

有色金属行业

投资评级

看好

战略性矿产系列报告：铀，天然铀 价值重估，长牛征程进行时



五矿证券研究所 有色金属行业

分析师：王小芃

登记编码：S0950523050002

联系电话：021-61102510

邮箱：wangxiaopeng@wkzq.com.cn



中国五矿

五矿证券
MINMETALS SECURITIES

更多免费行业报告

并购家

www.ipoiipo.cn

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

Contents 目录



01

核燃料循环概览

02

天然铀供需格局

03

天然铀价格复盘及预测

04

风险提示

01

核燃料循环产业链概览

Nuclear Fuel Cycle Overview

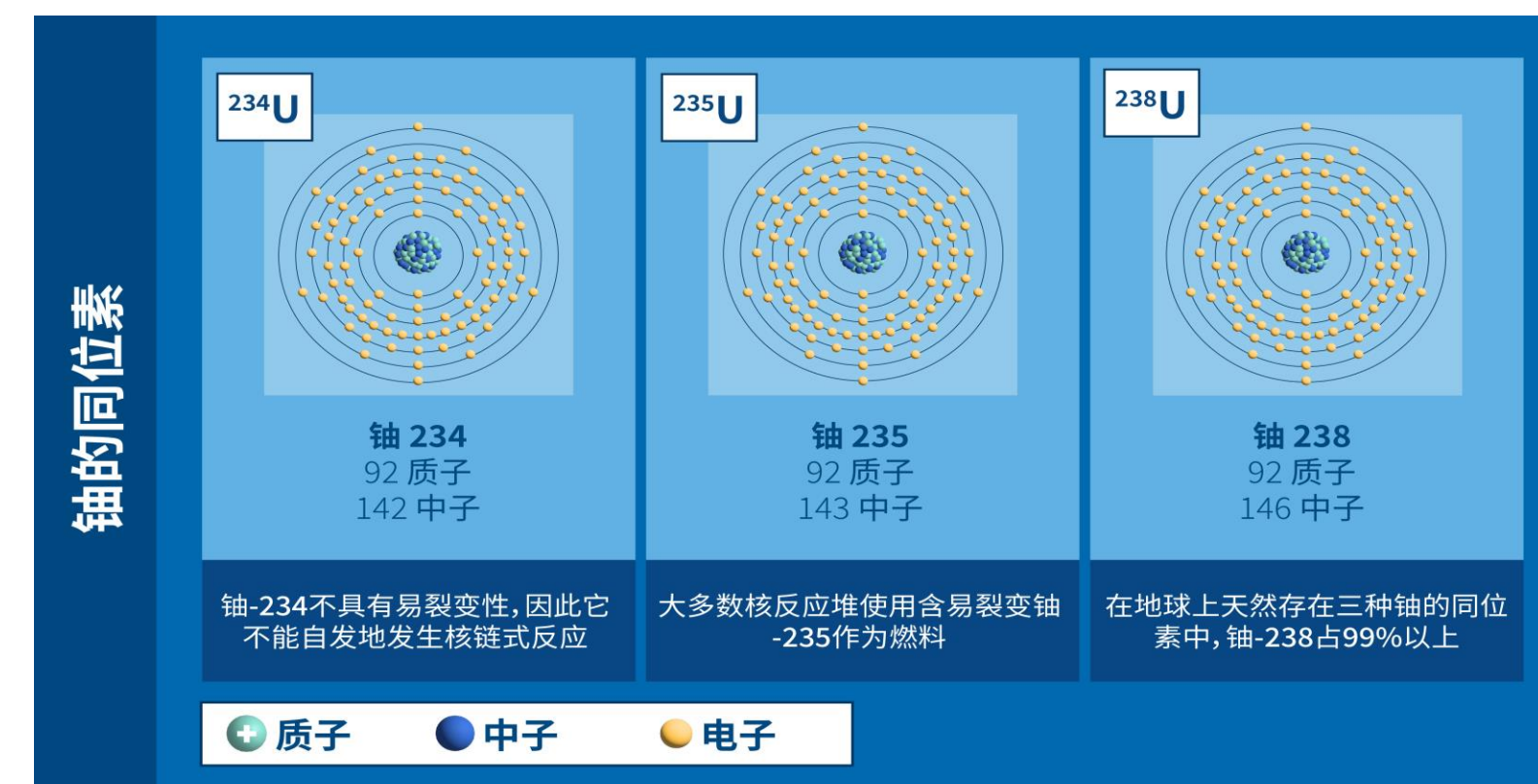
1.1 天然铀的物理、化学性质及放射性（1/2）

铀的物理性质：铀位于第七周期第ⅢB族，属于锕系元素之一，其化学符号为U。**1）原子性质：**铀原子序数为92，原子量为238，是自然界至今发现的最重的元素。铀原子呈椭圆形，原子体积为 $12.59\text{cm}^3/\text{mol}$ ，密度与黄金密度相似（常温下为 $19.05\text{g}/\text{cm}^3$ ），硬度稍低于铜（布氏硬度为 $240\sim 260\text{kg}/\text{mm}^2$ ）；熔点 1132.3°C ，沸点 3818°C ，热导率（ 25°C ） $0.060\text{卡}/\text{厘米}\cdot\text{秒}\cdot\text{度}$ ，电导率 $3.8\times 10^6\text{S}/\text{m}$ ，比热 $6.594\text{卡}/\text{摩尔}\cdot\text{度}$ ，抗拉强度 450MPa ，屈服强度 207MPa ，弹性模数 172GPa ，在接近绝对零度时具有超导性和延展性；**2）原子结构：**铀原子的中心为原子核，围绕带正电荷的原子核有数目与质子数相等的、带负电荷的电子不断运动，这些电子的运动均沿着一定的轨道，几个轨道组合在一起形成一个电子壳层，围绕铀原子核的周围运转的92个电子呈层状分布；**3）铀同位素：**铀原子核由质子和中子构成，包含有92个质子，但所含的中子数是可变的，因而构成的铀的各种同位素，迄今已发现质量数在226和242之间15个铀同位素，在自然界中存在的只有 ^{238}U 、 ^{235}U 和 ^{234}U ，它们的同位素相对丰度分别为99.275%、0.720%、0.005%，半衰期分别为45亿年、7.3亿年和26万年。其余12种同位素都在核反应过程中由人工制取；**4）单质铀：**纯金属铀是人工制取的，呈银白色，微带淡蓝色调。铀具有金属光泽，粉末状金属铀呈灰黑色（条痕）。金属铀不是良导体。铀的顺磁性很弱，其随强度升高而增加。磁比率 $\chi_m=414\times 10^{-6}\text{cm}\cdot\text{g}\cdot\text{s}$ 。

图表1：铀元素性质

元素名称			
密度 / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	19.050(α)	[Rn]5f ³ 6d ¹ 7s ²	电子排布
熔点 / $^\circ\text{C}$	1132.3	238.0	相对原子质量
沸点 / $^\circ\text{C}$	3818	1.7	电负性
原子序数	92	U	元素符号
英文名称	Uranium	385	第一电离能/ $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
原子半径/pm	138.5(α)	6,4,3,5	氧化态
发现年代	1789年	克洛普罗特	
发现者	克洛普罗特	体心立方 四方 复杂立方	

图表2：铀元素主要以铀-238同位素形式存在在地壳中

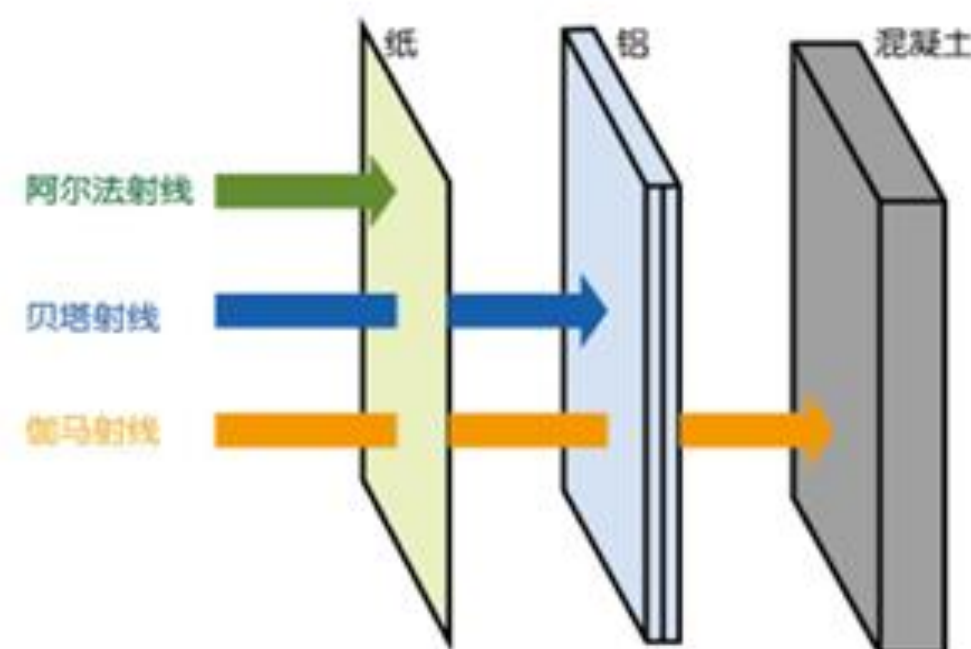


1.1 天然铀的物理、化学性质及放射性（2/2）

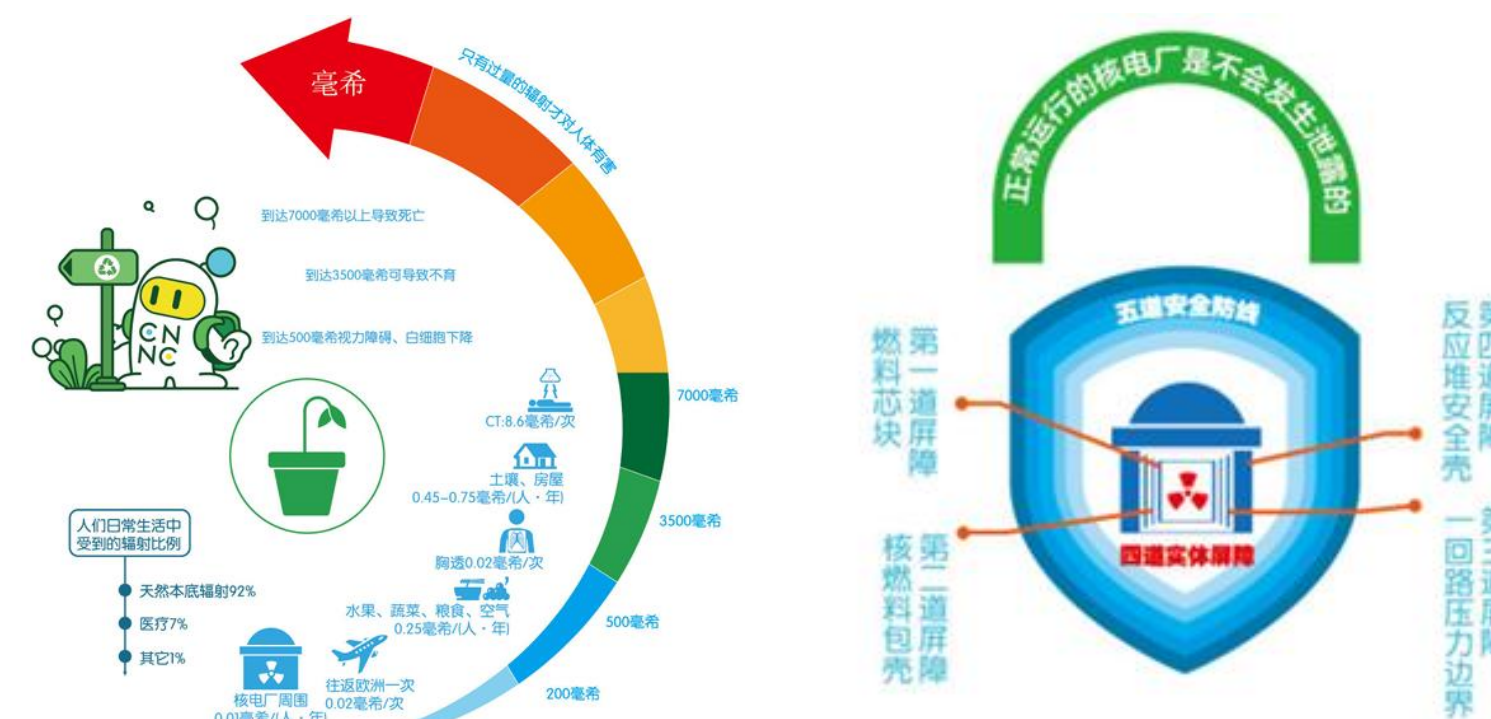
铀的化学性质：铀的化学性质活泼，几乎能与所有的非金属作用（惰性气体除外），也可与多种金属形成金属互化物，也能与许多酸、碱、盐起反应。自然界中，铀总是以各种氧化物和含氧化合物的形式出现。铀的主要化合物包括铀的氧化物、铀的卤化物、铀盐等。主要的铀氧化物有二氧化铀（ UO_2 ）、八氧化三铀（ U_3O_8 ）、三氧化铀（ UO_3 ）。铀卤化物主要有 UF_3 、 UF_4 、 UF_5 、 UF_6 、 UCl_3 、 UCl_4 、 UCl_5 、 UCl_6 。铀与各种酸作用可生成相应的盐类，如硝酸铀酰、氟化铀酰、硫酸铀酰等。

铀的放射性：放射性指元素从不稳定的原子核自发地放出射线衰变形成稳定的元素而停止放射的一种现象。原子序数大于82的元素因其原子核的不稳定性都具有放射性，自然界存在3个天然放射性系列，即铀（U）系、钍（Th）系和锕铀（AcU）系，铀（原子序数为92）是最容易发生放射性衰变的元素之一。放射性核素衰变时会放出射线，当射线通过电、磁场时就可以发现是一种分别为带正电荷的 α 射线和带负电的 β 射线以及不带电的 γ 射线，其穿透能力为： α 射线较弱， β 射线较强， γ 射线很强。核辐射可以防护，天然铀矿石、核燃料生产没有核辐射风险，核燃料生产因根本不具备裂变反应的条件也不会发生爆炸；我国国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定了工作人员职业照射及公众照射的计量限值，保证核电站运行安全。

图表3： α 、 β 、 γ 射线的穿透能力



图表4：核电厂附近居民一年接受辐射量相当于一根烟的辐射量



1.2 核燃料循环技术链概览：天然铀为“核电粮仓”，成本占核能发电9%，是国家重要战略性矿产资源（1/2）

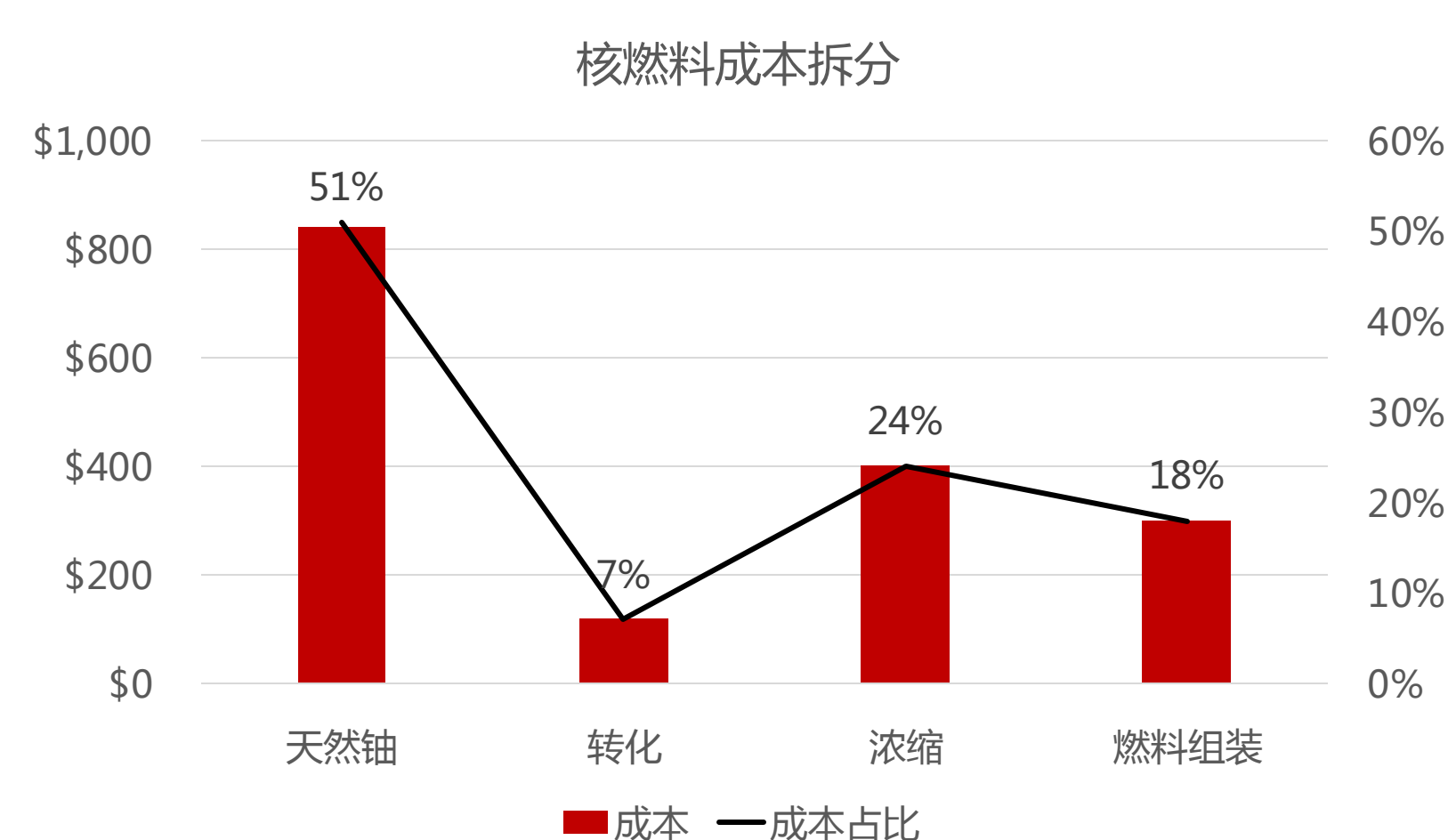
▣铀被美国、中国、加拿大列入关键矿产清单。2018年，《新时代中国战略性关键矿产目录厘定》将铀列入其中；2021年，加拿大《关键矿产清单》将铀列入其中；2025年，美国关键矿产清单新增铀，均旨在增强国内铀供应链韧性。为应对地缘政治带来的能源不确定风险，以及全球“双碳”目标下，稳定、高效、清洁、安全的核能是国家优化能源结构的重要突破口，各国纷纷推出核电利好政策以推动核能复兴。美法中俄等核电大国通过补贴、政策激励和监管支持推动核电项目审批及建设，巩固长期增长态势；日德等曾转向放弃核能国家逆转政策方向，推动核电站重启、延长反应堆寿命；除此之外还有约30个国家正在考虑、规划或启动核能项目。能源安全、碳中和目标等多重因素的叠加驱动下，铀与核能作为高效的长期解决方案正蓄势待发。

▣天然铀占核燃料成本51%，占核能发电整体成本13%。核燃料成本包括天然铀、铀转化、浓缩、燃料组件等成本。根据WNA，1千克二氧化铀核燃料的前端核燃料循环成本约为1,663美元，其中，天然铀成本占核燃料成本的51%，铀转化及浓缩占比约31%，燃料组件加工约占18%。根据2024年中国广核年报，核燃料成本占销售电力成本的比例约为17%，大致推算天然铀占核能发电整体成本约为9%。

图表5：核能是发电的“六边形战士”



图表6：天然铀成本占核燃料成本51%

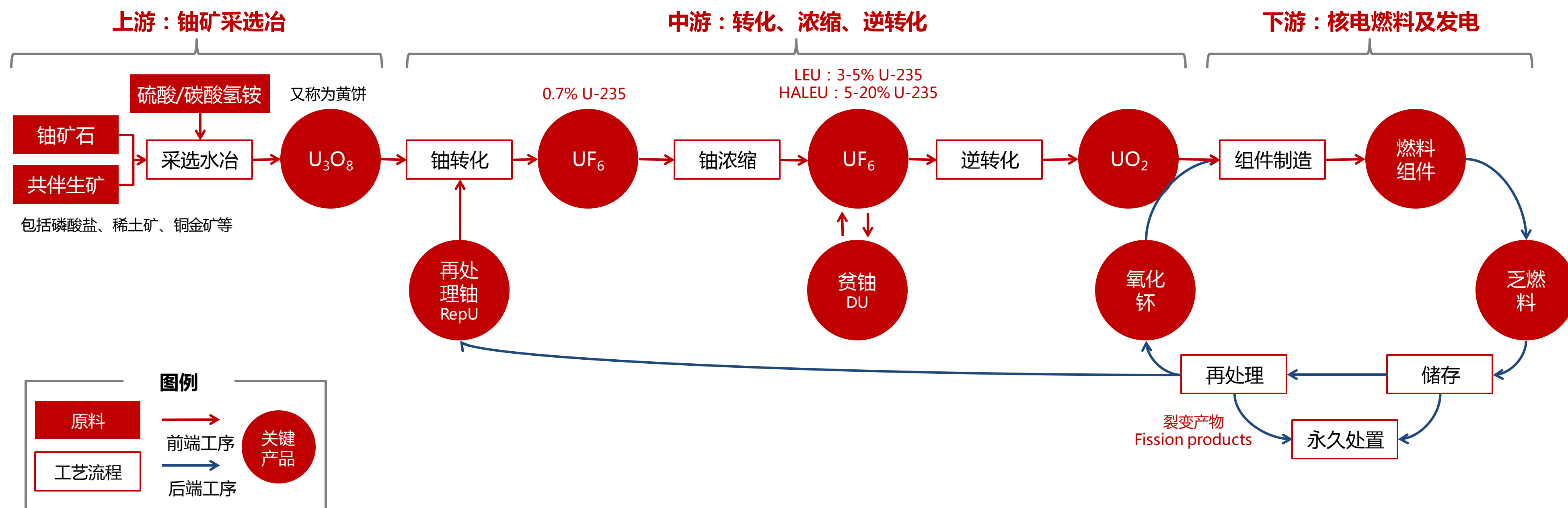


1.2 核燃料循环技术链概览：全产业链分前端和后端，循环方式分为一次通过式和闭式循环（2/2）

□核燃料循环分为前端和后端工序。整个循环包括核燃料进入反应堆前的制备、在反应堆中燃烧及燃烧后进行处理的整个过程。其中，后处理过程包括从燃烧后的乏燃料中或辐照过的增殖材料中提取未烧尽的和新生成的核燃料再返回堆中使用及放射性废物处理、处置过程。

□核燃料循环方式分为一次通过式核燃料循环和闭式核燃料循环。一次通过式核燃料循环指乏燃料不进行后处理而被直接永久处置的核燃料循环；闭式核燃料循环指乏燃料经过后处理回收铀、钚并加以重复使用的核燃料循环。我国坚持采用闭式核燃料循环的核电发展规划，对乏燃料采用后处理的方式，从乏燃料中提取铀、钚继续用于核燃料的制造；同时也提取锶、铯、钨等有用的裂变核素，以及镎、钼、铜等超铀核素。

图表7：核燃料循环技术链

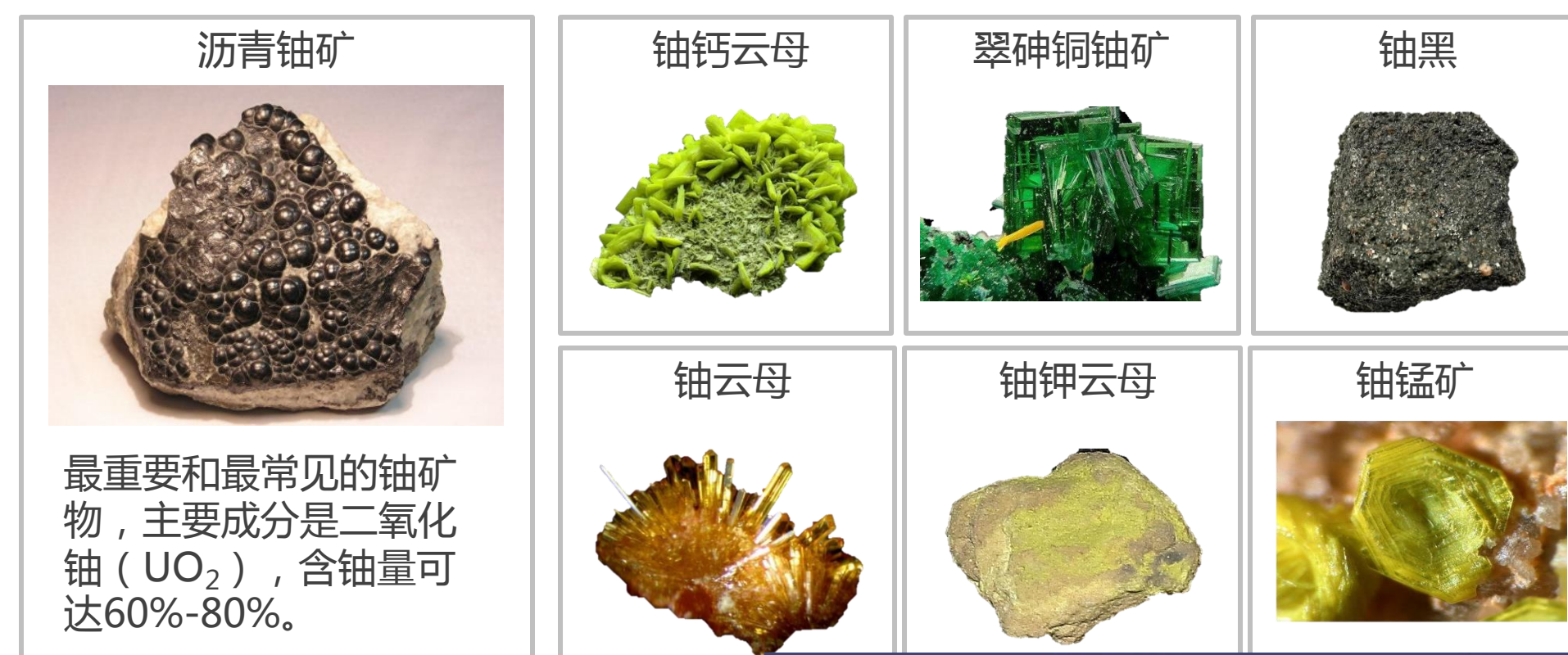


1.3 上游——铀在地壳中并非绝对稀缺，丰度与锡、钼相似（1/4）

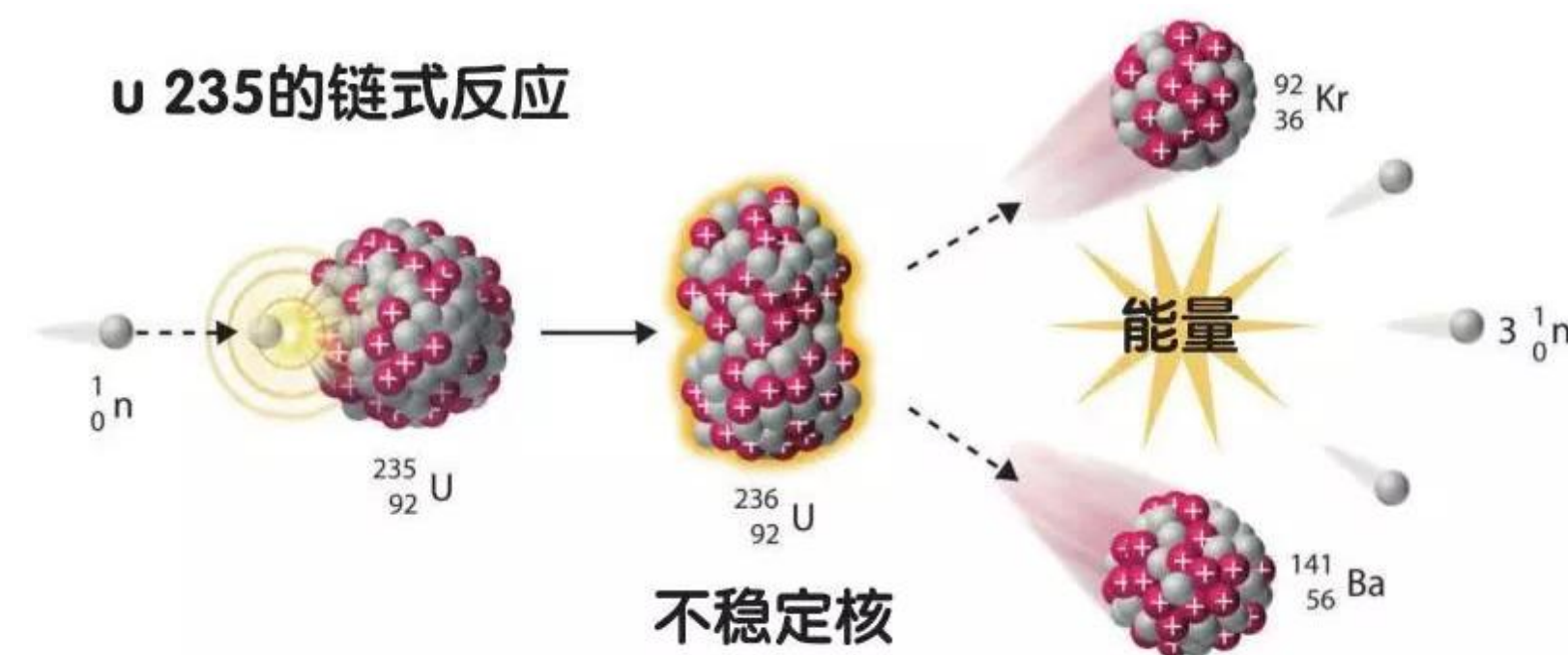
□**天然铀在地壳中分布广泛。**天然铀平均丰度约为2.5ppm，即平均每吨地壳物质中约含2.5克铀，这比钨、汞、金、银等元素的含量高，与锡、钼丰度相似。但铀在各种岩石中的含量很不均匀，其中，蕴藏经济价值最高的铀矿床为砂岩/沉积型（约占全球资源量18%，低中品位0.05%-0.5%，当前主要在产铀矿床类型）、IOCG型（铀为伴生元素，品位为0.03-0.05%）以及不整合面型（约占全球资源量1/3，高品位1%-25%）。大多数铀矿床的平均品位维持在0.10%以上，部分项目品位可达约20%。除陆地岩石外，每吨海水平均含3.3毫克铀，虽含量低但由于海水总量极大，部分缺铀国家正在探索海水提铀的方法。

□**铀在自然界中有三种天然同位素——铀-234、铀-235和铀-238。**由于铀-238半衰期接近地球年龄（约45亿年），衰变损耗少，其天然丰度约占天然铀储量的99%；铀-235是天然铀中唯一可直接用于链式裂变反应的同位素，但在全球天然铀中占比仅0.7%。当铀-235的原子核被中子击中时，就会分裂，释放出能量和更多中子，这些中子会再冲击其他原子核，从而引发核链式反应。正是这种特殊性质，使铀-235成为核电站、核潜艇和核武器等的理想燃料。

图表8：铀矿石主要类型



图表9：铀-235核链式反应

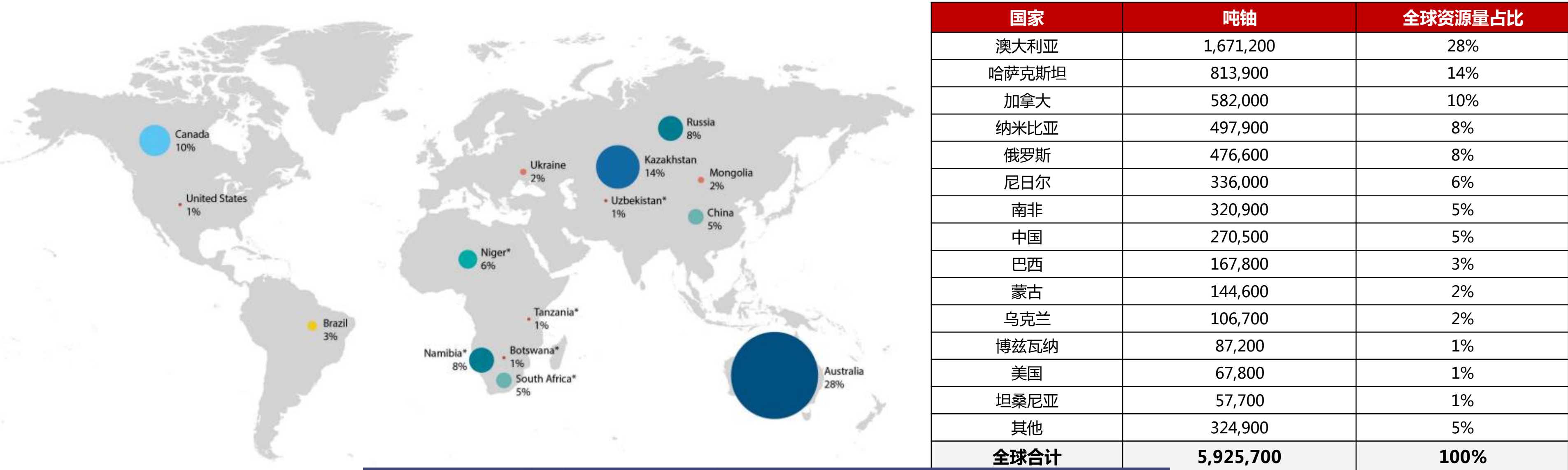


1.3 上游——铀矿资源量分布集中度高，澳大利亚、哈萨克斯坦、加拿大三国占比50%以上（2/4）

根据WNA，2023年全球开采成本低于130美元/kgU的可采资源量天然铀资源量为592,57万吨。其中，澳大利亚铀资源量占全球总量的28%（167.1万吨），其拥有全球最大的铀矿床Olympic Dam（目前主要产铜，铀作为副产品生产）；哈萨克斯坦铀资源量占比14%（81.4万吨），其国有铀矿开发商Kazatomprom（哈原工）是全球最大的铀生产商；加拿大铀资源量占比10%（58.2万吨），拥有Cigar Lake和McArthur River两大高品位铀矿。

根据IAEA《2025核技术评论》，全球已查明可开采常规地下铀资源足以支撑核发电容量的近期和中期增长。考虑到全球反应堆相关铀需求量端，如果全部投入生产，这些资源足够使用130多年。但这一数字没有考虑最近在“气候公约”缔约方第28届会议上发表的到2050年将核电装机容量增加两倍的宣言影响，也没有考虑设想的广泛部署可占到核动力群25%的小型模块堆的影响。

图表10：全球铀资源分布图（开采成本低于130美元/kgU的可采资源量，截至2023年1月1日）

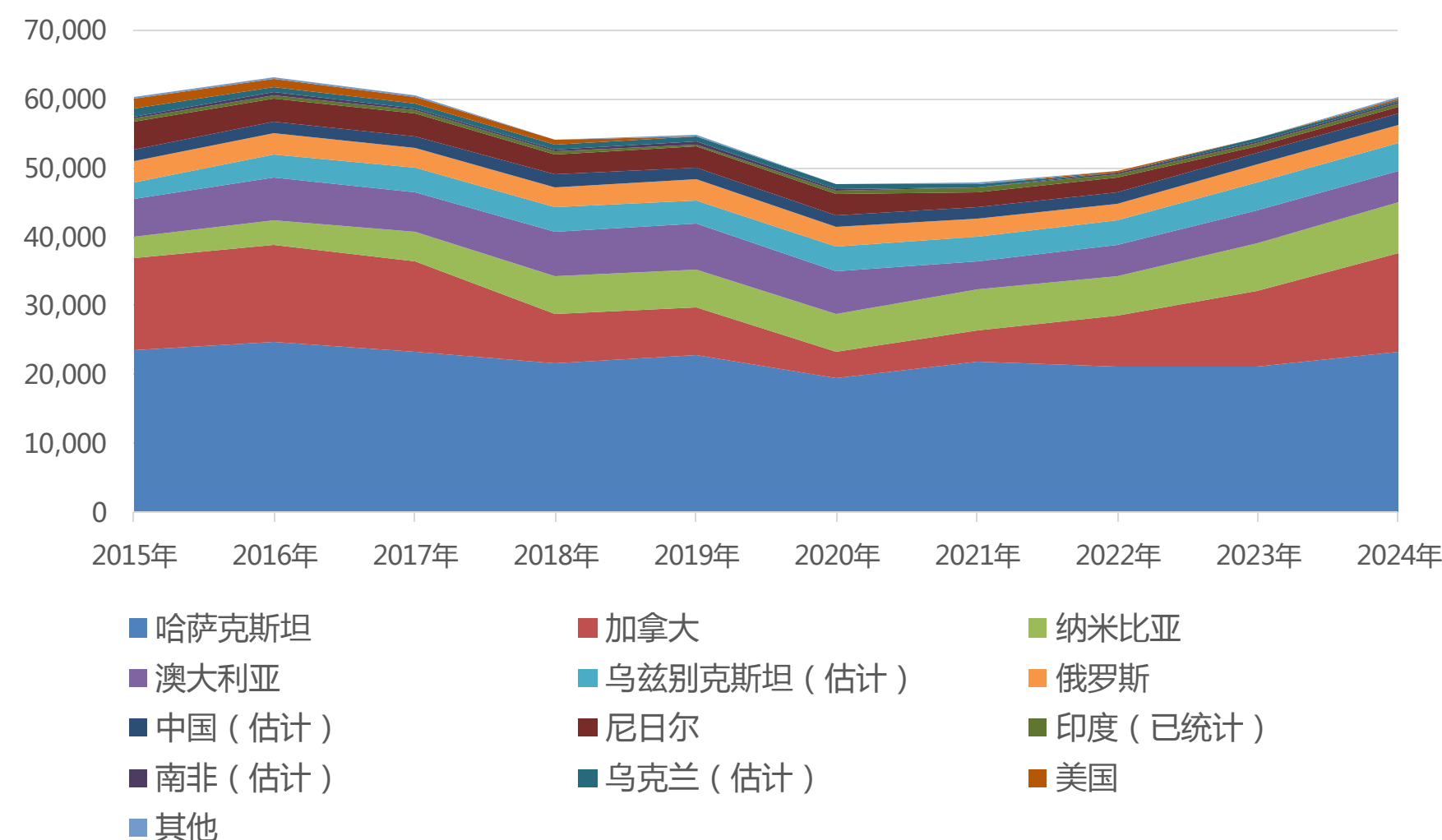


1.3 上游——产量分布更为集中，前三大铀产国哈萨克斯坦、加拿大和澳大利亚产量全球占比75%（3/4）

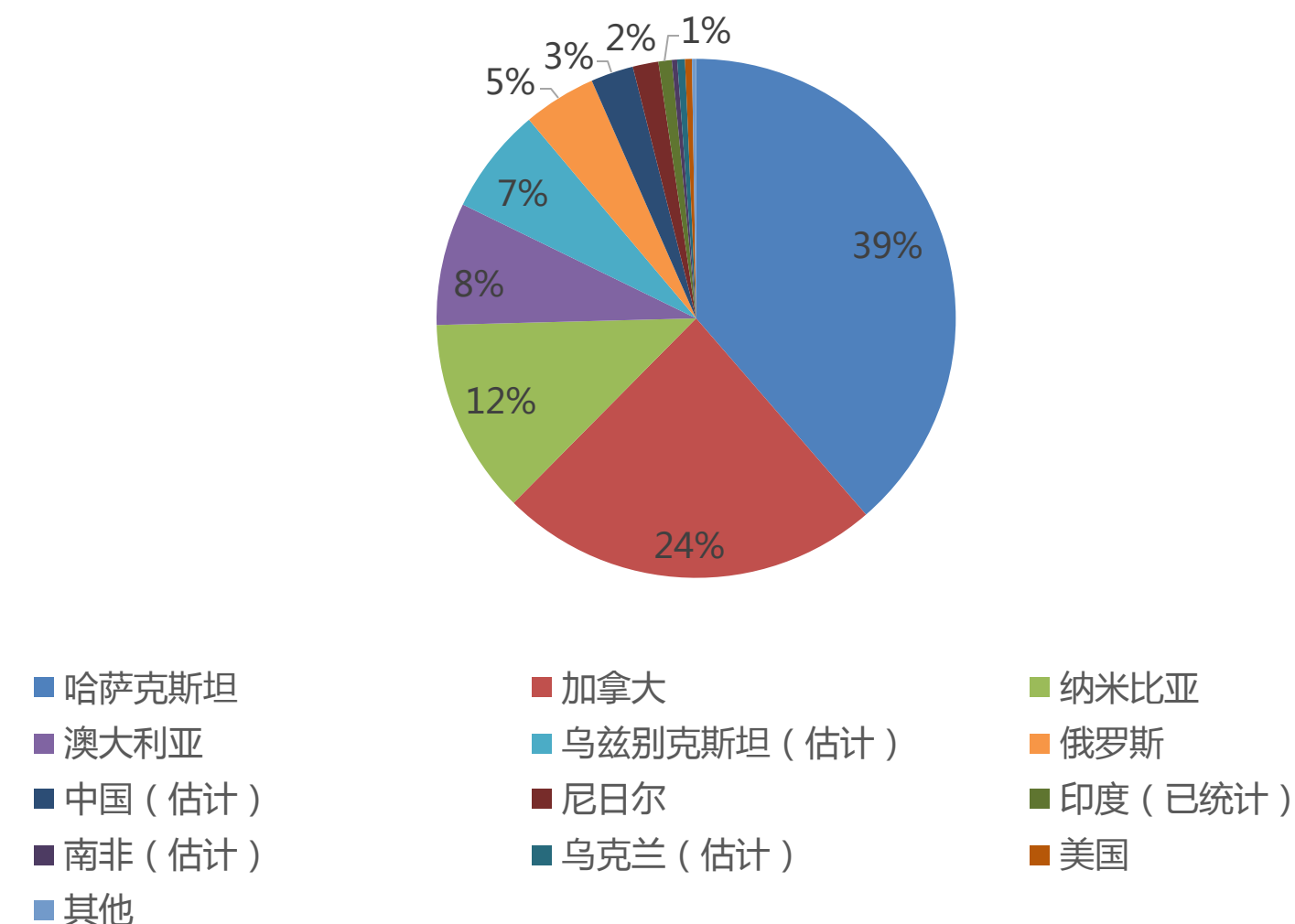
根据WNA，2024年全球产铀60,213吨，满足全球铀需求的90%。目前全球有20余个国家从事铀矿开采，全球约四分之三的矿山铀产量来自哈萨克斯坦、加拿大和澳大利亚。2024年，哈萨克斯坦铀产量占全球供应的39%，占比第一；其次是加拿大（24%）和纳米比亚（12%）。

从趋势上看，2020年后铀产量回归上升趋势，2024年重回6万吨。铀矿开采开始于19世纪中叶，但直到20世纪中叶才得到广泛开发，尤其是二战及冷战各国加速推进原子弹研究之际。20世纪80年代，铀产量达峰值后，随着公众态度转变、核电建设缩减等引发铀价下跌，除最低成本矿山以外，现货价格低于铀矿生产成本，叠加苏联铀进入西方市场加剧过剩，铀产量于20世纪90年代开始下滑。直到20世纪初，核能被重新重视，铀价上涨重新刺激投资和勘探，但2011年福岛核事故后，铀矿勘探与投资再次急剧萎缩，2016年产量达阶段性高点后持续低迷。到2020年，全球铀产量降到最低点47,731吨。而后，供需错配致库存周期见底，核电复苏需求稳中有增，铀矿产量再次回到上升通道。

图表11：2015-2024年全球铀矿产量变化趋势及占比（tU）



图表12：2024年各国产量占比（%）



1.3 上游——全球前十大铀矿生产商占比超90%，过半为国有矿业公司，更多追求供应安全非产量增长（4/4）

□从在产矿山看，2024年全球有超过30座在产铀矿，其中排名前十的矿山产量合计为3.72万吨，占全球总产量的62%，主要分布在加拿大、纳米比亚和哈萨克斯坦。哈萨克斯坦自2009年起成为全球最大铀生产国，拥有2个全资开发铀矿和12个国际合资铀矿项目，其铀矿开采以低成本原地浸出工艺（ISL）为主，开采成本极具竞争力；加拿大2009年以前为全球最大铀生产国，拥有世界两大高品位铀矿床McArthur River铀矿和Cigar Lake铀矿；纳米比亚近年来产量占比不断提高，中国企业参与推动Husab、Rössing、Langer Heinrich等多个大型铀矿投产。

□从生产企业看，全球前十大铀矿生产商产量占比超90%，过半为国有矿业公司。排名第一的铀矿生产商为哈萨克斯坦Kazatomprom（哈原工），其次为加拿大Cameco、法国Orano、中国CGN（中广核）和俄罗斯Uranium One。全球超过一半的铀矿产量来自国有矿业公司，这些企业的产量规划以国家核燃料供应安全、产业链自主可控与地缘政治风险对冲为核心，而非单纯追求短期产量与利润增长。

图表13：2024年全球前十大在产铀矿

矿山	国家	所属公司	开采类型	产量 (tU)	全球占比 (%)
McArthur River/Key Lake	加拿大	Cameco (70%) /Orano (30%)	地下	7808	13
Cigar Lake	加拿大	Cameco (54.5%) /Orano (40.5%) /Tokyo Electric Power (5%)	地下	6501	11
Husab	纳米比亚	Swakop Uranium (CGN90%) /Nambila (10%)	露天	4437	7
Karatau	哈萨克斯坦	Uranium One (50%) /Kazatomprom (50%)	ISL	3299	6
Inkai, sites 1-3	哈萨克斯坦	Kazatomprom (60%) /Cameco (40%)	ISL	2992	5
Akdala & South Inkai 4	哈萨克斯坦	Uranium One (70%) /Kazatomprom (30%)	ISL	2803	5
Olympic Dam	澳大利亚	BHP	伴生/地下	2693	5
Moinkum & Tortkuduk (KATCO)	哈萨克斯坦	Orano (51%) /Kazatomprom (49%)	ISL	2388	4
Rössing	纳米比亚	CNNC (69%) /Iran (15%) /South Africa (10%) /Energy Asia (20%)	露天	2205	4
Khorassan 1	哈萨克斯坦	Kazatomprom (50%) /Uranium One (30%) /Energy Asia (20%)	ISL	2030	3
Top 10 total				37 156	62%

图表14：2024年各国产量占比（%）

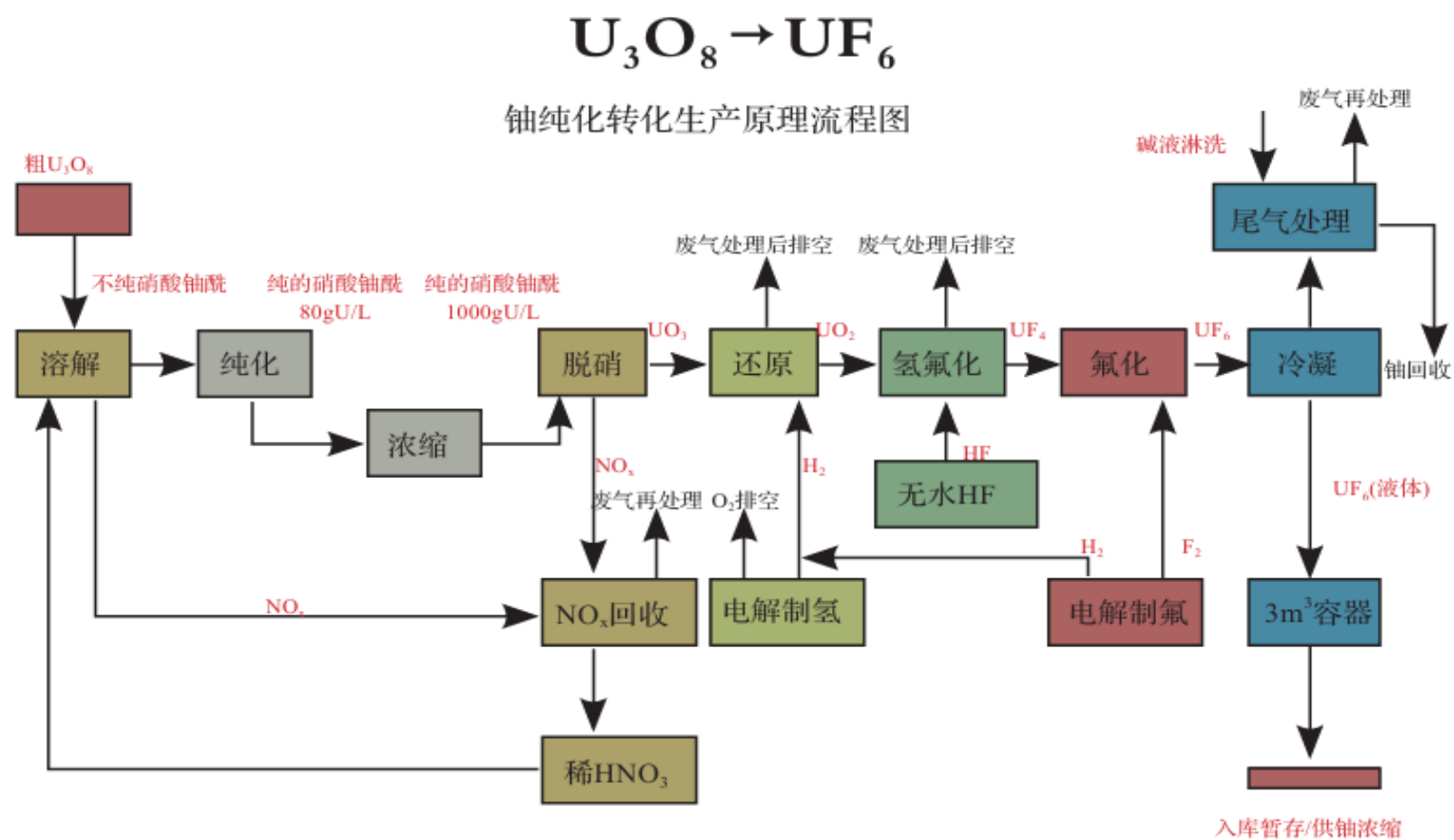
公司	国家	公司性质	产量 (tU)	全球占比 (%)
Kazatomprom	哈萨克斯坦	国有控股公司	12,463	21
Cameco	加拿大	私有上市公司	10,193	17
Orano	法国	国有控股公司	6815	11
CGN	中国	国有独资公司	5761	10
Uranium One	俄罗斯	国有独资公司	5829	10
Navoi Mining	乌兹别克斯坦	国有控股公司	4000	7
CNNC	中国	国有独资公司	3286	6
ARMZ	俄罗斯	国有独资公司	2738	5
BHP	澳大利亚	私有上市公司	2693	5
General Atomics/Quasar Resources	美国	私有公司	1808	3
Top 10 total			55,586	92%

1.4 中游——仅加中法俄美具备规模化转换产能，俄罗斯和中国产量占比一半以上（1/3）

❑黄饼（ U_3O_8 ）仍含有大量杂质，需要进一步提纯并转化为易于氢氟化的铀氧化物。通常将黄饼提纯和铀氧化物制备的工艺阶段称为铀的精制。在铀的精制过程中，需要制备出多种铀化合物，在众多铀化合物中 U_3O_8 是铀在空气中最稳定的化合物，便于长期贮存。将 U_3O_8 转化为 UF_6 的过程称之为转化过程。转化工艺包括干法和湿法——加拿大Cameco、法国Orano、中国CNNC和俄罗斯Rosatom公司采用湿法工艺，该方法是将铀精矿溶解在硝酸中，然后经过一系列处理，再与氟反应生成 UF_6 ；而干法主要在美国使用，该方法是将精矿研磨成细粉，然后在1000华氏度以上加热，再与氢氟酸反应生成 UF_6 。

❑全球获得许可的铀转化产能约为62,000吨。而实际转化产量仅为42,000吨，其中超过一半来自俄罗斯和中国。俄罗斯转化产能依托俄罗斯国家原子能公司Rosatom全产业链体系，产品主要供应国内浓缩铀工厂及海外长期协议客户（如印度、土耳其等）；中国铀转化产能的建设与国内核电发展规划深度绑定，近年来随着新建核电机组的陆续投产推动转化产量稳步提升。根据WNA，随着全球核电新建机组密集投产，对浓缩铀的需求将持续增长，进而带动铀转化需求提升，预计铀转化产能将从过剩向紧平衡转变。

图表15：铀纯化转化生产流程图（湿法）



图表16：2022年全球铀转化产能及预计产量（tU）

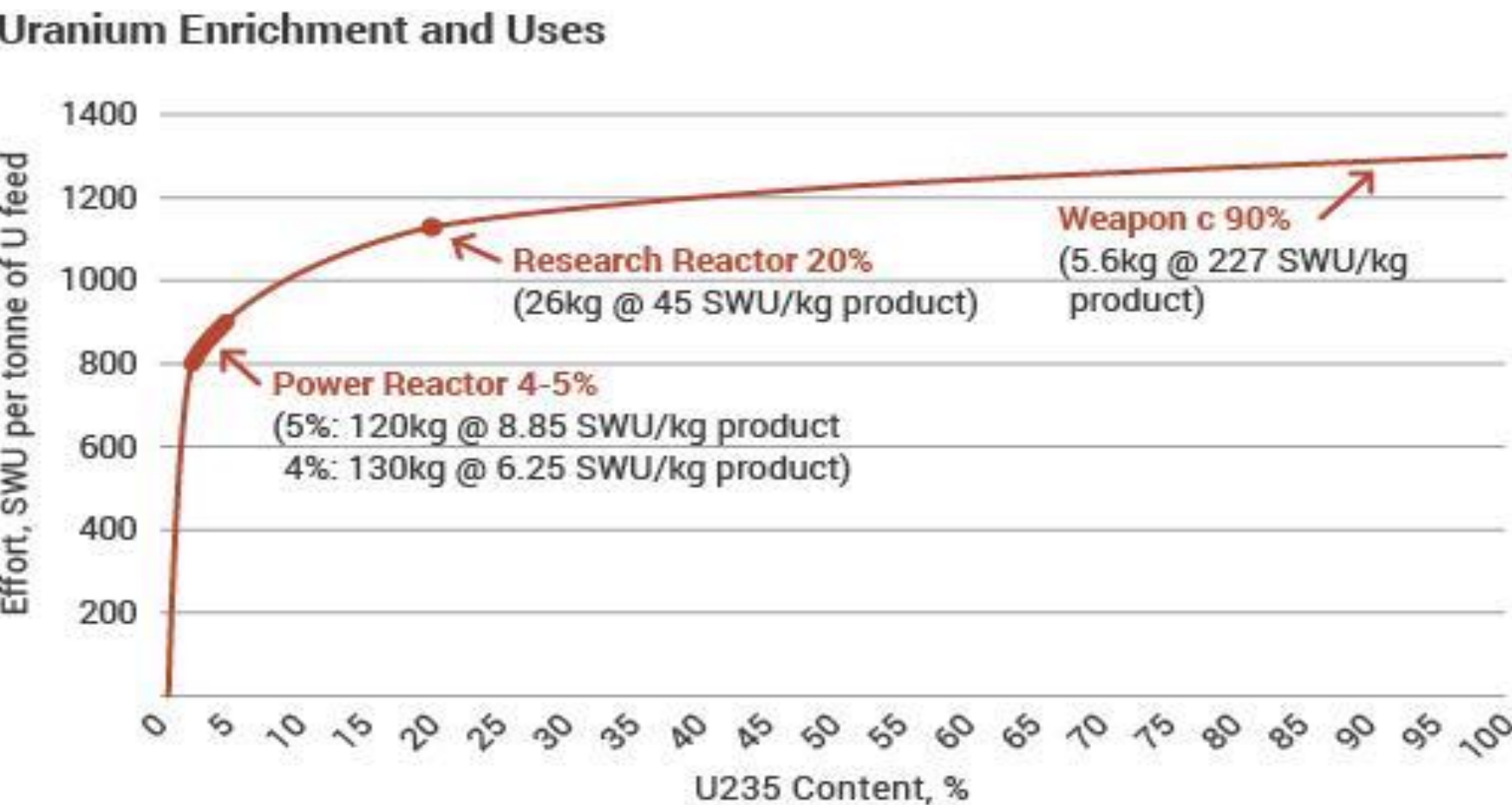
公司	国家	地点	许可产能	UF ₆ 产量
Cameco	Canada	Port Hope	12,500	10,600
CNNC*	China	Lanzhou & Hengyang	15,000	10,500
ConverDyn	USA	Metropolis	7000	0
Orano	France	Pierrelatte, Malvesi	15,000	8900
Rosatom*	Russia	Seversk	12,500	12,000
Total			62,000	42,000

1.4 中游——浓缩是核燃料循环中最具有战略敏感性的环节，只有俄美法中四国拥有规模化产能（2/3）

□天然铀中铀-235含量只有0.7%，需要通过浓缩来提高铀-235的含量。核电用燃料要求铀-235含量为3%~5%，研究用核反应堆燃料要求铀-235含量达到10%，军用舰艇和核武器则要求铀-235含量达90%以上。铀浓缩的实质是将铀同位素互相分离的过程，即通过物理的分离方法将铀-238含量降低，铀-235含量提高。铀浓缩原料包括天然铀（丰度为0.7%，主要来源）、再循环铀（RepU，丰度为1%，占比较小）以及浓缩尾料（丰度在0.25%-0.30%之间，作为补充）。生产1t浓缩丰度为3%的浓缩铀，大约需要5.5t天然铀原料。

□铀浓缩具有战略敏感性和资本密集性，接受IAEA的防扩散国际监督，为任何新供应商的进入设置了显著壁垒。全球浓缩铀被法国的Orano、俄罗斯的Rosatom、英国的Urenco和中国的CNNC四家生产商垄断，产能分布在法国、德国、荷兰、英国、美国、俄罗斯和中国，少数其他国家巴西、日本等浓缩产能有限。2024年5月，美国通过《禁止俄罗斯铀进口法案》，明令禁止进口俄罗斯生产的低浓铀LEU，禁令有效期直至2040年底。在此背景下，欧美核电运营商加速推进燃料供应多元化，引发全球浓缩产能的份额争夺。

图表17：发电用、研究用和军用对铀-235含量要求依次提高



图表18：全球四大浓缩铀生产商

运营商	年产能（thousand SWU）		
	2022	2025E	2030E
CNNC	8900	10,000	17,000
Orano	7500	7500	7500
Rosatom	27,100	27,100	27,100
Urenco	17,900	17,900	17,900
Other (INB, JNFL)	100	400	800
Total	61,500	62,900	70,300

1.4 中游——各国推进更高浓度浓缩铀的许可与应用，目前仅俄罗斯、中国拥有HALEU规模化产能（3/3）

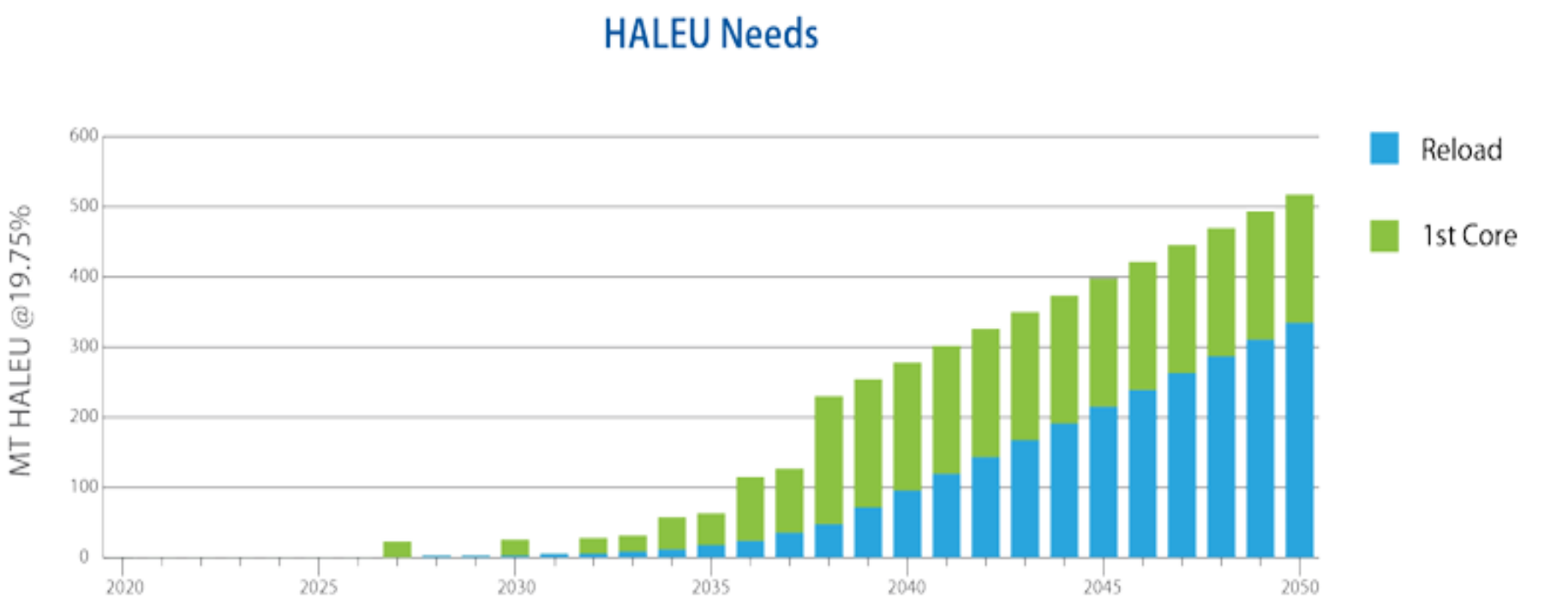
□高丰度低浓铀（HALEU）介于低浓铀和高浓铀之间，指丰度在5-20%之间的铀燃料，在先进反应堆设计领域正逐渐成为首选燃料。按照铀浓度的不同，国际原子能机构将铀分为微浓铀（0.9%~2%）、低浓铀（2%~20%）和高浓铀（20%以上）。在高浓铀中，铀-235丰度超过85%的被称为武器级浓缩铀，可以直接用于制造核武器。当前第三代核电反应堆所需的浓缩水平为3%-5%，伴随着小型核反应堆（目前约3/4在研SMR设计需要铀丰度10-20%）、第四代先进核反应堆的发展，行业对更高浓缩水平的需求日益增长，相较于低浓铀，高丰度低浓铀（HALEU）燃料具备显著优势，包括更高的燃耗深度及能从等量燃料中提取更多能量。这些特性既提升了燃料效率、优化了燃料利用率，还延长了反应堆堆芯的运行寿命。根据美国能源部，预计HALEU需求2030年以后逐渐起量，到2050年HALEU年度需求将达520吨/年。

□各国设立针对浓缩丰度的资质分级审批制度，接受国际原子能机构（IAEA）的监督，目前仅俄中拥有规模化产能，美国大力扶持本土产能建设。多国企业正推进5%-20%的浓缩技术的许可与应用。美、英、法、俄等国的核燃料企业（如Urenco、Orano、Rosatom等）已获得或正在申请5.5%-10%的浓缩许可，但目前仅俄罗斯、中国具备规模化生产的基础设施，而商业化供应目前由俄罗斯Tenex公司垄断。2022年美国颁布《通胀削减法案》IRA，划拨7亿美元专项支持本土HALEU供应链发展，加快重建本土产能。Centrus Energy是美国唯一具备HALEU产能的企业，于2023年10月启动示范及生产线，根据美国能源部，截至2025年6月，Centrus已达成900千克产量目标，累计交付超920千克。

图表19：低浓铀按照丰度不同分为LEU、LEU+、HALEU

根据U-235 丰度分类	低浓铀			
	LEU	LEU+	HALEU	
浓缩丰度	<5%	5-10%	5-19.75%	19.75%
化合物形式	氧化物	氧化物	氧化物、盐、金属	金属
适用领域	第三代核反应堆	第三代核反应堆	第四代核反应堆，包括SMR	研究用核反应堆

图表20：高丰度低浓铀到2050年年度需求预测（包含首次装料和换料）

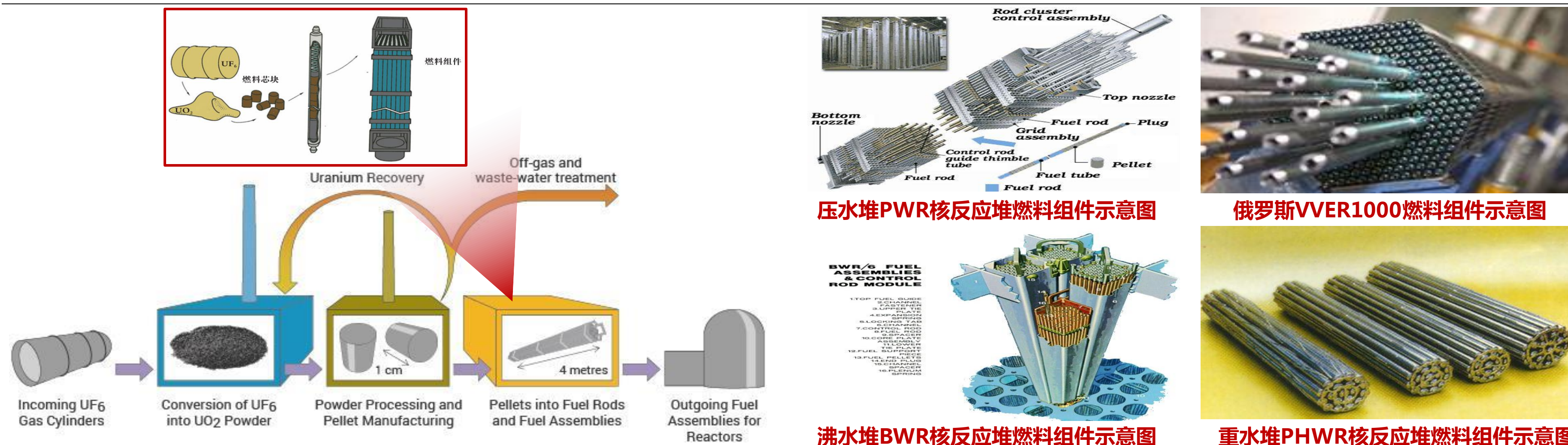


1.5 下游——核燃料组件制造是核燃料循环前端的最后一个环节，主流燃料形式为氧化铀陶瓷芯块（1/3）

□核燃料制造是铀转化为核燃料棒的最后一步，目前主要燃料形式为氧化铀陶瓷芯块。该环节核心是将铀原料转化为适配特定反应堆的高精度燃料组件，需承受反应堆内高温（最高 $330^{\circ}\text{C}+$ ）、强中子辐射、化学腐蚀等严苛环境，燃料结构需在反应堆堆芯内保持数年的形状和完整性，防止裂变产物泄漏到反应堆冷却剂中。目前适用于当前主流核反应堆压水堆的燃料形式为氧化铀 UO_2 陶瓷芯块，燃料形式由一柱氧化铀陶瓷颗粒组成，包覆并密封于锆合金管中。一座1100兆瓦的压水堆堆芯可能包含193个燃料组件，这些组件由超过50,000根燃料棒和约1,800万个燃料芯块组成。燃料装入堆芯后会在堆芯内停留数年，通常每GW装机容量每年需要16-20吨燃料，其中轻水反应堆首炉堆芯所需燃料量为换料的3-4倍，换料周期通常为12至18个月，换料时会将堆芯的1/3-1/4燃料移出至贮存设施，其余燃料则重新布置到堆芯中更适合其剩余富集度的位置。

□全球轻水反应堆燃料产能高度过剩，在可预见的未来不会成为核电复兴供应链的瓶颈。核燃料组件需要定制，其技术规格取决于反应堆的物理特性、公用事业的反应堆运行和燃料循环管理战略，以及国家或地区的许可证审批要求。当前全球组建制造产能过剩，中国、印度、韩国等国家追求燃料组件制造自给自足，进一步加剧产能过剩情况。

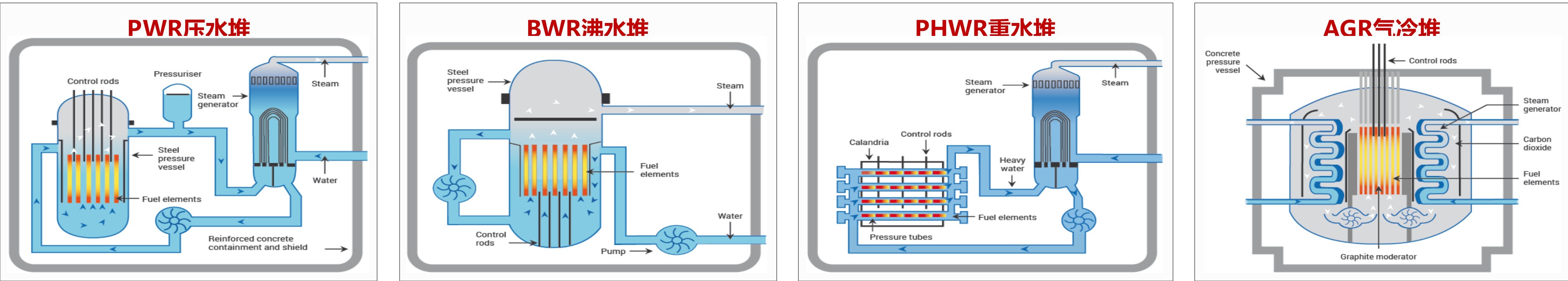
图表21：组件制造工艺流程及适用于不同核反应堆的组件示意图



1.5 下游——不同类型核反应堆设计的燃料组件存在一定差异（2/3）

对于轻水反应堆（LWR）燃料，包括压水堆（PWR，占全球装机量2/3）和沸水堆（BWR，占全球装机量1/4），要求铀-235丰度约4.8%；重水堆（PHWR，占全球装机量6%）燃料通常使用未浓缩的天然铀，铀-235丰度为0.7%。

图表22：主要在运核反应堆概览



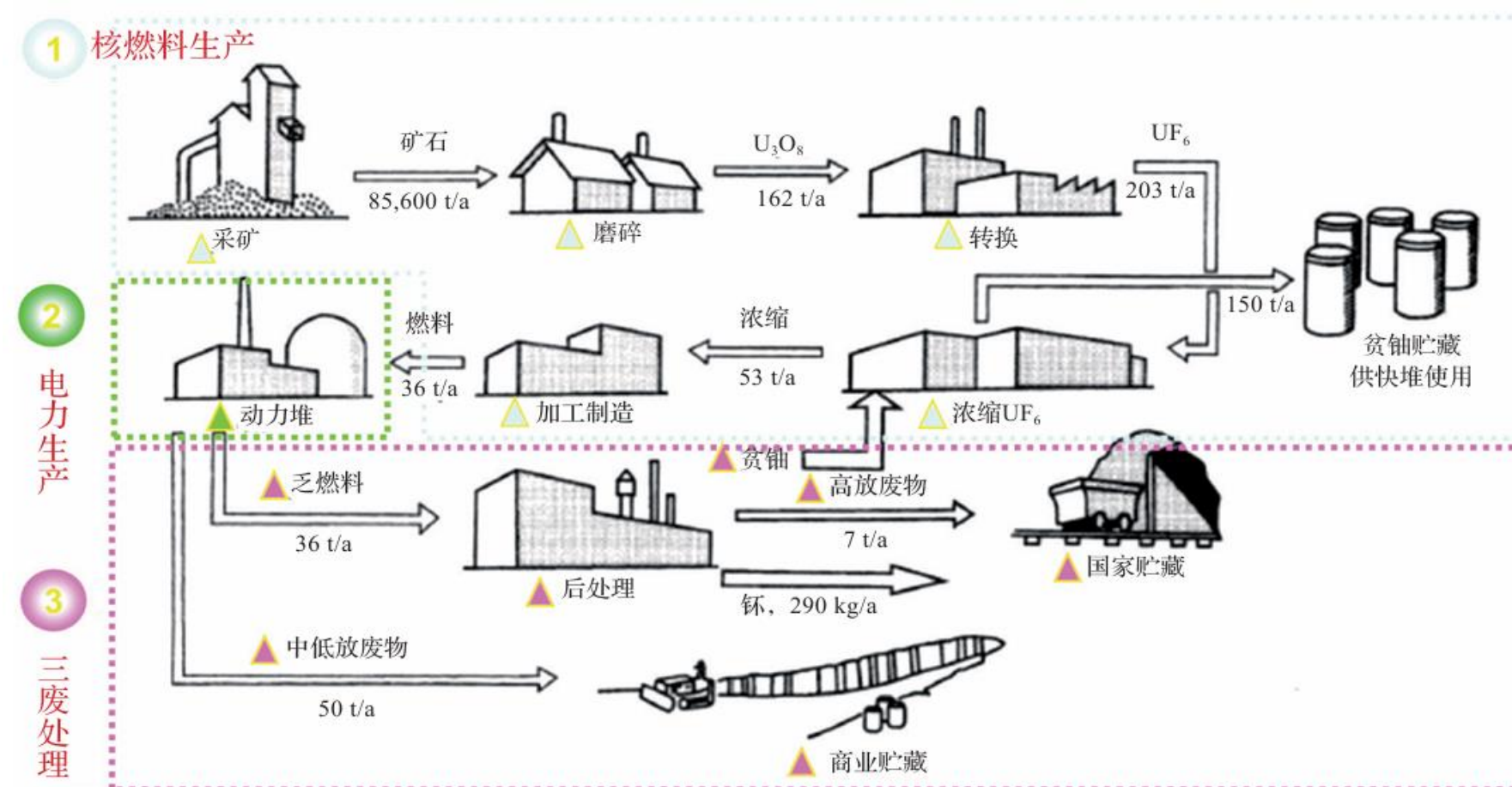
核反应堆类型	主要国家	数量（运行中）	总功率（GWe）	燃料	冷却剂	慢化剂	核心特征
压水堆（PWR）	美、法、中、俄等	311	300.1	浓缩UO ₂	水	水	双回路设计，占全球核电主力，运行压力15MPa，温度325℃
沸水堆（BWR）	美、日、瑞典	60	61.0	浓缩UO ₂	水	水	单回路，12-15%水为蒸汽，涡轮机需辐射防护，负荷跟随性优于PWR
重水堆（PHWR）	加、印	47	24.5	天然UO ₂	重水	重水	压力管设计，可在线换料，铀利用率高但乏燃料产生量大
气冷堆（AGR）	英	8	4.7	浓缩UO ₂	二氧化碳	石墨	热效率41%，可在线换料，运行温度 650℃
高温气冷堆（HTGR）	中	1	0.2	浓缩UO ₂	氦气	石墨	运行温度高，可用于制氢，安全性好
快中子堆（FNR）	俄	2	1.4	PuO ₂ +UO ₂	液态钠	无	铀利用率为常规堆60倍以上，可增殖钚，建设成本高

1.5 下游——乏燃料处理是核燃料循环后端中最为重要的一个环节，其中的钚可制成MOX燃料（3/3）

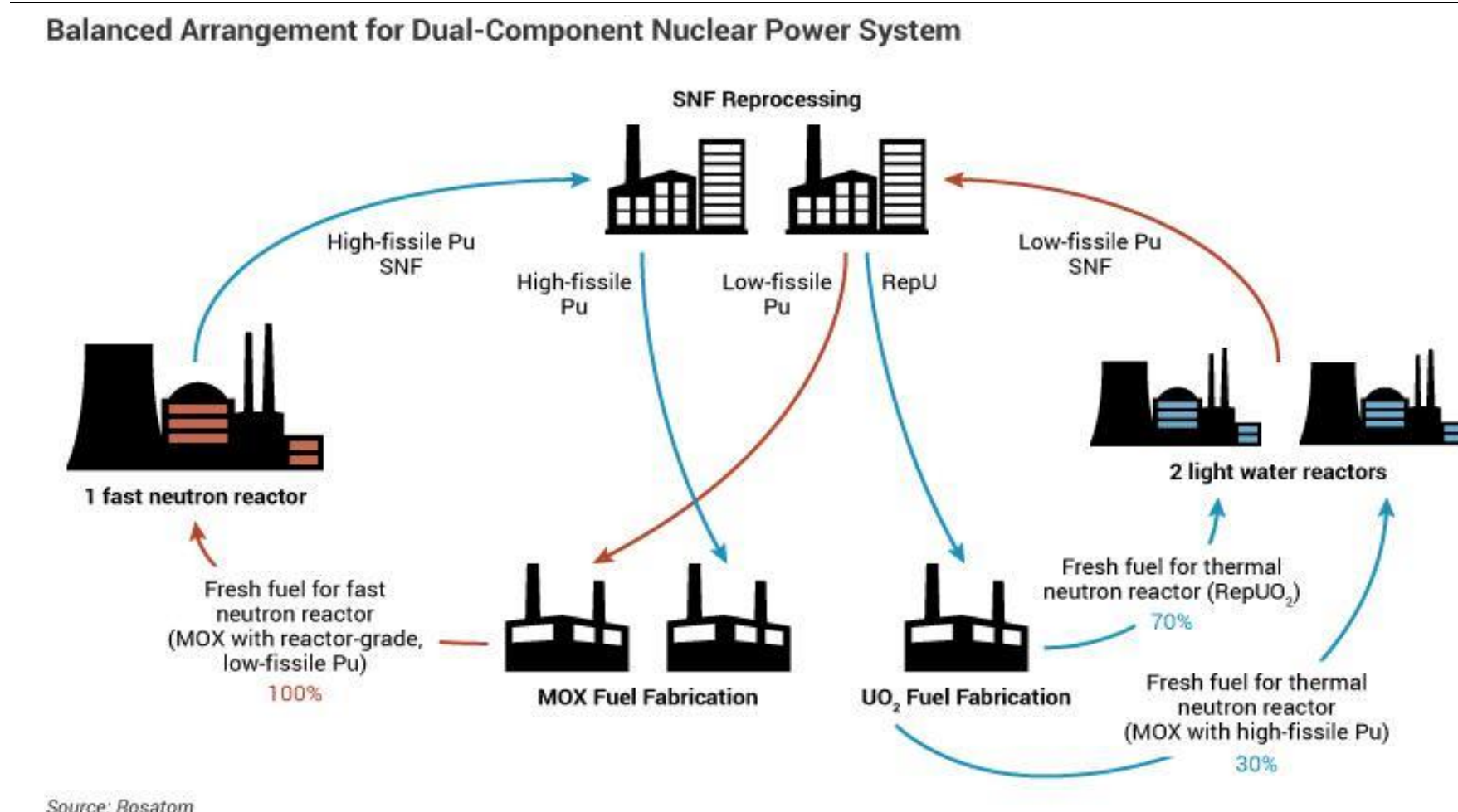
□待核燃料燃烧到一定程度后，被卸出的被辐照过的燃料即为乏燃料。核燃料从反应堆卸出后的各种处理过程，称为核燃料循环后端。它包括乏燃料中间储存、乏燃料后处理、回收后核燃料的制备和再循环、放射性废物处理与最终处理等。乏燃料中包含大量的放射性元素，具有很强的放射性，必须妥善处理；且乏燃料是获取核武器装料——钚的唯一途径，其处理还关系到国家核威慑力量的保持。对于奉行开放循环战略的国家来说，面临的主要挑战是需要更多乏燃料贮存容量和处置前不断延长的贮存期；对于奉行闭式循环战略的国家来说，面临的主要挑战是后处理能力有限和在轻水堆中实施工业规模的多次再循环。

□乏燃料中的钚可制成MOX燃料，用于常规反应堆和快中子反应堆燃料。乏燃料中含有大量有用核素，包括易裂变材料 $^{239}\text{Pu}/^{235}\text{U}/^{233}\text{U}$ 、核燃料在辐照过程中产生的镎、镅、锔等超铀元素、裂变元素 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 、 ^{99}Tc 等。其中，钚是核反应堆中由铀-238经中子俘获并经 β 衰变生成的放射性元素，1000MWe轻水堆每年生产约25吨乏燃料，含290kg钚，1kgPu-239可发电近800万千瓦时，可用于制成混合氧化物MOX燃料，用于常规反应堆和快中子反应堆

图表23：我国核设施循环设施总体工艺流程示意图



图表24：俄罗斯Rosatom公司MOX燃料的运用



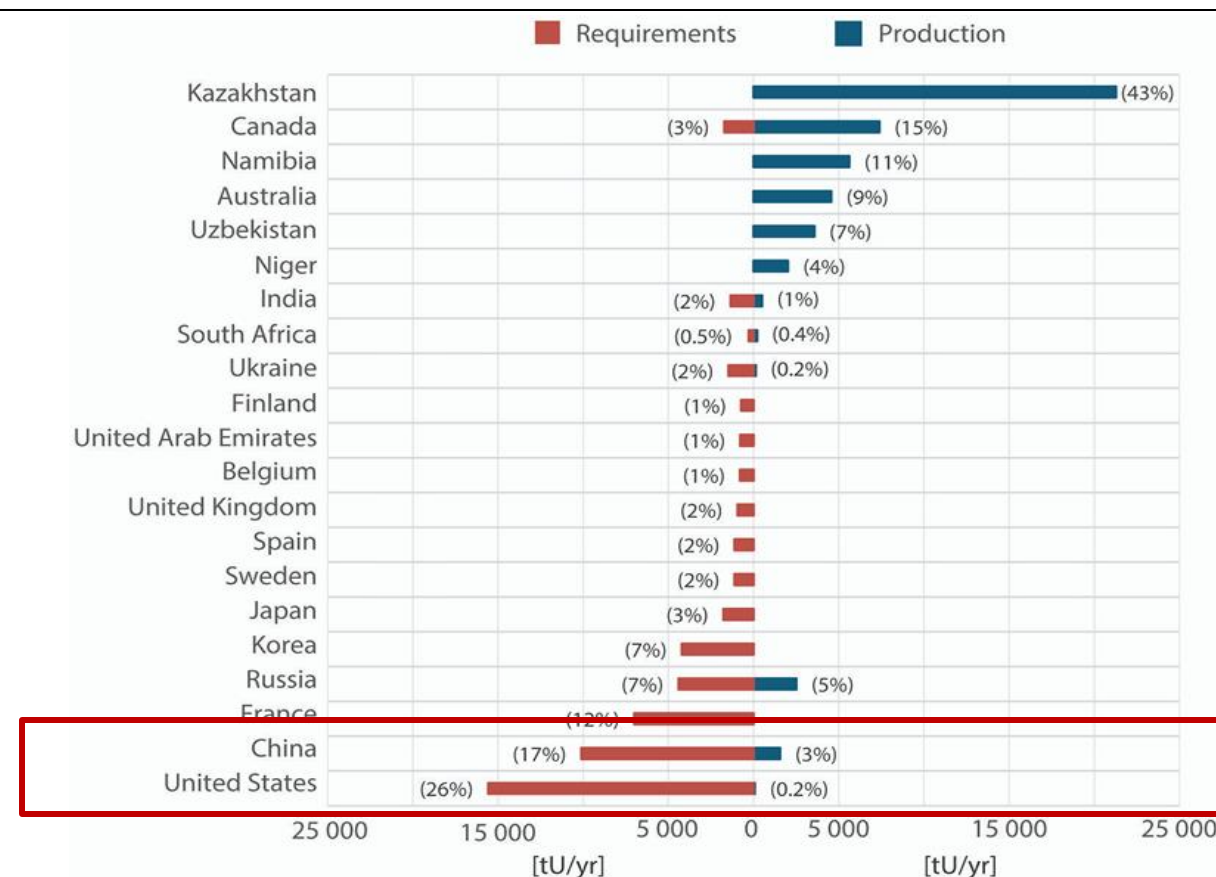
整体来说，核燃料循环产业链最核心环节为铀矿资源、铀浓缩和乏燃料处理环节

□铀生产国和消费国的地理分布极不平衡，铀矿资源争夺及国际贸易将成为大国博弈的焦点。铀矿供给集中，脆弱性强，除加拿大外，所有其他拥有核电设施的国家均需以来铀进口或二次铀供应来维持核电运转，其中，中美两国铀资源供需缺口最大。我国铀矿资源自给率低，高度依赖进口；而美国国内铀矿产量基本为零，全部依赖进口。随着大国博弈加剧，未来大国之间的铀资源争夺将更加白热化。

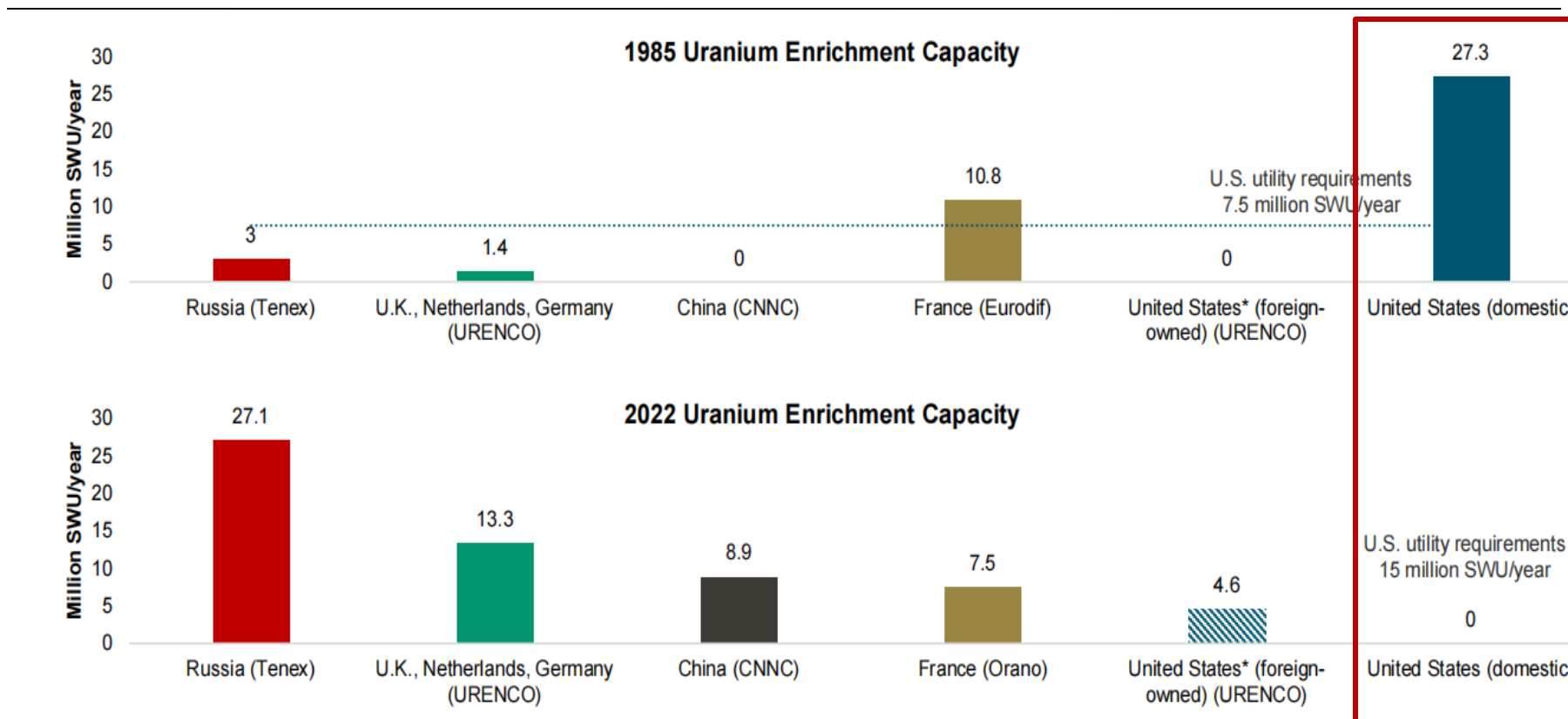
□铀浓缩具备大国博弈敏感性，是美国核燃料产业链政策支持的核心环节。美国与俄罗斯于1993年签署为期20年的“兆吨换兆瓦”协议，将俄罗斯核武器级铀转化为适用于美国商业核反应堆的低浓铀，大量低成本俄罗斯浓缩铀进入市场抑制美国本土铀产能投资，美国逐渐丧失铀浓缩产能主导地位。到2022年，俄罗斯铀浓缩产能全球占比高达44%，美国20%铀浓缩进口来自俄罗斯。因此，近年来美国先后出台多个支持政策加速重建本土铀浓缩产能。2022年，美国颁布《通胀削减法案》划拨7亿美元专项支持本土HALEU供应链发展；2024年5月，美国通过《禁止俄罗斯铀进口法案》，明令禁止进口俄罗斯生产的低浓铀LEU，禁令有效期直至2040年底，并动用27亿美元资金向6家国内供应商购买低浓铀。

□乏燃料中有大量有用核素，其处理技术突破有助于减少天然铀需求，进一步盘活资源利用。目前法国、俄罗斯、中国等已建立了工业规模的后处理能力。美国也正通过多个项目积极研发新一代回收技术，旨在为先进反应堆提供燃料并减少核废料。

图表25：中美铀矿缺口均巨大



图表26：美国从1985年全球铀浓缩主导滑落至2022年零本土浓缩产能



Source: 2022 data from World Nuclear Association Nuclear Fuel Report 2023. 1985 data from the Congressional Budget Office. Centrus Energy Corp.
*The only remaining enrichment plant physically located in the U.S. is controlled by URENCO, a European-owned corporation.

02 天然铀供需格局

Uranium Supply & Demand Balance

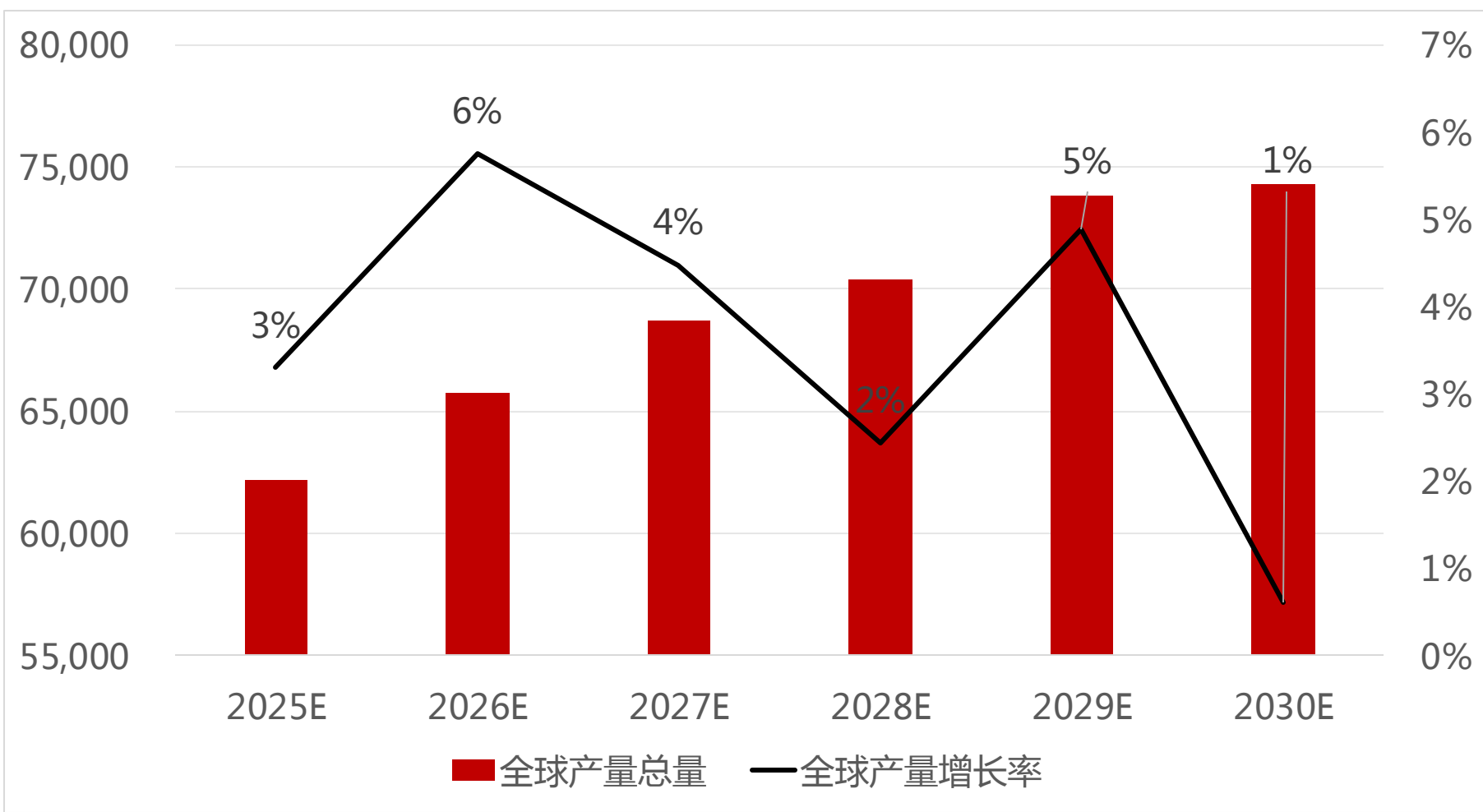
2.1 供给——短中期产量预测：未来5年主要增量来自哈原工和Cameco，全球确定增量有限

□未来5年主要增量来自哈萨克斯坦、加拿大、纳米比亚等复产项目，若全部达产绝对增量也仅1.2万吨，合计产量7.4万吨。根据各公司公告，1) Cameco旗下的McArthur River铀矿2022年11月重启，但2025年因开发延迟产量下滑，预计2026年以后逐步稳产达产，达产后有**3600tU增量**；2) 哈原工25年受硫酸短缺约束产量下滑，26年以后随供给恢复与矿山退役节奏呈现先稳或降趋势，预计满产后有**2700tU增量**；3) Paladin Energy位于纳米比亚的Langer Heinrich铀矿2024年成功重启后，预计2025年进入产能爬坡阶段，若达产有**600tU增量**。

□其余复产、绿地勘探项目如期投产的不确定性较大，全球铀矿矿产产量增长率或在2026年见顶后下滑。其余复产项目包括1) Lotus公司重启Kayelekera项目；2) UEC重启美国Christensen Ranch铀矿；3) Boss Energy公司旗下Honeymoon铀矿重启投产及Alta Mesa铀矿等。若没有新开发铀矿项目成功投产，到2030年全球铀矿产量增长率将滑落至1%。

图表27：未来五年全球铀矿产能主要增量预测（tU）

矿山	所属公司	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
McArthur River	Cameco	6,350	8,165	8,255	8,346	9,072	9,979
Kazatomprom	Kazatomprom	4,264	4,763	5,851	6,985	6,985	6,985
McClean Lake	Dension Mines	363	363	363	363	363	363
Ranger Heinrich	Paladin Energy	1,814	2,041	2,495	2,495	2,495	2,495
Lost Creek	Ur-Energy	181	318	544	544	544	544
Shirley Basin	Ur-Energy			454	454	454	454
Rabbit Lake	Cameco					1,633	1,633
Cameco U.S. ISR	Cameco					635	635
Honeymoon	Boss Energy	408	726	1,134	1,134	1,089	1,089
Rosita	enCore Energy	45	45	45	45	45	45
Alta Mesa	enCore Energy	136	181	181	136	181	181
Christensen Ranch	Uranium Energy	45	227	227	227	227	
Kayelekera	Lotus	91	227	454	680	1,134	1,134
Nichols Ranch	Energy fuels				272	272	272
Whirlwind	Energy fuels						
Pinyon Plain	Energy fuels	454	454	454	454	454	454
La Sal incl. Pandora	Energy fuels		227	227	227	227	
合计		14,152	17,735	20,684	22,362	25,809	26,263



2.1 供给——长期产量预测：随着2030年以后哈萨克斯坦一批老矿山退役，远期铀矿供给刚性强化

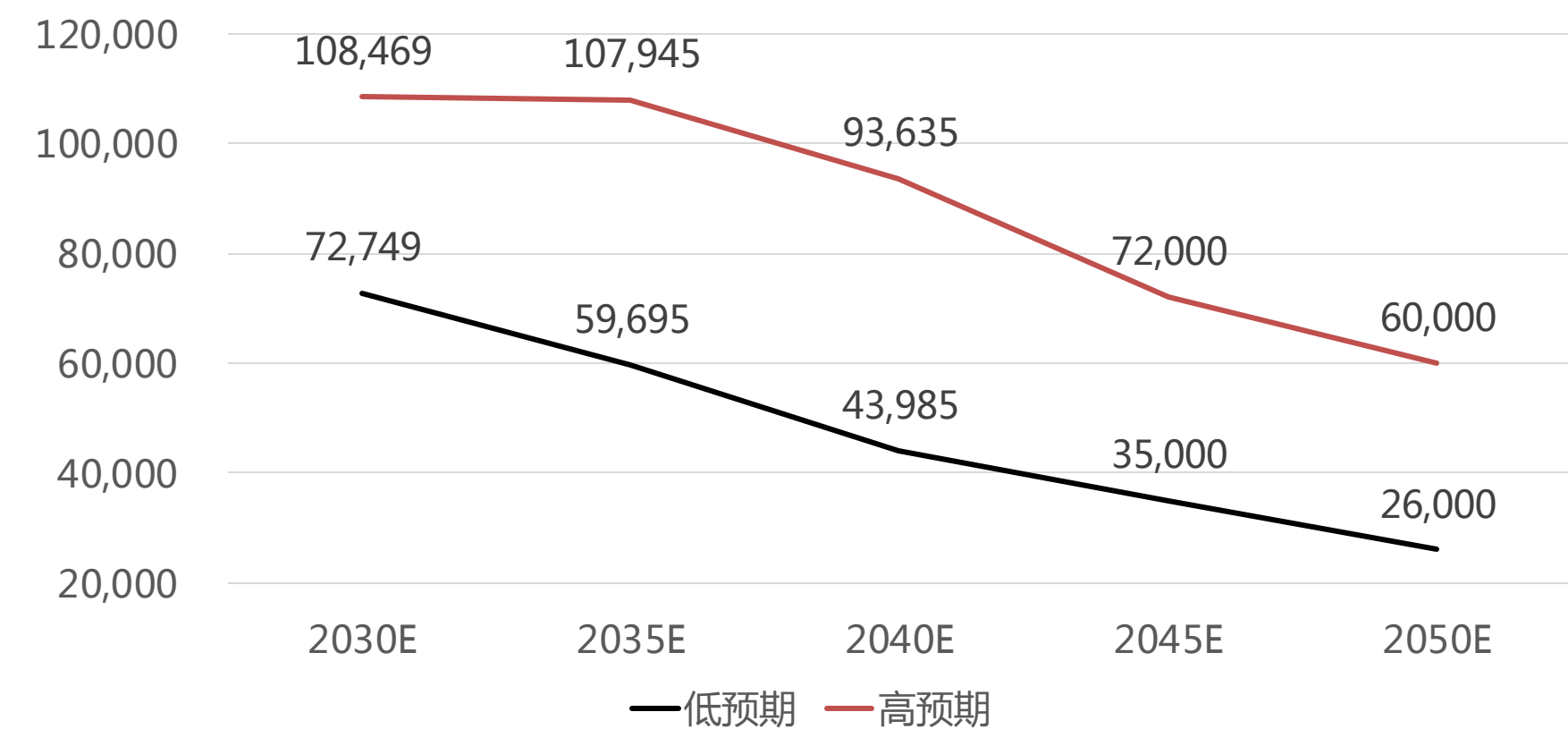
□铀资源开采可行性与时机受多种因素制约，部分铀资源位于政治风险与政局不稳定国家。1) 全球已探明铀资源量17%集中在澳大利亚Olympic Dam，但铀为该矿床副产品，产量难以根据市场需求灵活调整。2025年上半年必和必拓宣布计划将Olympic Dam的铜产量增加两倍以上，但其副产品铀的产量保持不变；2) 铀资源多位于当前铀矿开采政策不明朗的国家或地区，受当地政局稳定性的影响。如尼日尔拥有全球近6%的已探明铀资源，2023年7月尼日尔政局变动后，于2024年6月撤销了法国Orano公司的Imouraren铀矿开采许可，又在2024年7月收回了加拿大GoviEx公司的Madaouela铀矿项目采矿权，给多个规划中及潜在的铀矿带来了巨大的不确定性。

□2030年后，伴随哈萨克斯坦一批老矿山退役，产量下降或加速。根据铀2024年红皮书，现有矿山产量将因资源枯竭下降约30%。在低预期下，即仅考虑现有、闲置复产及已规划投产矿山的产能，2030年产能达7万吨，而后全球铀矿产能总体呈现下降趋势；在高预期下，即纳入考虑计划开发及潜在待勘探铀矿产能，则产能或在2030年最高达11万吨且在2035年前保持平稳，而后基于项目开发进度情况呈现滞后性的下降态势。按照往年产量测算，铀矿产能利用率通常在75%-90%区间，叠加一系列制约因素，我们认为实际产量更接近低预期情形。

图表28：哈原工老矿山集中在2030-2050年间退役

Mining Asset	Partner	KAP Interest (%)	Accounting Treatment	Depletion (year) ¹	1H2025 tU as U ₃ O ₈ (100% basis)	1H2024 tU as U ₃ O ₈ (100% basis)
SaUran	100% KAP	100	Full consolidation	2049	413	543
RU-6	100% KAP	100	Full consolidation	2037	450	424
Appak	Sumitomo, KANSAI	65	Full consolidation	2040	410	446
Inkai	Cameco	60	Full consolidation	2056	1,344	1,350
Baiken-U	Energy Asia ²	52.50 ³	Full consolidation	2038	571	614
Ortalyk	CGN	51	Full consolidation	2042	887	753
Turanium	Energy Asia, CGN	50	Full consolidation	2041	1,006	429
Budenovskoye	SMCP	51	Full consolidation ⁴	2045	583	201
Akbastau	Uranium One	50	Proportionate	2040	1,074	977
Karatau	Uranium One	50	Proportionate	2035	1,848	858
Semizbay-U	CGN	51	Equity accounting	2037	403	429
Zarechnoye	SNURDC	49.98	Equity accounting	2032	283	311
KATCO	Orano	49	Equity accounting	2036	1,589	958
SMCC	Uranium One	30	Equity accounting	2057	1,381	1,382
					12,242	10,857

图表29：全球铀矿产能预测（tU，生产成本130美元/KgU以下）

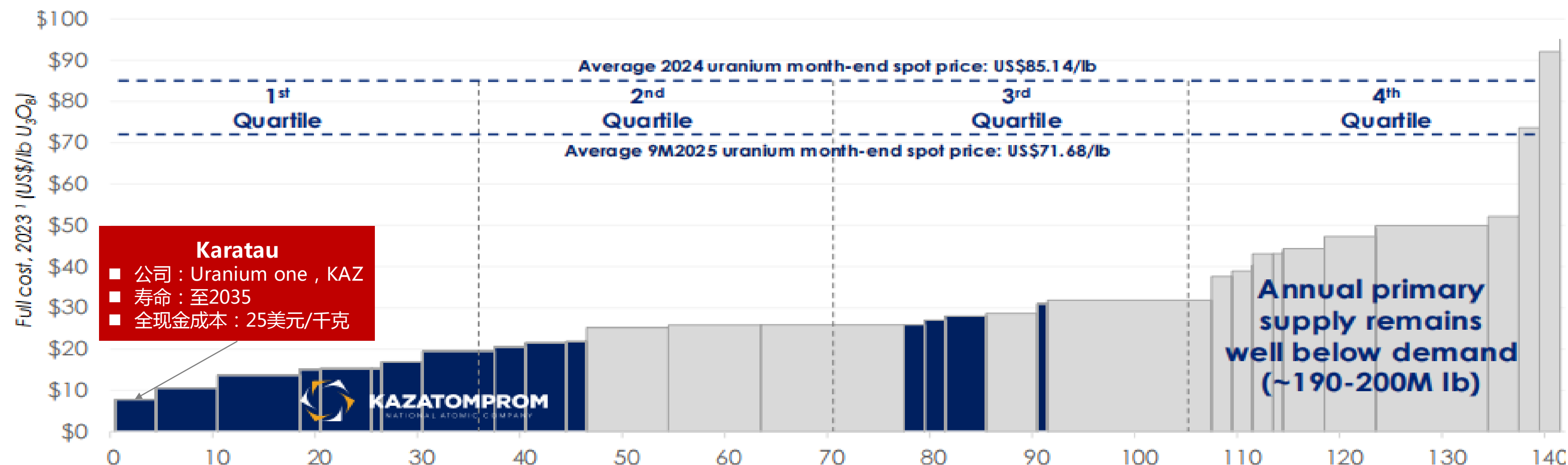


2.1 供给——成本曲线：全球低成本铀矿资源集中在哈萨克斯坦，未来全球铀矿成本中枢将进一步抬升

□全球低成本铀矿资源集中在哈萨克斯坦，伴随哈萨克斯坦一批老矿山退役，未来铀矿生产成本中枢将进一步抬升。根据NEA，目前开采成本低于260美元/kgU的铀资源可使用130年，但成本低于130美元/千克的铀资源约占总量的75%，而开采成本低于80美元/kgU的铀资源占比不足25%，成本低于40美元/kgU的铀矿仅占全球总可采资源的8%。哈萨克斯坦铀矿多为砂岩型铀矿，采用低成本ISL开采工艺，其57%的铀矿开采成本低于40美元/千克。

□伴随全球范围内大部分低成本铀矿项目在过去数十年间被优先开发，易开采、高品位的优质铀矿资源越来越少，新发现的矿床往往品位较低或开采难度更大。例如备受市场关注的NexGen Energy的Arrow项目，其矿体品位（约2.37%）远低于Cameco的Cigar Lake等老牌高品位矿山（15%+），且其成本预期被认为可能过于乐观。

图表30：2023年全球主要矿山全现金成本（\$/lb）

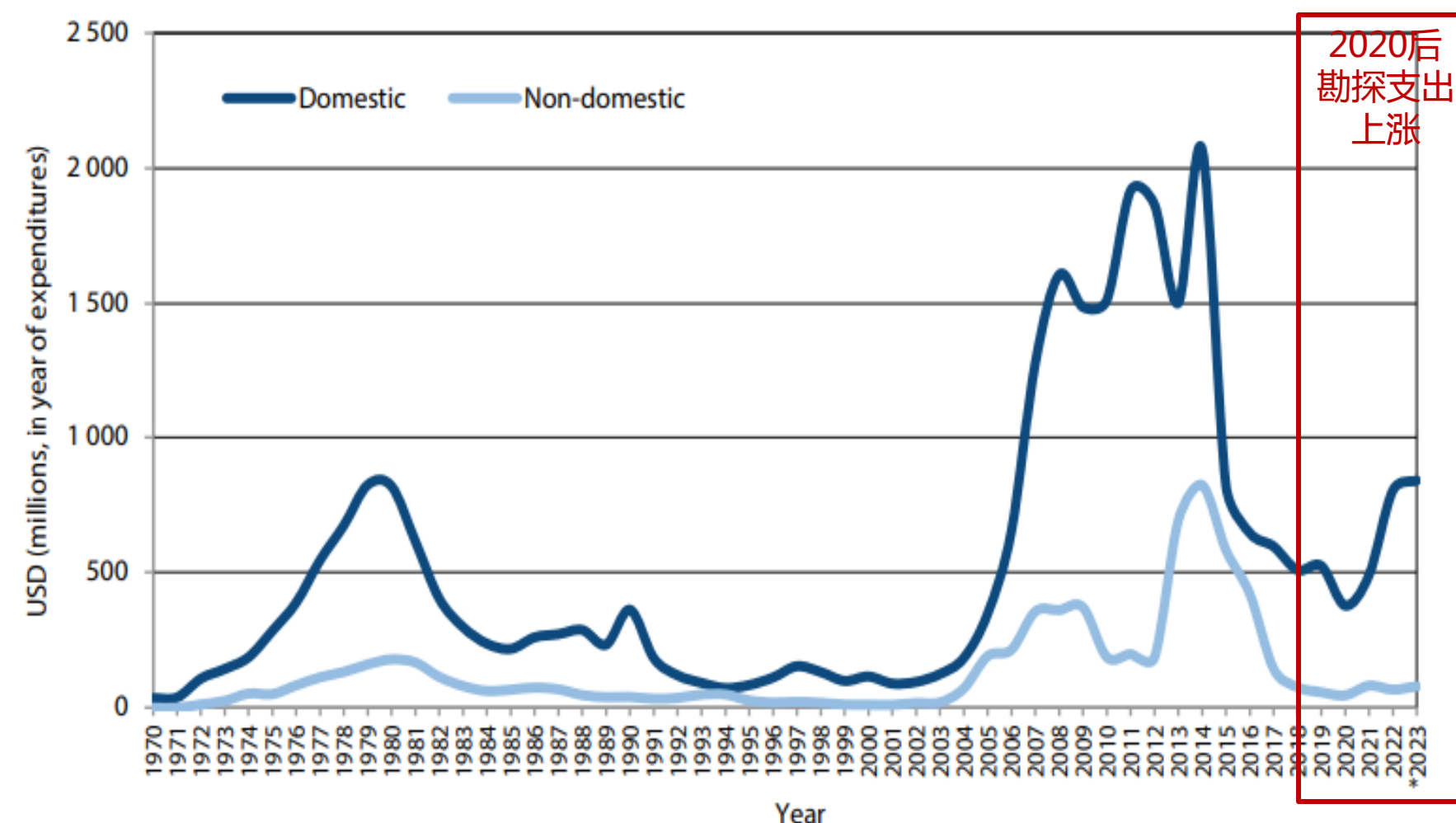


2.1 供给——资本开支：全球铀矿山资本开支仍处于历史低位，矿山开发需耗时10-20年

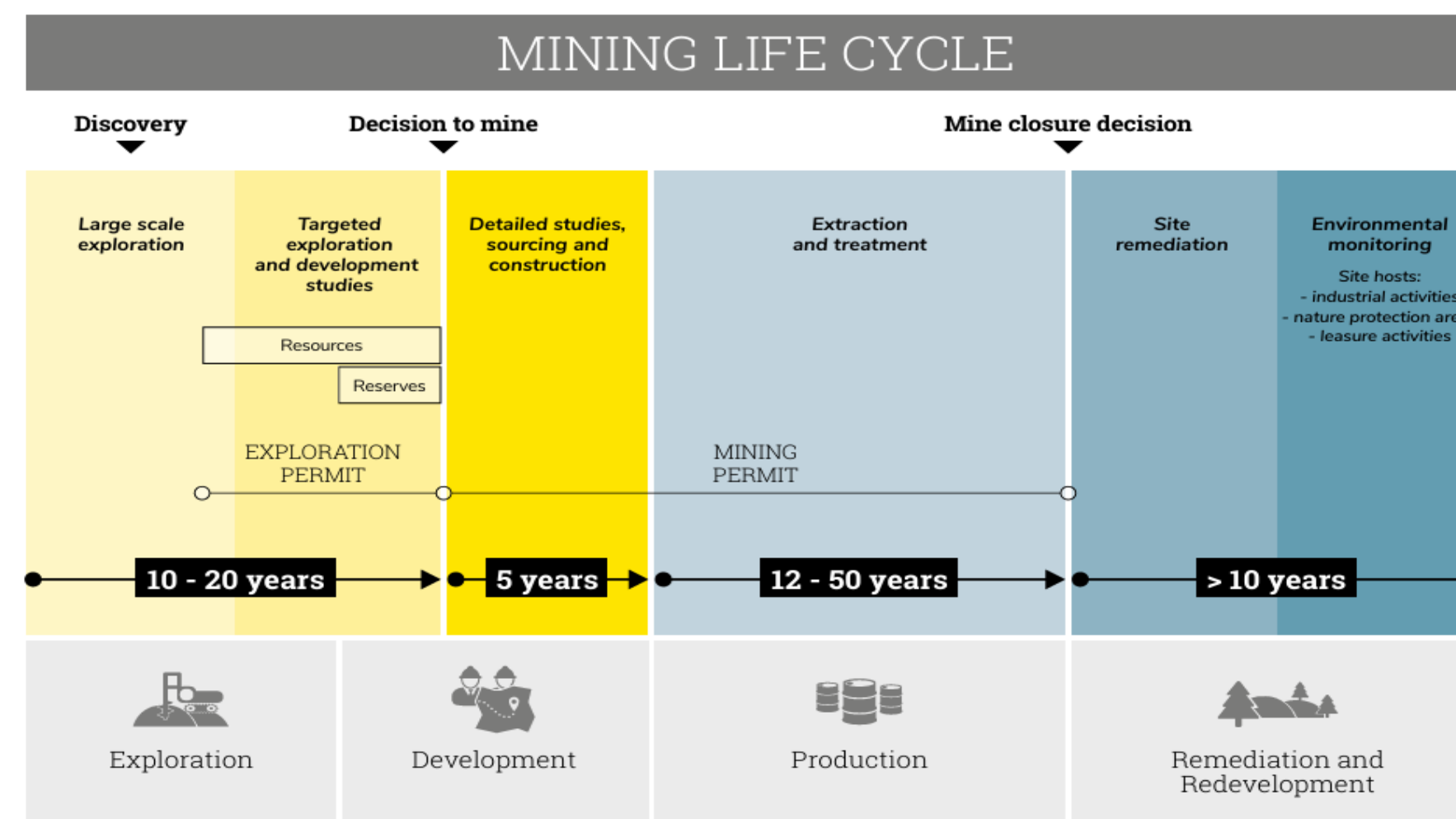
□2020年之后伴随铀价回升，全球天然铀勘探支出预算呈上涨趋势，但整体来说仍处于低位。2011年福岛核事故后的10年间，铀价跌至远低于边际生产成本的水平，全球铀矿新项目投资基本停滞，勘探活动大幅缩减，大量矿山被迫闲置或减产。根据铀2024年红皮书，在行业低迷了数十年后，当前铀矿勘探与开发已步入初步复苏阶段，部分长期搁置的项目预计将在未来几年作出最终投资决策，约50%的闲置产能已恢复或正在恢复生产，但高铀价是激励勘探投资以补充枯竭资源、发现新资源的关键，剩余闲置产能的重启往往需要更高的价格门槛，且复产规模相对有限。

□根据NEA，已探明资源的开采周期需耗时10-20年，未探明资源的勘探界定还需要数十年时间。受勘探不确定性、审批约束、建设复杂性、产能爬坡滞后及市场驱动错配等多重因素影响，实际周期或远长于NEA提出的10-20年。对于已探明资源，实际从启动开发到稳定投产往往需要15-25年；而未探明资源从勘探到实现有效供给，整体周期甚至可能超过30年。

图表31：全球铀矿勘探资本开支（USD million）



图表32：铀矿开发全生命周期

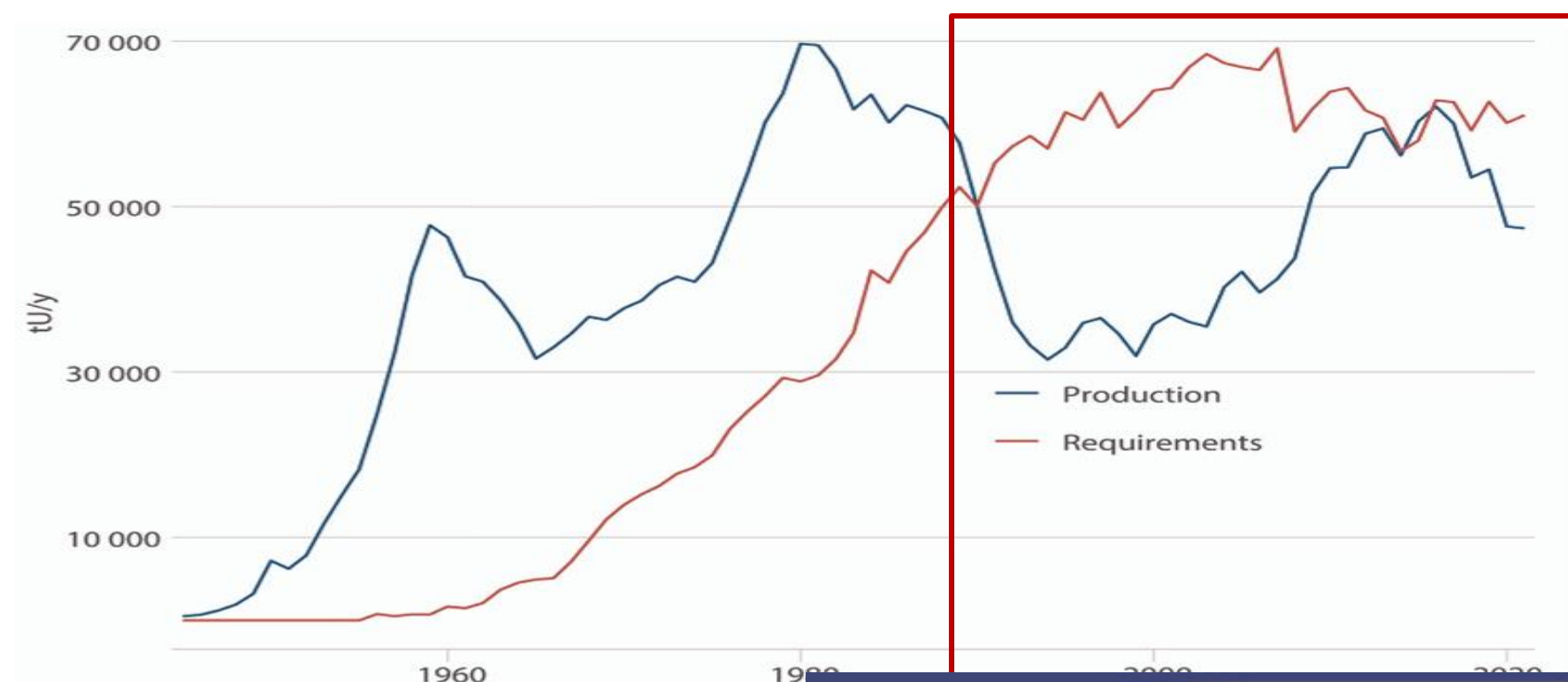


2.1 供给——二次供应：长期以来是供需缺口的重要补充，但伴随库存消耗未来占比将逐渐下降（1/2）

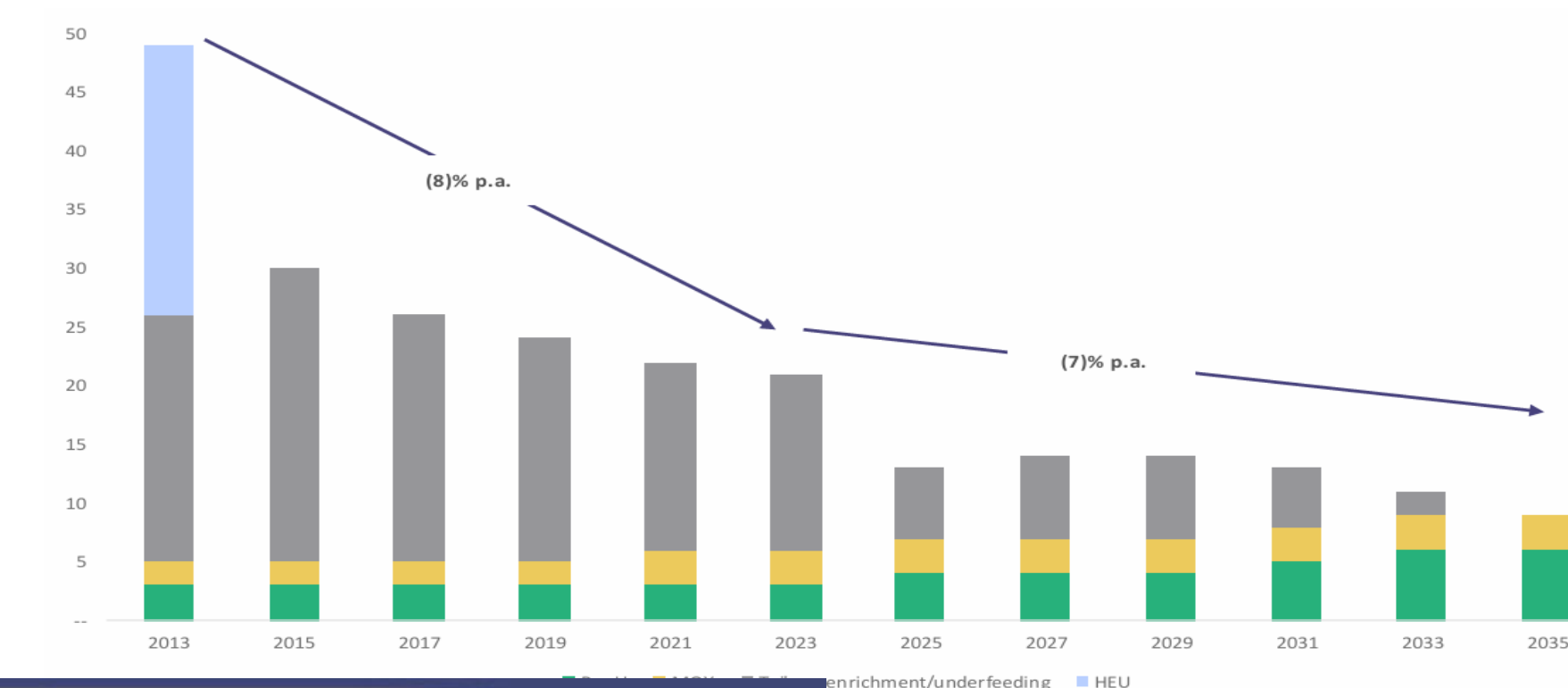
□ **全球铀库存加速消耗，未来二次供应占比下降。** 20世纪90年代以来，天然铀产量已连续多年显著低于全球核电需求，铀需求缺口长期依靠消耗二次供应来填补。根据MineSpans，当前铀二次供应占全球铀总供应量的比例为14%，绝对值为1.1万吨金属铀，预计未来铀二次供应将以每年7%的速度递减，到2035年二次供应占比将降至7%。

□ **根据WNA，铀市场二次供应包括：**
1) 民用铀库存。 包括生产商、贸易商、浓缩厂、核电厂、金融机构等商业及战略库存。绝大部分被核电运营商持有，近年来金融机构整体铀库存的占比持续提升。根据世界核协会《2025年核燃料报告》估算，截至2024年底，美国库存总量为42,000吨铀，欧盟为40,000吨铀，东亚地区为65,000吨铀；
2) 军工核弹头转化。 美国与俄罗斯于1993年签署为期20年的政府间“兆吨换兆瓦”协议，将武器级铀（铀-235丰度90%）和武器级钚（Pu-239丰度超93%）转化为民用核燃料，俄罗斯500吨武器级铀经稀释转化为14,446吨低浓铀，美国也推进HEU稀释与钚转化为混合氧化物MOX燃料，年均替代8,850吨天然铀，满足全球13%-19%的反应堆需求；
3) 全球三大低浓铀储备库。 包括俄罗斯低浓铀储备库（123吨低浓铀，丰度介于2.0%-4.95%之间）、国际原子能机构低浓铀储备库（90吨低浓铀，丰度4.95%，位于哈萨克斯坦）、美国保障性核燃料供应计划（286吨，17.4吨高浓铀稀释而来）；
4) 贫化铀（DU）、再处理铀（RepU）的利用。 各国愈发重视贫铀应用，但再处理铀仍受限于技术瓶颈，随着中国技术突破和商业化应用，有望成为重要补充来源；
5) 铀浓缩厂欠料供应产生的铀盈余（详情见下一页）。

图表33：1949-2023全球铀产量及需求，铀供需缺口长期依赖二次供应补充



图表34：二次供应将以7%的速度递减，到2035年占比降至7%左右

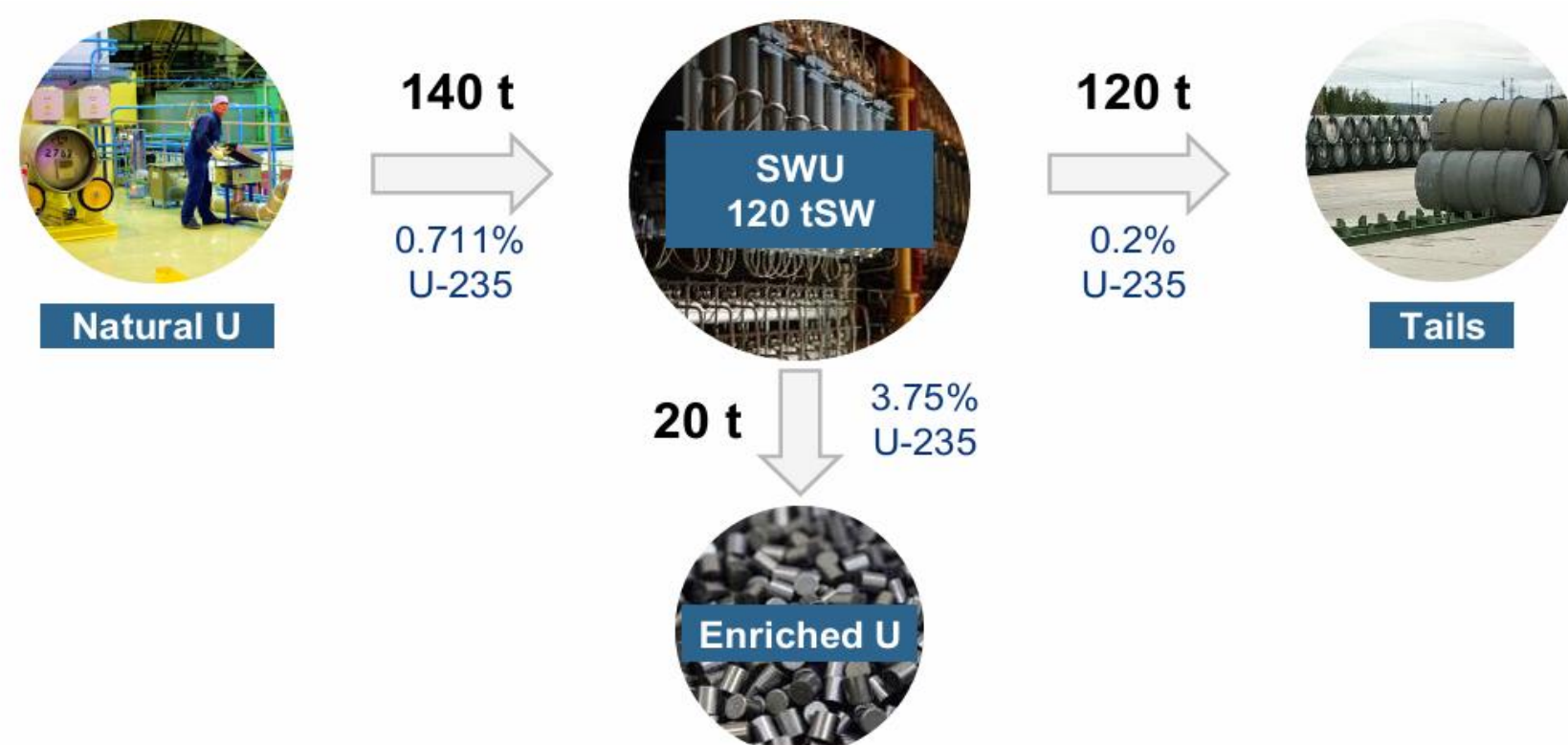


2.1 供给——二次供应：铀浓缩厂欠料生产所带来的天然铀供给预计将减少（2/2）

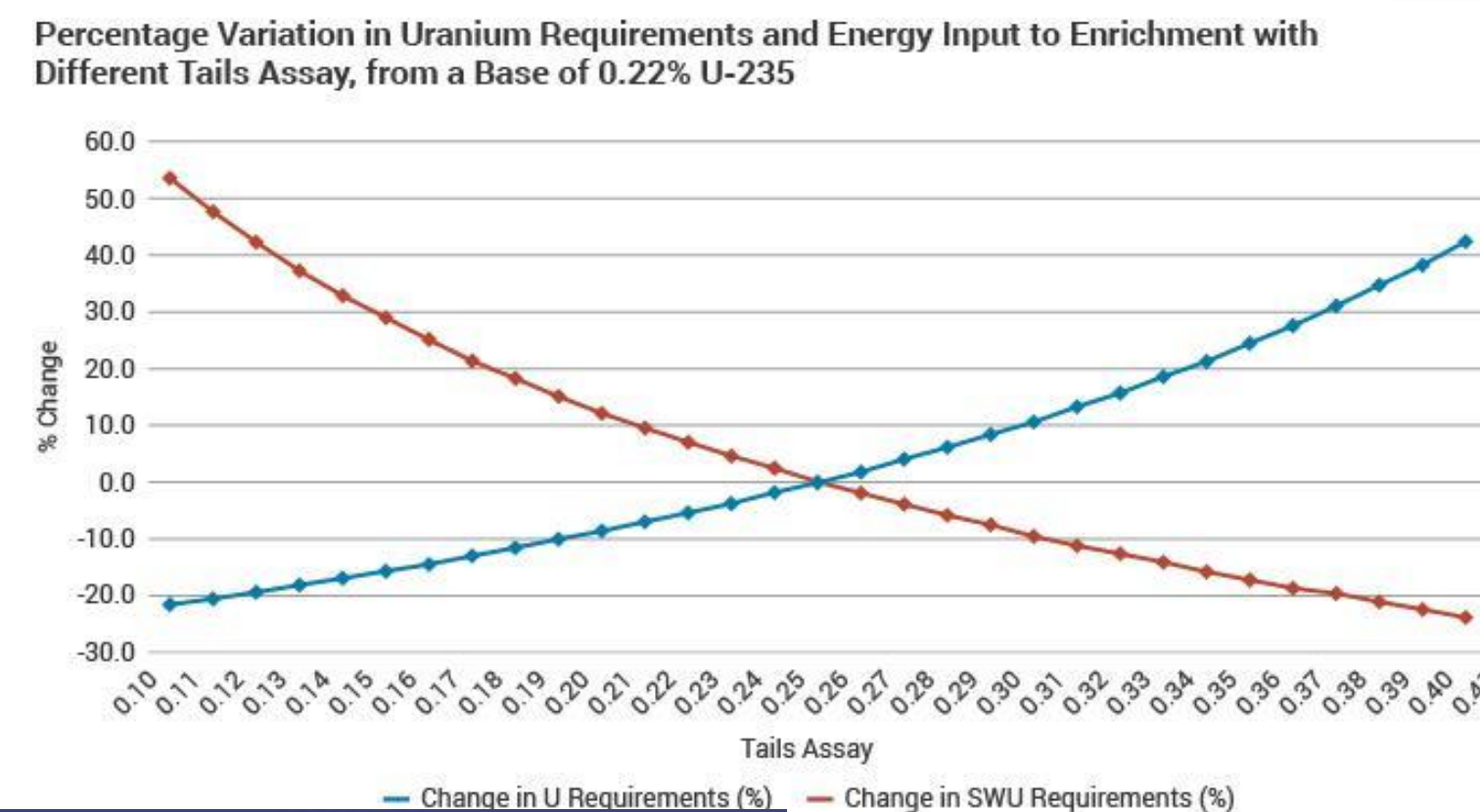
□浓缩厂在工厂运行尾料丰度方面拥有一定灵活性，实际生产中综合考虑SWU和铀原料成本以最大化经济收益，由此选择欠料或过料生产。浓缩产能以分离功单位（SWU）计量，表示将一定量铀浓缩至特定浓度所需要的工作量。生产相同浓度的浓缩铀，浓缩厂通过调整尾料丰度平衡SWU和天然铀原料成本，两者成反比。例如生产1千克的5%U-235，尾料丰度为0.25%时，需7.9的SWU和10.4kg的天然铀原料；当尾料丰度降至0.20%时，需8.9的SWU但仅需9.4kg天然铀原料。天然铀原料由核电运营商向浓缩厂提供，**浓缩厂欠料生产（Underfeeding）**指浓缩厂实际运行的尾料丰度低于合同约定的尾料丰度时，会产生天然铀盈余，这些盈余铀可由浓缩厂自行出售（可作为天然铀，也可加工为浓缩铀产品）；**浓缩厂过料生产（Overfeeding）**指实际运行尾料丰度高于合同约定，浓缩厂需自行补充天然铀来满足产品交付要求。浓缩厂选择欠料或过料主要基于工厂经济效益、铀原料价格和电力价格等综合判断。

□根据WNA，伴随全球浓缩需求恢复，预计欠料生产所带来的天然铀盈余将减少。据世界核协会2021年报告，福岛核电站后，全球浓缩需求下降，但浓缩厂由于离心机启停成本极高并未关停，因此浓缩厂选择欠料模式供应以弥补过剩SWU产能，加剧了铀原料的供过于求。根据WNA，基于国际上常规的0.22%的尾料丰度测算（俄罗斯常规尾料丰度更低，仅0.10%），到2025年，浓缩厂通过欠料每年可向市场供应超6000吨铀。随着全球浓缩需求复苏，这一趋势可能扭转。且目前核电运营商正逐步在合同中限制欠料生产操作，以争取部分盈余收益。

图表35：年处理1000吨铀SWU可以满足约8座大型核电站的铀浓缩需求



图表36：不同尾料丰度下SWU及铀原料需求量变化成反比



2.2 需求增量——短中期需求预测：受中国核电规划驱动，未来5年核电需求爆发（1/4）

□目前在运核电站438个，在建核电站71个，规划核电站120个。受全球脱碳提速、亚洲新堆密集落地、SMR商业化推进及政策支持加码等推动下，国际原子能机构多次上调未来核电装机量指引。因此，“双碳”目标下，我们认为需求更接近高预期情形，根据铀2024年红皮书，预计到2030年全球核电装机量达445GW，1GW核电每年需要消耗约170吨铀，对应天然铀需求约76,552tU，2025-2030年均CAGR为7.29%。

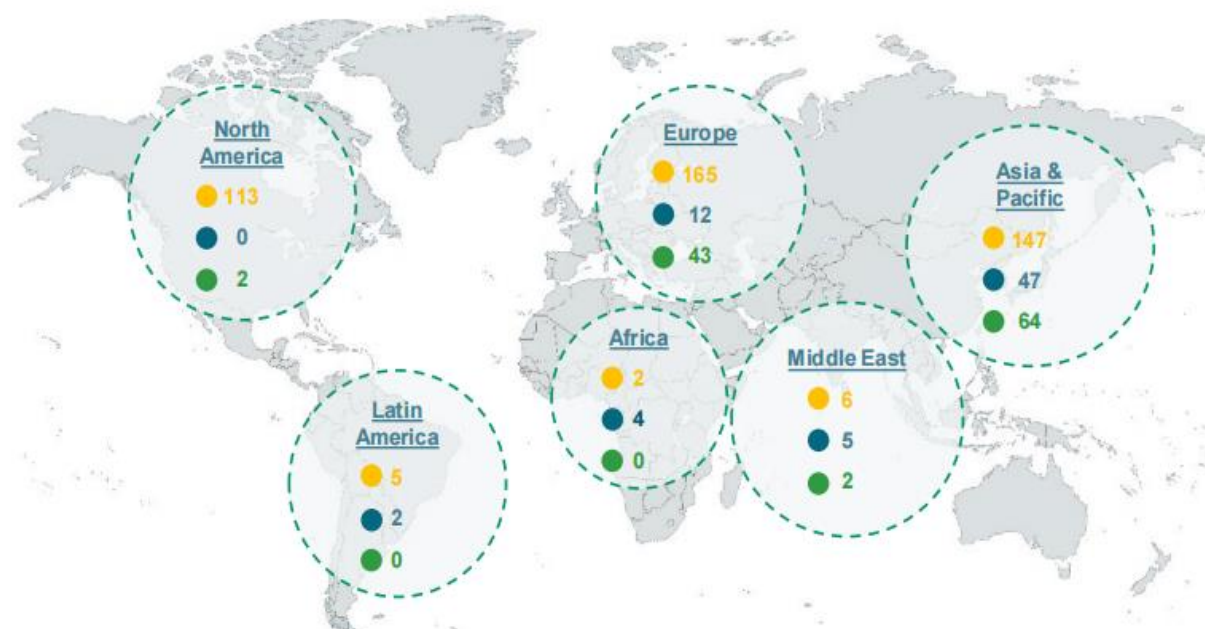
□在保障能源安全、实现“双碳”目标等国家战略驱动下，中国核电发展是全球核能增量最大贡献者。截至2024年底，全球在建机组中约四分之三位于新兴经济体，其中一半在中国。自2022年起，我国连续第四年核准10台及以上核电机组，延续了核电项目常态化审批节奏。截至2025年6月底，我国在运、在建和核准待建核电机组112台、装机约1.25亿千瓦，规模全球第一。根据WNA，在“双碳”目标下，预计到2035年核电总装机容量将达1.5亿千瓦。

图表37：当前在运、在建和规划核电站全球地图

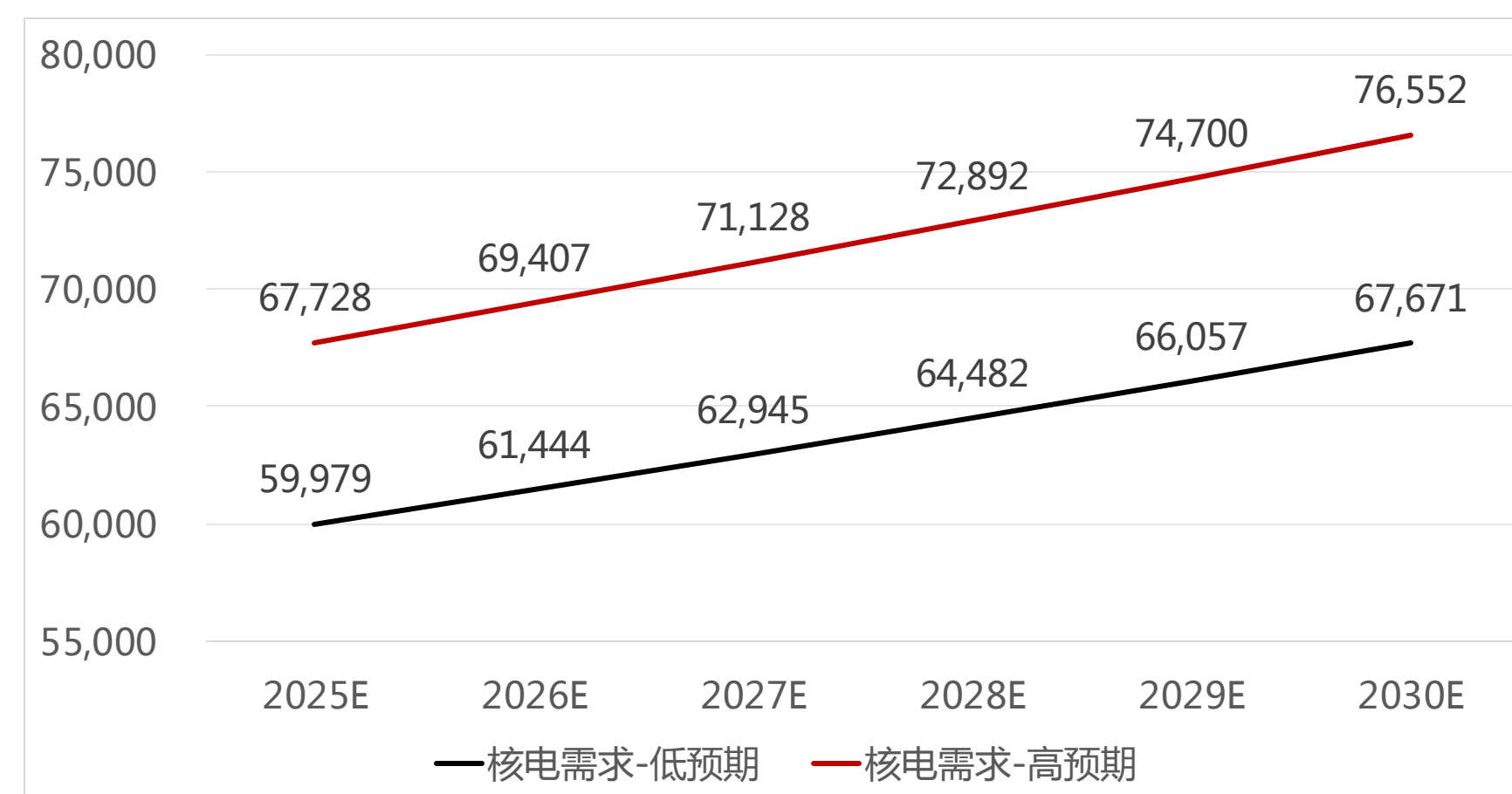
Nuclear Reactors in the World Today

- There are now 438 operational reactors globally with 70 under construction and 111 planned.
- Newly constructed nuclear reactors demonstrate greater efficiency than older models.

● Operational Reactors: 438
● Reactors Under Construction: 70
● Reactors Planned for Construction: 111



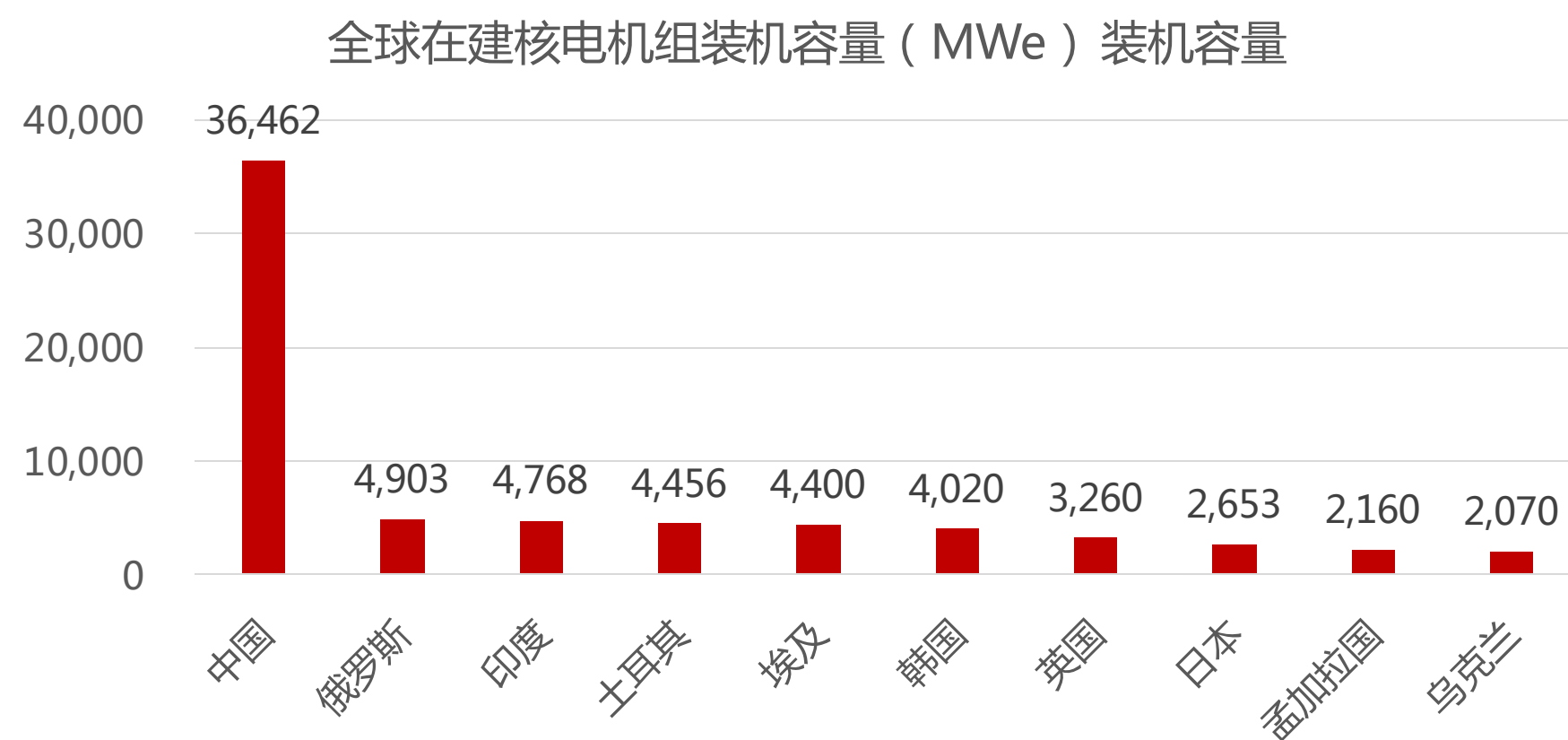
图表38：2025-2030年全球核电所需天然铀需求预测（tU）



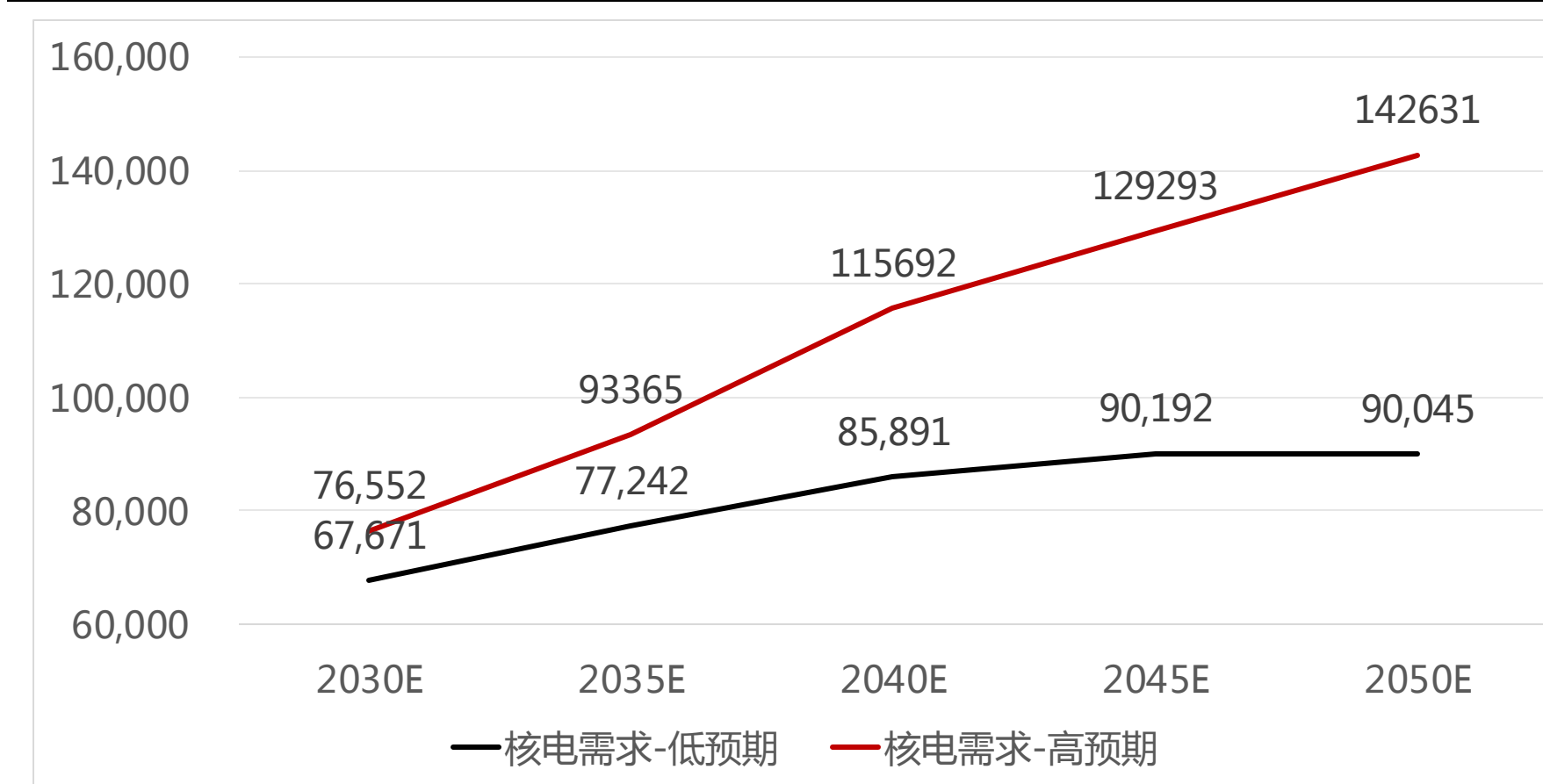
2.2 需求增量——长期需求预测：三倍宣言下，到2050年天然铀需求或高达14.3万吨，增幅142%（2/4）

根据铀2024年红皮书，高预期下，全球核反应堆需求预计从2024年到2050年增幅达142%。目前已有30多个国家签署《联合国气候变化框架公约》第二十八次缔约方大会（COP28）提出的“2050 年核电装机容量增至当前三倍”联合声明，叠加数据中心驱动的小型模块化反应堆大规模商业化应用，核电领域天然铀需求增长空间巨大。根据铀2024年红皮书，**低预期下**，即假设当前的市场及技术趋势延续，影响核电产业的政策法规基本无新增调整，2030/2040/2050年全球核电装机容量分别为418/539/574GW，对应天然铀需求量为6.8/8.6/9万吨，增幅53%；**高预期下**，即假设当前的经济增速与电力需求增速保持稳定，同时假设各国政策将向应对气候变化方向调整且核能被视为实现脱碳战略的重要支柱能源，2030/2040/2050年全球核电装机容量分别为469/724/900GW，对应天然铀需求量为7.7/11.6/14.3万吨，增速达142%。

图表39：全球核能发电增长主要由中国核电扩张驱动



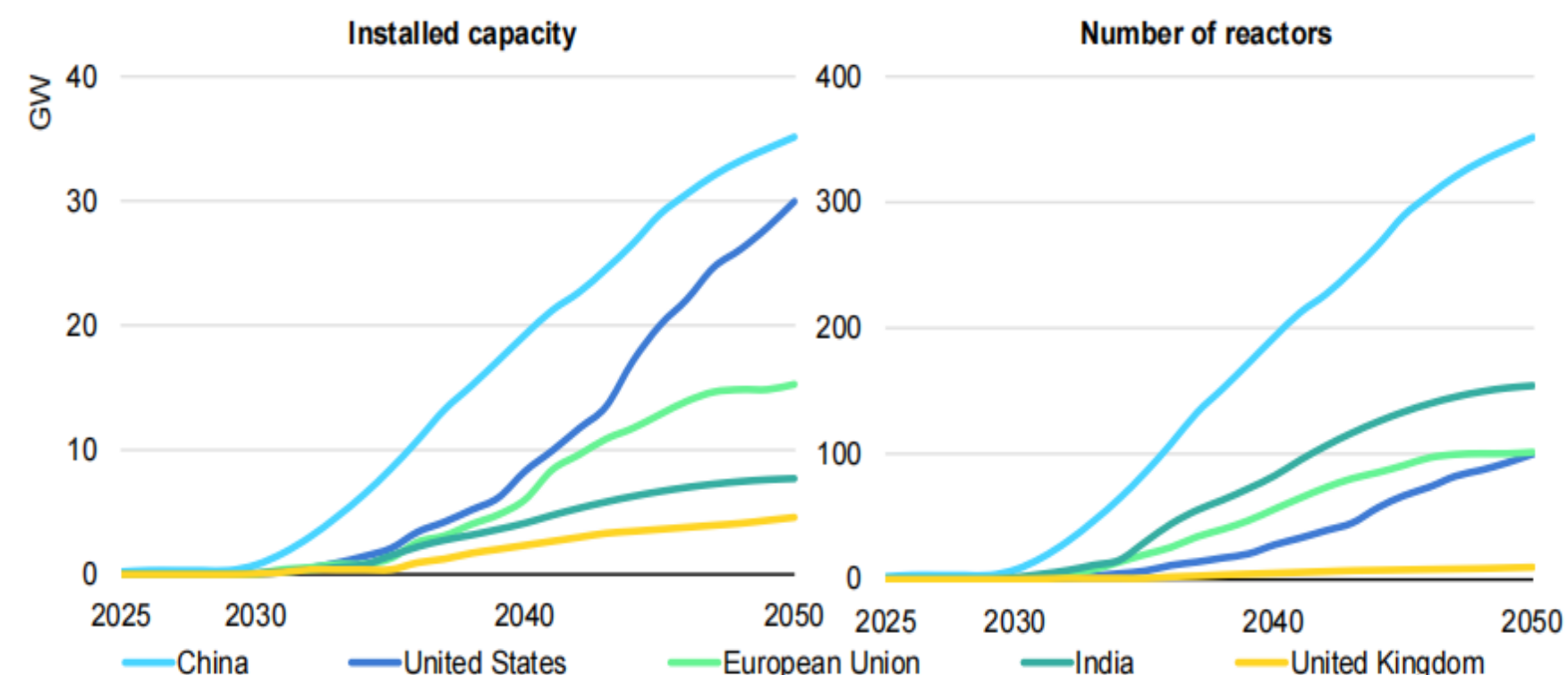
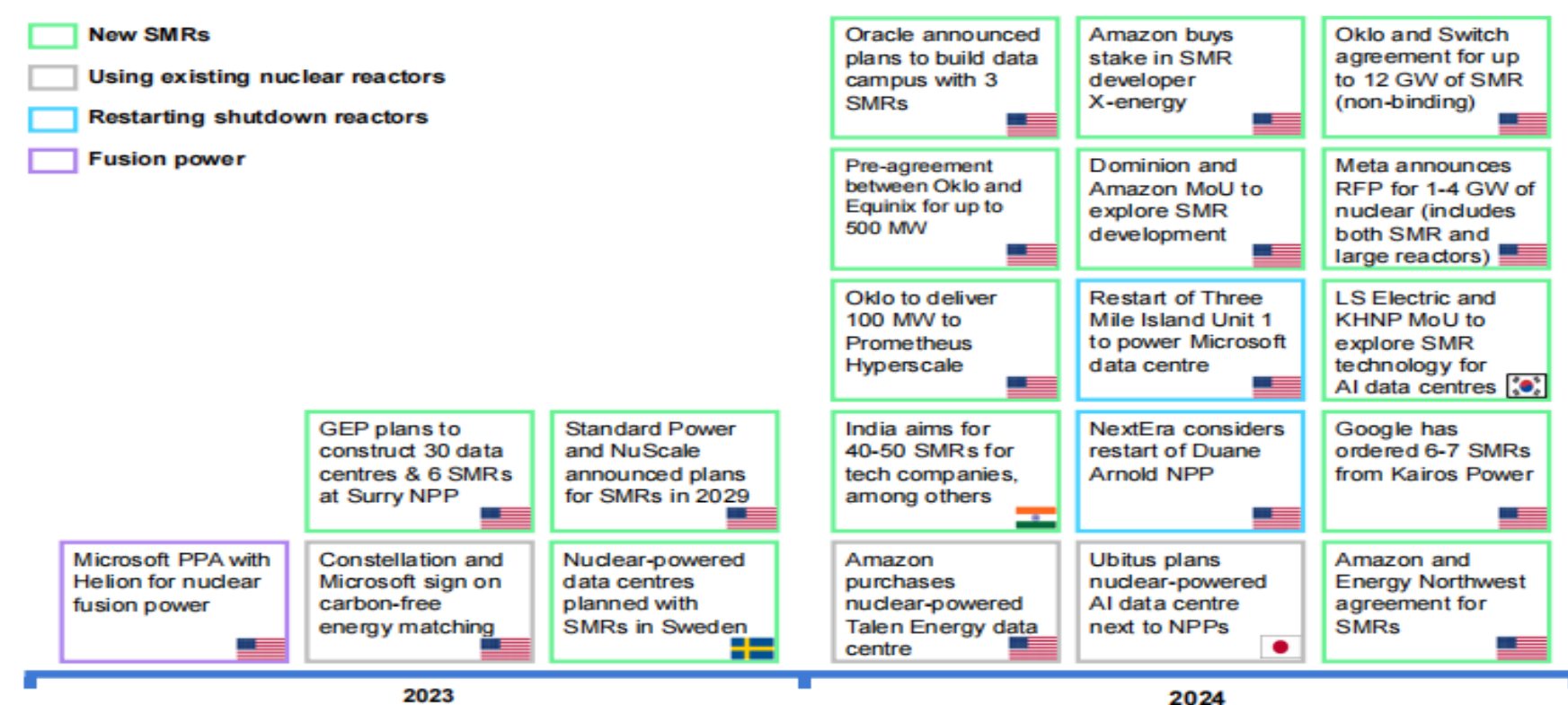
图表40：2030-2050年全球核电所需天然铀需求预测（tU）



科技巨头纷纷拥抱核能，SMR等新兴反应堆技术进步扩大核能应用场景。根据Sprott，全球范围内2023至2030年间数据中心电力需求预计将激增258%，其在全球电力消耗中的占比将从1.2%攀升至4.1%。SMR小型核反应堆单台机组发电容量约为传统核反应堆发电能力的三分之一，具有全天候、稳定发电以及部署灵活的优势，契合数据中心用电、用地需求，有望开拓核能应用的新兴市场。科技巨头对“AI+核电”的合作模式已基本形成共识，正加速推进小堆的部署和技术创新。微软、Meta、谷歌和亚马逊在内的主要科技巨头正大力投资核能，以满足人工智能驱动的数据中心日益增长的电力需求。

■根据IEA，中国和俄罗斯引领SMR部署，规模化生产预计2030年以后爆发。目前有18个国家80多个小型反应堆设计处于不同的开发和部署阶段，中国的玲珑一号是全球首个通过国际原子能机构安全审查的三代轻水小型堆，也是全球首个陆上商用SMR；俄罗斯已实现海上可移动SMR在边远地区功能方面的应用。IEA预计到2050年，中国（35GW）、美国（30GW）、欧盟（15GW）、印度（8GW）和英国的SMR容量占全球的近80%。

图表42： 2025-2050年SMR装机量和数量预测



资料来源：IEA《Path to a New Era for Nuclear》、五矿证券研究所；

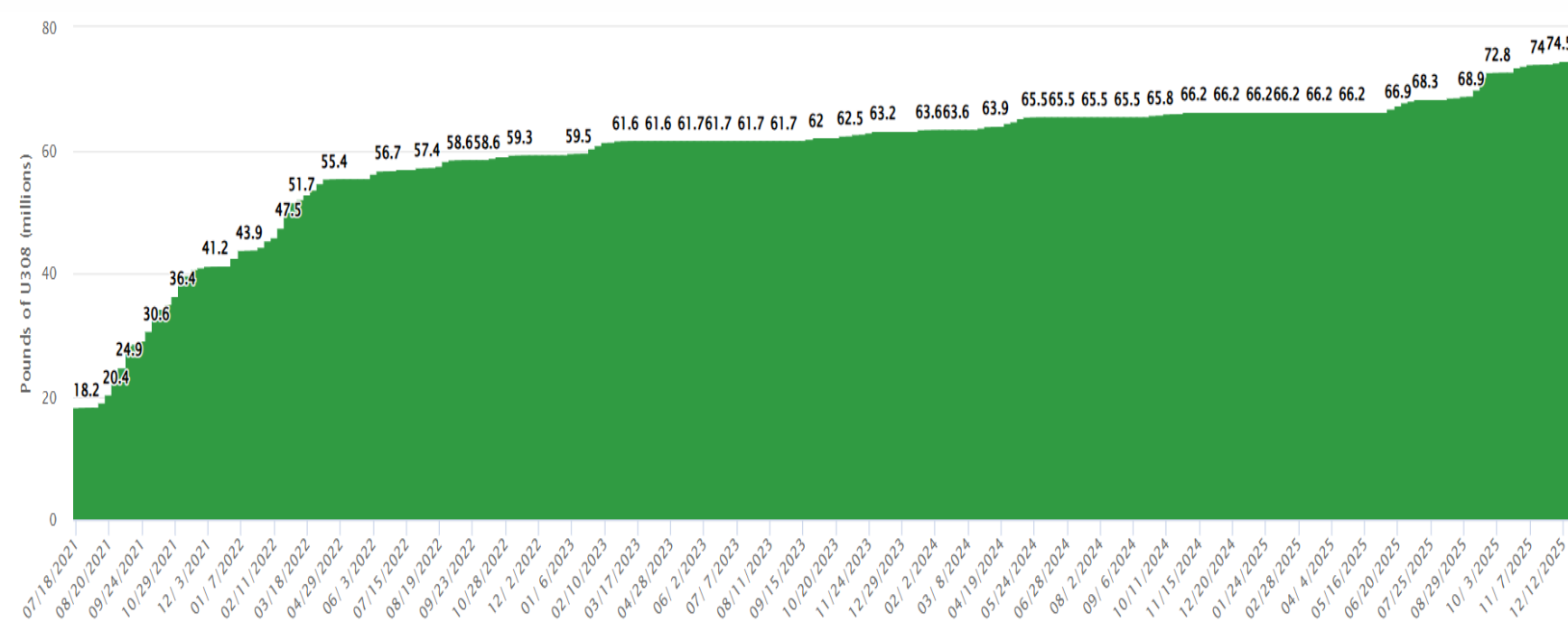
2.2 需求增量——金融机构投机需求加大供需缺口压力（4/4）

□2021年下半年开始，SPUT、Yellow Cake等金融机构大量采购现货天然铀，采取只买不卖的业务模式，持续建立实物天然铀库存。

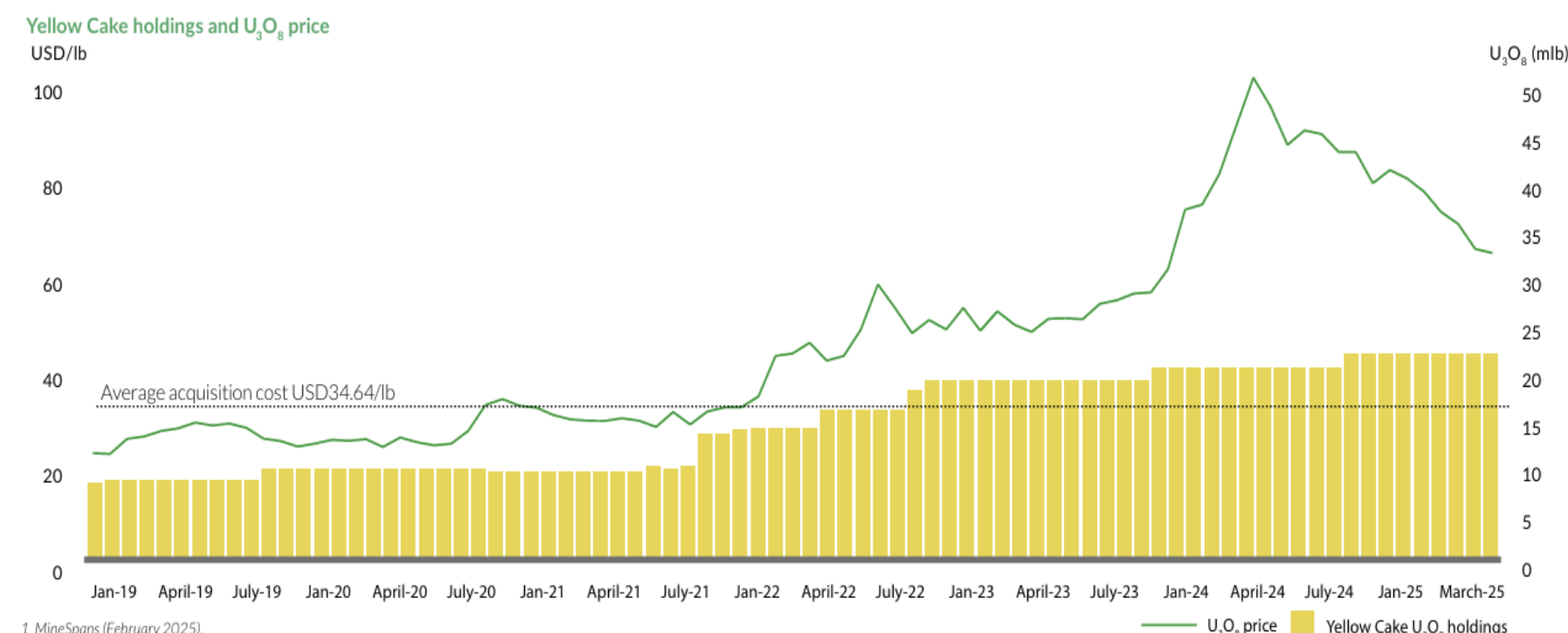
1) SPUT：是全球最大的实体铀信托基金，总部位于加拿大，截至2025年12月12日，SPUT已累计购买**32,840tU**天然铀，2025年6月融资2亿美元重启现货采购，三季度共购入近2000吨天然铀。从2021年SPUT开始建仓买入到现在，一直处于净买入状态，尚未出现净流出；

2) Yellow Cake：为英国公司，2018年上市，截至2025年11月已储备了**10,439tU**，且2018年5月与哈原签订框架协议，保障到2027年每年有权向哈原工采购最高1亿美元的八氧化三铀。2025年9月Yellow Cake也募资1.75亿美元，增厚资金储备。按照2025年全球核电用铀需求68,920tU算，两者铀库存之和相当于全球核电用铀需求的63%。

图表43：目前SPUT拥有3.3万吨天然铀库存



图表44：目前Yellow Cake拥有1万吨天然铀库存



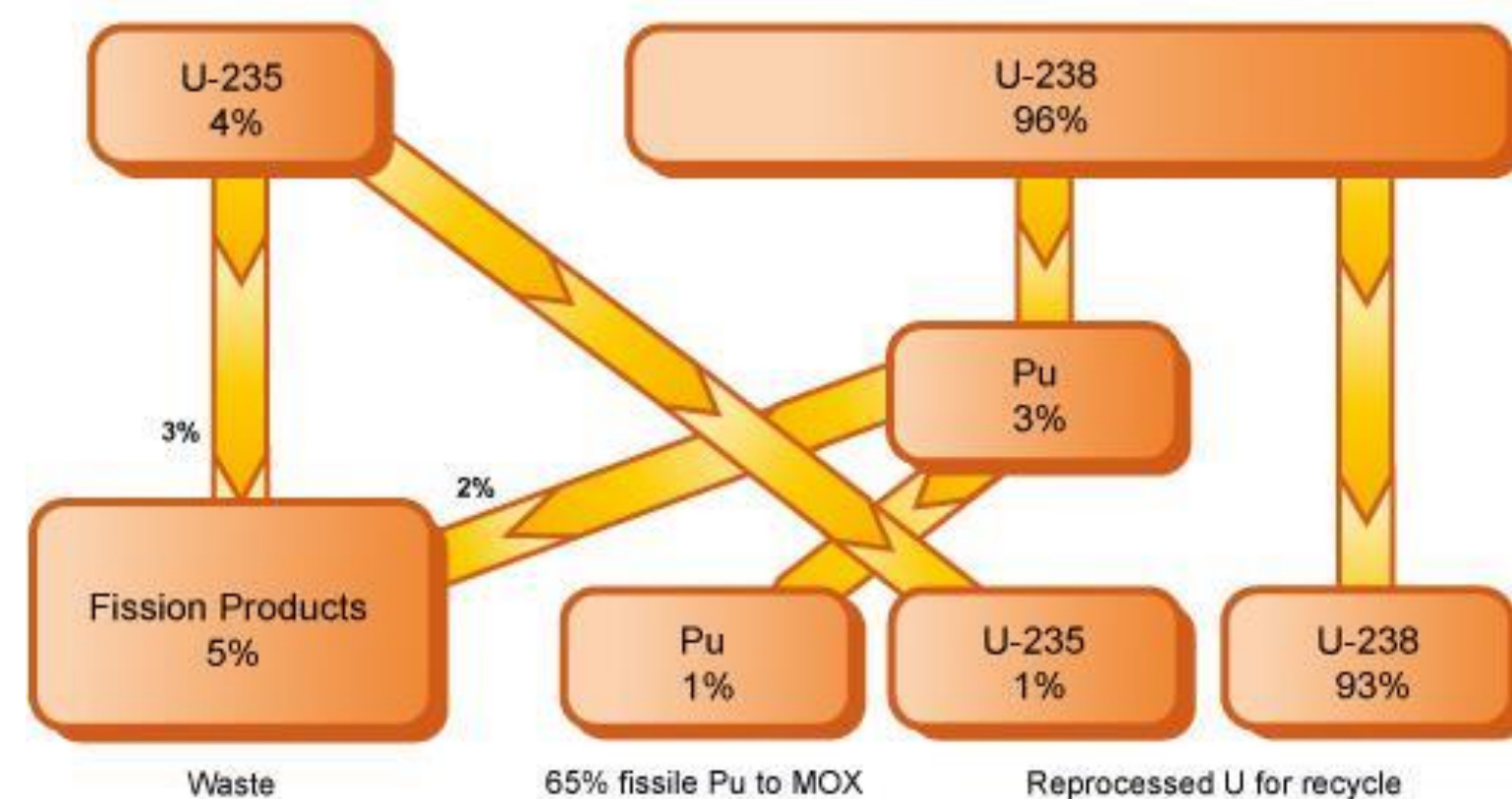
2.3 需求减量——单位铀需求或下降，新燃料技术突破可能替代部分铀的需求（1/4）

□**核燃料组件技术不断进步，单位铀需求或下降。**受燃料技术进步影响，随着燃料设计的改进，轻水堆的卸料燃耗稳步提高，燃料能够在反应堆中停留的时间更长，燃料需求减少。此外，全球各国对提高燃料性能和可靠性的重视，也减少了因组件缺陷而更换燃料的需求。

□**未来核燃料向金属、氮化物等形式拓展，当前仍存在诸多挑战。**未来核燃料包括1) 回收带来的二次供应，包括MOX/REMIX 燃料、2) 用于高温气冷堆的TRISO燃料、3) 其他先进核燃料技术如耐事故燃料ATF、金属燃料、钚-铀燃料等。但新技术仍面临诸多挑战：1) 安全与合规：需严格控制铀富集度 $\leq 5\%$ 防临界事故，同时满足事故工况下的容错要求；2) 经济性：燃耗提升需配套更高的前期燃料成本，根据停堆换料的周期长度、频率及堆芯再装料比例，换料停堆成本也可能上升；3) 技术瓶颈：碳化硅包壳、金属燃料等规模化制造仍面临技术瓶颈。

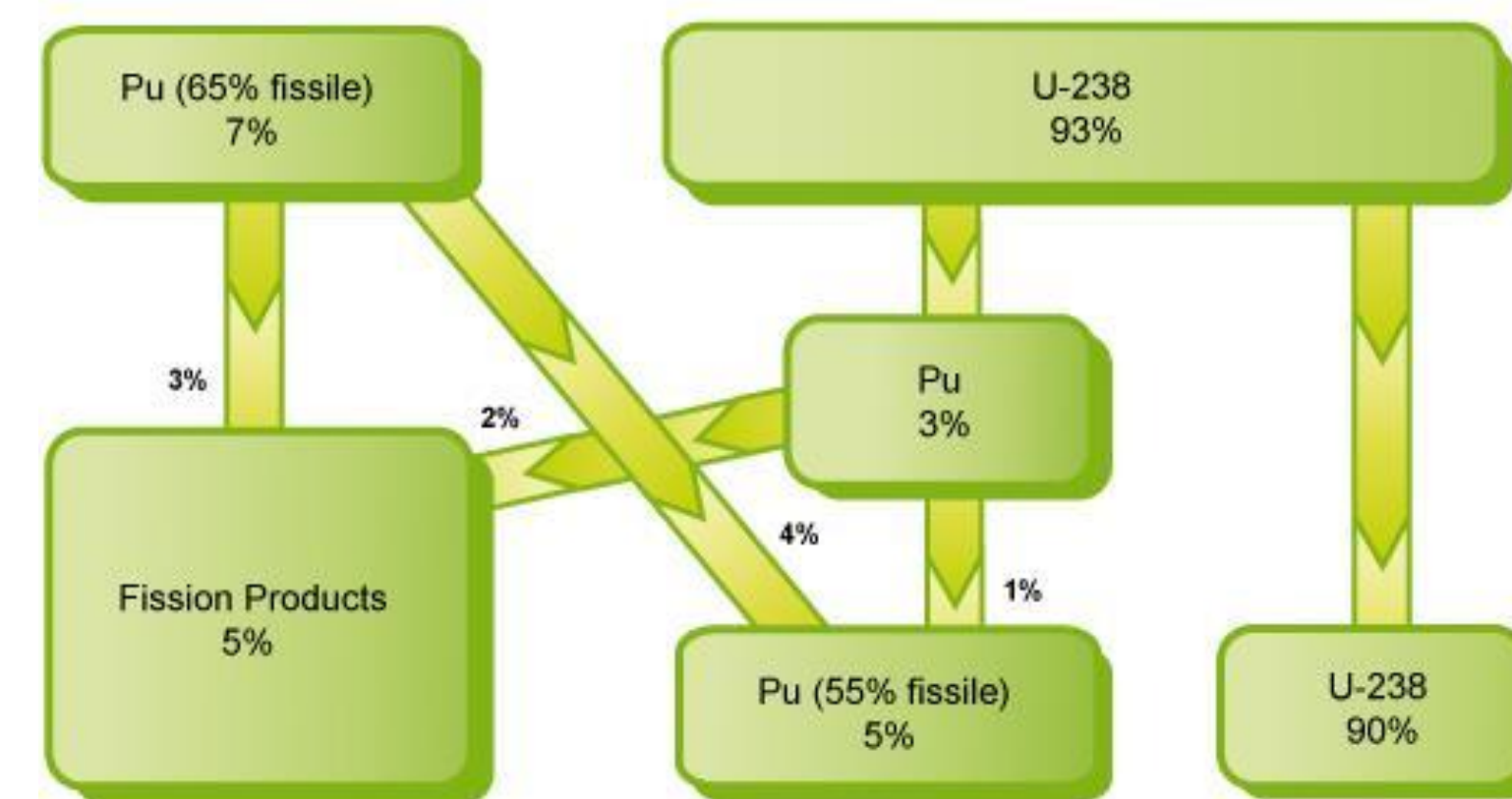
图表45：MOX燃料（右图）和二氧化铀燃料（左图）对比，MOX燃料由从废弃反应堆燃料回收的钚与贫化铀混合制造

Reaction in Standard UO_2 Fuel



Basis: 45,000 MWd/t burn-up, ignores minor actinides

Reaction in MOX Fuel



Basis: 45,000 MWd/t burn-up, ignores minor actinides

2.3 需求减量——四代先进核反应堆如钍基熔盐堆等降低对铀-235的依赖（2/4）

□四代核反应堆是为了更好地实现核能的可持续性、安全和可靠性、经济性、防扩散与物理保护性这四大目标而推动的创新性的核电发展技术路径。2002年10国成立第四代核能系统国际论坛正式发布了四代核电发展的技术路线图，力争2030年后实现先进核能系统的示范与商业化部署。6种典型堆型包括气冷快堆（GFR）、铅冷快堆（LFR）、钠冷快堆（SFR）、熔盐堆（MSR）、超临界水冷堆（SCWR）和超高温气冷堆（VHTR）。全球范围来看，钠冷、超高温气冷堆的研发、工程化进度最快；铅冷与熔盐进入示范阶段；其他两种堆型相对在概念设计阶段。我国在多个四代核电技术路线的产业化进度上已国际领先。高温气冷堆和钠冷快堆率先实现了首台套示范堆投产、钍基熔盐堆有望加速从实验堆向示范堆升级。

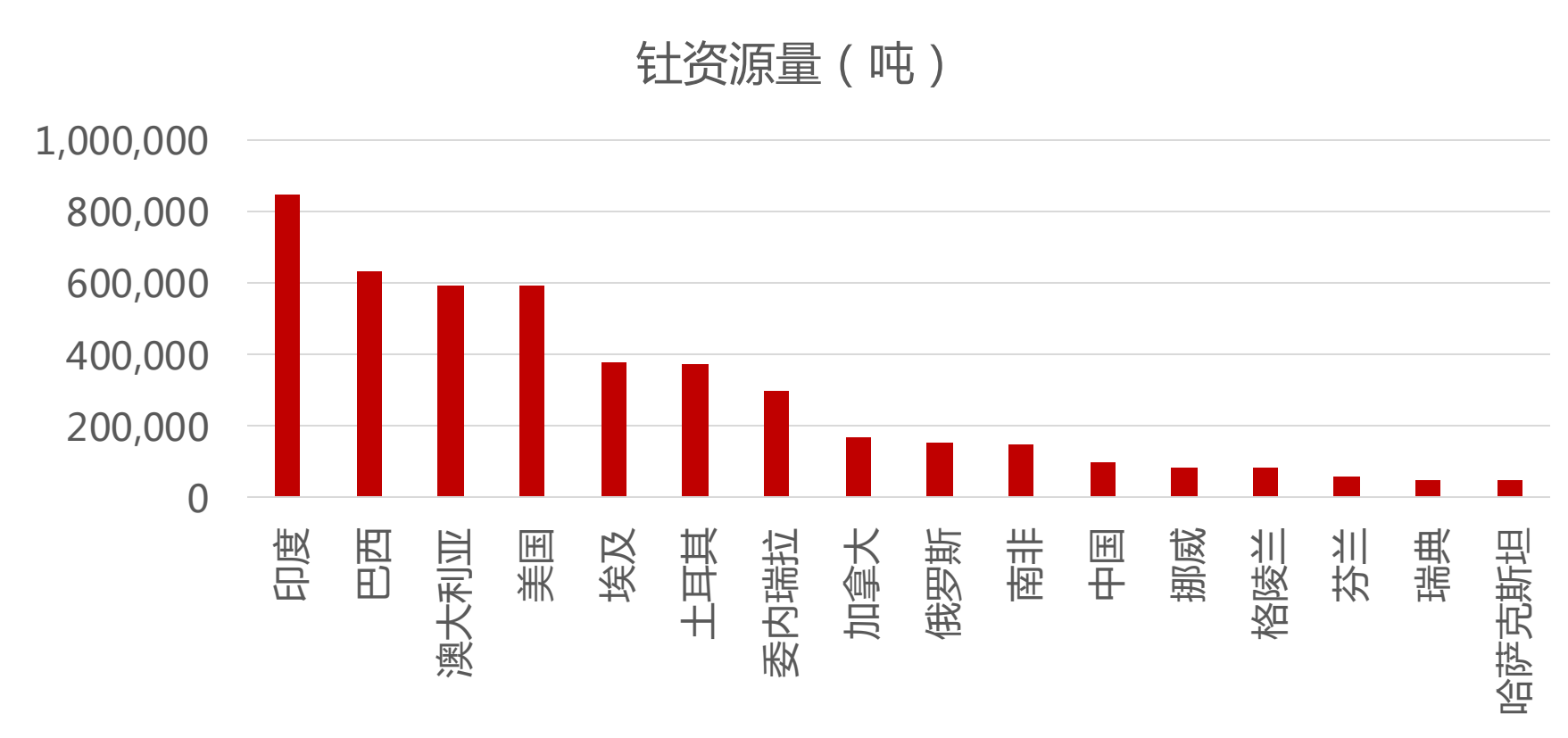
□其中，钍基熔盐堆等四代反应堆类型有望降低对铀-235的依赖。传统三代核电站以“铀-235”为主要燃料，而四代核反应堆燃料多元化为铀-238、钍-232和钍-233等。如钍基熔盐堆以钍-232作为核反应堆燃料的原料，钍-232吸收中子下转化成钍-233，随后经两次β衰变（钍-233→镤-233→铀-233）转换为易裂变核素，最终铀-233吸收中子发生链式裂变反应并产生能量。值得注意的是，钍在地壳中的丰度约为铀的三倍，缺铀国家或有动力加快钍基熔盐堆等核反应堆研发。

图表46：第四代核能系统主要特点

堆型	中子谱	冷却剂	出口温度 /℃	燃料循环方式
钠冷快堆（SFR）	快	钠/共晶钠钾合金	550	闭式循环
超高温气冷堆（VHTR）	热	氦气	900-1000	一次通过
超临界水冷堆（SCWR）	热/快	超临界水	510-625	一次通过/闭式循环
气冷快堆（GFR）	快	氦气/超临界二氧化碳	850	闭式循环
铅冷快堆（LFR）	快	铅/铅铋合金	480-800	闭式循环
熔盐堆（MSR）	热/快	氟化物盐/氯化物盐	700-800	闭式循环

资料来源：游尔胜等《“双碳”目标下第

图表47：全球钍资源分布（吨）

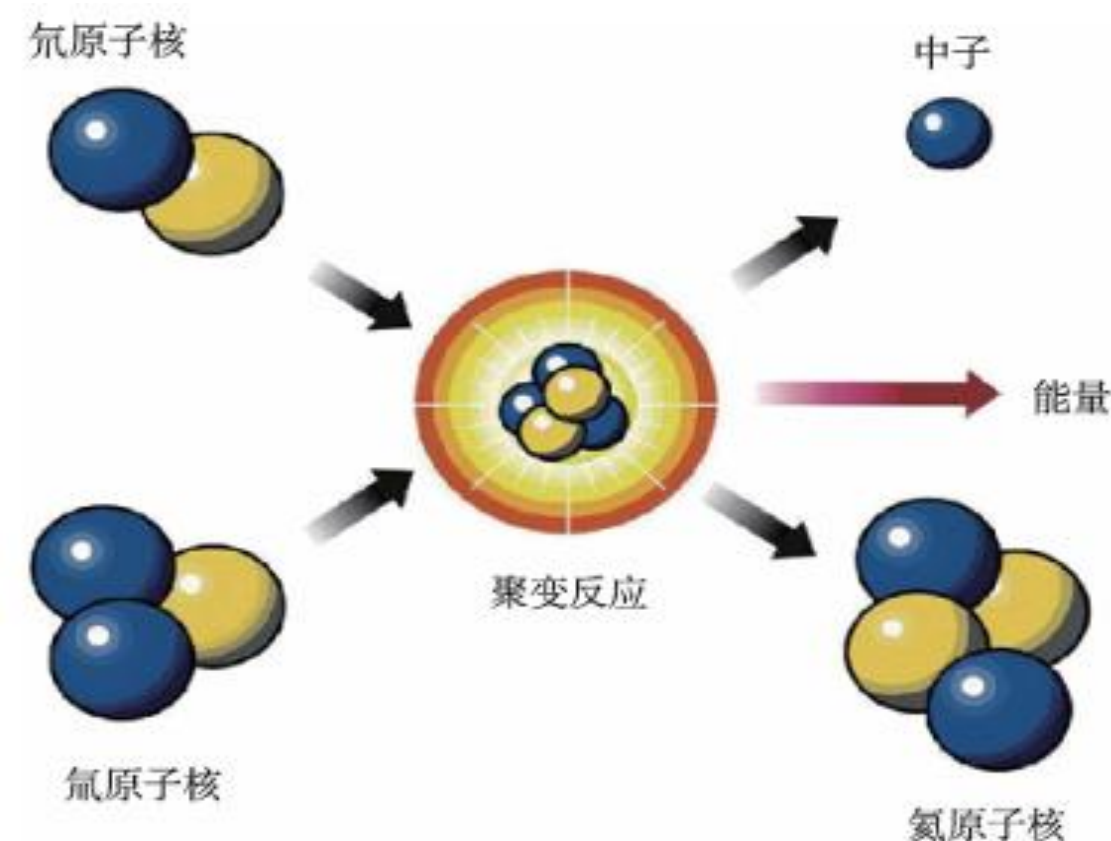


2.3 需求减量——各国加速布局可控核聚变技术，主要燃料为氘、氚（3/4）

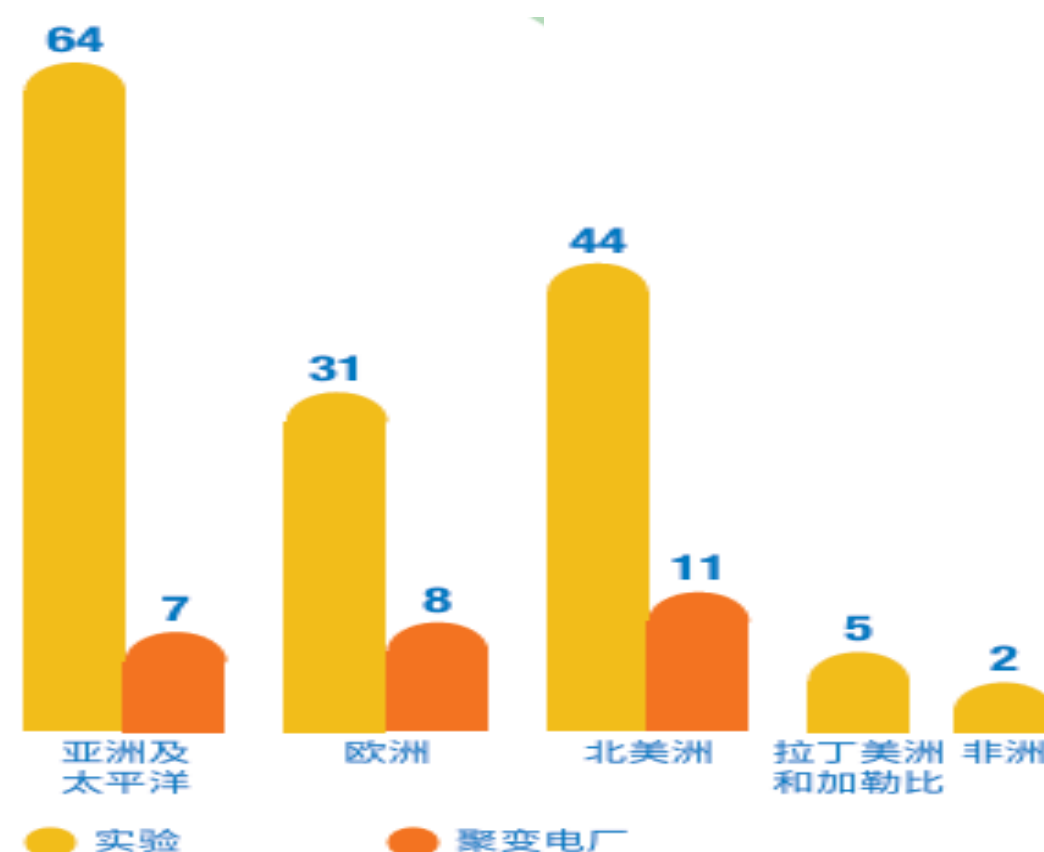
核聚变因其燃料资源丰富、能量密度大、清洁无污染、安全性高等突出的优点，被视为人类理想的终极能源。核聚变的主要燃料氘可以从海水中提取，地球上海水中的氘储量相当丰富，每升海水中含有约0.03克氘，所以地球上仅在海水中就约有45万吨的氘；氚虽然自然界中不存在，但可以通过中子与锂作用产生。从某种意义上说，聚变原料几乎是无限的，具备成为未来全球能源结构主要组成部分的条件。

随着美国激光聚变的点火成功以及世界各国对能源安全的考虑，近年来国际聚变进入了快速发展阶段，目前进入工程可行性验证阶段。目前有数十个聚变电厂概念处于不同的开发阶段，目标在21世纪20年代末至50年代中期之间投产。各国政府也都建立了各自的聚变快速发展的路线图，目标完成日期在21世纪20年代末至50年代中期之间。私人资本的介入也加速核聚变商业化落地。根据聚变行业协会2025年供应链报告，私营聚变公司2024年的支出在2023年的约2.5亿美元基础上增加了73%左右，达到4.34亿美元。根据IAEA，随着更多试点规模项目进入建造阶段，预期支出增长将会持续，2025年的预计支出增幅为25%。

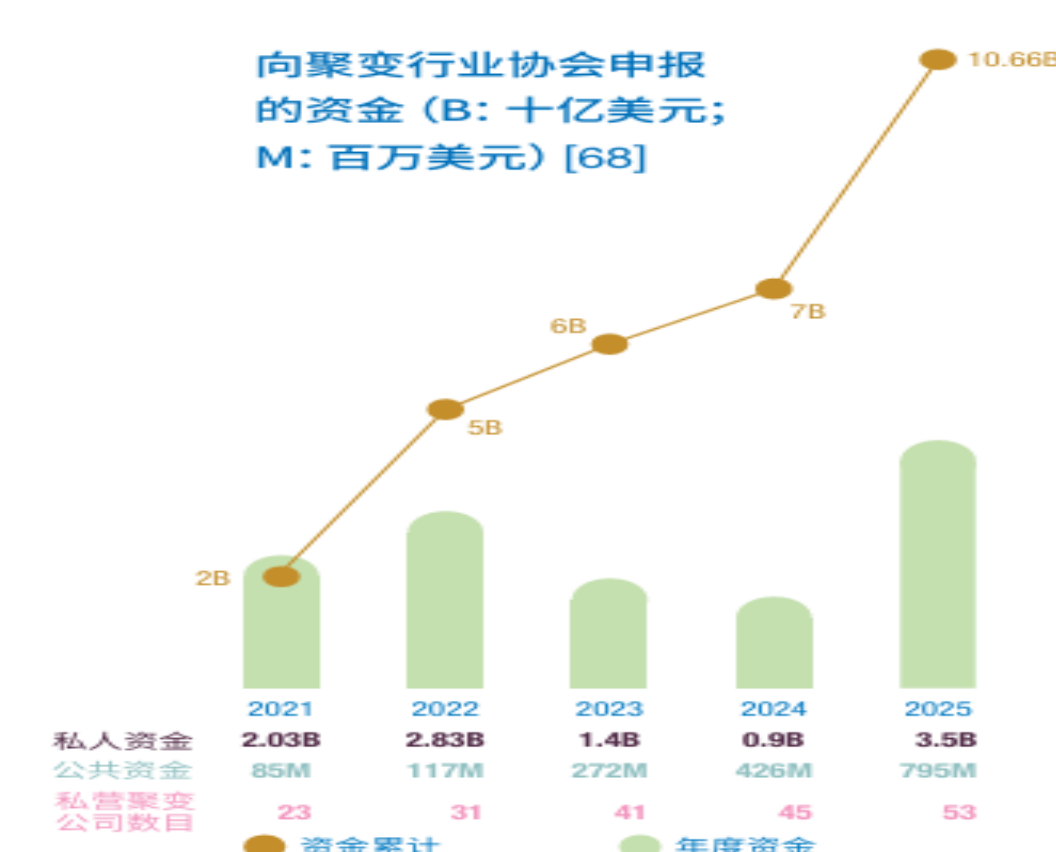
图表48：氘-氚核聚变的基本原理



图表49：2025年在运、在建或计划中聚变数量



图表50：私有、公共资本投资资金规模

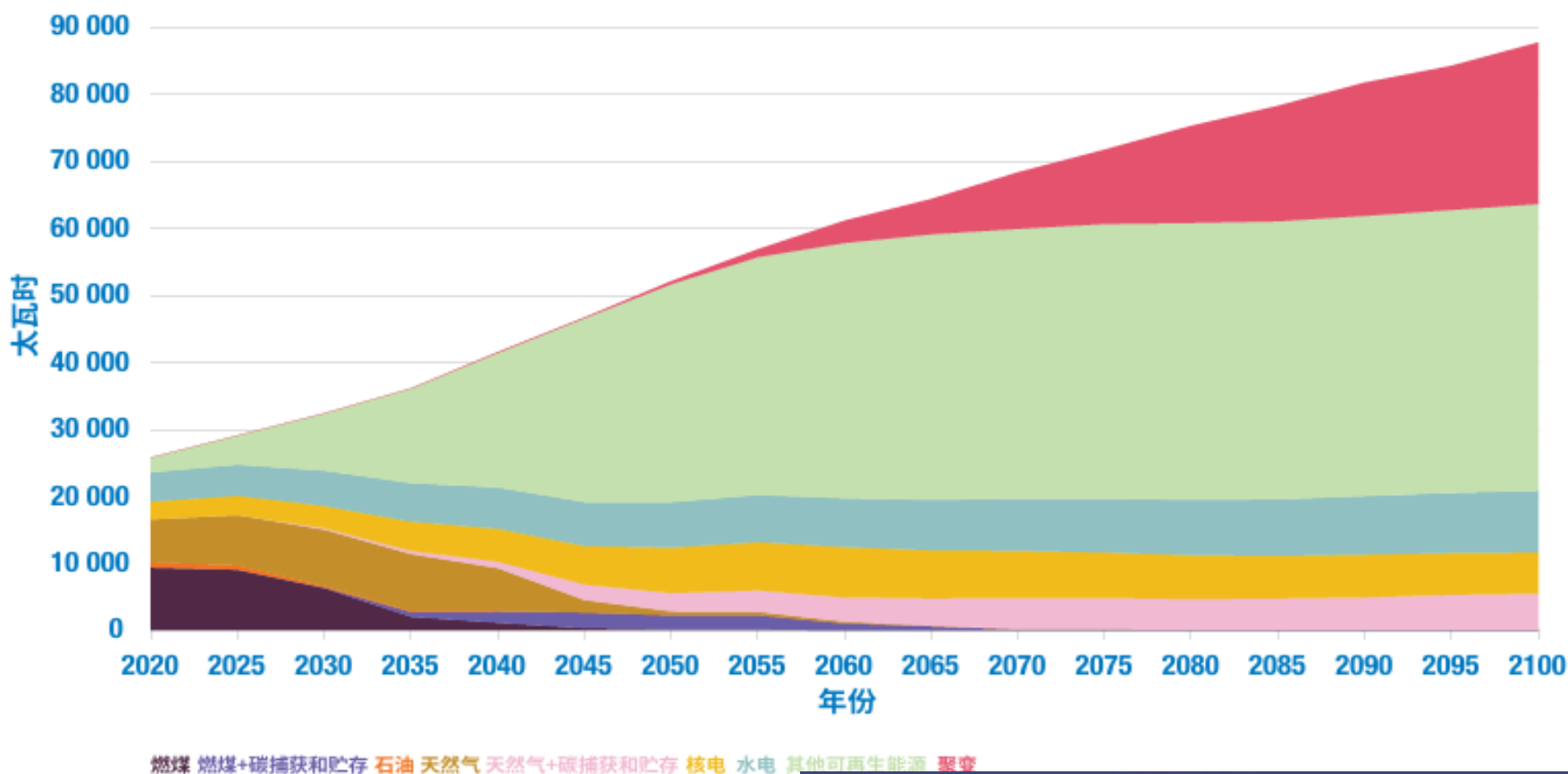


2.3 需求减量——聚变发电预计将在本世纪后半叶呈现爆发式增长（4/4）

□根据IAEA预测，基准情境下（美国聚变电厂2050年的隔夜成本为约8000美元/千瓦，2100年降至约4300美元/千瓦）下，全球聚变发电量预计将从2035年的两太瓦时增至2050年的375太瓦时。聚变发电量在本世纪后半叶将呈现爆发式增长，2100年将达近2.5万太瓦时。虽然可再生能源（风能、太阳能、生物质能）在2030年至2050年间出现显著增长，但2050年后，资源限制以及将可编能源并入电力系统相关的一些问题会制约这些技术的扩张。在此情景中，聚变在全球电力结构中的占比将于2075年达到15%，并于2100年升至27%。

□ITER项目由中国、美国、俄罗斯、欧洲等七方共同发起参与，是全球最大的国际热核聚变实验堆合作项目之一，计划2039年开始氘-氚反应。ITER项目旨在验证磁约束聚变能的工程技术可行性，建成后将成为世界上最大的托卡马克装置（最具商业化潜力的路径）。根据ITER理事会在2024年6月发布的最新版项目时间表，计划于2034年开始研究操作，并在2039年开始氘-氚反应。

图表51：基准情景下全球电力结构的演变（粉色为聚变发电量）



图表52：聚变电厂成功指标

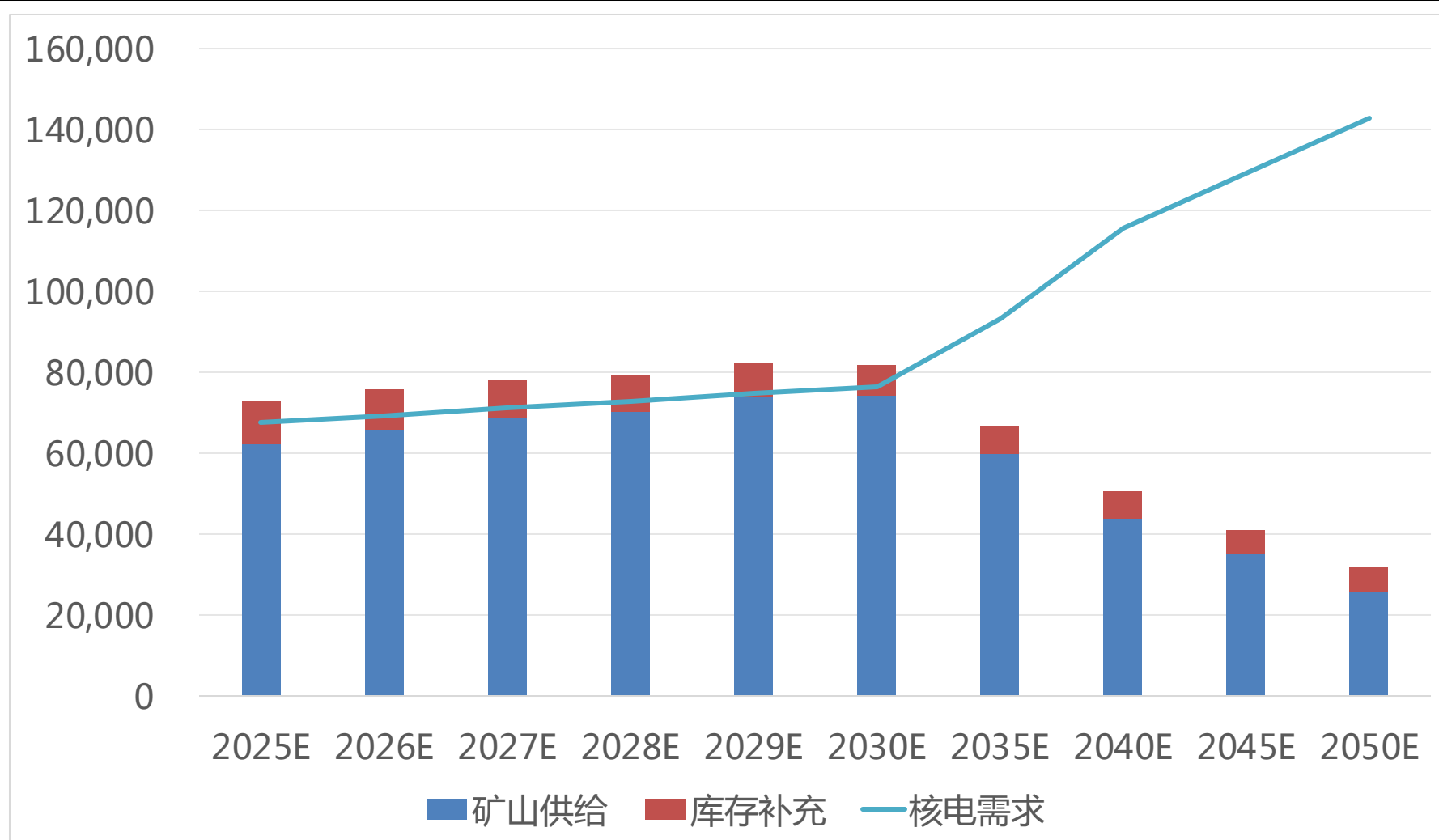
类别	指标
运行实绩	1. 100—500兆瓦聚变时间平均净热功率
	2. ≥50 兆瓦（电）峰值发电量
	3. 多环境周期的持续安全运行 ^a
部件	4. 拆除和更换降质部件的设计策略、成本和时间范围
燃料循环和材料	5. 边界等离子体科学、材料科学、燃料循环和工艺技术创新
	6. 燃料循环问责制以及达到问责制要求的分析方法
可靠性和可用性	7. 经验证的远程维护和部件更换操作
	8. 模块化、可更换部件
环境和安全考虑因素	9. 降低燃料循环风险
	10. 有效的废物管理，如最大限度减少废物量和总体危害，在可行范围内尽量避免产生C级以上废物
	11. 安全退役战略
经济性	12. 具有竞争力的电力归一化价格
	13. 电厂可利用率高
	14. 确定的筹资和商业化途径

供需平衡——当前铀供需缺口仍可依赖库存补充，2030年后缺口快速扩大，铀资源将成为大国博弈的焦点

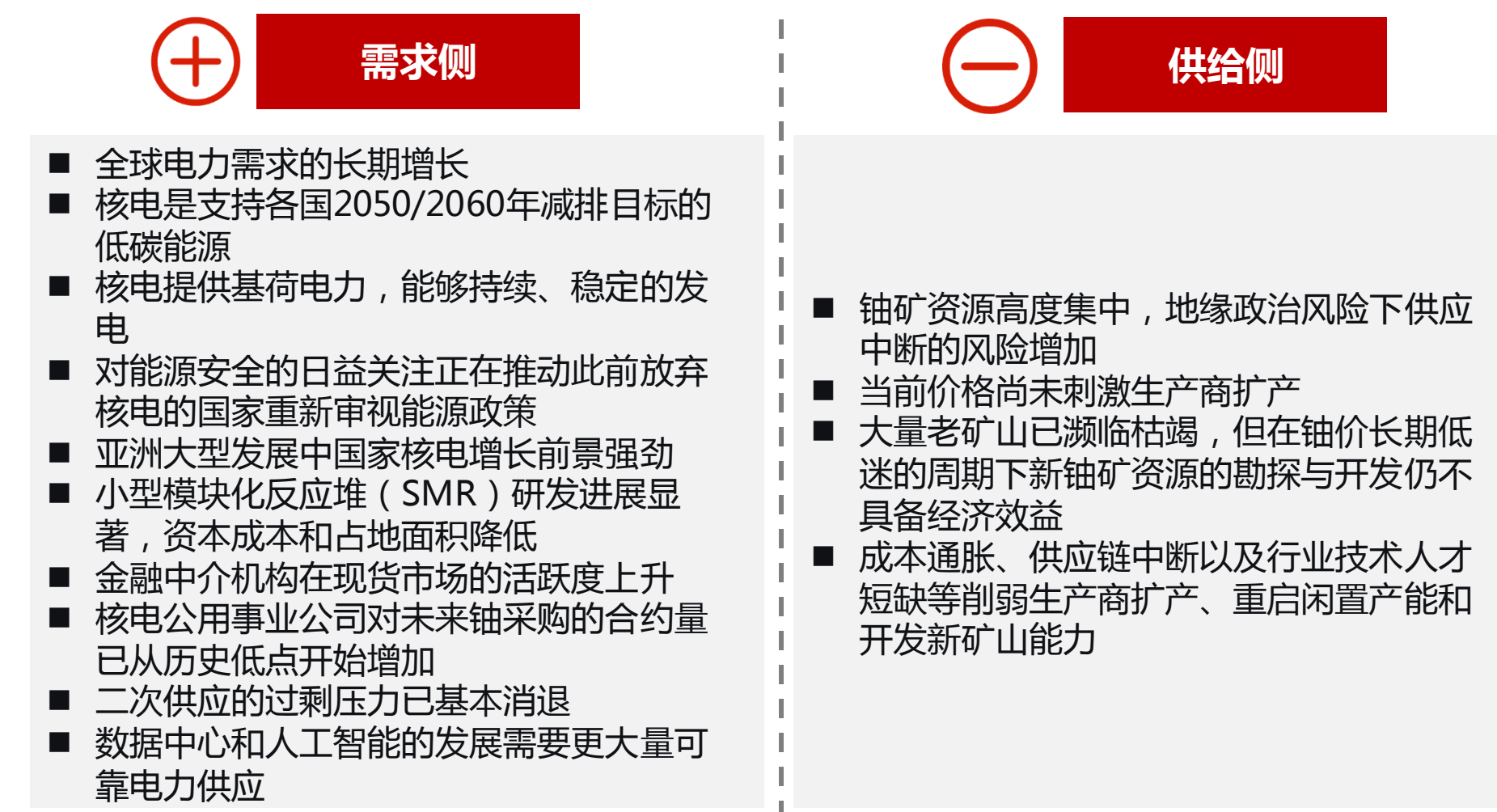
供给侧，铀二次供应呈下降趋势，铀需求日益依赖铀矿开采来满足。但铀矿确定增量有限，生产商在推进项目投产中面临地缘政治干扰、监管流程复杂且耗时长等逆风因素，随着2030年以后哈萨克斯坦一批老矿山退役，远期铀矿供给刚性将进一步强化。

需求侧，在净零目标下，各国纷纷拥抱核电，叠加数据中心催生的SMR规划化部署等新增边际需求和金融机构投机需求，供需缺口压力进一步加大。在低供给预期、高需求预期情形下，综合考虑矿山供应和库存补充，当前矿山供应与需求之间的缺口仍可依赖铀二次供应补充，但2030年之后，供需缺口急速扩大，亟需更高铀价刺激推动新铀矿投产。考虑到金融机构购铀、SMR需求爆发等催化因素，供需缺口扩大或将更早来临。

图表53：全球铀供需平衡表预测



图表54：关键需求与供应侧驱动因素



03 天然铀价格复盘及预测

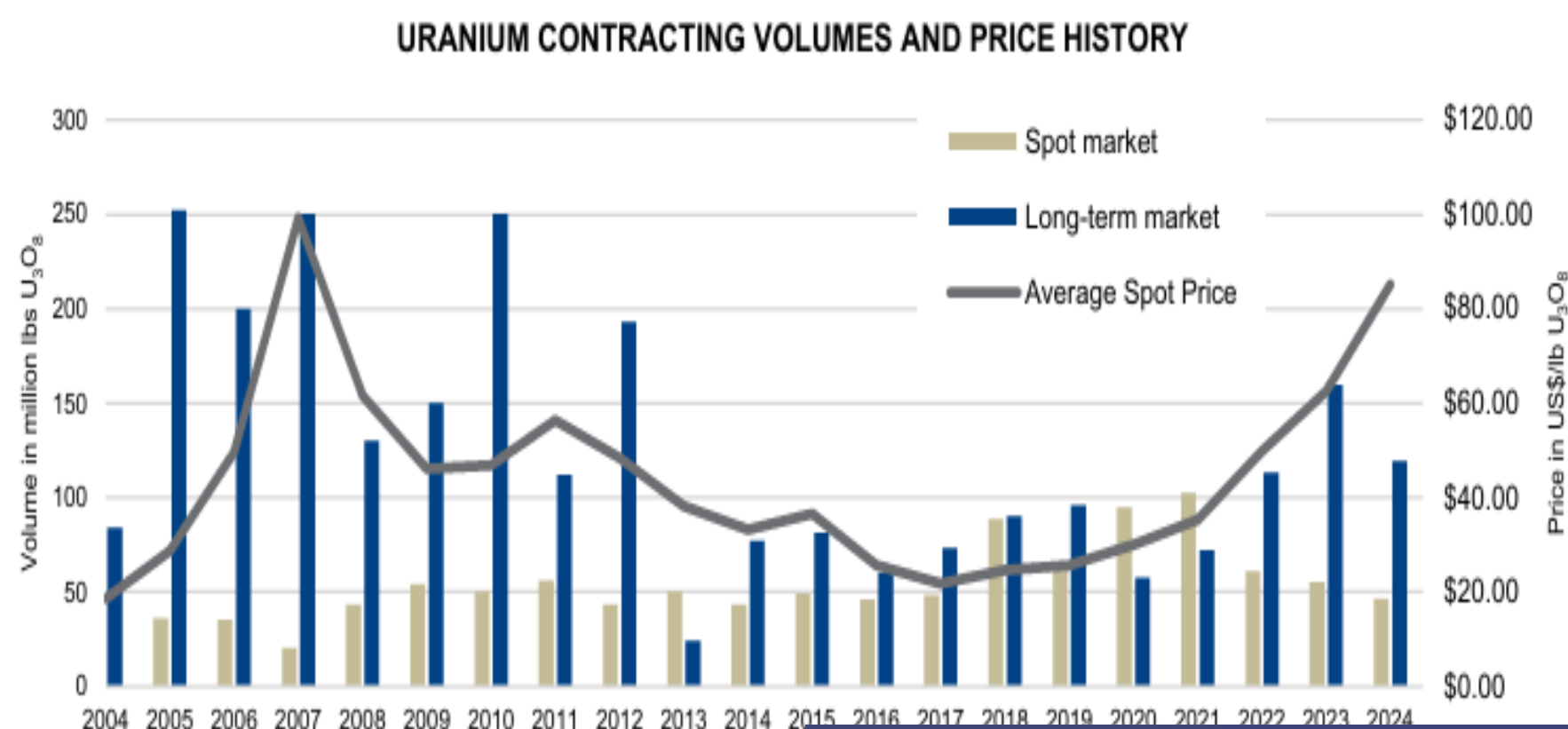
Uranium Price Review & Forecast

3.1 铀市场以长期“核电站-生产商” 双边合同为主，长贸价格更能体现天然铀真实供需情况

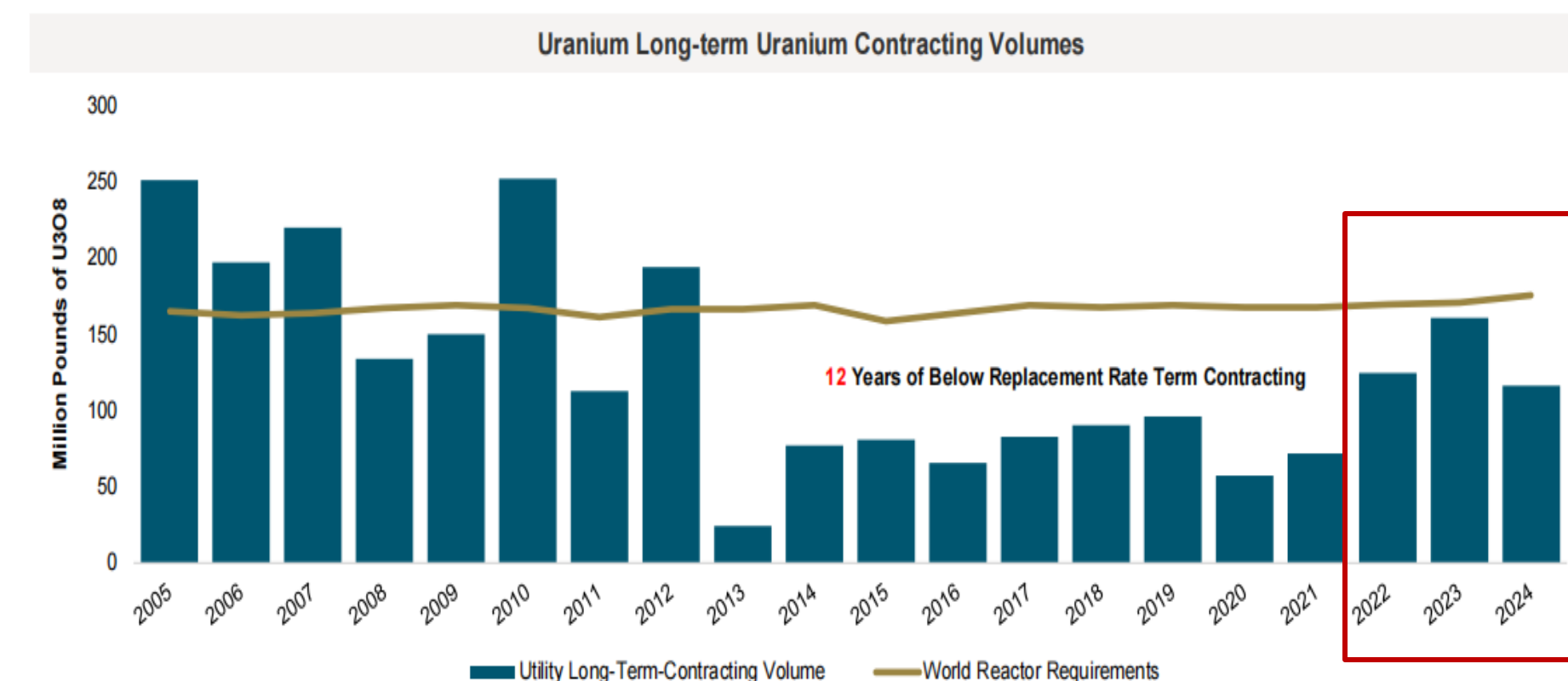
□铀市场以长期“核电站-生产商” 双边合同为主，现货市场为辅。1) 长协合同价格占比约3/4，核电站与铀矿生产商直接签订3-15年长期供货合同，一般价格高于现货市场价格。通常情况下，核电站的平均换料周期约为18个月，其持有的铀库存包括周转库存（处于浓缩或燃料制造阶段的库存）和战略库存（为应对供应中断风险而储备的远期需求库存）；2) 现货合同价格占比约1/4，交货周期在一年以内，价格受贸易商、金融资本的影响更大。2000年主要市场参与者——公用事业公司和矿企——占现货市场的95%。到2005年，这一比例降至三分之二，2011年降至三分之一，目前维持在30%-40%之间。其余则来自金融界，即进入市场的交易者和金融机构，为现货价格带来了更高的流动性和波动率。

□长贸签约量反弹代表着天然铀市场基本面行情真正走向好转，未来仍有较大增长空间。福岛事件后，铀价长期低迷，在很长一段时间内没有新的长期合同签署，业主通过现货市场采购来满足长期合约未覆盖的需求，大部分天然铀生产商以福岛事故前签署的长期合约来支撑其销售。2022年至2024年，长贸签单量反弹，2024年签约量达5.26万吨（一半由中国购买）。新增长期合约的签订代表在现货铀价上涨的刺激下，来自核电业主的长期需求逐渐凸显，天然铀市场基本面行情走向好转，为天然铀市场注入真正的复兴动力。且长贸签约量仍未回归到2010年前水平，未来仍有较大增长空间。

图表55：2004-2024年铀长协与现货市场成交量



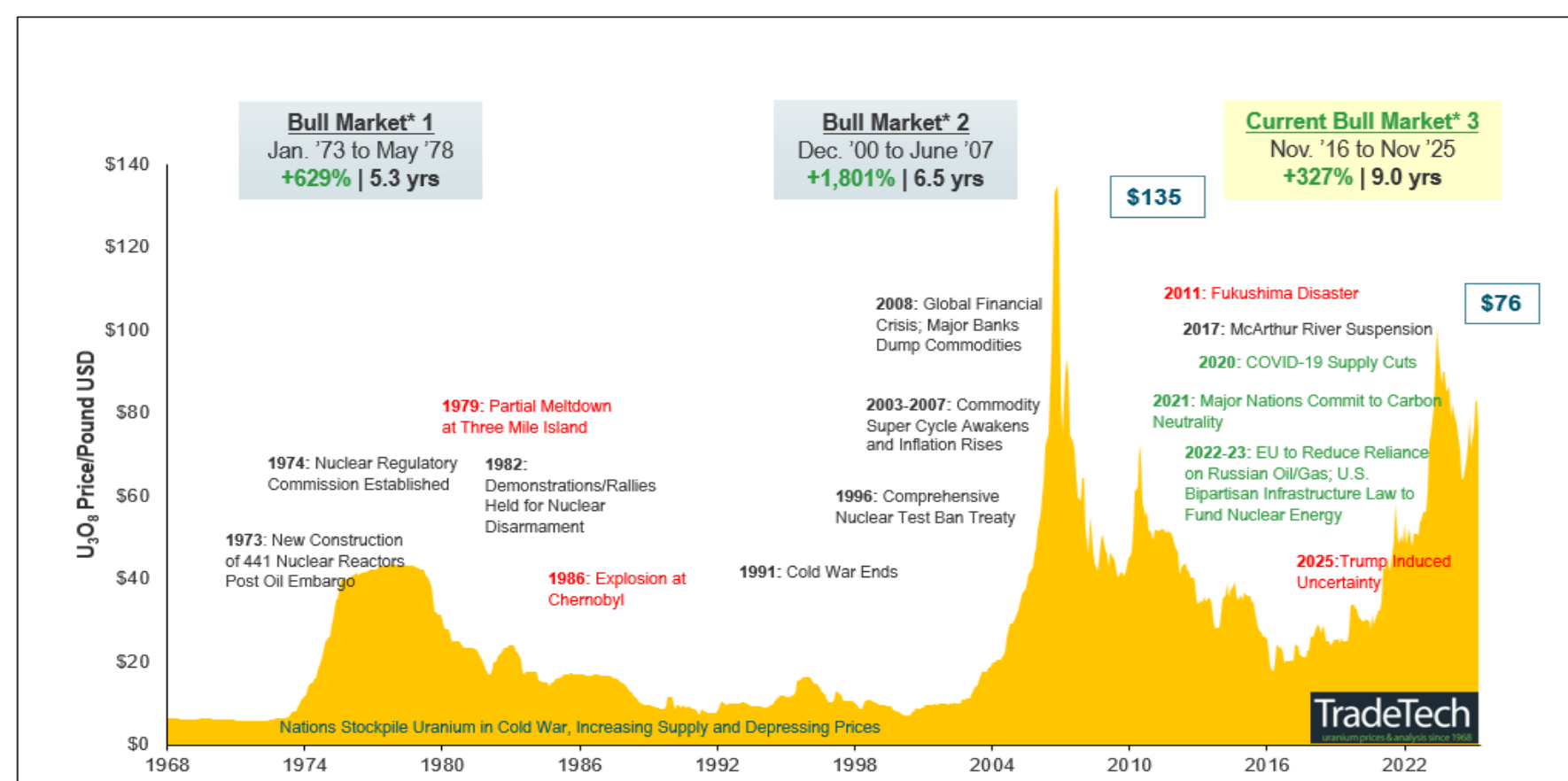
图表56：长贸签约天然铀规模（截至2025年2月）



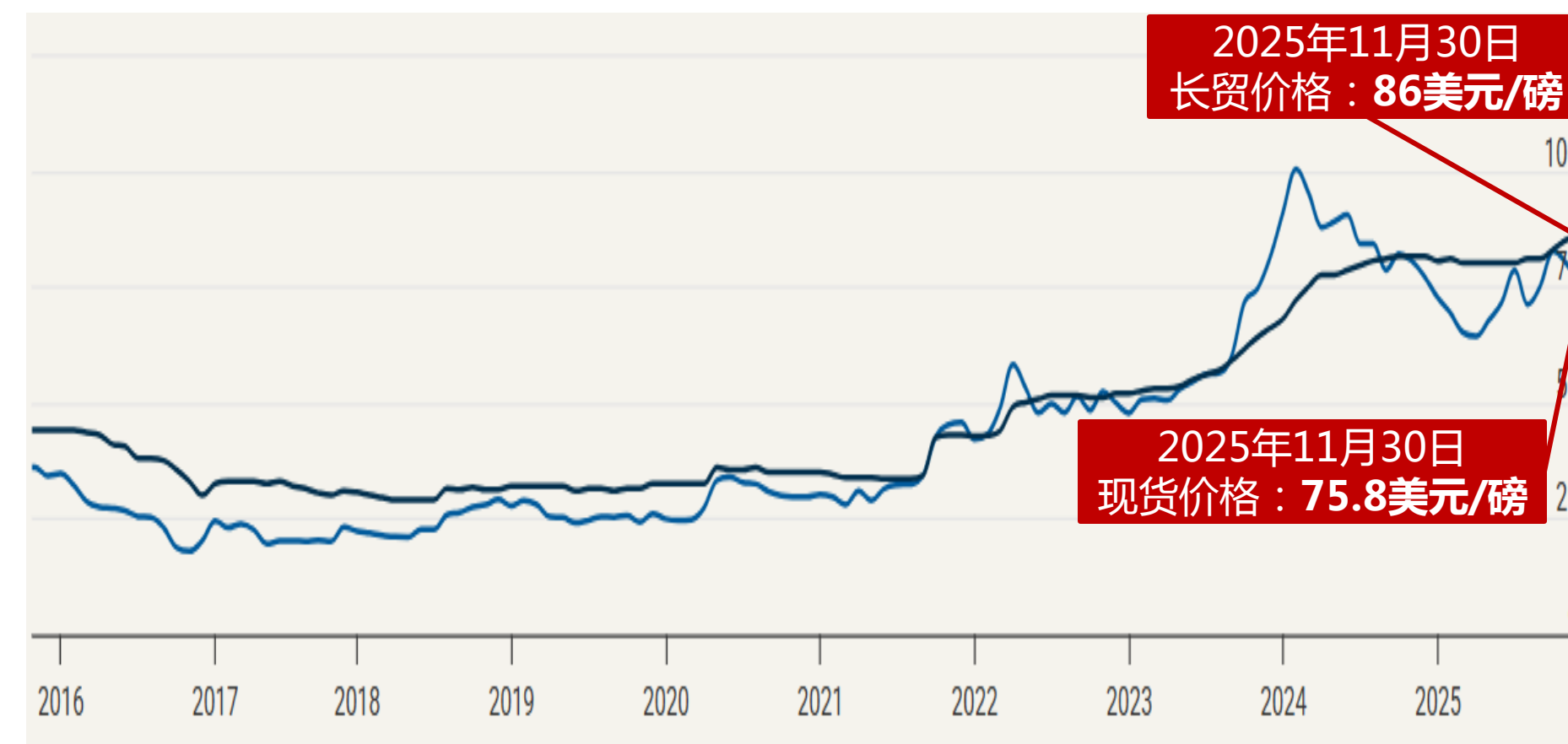
3.2 天然铀历史价格复盘及预测——长周期来看，当前为铀的第三轮牛市（1/2）

□1968年至今，天然铀价格共经历了三轮牛市。1）**第一轮牛市**为1973年1月-1978年5月，OPEC宣布石油禁运，石油供应冲击暴露了能源安全脆弱性，倒逼各国以核电替代石油发电。1973-1978年，全球新建441座核反应堆，直接拉动铀需求暴增，推动铀价上涨629%。核电建设高峰带来铀产能扩张，但20世纪80年代后电力需求放缓、安全监管趋严，叠加库存积压，导致铀价自20世纪80年代至20世纪90年代中期持续走低；2）**第二轮牛市**为2000年12月-2007年6月，受各国积极制定核电发展计划驱动，叠加供应中断，铀价开启上升通道，2007年攀升至136美元/磅的历史峰值，这轮牛市铀价上涨1801%。2008年，次贷危机爆发，铀价迅速跌落至40-50美元/磅，之后呈现缓慢复苏趋势，2010年回升至70美元/磅。2011年日本福岛核事故引发天然铀价格暴跌，事故发生前已启动的铀矿增产项目在需求疲软的背景下持续释放产能，导致市场供应严重过剩，对铀价形成了持续的下行压力，铀价持续探底至2016年11月18美元/磅的最低点；3）**第三轮牛市**启动于2016年11月，2018-2019期间全球大量铀矿关停或减产，矿山产量长期大幅低于电厂需求，全球铀库存持续消耗。2019年-2020年随着去库存加速，价格加速上涨，2022年俄乌冲突爆发进一步冲击全球核燃料供应链，成为铀现货价格飙升的导火索。2023年12月，在《联合国气候变化框架公约》第二十八次缔约方大会（COP28）期间二十余个国家承诺到2050年将全球核电装机容量提升至当前三倍，成为核能发展史上的重要里程碑。在此背景下，天然铀供需局面反转，世界核燃料供应格局深度变革重构，天然铀价格进入持续上行通道。

图表57：当前是铀价第三轮牛市



图表58：2016年-2025年长贸、现货铀价



3.2 天然铀历史价格复盘及预测——短周期来看，今年以来铀价触底反弹修复（2/2）

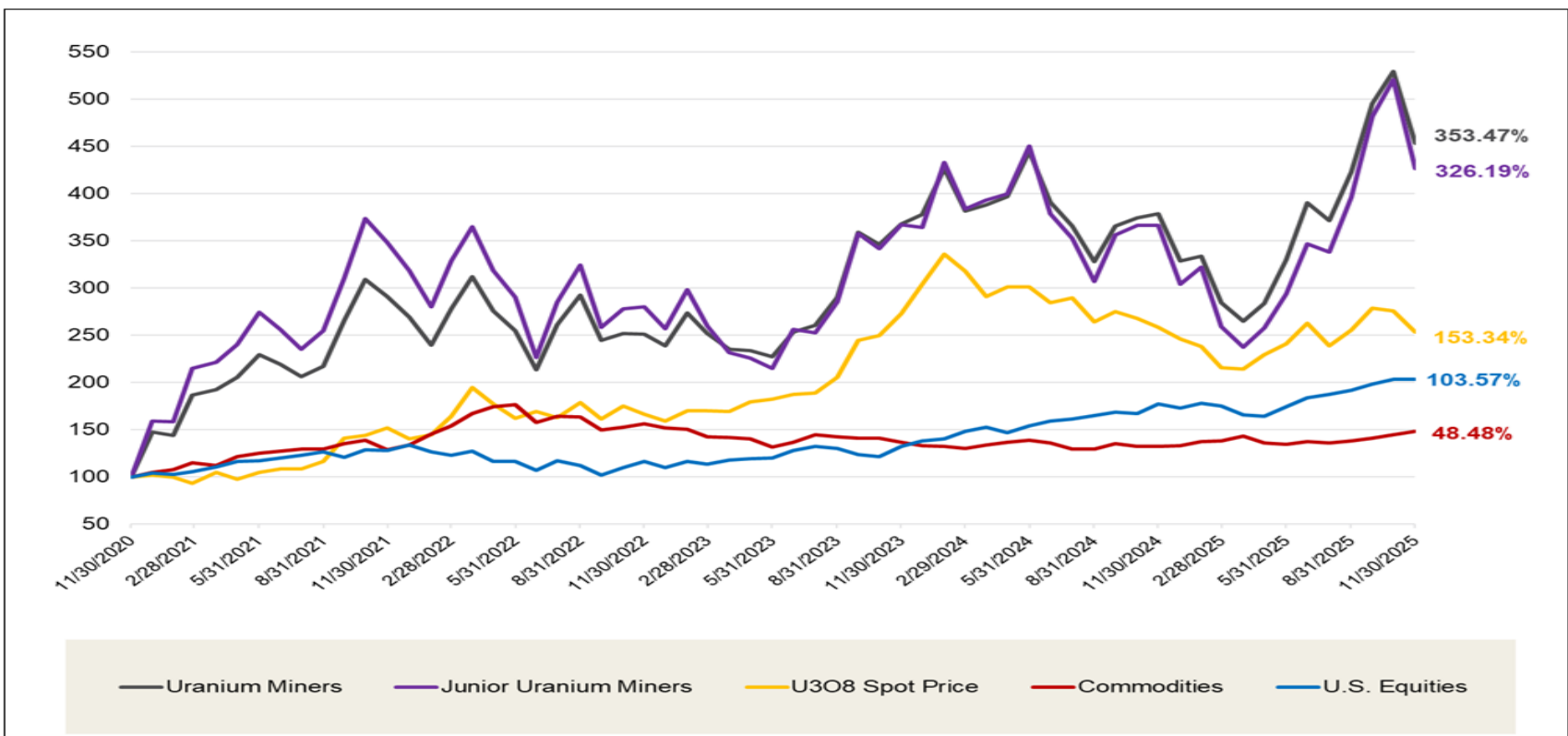
□到2024年初，全球核电发展的政策红利持续释放，天然铀现货价格达到2008年以来的最高水平100美元/磅。全球核电装机扩容的强预期持续发酵，直接推动天然铀现货价格攀升至100美元/磅的高位。随后铀价格持续回调，震荡下跌至64美元/磅左右触底企稳。一方面，受美联储降息、部分投机性需求获利离场等金融市场因素影响，市场情绪从狂热回归理性；另一方面，供应紧张预期出现明显缓解，Cameco等主要供应商生产进度符合预期，哈原工上调2025年产量指引，多家铀矿商宣布旗下铀矿储量增加等。2025年3月至今，在特朗普签署行政命令复兴核能、Sprott实体天然铀信托基金再次融资采购天然铀、日本加速核电站重启等多重利好下，现货铀价逐步回升至70-80美元/磅区间。

□截至2025年11月底，天然铀现货指数价格为76美元/磅，较2025年初上涨3.6%；而更能反映行业真实需求的天然铀长贸价格表现更为强劲，达86美元/磅，较2025年初上涨6.8%。当前铀价已逐步向长协定价中枢靠拢，而全球核电发展的确定性叙事，为天然铀市场开启长周期景气通道奠定了基础。

图表59：天然铀价格、铀矿股价格变化

资产	1个月	3个月	年初至今	1年	3年	5年
天然铀现货价格	-7.90%	-0.35%	3.62%	-1.63%	15.33%	20.43%
铀矿业股票 (北岸全球铀矿业指数)	-14.39%	7.19%	37.98%	19.74%	21.82%	35.33%
铀初级矿业股票 (纳斯达克Sprott初级铀矿业指数TR)	-18.14%	7.69%	40.14%	16.24%	15.03%	33.66%

图表60：天然铀价格、铀矿股价格持续跑赢美国股市大盘

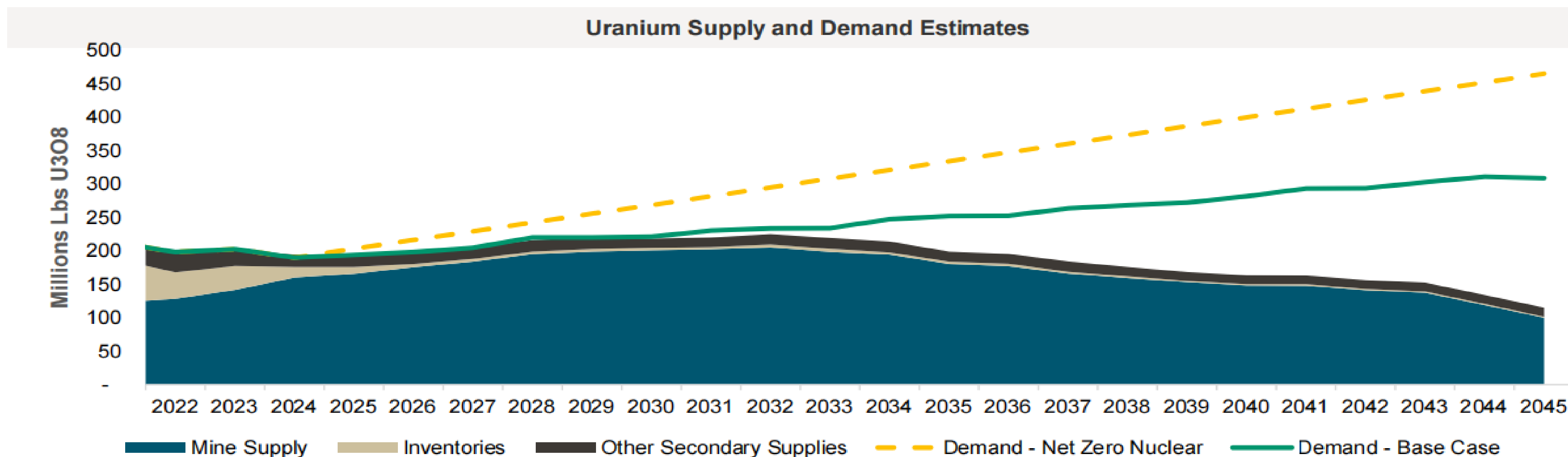


3.3 展望未来，短期波动不改长期铀价上涨趋势，慢牛行情存在长逻辑支撑

在供应与需求缺口长期存在的情况下，铀第三轮慢牛行情存在长逻辑支撑。截至2025年11月25日，铀价格自2016年以来已经触底回升327%，与上两轮周期高点629%、1801%的涨幅相比，我们认为，后续铀价仍有较大上涨动力。

- **需求侧**：1) 在全球能源安全诉求、碳中和目标以及AI等新兴技术发展的多重驱动下，未来十年核能将迎来新的成长时代，天然铀需求增长空间巨大；2) 金融机构现货采购对供需格局绝对影响较小，但对情绪催化明显，加速铀价上涨。
- **供给侧**：1) 矿山集中度极高，脆弱性强。短期产量取决于停产矿山复产进度，铀价长期低迷导致矿山资本开支萎缩，长期新增供给受限；中长期伴随哈萨克斯坦矿山面临退役，产量下降或加速；2) 十年供需错配导致库存持续去化，未来对供给的调节作用下降。

图表61：天然铀供需预测



04

风险提示

Risk Alert

风险提示

- 1、需求侧风险——核电需求不及预期。若发生重大安全事故、政策转向或社会接受度下降，可能导致全球核电新建与扩建计划延迟或取消，直接影响天然铀需求；技术迭代冲击需求，若新一代核电技术大幅提升铀利用效率或推动燃料类型多元化，会降低对天然铀的依赖；替代能源竞争加剧，若核聚变、绿氢、地热等新兴清洁能源实现突破，亦可能进一步削弱天然铀需求增长预期；
- 2、供给侧风险——资源量与产能集中释放。若勘探技术进步或新矿脉发现可能大幅增加全球铀资源储备；若铀价持续上涨将刺激停产矿山复产、新建项目加速投产以及尾矿再处理，或导致短期供给集中释放，对市场价格形成压制；
- 3、潜在市场与政策风险。铀交易市场规模相对有限，易受金融资本投机行为影响，加剧短期价格波动；政府或企业战略库存的抛售、核武器拆解产生的稀释铀流入市场等，可能增加短期供给，对天然铀价格造成冲击。

Thank you



欢迎关注微信公众号

五矿证券研究所

上海

浦东新区陆家嘴街道富城路99号震旦国际大厦30楼
邮编：200120

深圳

深圳市南山区滨海大道3165号五矿金融大厦23层
邮编：518035

北京

北京市东城区朝阳门北大街3号五矿广场C座3F
邮编：100010

更多免费行业报告

并购家

www.ipoipo.cn

免责声明

分析师声明

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。作者保证：（i）本报告所采用的数据均来自合规渠道；（ii）本报告分析逻辑基于作者的职业理解，并清晰准确地反映了作者的研究观点；（iii）本报告结论不受任何第三方的授意或影响；（iv）不存在任何利益冲突；（v）英文版翻译若与中文版有所歧义，以中文版报告为准；特此声明。

投资建议的评级标准		评级	说明
报告中投资建议所涉及的评级分为股票评级和行业评级（另有说明的除外）。评级标准为报告发布日后6到12个月内的相对市场表现，也即：以报告发布日后的6到12个月内的公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。其中：A股市场以沪深300指数为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以纳斯达克综合指数或标普500指数为基准。	股票评级	买入	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报在20%及以上；
		增持	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报介于5%~20%之间；
		持有	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报介于-10%~5%之间；
		卖出	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报在-10%及以下；
		无评级	对于个股未来6个月的市场表现与基准指数相比无明确观点。
	行业评级	看好	预期行业整体回报高于基准指数整体水平10%以上；
		中性	预期行业整体回报介于基准指数整体水平-10%~10%之间；
		看淡	预期行业整体回报低于基准指数整体水平-10%以下。

一般声明

五矿证券有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证监会批复的证券投资咨询业务资格。本公司不会因接收人收到本报告即视其为客户，本报告仅在相关法律许可的情况下发放，并仅为提供信息而发放，概不构成任何广告。本报告的版权仅为本公司所有，未经本公司书面许可，任何机构和个人不得以任何形式对本研究报告的任何部分以任何方式制作任何形式的翻版、复制或再次分发给任何其他人。如引用须联络五矿证券研究所获得许可后，再注明出处为五矿证券研究所，且不得对本报告进行有悖原意的删节和修改。在刊载或者转发本证券研究报告或者摘要的同时，也应注明本报告的发布人和发布日期及提示使用证券研究报告的风险。若未经授权刊载或者转发本报告的，本公司将保留向其追究法律责任的权利。若本公司以外的其他机构（以下简称“该机构”）发送本报告，则由该机构独自为此发送行为负责。

本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入或将产生波动；在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告；本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本报告的作者是基于独立、客观、公正和审慎的原则制作本研究报告。本报告的信息均来源于公开资料，本公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，也不保证所包含信息和建议不发生任何变更。本公司已力求报告内容的客观、公正，但文中的观点、结论和建议仅供参考，不包含作者对证券价格涨跌或市场走势的确定性判断。在任何情况下，报告中的信息或意见不构成对任何人的投资建议，投资者据此做出的任何投资决策与本公司和作者无关。在任何情况下，本公司、本公司员工或者关联机构不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，也不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。本公司及作者在自身所知知情范围内，与本报告中所评价或推荐的证券不存在法律法规要求披露或采取限制、静默措施的利益冲突。

五矿证券版权所有。保留一切权利。

特别申明

在法律许可的情况下，五矿证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。因此，投资者应当考虑到五矿证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突，投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。