

WORLD NUCLEAR
ASSOCIATION



世界核电厂运行实绩 报告（2022）

标题：《世界核电厂运行实绩报告（2022）》

制作单位：世界核协会、中核战略规划研究总院

出版日期：2022年7月 报告编号：2022/003

封面图片：欣克利角C核电站（Hinkley Point C，英国电网）

世界核协会在编写本报告的过程中得到了国际原子能机构（IAEA）动力堆信息系统（PRIS）的大力帮助，特此向IAEA表示感谢。

© 2022 世界核协会版权所有。注册于英格兰和威尔士，机构编号：01215741

本报告反映了业界专家的观点，但并未代表世界核协会任何成员组织的观点。

目录

序言	3
1. 核电厂运行实绩	4
2. 案例研究	
建设高温气冷堆	14
布拉卡核电站：阿联酋可持续发展的动力源泉	16
欣克利角C核电站：建造与复制	18
设计和建造第一个陆基小型模块化反应堆	20
3. 核电国家与地区概况	22
4. 全球核电反应堆状况	58
5. 总干事的总结发言	60
缩略语和术语	62
容量因子的定义	62
区域分类	63
延伸阅读	64

序言

因新冠肺炎疫情导致的2020年核能发电量下降情况出现了反弹，2021年全世界核能发电量增加了100 TWh，达到2653 TWh。



Sama Bilbao y León
世界核协会总干事

然而，必须将这一积极事态发展放在过去12个月全球能源供应剧变的背景下加以考虑。虽然各国政府在格拉斯哥举行的第26届联合国气候变化大会上大力承诺减少温室气体排放，但在新冠肺炎疫情的严重影响之后，经济复苏导致能源需求激增，超过了核电等清洁能源的生产增长，导致对化石燃料的依赖性增加。

俄乌冲突将化石燃料供应链的脆弱性表现得淋漓尽致，凸显了疫情已经暴露的担忧。在许多地区，能源价格不断上涨，加剧了通货膨胀，导致能源贫困状况进一步恶化。由于担心失去天然气进口机会，面临停电和能源短缺问题，各国政府呼吁重启燃煤电厂。

虽然这种短期行动在危机中可以暂解燃眉之急，但其不具备可持续性。因此，值得庆幸的是，许多国家政府现已认识到，核能可以推动实现净零排放，并成为更安全的能源系统的基础。

当前的挑战是采取必要的具体行动，将政策愿景转化为运营核电站。2021年核能发电量的增加掩盖了过去两年全球核电产能下降的事实。换言之：关闭的反应堆超过新建的反应堆。

想要扭转这一趋势，需要从以下两个方面入手。首先，如今成功运行的反应堆需要运行更长时间。过去几年，由于政治原因或市场功能失调，关闭了大量的反应堆。长期运行核反应堆是额外低碳发电成本最低的形式，有助于减少对化石燃料的依赖。

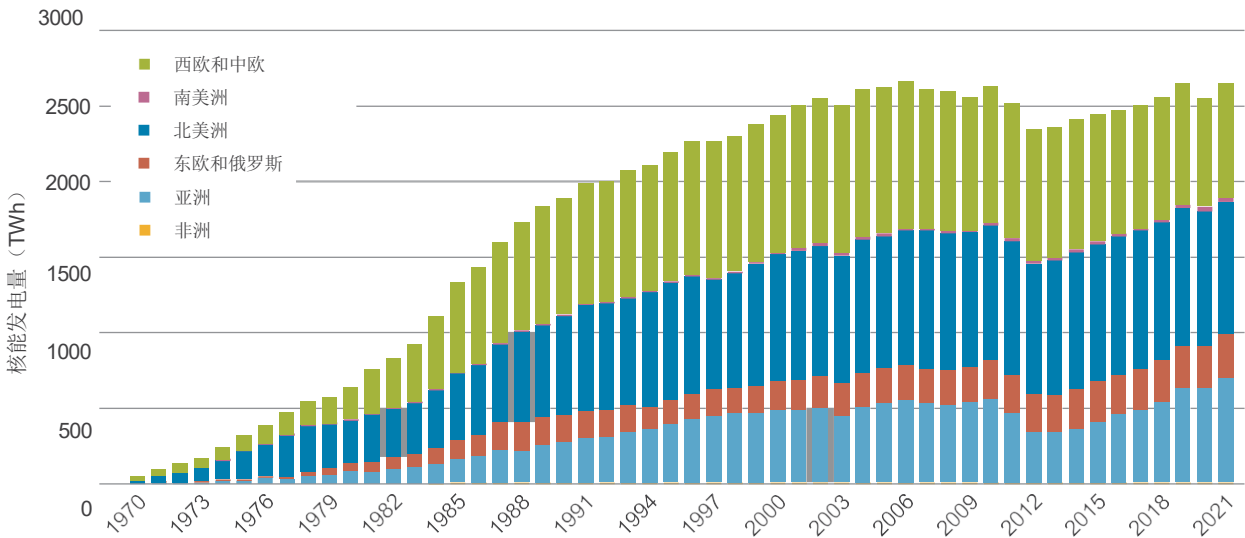
其次，新核电站的建设速度必须加快。2021年，完成了10个新反应堆第一批混凝土的浇筑工作。虽然这一情况比近几年要好，但每年仍需要有20座、30座或更多的新反应堆开工建设，方可确保核能在提供一个安全可持续的净零排放未来中发挥应有的作用。

1 | 核电厂运行实绩

1. 全球亮点

2021年，核反应堆总发电量为2653 TWh，相比2020年的2553 TWh高出100 TWh。这在有史以来全球核能发电量排名第三，略低于2019年的2657 TWh和2006年的2660 TWh，并恢复了自2012年以来核能发电量的上升趋势，此前2020年核能发电量有所下降。

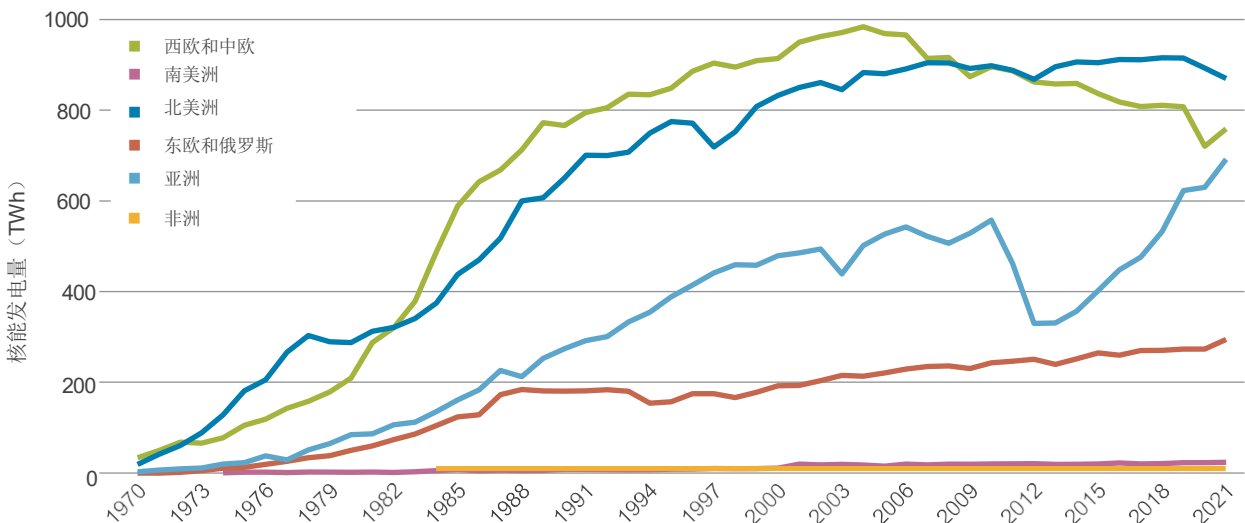
图1：核能发电量



资料来源：世界核协会和国际原子能机构动力堆信息系统

2021年，非洲、亚洲、东欧和俄罗斯以及南美洲的核能发电量有所增加，延续了近年来这些地区呈现的上升趋势。西欧和中欧的核能发电量也有所增加，但该地区的核能发电量总体趋势仍在下降。随着美国关闭的反应堆日益增多，北美的核能发电量已连续第二年下降。

图2：地区核能发电量



资料来源：世界核协会和国际原子能机构动力堆信息系统

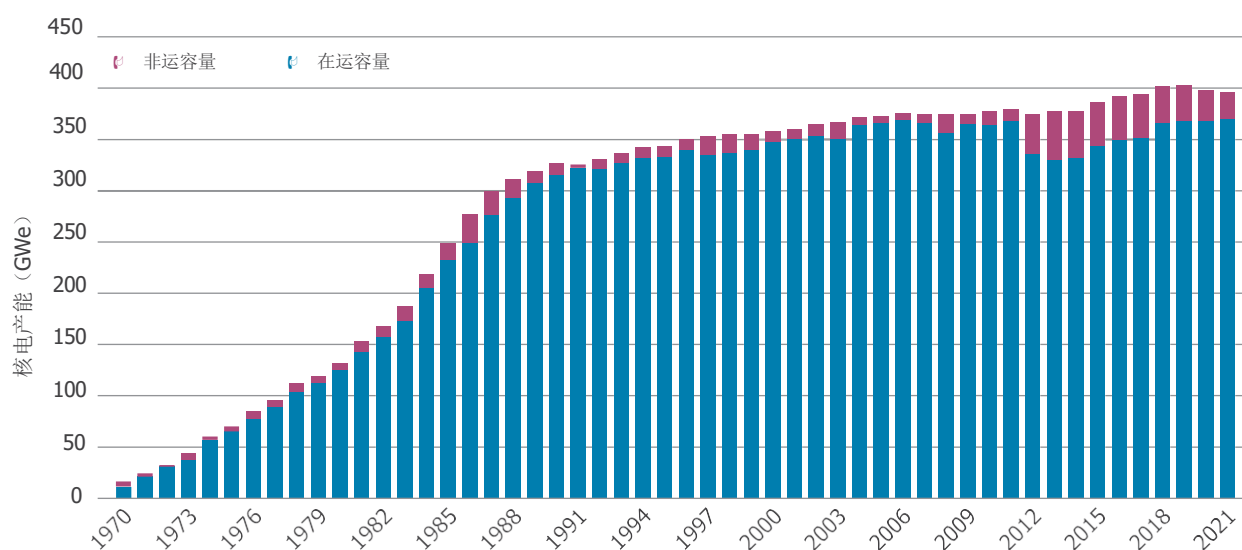
2021年核电装机 为370 GWe，创 历史新高

2021年底，可运行核电站装机容量为396 GWe，相比2020年减少1 GWe。

2021年发电反应堆的总装机容量为370 GWe，相比2020年增加1 GWe。这是有史以来反应堆总装机容量最高的一年。在大多数年份，有少数可运行反应堆并未发电。近年来，自2011年福岛第一核电站事故后，日本的反应堆等待批准重启，停止发电反应堆的数量一直较高。

由于日本的一部分反应堆现已重启，还有一部分已经永久关闭，可运行但不发电的反应堆总数逐渐减少。

图3：可运行核能发电容量（净容量）



资料来源：世界核协会和国际原子能机构动力堆信息系统

尽管2021年可运行反应堆的年终产能有所上升，但反应堆总数仅为436座，比2020年减少5座。在所有可运行反应堆中，近70%为压水堆，2017年至2021年间启动的34座反应堆中，除1座反应堆外，其余均为压水堆。

表1：2021年底可运行核电反应堆数量

	非洲	亚洲	东欧和俄罗斯	北美洲	南美洲	西欧和中欧	总计
BWR		20		33		8	61
FNR			2				2
GCR						11	11
HTGR		1					1
LWGR			11				11
PHWR		24		19	3	2	48
PWR	2	99	40	61	2	98	302
总计	2	144	53	113	5	119	436

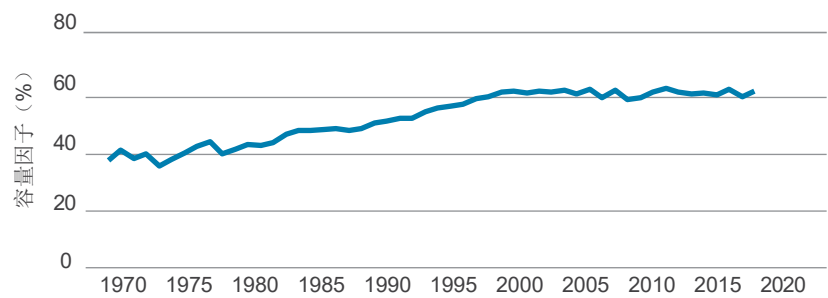
资料来源：世界核协会和国际原子能机构动力堆信息系统

1.2 运行实绩

本节中所述的容量因子是根据每个日历年都会上报其发电量的反应堆进行计算。

2021年全球反应堆平均容量因子为82.4%，高于2020年的80.3%，延续了自2000年以来全球容量因子持续走高的趋势。

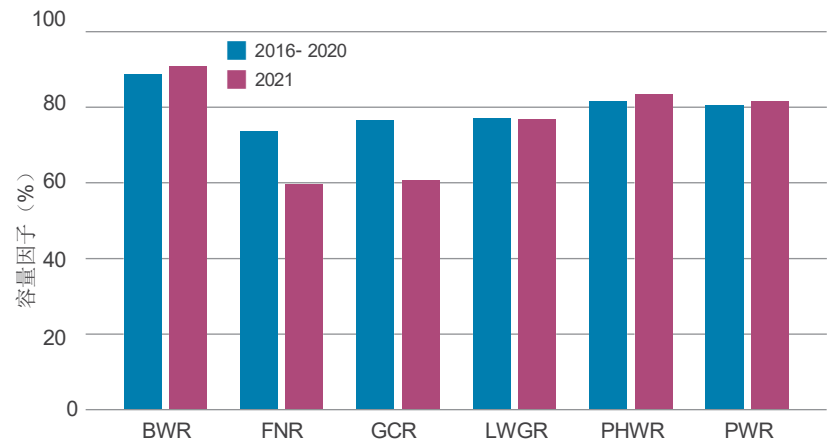
图4：全球反应堆平均容量因子



资料来源：世界核协会和国际原子能机构动力堆信息系统

2021年不同类型反应堆的容量因子与此前五年的大体一致。英国的先进气冷反应堆目前代表了所有类型的气冷反应堆，并且预计到21世纪20年代末，所有的先进气冷反应堆都将关闭。

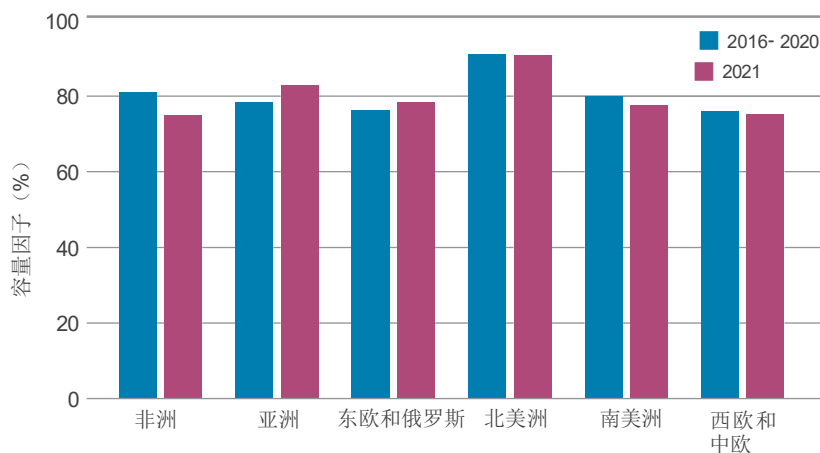
图5：按反应堆类型划分的容量因子



资料来源：世界核协会和国际原子能机构动力堆信息系统

2021年，不同地理区域反应堆的容量因子也与此前五年的平均值大体一致，其中北美保持着最高的平均容量因子。

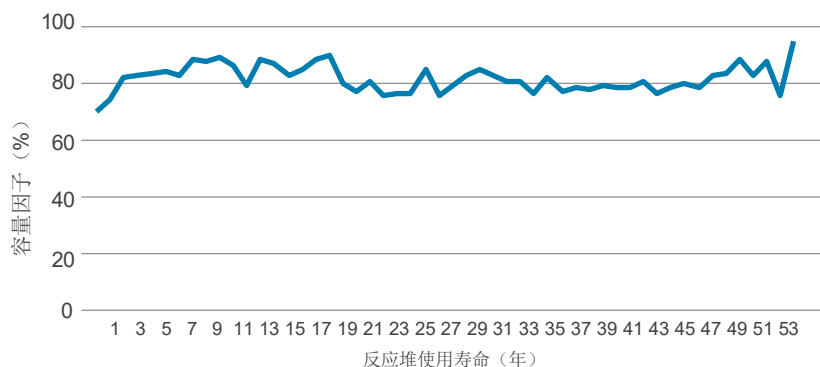
图6：按地区划分的容量因子



资料来源：世界核协会和国际原子能机构动力堆信息系统

核反应堆性能未发生与使用寿命相关的下降趋势。此前五年中，反应堆的平均容量因子未随使用寿命的减少而呈现出显著变化。在处于各个使用寿命阶段的反应堆（而不仅仅是具有更先进设计的新反应堆）中，全球平均容量因子都有所提高。

图7：2017年至2021年按反应堆使用寿命划分的平均容量因子

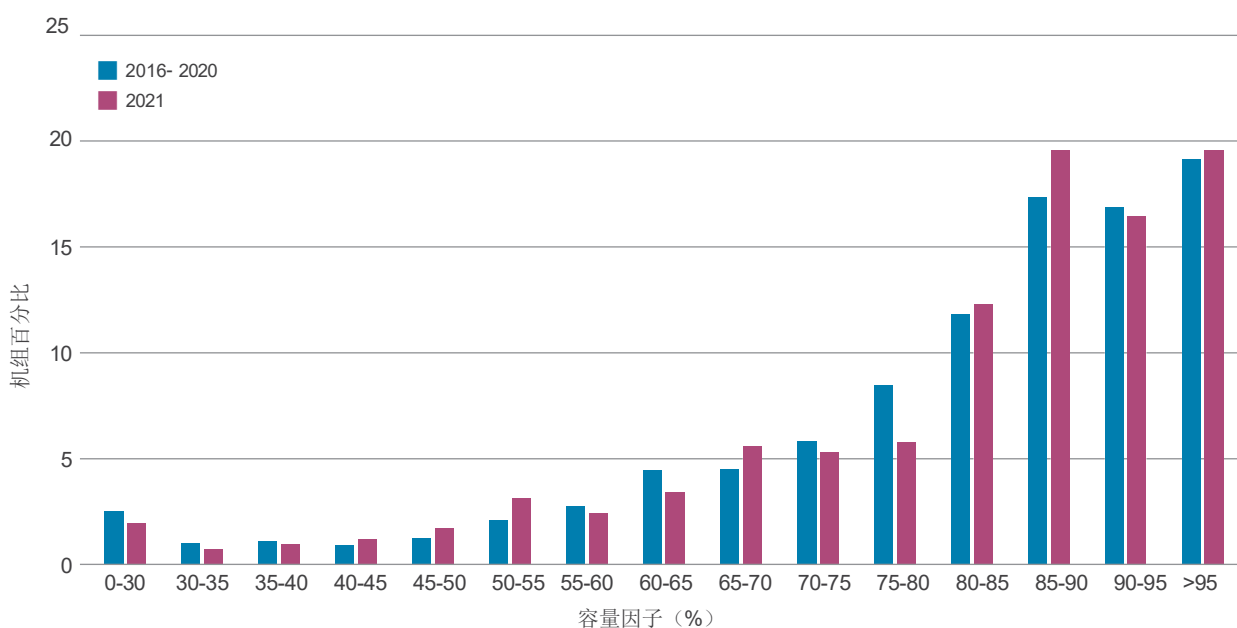


资料来源：世界核协会和国际原子能机构动力堆信息系统

各个寿命期的反应堆都具有高容量因子，这为我们延长现有核电设施运行时间提供了更充分的理由。

2021年容量因子的分布情况与此前五年的平均容量因子大致相似。超过三分之二的反应堆的容量因子大于75%。

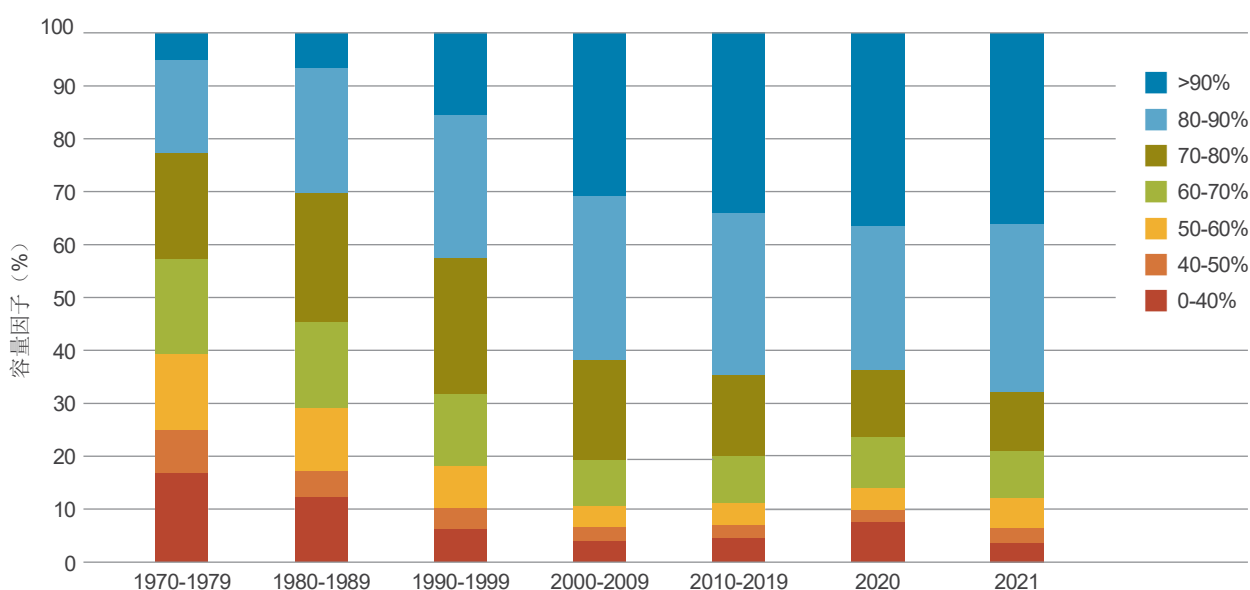
图8：按容量因子划分的机组百分比



资料来源：世界核协会和国际原子能机构动力堆信息系统

从下图可以看出，反应堆性能得到了稳步改善，该图显示了自20世纪70年代以来每十年以及2020年和2021年的平均容量因子变化。

图9：容量因子的长期趋势图



资料来源：世界核协会和国际原子能机构动力堆信息系统

1.3 新建核电设施

除了八座大型压水堆外，俄罗斯于2021年在托木斯克州附近的谢韦尔斯克市开始建设一座铅冷快堆，中国在海南省昌江县开始建设一座小型模块化反应堆。

表2：2021年开工建设的反应堆汇总表

	地点	型号	设计净容量 (MWe)	开工日期
阿克库尤核电站3号机组	土耳其	VVER V-509	1114	2021年3月10日
昌江核电站3号机组	中国	HPR1000	1100	2021年3月31日
田湾核电站7号机组	中国	VVER V-491	1100	2021年5月19日
谢韦尔斯克	俄罗斯	BREST-OD-300	300	2021年6月8日
库丹库拉姆核电站5号机组	印度	VVER V-412	917	2021年6月29日
昌江小型模块化反应堆	中国	ACP100	100	2021年7月13日
徐大堡核电站3号机组	中国	VVER V-491	1100	2021年7月28日
库丹库拉姆核电站6号机组	印度	VVER V-412	917	2021年12月20日
昌江核电站4号机组	中国	HPR1000	1100	2021年12月28日
三澳核电站2号机组	中国	HPR1000	1117	2021年12月31日

资料来源：世界核协会和国际原子能机构动力堆信息系统

由于有10座反应堆机组开工建设，6座反应堆并网发电，2021年底在建反应堆总数为53座，比2020年底增加了4座。

表3：2021年底按地区划分的在建机组

	BWR	FNR	HTGR	PHWR	PWR	总计
亚洲	2	2	0	3	29	36
东欧和俄罗斯		1			6	7
北美洲					2	2
南美洲					2	2
西欧和中欧					6	6
总计	2	3		3	45	53

资料来源：世界核协会和国际原子能机构动力堆信息系统

2021年，有六座反应堆首次并网发电。山东石岛湾核电站包括两座250 MWt的高温反应堆球床模块（HTR-PM），与一个200 MWe的汽轮机相连，是一个值得注意的新起点。未来，大型核电站将充分利用大量的高温反应堆球床模块。

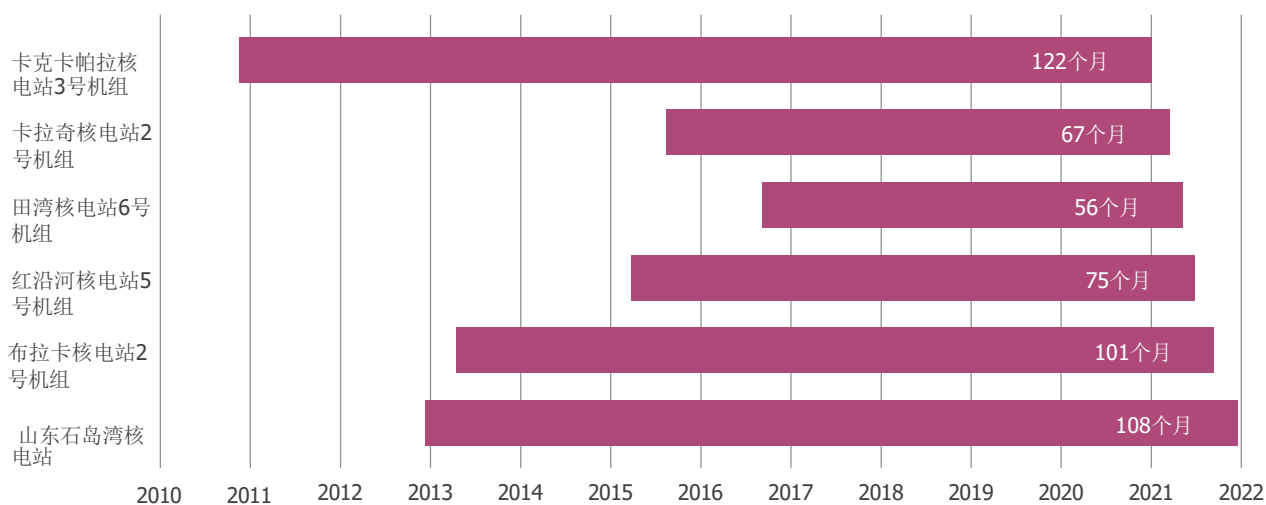
表4：2021年反应堆并网情况汇总表

	地点	容量 (MWe, 净容量)	开工日期	首次并网时间
卡克卡帕拉核电站3号机组	印度	630	2010年11月22日	2021年1月10日
卡拉奇核电站2号机组	巴基斯坦	1014	2015年8月20日	2021年3月18日
田湾核电站6号机组	中国	1060	2016年9月7日	2021年5月11日
红沿河核电站5号机组	中国	1061	2015年3月29日	2021年6月25日
布拉卡核电站2号机组	阿拉伯联合酋长国	1345	2013年4月15日	2021年9月14日
山东石岛湾核电站	中国	200	2012年12月9日	2021年12月20日

资料来源：世界核协会和国际原子能机构动力堆信息系统

在中国建造的压水堆和在巴基斯坦卡拉奇建造HPR1000反应堆（中国设计）的时间最短。这延续了最近的趋势，即这两座反应堆的系列建设和正在进行的新建设项目中所保留的技术有助于加快反应堆建设时间。

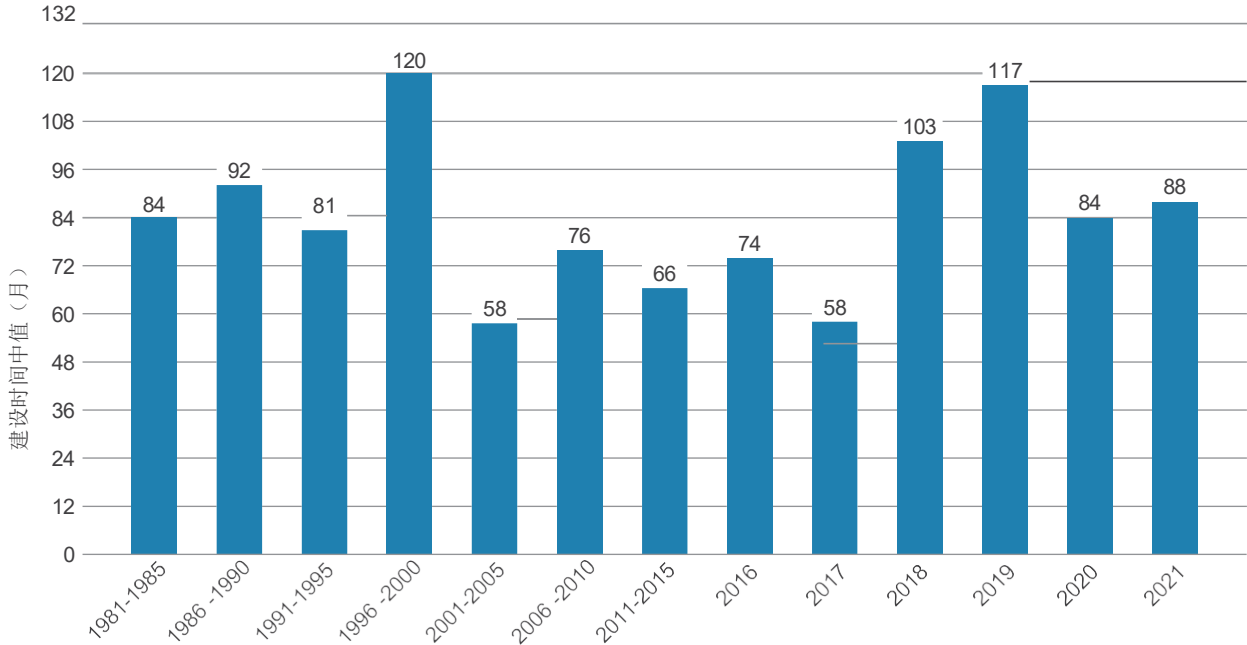
图10：2021年并网发电新机组建设时间



资料来源：世界核协会和国际原子能机构动力堆信息系统

2021年并网发电的反应堆的建设时间中值为88个月，相比2020年84个月的建设时间中值略有增加。

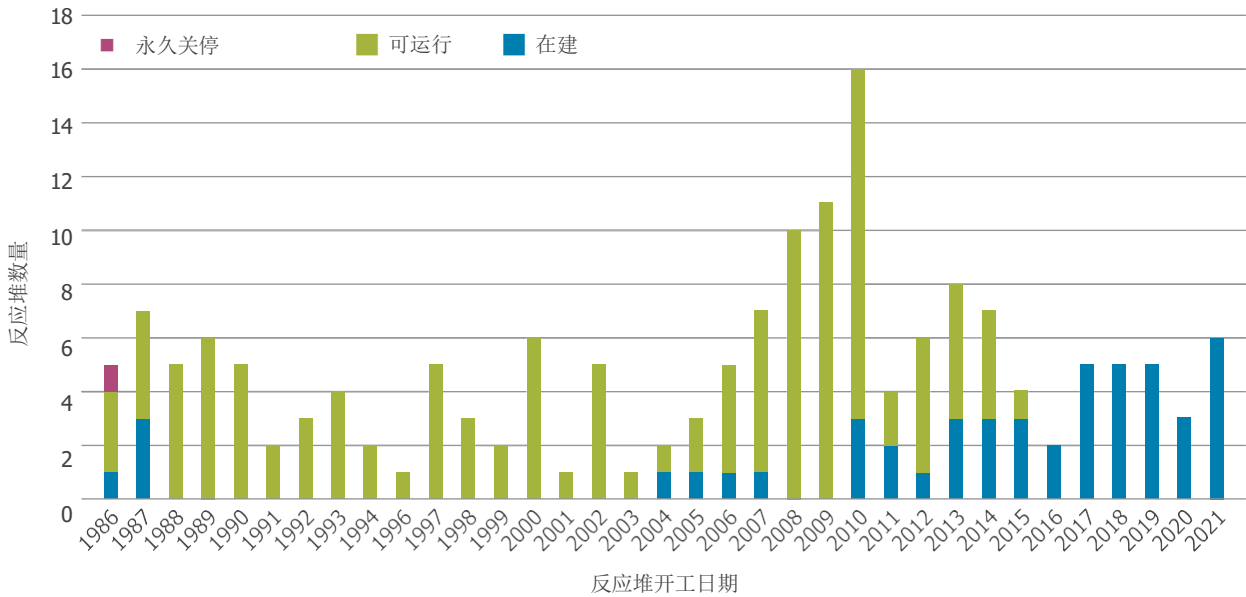
图11：自1981年以来的反应堆建设时间中值



资料来源：世界核协会和国际原子能机构动力堆信息系统

图12显示了自1986年以来建设的反应堆的运行情况。目前在建的大部分反应堆都是在过去十年中开始建设。少数耗时较长的项目均为试点电厂、首创 (FOAK) 反应堆、或在重新启动之前暂停建设的项目。以乌克兰赫梅利尼茨基 (Khmelnitski) 核电站3号和4号反应堆为例，这两座反应堆分别于1986年和1987年开工建设，之后也曾尝试重启建设，但自1990年以来并未取得积极进展。

图12：1985年开始建设的反应堆的运行状况（截至2022年1月1日）

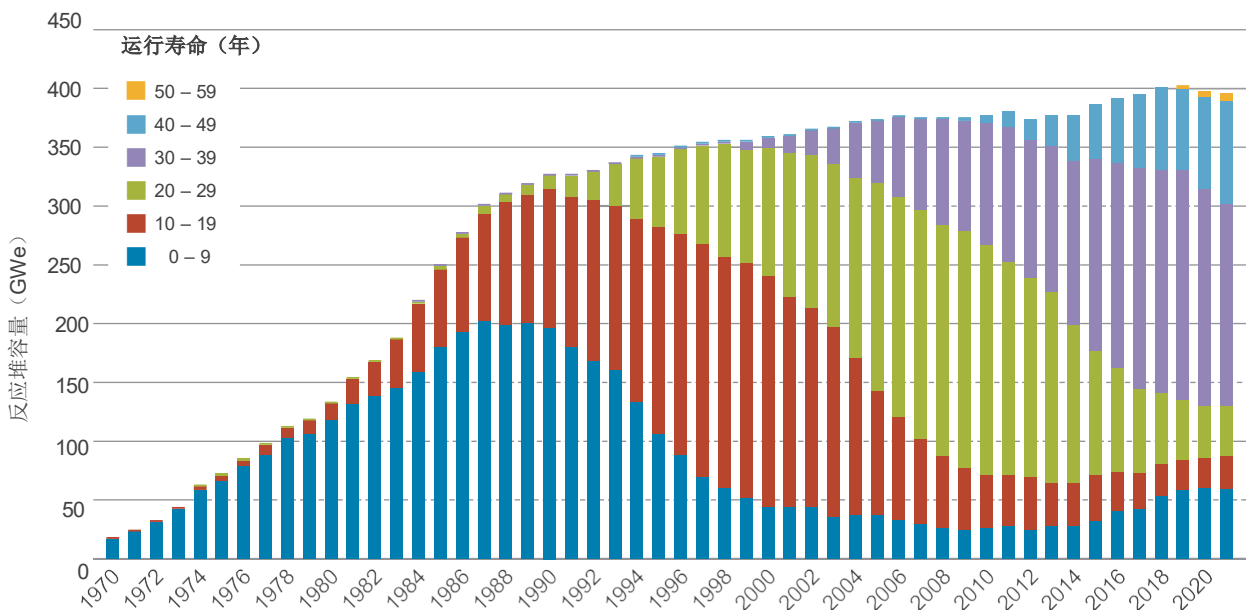


资料来源：世界核协会和国际原子能机构动力堆信息系统

图13显示了自1970年以来每年运行的不同寿命的反应堆的总容量。随着时间的推移，仍在运行的反应堆每十年就会归入下一个类别。

随着新反应堆启动速度的放缓，运行时间不到10年的反应堆的总容量从1990年左右开始下降。但随着近年来新建和后续服役反应堆数量的增加，运行时间不到10年的反应堆的总容量开始再次增加。

图13：反应堆寿命演变



资料来源：世界核协会和国际原子能机构动力堆信息系统

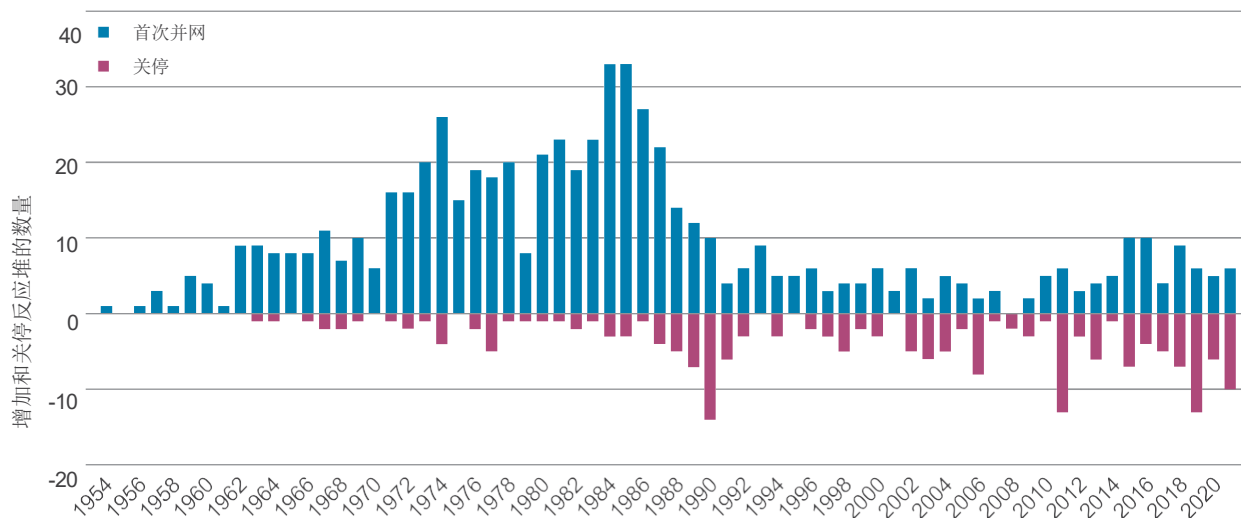
2021年，有十座反应堆永久关停。由于政府决定逐步淘汰核电，德国关闭了三座反应堆，台湾关闭了一座反应堆。德国最后三座反应堆将于2022年关闭。

表5：2021年关停的反应堆

	地点	容量 (MWe, 净容量)	首次并网发电日期	永久关停日期
印第安角核电站3号机组	美国	1030	1976年4月27日	2021年5月1日
邓杰内斯核电站B1机组	英国	545	1983年4月3日	2021年6月7日
邓杰内斯核电站B2机组	英国	545	1985年12月29日	2021年6月7日
国圣核电站1号机组	台湾地区	985	1981年5月21日	2021年7月1日
卡拉奇核电站1号机组	巴基斯坦	90	1971年10月18日	2021年8月1日
亨特斯顿核电站B1机组	英国	490	1976年2月8日	2021年11月26日
库尔斯克核电站1号机组	俄罗斯	925	1976年12月19日	2021年12月19日
布罗克多夫核电站	德国	1410	1986年10月14日	2021年12月31日
格罗恩德核电站	德国	1360	1984年9月5日	2021年12月31日
贡德雷明根核电站C机组	德国	1288	1984年11月2日	2021年12月31日

2021年，有六座反应堆并网发电，十座反应堆永久关停。就容量而言，新并网容量为5310 MWe，关停容量为8668 MWe。

图14：1954年至2021年反应堆的首次并网和关停情况



资料来源：世界核协会和国际原子能机构动力堆信息系统

2 | 案例研究

建造高温气冷反应堆



图片来源: NRI Huang Co.

中国球床模块式高温气冷堆（HTR-PM）示范核电站位于中国山东省石岛湾核电站，该示范核电站于2021年底投运。

2006年1月，石岛湾“大型先进压水堆和高温气冷反应堆核电站”项目被列为《国家科学和技术中长期发展规划纲要（2006-2020年）》16个国家科技重大专项之一，该项目将在石岛湾建造球床模块式高温气冷堆示范工程和“国和一号”示范工程。

球床模块式高温气冷堆于2012年12月开工建设。经过近10年的建设和调试，该机组的双反应堆中，有一座反应堆于2021年9月达到临界状态，另一座反应堆于11月达到临界状态。该机组已于2021年12月20日并网发电。

球床模块式高温气冷堆有两座小型反应堆（每座反应堆的容量为250 MWt），共同带动一台发电功率为210 MWe的蒸汽轮机。球床模块式高温气冷堆采用氦气作为冷却剂，石墨作为慢化剂。每座反应堆装载了245000多个球形燃料元件（“燃料球”），每个元件直径为60 mm，含有7克浓缩至8.5%的燃料。氦气以250°C的温度从反应堆底部进入，从侧面反应堆通道向上流动至顶部反射层，然后向下流动进入球床。旁通流被引入燃料排放管，以便冷却那里的燃料元件，并被引入控制棒通道。

山东石岛湾核电站球床模块式高温气冷堆

类型	高温气冷反应堆
反应堆热容量	2 × 250 MWt
电力装机（净功率）	200 MWe
首次并网时间	2021年12月

氦气在活性反应堆堆芯中被加热，然后在出口处混合后，以约750°C的平均温度进入蒸汽发生器。

由于铀-238的存在，具有较强的负反应性温度系数，由此保证在功率失常激增的情况下，堆芯温度始终不会超过安全限值。

球床模块式高温气冷堆的固有安全性能能够保证，在所有可能的事故情况下，即使没有专用应急系统，燃料元件的最高温度也始终不会超过设计极限温度。即使在所有主动冷却系统失效和冷却剂完全丧失的情况下，得益于较低的堆芯功率密度和几何形状，球床模块式高温气冷堆的堆芯也不会熔化。球床模块式高温气冷堆中的燃料温度永远不会超过1600°C，确保了反应堆不会发生堆芯熔化、放射性裂变产物外泄等事故。

专访

吕华权，华能核能技术研究院院长



在球床模块式高温气冷堆的建设和调试过程中，有哪些特别的经验和挑战？

球床模块式高温气冷堆是一个具有研究性质的项目。核岛系统和设备本身存在一些问题，导致建设周期长、建设成本高。若要实现高温气冷堆的产业化，就必须解决这些问题。

以燃料处理系统为例：球床模块式高温气冷堆采用连续换料运行方式，燃料处理系统必须可靠运行。在调试期间，燃料处理系统出现了许多问题，因而导致了延误。HTR-600将进行设计更改和优化，以便提高系统的可靠性。

此外，从中获得的经验将应用于未来的建设，以便优化设备设计，降低项目成本。辅助系统将由多个反应堆共用，以便降低系统的成本和复杂度。我们将采用模块化设计和模块化施工方法来缩短工期。我们将根据高温堆的固有安全性，优化系统和设备安全级别，为调整应急计划区和规划限制区提供技术支持，提高核电站场地的适应性。

除了发电以外，高温气冷堆（HTR）技术的未来发展方向是什么？我们是否可以期待反应堆专门用于供应工艺用热？

在所有现有的反应堆类型中，高温反应堆的工作温度最高，也是唯一能够提供高温工艺热的反应堆。在不久的将来，高温气冷堆可作为新一代先进反应堆和中国核电的补充，用于中小型模块化核电机组。

随着进一步的研究和开发，未来高温气冷堆可以为各行各业（特别是需要限制碳排放的行业）提供高质量的高温工艺热热源。因此高温气冷堆将拥有更多的优势，不仅可以用于城镇供热和化学工业，还可以用于煤炭气化和液化、海水淡化、冶金，以及合成燃料、石化产品和氢气等能源的生产。

在哪些情况下，有可能出口高温气冷堆？

高温气冷堆在帮助世界各国实现难以减排领域的脱碳方面具有巨大潜力，但如果想要广泛部署高温气冷堆，仍需充分解决一些领域的问题。这些领域包括先进高温材料、监管框架、新燃料的保障和废物管理以及经济性。

一旦解决了这个问题，高温气冷堆就可以广泛应用于之前提到的领域。与“一带一路”沿线国家地区市场需求高度契合是高温气冷反应堆“走出去”的突出优势。高温气冷反应堆特别适用于沙特阿拉伯等淡水资源稀缺的国家和地区，可取代常规能源，应用于许多工业领域。其次，高温气冷堆在适应不同电网需求方面具有突出优势。“一带一路”沿线国家和地区的电网大多不适合1000 MWe以上的核电站。通过多模块组合，可建造装机容量在100~1000 MWe左右的核电机组。这些小型模块化反应堆特别适用于拥有中小型电网的国家和地区，或需要靠近负荷中心供电的地区。

布拉卡核电站：阿联酋可持续发展的动力源泉

布拉卡核电站1-4号机组

类型	PWR
型号	AP1400
电力产能（净产能）	4*1345 MWe
截至2022年7月1日的状况	1号和2号机组可运行 3号和4号机组在建

阿联酋长期以来一直坚持以清洁电力来推动经济的可持续增长，随着位于阿布扎比酋长国的布拉卡核电站成功并网发电，这一愿景得到了强化。该核电站正引领阿联酋电力部门快速脱碳，在能源价格不断攀升的背景下确保了国家的能源供应，并推进了阿联酋的可持续发展目标。布拉卡核电站全面投运后，每年将减少高达2240万吨二氧化碳排放，并将为该国履行国际减排承诺做出重大贡献。

过去两年，阿联酋核电项目的发展发生了重大转变，从建造工地转变为商业化运作的核电站。2020年2月，阿联酋的独立核监管机构阿联酋联邦核监管局（FANR）为布拉卡核电站1号机组颁发了运营许可证。此后不久，241个核燃料组件被装入反应堆容器。经过相关测试程序，1号机组于2020年7月启动，阿联酋成为阿拉伯地区首个运营商业核电站的国家。该机组于2021年4月1日实现商业运营，开启了阿联酋清洁能源转型的新篇章。

1号机组成功投运后，2号机组于2021年3月获得运营许可证，随后立即完成了燃料装载。通过借鉴1号机组的经验教训，反应堆于2021年8月成功启动，该机组于2022年3月下旬实现商业运营。1号机组交付后不到12个月，2号机组交付使用，表明阿联酋在核能知识和经验方面快速成长，将吸取的教训和运行经验有条不紊地记录下来，并应用于后续机组。



图片来源：阿联酋核能公司

阿联酋核能公司承诺提供该国四分之一电力需求，2号机组投入商业运营后，布拉卡核电站的总净容量达到2690 MWe，使阿联酋核能公司的目标达成了一半。布拉卡核电站是一座多机组运营核电站，如今正在引领该地区的各个行业实现最大规模的脱碳化，每天提供数千兆瓦无碳电力。

目前，阿联酋核能公司（ENEC）及其合资运营和维护子公司纳瓦能源公司正致力于借鉴现有经验，将布拉卡核电站3号和4号机组投入运营。阿联酋联邦核监管局于2022年6月向纳瓦能源公司颁发了3号机组的运营许可证，不久后，燃料装载完成。3号机组所取得成就证明，分阶段建造多台机组能够带来巨大的优势，有助于阿联酋在全天候提供清洁电力方面快速取得进展。

纳瓦能源公司最近完成了1号机组的第一次计划维护停堆，并致力于培训和认证下一批反应堆操作员，这是纳瓦公司打造可持续的认证操作员供应链战略的重要一环。

2023年，联合国气候变化大会第28届缔约方会议将在阿联酋举行，届时所有的目光都将聚焦于布拉卡核电站，因为该核电站展示了核能如何作为清洁能源转型的一部分与可再生能源相辅相成。阿联酋核能公司现在将目光从布拉卡核电站转向研发、清洁氢和先进核反应堆（如小型模块化反应堆）等领域，以便推动脱碳化和应对气候变化。



专访

纳瓦能源公司首席执行官阿里·阿尔·哈马迪 (Ali Al Hammadi) 工程师

您对1号和2号机组第一阶段的运行有什么看法？

有没有什么事情与您期望的不一样？

布拉卡核电站1号机组在前12个月的运营中表现亮眼。从2021年4月1日开始商业运营，到12个月后关闭该机组进行首次停机检修，在目标容量下，该机组发电约10.5 TWh。这完全符合人们对新兴核电国家中首座此类机组的预期。

1号机组的学习过程令人受益匪浅，我们的团队由合格的阿联酋国民和经验丰富的国际专家组成，他们按照国家法规运营该机组，并力求符合最高的国际标准，彰显了我们不断追求卓越的精神。为了这次停机检修，纳瓦公司还请来了数百名专家，这次停机检修包含数千项活动。该机组在计划换料停堆后，将于2022年7月恢复运行，届时，我们的目标是确保容量因子达到90%以上。

我们可以看到，2号机组的性能有所提高，该机组于2022年3月23日投入商业运营，并从此之后一直以接近98%的容量因子运行。我们正在利用从1号机组积累的经验知识来提高业绩，因为我们致力于在安全、保质的前提下，全天候（一天24小时，一周7天）为阿联酋提供清洁电力。

我们始终明确了解一点：这会是一段艰难的时期，我们还有很多东西需要学习，但我们已经为此做了多年的准备，确保我们的人员、工厂、政策、流程和程序均已准备就绪，且经受了一次又一次的测试。我们还建设了一种强大的安全文化，这种文化贯穿于我们所做的每一件事中，并为我们的所有决策提供指导，它为我们在运营生命周期的各个阶段引导三座机组继续向前发展发挥了良好的作用。

从首批机组现场启动和运营中获得的经验会对3号和4号机组的调试产生怎样的影响？

我们从第一座机组中吸取了经验教训并将其用在了后

续机组中，我们计划将四座机组相隔一年建造，其中一个主要好处是，我们也可以令这四座机组相隔一年左右再投入运行。

当你拥有同类别中首个核项目时，第一座机组始终具有挑战性，因为它为所有后续机组设定了标准。所有事情都需要从头开始，所以，为了满足监管机构设定的高标准要求，需要一个稳健的方法。例如，1号机组从首次达到临界状态到投入商业运营用了35周，而2号机组只用了30周。我们努力确保安全和质量两不误，按照国家法规和国际标准完成了所有的流程和程序，我们从1号机组积累的知识和专业技能中学到了很多，从而提高了效率。

这对现场运行中的机组来说意味着什么变化？是否会对运行机组旁边的施工造成影响？

在项目启动之初，我们便已深知，会有一些运行中的机组设置在其他在建机组旁边。当然，我们不期望在全球疫情期间运营多座机组，但我们采用了同样的风险管理方法和安全方法，让机组成功地继续运营，同时保护我们的布拉卡核电站团队，确保他们安全运营核电站，当然，我们还会保护更广大的人民群众。在疫情爆发的高峰期，我们在收到运营许可证后按时安全启动了1号机组，这对我们所有人而言都是一个特别重大的成就。

随着步入2022年，事情的复杂程度进一步增加。2022年3月23日，2号机组开始投入商业运营，仅仅几周后，1号机组便按计划进入了第一次计划换料和停堆检修。同时，我们也正在努力完成运营准备工作，以便向国家监管机构联邦核监管局证明我们已经准备好运营3号机组。管理这种复杂情况的关键是将具备资质的合适人员安排在合适的位置上，并提前做好计划，任何事情都不能疏忽。我们的首要任务是确保布拉卡核电站安全运行，为阿联酋可靠地提供清洁电力。到目前为止，我们一直在成功确保布拉卡核电站的安全运行，我们正在努力，争取未来几年能将3号和4号机组投入使用。

欣克利角C（Hinkley Point C）核电站：建造与复制



图片来源：英国电网

位于英格兰西南部萨默塞特郡的欣克利角C核电站是英国20多年来新建的第一座核电站。该核电站拥有两座1.6 GWe的欧洲压水堆，能够为该国提供7%的电力。在其至少60年的运营期内，欣克利角C核电站将减少约6亿吨二氧化碳排放。

这座核电站使英国的核能供应链重新焕发了活力。这座核电站于2016年9月全面启动建设，2019年6月第一座机组的底座竣工，2020年6月第二座机组的底座竣工。目前，该核电站大约有8000名工人，英国各地还有22000名工人参与了该项目的各项工作。

英国的适应性

与其他反应堆一样，在2012年12月被批准之前，欧洲压水堆经历了漫长的英国许可程序。为了使设计满足。

欣克利角C核电站

反应堆类型	EPR-1750
总装机容量	3400 MWe
第一罐混凝土浇注：	
1号机组	2018年12月11日
2号机组	2019年12月12日

特定的英国监管要求，在办理许可的过程中，对该反应堆在设计上进行了重大调整。实际上，该核电站是英国同类别中的首座欧洲压水堆核电站

复制策略

世界各地的核电站建造经验表明，复制是降低成本和进度风险的重要手段。欣克利角C核电站的经验证明了这一点，在2号机组上重复相同的工作大大提高了生产率。这对于随后在萨福克郡塞兹韦尔C（Sizewell C）核电站建造近乎相同的核电站也有好处。从弗拉芒维尔核电站和台山核电站建设项目中获得的经验，以及大规模预制和数字设计工具的使用都对该核电站的建造有所裨益。



专访

欣克利角C核电站交付总监奈杰尔·坎恩 (Nigel Cann)

最近，反应堆的启动日期被推迟，现在第一座机组计划在2027年6月启动，这是什么原因？

与其他任何重大建设项目一样，由于新冠肺炎疫情的原因，我们面临着两年多的时间限制。尽管我们能够找到办法来继续运营核电站，同时保证工人和公众的安全，但核电站场址上的人数还是受到了限制。

在疫情爆发的高峰期，核电站场址的人员数下降到了约1500人，我们的许多供应商也都面临着业务中断或临时关闭的情况。该项目也受到了其他因素的影响，但我们估计，仅疫情的影响就超过12个月。

请举几个例子说明，有了1号机组的建造经验，第2座机组的建设进展较快。2号机组是否在“追赶”1号机组，这对两座机组的并网间隔是否有影响？

在疫情期间，面对有限的人员和物资供应，我们特意将资源从2号机组转移到了1号机组。尽管如此，2号机组的重大建设事件，如“机组筏基混凝土施工”（反应堆基座完工）和第二个套筒环安装，在1号机组完成相同操作后仅

12个月就完成了。我们认为，这两座机组之间的最佳间隔是12个月左右，我们的目标是保持这一间隔。

目前已启动三座欧洲压水堆。是否从这些项目中吸取了一些经验教训，可用于欣克利角剩余的建设施工？

当然。在利用之前的欧洲压水堆经验方面，我们有得天独厚的优势，欧洲压水堆运营商之间将知识彼此共享，英国电网和中国广核集团有限公司也有直接的建设经验。现在，欧洲压水堆已经启动，我们可以从建设到调试、运行的各个方面获得经验。欣克利角C核电站的许多技术都受到其他核项目经验的影响，我们也会继续吸取经验教训。

欣克利角C核电项目的建设经验对拟议中的塞兹韦尔C核电项目有何好处？

欣克利角C核电项目会为塞兹韦尔C核电项目提供一个良好的开端，包括为塞兹韦尔团推提供一份完整、详细的执行设计。这将为塞兹韦尔C核电项目提供数量和材料上的保障。复制的理念是最大限度地利用我们的经验的关键。我们喜欢把塞兹韦尔C核电项目视为欣克利角C的第三座和第四座机组，我们的共同目标是尽可能地减少变化。



图片来源：英国电网

设计和建造第一座陆基小型模块化反应堆

ACP100是第三代小型模块化反应堆设计，可最大限度地使用成熟的技术和设备。该反应堆的热功率容量为385 MWt，净电功率输出高达126 MWe。

第一座机组正在海南省昌江市建造，该市已经有两座在运行的CNP-600反应堆，还有两座1100 MWe的华龙一号反应堆正在建设中。昌江的ACP100反应堆建成后，年发电量将达到10亿千瓦时，足以满足52.6万户家庭的用电需求。

昌江核电项目主要由三个公司组成的合资企业负责，这三个公司分别是：中国核工业集团有限公司的子公司中国核能电力股份有限公司是业主单位和运营商；中国核动力研究设计院是反应堆的设计单位；中国核电工程有限公司是核电站的建设单位。

2021年7月13日，当第一罐混凝土浇注时，ACP100示范反应堆成为了世界上第一座开工建造的陆基商业小型模块化反应堆。

支撑钢制安全壳用的安全壳底封头是由50块预制钢板现场组装而成的。2021年10月24日，组装好的组件被起重机吊装到工厂的混凝土基础板上。

今年2月26日，比原计划提前46天，将高约15米、重约450吨的安全壳下部放置在了安全壳底封头上。预计总工期为58个月，目前正在按计划进行。

中国核工业集团有限公司（CNNC）于2010年启动ACP100的研发工作，2016年4月22日，其设计于通过了国际原子能机构的通用反应堆安全评估。

2017年10月，中国核学会认定ACP100技术为“2015-2017年度中国核技术十大进展”之一。作为一种创新的小型模块化反应堆设计，ACP100设计具有被动安全特性，有望在不发生任何重大放射性泄漏的情况下应对极端环境条件和多次故障。

昌江核电站

类型	PWR
反应堆热功率	385 MWt
电力装机（净功率）	126 MWe
开工时间	2021年7月13日

ACP100还采用了集成反应堆设计技术、模块化设计与制造、集成蒸汽发生器（反应堆冷却剂泵安装在压力容器的喷嘴上）。所有这些技术都具有很高的内在安全性，可防止重大失水事故（LOCA）的发生。

这些设计创新使反应堆制造、运输和现场安装过程以及ACP100的经济效益都得到了优化。



图片来源：中国核工业集团有限公司



专访

中核集团海南核电有限公司副总工程师曲勇

为什么要选择ACP100这款设计，为什么要将其建在昌江核电基地？

近年来，中国政府一直在大力推进海南自由贸易港的建设。中国政府致力于将海南岛建设成为国家生态文明试验区 and 通往太平洋和印度洋的重要门户。

建设ACP100核电机组，可以为试验区绿色发展奠定基础，为实现海南清洁能源发展的目标做出贡献。

除了发电，ACP100还有很多其他用途，如海水淡化、区域供热（或制冷）和工艺供热。它还适合在中小型电网、工业园区、海岛等各类场所和应用场景中使用，也可作为高耗能企业的专用电源。



ACP100示范项目将助力海南成为向世界推广中国先进商用小型模块化反应堆技术的基地。

海南核电基地有两座CNP-600机组已经投入运行，另有两座机组正在建设中，在昌江核电厂工作的公司在建设、管理和运营核电项目方面积累了丰富的经验。昌江基地的ACP100示范项目可以充分利用现有资源，尽可能地提高项目的经济效益。

传统的供应链是否能够轻松适应小型模块化反应堆的新需求？

与传统设备供应相比，模块化设备依赖详细设计、提前订货、工厂预制，以及大型模块的运输、吊装和安装。此外，必须在场外和场内进行平行作业，减少现场施工时间。

大部分制造工作在制造厂完成，在制造厂内，更容易控制工作环境下的温度、湿度和洁净度，同时还可以避免现场台风、暴雨和灰尘。

例如，蒸汽发生器制造完成后，必须将其运至压力容器制造厂，然后将其并入反应堆中。焊接完成后，需要将整体式反应堆运到现场；同时，预制好的钢制安全壳板也要运到现场进行组装。模块设备到达现场后，只需进行简单的吊装，便可将整个设备或系统安装完毕，大大缩短了项目的施工周期。模块化设备有精确的制造和项目管理要求，一些大型模块对运输和吊装提出了新的挑战。

总体而言，ACP100的供应链建立在现有国际和国内模块设备供应的基础上，可提高模块的质量，同时降低模块的制造成本。

3 | 国家与地区概况

阿根廷

阿根廷有两个核电站。阿图查（Atucha）核电站位于布宜诺斯艾利斯西北约100公里处；恩巴塞尔（Embarcel）则位于科尔多瓦以南约100公里处。

阿图查核电站共有两台机组，总装机容量为1033 MWe。1号机组运行许可期限到2024年，但阿根廷核公司将尝试将其再延长20年。

2022年2月，NA-SA和中国核工业集团公司（CNNC）签订了一份工程、采购和施工（EPC）的合同，这份合同旨在在阿图查电厂开发第三个机组。这台机组将使用中国设计的HPR1000。此前，中国曾计划支持阿根廷在阿图查建设一座PHWR。

阿根廷国内第一个设计与开发的核电机组SMR原型机CAREM-25，早在2014年初就开始建设，但期间曾暂停数次。2021年7月，阿根廷核公司与阿根廷国家原子能委员会（CNEA）签订了一份合同，其中规定了该机组的施工工作将在三年内完成。

恩巴塞尔是一座608 MWe的CANDU PHWR，经过为期三年的升级项目后，于2020年5月重新投入使用。该升级项目旨在为其再运行30年进行准备工作。恩巴塞尔反应堆主要用于生产钴60并发电。

脚注：

1 总CO₂排放估算方法是以生产电力全部由燃煤电厂发电代替所排放的CO₂总量计算。

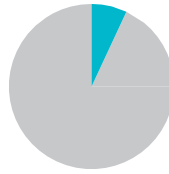
2 年度CO₂排放估算方法是以生产电力全部由燃煤电厂或燃气电厂发电代替所排放的CO₂总量计算。

可运行反应堆



1641 MWe

核电份额



7.2 %

在建反应堆



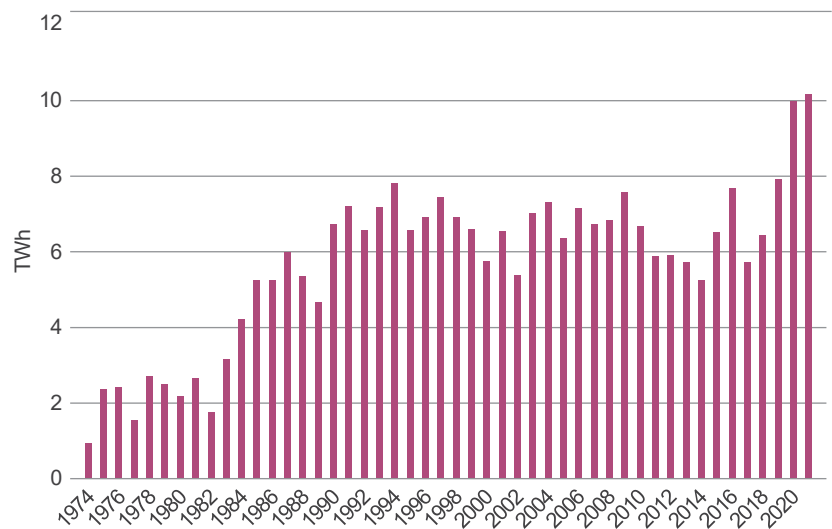
25 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



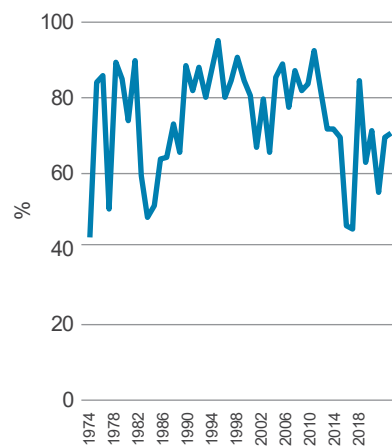
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



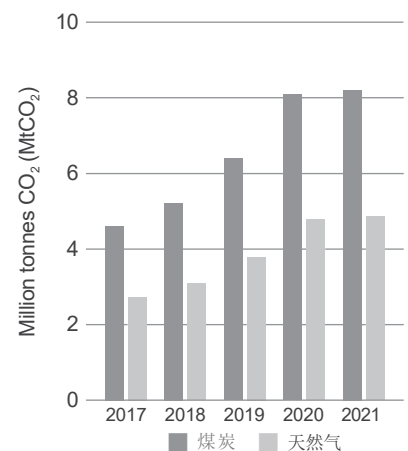
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）²



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

亚美尼亚

亚美尼亚有一座核电站，即米沙摩尔 (Metsamor)，位于亚美尼亚首都埃里温以西30公里处，也被称为亚美尼亚核电站(ANPP)。

米沙摩尔核电站建有两个VVER-440反应堆机组。1号机组于1976年接入电网，随后2号机组也于1980年接入电网。尽管这两台机组在早期经历过的大地震中没有受到任何损害影响并继续运行，但由于对地震脆弱性的安全担忧，这两台机组还是于1988年被关闭。这两台机组最初的参考机组容量为408 Mwe，1988年降至376 MWe。

2021年11月，2号机组完成了为运行至2026年所需的升级工作。该升级工作由Rosatom牵头，为期10天的操作中包括了对反应堆容器进行退火、更换大量应急系统部件；对应急系统和控制、监测系统现代化改造；以及更换相关安全电缆。亚美尼亚还将努力将机组的运行寿命进一步延长10年。升级完成后的机组运行功率为448 MWe。

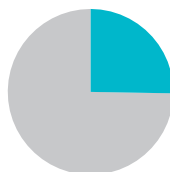
亚美尼亚长期以来一直在与俄罗斯讨论更新其核电容量的问题，双方也于2022年1月同意就建造俄罗斯设计的新核电机组达成合作。

可运行反应堆



375 MWe

核电份额



25.3 %

在建反应堆



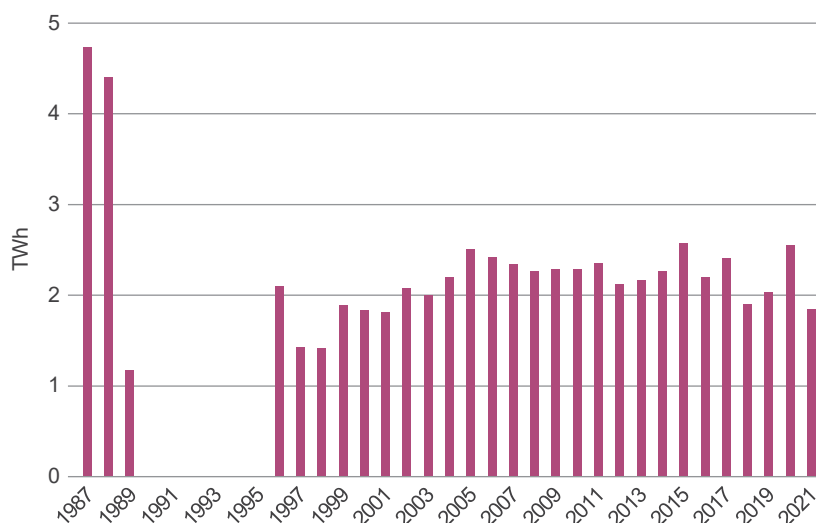
0 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



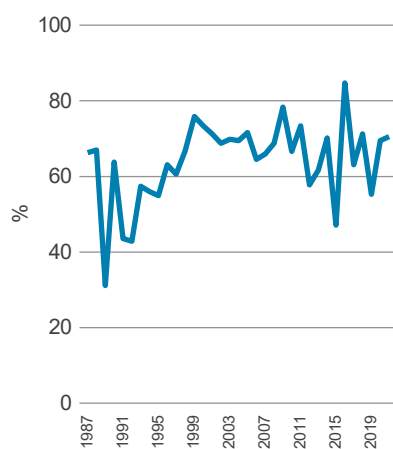
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



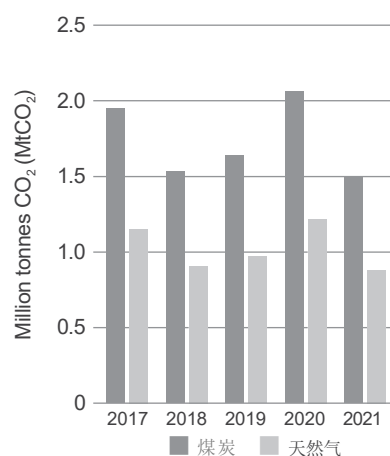
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

孟加拉国

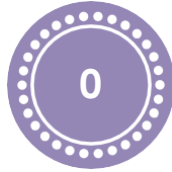
两台由俄罗斯设计的VVER-1200机组正在孟加拉卢普尔(Rooppur)建造，其地址位于达卡西北约160公里的帕德玛河东岸。

1号机组于2017年11月开工建设，2号机组随后于2018年7月开工建设。机组反应堆是基于俄罗斯新沃罗涅日II核电站的V-392M进行设计建造的。这两个机组预计将在2023年和2024年并入国家的电网。

2021年建设项目的重大进展：8月，2号机组反应堆压力容器和4台蒸汽发生器经过1.4万公里的海路运输完成交付。11月，蒸汽发生器被吊装到位。12月，1号机组的主回路焊接工作开始，2号机组的最后一个密封环浇筑完成并落位。

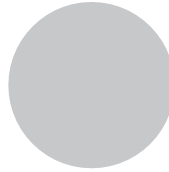
这两个机组将在建成后提供孟加拉国约9%的电力。2021年10月，该国总理谢赫·哈西娜(Sheikh Hasina)表示，卢普尔(Rooppur)的工作完成后，孟加拉国将建造第二座核电站。

可运行反应堆



0 MWe

核电份额



0 %

在建反应堆



2160 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



MtCO₂ cf. coal



Rooppur 核电站 (图片来源: Rosatom)

白俄罗斯

2020年11月，白俄罗斯的第一座核动力反应堆并网。这个反应堆是位于明斯克西北约120公里的奥斯特罗韦茨的两座VVER-1200反应堆中的第一座。这两座V-491机组是在俄罗斯以外建造的第一批VVER-1200。

第二个反应堆的燃料装载于2021年12月开始，预计将于2022年开始发电。

立陶宛以及爱沙尼亚和拉脱维亚仍然反对奥斯特罗韦茨工厂的建设，因为该工厂靠近白俄罗斯边境，距离其首都维尔纽斯不到50公里。

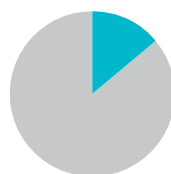
2021年9月，立陶宛电网运营商LitGrid对来自白俄罗斯进入电网的电量进行了限制，作为避免从该工厂进口电力的措施之一。

可运行反应堆



1110 MWe

核电份额



14.1 %

在建反应堆



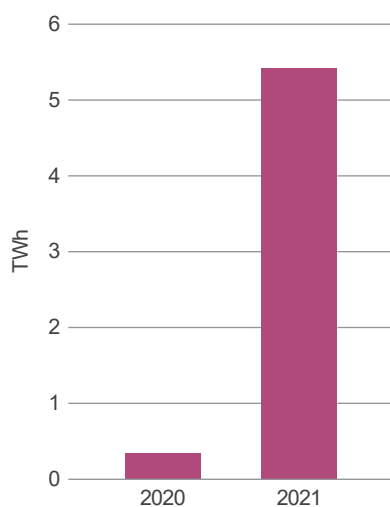
1110 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



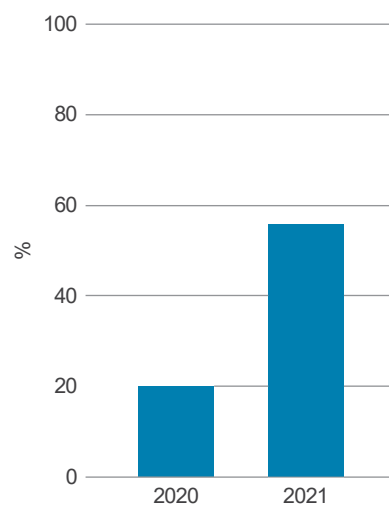
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



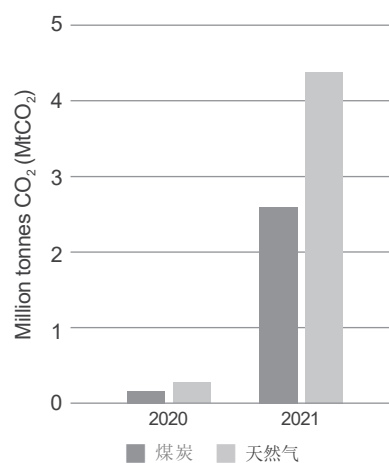
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

比利时

比利时有两个可运行的核电站：杜尔（Doel），位于安特卫普西北15公里处的四机组核电站；蒂昂日（Tihange），位于列日西南偏西约25公里处的三机组核电站。

比利时的核政策在新联合政府选举后2020年得到重申，即在杜尔3和蒂昂日2于2022年和2023年相继关闭之后，杜尔4和蒂昂日3也将在2025年关闭。

但2022年初乌克兰发生的事件促使人们迅速重新评估该政策。2022年3月，政府批准将杜尔4和蒂昂日3的运营延长至2035年。

2022年1月，该国监管机构曾表示，这些装置可以在2025年之后继续运行，并进行一定的安全升级，但该决定将由运营商Engie做出。Engie曾表示，阻止这些机组继续运行的主要障碍将是运行的同时还要拆除每个设施相邻的机组。

2022年5月，比利时政府表示，该国的核研究中心SCK-CEN将获得1亿欧元的预算以用于小型模块化反应堆的研究工作。

2019年7月，比利时电网运营商Elia得出结论，该国需要比先前预测更多的容量来应对其计划中的核退出。并且对于核反应堆的淘汰比当时设想的更缓慢等情况，其还没有准备好如何应对。

可运行反应堆



5942 MWe

核电份额



50.8 %

在建反应堆



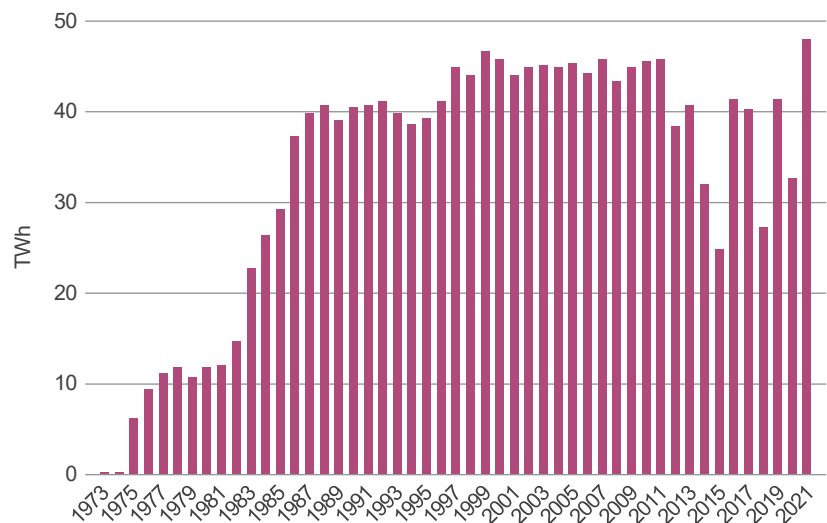
0 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



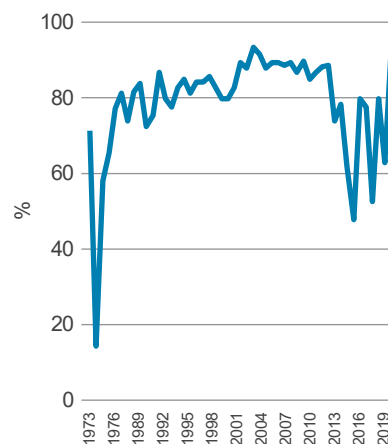
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



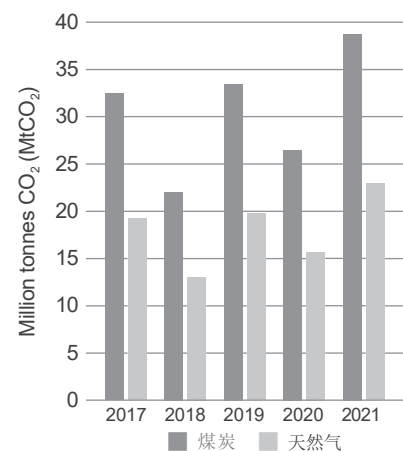
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

巴西

巴西有一座安格拉（Angra）核电站，位于里约热内卢以西200公里处。该厂有两个运行中的反应堆，总容量为2006 MWe。

安格拉的第三个反应堆的建设始于2010年，但在2016年第二次暂停，当时完成度刚刚超过60%。

2021年7月，安格拉3号建设的两个关键合同公布。合同表明由Tractebel牵头的财团来建造反应堆，并由 Ferreira Guedes、Matricial 和 ADtranz组成的巴西财团进行建设工作。合同已于2022年2月完成正式的签订。

历来，巴西高达80%的电力由水力发电产生，但在干旱年份，这一比例会显著降低。

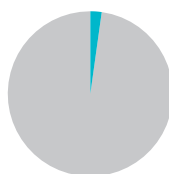
2022年1月，巴西矿业和能源部与 Eletrobras的子公司能源研究中心开始未来核电站的选址研究工作开展合作。

可运行反应堆



1884 MWe

核电份额



2.4 %

在建反应堆



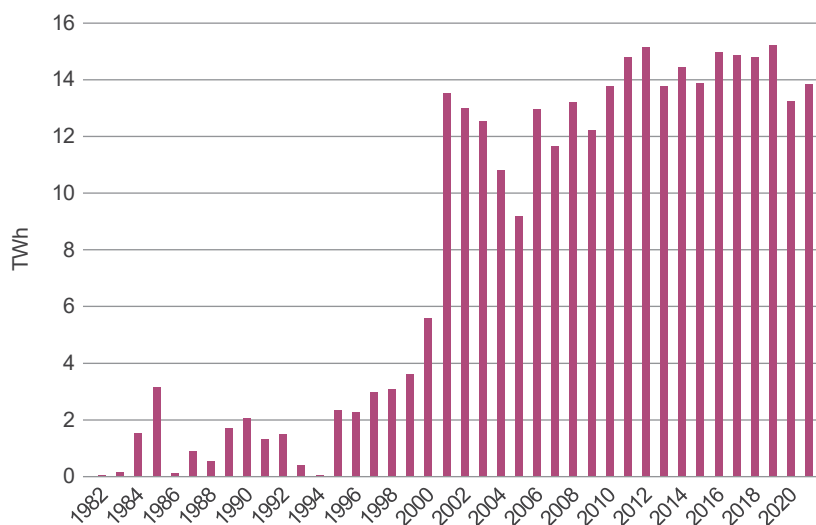
1340 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



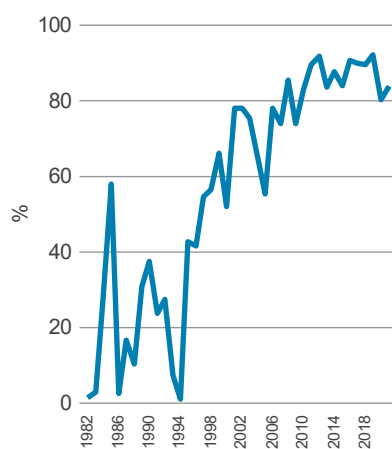
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



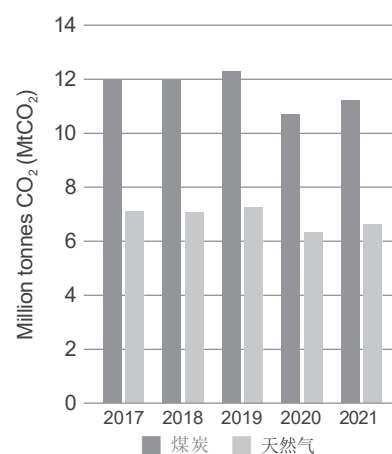
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

保加利亚

保加利亚有一座可运行的核电站，即科兹洛杜伊（Kozloduy），位于索菲亚以北约110公里处的多瑙河上。它有两个正在运行的VVER-1000反应堆，总容量为2006 MWe。2000年代，作为该国加入欧盟的一个条件，四个VVER-440机组被关闭。

2021年10月，科兹洛杜伊核电站宣布降低利润，以向工业客户补贴56欧元每MWe时。该措施旨在保护工业免受天然气和煤电价格的影响。

同时于2021年10月，保加利亚能源控股公司与福陆公司签署了一份谅解备忘录，内容主要是研究NuScale SMR取代国内燃煤电厂的可能性。

面对逐步淘汰提供全国40%电力的煤炭的需要，同时维护能源安全，保加利亚的决策者希望扩大科兹洛杜伊或贝伦的核装机容量。

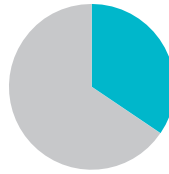
尽管保加利亚对核装机容量的未来做出了强有力的承诺，资金缺乏和与低电力需求已经阻碍了建设新反应堆的计划。2022年3月，保加利亚总理基里尔·佩特科夫（Kiril Petkov）宣布政府有意提议与希腊签订长期电力供应合同，以支持在保加利亚建造一座新反应堆。希腊总理基里亚科斯·米佐塔基斯（Kyriakos Mitsotakis）在2021年表示，希腊由于该国地震活动的风险并没有建造核电厂的计划。

可运行反应堆



2006 MWe

核电份额



34.6 %

在建反应堆



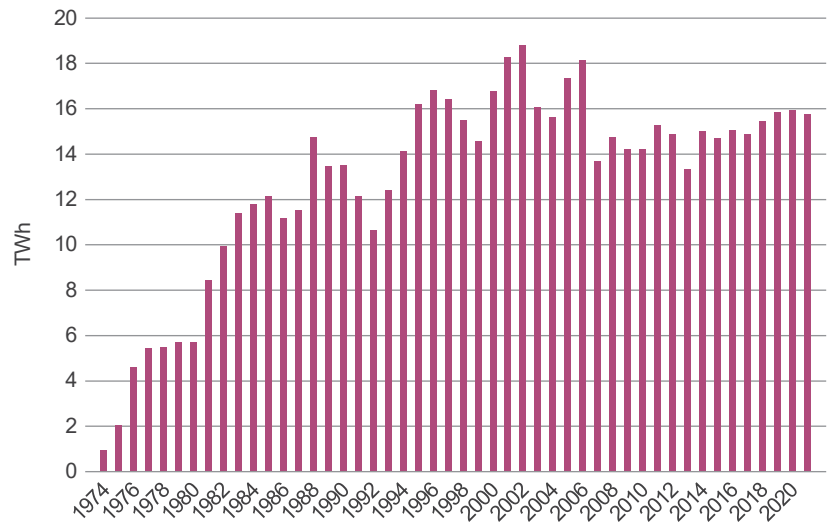
0 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



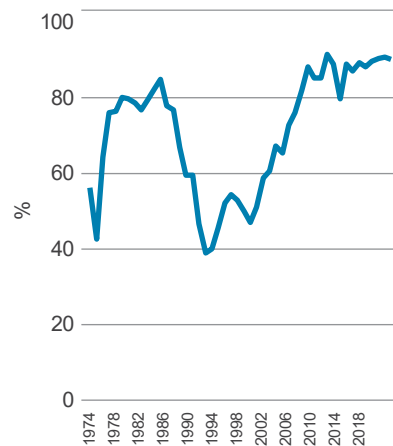
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



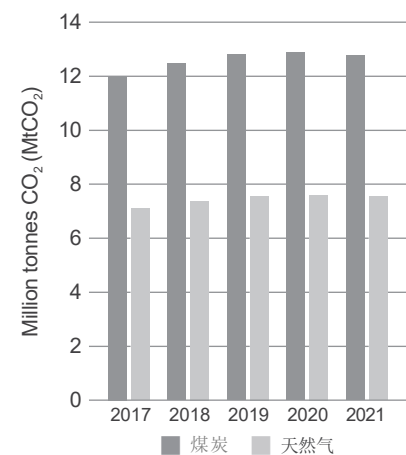
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

加拿大

加拿大东南部4座电厂内共有19座反应堆运行，其中18座在安大略省，1座在新不伦瑞克省。

布鲁斯（Bruce）核电站是该国最大的核电站，由8台在1976年至1987年期间投入使用的PHWR机组组成，总容量为6358 MWe。2015年，开始对其中六个机组（3-8）进行翻新，更换主要部件，以延长其运行时间至2064年。6号机组的翻新工作于2020年1月开始，到2021年7月，其拆卸反应堆的工作已经完成。2021年12月，6号机组的八个替换蒸汽发生器中的最后一个吊装位。

2015年，安大略省电力公司（OPG）决定对加拿大达林顿的四台核电机组进行全面整修，以延长运行寿命30年。2号机组于2016年10月下线整修，并在2020年6月恢复全面运行。2020年9月，3号机组下线整修，随后1号机组在2022年2月下线。

2021年7月，卡梅克公司(Cameco)、通用电气日立核能公司（GE Hitachi Nuclear Energy）和环球核能燃料美国有限公司（Global Nuclear Fuel Americas）公布了一项谅解备忘录，以探索合作推动BWRX-300在加拿大和其他地方的部署。2021年12月，OPG宣布其已为达林顿新核电项目选择了BWRX-300 SMR，并在2022年3月签署了第一阶段的现场准备和支持基础设施的相关合同。

2022年4月，OPG和田纳西流域管理局宣布，合作开发先进核技术的计划中也包括SMR。

可运行反应堆



13,624 MWe

核电份额



14.3 %

在建反应堆



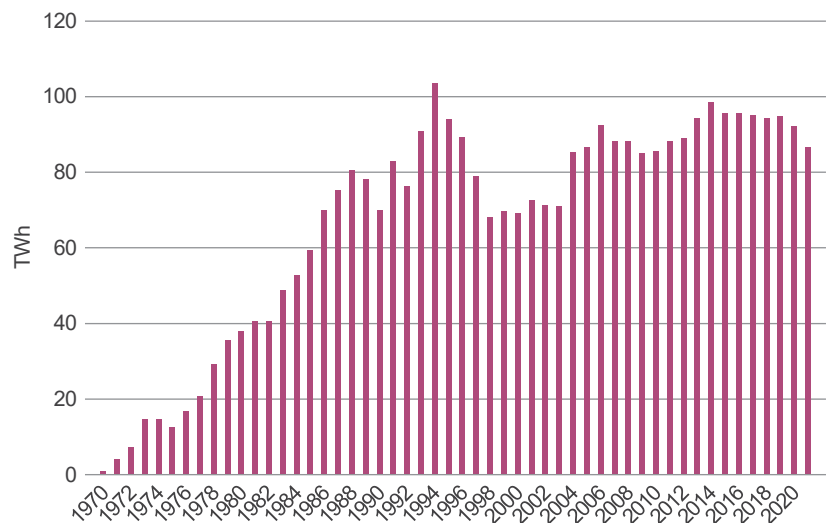
0 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



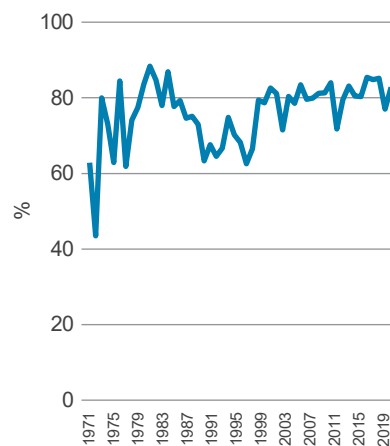
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



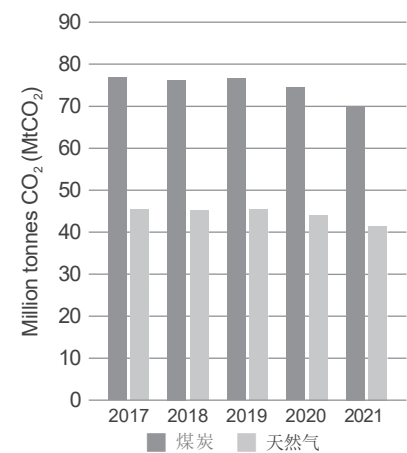
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

中国大陆

中国大陆有54个可运行的反应堆，主要位于东南海岸线上。

2021年12月，位于山东省石岛湾场址的示范球床模块式高温气冷堆(HTR-PM)并网。

2022年1月，福清6号的华龙一号反应堆开始供应电力。随后2022年5月，中国辽宁省的红沿河6号的ACPR-1000反应堆开始供电。

2021年7月，中国开始在海南省的昌江核电站建设ACP100 SMR；在辽宁省葫芦岛市建设徐大堡3号VVER-1200。

2021年12月底，中国开始建造两台华龙一号机组：长江四号和三澳二号。

2022年2月，田湾8号机组（一个VVER-1200机组）和徐大堡4号机组（另一个VVER-1200机组）在5月进行了首次混凝土浇筑。

2021年7月，中核集团在泰山启动了一个区域供热示范项目，之后2022年3月在红沿河启动了一个类似项目。

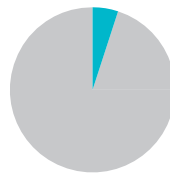
将核电热能应用到工业生产流程这一问题也正在探索之中。2022年2月，田湾核电站启动了一个项目，为附近的一家石化厂提供蒸汽。

可运行反应堆



45,569 MWe

核电份额



5.0 %

在建反应堆



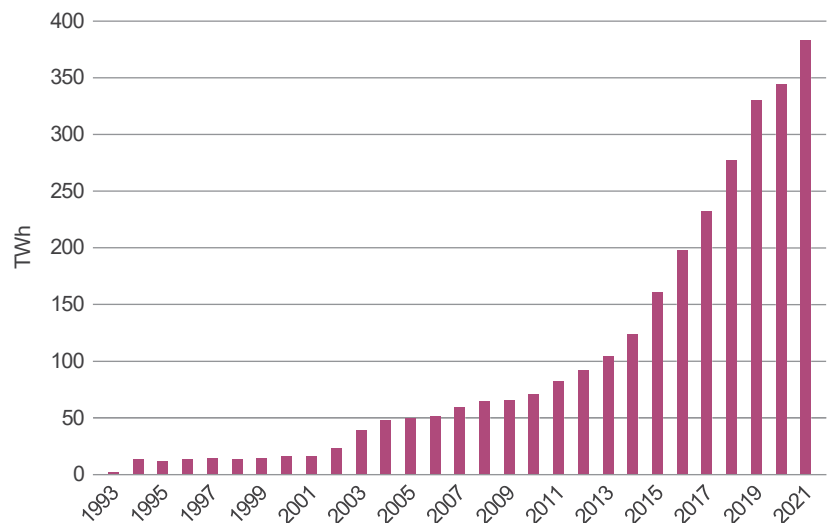
17,270 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



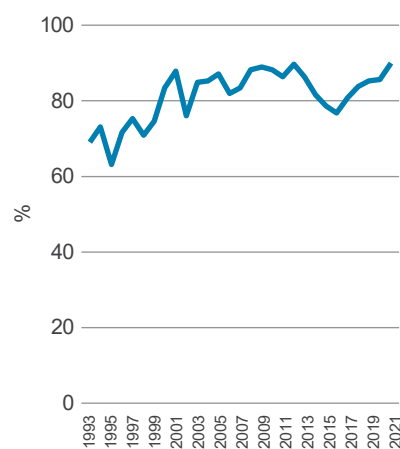
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



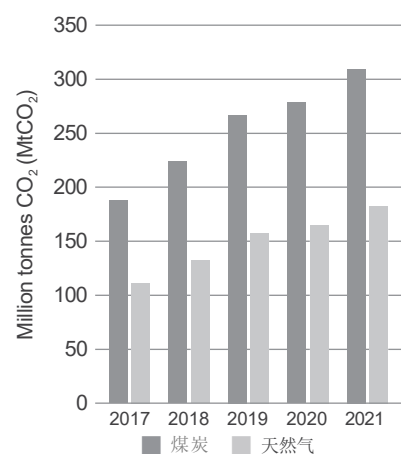
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

中国台湾

台湾有三个可运行的核电反应堆，总容量为2859 MWe：其中两个位于台湾岛南部海岸的马鞍山，另外一个位于北部海岸——台北东北25公里处的国盛。

自2016年以来，台湾制定了到2025年逐步淘汰核能的政策。2021年7月，台湾电力公司（台电）宣布关闭国盛电厂的1号机组。该装置原定于12月关闭，但由于乏燃料储存能力不足，迫使其提前关闭。

龙门的两个大型先进沸水反应器的建设开始于1999年。但在2014年停止建设之前一直受到延误的困扰。据报道，当时1号机组的建设已经完成，2号机组的建设也完成了超过90%，2021年12月，大多数选民在公投中拒绝重新启动建设的可能性，该项目被正式取消。

可运行反应堆



2859 MWe

核电份额



10.8 %

在建反应堆



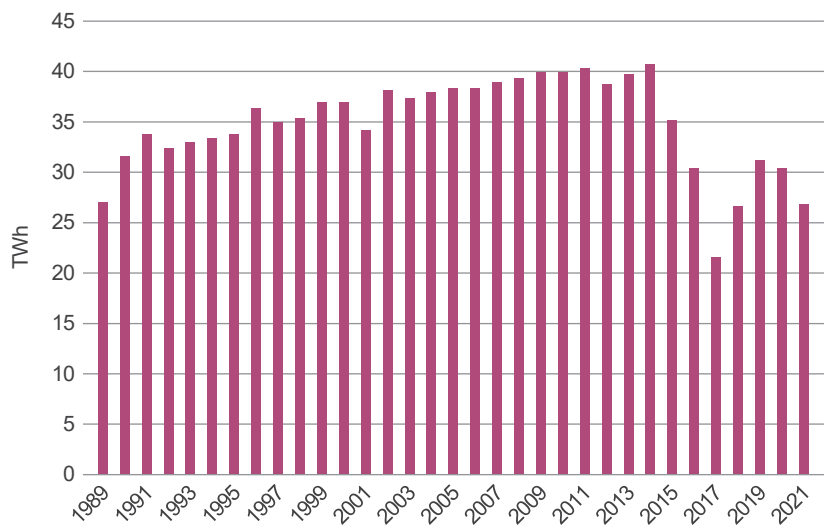
0 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



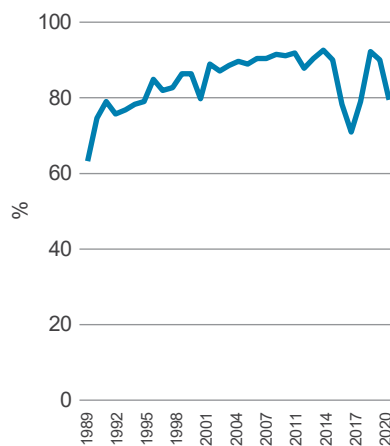
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



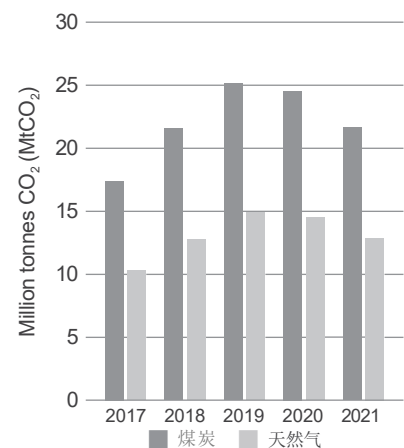
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

捷克共和国

捷克共和国有六座可运行的反应堆：两座VVER-1000机组位于布拉格以南100公里的泰梅林（Temelin）；四座VVER-440机组位于布尔诺以西34公里的杜科瓦尼（Dukovany）。

政府于2015年的长期能源战略预测，到2050年需要将核能在该国能源结构中的份额提高到50-55%。捷克公用事业公司CEZ表示，四个杜科瓦尼机组将在2045年和2047年之间关闭，而两个泰梅林机组将在2060年和2062年之间关闭。

CEZ于2021年3月在Dukovany工厂获得了两座新的1200 MWe压水堆反应堆的场地许可证。捷克工业和贸易部在同月选择了EDF、韩国水电核电和西屋公司进行新机组招标的资格预审，特别地其中不包括中广核和Rosatom。2021年6月CEZ开始对这三个供应商进行安全评估。

根据目前的时间表，预计将在2022年底前选定一家反应堆供应商，并于2029年颁发建造许可证。

2020年5月早些时候，捷克总理宣布，政府将为建造一个1200 MWe机组的费用提供70%的贷款，而CEZ将为剩余的30%提供资金。2019年10月，捷克副总理兼工业和贸易部长卡雷尔-哈夫里切克（Karel Havlicek）曾表示，捷克政府将贷款建设一个1200 MWe的机组，其余30%由CEZ出资。2019年10月，捷克副总理兼工业和贸易部长卡雷尔-哈夫里切克表示，如果捷克要避免从2030年开始依赖电力进口，不仅需要杜科瓦尼建造一台新机组，还需要在特梅林建造更多的反应堆。

可运行反应堆



3934 MWe

核电份额



36.6 %

在建反应堆



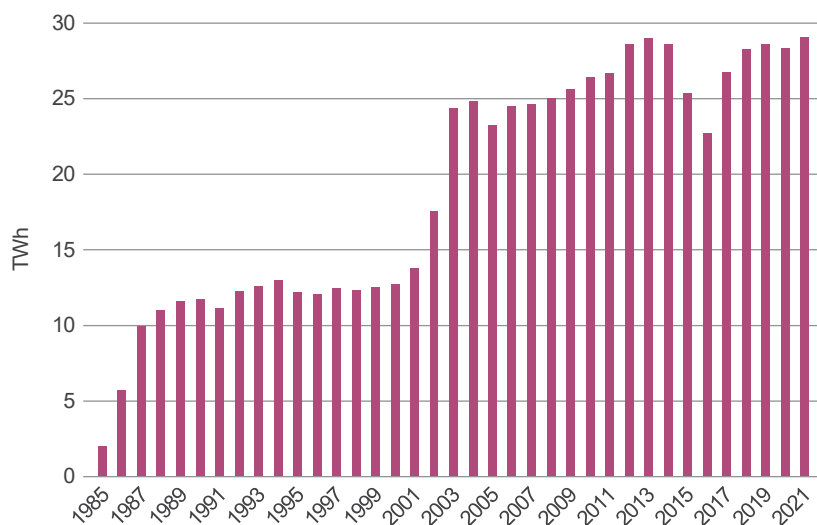
0 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



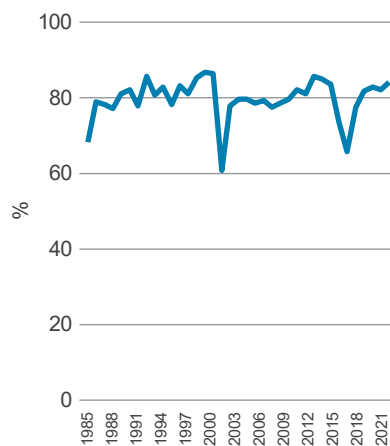
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



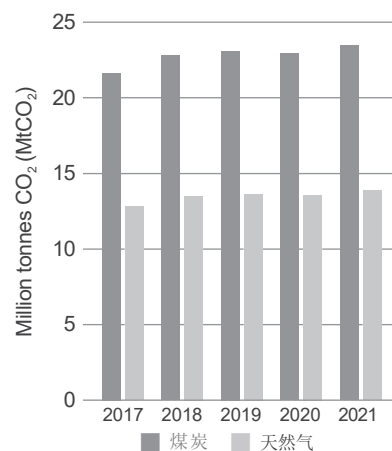
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

芬兰

芬兰有两座核电站。洛维萨 (Loviisa) 是一座拥有两个机组的VVER核电站，位于赫尔辛基以东80公里处；奥尔基洛托 (Olkiluoto) 位于首都西北约220公里处，1号和2号机组为BWR，3号机组为EPR。

奥尔基洛托3号机组于2022年3月并入国家电网，并将于9月实现商业运营该机组将提供该国约14%的电力。

2021年期间，第二台大型现代化机组 (VVER-1200) 获得施工许可证。

预计该机组在皮海约基附近的波的尼亚海湾的汉希基维(Hanhikivi)新址建造。然而，2022年2月，芬兰万塔市宣布它已指示其市政能源公司退出该项目，2022年5月，芬兰芬诺(Fennovoima)电力公司宣布它将终止与俄罗斯国家原子能公司 (Rosatom)的RAOS项目子公司签订的EPC合同，并撤回其建设许可证申请。

2022年3月，芬兰Fortum Power and Heat OY能源集团提交了一份申请，要求将其洛维萨核电站的1、2号机组运营至2050年底。2021年9月早些时候，爱沙尼亚控股公司Fortum Eesti向经济事务和就业部提交了一份环境影响评估报告，以审查该核电站两个反应堆可能延长运行的影响。

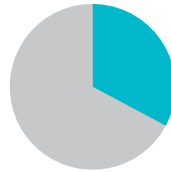
2022年5月宣布，芬兰核监管机构STUK已经开始审查Posiva Oy公司在该国Olkiluoto的废旧燃料处置库的运营许可申请。储存库开始运营后将 成为世界上第一个旧燃料处置设施。

可运行反应堆



2794 MWe

核电份额



32.8 %

在建反应堆



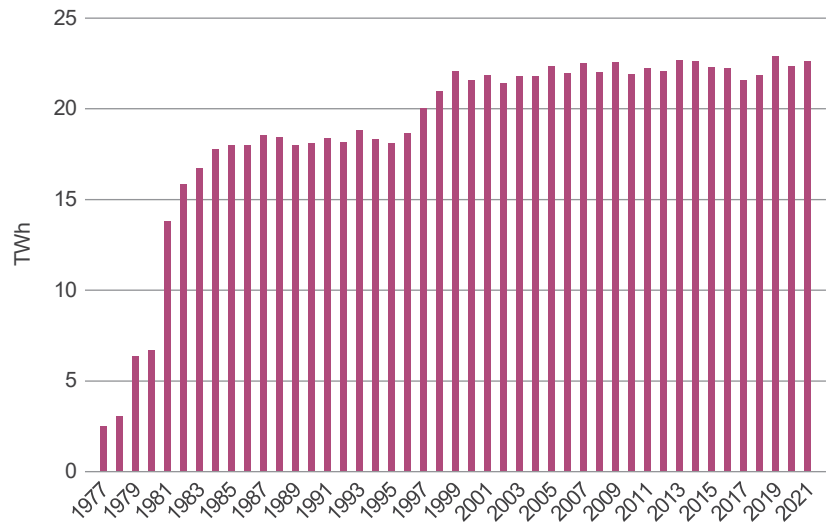
1600 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



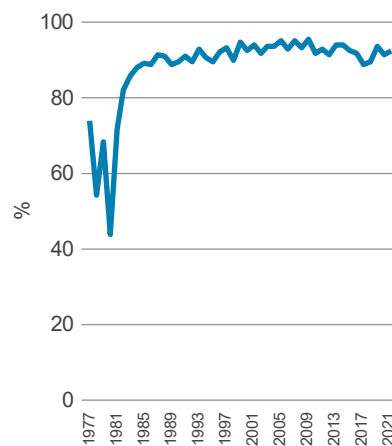
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



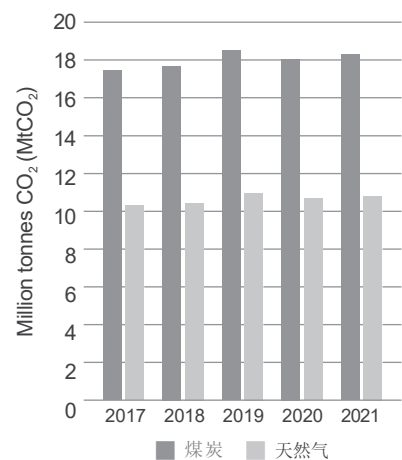
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量 (以化石燃料计)



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

法国

法国有56个可运行的反应堆，分布在全国各地的沿海及内陆。

2021年10月，马克龙总统制定了他的“法国2030”计划，其中包括到2030年展示SMR技术和利用核电大规模生产氢气的计划。2022年2月，他宣布将建造六座新反应堆，并考虑再建造八座，建造于2028年开始，第一座反应堆将于2035年投入使用。

马克龙决定支持该国一项重大的新建计划，部分原因是该国电网运营商RTE的一份具有里程碑意义的报告。为了响应政府的推荐，RTE于2019年对该国电力系统的演变展开了广泛的研究。由此产生的题为“能源期货2050”的报告于2021年10月发布。在报告中考虑的情景中，最经济的情况意味着建造14座新的大型核动力反应堆，以及一批SMR，并对可再生能源进行大量投资。

正值法国现有核电站面临挑战之际，法国政府在过去12个月中做出积极决定。2022年6月，法国56座可运行反应堆中前所未有的有一半处于离线状态。在2021年12月发现西沃核电站 (Civaux)1和2安全喷射系统的管道焊缝附近发生腐蚀之后。有12家下线的反应堆因腐蚀检查或维修而关闭。

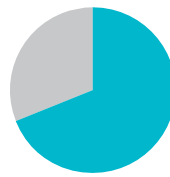
2022年5月，法国监管机构ASN表示，该问题需要“大规模”计划，可能需要“数年”。

可运行反应堆



61,370 MWe

核电份额



69.0 %

在建反应堆



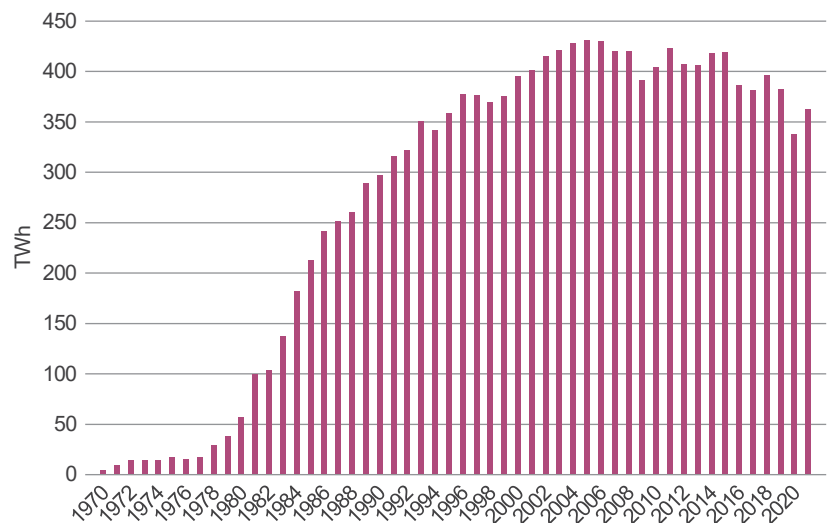
1630 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



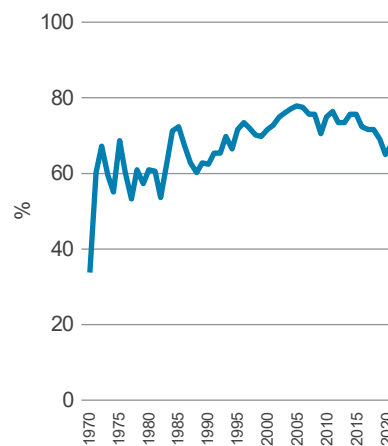
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



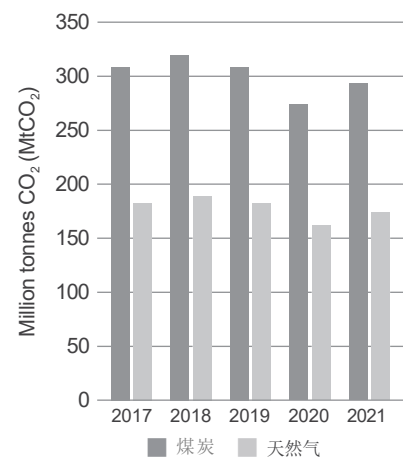
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

德国

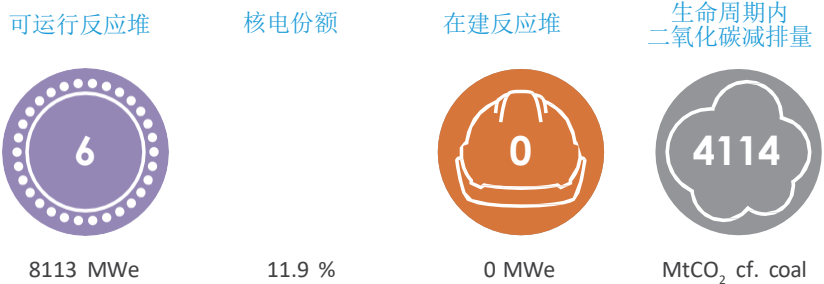
作为德国2022年底关闭所有核反应堆政策的一部分，德国的核电容量已从2010年的20.5 GWe下降到4.1 GWe。布罗克多夫(Brokdorf)、格罗恩德(Grohnde)和贡德雷明根C (Gundremingen C)核电站于2021年12月31日星期五关闭，该国只有三个运行中的反应堆。

2021年10月，25位外国和德国的环保主义者、记者和学者牵头向德国公众写了一封公开信，警告说该国逐步淘汰核能将导致该国无法实现2030年的碳排放目标。出版于《世界报》的这封信呼吁德国政界人士要“足够勇敢”，改变立法，至少推迟该国反应堆的关闭。

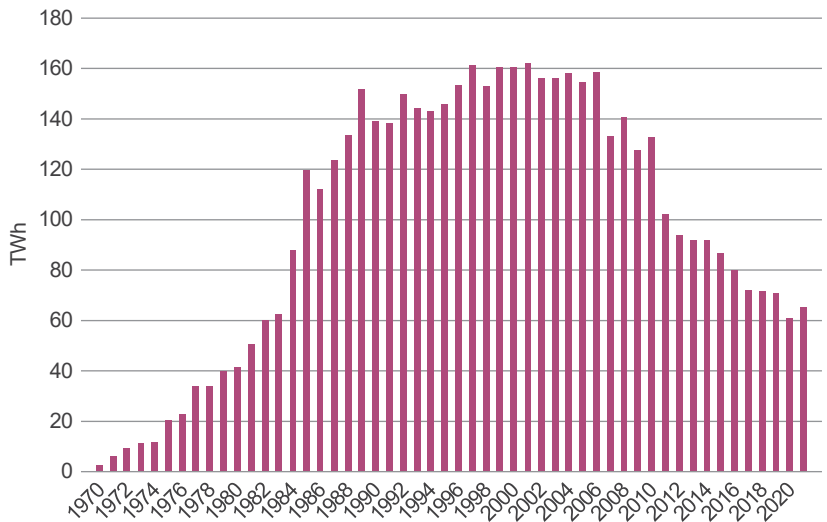
鉴于俄乌冲突，国际能源署(IEA)制定了一份十项计划，可以使欧盟减少从俄罗斯进口天然气。IEA确定的十项措施之一是“最大限度地利用生物能源和核能发电。”德国尤其依赖俄罗斯的天然气。

尽管对供应安全的担忧十分严重，但德国经济部长罗伯特·哈贝克(Robert Habeck)在2022年5月表示，延长该国剩余三座反应堆的寿命将“在整体成本太高的情况下收效甚微”。

在俄罗斯切断对德国的天然气运输的情况下，该国临时计划恢复燃煤和燃油发电厂。

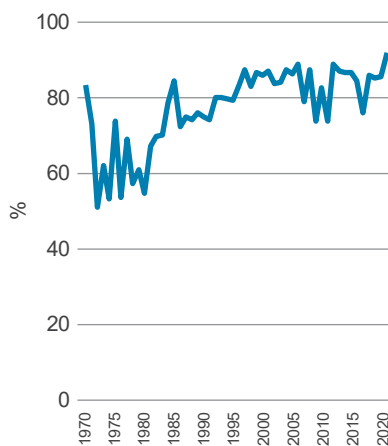


核电发电量



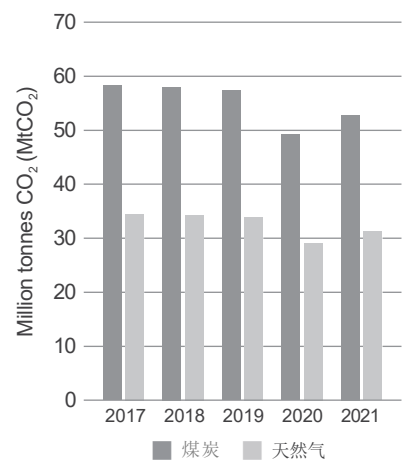
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

匈牙利

四个VVER-440反应堆在布达佩斯以南100公里的保克什（Paks）核电站运行，总容量为1902 MWe。该电厂生产了匈牙利约一半的电力，但仅仅满足了约三分之一的电力需求，因为匈牙利约三分之一的电力需求依赖进口。

对于2020年7月提交的在帕克斯建造两座新VVER-1200反应堆的申请，匈牙利原子能局有12个月的时间做出决定。但在10月时，其宣布需要更多时间“全面验证所有要求”。

2022年1月，项目公司AtomerőműZrt提交了在保克什II建造第一个新机组的安全壳的申请，这是该场地核设施的第一个该类型的监管申请。

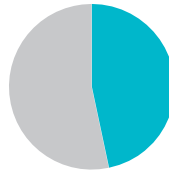
2022年5月，匈牙利表示尽管俄乌冲突爆发，但已从俄罗斯Rosatom得到保证，项目依然会正常完成。

可运行反应堆



1902 MWe

核电份额



46.8 %

在建反应堆



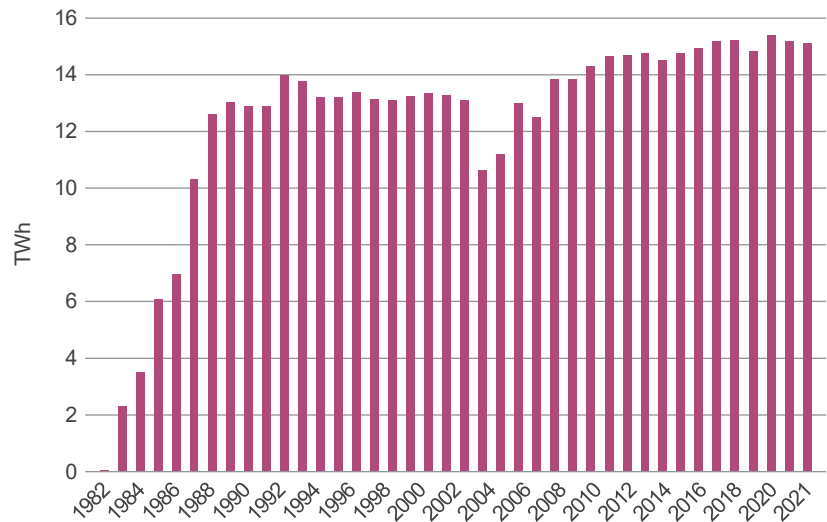
0 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



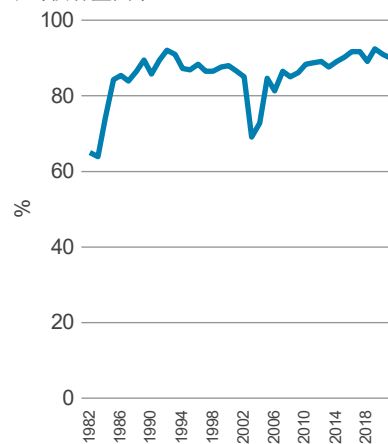
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



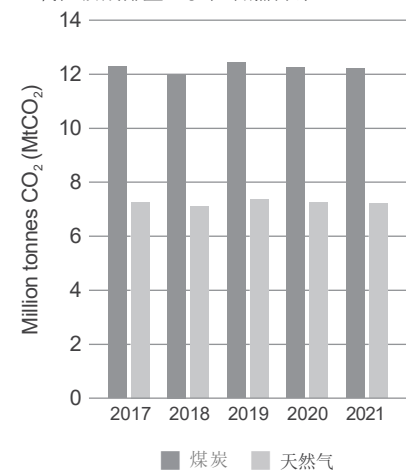
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



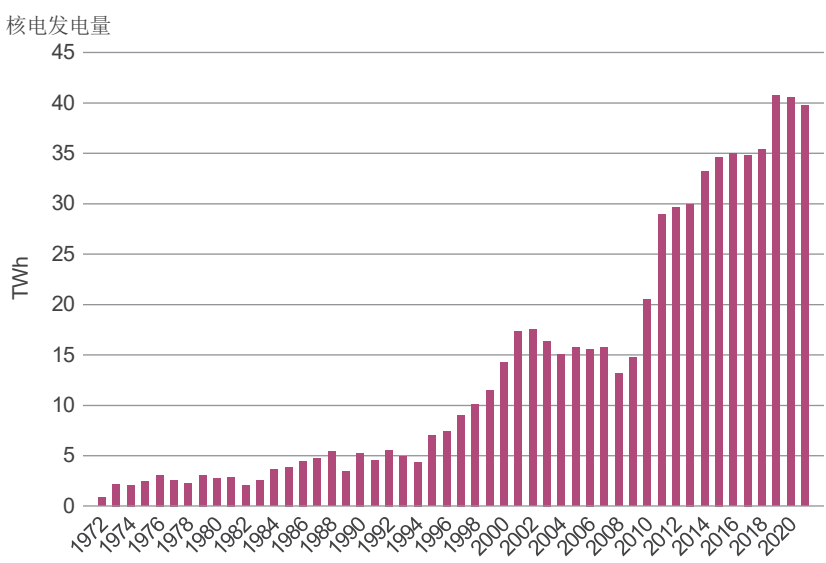
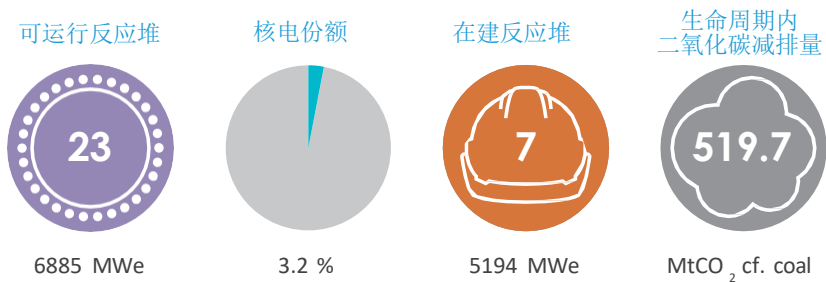
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

印度

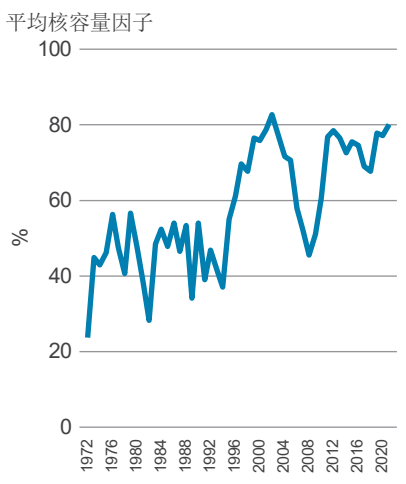
印度在七座核电站拥有23座可运行的反应堆。大多数反应堆是本土设计的加压重水反应堆（PHWR）。两台VVER-1000机组已经于2013年和2016年在库丹库拉姆(Kudankulam)电厂开始运营，另外四台VVER-1000机组正在建造，其中5号和6号机组已于2021年6月和2021年12月开始建造。库丹库拉姆电厂是印度和俄罗斯之间的长期项目，始于1988年的一项政府间协议。在印度南端还计划开发另外一对反应堆，有可能是VVER-1200装置。

2022年3月，该国在钍基封闭燃料循环准备工作中发挥关键作用的快中子增殖试验堆在首次运行35年后首次达到40 MWt的设计功率水平。500 MWe原型快中子增殖反应堆的工作仍在继续，政府于2021年12月表示，建设将于2022年10月完成。

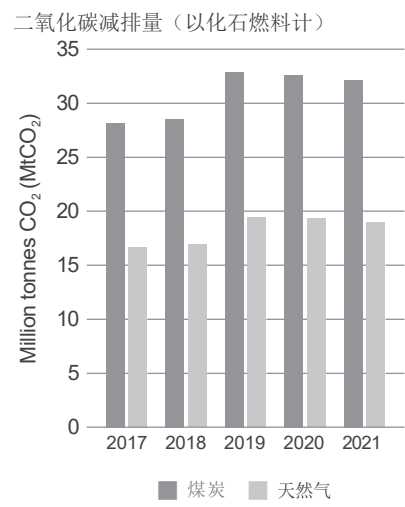
2021年4月，EDF向NPCIL提交了一份具有约束力的技术商业报价，以在马哈拉施特拉邦的杰塔普(Jaitapur)建造六个EPR反应堆。2022年5月，在纳伦德拉·莫迪总统访问法国后，法国总统马克龙办公室发表声明称，双方“重申了对杰塔普(Jaitapur) EPR战略项目成功的承诺，以获取可靠、负担得起的低碳能源，并欢迎过去几个月取得的进展。”一旦建成，这六个机组将能够为大约7000万印度家庭供电。



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

伊朗

在伊朗的布什尔（Bushehr）基地，有一座VVER-1000机组正在运行，距离设拉子市西部约180公里。

2019年，在同一选址开始建造第二座VVER-1000，并计划建造第三个反应堆。

自2015年以来，伊朗的核活动一直是根据伊朗、中国、法国、德国、俄罗斯、英国和美国商定的《联合全面行动计划》（JCPOA）进行的。根据《联合全面行动计划》的条款，伊朗同意限制其铀浓缩活动，消除其中浓缩铀的库存，并在随后的15年内限制其低浓缩铀的库存。

2018年，美国退出协议并对伊朗实施制裁，2021年1月，国际原子能机构报告称，伊朗已在其地下福尔道工厂恢复了铀浓缩，纯度达到20%。

2021年7月，国际原子能机构（IAEA）表示，伊朗已通知该机构，其打算使用本国生产的丰度达到20%的铀-235，为德黑兰研究堆（TRR）制造燃料。法国、德国和英国的外长在一份声明中说，这一行动“严重违反”了伊朗在《联合呼吁书》中的承诺。

从2021年到2022年至今，IAEA一直在促进JCPOA缔约国家之间的谈判，但这些努力还没有结果。

可运行反应堆



915 MWe

核电份额



1.0 %

在建反应堆



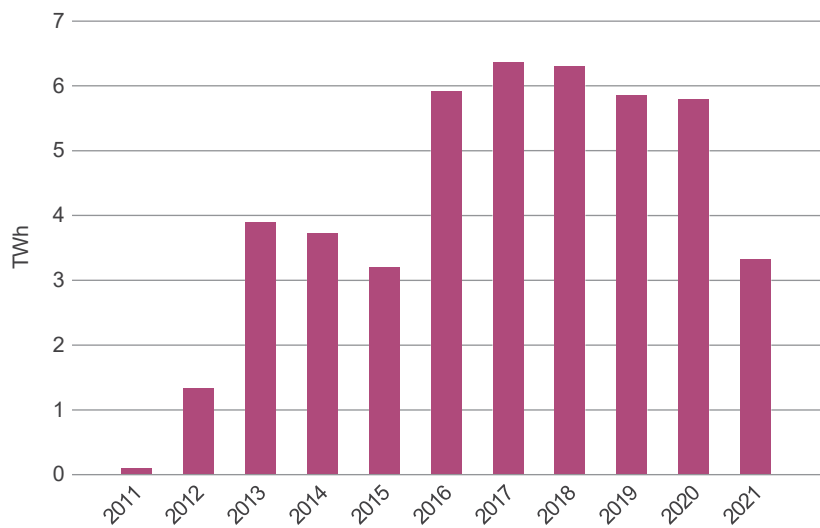
974 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



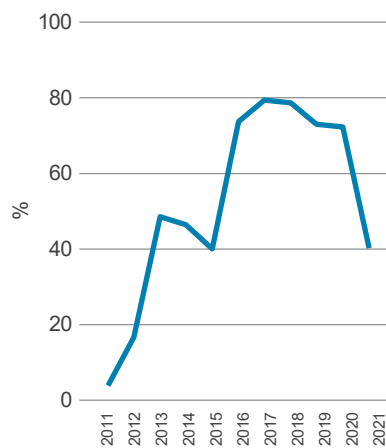
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



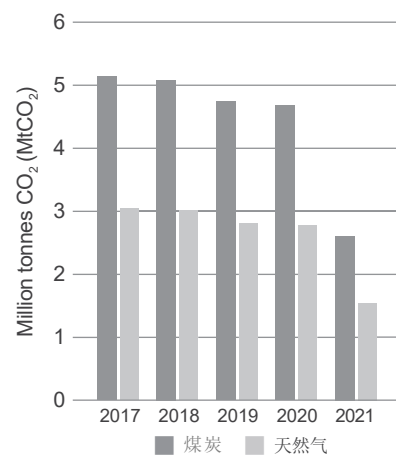
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

日本

在2011年3月的海啸和随后发生的福岛第一核电站事故后，日本的所有反应堆都必须获得监管部门的批准才能重新启动。目前为止，已有10个反应堆重新启动，16个反应堆正在进行重新启动审批。

日本首相表示，在俄乌冲突爆发后，日本将重启核反应堆以减少对俄罗斯能源的依赖。

2021年8月，日本原子能机构（JAEA）恢复了位于茨城县大洗的30 MWt特高温试验反应堆的运行。2022年4月，日本原子能机构和三菱重工（MHI）宣布将在高温工程实验堆（HTTR）建立一个示范性的氢气生产项目。日本政府在2021年10月批准的基本能源计划指出，高温气冷反应堆将被用于生产氢气。

2021年9月，日本监管机构批准重启岛根2号机组——一座789 MWe的沸水反应堆。因为中国电力株式会社必须获得当地监管部门的同意，因而其重启时间预计将在2022年中期。

日本对SMR的兴趣越来越高。2022年1月，JAEA、三菱重工（MHI）和三菱FBR系统公司同意与美国SMR开发商泰拉能源（TerraPower）合作开发钠冷快堆。2022年4月，日本国际合作银行向NuScale Power注资1.1亿美元。

可运行反应堆



31,679 MWe

核电份额



7.2 %

在建反应堆



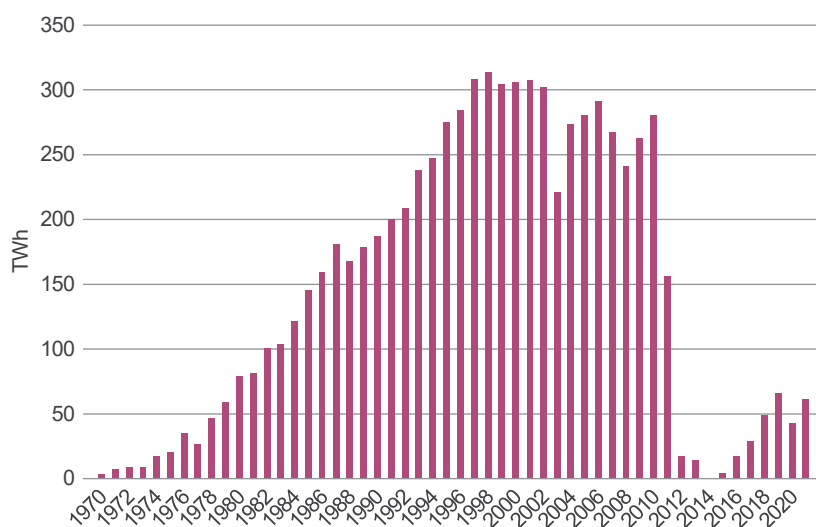
2653 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



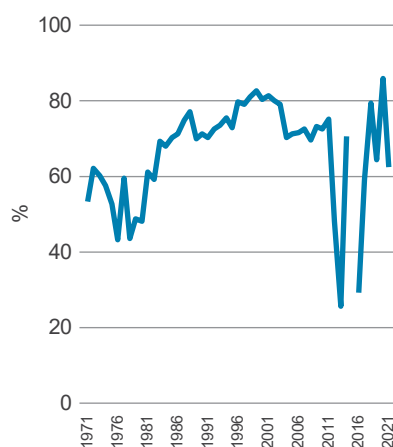
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



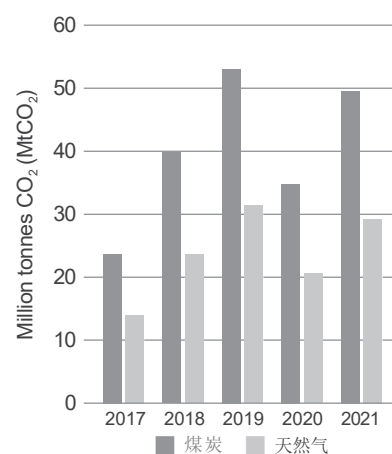
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

墨西哥

墨西哥有两个可运行的核反应堆，位于该国东海岸，距离首都墨西哥城以东285公里。

2020年7月，墨西哥能源部最终批准将Laguna Verde的1号机组的运营许可延长30年到2050年。2号机组的延期申请正在审查中。

2021年10月，该国总统安德烈斯-曼努埃尔-洛佩斯-奥布拉多提议进行改革，使联邦电力委员会（CFE）--Laguna Verde核电站的所有者--成为一个垂直整合的国家机构。该提议如果获得通过，将有效反转2014年为给市场引入更多竞争而进行的改革。

可运行反应堆



1552 MWe

核电份额



5.3 %

在建反应堆



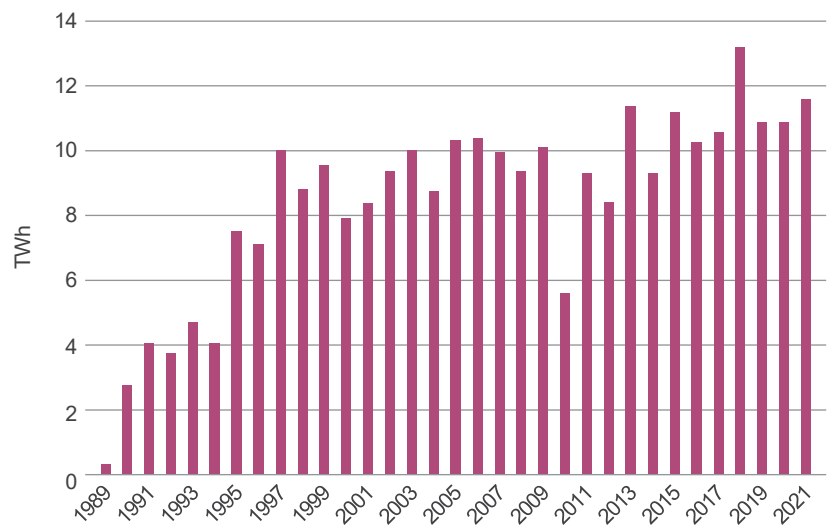
0 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



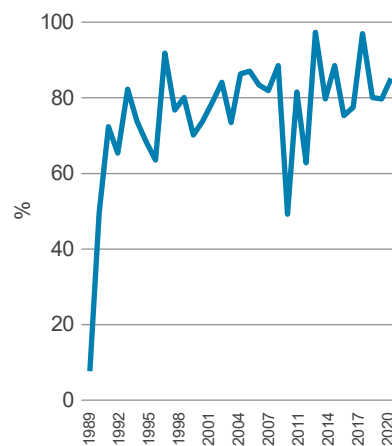
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



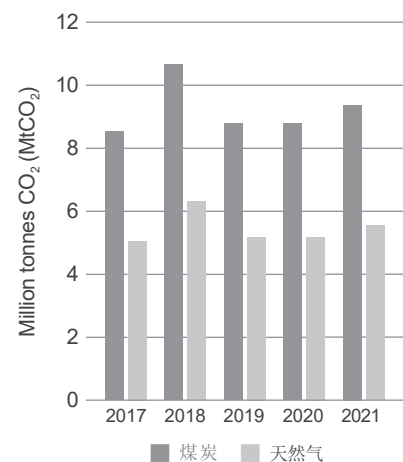
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

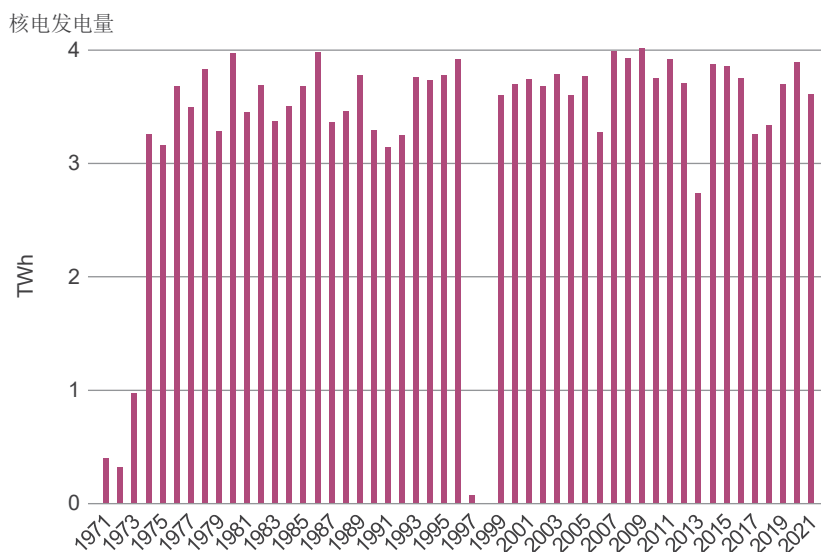
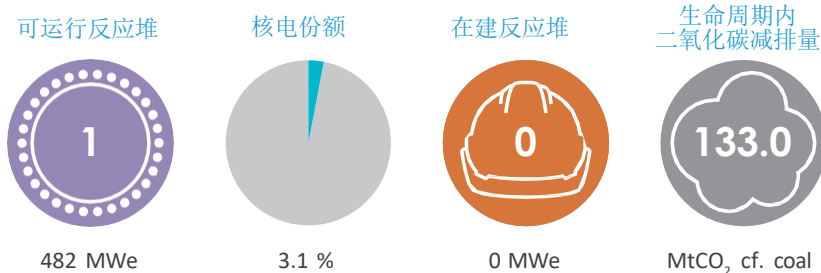
荷兰

在鹿特丹西南约70公里的博尔瑟勒 (Borssele) 有一个485 MWe PWR正在运行。

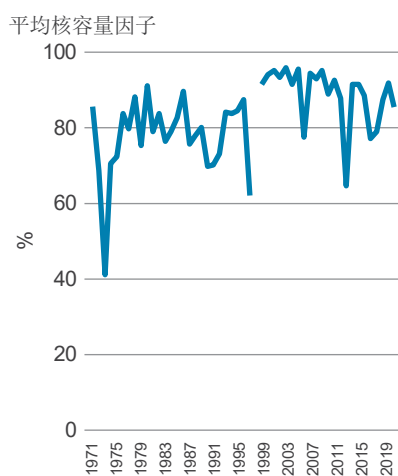
在政府于2018年5月宣布到2030年逐步淘汰燃煤发电的法律草案之后，人们逐渐重新燃起对核能的兴趣。

2021年4月，荷兰非政府组织e-Lise基金会发布了一份白皮书，其中包含13条建议，以帮助荷兰政府实现建设新的核电站。2021年7月，一项应荷兰经济事务和气候政策部要求的毕马威研究得出结论，荷兰的市场参与者将投资建设新的核电设施——其中包括承包商，运营商以及供应商。

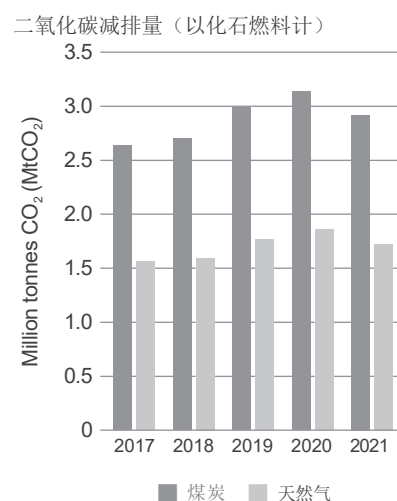
2021年12月，荷兰联合政府将核电置于其气候和能源政策的核心，宣布计划建造两座新的核动力反应堆。博尔瑟勒(Borssele)核电站也将保持更长时间的运行，并指定约50亿欧元用于支持到2030年新建核能项目。该文件确定了核能在减少荷兰对天然气进口的依赖方面的作用，并表示它“可以在能源结构中补充太阳能、风能和地热能，可用于生产氢气”。



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

巴基斯坦

巴基斯坦在两处地址共有六个运行中的核反应堆，均由中国提供：其分别位于伊斯兰堡西南200公里的内陆的恰什马和东南海岸的卡拉奇。

恰希玛(CHASHMA)核电站的四台机组是为CNP300型号——基于中国的秦山1号反应堆建设。第一座反应堆于2000年上线，第四个机组于2017年并网。随着这些反应堆的启动运行，巴基斯坦反应堆的总容量因子已上升到与全球水平相当的程度。

卡拉奇拥有两台中国设计的HPR1000机组（华龙一号的出口型号）。第一台机组于2021年3月并网时，几乎使巴基斯坦的核能发电量翻了一番。一年后2022年3月，第二台机组并网。

卡拉奇选址，也被称为KANUPP，是巴基斯坦第一座核动力反应堆卡拉奇1的所在地——一座100 MWe（净容量90 MWe）的加压重水反应堆，其在运行50年后已于2021年关闭。

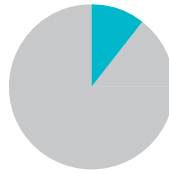
由于巴基斯坦不是《核不扩散条约》的签署国，它无法在公开市场上购买铀。中国核燃料有限公司（CNN）同意向巴基斯坦提供反应堆的终生燃料供应，规定期限为60年。

可运行反应堆



2332 MWe

核电份额



10.6 %

在建反应堆



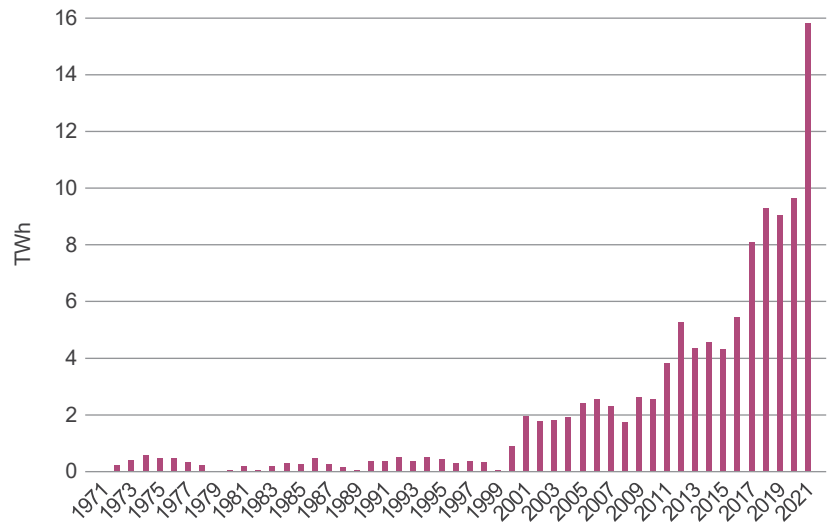
1014 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



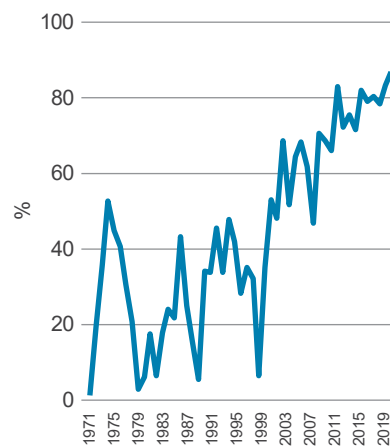
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



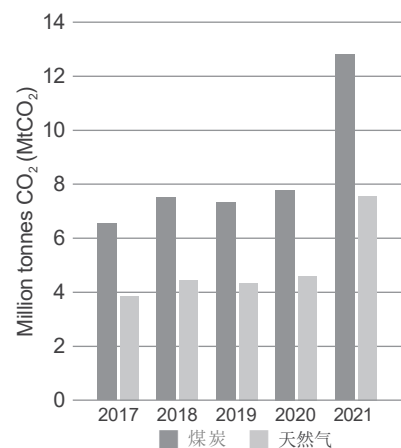
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

罗马尼亚

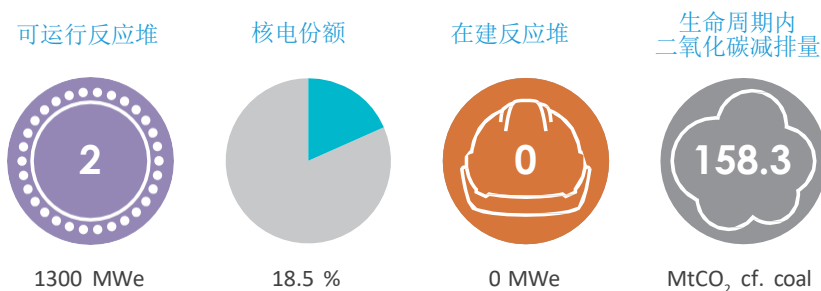
两台CANDU-6 PHWR在切尔纳沃达（Cernavoda）核电站运行，该核电站直接与切尔纳沃达镇相邻，距离布加勒斯特150公里。除了电力之外，该电厂还为切尔纳沃达镇提供区域供暖。

切尔纳沃达原计划是一个有五个反应堆机组的电厂，但后来的工作被暂停，以专注于完成1号单元，以及后来的2号单元。

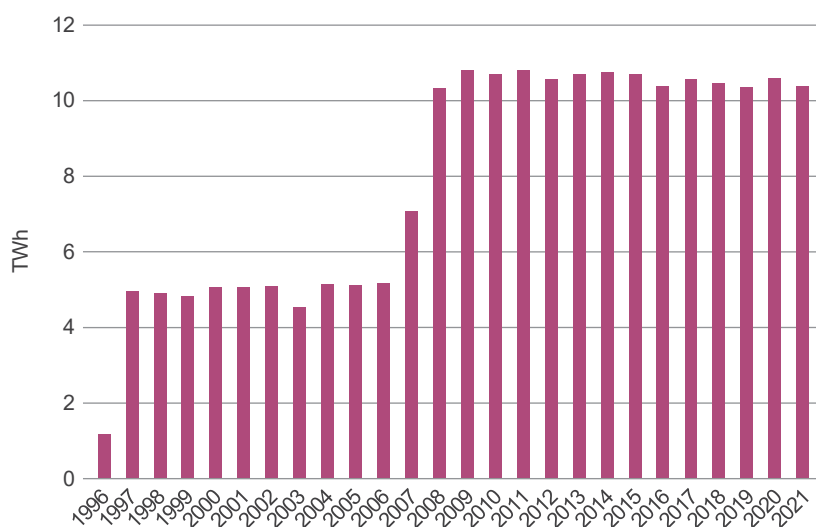
自2020年以来，罗马尼亚一直在努力组建一个国际团队来完成第三和第四个机组的建设。2020年10月罗马尼亚与美国和法国都签署了政府间协议。2021年8月，也与加拿大签署了类似的协议。

2021年10月，罗马尼亚政府通过了《国家能源和气候变化综合计划》。其确认了在2031年之前在切尔纳沃达建造两个新的坎度堆（Candu）的计划，并对现有的两个反应堆进行翻新。翻新工作将使1号和2号机组在原有的30年运行寿命之外再增加30年。2021年11月，加拿大原子能公司获得了3号和4号机组相关的许可证的合同。

罗马尼亚也对使用SMR感兴趣。在2021年11月的一份联合声明中，NuScale和切尔纳沃德(Cernavoda)核电站业主以及运营商罗马尼亚国家核电公司（Nuclearelectrica）表示，他们已经签署了一份“合作协议”，可能在2027/2028年在该国部署第一个SMR。

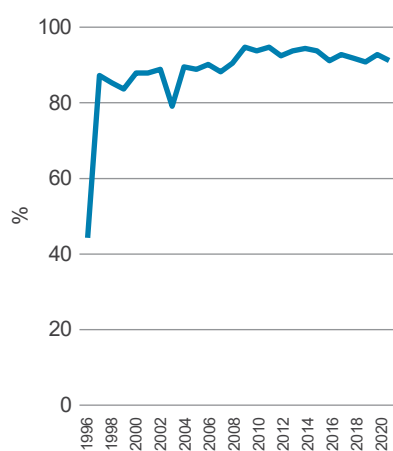


核电发电量



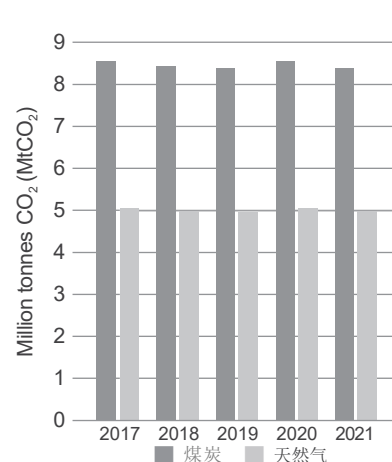
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

俄罗斯

俄罗斯有37个可运行的反应堆，其中大部分位于西部地区。另外还有三个反应堆正在建设中：库尔斯克电厂的两个大型VVER-1200机组，以及位于塞韦尔斯克的新一代示范性快速反应堆BREST-300-OD。

俄罗斯是核技术和燃料的主要出口国。截至2022年6月，共有17座VVER反应堆在俄罗斯以外的国家建设，分别是土耳其（3）、伊朗（1）、印度（4）、斯洛伐克（2）、白俄罗斯（1）、孟加拉国（2）和中国（4）。2022年5月，芬兰的Fennovoima公司宣布，决定终止与俄罗斯原子能公司下属的RAOS项目签订的汉希基维项目的EPC合同。

俄罗斯原子能公司已经推进其使用陆基和浮动SMR的计划，以用来为偏远社区和工业场所提供电力。2021年7月，与KAZMinerals公司签署了一项协议，协议中提到其将提供三个浮动装置，每个装置采用一对RITM-200M反应堆，为西伯利亚东部楚科奇地区的新的Baimskaya铜矿项目提供电力。

俄罗斯的第一个陆基SMR将基于RITM-200反应堆建造，计划于2028年在俄罗斯北极城镇Usk-Kuyga开始运行。

俄罗斯在2022年2月宣布，截至2021年底，BREST-300-OD反应堆的建设比计划提前了8%。因此，俄罗斯国家原子能公司（Rosatom）表示，预计该反应堆将于2027年完成，比之前的计划提前一年。

可运行反应堆



28,578 MWe

核电份额



20.0 %

在建反应堆



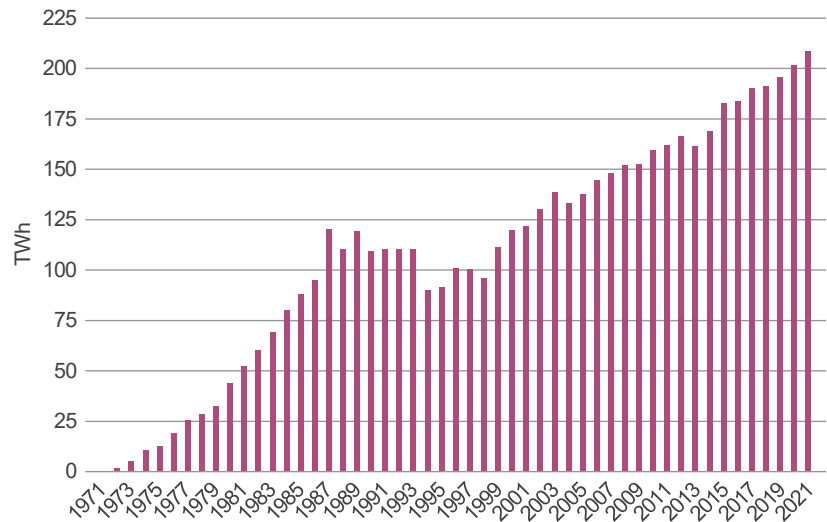
2350 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



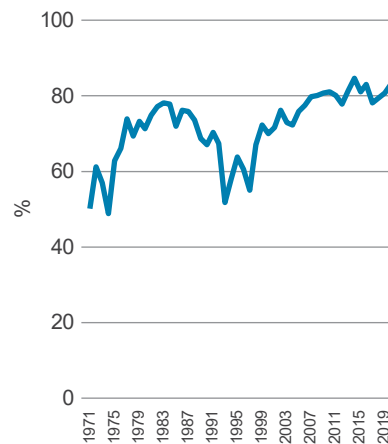
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



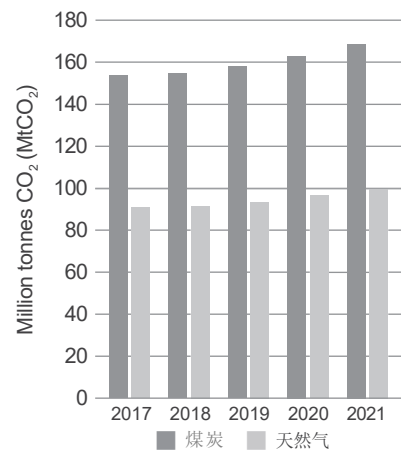
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

斯洛伐克

斯洛伐克有两座核电站，都拥有两座VVER-440反应堆：波胡尼斯(Bohunice)，位于布拉迪斯拉发东北140公里，莫霍夫采(Mochovce)，位于布拉迪斯拉发以东100公里。

莫霍夫采核电站的另外两个反应堆最初于1987年开始建设，之后于1992年停止。2009年重新开始建设，但由于奥地利反核组织Global 2000的反复呼吁，其启动时间被推迟。3号机组于2021年5月获得运行许可证，2022年1月获得调试许可证。

运营商斯洛伐克电力公司(SE)预计，这两座新的VVER-440反应堆的总容量为942 MWe，每年可生产约7 TWh，将满足斯洛伐克约10-15%的电力需求。斯洛伐克经济部2021年8月的一份报告显示，一旦向国家电网供电，Mochovce 3将使斯洛伐克成为净电力出口国。

可运行反应堆



1837 MWe

核电份额



52.3 %

在建反应堆



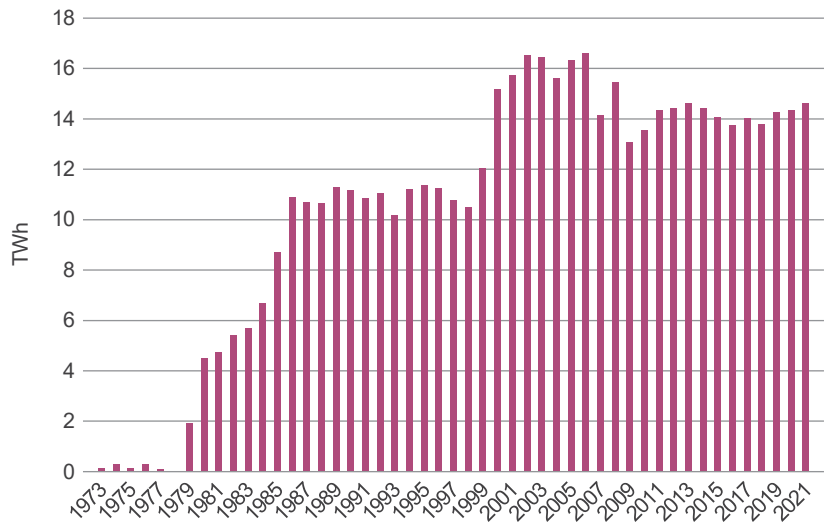
880 MWe

生命周期内二氧化碳减排量



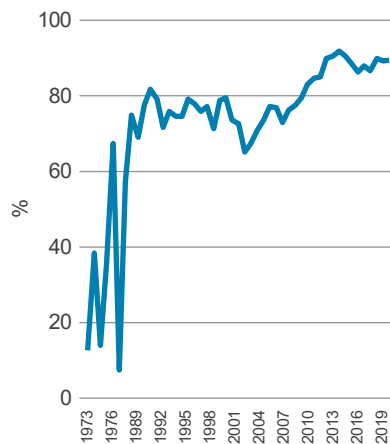
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



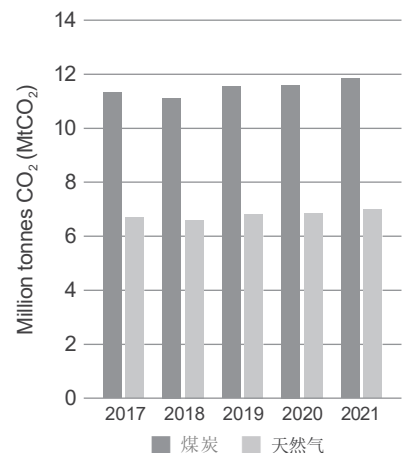
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

斯洛文尼亚

斯洛文尼亚在萨格勒布东北约40公里处的Krško有一个独立的反应堆在运行。它是一个双回路的西屋压水堆，净容量为688 MWe。

该电厂的运营公司

NuklearnaElektrarna Krško (NEK)

，由斯洛文尼亚国有公司GEN-

Energija和克罗地亚国有公司

Hrvatska elektroprivreda (HEP) 共同所有。

该工厂的发电量约占斯洛

文尼亚总发电量的35%-40%，满足

了斯洛文尼亚四分之一以上以及克

罗地亚15%的电力需求。

2020年5月，斯洛文尼亚基础设施部

长耶内伊·伏尔托维茨(JernejVrtovec)

表示，该国最迟将于2026年决定是

否在Krško厂区建造第二个机组。

2021年7月，该国基础设施部向GEN-

Energijafor颁发了能源许可证，拟

议的第二个反应堆被称为JEK2项目

，允许开始许可证程序。

GEN集团提议在2035年之前，通过

建设一个装机容量为1100 MWe的新

反应堆，以及Mokrice水电站与增加的

1000 MWe的太阳能电池板，可以

实现斯洛文尼亚所有发电的脱碳。

可运行反应堆



688 MWe

核电份额



36.9 %

在建反应堆



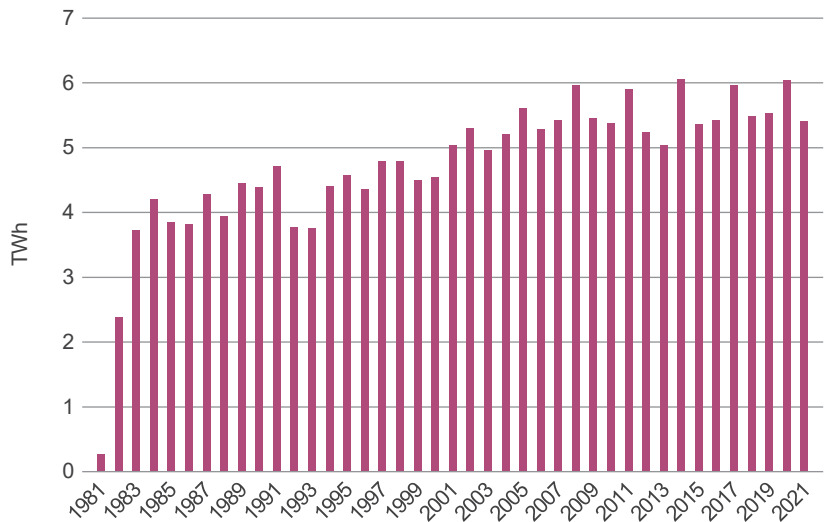
0 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



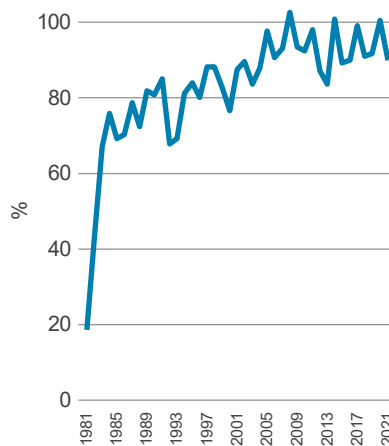
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



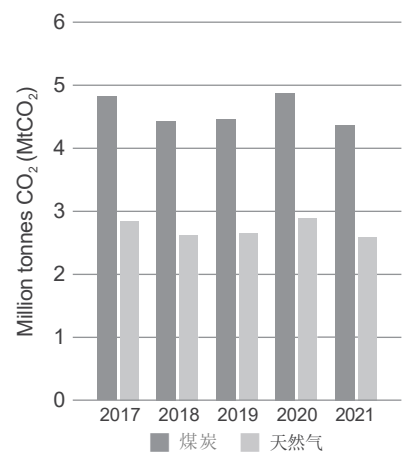
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



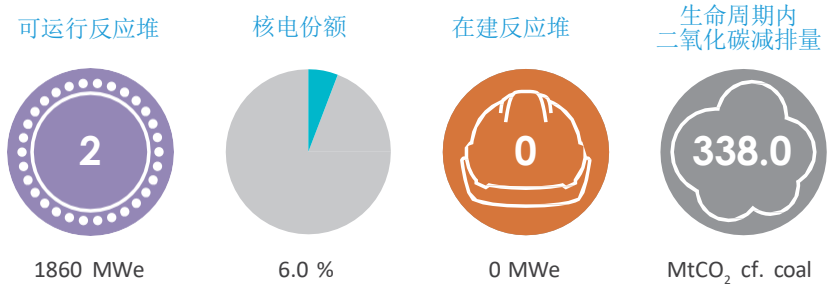
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

南非

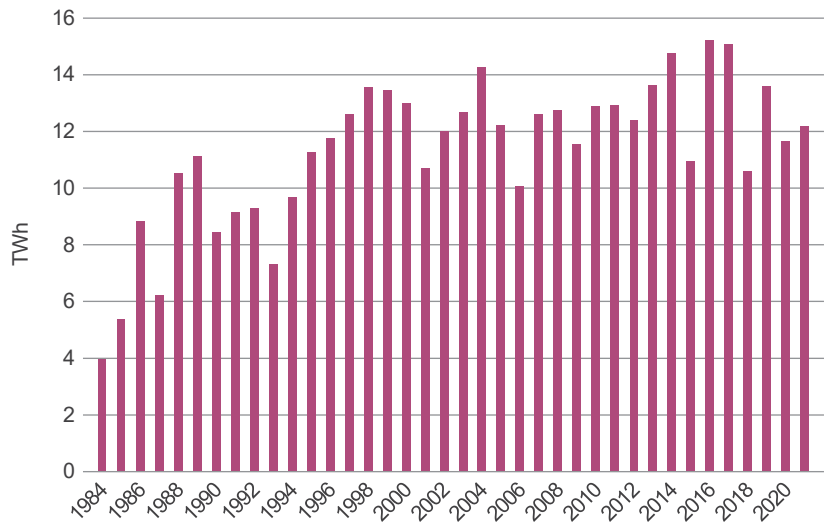
南非仅有一个的核电站，库贝赫 (Koeberg)，位于该国西南部，开普敦以北30公里处。该电厂的两个反应堆分别于1984年和1985年接入电网，总容量为1854 MWe，是非洲仅有的两个运行的商业核电反应堆。

南非电力公司(ESKOM)，库贝赫的所有者，正寻求将两个反应堆的运行时间延长20年至2045年，以达到总运行寿命60年。2022年1月，库贝赫2号反应堆脱机补充燃料，更换其反应堆压力容器头和三个蒸汽发生器。这项工作原计划需要5个月，但由于担心反应堆无法在冬季高需求时期及时恢复使用，因此在3月被推迟。该机组已于5月恢复运行，更换工作将在2023年8月下一次计划停运期间进行。2022年3月早些时候，国际原子能机构完成了一项长期运行 (SALTO) 安全方面的任务，以审查Eskom的寿命延长计划。

2022年2月，南非矿产资源和能源部发布了一份关于2500 MWe新核电容量的招标书。其目标是在2024年前完成新产能的采购。2022年3月，政府发布了《2050年国家基础设施计划》。该计划指出：“从化石燃料的过渡将以可衡量、公正和持续的方式进行。新的装机容量将主要由风能、太阳能和核能组成，南非在这方面具有竞争和比较优势”。

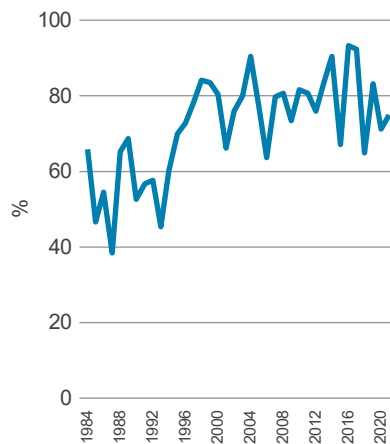


核电发电量



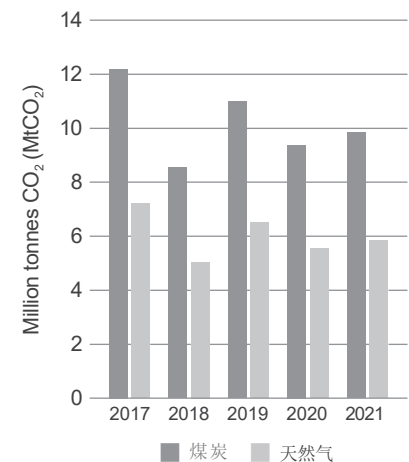
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

韩国

韩国有24座反应堆在运行，共同提供了韩国约三分之一的电力需要。

2022年3月，新总统尹石烈当选。他在竞选中拒绝了其前任采取的逐步淘汰核能的政策，并承诺促进对该国国内和出口核工业的投资。2022年5月，即将上任的贸易、工业和能源部工业部长李长洋说，核电是“实现能源安全和碳中和的主要手段。”

2022年6月，新哈努尔核电站的1号机组并网。2017年2月，该电厂另外两台机组的开发许可证签发，但在2017年5月，根据政府的淘汰政策，韩国水电和核电公司（KHNP）指示Kepco工程建设公司暂停设计工作。2022年5月，尹政府宣布将于2025年开始建设另外两台机组。

新政府还表示，计划到2030年在国外取得10个新的核电站订单。1月份，KHNP被指定为埃及El Dabaa场地设备和材料合同的唯一投标人，该场地计划使用四台VVER-1200机组，4月，KHNP向波兰提交了建造六座APR-1400反应堆的报价。

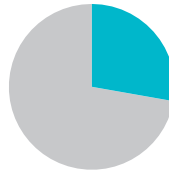
尽管前任总统采取了相关政策，但韩国国内对核电的广泛支持一直得以维持。在2021年9月代表韩国核学会对1000名成年人进行的民意调查中，72.1%的受访者表示支持使用核电。

可运行反应堆



23,150 MWe

核电份额



28.0 %

在建反应堆



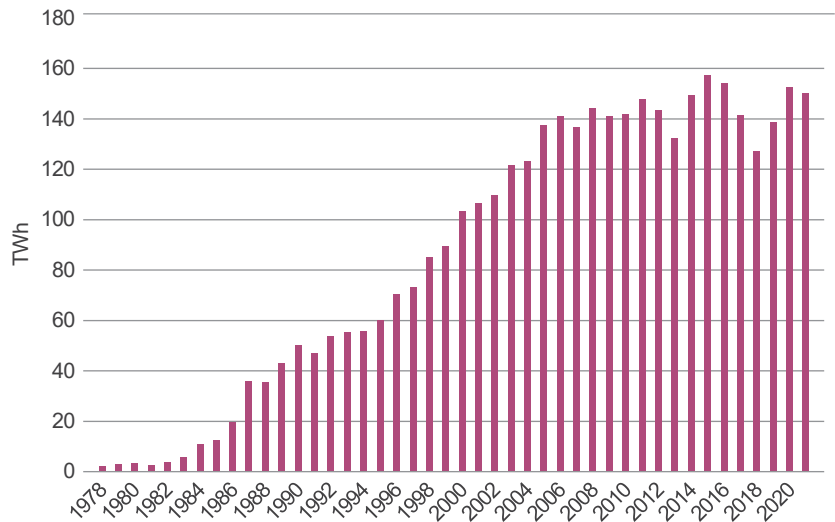
5360 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



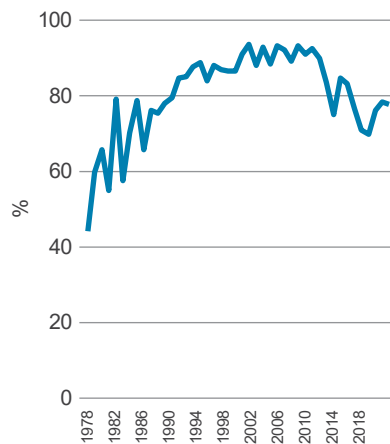
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



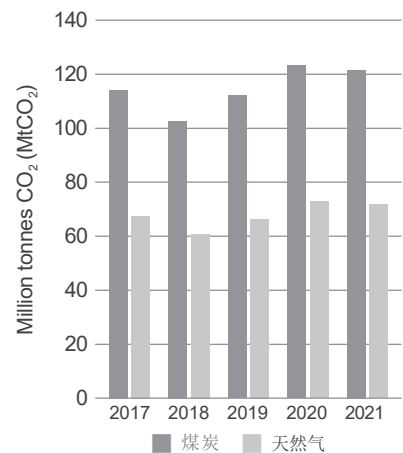
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



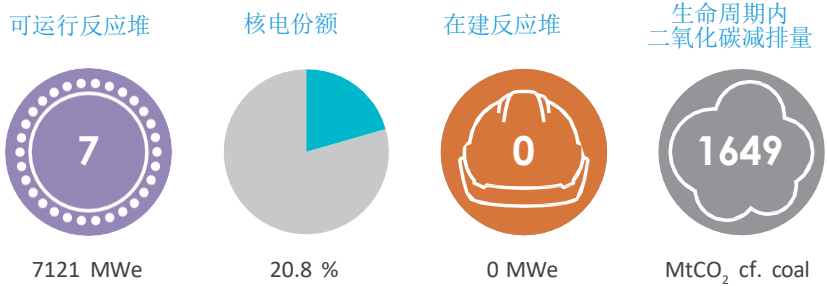
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

西班牙

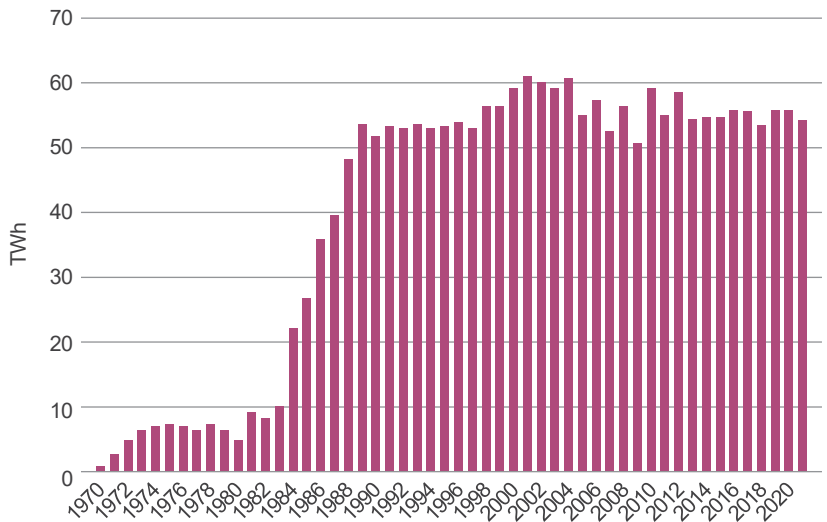
西班牙在全国五个地点拥有七个可运行的核反应堆。机组的总容量为7121 MWe，约占该国电力供应的20%。在1980年代的短短七年时间里，所有七座反应堆都完成了并网。

2011年，西班牙计划在2020年代结束其反应堆的运行，主要是因为其运行寿命将被限制为40年。目前该限制已被取消，正在运行的反应堆预计将在未来13年内关闭。

西班牙的目标是到2050年使用可再生能源发电。在2021年5月对该国能源政策的审查中，国际能源署(IEA)表示，西班牙应该考虑核能的可用性，包括非电力方向的应用，以多样化实现长期碳中和的技术选择。

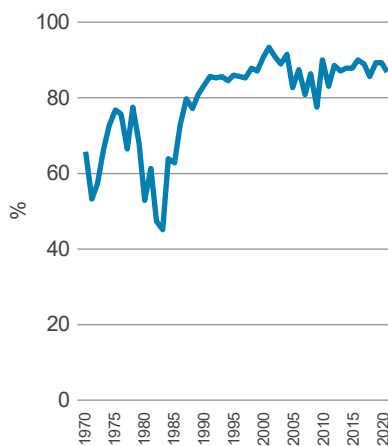


核电发电量



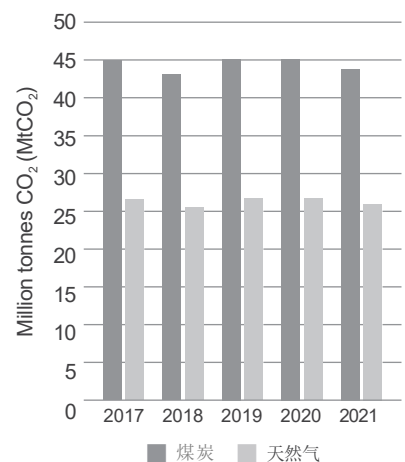
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

瑞典

瑞典有六个可运行的反应堆，分别位于灵哈尔斯(Ringhals)核电站、奥斯卡卡港(Oskarshamn)核电站和福斯马克(Forsmark)核电站。

2022年1月，瑞典政府批准在福斯马克建造一废弃核燃料最终储存库。这也使瑞典成为继芬兰后第二个授予商业核燃料储存库建设许可证的国家。

电力公司OKG于2022年1月与林德气体公司签署了一项协议，供应其将在奥斯卡卡港核电站生产的氢气。奥斯卡卡港核电站的设施使用发电厂的电力通过电解水生产氢气。在动力运行期间，将这种氢气添加到工厂的三个反应堆的冷却剂中，以通过减少冷却剂中游离氧的量来降低反应堆管道应力腐蚀开裂的风险。但由于当前只有3号机组需要氢气，因此电厂氢气产能现处于过剩阶段。

2022年2月，瑞典能源署宣布已授予Uniper Sweden和LeadCold基金之间的合资企业，超过9900万瑞典克朗（1060万美元）资金，以支持在奥斯卡卡港现场建造示范LeadColdSEALER（瑞典先进铅反应堆）。在此之前，2021年2月其宣布UniperSweden、LeadCold和皇家理工学院将在2030年之前共同建设示范机组。

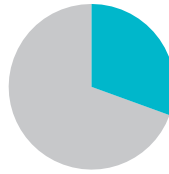
此外，Kärnfull Future的全资子公司Kärnfull Next于2022年3月宣布，其将与通用日立核能公司合作在瑞典部署BWRX-300。

可运行反应堆



6882 MWe

核电份额



30.8 %

在建反应堆



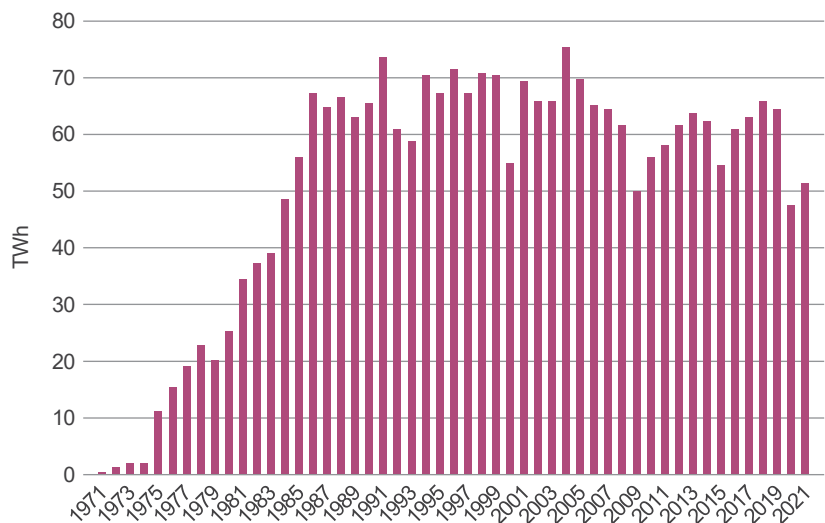
0 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



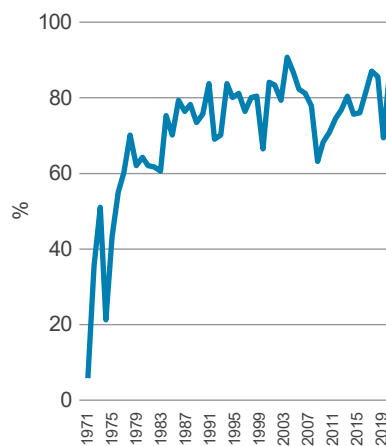
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



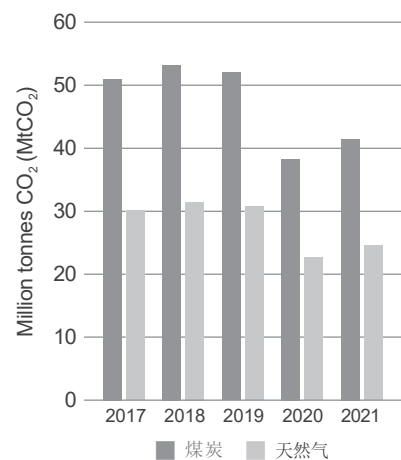
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

瑞士

瑞士苏黎世西南30公里处的贝兹瑙核电站(Beznau)有两座反应堆；在苏黎世西南40公里处的戈斯根(Gösgen)核电站有一座反应堆；在苏黎世西北35公里处的莱布施塔特(Leibstadt)有一座反应堆。位于米勒贝格的第五座反应堆在运行了47年后于2019年12月停产。

瑞士在2017年5月的全民公投中投票批准了该国能源政策的修订，以促进使用可再生能源和节约能源。修订后的《联邦能源法》依然禁止建造新的核电站。

2018年10月，国际能源署(IEA)警告称，瑞士分阶段退出核电对维护电力安全构成挑战。2021年7月，有媒体报道称，瑞士政府正在讨论推迟国内核电站的预定关闭时间。

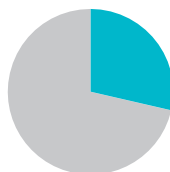
在冬季，瑞士依赖从欧盟进口的电力。2021年5月，瑞士联邦委员会拒绝了体制框架协议，这是一项与欧盟谈判了7年的协议，该协议将取代瑞士与欧盟现有的电力共享协议，这引起了人们的关注。

可运行反应堆



2960 MWe

核电份额



28.8 %

在建反应堆



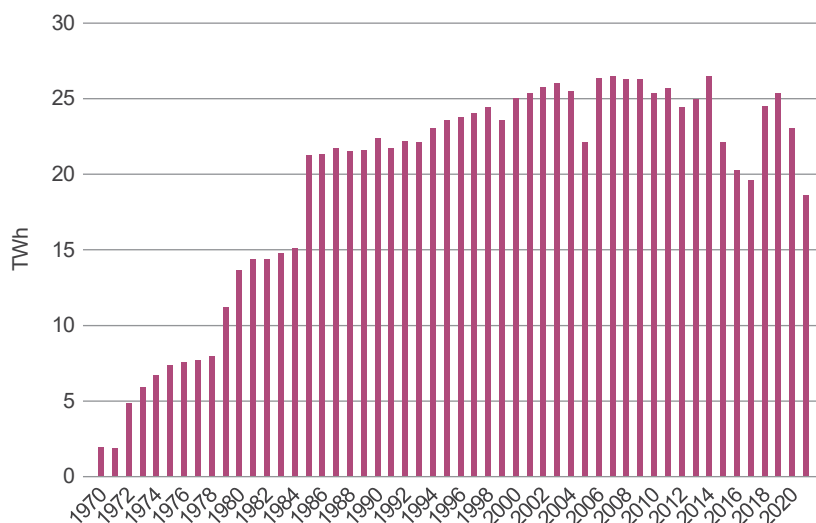
0 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



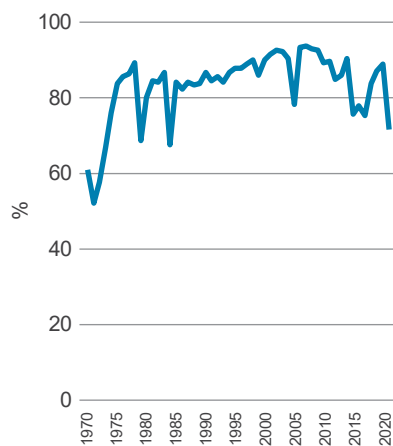
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



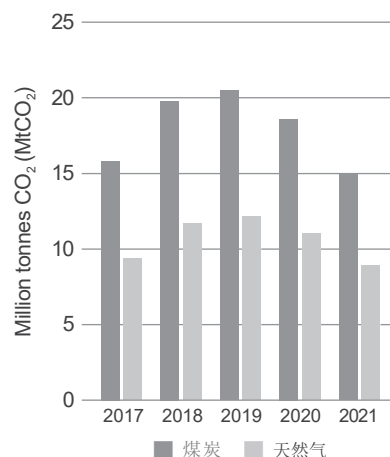
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



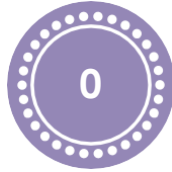
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

土耳其

土耳其南部海岸位于梅尔辛西南120公里处的阿库尤核电站正在继续建设中。

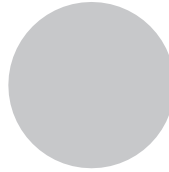
1号机组和2号机组分别于2018年4月和2019年开始施工。2020年11月，俄罗斯交付了1号机组的反应堆压力容器，并于2021年6月安装。2021年1月早些时候，GE Steam Power向该厂交付了四台涡轮机中的第一台。在2021年3月，3号机组的开始混凝土浇筑

可运行反应堆



0 MWe

核电份额



0 %

在建反应堆



0 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



MtCO₂ cf. coal

从2023年起，这四台机组预计将在四年内并网发电。全面投入运营后，电厂将满足土耳其约10%的电力需求。

2021年3月，Akkuyu 项目从俄罗斯联邦商业银行

获得了两笔高达2亿美元和1亿美元的贷款，期限为7年，以帮助为该项目融资。

贷款是按特殊条款提供的，包括降低利率以认可项目的可持续性证书。



Akkuyu 的早期建设。（图片1来源：Akkuyu 图片库，ROSATOM）

乌克兰

乌克兰的四座核电站发电量约占全国总发电量一半。全部15个反应堆都是俄罗斯设计的VVER机组，其中12个于20世纪80年代并网。

2022年2月，俄乌冲突爆发后。由此引发的战争直接影响了该国的核设施，最引人关注的是扎波罗热和切尔诺贝利。

2月24日，乌克兰通知国际原子能机构，俄罗斯军队已经控制了切尔诺贝利核电站的设施。一个多月后的3月31日，切尔诺贝利的控制权归还给了乌克兰方面的人员。

3月4日凌晨，扎波罗热核电站成为第一个受到武装袭击的正在运营中的民用核电站。部队夜间的战斗导致一枚射弹击中了一座训练大楼。六座反应堆没有受到直接影响。截至2022年6月，该厂仍在俄罗斯控制之下。

多年以来，特别是在2014年3月俄罗斯吞并克里米亚地区之后，乌克兰政府一直在寻求西方国家对其核电站的技术帮助和投资。

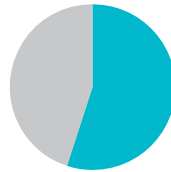
2022年1月，乌克兰政府批准了一项能源部计划，旨在使乌克兰在2027年前实现铀的自给自足。

可运行反应堆



13,107 MWe

核电份额



55.0 %

在建反应堆



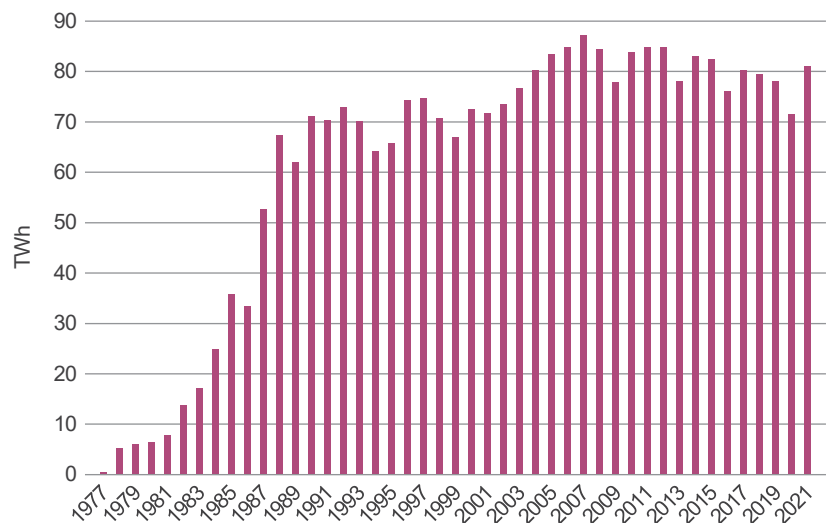
2070 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



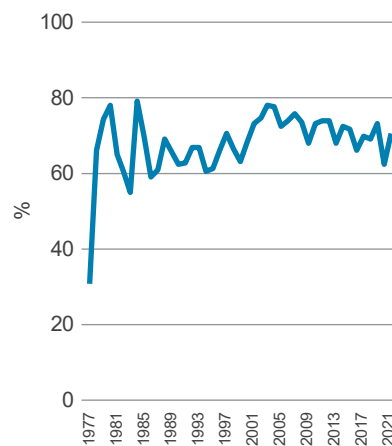
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



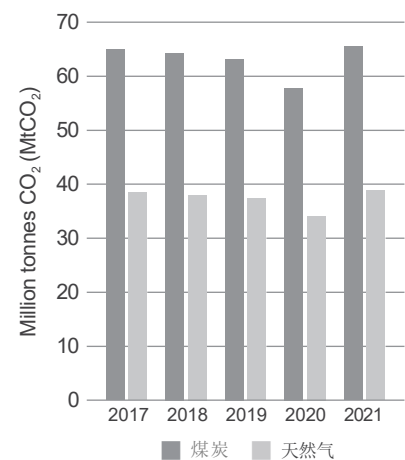
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

阿拉伯联合酋长国

阿拉伯联合酋长国的巴拉卡

(Barakah) 核电站有两个可运行的反应堆，该核电站位于阿布扎比以西250公里的海湾沿岸的达夫拉地区。第一台机组于2020年8月实现并网，第二台机组于2021年9月并网。

2021年11月，该基地的第三台机组的建设已经完成，预计于2023年启动。

一旦所有四个机组投入使用，该发电厂将为阿联酋提供25%的电力。

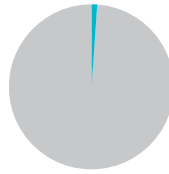
2021年9月，阿布扎比能源部 (DoE) 发布了一项实施清洁能源证书计划的监管政策。其中说明计划将迎合企业和消费者日益增长的愿望，并对气候变化作出贡献。该计划提供了一个基于国际公认标准的认证系统，并为可再生能源和核能属性交易市场奠定了基础。

可运行反应堆



1345 MWe

核电份额



1.3 %

在建反应堆



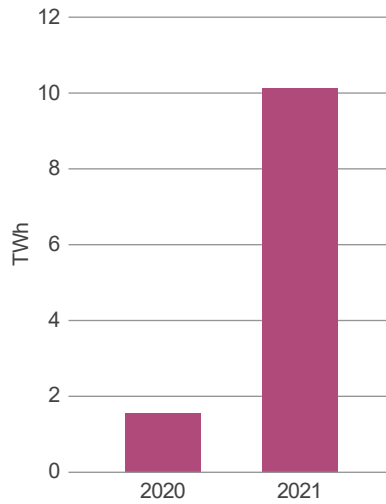
4035 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



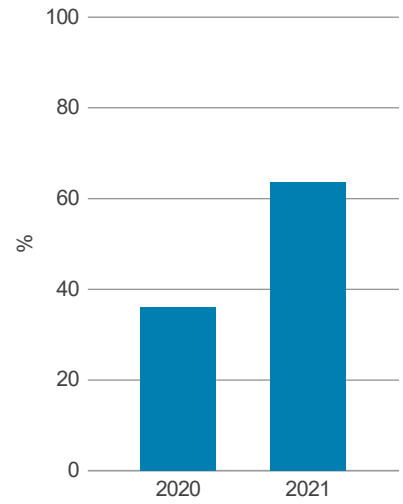
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



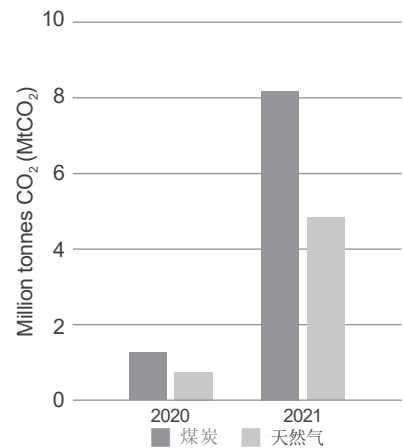
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量 (以化石燃料计)



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

英国

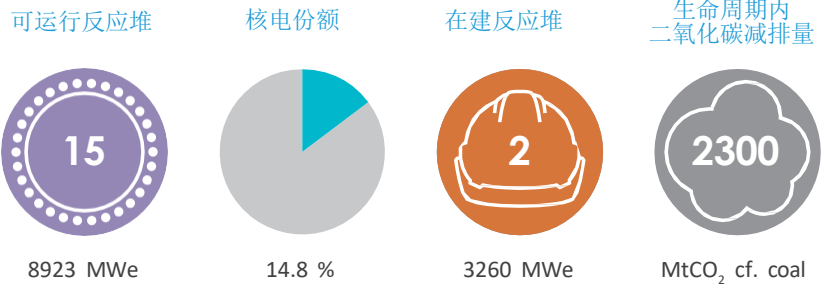
英国（UK）七个厂址中共有11座可运行中的反应堆，其中10座是先进的气冷反应堆（AGRs），还有一个压水堆在西泽韦尔(Sizewell)。大多数现有产能将在本世纪末退役，但新一代核电站的第一个项目正在英格兰西南部的欣克利角建造。

英国政府在2022年4月发布了能源安全战略。该战略提出除了SMR之外，还要建造八个新的反应堆的决心，以使核电在2050年之前能够满足该国大约25%的电力需求。

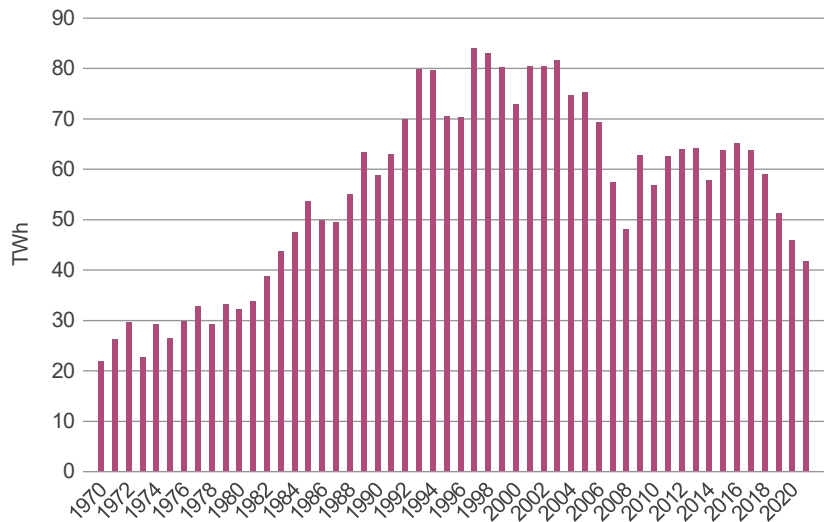
该项能源安全战略是由乌克兰的事件引发的，对英国核电方面有一系列积极的发展。2021年10月，英国政府制定了《核能（融资）法案》，该法案将采用规范的资产基础（RAB）模式来资助英国未来的核电站。几天后，英国政府在其秋季预算和支出的审查中宣布了高达17亿英镑的大型核电站直接政府资金。

2022年5月，EDF宣布将其欣克利角C项目推迟一年，并将其成本估算增加5亿英镑，达到220-230亿英镑。这也使得相比最初宣布的投入使用日期，总共推迟18个月。该公司表示，18个月的延迟主要是由于COVID-19疫情的影响。

2021年11月，罗尔斯-罗伊斯公司提交了其SMR设计，供英国核监管机构评估，并于2022年3月接受审查。

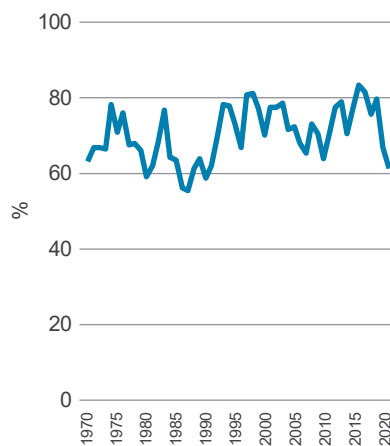


核电发电量



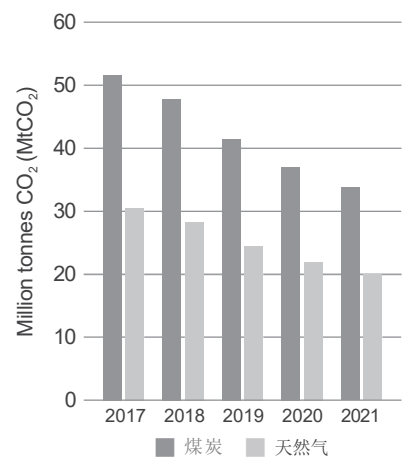
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

美国

美国有92个可运行的反应堆，总装机容量达到了94.7 GWe。

乔治亚州的沃格特勒(Vogtle)核电站正在建设两座AP1000反应堆。乔治亚州电力公司预计在2023年第一季度启动3号机组，随后在第四季度启动4号机组。

2021年9月，在伊利诺伊州参议院通过允许该州从核电站获得碳减排信用额度的能源方案后，艾塞隆电力公司(Exelon Generation)（现在的联合能源公司(Constellation Energy),宣布准备为拜伦(Byron)德累斯顿(Dresden)核电站补充核燃料。如果没有立法支持，这两座核电站原定将被关闭。

两党的《基础设施投资和就业法案》涉及620亿美元用于提供一个“更公平的清洁能源的未来”，其中就包括防止现有核电站过早退役和投资于先进的核项目。2022年2月，美国能源部宣布了60亿美元的民用核电信贷计划，其将为那些因经济因素而面临关闭风险的运营中的核电站分配信贷。

在加州，提供该州8%电力的阿布莱峡谷核电站(Diablo Canyon)仍然面临提前关闭的风险。2022年5月的一项民意调查发现，在当地和全州范围内都强烈支持该电厂延长其运行时间。21年11月，斯坦福大学、麻省理工学院和咨询公司Lucidcatalyst的一项研究得出结论，推迟该电厂的退役时间将减少电力部门的碳排放总额，减少对天然气的依赖，并节省数十亿的电力系统成本，以加强系统可靠性。

可运行反应堆



95,523 MWe

核电份额



19.6 %

在建反应堆



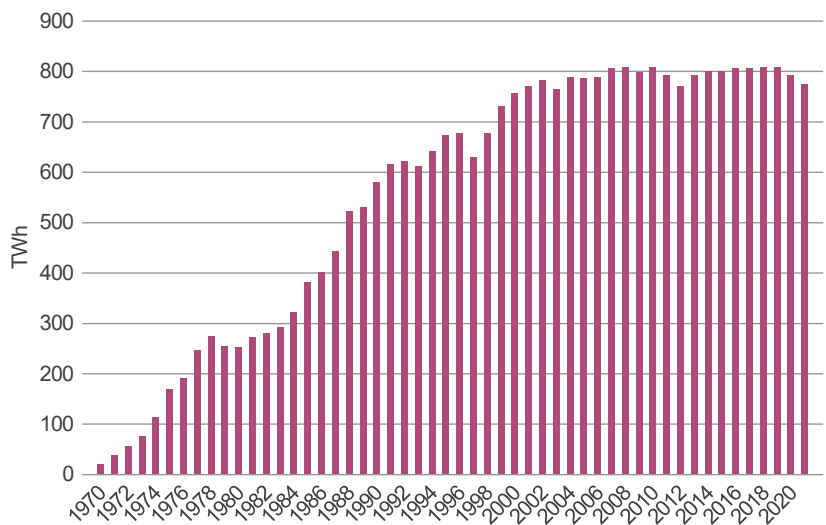
2234 MWe

生命周期内
二氧化碳减排量



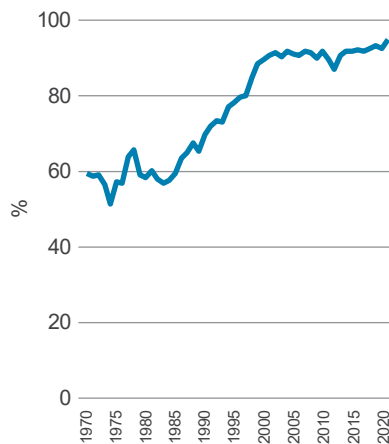
MtCO₂ cf. coal

核电发电量



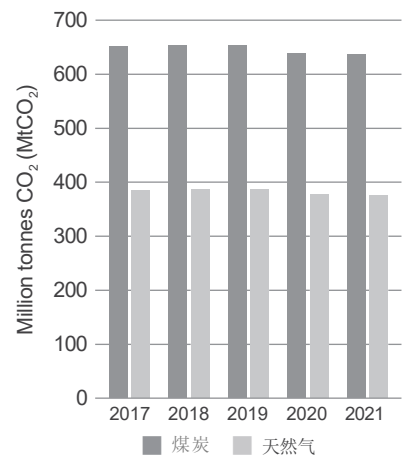
资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

平均核容量因子



资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

二氧化碳减排量（以化石燃料计）

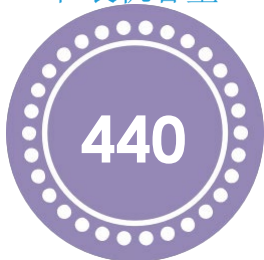


资料来源：世界核协会、世界原子能机构PRIS

4

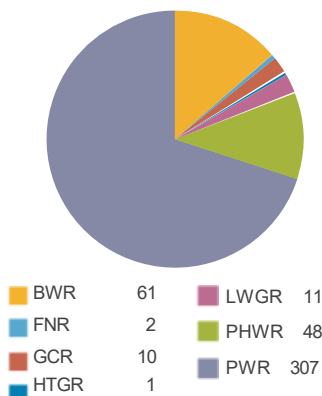
全球核反应堆状况 2022年7月1日

可运行反应堆数量和 装机容量

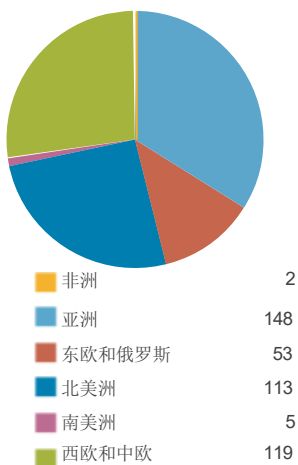


394312 MWe

按类型划分的可 运行反应堆



按地区划分的可运 行反应堆



2022年1月1日至6月30日期间并网发电的反应堆

反应堆名称	型号	类型	净容量 (MWe)	首次并网时间	地点
福清核电站6号机组	HPR1000	PWR	1075	2022年1月1日	中国
卡拉奇核电站3号机组	HPR1000	PWR	1014	2022年3月4日	巴基斯坦
奥尔基洛托核电站3号机组	EPR	PWR	1600	2022年3月12日	芬兰
红沿河核电站6号机组	ACPR-1000	PWR	1061	2022年5月2日	中国
新荷娜核电站1号机组	APR-1400	PWR	1340	2022年6月9日	韩国

2022年1月1日至6月30日期间开工建设的反应堆

反应堆名称	型号	类型	净容量 (MWe)	开工建设日期	地点
田湾核电站8号机组	VVER V-491	PWR	1100	2022年2月25日	中国
徐大堡核电站4号机组	VVER V-491	PWR	1100	2022年5月19日	中国
三门核电站3号机组	CAP1000	PWR	1157	2022年6月28日	中国

2022年1月1日至6月30日期间永久关停的反应堆

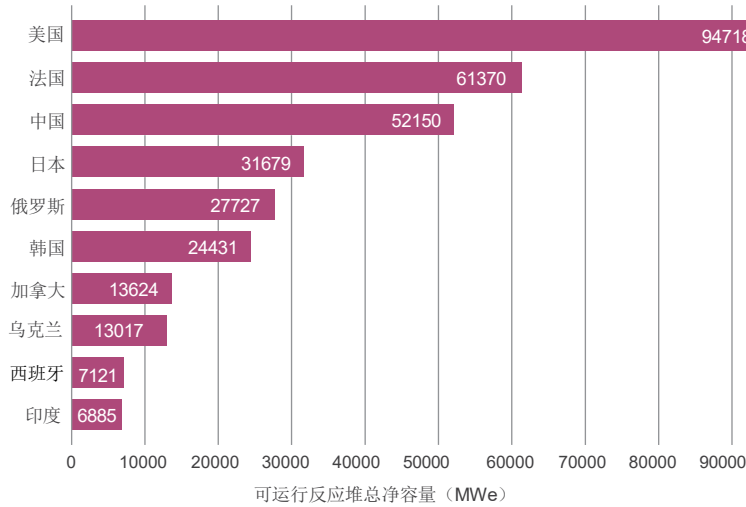
反应堆名称	型号	类型	净容量 (MWe)	永久关停日期	地点
亨特斯顿核电站B2机组	AGR	GCR	495	2022年1月7日	英国
帕利塞兹核电站	CE公司 (2环路)	PWR	805	2022年5月20日	美国
	DRYAMB				

长期停运反应堆*

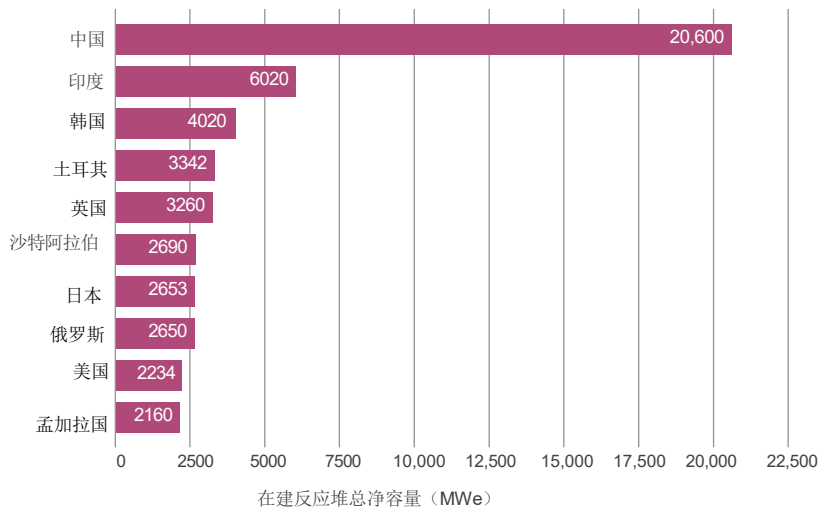
反应堆名称	型号	类型	净容量 (MWe)	永久关停日期	地点
拉贾斯坦邦核电站1号机组	水平压力管	PHWR	90	2004年10月9日	印度

*2004年10月9日这一长期关停日期追溯适用于2022年6月。本报告其他部分中2022年6月之前的时期数据将反应堆归类为可运行反应堆。

装机容量排名前十的国家



在建反应堆容量排名前十的国家

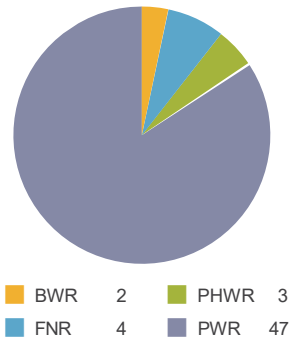


在建反应堆数量和装机容量

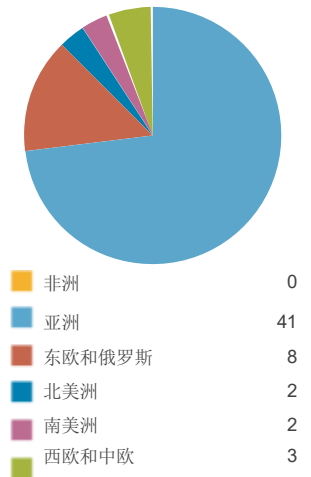


57666 MWe

按类型划分的在建反应堆



按地区划分的在建反应堆



5

总干事的总结发言



Sama Bilbao y León
世界核协会总干事

2021年，世界核反应堆从全球爆发新冠疫情导致的经济衰退中迅速恢复活力，发电量比2020年多了100 TWh。

每增加1 MWe时的核能发电量都会有助于应对气候变化，每个反应堆都有助于提供安全可靠的电力。

但是，当今世界面临着更广泛的政治、环境和能源挑战，2021年核能领域取得的成就必须放在这样的背景下加以考虑。

俄乌冲突带来的直接后果之外，也对全球能源供应产生广泛而深远的影响。

化石燃料供应链的脆弱性已暴露无遗。化石天然气价格飞涨，电价也随之飙升。

更严重的情况可能还未到来，因为随着北半球进入冬季，电力和供暖需求预计将在今年下半年开始上升。

第26届联合国气候变化大会的行动承诺和希望的曙光

在格拉斯哥举行的第26届联合国气候变化大会上，全球各国再次承诺应对气候变化。目前，为实现净零排放，100多个国家已经设定了目标。

在会议厅的会场上，各国代表（包括一个由Nuclear4Climate代表组成的出色代表团）感觉到，与几年前相比，核能正作为气候变化行动的一个重要部分而得到更多的拥护。

当我在参加第26届联合国气候变化大会期间，似乎每天都有来自我们的成员公司或其他政府的重大公告，承诺将核能作为减缓气候变化战略的一部分。

但是现实非常残酷，尽管承诺增加对核能和其他低碳技术的使用，但随着全球经济开始从新冠肺炎疫情中复苏，满足能源需求增长的主要措施仍增加使用化石燃料。

令人困惑的反应

对世界各国的政策制定者而言，一个明显的启示是，我们在确保能源独立、可靠性和供应安全的同时，必须实现脱碳。

过去六个月，各国政府发布了一系列公告，设法减少对化石燃料的依赖，尤其是对天然气进口的依赖。为加速转型、摆脱对化石燃料的依赖，各国做出了一系列承诺，意在加速部署包括核能在内的低碳技术。

但与此同时，许多国家政府面临着一项艰巨的任务，即在当前复杂的地缘政治环境中确保持续的能源供应。在德国、奥地利、荷兰和英国，濒临关闭的燃煤电厂正在恢复运行，以支持电力供应。在印度和中国，建设新燃煤电厂的步伐再次加快。

为帮助经济从新冠肺炎疫情中复苏，各国出台了经济刺激计划，虽然人们希望这些计划能够促进清洁能源系统的使用，但我们实际上已经看到化石燃料的反弹。为创建一个更安全的低碳未来而制定的长期计划，不得不排在转向任何可用能源（包括清洁能源和污染能源）的短期计划之后。

核能促进安全和清洁能源的发展

面对当前的能源供应风险和气候变化的长期威胁，最大限度地发挥目前在世界各地运行的核反应堆对脱碳和能源安全的巨大促进作用，已成为燃眉之急。

过去五年中，许多核反应堆的关停不是由于技术要求，而是由于政治决定或经济压力。在每千瓦时的清洁安全能源都弥足珍贵，并且应鼓励延长现有核电站的运行寿命的时候，被误导的政治教条却使情况雪上加霜。

尽管帕利塞兹核电站获得了运营至2031年的许可证，并有可能在此之后继续运营数年，但我们看到，今年上半年，帕利塞兹核电站已被关停。

德国剩余的三座反应堆（埃姆斯兰（Emsland）核电站、伊萨尔2号

核电站（ISAR2）和内卡韦斯特海姆2号核电站（Neckarwestheim 2）的总容量为4 GWe，性能良好，容量因子高，经常超过90%，并且每年总共减少了2500万吨二氧化碳的排放。这些反应堆可以在本世纪下半叶提供清洁可靠的电力，但将在2022年底永久关停。

相比之下，比利时政府已经批准延长两个反应堆（杜尔（Doel）核电站4号机组和蒂昂日（Tihange）核电站3号机组）的运行，尽管这是否是一个切实可行的经济提案还有待观察。

世界上许多正在运行的反应堆的平均寿命刚刚超过30年，其运行时间可能远远超过今年新投入使用的太阳能电池板和风力涡轮机。至关重要的是，政府、监管机构和行业都必须采取措施，确保在可行的情况下采取行动进行长期运营。这将减少对化石燃料的依赖，增强能源安全，并提供一种额外清洁、低碳发电形式，这种发电形式是国际能源署得出结论的成本最低的发电形式。

投资于一个可持续、安全和繁荣的未来

我们现有的核电集群可以继续为能源安全和减缓气候变化作出巨大贡献。但是，想要建立避免全球气候变化最恶劣影响所需的净零经济，以及要实现许多政府设定的目标，需要对我们的能源系统进行全面转型，包括发挥核能的更大促进作用。

在为每个人创造一个能源充足的净零世界方面，核能将发挥重要作用。

核能将为大型和小型电网发电、提供区域供热和制冷、向工业供应工艺用热、生产氢气等等。作为唯一可以产生低碳电力和低碳热能的能源，它可以成为整个全球经济深度脱碳的游戏规则改变者。

在过去几个月里，我们收到了许多新的和现有核国家的公告，其中包括阿根廷、孟加拉国、保加利亚、加拿大、捷克、法国、埃及、荷兰、波兰、罗马尼亚、乌克兰和英国，这些国家在公告中陈述了本国关于新建大型和小型反应堆的计划。

这些计划必须得到全面实施和扩大，从而在全球范围内加快新核电站建设的速度和规模。我们需要建立人力、物力、商业和体制基础设施，使全球核部门能够真正快速扩大规模，满足迫切的大规模脱碳需求。

只有做到这一点，每个人才能公平地获得安全可靠的能源和电力供应，从而过上美好的生活，并能保持一个适合生活的环境。

缩略语和术语

AGR	先进气冷堆
BWR	沸水堆
CO ₂	二氧化碳
COVID-19	由SARS-CoV-2 冠状病毒引起的疾病
CORDEL	反应堆设计评估和许可合作
ESG	环境、社会和许可合作
EU	欧盟
FNR	快中子反应堆
FOAK	首创项目
g	克
GCR	气冷堆
GWe	吉瓦（十亿瓦电力）
HTGR	高温气冷堆
IAEA	国际原子能机构
IPCC	联合国政府间气候变化专门委员会
LWGR	轻水冷却石墨慢化反应堆
MoU	谅解备忘录
MWe	兆瓦（百万瓦电力）
PHWR	加压重水堆
PRIS	动力堆系统数据库 (IAEA)
PWR	压水堆
SMR	小型模块化反应器
TWh	太瓦时（一万亿瓦时电力）
VVER	水-水高能反应堆(PWR)
HTR	高温反应堆
COP	缔约方大会
NGO	非政府组织

容量因子的定义

容量因子的计算方法是反应堆的实际输出电量除以反应堆在100%净容量下运行时的预期输出电量所得到的百分比。

在计算容量因子时，不包括日历年内不发电的反应堆。

对于在一个日历年内启动或关闭的反应堆，本年度的容量因子是根据反应堆在这一年处于可运行状态的时间，以100%的产量运行时所产生的发电量进行计算。

区域分类

非洲

南非、埃及

亚洲

亚美尼亚、孟加拉国、中国大陆和台湾地区、印度、伊朗、日本、哈萨克斯坦、巴基斯坦、韩国、土耳其、阿联酋

东欧和俄罗斯

白俄罗斯、俄罗斯、乌克兰

北美洲

加拿大、墨西哥、美国

南美洲

阿根廷、巴西

西欧和中欧

比利时、保加利亚、捷克、芬兰、法国、德国、匈牙利、意大利、立陶宛、荷兰、波兰、罗马尼亚、斯洛伐克、斯洛文尼亚、西班牙、瑞典、瑞士、英国

延伸阅读

世界核协会信息资料库

<https://world-nuclear.org/information-library.aspx>

世界核协会反应堆数据库

<https://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/reactor-database.aspx>

《核燃料报告：2021~2040年全球供求可用性情境》（2021年9月出版）

<https://www.world-nuclear.org/our-association/publications/global-trends-reports/nuclear-fuel-report.aspx>

《2035年世界核供应链展望》：展望2040年

<https://www.world-nuclear.org/our-association/publications/global-trends-reports/world-nuclear-supply-chain-outlook-2040.aspx>

世界核能新闻网

<https://world-nuclear-news.org>

国际原子能机构动力堆信息系统

<https://www.iaea.org/PRIS/home.aspx>

世界核协会是代表全球核工业的工业组织。协会的使命是通过提供权威信息、发展共同的行业立场和促进能源辩论，从而提高主要国际影响者对核能的更广泛了解，并为扩大核业务铺平道路。

Tower House
10 Southampton Street
London WC2E 7HA
United Kingdom

+44 (0)20 7451 1520
网址: www.world-nuclear.org
电子邮箱: info@world-nuclear.org