



核反应装置三维概念图。视觉中国供图



科苑览胜

栏目主持人：张孟喜

日本东京电力公司近日称，福岛第一核电站第四轮核污染水排海将于2月下旬开始，排海总量预计7800吨。去年8月，日本一意孤行开始向大海和太平洋排放福岛第一核电站的核污染水，遭到国际社会强烈批评和反对。

不过，我国去年6月7日获准运行的液态燃料钍基熔盐实验堆，将基本终结福岛核事故之类的安全事故，为核电站的安全运行守关把门。2021年9月下旬，世界首个钍核反应堆在甘肃省武威市成功测试。这一核反应堆虽然功率只有2000千瓦，但能为1000户居民提供电能。这代表着我国率先掌握了第四代核能技术，一跃成为全球新能源领域的领跑者。

那么，什么是第四代核能技术，什么是钍基熔盐实验堆，它还有哪些值得介绍的地方吗？

面对能源危机和煤、油等化石燃料对环境造成的污染，作为人类的新型能源，核能和核电以绿色、高效、低碳排放和可规模生产的突出优势，成为比较理想的替代能源。它是我国兑现减排承诺、实现“碳达峰”“碳中和”战略部署的必然选择。核电也并非完美无缺，科技的演进发展到了第三代，但核能利用过程中的诸多缺陷仍有待克服。核安全问题始终像“达摩克利斯之剑”让公众心存疑虑：核燃料供应、核废料处理、核武器扩散等问题，也一直挥之不去。

为此，全球科学家力争更进一步研发能解决上述问题的先进核能系统，这就是第四代核电技术，一般称第四代核能系统。它目前处在原型堆技术研发阶段，预计将在2030年投入使用。目前，国际上公认的第四代核反应堆型有气冷快堆、熔盐堆等六大不同的系统。现在，我国在气冷快堆、熔盐堆研发都处于领先地位，成为第四代核电技术乃至全球新能源

钍基熔盐堆和常规铀反应堆不同，内部循环的不是水，而是液态盐。

第四代核能技术全球领跑

□ 李耕拓

领域的领跑者。

熔盐堆是第四代核能系统研究候选堆型中唯一的液态燃料堆。我国研发的熔盐堆，具体来说就是“钍基熔盐堆”，通俗地说，就是用钍元素作为核燃料、用融化状态的盐作为热介质进行发电。

钍是带灰色光泽的放射性金属元素，质地柔软，化学性质较活泼，可溶于氟化盐溶液中。钍基熔盐堆和常规铀反应堆不同，内部循环的不是水而是液态盐。这就是熔盐堆的关键所在，它既可被当作核燃料的载体，又能被当作核裂变反应的冷却剂，因此在使用时要将它溶解在氟盐冷却剂里生成氟化盐。熔盐堆使用熔融状态的氟化盐携带着核燃料，有点类似地壳里的岩浆在“炉子”中燃烧，不断输出巨大的能量。

作为一种新型反应堆，钍基熔盐反应堆有选址灵活、小型化、新型燃料钍资源丰富、安全性大大提高、能量转换效率更为优异等好处。由于它是用高温熔盐，氟化盐作冷却剂，所依赖的水资源比较少，不像铀反应堆那样只能在大江、大海、大河边建造，它们也能在缺水的干旱地区甚至沙漠地区建造和运行。

这一反应堆适合建成紧凑、轻量

化和低成本的小型模块化反应堆，也就是将它小型化，以后买电就成了与买煤气罐差不多的事。美国科学家正在开发用钍作为核燃料发电的汽车，如果研发成功只需要8克钍就可以让一辆悍马车开96万公里，中途不需再加燃料。

钍本身比铀的辐射量更低，比铀要安全100倍。钍基熔盐堆安全系数也很高。作为冷却剂的氟化盐没有高温烧毁的危险，即使发生事故也基本不会出现核泄漏以及污染环境的情况。

钍的使用率和能量转换效率都比铀更为优异，钍基反应堆所产生的放射性废料非常少，用钍作为核燃料可以避免核武器扩散的风险。

钍的资源蕴藏量很丰富，目前地壳中的探明量为铀的三四倍。我国目前已经在地质中发现30多万吨的钍资源，可供使用两万多多年，因此可以说钍是铀的“超级替补”。

我国建设钍基反应堆只是一个开始，距离更安全、更清洁、最终也更便宜的钍反应堆为人类服务还有很长的路要走。我们相信，在不久的将来它一定会得到大规模的运用并推动能源革命。

(作者系湖南省科普作家协会会员)

“光致变色”：看得见的节能色彩

□ 莫尊理 陈强龙

近年来，一些智能手机采取新型独特的光致变色处理技术，将无机光致变色材料与其他材料相结合，在受到阳光照射时颜色会发生变化。变色眼镜也不例外，依照光致变色原理改变镜片颜色，以保护眼睛免受强光照。



化学有魅力

栏目主持人：王重洋

节能减排是当前应对全球气候变化的重要手段。2021年，全球能源消耗中建筑耗能占34%，而建筑耗能又占二氧化碳排放量的37%，一半以上的建筑耗能用于室内空间的制冷、供暖和照明。为提升建筑物的能源效率，近年来可动态调节太阳光透过的智能窗户备受关注。这种智能窗户采用的原理就是光致变色，能够根据来自不同方向的光适时调控颜色，对阳光进行自适应控制。

近日，中国科学院理化所的江雷院士团队在《先进材料》上发表光致变色聚合物薄膜研究成果。该薄膜可提高室内日光舒适度，在阳光强烈时可避免室内光线过亮和眩光，而在阳光微弱时不会影响室内照明。

随着光致变色材料研究逐步深入，一些智能手机采取新型独特的光致变色处理技术，将无机光致变色材料与其他材料相结合，在受到阳光照射时颜色会发生变化。变色眼镜也不例外，依照光致变色原理改变镜片颜色，以保护眼睛免受强光照。

光致变色材料被认为是一种可在色彩、极性、化学构成、荧光发射等方面逐渐形成两种不同的状况。这种特性可应用于防伪标签、电子元件、光化学刻制、感光室内外墙体表面装潢等领域。

有机光致变色材料在光致变色发展变迁中是最早被发现的，品种相当多，光色较为丰富，可塑性优良，最常见的有螺吡喃类、螺恶嗪类、偶氮苯类、二芳基乙烯类、紫精类、席夫碱类等。

相比有机光致变色材料，无机光致变色材料拥有更好的耐高温和抗疲劳性。它的变色原理是在不同特殊波长的光照射下，各向异性中的电子产生电荷转移和跃迁，宏观上发生颜色转变，当制备的材料受到不同波长的光照射或逐渐形成的热量刺激时，就能恢复到原来的形态。在此过程中，一些充当重要成分或有害杂质的酸离子以期捕捉光照中释放的电子，这就是电子转移的前提。最常见的无机光致变色材料，一般可分为过渡金属氧化物、多金属氧酸盐、金属卤化物以及稀土配合物。

有机-无机复合光致变色材料由有机化合物与矿物元素杂化获得，最终产品既有有机光致变色材料良好的改性效果，还有无机光致变色材料的稳固



光致变色玻璃使酒店大厅环境更加亮丽。视觉中国供图

性。这种新材料借助配体配位获得大的分子框架，效能由原始组成决定。化学家将结合相关的官能团，例如阴极极化或光照射，能充分渗透到单体或低聚物的内部，以获得定制的相对分子量较大的有机化合物。有机-无机复合光致变色材料不仅保留了各自的物理、化学性能，而且允许各模块之间形成协同或拮抗效能。

光致变色材料在防伪识别方面有着广泛的应用，通过光致变色工艺制备出防伪标识，可以制成纤维、涂膜到表面。在光学图像相关信息存储方面也取得了成果，借助光致变色材料颜色差异的可逆性录入和信息储存具体资料，来判断存储信息文件品质的要素是快

速反馈、高发光对比度、三维保存数据。这类光学材料存储器具有反应速度快、存储信息密度大、运转平稳等明显优势，整体性能超过市场上大多数存储器。民用型功能纺织品光致变色材料同普通的纺织品结合在一起，使人们用的功能织物能够根据光、周围温度等要素表现出实时化颜色信号。

深入探究光致变色机理，科学地阐明光致变色材料的变色过程，开发性能更加优异、成本更加低廉、应用效果更加突出的新型光致变色材料，是未来光致变色材料的一大发展趋势。

(莫尊理系西北师范大学教授、博士生导师，陈强龙系西北师范大学硕士研究生)