。

据中国核电此前发布的招股说明书披露,此次发行不超过38.91亿股股份,约占发行后公司总股本的25%,募集资金约131.90亿元,主要用于包括福清核电一期和二期、三门核电一期、海南昌江核电一期、田湾核电站3号和4号机组在内的沿海核电项目建设。

中国核电经营范围涵盖核电项目的开发、投资、建设、运营与管理,核电运行安全技术及相关技术服务与咨询业务等领域,是国内投运核电和在在建电的主要投资方,拥有控股子公司14家,合营公司1家,参股公司1家;控股在役核电机组12

## 宁德3号机组具备商运条件

目前已有3台机组投产发电

本报综合报道 6月11日,福建省宁德核电站3号机组完成所有调试工作,已具备商业运营条件。

福建宁德核电站建于2008年,项目规划总装机容量为6台百万千瓦级核电机组。其中,1号~4号机组采用我国自主知识产权的改进型压水堆核电技术CPR1000,单机容量均超过100万千瓦。

据介绍,此次具备商业运营条件的3号机组于2010年1月开工建设,2015年3月首次并网发电。在完成

## 核燃料银行落户哈萨克斯坦

可储存60吨低浓缩核燃料

本报综合报道 国际原子能机构(以下简称IAEA)日前批准在哈萨克斯坦设立低浓缩铀核燃料银行。

今年4月末,哈萨克斯坦司法部在其门户网站公布,将在境内建立低浓缩铀银行,这一决定从签署之日起生效。低浓缩铀银行将建在乌里宾斯克钢铁厂,可储存60吨低浓缩核燃料。这一钢铁厂隶属于哈萨克斯坦国家原子能工业公司。

IAEA有关负责人称,哈萨克斯坦是最有实力建设核燃料银行的国家,拥有全球38%的铀资源,并具备较为完善的法律框架。

关于建立核燃料银行的想法,最早由美国于2005年9月在维也纳IAEA大会上提出,其目的是通过设立一个低浓缩铀的“国际仓库”,避免以研发核武器为目的的铀浓缩活动在世界各地蔓延。核燃料银行原则上将为所有需要核燃料供应的国家提供

帮助,前提是这些浓缩铀仅作民用。核燃料银行的概念最先得到了俄罗斯、哈萨克斯坦的积极回应。2010年12月,俄罗斯与IAEA合作建成了全球首家核燃料银行,这座核燃料银行位于西伯利亚地区,库存有120吨低浓缩铀,足够为两座装机为100万千瓦的轻水反应堆满负荷运转提供燃料。

而哈萨克斯坦与IAEA的谈判显得更为艰难。2009年,哈方提出了在阿斯塔纳设立核燃料银行的建议,原计划于2013年底签署协议,但因技术障碍被推迟。

今年3月,哈萨克斯坦总统纳扎尔巴耶夫指出,哈萨克斯坦已准备好签署关于在其国内建立国际浓缩铀储备银行的协议。

5月26日,俄罗斯与IAEA签署关于通过俄境内向哈萨克斯坦输送低浓缩铀的协议,目前正在商谈具体运输条件。



## 保证核安全必须善用社会力量

王晓峰

### 社会转型期的核安全新要求

当前,中国核电技术及安全标准已经走在世界前列,但项目建设尤其是内陆核电却面临着诸多社会问题,这除了核安全具有“技术的复杂性、事故的突发性、处理的艰难性、后果的严重性、影响的深远性、高度的社会敏感性”等特点外,还与当前中国社会转型期的大背景密切相关,公众在关注“社会财富”的分配时也开始关注“社会风险”的分配。

世界发展史表明,国家或地区人均GDP处于1000美元~3000美元时,往往是资源、环境、公共卫生、效率、公平等社会矛盾最为严重的时期,是矛盾的“凸显期”。跨越“凸显期”,美国用了20年,法国用了17年,联邦德国用了13年,韩国用了10年,日本用了9年,期间都曾出现过重大社会问题。而我国只用了从2003年到2008年的5年时间,至2013年我国人均GDP又翻一番达到6767美元,2014年约为7485美元,按“十三五”期间经济增速为7%预测,到2020年人均收入有望达到1万美元。

在我国从农业社会向工业社会继而向信息社会以近乎“神话”的速度高速发展的过程中,社会结构平衡难度加大,群体性事件频发,“邻避效应”严重影响了国家重大项目决策。

我国社会转型除了具有时间短、速度快等特点外,转型期的媒体生态也发生了重大变革。“人人都是通讯社,个个

都有麦克风、事事都有话语权”的“全民全媒”时代已经来临。

以数字技术为基础,以网络为载体进行信息传播的新媒体彻底改变了受众在信息传播中的被动地位,但同时舆论杂音也开始日渐增多。如何运用新媒体化解社会风险对当前中国社会尤为迫切。习近平总书记今年5月中旬在中央统战工作会议上提出“新媒体中的代表性人士”将成为重点团结对象,并要求“加强和改善对新媒体中的代表性人士的工作,建立经常性联系渠道,加强线上线下互动、线下沟通。”

### 建立“技术”和“社会”普遍接受的“安全目标”

世界三次重大核事故后,核电是不是“必要的恶魔”,核电到底“安不安全”,“多安全才是安全”,“内陆核电应不应该建设”等问题引起社会各界广泛的思考和探索。道理总是越辩越明,这些争议对核安全是大有裨益的。

“相信技术进步和无风险核能,体现的是科学理性;对核能的风险表示担忧,是社会理性的体现。我们究竟应该怎么做,才能使社会理性不空洞,或者使科学理性不盲目呢?”福岛核事故一个月后,文汇报记者田晓玲采访“风险社会”理论的创始人、德国著名社会学家乌尔里希·贝克(Ulrich Beck)时说了这样一段话。

在笔者看来,这需要建立一个技术与社会都能接受的衡量尺度,单纯的技

术性尺度解决不了核安全的根本问题,解决不了公众认知问题。

日本福岛核事故后,美国核管会在《为在21世纪增强核安全的建议》中总结说,两个千分之一的安全目标“即使提供了对人员的充分保护,但向环境的大规模放射性释放也是内在的不可接受的”。

的确,1986年美国核管会的核电厂“安全目标”只提出了人员保护的问题,没有提出环境保护的问题。因此,建立技术和社会普遍接受的“安全目标”是解决当前分歧的根本所在。

“迟早要回答这个问题。美国的标准是两个千分之一,那我们定多少,万分之一?百万分之一?都可以,只要能对对这个量化目标达成社会共识就可以。”环境保护部核与辐射安全监管二司副司长汤博指出。

### 全社会监督参与才能真正保障核安全

“环保部门要深入研究互联网和新媒体的运用规律,做到重大问题不缺位、关键时刻不失误。进一步加强与公众、与社会的交流与沟通,沟通交流不能听不得逆耳之言。”环境保护部副部长潘岳在今年6月1日召开的首届全国环境互联网会议上的讲话对我们在新媒体背景下开展核安全的公众沟通非常有指导意义。

《中国核安全文化政策声明》倡导