

如何在地球上“种太阳”？

我国核聚变技术已从过去的跟跑到并跑,到部分技术达到国际领先水平

◆本报记者程小雨

近日,世界聚变能源集团第2次部长级会议暨国际原子能机构第30届聚变能国际大会在四川省成都市举办,核聚变技术吸引了来自全世界的目光。

核聚变研究走到了哪一步?核聚变离我们还有多远?记者采访了相关专家,揭开核聚变的神秘面纱。

◎一升海水蕴藏多大能量?

在微观世界里,两个原子核在极高温和高压条件下聚合成一个新的原子核,并释放能量,这是核反应的另一种形式——核聚变反应。

在核聚变反应前后,原子核总质量减少,发生了质量亏损。根据著名的爱因斯坦质能公式 $E=mc^2$ (E代表能量,m代表质量亏损,c代表光速),一点点质量亏损,就将转化为巨大能量。

核聚变释放的能量到底有多大?中核集团首席科学家、核工业西南物理研究院原院长刘永打了个比方:“1升海水含有0.03克氘,在完全的核聚变

反应中,可以释放相当于燃烧300升汽油的能量。”

“聚变能具有三大优势。”刘永进一步介绍道,“首先,资源丰富,仅在海水中,就有超过45万吨氘;其次,从核安全的角度来看,具有固有安全性;此外,环境友好,在核聚变反应过程中不释放温室气体。因此,它被认为是最终解决能源问题的选项。”

核聚变有望成为未来能源的主力军,各国纷纷瞄准可控核聚变技术,将其作为未来科技竞争的主赛道。

◎实现可控核聚变有多难?

通过核聚变释放的巨大能量,能被我们合理利用吗?

事实上,实现核聚变反应的条件十分苛刻。“三大挑战摆在人们眼前。实现可控核聚变,需要一亿摄氏度以上的高温;在有限的空间中,等离子密度要足够高;同时,要把高能量的等离子体长时间约束。”刘永介绍。

然而,地球上没有任何材料能够耐受上亿摄氏度的高温。在地球上,最耐高温的材料——金属钨在几千摄氏度的条件下也会熔化。

有什么装置可以容纳这个“大火球”?磁场,给了科学家灵感。

磁场可以把等离子体控制在一定

范围内运动,像一双手一样,牢牢地将反应物控制在真空室内,带电粒子沿着磁力线做螺旋运动,从而使大量原子核发生核聚变,释放出巨大的能量。这种实现核聚变的方法,被称为磁约束核聚变。

然而,在人类“驯服”这团上亿摄氏度“天火”的路上,仍有许多需要克服的难题。据刘永介绍,磁约束核聚变面临三大科学与技术挑战。

“一是燃烧等离子体稳态自持运行问题;二是抗辐照材料问题;三是氦增殖与自持循环问题。这三大科学与技术挑战均是核特性问题。”刘永表示。

◎核聚变研究走到了哪一步?

电影《流浪地球2》中,人类推动地球离开太阳系,所依靠的就是核聚变行星发动机。全球布置了上万台发动机,将石头中所包含的重元素进行核聚变反应,从而产生巨大推力。

人类在寻找“理想清洁能源”的路上,不断探索。科学家们模拟太阳发光发热原理,在地球上建造能够承受住上亿摄氏度高温、且可控输出能量的核聚变装置——“人造太阳”。

“种太阳”的梦想,正一步步成为现实。我国核聚变技术已从过去的跟跑到并跑,到部分技术达到国际领先水平。

1984年,我国建成核聚变领域第一座大科学装置——“中国环流一号”托卡马克装置;2002年,我国建成第一个具有偏滤器位形的托卡马克装置“中国环流二号”;2006年,全超导托卡马克装置东方超环首次放电成功;2020



图为一代人造太阳“中国环流三号”。

核工业西南物理研究院供图

年,“中国环流三号”建成。

3月,新一代人造太阳“中国环流三号”在国内首次实现原子核温度1.17亿摄氏度、电子温度1.6亿摄氏度,综合参数聚变三乘积实现大幅跃升,标志着我国聚变研究进入燃烧实验阶段。

同时,国内高校也在加快建造、运行一批聚变实验研究装置,如华中科技大学的J-TEXT、中国科学技术大学的KTX、

清华大学的SUNIST等。伴随“聚变热”,多家民营企业也纷纷下场,汇入聚变产业的洪流。

“国资委在布局‘9+6’战新产业和未来产业中,将可控核聚变作为未来能源产业的重点方向。从这个意义上讲,现在国家相关部委都在重视、跟踪、研讨、分析可控核聚变的可能性,以使我们在大国竞争的主赛道上立于不败之地。”刘永表示。

◎实现可控核聚变还要多久?

除了持续精进自身科研水平,我国也积极在国际合作中贡献“中国智慧”和“中国方案”。

2006年,我国加入全球规模最大、国际影响力最大的可控核聚变项目——“国际热核聚变实验堆(ITER)计划”。

此项目由中国、欧盟、印度、日本、韩国、俄罗斯、美国七方共同实施,以及30多个国家参与,计划在法国南部普罗旺斯地区共同建造一个世界上最大的托卡马克装置。

作为ITER计划的关键合作伙伴,我国高质量完成18个关键部件和系统的设计制造任务,2025年主导的ITER核心安装标段真空室模块组件成功吊装入位,磁体支撑系统、包层屏蔽模块等大型装备如期交付,为全球聚变堆工程化贡献中国经验。

同时,我国积极推动技术标准“全

球共用”。与50多个国家的140余家核聚变科研机构建立合作,发布聚变能领域首个ISO国际标准——《聚变堆热氮检漏技术》。

公众最关心一个议题——实现可控核聚变还要多久?

对此,刘永介绍了磁约束核聚变能发展路线图:“到2034年,建成国际热核聚变实验堆;到2045年左右,建成我国首个商用示范堆;到本世纪中叶,建成我国首个聚变商用堆。至少还有30年左右的时间,实现可控核聚变商业化应用。”

“我们对核聚变还需要有点耐心。”刘永表示,“人类对能源探索和利用的历史,也是人类社会文明发展史。30年、50年,不过都是历史长河中一瞬间的事情。经过全人类半个多世纪的不懈努力,核聚变的曙光已经出现。”

筑牢强国之基 引领核能未来

——深入学习贯彻《原子能法》

◆朱亚胜

2025年9月12日,第十四届全国人民代表大会常务委员第十七次会议表决通过了《中华人民共和国原子能法》(以下简称《原子能法》),将于2026年1月15日起施行。这部历经数十年酝酿的法律是我国原子能领域综合性、基础性法律,标志着我国核事业正式迈入全面依法治核、依法兴核的新阶段。

《原子能法》全面贯彻习近平总书记有关核领域系列重要指示批示精神

党的十八大以来,习近平总书记创造性地提出总体国家安全观和“理性、协调、并进”的核安全观,推动落实全球发展倡议、全球安全倡议、全球文明倡议、全球治理倡议。《原子能法》将这些重要思想理念全面融入法律条文,实现制度化、法治化、长效化。

贯彻总体国家安全观和中国核安全观。《原子能法》总则明确规定,原子能活动应当坚持中国共产党的领导,贯彻总体国家安全观,坚持理性、协调、并进的核安全观。这意味着原子能事业的发展必须服务于国家安全的最高利益,在国家安全的总体框架下进行统筹规划。这既是我国核事业发展的根本原则,也为国际社会理解中国的核政策

提供了清晰的法律遵循。

贯彻统筹发展和安全。《原子能法》通篇贯穿“统筹发展和安全”的原则。立法旨在“促进经济社会高质量发展,维护国家安全”,体现了以发展促安全、以安全保发展的辩证关系。同时,强调坚持创新驱动发展战略和绿色发展、可持续发展战略,通过法律条文系统呈现了发展与安全并重的原则。

贯彻构建人类命运共同体。《原子能法》立足国内,放眼全球,积极践行构建人类命运共同体的理念。明确规定国家支持和平利用原子能,鼓励国际交流与合作,反对核扩散,防范核恐怖主义威胁。展现中国作为负责任核大国的担当,为我国深度参与全球核治理提供了坚实的国内法律基础。

《原子能法》开启“依法治核、依法兴核”新篇章

《原子能法》不仅是技术法、产业法,更是体现国家意志、落实顶层战略的政治宣言和法律保障,是完善中国特色社会主义法律体系、推进国家治理体系和治理能力现代化的重要举措。

完善国家核领域法律法规体系。《原子能法》与《中华人民共和国核安全法》《中华人民共和国放射性污染防治法》等共同构成了我国核领域法律法规的框架

体系。《原子能法》从更综合、更宏观的层面,对原子能研究、开发、利用、产业发展、国际合作等全链条活动进行规范。《原子能法》中的“引致条款”体现了法律体系内部的协调统一,有效避免了监管真空和法律冲突。

提升核治理体系和治理能力现代化水平。《原子能法》将党领导原子能事业的成功经验和国际先进治理理念以法律形式固定下来,实现了从政策治理向法律治理的转变。明确了各方在原子能事业中的权利、义务和责任,构建了权责清晰、运转高效的治理结构。通过设立严格的法律责任,强化了法律的刚性约束,为我国原子能事业的长远发展提供了稳定、透明、可预期的法治环境。

《原子能法》是科技强国、人才强国战略的重要体现

原子能事业是典型的高科技战略产业,《原子能法》为我国在原子能领域抢占科技制高点、构筑人才高地提供了强有力的法律支撑。

强调科技创新与自主研发。《原子能法》系统规定了国家在原子能科技领域的支持政策,要求加强原子能科学研究与技术开发,强化基础研究,探索前沿技术,鼓励自主研发。这些规定旨在通过优化创新资源配置,激发科研人员的创新活力,强化

我国原子能领域的国家战略科技力量。

促进高素质专业队伍建设。《原子能法》明确提出要“促进原子能领域高素质专业队伍建设”,强调专业人才应坚持立德为先、诚信为本,弘扬科学家精神。建立正向激励机制,对作出突出贡献的单位和个人给予表彰奖励,旨在营造尊重知识、尊重人才的良好氛围,吸引更多优秀人才投身原子能事业。

重视核惠民生。《原子能法》专门对核技术应用进行了规定,鼓励核技术在工业、农业、医疗卫生、生态环境等领域的应用。这些应用直接关系到人民群众的衣食住行和健康福祉,是核能发展成果惠及民生的最直接体现,有助于引导公众对原子能形成更为科学、全面的认知。

全面深入贯彻实施《原子能法》

要确保《原子能法》落地生根、发挥效能,还需在以下几个方面深化认识并付诸行动。

厘清边界,有机统一。《原子能法》存在大量“引致条款”,需要加快开展配套法规制度的“立改废释”,确保与《原子能法》的原则和规定相互衔接、协调一致。同时,要细致梳理《原子能法》与相关法律在监管职责、许

可制度等方面的分工与衔接,避免交叉重叠或留下监管空白。

人才优先,高质量发展。当前我们正处于由核大国向核强国迈进的重要阶段,核电规模化建设如火如荼,核技术应用日益广泛。必须坚决落实《原子能法》关于人才培养的要求,优化高等教育和职业教育体系,完善激励保障机制,确保人才引得进、留得住、用得好。

深化交流,引领国际潮流。国际上,主要核能国家都在不断调整和优化其核能管理体系和政策。应以《原子能法》实施为契机,更加积极主动地融入并引领全球核治理。加强与国际原子能机构等国际组织的合作,学习借鉴先进经验;鼓励核能企业、科研机构“走出去”,参与国际竞争与合作;推动我国成熟的技术标准、安全管理实践走向世界,提升我国在全球核领域的话语权和影响力。

《原子能法》的颁布开启了我我国原子能事业发展的新篇章,要以高度的责任感和使命感,将法律规定的各项制度、措施落到实处,不断完善原子能治理体系,提升治理能力,确保原子能事业在法治轨道上安全、健康、可持续地发展,为全面建设社会主义现代化国家提供更为坚实的战略支撑。

作者单位:生态环境部核设施安全监管司



核讯快览

全国城市放射性废物库运行经验交流会召开

会议强调,加快人工智能在废物库运行管理上的应用研究

本报讯 为深入贯彻落实国家新颁布的放射性废物库环境标准,在生态环境部辐射源安全监管司指导下,由生态环境部辐射环境监测技术中心(以下简称技术中心)承办的全国城市放射性废物库运行经验交流会近日在浙江省杭州市召开。

会议邀请两名专家分别就《核技术利用放射性废物库运行管理技术规范》(HJ1417-2025)解读、《放射性废物(源)处置接受要求和标准》实践进行宣讲。

河北、江苏、四川、广西、陕西、浙江等6省份代表作典型发言,分享各地城市放射性废物库运行与管理经验,为全国相关工作提供多元化思路和实践参考。

会议强调,城市放射性废物库的高效安全运行,是核技术利用产业健康发展的重要支撑,事关辐射环境安全、公众健康和社会稳定,必须以更严标准、更实举措守住安全底线。要做好废物库关键设施设备的维护升级,加快人工智能技术在废物库运行管理上的应用研究,提升技防措施,全面保障库区环境、废源收贮和工作人员安全。要提升安全责任意识 and 安全管控能力,严把收贮“人口关”、守好暂存“管理关”、规范出库“转运关”。要扎实推进各项任务,持续提升运行管理水平,为推动核与辐射事业高质量发展作出贡献。

廖燕

黄石安全转运一枚Ⅳ类放射源

实现“零泄漏、零风险”核心目标

本报讯 湖北省黄石市生态环境局近日成功完成一枚Ⅳ类放射源的安全转运工作,整个转运过程安全、规范、有序,实现“零泄漏、零风险”核心目标,消除了辖区内的一处放射性安全隐患。

此次需要转运的Ⅳ类放射源,原存放于一家建材公司废弃厂房内。为确保放射源在转运过程中的安全,黄石市生态环境局高度重视,迅速启动严格的转运程序,提出要以“风险前置化解”为核心导向,明确“强化现场临时管控、加速放射源属性鉴定、推进上级部门赋码审批、确保转运全程安全”4条要求,将监管责任与协助处置深度融合,从源头阻断风险扩散路径。

黄石市生态环境局一方面夯实企业主体责任,通过线上沟通、现场指导等方式,监督企业采用水泥浇筑封存等措施强化管控;另一方面,打通赋码瓶颈,针对放射源年代久远、信息缺失的困境,派专人对接上级部门,确保手续

合规、流程畅通。

进入转运阶段后,黄石市生态环境局全程驻点监管,督促具备资质的专业转运单位严格依照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求,规范完成放射源封装、载源罐固定等关键作业;同时,联合专业机构开展全方位安全核查与实时辐射监测,确保载源罐固定牢固、防护措施全覆盖。整个转运过程安全受控、无任何异常,最终将放射源安全送达湖北省城市放射性废物库,完成永久封存。

此次放射源安全转运,黄石市生态环境局构建了“发现上报—核査管控—审批转运—永久封存”的全流程标准化处置体系。下一步,黄石市生态环境局将持续强化涉辐射企业常态化监管,推进涉源设备全生命周期管理,加大历史遗留放射源排查力度,以“早发现、早处置”的主动作为,切实守护辖区生态环境安全与群众健康。

刘莉娅

吉安青原区开展医院辐射事故应急演练

检验应急预案科学性和可操作性

本报讯 为进一步检验和提升应对突发辐射事故的应急处置能力,近日,江西吉安市青原区在辖区某医院开展辐射事故应急演练。此次演练情景为:模拟某医院放射科在为一名患者进行CT增强扫描过程中,因设备意外故障及操作问题,导致出现少量放射性造影剂泄漏、医患人员受照等辐射安全“事故”。“事故”发生后,医院迅速成立现场指挥部,启动辐射事故应急预案。

“报告指挥部,C.T室发生造影剂泄漏,一名患者和一名操作技师可能受到照射,请求支援。”警报响起,各项应急程序随即启动,工作人员同步上报情况。

各应急小组接到指令后,火速赶赴现场。警戒疏散组第一时间拉起警戒线,设立隔离区,维持现场秩序,引导候诊患者及医护人员转移。医疗救治组对受照人员开展辐射特异性检测与医疗救治。

辐射监测与处置组人员身着防护服,佩戴个人剂量计,手持辐射监测仪器,对泄漏源进行定位、评估

污染范围,对受照人员及环境进行剂量监测与记录、去污处理。

在指挥部,指挥长依据传回的信息进行快速会商决策。在医院内部,后勤保障、通讯联络、信息发布等环节紧密配合,同时根据事态发展,按照规定程序向区卫健委、生态环境局等主管部门报告情况并请求技术支援。各部门之间协同作战,高效处置辐射安全事故。

在处置过程中,工作人员始终坚持辐射防护最优化原则。监测人员反复确认污染边界,严格执行洗消流程。医护人员对受照人员进行心理疏导与医学观察。演练还设置信息发布环节,及时通报事故情况及应对措施,有效引导舆论,避免引起恐慌。

演练结束后,评估专家组对演练全过程进行了复盘点评,认为此次演练情景设置合理、流程清晰完整、响应迅速准确、处置科学规范、协同配合密切,充分检验了医院辐射事故应急预案的科学性和可操作性。

刘茂林 刘帅

全面细致排查 督促问题整改 帮扶申领许可证

东至持续加强核与辐射安全监管

本报记者潘彥东至报道 安徽省东至县生态环境分局近年来持续加强核与辐射安全监管,建立健全长效监管机制,定期开展复查和“回头看”。

“严”字当头,全面细致排查。组织人员对全县核技术利用单位进行全面“体检”,其中包括3家放射源使用单位及24家射线装置使用单位。现场检查工作中,重点检查辐射设施运行状态是否正常、工作人员核与辐射考核培训档案是否齐全、监测报告是否齐全。同时,对辐射场所的安全警示标志等进行细致核查。

“改”字发力,督促问题整改。检查过程中,工作人员发现部分单位存在安全管理漏洞,如电离辐射警示标志模糊不清、辐

射工作人员考核培训档案缺失等。针对这些问题,工作人员当即下发整改通知书,明确整改要求和期限,并跟踪督促问题整改。要求相关单位立即采取措施,完善安全管理制度,加强人员培训。

截至9月,排查发现的52个问题,均已得到妥善整改。“扶”字助力,帮扶申领许可证。在强化监管的同时,东至县生态环境分局积极践行服务理念,主动帮扶企业及医疗机构申领辐射安全许可证。针对新申请许可证的单位,安排专人线上线下沟通指导,详细讲解申领流程和所需材料。待许可证下发完成后,前往现场实地核查设备信息。今年以来,已有7家单位在东至县生态环境分局帮助下成功申领辐射安全许可证。