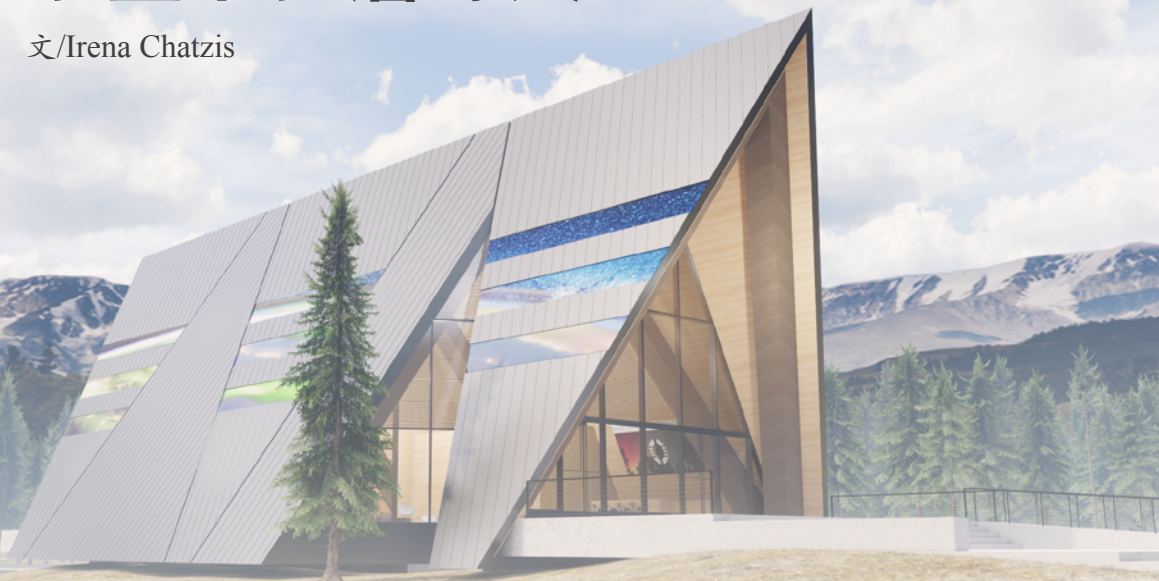


# 小型堆，潜力大

文/Irena Chatzis



奥罗拉发电厂是一种先进裂变电厂设计。

(图/Oklo公司)

听到“核电”一词，通常会让人联想到巨大的发电厂和冷却塔，但随着小型模块堆和微堆开始成为现实，核电的面貌和影响范围正在发生变化。

“小型模块堆和微堆与大型核反应堆一样提供低碳能源，但它们更小、更灵活、更经济适用，因此它们可以用在较小的电网中，建在大型反应堆不适用的难以到达的地方。”原子能机构小型模块堆技术工作组组长Frederik Reitsma说，“许多小型模块堆设计成不仅提供电力，而且提供非电力服务，增加了其清洁能源的好处和成本效益。”

小型模块堆功率预计不超过300兆瓦（电），微堆依据设计不同，功率不超过10兆瓦（电）。除了模块化之外，其他一些共同特点是采用可提高安全性的非能动内置系统，能够有效和灵活地生产能源以满足波动需求，以及设计更简单，比当前反应堆建造速度更快、复杂程度更低。它们还具有工厂化制造的更多可能性，从而能够减少现场施工时间，使它们更容易和更经济高效地复制以进行更多部署。

“大型核反应堆是一项重大工程，需要大量的长期投资，这对某

些情况是可行的，也是合适的。然而，对于其他情况，小型模块堆和微堆可以是一种更现实和更快的方法，有时也是经济地获得核电的唯一途径。”Reitsma说，“如果把这一点与有效的融资和市场政策结合起来，核电的用户范围会更加广泛，使其成为能源市场上更具竞争力和吸引力的方案。”了解更多核电融资和市场政策信息，请参见第24页内容。

## 首座小型模块堆

世界上第一台先进小型模块堆于2019年并网发电，并于2020年5月开始商业运行。

位于俄罗斯北极海岸的“罗曼索诺夫院士号”浮动核电厂配备两台35兆瓦（电）KLT40S小型模块堆机组，现在产生的能源足以为一个约10万人口的城市供电。该电厂还拥有每小时50千兆卡的供热能力，并且用于海水淡化，每天可生产多达24万立方米的淡水饮用水。

“借助小型核反应堆，北极地区最早可在2040年实现净零排放。”俄罗斯原子能海外公司负责市场和业务发展的副总经理Anton Moskvina说，“‘罗曼索诺夫院士号’将取代一座燃烧褐煤

的电厂。除了有助于消除北极生态系统中的有害气体排放外，它还将为该地区居民在寒冷的极北地区不至于无光无热提供保障。”

处于建造后期的其他小型模块堆包括阿根廷的30兆瓦（电）CAREM反应堆和中国的210兆瓦（电）HTR-PM反应堆。还有几个项目已进入监管审批后期，包括美国NuScale 电力公司的小型模块堆和加拿大的几个项目。全世界总共有70多个小型模块堆设计处于不同的发展阶段。

原子能机构开展了一些与小型模块堆有关的活动，以支持世界范围的研究和发展。原子能机构促进小型模块堆设计、开发和部署方面的合作，并作为共享小型模块堆监管知识和经验的中心。

## 微型动力源

虽然小型模块堆的设计一般都是基于众所周知的反应堆系统，但微堆是你期望在科幻电影中看到的那种东西。它们足够小，整个电厂可以在工厂里建造，然后用卡车运输。通过非能动性自调节安全系统，它们只需要少量的劳动人员就可以运行。由于独立于电网运行，它们可以在不同的地点移动和使用。它们的功率可达10兆瓦（电），每周运行7天，每天24小时，可为大约5000多个家庭提供10年或更长时间的电力。

这些结构紧凑、可移动的反应堆可作为医院等地的备用电源，或取代通常以柴油为燃料的发电机，成为偏远社区以及工业区和矿区的唯一电力来源。

目前在世界各地由私营公司和研究团体正在开发的微堆有十多座。

其中一座接近部署的微堆是由美国新成立的Oklo公司正在开发的1.5兆瓦（电）奥罗拉快中子堆。奥罗拉微堆目前正在走监管程序，其设计主要利用自然物理现象进行运行和自调节，这意味着它的活动部件非常少，

从而提高了安全性。预计它还可以使用高丰度低浓铀燃料，在不换料的情况下运行数十年。

“裂变反应可以有多种利用形式：

小型堆和大型堆，不同的燃料，不同的冷却方式，以及为商业模式、社区互动和所有权提供多种不同的方式。” Oklo公司首席运行官Caroline Cochran说，“裂变的新颖使用和分布式小型装置的建造，可以在最大限度地减少资源使用的同时，实现人类发展。”

其他处于后期阶段的微堆包括由总部位于英国的欧洲铀浓缩公司主导的U-Battery公司开发的4兆瓦（电）反应堆，预计将于2028年开始运行。

## 大规模部署

小型模块堆和微堆尽管取得了进展，但还远未大规模部署。

“这是‘鸡和蛋’的问题，” Reitsma说，“一方面，投资开发和部署小型模块堆需要有保障的市场和产品需求，但另一方面，如果没有开发和论证的资金，甚至没有做必要的研究或建立可能需要许可证审批的试验设施，就无法确保市场。潜在的投资者如果对市场风险不确定，就会对新技术投资犹豫不决。”

部署的另一个主要障碍是对广泛的小型模块堆和微堆设计的法规适用。系统、结构和部件的多样化组合，意味着针对常规核电厂制定的标准监管方案必须重新加以评价和最终调整，以确保足够的安全水平。了解更多小型模块堆监管过程信息，请参见第26页内容。

“目前，许多首创先进小型模块堆一直走监管程序，一旦完成，我们预计一般至少还需要四到五年的时间才能建成并运行。” Reitsma说，“但随着小型模块堆和微堆成为主流，我们可以预期看到这个期限会缩短，因为部署过程应该会变得更快、更具成本效益和更容易。”

---

“裂变的新颖使用和分布式小型电厂建造，可以在最大限度地减少资源使用的同时，实现人类发展。”

—美国Oklo公司首席运行官  
Caroline Cochran

---