



在中国实行灵活及负责任的核燃料闭式循环 的好处以及价值

2015年11月 中国核学会-阿海珅研讨会

Cécile Evans

后端事业部，战略与市场总监

阿海珅



中国核电发展以及闭式循环策略 主要特性



安全且有效的能源发展计划以满足不断增长的能源需求

▶ 2014年底发布的能源发展战略行动计划

- ◆ 同时应对环境污染以及能源安全问题，
- ◆ 供进更环保以及更可持续的能源结构的形成。

▶ 装机容量目标

- ◆ 2020年达到**58GWe**,
- ◆ 2030年达到**150Gwe**,
- ◆ 2050年达到大约**240GWe**.

选择核燃料闭式循环，目标是发展可持续的核燃料循环

▶ 闭式循环的好处

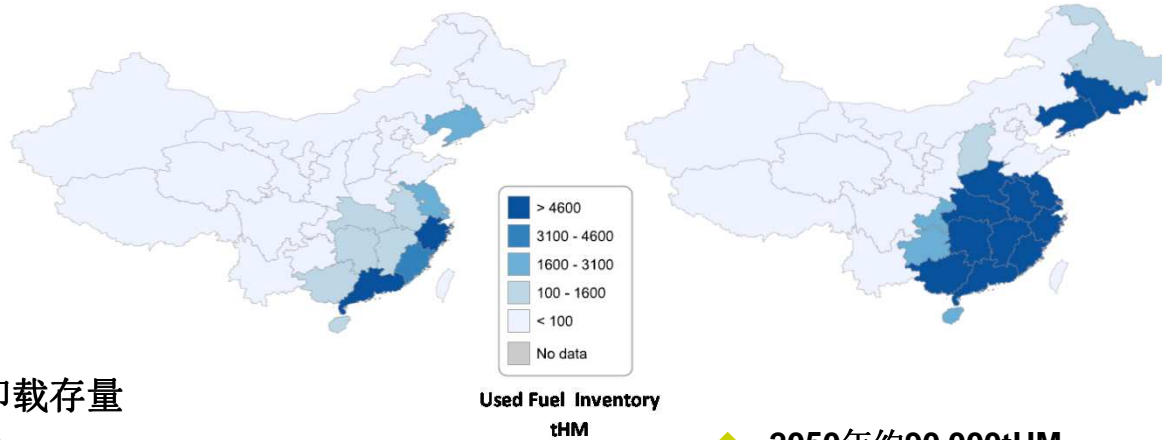
- ◆ 对堆积在反应堆水池的乏燃料进行负责任的管理，
- ◆ 优化铀资源的使用，
- ◆ 减少最终贮存废物的量，
- ◆ 放射性废物的处置更加安全。

▶ 中核集团计划建造：

- ◆ 一座处理能力为**200吨/年**的后处理厂，**2020年**左右建成。
- ◆ 一座处理能力为**800吨/年**的商用后处理，**2030年**左右建成。
- ◆ 此外，大约每**10年**增加后处理能力。

乏燃料存量预期

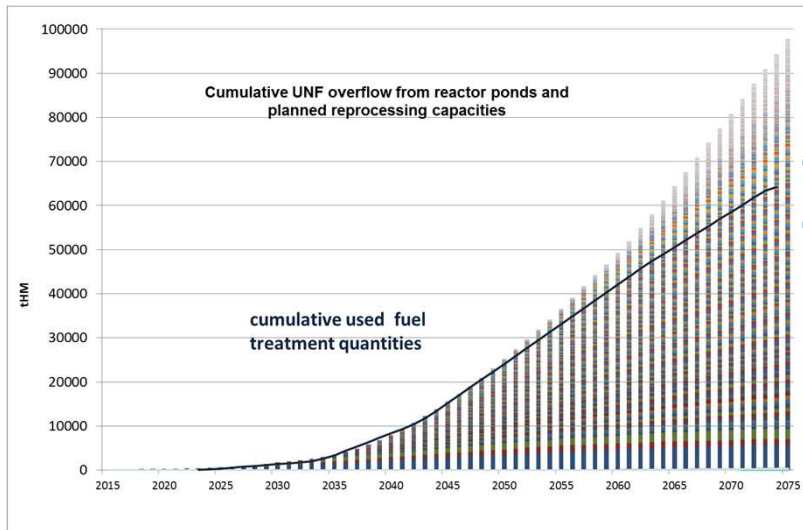
2030年以及2080年各地区轻水堆所产生的乏燃料存量



► 轻水堆乏燃料卸载存量

- ◆ 2013年底约3600tHM,
- ◆ 2030年约22 000 tHM ,

- ◆ 2050年约90 000tHM
- ◆ 2080年超过200 000tHM 。



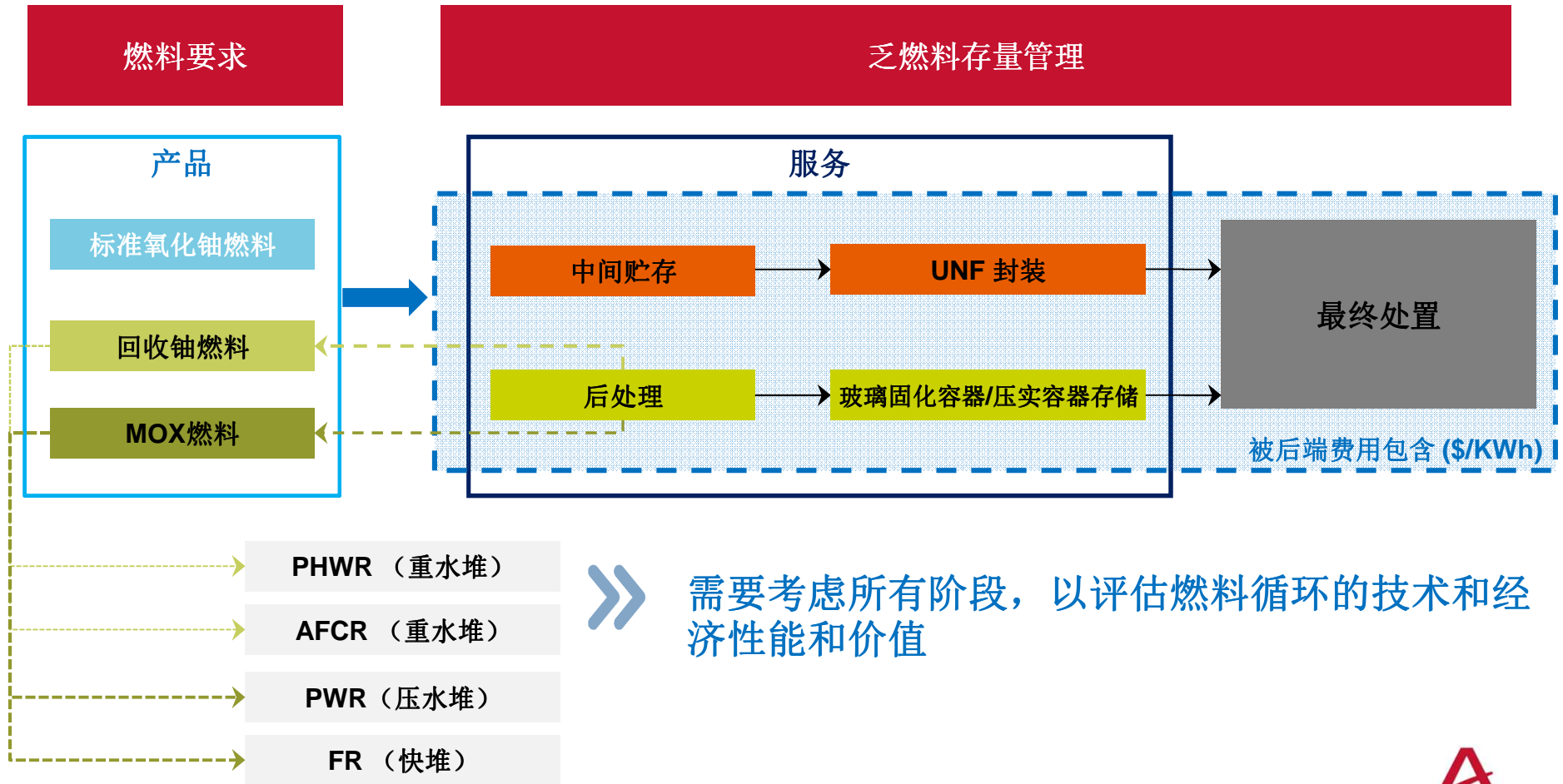
► 预期的后处理能力与反应堆水池贮存能力乏燃料超出量之间的良好对应



实现负责的乏燃料管理=对预计的后处理实施时间表没有大的拖延

乏燃料循环各环节概括

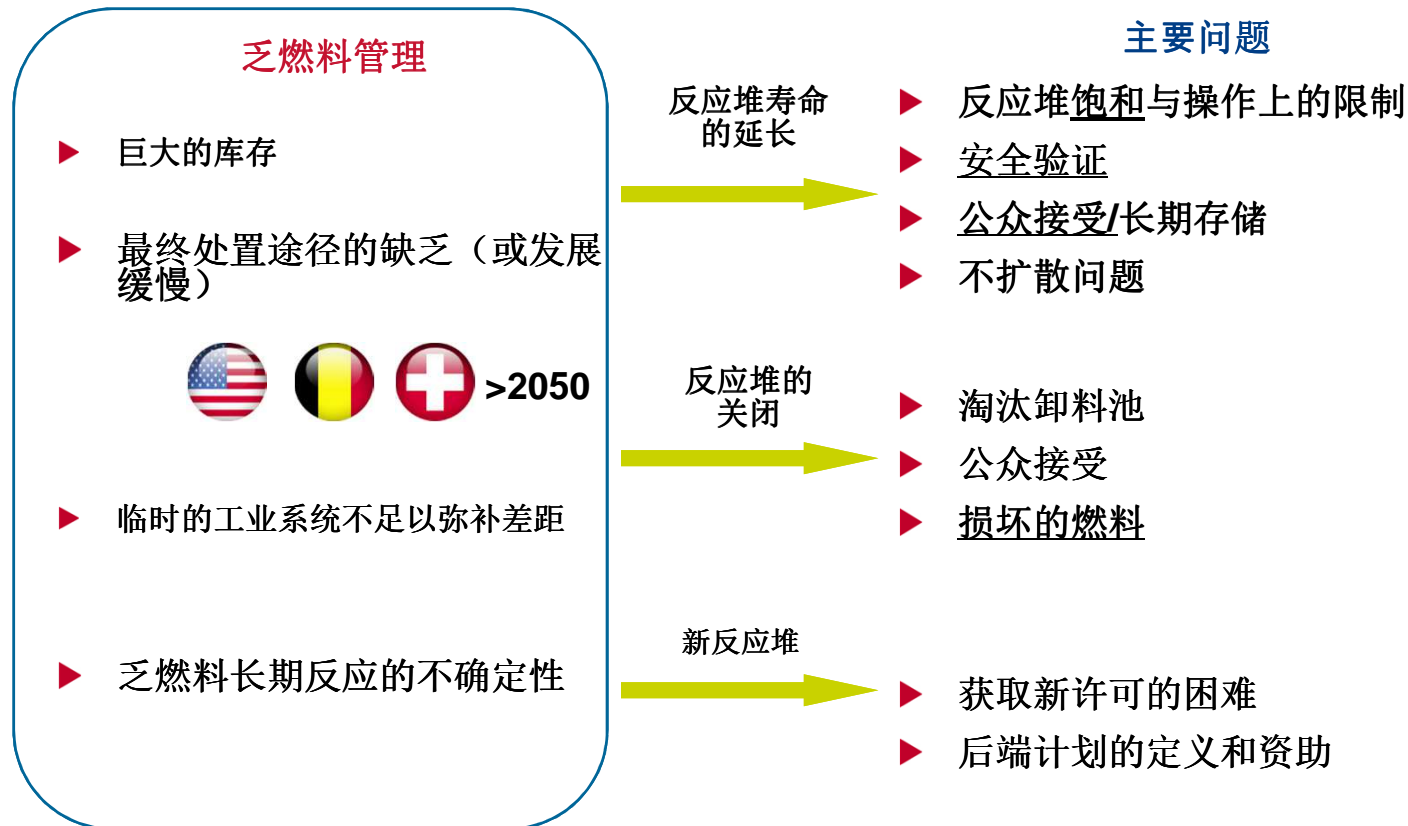
每千瓦时成本



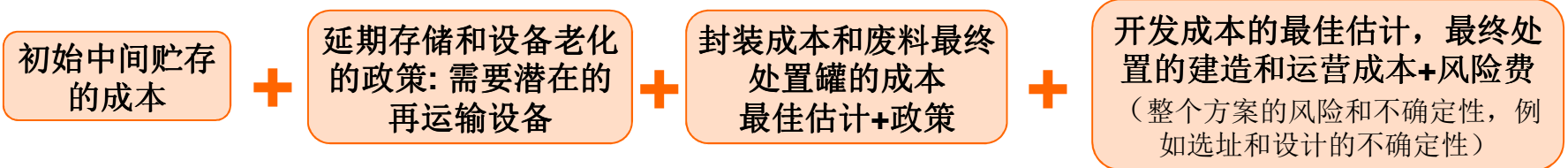
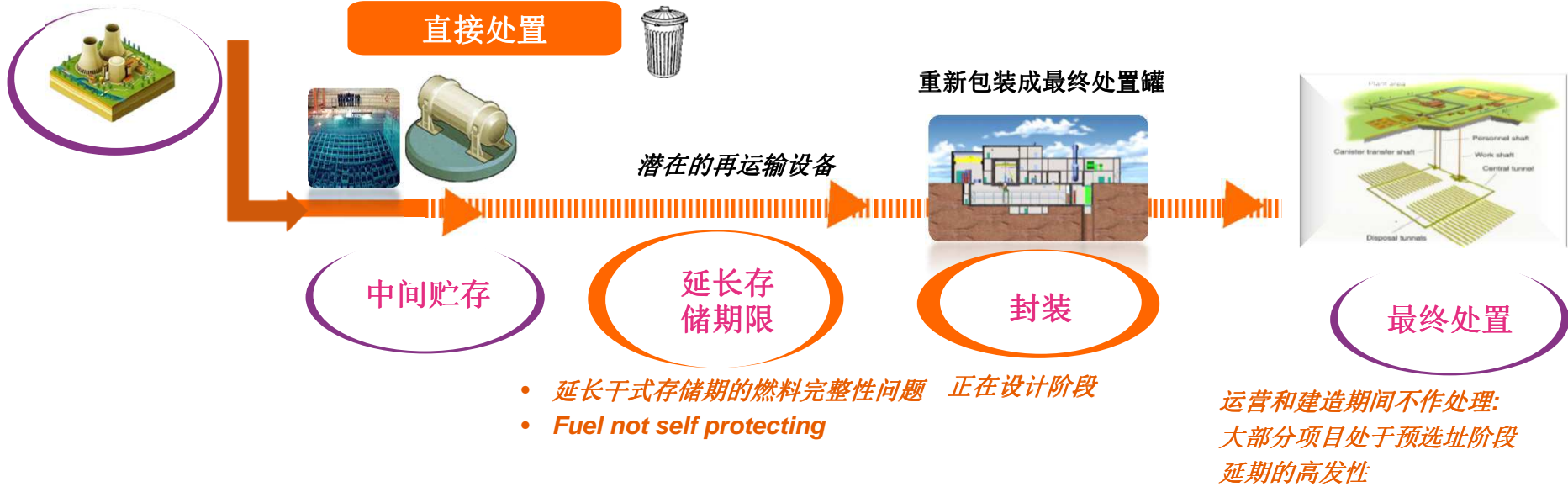
乏燃料管理的选择



乏燃料管理的风险和存在的问题 反应堆的主要挑战



乏燃料开循环管理策略需要考虑未来的成本和政策



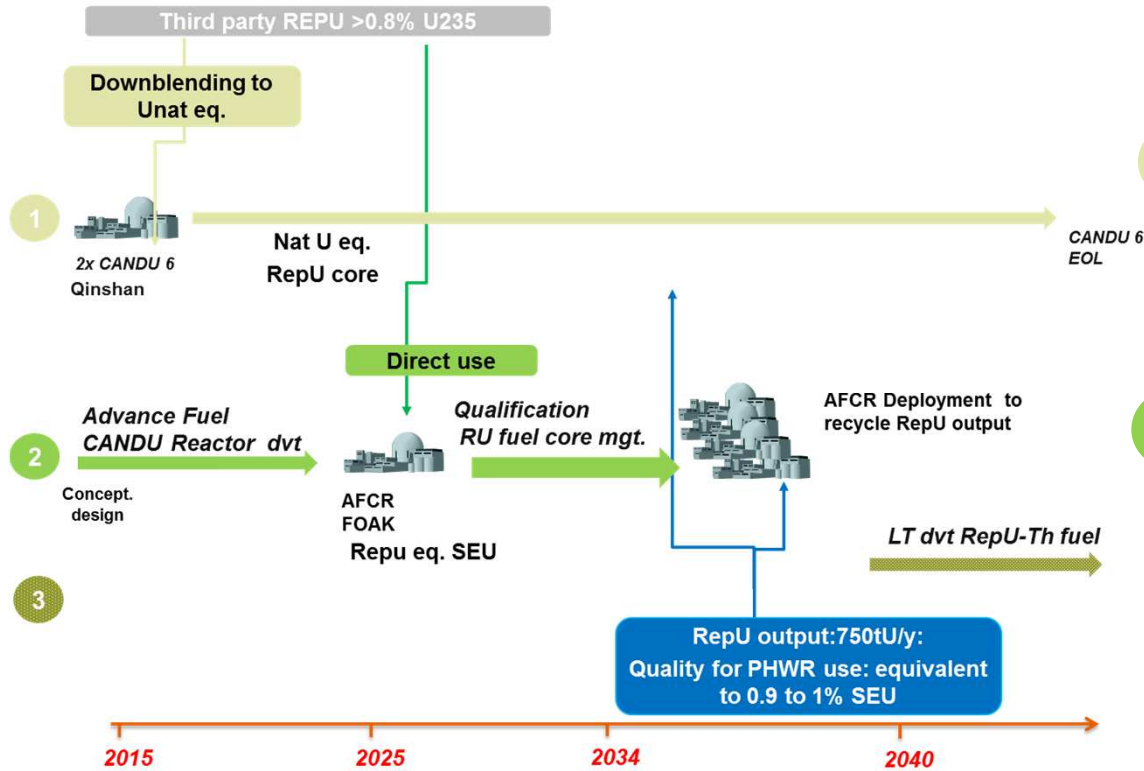
乏燃料管理的回收价值



420 TWh/y 核电站		轻水堆开循环	双循环	闭循环压水堆/快堆	多循环快堆
快堆份额 (Gwe %)		0%	0%	5%	100%
储存量	高放废物 (m ² /TWh)	490	150	170	170
	潜在乏燃料 (m ² /TWh)	-	180	120	0
	总量 (m ² /TWh)	490	330	290	170

Source: CEA (2015)

中国后处理铀循环发展路线和价值



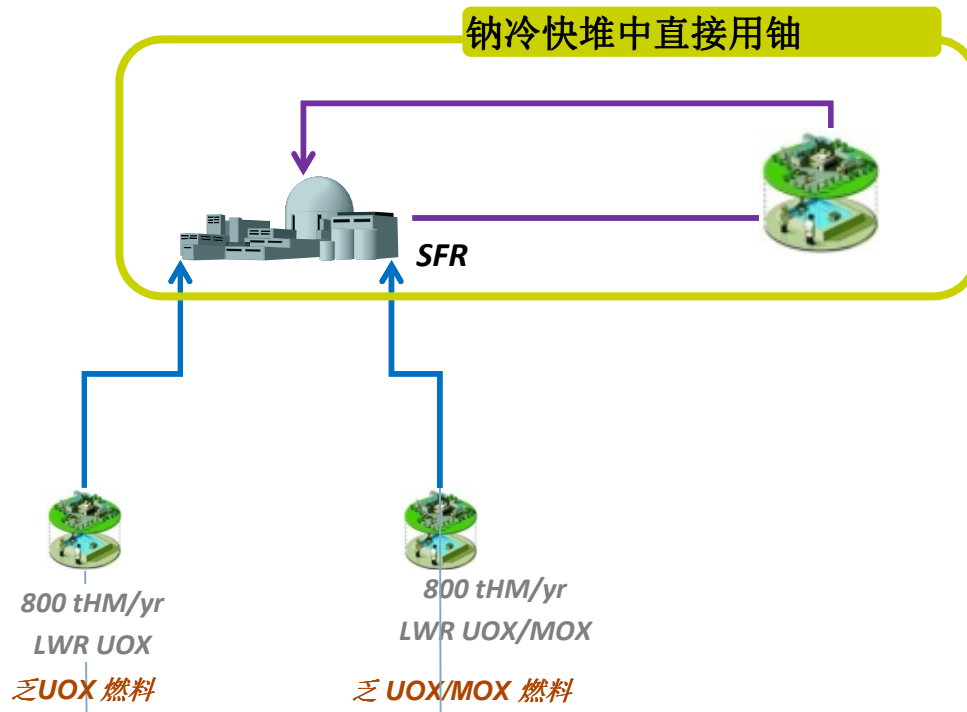
优势

- 1
 - ▶ 节约天然铀
 - ▶ 贫化铀储存
 - ▶ 后处理铀长期储存
- 2
 - ▶ 燃料效率: 燃耗翻倍
 - ▶ 节约转化和浓缩
 - ▶ 无尾料管理
 - ▶ 乏燃料累积减小一半, 使临时储存, 运输和最终储存成本减半

中国后处理铀循环发展路线和价值

▶ 中国参考模式:

- ◆ 后处理厂中制造的铀钚混合燃料的应用在钠冷快堆中
- ◆ 商用钠冷快堆预计**2030**年左右落成



优势

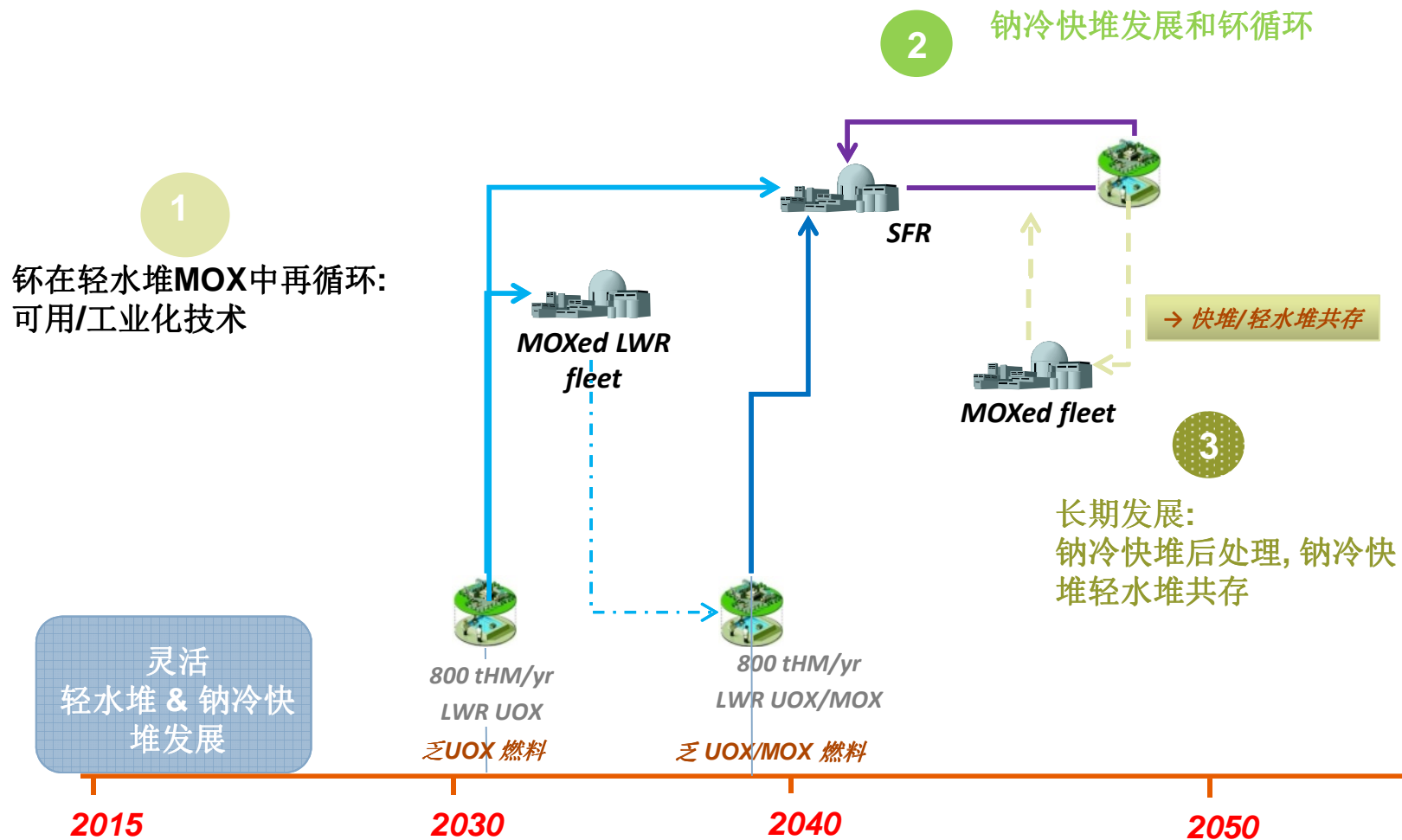
- ▶ 提高钚燃料效率: 节约天然铀与分离功
- ▶ 使得钚可多次循环
- ▶ 可以灵活管理钚的存量
- ▶ 最终储存优化和减少设计限制: 辐射毒性, 安全保障...

2030

2040

2050

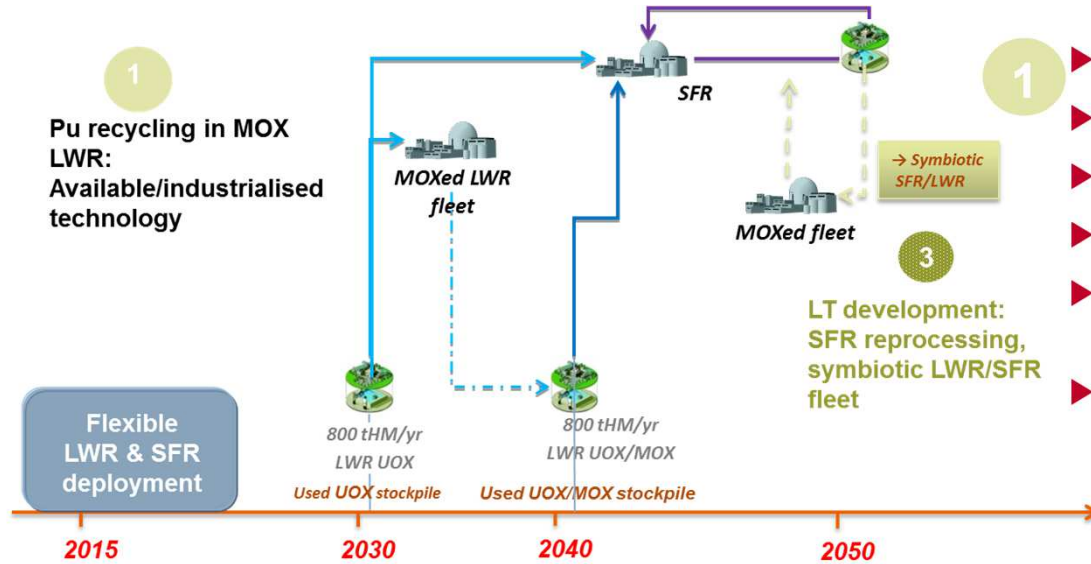
钚循环 一个有价值的备选方案



钚循环的价值 备选方案



优势



- ▶ 1 弥补中国钠冷快堆发展延期问题
- ▶ 临时储存系统更低的投资
- ▶ 用钚来发电，而不仅仅是储存它
- ▶ 节约天然铀和分离功
- ▶ 借鉴之前MOX燃料生产经验和再循环燃料核电站运行经验
- ▶ 轻水堆乏MOX燃料是最安全和优化的方式为四代反应堆使用和储存铀：后处理厂更高的钚产量

- ▶ 2 快堆/轻水堆灵活发展
- ▶ 快堆/轻水堆更低的资本投入
- ▶ 能源独立水平更灵活
- ▶ 3 最终储存面积和设计限制优化：辐射毒性，安全保障...

- ▶ 乏燃料管理开式循环会遇到很多政策风险
 - ◆ 中间储存的延期
 - ◆ 高损耗燃料储存
 - ◆ 破损燃料
 - ◆ 与 GDF计划 相关的不确定因素，如地址和设计

- ▶ 闭式循环可以弥补这些风险并且提供其他好处
 - ◆ 工业验证过的技术，对乏燃料管理是负责人的方案，尤其对于乏燃料存量
 - ◆ 验证过的最终废物的安全长期储存
 - ◆ 废物量减少，GDF设计和运行限制减少
 - ◆ 天然铀和分离功减少
 - ◆ 灵活的快堆/轻水堆发展
 - ◆ 能源独立水平更灵活



闭式循环：从更优到更受青睐！