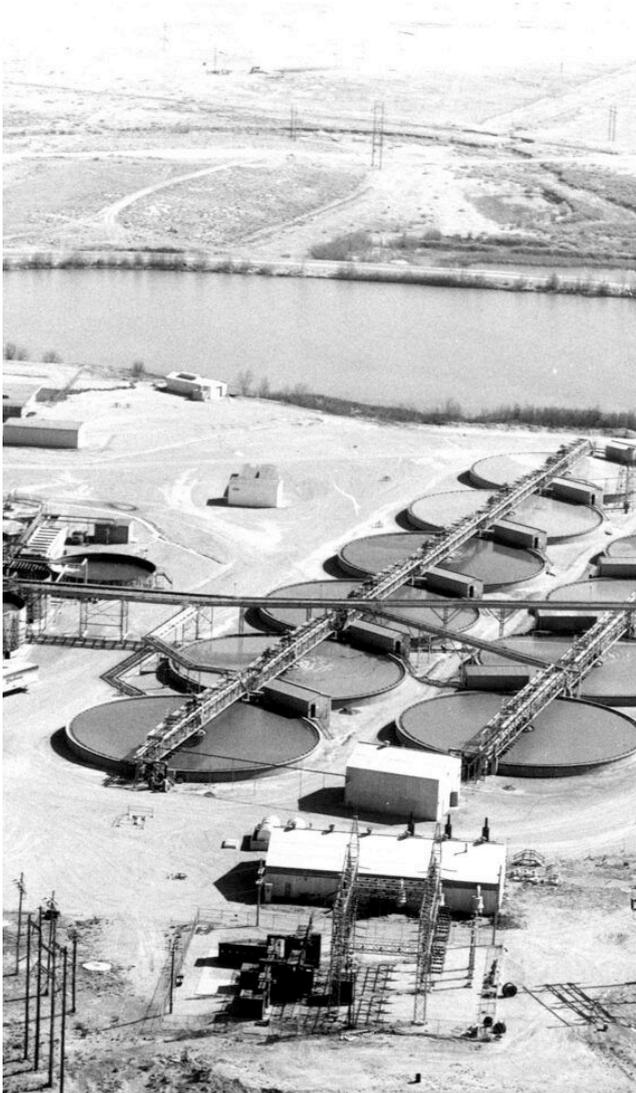


ROSATOM NEWSLETTER

01.

文章

匈牙利：大工程的开端
VVER-TOI：字字皆卓越
量子前景



02.

趋势

安全的前矿山



匈牙利：大工程的开端

2026年02月05日，匈牙利保克什（Paks）核电站5号机组的基础底板开始浇筑第一罐混凝土。这座新核电站将替代自1980年代开始运行的机组，继续为该国居民和工业提供清洁、可靠且价格低廉的核电。



5号机组是匈牙利与俄罗斯（此前为苏联）核能工作者自1960年代开始合作的延续。从1982年到1987年，保克什核电站共有四台采用俄罗斯设计VVER-440反应堆的机组并入匈牙利电网。目前，它们正以高于额定功率的强化模式运行，提供了该国约47%的电力消耗。保克什核电站二期总装机容量为2400兆瓦，将由两台采用第三代+ VVER-1200反应堆的机组组成。

“谁最先在核电站建设上取得成功，谁就最具竞争力。匈牙利正是这样的国家之一：保克什核电站二期是欧洲最大、最现代化的项目，是核能复兴的旗舰，”匈牙利外交与对外经济部部长彼得·西雅尔多（Péter Szijártó）强调说，“这座电站将成为长期能源安全的保障。得益于保克什的新机组，匈牙利将能够自主生产该国所需电力的70%，从而大幅降低对国际市场价格波动的依赖。”

“保克什-2”项目对世界核能界同样重要。“我们非常珍视国际原子能机构对我们在建项目的关照，以及其总干事拉斐尔·格罗西（Rafael Grossi）的亲自参与，”阿列克谢·利哈乔夫表示。

坚实基础上的工作

匈牙利监管机构——匈牙利原子能管理局（HAEA）于2022年8月颁发了VVER-1200机组的主要建设许可证。在此基础上，未来机组的工作基坑得以挖掘。2025年11月，监管机构颁发了浇筑第一罐混凝土和建造核岛建筑的许可。

随着第一罐混凝土的浇筑，该机组根据国际原子能机构（IAEA）的分类，正式进入“在建”状态。“这对匈牙利、俄罗斯乃至整个世界核能界来说，都是非常重要的一天，”俄罗斯国家原子能公司（Rosatom）总经理阿列克谢·利哈乔夫（Alexey Likhachev）评论道。

5号机组是匈牙利与俄罗斯（此前为苏联）核能工作者自1960年代开始合作的延续。从1982年到1987年，保克什核电站共有四台采用俄罗斯设计VVER-440反应堆的机组并入匈牙利电网。目前，它们正以高于额定功率的强化模式运行，提供了该国约47%的电力消耗。保克什核电站二期总装机容量为2400兆瓦，将由两台采用第三代+ VVER-1200反应堆的机组组成。

“谁最先在核电站建设上取得成功，谁就最具竞争力。匈牙利正是这样的国家之一：保克什核电站二期是欧洲最大、最现代化的项目，是核能复兴的旗舰，”匈牙利外交与对外经济部部长彼得·西雅尔多（Péter Szijártó）强调说，“这座电站将成为长期能源安全的保障。得益于保克什的新机组，匈牙利将能够自主生产该国所需电力的70%，从而大幅降低对国际市场价格波动的依赖。”

“保克什-2”项目对世界核能界同样重要。“我们非常珍视国际原子能机构对我们在建项目的关照，以及其总干事拉斐尔·格罗西（Rafael Grossi）的亲自参与，”阿列克谢·利哈乔夫表示。

坚实基础上的工作

匈牙利监管机构——匈牙利原子能管理局（HAEA）于2022年8月颁发了VVER-1200机组的主要建设许可证。在此基础上，未来机组的工作基坑得以挖掘。2025年11月，监管机构颁发了浇筑第一罐混凝土和建造核岛建筑的许可。

VVER-TOI: 字 字皆卓越

俄罗斯国家原子能公司不仅不断对其反应堆技术进行现代化改造，还全面升级了核电机组的建设方法。一个生动的例子是，在2026年新年前夕并网的俄罗斯库尔斯克核电站二期1号机组，它是按照VVER-TOI（标准优化信息化压水堆）项目建造的。在该项目框架下取得的成果也将应用于新项目。



VVER-TOI缩写的含义是“典型化、优化、信息化的水-水动力反应堆”。VVER-TOI是典型核电机组的更新项目，符合最新的安全要求（包括考虑福岛核电站事故的经验）和全球市场需求。在此之前，典型项目开发于1980年，巴拉科沃、罗斯托夫、加里宁、扎波罗热核电站以及捷克的“泰梅林”核电站等机组均据此建造。因此，它是典型化的。

新项目一次性解决了多个任务。首先，是要符合24项竞争力标准。为此，该国有企业的专家们对设计方案进行了大规模优化，从总平面图到电气工程。他们重新审视了运输组织、自动化过程控制系统（APCS）、布局、主要建筑物和构筑物的建筑与工艺解决方案，当然还有安全概念。因此，它是优化的。

另一项任务是创建能在机组整个生命周期内管理信息的解决方案。项目启动时，全球市场上尚无此类解决方案，因此俄罗斯国家原子能公司创建了自己的系统。因此，该项目是信息化的。

结果是创建了一个汇集机组所有信息的系统。在其中可以进行设计和构造，开展采购活动，管理供应、期限、资源和成本，验证数据，并监控需求的执行情况。超过两千名俄罗斯国家原子能公司的专家参与了这项工作。他们创建了核电站项目不可变部分的综合信息模型，该模型可以在不同场址进行复制。



得益于这些创新，与上一代机组（VVER-1000）相比，库尔斯克核电站二期每个机组的设计功率提高了25%，达到1250兆瓦。主要设备的使用寿命延长了一倍。机组的设备配置和谐地结合了被动和主动安全系统。它们确保了机组在事故条件下具有较长的自维持能力（不少于72小时），防止共因故障，并减少人为因素的影响。机组设计具有更高的抗震能力：它能承受MSK-64烈度表下的7级地震，而执行安全功能的结构和组件则能承受高达9级的地震。技术解决方案使机组能够抵御重型飞机的坠落（基本型为20吨，选项为400吨）以及其他极端外部影响（飓风、龙卷风、洪水）。



2026年01月29日，库尔斯克核电站二期首台 VVER-TOI 机组开始试运行。这是继并网发电后的下一个阶段。该计划规定将机组功率逐步提升至100%。

俄罗斯国家原子能公司的专家将继续利用库尔斯克核电站二期机组的建设经验以及显示出最大成效和经济效益的解决方案，对基础项目进行优化。反应堆装置和极端影响防护系统，以及灵活性、使用MOX燃料的可能性、经济性都将得到改进——即所有那些使俄罗斯方案在全球市场上独一无二并受到外国客户青睐的因素。

新年礼物

库尔斯克核电站二期首台搭载VVER-TOI反应堆的机组于2025年12月31日并网。“库尔斯克机组是最新VVER-TOI核电机组项目的首次体现。该项目不仅吸纳了核能领域的最新成就，还是俄罗斯国家原子能公司机组群中功率最强的：1250兆瓦，比之前的纪录保持者——列宁格勒核电站二期机组高出50兆瓦，”俄罗斯国家原子能公司总经理阿列克谢·利哈乔夫在启动仪式上评论道。

量子前景

俄罗斯是全球量子市场的关键参与者之一。俄罗斯科学家取得了巨大成就——制造了拥有数十个量子比特的量子处理器，并开始在其上进行首批计算以解决模型问题。俄罗斯国家原子能公司负责俄罗斯量子计算发展路线图，并与俄罗斯及国外合作伙伴建立联盟。



量子计算的主要特点，也是其相比经典计算机更具潜力的原因，在于速度。量子计算机工作的基础是量子比特 (qubit)：信息的最小单位。如果两个经典比特在某一时刻只能取四个值中的一个：00、01、10、11，那么两个量子比特可以在同一时刻同时处于所有这些状态——这被称为叠加态。

量子并行性正是基于这一基本特性。经典计算机一次只能针对一组输入数据执行算法。而量子计算机，如果输入各种输入值的叠加态，它将同时对所有这些值执行操作。得益于叠加态及基于此的并行性，量子计算机能够比普通计算机快得多地进行计算。量子处理器越大，计算的并行性就越高：一个由n个处于叠加态的量子比特组成的系统，同时也处于所有 2^n 个状态中。

因此，量子处理器特别擅长某些类型的计算。例如，那些涉及遍历多种选项以寻找具有大量参数的最佳组合的任务。应用领域包括制药与材料科学、物流、网络安全。解决此类任务对于发展人工智能、制造最精确的时钟、优化生产流程等都是必需的。

目前，全世界都在尝试利用量子处理器解决实际有用的问题。个别的成功案例已经出现。

俄罗斯在量子技术领域的地位

俄罗斯是为数不多的能够在四个物理平台（离子、冷原子、超导体和光子）上制造量子处理器的国家之一。大多数国家仅发展一到两个平台。

俄罗斯科学家在制造量子处理器方面取得了重大成就。例如，在镱离子平台上创建了70量子比特的处理器。在钙离子和冷原子平台上达到了72量子比特。超导处理器拥有16个磁通量子比特 (fluxonium)，光子处理器则有35个量子比特。

一个单独的重要方向是量子软件：用于解决实际问题的特殊算法。俄罗斯科学家已创建了43种算法。核工业的七家机构正在其企业中测试用于解决模型问题的量子算法。例如，在旨在创建具有闭式核燃料循环的第四代能源系统的“突破”项目中，解决了一个热传递的模型问题。计算是在50量子比特的离子量子计算机上通过量子计算云平台进行的。

总共有7个优化生产流程的项目、12个解决建模领域问题的项目以及4个涉及智能数据分析的项目。



国际兴趣

约有十个国家对俄罗斯在量子计算领域的成果表现出兴趣。这并不奇怪，考虑到这些技术在俄罗斯的飞速发展（十年前该国甚至连一个几量子比特的量子处理器都没有）及其发展的高效性。尽管俄罗斯在量子计算国家项目资金投入规模上仅排名世界第11位，但却取得了最高的实际成果之一，并正在接近领导者——美国和中国。对此还应补充一点，那就是可能性的广度：来自该国众多大学和科研院所的科学团队参与了量子处理器的开发，这使得例如同时发展基于镱和钙的离子处理器成为可能。

俄罗斯，当然还有俄罗斯国家原子能公司，准备与其他国家发展量子领域的合作。为了激活这项工作，2026年4月，俄罗斯国家原子能公司将与俄罗斯联邦科学和高等教育部、俄罗斯联邦数字发展、通信和大众传媒部在莫斯科共同举办首届金砖国家量子技术论坛。

论坛已邀请来自成员国及伙伴国的科学界、政府机关和商界代表参加。预计在金砖国家框架内建立统一的合作空间将加速应用量子解决方案的开发，并加强该组织作为全球技术中心的地位。

“2025年，我们的科学家证实了国家在量子研究和创建量子计算机原型方面的稳固地位。凭借巨大的潜力，我们主张各国公平获取高新技术，因为科技进步的最终目标是改善全世界人民的生活质量，”俄罗斯国家原子能公司量子技术总监叶卡捷琳娜·索恩采娃（Ekaterina Solntseva）对举办该论坛评论道。

安全的前矿山

国际原子能机构（IAEA）发布了第三版《中亚国家（吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦和乌兹别克斯坦）铀遗留设施环境整治战略总体规划》。这是一份参考文件，描述了各组织为使这些设施进入安全状态所开展的活动。俄罗斯国家原子能公司是这项工作的关键参与者之一。



战略总体规划的目标

战略总体规划旨在建立一个系统、协调且清晰的中亚遗留设施整治原则框架（framework）。它支持国家关于遗留设施和修复场地长期可持续管理的战略和计划。总体规划将有助于实现诸如“良好健康与福祉”（SDG 3）、“清洁饮水和卫生设施”（SDG 6）、“可持续城市和社区”（SDG 11）、“陆地生物”（SDG 15）以及“和平、正义与强大机构”（SDG 16）等可持续发展目标。

该文件的适用期为2025年至2030年。

独联体国家的合作

工作方向之一是由独立国家联合体（CIS）成员国资助的遗留设施修复。为此，通过了《吉尔吉斯斯坦和塔吉克斯坦前铀矿生产设施修复国家间目标计划》（IMCP）。正是这些地区开始开采苏联的第一批铀。欧亚经济共同体国家间理事会于2012年批准了该计划，实施工作始于2013年。其目标是降低与辐射对环境影响相关的紧急情况风险，并确保当地居民的安全生活。计划的对象是吉尔吉斯斯坦明库什（Min-Kush）和卡吉赛（Kaji-Say）定居点以及塔吉克斯坦伊斯提克洛尔市（Istiklol，2012年前称塔博沙尔（Taboshar））附近最危险的尾矿库。

IMCP一直运作至2025年。专家们进行了设计和勘察工作，选择了最佳技术方案，制定了必要的文件，并协调批准了项目。随后执行了所有计划工作，并改进了环境监测系统，培训了当地专家管理修复项目和计划。

俄罗斯国家原子能公司是 IMCP

的积极参与者。2019年，该国在吉尔吉斯斯坦完成了卡吉赛定居点附近尾矿库的封存工作。2023年，完成了“Kak”尾矿库的修复和“Taldy-Bulak”尾矿库的清理（均位于明库什定居点附近）。2025年8月，在明库什完成了“Tuyuk-Suu”尾矿库的清理和“Dalneye”尾矿库的修复。

在塔吉克斯坦，俄罗斯国家原子能公司在塔博沙尔矿（索格特州）的工业场地上修复了一座贫铀矿石加工厂的废石堆和四座尾矿库。工作于2023年提前完成。矿山及周边地区的辐射背景降至安全水平。

IMCP框架下的资金由参与计划的独联体成员国提供。俄罗斯承担了75%，哈萨克斯坦15%，吉尔吉斯斯坦5%，塔吉克斯坦5%。战略总体规划文中指出，IMCP框架下的总投资额为3220万欧元。目前，作为独联体成员国在乏核燃料、放射性废物管理及核与辐射危险设施退役方面的基础组织（指定为TVEL公司），正在制定独联体国家关于使核遗留设施进入安全状态的新示范概念草案。预计该草案将于2026年由独联体议会间大会批准。该文件将包含核遗留设施状况的描述、使其进入安全状态的合作基本原则以及此类设施的登记册。

与俄罗斯的双边协议

由于IMCP于2025年结束，新的双边计划准备工作已提前开始。2024年，俄罗斯与吉尔吉斯斯坦签署了关于合作修复受铀矿开采和采矿生产影响领土的政府间协议。

在双边协议框架下，俄方将修复卡吉赛定居点（伊塞克湖州）的矿井和灰渣堆、托奥-穆云（Too-Muyun）定居点（奥什州）的废石堆和矿井，以及克孜勒-贾尔（Kyzyl-Jar）定居点（贾拉拉巴德州）的矿山废石堆和矿井。

托奥-穆云和克孜勒-贾尔的设施修复工作已于2025年底完成。卡吉赛设施的准备工作正在进行中，计划于2026年底前完成修复。

俄罗斯也与塔吉克斯坦签署了类似的双边协议。2025年，双方签署了关于合作修复受铀矿开采和采矿生产影响的塔吉克斯坦领土的政府间协议。计划修复“Adrasman”尾矿库（索格特州）和塔博沙尔矿第3车间的废石堆。目前正在制定设计和预算文件。



吉尔吉斯斯坦和塔吉克斯坦的设施修复分别获得了2140万欧元和1560万欧元的拨款。

欧盟的活动

战略总体规划中描述的另一个铀遗留设施修复活动方向是欧盟的活动。在中亚国家，运作着欧盟国际核安全合作工具（INSC）。得益于INSC，订购了七个优先对象的环境影响评估（EIA）和可行性研究（FS）。欧盟通过欧洲复兴开发银行的中亚环境修复账户为工作提供资金。该账户拥有修复七个优先铀遗留设施的授权。这些设施包括吉尔吉斯斯坦的迈卢苏（Mailuu-Suu）、明库什（Min-Kush）和谢卡夫塔尔（Shekaftar），塔吉克斯坦的伊斯提克洛尔（Istiklol）和德格迈（Degmay），以及乌兹别克斯坦的恰尔克萨尔（Charkesar）和扬吉阿巴德（Yangiabad）。在2017年至2025年期间，明库什、谢卡夫塔尔、恰尔克萨尔和扬吉阿巴德已完成修复。迈卢苏的修复工作仍在继续，伊斯提克洛尔已部分修复，德格迈的工作尚未开始。

正如战略总体规划所指出的，2015年在欧盟的支持下，完成了这七个设施的环境影响评估和可行性研究，并形成了一个待实施的项目组合。EIA和FS的编制成本为800万欧元。该计划框架内的修复总估算成本为1.13亿欧元。截至2025年，已筹集资金7180万欧元。其中，欧盟委员会拨款6150万欧元，其他捐助者提供900万欧元。因此，出现了4300万欧元的资金缺口。报告指出：“填补这一缺口对于确保全地区修复措施的长期有效性至关重要。”

修复之后

国际原子能机构的专家指出，在完成各种遗留设施修复方面取得了持续进展，并指出越来越重视建立修复后的管理系统。战略总体规划的作者认为，该系统对于明确分配责任和过渡到修复场地的长期制度化具有重要意义。国际原子能机构的文件指出，这需要资金和训练有素的人员。