



IAEA

60 年  
原子用于和平与发展

理 事 会  
大 事 会

GOV/INF/2017/12-GC(61)/INF/8

2017年8月22日

普遍分发

中文

原语文: 英文

仅供工作使用

大会临时议程项目 18  
(GC(61)/1 和 Add.1)

## 2017 年国际核电状况与前景

总干事的报告

### 概 要

- 大会 GC(50)/RES/13 号决议要求秘书处从 2008 年开始每两年提供一篇关于国际核电状况与前景的综合报告。2016 年 9 月印发的大会 GC(60)/RES/12 号决议要求秘书处自 2017 年起继续每四年出版一篇《国际核电状况与前景》报告，以提高其知名度，并将该报告作为 2017 年 21 世纪的核电部长级国际会议的一份输入文件。本报告系为响应 GC(60)/RES/12 号决议而编写。



# 2017 年国际核电状况与前景

## 总干事的报告

### A. 导言

1. 目前，有 447 座在运核动力堆分布于 30 个国家，还有 60 座正在 15 个国家建造<sup>1</sup>。截至 2016 年底，核电装机容量达到 392 吉瓦（电），为进行报告以来的最高水平。可再生能源的份额继续扩大，但化石燃料，尤其是煤炭，仍然是能源供应的主要燃料。

2. 许多成员国一如既往地认为核电是一种成熟、清洁、可调度和经济的技术，有望在加强能源供应安全和减缓气候变化过程中发挥越来越重要的作用。这也是在俄罗斯联邦圣彼得堡举行的国际原子能机构 2013 年 21 世纪的核电部长级国际会议<sup>2</sup>的结论。自那时以来，两个重要的全球发展给核电在全球能源结构中的潜在作用带来新的曙光：“可持续发展目标”获得通过以及关于气候变化的“巴黎协定”生效。原子能机构在促进和平利用核技术、制订安全标准和安保导则以及促进加强全球核安全、核安保和核保障的国际合作和努力方面的主导作用继续得到承认。

3. 原子能机构对全球核电装机容量的高值预测表明，2030 年的水平将比 2016 年增长 42%、2040 年增长 83%和 2050 年增长 123%。低增长预测容量略有减少，2030 年减少 12%和 2040 年减少 15%，到 2050 年则反弹回目前的水平。有 28 个国家有兴趣引进核电。在业已运行核电厂的 30 个国家中，有 13 个不是在建造新核电厂，就是在积极完成之前搁置的建造项目，还有 16 个已有建造新反应堆的计划或建议。

---

<sup>1</sup> 截至 2017 年 7 月 1 日。为了介绍核电近期和长期前景的背景，本报告纳入了《2017 年核技术评论》（GC(61)/INF/4 号文件）的要点，其中详细介绍了截至 2016 年 12 月 31 日的核电状况。

<sup>2</sup> 这次会议是 2005 年在法国巴黎和 2009 年在中国北京举行的部长级会议的后续。关于该专题的下次部长级会议将于 2017 年 10 月 30 日至 11 月 1 日在阿拉伯联合酋长国阿布扎比举行。

## B. 当今核电

### B.1. 不断变化的背景

4. 搭建核电竞争舞台的国家和国际政策、市场和技术发展正在不断演变。本部分重点介绍自《2014 年国际核电状况与前景》(GOV/INF/2014/13-GC(58)/INF/6 号文件)印发以来的重要变化。

#### B.1.1. 国际倡议

5. 2015 年 12 月《联合国气候变化框架公约》缔约方会议在巴黎通过的一项新的全球气候条约于 2016 年 11 月 4 日生效。“巴黎协定”旨在显著减少人为温室气体排放，以便将全球平均温度升幅限制在高于工业化前水平 2℃ 以内，甚或根据进一步的科学资料限制在 1.5℃ 以内。其目标将通过集体和个人追求、按国家自主贡献法定周期来分阶段实现：在全球温度稳定前，各国必须每五年重新评估所取得的进展，并提出循序渐进的宏大气候行动计划。能源相关排放占全球温室气体排放的四分之三，而电力部门在这方面的增长最快。核电作为一种低碳技术，有巨大的潜力为应对气候挑战的努力做出贡献。

6. 2015 年 9 月联合国峰会通过的《2030 年可持续发展议程》的 17 个“可持续发展目标”于 2016 年 1 月 1 日生效。“可持续发展目标”被认为是“千年发展目标”的后续目标，呼吁所有国家无论贫富都应当在未来 15 年内动员各方努力，以消除一切形式的贫穷、减少不平等和应对气候变化。与此并行的战略则是拉动经济增长和满足社会需求，包括教育、健康、社会保障和就业机会，同时应对气候变化和进行环境保护。鉴于能源未被列入“千年发展目标”，现则被充分公认为一个独立的基本支柱，正如“可持续发展目标 7”所述：“确保人人获得负担得起的、可靠和可持续的现代能源”。

7. 国际能源机构的 2℃ 设想方案旨在避免最具破坏性的气候变化后果。国际能源机构 2017 年报告《追踪清洁能源发展》建议大幅增加使用核能。报告指出，2016 年核发电容量新增了 10 吉瓦（电），是自 1990 年以来的最大增幅。但报告强调，为了达到 2℃ 的指标，在 2025 年前需每年增加容量 20 吉瓦（电）。2015 年和 2016 年观察到能源投资从化石燃料向低碳技术的重大转变。虽然 2015 年对核电生产的投资达到 210 亿美元，但对能源效率举措投资了 2210 亿美元，对可再生能源投资了 3130 亿美元。

8. 世界核协会对未来电力生产的愿景称为“和谐”，设想以各种低碳生产技术的利益最大化而负面影响最小化的方式部署低碳生产技术的多样化结构。世界核协会设定了 2050 年全球 25% 的电力由核能提供的目标，再加上反应堆退役和电力需求增长等其他因素，这就需要新建大约 1000 吉瓦（电）的核电容量。为了达到这一目标，全球核部门需要一个平等竞争的环境、协调的监管过程以及有效的安全模式。

9. 2015 年，经济合作与发展组织（经合组织）核能机构启动了“2050 年核创新”倡议，旨在制订主要优先研究计划和必要基础结构路线图，以支持核能可在未来低碳电力领域发挥作用。根据“2050 年核创新”倡议拟开展的工作包括调查阶段、制订路线图阶段和实施阶段，均将于 2017 年完成。

10. 2015 年，原子能机构与国际可再生能源机构签署的一项协议建立了在能源规划领域合作的框架，其目的是提高相关能力建设工作的有效性和影响力。该协议确定了若干合作领域，包括信息交流、数据和方法共享、培训活动参与以及在案例研究方面进行合作。

### **B.1.2. 技术趋势**

11. 目前，有七个成员国开发了超过 17 项先进水冷堆设计和技术。这些先进堆设计可商用于即时和近期部署，有 30 多个这种反应堆在建。这些反应堆设计的共同目标是提高安全性、可操作性和可靠性，同时通过技术改进提高经济竞争力。影响这些先进堆成功部署的其他因素包括新设计取得许可证的可能性、监管框架的准备、建造技术和管理、供应链可用性和可行项目资金来源等。

12. 在中小型反应堆或模块堆的设计和技术开发方面也取得了重大进展。这种更新一代模块堆设计发电容量达 300 兆瓦（电）。配备工厂制造的系统 and 组件并可在有需求时以模块运送到场址的中小型反应堆或模块堆目的是以较短建造进度实现批量生产的经济性，为更广泛的用户和应用提供灵活的电力生产，包括更换老化化石电厂。由于潜在应急规划区规模减小，需要的冷却水减少，中小型反应堆或模块堆可以部署在大型核电厂不可行的地方。世界各地约有 50 种中小型反应堆或模块堆设计和概念，其中一些可近期部署，已有核电计划的若干国家和新加入核电的国家都在进行中小型反应堆或模块堆的研究与开发。在阿根廷（CAREM）、中国（HTR-PM）<sup>3</sup> 和俄罗斯联邦（KLT40）处于建造后期阶段的三种中小型反应堆或模块堆类型预定于 2018—2020 年期间开始商业运营。第一批商业中小型反应堆或模块堆预计将在 2025—2030 年期间投入运行。

13. 快堆是一些国家未来实现核电长期可持续发展的重要选择。俄罗斯联邦的钠冷快中子增殖堆 BN-800 已于 2016 年全功率并网，而印度的原型快中子增殖堆预计于 2017 年投入运行。若干其他国家继续以不同的发展步伐推进本国的快堆和燃料循环计划。

14. 高温气冷堆具有各种广泛的非电力高温应用（如石化炼制、热化学氢生产及其他工业应用），可对减少二氧化碳排放产生重大影响。中国计划不久开始调试其第一座高温气冷堆，并于最近签署了一项联合研究在沙特阿拉伯建造高温气冷堆可行性的合作协定。波兰正考虑通过一个称为“项目信息管理环境”的联合倡议，在欧盟、日本、大韩民国和美国支助的一个项目中，在有高温气冷堆的工业场址示范热电联产。

---

<sup>3</sup> HTR-PM：球床模块式高温堆。

## B.2. 核电现状

15. 2016 年，全球核发电量为 2476 太瓦·小时，比 21 世纪第一个十年的平均发电量少 91 太瓦·小时。这种减少主要由于日本的永久和临时关闭、德国和美国的永久关闭引起的减少所致，但部分地由中国和其他国家的增加所补偿。

16. 图 1 中左图显示在世界 30 个国家运行的 447 座核动力堆的地域分布。工业化国家仍然占商用核电的最大部分。在建电厂的情况（图 1 中右图）则完全不同：全球 60 座在建新反应堆中，有 39 座位于迅速发展的亚洲国家。自 2000 年以来，该地区在开工建设的 105 座反应堆中占了 85 座，而在已并网的 78 座新反应堆中占了 63 座。2015 年和 2016 年，全世界有 20 座新反应堆并网，是 20 世纪 80 年代以来的数量之最。

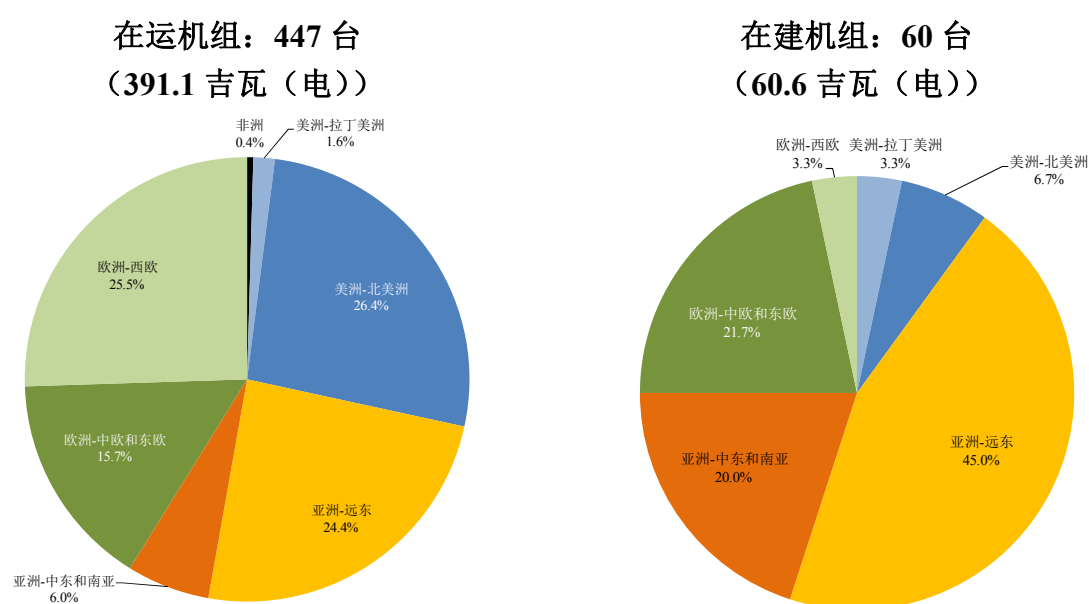


图 1. 截至 2017 年 7 月 1 日全球在运（左）和在建（右）核动力堆状况。资料来源：原子能机构动力堆信息系统。

17. 核电占全球总发电量的份额连续 10 年下降，2015 年约为 11%，但这依然占了世界低碳电力生产的近三分之一。政策推动的风能、太阳能和生物质能发电继续快速扩张，但化石燃料尤其煤炭仍然是能源供应的主要燃料（见图 2）。虽然新的可再生能源（包括风能、太阳能和地热能，但不包括水电）的总装机容量已超过核电，但由于具有间歇性，其实际发电量份额不到核电的三分之一。

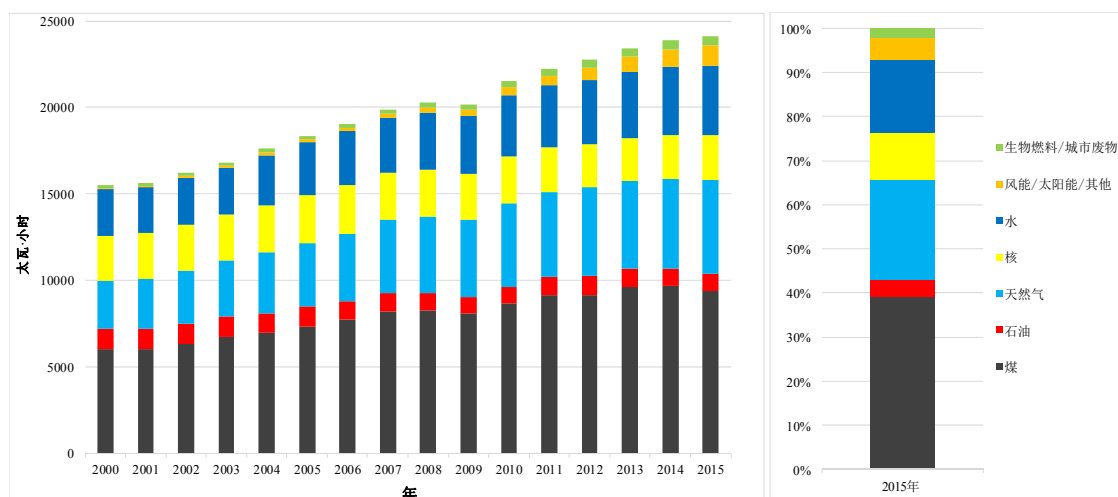


图 2. 2000—2015 年按燃料分列的全球电力供应。资料来源：根据国际能源机构和 BP 公司的资料改编。

18. 发展中国家的电力需求正在接近并有可能在 2020 年前超过工业化国家的需求。与需求停滞不前的地区不同的是，需求的快速增长一般会促进当地所有可用和适当的电力生产方式发展，包括核电。图 3 示出全球电力生产从经合组织国家向非经合组织国家的转移情况。

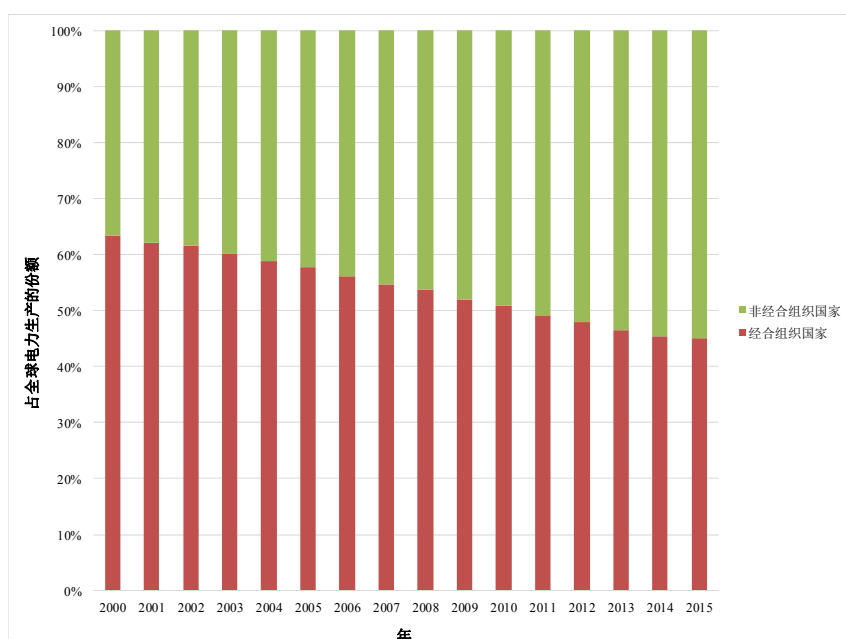


图 3. 2000—2015 年经合组织国家和非经合组织国家占全球电力生产的份额资料来源：根据国际能源机构和 BP 公司的资料改编。

19. 直到最近，核电很好地经受住了从计划调节电力市场向开放（竞争）性市场的过渡。反应堆已证明是有竞争力的低成本发电装置，主要因为其前期的高额初始投资成本已提足折旧，运营商只需承担运行和燃料成本，而这些成本低于化石燃料发电的成本。这种成本优势是电力公司寻求许可证延长以及进行安全升级和提高出力的主要原因。但最近几年，一些业主/营运者组织宣布计划提前关闭一些拥有有效运营许可证的

核电厂，或者本来可以合理地获得运营许可证延长的核电厂。多数情况下，列举这些提前停堆的主要原因是竞争力下降：页岩气生产的快速扩张所致天然气价格降低，特别是在美国，已从根本上改变了能源经济。

20. 乏燃料卸出率约为 7000 吨重金属/年，绝大部分都在反应堆现场贮存设施中进行湿法贮存，但近年来转移到堆外干法贮存设施的燃料数量已大幅增加，现已占有所有贮存燃料的约 25%。干法贮存燃料存量最大的国家有加拿大和美国。尽管英国的两个塞拉菲尔德后处理厂计划于 2018 年和 2020 年左右关闭，但由于法国、英国和俄罗斯联邦运行着大型设施，全世界的平均后处理能力预计保持不变。中国和俄罗斯联邦规划了更多的后处理能力，日本的六所村厂预期不久将进行调试。

21. 像任何其他工业设施一样，核电厂在运行阶段之后退役。迄今，已有 162 座动力堆关闭或正在退役，其中 19 座已经退役。150 多个燃料循环设施已永久关闭或正在退役，127 个已完全退役。随着安全运行经验增加，运行阶段往往也延长。

## C. 核电前景

### C.1. 考虑、引进或扩大核电计划国家的计划

22. 表 1 列出 30 个目前运行核电厂的国家的扩大计划<sup>4</sup>，其中有 13 个国家正在兴建新机组或正在完成之前搁置的建设项目，还有 16 个运行国家计划或提议建造新反应堆。

表 1. 有在运核电厂国家的状况。

类别	国家
新机组在建	阿根廷、巴西、中国、芬兰、法国、印度、日本、大韩民国、巴基斯坦、俄罗斯联邦、斯洛伐克、乌克兰、美国
新机组在建并有更多新机组的计划/建议	中国、芬兰、印度、日本、大韩民国、俄罗斯联邦、巴基斯坦、美国
无机组在建但有建新机组的计划/建议	亚美尼亚、加拿大、捷克共和国、匈牙利、伊朗伊斯兰共和国、罗马尼亚、南非、英国
有不建新机组的坚定政策	比利时、西班牙、瑞士 <sup>5</sup>
有关闭现有机组的坚定政策	德国

<sup>4</sup> 基于成员国在 2016 年 9 月大会第六十届常会和其他公共论坛上所作的发言，截至 2017 年 7 月。

<sup>5</sup> 在瑞士 2017 年 5 月的全民公投中，大约 58.2% 的选民支持禁建新核电厂。当前提供瑞士 34% 电力的五个核电厂只要被认为是安全的就获准运行。



23. 目前，有 28 个成员国<sup>6</sup>正在考虑、规划或启动核电计划，但尚无首个核电厂并网。表 2 根据原子能机构的里程碑方案<sup>7</sup>，按这些国家基础结构的发展状况将其分为五类。另有 20 个成员国（表 2 最后一行）表示对核电感兴趣，参加了原子能机构的一些核基础结构相关活动，并参与了原子能机构支持的能源规划技术合作项目。

24. 自 2014 年上份报告以来，白俄罗斯和阿拉伯联合酋长国首座核电厂的建设取得了进展，四个国家决定推迟或废弃其核电计划。非洲若干国家在接待了原子能机构的综合核基础结构评审工作访问之后，提出了其国家计划。孟加拉国和土耳其等一些国家订购了其首座核电厂，并启动了场址和建造许可证程序。其他国家或处于合同谈判阶段，如埃及和约旦，或拟作出知识型决策或准备外包，如加纳、肯尼亚、尼日利亚、波兰、沙特阿拉伯和苏丹，但在一些案例中仍有待做出反映广泛政治支持的国家决策。

**表 2. 无在运核电厂国家的状况。**

国家状况	国家
已开始第一个核电厂的建设	2
已订购第一个核电厂	2
已作出决定，正在筹备基础设施	5
积极筹备但未做出最终决定	7
正在考虑核电计划	12
表示对核电感兴趣	20

25. 所有“新加入核电”国家 — 正在首次引进核电的国家 — 都采纳了原子能机构的里程碑方案，正认真完成 19 个基础结构问题中每一个所要求的步骤。因此，成员国对原子能机构支助的需求日益增长，尤其需要按照原子能机构安全标准和其他导则以系统的综合方式评价核电基础结构，以便发现缺陷并制订填补缺陷的适当计划。新加入核电国家请求最频繁的原子能机构评审服务之一是 2009 年启动的综合核基础结构评审服务。到目前为止，22 次这种工作组访问帮助了 16 个成员国评定其本国的核基础结构发展状态，并在如何做出进一步改进方面从国际专家的建议中受益匪浅。这些成员国因此能够采取整体一致性方案，考虑、开发和评审其核电基础结构，同时密切关注安全、安保、保障和可持续性问题的。南非作为一个运行国，也认识到在扩大计划前邀请综合核基础结构评审工作组访问的重要性。原子能机构的支助还采取其他形式，包括编写新核电厂项目金融风险管理文件。

<sup>6</sup> 基于原子能机构正在执行的核电基础结构开发援助项目以及成员国在 2016 年 9 月大会第六十届常会和其他公共论坛上所作的发言，截至 2017 年 7 月。

<sup>7</sup> 系指《国家核电基础结构发展中的里程碑》（原子能机构《核能丛书》第 NG-G-3.1（Rev.1）号）概述方案。

26. 阿联酋预计于 2018 年调试其第一座核反应堆，随后于 2020 年前调试另外三台机组。白俄罗斯是另一个进展到第三阶段的国家，将于 2019 年和 2020 年调试其首批两台机组。原子能机构首次提出开展第三阶段综合核基础结构评审工作组访问，评审调试首个核电厂的准备状况。应成员国请求开展的综合核基础结构评审工作组访问为政府提供全面综合意见，包括在综合核基础结构评审工作组访问前开展的任何特定问题工作组访问或评审的结果概要。因此，第三阶段综合核基础结构评审工作组访问对整个基础结构为调试和运行所做准备情况进行最后评定。

27. 图 4 提供 2030 年前首次启动核电计划成员国潜在容量增加情况全球概览，将所宣布的容量增加与保守看待成员国计划情况下可能预期的容量增加进行对比。

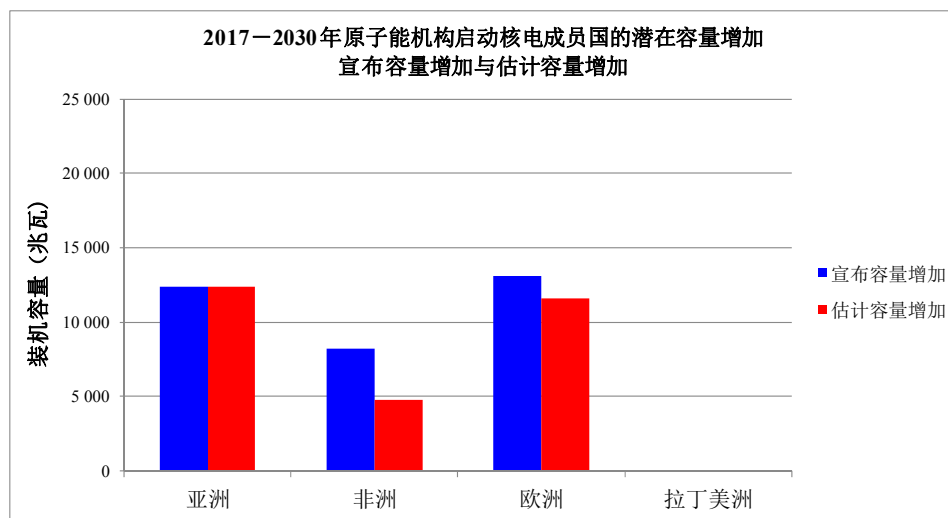


图 4. 2030 年前启动核电国家潜在容量增加情况全球概览

## C.2. 对未来增长预测和说明

28. 原子能机构每年发布<sup>8</sup>全球核发电容量预测：低值预测和高值预测。来自世界各地的著名专家参加这项活动，以考虑所有在运反应堆、可能的许可证更新、计划停堆和预见未来几十年似乎可能建设的项目。他们按照低值预测和高值预测所依据的假设评定每个项目的合理性，由此在逐个项目的基础上开展对未来核发电容量的估计。本部分简要介绍进行这两种预测的这种“自下而上”的活动的结果，然后在考虑本报告前面部分观察结果情况下对其加以说明。

### C.2.1. 低值预测

29. 低值预测假设当前的趋势将继续，而且影响核电的政策基本不变。这种预测假设所有国家核电目标不一定都实现。这是一种“保守却似乎合理”的预测。

<sup>8</sup> 《到 2050 年期间的能源、电力和核电预测》（《参考数据丛书》第 1 号），2017 年版，拟于 2017 年 9 月出版。

30. 根据 2017 年低值预测，全球核电容量将从 2016 年底的 392 吉瓦（电）减少到 2030 年的 345 吉瓦（电），并将再减少到 2040 年的 332 吉瓦（电），到 2050 年则将恢复到目前水平<sup>9</sup>。全球总量反映明显不同的地区发展情况。北美洲及北欧、西欧和东欧地区预计将大幅缩减，而非洲和西亚只有小幅增长。相反，中亚和东亚地区预计将大幅增长，到 2050 年核电容量预计增长 43%。

31. 目前在运的 447 座反应堆半数以上已超过 30 年。直到 2050 年的低值预测似乎表明装机容量没有净增长；但这并不意味着没有新建。事实上，即便在低值情况下，到 2050 年也将有大约 320 吉瓦（电）新增核电装机容量，同时弥补退役反应堆造成的容量减少，但不一定出现在同一地区。

### C.2.2. 高值预测

32. 高值预测假设，当前的经济和电力需求增长率将持续，特别是远东地区有高增长。核电将作为一种成本效益好的缓解气候变化的方案得到许多国家的接受。<sup>10</sup>

33. 据高值预测，全球核电容量到 2030 年将达到 554 吉瓦（电），到 2040 年达到 717 吉瓦（电），到 2050 年则达到 874 吉瓦（电）。所有地区都对这一增长做出贡献，而中亚和东亚等地区增幅最大，到 2030 年其核电容量在目前水平上将翻一番以上，到 2040 年将增加 2.9 倍，到 2050 年则增加 3.5 倍。北美洲地区的核电容量到 2050 年将小幅下降，而北欧、西欧和南欧地区最初会减少，但到 2050 年将恢复到 120 吉瓦（电），略高于目前 113 吉瓦（电）的水平。

34. 尽管电力效率有了提高，但全球电力需求在增长，主要驱动力是新兴经济体，其中若干经济体将启动新的核电计划或扩大现有计划。这些经济体能够特别受益于“电动车”，即在交通中不再使用化石燃料，从而避免空气污染和碳排放。

### C.2.3. 高值预测与低值预测的比较

35. 自 2010 年以来，原子能机构对核电总发电量的年度预测一直是逐步减少。但核电的长期潜力仍然巨大。图 5 将 2016 年容量与各种广泛的未来预测进行了比较，凸显了核电未来的高度不确定性。C.1 部分报告的目前反应堆部署计划在预测范围内。在低值预测中，核电占全球发电量的份额将从目前约 11% 的水平降到 2030 年的 7.8%、2040 年的 6.2% 和 2050 年的 6%。但是，全球核发电量仍然存在虽适度但绝对的增长。相比之下，亚洲核发电量正以较高速度增长，即使在低值预测中也与总体电力增长相当。

---

<sup>9</sup> 这些预测包括成员国归类为“在运”的所有可用容量，而不管其是入网还是暂时关闭。2016 年，日本很大部分发电容量被暂时关闭。

<sup>10</sup> 见《2016 年气候变化与核电》（国际原子能机构，维也纳，2016 年）。

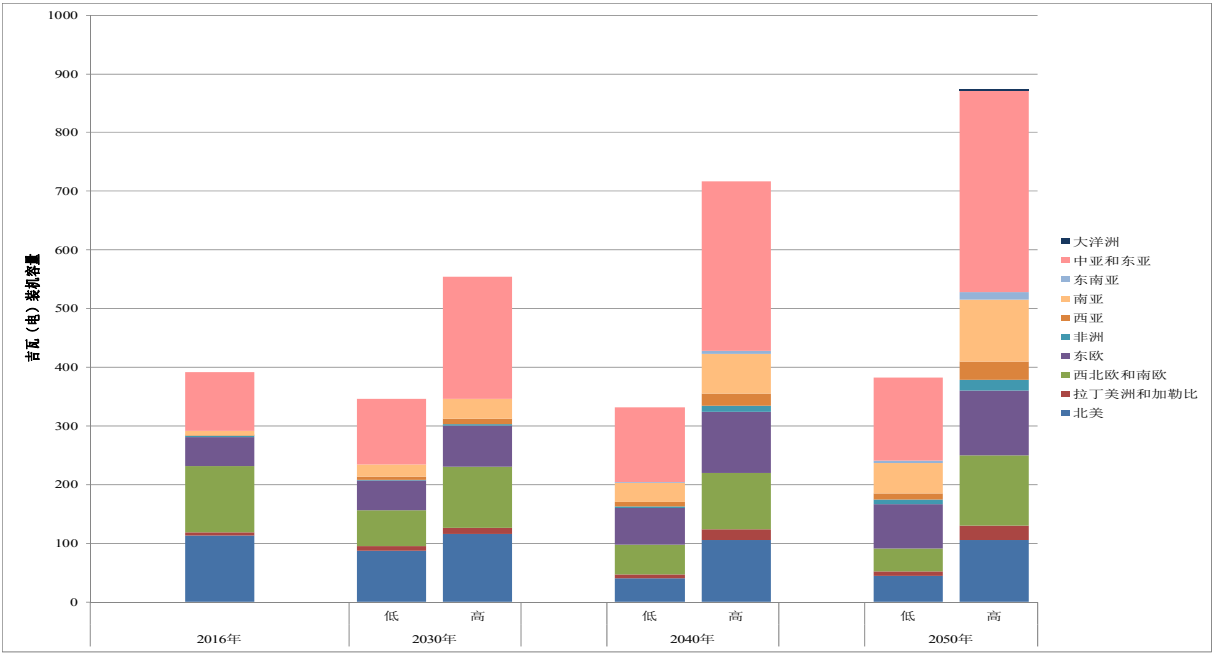


图 5. 原子能机构 2017 年按地区列出的核电装机容量（吉瓦（电））低值预测和高值预测。

36. 在高值预测中，核电占总电力供应的份额估计将从目前约 11%的水平增至 2030 年的 12.4%、2040 年的 13.4%和 2050 年的 13.7%。这一预测的核电份额增长受发展中国家能源发展的驱动。从全球角度，这一高值预测反映从 2025 年前后开始，预计每年将有 30—35 座新反应堆并入电网。上次达到这一并网率的年份是 1984 年，当时有 33 座新反应堆并入电网。目前的全球制造能力（特别是大型锻件）估计为每年 30—34 座反应堆。但最大的限制不在于生产，而在于确保获得政治支持、将核电较之其他能源系统的好处（如低碳排放、能源供应安全、创造就业）货币化以及使投资者和公众知晓这些好处和风险。简言之，要实现到 2025 年每年 33 座反应堆并网，今天就要立即行动起来。

37. 截至 2015 年 1 月 1 日，世界铀年产量为 55 975 吨，提供了世界反应堆年需求量的约 99%，其余需求则由以前开采的铀来满足。铀资源基础被认为远远满足截止 2030 年的预计需求。但为了满足高值预测的需求，必须及时进行投资，以便将这些资源投入生产，并为核燃料生产使用做好准备。

## D. 影响因素

38. 本部分突出强调对确定未来发展是更接近于低值预测还是更接近于高值预测可能至关重要的一些因素。

### D.1. 安全

39. 核装置的安全性能对核电的前景至关重要，因为良好的安全记录是核电得到公众接受的关键。

40. 自 2011 年福岛第一核电站事故及原子能机构《核安全行动计划》获得通过以来，原子能机构、成员国及相关组织一直在执行加强全世界核安全的措施。在极端自然事件期间，更是特别关注核电厂的安全，以及相关燃料循环、放射性废物管理及辐射安全问题。在加强全球核安全方面取得的进展包括更有效的纵深防御，加强的应急准备和响应能力，以及强化的保护人类和环境免于电离辐射的措施。

41. 原子能机构一直在修订其“安全要求”，以纳入从福岛第一核电站事故汲取的教训。成员国对原子能机构同行评审和咨询服务的请求继续增加，对安全领导和管理计划制订援助和能力建设援助的请求也在增加。

42. 采购相关活动对安全有着重大影响。近几年在核工业内部有无数活动涉及假冒、欺诈和可疑物项相关的问题。采购工程和高效的供应链计划，加上严格的质量控制和质量保证程序，将支持核设施的安全和经济运行。

## **D.2. 供资与筹资**

43. 在启动或扩大国家核电计划的各个阶段都有供资需求，比如建立和维持国家监管机构，以及建立供资机制以履行退役和废物管理的“后端责任”。这主要是政府职责。原子能机构在这方面为许多成员国提供了支助，包括通过在白俄罗斯、约旦和土耳其举办国家讲习班。

44. 鉴于核能项目的高度资本密集性质及其所致对利率和建造周期的敏感性以及不确定性，此类项目的筹资工作颇具挑战性。现已开发各种可能的筹资模式以解决其中一些不确定性，特别是项目开发商 — 及资金提供方 — 在电厂寿期的运行阶段可能面临的市场风险。这些风险可能造成电厂无法以适当的价格出售其所生产的电力，在开放型电力市场上这些风险可能被认为尤其严重。可通过以担保固定价格购买电厂生产的部分或全部电力的安排（由电厂东道国国家政府潜在支持）来降低这类风险。此类安排已成为开发阿库尤（土耳其）、欣克利角 C（英国）、奥尔基洛托和汉希克维（芬兰）等项目的核心。

45. 尽管这样的安排能够通过降低市场风险有助于确保为项目提供资金，但对于在寿期的早期阶段被认为脆弱的核能项目风险（建造延迟和相关费用超支），这样的安排则作用有限。为了将项目融资架构中相对低成本贷款筹资的比例最大化，必须要从贷款机构的角度为项目“化解风险”。这可通过多种方式来实现，比如通过东道国政府向贷款机构提供直接主权担保，或通过核蒸汽供应系统供应商同意持有项目股权。阿联酋的巴拉卡项目就采取了后一种方式，韩国电力公司持有 Barakah One 公司 18% 的股权，而在芬兰的汉希克维项目中，国家原子能公司持有 34% 的股份。

## **D.3. 电力市场与核政策**

46. 自 2014 年以来全球电力市场的主要发展包括天然气价格的下降、大量可再生能源的迅速部署、电力需求从经合组织国家向非经合组织国家的转移（特别是在亚洲）以及有意义的二氧化碳价格信号的缺失。

47. 如果核电作为低碳能源的潜力得到更广泛认可,“巴黎协定”(见 B.1.1 部分)能够对核电发展产生积极影响。在一些国家,气候变化问题是支持继续运行核电厂的一个激励因素,否则这些电厂将因经济原因而关闭;也是制订新建造计划的部分正当理由。长期而言,“巴黎协定”规定对国家自主贡献每五年一次的更新及其对创新的重视可能是另一个积极影响,因为先进堆设计将进一步改进核安全和放射性废物管理。随着时间推移,这些先进技术可能投入商用,可考虑将其作为低碳能源结构的一部分。但为了实现当前技术与下一代技术之间的过渡,仍有必要维持一批在运反应堆。

48. 国际能源机构预测建议,实现“巴黎协定”的目标(见 B.1.1 部分)需要目前的核电容量水平在 2050 年前至少翻一番。电力市场推广所有类型低碳解决方案(包括核电)的激励措施。在增加对核电投资的融资确定性并从而确保其及时部署以减缓气候变化方面将发挥根本性作用。与此同时,需要认识到核电的供应安全性、可靠性和可预测性优势。在由于风能和太阳能光电技术等大量易变可再生能源技术的引进所致已变得比以往任何时候都不稳定的电力环境下,认识核电优势更加迫在眉睫。最近的政策实例有助于强调电力市场在核电发展中的作用:英国的差价合同机制保证了电力价格;美国纽约州《清洁能源标准》包括将零排放额度计入对核能的无排放属性评估;墨西哥通过年度拍卖,致力于在 2024 年前实现 35%的低碳能源生产指标(包括核电)。在缺乏有效行动支持长期融资安排情况下,核电发展的步伐可能会放缓,从而危及缓解气候变化的工作。

49. 随着能源现已独立成为“可持续发展目标”(见 B.1.1 部分)的一个基本支柱,核电在可持续发展中的优势能够变得更加清晰。迄今,由于在低碳电力与事故风险及放射性废物管理相关环境和人体健康问题关切之间的权衡,核电在可持续性问题中的地位已引起巨大争议。原子能机构通过与替代供电能源对比并与可持续性的经济、社会和环境支柱相关“可持续发展目标”挂钩,评审了核电的特征。从系列广泛指标看来,核电可被视为一种可靠的电力来源,能够在能源供应多样化中发挥作用并促进一种更有弹性的可持续电力供应。

#### **D.4. 革新: 先进堆和燃料循环**

50. 人们对先进的替代性燃料设计重新燃起了兴趣,这些设计将提高性能,并且更能抵抗事故工况下的燃料破损和氢产生。其中一些新燃料设计可与现有反应堆和在建反应堆一起部署。另外还在为新的反应堆系统及其燃料循环开发若干先进燃料设计。

51. 快堆在 2050 年以前将不会起决定性作用,但此后可能变得重要,特别是在可持续性考量要求废物负担最少化(在数量和长寿命两方面)和有效利用铀资源的情况下尤其如此。

52. 核能在热电联供和余热回收方面的应用使其有潜力进入非电力应用市场。这将提高运行效率,并伴有经济优势。作为供热部门传统化石燃料系统的替代方案,核能热电联供厂有助于减少二氧化碳的排放。热电联产还可促进可变电力输出,通过在发电

与其他应用之间切换而为间歇性可再生能源提供支持。因此，核电能为整个能源市场做出贡献，将其影响力扩展到发电以外。

53. 若干国家以超过 750 堆年的运行经验成功示范了各种低温应用。在这些案例中，为运行温度低于 200℃ 的应用（如纸厂、区域供热和海水淡化）提供热水和蒸汽。将来，有可能将先进的非水冷核电厂用于高温应用。中国首座高温气冷堆的调试可能为更广泛部署高温气冷堆铺平道路。此类反应堆还可适应各种更广泛的非电力高温应用。

54. 中小型反应堆或模块堆的商业部署对小电网、基础结构欠发达、投资能力有限的国家以及在边缘地区的部署、工艺热和海水淡化等专业应用有重要优势，还可能对核电的前景产生影响（见 B.1.2 部分）。

## **D.5. 废物管理**

55. 在发展和实施高放废物处置库方面已证实的进展将对核电在政治上和为公众所接受产生深远的影响。已实施明确制订的废物管理政策和在运行高放废物处置库方面已取得明显进展的国家，其公众对核电的接受度最高。

56. 将继续在全世界安全有效地处置绝大部分放射性废物。对于数量少得多的其余高放废物和乏核燃料，若干国家继续在运行处置设施方面取得良好进展。2015 年 11 月，芬兰的昂卡罗设施被授予了首个乏核燃料深部地质处置设施建造许可证，已于 2016 年 12 月开工建设。2016 年 6 月，瑞典辐射安全管理局核准了福什马克乏燃料深部地质处置库的许可证申请。法国正准备为称为 Cigéo 的中放和高放废物深部地质处置设施申请许可证。

57. 一些感兴趣的成员国继续讨论安全处置乏核燃料和高放废物的多国方案。虽然讨论尚未形成对启动建造特定设施的承诺，但愿意以开放态度参与这一专题的意愿表明，潜在的好处可能相当巨大。

58. 退役是为未来做准备的基础，使场址可复用于建造未来电站或甚至用于不涉及使用放射性物质的工业或其他用途。随着退役工作和技术现已在工业上日臻成熟，对核电厂寿期终止的掌控也是核电前景的一个影响因素。

## **D.6. 能力建设**

59. 为确保在核设施寿期所有阶段都有一支称职的职工队伍而获得和留住技能型人才是核能界面临的巨大挑战。新建核项目的一个特殊挑战就是专门知识和人力资本的流失，因为这样的项目极少，往往在前一项目之后许多年才会有新项目（但中国、日本、大韩民国和俄罗斯联邦除外）。数字学习和混合学习等创新方案投入实践，使核培训、教育和能力建设更加方便运营核电国家和新加入核电国家的新生代核职工队伍利用。

60. 原子能机构继续将各网络和地区安排下的实践社区联系起来。其核知识管理和核能管理短训班都得到了拓展，除在意大利（与的里雅斯特国际理论物理中心联合）、日本和阿联酋定期举办的短训班之外，2016 年还在俄罗斯联邦和南非举办了新的短训班。

61. 就为学生和核专业人员培训提供实际设备而言，研究堆的利用和访问已证明很有价值。为了响应成员国的请求，原子能机构最近开发了基于研究堆的核能力建设和保持的各种方案和机会，包括实际操作培训班、原子能机构的因特网反应堆实验室项目等远程教学工具以及一个称为“由原子能机构指定的以研究堆为基础的国际中心”倡议的互助合作方案。

62. 为新加入核电国家以及放射性废物管理、退役和环境治理从业者等特定受众开发的电子学习模块已投入广泛使用。

## **D.7. 公众接受**

63. 公众接受是核电未来的一个关键因素。这主要取决于公众对核电相关好处和风险的认知，而且也取决于对非核替代方案好处和风险的认知。具体而言，对辐射危险、废物管理、安全和扩散的关切依然是最能影响公众接受的几个方面。

64. 利益相关方对尤其具有潜在安全影响的核政策制订和投资决定的参与已成为核电成功和安全部署的一个核心特征。这对于新加入核电国家制订国家立场以及对于新的核建设项目和高放废物处置库的选址是必不可少的，而且也有助于建立和维持对监管能力和效率的信任。

65. 在核电项目方面进行及时沟通和公众参与有助于增进了解，并且更可能促成利益相关方的知情同意。核电计划所有阶段的透明参与程序对于公正和一致的决策以及对于充分利用核能部门的潜力都至关重要。