搭载自修复合金的先进核反应堆技术落地美国新基地，实现规模化拓展

来源：美国 Interesting Engineering 网站 ｜ 发布时间：2026 年 9 月 2 日 ｜ 关键词：自修复合金、核反应堆、美国

摘要：SEALER 反应堆的技术设计可实现极小的占地面积。

原文链接： https://interestingengineering.com/energy/nuclear-reactor-with-self-healing-alloys

瑞典核电研发企业 Blykalla 已在美国得克萨斯州奥斯汀市巴顿泉路 801 号开设工程中心。该设施将作为公司在美国的核心技术基地，安排反应堆设计人员针对美国本土工业场地和公用事业电网，适配改造铅冷反应堆系统。

本次业务拓展的核心目标，是解决困扰液态金属反应堆数十年的材料科学瓶颈。熔融铅这类重液态金属会从常规不锈钢中析出铁和镍元素，长期运行后会导致结构部件和燃料组件强度下降。为避免这类化学腐蚀破坏，该公司的反应堆采用添加铝元素的特种钢材建造。

正常运行过程中，钢材内部溶解的铝元素会向金属外表面迁移。当铝元素接触到熔融铅内维持的可控浓度氧气时，会发生反应生成一层致密的微观氧化铝薄膜。

这层陶瓷薄膜会在液态金属和下方的钢结构之间形成一道永久屏障。如果运行过程中该屏障被表面刮痕或应力裂缝破坏，母材中多余的铝元素会自动迁移到裸露区域完成修补。

冶金层面的核心解决方案

这种冶金层面的突破让熔融铅作为运行冷却剂的使用具备了实用性，从根本上改变了电站的机械设计逻辑。传统商用反应堆依靠轻水传递热量，由于水在较低温度下就会汽化，必须维持极高的静水压或系统压力才能避免沸腾。

维持这种高压环境，需要配备加固钢制安全壳结构、高压管道回路，以及在突发压力下降时向系统注水的主动泵组。

熔融铅的特性则完全不同，它的沸点超过 1700 摄氏度，远高于堆芯的运行温度。

冷却剂不会汽化，因此一回路可以在常压环境下安全运行。这从根源上消除了一回路的压力风险，也不再需要体积庞大的高压安全壳穹顶。

如果电站完全断电，液态金属的物理特性可实现被动冷却：高密度的冷铅下沉、热铅上升，形成自然对流回路，无需电力泵组或应急发电机，就能将衰变热导出至外部热阱。

实现极小占地面积

这些技术特性让这款名为 SEALER（瑞典先进铅冷反应堆）的系统拥有了紧凑的占地面积。由于该设计无需大量承压支撑结构，运行也不需要大范围的安全隔离区，这类机组可以直接部署在重型工厂和高能耗数据中心的周边。

奥斯汀基地将负责完成符合美国监管标准所需的全部工程工作，并推动这类反应堆与本土合作伙伴完成系统集成。与此同时，公司的行政运营、财务和商业战略部门仍保留在曼哈顿鲍威利街 190 号的美国企业总部。

在大西洋彼岸，该公司正在申请政府许可，计划在瑞典蒂尔普市的温特拉区域建造一座包含 8 台机组、总装机容量 440 兆瓦的发电站，每台模块化反应堆的额定发电功率为 55 兆瓦。