



虽然核能已从实验室实验
发展为成熟技术，但目前
仍然困境重重

在建的印度库丹库拉姆核电站。

原子的力量

卢卡斯·戴维斯、凯瑟琳·豪斯曼

当前人们对太阳能光伏和其他可再生能源充满热情，而在这之前，有一项看似神奇的技术已将黄土变成电。1942年，意大利物理学家恩里科·费米(Enrico Fermi)在芝加哥大学的一个废弃壁球馆证明可以使用自持链式核反应发电。在这最初的几十年里，人们认为核能“微不足道”——可是核能却是当今化石燃料的更加清洁的现代替代品。

快进到75年后，核能的确已经发展了，在全球电力供应中发挥着主要作用。去年，核能供应了高达2.4拍瓦小时电力，足以满足全球总需求的10%。与化石燃料发电厂不同，核电站不排放造成气候变化的罪魁祸首——二氧化碳。

世界范围内，五大洲有400多座核反应堆在运行。虽然规模最大的核反应堆位于西欧(以法国为首)和北美(以美国为首)，但亚洲也有相当数量的核电站——主要在中国、日本和韩国。总的来说，有31个国家有核反应堆。

然而，核电并没有满足人们的所有期望。费米的原核实验获得了小额预算经费的资助，但是这个实验证明，低

成本、大规模扩展这项技术以便与化石燃料相抗衡是极其困难的。而且，目前核能的未来前景有着极大的不确定性。虽然一些国家——尤其是中国——正在扩建核反应堆，但是德国迫于公众压力逐步停止使用核反应堆。

了解对核电发展前景产生影响的经济因素和监管因素比以往任何时候都更加重要。日本福岛核灾难凸显了核能的内在风险。另外，巴黎气候谈判即将开幕，这将为思考核能的未来作用提供绝佳时机。

众多核能支持者认为核能在应对气候变化方面发挥了关键作用，这是很有道理的。一磅铀的发电量相当于16000磅煤的发电量。核能的排放几乎为零，而烧煤和其他化石燃料会产生二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物和汞。

我们谈论的是多少二氧化碳呢？考虑以下几方面。如果当前所有在运行的核电站都被化石燃料取代，每年将增加20亿公吨二氧化碳排放量。这个排放量略低于德国、法国、意大利和英国排放的二氧化碳总和。风能和太阳能发电虽然在世界各地处于上升趋势，但是不足以提供所需的可靠电量来弥补这个缺口。

繁荣与萧条

尽管人们对气候变化的关注在增加，但是过去30年里建设的新核电站数量相对很少。早在20世纪六七十年代，核电站建设在西欧和北美最先蓬勃发展（见图）。许多核电项目在20世纪80年代才竣工，但是自1990年以来，新建的核电站相对很少。

2008年和2009年，核电站建设再次飙升，2011年福岛核事故之后仍在继续。目前，全球有70座在建核反应堆，约为20世纪70年代末高峰时期施工量的1/3。其中，亚洲有46座，东欧和俄罗斯有15座，美国有5座。中国是最大的核反应堆建设国，有26座反应堆在建，而且计划在未来十年再建数十个核反应堆。

为什么不建更多核电站？建设成本可能是最重要的原因。建一座核电站需要技术过硬、高度专业化的建筑师和工程师来管理各个阶段的设计、施工、组装和测试。核电站的规模庞大，意味着必须专门设计和制造大多数组件，而在世界范围内很少能找到这样的供应商。此外，施工所需时间长意味着融资成本巨大。

建核电站一直都耗资巨大。但最近的经验表明，建设成本可能实际上已经有所上涨。作为最近建筑激增的一部分，法国公司阿海珐开始在芬兰奥尔基洛托以及法国弗拉芒维尔建两座“新一代”反应堆。众多核能支持者希望这两座新电站能够开辟欧洲核反应堆建设的新时代。与此相反，这两个项目都遇到了问题并延期。现在，两座电站的建设成本预计将为原先估计的三倍以上。同样，英国西南部欣克利角新电站刚刚开始施工，但是已经比计划时间晚了几年，预计将至少耗资250亿美元。

修建多个相同的小型反应堆可以降低前期成本并简化选址。

成本超支清楚地提醒了施工期间可能出现的一些挑战。最近，阿海珐发现法国电站反应堆容器使用的钢铁质量有问题。核电站必须符合严格的安全要求，因此出现延期和成本超支几乎是不可避免的。

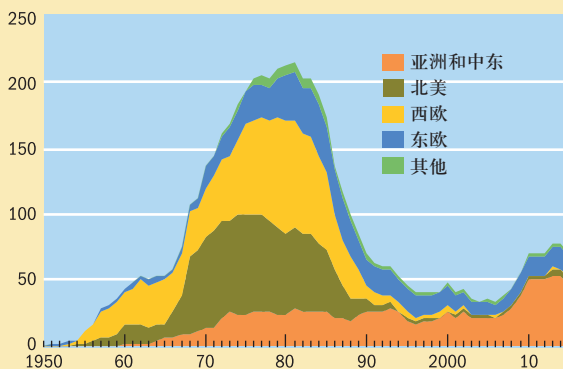
人们一直希望边做边学能降低核电站建设成本。这一想法是建的核电站越多，成本也会越低。实际经验很复杂，根据目前的报道，当今世界建设成本最低的是中国，中国的核电装机容量发展最快，但这可能不是巧合。核工业的一个重中之重就是仔细研究这些新建的中国核电站，以便了解这些核电站如何降低成本。

另一个潜在的乐观理由在于小型模块化反应堆。修建多个相同的小型反应堆可以降低前期成本并简化选址。几个对此有兴趣的核创业公司正在从事这项工作，业内人士密切关注这项技术，期待很快出现示范项目。

核电站建设蓬勃发展

20世纪70年代末，核反应堆建设达到高潮。

（全球在建核反应堆数量）



资料来源：国际原子能机构，2015年，《全世界的核反应堆》。

其他挑战

但是，这对核电来说仍将不容易。除了建设成本高，核电也面临其他重大挑战。例如，在北美，天然气非常便宜，以至于难以证明有必要建任何其他类型电站。你可以建造核电站，全天候售电，但仍然无法获得足够的利润来偿付建核电站的费用。

在北美，甚至现有核电站都正处于经济困难中。2010年以来，美国关闭了五座核反应堆。另有两家电站宣布了提前关闭，其中最近的一个是2015年10月刚宣布的。对于后两种情况，运营商把经济前景不乐观作为决定提前关闭的主要原因。分析人士认为，廉价的天然气是真正的绊脚石，预计其他电站也可能关闭。

当然，对于任何现有的或新的核电站而言，更取决于公众舆论和社会运营许可。自福岛核事故以来的公众支持下降、对乏燃料储量的持续关注、可再生能源发电成本下降、碳排放没有全球定价都使核电面临重重阻力。

世界是否能在中国的带领下走向核复兴？很多人希望的转折点尚未到来。建设成本仍然过高，替代技术太廉价，全球并未一致承诺降低二氧化碳排放。多种因素共同导致核电成为可行的经济性选项。否则，只占发电量小部分的核电将逐渐衰落。■

卢卡斯·戴维斯（Lucas Davis）是加州大学伯克利分校哈斯商学院副教授兼哈斯能源研究所所长，凯瑟琳·豪斯曼（Catherine Hausman）是密歇根大学福特公共政策学院助理教授。