

外媒关于延长核电厂运行期限的探讨

运营商正致力于将反应堆运行期限延长至 60 年乃至 80 年，本文深入探讨了延长核电厂运行期限的相关规划、实施路径与技术创新。



瑞士多廷根的 Beznau 核电厂计划运行至 2033 年

（图片来源：ToM-5400/Shutterstock）

延长核电机组运行期限技术已获验证，且日益成为实现净零排放目标的经济有效途径。国际原子能机构（IAEA）数据显示，目前全球在运的 416 座反应堆（装机容量 376.2 吉瓦）中，半数已运行 38 年。其中最古老的瑞士 Beznau 1、2 号机组（380 兆瓦西屋压水堆）分别于 1969 和 1971 年投运。运营方 Axpo 集团在机组改造升级方面已投入 25 亿瑞士法郎（约合 32 亿美元），现计划追加投资 3.5 亿法郎（约合 4 亿美元）。若许可证更新申请获批，2 号机组将运行至 2032 年，

1 号机组至 2033 年。全球众多反应堆面临相似情况：原设计寿命 30—40 年的机组，通过对系统、结构和部件升级改造，现可获得 60—80 年甚至更长的运行许可期。

延长电厂运行期限的益处

鉴于新建核电厂周期漫长，现有反应堆预计将在未来低碳发电中持续发挥重要作用。国际能源署预测，到 2040 年延长运行期限的机组将贡献 150 吉瓦装机容量，占全球核电总量的五分之一。根据世界核协会 9 月发布的《2025 年世界核能绩效报告》，2024 年全球在运核电机组发电量达 2667 太瓦时，创下历史新高，超越 2006 年 2660 太瓦时的前期纪录。机组容量因子未出现与运行年限相关的整体下降，这给出了“反应堆在进入延长运行期后仍具有良好运行潜力的积极信号”。

延长核电厂运行期限还具有巨大的经济效益。据经济观察公司研究，自 1976 年以来，英国的 8 座核电厂为英国经济贡献了约 1230 亿英镑（合 1660 亿美元）。法国电力公司最近宣布计划将 Heysham 1 号机组和 Hartlepool 核电厂运行期限延长 12 个月至 2028 年 3 月，从而保障了 1000 名工人的就业。与此同时，加拿大 Bruce 电力公司耗资 130 亿加元（合 9 亿美元）的主要部件更换项目——在 2020 年至 2033 年间更换 Bruce 3—8 号机组的关键部件，如蒸汽发生器、压力管、排管容器管道和给料管——预计将提供约 2.2 万个就业岗位，并在 2064 年前每年为安大略省创造 40 亿加元（合 2.9 亿美元）的经济效益。

南非电力公司 Eskom 向《国际核工程》表示，Koeberg 核电厂两台机组延长运行期限的动因在于“南非需要在大规模建设新发电容量的同时，维持可靠、低成本、低碳的基荷供电能力”。该电厂 1、2 号机组分别于 1984 年和 1985 年投运，装机容量约 1860 兆瓦（约占全国供电量的 5%）。该公司补充说明“相比新建电站，延长运行期限方案能更快实施且投入资本大幅降低”。

延长反应堆运行期限计划

许多国家都制定了雄心勃勃的延长反应堆运行期限目标。

美国核监管委员会（NRC）已为当前运行的 94 座反应堆中的 87 座延长了原 40 年运行许可证。美国核能研究所调查显示，绝大多数（95%）反应堆预计将获准运行至少 80 年，同时 73% 的反应堆正考虑提升功率。

加拿大安大略发电公司与 Bruce 电力公司正持续推进翻新计划，旨在将 Bruce、Darlington 及 Pickering 核电厂的 CANDU 反应堆运行期限延长 30 至 35 年。与此同时，法国电力集团计划斥资 60 亿欧元（约合 70 亿美元）对其 20 座 1300 兆瓦反应堆进行升级，使其运行年限突破 40 年，相关安全评审将于 2027 至 2035 年间陆续展开。比利时、捷克共和国、芬兰等国也正开展类似延长运行期限计划。

匈牙利、瑞典、罗马尼亚、南非、韩国和英国也在寻求延长多种反应堆的运行期限。

延长运行期限的两条主要途径

南非工程、采购和建设公司 Lesedi 核服务公司表示，国际上通常有两种实现核电厂运行期限延长的模式。NRC《许可证更新规则》（10 CFR Part 54）规定了申请更新许可证所需进行的严格评估程序，只要每次更新符合安全要求，即可多次更新运行许可证。在美国以外，核电企业通常遵循 IAEA “长期运行安全问题(SALTO)”流程，该方法要求相对宽松。SALTO 服务为考虑延长核电厂运行期限的国家提供咨询与协助，自 2005 年起通过同行评审，将各国延长运行期限实践与 IAEA 安全标准及国际良好实践进行对标。

专家评估过程通常包括：

- 关于 IAEA 安全标准和 SALTO 评估方法的研讨会
- 为期 9 天的 SALTO 预评估(在延长运行期限前 10 个月至两年内)
- SALTO 评估（在延长运行期限前两年内）
- 跟踪评估（在 SALTO 预评估和 SALTO 评估后 1.5—2 年）

案例分析：展望 Koeberg 核电厂运行 40 年后的未来

非洲唯一商业运营核电厂 Koeberg 开展了 SALTO 评估。Lesedi 公司参与了该核电厂的工作，利用软件工具开展老化分析。

Lesedi 公司从界定范围和筛选流程中涉及的数十万个安全相关组件起步，最终为 Koeberg 两个机组确定了约 8 万个安全相关部件（包括泵、土建结构、电缆等）。这些部件随后

根据材料特性、环境适应性等共性被归类至“物料组”。每个物料组及部分大型独立部件都经过进一步分析，以确定其使用寿命能否超过 40 年。Lesedi 公司还协助 Koeberg 完成部件升级，包括换料水箱、反应堆压力容器顶盖及蒸汽发生器的更换工作。

Eskom 公司说明，2022 年 3 月的 SALTO 评估及 2024 年 9 月的跟踪评估，重点关注与延长运行期限相关的核心要素，“特别是老化管理方案、特定设备状态问题（包括电缆管理与腐蚀监测），以及全厂监控与安全监督体系的强化措施”。

Koeberg 1 号机组于 2024 年 7 月获准延长运行期限至 2044 年，Eskom 公司正计划将 2 号机组延长运行期限至 2045 年。

延长运行期限的前景

延长核电运行期限是实现净零目标的关键环节。核电发展势头持续增强，IAEA 预测全球核能装机容量将从 2024 年的 377 吉瓦增至 2050 年的 561—992 吉瓦。按照高预期判断，现有大多数反应堆将获得延长运行期限许可，到本世纪中叶退役比例将控制在 20% 以内。

法律法规框架和技术证明，现有机组能够支持 40 年以上的安全运行。然而，如何在工程进展的同时保持公众信心和政治意愿仍为挑战。

对外交流合作部 余少青 供稿

编译自国际核工程