

全球核能安全动态

Global Nuclear Energy Safety Trends

第 9 期（季刊）

2017 年 7 月

环境保护部核与辐射安全中心

目 录

一、本期要闻	1
1. 中国第四座出口海外核电机组提前正式并网发电	1
2. 国际能源署发布《能源技术展望 2017》	1
3. 首台“华龙一号”核电机组核岛封顶	2
二、重点关注-韩国的“脱核时代”	2
1. 韩国总统宣布走向“脱核时代”	2
2. 韩国首座核电机组永久停堆	5
3. 韩国暂停新薇珍核电站 3、4 号机组的建设	5
4. 韩国电力公司：弃核摈煤忙转型	6
三、核能发展	8
1. 瑞士能源转轨拟放弃核能	8
2. 欧洲清洁能源转型需要核能	8
3. 南非为应对经济衰退要评估其核计划	9
4. 秦山核电基地迎来全国首个“百堆年”	10
5. 印度库丹库拉姆核电站 2 号机组进入商业运营	10
6. 印度库丹库拉姆核电站新机组获准正式开工	10
7. 印度政府宣布将自主新建十座核电站总装机达 7000 兆瓦	11
8. 印度核燃料联合体刷新世界纪录	11
9. 芬兰 EPR 反应堆开始冷态测试	12
10. 芬兰的核废物处置库进行式	12
11. 阿海珐计划在里奇兰核燃料厂增建设施	14
12. 阿联酋核电站收到首批核燃料棒	14
13. 日本重启两座核电机组	15
14. 日本退役反应堆乏燃料转运厂址悬而未定	16
15. 日本 5 个核电机组获批退役	17
16. 美国三哩岛核电站或将永久关闭	17
17. 立陶宛核电站退役	18
18. 德国又一核电站获批退役并拆除	18
四、核安全监管	19
1. 国际原子能机构低浓铀银行计划在 2017 年投运	19

2. 美国审计总署指出尤卡山取证的关键步骤.....	19
3. 美国核管会 2017 年年度费用削减.....	21
4. 美国能源部发布乏燃料设施选址程序草案.....	22
5. 比利时核电站反应堆容器鉴定.....	24
6. 德国高院裁定核燃料税非法.....	25
7. 俄罗斯 Rosatom 子公司获得新铀矿开发许可.....	25
8. 哈萨克斯坦核安保培训中心落成.....	26
9. 法国电力集团收购阿海珐核电业务获欧盟批准.....	26
10. 英国先进沸水堆清除最后的监管问题.....	27
五、核国际合作	27
1. 中国先进反应性测量系统 (SMART) 首次出口巴基斯坦.....	27
2. 中哈核能领域合作互利共赢.....	28
3. 阿根廷明确中企在阿建核电站方针.....	30
4. 中国与伊朗签署阿拉克重水反应堆改造协议.....	31
5. 英国欣克利角 C 核电项目开工.....	31
6. 中国与 IAEA 签订低浓缩铀银行过境运输协议.....	32
7. 中泰签署和平利用核能合作协定.....	32
8. 经合组织核能署与美国电力研究所合作开展核研究.....	33
9. 印度总统访问欧洲四国为印度核电引资.....	33
10. 韩国与阿联酋分享 APR-1400 的运营经验.....	35
11. 瑞典法国签署协议拆除德国核电站内部部件.....	35
12. IAEA 与俄罗斯合作加强核能基础设施建设.....	36
13. 伊朗、欧盟签署首个核安全合作项目.....	36
14. 俄罗斯与印尼展开核监管合作.....	37
六、核安全事件	37
1. 日本福岛核电一安全壳上盖移位掉落或影响清理.....	37
2. 日本核辐射事故 5 名员工受辐射.....	38
3. 美国汉福德工厂事故.....	39
4. 欧洲核电站受全新勒索病毒攻击.....	40
七、核安全技术发展	40
1. 中国通用核仪器领域首个国际标准正式生效发布.....	40
2. 日本开发新型核电机机器人.....	41

3. 韩国完成 ITER 计划等离子体室装配工具.....	43
4. 韩国完成研究堆新型燃料辐照试验.....	44
5. 西屋正式推出 EnCore™ 燃料.....	44
6. 美国核学会宣布核领域九大挑战.....	45
7. 美国研发新技术实时监测高辐射环境下材料性能.....	46
8. 美国研究人员建造出世界上最大的透明测试组件.....	47
9. 加拿大启动商用熔盐核电厂选址评估.....	47
10. 欧洲完成首个国际热核聚变实验堆磁体.....	48
11. 俄罗斯推进世界首座浮动核电站建设.....	49
12. 俄罗斯加速制造破冰船反应堆.....	49
13. 英国托卡马克能源公司启动 ST40 聚变反应堆.....	50
14. 英国公司推出小型模块反应堆计划.....	50
八、要闻解读	51
世界主要国家核设施退役情况概述.....	51

一、本期要闻

1. 中国第四座出口海外核电机组提前正式并网发电

巴基斯坦当地时间 2017 年 6 月 29 日 11 时 36 分，由中核集团出口建设的恰希玛核电 4 号机组提前 32 天正式并网发电。这是中国第四座并网发电的出口海外核电机组。中巴双方于当地时间 7 月 1 日举行并网庆典仪式。

巴基斯坦恰希玛核电基地 4 台机组是见证中巴人民兄弟情谊的友谊工程，它的成功建设将稳步推进中巴经济走廊建设，进一步打造中巴命运共同体。恰希玛核电 4 号机组功率为 34 万千瓦，2011 年 12 月 28 日浇灌第一罐混凝土，2017 年 6 月 25 日预并网，2017 年 6 月 29 日正式并网。预计 4 号机组将在 2017 年 8 月底前商业运行。届时，恰希玛投入运行的核电机组装机容量超过 130 万千瓦，将为电力紧缺的巴基斯坦提供清洁、高效、安全电力。

引自：中核集团官网

2. 国际能源署发布《能源技术展望 2017》

2017 年 6 月 12 日，国际能源署 IEA 发布了《能源技术展望 2017》报告。报告指出，2015 年至 2020 年，太阳能光伏和陆上风电发电量预计将分别增加 2.5 倍和 1.7 倍。但在水电、海上风电、太阳能光热、生物质能源、地热发电和海洋能等其他可再生能源发电技术方面略显不足，目前的趋势和政策并不足以实现 2025 年可再生能源占全球发电量 37% 的要求。

在核能发展方面，报告指出，2016 年核电装机增加了 1000 万千瓦(10 GW)，是 1990 年以来的最高水平。为实现在本世纪末将全球平均温升控制在 2 摄氏度的 2DS 目标，并抵消计划中退役的核电站和一些国家退出核电的政策，需要在 2016 年的基础上加倍，达到每年新增 2000 万千瓦。而且，2016 年只有 300 万千瓦的新建项目开工，影响未来核电装机的增加。

引自：中国核网

3. 首台“华龙一号”核电机组核岛封顶

2017年5月25日下午5时58分，中国自主三代核电“华龙一号”全球首堆示范工程——中核集团福清核电5号机组穹顶吊装成功，这标志着5号机组按照计划进度建设已全面进入设备安装阶段。

中核集团“华龙一号”采用177组燃料组件的反应堆堆芯的设计，增加了热供余量，使得反应堆在运行和事故情况下能够更加安全，其堆芯熔毁的概率比国家安全标准还要低一个量级的水平。

中核集团“华龙一号”采用了双层安全壳的结构，设计标准包括可抗9级地震，防大型海啸等，可以抵御商用大飞机恶意撞击。该设计采用非能动系统，利用自然循环，在失去电力供应的时候它依然可以发挥作用。按照最高的安全标准，可以在事故发生后30分钟，不需要操纵员来干预。事故发生72小时可以做到场内自制，不需要外部支持。

引自：中新社、央视网

二、重点关注-韩国的“脱核时代”

1. 韩国总统宣布走向“脱核时代”

2017年6月19日，位于韩国釜山的古里1号机组永久关闭。韩国总统文在寅在宣布仪式的致辞中表示，韩国将全面取消正在制定的新核电站建设计划，不再延长核电站的设计寿命。

文在寅说，将重新研讨核电政策，废除以核电为主的发电政策，走向脱核电时代。对于目前延长寿命运转的月城1号机组，在考虑供电情况后尽快关闭。对于目前正在建设的新古里5号、6号机组，综合考虑安全性、项目进展、投入和补偿成本、系统备用容量等，尽快形成社会共识。这暗示了有可能中断新机组的建设工作。

文在寅表示，永久关闭古里核电站1号机组是走向脱核电国家的起点，是走向“安全大韩民国”的大拐点。

韩国核电发展背景

作为较早使用核电且已成为世界核电大国的韩国，“脱核”让外界感到意外。1956年，韩国与美国签署了和平利用核能的合作协定，由此奠定了核能研究的基础；1977年，古里1号机组建成，1978年4月投入商业运行；此后的美国三哩岛、前苏联切尔诺贝利核事故都未动摇韩国“挺核”的决心；福岛核事故之后，韩国政府重申发展核电的计划不变，并提出到2030年将核电机组增至40座，满足韩国59%电力需求的目标。

根据世界核能协会数据，截至2017年5月1日，核电在韩国总发电量中占比为30.3%。运行核电机组25座，装机容量2308万千瓦；在建机组3座，装机容量420万千瓦。韩国已成为全球第5大核能生产国，也是继美国、法国、俄罗斯、加拿大和日本之后，全球第6大核能出口国。

得益于核电的蓬勃发展，韩国电价一直保持平稳且较低的水平，不到经合组织平均电价的一半。前总统李明博一直将核能视为清洁能源的重要来源，朴槿惠任期时也拥有雄心勃勃的目标——到2029年将反应堆数量增至36座。

“脱核”原因及主要措施

文在寅承认，核电在韩国经济快速发展进程中起到了积极作用，但福岛核事故为韩国敲响了警钟。尽管事故发生的可能性微乎其微，但若发生事故，后果不堪设想。文在寅表示：“放眼世界，西方发达国家正在减少使用核电，但韩国却背道而驰，成为核电站最为密集的国家。”在欧洲，德国率先“弃核”，受福岛核事故影响，默克尔政府当年宣布关闭8座反应堆，并计划2020年前分批关闭另外9座，最终实现全面“弃核”。2015年，法国也宣布削减核能在能源结构中的比例，最迟到2025年将核电占比从当时的75%降至50%。瑞士政府也表示，5座核电站将于2019年至2034年陆续达到最高使用年限之后，不再重建或更新核电站。

文在寅指出，新政府将确保核电站安全视为决定国家存亡的重要安全问题加以对待，将核电安全委员会升格为总统直属机构。

文在寅表示，新政府将开启脱核电和未来能源时代，积极扶持可再生能源、液体天然气（LNG）发电、太阳能、海洋风力发电等替代能源产业，同时减少火力发电，提高天然气发电设备运转率。将能源产业与第四次工业革命挂钩，将其发展成为韩国的新增长动力。文在寅强调并承诺在5年总统任期结束前，至少关闭10家老旧燃煤电站，以减少温室气体和粉尘排放。“规划建设无核、无煤国家的同时，政府将制定一整套利于环保的能源政策。”重整环保能源税制，改变

能源高消费产业结构，整改工业用电费系统，防止工业部门过度消耗电力。拆除核电站是耗时久、耗资大、需要尖端科技的高难度作业，为此将在东南部地区新设有关研究所确保技术，积极提供支持。

各方分析

针对文在寅政府选择“脱核”，有专家表示，这反映了韩国和国际趋势：随着天然气价格下降和可再生能源技术发展，核电在全球范围内的竞争力有所下降；韩国之前曾传出核电站使用的部件质量不过关等丑闻，加上福岛核事故，致使韩国民众反核之声愈演愈烈；此次韩国大选期间，几乎所有总统候选人都提出降低对核电依赖的能源政策，说明这是韩国政界较为一致的看法；虽然韩国经过几十年努力，拥有比较先进的核电技术和工业，但没有形成完整的核燃料循环技术体系，这在一定程度上限制了其核电工业的发展和国际竞争力。

绿色和平组织和其他环保机构对韩国“脱核”决定表示欢迎。绿色和平组织东亚气候与能源分析师 Daul Jang 称，韩国民众一直追求城市能源转型，这也是文在寅在竞选期间凭借着“清洁”的能源政策受欢迎的原因之一。福岛核事故以及2016年韩国庆州地震让民众意识到安全与健康的重要性。

核技术出口照旧？

韩国核电机组曾凭借“物美价廉”畅销全球，成功跻身全球第6大核电出口国。2002年，韩国成功自主研发出“APR-1400”型先进压水反应堆，单机组发电能力达到1400兆瓦，设计寿命从40年提升到60年，综合性能堪比美、法等国同代反应堆，而平均造价却比欧美更便宜。

2009年，韩国击败法国阿海珐、美国GE，成功拿下了阿联酋价值400亿美元的核电站建设、提供燃料及后期运营和维护的协议；2010年，韩国承诺为土耳其建设两座核电站；2013年，韩国获准建设约旦首座核研究反应堆；2015年3月，韩国与沙特达成协议，建设两座韩国自主开发的“SMART”核反应堆。韩国的核电技术出口目标国家，还包括印尼、越南、罗马尼亚、泰国、芬兰等。

有分析称，韩国“脱核”或将削弱其核电技术在海外的竞争力，向寻求购买韩国核反应堆的国家释放负面信号。作为韩国有力的竞争对手，中国则能借此机会提高技术的竞争力，增加出口的市场范围。

另有消息人士表示，虽然韩国新政府宣布国内将不再建设新核电站，但对于

支持核电出口的政策，目前并未改变，韩国仍然将核电出口视为带动经济发展的主要路线。另外，不排除今后韩国更换新领导人后，面对增长的电力需求，改变目前的核电政策。

引自：中国能源报、韩联社、中国核网

2. 韩国首座核电机组永久停堆

据韩联社报道，2017年6月18日，韩国最老核电机组——古里核电站1号机组宣告永久停堆。

当地时间17日18时，韩国水电核电公司停止向1号机组供电，38分钟后将核反应堆停堆。18日24时反应堆堆内温度降至93度左右，达到永久停堆标准。该机组将于2022年起正式拆除。

1977年6月18日，古里1号机组反应堆启动，次年4月29日投入商业运行。韩国从英美借款建造该机组共耗资3亿美元，相当于1970年韩国政府一年预算的1/4。

古里核电站1号机组于1978年4月29日投入商业运营，设计寿命在2007年到期。但2008年1月该机组再次获得运行许可，运行寿命被延长了十年，使用寿命达40年。

古里1号机组为满足韩国工业化过程中急剧增长的电力需求奠定了基础，但倚重核电的发电政策的安全隐患不断引发争议。首座核电机组退役可能成为韩国核电政策的分水岭。

引自：中国新闻网

3. 韩国暂停新薇珍核电站3、4号机组的建设

韩国水电与核电公司（KHNP）2017年6月25日宣布，将暂停新薇珍（Shin Hanul）核电站3和4号核电机组的设计建造工作，直到韩国新政府宣布对新反应堆的政策。

KHNP宣布，已经指示Kepeco Engineering & Construction工程公司暂停在新薇珍建造两台APR1400核电机组的计划，直到政府确定新的核电建设政策为止。但是，将继续开展新核电机组许可证的申请工作。

引自：中国核网

4. 韩国电力公司：弃核摈煤忙转型

韩国能源政策“转向”让该国最大发电商韩国电力公司（Kepeco，简称“韩国电力”）压力倍增，作为煤炭和核电使用大户，该公司业务格局面临颠覆。虽然韩国新政府“弃核摈煤”的决定使得韩国电在这两大板块的投入付之东流，但好在其早已做好扩张可再生能源版图准备。

直面成本上升挑战

文在寅政府近期宣布，减少对核电和煤炭的依赖，并制定了雄心勃勃的可再生能源发展目标，即到2030年，韩国20%的电力来自绿色能源。在此背景下，韩国电力将继续增加风电、太阳能等可再生能源的发电规模，计划到2029年将公司可再生能源发电占比从去年的6%增至11%。

据报道，韩国减少对核电和煤炭的依赖意味着韩国电力未来将主要依靠液体天然气发电，这将直接导致其利润率被挤压。5月最后一周，韩国电力股价一度下滑13个百分点，市场担忧燃料成本上升影响该公司业绩表现。

分析师估计，韩国电力的净利润或将减少6%，液体天然气发电量约6.5%的增幅将与煤炭发电量5%的降幅相互抵消。分析师指出：“文在寅政府弃煤弃核政策，将增加韩国液体天然气的使用量，考虑到亚洲地区液体天然气价格较贵，相比廉价的煤炭，韩国电力面临本土燃料成本上升的挑战。”

截至2016年底，韩国电力的煤炭发电占比达29%、核电达22%。分析师表示，随着韩国降低对煤炭和核电的依赖，韩国电力的信贷评级或将随之下调，因为该公司未来将依靠相对昂贵的液体天然气发电，这将影响其经营现金流。

根据韩国电力发布的一季度财报，2017年1至3月，该公司销售额约15.1万亿韩元（约合135亿美元），较去年同期下降3.4%；而归属于股东的净利润则暴跌59.3%至8695亿韩元。分析认为，独立发电商不断增加电力购买量，是影响韩国电力业绩表现的原因之一。

有分析师指出，韩国政府实施更环保的能源政策，可能导致韩国电力将增加的成本转嫁给消费者。

韩联社消息称，韩国政府计划为可再生能源行业引入税收优惠政策，以避免电力成本增加，这成为刺激韩国电力扩大可再生能源业务规模的一大动力。

事实上，韩国电力正在按照自己的步调发展可再生能源。2月中旬，该公司

在中东的首座风电厂正式开工，这个装机 89 兆瓦的风电厂位于约旦首都安曼附近，韩国电力耗资 1.84 亿美元投建，可为 3 万个家庭提供电力，预计 2018 年 10 月投入使用，2038 年前由韩国电力负责运营。4 月中旬，韩国电力通过收购一座太阳能电站首次进军美国电力市场，这座装机 30 兆瓦的太阳能电站位于科罗拉多州，韩国电力斥资 3400 万美元将其收入囊中，并强调将在未来 25 年内通过出售电力实现 2.3 亿美元的销售额。

接受企业转型考验

韩国能源政策“转向”将是韩国电力自 1898 年成立以来面临的又一大挑战。2001 年，韩国电力在韩国电力供应市场的垄断地位被打破，政府放开电力市场实施“电力自由化”，允许独立发电商通过韩国电力交易所出售自己的电力。2016 年，这些独立发电商占据韩国电力市场 25% 的份额，韩国政府计划到 2029 年将这一比例提升至 34%。韩国电力随后在独立区域市场建立了 6 个负责发电的附属机构，而母公司则专注于输配电业务。随着新的能源政策的实施，韩国电力在本土的优势地位或将消失，使其不得不转型。

韩国电力不仅要加速扩大可再生能源业务规模，同时还可以通过能源互联网的平台来改变电力业务结构，此外，应用数字化技术还能提高能源使用效率。韩国电力将是新政策的主要实施者，不管是投资绿色能源，还是改造现有燃煤电站，该公司未来业务发展必须严格符合环保条例。

韩国电力是政府所属的电力公用事业公司，韩国政府持股 51.1%，其中包括通过韩国开发银行间接持有的 32.9% 的股份。

韩国电力已在积极推进业务转型，首个“改造”目标就是煤炭。5 月底，韩国电力首席执行官 Cho Hwan-eik 与 11 家相关发电企业负责人举行了紧急会议，商讨燃煤电站粉尘减排应对策略，计划对现有电站环境设备进行全面改善，同时大幅增配粉尘排放测量装置，对排放数量进行精确测算并予以公布。

Cho Hwan-eik 透露，未来 5 年将投入 7.5 万亿韩元，把燃煤电站所产生的粉尘排放量削减一半，预计将从去年的 17.4 万吨降至 2022 年的 8.7 万吨，这高于文在寅政府制订的任期内 30% 的全国减排目标。其中 6.2 万亿韩元将用于现有电站环境设备的全面更新，剩余 1.3 万亿韩元将投向在建发电站环境设备强化方面。

引自：中国能源报

三、核能发展

1. 瑞士能源转轨 拟放弃核能

2017年5月21日，瑞士全民公投以58.2%的支持率通过新版能源法案《能源战略2050》。该法案以推广可再生能源、禁止新建核电站、降低能源消耗为纲要。法案的通过，标志瑞士能源就此正式进入转轨期。

瑞士坐拥全世界最古老核电站贝兹瑙1号核电站，但此前该核电站因超龄服役而在国内屡遭诟病。瑞士有条不紊、循序渐进地放弃核能，最终过渡到完全脱离核电、无核能供给状态的能源转型设想由来已久。2011年日本福岛核事故，成为促使瑞士政府开启政策性变革的一针催化剂。

历经长达两年的讨论，《能源战略2050》第一阶段构想草案-旨在禁止筹建新的核电站、促进推广新型可再生能源、降低建筑物、机动车辆及电气设备能源消耗的新的联邦能源法规，在瑞士议会内部投票中顺利通过。

《能源战略2050》规定，不仅要大力提高太阳能、风能、生物质能、地热能能效，而且还需为亏损的水力发电企业提供额外政府补贴。不仅如此，瑞士现阶段仍处于运营状态的5座核电站，将会从2019年开始有条不紊地逐步淘汰停工。目前瑞士全国用电量的38%仍需仰仗核电。

对新法持拥护态度的瑞士政府、议会以及绿党认为，该法一经颁布，势必会降低瑞士对进口能源的高度依赖，保证维持眼下能源供应标准的同时，按部就班地摆脱在能源上“受制于他国”的局面。

引自：瑞士新闻网、中国核网

2. 欧洲清洁能源转型需要核能

2017年4月18日，欧洲核贸易机构——欧洲原子能公司(Eoratom)发布了一份关于欧盟委员会(European Commission)《所有欧洲人的清洁能源》提案的清洁能源转型一揽子措施的立场文件。该公司指出，如果没有核电，欧盟提出的到2050年实现经济脱碳80%以上的目标将无法实现。

欧盟委员会于11月30日提交了立法文件。其中包括可再生能源、电力市场设计、能源效率、治理、供应安全等方面的提案。该提案旨在“改善能源市场的运作，确保所有能源技术在公平的环境下竞争，且不危及气候和能源目标”。欧

盟委员会补充指出，“希望欧盟可以引领清洁能源转型，而不仅是适应转型”。

欧洲原子能公司表示愿意接受立法提案，并认为该一揽子提案可以确保采取一致和最佳的方式实现欧盟 2030 年能源和气候目标，前提是将核能行业的观点考虑进去。

欧洲原子能公司对“提案风险中危及建立竞争性、整合、安全和低碳的电力市场的许多要素”表示担忧。其中包括某些能源在市场上受到“优惠待遇”；很多情况获得优先调度；平衡责任方面持续存在例外的情况；产能机制缺乏明确的设计原则；与欧盟排放交易计划重叠的问题尚未解决。

欧洲原子能公司表示：“核能目前占欧盟低二氧化碳基本负荷发电量的一半，是实现欧盟能源和气候目标不可或缺的贡献力量。核能提供可靠的低二氧化碳基本负荷电力，也可以提供灵活的电力调度，以平衡日益增长的间歇性能源份额，从而继续为能源供应安全做出贡献。”

28 个欧盟成员国中的 14 个国家拥有共 128 座在运行核电反应堆，总装机容量 1.19 亿千瓦，占欧盟发电总量的四分之一以上。

引自：世界核新闻网

3. 南非为应对经济衰退要评估其核计划

据报道，南非能源部长 Mamamoloko Kubayi 2017 年 6 月 21 日表示，南非要评估其核计划，作为应对该国经济衰退的一部分。南非计划建造 9600 MW 核装机容量，可能是数十年来全世界最大的核合同之一。

在两个季度经济萎缩，该国在技术上进入经济衰退，核项目采购进程由于法院裁定南非与俄罗斯的核协议不合法而中断。

俄罗斯国有企业 Rosatom 是制造核反应堆的竞争者，鉴于其法国竞争对手阿海珐公司和日本西屋公司的延误和成本超支，Rosatom 一直在为获得合同机会谈判。

Kubayi 表示，南非正在根据高等法院对俄罗斯核协议的裁决审查与许多国家的政府间协议，待内阁做出决定后将在几周内公布采购重启日期。

引自：中国核科技信息与经济研究院、MSN 新闻网站

4. 秦山核电基地迎来全国首个“百堆年”

2017年6月10日，中国秦山核电基地迎来安全运行100堆年，成为我国首个达到百堆年运行的核电基地。

该核电基地自我国第一座核电站——秦山核电站1991年12月15日投入运行起，一直保持安全稳定运行。目前共有9台运行机组，年发电量约500亿千瓦时，是目前我国核电机组数量最多、堆型品种最丰富、装机容量最大的核电基地。曾创下2011-2014年7台运行机组5次WANO（世界核电运营者协会）全球排名第一的成绩。一百堆年的安全稳定运行，标志着中国核电实力达到新高度。

引自：中国新闻网

5. 印度库丹库拉姆核电站2号机组进入商业运营

2017年4月3日，印度核电集团有限公司与俄罗斯供应商签署协议暂时接收库丹库拉姆核电站2号机组，从而标志着2号机组正式进入商业运营。

这座由俄罗斯设计提供的VVER-1000压水反应堆2016年3月首次临界，8月份并网发电，2017年1月实现满功率运行。库丹库拉姆核电站1号机组2014年12月进入商业运营，3号4号机组进入二期建设阶段，后期将建设更多的机组。

引自：世界核新闻网

6. 印度库丹库拉姆核电站新机组获准正式开工

2017年6月26日报道，印度原子能管理委员会（AERB）批准了库丹库拉姆（Kudankulam）核电站3、4号机组两台反应堆的第一罐混凝土浇筑许可。这两台反应堆是由俄罗斯建造的VVER堆型。第一罐结构混凝土的浇筑标志着机组施工的正式开始，尽管现场准备工作已经进行了好几年。

印度原子能管理委员会表示，两台新机组主厂区的负挖已经完成，为施工活动的进行做好了准备。

库丹库拉姆核电站位于泰米尔纳德邦，其两台运行中的VVER反应堆分别于2014年12月和2017年4月投入商业运行。1998年莫斯科和新德里签署了政

府间协定，新机组的建设即是该协定的一部分，后续还将开展二期工程建设。

印度原子能管理委员会表示，3、4号机组虽是1、2号机组的“重复设计”，但会参照第一批机组调试和运行方面的经验反馈进行改进。该项目的总承包商是俄罗斯原子能建设出口公司（Atomstroyexport），总设计方是俄罗斯圣彼得堡原子能设计院（Atomenergoproekt），这两家公司同属ASE集团。

6月初，俄罗斯和印度签署了一项框架协议，授权建造该电厂的三期工程，即建造库丹库拉姆核电站的5、6号机组。该协定包括一项执行该项目的政府间信贷议定书。

引自：世界新闻网

7. 印度政府宣布将自主新建十座核电站总装机达 7000 兆瓦

2017年5月17日报道，印度政府宣布，将会新建十座核电站，以提高印度核能的发电量。这十座核电站总装机容量将达到7000兆瓦，超过目前印度运行的22座核电站的总装机容量6780兆瓦。而且强调新建的核电站将使用印度本国的加压重水反应堆技术。声明没有详细说明这些反应堆将建于何处或何时投入运行。

长期向印度提供技术合作的美国西屋电气2017年3月份宣布破产，这让印度政府对利用西屋公司的技术建造六座核电站的计划失去信心，转而开发和利用本国的核电技术建造电站。政府表示这项庞大的计划将会创造七千亿印度卢比（相当于七百亿人民币）的相关产业投资以及三万多人的就业机会。

印度是世界上的用电大国，不过目前大约70%的发电容量依靠化石燃料，主要是煤炭的火力发电。政府计划到2030年清洁和可再生能源的发电量将满足其能源需求的40%以上。核能发电只占印度发电量的2.3%。长期大范围的电力短缺至今仍是困扰印度经济的问题之一。

引自：央视网、参考消息网

8. 印度核燃料联合体刷新世界纪录

2017年4月17日报道，印度核燃料联合体（NFC）2016-2017年生产了1512吨加压重水堆（PHWR）燃料棒束，创造了世界纪录。NFC是印度核电项目的燃料供应商。位于海得拉巴的NFC是印度原子能部（DAE）的工业部门，负责向

印度所有运行反应堆提供燃料。

该联合体的独特之处在于其业务涉及核燃料从矿石到堆芯所有制造过程，包括在一个厂房内加工铀和钍的全部工艺流程。它从每年生产 100 吨开始，然后不断扩大其能力，以满足所有在运行重水堆（PHWR）和沸水堆（BWR）的燃料需求。

NFC 正在扩大其设施，以满足未来 DAE 计划在全国分阶段建造的 20 座 700 MW PHWR 机组的需求。为实现这个目标，NFC 正在执行一个价值 240 亿卢比的 NFC-Kota 计划。据 NFC 官员称，正进一步扩大海得拉巴园区和铀联合体的现有设施。

产量增加主要是由于工艺改进、自动化程度提高以及员工的努力。NFC 生产了 1154 吨氧化铀粉末和 759 吨海绵铀，以满足 PHWR 和 BWR 的铀合金需求。

引自：印度商业线报、中国核网

9. 芬兰 EPR 反应堆开始冷态测试

2017 年 6 月 12 日，芬兰 Teollisuuden Voima Oyj (TVO) 电力公司宣布，奥尔基洛托核电站首个欧洲压水反应堆(EPR)开始进行冷态测试。该反应堆预计 2018 年底可投入运行。

冷态测试是确认对安全至关重要的组件和系统是否安装正确、是否做好在寒冷条件下运行的准备。这些测试的主要目的是为了检查一回路的密封性。测试历时 4 周，在此期间将在不同压力水平下测试数十次。

冷态测试完毕后将于 9 月进行热态测试，若一切顺利，该电站 3 号机组将于 2018 年初达到获取许可证的要求，并于 2018 年年底实现正式发电。

这座核电站采用法国阿海珐开发的欧洲压水堆技术（EPR），2005 年开工建设时预计投资 32 亿欧元，建设工期 4 年（2009 年竣工）。按照目前的核算，实际的投资成本将达到 85 亿欧元（超出预算 166%），工期拖延 9 年！

引自：世界核新闻网

10. 芬兰的核废物处置库进行式

2017 年 7 月 7 日报道，芬兰正在致力于建设世界上第一个核废料处置库，

该处置库被厚厚的石墨层所包围。

芬兰的奥尔基洛托岛 **Olkiluoto** 位于波的尼亚湾境内的森林下方，是一条花岗岩隧道，芬兰正准备在此隧道中存储核废物。

如果一切顺利的话，在未来十年中，芬兰将在此处置第一批核电站乏燃料。这些乏燃料被装在 17 英尺长的铜罐中，每个铜罐装有约 2 吨核废料，一共将有 3000 个存储罐被存放在于 1400 英尺深的地下，这些存储罐长达 20 英里，将被黏土覆盖后并永久存储处置。

乏燃料中含有的钚以及其他裂变产物，在未来的数万年内自然衰变，时间足够等到下一次冰河世纪或者其他重大变化的到来，但是两英寸厚的铜以及周围的黏土、花岗岩足以保证放射性核废物的安全性。

昂加洛乏燃料储存点 **Onkalo** 预计在未来一个世纪内将会花费 35 亿欧元（约 39 亿美元），该设施点将成为世界上第一个商业核废物永久处置库，来自当地政府和国家层面大力支持，使得该项目多年来进展顺利。

芬兰项目的顺利进展与其他地方形成了鲜明的对比，最著名的是美国内华达州的核废物处置库——尤卡山项目，该项目预计将会存储目前存放美国境内 75 个反应堆产生的核废料，但该项目在内华达州遇到了立法者的反对，奥巴马在 2012 年中止了该项目。现在，随着核电工业的复兴，以及尤卡山项目主要反对者的退休，特朗普政府希望重启该项目，但项目前途依然不明朗。

核废物处理专家认为，芬兰项目的成功可以为世界其他地方提供参考，所有有可能成为核废物存储地点的地方都应咨询当地民众的意见，并给予他们投票权。

芬兰的选址工作很早就意识到了需要与当地居民进行沟通。很快这种方法就证明了其正确性，当政府在 2000 年最终选定存储点时，包括奥尔基洛托岛政府在内的 **Eurajoki** 当地政府同意在中央政府没有别的存储点可考虑时，将存储点设于该地。**Eurajoki** 的官员一开始存在疑虑，后来就意识到存储点将会为当地带来就业和税收。

当地政府具有运营核电的经验。芬兰在运的四座核电站中有两座位于 **Olkiluoto** 境内，与存储点的距离不足 2 英里，附近正在建造境内的第三座核电站。

芬兰的成功与早期国家政府的工作也有关，1983 年，芬兰政府就制定了核废物谁产生谁处置的原则。**TVO** 公司拥有 **Olkiluoto** 的两座核电站，而富腾公司（**Fortum Power and Heat**）则拥有另外的两座核电站，他们有义务处理自己产生的核废料，政府只进行审批和监管工作。而在美国，核废料的处置责任在联邦政

府，尤其是能源部，这无疑增添了很多政治压力。

在 Onkalo 存储点，工人进入 1400 英尺深的地下，研究花岗岩的性质，在地面上，在隧道的入口处人们正在建造核废料预处理厂。这些核废料目前仍然存放在核电站附近的水池里。处理厂将用远程操纵的方式处理核废料，另外，芬兰南部的 Fortum 核电站的核废料将用船运抵该处。

该项目的研究主管认为岩层必须避开地下水流，因为该隧道深度在水层的下方。然而，即使是水靠近存储罐附近，也会因为有黏土的阻挡而无法对铜罐进行腐蚀，从而可避免核泄漏的发生，该存储点的安全性能长达数千年之久。

在美国，有 8 万吨核废料存储在核电站或退役的核电站附近，这些核废料或存储于水池内，或用混凝土固化，原先设定的将核废料移放至永久存储点的截止时间是 1998 年，现在已经远远超过了。

引自：核能研究展望 NPRV

11. 阿海珐计划在里奇兰核燃料厂增建设施

据外媒报道，法国阿海珐集团计划于 2017 年 6 月在里奇兰核燃料制造厂建造一座价值 1200 万美元的新设施。新设施将与现有建筑物连在一起，占地面积约 11000 平方英尺。新的升级设备会提高可靠性，并增加操作员安全性。

该设施将用于净化遭受污染的铀材料，继续采用目前用溶剂将铀与污染物分离的工艺，将铀从溶剂中剥离，制成核燃料。

里奇兰厂致力于成为世界绿色核燃料工厂之一，不产生废液，仅产生有限的固体废物。目前仍在评估该项目施工承包商的投标。预计铀废料回收设施将在 2018 年底建成。

建成后的铀废料回收设施将替换阿海珐在 Horn Rapids Road 工厂一座有 35 年历史的设施。

引自：中国能源网、北极星电力网

12. 阿联酋核电站收到首批核燃料棒

据 2017 年 5 月 27 日报道，阿联酋核能公司 (Enec) 宣布已经接收了阿联酋首个核电站-在阿联酋首都阿布扎比西部建设的 Barakah 核电站 1 号机组的燃料

组件，即具有放射性、易裂变属性的核燃料棒。

该燃料组件正在储存中，直到联邦核管理局（FANR）批准 1 号核电机组和 2 号核电机组的运行许可。该燃料组件由韩国 Kepco NF 公司生产，由高强度保护的刚性结构所覆盖，外部辐射量已达天然辐射水平，因此运输过程不需要特殊辐射防护措施。为了保障核电站燃料供应，Enec 与一系列国际燃料供应商开展合作。燃料供应合同已于 2012 年生效，该合同将保障从今年起阿联酋核电站四个反应堆 15 年的燃料需求。

2009 年 12 月，阿联酋核能公司（ENEC）宣布与韩国电力公司（KEPCO）领导的企业联盟签订协议，将于 2020 年之前在阿联酋首都阿布扎比以西大约 330 公里处的西拉建造 4 座 APR1400 核电站。目前，1 号机组的建设始于 2012 年，现已完成 95% 以上，而全部四台机组已经完成 80%。一旦四台核电机组全部投入，将提供阿联酋 1/4 的电力。

引自：商务部网站

13. 日本重启两座核电机组

据日本共同社报道，日本关西电力公司 2017 年 5 月 17 日重启了高滨核电站 4 号机组。这是时隔约一年零三个月的启动，关西电力“运行核电站为零”的状态终结。反应堆里装填了包括 4 根钚铀混合氧化物（MOX）燃料棒在内的 157 根燃料组件。这是高滨 4 号机组停运后首次发电。拟在 6 月中旬投入商业运转。

6 月 6 日，关西电力公司重启了高滨核电站 3 号机组（福井县高滨町）。3 号机组于 6 月 9 日并网，7 月初将全面进入运行阶段。

这两座核电机组此次重启困难重重。4 号机组于 2016 年 2 月重启后不久因电气系统故障而紧急停止。同年 3 月，天津地方法院作出禁止运转的暂行处理决定，该机组与 3 号机组一同持续处于无法运转的状态。但 2017 年 3 月，大阪高等法院裁定取消上述暂行处理决定，机组运转在法律上成为了可能。关西电力表示，除 3 号机组外，还有 19 座核电机组正在申请重启。

加上九州电力公司川内核电站 1、2 号机组（鹿儿岛县）、四国电力公司伊方核电站 3 号机组（爱媛县），日本国内实现重启的核电机组增至 5 个。

引自：环球网、中国核网

14. 日本退役反应堆乏燃料转运厂址悬而未定

核能研究展望 2017 年 5 月 19 日报道,日本 7 个要退役的反应堆周围存储了大约 610 吨的乏燃料,这些乏燃料的转运目的厂址尚未确定,恐怕会对这些反应堆的退役工作造成影响,反应堆建筑物以及其他的建筑物的拆除工作可能无法按计划进行。

七座计划退役的反应堆分别是日本原子能机构的普贤先进堆 (Fugen)、文殊快中子增殖原型堆 (Monju)、日本原子能公司敦贺核电站 (Tsuruga) 的 1 号反应堆、关西电力公司三和核电站 (Mihama) 的 1 号和 2 号反应堆、中国电力公司岛根核电站 (Shimane) 的 1 号反应堆、九州电力公司玄海核电站 (Genkai) 的 1 号反应堆。

普贤反应堆共有 70 吨混合氧化物 (MOX) 乏燃料,MOX 燃料是由从乏燃料中提取出来的铀、钚制成的核燃料。日本原子能机构已经放弃在 2018 年 3 月截止的财年中将这些乏燃料移出反应堆厂址冷却池的计划,考虑在海外对这些乏燃料进行后处理,但尚未签署相关的合同。日本原子能机构在 2033 年完成反应堆退役工作的计划仍保持不变,但如果还未作出乏燃料转移的决定,则退役工作的日程表可能会受影响。

而“事故专业户”文殊快堆,其所有者单位尚未向日本当局提交该堆的退役计划,如何处理反应堆产生的 22 吨 MOX 乏燃料是一个主要的问题。

三和核电站 1 号反应堆中有 75.7 吨常规乏燃料和 1.3 吨 MOX 乏燃料,2 号反应堆有 202 吨乏燃料。关西电力公司计划在 2035 财年将其全部从福井县运出,但转移地点尚未确定。

日本原子能公司计划将敦贺核电站 1 号反应堆的 50 吨乏燃料中的 31.1 吨运至 2 号反应堆乏燃料水池中,剩余部分将在 2026 财年运往正在建设中的青森县六个所村后处理厂进行后处理。六个所村后处理厂在 20 多次工期延误后,预计将在 2018 财年上半年完工,其规划蓝图已在日本原子力规制委员会网站公开。因为核燃料在没有得到有关部门的批准前,不能运往后处理厂进行处理,因此尚不确定敦贺反应堆的核燃料是否按照计划进行转运。

中国电力公司计划在 2029 财年将岛根核电站 1 号反应堆的 122.7 吨乏燃料运往六个所村后处理厂进行处理。

九州电力公司希望在 2029 财年前将玄海核电站 1 号反应堆乏燃料水池中的

97.2 吨乏燃料运出，但是现在运往目的地尚未确定。

其他三座即将退役的反应堆，计划是将相应乏燃料水池中的乏燃料运到同一核电站其他反应堆的乏燃料水池中存储。

此外，东京电力受灾的福岛 1 号反应堆——2011 年发生了严重的熔堆事故，该堆的 2130 吨乏燃料的转运地点尚未确定。

不过据官方称，目前六座反应堆的退役工作并不会受到重大影响，因为存在更为紧急的任务，如调查燃料的熔化，这是官方高度重视的事情。

引自：核能研究展望 NPRV

15. 日本 5 个核电机组获批退役

2017 年 4 月 19 日，日本五个老核电机组：玄海 Genkai 1 号，美滨 Mihama 1 号、2 号，岛根 Shimane 1 号及鹤贺 Tsuruga 1 号机组的正式退役申请，由日本核监管机构-原子力规制委员会(NRA)正式批准。

在 2013 年 7 月的修订法案中，反应堆名义运行年限为 40 年，若严格符合安全需求，可再延长服役 20 年。但在对确保符合新安全需求而进行的额外工作进行评估后决定关闭这五个机组。同时，退役计划包括即将被拆除的设备、设施以及全部工作完成的时间表。

引自：北极星核电网、中国核网

16. 美国三哩岛核电站或将永久关闭

2017 年 5 月 30 日，美国爱克斯龙（Exelon）公司称三哩岛核电站将于 2019 年关闭。按计划，该核电站运营期限是 2034 年，但由于连年亏损，爱克斯龙称如果没有政府补贴或者其他的政策，该核电站将于 2019 年关闭。目前电站有一个反应堆仍在运营，已连续三年未能从马里兰电力联营体(PJM Interconnection)的竞标中赢得容量电价支付款，同时也未能获得政府补贴，且未能借由市场改革来提高生存能力。

1968 年，三哩岛核电站 1 号机组开工建设，1974 年 1 号机组正式运营，时隔 4 年，2 号机组上线，1979 年 3 月 28 日，三哩岛核电站发生了美国最严重的核泄漏事故。同时由于反应堆有几道安全屏障，并没有对周围造成过多的影响。

2号机组也随后关闭，但1号机组一直在运营中。

引自：中国核网

17. 立陶宛核电站退役

立陶宛伊格纳利纳核电站的两座 RBMK-1500 轻水反应堆，1号机组已于2004年12月关闭，2号机组于2009年12月关闭。关闭苏联建造的两座 RBMK 机组是立陶宛加入欧盟的先决条件。

2016年1月，负责处理该核电站乏燃料的相关设施开始冷试验。冷试验包括向场址的燃料储存池提供容器，将燃料注入容器并封闭，以及为运输至储存设施进行泄漏试验等内容。依据冷试验试验结果，在得到批准后，可以开始热试验。

2017年6月7日，该核电站开始用放射性材料对固体核废物管理和贮存设施进行热试验。该项目旨在为伊格纳利纳核电站提供回取、表征、分类、运输、包装和贮存在运行及退役过程中积累的短寿命和长寿命固体放射性废物的手段。由德国 Nukem 技术公司建造的设施费用高达2亿欧元，预计乏燃料将储存于190个储桶中，共计17000根燃料棒将在设施中存放长达50年。退役工作自2010年进行以来，已经拆除了至少3万吨各类设备，占2038年前应当拆除的全部13万吨设施的23.4%。

引自：世界核协会新闻网

18. 德国又一核电站获批退役并拆除

2017年4月，德国巴登-符腾堡州环境部向德国公共事业-巴登符腾堡州能源公司（EnBW）颁布许可令，允许其菲利普斯堡（Philippsburg）核电站的1号机组（KKP 1）退役并拆除。同时内卡尔维斯泰姆（Neckarwestheim）核电站1号机组（GKN I）的拆除工作已经正式开始。

GKN I 与 KKP 1 列入德国最老的八个反应堆机组之中，2011年3月日本福岛核事故后，德国总理默克尔下令该八个机组不再服役，2013年5月 EnBW 正式提出退役与拆除申请。

引自：世界核新闻网

四、核安全监管

1. 国际原子能机构低浓铀银行计划在 2017 年投运

世界核新闻网 2017 年 6 月 1 日报道,国际原子能机构 (IAEA) 和哈萨克斯坦乌尔巴冶金厂 (ULba) 缔结伙伴关系协定, IAEA 低浓铀银行计划于 2017 年 9 月正式投运。

该低浓铀银行由哈萨克斯坦在哈厄斯克门建造和运营, 将贮存低浓铀, 以便为无法从全球商业市场使用其他方式获得低浓铀的 IAEA 成员国提供低浓铀。

该银行被视为防止核扩散国际努力的重要组成部分, 用于劝阻一些国家建设可被用于生产武器级铀的铀浓缩设施。该银行最多容纳 90 吨低浓铀, 足以满足一台典型的轻水堆机组的燃料需求, 相当于一个大城市三年用电所需的核燃料。

该低浓铀银行的设计, 包括它的设备都是由哈萨克斯坦开发。根据 IAEA 的声明, IAEA 专家已于 2017 年 3 月的实地考察得出结论, 该设计满足了 IAEA 的安全标准和安保指导性文件。

自 2016 年 8 月 IAEA 与哈萨克斯坦签订基本法律框架后, IAEA 低浓铀银行已经取得了重大进展, IAEA 和哈萨克斯坦联合建立了协调委员会, 并商定了建造银行必须基础设施的行动计划。

2010 年 12 月, IAEA 授权成立低浓铀银行; 2011 年 7 月, 哈萨克斯坦响应了 IAEA 的请求; 2015 年双方签署建立低浓铀银行的协议。

IAEA 在声明中指出, 该银行的安全是哈萨克斯坦国家的责任, 既要满足哈法律和监管的要求, 同时又要满足 IAEA 的安全标准和安保指导性文件的规定, 该银行将接受 IAEA 的保障监督。

引自: 世界核新闻网 WNN

2. 美国审计总署指出尤卡山取证的关键步骤

2017 年 5 月 31 日报道, 美国审计总署 (GAO) 表示, 能源部 (DOE) 和核管会 (NRC) 需要重建组织能力, 以重启尤卡山 (Yucca Mountain) 高放废物处置库取证程序。

根据美国 1982 年《核废物政策法》明确规定了联邦政府对美国所有民用乏燃料的管理责任。在 1987 年修订后, 该法指定尤卡山为高放废物最终处置库 (能

够处置 7 万吨废物) 的唯一候选场址, 并规定联邦政府必须从 1998 年 1 月开始接收核电公司的乏燃料, 以进行最终处置。

能源部 2008 年向核管会提交了尤卡山处置库建设许可证申请, 但时任总统奥巴马于 2009 年决定中止尤卡山项目, 并于 2010 年 1 月任命一个由 15 名专家组成的蓝带委员会, 专门负责为制订高放废物的长期安全管理战略提供建议。在开展了将近 2 年的工作之后, 蓝带委员会 2012 年 1 月公布了最终建议。

核管会 2011 年终止尤卡山建设许可证申请的评审活动, 但 2013 年 8 月美国上诉法院裁定核管会停止评审这一举动非法。此后, 核管会恢复了评审工作, 于 2015 年 1 月发布最终评估报告, 并于 2016 年 5 月发布环境影响补充报告。但是, 相关裁决听证会仍未召开。在作出发放许可证的最终决定前, 必须召开这些听证会。

众议院能源和商业委员会要求审计总署研究恢复尤卡山取证程序所需的步骤。因此, 审计总署审查了联邦法律和文件, 走访了能源部和核管会的官员和承包商, 并对 17 个非联邦党派中的 15 个进行走访或收到其书面意见, 并最终公布题为《商业核废物——恢复尤卡山处置库取证需要重建能源部和核管会能力等关键步骤》的报告。

该报告审查了能源部决定撤销尤卡山建设申请后的行动, 以及能源部或核管会恢复取证程序的所有计划, 并指出了恢复和完成取证程序所需的四个关键步骤。

首先, 核管会必须收到恢复尤卡山取证程序的指令。由五人组成的核管会委员会还必须就该程序作出若干决定, 包括完成时间表以及相关是否需要修订, 从而使核管会、能源部及其他相关方能够确定所需费用并获得必要经费。

其次, 能源部、核管会和非联邦党派需要重建组织能力, 包括重新聘用或招募法律、科学和其他专家。核管会和能源部还需要更新取证文件, 包括许可证申请和环境影响声明。

第三, 核管会及其核安全与许可证审批委员会 (ASLB) 将发出恢复裁决听证会的命令。然后, 将就拟建处置库的安全和其他事项召开听证会。

第四, 裁决听证会后, 核管会将整体信息进行审查, 并决定是否发放建设许可证。

审计署指出了一些可能影响恢复和完成取证程序的因素, 并着重指出目前至少面临两个亟待解决、并可能影响到取证程序完成时间的法律问题。第一, 能源部需要获得必要的土地权和水权。另外, 涉及处置库预期寿命的核管会安全规定

的变化，也可能延长取证时间。

审计总署表示，已向核管会和能源部提供其报告草案以征求意见。核管会基本同意其调查结果，能源部还没有表示是否同意。

引自：世界核新闻网、核信息院

3. 美国核管会 2017 年年度费用削减

2017 年 5 月 4 日，美国国会通过了 2017 年财政预算的最终草案，该草案增加美国能源部（DOE）核能办公室的费用，并大幅削减美国核管会（NRC）的费用。该预算草案包括增加小型堆许可证获取和核能研究和开发（R&D）费用在内。

该预算于 2016 年 2 月提出最初申请。核能研究院（NEI）称精简 NRC 并保留那些帮助国家核电站有帮助的项目，可以在美国提供 10 万个较高收入的就业岗位。

资金协议将给能源部（DOE）提供超过十亿美元来用于发展核能项目和研究，其中包括近 5 亿美元用于研究和开发（R&D），比预期增长了 3 千万美元。预算批准了增加小型模块化反应堆和先进研究堆超出预算要求的资金，并通过提供工业入股和合作支持来引导创新。它同时继续资助那些为核电站长期运行和为先进技术燃料开发提供支持的项目。

国会通过的预算包括：

- 资助核管会（NRC）9.05 亿美元，较 2016 年财政预算削减了约 10%。
从 2015 年财政预算开始，核管会的预算费用已经减少了 1 亿美元。
- 包括 5 百万美元用于先进反应堆“off-fee”，意味着它不受核管会一般费用回收要求约束。
- 资助能源部核能办公室 10.2 亿美元，较 2016 年财政预算水平上增加了 3050 万美元。
- 全额资助工业先进技术燃料（能源部称为事故容错燃料）成本分担项目。
- 提供 4 千万美元用于继续推进第二期反应堆执照更新的技术基础工作。
- 对先进反应堆研究增加资金，并对两个先进反应堆获奖单位：南方公司和 X-能源有限公司的继续发展增加资金支持。
- 小型模块化反应堆许可技术支持项目提供 9500 万美元的支持。与 Nuscale 电力公司项目、犹他联合市政电力系统项目、田纳西谷专家项

目 50-50 成本分担，这些公司需要投入相同的配套资金来获得资助。

核能研究院（NEI）称：2017 财年拨款将继续加快核管会的透明度，因为国会将对代理商的运营进行了有力的监督、遏制了监管范围的扩大，并制定了负责的资助水平。这些变化将会塑造一个美国人民更有效、更负责任的核管会。

引自：核能研究展望 NPRV

4. 美国能源部发布乏燃料设施选址程序草案

美国能源部 2017 年 1 月 12 日发布了基于共识的乏燃料贮存或处置设施选址程序草案，以便从相关各方收集意见和建议。该草案介绍了美国目前的乏燃料和高放废物库存情况、准备建设的三种设施、选址程序的指导思想、拟采用的选址程序以及选址的考虑因素等内容。

乏燃料和高放废物类型和数量

在美国现有乏燃料和高放废物库存中，数量最多的是商业核电厂产生的乏燃料——总计约 7.5 万吨重金属。这种乏燃料以燃料棒组件的形式贮存在核电厂厂区——浸没在水池中（湿法贮存）或封装在屏蔽容器中（干法贮存）。

高放废物主要产生于为国防目的开展的后处理工作——现有约 9000 万加仑高放废物、污泥和固态物，目前贮存在能源部（DOE）的汉福德（Hanford）场区和萨凡纳河场区（SRS）。能源部计划对这些高放废物进行玻璃固化处理。能源部还在爱达荷国家实验室（INL）以干煅烧产物形态贮存着一些国防高放废物。能源部还管理着美国核动力舰船产生的乏燃料以及能源部研发活动产生的乏燃料——总计约 2400 吨重金属。

拟建设施

为了开展乏燃料和高放废物的管理工作，能源部计划建设三种设施——中间贮存中试设施、集中式中间贮存设施以及一座或多座深层地质处置库。此外，能源部还正在研究深层钻孔处置方案。

中间贮存中试设施的容量有限，最初时将主要关注目前贮存在已关闭核电厂厂区的乏燃料。集中式中间贮存设施的容量较大，足以接收在运核电厂的乏燃料以及（如果必要）能源部场区的乏燃料。该设施将与中试设施和/或处置库位于同一场区，并配备更加多样的贮存系统。

美国将为乏燃料和高放废物建设至少一座永久性深层地质处置库。能源部还

正在编制相关计划，以便为国防活动和能源部研发活动产生的乏燃料和高放废物建设一座单独的处置库。

此外，深层钻孔处置也被认为是适宜的小体积废物处置方案，能源部目前正在开展相关工作，以证明该方案的可行性。

选址程序

为了建设上述三种设施，能源部设计一个共分为 17 个步骤的 5 阶段选址程序。能源部表示，这一草案旨在提供总体指导，而不是一个必须要遵守的严格蓝图。

第一阶段为启动基于共识的选址程序并邀请社区了解这一程序。对于三种拟建设施，这一阶段均将耗时 1-3 年。这一阶段将分 6 个步骤实施：

步骤 1，执行机构获得法律权利和经费。

步骤 2，执行机构启动基于共识的选址程序。

步骤 3，执行机构为愿意加深对选址程序了解的社区提供获得经费的机会。

步骤 4，作为对获得经费机会的回应，相关社区表示愿意加深了解的意向。

步骤 5，执行机构评价各社区提交的申请，并授予资助。

步骤 6，社区申请实施场址初步评估。

第二阶段为场址评估。对于中间贮存设施，这一阶段将耗时 1-2 年；对于处置库，将耗时 2-4 年。这一阶段将分 2 个步骤实施：

步骤 7，执行机构实施初步场址评估。

步骤 8，社区申请实施详细场址评估。

第三阶段为详细评估。对于中间贮存设施，这一阶段将耗时 2-4 年；对于处置库，将耗时 5-10 年。这一阶段将分 2 个步骤实施：

步骤 9，执行机构实施详细场址评估。

步骤 10，拥有适当场址的社区决定是否愿意在本地建设相关设施。

第四阶段为协议的协商和签署。对于中间贮存设施，这一阶段将耗时 1-2 年；对于处置库，将耗时 2-5 年。注意，这一阶段的实施时间与上一阶段即第三阶段的实施时间将出现部分重合。这一阶段将分 3 个步骤实施：

步骤 11，社区提出愿意继续推进设施建设需要满足的条件。

步骤 12，社区和执行机构协商和批准协议。

步骤 13，社区和执行机构签署协议。

第五阶段为取证、建设、运行和关闭。对于中间贮存设施，取证将耗时 2-3

年，建设耗时 18-24 个月，将运行 40-100 年；对于处置库，取证将耗时 3-5 年，建设耗时 7-10 年，将运行 30-150 年。这一阶段将分 4 个步骤实施：

步骤 14，相关设施获得许可证。

步骤 15，开展相关设施的建设和运行工作。

步骤 16，开展相关设施的关闭和退役工作。

步骤 17，在相关设施关闭后进行场区监控并与社区保持公开的双向交流。

来自：中国核科技信息与经济研究院

5. 比利时核电站反应堆容器鉴定

据欧洲媒体 2017 年 6 月 12 日报道，比利时国家核监管机构对两座核电站反应堆容器进行鉴定，内容包括容器内杂质和裂缝。这项鉴定是基于 2014 进行反应堆安全壳检查发现问题后的对比检查。

被检测的反应堆“蒂昂日 2 号”距离德国边境约 70 公里，而“杜尔 3 号”则位于比利时和荷兰的国境线附近。比利时国家核监管机构表示，两座核电站反应堆容器内没有发现新的所谓“氢”薄片，以前检测到的雪花状杂物也没有增长。但被检测出不少“细微裂纹”，再次引发了比利时邻国对其核电站的担忧。

由于超声波检测显示反应堆容器可能出现了裂缝，蒂昂日 2 号和杜尔 3 号于 2012 年被迫下线。进一步的检查结果显示，该缺陷是在制造过程中引入，联邦核控制机构（FANC）在 2013 年 5 月允许伊电贝尔重新启动该装置，并要求进行进一步的测试，以评估这些碎片的效果。

2017 年 4 月份的一次检查中发现“蒂昂日 2 号”反应堆至少新增加了 70 条裂缝。“杜尔 3 号”被检测出的新问题多达 300 余个。

“蒂昂日 2 号”和“杜尔 3 号”属于大型反应堆，均已服役 40 多年，是比利时最老的核电设施，政府于 2014 年和 2015 年先后允许两座反应堆继续运行至 2025 年。2015 年 2 月，比利时原子能管理局曾在蒂昂日核电站和杜尔核电站分别检测出了 3149 条和 13047 条裂缝，两座核电站 2016 年更被曝光不符合欧盟颁布的安全标准。

针对此次检测出的问题，核反应堆运营商比利时电力公司称检查在比利时原子能管理局的指导下进行，细小的裂纹并不会对核电站的运行构成威胁。“此次检查调整了超声波设备的检测位置，因此发现了这些新增的裂纹。”该公司认为，

只要裂纹不继续扩大，就不会危及核电站的运行。比利时电力公司将于 9 月前向政府就这些裂纹提供更加详细的分析报告。

比利时政府正在加强对核电站相关设施的监管和检查，并加大了与邻国的信息沟通力度。6 月 7 日，比利时和德国首次就核能问题在德国波恩举行会议，主要讨论了蒂昂日核电站和杜尔核电站的安全性。当地媒体报道称，比利时方面将尽快公布有关这两座核电站的详细检测报告，并成立独立监管机构对存在问题的核电站进行监管。

引自：中国核网、人民日报

6. 德国高院裁定核燃料税非法

2017 年 6 月 7 日报道，德国最高法院裁定，针对能源企业征收的核燃料税是违反宪法的。根据联邦宪法法院的裁决，德国公用事业公司在 2011 年至 2016 年间支付的约 63 亿欧元(合 71 亿美元)的费用将得到偿还。

核燃料税自 2010 年 12 月起开始征收，自 2011 年 1 月以来，每克反应堆燃料征收 145 欧元税费，2011 年到 2016 年间，为德国税收贡献 63 亿欧元。核燃料税最初是政府和核电企业间交换条件的一部分。作为 2010 年开始征税的交换条件，政府允许核电企业延长其核反应堆的服务期限。然而，在日本福岛发生核反应堆事故的第二年，德国政府态度发生大转变，决定在 2022 年之前关闭境内所有的核反应堆。但是，政府却继续向核电企业征收核燃料税。

引自：商务部网站

7. 俄罗斯 Rosatom 子公司获得新铀矿开发许可

2017 年 6 月 5 日报道，俄罗斯 Rosatom 铀矿开采部门 ARMZ 宣布其子公司 JSC Dalur 于 6 月 3 日获得开发俄罗斯库尔干地区 Dobrovolnoye 矿床的政府许可。

JSC Dalur 从 2001 年开始就在库尔干地区开展工作，目前已在这一地区经营 Dalmatovskoye 和 Khokhlovskoye 两个矿床，其 2016 年的铀产量与 2015 年持平，为 591 吨。Dobrovolnoye 矿床估计铀储量为 7067 吨，投产后将使 JSC Dalur 的年铀开采量到 2025 年增加至 700 吨。获得开发许可后，该公司预计将在 2017 年底前完成矿床开发和设施建设与运营所需的项目文件，之后根据法律要求，公

司将在当地举行听证会和讨论会，并预计于 2018 年初进行状况评估。这一系列流程通过后，才能开始地质勘查和试验开采。

引自：世界核新闻网

8. 哈萨克斯坦核安保培训中心落成

2017 年 5 月 12 日，哈萨克斯坦与美国能源部国家核军工管理局（NNSA）合作建立的核安保培训中心（NSTC）落成。通过该中心，哈萨克斯坦可在实体保护系统、核材料衡算与控制系统、应急力量和安全运输等方面为来自当地、地区和国际核设施与组织的人员提供培训。

哈萨克斯坦在 2012 年核安全峰会上发表的国家声明中宣布建立核安保培训中心。美国 NNSA 为中心的设计提供专业技术援助并支持其设施建设，后将继续同核安保培训中心合作，帮助其制定管理与运行计划，并为其员工提供课程开发与传播相关的培训。

引自：美国国家核军工管理局网站、中国核网

9. 法国电力集团收购阿海珐核电业务获欧盟批准

2017 年 5 月 30 日消息，法国电力集团（EDF）收购阿海珐集团核反应堆业务已经获得欧盟委员会的批准。

欧委会在对其进行调查后认为该交易符合反垄断法。EDF 计划收购 New NP 公司 51%-75% 的股份，该公司拥有阿海珐集团的核反应堆业务。阿海珐和 EDF 的交易完成后，New NP 的估价达到 25 亿欧元（28 亿美元）。

欧委会表示：“EDF 是欧盟最大的核电站运营商，而 New NP 则关注于核反应堆和设备的设计和供应、燃料组件、管理系统以及核能发电站的配套服务。”“虽然他们的业务没有交叉，但是这两家公司在核产业领域都是主要的参与者，一家是供应方，另一家是消费方”。

欧委会表示由于 New NP 和 EDF 的垂直关系，该收购预计不会在欧盟中引起竞争问题。欧委会表示，在欧洲经济区，EDF 不可能对其它核电站的运营商的燃料组件及其相关服务的供应进行限制，否则将违反现有合同。

2015 年 7 月，在政府的主导下，法国电力 EDF 同意收购阿海珐 51% 至 75% 的股份以振兴法国核电业务。其中要出售的反应堆业务已转移到 Areva NP 全资

子公司，称为“New NP”，但转移业务不包括在建的芬兰的 Olkiluoto 3 号核电机组和完成该项目所需的资源以及与 Le Creusot 工厂锻造部件有关的合同。这些合同将保留在 Areva NP 内。

引自：能源商业评论网、中国核网

10. 英国先进沸水堆清除最后的监管问题

英国核监管办公室（ONR）于 2017 年 4 月初通过了日立-通用电气公司设计-英国先进沸水反应堆（UK ABWR）的第二个也是最后遗留的监管问题(RI)，该问题旨在消除 ABWR 概率安全分析（PSA）中的一系列“短板”。

英国地平线核电公司（Horizon Nuclear Power）发言人称该公司仍在持续跟进，预计今年年底完成通用设计评估（GDA）。通用设计评估是英国新反应堆项目审批过程的一部分，监管机构将在不考虑特定厂址条件的情况下对反应堆设计进行安全、安保及环境影响评价。

引自：世界核新闻网

五、核国际合作

1. 中国先进反应性测量系统（SMART）首次出口巴基斯坦

2017 年 6 月 23 日，上海核工院高层代表团赴巴基斯坦伊斯兰堡，与巴基斯坦原子能委员会（PAEC）正式签订“物理启动试验优化”技术服务合同，实现了我国自主研发的先进反应性测量系统（SMART）的首次出口。

物理启动试验是根据核安全法规、导则和行业标准要求，在核电厂调试和换料启动期间开展的一系列试验，以确保堆芯物理参数与设计预期的一致性和安全分析的包络性。2014 年，上海核工院通过秦山一期核电厂物理启动优化项目，将该核电厂物理启动试验时间缩短至 2 天以内。2017 年 5 月，上海核工院在恰希玛核电厂 1 号机组成功开展了 SMART 系统的首次商用堆验证试验。

此次与巴方签订的技术服务合同，上海核工院将利用重大专项 CAP1400 研发的软、硬件相结合的 SMART 系统，支持核电厂采用先进的动态棒价值测量技术快速完成棒价值测量试验，进一步减少低功率物理启动试验时间和调硼废水量，持续提升电厂运行的经济性。

物理启动试验优化项目在恰希玛核电厂的落地，是科研与技术服务的有机联动，是 CAP1400 重大专项科研成果向技术服务产品的一次成功转化。

来自：中国核网

2. 中哈核能领域合作互利共赢

2017 年 6 月 8 日，中华人民共和国和哈萨克斯坦共和国联合声明：“**拓展和深化核能领域合作，推动和平利用核能领域的合作项目。**”

在哈萨克斯坦首都阿斯塔纳举行的 2017 阿斯塔纳世博会上，中国两大核电巨头——中核集团和中广核均表示要参与开发哈萨克斯坦的铀矿和核电站市场。

哈萨克斯坦位于中亚，是世界上最大的内陆国。哈萨克斯坦地理位置重要，不仅是古丝绸之路沿线上的重要国家，而且也是当今丝绸之路经济带上一颗明珠。2013 年 9 月，习近平主席正是在哈萨克斯坦的纳扎尔巴耶夫大学首次提出建设丝绸之路经济带倡议。

哈萨克斯坦拥有世界铀矿资源的 12%，其铀开采量居世界首位，全球十大铀矿场中哈萨克斯坦独占五个，在全球核市场中扮有重要的角色。近年来，手握铀资源的哈萨克斯坦一直企望在核燃料全产业链即铀资源勘探与开发、核燃料加工与生产、核电站建设等实现突破。

然而作为最大铀生产国，哈萨克斯坦并无核电。早期，世界上首座原型快堆 BN-350 在哈萨克斯坦运行了 27 年，直到 1999 年关闭。在哈萨克斯坦，为了解决哈国内电力不足问题，关于建立核电站已经讨论了 10 多年，最终，该国政府计划在 2025 年之前在库尔恰托夫建造一座俄罗斯核反应堆。但目前哈国产铀全部用于出口。

哈萨克斯坦的核燃料战略计划

哈萨克斯坦拥有制造核燃料芯块的大型工厂，其目标是最终销售增值燃料，而不仅仅是铀。在苏联时期，哈萨克斯坦已经具备核燃料全产业链，而如今仅剩部分产能，即天然铀开采，精炼（初级洗矿）和燃料芯块的生产。核燃料加工的其它环节在俄罗斯进行。因此，哈萨克斯坦国家原子能工业公司(下称“哈原工”)实际只从事铀矿开采和铀精矿生产，上述业务占哈原工收入来源的 70%。对核燃料循环前端而言，核燃料组件的附加值要远远大于天然铀，哈方希望能够涉足这一环节。因而，建立从铀矿开采、建造核电站，到废核燃料利用在内的核燃料生

产垂直一体化综合体系，提高产品的最终价值是哈萨克斯坦最终的战略计划。

因全球铀矿的供应过剩，2017 年年初，这个全球最大铀矿生产国哈萨克斯坦不得不宣布将其铀矿产量削减 10%，这进一步削减了公司收入。

而中国一直是哈萨克斯坦核燃料突破口。由于核电作为中国能源战略的重要组成部分将呈现蓬勃发展之势，而铀矿资源是发展核电的前提条件之一，铀资源的安全稳定供应将是中国核电发展的重要前提。因此，在核领域合作方面，中哈两国有共同的战略需求，中国核企与哈萨克斯坦的合作也是由来已久。

中哈核燃料合作之路

1.中核集团

中核是我国唯一拥有铀矿开采的核电业主。中核集团一方面发挥在地质勘探、矿山开采、选冶加工、科研开发、工程设计、施工建设和运营管理等体系优势、技术优势和人才优势，另一方面也在积极探索海外铀资源的勘探开发。

目前，中核集团已与哈萨克斯坦建立了铀资源战略合作关系。2008 年，中核国际与哈萨克斯坦原子能公司 KazatomProm 建立了一家合资企业，开采哈萨克斯坦北部的 Zhalpak 铀矿。

2.中广核集团

中广核从早年借助大亚湾核电基地成为核电业主之后，在铀的开采和加工领域，也在不断努力寻求突破。2008 年 11 月，国务院批准授予中广核铀业核燃料进出口专营资质，使其成为国内第二家具有该资质的企业，借助这一资质，中广核通过在哈萨克斯坦投资建设铀矿，大量的铀资源。2015 年，中广核提供的数据显示，中广核已控制铀资源总量 30.77 万吨，可满足 30 台百万千瓦核电机组 30 年的换料需求。

目前，中广核集团已与哈萨克斯坦国建立了铀勘探开采业务的合作关系。2007 年 11 月，中广核集团与哈萨克斯坦原子能公司成立了一家合资企业 Seminzbai-U，参与 Semizbai 和 Irkol 两个项目。

两国合作简史

2006 年，中广核开始与哈萨克斯坦开启合作模式。

2007 年 5 月，中广核与哈原工签署铀供应和燃料制造协议，2007 年 9 月，同意中广核参与哈萨克铀矿联合开采和对哈原工投资。哈原工成为中广核主要铀和核燃料供应商。

2008 年 10 月，中广核和哈原工签署了进一步协议，内容涉及铀矿开采合作、

核反应堆核燃料制造、天然铀长期贸易、核能发电和核电设施建设。

2008年11月，中广核获得铀业核燃料进出口专营资质。这一资质意味着中广核铀业可以从海外进口天然铀和核燃料组件，世界头号铀矿生产国哈萨克斯坦成为其海外首个突破口。

2008年12月，中广核与哈原工成立了合资企业，中方占比49%，共同开发分别位于哈国南部的伊尔科利铀矿和位于哈国北部的谢米兹拜伊铀矿，两矿合计可回收金属铀超过3万吨。哈原工是哈萨克斯坦从事核能原材料生产的大型国有企业，在全球天然铀市场上具有举足轻重的地位。目前运营良好，被视为中哈两国企业间合作的典范。

2009年4月，伊尔科利铀矿正式开工，标志着两大企业的合作已进入实质运营阶段。

2011年2月，中核签署了合同，从哈萨克斯坦购买25000吨铀。

2014年中，哈原工发布数据显示哈萨克斯坦铀产量的55%出口到中国。

2014年12月14日，中广核与哈萨克斯坦企业正式签署关于扩大和深化核能领域互利合作的协议。

2015年12月14日，中广核与哈萨克斯坦签署核燃料开发项目协议。根据协议，双方将在铀资源开发、核燃料生产、和平利用原子能及通过中国和哈萨克斯坦领土过境运输铀产品方面开展战略合作。另外，双方计划在哈萨克斯坦建立合资企业生产燃料组件。

2016年12月，中广核在哈萨克斯坦合资组件厂项目开工建设。作为组件厂合作的对价，哈原工将为中广核提供一个在运阶段的、储量不少于4万吨铀的新铀矿项目供合作开发。这个新铀矿项目资源规模大，品质良好，具有明显的生产成本优势。双方计划于2019年底签署铀矿股权买卖合同。

随着中哈两国在核能领域合作的逐步加深，尤其是联合声明中对核能合作进一步强调，中哈在核能领域互利共赢必将成为合作典范，可以预期未来两国在核能领域的合作将进一步加深。

引自：中国核网

3. 阿根廷明确中企在阿建核电站方针

2017年5月8日，阿根廷总统马克里表明了接受中国企业在阿根廷建设核

电站的方针。2015 年在左派前政权下签订合约时，马克里曾以“内容不透明”为由暗示要取消合约，不过中国政府通过国有银行的融资提案等扭转了局面，此后中国企业在中南美的基础设施投资接连不断。

马克里从 5 月 14 日开始访问中国和日本等，出访前在总统府接受采访时表示，“正与中国推进建设两座核电站的计划”。总建设费用为 125 亿美元，将以中国核工业集团为中心，从 2018 年底开始建设。

据当地媒体报道，贷款年息为 4.8%，低于阿根廷按美元计算的 10 年期国债的约 7%，马克里强调这是自己的成果，称“通过谈判改变了条件”。

引自：参考消息网、中国核网

4. 中国与伊朗签署阿拉克重水反应堆改造协议

2017 年 4 月 23 日，中国原子能工业有限公司、中国原子能科学研究院与伊朗核电工程建设公司在奥地利维也纳签署了阿拉克重水反应堆改造首份商业合同。合同主要包括阿拉克反应堆改造设计理念以及初步设计的相关咨询服务。根据合同，中国核工业集团将在未来 8 个月内完成阿拉克核反应堆改造的概念设计。

伊朗总统鲁哈尼此前表示，阿拉克重水反应堆将成为具有国际高标准的现代研究反应堆。

对于阿克拉重水反应堆的改造问题，中国外交部长王毅曾表示中方将为改造伊朗阿拉克重水反应堆发挥重要作用。阿拉克重水反应堆改造是伊核问题谈判中的核心问题之一。各方都重视这一问题，希望中国利用自身经验和优势发挥更大作用。经各方讨论，现在已形成基本思路，即成立六方联合工作组，由中国、美国担任共同主席。鉴于中国提出了改造阿拉克重水反应堆的设想，中方将作为倡议方更多与伊朗方面进行沟通，推动这一进程。这是中方为解决伊核问题所发挥的独特作用之一。

引自：环球网、中国核网

5. 英国欣克利角 C 核电项目开工

2017 年 5 月 9 日，中国广核集团（以下简称“中广核”）召开新闻发布会宣布，英国欣克利角 C 核电项目此前进行了第一罐混凝土浇筑，标志着土建环

节正式开工。

根据核电站的建设规律，在第一罐混凝土浇筑之后的 2 年，是土建阶段，土建结束之后，各种核电设备逐步交货，第三年进行核岛设备及常规岛设备的全面安装，第四年进行测试，第五年进行试运行、整体调试。也就是说，欣克利角 C 核电站将于 2022 年前后投入使用。

欣克利角 C 核电站使用的是法国的核电技术，中方仅是投资、建设方。但是，根据协议，2025 年，英国核电的另一个项目—布拉德威尔 B 核电站将会开工，并将首次使用中国自主知识产权的三代核电技术“华龙一号”。这意味着，中国的“华龙一号”将首次进入发达国家。

引自：时代周报、中国核网

6. 中国与 IAEA 签订低浓缩铀银行过境运输协议

2017 年 3 月 8 日，国际原子能机构 IAEA 理事会审议并通过 IAEA 与中国关于低浓铀银行的低浓铀过境运输的协定，这是机构为加强核燃料供应保障重要里程碑节点之一。之前机构已与哈萨克斯坦签署低浓铀银行东道国协定，并与俄罗斯签署了低浓铀银行的低浓铀过境运输的协定。

理事会中国代表对机构和哈萨克斯坦为低浓铀银行建设所做努力表示赞赏，同时强调了低浓铀银行的建设满足 IAEA 安全标准和安保导则文件的适用规定的重要性。

中国代表表示，中国支持机构在确保低浓铀保障供应所做的努力，并通过与 IAEA 签订该协定来为机构提供实在的支持。在中国境内进行低浓铀过境运输，涉及到核工业主管部门、外交、核安全监管、海关等多部门，各部门根据职责通力配合，同时确保国内法律与国际法的有效衔接。中方与机构就过境运输协定达成一致，也为有需要的成员国从低浓铀银行获得低浓铀提供了支持。

2017 年 4 月 5 日，IAEA 总干事天野之弥与中国国家原子能机构副主任王毅在中国正式签订了该协议。

引自：IAEA 官网

7. 中泰签署和平利用核能合作协定

2017 年 3 月 29 日，中国国家发展改革委副主任、国家能源局局长努尔·白克力与泰国能源部部长阿兰他蓬·甘乍纳拉在北京签署《中华人民共和国政府和泰

王国政府和平利用核能合作协定》，双方还就两国在核电、电力联网、电力贸易等领域的合作深入交换了意见。

引自：国家能源局官网

8. 经合组织核能署与美国电力研究所合作开展核研究

2017年6月13日，经合组织核能署(OECD-NEA)和美国电力研究所(EPRI)签署了一份谅解备忘录，以加强双方合作，交换在全球核研究方面的经验。该谅解备忘录为期五年，用以建立双方之间的对话，组织内各代表可以邀请委员会成员参加彼此的委员会会议，并组织相应的联合活动、研讨会与培训活动。

联合声明称，该谅解备忘录的目的是“加深两组织之间对核能领域全球研究需求的理解，并对行业前景及监管与国家政策等进行探究”，合作涉及安全、辐射防护、技术发展、实际经验、经济分析及放射性废物管理等多个领域。

美国电力研究所是一个独立的非政府组织，主要从事电力生产、输送和利用方面的研究和开发工作。其成员包括全美90%左右的电力生产、输送方及来自30多个国家的成员。

引自：核能署官网、世界核新闻网

9. 印度总统访问欧洲四国 为印度核电引资

自2017年5月31日，印度总理莫迪开启了“欧洲四国游”，先后访问了俄罗斯、西班牙、德国和法国，与俄罗斯就建设库丹库拉姆核电站5号和6号机组提供贷款一事签订框架协议，与法国阿海珐签订了深化核能合作的谅解备忘录。与此同时，莫迪在俄罗斯和法国还两次发声，承诺遵守《巴黎协定》。

核电领域收获颇丰

6月1日，俄罗斯总统普京与莫迪在圣彼得堡国际经济论坛期间举行会谈，并发表《圣彼得堡宣言》，就库丹库拉姆核电站等议题签署了一系列文件。两国在农业、钻石开采、火箭研发、制药等领域共确定了19个项目合作。

俄印领导人举行会谈期间，两国就建设库丹库拉姆核电站5号和6号机组提供贷款一事签订框架协议和政府间议定书。俄方计划20年内在印建设至少12座核电机组。

莫迪称：到 2022 年，印度绿色发电量将达到 1750 亿瓦，俄罗斯承诺为库丹库拉姆核电站提供总额 42 亿美元的贷款。

库丹库拉姆核电站位于印度最南端坦米尔那都邦孟加拉湾沿岸。该核电站是根据前苏联与印度在 1988 年 11 月 20 日签署的协议以及 1998 年 6 月 21 日签署的合同附件进行建设的。在俄罗斯核能建设出口公司的支持下，印度核电公司（NPCIL）从 2002 年起修建电站。随后因福岛核事故、资金缺口、技术难题等原因被搁置，直至 2012 年才获得重启。库丹库拉姆核电站 1、2 号机组于 2013 年正式落成，分别于 2016 年 1 月和 8 月并网发电。3、4 号机组也于 2016 年破土动工。

莫迪在访问法国期间，6 月 3 日，在印法领导人的见证下，印度拉森特博洛公司和阿海珐签订谅解备忘录，旨在通过提高国产化率降低成本，提高印度马哈拉施特拉州贾拉普尔核电项目的财务灵活性，并实现技术转让，促进印度本土核能产业发展。

印度政府宣布，计划新建 10 座重水反应堆，以推动核能产业发展。这是印度为实现核能自给自足而迈出的重要一步。

印度目前拥有 22 座核电站，总装机容量为 6780 兆瓦。印度能源部长戈亚尔表示：“新反应堆将增加 7000 兆瓦装机，为产出更多清洁能源做出贡献，并创造约 110 亿印度卢比的商业价值，提供超过 3.3 万个就业岗位。”

承诺遵守《巴黎协定》

在访问欧洲期间，莫迪多次强调履行《巴黎协定》的重要性。印度与俄罗斯发表联合声明说，将广泛使用天然气，进一步减少温室气体排放，并帮助两国实现《巴黎协定》的目标。

莫迪在访法之际也表示，印方将完全遵守《巴黎协定》的承诺。保护环境和地球是印度人民的信条，因为具有数千年历史的古印度教经典就已经教给印度人民环保理念。印度治理气候变暖的努力也不会仅限于《巴黎协定》的承诺。

另外，印法双方还重申加强在新能源领域的合作。法国总统马克龙还宣布将于年内访问印度，出席国际太阳能联盟峰会。

印度能源部长戈亚尔在维也纳能源论坛上发表主旨演讲时说，印度正积极推广可再生能源，以实现减排目标，举措包括提高可再生能源使用率、推广电动汽车、建成汽车电池生产基地，以及普及其他节能产品。

印度能源部设定了一大“雄心勃勃的”目标——停止销售以汽油为动力的车

辆。印度政府已委托相关机构就“到 2030 年实现汽车纯电动化”开展研究。太阳能和风能也可作为储能装置的补给，使电池性能更好。

根据《巴黎协定》，印度承诺 2030 年之前 40% 的电力将来自绿色能源，据估计，要实现该目标需花费 2.5 万亿美元。据估计，实现气候承诺印度需花费 2.5 万亿美元。

数据显示，印度已在履行其承诺还超出其原先的目标。5 月，由于煤电产能过剩和太阳能定价急剧下降，印度已取消了 13.7 亿千瓦的新煤电产能，同时降低了煤炭年产量。

引自：中国能源报

10. 韩国与阿联酋分享 APR-1400 的运营经验

2017 年 6 月 8 日报道，韩国水电核电公司（KHNP）与阿联酋 Nawah 能源公司（Nawah Energy）签署合作协议。未来双方将共享 APR-1400 机组运营经验。韩国的首台 APR-1400 机组已于 2015 年 12 月投入商运。阿联酋的首台 APR-1400 机组已完成初步建设，正在等待监管机构发放运行许可证，以便能向该机组堆芯装料。

水电核电表示，未来双方的合作范围将逐步拓展至共享维护经验和“紧急物资”以及零部件联合采购等。

引自：世界核新闻网

11. 瑞典法国签署协议拆除德国核电站内部部件

2017 年 6 月 9 日，瑞典大瀑布电力公司（Vattenfall）与阿海珐集团公司（Areva-EWN）就拆除德国布龙斯比特（Brunsbüttel）核电站的反应堆压力容器签署合同，这项工作拟在 2020 年前完成。该协议还包括为德国科律梅尔（Krümmel）核电站的退役和拆除（D&D）提供服务的选项。

分割和包装堆芯废物和反应堆压力容器内部组件的工作将在水下完成。验证技术和一个有资质的水下机器人将用来提高效率并减少操作时间。

大瀑布电力公司一直负责两座德国核电站的运行，各占布龙斯比特（Brunsbüttel）核电站和科律梅尔（Krümmel）核电站 66.7% 和 50% 的股份。布

龙斯比特（Brunsbüttel）核电站是 771MW 沸水堆，1977 年开始运行。科律梅尔（Krümmel）核电站是 1346MW 沸水堆，1983 年开始运行。

2015 年 5 月，德国意昂集团 EON 和大瀑布电力公司签署了在德国共同拥有的核电站的退役和拆除合作协议。2011 年福岛核电站后，德国对境内老旧核电站进行停堆检验，布龙斯比特（Brunsbüttel）核电站是 2011 年 3 月停堆的八个最古老的德国反应堆之一。其实，自从 2007 年以后，该核电站一直处于闲置状态。2012 年底，大瀑布电力公司申请了该核电站的退役工程，目前批准过程正在进行中。科律梅尔（Krümmel）核电站同样于 2011 年撤销运营许可证，大瀑布电力公司于 2015 年 8 月提交了停用和拆除工厂的申请。

阿海珐集团公司（Areva-EWN）正在退役和拆除德国的 Greifswald 和 Rheinsberg 核电厂。该公司还负责处理和临时储存乏燃料及其产生的放射性废物。此外，该公司还被德国政府指派来管理公共部门所有放射性废物的最终处置。

引自：阿海珐集团官网、世界核新闻网

12. IAEA 与俄罗斯合作加强核能基础设施建设

2017 年 4 月 19 日，在国际原子能机构(IAEA) 总部维也纳，IAEA 由副总干事 Mary Alice Hayward 与俄罗斯国家核电公司 Rosatom 国际事务副总经理 Nikolay Spassky 共同签署协议，将共同合作改善俄罗斯国家核基础设施建设，并在国家计划中推广核能并扩充现有项目计划。

引自：IAEA 官网

13. 伊朗、欧盟签署首个核安全合作项目

2017 年 4 月 18 日，伊朗和欧盟委员会签订了首个核安全合作项目，该项目将在伊朗和六大国签订的核协议框架下进行。

欧盟委员会表示，该项目价值 250 万欧元，旨在为伊朗核安全中心编写符合核协议的可行性研究报告，以提高伊朗核监管机构（INRA）的能力。

该项目还支持 INRA 建立一个核监管框架，致力于使伊朗加入若干国际核公约，包括《核安全公约》，并评估布什尔核电厂将进行的压力测试结果。

该项目是欧盟根据《核安全合作手段》在 2016 年批准的首个 500 万欧元行

动。布什尔核电厂压力测试是第二个项目，计划在几周内签署。

伊朗和六大国于 2015 年 7 月 14 日签署了《联合全面行动计划》(JCPOA)，并于 2016 年 1 月 16 日开始实施。根据 JCPOA，伊朗承诺对其核计划加以限制，以解除对伊朗的相关核制裁。

引自：世界核新闻网

14. 俄罗斯与印尼展开核监管合作

2017 年 3 月 31 日，维也纳国际原子能机构总部举办的第七届“核安全公约”(CNS)缔约方大会上，俄罗斯与印尼的核监管机构共同签署了一项谅解备忘录(MOU)旨在对于辐射安全监管和核安全相关的一系列事项进行合作。该备忘录由俄罗斯联邦环境、工业和核监督服务(Rostechнадзор)主席 Alexey Aleshin 与印尼核能监管机构(BAPETEN)主席 Jazi Eko 共同签署。此前，早在 2006 年 12 月俄罗斯与印尼便已签署核能合作协议。

引自：世界核新闻网

六、核安全事件

1. 日本福岛核电一安全壳上盖移位掉落 或影响清理

2017 年 6 月 26 日日本媒体报道，在因氢气爆炸严重受损的日本东京电力公司福岛第一核电站 1 号机组，位于反应堆安全壳上方的用于遮蔽放射线的约 520 吨重的混凝土上盖出现移位，可能有部分掉落在安全壳上部并与其发生接触。

报道称，上述情况在为清理反应堆厂房上部瓦砾而开展的调查中被发现。上盖掉落可能并未使安全壳受到损伤，东电将最晚在 7 月上旬完成调查并决定应对措施。

据推测 1 号机组因遭遇核事故，反应堆压力容器内的核燃料大部分都已熔化并掉落至安全壳底部，但因内部状况不明，熔落燃料何时取出尚无眉目。东电最快将于今夏确定取出燃料的操作步骤方案，如果要从压力容器上部取出就必须撤去上盖。

移位后掉落的是被称为“Well Plug”的圆形上盖，由 3 块叠加而成。每块直

径约 12 米，厚约 60 厘米，重量为 163 至 182 吨，各有 3 个部件构成。上盖被安装在安全壳上方 1.7 米处，目前 3 块均已移位，最下面的 1 块有部分部件可能已触及安全壳。

据负责调查的日本清水建设公司透露，厂房上部有崩塌的屋顶钢筋、混凝土碎片等大量瓦砾。可能还有瓦砾掉落到了上盖附近的乏燃料池中。池中目前还剩 392 根燃料组件。

据了解，日本东电公司计划从 2020 年度起从池中取出燃料，在清除瓦砾后将搭建取出燃料用的起重机。

来自：中国新闻网

2. 日本核辐射事故 5 名员工受辐射

当地时间 2017 年 6 月 7 日，日本原子能研究开发机构大洗研究开发中心发生核辐射事故，5 名男性员工遭受辐射。该机构在 7 日发布消息称，在 4 人的肺中检测出放射性物质。其中一名 50 多岁的员工从肺部检测出 2.2 万贝克勒尔的钚 239。8 日，该机构推测进入该男性员工体内的放射性物质总量高达 36 万贝克勒尔，目前正在进行更为详细的调查。

据该机构介绍，从男性员工肺部遭受的辐射值推算出进入其血液、骨头、内脏等全身的放射性物质总量为 36 万贝克勒尔。该数字相当于一年遭受 1.2 希沃特，50 年遭受 12 希沃特的内部辐射。而日本的国家标准规定，处理放射性物质的工作人员受辐射量的最大限度为一年 0.05 希沃特或者 5 年 0.1 希沃特。

报道表明，5 名工作人员在燃料研究楼中的分析室检测核物质时，打开不锈钢制的容器后，放在里面的塑料袋发生破裂，粉末状的放射性物质四处飞散。包括上述男性员工在内 4 名员工将放射性物质钚 239 及镅 241 吸到肺里而遭受体内辐射。目前尚不清楚塑料袋破裂原因。报道称，这 5 名工作人员已被送至专业机构，正在接受药物治疗以促使放射性物质排出体外。目前尚没有人反应身体不适。原子能机构正对遭受辐射的详细情况及对人体健康造成的影响进行调查。

6 月 13 日日媒报道,在放射线医学综合研究所对工作人员的肺部复查多次也未检测出放射性元素钚。现在怀疑原子能机构在最初进行检查时,清除污染不够充分,将附着在体外的钚元素也进行了检测,这有可能将体内遭受辐射的情况夸大。

引自：人民网

3. 美国汉福德工厂事故

当地时间 2017 年 5 月 9 日早上 8:30 左右，在距离温哥华市东南部约 400 多公里的美国华盛顿州的汉福德核废料处理厂（Hanford Nuclear Reservation），一条隧道发生倒塌，隧道内有装有核污染物品的轨道列车，但并无任何放射性从洞内释放，也无人员伤亡。

事故发生后，汉福德地区发布了一条警戒（警戒是最低级别的紧急分类，并且在事件预计不会影响设备以外的人员时被宣布），迟些时候，警戒上升为紧急事件（一般情况下，只有当事件影响或可能潜在地影响设备边界以外的人员但不超出汉福德地区边界时，就会宣布紧急事件）。

同时，美国能源部里奇兰德市运营办事处启动了汉福德紧急行动。为保护人员，采取的行动包括：

- 作为预防措施，PUREX 设施附近的工人被告知到避难所躲避；
- 严格限制汉福德遗址中心的员工出入；
- 公众和媒体均可通过致电寻求事件的最新消息。

隧道塌陷是在汉福德工厂工作人员在进行例行检查时发现的，隧道毗邻汉福德遗址中心的铀铯提取设施（也称为 PUREX），倒塌导致隧道上方 400 平方英尺（37.1 平方米）的土壤下沉 2-4 英尺（0.5-1.2 米），沉陷的土壤似乎进入隧道。事发时，隧道内没有工人，而发生部分倒塌的 360 英尺长的隧道内有 8 辆载有受污染设备的轨道列车。而与之交叉的另一条隧道内有 28 辆受污染设备的轨道列车。

随后，工作人员在 PUREX 设施周围的外围区域使用手持测量设备进行监测，并在塌陷区和附近部署了一个遥控操作的测量装置 TALON，TALON 设备能允许工作人员安全地监测潜在的污染区域。截止当地时间 5 月 9 号下午，没有任何污染释放迹象，包括 PUREX 设施附近的所有人员均没有受伤的报道，工作人员们仍在继续调查污染区域。

关于隧道倒塌的原因目前仍在调查中，但能源部表示，很可能是由于修路人员在隧道上方施工造成的。

相关工作人员正在寻找如何修复隧道顶部的洞穴的办法，以防隧道内被污染的设备通过放射性气体扩散。

该隧道是冷战期间在 PUREX 附近建造的两座隧道之一，主要用于储存在华盛顿东南部铀生产作业中受污染的设备。隧道由木材和混凝土构成，上面覆盖约 8 英尺厚的土壤。两条隧道一直从 PUREX 工厂的东边延伸至南部。除了这条长

约 360 英尺的外，另一条长约 1700 英尺，这个 20 英尺宽×20 英尺长的洞穴是两个隧道的连接区域，隧道所在区域被称为 200E 区。隧道在 20 世纪 90 年代中期被密封，当地工作人员会对它进行定期检查。

汉福德核工厂坐落于华盛顿州，位于首府西雅图东南大约 300 公里。第二次世界大战中，为抢在纳粹德国之前造出原子弹，美国于 1941 年启动“曼哈顿工程”。在这一项目下，汉福德核工厂于 1943 年建立，主要为美国政府生产钚，用来制造核武器，包括二战中投放到日本长崎市的原子弹。冷战结束后，成为核废料储存地。目前它是美国最大的放射性核废料处理厂区，约有 5600 万加仑的核废料，大多数的核废料都置于地底下。该地自从 1980 年以来就没有再生产钚，汉福德核工厂其实早在 1980 年已退休，不再用于生产核原料，但现在这里依然存有大量液体和固体放射性废料，以及被污染的地下水。作为世界上最大的核废料设施之一，汉福德核废料储存地的清理工作多年来一直是能源部的一个首要事项。1989 年政府开始实施核废料清理计划。美国能源部近期雇用了私人承包商开展一项价值为 1100 亿美元的工程，来清理储存在 177 个地下储存罐内的 5600 万加仑化学核废料。

引自：汉福德官网、中国核网

4. 欧洲核电站受全新勒索病毒攻击

2017 年 6 月 27 日，欧洲多国的企业及政府部门均受勒索软件“Petrwrap”入侵，当中以乌克兰最为严重，切尔诺贝利核电站的电脑系统也受到攻击，致使核电站部分区域的辐射监测不得不改为人工操作。

这种未知新病毒和勒索病毒很像，都是远程锁定设备，然后索要价值 300 美元的比特币作为赎金。英国、乌克兰、俄罗斯、丹麦等地都已经爆发这种新病毒。其中，乌克兰的情况最严重，大量商业银行、私人公司、电信运营商、政府部门系统、首都基辅鲍里斯波尔国际机场都受到了攻击。

引自：北京晨报网、中国核网

七、核安全技术发展

1. 中国通用核仪器领域首个国际标准正式生效发布

2017 年 5 月 26 日报道，国际标准化组织 IEC（国际电工委员会）公布，由

中核集团主导制定的中国通用核仪器领域首个国际标准——无损检测用电子直线加速器标准英文版、法文版等正式生效发布。

该国际标准的制定，填补了中国通用核仪器领域的空白，为开拓国际市场奠定了技术基础，为相关工作的开展积累了宝贵经验。

中核集团积极推动优势产业国际标准培育，2013年初，集团公司组织核工业标准化研究所对核工业各专业领域的标准进行分析梳理，中国原子能科学研究院的无损检测用电子直线加速器产品技术处于国际领先水平，而其所在的通用核仪器领域暂无相关国际标准，而且产品已发布国家标准，可在此基础上进行标准国际化工作，决定开展无损检测用电子直线加速器的国际标准制定工作。

集团公司组织中国原子能科学研究院与核工业标准化研究所等单位技术人员成立了专门项目组，开展标准文本的编制和相关实验工作，组织核工业标准化研究所多次与 IEC 组织沟通，协调超过 5 个国家的代表加入项目组，又与投票国积极沟通，积极推介该标准。经过 4 年努力，该标准最终获得了 91% 投票国支持，确保了正式生效和发布，比预计完成时间提前了 7 个月。

引自：中核集团官网

2. 日本开发新型核电机机器人

日本东芝公司 2017 年 6 月宣布，将与日本国际核退役研究所合作开发出一款新型水下机器人。日本东京电力公司计划于近期使用机器人，通过其在福岛第一核电站 3 号机组的反应堆安全壳内底部沉积的污水中游动展开调查。

从 2011 年福岛核电站事故之后，就陆续有机器人进入反应堆内开展调查，但大部分都因核辐射太高、通讯中断和地形复杂等问题很快“阵亡”在核电站内。

运用于核工业的机器人与其他工业机器人最大的不同在于需要承受辐射。核电机机器人的运用范围不仅是在极端事故情况下的应急与救援，更普遍的是在核电站中应用。

专家称，核电机机器人与其他工业用机器人最大的不同在于需要有抵抗辐射的性能，但其中很多技术可以民用，例如对固体废弃物的处理。未来，在民用上或许较大的产业化空间。

高辐照成“拦路虎”

2011年“3·11大地震”引发核泄漏事故后，福岛第一核电站1至3号机组发生堆芯熔化，即反应堆内压力容器中的核燃料棒失去冷却后迅速升至极高温度而熔毁，并从压力容器底部泄漏到外面一层安全壳的底部。

福岛第一核电站运营方东京电力公司曾多次利用“机器人敢死队”调查安全壳内部状况，但多台机器人均在安全壳内“阵亡”。

特别是在最初期进入泄漏现场的机器人，几乎瞬间就被“秒杀”。当时只有美国军用级的机器人，如iRobot公司的Packbot 510和Warrior 710，才能进入核电站调查。直到2011年6月，事故发生2个月后，才有一台日本千叶工业大学研发的名为Quince的日本机器人进入了核电站的废墟。

“日本在上世纪80年代以前，特别是早稻田大学机器人研究所，对于核电机机器人的研发一直处于世界先进水平，但之后，因为方向出现偏差，走向娱乐化机器人的研究，核电机机器人研究进度放缓，这或多或少因为没有获得东京电力公司的支持。”专家称，“当时东京电力公司对核安全的重视不够，没有同意与早稻田大学合作。在这种情况下，日本其他四家电力公司对核电机机器人也没有足够重视。”

日本在福岛事故后，开始重新重视核电机机器人的研究。

近年来，包括千叶工业大学在内的各高校加紧与三菱重工等公司合作研发各种类型的新机器人，希望进入到核电厂融化核心地点进行调查，从而为将来的去污作业做出规划。

除自己研发外，日本东京电力公司因为技术问题也曾试着寻找外援，例如，在2015年10月与法国原子能与可替代能源委员会签署相关协议，以收购能够承受福岛第一核电站反应堆安全壳内高辐射的机器人。

这些进入核岛的机器人本身构造都不复杂，简单来说就是“摄像头+小车”的结构，但最主要的还是高辐射问题。

“虽然进入安全壳内调查的机器人相比其他类别机器人在传感、控制电路板等元器件做了防辐射处理，但目前的技术还较难承受高辐照剂量下的长时间正常工作。”专家表示。

以成像元器件为例，目前只有两种方法用来屏蔽核辐射，一种是用铅玻璃等材料屏蔽，但会造成设备笨重；第二种是用距离屏蔽，即摄像头在前方，用很长的线缆在后端连接成像元器件。

应用市场打开

虽然被称为“机器人”，但实际上并不是指人工智能。到目前为止，所有部署在日本福岛核电反应堆清理工作中的机器人都由人类工作者操控。

专家表示，核电设备最重要的是可靠性，最好是人工操控，而且最好带线缆，如果机器人是通过遥控进入反应堆，出现故障就无法从反应堆中撤出而成为固体废物。进入福岛核电站进行调查的机器人已经是先例。

事实上，除了专门用于核电极端事故的调查与处理的机器人，核级机器人更多用于核电站日常的运行与维修。核电机器人的实质是代替人的机械设备，一方面代替人承受一些高辐射剂量、危险的、劳动强度大的工作，另一方面可以提高生产效率。

尽管如此，与普通的工业机器人相比，核电机器人的应用市场仍相对较小。很少会有专门做机器人的公司切入这个细分领域，主要还是核电企业与高校、研究所等做产学研方面的开发。

专家指出，有推广和产业化空间的是将日常运维的机器人做一些减法后进行二次开发，但目前做得比较少。核电本身也是拉动中高端制造业的重要引擎，是军民融合的天然载体。

引自：21 世纪经济报道（广州）

3. 韩国完成 ITER 计划等离子体室装配工具

2017 年 5 月 11 日，国际热核聚变实验堆（ITER）第一个真空容器扇形分段装配工具完成工厂验收测试并在韩国举行仪式，该工具是在法国南部城市卡达拉希建设的。作为对国际 ITER 项目采购捐款的一部分，韩国国内机构负责设计和制造扇形分段装配工具以及其他 128 个专用装配工具。

ITER 等离子体室，或称为真空容器，由 9 个 440 吨重的楔形钢制扇形部分组成。每个重约 860 吨的扇形分段装配工具用于支撑总重量约为 1200 吨的一个真空容器扇形区、两个环向场线圈以及热屏蔽。ITER 表示，完成第一个工具的经验教训将有助于制造第二个工具，相关工作已经在韩国开始。

欧盟为建造 ITER 托卡马克装置承担近一半的费用，其他 6 个 ITER 成员（中国、印度、日本、韩国、俄罗斯和美国）均分剩余部分。根据 2016 年修改后的时间表，计划于 2025 年首次产生等离子体，氘-氚聚变实验将于 2035 年开始实

施。预计建造费用为 220 亿美元。

来自：中国核科技信息与经济研究院

4. 韩国完成研究堆新型燃料辐照试验

2017 年 4 月 26 日，韩国原子能研究所（KAERI）宣布成功完成了一种用于研究堆的板状铀-钼燃料的性能试验。该燃料可用来替换有扩散风险的高浓铀燃料。

2012 年，比利时、法国、韩国和美国就高密度低浓铀燃料生产技术开发达成合作，使用由韩国原子能研究所（KAERI）开发的离心雾化技术。该合作旨在减少民用研究堆中高浓铀的使用。

2013 年 6 月，美国向 KAERI 提供了 110 千克低浓铀，用于制造 100 千克雾化铀-钼粉末。2014 年 1 月，阿海珐研究堆燃料制造商 CERCA 将粉末运至法国加工成燃料元件。

2015 年 10 月，爱达荷国家实验室的先进试验堆开始实验性的铀-钼燃料测试。铀-钼燃料具有比铀-硅燃料更高的铀密度水平，可以使用低浓铀代替高浓铀。KAERI 表示，该燃料还可以提高研究堆性能。KAERI 表示，燃料测试结果将用于规划在釜山建造一个新研究堆的许可证，这将是首个申请使用铀-钼燃料的反应堆。

引自：世界核新闻网

5. 西屋正式推出 EnCore™ 燃料

2017 年 6 月 13 日，西屋公司正式宣布推出 EnCore™ 耐事故燃料。EnCore 燃料安全性更好，铀使用效率更高，能为核燃料客户提供预计高达数亿美元的经济效益。

该公司表示，该燃料将分两个阶段交付，第一阶段 EnCore 燃料产品采用有覆层的包壳、硅化铀芯块，相较于以前的燃料，这些芯块的密度和热导率更高。在正常运行（250°C-350°C）期间，带有覆层的包壳氧化和吸氢较少，从而延长包壳寿命，提高耐磨损性能和安全裕量。这种包壳在失冷事故（LOCA）、反应性事故（RIA）和超出设计基准的条件下，可以长时间暴露于高温蒸汽和空气

(1300°C-1400°C) 中。

EnCore 燃料第二个阶段还将采用碳化硅包壳，其熔点极高（2800°C 甚至更高）、极不容易与水发生反应，在超出反应堆设计基准的事故情况下，产生的热量和氢气极少，可为反应堆提供重要的安全保障。

引自：nuclearstreet.com 网、中国核网

6. 美国核学会宣布核领域九大挑战

2017 年 6 月 13 日，美国核学会（ANS）年会在美国旧金山召开。ANS 主席 Andy Klein 宣布 2030 年前人类需要解决的九个核领域重大挑战，分别是：

- 1) 建立现代辐射防护中低剂量准则的科学依据
- 2) 核行业要改变对公众参与的看法
- 3) 实现闭式核燃料循环
- 4) 确保可持续的放射性同位素供应
- 5) 振兴核技术基础装置和设施
- 6) 加快先进材料的开发和验证
- 7) 加快仿真和实验的利用
- 8) 推动先进反应堆设计的许可和部署
- 9) 推动核教育和知识传承

Andy Klein 表示，美国核行业正处在一个十字路口。我们只有努力解决当前面临的重大挑战，才能继续享有核这个至关重要的技术对我们的经济、政治以及社会带来的效益。我们汇总了近 300 份建议书，听取了很多专业研讨并最终总结出这些挑战。

“ANS 核领域重大挑战”报告中，重点描述了如何共享信息，鼓励政策制定者以及公众参与和交流，促进核技术的进步。

“ANS 核领域重大挑战”将成为 ANS 研究，以及向政府、企业、组织和对未来核技术感兴趣的其他人士提供建议的基础。

ANS 成立于 1954 年，是一个由工程师和科学家组成的致力于和平应用核科学技术的国际专业组织。其成员超过 10,000 人，遍布政府、学术界、研究实验室、医疗设施和私营企业。

引自：核能研究展望 NPRV

7. 美国研发新技术实时监测高辐射环境下材料性能

2017年5月31日消息，美国麻省理工学院(MIT)正在开发一种新技术，可监测暴露于辐射环境中的材料微结构演变和降解过程。

在实时检测暴露于辐射环境中材料的机械和热传输性能变化——该特性决定了材料可安全应用于工程系统中的寿命——实验过程中面临着一大挑战，就是这种变化的发生过程相对缓慢。MIT的研究人员提供了一个可检测辐射环境中材料特性变化的持续监测的动态方案，可获得材料微结构演变的实时动态信息。

主要研究成员 Cody Dennett 表示：“在 MIT 的中等规模核材料实验室，我们一直在开发一种名为瞬态光栅光谱 (TGS) 的改进型技术，该技术对材料的热传输和弹性性能变化均十分敏感。”

Dennett 补充道：“要实现利用该方法监测材料的动态变化，我们首先要开发和测试一种新型光学系统，其对于材料特性的监测可以达到时间分辨率的水平。”瞬态光栅光谱技术基于激光诱导与材料表面周期性激励的监测。

通过在样本材料表面施加一个固定波长的脉冲激光，我们可以诱导材料激励，这些激励在不同系统中的表现形式不同，但我们在金属材料表面观测到的主要是表面声波的形式，这种方法即为瞬态光栅技术。

Dennett 表示：“这些激励的震荡和衰减特性与材料的热传导性能和弹性性能直接相关。我们可以将物质的自身激励作为探测激光的衍射光栅来监测材料的激励特性。具体来说，我们可以检测探测激光的一级衍射，因为其强度和振幅直接反映了材料的激励振幅和强度。”由于研究人员检测到的信号非常弱，因此需要参考光束对其进行空间放大，这一过程被称为外差放大。

Dennett 表示：“最完整的测量过程是收集多组（不同光程差）信号与参考震荡之间形成的外差相位数据以消除系统噪声。因此，我们在系统中增加了一个紧凑的附加探测激光路径，并通过此方式实现多组外差相位的同时测量。”这使得研究人员进行完整的测量只取决于系统的重复性、检测频率和期望的信噪比。

研究团队的该方法被称为双重外差相位采集瞬态光栅光谱(DH-TGS)法，该方法可用于材料系统的动态监测。

Dennett 表示：“我们的技术对材料的弹性性能和热传输性能比较敏感，因此可以但应出待监测的材料系统的微观结构变化。”

由于 DH-TGS 法是一种无损的材料诊断方法，Dennett 坚信很多系统都将利

用该方法实现对微观结构的动态监测。Dennett 表示：“我们对于材料的辐射损伤尤其感兴趣，当该方法也将应用于其他应用中，如研究低温对于材料相位变化的影响等。”

该研究小组的下一步研究计划是构建一个粒子加速器的模型，用以观测材料暴露在粒子加速器中的材料特性变化。

引自：大国重器

8. 美国研究人员建造出世界上最大的透明测试组件

典型的燃料组件被封装在不锈钢容器中，所以在测试的时候看不清里面发生了什么，然而美国德克萨斯 A&M 大学核工程系的研究人员为先进钠冷快堆燃料组件的运行提供了新的见解，这不仅因为他们的实验可以为先进的反应堆提供实用的测量数据，还因本实验使用了迄今为止同类型最大的透明测试燃料组件。

该燃料组件使用丙烯酸丙烯酸树脂制成，为了获得最准确的测量结果，研究人员使用了与丙烯酸树脂相同折射率的特殊流体。然后他们用荧光染料和其他粒子注入溶液并将其暴露于激光以获得高分辨率，可以观察测试过程测试束内部不同位置的速度和压降，而这也将为泰拉能源的行波堆研究提供高保真的实验数据。

引自：世界核新闻网

9. 加拿大启动商用熔盐核电厂选址评估

2017 年 6 月报道，加拿大正式开始推动第一座商用熔盐式反应堆（IMSR）的选址评估，准备 2020 年代开始正式建造这种新式核反应堆。

加拿大陆地能源（Terrestrial Energy）是熔盐式反应堆的主要研发者，而加拿大国家核能实验室（CNL）和陆地能源公司去年签署了一项合作备忘录，支持陆地能源的熔盐式核能工程计划。内容包括反应堆物理、热液压环境、冶金、化学、核废料管理和核电厂退役程序。

熔盐式反应堆是第 4 代反应堆的一种，与现今核能最大的差别在运作模式以及燃料形态。现今的核能使用的是慢速中子来进行连锁反应，因为核燃料是铀-235，不过铀-235 的浓度不高，在天然铀矿中仅有 0.71%，因此有耗尽的隐忧。可是熔盐式是一种快中子滋生式反应器，这意味着它可以使用地壳中较丰富的钍

矿来当燃料。核子燃料的形式不是现在的燃料束，而是熔融状态的氟化物或氯化盐。这种形式的最大好处在于反应堆不会因为冷却液的损失而导致堆芯熔解。而且这种核反应堆的燃料来源很丰富，甚至可以使用现今的高阶核废料来发电，效率也比现今的反应堆好。除了加拿大以外，中国大陆、俄罗斯也在积极开发熔盐式反应堆。

引自：世界核能新闻(WNN)、中国核电信息网

10. 欧洲完成首个国际热核聚变实验堆磁体

2017年5月19日消息，全球最复杂的超导磁铁在欧洲制造成功。该磁铁有14米高，9米宽，重达110吨。这是ITER的核心装置之一，也是ITER最终要使用的18个环向磁场圈的第一个。这一超导磁铁是迄今为止全球最强大的磁铁，将在2025年前投入到为ITER服务的工作中。

ITER 18个环向磁场线圈中的9个线圈和1个备件正在欧洲制造，另外9个线圈正在日本制造。这些环向磁场最终会产生一个巨大的磁场，能够在1.5亿摄氏度时产生核聚变反应。当电流达到6.8万安时，这些装置将产生11.8特斯拉的磁场，比地球磁场强大约100万倍。这18个环向磁场圈将以产生的巨大磁场压缩等离子，并提高其密度，从而为启动核聚变创造必要条件。

线圈的制造得到了各方的支持，意大利超导应用联营公司生产20 km长的导体。ASG、Iberdrola Ingeniería y Construcción和Elytt能源公司在ASG位于意大利拉斯佩齐亚省的工厂合作生产磁体，将750 m长的导体弯曲成一个精确度在1 mm以内的双螺旋。SIMIC和CNIM已经生产了用于欧洲制造磁体的径向板。这些径向板是D形不锈钢板，它们将绝缘导体支撑在螺旋槽中，用盖板封闭。完成的磁体将运到SIMIC进行测试，然后装入壳体、焊接、用树脂浸渍并加工。2008年以来，F4E与欧洲公司和研发组织已经签订了价值56亿美元的合作。

ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor)，即国际热核聚变实验反应堆，开始于1985年，目前有欧盟、中国、美国、日本、韩国、俄罗斯和印度参加。该项目又被称作“人造太阳”计划，采用类似太阳发光发热的原理，让氘和氚在超高温条件下发生核聚变反应，产生巨大能量，由此为人类产生可持续的清洁能源。

引自：能源聚变官网、核信息院

11. 俄罗斯推进世界首座浮动核电站建设

2017年6月1日报道，俄罗斯正在推出世界首座浮动核电站的建设。该浮动核电站为小型可移动反应堆机组，可为偏远或远离内陆的无主电网地区供电，并供应淡水。该核电站将安装在偏远地区，有望吸引印度等南亚国家关注。

俄罗斯国家原子能公司 Rosatom 副总裁 Pavel Ipatov 表示，船体已处于最后建造阶段，核电站已下水并进行设备安装。2016年7月以来，一直进行“系泊试验”验证系统性能，该实验预计2017年10月前完成。

通过试验后，这座被称为“罗蒙诺索夫院士”号的浮动核电站将沿着俄罗斯北部海域航线运往运行地点，并与佩韦克市在建岸上设施连接。预计2019年开始安装反应堆。首座浮动核电站有两个热功率为150 MW的反应堆，总装机容量为70 MW，使用寿命达35-40年。此外还配有一个每小时可生产淡水高达240m³的海水淡化装置。

引自：北极星电力网、核信息院

12. 俄罗斯加速制造破冰船反应堆

2017年4月26日报道，俄罗斯波多斯克机器制造厂完成了“西伯利亚”号核动力破冰船反应堆顶盖这一“最复杂”的制造工作之一，在制造过程中使用了一种新工具，将结构中钻孔所需时间从150天减少到36天。“西伯利亚”号是22220项目3艘装备了RITM-200反应堆破冰船的第二艘，可在护送舰船穿过北冰洋时冲破3米厚冰层。“北极”号于2016年6月在圣彼得堡波罗的海造船厂下水，是当代俄罗斯建造的第一艘核动力破冰船。该公司在2017年2月表示，预计“北极”号将于2019年中开始首次实际护航。“西伯利亚”号和“乌拉尔”号将分别于2020年和2021年交付。

波多斯克机器制造厂表示，其使用了一种可在“西伯利亚”号反应堆内钻孔的新工具。该工具是一个特殊多孔钻孔机，配备可替换钻头盒，钻头上带有硬质合金嵌入式刀片和一个由高速钢制成的试切割零件。

波多斯克机器制造厂指出，RITM-200反应堆设计的“高能效一体化布局”能够把主设备直接放入蒸汽发生器外壳内，这意味着该结构的重量仅有KLT系列破冰船反应堆装置的一半，但紧凑度是其1.5倍，电功率增加25 MW。就破冰速

度而言，该反应堆“在技术特性上有了改进”。此外，RITM-200 反应堆的使用寿命为 40 年，每 7 年换一次料。

引自：世界核新闻网

13. 英国托卡马克能源公司启动 ST40 聚变反应堆

2017 年 4 月 28 日报道，英国最新的 ST40 聚变反应堆首次启动，并首次正式获得等离子体。该反应堆属于一家私人投资的合资企业，目的是达到创纪录的温度为 1 亿度的等离子体。这个温度是太阳中心的 7 倍，同时也是受控核聚变必需的温度。

总部位于英国牛津的托卡马克能源公司表示，随着 ST40 反应堆“启动和运行”，接下来是完成调试和安装全套电磁线圈，这对于达到聚变所需的温度至关重要。这使 ST40 将在今年秋季可以产生温度与太阳中心相同的 1500 万度的等离子体。

托卡马克能源公司前身是卡尔汉实验室，是全球最强大托卡马克装置联合欧洲环（JET）的所在地，同时也是世界领先的磁约束聚变能量研究中心。托卡马克能源公司的技术以高温超导（HTS）磁体为主，该技术可以使反应堆功率相对低且尺寸小，但性能高，且有着潜在广泛的商业用途。

世界上第一台完全高温超导（ST25 高温超导）磁体的托卡马克装置是托卡马克能源公司第二台反应堆，在 2015 年伦敦皇家学会夏季科学展览会上演示了创世界纪录的持续 29 小时等离子体。

引自：世界核新闻网

14. 英国公司推出小型模块反应堆计划

英国罗尔斯-罗伊斯公司代表在欧洲青年核发展论坛演讲时，推出了该公司新的小型模块化反应堆（SMR）的设计理念与发展规划。该设计采用紧密耦合的四回路压水堆，冷却剂和慢化剂为轻水，蒸发器单独布置并于反应堆紧凑布置，总输出功率超出常规 SMR300MWe 的标准，达到了 450 MWe。

该公司称市场主要来自于英国本土，将部署超过 7GWe 的小型机组，并与俄罗斯、美国的制造商产生激烈竞争。如果英国再次成为反应堆供应商，将在未来

20 年内创造超过 4 万个工作岗位，英国直接经济受益达到 2390 亿美元。

引自：中国核网

八、要闻解读

世界主要国家核设施退役情况概述

（2017 年 5 月 31 日更新）

迄今为止，已有 110 多个商运反应堆，48 个实验或原型反应堆，超过 250 个研究堆和多个燃料循环设施已经退役，其中一些已经完全拆除。

“核设施退役”是指各种不同类型的核设备和核基地在达到其使用寿命后，对其进行妥善管理和处置的工作。核设施退役的实施范围包括核电站、核燃料加工设施、研究性反应堆、浓缩厂、核反应和放射性实验室、铀矿和铀加工厂。核动力潜艇和船舶（包括破冰船和航母）的反应堆也必须退役。其中，民用核反应堆的退役量增幅最大。

核设施退役只是最终关闭核反应堆过程工作的一部分：首先要移除具有高放射性的乏燃料，最后还需清除整个核设备或核基地，包括清除有些情况下受污染的土壤和地下水（IAEA2004a）。核设施退役需要拆除相关建筑物和其他设备部件，包括在核反应堆中心区域周围的可能已具有放射性的部件，同时也需现场处理建筑材料（大部分是钢筋和混凝土），并把这些材料进行包装和运输，以便安全储存和处理。每一次核设施退役都会面临特定技术上的挑战，可能危害到环境和人类健康。

核电厂退役方案

国际原子能机构（IAEA）确定了核反应堆拆除的三种方法：立即拆除、延缓拆除和封固埋藏。任何一种方法均要求对核设施的关闭时间以及核电站旧址今后的用途提前做出明确的决定。除此之外还需要大量资金投入，专业技术人员，合理的监管和相应的废弃物存储和处理设备。

- 立即拆除法：移除核基地中所有设备、建筑物和其他设备部件（或者清除核污染），这样，处理后的核电站旧址可以几个月甚至几年，核电站方圆 30 公里将不适宜人类居住和食品生产。此项方法的优势是，经验

丰富的操作工人可以参与整个拆除工作，他们熟悉核电站的历史，包括以前发生的任何使拆除过程更加复杂的事故。立即拆除法不但避免核反应堆零件的意外腐蚀，也可避免核反应堆零件随着时间流逝而降解，还可以消除日后核泄漏的危险，避免土地寸草不生。立即拆除也存在缺点，即核反应堆部件的辐射强度要高于延缓拆除法。这就意味着在拆除过程中，必须进一步加强防范。同时，需对产生的大量废料根据放射性强度进行分类。

- 延缓拆除法：在移除所有乏燃料后，排空管道，确保设施安全后再进行拆除工作。这一方法也常被称做“安全封存法”，延缓年限为 10 到 80 年不等。延缓拆除法的优点是放射性物质的放射性会随着时间流逝而减弱，这样不但减少了清理难题，还降低了对工人健康造成危害的风险。同时，机器人技术以及其它技术的进一步发展，可使拆除工作更加安全并降低成本。但这一方法的缺点是耗时长，会使一些包括混凝土和钢铁在内的材料变质腐坏，让最后的拆除工作更加困难。此外，熟知核设施历史的人员可能会随着时间流逝而陆续离世。
- 封固埋藏法：一旦乏燃料被移除，反应堆就可以被填埋。这就要求将反应堆封存在如混凝土那样强固耐久的材料结构中，直到其放射性衰减。封固埋藏法主要用在特殊的案例中（比如小规模研究型反应堆或在边远地区的反应堆）。由于使用该方法所需处理的受污染材料数量较少，因此也减少了工作人员在拆除过程中的受辐射量。然而，封固埋藏法需要长期维护和监测。

退役经验

在退役各类核设施方面，约 110 座商运反应堆，48 个实验或原型动力反应堆，以及超过 250 个研究堆和多个燃料循环设施已经退役。在包括实验和原型机在内的 150 多座反应堆中，至少有 17 座已经全部拆除，50 多座正在被拆除，50 多座在安全封存，3 座已被埋设，而其他的还没有规定退役战略。

欧洲反应堆

EDF 选择部分拆除、延迟 50 年进行最终拆除的方式，处理位于西农(Chinon)、布热(Bugey)和圣劳伦特(St Laurent)核电站的退役气冷堆。因为这些电站还

有其他反应堆继续运行，不会增加监测和监视的成本。

在法国的马库勒（Marcoule）有一座回收设施，用于处理从核设施拆除的金属材料。这些金属包含一些活化产物，但可以回收用于其他核电站。随后，冷却池被放干、清洁和填满，涡轮厅被拆除。反应堆厂房进入一个长期的安全封存阶段。最终，将被拆除，该厂址将被还原本来辐射水平和自然面貌。英国其他反应堆也按照这种方式进行处理。

西班牙的范德洛斯（Vandellos）1号机组，480兆瓦石墨气冷堆，由于涡轮机火灾造成电厂修复成本过高，在运行18年后于1990年关闭。2003年，西班牙国家放射性废物公司（ENRESA）完成该反应堆第二阶段的退役和拆除项目。经过30年安全封存，该反应堆活动水平下降了95%，反应堆其余部分将被拆除。63个月项目的费用为9300万欧元。

德国19个关停机组中有11个被立即拆除。位于前东德拥有五个运行反应堆的格赖夫斯瓦尔德（Greifswald）核电站选择被立即拆除。类似地，位于巴伐利亚州100兆瓦的下艾希巴赫（Niederaichbach）核电站，在1995年年中被宣告适用于无限制的农业用途。15兆瓦的卡尔（Kahl）实验沸水堆在运行25年后于1985年关闭。德国的第一个商业核反应堆，250兆瓦的明根（Gundremmingen）A机组，运行时间为1966-1977年，于1983年开始退役工作，1990年采用水下切割技术处理了更多的受污染部分。这个项目表明，退役可以安全、经济、无长时间延迟地进行，并且大部分的金属都可以被回收。

2011年3月，德国关闭了8座核电机组，这些机组大多需要15年左右时间进行拆除。4个运行方为退役和废物处理预留了380亿欧元的费用。

日本东海1号，160兆瓦英国气冷堆设计，在运行32年后于1998年退役。储存10年后，在第二阶段（至2011年）移除蒸汽发电机和涡轮机，在第三阶段（至2018年）反应堆将被拆除，厂房拆除后该厂址将留作他用。总费用为930亿日元（10.4亿美元），其中350亿用于拆除，580亿用于废物处理。

美国反应堆

美国的经验多样化，13个反应堆正在安全存储，16个主要是单一机组反应堆正在或已经被拆除。

由核管会（NRC）制定程序，并且已经累积了相当多的经验。共有32座反应堆已经关闭和退役。NRC会终止关闭反应堆的运行许可证，并且要求退役工

作在 60 年内完成。

兰乔塞科 (Rancho Seco) 核电站, 913 兆瓦单机组压水堆, 于 1989 年关闭, 1995 年 NRC 批准了其安全存储计划。然而, 该电站随后决定进行逐步拆除, 并于 2009 年完成, 剩余约 3 公顷仍在 NRC 许可证下进行废物储存, 约 32 公顷已经被还原再利用。

对于多机组核电站, 需要将最先关闭的机组进行封存, 待其他机组停止运行后, 依次进行退役。这样可以优化人员利用以及切割和远程操作所需的专门设备, 并实现成本效益。

因此, 经过 14 年的全面清理活动, 包括从 1979 年事故中清除燃料、碎片和水, 三哩岛 2 号机组被放置安全存储库中, 直到 1 号机组的运行许可证到期后, 两台机组一起拆除。

1992 年关闭的圣奥诺弗雷 (San Onofre) 1 号机组 (436 兆瓦压水堆), 被安全储存至 2022-2023 年待 2、3 号机组许可证到期。但由于 NRC 的变动, 其拆除工作被提前至 1999 年, 因此变为积极拆除项目并于 2008 年完成大部分工作。少量工作将待 2、3 号机组 (各 1070 兆瓦压水堆) 自 2013 年 5 月关闭并现场拆除后完成。2016 年 4 月, 加州公共事业委员会批准了 44.1 亿美元的退役费用, 实际费用为 33.7 亿美元。用过的燃料将自 2024 年被移出, 预计 2050 年完成退役。

60 兆瓦港口 (Shippingport) 反应堆是立即拆除的项目, 从 1957 年到 1982 年商运。它被用来展示如何安全合算的拆除一个商业核电站并尽早还原厂址。在两年内完成卸料, 五年后该电站被还原供不受限制的再使用。由于其尺寸, 压力容器可以被完整地移除和处理。对于较大的机组, 这些部件必须被切割。

1989 年关闭的 330 兆瓦高温气冷堆圣符仑堡 (Fort St Vrain) 也选择立即拆除。以 1.95 亿美元固定价格的合同 (价格低于 1 美分/千瓦时, 只有 16 年的运行寿命), 该项目按计划于 1997 年初清理现场并废除其许可证, 这是美国完成拆除的第一个如此规模的反应堆。

位于长岛的肖勒姆 (Shoreham) 沸水堆发电率很小并且从未获得完整的运行许可证, 因此活化产物很少。它于 1989 年被关闭, 1994 年完成拆除。南达科他州的 59 兆瓦探路者 (Pathfinder) 原型沸水堆运行时间很短, 1967 年关闭, 1992 年完成拆除。

俄勒冈州的特洛伊 (Trojan, 1180 兆瓦压水堆) 是由电厂自行拆除的。该

电站于 1993 年关闭，1995 年在汉福德拆卸、运输及处理了蒸汽发生器，1999 年拆除了反应堆容器（含内部构件）并运往汉福德。除了已使用的燃料贮存外，2005 年该厂址被还原为不受限他用。2006 年冷却塔被拆除。这只用了相对较低的费用-约 3 亿美元。

另一个美国的拆除项目是缅扬基（Maine Yankee，860 兆瓦压水堆），在运行 24 年后于 1996 年关闭。反应堆外壳结构于 2004 年被完全拆除，除了 5 公顷用于使用燃料干式储存。该厂址于 2005 年被还原为不受限公用，按照预算（5 亿美元）和预定时间完成。

哈德姆内克（Haddam Neck）/康涅狄格洋基（Connecticut Yankee，560 兆瓦压水堆）在运行 29 年后于 1996 年关闭。退役工作于 1998 年开始，拆除工作于 2006 年完成。除 2 公顷干桶储存使用燃料外，该厂址于 2007 年被还原为不受限制地公用。地面残留污染低于 NRC 规定每年 0.25 毫西弗的最大辐射剂量。

2006 年，密歇根州 72 兆瓦大岩点（Big Rock Point）核电站被大部分还原为绿地。该站在运行 35 年后于 1997 年关闭。2007 年 1 月，大部分土地被还原为无限制公用，除了 43 公顷仍有干桶储存设施，直到被转运至国家储存库。总花费为 8.36 亿美元。

佛蒙特洋基（Vermont Yankee，535 兆瓦沸水堆）于 2014 年关闭，目前正在安全储存中，预计退役费用为 5.77 亿美元。

艾斯能公司（Exelon）的锡安 Zion1、2 号反应堆（2×1098 MWe）在 1998 年关闭并开始安全储存，预计采用稍微不同的进程，将大大加速退役。艾斯能公司已与一家专业公司-EnergySolutions 签约，拆除该电厂，将废物运往其在犹他州的处置场地，并将该厂址还原为绿地。为了实现这一目标，2010 年该厂的许可证和退役资金被转移到 EnergySolutions，使其成为所有者和被许可方，2020 年该场地将被归还给艾斯能公司。已使用的燃料仍然存在现场，直到运往国家储存库。至 2015 年 1 月，不到一年时间，EnergySolutions 已将其全部转移到 61 个现场的 Magnastor 干桶中。

杜克的水晶河（Crystal River）3 号预计将花费 11.8 亿美元，在安全储存 60 年后退役，在此期间为此目的预留的资金将累积利息，从而完全覆盖成本，虽然该反应堆只运行了 35 年。拆除的成本只有 9.94 亿美元，但将在几年内完成，因此退役基金没有足够时间来完全负担这笔费用，从而对佛罗里达纳税人造成 1.85 亿美元的影响。在移除使用过的燃料后，2015 年 7 月开始进入安全储存，

预计 2070 年拆除该机组剩余组件,2074 年还原场地。乏燃料将留在水池中至 2019 年 8 月,此后于 2036 年被装进计划建造的一个干桶储存现场设施中。此后,乏燃料将被转运至一个联邦处置厂。

总之,美国已完成拆除的核电站包括:大岩点(Big Rock Point),艾尔克河(Elk River),圣符仑堡(Fort St Vrain),哈德姆内克(Haddam Neck),缅扬基(Maine Yankee),探路者(Pathfinder),兰乔塞科(Rancho Seco),圣欧诺福(San Onofre) 1 号,萨克斯顿(Saxton),港口(Shippingport),肖勒姆(Shoreham),特洛伊(Trojan)和洋基罗(Yankee Rowe)。正在拆除的包括:费尔米(Fermi) 1 号,洪堡湾(Humboldt Bay) 3 号,拉克罗斯(LaCrosse),锡安(Zion) 1、2 号。

美国正在安全储存的电站包括:水晶河(Crystal River) 3 号,德累斯顿 1 号,印度角 1 号,拉克罗斯(LaCrosse),基瓦尼(Kewaunee),磨石(Millstone) 1 号,桃谷(Peach Bottom) 1 号,锡安(Zion) 1、2 号以及 NS 萨凡纳。三哩岛 2 号正处于卸料后监管储存时期。圣奥诺弗雷(San Onofre) 2、3 号以及佛蒙特洋基(Vermont Yankee)也将在卸料后进入安全储存。

美国唯一采用封固埋藏方法的电站是小型的实验堆,包括:位于波多黎各的博努斯(Bonus)沸水堆,位于俄亥俄州的皮奎拉(Piqua)有机物慢化反应堆,位于内布拉斯加州的哈勒姆(Hallam)石墨慢化钠冷堆,以及 2015 年的 EBR-2。NRC 许可的电站还没有采用过该方法。

此外,1967-1976 年间运行的第一个浮动核电站-斯特吉斯(Sturgis)是 45MWt/10MWe(入网)压水堆。1977 年卸料后,89 立方米的固体放射性废物和 363 立方米的液体废物被移出,反应堆容器被安全储存在弗吉尼亚州的贝尔沃堡至 2027 年。2014 年,CB&I 公司被美国军方批予一份协议,负责 MH-1A 压水堆的退役和拆除工作。

俄罗斯反应堆

俄罗斯联邦环境、工业与核监督局(Rostekhnadzor)对老旧燃料循环设施退役的主要项目进行监督,由核与辐射安全联邦目标项目负担经费。六个民用反应堆正在退役阶段,包括:三个早期石墨水冷堆,梅勒科斯(Melekess) VK-50 旧型沸水堆,和两个稍大的旧型 VVER-440 机组。大多数于 1981-1990 年间关闭并移出燃料,目前正等待拆除。

石墨

许多一代反应堆都用石墨块作为慢化剂。这是一种高质量反应堆级材料，在约 3000°C 高温运行中会加速一些放射性核素污染物，特别是碳-14，因此必须被分类为中级废物。虽然它在中子轰击以及高温（对 CO）下会稍微氧化，但不会燃烧，在 3652°C 升华。在安全储存条件下没有氧化的风险。

美国电力研究协会（EPRI）在 2006 年发布的一篇报告中指出：“退役气冷堆中的石墨慢化剂在拆迁中是一个严峻的挑战。目前，还没有电厂拆除过二氧化碳冷却堆的慢化剂。”然而，报告结论是，有足够的信息来实现石墨调节剂的安全拆除和处理，并且处理石墨的三个主要选择是氧化为气相并作为二氧化碳释放（困难），直接埋置或再循环成为核工业的新产品。在每种情况下，都有机会进行预处理，浓缩或去除放射性核素以提高所选择方式的安全性。与其他核废料相比，受照石墨的放射性核素库存状况是不常见的。钴-60 和氚是短期重要的主要同位素，长期来看，碳-14 和氯 36 是主要的

快中子反应堆

几个钠冷快堆已经退役，但只有少数被拆除。德国卡尔斯鲁厄的 KNK-2 在运行了 14 年后于 1991 年关闭，1993 年卸料并开始拆除。由于存在高水平活化物，拆除工作会非常长。有残余的钠，所以需要在氮气保护下进行一些切割。总成本估计为 3.64 亿欧元，预计在 2020 年完成。

其他设施

法国原子能委员会正在退役位于马库勒的 UP1 后处理厂。该工厂于 1958 年启动，并至 1997 年处理了 18600 吨从气冷堆（国防和民用）移出的金属燃料。进一步的净化和拆除工厂和废物处理将达 40 年，成本约为 56 亿欧元，将近一半用于处理存储在现场的废物。

阿海珐公司自 2012 年进行位于马库勒的 Eurodif 浓缩厂。包括 2012-2015 年间，用 ClF₃ 气体去除内部残留的铀，将其提取为 UF₆，然后在开放设备和回路前，恢复所有产生的氯化物和氟化物气体。2016-2025 年，这个工厂将被拆除。

2017 年，阿海珐公司完成了法国原子能委员会 CEA 在卡达拉什 Cadarache 电站的 MOX 燃料制造厂和钷技术车间（ATPu）的拆除和清理工作。这个小型燃料制造厂为法国快堆生产燃料，2003 年关闭。ATPu 于 2008 年关闭。Areva

将该项目描述为“世界上最大的拆除项目之一”。

美国能源部于 2010 年 8 月与一个合资企业签署了一项价值 21 亿美元的合同，自 2011 年 3 月起对俄亥俄州朴茨茅斯 Portsmouth 1500 公顷气体扩散厂（GDP）的铀浓缩站进行净化和退役。在 2016 年 3 月，合同延长了 30 个月。

美国能源部于 2017 年 5 月与四河公司（Four Rivers）签署了价值 15 亿美元的合同，为继续去活和恢复（D&R）位于肯塔基州的帕迪尤卡（Paducah）气体扩散铀浓缩厂并清理 1400 公顷的场地。该工厂于 1952 年被用于国防，从 1993 年至 2013 年出租给 USEC 公司（美国国内唯一一家铀浓缩公司）。D&R 合同五年的价值为 7.5 亿美元，此后有三年和两年的期权有效期共计约 7.5 亿美元。

美国能源部承包商于 2016 年完成拆除田纳西州的橡树岭扩散浓缩厂，该厂从二十世纪四十年代初至 1985 年运行，已还原 120 公顷可用于其他用途。

许多核潜艇在过去十年中已经退役。在美国，卸料后，反应堆组件被从船上切割出来运往内陆的汉福德当作低放废物填埋。俄罗斯已退役的三个核动力破冰船包括：列宁（Lenin），西伯利亚（Sibir）和北极号（Arktika）。

成本和财务

在大多数国家，运营商或业主都负责退役费用。

退役的总成本取决于程序各个阶段的顺序和时间。由于要降低放射性，阶段延长往往会降低成本，但这可能会与增加的存储和监督成本相抵消。

融资方式因国而异。最常见的是：

- 预付款，即在电厂开始运行之前，存入一个单独的账户来支付退役成本。这可以通过多种方式进行，但除了为退役目的外，资金不能被取出。
- 外部偿债基金（核电税），由消费者缴纳了多年的部分电费构成。这部分费用的收益被放在电厂控制之外的信托基金中。美国主要采用这种方式，在反应堆运行期间留出足够的资金来支付退役费用。

即使允许成本估算和适用折扣率的不确定性，退役也占总发电成本的一小部分。在美国，许多电厂已经根据经验下调了成本预测。

- 担保基金，信用证，或保险：由电厂购买，以确保即使电厂违约，退役费用也可以被负担。

在美国，电厂按照 0.1-0.2 美分/千瓦作为退役资金。电厂必须定期向 NRC 报告其退役资金的状况。用于全美核电站退役的约 2/3 的费用已经收到，约有 90

亿美元留用于正在运行的 100 座反应堆（每台机组平均 3.2 亿美元）。

经合组织核能署 2016 年发布的调查报告显示，美国核反应堆的总退役成本将在 5.44 亿美元至 8.21 亿美元之间；对于超过 1100 兆瓦的机组，成本为每兆瓦 46 万美元到 73 万美元；550 兆瓦左右机组，成本为每兆瓦 107 万美元到 122 万美元。芬兰的洛维萨 Loviisa (2×502 MWe)，预计成本为 3.26 亿欧元。瑞士的 1000 兆瓦压水堆，具体预计成本达到 6.63 亿瑞士法郎（6.17 亿欧元）。在斯洛伐克，详细案例调查显示，波胡尼斯 Bohunice V1 (2 x 440 MWe) 退役的总费用为 11.4 亿欧元，将于 2025 年前拆除。

回收限制

退役核设施的回收材料受到其放射性水平的限制。对于其他设施的材料（如天然气厂）也是如此，但对于标准的规定会非常不同。例如，天然气厂的废钢如果放射性少于 500,000Bq/kg (0.5MBq/kg)（豁免级别）可以回收利用。但这个标准比核工业回收材料（钢铁和混凝土）的清除水平高出一千倍，任何超过 500Bq/kg 的物质都不能从循环监管控制中被清除。

越来越多的人担心欧洲的双重发展标准，允许非核再生材料的剂量比率超过核工业的 30 倍。挪威和荷兰是唯一使用统一标准的国家。在其他地方，0.3-1.0 mSv/年的单剂量约束适用于石油和天然气可回收利用，0.01 mSv/年用于还原在核工业中同类型的辐射材料。双重标准是指相同浓度的放射性核素，根据其来源而被深埋或还原用于建筑材料。0.3 mSv/yr 的剂量限制只是自然本底值的十分之一，比许多人收到的自然照射还要低两个数量级，这些人并没有明显的不良影响。

石油和天然气行业废料中的主要放射性核素是镭-226，半衰期为 1600 年，因为它对氡气衰变。核废料主要是钴-60 和铯-137，半衰期要短得多。适用 0.3 mSv/yr 剂量限值会导致镭-226 的清除水平为 500 Bq/kg，而核材料为 10 Bq/kg。

2011 年，加拿大布鲁斯电力公司 (Bruce Power) 的 16 台退役蒸汽发生器被运往瑞典进行回收利用。虽然加拿大核安全委员会 (CNSC) 在 2011 年批准了布鲁斯电力公司的计划，并确认处理蒸汽发生器是负责任和安全的核废料管理实践的一个很好的例子，但这引起了当时的公众争议，并且在福岛核事故后，该运输计划被搁置。这些蒸汽发生器每个长 12 米，直径 2.5 米，重 100 吨，含有大约 4 克的放射性核素，活性约 340GBq。每米的辐照量为 0.08mSv/小时。它们被归类为低放废物。瑞典的斯图兹威克 (Studsvik) 将回收大部分金属，并还原其

总量的 10% 作为低放废物在安大略省进行处置。余量将低于 100 Bq / kg，达到安全等级。

2012 年，英国工厂的五台蒸汽发生器运往瑞典的斯图兹威克进行回收。斯图兹威克还在英国设立了一家工厂，回收核设施材料，在处理了大量核电站送来的 2000 吨金属，回收率达到 96% 后，于 2013 年全面运行。剩余的部分被送往低放废料储存库。

国际合作

国际原子能机构、经合组织核能署和欧盟委员会等国际组织具有退役方面的经验和知识，并与不同国家进行技术交流和分享。

1985 年，经合组织核能署启动了关于核设施退役方面科技信息交流的国际合作项目。该国际合作涵盖了 15 个反应堆和 6 个燃料循环设施，产生了大量的技术和财务信息。

2013 年，福岛事故发生后，核退役国际研究所（IRID）在日本设立。除了收集事故反应堆的知识和经验，IRID 还将建立常规退役的知识库。

国际原子能机构于 2015 年 1 月发起了退役和修复受损核设施的国际项目 -DAROD 项目，旨在通过 2011 年福岛事故后国际原子能机构成员国一致通过的“核安全行动计划”来增加核安全。该项目将运行三年，涉及国际原子能机构成员国 19 个国家的 35 名专家。

获取和分享经验的重要领域包括放射性存货，去污方法，切割技术，远程操作，放射性废物管理以及健康和安全的评估。目的是尽量减少对工人的放射危害，并优化拆卸顺序和时间，以减少总退役成本。

关闭原因

大多数退役的反应堆被关闭是因为在经济上不宜继续运行。实际上退役的都是相对早期的堆型，约 45 个是实验或样品堆。分为三类：

1、实验，早期商业型和商业机组，不再适宜继续运行，通常是由于经济原因。其中大部分是在 1980 年以前启动的。至少有 41 个相对完成运行寿命，设计寿命为 25-35 年左右（现在是 40-60 年），共计 113 个。

2、在事故或严重事故（不一定因为反应堆本身）后关闭的机组，在经济上不宜修理，共 12 个。

3、由于政治原因或监管障碍被提前关闭，没有明确或重要的经济或技术理由。共有 25 个，其中 17 个是早期苏联的设计。

事实上，这些区别并不总是很明显，例如切尔诺贝尔 2 号在 1991 年由于汽轮机火灾且政策上不可能被修复或重启而被关闭。莱茵斯堡在接近设计寿命时于 1990 年关闭-这两个都属于“政治决定”类别。

2011 年关闭的八个德国反应堆尚未在此列出。

由于事故或严重事故被关闭的反应堆（12 个）

国家	反应堆	型号	入网电量	运行年数	关闭时间	原因
德国	Greifswald 5	VVER-440/V213	408	0.5	11/1989	部分堆芯融解
	Gundremmingen A	BWR	237	10	1/1977	粗暴关闭
日本	Fukushima Daiichi 1	BWR	439	40	3/2011	失去冷却后融堆
	Fukushima Daiichi 2	BWR	760	37	3/2011	失去冷却后融堆
	Fukushima Daiichi 3	BWR	760	35	3/2011	失去冷却后融堆
	Fukushima Daiichi 4	BWR	760	32	3/2011	氢气爆炸受损
	Monju	Prot FNR	280	2	2016	钠泄漏
斯洛伐克	Bohunice A1	Prot GCHWR	93	4	1977	燃料失误造成堆芯受损
西班牙	Vandellos 1	GCR	480	18	1990	涡轮机火灾
瑞士	St Lucens	Exp GCHWR	8	3	1966	堆芯融解
乌克兰	Chernobyl 4	RBMK LWGR	925	2	4/1986	火灾、熔毁
美国	Three Mile Island 2	PWR	880	1	3/1979	部分堆芯融解

由于政治原因或其他考虑被提前关闭的反应堆（36个）

国家	反应堆	类型	入网电量	运行年数	关闭时间	
亚美尼亚	Metsamor 1	VVER-440/V270	376	13	1989	
保加利亚	Kozloduy 1-2	VVER-440/V230	408	27, 28	12/2002	
	Kozloduy 3-4	VVER-440/V230	408	24, 26	12/2006	
法国	Super Phenix	FNR	1200	12	1999	
德国	Greifswald 1-4	VVER-440/V230	408	10, 12, 15, 16	1990	
	Muelheim-Kaerlich	PWR	1219	2	1988	
	Rheinsberg	VVER-70/V210	62	24	1990	
	Biblis A*	PWR	1167	36	2011	
	Biblis B*	PWR	1240	34	2011	
	Brunsbüttel*	BWR	771	30	2007	
	Grafenrheinfeld*	PWR	1275	33	2015	
	Isar 1*	BWR	878	32	2011	
	Krümmel	BWR	1260	25	2009	
	Neckarwestheim 1*	PWR	785	35	2011	
	Phillipsburg 1*	BWR	890	31	2011	
	Unterweser	PWR	1345	32	2011	
	意大利	Caorso	BWR	860	12	1986
		Latina	GCR	153	24	1987
Trino		PWR	260	25	1987	
日本	Fukushima Daiichi 5	BWR	760	33	2011	
	Fukushima Daiichi 6	BWR	1067	32	2011	
立陶宛	Ignalina 1	RBMK LWGR	1185	21	2005	
	Ignalina 2	RBMK LWGR	1185	22	2009	
斯洛伐克	Bohunice 1	VVER-440/V230	408	28	12/2006	
	Bohunice 2	VVER-440/V230	408	28	12/2008	
瑞典	Barseback 1	BWR	600	24	11/1999	
	Barseback 2	BWR	600	28	5/2005	
乌克兰	Chernobyl 1	RBMK LWGR	740	19	12/1997	
	Chernobyl 2	RBMK LWGR	925	12	1991	
	Chernobyl 3	RBMK LWGR	925	19	12/2000	
美国	Shoreham	BWR	820	3	1989	

反应堆完成目的或不再具备经济运行条件被关闭（114+1 个）

国家	反应堆	类型	入网电量	开始时间	运行年数	关闭时间
比利时	BR-3	Prot PWR	10	1962	24	1987
加拿大	Douglas Point	Prot PHWR	206	1967	17	1984
	Gentilly 1	Exp SGHWR	250	1971	6	1977
	Gentilly 2	PHWR	638	1982	30	2012
	Rolphton NPD	Prot PHWR	22	1962	25	1987
法国	Bugey 1	GCR	540	1972	22	1994
	Chinon A1	Prot GCR	70	1963	10	1973
	Chinon A2	GCR	180	1965	20	1985
	Chinon A3 *	GCR	360	1965	25	1990
	Chooz A	Prot PWR	305	1967	24	1991
	Brennilis EL-4	exp GCHWR	70	1967	18	1985
	Marcoule G-1	Prot GCR	2	1956	12	1968
	Marcoule G-2	Prot GCR	39	1959	20	1980
	Marcoule G-3	Prot GCR	40	1960	24	1984
	Phenix *	FNR	233	1973	37	2010
	St Laurent A1	GCR	390	1969	21	1990
	St Laurent A2	GCR	465	1971	21	1992
德国	Juelich AVR	Exp HTR	13	1968	21	1989
	Uentrop THTR	Prot HTR	296	1985	3	1988
	Kalkar KNK 2	Prot FNR	17	1978	13	1991
	Kahl VAK	Exp BWR	15	1961	24	1985
	MZFR	Exp PHWR	52	1966	18	1984
	Groszweilzheim	Prot BWR	25	1969	2	1971
	Lingen	Prot BWR	183	1968	10	1979
	Niederaichbach	Exp GCHWR	100	1973	1	1974
	Obrigheim *	PWR	340	1968	36	2005
	Stade *	PWR	640	1972	31	2003
	Wuergassen	BWR	640	1972	22	1994
意大利	Garigliano	BWR	150	1964	18	1982
日本	Fugen	Prot ATR	148	1978	24	2003
	Genkai 1	PWR	529	1975	40	2015
	Hamaoka 1	BWR	515	1974	26	2001
	Hamaoka 2	BWR	806	1978	25	2004
	Ikata 1*	PWR	538	1977	39	2016

国家	反应堆	类型	入网电量	开始时间	运行年数	关闭时间
	JPDR	Prot BWR	12	1963	13	1976
	Mihama 1	PWR	320	1970	45	2015
	Mihama 2	PWR	470	1972	43	2015
	Shimane 1	BWR	439	1974	41	2015
	Tokai 1 *	GCR	137	1965	33	1998
	Tsuruga 1	BWR	341	1970	45	2015
哈萨克斯坦	Aktau BN-350	Prot FNR	52	1973	27	1999
荷兰	Dodewaard *	BWR	55	1968	28	1997
俄罗斯	Obninsk AM-1	Exp LWGR	6	1954	48	2002
	Beloyarsk 1	Prot LWGR	108	1964	19	1983
	Beloyarsk 2	Prot LWGR	160	1968	22	1990
	Melekes VK50	Prot BWR	50	1964	24	1988
	Novovoronezh 1	Prot VVER-440/V210	210	1964	23	1988
	Novovoronezh 2	Prot VVER-440/V365	336	1970	20	1990
	Novovoronezh 3*	Prot VVER-440/V179	385	1971	45	2016
西班牙	Garona	BWR	446	1971	42	2012
	Jose Cabrera *	PWR	141	1968	38	2006
瑞典	Agesta	Prot HWR	10	1964	10	1974
	Oskarshamn 2*	BWR	638	1974	39	2013
英国	Berkeley 1-2 *	GCR	138	1962	26	1988-89
	Bradwell 1-2 *	GCR	123	1962	39	2002
	Calder Hall 1-4 *	GCR	50	1956-59	44-46	2003
	Chapelcross 1-4 *	GCR	49	1959-60	44-45	2004
	Dungeness A 1-2 *	GCR	225	1965	41	2006
	Hinkley Pt 1-2 *	GCR	235	1965	35	2000
	Hunterston A 1-2*	GCR	160	1964	25	1989-90
	Oldbury 1-2*	GCR	217	1967	44	2011-12
	Sizewell A 1-2 *	GCR	210	1966	41	2006
	Trawsfynydd 1-2 *	GCR	196	1965	26	1993
	Wylfa 1-2*	GCR	490	1971	44, 41	2015,2012
	Windscale	Prot AGR	28	1963	18	1981
	Dounreay DFR	Exp FNR	11	1962	18	1977
	Dounreay PFR	Prot FNR	234	1975	19	1994

国家	反应堆	类型	入网电量	开始时间	运行年数	关闭时间
美国	Winfrith	Prot SGHWR	92	1968	23	1990
	Big Rock Point*	BWR	67	1962	35	1997
	BONUS	Exp BWR	17	1964	4	1968
	CVTR	Exp PHWR	17	1963	4	1967
	Crystal River	PWR	860	1977	35	2013
	Dresden 1	BWR	197	1960	18	1978
	Elk River	BWR	22	1963	5	1968
	Enrico Fermi 1	Prot FNR	61	1966	6	1972
	Fort Calhoun*	PWR	479	1973	43	2016
	Fort St. Vrain	Prot HTR	330	1976	13	1989
	Haddam	PWR	560	1967	29	1996
	Neck/Connecticut Yankee*					
	Hallam	Exp sodium cooled GR	75	1963	1	1964
	Humboldt Bay	BWR	63	1963	13	1976
	Indian Point 1	PWR	257	1962	12	1974
	Kewaunee*	PWR	566	1974	39	2013
	Lacrosse	BWR	48	1968	19	1987
	Maine Yankee*	PWR	860	1972	25	1997
	Millstone 1	BWR	641	1970	28	1998
	Pathfinder	Prot BWR	59	1966	1	1967
	Peach Bottom 1	Exp HTR	40	1967	7	1974
	Piqua	Exp Organic MR	12	1963	3	1966
	Rancho Seco 1	PWR	873	1974	15	1989
	San Onofre 1*	PWR	436	1967	25	1992
	San Onofre 2*	PWR	1070	1982	31	2013
	San Onofre 3*	PWR	1070	1983	30	2013
	Saxton	Exp PWR	3	1967	5	1972
	Shippingport	Prot PWR	60	1957	25	1982
	Trojan	PWR	1095	1975	17	1992
	Vallecitos	Prot BWR	24	1957	6	1963
	Yankee NPS*	PWR	167	1960	31	1991
Zion 1-2 *	PWR	1040	1973	25	1998	
Sturgis FNPP	PWR	10	1967	9	1976	

引自：世界核协会官网

编后记

为了全面了解全球核电发展的最新动态,为我国核安全监管部门及时了解信息和政策制定提供支持,更好地服务国家核电“走出去”发展战略,特此编制了本期《全球核安全动态》。

本简报由环境保护部核与辐射安全中心张鸥、付杰、荆放编制,张志刚、程建秀审核。鉴于信息来源有限,内容疏漏难免,敬请谅解。