

仅供工作使用

大会临时议程项目 16
(GC(58)/1、Add.1 和 Add.2)

2014 年国际核电状况与前景

总干事的报告

概 要

- 2011 年 9 月印发的大会 GC(55)/RES/12 号决议要求秘书处继续每两年印发一次关于国际核电状况与前景的报告。本报告是对该决议作出的响应。

2014 年国际核电状况与前景

总干事的报告

A. 引言

1. 目前，在全世界 30 个国家中有 435 座在运核动力堆，有 72 座正在 15 个国家进行建造。¹ 2013 年，核发电量 2359 太瓦·小时，不到全世界电力生产总量的 11%，成为自 1982 年以来的最低值。可再生能源的份额继续扩大，但化石燃料，尤其是煤炭，仍然是全球首选燃料。

2. 2013 年 6 月原子能机构组织在俄罗斯联邦圣彼得堡举行的“21 世纪的核电部长级国际会议”² 是福岛第一核电站事故后阐述核电前景的第一个重要活动。会议的结论是，对许多国家来说，核电是一种成熟、清洁、安全和经济的技术，该技术将在加强能源安全、减少化石燃料价格波动的影响和减缓气候变化方面发挥日益重要的作用。会议确认了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。会议还认识到，核事故没有国界，核安全必须健全、有效和透明。

3. 原子能机构对全球核电装机容量的低值和高值预测均显示到 2030 年有所增长。虽然自 2010 年以来的每次预测都低于前一年所作的预测，但长期潜力仍然很大。有 33 个国家对引进核电感兴趣。在业已运行核电厂的 30 个国家中，有 13 个不是正在建造新核电厂，就是正在积极完成之前搁置的建造工作。另有 12 个正在积极筹划兴建新电厂或完成被搁置的建设项目。

¹ 这些数字截至 2014 年 7 月。《2014 年核技术评论》(GC(58)/INF/4 号文件)详细介绍了截至 2013 年 12 月 31 日的核电状况。本报告仅列入该文件的要点，以提供核电近期和长期前景的背景。

² 会议是与经济合作与发展组织(经合组织)核能机构合作组织并由俄罗斯联邦主办。来自 80 多个国家和国际组织的 500 多名与会者(包括 38 位部长)参加了会议，这次活动的出席率大大高于 2005 年和 2009 年举行的前两次会议。会上的全部发言和介绍可在以下网址获得：<http://www-pub.iaea.org/iaemeetings/43049/International-Ministerial-Conference-on-Nuclear-Power-in-the-21st-Century>。

B. 当今的核电

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、市场和技术开发正在不断演变。本部分重点介绍自《2012 年国际核电状况与前景》(GOV/INF/2012/12-GC(56)/INF/6 号文件)以来的重要变化。

B.1.1. 国际倡议

5. 在全球范围内，由于经济性不断提高、使用的灵活性和低碳的好处，可再生能源的使用正在不断增加。“人人享有可持续能源”倡议和国际可再生能源机构在过去的两年获得了影响力。它们专注于可再生能源，在国家层面和国际层面得到了政府和公众的大力支持。风能和太阳能发电能力正在以两位数的速度增长，往往由大量补贴加以推动。“技术学习”或“边干边学”大大降低了投资成本，以致于可再生能源的发电成本在一些地方已接近电网平价不过没有计算平衡其间歇性和非可调度性成本。

6. “人人享有可持续能源”倡议由联合国秘书长于 2011 年 9 月发起，以应对两个迫切的挑战：能源供应和污染。13 亿人得不到电力供应成为消除贫困和共享繁荣的一个主要障碍。化石燃料产生的二氧化碳和其他温室气体的排放助长了对气候系统危险的人为干扰。气候变化使我们都处于危险之中。穷人首当其冲，而且受害最大。

7. 作为支持各国向可持续能源转型的一个政府间组织，国际可再生能源机构于 2009 年成立，拥有 132 个成员国，还有 37 个国家正在加入中。为了促进发展、能源供应、能源安全和低碳经济增长，该机构促进利用各种形式的可再生能源，包括生物能、地热、水电、海洋能、太阳能和风能。

B.1.2. 能源市场和技术方面的趋势

8. 2008 年全球金融危机的影响和受影响最大者从危机中恢复的速度不同仍然是影响能源市场的最重要短期因素。这场危机主要是减缓了世界各地能源需求的增长速度。

9. 另一个重要因素是日本核反应堆继续进行近乎完全的停堆，而在福岛第一核电站事故之前这些反应堆提供了日本约 30%的电力。日本为替代失去的电力而增加的化石燃料的消耗，加上页岩气的扩张，造成了全球进出口特别是煤炭和天然气进出口的重大变化。

10. 如 B.1.1.部分所述，自 2012 年以来，对核电前景预测影响最大的技术发展涉及(页岩气)水力压裂和可再生能源。C 部分论述了这三项发展对核电前景的影响。

B.2. 核电的现状

11. 2013 年，全球核发电量为 2359 太瓦·小时，比 21 世纪第一个十年的平均量少 220 太瓦·小时。这种减少主要由于日本(266 太瓦·小时)的永久和临时关闭、德国(41

太瓦·小时) 和美国 (17 太瓦·小时) 的永久关闭引起的减少所致, 但却部分地被中国 (34 太瓦·小时) 和其他国家的增加所抵消。

12. 图 1 中左图示出在全世界 30 个国家中运行的 435 座核动力堆的地域分布情况。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: 全球在建的 72 台机组中, 有 38 台机组在迅速发展的亚洲非经合组织成员国家。自 2000 年以来, 该地区在开工建设的 92 座反应堆中占 55 座, 在已并网的 53 座新反应堆中占 30 座。

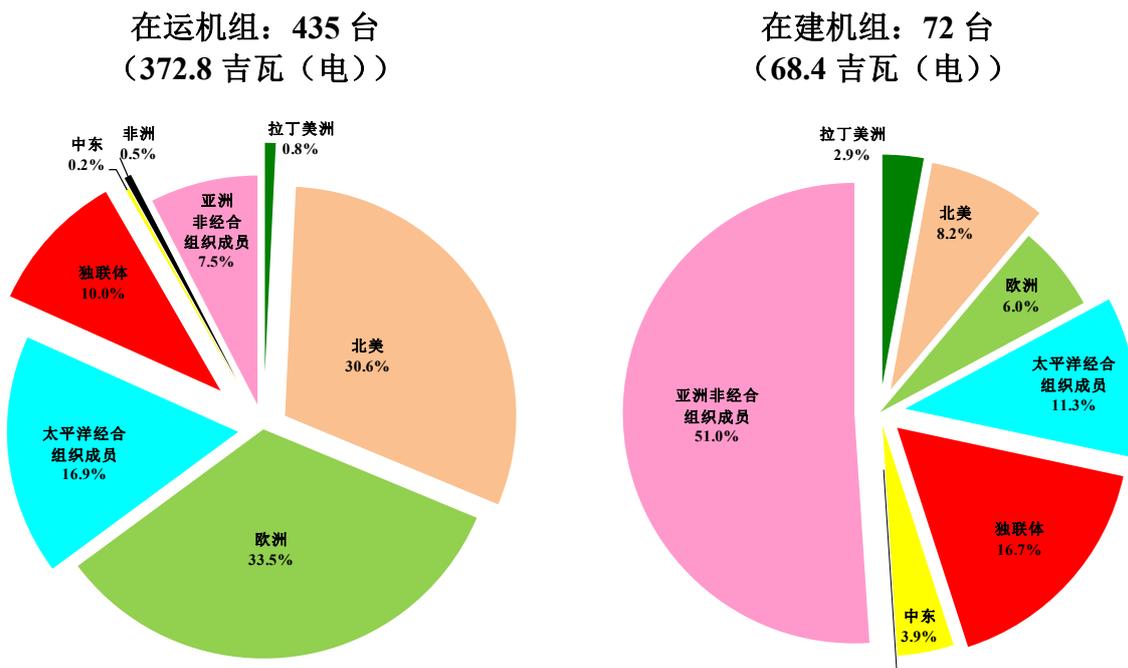


图 1. 截至 2014 年 7 月全球在运 (左) 和在建 (右) 核动力堆状况。资料来源: 原子能机构动力堆信息系统。

13. 全球电力需求在 2011 年和 2013 年间每年增长了约 2.5%, 远低于直到 2011 年的 10 年每年平均 3.3% 的增长速度。经合组织国家的需求停滞不前或略有下降, 因此, 增长完全靠发展中国家推动。大多数经合组织国家自 2008 年以来经济增长乏力在很大程度上是由于从 2008 年金融危机中缓慢复苏造成的。电力需求停滞不前系经济复苏缓慢和需求侧管理活动双重原因所致, 这些管理活动如限制了经合组织国家电力需求的欧洲联盟 (欧盟) “20-20-20 目标”³ 等。非经合组织国家需求增长放缓则是由于金砖国家经济活动逐步降温所致⁴。较小规模发展中国家的电力需求持续快速增长, 但这却由于金砖国家经济体的庞大规模而被非经合组织国家的总数所掩盖。

14. 核电占全球总发电量的比例连续 10 年下降, 至 2013 年不到 11%, 这是 1982 年以来的最低值。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

³ “20-20-20 目标” 设定了到 2020 年的三个关键目标: 欧盟温室气体排放量在 1990 年水平基础上减少 20%、将可再生资源产生的欧盟能源消耗比例提高到 20% 以及将欧盟的能源效率提高 20%。

⁴ 金砖国家: 巴西、俄罗斯、印度、中国和南非。

其是煤炭仍然是全球首选的燃料。图 2 示出了自 2000 年以来全球电力供应的发展情况。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）在总发电容量中已超过核电，但由于间歇性，其占实际发电量的份额不到核电发电量的三分之一。

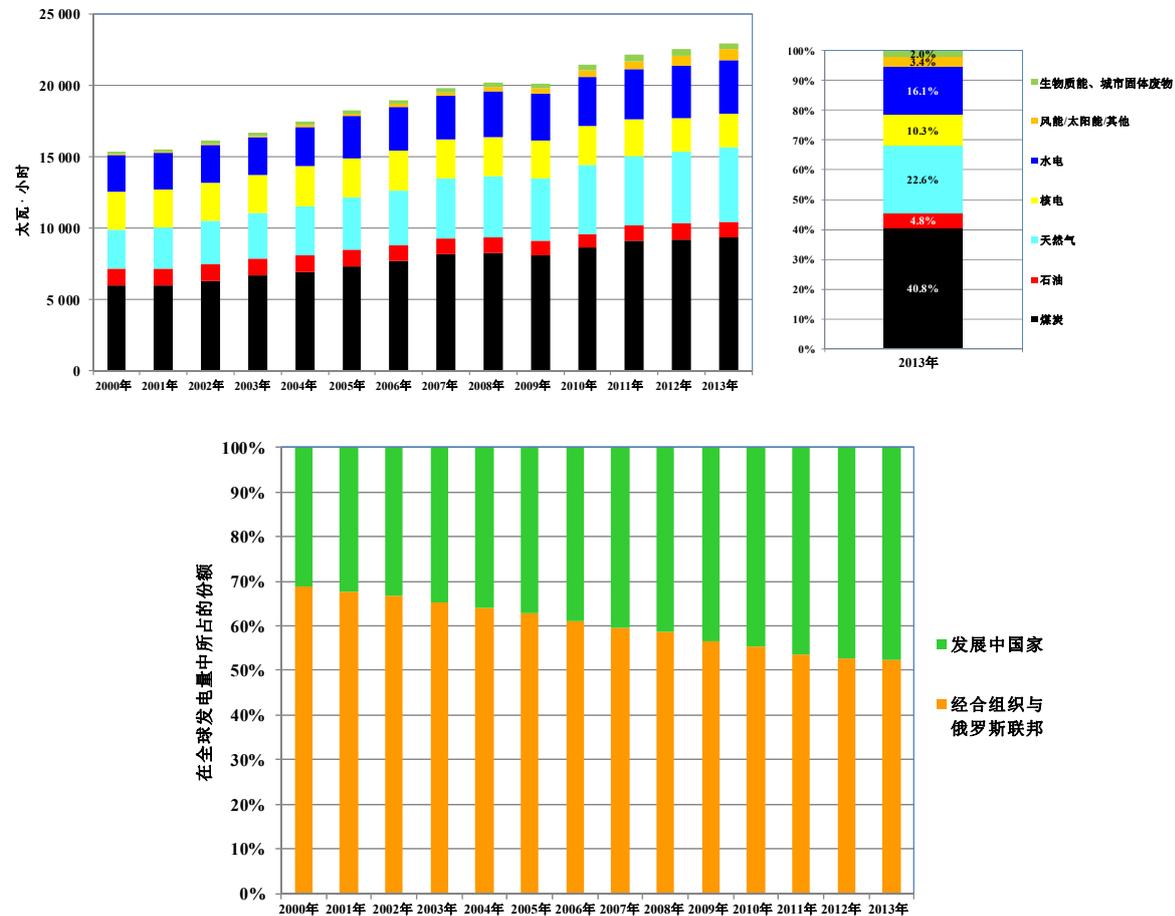


图 2. 2000 年至 2013 年按燃料分列的全球电力供应情况（上）和在全球发电量中所占的份额（下）。资料来源：根据国际能源机构和 BP 公司的资料改编。

15. 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促进所有本地可用和适当的电力生产方式包括核电的发展。

16. 直到最近，核电很好地经受住了从有监管的电力市场向开放（竞争性）市场的转变。现有的核电厂被证明是有竞争力的低成本发电装置，主要是因为其初始前期高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。

17. 现在情况已经改变：通过页岩气快速扩张（特别是在美国）引起的极低的天然气价格从根本上转变了能源经济。它们降低了商用核电的竞争力。

18. 美国最近及预期关闭核电厂就反映了这种变化。尽管被许可运行到 2033 年，但道明尼能源公司 574 兆瓦（电）基瓦尼核电厂在 2013 年 5 月被关闭，原因仅仅是它在开放市场上竞争不过廉价天然气。安特吉能源公司援引经济因素宣布其 604 兆瓦（电）

佛蒙特扬基电厂退休。这些因素包括电力批发价格低，因而降低了该电厂的盈利能力，而且主要受较低的天然气价格、维护基建费用上升、地区市场对维持可调度的发电容量的补偿低以及遵守联邦和地方新法规的成本增加所驱动。由于佛蒙特扬基和基瓦尼一样都在开放电力市场从事经营活动，它无法通过受到监管的服务成本率收回这些增加的成本。

19. 虽然在运反应堆提高出力以及更新或延长许可证的趋势在全球范围内仍在继续，但已经出现了核监管机构极长时间和不确定的审查导致及早退休而不是许可证延长的情况。一些国家电力需求停滞或下降以及电力批发价格低已促使一些运营者甚至取消了已计划的相对低成本提高出力活动。

20. 对可再生能源特别是风能的直接和间接补贴以及可再生能源指令削弱了核电尤其是在开放电力市场中的经济活力。由于它们促进增加了可再生能源的装机容量，因此，按照目前的批发价格衡量，数量越来越多的核设施将变得不经济，或者在需要大量投资才能延长运行以及市场前景黯淡的情况下将有强烈的动机被提前关闭。

21. 这些因素（即页岩气及受补贴和指令驱动的可再生能源的快速增长）对基本上零需求增长的经合组织国家的开放市场中的核电产生了影响。在正在快速发展且电力需求日益增长的发展中国家，情况有着根本的区别。它们需要发展所有本地可用的包括核电在内的电力方案。对于高度重视以负担得起和稳定的发电成本实施能源安全和保护环境的国家而言，核电仍然是一个重要的选项。

C. 核电的前景

C.1. 业已使用核电国家的计划

22. 表 1 示出了目前运行核电厂国家的扩张计划⁵，其中包括立陶宛，该国拥有 43.5 堆年的运行经验，但却自 2009 年关闭伊格纳利纳-2 号机组以来一直没有在运的反应堆。在 30 个正在运行核电厂的国家中，13 个不是正在兴建新机组，就是正在完成之前搁置的建设项目。另有 12 个正在积极规划建设新机组。

⁵ 基于成员国在 2013 年 9 月大会第五十七届常会和其他公共论坛上所作的发言。

表 1. 正在运行核电厂的国家加立陶宛（截至 2014 年 6 月 30 日）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
搁置机组重新开工	阿根廷、巴西、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、大韩民国、俄罗斯联邦、巴基斯坦、美国
没有机组在建但有建新机组的计划/建议	亚美尼亚、保加利亚、加拿大、捷克共和国、匈牙利、伊朗伊斯兰共和国、立陶宛、罗马尼亚、南非、瑞典、英国
有不建新机组和/或关闭现有机组的坚定政策	比利时、德国、西班牙、瑞士

C.2. 考虑或引进核电国家的计划

23. 表 2 示出有 33 个国家⁶目前正在考虑、规划或启动核电计划，但还没有将第一座核电厂并网。一些国家如孟加拉国、埃及和越南已经作了一段时间的核电规划。波兰等其他一些国家，在政府和舆论改变削减了核电计划之后目前正在恢复核电方案。约旦和乌拉圭等国正在首次考虑或规划核电。

24. 根据这些国家的基础设施发展情况，该表按照原子能机构的里程碑框架⁷将其分为五类。处在最后阶段或第三阶段的国家有已开始建设的白俄罗斯和阿拉伯联合酋长国（阿联酋）以及已订购其第一座核电厂但尚未开工建设的土耳其。处在中间的六个国家已决定启动核电计划，并正在积极建立必要的基础设施。另外五个国家已经开始为引进核电做准备，虽然体现广泛政治支持的国家决定仍有待作出。19 个国家组成了最大的群体，它们希望就核电方案作出知情决策，而且正在获取关于核基础设施发展的资料，内容从法律和监管的先决条件到人力资源需求和技术方面，不一而足。

表 2. 无在运核电厂国家的状况。

国家状况	国家
已开始第一座核电厂的建设	2
已订购第一座核电厂	1
已作出决定，正在筹备基础设施	6
积极筹备但未做出最终决定	5
正在考虑核电计划	19

⁶ 基于成员国在 2013 年 9 月大会第五十七届常会和其他公共论坛上所作的发言。

⁷ 《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 号。

C.3. 对未来增长的预测和说明

25. 原子能机构每年发布⁸两种全球核电发电量最新预测：低值预测和高值预测。这些预测都是由原子能机构每年春季召集的来自世界各地的专家作出的。他们对所有在运反应堆、可能的许可证更新、计划停堆和预见未来几十年似乎可能的建设项目进行审议。他们在逐个项目的基础上进行预测，方法是根据以下两点评定每个项目的真实性：第一，低值预测的假设条件；第二，高值预测的假设条件。

26. 本部分简要介绍这一自下而上的预测活动的结果，然后在考虑本报告前面部分意见的情况下对其加以说明。

C.3.1. 低值预测

27. 低值预测假设当前的趋势将继续，而影响核电的政策基本不变。这种预测并未假设所有国家的核电目标都会实现。这是一种“保守但却似乎合理”的预测。

28. 表 3 示出了低值预测的结果，根据该预测，全球核电装机容量从今天的 372 吉瓦（电）适度增长至 2030 年的 401 吉瓦（电）。⁹ 这比去年对 2030 年的低值预测值少了 34 吉瓦（电），而比福岛第一核电站事故发生前不久对 2030 年做出的预测值少了 145 吉瓦（电）。但如表 3 各列所示，全球总量掩盖了明显不同的地区发展情况。在北美、欧洲和太平洋经合组织成员国出现了大幅度下降，在非洲发生了停滞，在拉丁美洲、独联体和东盟略有增长，在中东和亚洲非经合组织成员国则出现大幅扩张。

表 3. 基于原子能机构《参考数据丛书》第 1 号（2014 年版）按地区分列的到 2030 年核电装机容量（吉瓦（电））的低值预测。

	北美洲	拉丁美洲	欧洲	独联体	非洲	中东	太平洋经合组织成员	东盟	亚洲非经合组织成员	全世界
2013 年	112.6	4.1	125.0	37.1	1.9	0.9	63.1	0.0	27.0	371.7
2020 年	111.9	4.5	112.9	47.1	1.9	3.6	51.9	0.0	56.4	390.1
2025 年	98.4	5.9	82.7	48.1	1.9	6.6	51.6	0.0	83.7	378.9
2030 年	92.4	6.9	81.5	50.7	1.9	8.6	52.5	2.0	104.1	400.6

29. 低值预测反映从 2008 年全球经济和金融危机中缓慢和不稳定的复苏的时间大约再延续五年，之后才开始一段较长时间持续但温和的经济增长。在短期至中期内，由于将转化为高于平均水平电力需求的对商品和服务旺盛的国内需求，大的发展中国家的表现可能普遍好于经合组织国家。相反，经合组织地区的电力需求可能继续停滞或增长非常缓慢。

⁸ 《到 2050 年的能源、电力和核电预测》，原子能机构《参考数据丛书》第 1 号，2014 年版。

⁹ 这些预测包括被成员国归入“运行中”类别的所有可用容量，而无论其入网还是暂时关闭。2013 年，表 3 中被列在太平洋经合组织成员下的日本的许多容量被暂时关闭。

30. 核能、风能和水电都属于最低的寿期温室气体排放电力生产技术。目前，只有若干国家或地区的核电投资者因这种技术的缓解气候变化效益而得到补偿。在低值预测中，具有全球约束力的严格的新气候变化协议将可能被推迟到大大超出目前预定的2015年协议日期和2020年协议生效日期之后。无论是否有一项新的国际协议，一些国家和地区都将继续实施低温室气体能源战略，但一般都会偏重可再生能源和增效措施。在其他地方，特别是在大多数发展中国家，煤炭仍将是首选发电燃料。

31. 随着缓慢的经济复苏，保守的资本市场将可能躲避为核电项目通常具有的前期高投资成本提供资金。虽然风能、太阳能和水电等其他技术具有和核电同样的前期投入成本结构，但与风能或太阳能每个机组容量只有几兆瓦（电）相比，容量高达1000至1600兆瓦（电）的大型商用核电机组使得其融资成为一个挑战。

32. 全球只有几家具有金融深度和资本化的电力公司能够利用其资产负债表为核电厂提供资金。对于许多较小的经济体而言，核电厂将占其年度国内生产总值的很大份额。融资通常将需要外部资金支持。虽然作为替代的若干邻国共享第一座核电厂的地区方案既会降低每个参与方的投资要求又有助于克服与小型国家电网有关的可能限制，但是这种地区方案将不大可能在低值预测中起重要作用。

33. 特别是在开放市场，资金风险管理和缓解措施并非普遍可以利用或可以适用。核项目的私营部门资助者需要有得到政府支持的担保，以使他们能够收回投资。这种担保可采取若干形式，包括贷款担保、长期购电协议和差价合同。在购电协议中，公营部门实体承诺在较长时间内（例如15年或更长时间）以固定价格购买一定数量的电力。购电协议是大多数“建设-拥有-运营”安排（例如土耳其阿库尤核电厂项目）的一个必要基础。在适用于电力销售时，差价合同系电力公司与私营或公营对口方之间规定每千瓦时的价格下限和上限的合同。如果市场价格跌破价格下限，对口方则就价格下限与市场价格的差额向电力公司提供补偿。如果市场价格高出价格上限，电力公司则向对口方偿还市场价格与价格上限的差额。这些机制（贷款担保、购电协议和差价合同）在开放的电力市场中为投资者和电厂业主提供了更加可预测的收入。不过，低值预测中核电在开放市场中的适度增长基于这类机制仅单独使用的假设。

34. 对于已开始建造首座核电厂或必要的安排大多已就绪的国家而言，资金来源部分地或全部源于供应商国家。阿联酋的四座新反应堆正在由阿联酋政府和韩国电力公司牵头的韩国联营企业提供资金。在土耳其，项目公司由土耳其和俄罗斯联邦共同拥有，建造、运行和退役的费用将全部由俄罗斯联邦提供资金。在孟加拉国、白俄罗斯和越南，协议也具体规定绝大部分资金都将来自俄罗斯联邦。

35. 页岩气生产的扩展正在从美国波及世界其他地区。所导致的低天然气价格连同对间歇性可再生电力生产容量补贴的不断增加，既限制了一些发达国家的核电增长前景，又限制了一些现有电厂的经济寿期。丰富的页岩气还将使地方和国际市场的煤炭价格受到限制。这些发展与低值预测的结果一致。

36. 在一些国家，引入核电、扩大现有容量或替代即将退役容量的政策决定由于福岛

第一核电站事故而被推迟。因此，低值预测的结果与新的核电建设被持续推迟相一致。国家采取贯彻暂定逐步淘汰核电计划的情况，也将导致低值预测所显示的低增长。

37. 低值预测关于直到 2030 年这段时间的地区差异和不到 0.5%的较小全球年增长率证实了 B 部分所述不同市场的最近观察结果和趋势。核电增长从北美和欧洲向尤其是亚洲大的发展中国家的转移情况在 2014 年低值预测中比往年甚至更加明显。

38. 大多数容量增长发生在拥有现有核电计划的国家。到 2030 年，拥有在运核电厂的国家数量将从 30 个增加到 35 个。在 2030 年，这个群体将增加八个国家，在核装机容量中占 13 吉瓦（电）。2030 年，当前合计容量为 18.4 吉瓦（电）¹⁰的三个国家（亚美尼亚、比利时和德国）将不再属于这个群体。

C.3.2. 高值预测

39. 高值预测假设，当前的金融危机和经济危机将较快被克服，过去的经济增长和电力需求率将恢复。它还假设全球实行严格的气候变化缓解政策。

40. 据高值预测（表 4），到 2030 年全球核电容量达到 699 吉瓦（电），比 2013 年增加 327 吉瓦（电）。所有地区都对这一扩展作出贡献，尽管程度不同。欧洲在经过轻微的初始下降后，到 2030 年达到 144 吉瓦（电），比福岛第一核电站事故前增加大约 10 吉瓦（电）。北美容量增加 23%，从 113 吉瓦（电）增长到 139 吉瓦（电）。两个地区都经历对低值预测中所预测的下降的明显逆转。最大规模的绝对扩展（170 吉瓦（电））发生在亚洲非经合组织成员国。除了从零增长到 9.0 吉瓦（电）的东南亚国家联盟（东盟）地区外，最大的相对增长发生在中东地区。

表 4. 按地区分列的直到 2030 年的核电装机容量（吉瓦（电））高值预测，基于原子能机构《参考数据丛书》第 1 号（2014 年版）。

	北美洲	拉丁美洲	欧洲	独联体	非洲	中东	太平洋经合组织成员	东盟	亚洲非经合组织成员	全世界
2013 年	112.6	4.1	125.0	37.1	1.9	0.9	63.1	0.0	27.0	371.7
2020 年	118.7	5.8	124.8	55.2	1.9	6.6	71.7	0.0	78.8	463.5
2025 年	124.2	7.9	130.0	63.6	1.9	11.4	81.2	2.0	135.6	557.7
2030 年	138.9	14.5	144.3	78.2	9.9	13.4	93.7	9.0	197.3	699.2

41. 表 4 中的各不相同的地区发展将包括将在 2030 年以前成功引入核电的大量新国家。实际上，在高值预测中，在 2030 年占 36 吉瓦（电）容量的 19 个新国家使拥有在运核电厂的国家数量达到 47 个。然而，与低值预测情况一样，这种容量增长将更多地由既有核电国家的扩展所驱动，而非那些启动新核计划的国家。

42. 暂定逐步淘汰意向将不会在日本和中国台湾得到仿效，其他国家也不一定按原有计划执行目前的逐步淘汰决定。

¹⁰ 总计中包括中国台湾的以下数据：5032 兆瓦（电）。

43. 在今后几年内，世界经济将很可能恢复到危机前的增长率和模式。尽管电力效率有了改进，但全球电力需求在增长，主要驱动力是新兴经济体，其中若干新兴经济体将启动新的核电计划或扩大核电计划。这些不断增长的经济体尤其能够从运输用低碳能源受益，从而避免空气污染和碳排放。

44. 一项具有普遍约束力的限制温室气体排放的国际协定将于 2020 年准时生效。这将使世界排放步入符合《联合国气候变化框架公约》防止气候系统受到危险的人为干扰的目标轨道，即将全球温升幅度限制在与工业化时代前相比不超过 2°C。核电将在许多国家被公认和接受为一种成本效益好的缓解方案。¹¹

45. 虽然严格的气候缓解政策将继续支持可再生能源和增效措施，但传统的利用核能进行基荷发电与利用风能和太阳能进行间歇性发电之间的协同作用将不断加强。预计到 21 世纪 20 年代中期中小型反应堆的商业化能够增加核电厂运行的灵活性。

46. 随着煤被取代，天然气可能在几十年内成为可再生能源与核电之间的平衡燃料。天然气、可再生能源和核电合在一起可带来实质性的气候效益。

47. 其他地区将经历早先在亚洲所目睹的相同趋势：随着经验的增加，按时和按预算完成更多的建设。从最近建设首座同类电厂汲取的经验教训及其有关不足帮助精简了从规划到施工结束的整个过程，从而缩短了建设期限和降低了成本。良好的项目完工跟踪记录可增加投资者信心和加强公众支持。

C.3.3. 高值预测与低值预测的比较

48. 图 3 对高值预测与低值预测进行比较，从而突出强调有关核电前景预测中的明显不确定性。C.2.部分报告的目前计划属于两种预测都涵盖的范围。就是说，九个国家明确计划到 2030 年实现首座核电厂并网发电，而且这介于低值预测中将如此行事的七个国家与高值预测中将如此行事的 18 个国家之间。虽然在低值预测中核电占全球发电量的份额到 2030 年下降到估计 9%，但全球发电仍然存在虽适度但绝对的增长。在核电生产继续以接近总的电力增长率的速率增长的亚洲地区，情况则不同。

49. 在高值预测中，2030 年核电占总电力供应的份额估计为 13%，略高于其目前的份额。这意味着核电增长快于总的电力增长，这种关系在发展中国家比在经合组织国家更加明显。在全球，高值预测将要求从 2025 年前后开始每年有 33—36 座新反应堆并网发电。新的并网最高数量是 1984 年的 33 座。目前的全球制造能力，特别是大型锻件的制造能力估计每年为 30—34 座反应堆，因此将不会成为高值预测的限制因素。相反，挑战将在于确保有力的政治支持以及使核电的相对效益和风险变得为投资者和公众更加可见和理解的所有发电方案平等竞争的环境。简言之，到 2025 年实现 33 座反应堆并网将需要今天立即行动。

¹¹ 见“2013 年气候变化与核电”，国际原子能机构，2013 年。

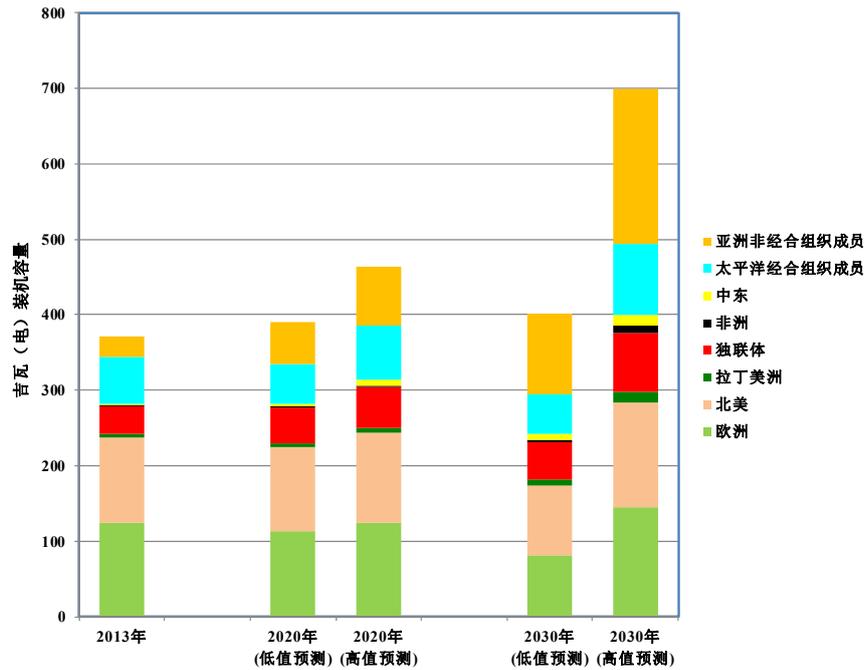


图 3. 低值预测和高值预测的地区容量发展。资料来源：基于原子能机构《参考数据丛书》第 1 号（2014 年版）。

50. 将低值预测和高值预测扩展到 2030 年以后涉及到有关影响能源选择的技术、经济和政治发展的更大不确定因素。然而，如果两种预测中采用的主要假设维持不变，则全球核电容量估计在 2050 年低值预测中达到 413 吉瓦（电）和在高值预测中达到 1092 吉瓦（电）。

51. 但即使在高值预测中，尽管在 2030 年至 2050 年有 393 吉瓦（电）的相当大的增长，核电在 2050 年仍然只占全球发电容量 5%的份额。这一份额就实际发电（12%）而言将高得多，因为核电主要被用于基荷发电。

D. 影响因素

52. 未来的发展将可能介于低值预测与高值预测两者之间。虽然上述说明将关键因素与一种或另一种预测关联起来，但存在更多的可能性。例如，核电和丰富的天然气在高值预测中不一定相互排斥。同样，关于气候变化的新的国际环境协定也不会保证核电容量有比低值预测更高的增长。或者，核电也可能会在低需求环境中兴旺起来。本部分评述对确定未来的发展是否更接近于低值预测还是高值预测而言可能至关重要的一些因素。

53. 最重要的是所有核装置的目前和未来的安全记录。强健的安全记录对于公众接受核电是必不可少的。

54. 同样重要的是正在运行和引入核能的国家对核电的强烈非党派性政策支持。在公众对话中频繁地重启核辩论对投资者、公众和核职工队伍而言是一个不利因素。拖延引入核电的政策决定减弱了寻求核职业的积极性。

55. 核电的前期高投资成本，用于规划、许可证审批和建造的准备时间长以及核电成本对利率具有敏感性，所有这一切均给融资带来挑战。然而，在其他条件相同的情况下，对于较长期回报（通常政府比私营工业更容易接受）而言以及在因电力需求和价格可预测、市场结构稳定和政治支持强烈所致金融风险较低的国家，核电是一个有吸引力的投资。

56. 拖延决定还可能导致“锁定”效应。如果需要截然不同的电力供应和输电基础设施（例如采用最少输电基础设施的分散式发电）的非核替代方案得到发展，这可能使得以后增加大型核电机组变得愈加困难。

57. 与新的核建设相比，对现有电厂进行运行许可证展期和提高出力在经济上则更具吸引力，争议更少。具有经济吸引力归因于与提高出力有关的改动有限和安全升级，以及这类电厂一般已进行折旧。争议减少主要是因为这些电厂对于周围社区来说是众所周知的实体。虽然较老的设计在进行安全升级以满足目前的安全标准，但它们永远不能完全达到新建电厂中采用的最佳可用技术水平。这便引起政策挑战，要求在新旧设计的安全性和经济性之间进行权衡。

58. 在发展和实施高放废物处置库方面已证实的进展可能对政治上和公众接受核电产生深远的影响。已制订明确的废物管理政策和在运行高放废物处置库方面取得明显进展的国家，其公众对核电的接受度最高。

59. 无论是在拥有小型电网或岛屿电网的国家还是在电力需求不景气的有既定核电计划的国家，中小型反应堆的可用性都能够极大地扩大核电的市场潜力。中小型反应堆能够缩短面市时间和减少投资者的金融风险，使其更易于融资。模块式中小型反应堆可用于对需求不确定性作出灵活响应，也更适合于非电能源应用。

60. 未来的发展将取决于目前正在确定的若干先例中有哪些被各国认为更令人信服。一方面，德国这个精通尖端技术的经济体，计划到 2022 年逐步淘汰核电而大量依靠可再生能源和提高效率来满足其未来能源需求。另一方面，阿联酋在 2012 年成为 27 年来开始建造首座核电厂的第一个国家，该国计划这座核电厂在 2017 年实现并网发电。正如 C.2.部分所讨论的，许多其他国家正在计划仿效。这些可替代方案若能证明是多么的成功，则可能对其他国家的选择产生显著的影响。

61. 同样重要的将是促进可再生能源政策的未来，因为对于纳税人和消费者来说，他们的费用在不断变化。一旦可再生能源在输电系统中的份额接近 15—20%，要求国家通过大量补贴支持增加可再生能源在能源组合中的份额的指令就会妨碍核电的增长。输电系统运营商根据边际发电成本配电。风能和太阳能发电因零边际成本而在可利用时首先配送，并迫使包括核电在内的所有其他发电的供应订单进一步减少。可再生电

力（无论是否需要这种电力）的上网电价补贴和购买义务进一步扭曲了电力市场，并驱动系统成本上升。¹²

62. 此外，可再生能源发电的间歇性和不可预测性需要快速的系统响应（例如旋转备用、缓升缓降、耗尽或补充水电贮存）以维护系统的完整性和稳定性。在较大的功率范围内缓升缓降的能力不是核电的典型特点，除非像在法国那样有大量的核电厂并入电网，在这种情况下，许多电厂可以在一个小的范围内同时进行功率水平调整。

63. 核电的许多环境效益如果能用货币量化并让决策者、投资者和公众看得见，则能够使形势转而对核电有利。正如业已所述，核电具有和其他低温室气体排放技术同样的气候效益，只要按其气候效益判断核电技术，严格的气候缓解政策将改善核电相对化石燃料发电的经济性。

64. 可能在不同国家打破平衡的其他核电效益包括减少恶劣空气质量、加强能源安全及以稳定和可预测的费用提供可调度基荷发电。正如中国最近所宣布的那样，应对空气污染的政策使化石燃料发电变得比核电和可再生能源更加昂贵。将对能源安全的贡献进行货币化的政策也能够使核电更具吸引力。最后，容量报酬机制或可调度发电补偿将给核电厂业主带来额外收入。

65. 任何工业离开创新都不会长久生存。革新型电厂设计和先进的燃料循环是核工业的主要责任。其他的革新如新的业务模式、融资方案或创建有利的投资环境等则属于其他部门范畴。所有核设计都在进行革新以降低成本和加强安全。中小型反应堆的商业化是加强研究、开发和示范的一个重要方面，也可能是有关上述高值预测能否实现的一个决定因素。《2014年核技术评论》指出有45个革新型中小型反应堆概念处于研究、开发和示范的不同阶段，以及若干中小型反应堆设计已在建设中。

66. 诸如快堆和高温堆等其他设计在2030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最少化（在数量和长寿命两方面）和资源节约的情况下尤其如此。

67. 利益相关方参与特别具有潜在安全影响的核政策制订和投资决定已成为核电成功和安全利用的一个核心特征。利益相关方参与对于新加入国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已变得必不可少。这种参与还可以扩展到对监管能力和效率的审查。

68. 公众接受是决定核电未来的关键。接受水平在不同国家和地区的差异反映了公众对核电利益和风险（通常区分于非核替代方案的风险和利益）的重视和认知。利益相关方参与进行全面和透明的能源规划将国家可用的所有技术和燃料方案均纳入其中则有

¹² 德国对风能和太阳能发电的补贴和上网电价导致了该国既有一些欧盟最低批发价格又有一些欧盟最高零售价格的矛盾局面。

助于采取切实可行的能源方案。来自核能界以外的利益相关方比核能界成员具有更高的公众可信度。因此，他们能够更好地解释和宣传辐射风险和影响以及运行安全问题。

69. 核电正处于一个矛盾阶段。一方面，它似乎已进入一个期望值在下降的时期。自2010年以来的每年，原子能机构对2030年的全球核电装机容量预测一直是一年比上一年的预测降低（图4）。尽管如此，表2示出有一拨国家准备引入核电，因而长期潜能仍很高。可能在一个方面或另一个方面影响发展的一些经济、技术和政治因素并非属于核工业界抑或政府所能控制范围。在其他方面，核工业界、政府甚至原子能机构能够具有更多的影响力。

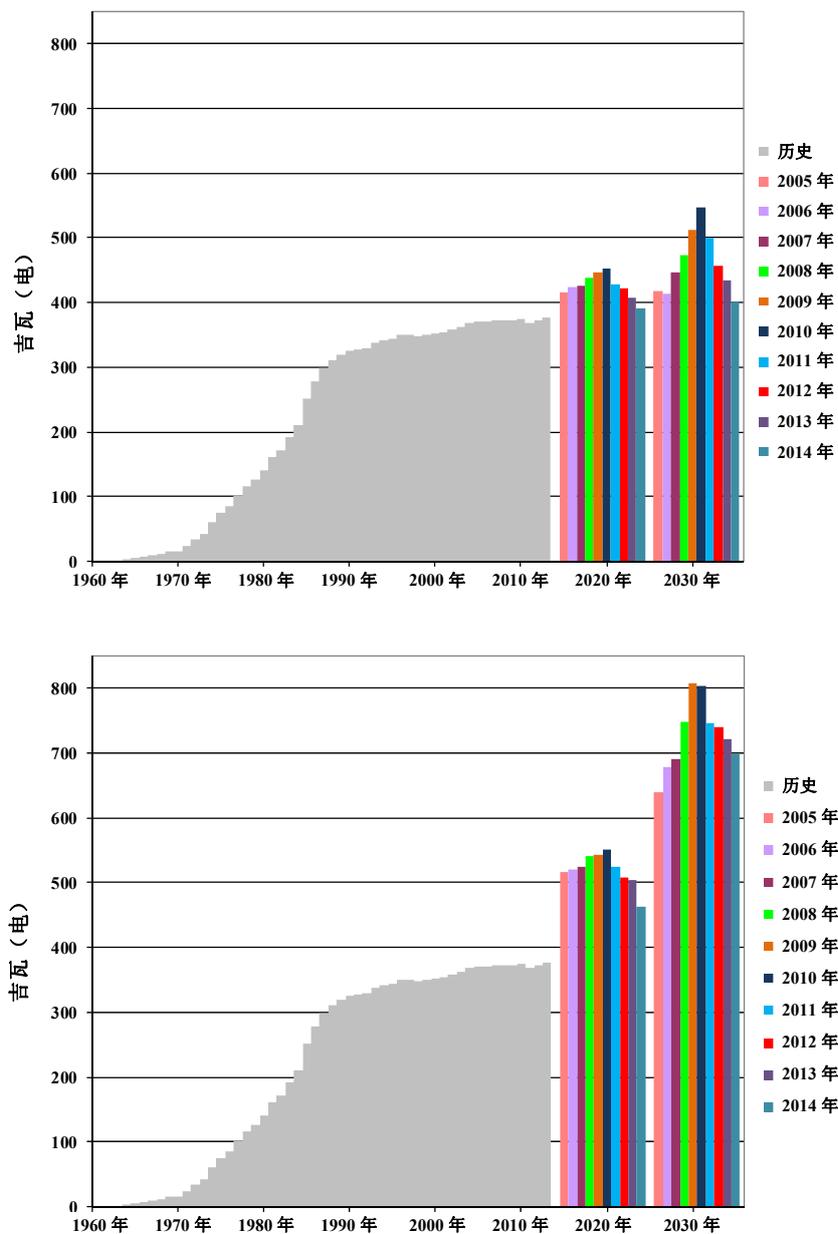


图4. 原子能机构全球核电低值预测（上）和高值预测（下）。资料来源：原子能机构《参考数据丛书》第1号（2005年版至2014年版）。