



# 福岛第一核电站事故 对核能开发政策的影响(I)<sup>☆</sup>

经济合作与发展组织核能署

46, quai Alphonse Le Gallo 92100 Boulogne-Billancourt, France

E-mail: [nea@oecd-nea.org](mailto:nea@oecd-nea.org)

**【摘要】** 福岛第一核电站事故对全球核能开发产生了影响。虽然事故发生后，各国对其所有在运核电站的安全性进行了全面的技术评估，并且全球范围内核电站的安全要求普遍得到强化，但各国的政策应对却不尽相同。这些应对包括逐步淘汰核能或加快淘汰步伐，减少对核能的依赖，或者相反，继续追求或扩大核能项目。该研究考察了核能政策以及事故前后计划的变化，并力求把福岛第一核电站事故与影响核能决策的其他因素对核能政策的冲击区分开来，特别是电力市场经济学、融资挑战和来自其他能源（天然气、煤炭和可再生能源）的竞争。还研究了各国定量的长期预测随时间的变化，这些变化揭示了核能在未来能源体系中所扮演角色的变化趋势。

**【关键词】** 核能开发 区域政策 预测 福岛第一核电站事故

DOI: [10.15978/j.cnki.1673-5668.201706001](https://doi.org/10.15978/j.cnki.1673-5668.201706001)

## 1 引言

2012年10月，核能署核能与核燃料循环技术经济研究委员会（NDC）批准了一个提议，决定把“福岛事故对核能开发政策的影响”项目作为核能署核能开发处（DEV）在2013–2014年度工作计划的一部分，目的

是为了评估在福岛第一核电站（NPP）事故发生后核能政策的变化。这样的评估将使我们不仅对目前核电发展的趋势有深入的了解，而且在实现温室气体减排目标和脱碳发电的重要政策目标的前提下，对2025年及以后能否满足不断上涨的能源需求有深刻认识。

了解政策变化的最新情况对于核能署成员国，特别

<sup>☆</sup>原文由经济合作与发展组织(OECD)以英文出版, NEA (2017), Impacts of the Fukushima Daiichi Accident on Nuclear Development Policies, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264276192-en>. OECD拥有该英文版的所有版权。© 2017 OECD。

中国科学院文献情报中心经OECD授权出版该报告的中文版。中文版非OECD官方翻译版本。中国科学院文献情报中心对中文翻译的质量及其与原文的一致性负责。如果出现译文与原文不一致的地方以原文内容为准。© 2017中国科学院文献情报中心《科学观察》编辑部。

报告分为两部分，本期刊登上半部分。



是有核电项目的国家、反应堆供应商以及相关商家来说很重要，因为他们大多数必须对以下事情做出决策：承诺达到温室气体减排目标，根据需要更换老旧发电设施以及保证与供应有关的能源安全，所以及时了解其他国家的核电发展情况非常重要，只有这样才能做出明智的决策。

随着时间的推移，几个重要国家在很长一段时间内未能对2011年3月的事故做出政策方面的应对，因此，核能开发与核燃料循环技术经济研究委员会决定将该项目的研究时段延长至事故发生后大约6年。今天，大多数有核国家的核能政策没有改变，那些核能政策有变化的国家，有些变化得明显，有些则微不足道。由福岛第一核电站事故导致的政策变化显然减缓了核能开发的步伐，但是，总体上，拥核国家对国家核电政策重新评估的热潮似乎已经消退。

然而其他因素却在影响世界核电项目的投资决策，这些因素包括：储量丰富且成本低廉的天然气（主要是在美国），开发各种可再生能源发电的宏伟目标，自2008年全球金融危机以来持续存在的规避风险的投资氛围，许多发达国家的低电力需求和低电价，以及在自由化市场（特别是在欧洲和美国的一些地区）投资于任何一种热力发电设施所面临的挑战等。这些不确定因素和固有的风险环境可能会更好地解释为什么往往预测核能开发会减少，例如，核能署/国际原子能机构（IAEA）对

2035年的预测《铀：资源、生产和需求（红皮书）》或国际能源署（IEA）的2°C方案（2DS）预测《能源技术展望》。

## 2 执行摘要

距福岛第一核电站事故发生已过去6年，期间核能的开发在全球范围内取得了重大进展，共有33个机组开始建设（32千兆瓦），还有38个机组已并入电网（34千兆瓦）。然而，在对该事件的政策应对方面仍存在一些不确定性，尤其是在东亚地区。总体而言，对2011年至今的预测与2007—2011年间相比显然有所下降，但是，在福岛第一核电站事故前后也发生了其他一些事件，因此很难将这种影响归于单一原因。

越来越多的人提到始于2001年左右的“核复兴”，而且一些国家还制定了雄心勃勃的计划，拟增加新的核能发电容量。《铀2009：资源、生产和需求》中的高估方案预测，到2025年全球发电容量将增长50%（从372千兆瓦到616千兆瓦），并且到2035年翻一番（达到781千兆瓦）。在国际能源署的2°C方案（2DS）预测里包括了一个与2012年类似的扩张计划（到2035年从393千兆瓦增长到841千兆瓦）。2007年到2009年的全球金融危机对某些国家产生了特别的影响，然而却引发了持续至2011年以后的全球经济衰退，并且影响了一些投资决策。

一些政府，特别是在西欧，已经对政策进行了明显的修改，这是这次事故的一个直接影响。不过，很显然，从具体国家来看，尽管有些国家有政策变化，但大

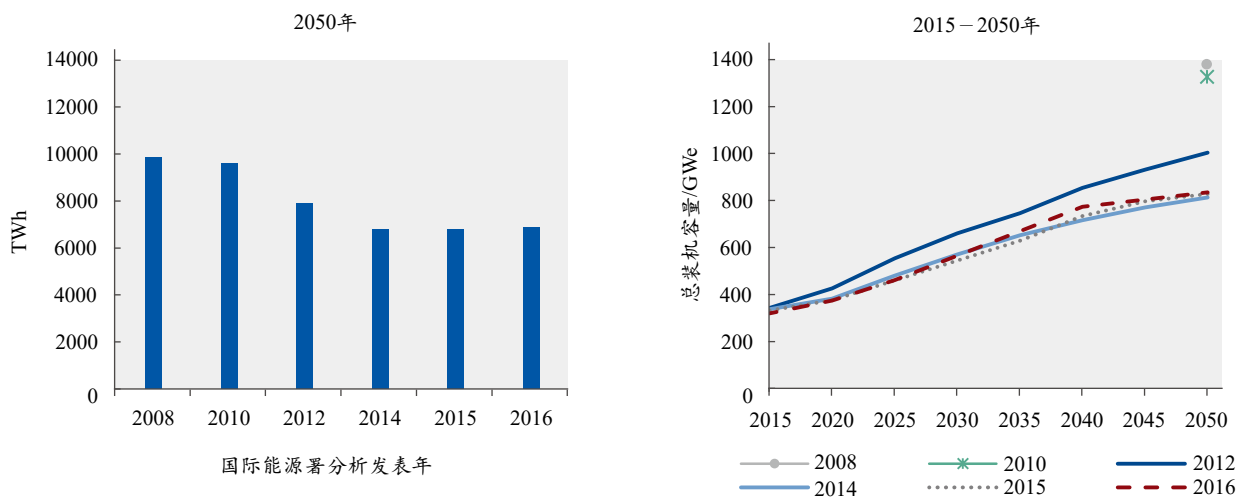


图1 国际能源署2°C方案（2DS）核能预测

来源：国际能源署数据



多数已经有核电或者计划把核电加入到其能源体系的国家却对开发该技术一直抱有兴趣。有案例显示，有些项目的实施明显延迟了，这是由于安全审查以及必须采取相关措施而造成的。安全检查、政策法规的完善以及核

电站（NPP）改造对防范罕见但严重的自然灾害是十分必要的，但这却增加了这些国家现有核电站和正在开发的核电站的成本。图1显示了全球发生的变化，之后对发生在世界各地的政策效应进行了简单总结。

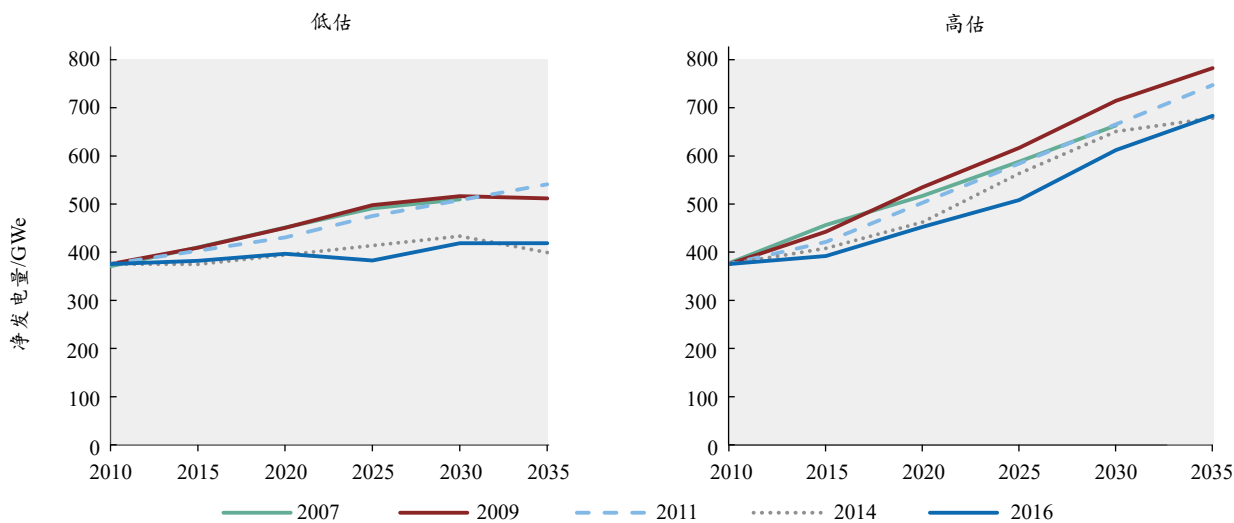


图2 核能署/国际原子能机构低估和高估预测

来源：2007年、2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

表1 核能署/国际原子能机构对2035年核能的预测（单位：GWe）

	2007*	2009	2011	2014	2016
高估	663.1	782.0	746.4	678.5	682.7
低估	509.1	511.0	540.3	399.1	418.1
差数	154.0	270.9	206.1	279.3	264.6

注：\* 2007年的预测是对2030年，这是那年报告中所预测的最晚一年。

来源：2007年、2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》。

## 2.1 东亚和东南亚

东亚和东南亚对福岛第一核电站事故的应对政策起初不像西欧的那样清楚，至今仍有一些国家和地区的决策不甚明了，但是尽管如此，最终的决策却有可能成为更有效的核能政策。之所以有这种预期是因为这个地区的国家在地理位置上最接近福岛第一核电站事故发生地。自事故发生以来，这个地区的公众对核电的不信任感明显增加。

在中国和韩国，长期计划似乎只受到有限的影响，政府对核电部署计划仍然雄心勃勃。在中国台北，公众对核

电的强烈反对已经导致当局对核电有计划的逐步淘汰，其中包括两个几乎可以运行的新机组，这种情况将一直持续到全民公决，当然这还没发生。如果全民公决结果不利于核电，那么到2025年仅有的11.5 GWe的核发电容量将会退出服务(假设较旧的正在运行的机组具有最长40年的使用期限)。

在日本，事故的发生对政策造成的直接后果是，新制定的核能发电目标与2010年制定的目标相比大幅度降低。2010年日本曾宣布增加核能发电量，使之达到全国发电量



的30%~50%。而在2015年公布的国家自主减排贡献方案（INDC）里，日本政府宣布使核能发电达到全国装机总量20%~22%的目标（核装机容量约35~40 GWe）。这显然低于2010年的在运水平，但比谣传的要好一些。

在对2009年至2016年核能装机容量规划的修正中，政策的修正是显而易见的。尽管已经过去6年，核能在整体电能中最终能占多大比例仍然存在很大的不确定性。截至2016年12月，日本仅重新启动了5个机组。

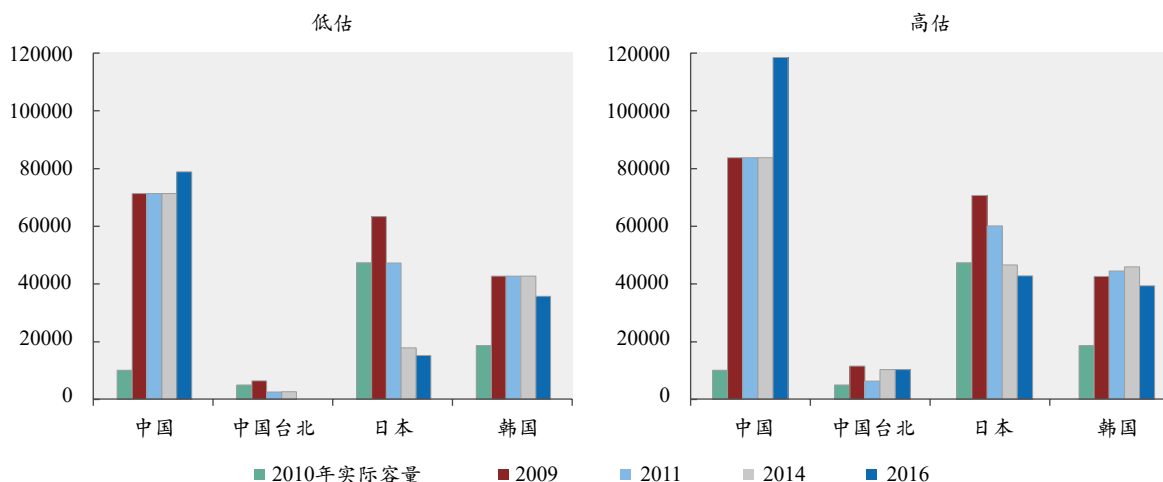


图3 核能署/国际原子能机构对2030年装机容量预测的演变——东亚

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

在东南亚，截至2016年年中，没有正在运行的核电机组，但有几个国家正在考虑把核能发电纳入他们的能源组合。这表明从长远来看，随着该地区经济强劲增长和能源需求上升，核电装机容量也会增长。对气候变化、空气污染、能源供应安全和能源结构多样化以及化石燃料价格波动等因素的考量，是核能开发政策取向的主要推动力。然而，由于公共安全和费用问题，在福岛第一核电站事故后的几年里，政治支持普遍较弱。即便如此，一些国家仍继续对核电的部署进行评估和计划。

## 2.2 中东、中亚和南亚

这些地区的核能开发政策和核能计划似乎没有受到福岛第一核电站事故的任何负面影响。事实上，有几个国家的核能计划已经扩增，并且这些国家较低容量的核电部署或搁置几乎与福岛第一核电站事故的发生一点关系都没有。

预计未来几年印度将实现核能发电容量的最大增长。尽管据报道在福岛第一核电站事故以后，公众对核电的不信任有所增加，并且这种不信任是导致库坦库拉姆（Kudankulam）反应堆推迟运营的原因，但实际上，推迟运营在很大程度上更可能与其他问题有关，特别是对核责任的顾虑。据报道这阻碍了对建造进口轻水反应

堆技术的预期投资<sup>[1]</sup>。

对伊朗的预测在过去5年没有改变，而对哈萨克斯坦和巴基斯坦的预测，由于这些国家在早期的决策和选址过程中出现延误而略有下降。该地区的其他国家自2009年以来都增加了部署计划。科威特虽然取消了近期建造4座反应堆的计划，但似乎仍然有兴趣在将来部署。阿拉伯联合酋长国正在建造4座APR1400反应堆（总共5.6 GWe），按照计划第一座应在2017年开始运行。

## 2.3 欧洲

因福岛第一核电站事故影响，最早就其核电项目做出明确决定的国家几乎全部在西欧。比利时政府取消了对3座最老反应堆的运行寿命延长10年的计划。德国政府决定立即并永久关闭8座老旧反应堆（总共8.4 GWe）并对其余反应堆的使用寿命设限，这样到2022年底所有9座可运行的反应堆将被关闭。在意大利，一场全民公决压倒性地支持取消核项目，这样，回归利用核能发电的潜在希望被打破了。在瑞士，内阁取消了建造新反应堆的计划，并下令逐步淘汰现有的核能发电。然而，这样的计划还没有得到批准，目前还不清楚延长机组运行寿命是否仍然是一个选项。

除了意大利潜在的核能回归，以前的预测在大多数情



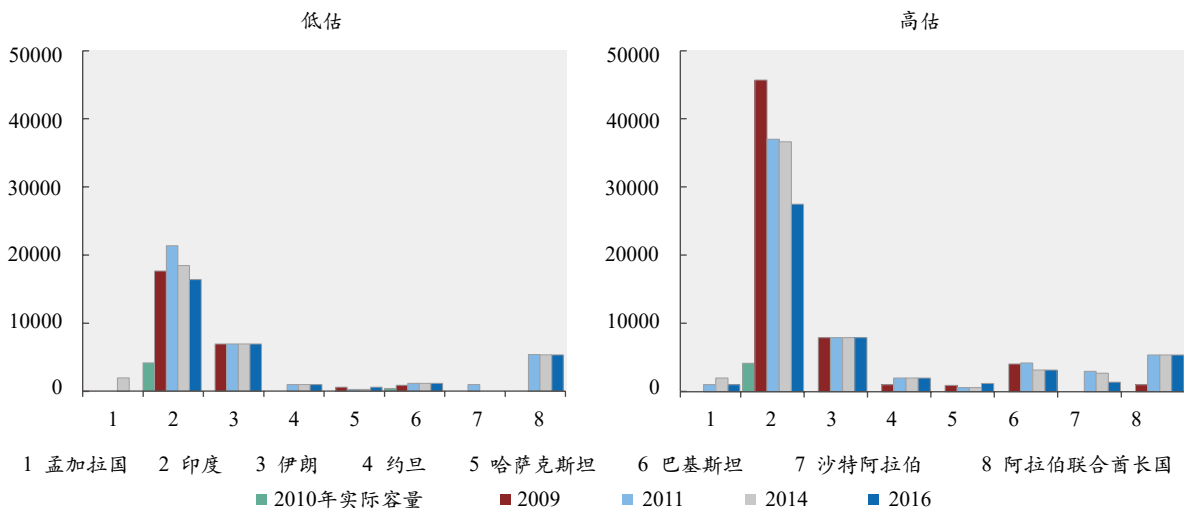


图4 核能署/国际原子能机构对2030年装机容量预测的演变——中东、中亚和南亚

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

况下仅勾画出这些国家至2035年可能实现的非常适度的增长。比利时和德国到2030年预计不会有任何增长，这是因为逐渐淘汰的核政策在福岛第一核电站事故发生之前就已经存在了，事故发生后的政策应对实际上加速了退核的时间安排。

在法国和瑞典，政府在福岛第一核电站事故发生几年后所采取的行动，可能对现已安装的核发电容量在2035年以前的状况，比当时立即采取的政策行动有更大的影响。虽然这些决定不一定是福岛第一核电站事故的直接后果，但在法国，政策辩论以及把核能限制在现有水平的新法律的出现时机，可能受到了人们不断增长

核安全顾虑的影响，因为在法国75%的电力是由核能提供的。瑞典的核电政策在过去30年一直在退核和允许在现有地点建造替代反应堆之间摇摆不定。不过最近议会达成了一致，也许能避免在2035年之前彻底淘汰它的核电总装机容量（9.7 GWe）。

其他（东部）欧洲国家好像采取了完全不同的策略。总的来说，他们一直对现有的核电支持的态度，并计划继续开发新的发电容量。在俄罗斯，由于需求的减少以及庞大的建设费用带来的财政压力，新的发电容量预测已从2009年开始下降。至于该地区其他国家，有的维持，有的增加了部署计划。

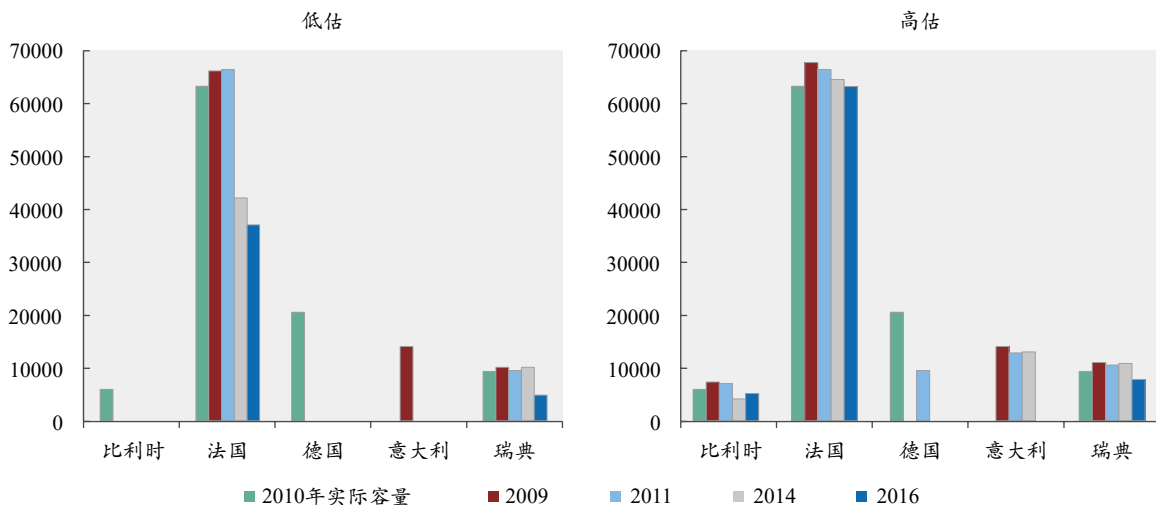


图5 核能署/国际原子能机构对2030年核容量预测的演变——欧洲（欧盟）

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

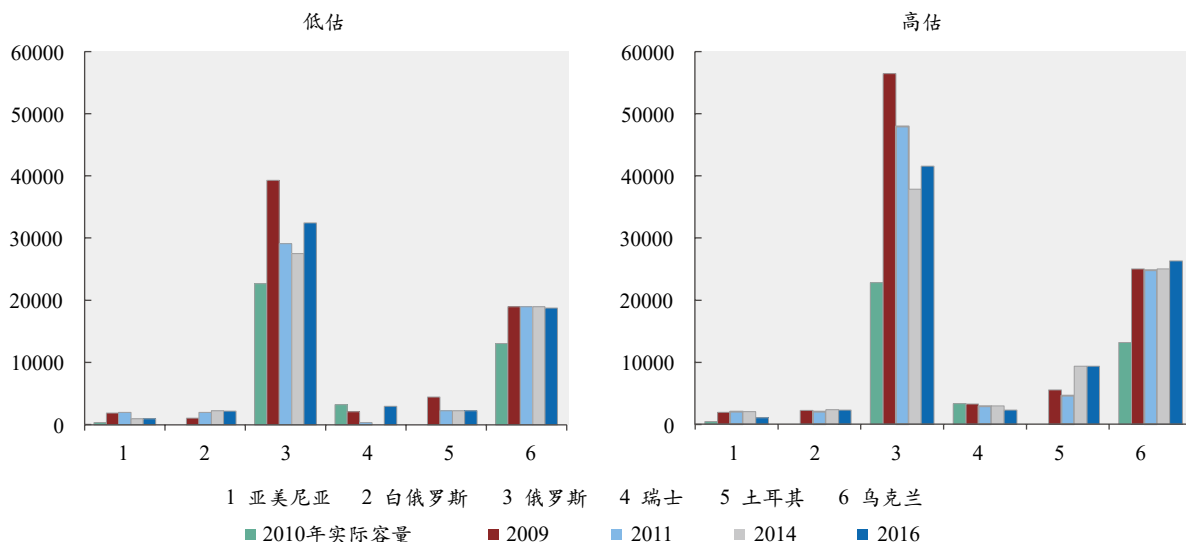


图6 核能署/国际原子能机构对2030年核能容量预测的演变——欧洲（非欧盟）

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

总之，除了意大利在加快落实已有的核淘汰计划，欧洲的政策修正并未对未来核能发电容量的整体前景带来太大改变。

## 2.4 美洲

北美洲、中美洲和南美洲的核电政策并未因福岛第一

核电站事故而发生任何改变，甚至连预测变化也没有。在北美洲，预测的减少是由财政和经济问题引起的，如市场定价，尤其是天然气。在南美洲，对核能的布局仍会继续，并且比2009年以来的预测有所增加。那些尚未拥有核电的国家，有些决定推迟决策，或者重新考虑核电计划，有些则继续推进其计划，并签署合作协议。

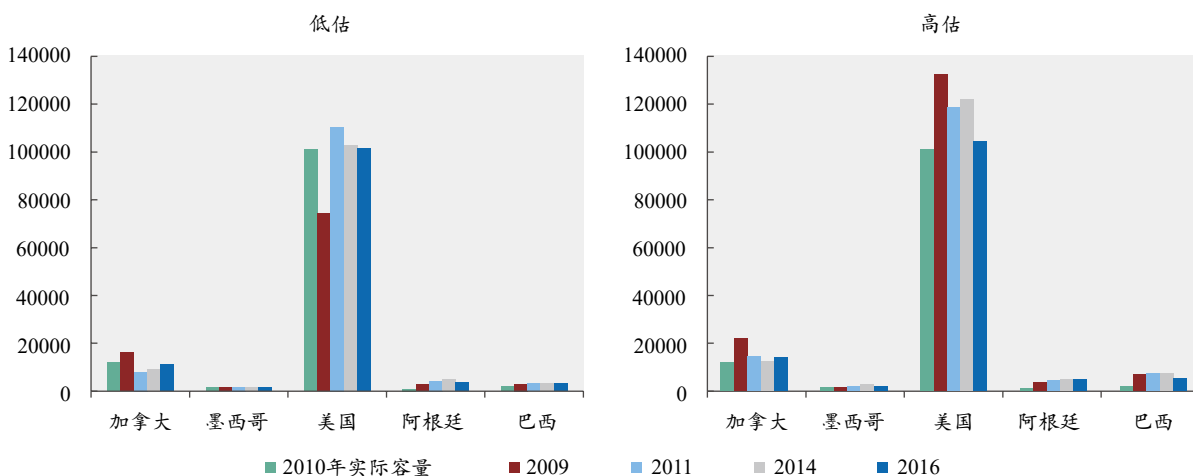


图7 核能署/国际原子能机构对2030年核电容量预测的演变——美洲

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

## 2.5 非洲

福岛第一核电站事故之后，非洲的前景似乎都是积极的。作为目前非洲唯一的核电生产国，南非继续支持

核电并批准了近期增加新容量的计划。其他一些国家，包括埃及、加纳、肯尼亚和尼日利亚，已经就部署核能发电而采取行动。

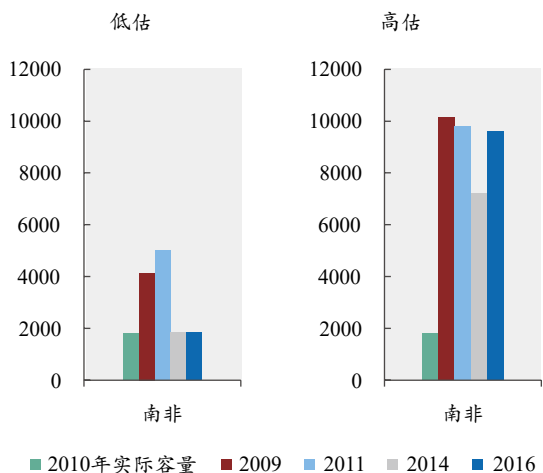


图8 核能署/国际原子能机构对2030年核电容量预测的演变——非洲

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

### 2.6 结论

总的来说，除了日本、中国台北和西欧的一些国家/地区，在其他地区似乎看不到可直接归因于福岛第一核电站事故的根本性变化，特别是可量化的变化。一般来说，以前对核电有部署的国家仍然在执行相关安排，而那些计划逐步淘汰核能的国家却加速了相关进程。有几个国家曾经积极考虑采用核电，后来却推迟了这些决定。总体上，由福岛第一核电站事故引发的重新评估已基本平息。经济和市场因素、环境或气候变化目标以及自然资源制约应是2011年3月以来的6年里比福岛事故大得多的影响部署决策和预测的驱动因素。

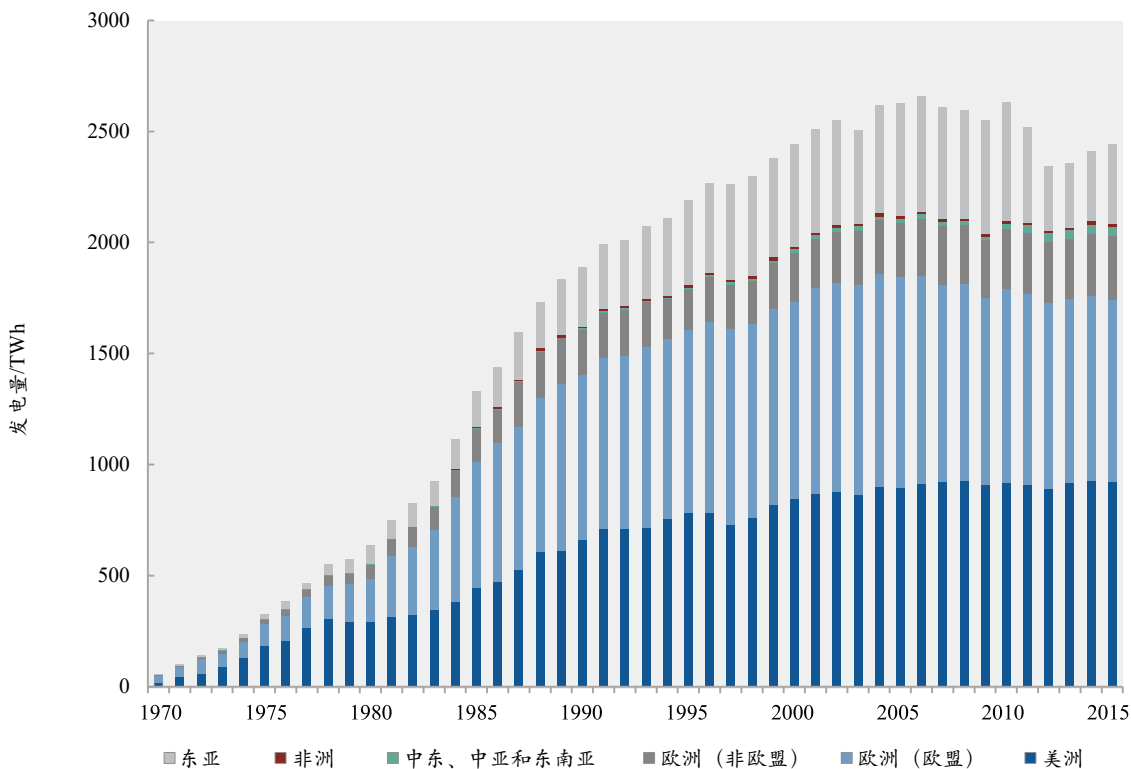


图9 全球核电产量

来源：国际原子能机构动力反应堆信息系统 (PRIS)



## 参考文献

[1] Chellaney, B. (2015), The U.S.-India Breakthrough that

Wasn't (web page), Japan Times, [www.japantimes.co.jp/opinion/2015/02/11/commentary/world-commentary/u-s-indianuclear-breakthrough-wasnt/#.vnulys5cclu](http://www.japantimes.co.jp/opinion/2015/02/11/commentary/world-commentary/u-s-indianuclear-breakthrough-wasnt/#.vnulys5cclu).

## Impacts of the Fukushima Daiichi Accident on Nuclear Development Policies

*Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-Operation and Development*

46, quai Alphonse Le Gallo, 92100 Boulogne-Billancourt, France

E-mail: [nea@oecd-nea.org](mailto:nea@oecd-nea.org)

**[Abstract]** The Fukushima Daiichi nuclear power plant accident has had an impact on the development of nuclear power around the world. While the accident was followed by thorough technical assessments of the safety of all operating nuclear power plants, and a general increase in safety requirements has been observed worldwide, national policy responses have been more varied. These responses have ranged from countries phasing out or accelerating decisions to phase out nuclear energy to countries reducing their reliance on nuclear power or on the contrary continuing to pursue or expand their nuclear power programmes. This study examines changes to policies, and plans and attempts to distinguish the impact of the Fukushima Daiichi accident from other factors that have affected policymaking in relation to nuclear energy, in particular electricity market economics, financing challenges and competition from other sources (gas, coal and renewables). It also examines changes over time to long-term, quantitative country projections, which reveal interesting trends on the possible role of nuclear energy in future energy systems.

**[Keywords]** nuclear power development, regional policy, projections, Fukushima Daiichi accident

翻译：王吉波 谢玉嵩 审校：马建华  
(未完，待续)

## 科学新闻

### 中国科学家在人类克隆胚胎中修复遗传性疾病

2017年10月2日的《自然》新闻以“Chinese scientists fix genetic disorder in cloned human embryos”为标题报道了一支中国研究团队采取一种新的方法来修正人类胚胎中的致病基因。这项发表于9月23日 *Protein & Cell* 杂志上的研究是人类胚胎基因编辑系列实验中的最新成果。在这项最新研究中，中山大学黄军就的团队利用了基于CRISPR-Cas9技术改进的碱基编辑技术。该技术将酶引导到特定的基因序列，但并不剪切DNA。相反，Cas9酶是失效的，并被绑定于另一种酶上，该种酶可以将单个的DNA碱基对替换掉。到目前为止，这项技术可以将鸟嘌呤(G)转换成腺嘌呤(A)，将胞嘧啶(C)转换成胸腺嘧啶(T)。许多遗传病都是由单个碱基的变化，亦称点突变导致的，而在胚胎期进行此种

编辑可能避免这种状况。

黄军就的团队选择了中国人口中的一种常见突变：HBB基因上某个点的A变成G，该突变会导致β地中海贫血——一种与严重或致命性贫血有关的隐性血液疾病。研究人员一般从体外受精诊所获取源胚胎，但这些机构很少有该基因两个拷贝都发生相同稀有突变的胚胎。黄军就的团队找到了一位血液病患者，提取了皮肤细胞，利用克隆技术培育了有相同基因构造的胚胎。研究人员报告称，一共有20个克隆胚胎，他们在其中8个中成功将该基因的一个或两个拷贝由G变回A。对于临床应用来说，该技术的成功率还太低，但其效率高于其他基因编辑研究。黄军就说：“我们的研究为治疗β地中海贫血和其他遗传病打开了一条新的道路。”





# 福岛第一核电站事故 对核能开发政策的影响(II)<sup>☆</sup>

经济合作与发展组织核能署

46, quai Alphonse Le Gallo, 92100 Boulogne-Billancourt, France

E-mail: [nea@oecd-nea.org](mailto:nea@oecd-nea.org)

**【摘要】** 福岛第一核电站事故对全球核能开发产生了影响。虽然事故发生后，各国对其所有在运核电站的安全性进行了全面的技术评估，并且全球范围内核电站的安全要求普遍得到强化，但各国的政策应对却不尽相同。这些应对包括逐步淘汰核能或加快淘汰步伐，减少对核能的依赖，或者相反，继续追求或扩大核能项目。该研究考察了核能政策以及事故前后计划的变化，并企图把福岛第一核电站事故与影响核能决策的其他因素对核能政策的冲击区分开来，特别是电力市场经济学、融资挑战和来自其他能源（天然气、煤炭和可再生能源）的竞争。还研究了各国定量的长期预测随时间的变化，这些变化揭示了核能在未来能源体系中所扮演角色的变化趋势。

**【关键词】** 核能开发 区域政策 预测 福岛第一核电站事故

DOI: [10.15978/j.cnki.1673-5668.201801001](https://doi.org/10.15978/j.cnki.1673-5668.201801001)

## 3 引言

发生在2011年3月11日的日本东部大地震（里氏9级，是日本有纪录可查的最大地震；力量足以把日本最大岛屿本州岛向东移动2.4米）和海啸巨浪，造成日本中北部

地区大面积的破坏和重大生命损失。这场自然灾害同时也引发了福岛第一核电站的严重意外事故，当时在这个有6座反应堆的设施里有3座正在运行，事故导致了正在运行的反应堆发生了燃料融化，从而造成了重大的厂外辐射。虽然这3座正在运行的反应堆在地震之后按照

<sup>☆</sup>原文由经济合作与发展组织(OECD)以英文出版，NEA (2017), *Impacts of the Fukushima Daiichi Accident on Nuclear Development Policies*, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264276192-en>. OECD拥有该英文版的所有版权。© 2017 OECD。中国科学院文献情报中心经OECD授权出版该报告的中文版。中文版非OECD官方翻译版本。中国科学院文献情报中心对中文翻译的质量及其与原文的一致性负责。如果出现译文与原文不一致的地方以原文内容为准。© 2018中国科学院文献情报中心《科学观察》编辑部。  
报告分为两部分，本期刊登下半部分。



设计初衷立即安全关闭了，但是担负向核电站提供紧急电力的备用发电机却在一个小时内停机了，这是由于地震后随之而来的海啸巨浪完全冲垮了该设施的防御。随着所有电源的切断和冷却能力的丧失，水位开始下降，并暴露出反应堆堆芯，燃料棒镀层与蒸汽发生放热反应产生大量的氢气，并最终导致燃料熔化并滴到容器的底部。后来，聚集在反应堆容器外安全壳建筑物中的氢气，在这3座反应堆的建筑物顶部造成剧烈的爆炸。

据日本警察厅统计，共有1.8万多人由于地震和海啸丧生。虽然关于长期暴露于低强度辐射对健康的影响仍然有一些科学辩论，但是，核事故导致的辐射外泄并没有当场造成人身伤亡，预计也不会造成后续的伤亡。因事故影响而撤离的15万多居民的生活被打乱，他们还要因此承受额外的压力<sup>[2,3]</sup>。

发生于1986年的切尔诺贝利事故与此不同，因为对居民进行了预先通知、疏散及住处提供，所以避免了公众受到大量辐射<sup>[4]</sup>。联合国原子辐射效应科学委员会关于福岛事故造成的辐射后果的报告<sup>[5]</sup>的结论是，福岛第一核电站的放射性释放量为切尔诺贝利事故释放量的10%至20%，但没有被确认的由于暴露于辐射而发生的死亡案例。由于地震和海啸的原因，在人员的撤离期间以及核电厂内发生了一些伤亡事故，而且，福岛县相当大的地区受到事故产生的放射性尘埃的污染。虽然政府指定的撤离区内的几个地区已重新开放，允许撤离人员返回，但还有很多地区尚未重新开放。这种长期迁移给撤离者造成了相当大的社会和心理压力。

即使没有因放射性导致伤亡的直接后果，这起事件仍引起了全世界对核电安全的关注。因为整起事件，包括氢气爆炸，在发生的几天内，通过电视在世界范围内被实时报道，必然会影响公众对核电安全的理解。

福岛第一核电站事故对日本乃至全球核工业是一个重创。那些拥有在运核电站的国家立即启动了对现有反应堆的安全性检查（欧盟称为“压力测试”）。在事故发生后的几个月内，有两个国家（比利时和德国）强化了其预先就有的逐步核淘汰计划，一个国家（瑞士）从计划建造新的反应堆转向只取代达到额定运行寿命的现

有反应堆，另一个国家（意大利）在2011年6月以多数票反对继续实施重建核项目的计划。其他国家对于福岛核电站事故表现出了各种各样的政策反应，有的国家（如墨西哥）在对其核能发电系统进行检查后，得出结论认为反应堆可以继续安全运行，从而继续实施其现有核电开发计划。有的国家（如美国）要求对安全系统和相关设施进行升级，以改善涉及丧失电力和制冷能力等类似情况的应对能力。有的国家放弃了（例如科威特）或推迟了（如泰国）其现有开发核电站的计划。

本报告拟在两个主要领域概述事故的影响。

- ◆ 对于那些拥有处于运行状态的核电站的政府，或者那些正考虑把核电站纳入其能源结构的政府，重点关注其对福岛第一核电站事故做出的政策修正或其他变化；

- ◆ 对全球核电发展速度的影响：将与必要的人类能量需求增长率相比，决定核电的开发速度，以避免人类产生的温室气体排放造成最具破坏性的全球气候变化。

## 4 区域政策应对

一些国家针对福岛第一核电站事故立刻采取了政策应对，不是撤出就是重申支持，另一些国家则在做出决定上花费了更多时间，例如参与正式的公众对话和辩论。以下分地区介绍最重要的政策应对。

除了政策声明外，也包括对每个国家直到2035年的多个预测，这些预测发表在《铀：资源、生产和需求》（由核能署/国际原子能机构联合出版的“红皮书”）里，以视觉的形式展现了从2009年到2015年的形势变化。在某些情况下，这些预测代表了政府的官方政策，而其他预测仅代表当时核能署/国际原子能机构的估计。不管怎样，这些预测是对那一时期发生的变化的一种定量方法。一些预测的下降似乎可直接归因于对福岛第一核电站事故的反应，而另一些则不能。在其他情况下，这些预测根本没有改变，甚至有所增长。

### 4.1 东亚

#### 4.1.1 中国

中国有31座处于运行状态的反应堆（26.7 GWe），



在2015年提供了全国电力的约3%，截至2015年12月31日，还有24座反应堆正在建设中（总共达24.1 GWe）。政府计划大量增加核能发电容量以满足日益增长的能源需求，并限制温室气体和其他空气污染物（如氮氧化物和硫氧化物）的排放。空气质量差是中国重大的公共健康问题，主要是由于燃煤电厂的排放。

在福岛第一核电站事故发生后，中国政府立即冻结了核电项目，并对所有正在运行的核电站以及正在施工的核电站进行安全检查。之前批准的多达25座计划中的反应堆被暂停，并且停止批准建造新的反应堆。到2011年6月，完成了安全检查，没有发现严重问题，也没有任何反应堆停产。政府重申了对安全的承诺，表示将纳入所有国际原子能机构的安全标准，并正式要求公众对安全计划草案提供意见。到2011年后期，尚不清楚这些潜在的新监管要求对该国的核电发展计划将产生什么影响，尤其是对第二代CPR-1000设计项目的影响，政府刚完成对第二代CPR-1000设计中获准项目的评估。

2012年后期，最终确定了安全计划，加强了安全要求，并就此恢复了对计划中的反应堆的审批，尽管审批速度慢于福岛第一核电站事故发生之前。如2012年10月发布的《核电中长期发展规划（2011-2020年）》所述，中国的核电发展目标是到2020年实现运装机58

GWe（净），和在建装机30 GWe，这显然低于福岛事故前的到2020年达到在运装机80 GWe的目标<sup>[6]</sup>。只有符合新安全标准（基本上是第3代设计）的反应堆设计才能获得批准，并且，2015年之前，将不会批准那些受水资源短缺影响的、处于地震活动地区的内陆建造点。为了达到新的安全要求，每座反应堆的建设成本可能会增加10%~20%。2014年更新的计划要求在大部分新项目中部署华龙1号反应堆设计，并最终部署在内陆建造点。

华龙1号是中国核工业集团公司（CNNC）和中国广核集团有限公司（CGN）反应堆设计的组合，这些反应堆设计基本上是在1990年代进口的法国设计的基础上进行现代化升级的产物。它是一个三回路压水反应堆，其特点包括能动和非能动相结合的安全系统、单堆布置、采用177个核燃料组件、双层安全壳结构以及全面的纵深防御设计。它还包含了ACPR-1000的一些方面，这是在西屋AP-1000反应堆的基础上开发的设计，例如双层安全壳。除了用于当地建设，中国还计划将华龙1号设计作为HPR-1000进行销售和出口。

2015年初，开始批准新的核电站建设项目，虽然审批速度比福岛第一核电站事故发生前预期的要慢。在审核安全和发展计划期间，虽然那些在福岛第一核电站事故之前就已开工的建设项目仍继续进行，但由于所必需

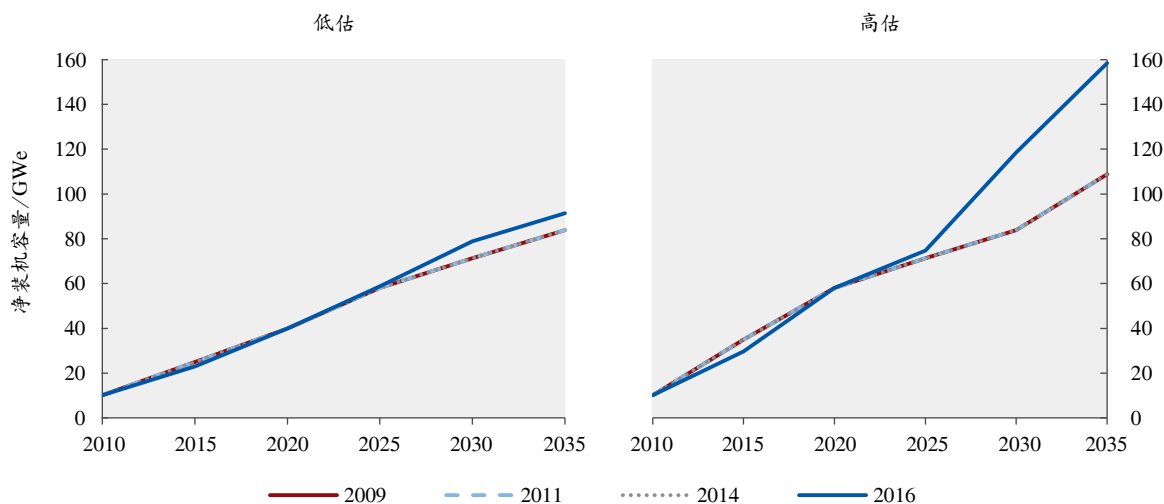


图10 中国的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》





的安全检查出现了一些延误。据报道，由于设备采购不及时<sup>[7]</sup>以及严格的安全检查<sup>[8]</sup>，对进口AP-1000反应堆的建设工作也被耽误了。由于这些因素以及其他因素，2020年将无法达到58 GWe的目标，根据目前的建设只能达到53 GWe。然而，这一进展仍然令人难以置信，因为容量从2012年的12.8 GWe翻了一番多，达到2015年的26.7 GWe。

福岛第一核电站事故以来，中国公众对核电安全更加关注。2013年年中的抗议活动导致在广东省南部建设和经营铀加工和核燃料产业园项目取消。另据报道，由于安全关切（冷却水的供应）以及对水资源潜在的影响，公众对在内地地区建造核电站的抵制可能会使这些地区的核电建设充满挑战性。

2009年至2014年期间，核能署/国际原子能机构对至2035年的预测没有变化，仅在2016年的红皮书里提高了预测估值。

#### 4.1.2 中国台湾

中国台湾有6座在运反应堆（共计5.05 GWe），2015年其发电量占台湾省总电力的16%。6座反应堆均由台湾电力股份有限公司或台电经营。龙门核电站在建的两座先进沸水反应堆（ABWRs）总装机容量为2.6 GWe，原定于2004年竣工，但由于有多个承包商参与，加之政治干预等因素，项目被大大延误。2014年1月，据消息称第一座先进沸水反应堆将于2015年投入运行，第二座预计2017年前投入运行<sup>[9]</sup>。然而，2014年4月，迫于至少部分源于福岛第一核电站事故的政治和公众的强烈反对，当局决定在建设和安全检查完成后，龙门第一座反应堆将被封存，第二座将暂停一切建设活动<sup>[10]</sup>。

中国台湾能源需求的97%以上（主要是煤、石油和液化天然气）来自进口，本地生产能源的绝大部分是核电和水电（包括抽水蓄能），其他是少量的生物燃料和废物能、太阳能和风能。2009年的可再生能源开发条例设立了到2030年达到9.95 GWe装机容量的目标，截至2013年底，已装机3.76 GWe的可再生能源。2009年，台电也曾考虑兴建另外6座反应堆，第一批将于2020年投入运行。

2011年11月，在福岛第一核电站事故发生后，台湾当局发布了一项新能源计划，要求全台湾地区“减少核依赖”，并决定一旦所有6座在运反应堆在2018年至2025年之间达到40年的运行寿命，就停止其运行。甚至在福岛第一核电站事故发生之前，龙门核电站的建设就受到口头反对，事故发生后就更加激起了人们对核电的反对。虽然核监管机构（原子能委员会）在对6座在运反应堆进行全面安全审查后并没有发现任何安全问题，但是紧随其后的这项决定似乎未能安抚那些反对者。2013年，欧盟委员会和欧洲核安全监管组织（ENSREG）进行的同行评议确认了这些反应堆的安全性，并建议对所有自然灾害进行重新评估，特别是地震和海啸，因为中国台北处于地震活跃地区<sup>[11]</sup>。另外在2013年，内阁将原子能委员会的任务改为安全检查，并把该委员会直接纳入内阁的领导下。

中国台湾地区关于核能未来的辩论一直持续不断，几次大规模的反核电示威游行更导致辩论升温。2013年3月，当局提出了关于龙门核电站命运的全民公决，作为解决长期争议的一种方式<sup>[12]</sup>。全民公决的问题是，是否应暂停龙门核电站的建设。但是，全民公决的有效性受到质疑，因为相关法律要求合格选民的参与率为50%，而所有过去6次关于其他主题的全民公决都未能达到这一参与率<sup>[13]</sup>。龙门1号反应堆于2014年7月完成了施工，随后通过了对126个系统的严密审查，然后被封存，而龙门2号反应堆的施工也被暂停了，以等待全民公决的结果。1号反应堆于2015年7月1日开始进入为期3年的封存状态，“直到反应堆的未来可以在台湾地区全民公决中决定”<sup>[14]</sup>。在撰写本文时，针对50%参与率要求的合法性以及全民公决问题的措词的辩论仍在继续，全民公决并未举行，但是，2016年1月当选的民进党倾向于核逐步淘汰计划，包括放弃龙门反应堆。

在福岛第一核电站事故发生后红皮书里关于中国台湾的预测就开始下降。对2035年的高估预测已经恢复到福岛事故前的水平，相当于2025年后推迟两三年。低估预测已大幅度下降，代表了当前当局的政策，显示在建和计划退出的反应堆会进一步延迟。

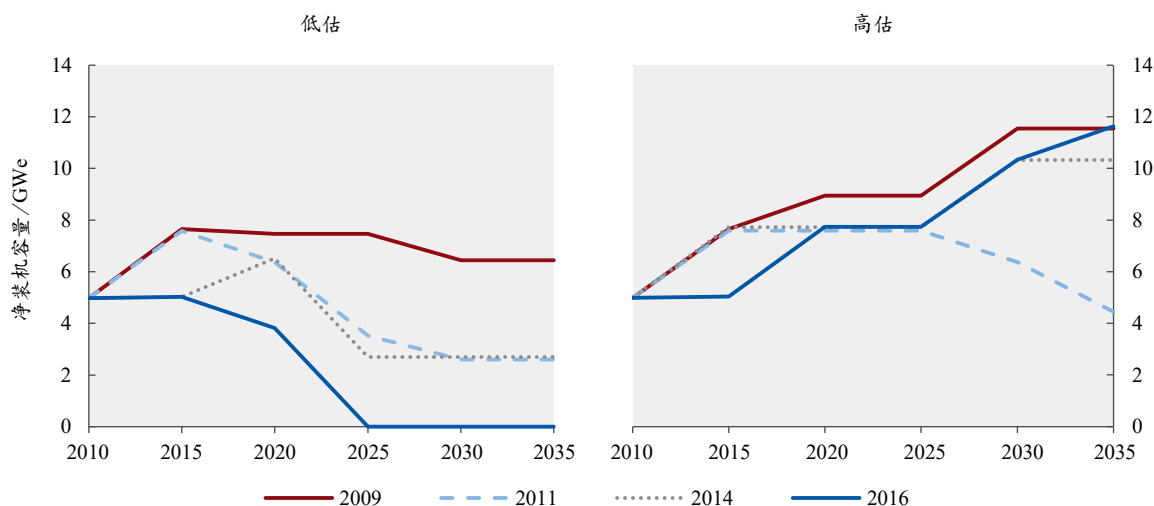


图11 中国台湾地区的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

### 4.1.3 日本

2010年，54个在运核电站（净容量47.4 GWe）的发电量接近于全国发电总量的30%，3座正在建设的反应堆（净容量2.9 GWe）及其他12座反应堆（净容量15.9 GWe）被认为将毫无疑问地投入建设。在福岛第一核电站事故发生之前，2010年发布的第三次能源基本计划概述了至2030年的路线图，目标之一是零排放能源（主要是核能和可再生能源，包括水电）约占发电量的70%。这其中包括至2020年新建9座反应堆，设备利用率要提高到85%，至2030年再增加14座新反应堆，并进一步提高设备利用率至90%，这样，将核能发电的份额提高到约占日本2030年电力供应总量的50%。

随着福岛第一核电站事故的发生及对其原因的调查，日本所有的在运反应堆在定期维护期间逐步关闭，只有两座反应堆例外，即大井核电站3号和4号反应堆被允许继续运行（虽然断断续续的），直到2013年9月关闭。在事故发生当时及之后短时间内，执政政府的初步反应不排除完全退出核电。然而，随着2013年12月的大选和新政府的组建，新的“能源基本计划”已于2014年4月公布。该计划的目标是通过继续以核电作为重要的基载能源，以实现能源安全、经济效益和环境目标，前

提是安全要有保障<sup>[15]</sup>。2015年6月，咨询委员会支持政府关于到2030年核能发电量达到全国总发电量20%~22%的计划<sup>[16]</sup>，政府后来就通过了一项22%的核能份额政策<sup>[17]</sup>。据估计，约35座反应堆需要处于运行状态才能实现这一目标<sup>[18]</sup>。

2012年新成立的独立核监管委员会（NRA）制定了新的严格的法规，并于2013年颁布。政府表示，它将尊重核监管委员会的裁决（采用它的新的合格评定程序），对获批的反应堆重新启动项目开绿灯，同时努力降低对核能的依赖，这主要是通过加强节能措施以及安装可再生能源来实现。然而，为满足这些严格的新监管要求，需要对反应堆进行改进，相关成本以及公众的不信任和抵制，使反应堆的重新启动和核工业的复兴注定充满挑战。因此，最终将有多少反应堆能重新投入使用仍然存在不确定性。

截至2015年12月，公用事业部门和运营商已经向核监管委员会提出申请，对26座反应堆进行安全系统审查，以符合严格的新监管要求（表2）。虽然2014年年底前有4座反应堆（仙台1号和2号，高浜3号和4号）被裁定符合新监管要求，却仅有两座（仙台1号和2号）在2015年年底重新投入使用，这是因为在重大安全系统升级





表2 向日本核监管委员会提交的反应堆符合新规则的评定申请

反应堆	执照持有者	类型	申请日期
泊1号和2号	北海道	PWR	2013年7月8日
泊3号	北海道	PWR	2013年7月8日
高滨3号和4号	关西	PWR	2013年7月8日
大井3号和4号	关西	PWR	2013年7月8日
伊方3号	四国	PWR	2013年7月8日
仙台1号和2号	九州	PWR	2013年7月8日
玄海3号和4号	九州	PWR	2013年7月12日
柏崎-刈羽6号和7号	东京	ABWR	2013年9月27日
岛根2号	中国电力公司	BWR	2013年12月25日
女川2号	东北	BWR	2013年12月27日
浜冈4号	中部	BWR	2014年2月14日
东海第二	日本原子能发电公司	BWR	2014年5月20日
东通1号	东北	BWR	2014年6月10日
志贺2号	北陆	ABWR	2014年8月12日
大间1号*	日本电力发展公司	ABWR	2014年12月18日
美滨3号	关西	PWR	2015年3月17日
高滨1号和2号**	关西	PWR	2015年5月15日
浜冈3号	中部	BWR	2015年6月17日
敦贺2号	日本原子能发电公司	PWR	2015年11月5日

注：\*正在建设中；世界上第一座完全使用混合氧化物燃料的反应堆。

\*\*申请重新启动和延长20年寿命。BWR：沸水反应堆；PWR：压水反应堆；ABWR：先进沸水反应堆。

来源：日本核监管委员会向国际能源署提交的关于能源政策深入审核的报告，2014年12月16日，有修改。

后还有耗时的监管程序。每座反应堆在重新启动之前也需获得地方政府的同意。其他两座反应堆（高滨3号和4号）在2016年2月获批准重新启用，但由于地方法院的一条禁令随即又被关闭，该禁令认为有关核电站的紧急疏散规划不周全。第5座反应堆伊方3号于2016年8月12日重新启动。

除了3个处于工作状态的反应堆外其余的都处于关闭状态，这样，日本能源政策的战略目标受到了削弱（见图12）。为了弥补核能发电的损失（事故发生前占发电总量的30%），日本以高额成本进口了大量化石燃料，

这导致了连续的贸易赤字，使日本对进口燃料更加依赖，家庭及工业用电价格分别比福岛第一核电站事故前上涨了20%和30%<sup>[19]</sup>。截至2012年年底，温室气体排放量比2010年上升了9%。虽然如此，反核情绪依然强烈，反应堆重启仍然受到反对。

2015年3月，公用事业部门宣布，5座反应堆（玄海1号，美滨1号和2号，岛根1号和敦贺1号）将永久关闭并退出运营<sup>[20]</sup>。原因很简单，这些反应堆服务年限较长（从39年到46年不等）并且容量相对较小（每个都小于560 MWe），升级到新的监管标准所需费用高，经济上不合



理。除了永久关闭所有6座福岛第一核电站反应堆外，日本剩余的43个可运行反应堆的总容量将减少到40 290 MWe。

但是，日本在核反应堆重启方面却取得了进展。除了迄今为止允许重启的5座反应堆外，日本能源经济研究所 (IEEJ) 估计，到2017年年底可以重启18座反应堆<sup>[21]</sup>。另外，似乎也有机会延长反应堆的运行寿命。2016年6月，核监管委员会批准了高滨1号和2号延长服务20年

的许可，允许这两座反应堆总共运行60年，直到2034年和2035年<sup>[22]</sup>。

核能署/国际原子能机构的预测有明显的反差，在福岛事故前，不论高估还是低估，核容量都有强劲的增加，但在福岛事故后，高估和低估之间却有很大的差距。事实上，对于至2035年的预测，高估只比福岛事故前略有下降，而低估则减少了80%。

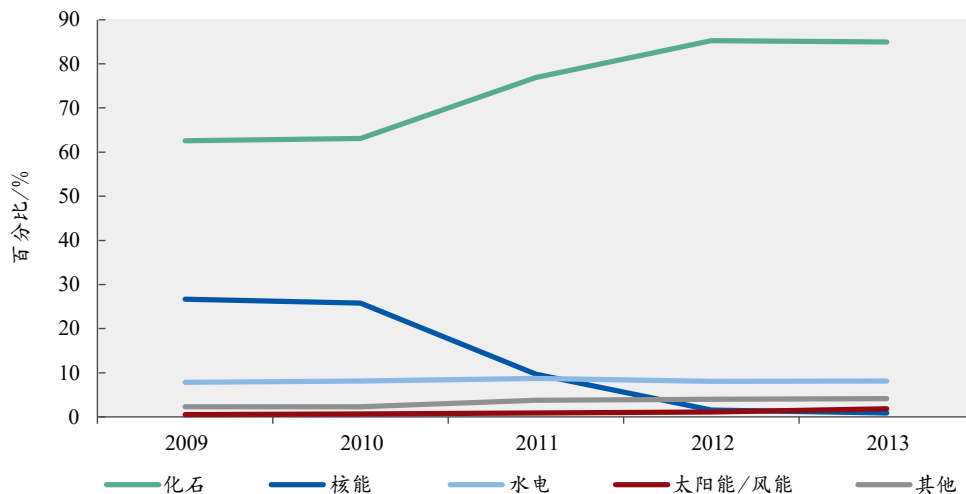


图12 日本电力组合 (2009-2013年)

来源：国际能源署数据

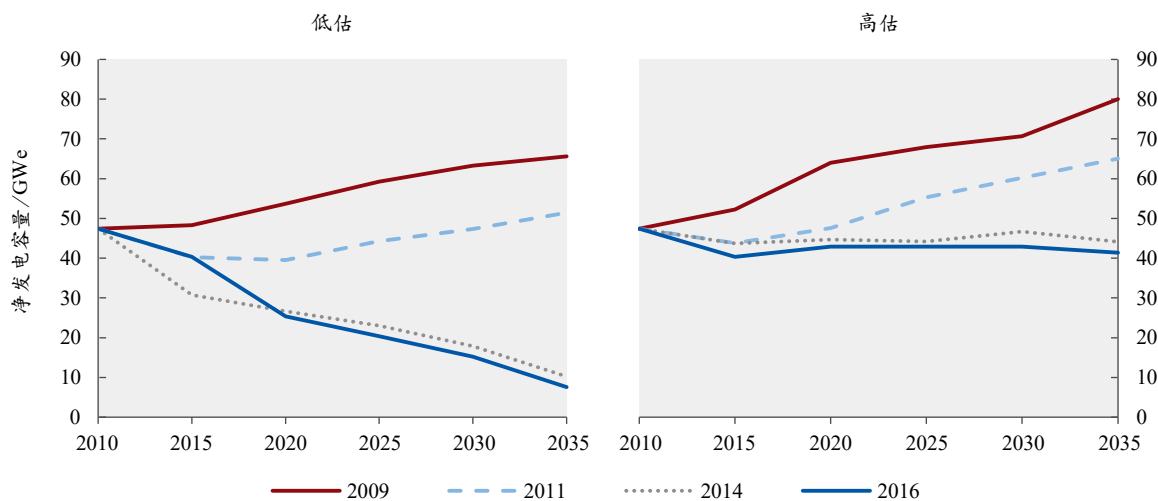


图13 日本的发电容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》



#### 4.1.4 韩国

韩国2015年全年约32%的发电量是由24个在运机组生产的。自2011年以来，共完成了4个发电机组的安装，使净核发电总容量增加到23 GWe。另外3个新机组正在建设中，这包括两个分别于2012年和2013年开始建设的1.34 GWe的机组（新韩蔚1号和2号）。新韩蔚是这个核电站二期后的新名字，以前叫新蔚珍。在当地渔民的压力下，灵光和蔚珍两个核电站也分别更名为韩光和韩蔚，因为渔民们觉得这些核电站的问题导致他们的水产捕获受这些地名的影响而销量减少。

2008年后期，韩国政府宣布了新的“国家能源基本计划”，要求至2030年，将核能发电容量提高到全国发电总量的40%左右，到时将有39个机组在运。根据这一计划，到2022年年底，核能容量将达到32.9 GWe，约占发电总量的33%。

在福岛第一核电站事故发生后，韩国政府下令对所有在运核电站进行安全检查。虽然在检查中没有发现任何问题，但一个为期5年花费大约10亿美元的安全升级计划却在实施，主要为加强对地震和海啸等自然灾害的防御<sup>[23]</sup>。2011年10月，遵循国际原子能组织综合监管审查处的一项使命，韩国核安全与核安保委员会

(NSSC) 成立，该委员会直接受总统办公室领导，其成立是为加强核监管机构的独立性。2012年4月，每个核电站都成立了一个居民检查团（由6至8名检查员组成），进行更为深入的场地检查，并在第一时间加强安全验证。

采取这些行动之后，韩国政府表示国家能源计划不会有变化，借此重申了增加核能发电容量的战略，争取到2030年能够提供40%~50%的全国电力供应，并认为韩国没有可行的其他能源可以替代核电。

然而，由于古里1号机组的停电事故没有按照要求向核安全与核安保委员会报告，加上伪造的安全报告被揭露，几个机组被迫临时关闭，两个机组（新古里3号和4号）的建设亦受到拖延，并且公众对核电的信任也被削弱。机组被意外关闭以进行随后的安全检查，反过来又引起了人们对电力供应不足的担忧<sup>[24]</sup>。

2013年，韩国政府发布了第二个“国家能源基本计划”（2013-2035），阐述了需求管理、分布式发电、能源可持续性发展、能源安全和公众接受等主要目标。经过几个机构的协调，该计划在2014年1月14日召开的由总理主持的内阁会议上通过。该计划基于这样一个展望，即一直到2035年，能源和电力消费总量每年将分别以平均0.9%和2.5%的速度继续增长，并且政府将维持

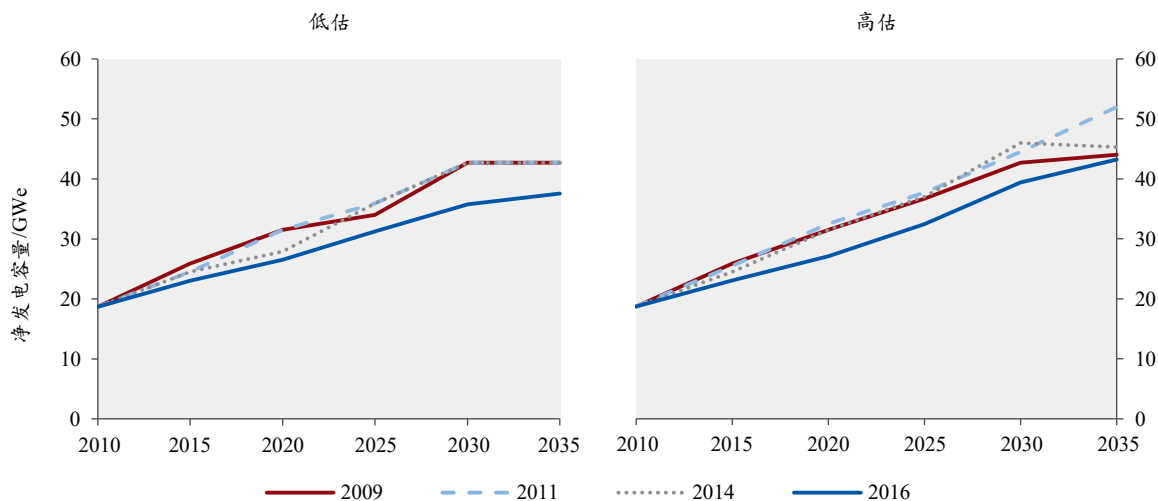


图14 韩国的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》



核电份额占总发电量的29%左右。可再生能源计划达到11%，这一点在第一个“国家能源基本计划”里已被说明，并且由天然气生产的电力份额预计会增加。

核能发电容量份额到2035年达到29%的目标与2008年基本计划里设定的到2030年达到40%的目标相比有所降低。然而，尽管如此，所有正在建设的机组以及所有计划中要建的机组将继续向前推进，预计将在2022年底之前完成。核电站生产的低成本电力一直是韩国经济快速发展的关键因素，并且预计将继续是其能源结构里的重要组成部分。

2015年6月，运营了40年的古里1号机组被宣布将于2017年退出服务。公告发布时，韩国水电与核能公司（KHNP）首席执行官在致员工信中说“有些人可能会对关闭古里1号机组的决定感到遗憾，虽然其安全性是有保障的，但核工业现在正面临着模式的转变”<sup>[25]</sup>。尽管核电在国家发展中很重要，但福岛第一核电站事故引发的公众信心下降，加上受到国内核工业发生的一些事件的进一步影响，确实给韩国未来的技术发展带来了不确定性。2015年6月，韩国政府放弃了建设4座燃煤发电厂的计划，相反将增加两个核电站来满足电力需求，并减少温室气体的排放，当然这个决定会受制于公开听证<sup>[26-28]</sup>。

如图14所示，红皮书的预测在2009至2014年间变动

不大。2016年的红皮书数据即使是低估也仍然有很大的增长，但至2020年增幅放缓。

## 4.2 东南亚

截至2016年，该地区还没有可运行的机组，但有几个国家正在考虑把核能发电加入到它们的能源结构里，这表明长期来看，随着该地区经济强劲增长和能源需求上升，核能发电容量也会有所增长。气候变化、空气污染、能源供应安全和能源结构多样化以及对化石燃料价格不稳定的担忧等因素是核发展政策的主要推动力。然而，在2011年事故发生后的几年里，由于对公共安全和费用的担忧，政治支持普遍较弱（越南除外）。在许多国家，福岛第一核电站事故都使公众对核电的信心有所动摇，相应地，政治支持也有所弱化。即使如此，一些国家仍继续评估和计划部署核电。

### 4.2.1 马来西亚

根据2008年做出的关于制定一项国家核政策的决定，政府于2011年后期成立了马来西亚核电公司，该公司负责通过采取必要行动去计划、领导和协调一项核能发展项目的实施，目标是建立国家第一个核电站。为了填补在电力生产和需求之间的缺口，并实现能源结构多样化，该国制定了达到核能发电容量2

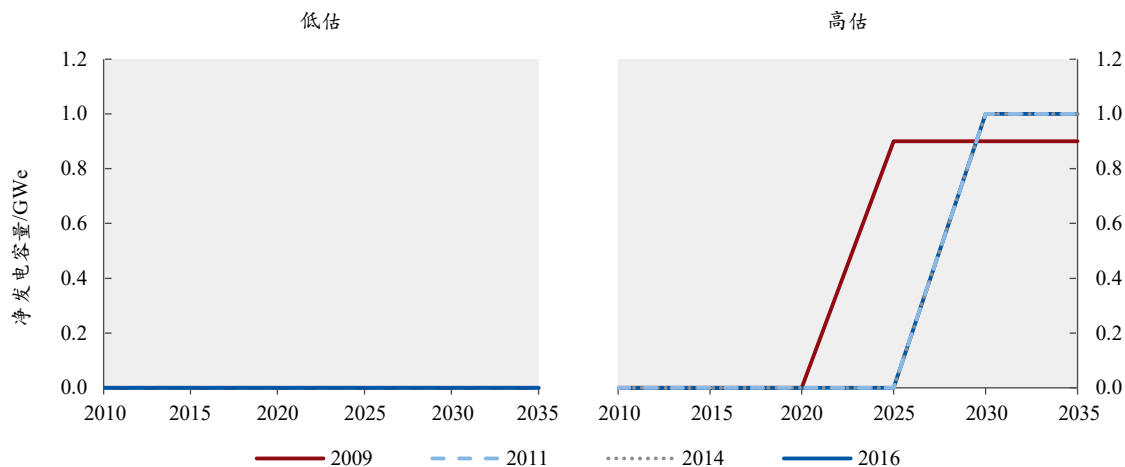


图15 马来西亚的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》



GWe的目标，第一个机组计划在2021年开始运行<sup>[29]</sup>。尽管大量工作仍在继续朝着实现这一目标的方向推进，如促进公众接受、制定必要的规章制度、签署所需的国际条约以及获取低成本的融资，但据报道，由于福岛第一核电站事故后的公众不信任，该项目已被推迟<sup>[30]</sup>。

“红皮书”的预测有效显示了在高估情况下，增加任何核电容量都有4~5年的延期，而在低估情况下则没有增加任何核电容量。

#### 4.2.2 泰国

目前，泰国依赖天然气生产其70%以上的电力。国内化石燃料能源储量正处于下滑状态，电力需求预计至2024年将翻番。自福岛第一核电站事故以来，国家能源政策委员会于2012年第三次修订了其计划，将泰国核能的占有率从原计划的10%缩小到5%，并将安装第一个机组的时间推后到2026年<sup>[31]</sup>，第二个机组则延期3年。据报，这些推迟是为了确保安全、提高公众对核能的了解<sup>[32]</sup>。2010年泰国电力发展规划要求至2030年共安装5 GWe的核能发电容量，但其最近的电力发展规划则预测至2036年拥有两个机组。

在这种情况下，后福岛红皮书的高估预测很可能过于乐观，至少在时间方面，尤其是这些高估并没有反映上述的推迟。

#### 4.2.3 越南

越南虽然从1963年起就断断续续地运行着一座用于研究的反应堆，并且自1970年代或1980年代以来一直在考虑使用核电，但并没有正在运行的核电机组。越南的电力系统已经需要限量供应，预计到2020年电力将进一步短缺。随着年经济增长率超过5%，政府在2010年制定了总体规划，目标是到2050年核电供应达到国内电力生产的25%。该国目前依靠水力发电生产超过三分之一的电力供应，但水电容量几乎没有任何扩大的前景，并且化石燃料已经供不应求。福岛第一核电站事故并没有直接改变越南建立核电站的计划，但是据报道，可能与核电站建设计划的拖延有一定关系。

2010年，工业和贸易部与俄罗斯原子能建设出口公司签署了一项协议，以总承包项目建设方式建设该国首个核电站。根据该协议，两座AES-2006型压水反应堆（VVERs）（每座1.2 GWe）将在福营（宁顺省）建成，协议还包括100亿美元的低息贷款、提供核燃料以及在核电站整个寿命期间回收和重新处理乏燃料<sup>[33]</sup>。该核电站被认为是到2030年将要运行的多达10个核电站（共15 GWe）中的第一个。

2013年8月核科学技术中心宣布建立，俄罗斯提供高达5亿美元的贷款。政府还发起了一场宣传运动，以更好地向公众普及核电知识<sup>[33]</sup>。

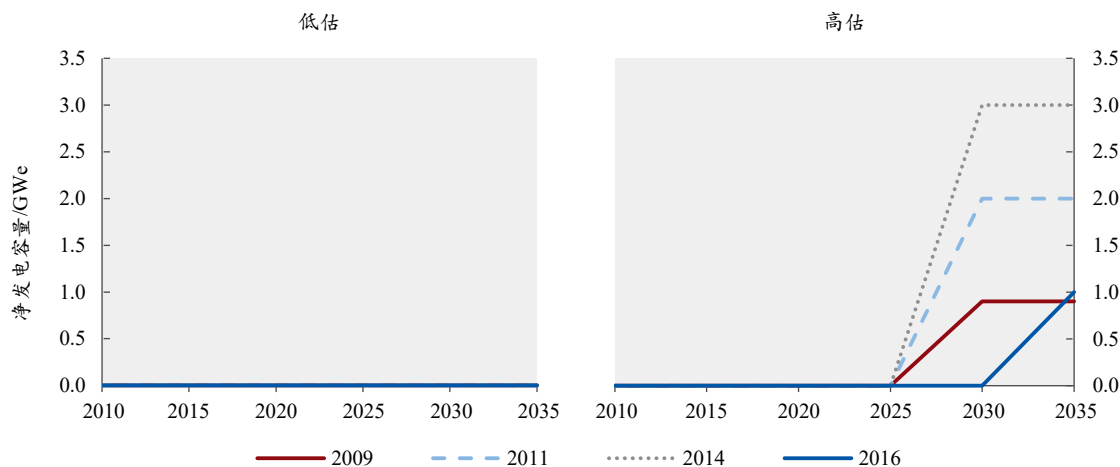


图16 泰国的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》



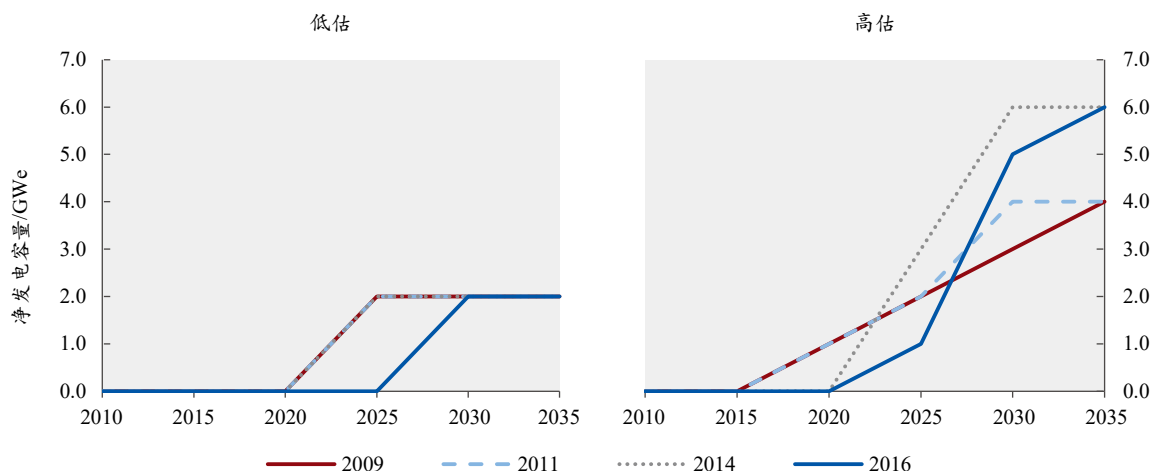


图17 越南的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

第一个机组原定于2014年年底开始建设，2020年投入使用，但是由于有关技术和资金的谈判仍在继续，以及对制定核电法律框架所需的时间估计不足，据报这个时间表至少已被延迟了5年。由于电力需求并没有像2011年预期的那样快速增长，增加发电量就变得不那么紧迫。福岛第一核电站事故发生后，政府已多次表明安全是第一要务，更多的时间需要花在安全以及向公众普及核能知识上<sup>[34]</sup>。2016年11月，政府取消了建设核电机组的计划，理由是煤炭成本大幅降低，以及从2016年到2020年的电力消费预测已从每年递增17%~20%调低到11%<sup>[35]</sup>。

仅根据核能署/国际原子能机构的红皮书估计，而不是政府的官方计划，越南的长期核能容量预测在高估情况下有所增加，而低估预测在福岛事故以前和以后都维持在2 GWe。这些预测现在看来明显是无效的，但结合2016年11月公告中提出的理由，表明福岛第一核电站事故对政策并没有重大影响。

#### 4.2.4 该地区其他国家

尽管经常出现大规模的自然灾害，但印度尼西亚、菲律宾和新加坡政府都考虑利用核电满足不断上涨的电力需求。印度尼西亚政府为建立核电容量已经采取了确切的行动，但尚未成立一个核能项目实施机构。他们还

在2016年8月与中国签署了在印度尼西亚共同开发一座高温气冷反应堆的协议。据报，2012年，柬埔寨总理取消了在戈公省建设核电站的可行性研究，以此作为对切尔诺贝利和福岛第一核电站事故的回应<sup>[36]</sup>。而新加坡在2012年得出结论，说至今还没有可行的、适于在这个城市国家部署的核技术，还特别说明该决定没有受福岛第一核电站事故的影响。

### 4.3 中东、中亚和南亚

#### 4.3.1 孟加拉国

孟加拉国目前没有核电。超过30%的孟加拉国人口没有用电，而对那些用电的人口，电力供应经常被切断。为了克服这些妨碍发展的重大问题，政府启动了“愿景21”项目<sup>[37]</sup>，该项目包括至2021年新增发电容量20 GWe，目标能源组合为国内煤炭（30%）、进口煤炭（20%）、天然气（25%）、液化燃料（5%）、核能、可再生能源和电力进口（20%）。

“愿景21”被认为是该国迈向经济繁荣的重要一步。以2012年为例，当年总发电量达到5 GWe，而日需量则达到6.5 GWe。至2030年安装5 GWe的核能发电容量，是为满足快速增长的电力需求而制定的长期计划的一部分。因为该国为发电而严重依赖的国内天然气供应

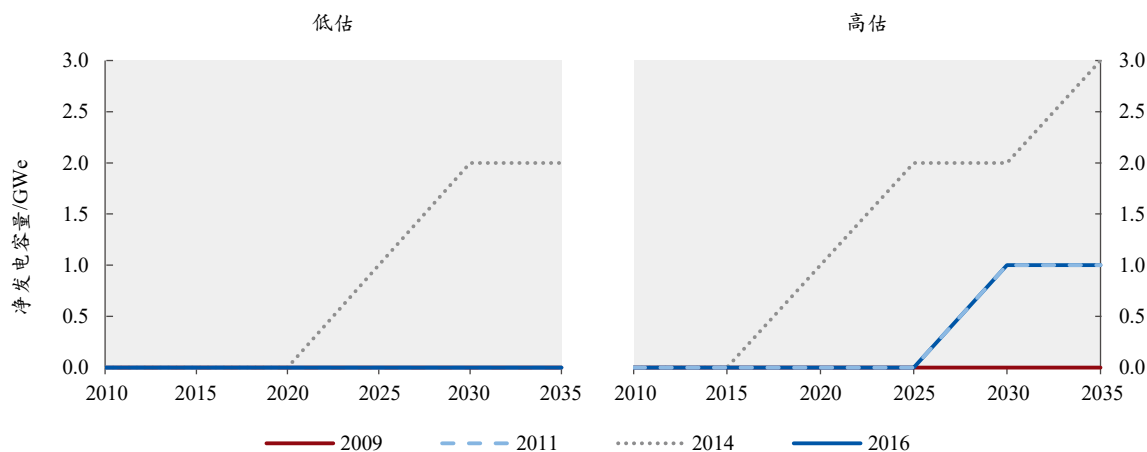


图18 孟加拉国的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

正在快速枯竭，10年内可能耗尽。

2010年该国与俄罗斯签署了一项核合作政府间协议，合作领域包括用于发电和研究目的反应堆的选址、设计、建造和运营、海水淡化厂和初级粒子加速器，该协议为核能发电容量的开发奠定了基础。随后于2012年5月，议会通过了一项核能法案，授权成立了孟加拉国原子能管理局。福岛第一核电站事故似乎并没有对该国的核发展项目产生任何影响。

2012年3月，内阁批准了与俄罗斯国家原子能公司达成的协议，在位于达卡北部约200千米的卢普尔建造两个VVER机组（总共2 GWe）。据报道，根据协议条款，俄罗斯将建造、拥有和经营（build, own and operate, BOO）该核电站，并协助开发所需的基础设施、供应燃料，在两个机组的整个运行寿命期间回收乏燃料并为设施最后退出服务提供协助<sup>[38]</sup>。俄罗斯的贷款将用于支付90%的成本。

政府在2015年后期与俄罗斯签署了一项协议，以建造这两个VVER机组，目标定为在2022年首个机组首次发电。2016年6月，孟加拉国原子能管理局出具了场地执照，政府一个月后与俄罗斯签署了信贷协议。从这些进展和红皮书预测来看，政策显然没有受到负面影响。

#### 4.3.2 印度

截至2015年年底，有21个机组（净5.3 GWe）处于运行状态，提供了3.5%的国内发电。2013年，库丹库拉姆1号机组（净0.917 GWe）并入电网开始发电。目前共有6座反应堆正在建设中，总装机容量为3.9 GWe（4台加压重水堆（PHWR），1台压水堆和1台原型快堆）。库丹库拉姆第二座压水堆（净0.917 GWe）于2016年开始商业运营，俄罗斯国家原子能公司为两座反应堆提供VVER机组和燃料（最初于1988年同意的一个项目）。

像中国和其他发展中世界里快速发展的经济体一样，核能发电由于其独有的优势正在快速增长，这些优势包括有害气体的低排放（二氧化碳和其他污染空气的气体），具有竞争力的发电成本以及成本低且相对稳定的核燃料供应。由于铀具有很大能量，不需要运输大量的燃料，足以用几年的发电燃料可以很方便地储存在核电站，从而缓解供应安全的担忧。

印度政府认为，核电可以成为燃煤电厂切实可行的替代品，不仅可以减少空气污染，还能提供大量的基础电力来帮助满足日益增长的需求，避免目前的电力短缺。印度是世界第三大煤炭生产国，燃煤提供60%左右的电力供应，国内电力生产仍不能跟上全国需求<sup>[39]</sup>。

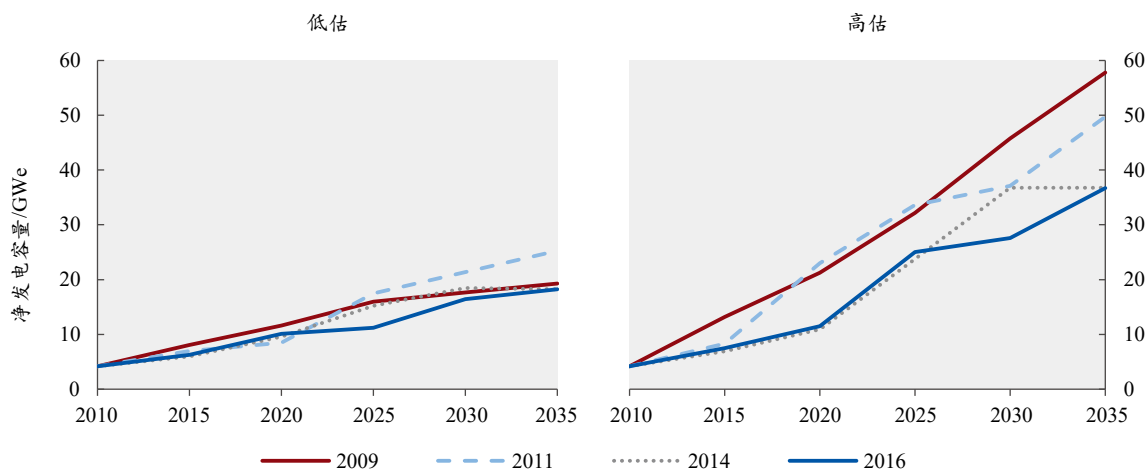


图19 印度的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

印度在2013—2014财政年度进口约1.65亿吨煤，造成其经常项目赤字<sup>[40]</sup>。印度约40%的人口用不上电，而对那些用得上电的人口，有40%的人天天都经历电力短缺，部分原因是电网老化和负担过重。

福岛第一核电站事故发生后，总理下令印度核电站运营商，即印度核电有限公司（NPCIL），对所有运营核电站进行安全和安保检查。虽然检查结论认为电站“已有足够的预防措施”，但某些电站仍有必要加强对极端事件的防御<sup>[41]</sup>。政府仍在雄心勃勃地制定计划，至2022年和2032年分别将核能发电容量提高到23 GWe和65 GWe，关闭现有铀燃料循环，而开发钍燃料循环。据报道，在2014年后期，印度与俄罗斯签署了一项协议，未来20年俄罗斯将提供12座反应堆，其中6座在库丹库拉姆建造，另有6座建在另外一个未命名的地点<sup>[42]</sup>。

虽然印度政府仍然致力于核电的发展，但在福岛第一核电站事故发生后，公众对核电安全的担忧增加了。在两个VVER反应堆中的第一个准备装填燃料和调试之际，在库丹库拉姆核电站爆发了漫长（18个月）的公众示威，这次示威加上公众和地方政治的其他抵制事件，某种程度上会对发展计划有所改变。2015年3月，在对印度原子能监管局（AERB）进行为期12天的同行评审后，国际原子能机构建议，印度应通过确保原子能监管

局的法律独立性来加强其核安全<sup>[43]</sup>。它还建议原子能监管局应进行更频繁的现场检查，并允许进行独立验证和更有效的监管。

印度2010年通过的核损害民事责任人法，允许经营者在某些情况下向供应商追偿，这似乎在一定程度上阻碍了外国投资。2015年，建立了核保险共同体，并与许多反应堆供应商进行了商业谈判。但截至2016年8月，尚未签订任何约束性合约。除了可见的延迟之外，红皮书预测并没有显示出大的政策变化。

#### 4.3.3 伊朗伊斯兰共和国

2011年，俄罗斯完成了伊朗首个核电站的建设，并投入使用。这个机组（布什尔）的建设工作始于1975年，它是基于德国比布利斯（Biblis）的设计，1979年建设工作中途停止，1990年代末，该项目以VVER-1000设计重新启动。在2013年，按照国际原子能机构保障措施运行的单一915 MWe布什尔反应堆提供了该国1.5%的电力。没有迹象表明，福岛第一核电站事故对伊朗进一步发展核电的计划有影响。

伊朗与俄罗斯国家原子能公司在2014年签署了一项合同，拟在布什尔建造另两个机组，建设工作已于2016年开始，随后可能还要再增加两个机组，另外还有4个机组可能会在一个未命名的地点建造<sup>[44]</sup>。该协议包括终

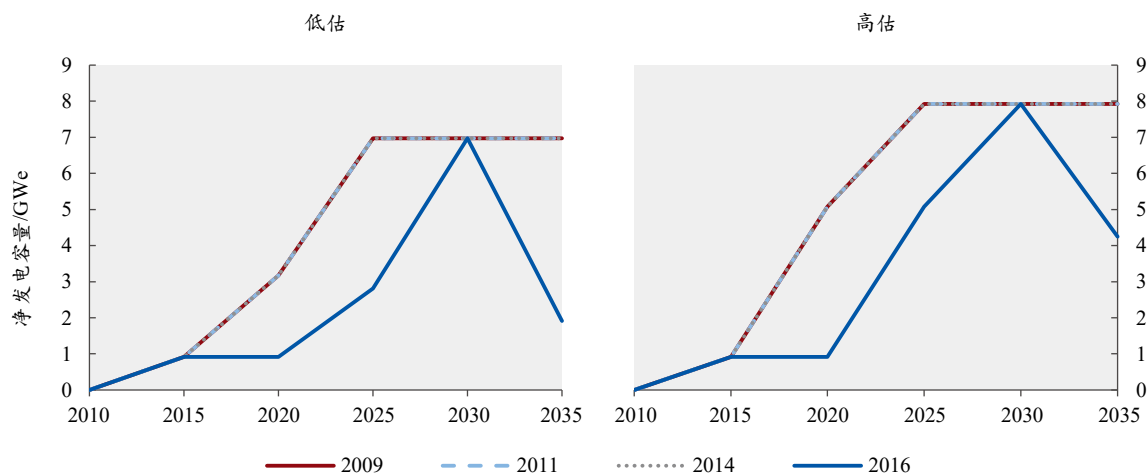


图20 伊朗的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源，生产和需求》

身燃料供应和乏燃料回收再处理，正如现有对正在运行机组的（布什尔1号）的安排。据报还有两个海水淡化厂被列入协议，首个淡化厂的一期工程已于2014年中期在布什尔启动。2013年，伊朗原子能组织（AEOI）确定了16个适合建设核电站的新厂址<sup>[45]</sup>。

在2015年伊朗政府和联合国安理会5国及德国（P5+1）达成关于伊朗核电项目的全面协议之后，核电的发展可能会以更快的速度增长，因为伊朗可以与全球核电机组供应商打交道。2016年9月，伊朗和俄罗斯签署协议，并为布什尔第2和第3号机组举行了奠基仪式，他们表示这两个机组将是VVER-1000 III+代技术。2016年红皮书预测显示，以前的政府估计有所滞后。2035年的急剧下降代表了核能署/国际原子能机构与伊朗官方至2030年预测的不同，而不是核能容量的实际减少。因此，福岛第一核电站事故没有对政策产生任何影响。

#### 4.3.4 约旦

约旦97%以上的能源需求依赖进口，容易受埃及天然气供应中断的影响，并且经常停电，所以一直在推进发展核电计划，似乎没有受到福岛第一核电站事故的影响。2014年10月，在对安装核能发电容量做出最终投资决定之前，约旦组织专家对选定的核电站场

地进行了详细研究。2015年初，约旦与俄罗斯国家原子能公司签署了一项协议，开始对两座反应堆进行可行性和环境评估（每座1 GWe），其中包括海水淡化能力<sup>[46,47]</sup>。除了第一个机组的完成有所延迟外，长期预测只有增加。

#### 4.3.5 哈萨克斯坦

哈萨克斯坦是世界上最大的铀生产国，长期以来一直表示要发展核电，目前正在推进建设具有两个机组的核电站计划。从1973年至1999年，在阿克陶（Aktau）核电站运行着一座钠冷快速反应堆BN-350。福岛第一核电站事故对这一计划没有造成影响。2014年10月，哈萨克斯坦与俄罗斯签署了一项核合作协议，计划在哈萨克斯坦东部的科尔恰托夫地区建设一座核电站，俄罗斯国家原子能公司提供反应堆技术，而哈萨克斯坦为反应堆提供核燃料成分<sup>[48]</sup>。2015年后期，能源部副部长解释说，关于反应堆选址和供应商选择的决定将在两三年内做出，2025年是机组调试以满足预计电力需求的大约时间。

在这种背景下，红皮书的预测显示了部署核电的持续滞后，但似乎没有偏离计划。

#### 4.3.6 巴基斯坦

2016年之前，巴基斯坦有3个在运机组（净0.69 GWe），约占国内电力生产量的4%。3个机组目前正在建

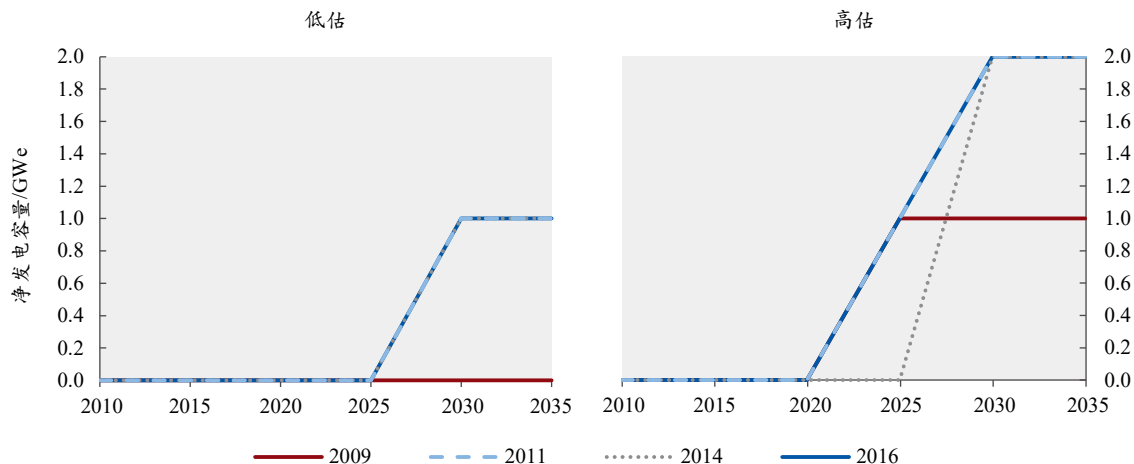


图21 约旦的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

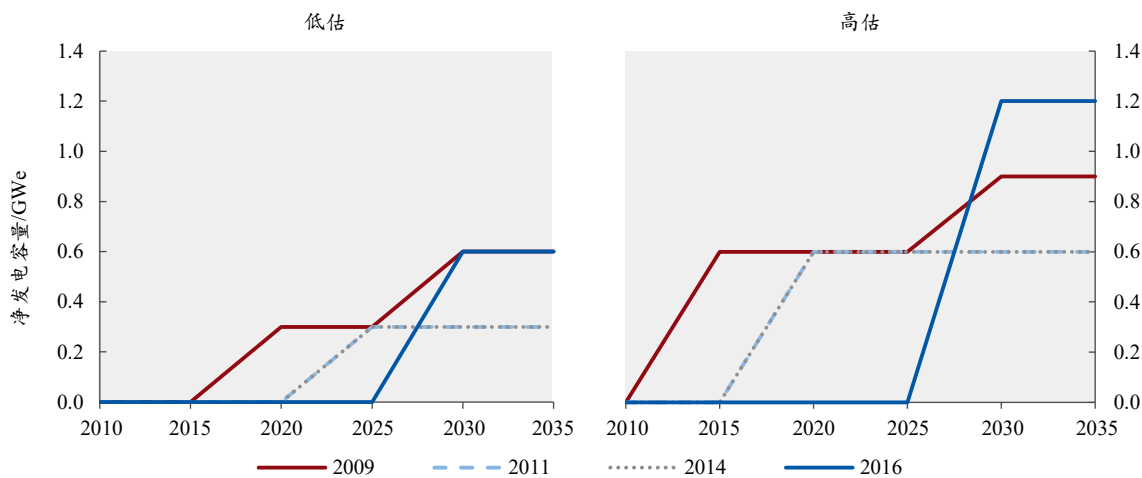


图22 哈萨克斯坦的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

设中（共计净2.3 GWe），其中一个机组已于2016年后期完成。除一个之外的所有在运机组以及所有在建和计划要建机组都由中国提供融资，卡拉奇附近在建的两个机组所需的燃料据报也作为合同的一部分由中国提供<sup>[49]</sup>。

在福岛第一核电站事故发生后，巴基斯坦核监管局（PNRA）启动了关于核电站安全管理框架和条例的审查<sup>[50]</sup>。确定了需进一步改进的领域；为加强对事故中放射性物质释放的控制，对反应堆进行了技术改进，进一

步完善了安全管理条例；强化应急操作程序、场外应急准备计划和对重大事故的反应；重新评估可引发事故的隐患；加强备用电源，要求运营商确保安全系统具有比目前要求的更长时间的有效性。建议在应急堆芯冷却系统、氢气复合器和乏燃料冷却系统中引入被动设计。巴基斯坦核监管局要求运营商提交为解决这些问题而准备采取的具体行动的详细信息，这些提交的改进方案一旦经巴基斯坦核监管局批准（统称为“福岛应对行动



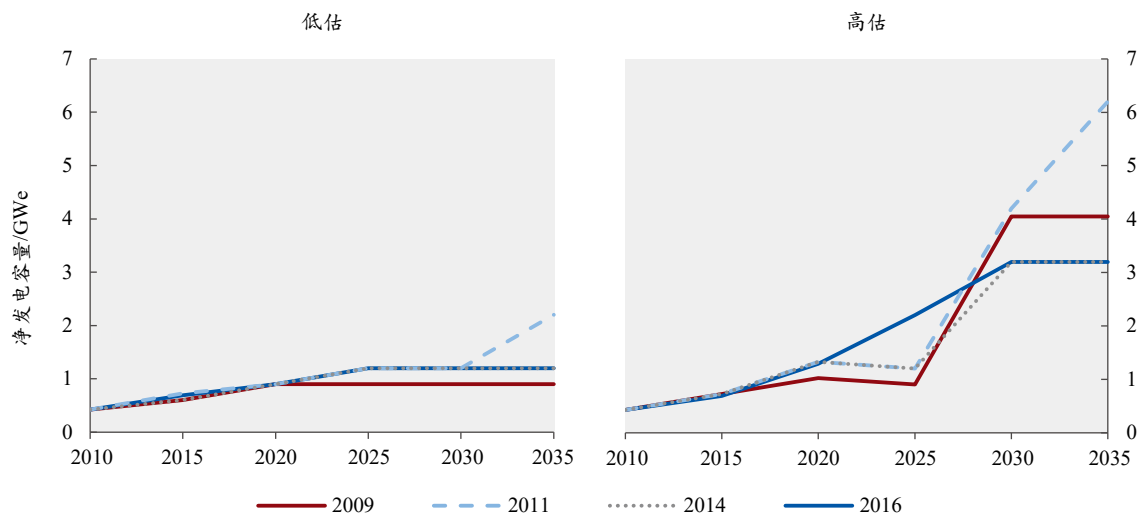


图23 巴基斯坦的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

计划”），就会付诸实施，从而引入更为严格的安全管制。然而，安全检查和后续行动并没有对巴基斯坦的核电政策带来任何改变。

据报，2013年政府重申了其长期计划，至2030年将在10个地点共拥有在运8 GWe的核电容量，至2050年拥有多达40 GWe的在运核电容量<sup>[51]</sup>。然而，由于当地民众担心地震、飓风和海啸可能对该设施造成潜在影响，致使法院下令，从而耽搁了卡拉奇核电站的场地准备活动，这大概就是对福岛第一核电站事故做出的反应<sup>[52]</sup>。卡拉奇核电站的建设于2015年8月重新启动，它采取了中国华龙一号设计，而不是最初的ACP-1000设计<sup>[53]</sup>。

巴基斯坦遭受严重能源短缺。据报道，城市地区每天有16小时处于停电状况，而农村地区每天停电高达22小时。对基础设施长期投资不足被认为是造成短缺的主要原因之一。据报中央银行曾警告说，能源短缺已严重地制约了经济增长。政府对电力设价较低，而用户又不能定期支付帐单，这两方面因素的综合效应意味着公用事业单位无法承担所需的投资<sup>[54]</sup>。巴基斯坦利用中国资金推动核电开发，是为了使该国不再依赖昂贵的化石燃料进口，同时满足不断增加的电力需求。在红皮书预测里，很容易看出该国对核电持续的承诺，这几乎接近福

岛事故前预测的水平。

#### 4.3.7 沙特阿拉伯

阿卜杜拉国王原子能和可再生能源城（Ka-Care）是按皇家法令于2010建成的，其目的是开发大量可替代能源，为其快速增长的人口建设一个可持续的能源未来。该计划旨在结合核电和可再生能源生产电力，从而以可持续的方式满足日益增长的能源和水需求。目前，沙特阿拉伯消费其国内油气总产量的25%左右，其中大部分（相当于每年约10亿桶）用于发电<sup>[55]</sup>。使用非化石燃料能源不仅有助于减少对国内不可再生碳氢化合物资源的依赖，而且会延长石油出口的有效期限。沙特阿拉伯目前是世界上最大的人均能源消费国之一，仅次于美国。

2012年，阿卜杜拉国王原子能和可再生能源城计划在未来20年内建成41 GWe的太阳能、20 GWe的地热和风能以及17 GWe的核能发电容量。这个计划似乎没有受到福岛第一核电站事故的影响。事实上，2014年中宣布将尽快安装核容量，争取到2022年实现第一个机组并网发电<sup>[56]</sup>。核能在热电联产和海水淡化方面的潜力也被认为是该国决定加速发展步伐的原因（沙特阿拉伯目前是世界上最大的脱盐水生产国，主要使用石油和天然气供能工艺）。通用电气日立核能公司和东芝/西屋公司与

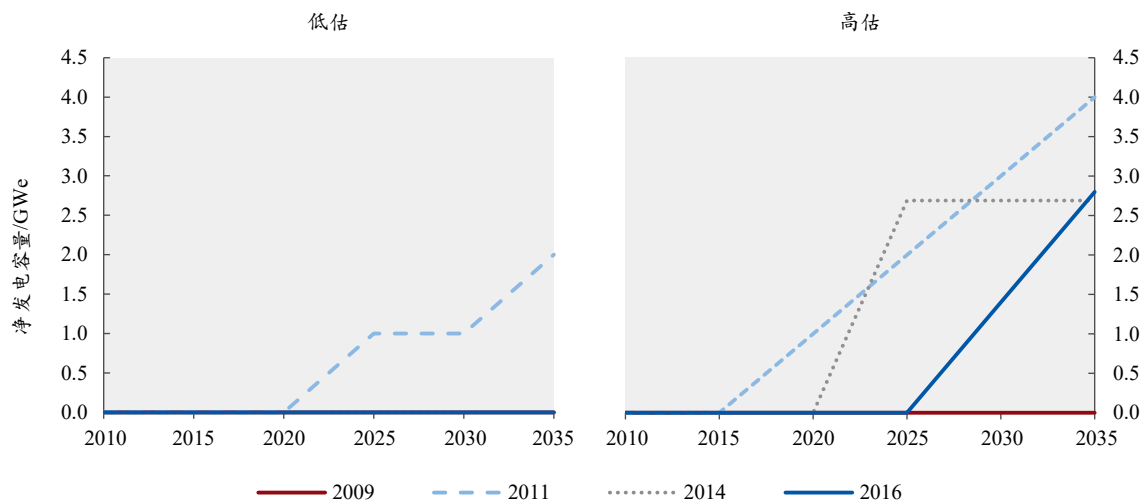


图24 沙特阿拉伯的核电容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

Exelon 核能伙伴公司签署了核电站的建筑合同协议。阿海珐 (Areva) 和法国电力公司 (EDF) 以前已经与沙特阿拉伯的公司和大学签署了协议，帮助沙特阿拉伯开发核电所需的工业技术和人力资源。该国还与阿根廷、中国 (中国核工业集团公司)、捷克共和国、韩国和英国签署了核合作协议。

然而，阿卜杜拉国王原子能和可再生能源城于2015年1月19日宣布，安装大量可再生能源和核能容量的时间表已经推迟到2040年<sup>[57]</sup>。虽然没有提供延期的理由，但据报道，较低的石油价格已经消除了一些迫切需要安装大量新发电容量的动力<sup>[58]</sup>。沙特阿拉伯继续与外国公司签署核技术合作协议，包括小型模块化反应堆 (例如2015年与韩国签署的SMART) 以及高温气冷反应堆 (如2016年与中国签署的协议)，所以并没有人认为该国偏离了部署核电的政策。

#### 4.3.8 阿拉伯联合酋长国

由韩国电力公司 (KEPCO) 牵头的韩国的一个财团在2009年赢得了一项合同，计划以200亿美元的价格建造4个APR-1400机组 (总共净5.4 GWe)。合同条款包括，韩国电力公司财团持有该设施的股权，协助反应堆的设计、运行和维护，为电站技术人员提供培训和教育，并

为所有4个反应堆提供初始燃料<sup>[59]</sup>。福岛第一核电站事故在一定程度上改进了对施工许可证的审查，包括反应堆的设计应更加重视应对自然灾害的能力，以及如何管理严重事故等问题<sup>[60]</sup>。经过两年审查，第一个机组的建设许可证于2012年获得批准。巴拉卡地区在地质构造学上不是活跃区，不被认为是易受海啸影响的地区。

第一个机组 (巴拉卡1号) 的施工于2012年7月正式开始，其余的机组 (巴拉卡2号、3号和4号) 分别在2013年、2014年和2015年开始施工。据报道，工作正按计划进行，第一个巴拉卡机组有望在2017年建成，其他3个机组计划在之后几年内连续完成。当所有4个机组都正常运行时，巴拉卡核电站预计将满足约25%的国家电力需求，并每年减少1 200万吨二氧化碳排放<sup>[61]</sup>。政府还计划至2020年由可再生能源提供2.5 GWe的发电量，继续实现能源结构的多样化，以减少对发电用天然气的依赖。

政府之所以决定开发巴拉卡核电站，主要考虑到日益增长的能源需求，以及减少温室气体排放和国内天然气消费的政策 (以便通过出口维持外资流入)。阿拉伯联合酋长国与国际原子能机构签署了和平使用核能协议，并与若干国家签订了核合作协定，同时同意放弃民用铀浓缩和乏燃料再处理的权利，这样该国得到了充分

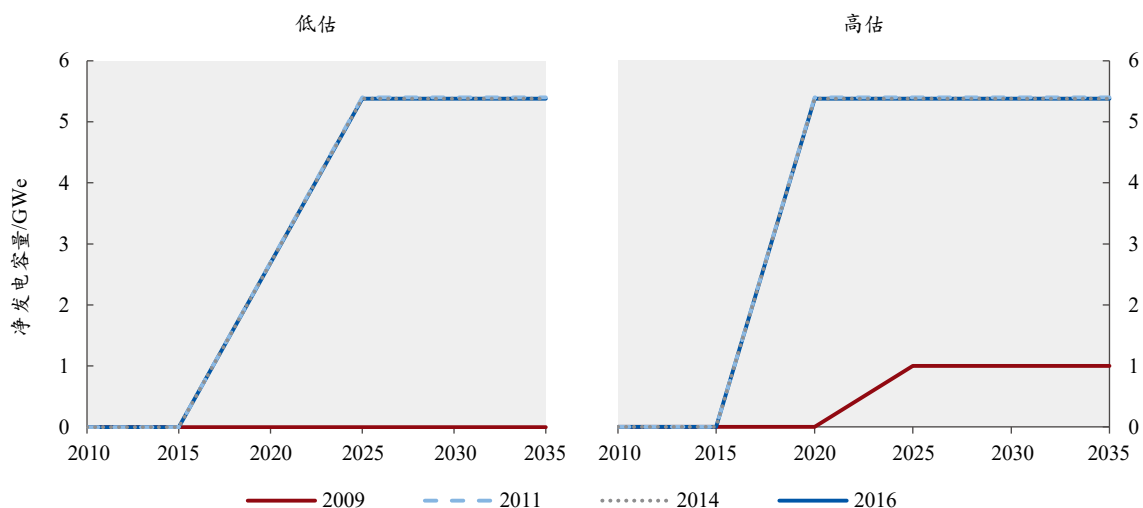


图25 阿拉伯联合酋长国的核电容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

的国际合作，继续推进其核能发展计划。该国政府还表示，随着后福岛分析和技术开发的出现，政府将继续评估可能纳入反应堆设计的其他安全措施。

红皮书预测显示，福岛第一核电站事故以来，核电部署计划得到了相当大的提速。

#### 4.3.9 该区域其他国家

这个区域其他国家一直都在考虑开发核能发电。2012年，据宣布巴林推迟了其核能开发计划，而科威特则放弃了2020年前建造4个核电机组的计划，这两个事件都是对福岛第一核电站事故的应对。然而，2014年，据报道科威特与俄罗斯讨论了为和平目的改善核能发展合作的可能性。其他国家尚未采取具体措施来建立其核电容量。

#### 4.4 欧盟

在福岛第一核电站事故发生后，比利时和德国在一定程度上加快了其原有退核政策的步伐，而那之前，两国实际上放宽了这一政策。现在，德国和比利时分别计划2022年和2025年年底之前永久关闭其所有核电机组。

作为对福岛第一核电站事故的应对，整个欧盟以及邻近拥有核电的国家（瑞士和乌克兰）都对其所有机组进行了压力测试，目的是评估在遭受极端自然灾害，特

别是洪水和地震的情况下，核电站的安全性和坚固性。在这个测试过程中，核电站运营商在欧洲核安全监管组织的监督下进行自我评估，评估报告经所在国国家安全当局审查，然后由多国专家小组进行同行评审。尽管得出的结论是，安全水平普遍较高，并且没有任何机组由于安全原因需要关机，但在大多数被评估的核电站仍然发现一些需要改进的地方。

一些核电站的改进工作已开始实施，例如对地震仪进行改进、评估由地震引发的洪水和火灾带来的风险、加固建筑物结构以防范极端天气现象、加强防洪措施以及确保备用冷却水供应和备用移动发电机。完成所有必要改进的最后期限是2015年。然而，2013年3月的一份欧盟委员会备忘录将这个期限描述为“指示性时间表”，认为“所需的一些投资……肯定会超过2015年”<sup>[62]</sup>。正如欧洲核安全监管组织第二次国家行动计划研讨会总结报告所述，一些国家几乎已经完成了方案的落实，而其他国家则有明确的时间表，会在2016年之前完成他们的工作。尽管一些国家已经把一些具体行动重新安排到2020年之前完成，但大多数国家在执行国家行动方案时进展顺利。由于这些附加安全措施的实施和评估工作，估计需要为每个核电机组



花费约1.9亿欧元<sup>[63]</sup>。

经过压力测试，已拥有核电且计划增加容量的欧盟国家，正继续努力增加新的核能发电容量（如保加利亚、捷克、芬兰、匈牙利、罗马尼亚、斯洛伐克、斯洛文尼亚和英国）。波兰目前没有核电，却正朝着建设第一座反应堆的方向努力，而立陶宛则继续其新建机组的工作，以取代两个作为进入欧盟条件而关闭的机组。已有核电的其他国家则继续其机组的运行（如荷兰和西班牙），而反对核电的国家重申了其反核政策（如奥地利和爱尔兰）。下面将概述其他国家的反应。

#### 4.4.1 比利时

7个在运机组的产电量多年来占国内发电量的50%以上。根据政府2003年通过的逐步淘汰核能法律，7个机组的运行寿命被限制为40年，并且不允许建设新的核电站，尽管如果国家能源供应安全受到严重威胁，核能淘汰政策可能会被推翻，但这项政策却一直延续到2009年。

2009年后期，政府宣布放宽这项政策，允许将3个最老机组的运行寿命一次性延长10年（多伊尔1号，多伊尔2号和蒂昂日1号机组）。然而，并没有为使这一政策生效而进行立法修订，在福岛第一核电站事故发生后，政府又宣布，在欧盟压力测试之前，这一延长3个

最老机组使用寿命的决定将被搁置。然而，为了平衡预算，政府继续向核电站运营商（主要是比利时电力公司 Electrabel，该国大多数核电站的所有者和运营商）每年征收高达2.5亿欧元的“捐款”。同时承诺维持节能领域的1.3万个工作岗位，并把研究预算的三分之一投向可再生能源。

2013年6月，法国天然气苏伊士集团（GDF Suez）所属子公司比利时电力公司向比利时宪法法院提出上诉，反对每年征收核能联邦税，该税在2012年增加到5.5亿欧元。2014年，这个要求被裁定毫无根据并被驳回。这项裁决之后，比利时电力公司说这些付款以及各种其他税收大于运营所产生的利润，这种情况已经威胁了核电站继续运营的盈利能力。其发誓要继续研究所有可能的法律手段来维护其利益。

2012年7月，政府宣布，蒂昂日1号机组能够运行50年，这将机组的关闭日期延长10年至2025年。

2012年至2014年期间，占全国核能发电容量50%以上的机组意外关闭了，这引起了人们对电力供应安全的担忧。结果，在2014年后期，政府宣布，原定于2015年2月和12月关闭的两个最老核电机组（多伊尔1号和2号）可以继续运营10年，这项决定有待监管部门的批准。比利时电力公司则表示，延长这些机组的使用寿命

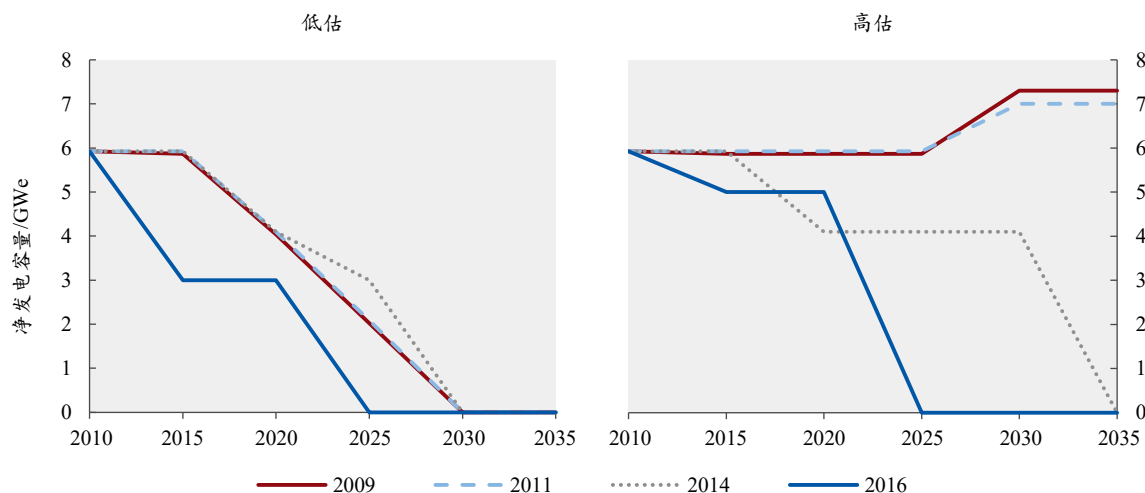


图26 比利时的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》





将需要大量投资，直到建立明确的法律和经济框架后他们才能决定投资。2015年后期，比利时电力公司同意每年向该国的能源转型基金支付2 000万欧元，并获得批准重启多伊尔1号和2号机组。这些机组被批准可以运营到2025年，直到所要求的全面弃核的那一天<sup>[64]</sup>。很容易看出，2014年红皮书预测，即使高估预测，都体现出了关闭两个机组的情况。如果现行法律仍然有效，随着反应堆许可证到期，所有6 GWe的核电容量将在2022年至2025年之间下线。

#### 4.4.2 法国

1970年代发生过两次石油危机（价格快速上涨），之后，法国决定建立核电容量以减少油价波动带来的影响，此后法国严重依赖核能。目前，58个在运机组生产了约75%（63 GWe）的全国电力。该行业雇佣了约20万名专业人员，对邻国的电力出口每年达到30亿欧元<sup>[65]</sup>。

在福岛第一核电站事故发生后，政府要求对所有核设施进行检查，以评估其抵御水灾、地震、停电、冷却系统故障以及操作管理事故的能力。法国电力公司动员了300名工程师，对19个法国电力公司属下的核设施进行了分析，作为后福岛“压力测试”的一部分向法国核安全局（ASN）递交了一份7 000页的报告。对于被确定为优先考虑的其他核设施（共80个），阿海珐及法国替代能源和原子能委员会（CEA）于2011年9月15日之前向法国核安全局提交了报告。

法国辐射防护和核安全研究所（IRSN）也对反应堆安全进行了为期6个月的评估。该研究所的评估与法国核安全局的一份报告一起发布，评估报告提出了一套新的安全要求，以确保至关重要的安全体系和设备能够提供保护。法国电力公司已投入资金将下属核电站的运营寿命延长至60年，所以其可以把从福岛第一核电站事故中学到的教训整合到这些寿命延长项目中。持续投资以及通过整合操作经验而进行的改进，意味着福岛相关安全升级的成本不到寿命延长项目成本的20%。区域快速反应队伍（FARN）于2012年底投入服务，该队伍驻扎在西沃（Civaux）、帕卢埃尔（Paluel）、当皮埃尔（Dampierre）和比热（Bugey）核电站附近的区域基

地，以更好地应对法国核设施可能发生的紧急情况。在2014年向议会提交的一份报告中，法国电力公司估计，在反应堆寿命延长项目所需的550亿欧元预算成本中，后福岛的改进项目花费达100亿欧元<sup>[65]</sup>。

一场关于法国能源转型的全国辩论在2012年底发起，以收集民众对若干关键问题的看法，其中包括如何通过节能来降低电力需求、如何定义未来能源结构的适当方案、至2025年的实施路线图和相关成本、以及每种能源组合方案对于维护更长期（2030年和2050年）减少温室气体排放的承诺所产生的任何潜在影响。人们还期待制定切实可行的可再生能源和新技术开发方案、行业和区域发展战略，并概述如何实现这些。这个倡议的背景是，现任总统在当选之前作出了承诺，到2016年年底关闭法国两个最老的机组（两个均在费斯内姆（Fessenheim）核电站；每个净880 MWe），并制定计划，将核能发电依赖度从目前的国内发电量的75%降低到2025年的50%。

在公开辩论之后，立法于2014年起草并提交给政府。2014年10月下旬，法国国民议会通过了关于向低碳经济转型的综合立法。这项法案制定了以下目标：到2030年和2050年分别将温室气体排放量减少40%和75%，到2030年和2050年分别将最终能源消耗降低20%和50%，到2030年将化石燃料的主要消费量减少30%，到2020年和2030年分别将可再生能源在最终能源消费中的份额提高到23%和32%，以及到2025年将核电在电力生产中的份额减少到50%。在2015年初，参议院对立法进行了辩论，提出了一项折中法案，不要求到2025年将核电站的电力生产减少到50%。2015年6月，参议院和国民议会对这项立法的措词达成和解，该法案的最终版本于2015年7月下旬通过，明确指出到2025年核能发电份额将降至50%，并且核能发电容量将限制在63.2 GWe以下——这正是目前的水平。正式确定这些限额的多年项目计划（PPE）由政府签署成法，并于2016年10月28日发布。

红皮书预测似乎捕捉到了在公开辩论期间的这种不确定性，低估预测显示这期间核能容量大幅度下降。根



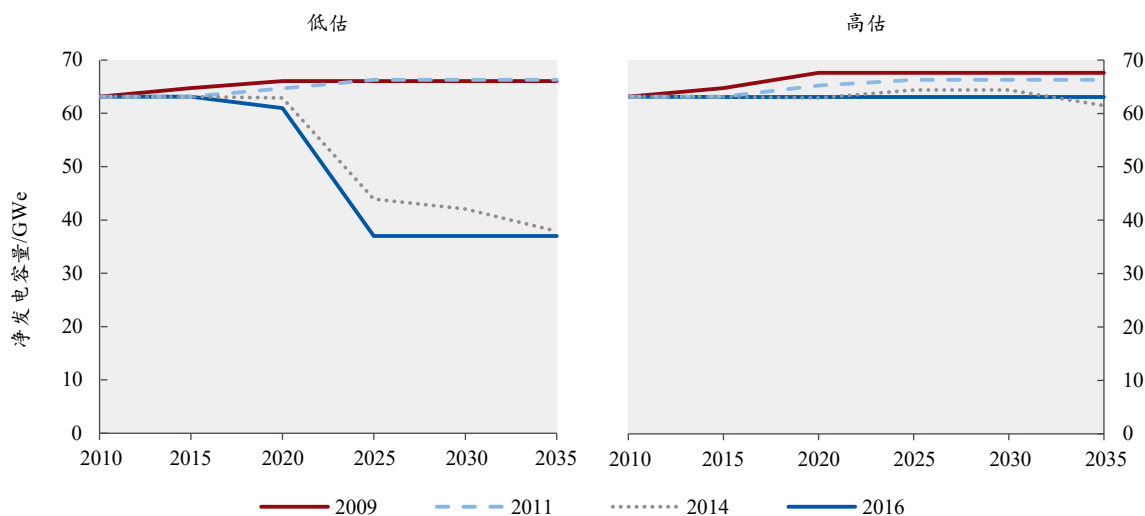


图27 法国的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

据新的2015年法律，长期预测应该更像2014年红皮书的高估预测，即一个不变的63 GWe，随着新的容量上线，较老机组被关闭。

#### 4.4.3 德国

2002年德国修改了核能法，把核逐步淘汰政策写入了德国法律，据此，给每个反应堆分配了一个剩余电力输出数字，这样机组总输出相当于平均32年的寿命。为执行这条法律，两个机组已早早关闭。

2010年12月，核能法被重新修正，增加了分配给每个机组的剩余电力输出量，实际上将现存机组的运行寿命平均延长了12年。对于1980年之前（包括1980年）就开始商业运营的核电站，只批准了另外8年的运营寿命，而更新的机组则被批准了另外14年的运营寿命。但是，福岛第一核电站事故之后，德国政府立刻对所有17个在运核电站进行了全面的安全检查，同时重新评估了核能带来的风险。在1980年之前投入运营的7个核电站被立即关闭，暂停3个月进行安全检查。

2011年5月30日，德国内阁宣布，已就加速退核达成一致意见，将永久关闭在安全检查期间已经下线的7个最老机组以及下线进行检修的科律梅尔（Krümmel）核电站。其余9个在运机组将在2015年至2022年之间下线（在

2014年，这些机组提供了约16%的国内发电）。2011年7月议会投票赞成加速退出核电。2010年12月的修正案以来，对乏燃料棒征税事宜就一直在考虑当中，现在尽管已有核电加速关闭时刻表，这项征税仍在考虑中。该国运营核电机组的公用事业公司已对这项税收提出质疑，同时寻求政府为关闭这8个机组提供补偿。

随着核能发电容量的减少，可再生能源通过一个补贴项目快速加入，这对用户来说意味着抬高的零售电费。增加燃煤发电也很有必要，但这反过来又增加了温室气体的排放<sup>[66]</sup>。向电网周期性地供应大量成本低廉且接受补贴的可再生能源，已经降低了批发电价，致使大型公用事业公司（例如莱茵-威斯特法伦电力公司（RWE）和意昂集团（E.ON））遭受重大损失<sup>[67]</sup>。政府最近采取行动放缓开发可再生能源的步伐，并通过改变现有的补贴安排来降低消费者用电成本，从而使可再生能源的进一步增长更可预测，并避免价格大幅上涨<sup>[68]</sup>。

红皮书的预测在2009年和2014年版之间并没有大的变化。然而，2011年版揭示了福岛第一核电站事故对德国的真正影响，即2010年核能法修正案的逆转和加快退核的决定。从整个背景来看，好像德国一直没有考虑增加核能容量，所以福岛事故的影响只是一个时间问题。

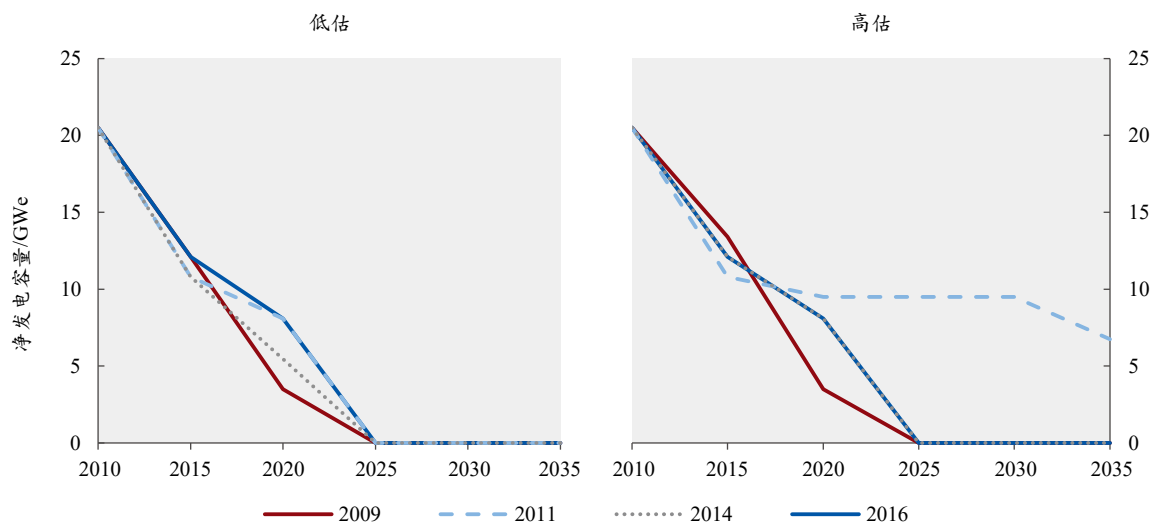


图28 德国的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

#### 4.4.4 意大利

意大利严重依赖燃料进口以满足其能源需求的85%以上，该国电价高，并偶尔出现电力短缺。在福岛第一核电站事故发生之前，于2008年当选的中间偏右政府启动了一系列程序，拟摒弃实施了20年的核电禁令。2011年新出台的国家能源战略包括重建核能工业、改善电力生产竞争、实现能源多样化以及减少温室气体排放。从2008年开始就采取了与新核能项目有关的许多立法和组织步骤，并签署了核合作协议，目标是到2013年开建第一批新核电站。

在福岛第一核电站事故发生后，意大利政府将核能开发计划搁置至少一年，以便在欧洲委员会进行压力测试后重新考虑能源战略。2011年6月中旬的全民公决投票以压倒性多数反对重回核电，并且没有任何兴趣重新审视这个问题。然而，全民投票结果并不限制正在进行的放射性废物处置工作，包括建立一个放射性废物全国贮存处。这些废物产生于从1960年代中期开始运行而后来关闭的4座反应堆，这些反应堆的关闭是切尔诺贝利事故发生后意大利举行的结束核电全民公决的结果。

正如上面讨论的那样，红皮书预测似乎显示了在福岛第一核电站事故之前意大利拥有坚定的重建核能

计划。不过，需要注意的一点是，红皮书中高估和低估数据都来源于另一篇出版物——《核能数据2009》（Nuclear Energy Data 2009）中的单一数据。

#### 4.4.5 瑞典

政府在积极推动安装新的可再生能源容量的同时，于2010年以微弱多数票赞成一项赋予该国核能项目新生命的立法，一旦现有机组达到其运行寿命的终点，即允许建造替代机组。这推翻了1980年颁布的对建造新核电站的禁令以及核能逐步淘汰政策。这项立法规定，替代机组必须建在现有场地上，并且必须等老机组被永久关闭后才能开始运行。政府也明确表示，尽管前期投资成本高昂，以至于这种投资可能难以实现，但政府不会补贴新机组的开发。

尽管预计在2020年之前，10个目前在运机组（总共净9.7 GWe，约占2014年发电量的41%）中没有任何一个将退出服务，但这项立法却为建立新机组的批准和建造程序提供了机会，如果公用事业公司决定这样做的话。同一年度的第二个法案增加了拥有机组的公司所支付的补偿金，这些公司的财务负债也增加了4倍。

2012年，北欧最大的公用事业公司，瑞典国有大瀑布电力公司（Vattenfall）提出申请建造两个新机组，以

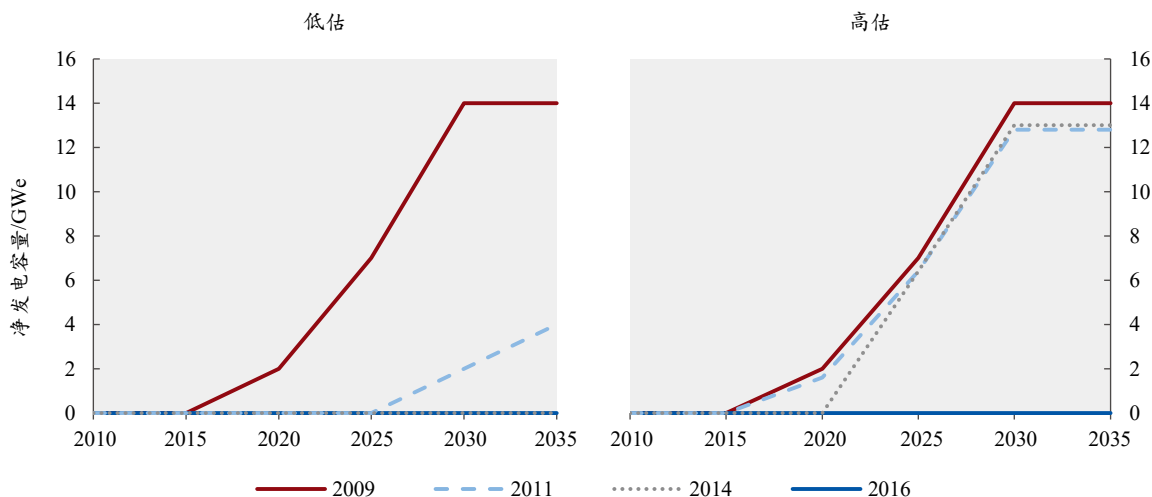


图29 意大利的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

便在老机组退出服务时取代它们，该公司同时指出，几年内不会做出投资决定。瑞典辐射安全管理局（SSM）针对该申请表示监管过程可能需要长达15年的时间，而对于新机组的规章制度的拟定最早将在2014年年底之前完成。

在福岛第一核电站事故发生后，政府在欧盟压力测试之前下令对现有所有机组进行全面安全检查，但表明将不会重新考虑对2010年的立法进行修正。2012年12月，瑞典辐射安全管理局向欧洲核安全监管组织提交了用于压力测试的国家行动计划（NAP）。根据该国家行动计划，核电站运营商必须向瑞典辐射安全管理局提交可以提高安全性的可能解决方案。国家行动计划的的活动延长到2015年。2013年，大瀑布电力公司宣布，计划在2013年至2017年期间投资24亿美元，对其最新建成的5个机组（瑞哈斯（Ringhals）3号、4号和福斯马克（Forsmark）1号、2号和3号）进行现代化升级，以使它们能够继续运营长达60年。

2014年9月的选举结果使在现有场地建造替代机组的可能性不复存在，新的联合政府成立了一个能源委员会，负责推动全面依赖可再生能源计划。该委员会表示，目前的核能发电容量应由可再生能源取代，

或通过节能减少能源需求而使核能不再被需要。政府的其他声明指出，核电需要“承担更大份额的经济成本”、核废料处理费用应增加以及安全要求应进一步加强<sup>[69]</sup>。

为了回应从2015年开始增加17%税收的提议，核电站的运营商表示，较老的核电站可能要比预期更早关闭，因为税收的增加以及苛刻而又昂贵的后福岛安全升级降低了核电站的盈利能力。2014年11月，政府拥有的大瀑布电力公司宣布，已接到指示将停止对建造替代机组继续进行案例分析<sup>[70]</sup>，另外在2015年初，瑞典辐射安全管理局宣布，已停止处理更换机组的施工申请，以顺应新政府宣布的政策变更<sup>[71]</sup>。

然而，2016年6月，瑞典议会宣布达成协议，将在两年内逐步减免对已装核能容量的征税，并允许建造多达10个核能机组来取代现有的机组。该协议被描述为支持瑞典到2040年实现100%的可再生能源系统的目标，但到那时不要求核逐步淘汰<sup>[72]</sup>。

红皮书预测在2016年以前的几年里都没有太明显的变化，直到2016年政策和税收的影响改变了对未来的展望，但由于最近的一些宣布，对未来的展望可能会再次发生改变。

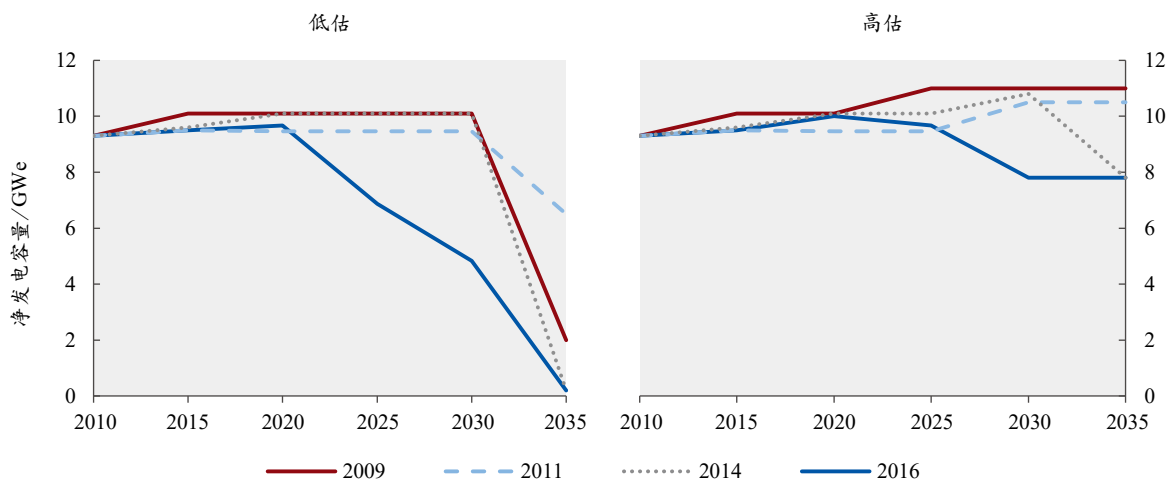


图30 瑞典的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

#### 4.4.6 该地区其他国家

一些欧盟国家在这个时期内一直保持着核能开发计划。芬兰在奥尔基洛托（Olkiluoto）场地即将完成一座欧洲压水反应堆（EPR）的建设，并朝着至2018年在汉尼奇维（Hanhikivi）建造一座VVER-1200机组的方向继续努力<sup>[73]</sup>。匈牙利在2014年和俄罗斯国家原子能公司签署了一项核合作协议，后者将在帕克什（Paks）场地新建两台VVER-1400机组，一旦欧盟委员会对与俄罗斯国家核能公司的财务安排的关切得到解决，这个计划将快速向前推进<sup>[74]</sup>。罗马尼亚计划在切尔纳沃德（Cernavoda）场地新建两台机组，并一直在推进该计划的实施。波兰已经配备并加强了其核监管人员，还为一个新核电站选择了业主/运营商，并将核电站潜在场地的考虑范围缩小到两个。一旦在2015年下半年新当选的波兰政府批准该项目，该项目就会向前推进。英国最近完成了对欣克利角C（Hinkley Point C）核电项目的审查，并已批准核电站由法国电力公司承建，三分之一的项目资金来自于中国广核集团有限公司<sup>[75]</sup>。2006年以来，即使经历了一些政府更替，英国一直坚持支持核电。大多数国家的核能计划似乎并没有受福岛第一核电站事故的太大影响。事实上，财务因素似乎对核电部署计划影响更大。

#### 4.5 欧洲（非欧盟国家）

##### 4.5.1 亚美尼亚

两台俄罗斯设计的机组曾分别于1976年和1980年连接到电网（每台0.375 GWe），每台设计寿命均为30年。1988年发生大地震后，两台机组都被关闭了。1995年，两台机组中的一台（机组2）重新投入服务，并网发电以帮助缓解该国遭受的严重电力短缺。这台机组，即亚美尼亚2号机组（也称梅察莫尔（Metsamor）机组），一直在运行，2015年的发电量占全国总发电量的34%。

有人对该机组的持续运行表示关切，特别是在福岛第一核电站事故发生后，因为该地区是地震活跃区，而且反应堆的设计没有包括主要的外壳结构。然而，亚美尼亚不愿关闭这个核电站，认为它对该国的能源安全至关重要，而且大量资源已投入到核电站的安全和安保升级上<sup>[76]</sup>。

尽管在福岛第一核电站事故发生后，人们对该核电站在地震活跃区持续运行更加担忧，但它对国内能源供应具有重要意义，据报道，政府在2014年下半年仍决定将亚美尼亚2号机组的使用寿命延长10年至2026年。据报道，亚美尼亚与俄罗斯签署了一项贷款3亿美元的协议，用于支付寿命延长项目的费用<sup>[77]</sup>。

亚美尼亚政府于2015年7月宣布了该国能源安全计

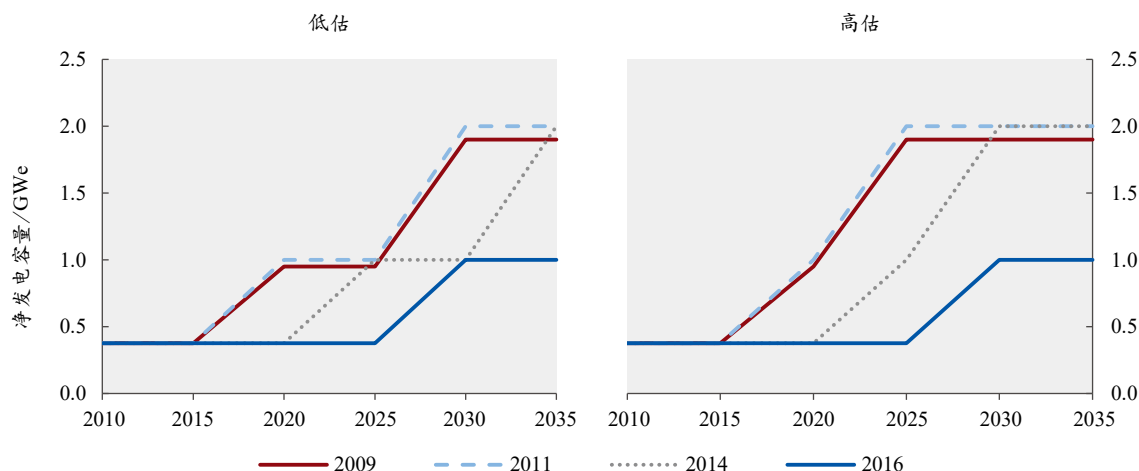


图31 亚美尼亚的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

划，要求亚美尼亚2号机组继续运行，并将于2027年被新建机组取代<sup>[78]</sup>。

#### 4.5.2 白俄罗斯

2007年白俄罗斯政府决定迅速部署核电。由于超过80%的燃料和能源依赖进口，白俄罗斯认为核能对国内能源安全十分重要。尽管发生了福岛第一核电站事故，白俄罗斯政府仍继续推进核能发电容量的建设，以应对未来的能源需求并减少温室气体排放。2011年10月，白俄罗斯与俄罗斯原子能建设出口公司签署了一项协议，拟建设由两台VVER机组组成的该国第一个核电站。

2012年，白俄罗斯与俄罗斯原子能建设出口公司签署了一项价值100亿美元的协议，拟建设两个1180 MWe的VVER机组（白俄罗斯1号和2号，也称为奥斯特罗韦茨（Ostrovets）1号和2号），这两台机组由俄罗斯提供财政支持，建设工作预计将于2018年下半年至2020年年中完成<sup>[79]</sup>。2015年上半年，该项目继续按计划施工，据报道，当时有超过3 000名俄罗斯和白俄罗斯工人在现场工作，预计到当年年底会完成更多工作<sup>[80]</sup>。

#### 4.5.3 俄罗斯

2015年，俄罗斯共有35个在运机组（净25.4 GWe），提供了该国总发电量的19%左右，另外还有8个在建机组（总共净6.6 GWe）。最近增加的容量包括

2015年完工的别洛雅尔斯克（Beloyarsk）4号快中子反应堆（净0.8 GWe）和2014年完工的罗斯托夫（Rostov）3号机组（净1.01 GWe）。

在福岛第一核电站事故发生后，俄罗斯政府下令，对建设于国内和国外的所有核电站项目进行紧急安全检查。基于这次安全检查的结果，政府于2011年年中公布了耗资5.3亿美元的安全升级计划，将为核电站提供额外的备用电力和供水（例如移动式柴油发电机组和移动式抽水机组<sup>[81]</sup>）。完成这些改进后，政府继续实施2010年国家能源战略，计划将20多台新机组投入运营，同时继续开发并最终将快中子反应堆融合到核电机组群中，以便不再进行核燃料循环。2016年8月，俄罗斯宣布到2030年将新建另外11台机组<sup>[82]</sup>。

在斯摩棱斯克（Smolensk）1号RBMK机组经过全面的现代化改造以后，核安全监管机构于2013年1月同意将它的运营许可证延长10年至2022年（总运行寿命为40年）<sup>[83]</sup>。2014年4月，俄罗斯宣布，成功解决列宁格勒1号机组石墨膨胀（graphite swelling）问题的技术将用于解决所有大型RBMK机组的类似问题。

2014年版和2016年版红皮书高估预测大大低于2009年版和2011年版的相应预测。由于经济因素，新增容量计划在2008–2012年期间大幅度缩减，从而再次突显了



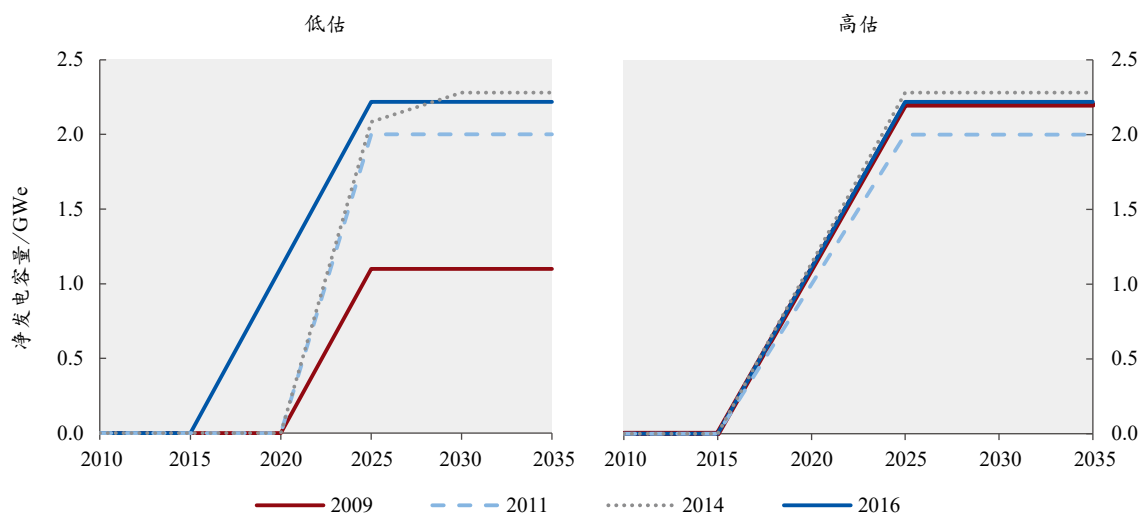


图32 白俄罗斯的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

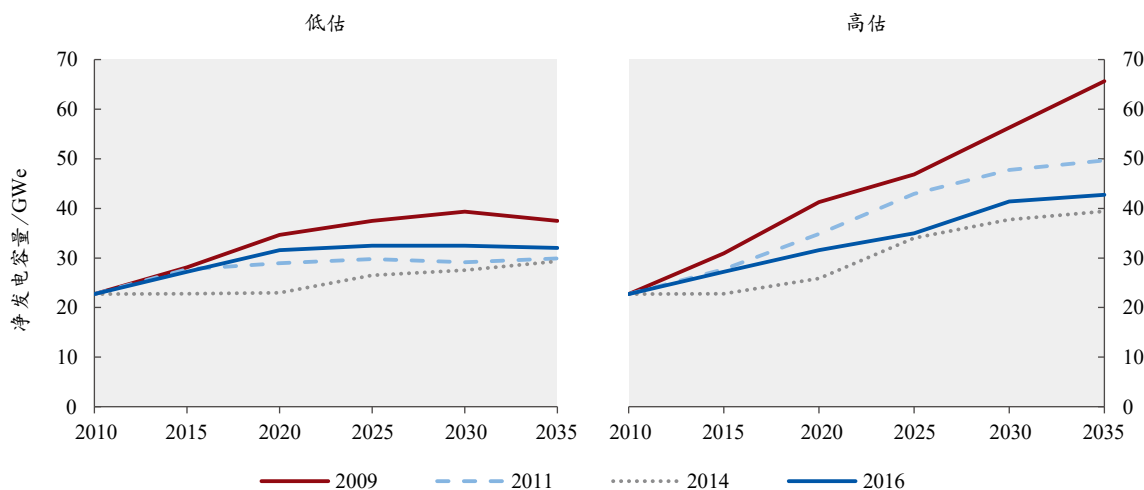


图33 俄罗斯的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

量化影响归因的难度。鉴于这种情况，低估预测的下降并不显著。

#### 4.5.4 瑞士

2007年，瑞士政府宣布，5个在运机组应在其运行寿命结束时更换成新的机组，并于2008年提出建造3座替代反应堆的建议。然而，在福岛第一核电站事故发生后，替代反应堆的项目突然终止。事故发生3天后，政府暂

停了审批程序，并下令对现有的5个在运机组进行安全检查<sup>[84]</sup>。同年晚些时候，内阁终止了替代反应堆的审批程序，并建议所有现有的5个机组在运行50年后关闭（即2019年至2034年）。

经过彻底的检查（欧盟压力测试加上国家测试项目），安全机构（瑞士联邦核安全监管局或ENSI）认为，在发生地震并接着发生水灾时，由于堆芯和燃料棒

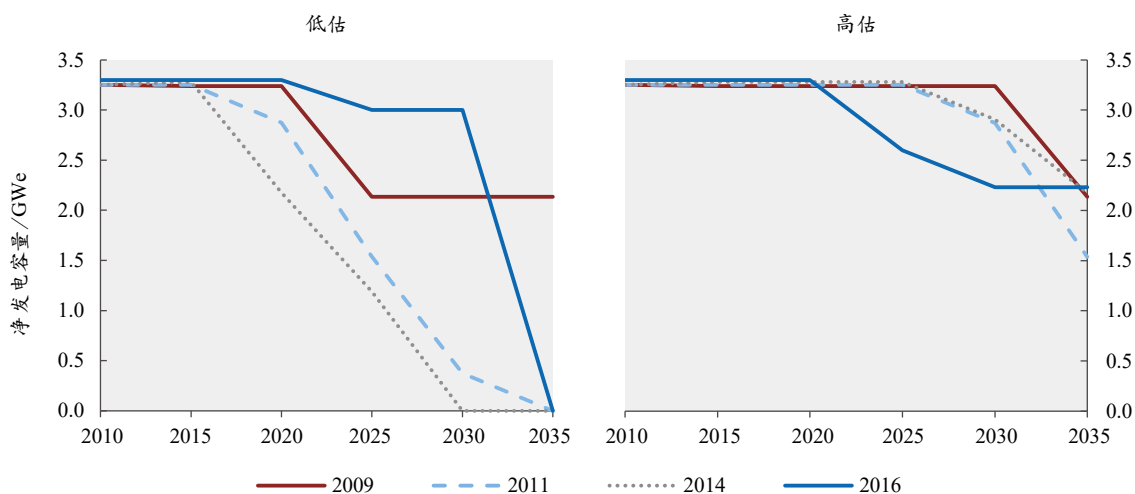


图34 瑞士的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

储存池的冷却系统仍将继续工作，所以发电厂可以继续运转。虽然如此，为了完成安全分析，安全机构提出了一系列要求，包括证明5个在运核电站已被充分保护，不会发生由极端天气引发的事故。

瑞士的5个在运机组（3.3 GWe）通常产生约35%~40%的全国电力，其中两个机组（贝茨瑙（Beznau）和戈斯根（Gösgen））也给当地供热。为确保瑞士在核电结束时仍然能够提供富有竞争力的有保障的电力供应，政府计划对能源系统进行分阶段改造。计划包括减少能源和电力消耗、增加可再生能源的份额以及引入热电联合火力发电厂，这些选项将用来填补退出核电带来的空白。扩大现有电网并使之现代化，也被认为是容纳来自各种可再生能源的增加容量输入的必要条件。

瑞士拟议的新能源政策（“能源战略2050”）包括了政府逐步淘汰核电的计划，经过一年的讨论，于2014年提交议会。法令草案将允许核电站运营商提出一个将其机组的运行寿命再延长10年的概念性计划。国家议会和联邦议会最初对核电退出计划意见不一，国家议会支持该计划，而联邦议会则持反对态度。最近的报告显示，2016年新一届的国家议会可能会更多地与联邦议会

保持一致，如果监管机构认为核电机组安全，新的国家议会则不太愿意对这些机组施加政策限制。2016年11月，关于更快退出核电的建议在一场全民公决投票中被选民拒绝了，而2017年5月，实施“能源战略2050”的立法将交由选民投票决定。

由于政治和法规环境的不确定性，2013年宣布米勒贝格（Mühleberg）机组将在2019年（而不是原计划的2022年）永久关闭<sup>[85]</sup>。该公告是在法律诉讼之后发布的，避免了该核电站在2013年被关闭。核电站业主计划从现在到2019年投资约2.25亿美元用于各种项目，包括实施一系列措施以改善冷却水供应和乏燃料储存池的冷却系统。据称，这些措施的实施将超过瑞士联邦核安全监管局规定的安全要求。

2015年初，瑞士联邦核安全监管局下令核电站运营商通过建立场外应急中心来加强场外应急措施，同时，必要的设备和人员应随时在场外做好准备，以便迅速应对紧急情况。截至2015年年底，核电站运营商必须向瑞士联邦核安全监管局提交文件，概述他们如何实施这些措施<sup>[86]</sup>。

在红皮书预测中，在低估预测中似乎可以看出日益提早的核电机组退出服务的可能性。



#### 4.5.5 土耳其

在福岛第一核电站事故发生后，土耳其政府表示，尽管存在区域地震危险性，政府仍决定继续推进其核电开发项目。土耳其快速发展的经济面临着电力需求的快速增长，而核能被视为满足电力需求的经济有效的手段，同时又减少温室气体的排放。利用像核电这样的国产能源来满足未来的能源需求，将有助于减少花在燃料进口上的多达600亿美元的年度支出，这些进口燃料目前提供全国70%的能源需求<sup>[88]</sup>。

在建设该国第一个核电站的投标失败后，土耳其于2009年与俄罗斯签署了一项政府间协议（IGA），拟在地中海沿岸的阿库尤（Akkuyu）场地按“建造-拥有-运营”模式建造4个VVER 1.2 GWe机组，估计将花费200亿美元。这项政府间协议是第一份按“建造-拥有-运营”模式拟定的，根据该协议的条款，俄罗斯将在核电站的整个运行寿命期间持有核电站所有权的大部分份额，并将提供新燃料、收回乏燃料以进行后处理、培训人员以及在运行寿命结束时对该设施做退出服务处置<sup>[88]</sup>。预计2014年开工建设，4个机组分别计划于2019年、2020年、2021年和2022年投入运营。然而，2015年有消息称，由于环境影响评估的两种译文版本的缺陷以及其他程序上的延误，工作已经

落后于计划至少18个月，而第一个机组可能直到2022年才会开始运行<sup>[89]</sup>。

为在黑海沿岸的锡诺普-因斯布伦（Sinop-Inceburun）场地建造第2个核电站，土耳其正在与能够提供核电机组的国家和公司进行谈判。政府已表明，其目标是使这个项目尽快开工建设，争取到2023年阿库尤和锡诺普两个核电站都能处于运行状态。据报道，2014年下半年，西屋公司、中国核工业集团公司和土耳其电力公司（Elektrik Üretim AŞ）已经签署了一项协议，拟开始独家谈判，在土耳其开发和建造一个拥有4个机组的核电站，现在计划在伊尼阿达（İgneada）附近。除了反应堆技术（可能是AP-1000或中国的CAP-1000和CAP-1400衍生产品），该协议还包括寿命周期活动，例如运营、燃料、维护、工程、电站服务以及退出服务<sup>[90]</sup>。

#### 4.5.6 乌克兰

乌克兰有15个在运机组（总装机容量净13.1 GWe），2015年，乌克兰的核电占总发电量的56%，因此，核电项目是国家电力供应的关键组成部分。乌克兰政府的能源战略要求核电份额从现在到2030年要保持目前的水平，即占国家发电总量的45%~50%。这预计需要新建12个机组，其中10个机组的装机容量约各为净

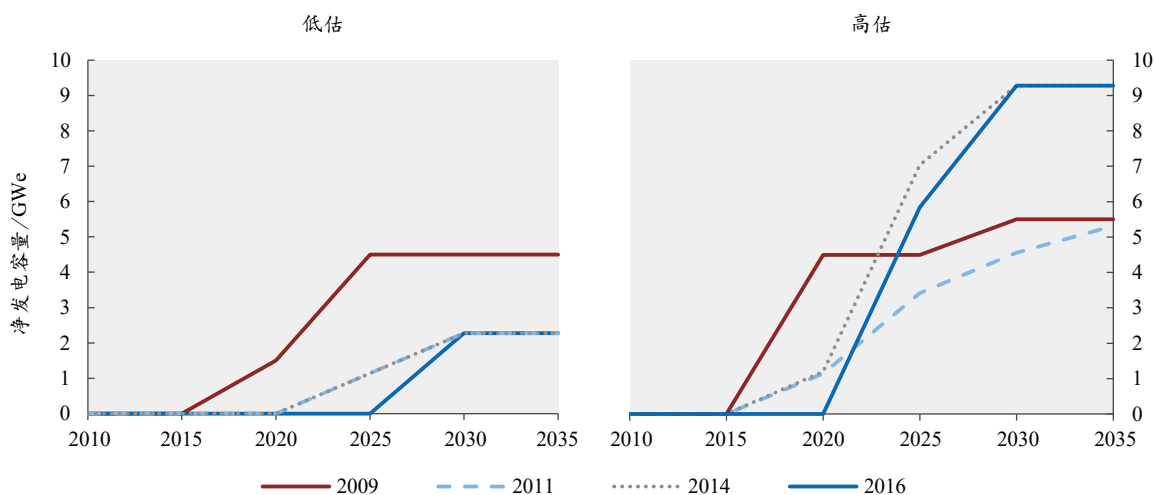


图35 土耳其的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》



1.5 GWe，同时延长现有机组的运行寿命。在福岛第一核电站事故发生后，没有迹象表明政府打算改变核能开发战略。

两个部分建成的机组（赫梅利尼茨基（Khmelnytskyi）3号和4号）将在完成后为电网增加总共1.9 GWe的发电量。这两个机组的建造始于1980年代中期，但在1990年暂停了。后来在2010年和2011年，乌克兰与俄罗斯签署了几个协议，后者拟为两个机组的设计、建造和投入服务提供资金<sup>[91]</sup>。完全建成这两个机组的工作预期将于2015年开始。但在2014年，乌克兰总理表示，乌克兰打算撤销与俄罗斯的协议，而寻求替代伙伴来完成这两个机组的建设工作<sup>[92]</sup>。2016年9月，乌克兰国家核电公司（Energoatom）和韩国水电与核电有限公司（KHNP）宣布，它们已经签署了谅解备忘录，将完成两个机组的建设<sup>[93]</sup>。

鉴于2015年的实际核能容量为13 GWe，红皮书的估计可能高了，但因为政府一直没有动摇对核电的支持，所以，从这点来看，红皮书的估计也是不矛盾的。

#### 4.5.7 该地区其他国家

阿尔巴尼亚据报一直在考虑建造核电机组，但在福岛第一核电站事故发生后，决定推迟这些计划，以便考虑部署核能可能造成的所有潜在的环境影响。

## 4.6 北美洲

### 4.6.1 加拿大

2015年，19个在运机组提供了加拿大全国发电量的17%，而对安大略省而言则是电力的50%以上，除了一个其他所有在运机组都位于安大略省。加拿大的所有反应堆均为坎杜（CANDU）型重水反应堆。

在福岛第一核电站事故发生后，安大略省政府表示，尽管2009年招标失败后建造新机组的计划已经暂停，但安大略省仍然致力于使核能占全省电力50%的政策。安大略省正在对一些优选出来的在运机组进行大规模的翻新工程，以便延长这些机组的运行寿命，但是，翻新机组的数目将取决于初始翻新项目的成本和效率。2016年1月，安大略电力公司，即皮克林（Pickering）和达灵顿（Darlington）核电站的运营商，宣布了对机组进行翻新的意向，并提交了许可证申请，拟将这两个核电站的运营分别延长至2024年和2055年<sup>[94]</sup>。

福岛第一核电站事故刚刚发生后，国家核监管机构，即加拿大核安全委员会（CNSC）的现场工作人员对加拿大的核电站进行了巡行检查，以核实运营商对外部危险和严重事故的应急准备。随后成立了一个加拿大核安全委员会工作组，对加拿大的所有核设施进行大规模安全检查，以审查核电站如何应对比以往准备的更大

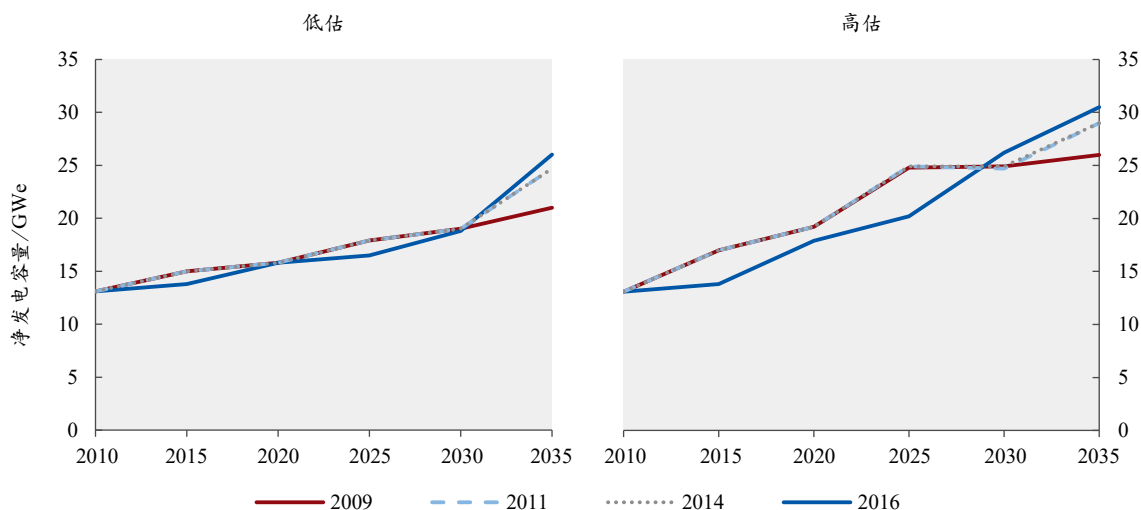


图36 乌克兰的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》



级别的外部事件，以及它们对这些事件的应对能力。工作组着重于严重的自然灾害，如地震、龙卷风或飓风，这些自然灾害可能导致电力长时间的损失，而这反过来又可能使核电站运营者无法继续冷却反应堆。工作组也提到了建立综合应对能力的必要性。2011年10月发布的工作组报告确认，加拿大的所有核设施都能够承受和应对所有可能的外部事件，如地震<sup>[95]</sup>。尽管如此，工作组仍建议，为了管控严重事故，应对某些设计进行改进，以防止未经过滤的放射性物质释放，以及加强对氢气和其他可燃气体的控制能力，此外还建议对设备和仪器的充足程度以及生存能力进行评估，并在可行的情况下进行改进。

在对公众咨询期间收到的所有公众和利益相关方的建议和意见以及两次独立检查的结果进行仔细考虑后，加拿大核安全委员会于2013年8月发布了关于福岛第一核电站事故经验教训的综合行动计划报告<sup>[96]</sup>。为了对工作组提出的13项建议做出处理，加拿大核安全委员会的工作重点是加强反应堆的深层防御，强化突发事件的应对，以及改善规章制度、沟通、公众咨询和国际合作。

这些行动和工作并没有导致任何机组的关闭，相反，却促使一些技术和程序得以应用，改善了安全状况和事故应对能力。据加拿大核安全委员会介绍，福岛第

一核电站事故导致了监管重点从事事故预防转向事故预防与减灾。其中工作组建议的一些增强措施已经实施，其他一些将在不久的将来完成。

2015年之后的加拿大红皮书预测是基于核能署/国际原子能机构的估计，而在2014年的文件中，则引用了安大略省政府在2013年取消达灵顿机组的计划以及在2020年使皮克林机组退出服务（现已被推迟）。

#### 4.6.2 墨西哥

在墨西哥唯一的拉克纳维尔德（Laguna Verde）核电站，对两个沸水堆机组（总容量为净1.4 GWe）进行了为期4年耗资6亿美元的翻新和升级项目。2015年这两个机组的发电量占了近7%的墨西哥全国发电量。在福岛第一核电站事故发生后，压力测试（类似于欧盟的压力测试）给出结论，核电站可以应付类似于发生在福岛第一核电站的事件。然而，墨西哥监管机构表示将继续执行国际上普遍采取的行动<sup>[97]</sup>。

2011年11月，能源部长宣布墨西哥已经放弃了扩大核能发电容量的计划，在高估情况下，根据这些计划，将增加多达10个新的机组<sup>[98]</sup>。虽然这个公告是在福岛第一核电站事故后发布的，但是对核电的兴趣下降更多与在墨西哥湾发现巨大天然气储备有关，而不是由于对核电的安全关切。这些天然气田的发现，据报已使政府改

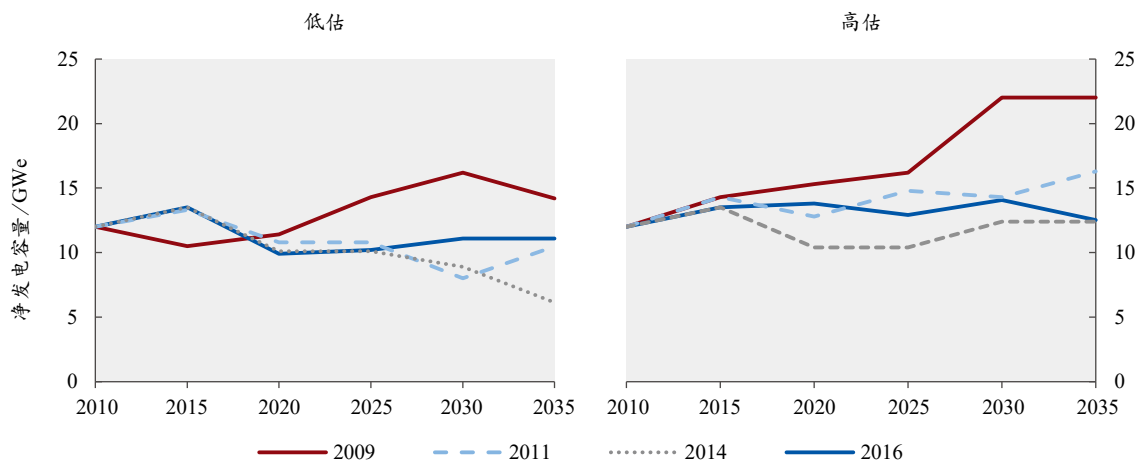


图37 加拿大的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》



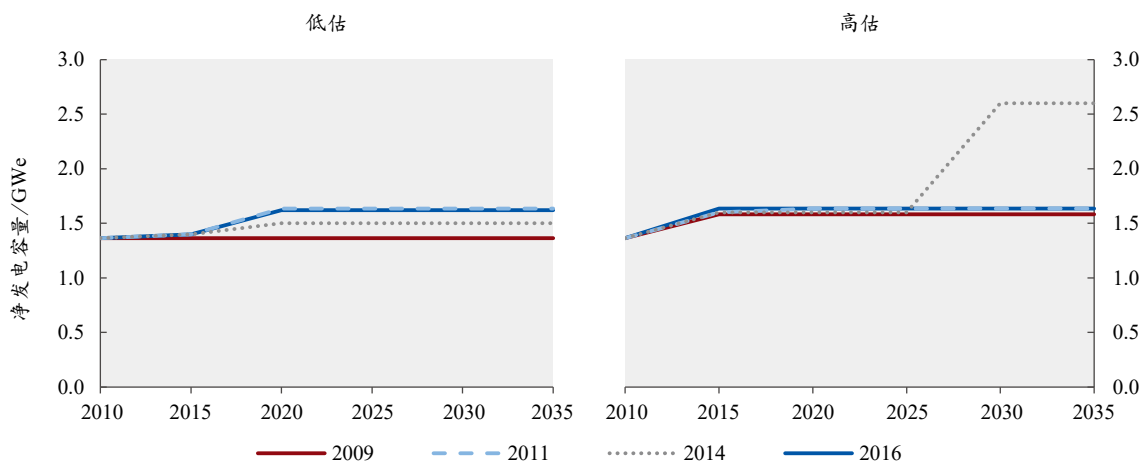


图38 墨西哥的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

变了以前所有关于能源的决定，以彰显天然气日益增加的重要性。2015年9月，能源部据称正在考虑增加核容量<sup>[99]</sup>。

#### 4.6.3 美国

在2015年，美国有99个在运机组，其发电量约占全国总发电量的19%。新建4个AP-1000机组（总共4.4 GWe）的工程于2013年正式开工，佐治亚州的瓦格托（Vogtle）和南卡罗来纳州的维吉尔萨默尔（Virgil C. Summer）各有两个，这些反应堆中的第一个预计将在2020年在每个场地投入运营。田纳西河谷管理局完成了田纳西州的瓦茨巴（Watts Bar）2号机组的建设工程，该项目于1988年停止后又于2007年恢复了建设，这个机组（1.2 GWe）于2016年开始了商业运营。

截至2016年8月，美国核管理委员会已经批准了100个在运机组中的82个额外运营20年的许可证延期（至总计60年的运行寿命），并正在审查另外12个机组的申请。美国核管理委员会的法规不限制许可证续延的次数，据报，该行业正在准备申请持续运营60年以上。

作为对福岛第一核电站事故的响应，美国核管理委员会和核工业立即采取协调一致的应对措施以及和长期安全有关的行动，以确保所有在运和计划要添加的机组的安全。经过这次安全检查，美国核管理委员会表示现

有核电机组可以继续安全运行。该委员会同时发出强化安全的命令，并且这些强化措施需要在2016年12月31日前完成。

核工业通过美国核能研究所制定了“多样灵活应变能力”（FLEX）策略，以减轻严重自然灾害的影响，并采取步骤迅速获得安全感。2012年实施的FLEX策略对于业界应对类似2001年9月11日发生的恐怖袭击是有指导意义的。

美国核管理委员会还为加强和整合现场应急能力提出了用于规则制定的语言。最终的规则可能涉及事故缓解策略、事故缓解程序的整合、事故期间指挥和控制作用的确认、进行演习和训练、培训以及将重大事故情况纳入为机组操作者进行的考试中。美国核管理委员会还通过总体化的风险管理规章制度计划来处理建议的某些方面，例如关于深层防御的潜在政策声明。

虽然始于福岛第一核电站事故之前，但2011年以来已有17个机组被宣布将要关闭，主要原因是市场价格和系统问题，但有时候维修成本也是原因之一。目前天然气的价格低廉，可再生能源享受财政激励计划，如生产税收减免和可再生能源组合标准，这些因素使得核电站在开放市场上竞争艰难。核电公司已强烈要求财政补贴，以补偿核电在提供无碳电力的基载电源方面作出的

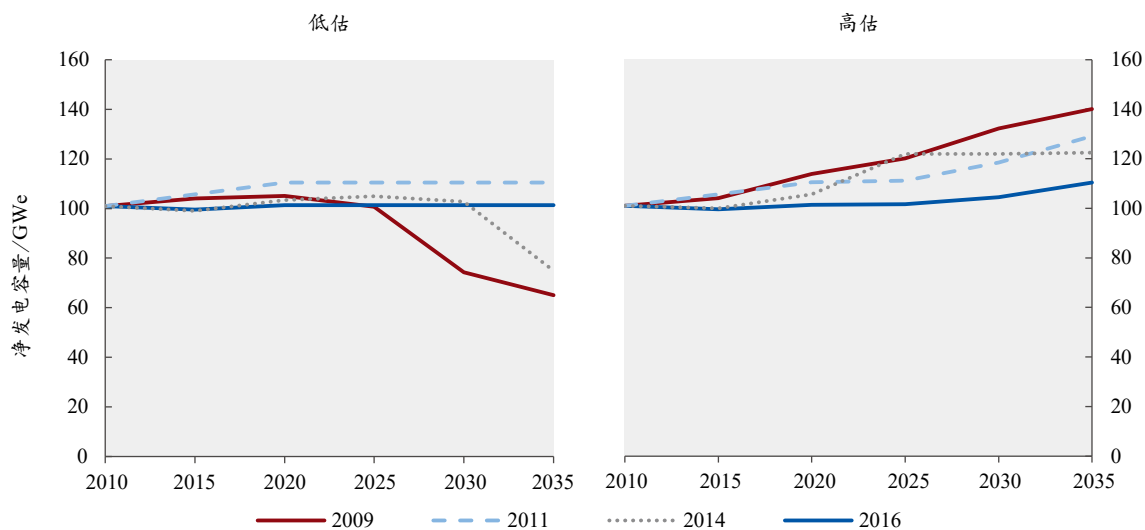


图39 美国的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

贡献。这一提议可能已开始发挥作用，因为纽约公共服务委员会最近批准了一项“清洁能源标准”议案，该议案肯定了核电等无排放电源所实现的无碳排放的价值<sup>[100]</sup>。伊利诺伊州在今年早些时候也采取了类似行动，以便使菲茨帕特里克（Fitzpatrick）和其他核电站继续运营，但这不包括印第安角（IndianPoint）核电站<sup>[101]</sup>。根据这个消息，好像17个预计关闭的机组中有4个将幸免。

## 4.7 中美洲和南美洲

### 4.7.1 阿根廷

3个在运加压重水堆机组（阿图查（Atucha）1号、2号和恩巴尔塞（Embalse），容量分别为 0.34 GWe，0.7 GWe和0.6 GWe）在2015年提供了全国电力生产的4.8%。恩巴尔塞机组（坎杜 6型）正在进行翻新，拟将电力输出增加约6%，并将机组的运行寿命延长25年。阿图查2号机组的建设工作早在1994年已停止，后在2006年又恢复了，最终于2014年完成。阿图查2号机组的建成预计将核能发电量提高到占全国总发电量的10%左右，不再需要燃烧15亿美元的石油用于发电<sup>[102]</sup>。2014年CAREM-25小型模块化机组的建设正式启动。这种在建中的国内设计的压水堆原型70%的组件和相关服务来

自于阿根廷的公司。

这些最新进展是2006年宣布的核电行业35亿美元的战略计划的一部分，旨在支持政府实现电力多元化、减少燃料进口和提升能源主权的目标，以解决电力行业的一些问题，包括需求上升。该计划包括完成阿图查2号机组的建设以及阿图查1号和恩巴尔塞机组的翻新。在燃料循环的前端（开采铀矿、转化、浓缩、燃料制造和重水生产）建立本国能力的计划也正在实施。在福岛第一核电站事故发生后，政府表示继续实施核能开发计划。

阿根廷政府正在考虑兴建另外两个机组以提供额外的发电容量。政府已经与加拿大、中国、法国、日本、韩国、俄罗斯和美国的一些可能的供应商进行了讨论。2014年，与俄罗斯签署了可能建设阿图查3号机组的合作协议，其中包括为该项目提供资金<sup>[103]</sup>。也是在2014年，还与中国核工业集团公司签署了一项协议，旨在建设阿图查3号加压重水堆，并包括长期贷款。该协议据报在2015年已发展成为一项商业框架协议，以指导与该机组建设有关的若干合同的制定。此外，阿根廷总统和中国国家主席之间还签署了一项合作协议，共同参与建造另一个机组，即ACP-1000<sup>[104]</sup>。据报该协议包括最大限度地使用当地的材料和服务，以及在机组的整个运行

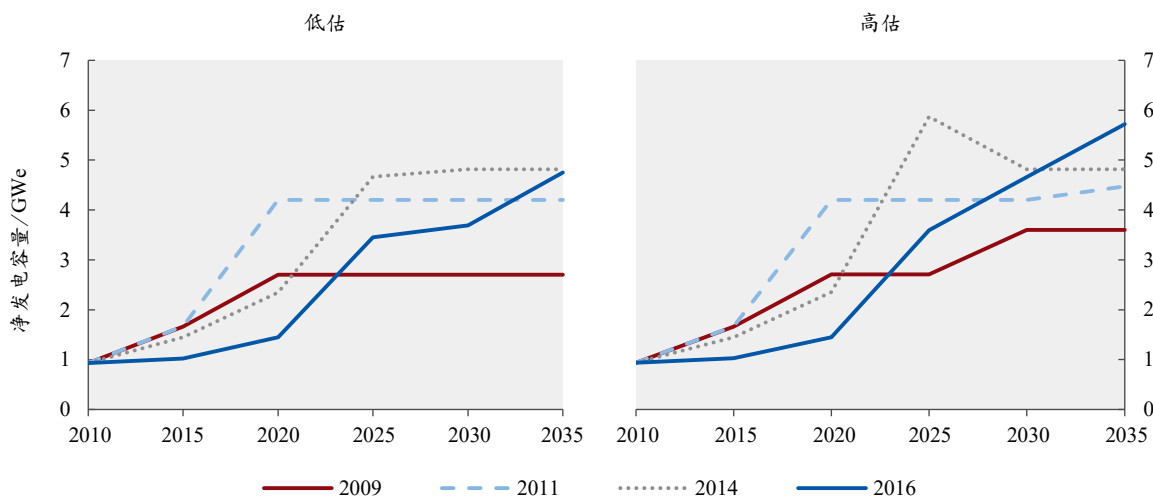


图40 阿根廷的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

寿命期间提供浓缩铀和燃料组分。

#### 4.7.2 巴西

在2015年，巴西有两个在运机组（安格拉(Angra) 1号和2号；容量分别为净0.6 GWe和净1.3 GWe），约占巴西发电量的3%。安格拉3号机组（净1.2 GWe）的建设项目于1986年暂停后，又于2010年重新启动，预计在2018年完成，这个项目价值51亿美元。

2012年，负责巴西核电站建设和运营的国有巴西核电公司（Electronuclear）发布了一份报告，报告指出，安格拉1号和2号机组现有的特点（例如安装在安全区域的二级应急备用电源系统和被动冷却系统）使其有能力应对像福岛第一核电站这样的事故。该报告是基于公司自己的安全检查，着重于应对核电站断电、水灾和火灾风险。尽管声称已经做好了准备，但核电站还计划采取额外的安全措施来增加对水灾的防御。另外，还加强了检查，并强化了行动纲领<sup>[105]</sup>。

2013年，宣布了一项价值1.5亿美元的“福岛应对计划”，其中包括30个研究课题和28个项目，该计划一直进行到2016年，旨在改善场地防护，防范各种风险，提高冷却能力，并减少在发生严重事故时潜在的放射性污染问题<sup>[106]</sup>。该应对计划的总成本包括前面提及的巴西核

电公司已经花费在提高安全性方面的4 000万美元。

巴西在很大程度上依赖水力发电（70%~75%），而水力发电被认为难以扩充、充满争议（特别是在亚马孙河流域）并且易受干旱影响，政府已将近期重点转移到安装其他可再生能源发电系统，以及略微增加燃烧煤炭和天然气的火力发电。在福岛第一核电站事故发生后，巴西政府仍继续实施其核电开发项目，但其进展速度已经放缓，而且扩充规模也缩小了<sup>[107]</sup>。尽管如此，政府还在考虑到2030年代初期建造另外4个机组（核电装机容量增加到6 GWe），以满足日益增长的电力需求。为了支持这一项目，巴西正在加强国内铀浓缩能力和燃料生产能力以及铀矿开采能力。这些活动的长期目标是满足巴西国内对核燃料日益增长的需求以及潜在的国际需求。

#### 4.7.3 该地区其他国家

目前还没有核电设施的一些国家一直在考虑开发这一能力，包括玻利维亚、智利、古巴、乌拉圭和委内瑞拉。2014年，玻利维亚总统宣布已成立一个高级别委员会来监督该国核电机组的开发，并在接下来的几个月内与阿根廷、法国和俄罗斯签署了核合作协定。考虑到智利有发生强烈地震的风险，政府在福岛第一核电站事故

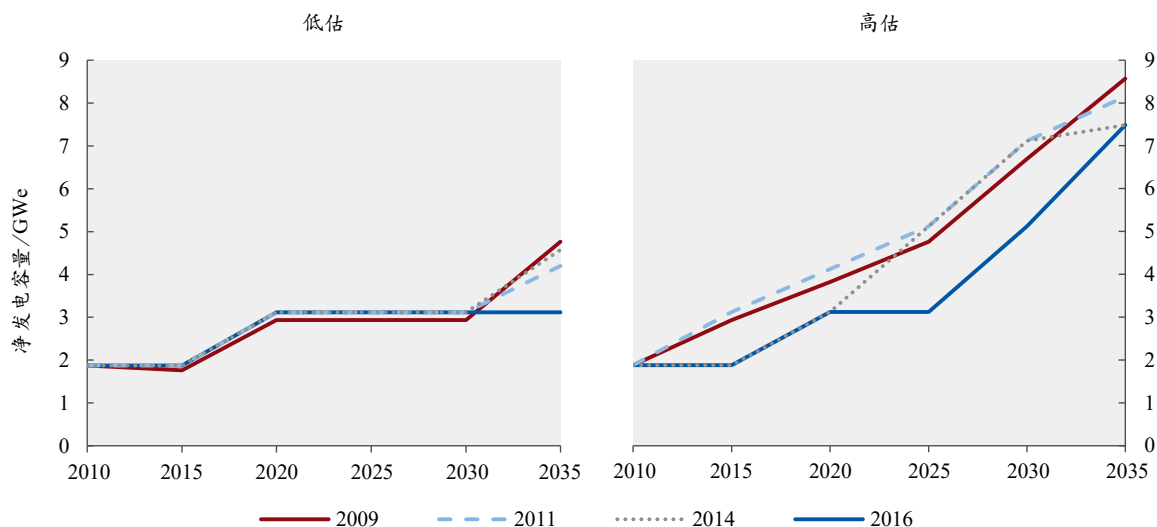


图41 巴西的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

发生后宣布将重新考虑核能开发，同时监测日本当局对事故的应对。委内瑞拉据报也搁置了其核能开发计划。乌拉圭最近通过的立法将促进可再生能源的开发，至少暂时搁置其核能开发计划。

## 4.8 非洲

### 4.8.1 南非

在非洲大陆唯一的两个机组位于南非。2015年，这两个机组（库贝赫（Koeberg）1号和2号）占南非全国总发电量的5%左右。燃煤火力发电厂占主导地位，其发电量占全国的90%左右。为了满足不断上涨的电力需求，解决难以根除且代价高的电力短缺，以及减少碳排放，南非国有电力公司Eskom（生产南非约95%的电力）早在2007年就开始计划建设多达12个机组。

在福岛第一核电站事故发生后，政府表示会重新考虑其核能开发计划，并重新评估其核设施的安全。在国际原子能机构的协助下，南非进行了类似于欧盟的压力测试。这些测试结果表明，现有核设施（小型Safari 1材料测试反应堆，医疗放射性同位素生成器和库贝赫核电站）设计合理，维护恰当，运行充分，没有任何发现表明有必要限制这些核设施的运行或质疑其设计<sup>[108]</sup>。为了进一步减少基本设计之外的风险，已经找出了一些可以

改进的地方，主要是关于应对严重事故所需设备的测试和管理，以及对基本设计之外的事件是否有健全的事故措施和应急计划安排。库贝赫核电站的设计十分完善，能够承受潜在的地震和海啸引起的洪水的袭击。根据压力测试结果，南非政府表示，深信核能仍然是其能源战略的必要组成部分，并宣布了将库贝赫核电站的使用寿命从30年延长至40年的计划。

2011年，南非政府批准了2010综合资源计划（IRP），计划增加对核能发电容量的依赖以及开发可再生能源发电容量。根据该计划，将增加9.6 GWe核能发电容量，并且第一个机组于2023年开始运营，这样至2030年核能发电量将增加到全国总量的23%。发电容量的增长还包括燃气火力发电和可再生能源的增加，除了满足需求还能减少对燃煤火力发电的依赖，尽管如此，到2030年煤炭仍将担负南非一半发电量的重任。综合资源计划还包括通过节能措施降低需求的条款。

虽然有争议，但综合资源计划仍然是政府的政策，只是已经被推迟。2013年下半年，经修订的综合资源计划发布了较低的能源需求预测，这表明直到2025年才需要增加核能发电份额。然而，政府重申将致力于提高核能发电容量，能源部于2015年12月获得内阁批准，要

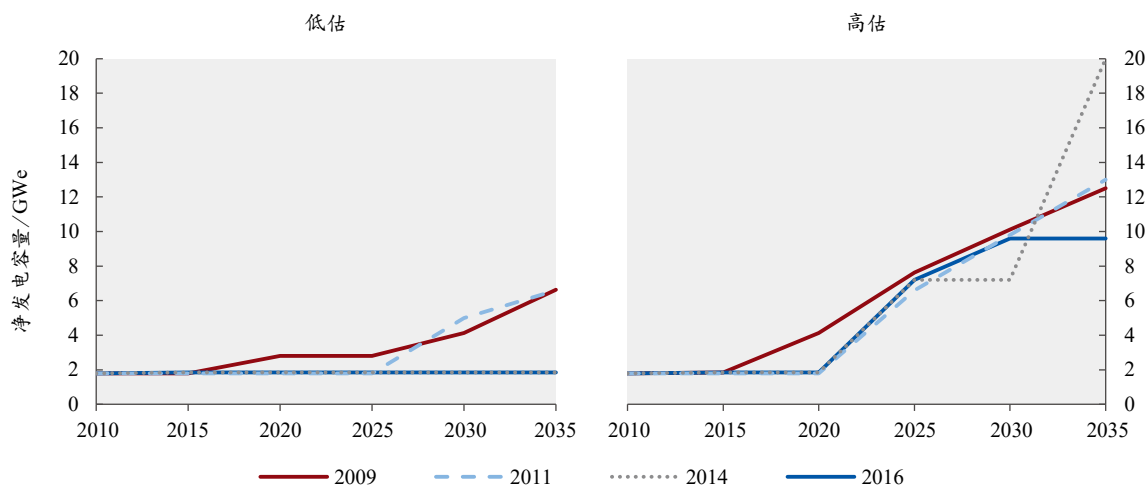


图42 南非的核能容量：长期预测的变化

来源：2009年、2011年、2014年和2016年版《铀：资源、生产和需求》

求提交新增高达9.6 GWe核能容量的提案<sup>[109]</sup>。2016年11月，由于对电力需求的预测较低以及对政府预算赤字的担忧，能源部宣布将放慢建设速度，到2037年第一个机组上线，到2050年新增容量20 GWe<sup>[110]</sup>。

#### 4.8.2 该地区其他国家

尽管目前非洲没有其他国家有核电站，但有几个国家已表示有兴趣在最近几年开发核能发电和海水淡化，包括阿尔及利亚、埃及、加纳、肯尼亚、摩洛哥、纳米比亚、尼日尔、尼日利亚、突尼斯和乌干达。在福岛第一核电站事故发生后，埃及和尼日利亚都重申计划安装核能发电，埃及最近与俄罗斯签署了一项协议<sup>[64]</sup>，而尼日利亚政府宣布计划添加1 ~ 4 GWe的核能容量（Vanguard文章）。2016年4月，国际原子能机构就肯尼亚建造第一个核电站的进展情况发布了“综合核基础设施审查”（INIR）最终报告，同时肯尼亚政府又重申了对部署核电的支持。加纳于2012年成立了加纳核电项目组织（GNPPO），以领导该国核电项目的开发，其议会于2015年通过了立法，成立了核监管机构。加纳计划在2018年决定是否部署核电，在此之前，政府期望国际原子能机构能够在2017年对加纳进行综合核基础设施审查<sup>[111,112]</sup>。

2012年，非洲联盟设立的协调和促进非洲核能开发委员会开始全面运作。南非同意将非洲核能委员会（AFCONE）设在比勒陀利亚。

## 5 结论

福岛第一核电站事故影响了能源政策和一些项目的实施，正如预期的那样，这些影响在日本尤为严重。日本所有的机组最终都停止运营，并通过新成立的核监管局审查。截至2016年9月，5个机组已被允许在新的监管框架下重新启动，但目前仅有3个机组处于运营状态。2015年，日本政府采取了一项核能政策，拟至2030年使核能占日本发电量的20%~22%。这是该国基于核电持续的重要性而做出的坚定承诺。然而，日本2010年第3个能源基本计划提出的是至2030年达到大约50%的核能份额，鉴于上述情况，很显然福岛事故是有影响的。

除日本之外，目前拥有核电站的大多数国家都对其核电站进行了全面的安全评估。欧盟要求对其成员国的所有机组进行正式检查（或称“压力测试”），一些邻国也参加了。美国对其在运机组实施了类似的正式检查程序。检查结果显示，没有任何机组由于安全原因被关





闭，但却找到了一些需要改进的地方。

在政策方面，欧洲国家强化了原有计划。比利时和德国原本就有核逐步淘汰计划，福岛事故后加速了这些计划。其他欧洲国家则重申了其核能的承诺，那些积极追求增加核容量的国家或者坚持其原来承诺，或者在某些情况下提高了将来的规划（例如芬兰、匈牙利、波兰和土耳其）。意大利是个例外，事故前政府正在大力推动重建核能，但在事故发生几个月后举行了具有约束力的全民公决，之后完全放弃了这些计划。经过至关重要的公开辩论，法国在2015年通过了一项法律，将核容量限制在目前的水平。这次辩论及其结果肯定在一定程度上受到发生在日本的事件的影响。

亚洲也出现了类似的趋势，尽管公众对核能的想法遭受了负面影响，但大多数国家仍然保持着先前对核能的立场。除日本外，另一个实实在在的例外是中国台湾。中国台湾决定逐步淘汰其6个在运机组，并封存一个新建成的和一个基本建成的机组。这些核电站的施工已经停止了两年，等待尚未举行的全民公决，全民公决将决定其最终命运。

世界其他地区几乎没有什么重大变化。除了耗资引入额外的安全设备外，在美洲没有发现任何与现有核电站或在建核电站有关联的影响。在中东和非洲，我们只看到核能计划和核电站建设的增加。

通过2011年3月之前和之后的长期预测，我们会得到一个量化指标用于衡量已发生的变化，但有一些因素却导致很难为这些变化进行归因。例如，2007年至2009年发生了一些无关的区域金融危机，造成了全球经济衰退。这个新的经济环境使一些国家和公司对耗资巨大且

需资本密集型支出的核能部署计划进行了重新评估。其后一段时间，人们对于核能扩张具有相当乐观的预测，这段时间一直持续到2011年的《铀：资源、生产和需求》出版。随着时间的推移，许多预测也有一个显著的“滞后”，可能是以下两个原因，第一，对核电机组的选址、许可证申请以及建设所需时间的估计偏于乐观，第二，由于进行全系统的安全和风险评估，核能开发项目被搁置所造成的延误。

总的来说，在日本以外地区，能源政策似乎没有发生什么最终的变化，特别是可以量化的、直接归因于福岛第一核电站事故的变化。一般来说，以前对核电有承诺的国家仍然有承诺，以前有计划逐步淘汰核电的国家则加快了淘汰步伐。一些以前好像积极考虑采用核电的国家推迟做出最终决定。然而，自2011年3月以来的6年中，经济和市场因素、环境或气候变化目标以及自然资源的制约似乎是核能部署决策和规划的更大推动因素。

#### 致谢

本报告是核能署核能开发与核燃料循环技术经济研究委员会主持撰写的。由前任和现任核能署核能开发处工作人员罗伯特·万斯（Robert Vance）先生和大卫·亨德森（David Henderson）先生起草，内容来自于新闻报道、新闻公报和各成员国在两个系列出版物《铀：资源、生产和需求》以及《核能数据》里的投稿，前者还包括国际原子能机构成员国提供的数据。关于装机容量信息主要来自于国际原子能机构动力堆信息系统（PRIS）。劳里·摩尔（Laurie Moore）先生在报告编写过程中提供了编辑方面的协助，在此也表示感谢。

#### 参考文献

- [2] Parungao, B. (2014), Post-tsunami Deaths due to Stress, Illness Outnumber Disaster Toll in Fukushima (web page), Japan Today, [www.japantoday.com/category/national/view/posttsunami-deaths-due-to-stress-illness-outnumber-disaster-toll-in-fukushima](http://www.japantoday.com/category/national/view/posttsunami-deaths-due-to-stress-illness-outnumber-disaster-toll-in-fukushima).
- [3] Flores, S. (2016), Five Years on, Fukushima Evacuees Voice Lingering Anger, Fear and Distrust (web page), Japan

Times, <http://japantimes.co.jp/community/2016/03/09/voices/five-years-fukushima-evacuees-voice-lingering-anger-fear-distrust/#.v-o74e196uk>.

- [4] NEA (2015), The Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident: OECD/NEA Nuclear Safety Response and Lessons Learnt, OECD, Paris, [www.oecd-nea.org/pub/2013/7161-fukushima2013.pdf](http://www.oecd-nea.org/pub/2013/7161-fukushima2013.pdf).

- [5] UNSCEAR (2014), “Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-



Japan earthquake and tsunami” , in *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation*, United Nations, New York.

[6] Zhang, H. and S. Zhao (2013), China Moves Cautiously Ahead on Nuclear Energy (web page), Bulletin of the Atomic Scientists, <http://thebulletin.org/china-moves-cautiously-ahead-nuclear-energy>.

[7] Henry, R. (2015), Nuclear Plants Delayed in China, Watched Closely by US Firms (web page), PennEnergy, [www.pennenergy.com/articles/pennenergy/2015/02/nuclear-power-plants-delayed-in-china-watched-closely-by-us-firms.html](http://www.pennenergy.com/articles/pennenergy/2015/02/nuclear-power-plants-delayed-in-china-watched-closely-by-us-firms.html).

[8] Stanway, D. (2014), China Says First Westinghouse Reactor Delayed at Least Until End-2015 (web page), Reuters, <http://uk.reuters.com/article/2014/07/18/china-nuclear-ap-idUKL4N0PT0T820140718>.

[9] WNA (2015a), Nuclear Power in Taiwan (web page), [www.world-nuclear.org/info/countryprofiles/others/nuclear-power-in-taiwan](http://www.world-nuclear.org/info/countryprofiles/others/nuclear-power-in-taiwan).

[10] WNN (2014a), Political Discord Places Lungmen on Hold (web page), [www.world-nuclearnews.org/NN-Political-discord-places-Lungmen-on-hold-2804144.html](http://www.world-nuclearnews.org/NN-Political-discord-places-Lungmen-on-hold-2804144.html).

[11] ENSREG (2013), EU Peer Review Report of the Taiwanese Stress Tests, ENSREG, Brussels.

[12] Hsu, J.W. (2013), Taiwan Faces Referendum Meltdown (web page), Wall Street Journal, <http://blogs.wsj.com/chinarealtime/2013/03/07/taiwan-faces-meltdown-over-nuclearreferendum>.

[13] Crane, B. (2014), Taiwan's Nuclear Future and Authoritarian Past (web page), Diplomat, <http://thediplomat.com/2014/05/taiwans-nuclear-future-and-authoritarian-past>.

[14] Taiwan Today (2015), Taiwan Seals Lungmen No.1 Nuclear Reactor (web page), [www.taiwantoday.tw/ct.asp?xItem=232105&ctNode=445](http://www.taiwantoday.tw/ct.asp?xItem=232105&ctNode=445).

[15] METI (2014), *Basic Energy Plan*, METI, [www.meti.go.jp/english/press/2014/0411\\_02.html](http://www.meti.go.jp/english/press/2014/0411_02.html). Milne, R. (2016), Finland Raises its Bet on Nuclear Power (web page), Financial Times, [www.ft.com/cms/s/0/909e2980-2740-11e6-8ba3-cdd781d02d89.html](http://www.ft.com/cms/s/0/909e2980-2740-11e6-8ba3-cdd781d02d89.html).

[16] Tsukimori, O. (2015), Japan Body Approves Plan for Nuclear to Generate 20-22% of Power (web page), Reuters, [www.reuters.com/article/2015/06/01/japan-nuclear-mix-idUSL3N0YN1SV20150601](http://www.reuters.com/article/2015/06/01/japan-nuclear-mix-idUSL3N0YN1SV20150601).

[17] Watanabe, C. (2015), Japan Confirms Nuclear Energy to Supply a Fifth of Power by 2030 (web page), Bloomberg, [www.bloomberg.com/news/articles/2015-07-16/japan-confirms-nuclear-energy-to-supply-a-fifth-of-power-by-2030](http://www.bloomberg.com/news/articles/2015-07-16/japan-confirms-nuclear-energy-to-supply-a-fifth-of-power-by-2030).

[18] Miyazawa, Y. (2015), Japan Needs 35 Nuclear Reactors Operating by 2030, Says Industry Minister (web page), The Asahi Shimbun, [http://ajw.asahi.com/article/behind\\_news/politics/AJ201506110038](http://ajw.asahi.com/article/behind_news/politics/AJ201506110038).

[19] Cunningham, N. (2015), A Return to Nuclear May be Japan's Only Option (web page), Oil Price, [http://oilprice.com/Alternative-Energy/Nuclear-Power/A-Return-To-Nuclear-May-](http://oilprice.com/Alternative-Energy/Nuclear-Power/A-Return-To-Nuclear-May-Be-Japans-Only-Option.html)

[Be-Japans-Only-Option.html](http://Be-Japans-Only-Option.html).

[20] WNN (2015b), Early Retirement for Kori 1 (web page), [www.world-nuclear-news.org/C-Earlyretirement-for-Kori-1-1606151.html](http://www.world-nuclear-news.org/C-Earlyretirement-for-Kori-1-1606151.html).

[21] WNN (2016a), Japanese Institute Sees 19 Reactor Restarts by March 2018 (web page), [www.world-nuclear-news.org/np-japanese-institute-sees-19-reactor-restarts-by-march-2018-2807164.html](http://www.world-nuclear-news.org/np-japanese-institute-sees-19-reactor-restarts-by-march-2018-2807164.html).

[22] WNN (2016b), Takahama Units Cleared for Extended Operation (web page), [www.worldnuclear-news.org/RS-Takahama-units-cleared-for-extended-operation-2006165.html](http://www.worldnuclear-news.org/RS-Takahama-units-cleared-for-extended-operation-2006165.html).

[23] Young-won, K. (2014), KHNP Tightens Safety for Nuclear Plants (web page), The Korea Herald, [www.koreaherald.com/view.php?ud=20140304001220](http://www.koreaherald.com/view.php?ud=20140304001220).

[24] Park, S. and H. Lee (2013), Falsified Reports after Fukushima Fan Anti-Nuclear Korea (web page), Bloomberg News, [www.bloomberg.com/news/articles/2013-08-08/false-reports-after-fukushima-bolster-anti-nuclear-korea-energy](http://www.bloomberg.com/news/articles/2013-08-08/false-reports-after-fukushima-bolster-anti-nuclear-korea-energy).

[25] WNN (2015d), Two Oldest Doel Units Cleared for Restart (web page), [www.world-nuclearnews.org/rs-two-oldest-doel-units-cleared-for-restart-2312155.html](http://www.world-nuclearnews.org/rs-two-oldest-doel-units-cleared-for-restart-2312155.html).

[26] Cho, M. (2015a), Hacking of Korea's Nuclear Operator Raises Risk of Ageing Reactor Closures (web page), Reuters, [www.reuters.com/article/2015/01/12/southkorea-nuclear-reactoridusl3n0uk26n20150112](http://www.reuters.com/article/2015/01/12/southkorea-nuclear-reactoridusl3n0uk26n20150112).

[27] Cho, M. (2015b), UPDATE 1-S.Korea's Nuclear Watchdog Approves Restart of Second-Oldest Reactor (web page), Reuters, [www.reuters.com/article/2015/02/26/southkorea-nuclearidusl4n0w058d20150226](http://www.reuters.com/article/2015/02/26/southkorea-nuclearidusl4n0w058d20150226).

[28] Cho, M. (2015c), UPDATE 1-S.Korea Axes Four Coals Plants, Plans Two New Nuclear Units (web page), Reuters, [www.reuters.com/article/2015/06/08/energy-southkorea-nuclearidusl3n0yu0aj20150608](http://www.reuters.com/article/2015/06/08/energy-southkorea-nuclearidusl3n0yu0aj20150608).

[29] Kamaldin, C. (2010), Fukushima didn't Affect Singapore's Decision (web page), Asia One News, [www.asiaone.com/news/latest%2bnews/singapore/story/a1story20121025-379605.html](http://www.asiaone.com/news/latest%2bnews/singapore/story/a1story20121025-379605.html).

[30] Zaragoza, C. (2013a), Malaysia Nuclear Plan Delayed (web page), Energy Tribune, [www.energytribune.com/70756/malaysia-nuclear-plan-delayed-2#sthash.s1xaheky.dpbs](http://www.energytribune.com/70756/malaysia-nuclear-plan-delayed-2#sthash.s1xaheky.dpbs).

[31] Anon (2012a), Government Scales Down Nuclear Plan (web page), Pattaya Mail, [www.pattayamail.com/business/govt-scales-down-nuclear-plan-13583](http://www.pattayamail.com/business/govt-scales-down-nuclear-plan-13583).

[32] Wiriyapong, N. (2016), Nuclear Still in the Mix, but 21 Years Away (web page), Bangkok Post, [www.bangkokpost.com/print/476349](http://www.bangkokpost.com/print/476349).

[33] Daly, J.C.K. (2013), Never Mind Fukushima – Vietnam to Embrace Nuclear Power (web page), Oilprice, <http://oilprice.com/Alternative-Energy/Nuclear-Power/Never-Mind-Fukushima-Vietnam-to-Embrace-Nuclear-Power.html>.

[34] Trong Khanh, V. (2015), Vietnam's Slowing Growth and Safety Concerns Delay Nuclear Plans (web page), The Wall Street Journal, <http://blogs.wsj.com/frontiers/2015/01/23/>



vietnamsslowing-growth-and-safety-concerns-delay-nuclear-plans.

[35] Trong Khanh, V. (2016), Vietnam Scraps Plans for its First Nuclear Power Plants (web page), The Wall Street Journal, [www.wsj.com/articles/vietnam-scraps-plans-for-its-first-nuclearpower-plants-1478754942](http://www.wsj.com/articles/vietnam-scraps-plans-for-its-first-nuclearpower-plants-1478754942).

[36] Anon (2012c), Cambodia has no Plan to Build Nuclear Power Plant for Now (web page), Xinhau, [www.ccfcbodge.org/en/single-news/n/cambodia-has-no-plan-to-build-nuclear-powerplant-for-now](http://www.ccfcbodge.org/en/single-news/n/cambodia-has-no-plan-to-build-nuclear-powerplant-for-now).

[37] WNA (2015b), Nuclear Power in Bangladesh (web page), [www.world-nuclear.org/info/countryprofiles/countries-a-f/bangladesh](http://www.world-nuclear.org/info/countryprofiles/countries-a-f/bangladesh).

[38] Anon (2011), Bangladesh Agrees Nuclear Power Deal with Russia (web page), BBC News, [www.bbc.com/news/world-asia-15552687](http://www.bbc.com/news/world-asia-15552687).

[39] EIA (2014), India is Increasingly Dependent on Imported Fossil Fuels as Demand Continues to Rise (web page), [www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=17551](http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=17551).

[40] Mazumdar, S. (2014), Power Shortages Hamper India's Manufacturing (web page), Deutsche Welle, [www.dw.com/en/power-shortages-hamper-indias-manufacturing/a-17816508](http://www.dw.com/en/power-shortages-hamper-indias-manufacturing/a-17816508).

[41] Verma, R. (2011), India Safety Response to Fukushima (web page), World Nuclear News, [www.world-nuclear-news.org/rs\\_indian\\_safety\\_response\\_to\\_fukushima\\_2607111.html](http://www.world-nuclear-news.org/rs_indian_safety_response_to_fukushima_2607111.html).

[42] Basu, N. (2014), Russia to Help India Build 12 Nuclear Reactors (web page), Business Standard, [www.business-standard.com/article/economy-policy/russia-to-set-up-12-nuclear-units-inindia-114121101063\\_1.html](http://www.business-standard.com/article/economy-policy/russia-to-set-up-12-nuclear-units-inindia-114121101063_1.html).

[43] IAEA (2015), IAEA Mission Concludes Peer Review of India's Nuclear Regulatory Framework (web page), [www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-mission-concludes-peer-reviewindias-nuclear-regulatory-framework](http://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-mission-concludes-peer-reviewindias-nuclear-regulatory-framework).

[44] WNN (2014b), Russia, Iran Discuss Further Reactors (web page), [www.world-nuclearnews.org/NN-Russia-Iran-discuss-further-reactors-1403144.html](http://www.world-nuclearnews.org/NN-Russia-Iran-discuss-further-reactors-1403144.html).

[45] Anon (2013), Iran Designates 16 Nuclear Power Sites: AEOI (web page), Press TV, [www.presstv.com/detail/2013/02/23/290389/iran-to-build-16-nuclear-power-plants](http://www.presstv.com/detail/2013/02/23/290389/iran-to-build-16-nuclear-power-plants).

[46] McNeil, S. (2015), Jordan, Russia Sign \$10 Billion Deal on Nuclear Power Plant (web page), Associated Press, <http://abcnews.go.com/International/wireStory/jordan-russia-sign-10-billion-deal-nuclear-reactors-29874766>.

[47] Al-Khalidi, S. (2015), Jordan Signs \$10 Billion Nuclear Power Plant Deal with Russia (web page), [www.reuters.com/article/us-jordan-nuclear-russia-iduskbn0mk2qd20150324](http://www.reuters.com/article/us-jordan-nuclear-russia-iduskbn0mk2qd20150324).

[48] Rosatom (2014), Kazakhstan and Russia Initialled the Draft Intergovernmental Agreement on Construction and Operation of a Nuclear Power Plant (web page), Rosatom, [www.rosatom.ru/en/presscentre/news/aa8f420045abb17a9a95dec6337914b1](http://www.rosatom.ru/en/presscentre/news/aa8f420045abb17a9a95dec6337914b1).

[49] Masood, S. and C. Buckley (2013), Pakistan Breaks

Ground on Nuclear Project with China (web page), The New York Times, [www.nytimes.com/2013/11/27/world/asia/pakistan-breaks-ground-on-nuclear-power-plant-project-with-china.html?hpw&rref=science&r=0](http://www.nytimes.com/2013/11/27/world/asia/pakistan-breaks-ground-on-nuclear-power-plant-project-with-china.html?hpw&rref=science&r=0).

[50] PNRA and PAEC (2012), "Convention on Nuclear Safety: Special National Report by the Government of the Islamic Republic of Pakistan for Second Extraordinary Meeting", prepared by the Pakistan Nuclear Regulatory Authority and the Pakistan Atomic Energy Commission.

[51] Wang, B. (2013), Pakistan Expanding Commercial Nuclear Energy with 6 More Power Plant Locations (web page), The Next Big Future, <http://nextbigfuture.com/2013/11/pakistanexpanding-commercial-nuclear.html>.

[52] Craig, T. (2013), Outcry and Fear as Pakistan Builds New Nuclear Reactors in Dangerous Karachi (web page), The Washington Post, [www.washingtonpost.com/world/asia\\_pacific/outcry-and-fear-as-pakistan-builds-new-nuclear-reactors-in-dangerouskarachi/2015/03/05/425e8e70-bc59-11e4-9dfb-03366e719af8\\_story.html](http://www.washingtonpost.com/world/asia_pacific/outcry-and-fear-as-pakistan-builds-new-nuclear-reactors-in-dangerouskarachi/2015/03/05/425e8e70-bc59-11e4-9dfb-03366e719af8_story.html).

[53] WNN (2015c), Pakistan Breaks Ground for New Karachi Units (web page), [www.world-nuclearnews.org/nn-pakistan-breaks-ground-for-new-karachi-units-21081501.html](http://www.world-nuclearnews.org/nn-pakistan-breaks-ground-for-new-karachi-units-21081501.html).

[54] AFP (2012), No End in Sight for Pakistan's Energy Crisis (web page), The Express Tribune, <http://tribune.com.pk/story/419175/no-end-in-sight-for-pakistans-energy-crisis>.

[55] Conca, J. (2014), Saudi Arabia Fast-tracks Nuclear Power (web page), Forbes, [www.forbes.com/sites/jamesconca/2014/09/08/saudi-arabia-fast-tracks-nuclear-power](http://www.forbes.com/sites/jamesconca/2014/09/08/saudi-arabia-fast-tracks-nuclear-power).

[56] WNA (2015c), Nuclear Power in Saudi Arabia (web page), [www.world-nuclear.org/info/countryprofiles/countries-o-s/saudi-arabia](http://www.world-nuclear.org/info/countryprofiles/countries-o-s/saudi-arabia).

[57] Shamseddine, R. (2015), Saudi Arabia's Nuclear, Renewable Energy Plans Pushed Back (web page), Reuters, [www.reuters.com/article/2015/01/19/saudi-nuclear-energy-idUSL6N0UY2LS20150119](http://www.reuters.com/article/2015/01/19/saudi-nuclear-energy-idUSL6N0UY2LS20150119).

[58] Zeller, T. (2015), Saudi Arabia's Abdullah Leaves Behind Unrealized Renewable and Nuclear Power Ambitions (web page), Forbes, [www.forbes.com/sites/tomzeller/2015/01/23/saudi-arabias-abdullah-leaves-behind-unrealized-renewable-and-nuclear-power-ambitions](http://www.forbes.com/sites/tomzeller/2015/01/23/saudi-arabias-abdullah-leaves-behind-unrealized-renewable-and-nuclear-power-ambitions).

[59] ENEC (2010), UAE in \$20 Billion Nuclear Deal with South Korea (web page), [www.abudhabi.ae/portal/public/en/abu\\_dhabi\\_emirate/government/news/news\\_detail?docname=adegp\\_df\\_149312\\_en&\\_adf.ctrl-state=1aqdjjznev4&\\_afloop=1678480114483436](http://www.abudhabi.ae/portal/public/en/abu_dhabi_emirate/government/news/news_detail?docname=adegp_df_149312_en&_adf.ctrl-state=1aqdjjznev4&_afloop=1678480114483436).

[60] UAE (2012), "UAE National Report to the Second CNS Extraordinary Meeting (August 2012)", UAE, [www.fanr.gov.ae/en/mediacentre/video-center/documents/national%20report%20to%20the%20ex-ordinary%20meeting%20august%20final%2013-5-2012.pdf](http://www.fanr.gov.ae/en/mediacentre/video-center/documents/national%20report%20to%20the%20ex-ordinary%20meeting%20august%20final%2013-5-2012.pdf).

[61] Forum on Energy (2013), Future of Nuclear Power in



Emerging Markets: United Arab Emirates (web page), Forum on Energy, <http://forumonenergy.com/2013/09/09/future-of-nuclearpower-in-emerging-markets-united-arab-emirates>.

[62] European Union (2013), "Two years after Fukushima – Nuclear safety in Europe", Memo, EC, Brussels, [www.europa.eu/rapid/press-release\\_memo-13-182\\_en.doc](http://www.europa.eu/rapid/press-release_memo-13-182_en.doc).

[63] WNN (2013b), Resolution on EU Stress Test Lessons (web page), [www.world-nuclearnews.org/RS-Resolution\\_on\\_EU\\_stress\\_test\\_lessons-2501134.html](http://www.world-nuclearnews.org/RS-Resolution_on_EU_stress_test_lessons-2501134.html).

[64] WNN (2015g), Russia Formalizes Deal to Build Egypt's First Reactors (web page), [www.worldnuclear-news.org/NN-Russia-formalises-deal-to-build-Egypt's-first-reactors-20111501.html](http://www.worldnuclear-news.org/NN-Russia-formalises-deal-to-build-Egypt's-first-reactors-20111501.html).

[65] WNA (2015d), Nuclear Power in France (web page), [www.world-nuclear.org/info/countryprofiles/countries-a-f/france](http://www.world-nuclear.org/info/countryprofiles/countries-a-f/france).

[66] Sagener, N. (2014), Germany Far from Giving Up Fossil Fuels Despite Energiewende (web page), EurActiv, [www.euractiv.com/sections/energy/germany-far-giving-fossil-fuels-despite-energiewende-310738?utm\\_source=EurActiv+Newsletter&utm\\_campaign=766647a5ca-newsletter\\_daily\\_update&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_bab5f0ea4e-766647a5ca-245667386](http://www.euractiv.com/sections/energy/germany-far-giving-fossil-fuels-despite-energiewende-310738?utm_source=EurActiv+Newsletter&utm_campaign=766647a5ca-newsletter_daily_update&utm_medium=email&utm_term=0_bab5f0ea4e-766647a5ca-245667386).

[67] Richter, M. (2013), German Energy Giants Pull Plug on Conventional Power (web page), Global Energy World, [www.globalenergyworld.com/news/8786/german\\_energy\\_giants\\_pull\\_plug\\_on\\_conventional\\_power.htm?hash=6533baf283924255ad372ece493f51ca&utm\\_source=gew&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=gew+daily+z&utm\\_content=robert.vance%40oecd.org](http://www.globalenergyworld.com/news/8786/german_energy_giants_pull_plug_on_conventional_power.htm?hash=6533baf283924255ad372ece493f51ca&utm_source=gew&utm_medium=email&utm_campaign=gew+daily+z&utm_content=robert.vance%40oecd.org).

[68] WNN (2014c), German Law Limits Renewable Growth (web page), [www.world-nuclearnews.org/NP-German-law-limits-renewable-growth-0904147.html](http://www.world-nuclearnews.org/NP-German-law-limits-renewable-growth-0904147.html).

[69] WNN (2014d), Sweden Faces Future Without Nuclear (web page), [www.world-nuclearnews.org/np-sweden-faces-future-without-nuclear-01101401.html](http://www.world-nuclearnews.org/np-sweden-faces-future-without-nuclear-01101401.html).

[70] Adomaitis, N. (2014), Vattenfall Puts Nuclear Plans on Hold on Government Orders (web page), Reuters, <http://af.reuters.com/article/commoditiesnews/idaf16n0ti2x620141128>.

[71] NSNT (2015), Sweden's SSM Says it has Stopped Processing New Nuclear Plant Plans (web page), [http://nuclearstreet.com/nuclear\\_power\\_industry\\_news/b/nuclear\\_power\\_news/archive/2015/01/27/sweden\\_2700\\_s-ssm-says-it-has-stopped-processing-new-nuclear-plantplans-012702.aspx#.vmfaolatg70](http://nuclearstreet.com/nuclear_power_industry_news/b/nuclear_power_news/archive/2015/01/27/sweden_2700_s-ssm-says-it-has-stopped-processing-new-nuclear-plantplans-012702.aspx#.vmfaolatg70).

[72] WNN (2016c), Sweden Abolishes Nuclear Tax (web page), [www.world-nuclear-news.org/NPSweden-abolishes-nuclear-tax-1006169.html](http://www.world-nuclear-news.org/NPSweden-abolishes-nuclear-tax-1006169.html).

[74] WNN (2016d), Hungary Hopeful of Paks II Approval Within Weeks (web page), [www.worldnuclear-news.org/NP-Hungary-hopeful-of-Paks-approval-within-weeks-20091601.html](http://www.worldnuclear-news.org/NP-Hungary-hopeful-of-Paks-approval-within-weeks-20091601.html).

[75] Moylan, J. (2016), Hinkley Point: What is it and Why is it Important (web page), BBC News, [www.bbc.com/news/business-36897180](http://www.bbc.com/news/business-36897180).

[76] Torosyan, L. (2012), Revisiting the Metsamor Nuclear Power Plant (web page), The Armenian Weekly, [www.armenianweekly.com/2012/12/07/revisiting-the-metsamor-nuclear-powerplant](http://www.armenianweekly.com/2012/12/07/revisiting-the-metsamor-nuclear-powerplant).

[77] WNN (2014e), Russia and Armenia Agree to Unit 2 Life Extension (web page), [www.worldnuclear-news.org/NN-Russia-and-Armenia-agree-to-unit-2-life-extension-23121401.html](http://www.worldnuclear-news.org/NN-Russia-and-Armenia-agree-to-unit-2-life-extension-23121401.html).

[78] Asbarez (2015), Armenia Unveils U.S.-backed Energy Security Plan (web page), <http://asbarez.com/137985/armenia-unveils-u-s-backed-energy-security-plan>.

[79] Makhovsky, A. (2012), Russia, Belarus Sign 10 bln Nuclear Power Plant Deal (web page), Reuters, [www.reuters.com/article/2012/07/18/russia-belarus-nuclear-idusl6e8iigw420120718](http://www.reuters.com/article/2012/07/18/russia-belarus-nuclear-idusl6e8iigw420120718).

[80] Anon (2015a), Russian General Contractor's Work on Belarusian Nuclear Station Project Praised (web page), Belta News Agency, [www.atom.belta.by/en/analytics\\_en/view/russian-generalcontractors-work-on-belarusian-nuclear-station-project-praised-5166](http://www.atom.belta.by/en/analytics_en/view/russian-generalcontractors-work-on-belarusian-nuclear-station-project-praised-5166).

[81] WNA (2015e), Nuclear Power in Russia (web page), [www.world-nuclear.org/info/countryprofiles/countries-o-s/russia-nuclear-power](http://www.world-nuclear.org/info/countryprofiles/countries-o-s/russia-nuclear-power).

[82] WNN (2016e), Russia to Build 11 New Nuclear Reactors by 2030 (web page), [www.worldnuclear-news.org/NP-Russia-to-build-11-new-nuclear-reactors-by-2030-10081602.html](http://www.worldnuclear-news.org/NP-Russia-to-build-11-new-nuclear-reactors-by-2030-10081602.html).

[83] WNN (2013c), Ten More Years for Smolensk Reactor (web page), [www.world-nuclearnews.org/rs-ten\\_more\\_years\\_for\\_smolensk\\_reactor\\_030113a.html](http://www.world-nuclearnews.org/rs-ten_more_years_for_smolensk_reactor_030113a.html).

[84] Bellona (2011), Swiss Government Votes to Phase out Nuclear Power in Response to Fukushima Disaster (web page), The Bellona Foundation, <http://bellona.org/news/nuclear-issues/accidents-and-incidents/2011-05-swiss-government-votes-to-phase-out-nuclear-power-inresponse-to-fukushima-disaster>.

[85] WNN (2013e), Political Risks Prompt Early Closure of Swiss Plant (web page), [www.worldnuclear-news.org/C-Political-risks-prompt-early-closure-of-Swiss-plant-3010134.html](http://www.worldnuclear-news.org/C-Political-risks-prompt-early-closure-of-Swiss-plant-3010134.html).

[86] WNN (2015e), Swiss Regulator Calls for Off-site Emergency Response Centres (web page), [www.world-nuclear-news.org/rs-swiss-regulator-calls-for-off-site-emergency-responsecentres-0403155.html](http://www.world-nuclear-news.org/rs-swiss-regulator-calls-for-off-site-emergency-responsecentres-0403155.html).

[87] Dalton, D. (2015), Turkey Must Develop Comprehensive Policies on Nuclear Station Security, Says Study (web page), Nucnet, [www.nucnet.org/all-the-news/2015/03/16/turkey-mustdevelop-comprehensive-policies-on-nuclear-station-security-says-study](http://www.nucnet.org/all-the-news/2015/03/16/turkey-mustdevelop-comprehensive-policies-on-nuclear-station-security-says-study).

[88] Rosatom (2013), "Akkuyu nuclear power plant-the first





- NPP plant configured on BOO principles", presentation at the Turkey MENA Nuclear Industry Congress 2013, Istanbul, 18-19 June 2013, [www.szwgroup.com/nuclear-industry-congress-africa-2014/images/presentation%20.pdf](http://www.szwgroup.com/nuclear-industry-congress-africa-2014/images/presentation%20.pdf).
- [89] Coskin, O. and H. Parnuk (2015), Turkey First Nuclear Plant Delayed, Not Ready Before 2022 (web page), Reuters, <http://ca.reuters.com/article/topnews/idcakbn0mj1dj20150323>.
- [90] Anon (2015b), AREVA to Enrich Uranium of Ukrainian Westinghouse Fuel Assemblies in 2016 –Energoatom President (web page), Interfax-Ukraine News Agency, <http://en.interfax.com.ua/news/economic/270602.html>.
- [91] Bellona (2010), Russia to Pay for Construction of Obsolete Reactors at Ukraine's Khmelnytsky Plant (web page), The Bellona Foundation, <http://bellona.org/news/nuclear-issues/nuclearissues-in-ex-soviet-republics/2010-06-russia-to-pay-for-construction-of-obsolete-reactors-at-ukraines-khmelnytsky-plant>.
- [92] WNN (2014f), Ukraine Rethinks Khmelnytsky Ties with Russia (web page), [www.world-nuclearnews.org/NP-Ukraine-rethinks-Khmelnytsky-ties-with-Russia-17121401.html](http://www.world-nuclearnews.org/NP-Ukraine-rethinks-Khmelnytsky-ties-with-Russia-17121401.html).
- [93] WNN (2016f), Ukraine and South Korea Cement Nuclear Ties (web page), [www.world-nuclearnews.org/C-Ukraine-and-South-Korea-cement-nuclear-ties-31081601.html](http://www.world-nuclearnews.org/C-Ukraine-and-South-Korea-cement-nuclear-ties-31081601.html).
- [94] Power Technology (2016), OPG Plans \$9bn Upgrade for Darlington Nuclear Plant and Extend Life of Pickering Reactors (web page), [www.power-technology.com/news/newsopg-plans-9bnupgrade-darlington-nuclear-plant-extend-life-pickering-reactors-4775526](http://www.power-technology.com/news/newsopg-plans-9bnupgrade-darlington-nuclear-plant-extend-life-pickering-reactors-4775526).
- [95] CNSC (2011), CNSC Fukushima Task Force Report, CNSC, Ottawa, [www.nuclearsafety.gc.ca/pubs\\_catalogue/uploads/october-2011-cnsc-fukushima-task-force-report\\_e.pdf](http://www.nuclearsafety.gc.ca/pubs_catalogue/uploads/october-2011-cnsc-fukushima-task-force-report_e.pdf).
- [96] CNSC (2013), CNSC Integrated Action Plan on the Lessons Learned from the Fukushima Daiichi Nuclear Accident, CNSC, Ottawa, [www.nuclearsafety.gc.ca/eng/pdfs/reports/ftfr-cnsc-integratedaction-plan.pdf](http://www.nuclearsafety.gc.ca/eng/pdfs/reports/ftfr-cnsc-integratedaction-plan.pdf).
- [97] SENER (2013), "National Report Presented by the United Mexican States to Meet the Requirements of the Convention on Nuclear Safety 2010-2012", Secretary of Energy, [www.cnsns.gob.mx/seguridad\\_nuclear/documentos/nationalreport-mexico2012.pdf](http://www.cnsns.gob.mx/seguridad_nuclear/documentos/nationalreport-mexico2012.pdf).
- [98] Rodriguez, C. (2011), Mexico Scrapping Plans to Build as Many as 10 Nuclear Plants (web page), Bloomberg Business, [www.bloomberg.com/news/articles/2011-11-02/mexico-scraps-plan-to-build-as-many-as-10-nuclear-plants-focus-on-gas](http://www.bloomberg.com/news/articles/2011-11-02/mexico-scraps-plan-to-build-as-many-as-10-nuclear-plants-focus-on-gas).
- [99] Reuters (2015), Mexico Eyes Construction of Two New Nuclear Reactors (web page), [www.reuters.com/article/mexico-nuclear-idUSL1N11U2WA20150924](http://www.reuters.com/article/mexico-nuclear-idUSL1N11U2WA20150924).
- [100] PowerMag (2016), N.Y. Approves Nuclear Subsidies and Mandates 50% Renewables by 2030 (web page), [www.powermag.com/n-y-approves-nuclear-subsidies-and-mandates-50-renewables-by-2030](http://www.powermag.com/n-y-approves-nuclear-subsidies-and-mandates-50-renewables-by-2030).
- [101] WNN (2016h), Illinois energy bill becomes law (web page), [www.world-nuclear-news.org/NP-Illinois-energy-bill-becomes-law-0812168.html](http://www.world-nuclear-news.org/NP-Illinois-energy-bill-becomes-law-0812168.html).
- [102] WNN (2014g), New Reactor Empowers Argentina (web page), [www.world-nuclearnews.org/NN-New-reactor-empowers-Argentina-3006141.html](http://www.world-nuclearnews.org/NN-New-reactor-empowers-Argentina-3006141.html).
- [103] WNN (2014h), Russia and Argentina Sign Nuclear Power Agreement (web page), [www.worldnuclear-news.org/NP-Russia-and-Argentina-sign-nuclear-power-agreement-14071401.html](http://www.worldnuclear-news.org/NP-Russia-and-Argentina-sign-nuclear-power-agreement-14071401.html).
- [104] Yao, Y. (2015), China to Build Two Nuclear Power Plants in Argentina (web page), China Daily, [http://usa.chinadaily.com.cn/world/2015-02/09/content\\_19524269.htm](http://usa.chinadaily.com.cn/world/2015-02/09/content_19524269.htm).
- [105] Yang, Y. (2012), Brazil's Nuclear Power Plants Now More Likely to Endure Natural Disasters (web page), Xinhua, [http://news.xinhuanet.com/english/world/2012-04/10/c\\_131516931.htm](http://news.xinhuanet.com/english/world/2012-04/10/c_131516931.htm).
- [106] Zaragoza, C. (2013b), Brazil to Invest \$150 Million on Safety for Nuclear Plants (web page), Energy Tribune, [www.energytribune.com/75379/brazil-to-invest-150-mn-on-safety-for-nuclear-plants#sthash.7sdi4qdr.dpbs](http://www.energytribune.com/75379/brazil-to-invest-150-mn-on-safety-for-nuclear-plants#sthash.7sdi4qdr.dpbs).
- [107] Ortiz, F. (2013), Nuclear Energy Small but Strategic in Brazil (web page), Inter Press service, [www.ipsnews.net/2013/12/nuclear-energy-small-strategic-brazil](http://www.ipsnews.net/2013/12/nuclear-energy-small-strategic-brazil).
- [108] NNR (2012), "National Nuclear Regulator of South Africa Media Briefing on Measures Taken to Strengthen our Safety Regime and Nuclear Power Plant Operations Post Fukushima Daiichi Nuclear Accident", National Nuclear Regulator, [www.nnr.co.za/wp-content/uploads/2011/07/Public-information-Fukushima-NNR-Media-Brief.pdf](http://www.nnr.co.za/wp-content/uploads/2011/07/Public-information-Fukushima-NNR-Media-Brief.pdf).
- [109] WNN (2015f), South African Cabinet Approves Nuclear Program Request for Proposals (web page), [www.world-nuclear-news.org/NN-South-African-Cabinet-approves-nuclear-program-Request-for-Proposal-29121503.html](http://www.world-nuclear-news.org/NN-South-African-Cabinet-approves-nuclear-program-Request-for-Proposal-29121503.html).
- [110] Vecchiato, P. et al. (2016), South Africa Slows Nuclear Plans as Rating Assessments Loom (web page), Bloomberg, [www.bloomberg.com/news/articles/2016-11-22/south-africa-delays-nuclear-plant-plan-as-economy-stagnates](http://www.bloomberg.com/news/articles/2016-11-22/south-africa-delays-nuclear-plant-plan-as-economy-stagnates).
- [111] Ghana News Agency (2015), IAEA Reviews Ghana's Roadmap to Include Nuclear Power (web page), [www.ghananewsagency.org/science/iaea-reviews-ghana-s-roadmap-to-include-nuclear-power-97319](http://www.ghananewsagency.org/science/iaea-reviews-ghana-s-roadmap-to-include-nuclear-power-97319).
- [112] WNN (2016g), IAEA Offers Support to Ghana (web page), [www.world-nuclear-news.org/NNIAEA-offers-support-to-ghana-2103167.html](http://www.world-nuclear-news.org/NNIAEA-offers-support-to-ghana-2103167.html).





## Impacts of the Fukushima Daiichi Accident on Nuclear Development Policies

Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-Operation and Development

46, quai Alphonse Le Gallo, 92100 Boulogne-Billancourt, France

E-mail: nea@oecd-nea.org

**[Abstract]** The Fukushima Daiichi nuclear power plant accident has had an impact on the development of nuclear power around the world. While the accident was followed by thorough technical assessments of the safety of all operating nuclear power plants, and a general increase in safety requirements has been observed worldwide, national policy responses have been more varied. These responses have ranged from countries phasing out or accelerating decisions to phase out nuclear energy to countries reducing their reliance on nuclear power or on the contrary continuing to pursue or expand their nuclear power programmes. This study examines changes to policies, and plans and attempts to distinguish the impact of the Fukushima Daiichi accident from other factors that have affected policymaking in relation to nuclear energy, in particular electricity market economics, financing challenges and competition from other sources (gas, coal and renewables). It also examines changes over time to long-term, quantitative country projections, which reveal interesting trends on the possible role of nuclear energy in future energy systems.

**[Keywords]** nuclear power development, regional policy, projections, Fukushima Daiichi accident

翻译：王吉波 谢玉菡 审校：马建华  
(全文完)

## 科学新闻

### 中科大科研人员实现高分辨新型成像技术

中国科学技术大学24日发布消息称，该校科研人员在一种学界热点关注的新型医学电阻抗成像方面取得重要进展。该成果近日发表在医学成像领域国际顶级期刊 *IEEE Transactions on Medical Imaging* 上。

电阻抗成像技术是通过重建生物体内部的电阻抗分布，而反映体内结构及功能的新型医学成像技术。不仅具有功能成像的特点，而且对人体无害，使用方便，设备价格相对低廉，成为近年来国内外研究的热点。但电阻抗重建图像通常分辨率较低且对模型误差极为敏感，因此开发高效、稳定且具有高分辨能力的成像算法是电阻抗技术的关键和难点。中科院院士杜江峰团队通过利

用临床医学上现有信息等，设计了新的电阻抗成像算法，成功实现高分辨的电阻抗图像重建，并通过大量仿真实验验证了算法的有效性和可行性，结果表明该算法不仅具有高分辨图像重建能力，而且对医学电阻抗成像中普遍存在的模型误差、参数优化设置方式等具有很好的稳定性。

据介绍，该研究成果使得开展临床医学中绝对电阻抗成像成为可能，有望推动电阻抗成像技术向更为实用的应用方向发展，例如肺部临床电阻抗成像等。

(来源：中新社 吴兰)