

# 世界核电发展及现状概述

隋唯一 2017011430

## 一．核电发展的四个阶段

目前主流认为世界核电发展历史可以划分为以下四个阶段：即实验示范阶段、高速发展阶段、减缓发展阶段、开始复苏阶段。

实验示范阶段（1954-1965 年）。1954-1965 年，世界共有 38 个机组投入运行，属于早期原型反应堆，即“第一代”核电站。期间，1954 年前苏联建成世界上第一座核电站——5MW 实验性石墨沸水堆；1956 年英国建成 45MW 原型天然铀石墨气冷堆核电站；1957 年美国建成 60MW 原型压水堆核电站；1962 年法国建成 60MW 天然铀石墨气冷堆；1962 年加拿大建成 25MW 天然铀重水堆核电站。

高速发展阶段（1966-1980 年）。1966-1980 年，世界共有 242 个机组投入运行，属于“第二代”核电站。由于石油危机的影响以及被看好的核电经济性，核电得以告诉发展。期间，美国成批建造了 500-1100MW 的压水堆、沸水堆，并出口其他国家（如日本）；前苏联建造了 1000MW 石墨堆和 440MW、1000MW VVER 型压水堆；日本、法国引进消化了美国的压水堆、沸水堆技术；法国核电发电量增加了 20.4 倍，比例从 3.7%增加到 40%以上；日本核电发电量增加了 21.8 倍，比例从 1.3%增加到 20%。

减缓发展阶段（1981-2000 年）。1981-2000 年，由于 1979 年美国三里岛以及 1986 年前苏联切尔诺贝利核事故的发生，直接导致了世界核电的停滞，人们开始重新评估核电的安全性和经济性，为保证核电厂的安全，世界各国采取了增加更多安全设施、更严的审批制度等。

开始复苏阶段（21 世纪以来）。21 世纪以来，随着世界经济的复苏，以及越来越严重的能源、环境危机，促使核电作为清洁能源的有时又重新显现，同时经过多年的技术发展，核电的安全性进一步提高，世界核电的发展开始进入复苏期，世界各国都制定了积极的核电发展规划。美国、欧洲、日本开发的现金轻水堆核电站，即“第三代”核电站取得重大进展。

## 二．重大核电事故及其处置

目前公认的世界三大核事故分别为三里岛核事故（1979 年）、切尔诺贝利核事故（1986 年）、福岛核事故（2011 年）。其事故经过以及处理概要分别如下：

三里岛核事故，事故评级五级。发生于 1979 年 3 月 28 日，美国宾夕法尼亚州三里岛压水堆核电厂二号堆。事故起因因为冷冻阀门故障以及操作人员由于误判而停止向堆芯注水冷却，导致蒸汽压力过高，最后堆芯融毁。不过由于机壳容器的多重保护措施，事故并未对周围造成过多影响，没有人员伤亡，只有三人受到了略高于半年的容许剂量的照射。

切尔诺贝利核事故，事故评级七级（最高级）。发生于 1986 年 4 月 25 日，乌克兰普里皮亚季市，切尔诺贝利核电站第四发电机组。由于人为操作失误，拆除了过多的控制杆以加快反应堆的运行速率（只保留了 211 根控制杆中的 6 根，而安全章程要求控制杆数量至少为 30 根），导致反应失控，燃料棒融化，蒸汽爆炸，反应堆顶部被破坏，放射性污染物从破损处进入大气，而从破损处流入的氧气与极高温的反应堆燃料以及石墨慢化剂结合引发石墨火，加剧了污染物的扩散。切尔诺贝利事故造成的损失目前有多个估计版本，根据联合国于 2006 年 4 月公布的世界卫生组织的调查结果，事故总计有约 9000 名受害者死亡。

福岛核事故，事故评级七级（最高级）。2011 年 3 月 11 日，日本发生 9.0 级大地震，地震引发海啸，造成福岛第一核电厂所有厂外供电丧失，1、2、3 号反应堆自动停堆。海啸的破坏超过了电厂设计的范围，种种原因导致 1、2、3 号机组在堆芯余热的作用下迅速升温，锆金属包壳在高温下与水作用下产生了大量氢气，随后引发一系列氢气爆炸：2011 年 3 月 12 日，一号机组燃料厂房发生氢气爆炸；3 月 14 日，三号机组燃料厂房发生氢气爆炸；3 月 15 日，四号机组燃料厂房发生氢气爆炸。截至 2018 年 2 月，已诊断 159 人患癌，34 人疑似患癌。

值得注意的是，1979 年美国三里岛事故以及 1986 年切尔诺贝利事故，导致了世界核电发展的停滞，其中三里岛事故更是导致美国出台一系列法案，导致美国从此直到 2012 年不再新建核电站。然而，日本福岛核事故虽然严重，但对于世界核电的发展并无较大减缓作用，当然，包括中国在内的多个核电发展国详细地调研了福岛核事故并总结了事故处理经验。

### 三．目前世界主要核电使用国核电发展情况

美国：美国的核电机组数、核电装机量和发电量均居世界第一。截至 2018 年年底，美国现有 98 核电机组运行，2 台机组在建（沃格特勒 3、4 号），35 台永久关停等待退役。2018 年核发电量 807078GWh，国内核发电占比为 19.3%（约占 60% 的低碳电力输出）。

法国：截至 2018 年年底，法国 58 台核电机组在运，1 台在建，12 台永久关停等待退役。2018 年核发电量 3930 亿千瓦时，核发电比例为 71.6%。法国是世界最大的电力净出口国，每年电力出口收益超过 30 亿欧元。

日本：截至 2018 年年底，日本 42 台核电机组在运（其中只有 9 台处于运行状态），2 台在建，18 台永久关停等待退役。2018 年核发电量 49199GWh，年度核发电比例为 6.2%。值得一提的是，日本核电企业海外出口不是很顺利。2018 年 11 月，东芝宣布放弃英国 NuGen 项目；12 月，三菱重工决定放弃土耳其锡诺普核电站项目；日立集团已决定退出英国地平线核项目。

俄罗斯：截至 2018 年年底，俄罗斯共有 37 座正在运营的反应堆，总装机容量 2826 万千瓦，在建机组 6 台，装机 457.3 万千瓦。2017 年核发电量 187499GWh，核发电比例为 17.79%。

韩国：截至 2018 年年底，韩国共有 24 台正在运营的反应堆，总装机容量 2249 万千瓦；正在建设 5 台，容量为 670 万千瓦；1 台永久关停等待退役。2017 年核发电量为 141098GWh，发电比例为 27.1%。韩国积极进军国际核电市场，209 年，韩国与阿联酋签订了价值 200 亿美元的核电站建设合同，建设 4 座核反应堆。

英国：截至 2018 年年底，英国共有 15 座在运机组，装机容量 891.8 万千瓦，1 台在建机组（欣克利角 C），30 台永久关停。2017 年核能发电量 63887GWh，核发电占比 19.27%。

中国：截至 2018 年年底，我国共有 44 台商运核电机组，装机容量 4464.516 万千瓦，2018 年全年核能发电量 2865.01 亿千瓦时，较 2017 年同期上升了 15.78%，约占全国发电量的 4.22%。截至 2018 年年底，我国在建机组 13 台，总装机容量 1403 万千瓦时，已建成辽宁红沿河、山东海阳、山东荣成、江苏田湾、浙江海盐、浙江三门、福建宁德、福建福清、广东大亚湾、广东台山、广东阳江、海南昌江、广西防城港等 13 个核电基地。

### 四．核电技术代际划分

世界核电技术大致可以划分为四代，如下。

第一代：1954 年 6 月，前苏联在奥布宁斯克建成世界上第一座核电站，发电功率五兆瓦。1956 年 10 月，英国考尔德·哈尔核电站投产运营，发电功率 9 万千瓦。1958 年 5 月，美国威斯汀豪斯公司在宾夕法尼亚的希平波特建成一座小型核电站，发电功率 6 万千瓦。这些实验性的原型机组称为第一代核电站。

第二代：20 世纪 60 年代后期，在原型核电站基础上，各国陆续建成发电功率几十万至几百万千瓦的核电站，根据工作原理不同，这些核电站又分为“压水堆”，“沸水堆”，“重水堆”，“石墨水冷堆”等种类。目前世界上商业运行的核电站绝大部分都是这一时期建成（包括三里岛核电站、切尔诺贝利核电站、福岛核电站）。

第三代：20 世纪 90 年代，为消除美国三里岛和前苏联切尔诺贝利核电站事故的负面影响，世界核电产业界集中研究了对于严重事故的预防与处置，美国出台《先进轻水堆用户要求文件》(URD 文件)，欧洲出台《欧洲用户对轻水堆核电站的要求》(EUR 文件)。国际上把满足 URD 文件或 EUR 文件的核电机组称为第三代核电机组。

目前第三代核电机组较有代表性的有美国西屋公司的 AP100 方案以及法国阿海珐公司的 EPR 方案。有趣的是，这些方案由于技术成熟性，以及公众接受度（尤其是美国）等原因，首先在我国投入实践：浙江三门和山东海阳采用 AP100 技术，广东台山采用 EPR 技术。

第四代：2000 年 1 月，在美国能源部的倡议下，美国、英国、瑞士、南非、日本、法国、加拿大、巴西、韩国、阿根廷十国联合组成“第四代国际核能论坛”，并于 2001 年 7 月签署合约，约定共同合作研究开发第四代核能技术，进一步降低核电站建造成本并提高安全性，使核废料的产生最小化并防止核扩散。目前还没有建成一座符合第四代要求的核电站。

## 五．我国核电发展的形式与展望

我国已经成为全球第一大能源生产国和消费国。2017 年，我国在可再生能源方面投资总额约 1260 亿美元，占全球绿色能源投资的 45%。截至 2018 年年底，中国大陆全口径发电装机容量 19 亿千瓦，非化石能源发电装机占比提高到 40.8%。2018 年，全国新增发电装机容量 1.2 亿千瓦，其中新增非化石能源发电装机占比 73%。核电在我国能源转型中地位不断提高，2018 年我国核电发电量在非化石能源发电量中占比达到 15.83%。

我国电力需求仍将不断增长，核电有较大发展空间。核电具有清洁低碳、能量密度大、换料周期长、高负荷因子、供给可靠性高等特点，在能源生产与消费革命的转型中具有突出优势。作为目前唯一可以大规模替代化石能源的稳定低碳能源，核电将与风电、光伏发电等清洁能源形成互为补充、协同发展的局面。

2018 年，我国首批三代核电项目（三门、海阳、台山）陆续建成并投入商运，由于技术原因及其他原因，三代核电站的工程费用大幅增加。但是随着首批项目的建成，系统设计、关键设备建造、施工建造、调试等各阶段的技术、工艺流程均得到验证和固化，长期来看规模化建设的三代核电项目在单位造价和上网电价上能够逐步接近二代改进型核电的水平。

目前的短板主要有：核级泵阀、数字化仪控系统、关键零部件和基础材料等核心技术依然存在短板，受制于人的局面尚未得到根本改变。核燃料循环后段、放射性废物处置能力不足。

未来的前景还是比较乐观的。根据综合国际能源署 (IEA) 的预测，2030 年前，我国核电发电量将有望超过美国和其他国家；核电在我国发电量中的占比将从现在的 4.2% 上升到 2035 年的 10% 左右。

参考文献：

1. 百度百科
2. 王茜 李言瑞 石磊 《中国核能发展报告（2019）》
3. 丁志萍《1986-2012 年俄罗斯核电公众接受度研究》
4. 《华北电力技术》编辑部 《2012 年世界核电概况》
5. 王乃彦 《核电发展和核安全》
6. 陈昭宁 《漫谈世界核电》 《中国能源》1997, 12
7. 宋翔宇 《世界核电发展现状》
8. 《国外核新闻》编辑部 《世纪核电现状》