

以前“烧”铀 今后“吃”钍 千年不愁 全球唯一! 中国核能创出新路

茫茫戈壁滩上,一座全新实验堆的建成,使核燃料实现了从“铀”到“钍”的多元化选择。

记者从中国科学院获悉,由中国科学院上海应用物理研究所(以下简称上海应物所)牵头建成的2兆瓦液态燃料钍基熔盐实验堆近日首次实现钍铀核燃料转换,在国际上首次获取钍入熔盐堆运行后实验数据,成为目前全球唯一运行并实现钍燃料入堆的熔盐堆,初步证明了熔盐堆核能系统利用钍资源的技术可行性。

“这意味着核能发电不仅可以烧铀,烧钍也是可行的。”主导实验堆建设的上海应物所所长戴志敏难掩激动:整整16年,团队从零开始,从上海到荒漠,在一无所有的戈壁滩上为我国掌握第四代先进核能技术,探索开拓出一条可行之路。

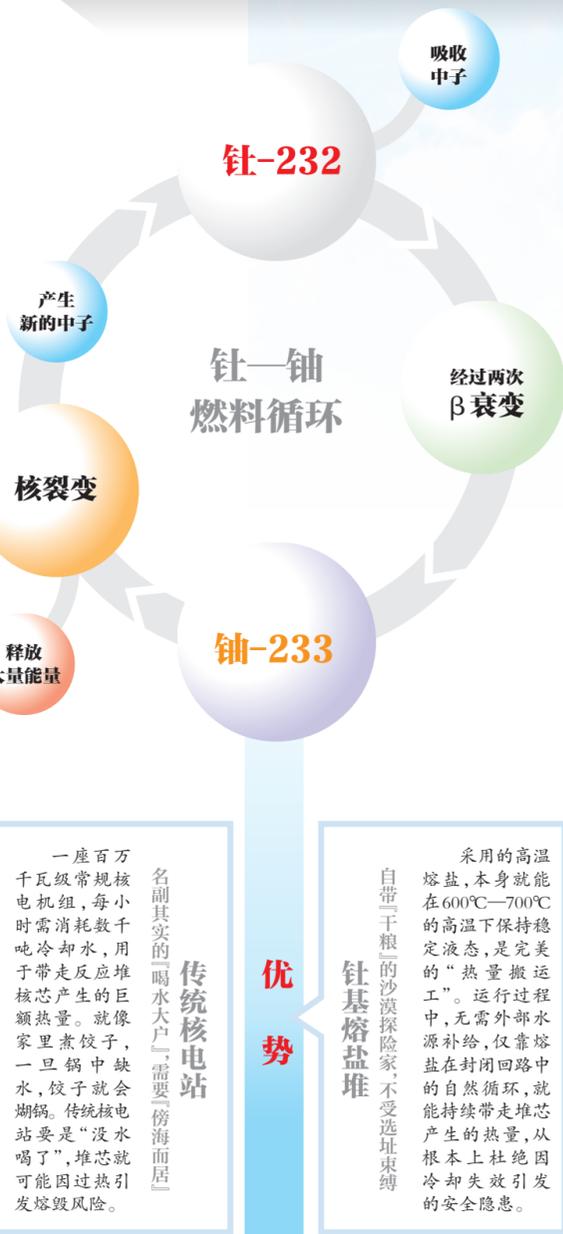
中国正引领全球熔盐堆研究,《麻省理工科技评论》发出惊叹:“半个世纪前源自橡树岭的美国科学家们的梦想,正在几千英里外的中国实现。”



钍基熔盐实验堆堆本体吊装。
图片来源:中国科学院上海应用物理研究所官网



10月24日在甘肃省民勤县拍摄的2兆瓦液态燃料钍基熔盐实验堆厂房(无人机照片)。新华社发



优势

传统核电站

一座百万千瓦级常规核电机组,每小时需消耗数千吨冷却水,用于带走反应堆堆芯产生的巨热量。就像家里煮饺子,一旦锅中缺水,饺子就会糊锅。传统核电站要是“没水喝了”,堆芯就可能因过热引发熔毁风险。

采用的高温熔盐,本身就能在600℃—700℃的高温下保持稳定液态,是完美的“热量搬运工”。运行过程中,无需外部水源补给,仅靠熔盐在封闭回路中的自然循环,就能持续带走堆芯产生的热量,从根本上杜绝因冷却失效引发的安全隐患。

世界首个一体化堆本体

甘肃武威,古诗词里的凉州。地处腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠之间的红砂岗镇,面积比上海小500平方公里,人口仅千余。

目前的商用反应堆一般建在海边,这是因为其需要大量的水来冷却。作为国际上正在发展的第四代先进核能系统,熔盐堆主要用熔盐冷却,这一特性使它可以建在沙漠戈壁里。

熔盐堆究竟长什么样?记者步入反应堆大厅,只见工作人员正忙着从熔盐堆取样。“我们在对熔盐堆进行‘体检’,以评估它的运行状态。”上海应物所党委书记、副所长李晴暖告诉记者。

熔盐堆就在大厅灰色地板下14米深处,离线总装好的堆本体在3年前从21米高的大厅顶端吊下来一次性就位,创造了国际上首次整体吊装堆本体的纪录。这得益于世界首个一体化堆本体的创新设计,通

过公路运输、现场直接安装,也大大降低了成本和工期。

不同于大多数核反应堆须在高压下工作,熔盐堆在常压下运行,具有突出的安全特性。万一发生问题,地底下带有核燃料的熔盐会自动流到应急罐中,核反应会立即终止,无需外部干预。熔盐堆冷却后就是个难以溶解的大盐块,不会扩散,更不会对生物圈造成影响。

钍是一种放射性较弱的银色金属,天然存在于岩石中。钍基熔盐堆,是以钍为燃料,以高温熔盐作为冷却剂的第四代先进核能系统,具有无水冷却、常压工作和高温输出等优点。

“这一炉燃料可以烧10年,只需根据实验情况添加少量铀或钍。补充燃料时,常规的水堆要把‘盖子’全部揭开,而熔盐堆只需把燃料制成‘胶囊’,再将其置于熔盐液面之下,处理方法简单。”李晴暖说。

关键核心设备100%国产化

大规模发展核能是全球趋势,核聚变尚处于研究实验阶段,核裂变早已实现商业化成熟应用,但解决核燃料供应问题迫在眉睫。

大自然中仅有铀-235可直接用来做核燃料,但在铀中的占比只有0.7%。全球已探明可开采的铀总量为790万吨,如果仅利用铀-235,只能供给不到100年。我国的铀资源匮乏,进口依赖度超过70%。

能否换一个思路?诺贝尔物理学奖得主卡罗·卢比亚曾说,钍资源可以保证中国2万年的电力需求。我国的钍资源储量居世界前列,钍-232吸收中子后经过两次β衰变生成铀-233,核裂变释放出大量能量,并产生新的中子,构成一个可持续的“钍-铀燃料循环”。这种循环的最大优势在于,能让我国储量丰

富但“不活跃”的钍,高效转化为可用的核燃料,且产生的核废料更少。熔盐堆输出温度为650℃—700℃,热效率高达40%—60%。

我国铀资源稀缺,钍却很多,如果反应堆以钍为燃料,我国将拥有“千年不愁”的用电底气,实现能源独立。

这一技术不仅可以发电,更有望与太阳能、风能、高温熔盐储能、高温制氢、煤气油化工等产业深度融合,构建多能互补低碳复合能源系统。

因此,钍基熔盐堆成为具有中国特色的选择。目前,熔盐堆整体国产化率超过90%,关键核心设备100%国产化,供应链自主可控,已基本形成钍基熔盐堆技术产业链的雏形。

2035年建成百兆瓦级示范工程

上海应物所介绍,2017年11月,钍基熔盐实验堆选址地甘肃省武威市民勤县;2018年11月,项目取得国家核安全局选址审查意见书;2020年1月,取得建造许可证后开工建设,同年3月浇灌第一罐混凝土;2022年5月完成设备安装,9月完成装料前调试;2023年6月,取得国家核安全局颁发的运行许可证,同年10月实现首次临界。

2024年6月,首次实现满功率运行,实验堆出口温度650℃;2024年9月,取得实验堆加钍实验特许,成为全球首个实验堆加钍实验特许;2024年10月,完成世界上首次熔盐堆加钍,在国际上率先建成独具特色的熔盐堆和钍铀燃料循环研究平台。

目前,项目团队正围绕加钍后的关键科学问题开展系统研究。他们表示,钍基熔盐实验堆的建成并首次实现钍铀核燃料转换,为其实验堆、研究堆、示范堆“三步走”发展战略从蓝图转化为路径清晰的“施工图”奠定了坚实的基础,也为中国率先实现钍基熔盐堆的工业应用提供核心科学技术支撑。

上海应物所透露,下一步将通过与中国能源领域领军企业深度合作,共建钍基熔盐堆产业链和供应链,目标是2035年建成百兆瓦级钍基熔盐堆示范工程并实现示范应用,并加速技术迭代与工程转化,为国家提供安全可靠的钍基能源发电新路径。

综合新华社、央视、《解放日报》、《文汇报》等报道



2兆瓦液态燃料钍基熔盐实验堆模型。
解放日报黄华海 摄



10月24日,在中国科学院上海应用物理研究所武威园区,科研人员在实验堆加料一取接口区,从堆内取出燃料盐样品。
新华社发