



Views & Comments

核工业一体化模式对核能未来发展至关重要

马识路

EDF Group Chief Representative in China

核电运营商的责任不同于其他。作为一个发电公司，法国电力集团(EDF)肩负着给大众输送电力的重要使命，及时保障人们的日常需求。除提供这种公共服务外，作为一个核电运营商，EDF还肩负着确保核设施安全的重大责任。维护利益相关者的信任，尤其是公众舆论对EDF来说是至关重要的。尽管这一观点也适用于很多其他工业领域，如航空、汽车和建筑领域，但笔者相信这对核工业会更加重要。事实上，核安全是目前保证核工业在全球发展的关键。

1. 运行是核安全的关键

如何保证核设施的安全？这个问题对核工业的未来至关重要。回顾核电发展史上的重大事故——三英里岛核事故、切尔诺贝利核事故和福岛核事故——显然，在每起核事故中，运行都是事故发生的根源。福岛核事故引起了全球的核工业企业、政府和公众舆论对核电站安全装置及其失误的激烈讨论。世界各地的核安全意识正逐步提高，设备也不断得到升级。核反应堆制造商用更高级别的核安全设备推进了“第三代”核反应堆的设计，以此来防止类似福岛核事故的事件再次发生。但是，把核安全问题仅归结为技术问题是一种误导。事实上，福岛核事故是由工业组织的缺失和核反应堆运行过程中的失误导致的。当然，为了缓解严重事故所造成的后果，核设施有必要采用最高“技术安全”水平的设备。然而，如果不能把这些技术设备的运用合理地融入安全运行理念中，那么它们能发挥的作用也是有限的。技术不能解

决所有问题，尤其是不能解决各种由人为处理不当和过失导致的问题。

福岛核事故的教训告诉我们，核设施的安全取决于运营商。这个事实在过去几十年里一直被忽视，因为核反应堆制造商一味推销和升级他们的技术，宣称自己新研发的技术比过去的及其竞争者的技术更安全。这场全球竞争已经导致核工业“过度技术化”。虽然它带来了一些有意义的创新，但同时也传播了一个错误的观念，即技术是核安全问题的最终解决方案。过度技术化带来了昂贵的额外费用，使检查过程更复杂，且提高了承建公司的建造难度。技术创新十分重要且应得到大力支持；然而，它不能作为整个核工业发展的唯一驱动力。为了实现安全的和有竞争力的运行记录，技术的发展必须符合实际的运行需求。因此，笔者认为核电运营商应该是技术创新的主要驱动力，而且应该把核工业推向非常安全的水平。

2. 掌控核工业工具的三个要素

为了实现上述高安全水平和良好的运行性能，核电运营商必须掌握他们的生产工具。因此，核电运营商必须注重核工业事务的三个具体方面：生产工具的设计；对供应商和(构成生产工具的)设备的全面了解；最重要的是，在使用这些工具的过程中获得的深入的实践经验。这三个方面的相互作用决定了整个核工业体系的质量和水平。在这种组织体系的三个要素中，实践经验是该体系的驱动力。许多工业企业的成功就建立在实践经

验的反馈上。劳斯莱斯就是一个著名的案例。劳斯莱斯以制造豪华汽车而闻名，它同时也是世界上第二大飞机发动机制造商。他们生产的所有发动机都带有传感器，能够在飞机飞行时传输数据(油量、压力等)。因此，劳斯莱斯积累了有关发动机运行期间行为特性的深入而广泛的知识，使他们能够不断修正发动机的缺陷，从而提升发动机性能。

通过完整了解核工业工具的知识来全面控制运行是每一个负责任的核工业企业的目标。法国的核电工业也不例外。EDF收集了数十年的核反应堆运行的经验数据，这些数据如今已经成为其工业管理模式建立和运行的基础。为了能够运用这些大量的数据，并将其作为掌控核工业工具的一种杠杆，EDF建立了一种新颖的工业一体化模式。这种组织模式与EDF战略的最初目标是一致的，包括三个组成部分：设计、供应商和运行经验反馈。在法国建设核电站的初期，即20世纪70年代初，EDF就把一支工程师队伍置于公司业务的核心位置，其任务是根据经验数据建立持续的改进循环。如今，这支队伍包括约5000名工程师，他们正在辅助20 000名运行人员的工作。这些工作人员是确保EDF从它的学习曲线中获益的关键因素，他们能够挑战现有的习惯和流程，并适应和改进管理方案；所有这一切都是为了实现核工业最佳的运行水平和安全标准。

3. 成为核工业总体工程师

为了使一体化模式变得持续且有效，它的应用范围不应该被局限在核电站的运行上。掌控核工业工具需要将改进循环延伸到核电站的设计和运行设备的制造过程中。这就要求EDF作为运营商在其与供应商之间建立起强大联系。工程师和制造商之间在设备(如阀门、泵和管道等)标准上要保持对话沟通，并且这种沟通贯穿于核电站设计和建设过程中的每一个环节。这种从运行中获得的经验反馈会使整个行业都受益，同时也符合整个行业实现最佳运行性能和安全记录的共同目标。

运营商是这个工业一体化模式的核心，作为整个系统的引擎和驱动力，扮演着非常独特的角色——“总体工程师”。基于这个核心地位，EDF全面掌控了它的工业生产工具并且开发了自己的核反应堆。EDF能够实施一种清晰的工业策略：它决定了如何拆分合同包，如何制定竞争规则，以及如何监督本国和外国供应商的认

证。总体工程师能把运营商的需求和制造商的能力联系起来，并督查设备制造过程和监控合同要求的细节。总体工程师和设备供应商之间的关系是工业掌控的关键部分。这种组织模式要求运营商对整个工业的背景情况有全面的了解。

4. 通过标准化提高安全水平和运行性能

EDF的工业模式旨在提高核工业的安全性和运行性能，同时稳步提高核工业设施的效率，从而不断降低核电站的建造成本。这种模式与工业工具的标准化相一致。工业一体化模式和标准化互相促进，共同推动工业组织朝同一个方向发展。的确，标准化是另一个能够提高经验反馈价值的因素。例如，一个运营商若采用相同的工业技术和标准来发展它的工业设施，那么其改进循环的范围也会扩大。在法国，对EDF来说，在公司运营的58个反应堆中，即使其中一个反应堆出现了一个极小的问题，我们的工程师都会对其进行分析反馈，并将该反馈信息用于升级其他反应堆的运行性能，从而避免再次发生同样的问题。标准化能够提高学习曲线的效率，而学习曲线的基础是运行经验反馈的分享，这种分享既可以在同一个运营商内部进行，也可以在世界各地不同的运营商之间进行，即使他们使用的技术不同。

标准化在法国核工业发展的初期阶段是一个明智的选择。法国核工业的发展历程显示了标准化的很多优点。除通过增加经验反馈数据量来更好地掌控工业设施外，标准化还能够带来非常重要的“系列化效应”。这种效应对于资本密集型的核电工业来说至关重要。通过标准化，法国核电站的建造成本和运营成本比世界上其他任何国家的都要低40%~70%。为了充分利用标准化的良性循环，EDF推动建立和发展了一个全面的技术参照体系：核工业的“规范和标准”。这些规范由法国的核电标准化组织机构AFCEN[†]牵头制定，吸取了EDF丰富的知识和经验，是非常全面的技术参考标准。第一个设计和建造规范形成于20世纪80年代，之后其范围逐步覆盖核工业的每一个领域：材料的化学成分、材料的制造工艺、设备投入使用前必须进行的测试和焊接等。这些严密且结构清晰的文件逐渐地被安全监管机构和设备供应商严格执行。现在，这些规范和标准是用来监督工业组织正确性和设施与设备匹配性的最好的工具。它们为标准化和核工业内部改进循环的实施提供了非常坚实的基础。

[†] 法国核岛设备设计、建造及在役检查规则协会。

整个法国核工业就是在吸取经验反馈的基础上形成的。这样的组织模式具有很好的安全和运行性能记录。法国在近40年的核电运营史上都没有发生核事故(即没有发生超过国际核能事件分级表中2级以上的事故),而且法国核电机组的使用率非常高,在冬季用电高峰时可达90%。得益于一体化总体工程师模式,EDF可以通过对核设施进行定期的全面检查来不断提升其安全等级,并根据经验反馈不断改进。由此,我们现在可以说,即便是最老的核电站也可以达到最高的安全水平。

5. 核工业受益于国际合作

笔者认为,一体化模式不仅适用于EDF和法国,而且应该被推广到全世界的核工业领域。发展核工业最积极的国家,即法国、俄罗斯和中国,已经采用了这种一体化模式来发展核电项目。推广一体化总体工程师模式有益于整个核电工业的安全和运行性能。从这一点来说,我们应该加强全球合作并促进不同运营商之间的交流,从而共享经验反馈。在某种程度上,法国和中国的核工业已经在身体力行。早在30年前,EDF和中国广核集团(CGN)就在中国广东省大亚湾共同建设了中国的第一座核电站——大亚湾核电站。法国将其在核电站运行过程中积累的最好的实践和经验反馈带到了中国,使中国核电工业的发展节省了10年的时间。如今,法国和中国的核反应堆标准的融合以及EDF和中国合作伙伴的长期合作,已经扩大了经验反馈收集的范围,实现了互利共赢。作为进一步的合作,EDF还邀请了中国的合作伙伴,即CGN和中国核工业集团公司(CNNC),在开发第三国市场上进行合作。这样的合作能够使中国核电企业避免花费很长的时间和很高的学习成本来应对外国安全监管机构的要求,而EDF则可以从中国核电企业强大的工业生产能力中获益。我们在英国的EPR™项目就是采用这样的合作方式。笔者认为应该深入并广泛推广这样的合作。EDF通过发起成立世界核电运营者协会(WANO)已经朝这个方向迈进了一步。该协会旨在共享运营经验,从而加强所有参与国的核安全。

在全球核电站运行经验数据分享框架形成以前,EDF就已经开始学习别人的经验了。EDF采用与法国核电机组群内相同的改进循环模式,从核事故的历史中汲取教训。例如,在1979年的三英里岛核事故发生后,法国的核电机组就在技术上(如氢气复合器和砂滤器)和运行上(在非正常工况下运行反应堆的试点方案,即状

态导向应急操作规程)做了一些改进。同样,在福岛核事故后,300名EDF的工程师用了6个月的时间来研究该事故;为了提高核反应堆的安全水平,他们提出了大量的改进措施。法国目前仍然在继续实施这个全面的升级计划,计划在安全设备和仪器上投入大量资金。

我们必须承认,目前主导全球核工业发展的更多的是竞争而不是合作。反应堆供应商推崇的“交钥匙”模式更加剧了这一状况。美国和日本都采用这样的模式,由建造方主导整个工业项目的组织,并在设计和施工阶段与安全监管机构和分包商保持沟通。运营商除了参加调试和负责最后买单,在整个项目建设过程中的关键阶段参与非常少。然而,在核电站的运行期间,运营商要独立承担安全责任。核工业和汽车工业不同:核电运营商必须能够掌控其工业工具以防止发生任何事故,而司机则不需要为了避免撞车而对汽车的内部运作进行深入的了解。

6. 核工业发展需要什么?

福岛核事故发生在一个具有很高技术水平和先进科技的国家,这表明核安全的关键不是技术而是工业组织模式。例如,日本运营商的弱点之一就是他们与设备制造商之间缺少对运营经验的交流。因此,由于没有吸取之前的教训,设备上同样的问题导致发生了两次同样的事故。另一个不利因素是分地域管理。例如,在德国,各个州建立了不同的安全标准和规范,导致核电站的组织形式各不相同。在这种情况下,如果不能共享经验知识将会对核安全造成威胁。核电项目的“交钥匙”模式导致了这种情况的发生,已经造成了非常严重的安全后果。除此以外,以技术为导向的整个体系也使核工业发展陷入僵局。供应商之间激烈的竞争导致形成了一种不正确的观念,即最复杂的技术就是核设施安全的保障,而且这种观念掩盖了运行实践的重要性。出于商业目的,供应商不断推销新的机型,这就导致了工业体系的支离破碎,降低了学习曲线的效率。

从更广泛的角度来看核工业,我们可以看到在确保核安全的过程中,还有其他起着关键作用的方面。运营商作为一体化总体工程师成为了核工业组织的核心,这是必要的但还不够。为了保证核工业稳定平衡的发展并达到一个良好的安全水平,另外两个方面也发挥着至关重要的作用:一个是国家,它负责制定能源政策;另一个是安全监管机构,它通过与运营商和制造商的沟通,

负责检查和巩固安全标准。根据经验，核工业的健康发展需要有长远的眼光。通过建立一个长期、明确的框架，政府可以让运营商发挥一体化总体工程师的作用。例如，这个框架包括明确的能源结构长期发展的原则，适宜的定向补贴，以及一个配套的教育计划来支撑核工业的发展。正如上文所述，安全取决于运营商的工程能力。一名工作人员需要经过多年的培训才能具备这样的技能，才可以进行实际操作并且有一定的效率。而且，安全不仅是一个技能问题，也是一个文化问题。即使已经开始从事运行工作，操作员仍需要很多年的培训才能完全实现核安全文化的实践。另外，核能投资巨大且历时几十年：建设阶段需要5~6年，运行阶段需要40~60年，退役至少需要20年——几乎是一个世纪的事业！然而，每个国家的电力需求变化较快，核电企业面临巨大的财务压力，需要短期的投资收益。从这一点来说，时间的跨度给核电企业提出了挑战，可能会给核电安全带来影响。国家应该发挥作用，帮助核工业企业来应对这一挑战。

7. 关于核反应堆未来发展的几点原则

中国的核工业已经进入了高速发展的阶段，为了促进核电健康发展并保持较高的核安全水平，尽早确定一体化工业模式至关重要。在法国，我们注重运营经验的反馈，工程师们努力工作以不断改进核工业工具，从而给未来核反应堆的发展提供指导方针。时至今日，这些指导方针意味着什么呢？我们坚持我们的原则：收集经验反馈并将其运用到改进过程中，同时要求供应商参与核电站的设计，以便在设计中更好地将制造方面的限制因素考虑进来。这种一体化过程和核工业不同参与方之间的积极合作并不意味着没有市场规则。例如，如果核电运营商之间有很好的合作，那么设备供应商之间的竞争就会很好地激发创新，从而提升整个行业的绩效。笔者认为，中国的火力发电市场就很好地体现了这种合作和竞争的良性平衡。一方面，中国的发电企业基于相似的技术建设出了几乎相同的发电设施；另一方面，制造

商之间的激烈竞争使中国设备制造商具有很强的竞争力，在全球赢得了很多合同。

当谈到核工业的未来时，我们必须考虑到客户的需求，还要考虑到和其他能源的竞争。从这一点来说，每个核电从业者都必须找到最好的设计，在保证最高安全标准的同时使成本保持在合理的范围内。标准化是降低成本的一个好方法，同时可以增强改进循环效果。目前，即使在法国和欧洲都没有大规模建设核电项目的计划，我们也必须继续发挥好标准化的作用。怎样做呢？在核电站的设计中应该避免使用那些尚未投入工业化生产的设备。这种做法使我们在替换设备时能节省时间和成本。例如，决定开发一种只用于某一类核设施的专用龙头(或者甚至只是用于实现这个设施里的某个功能)可能会带来沉重的后勤负担和大量的额外费用。我们在做这种决定的时候必须兼顾其可行性。在可以满足核电特殊标准的前提下，必须从现有的工业产品中选择核设备。这是未来一种大的趋势，开发一种设计的时候必须要符合工业的现实情况。

与很多其他产业一样，核工业正在践行“按费用设计”的原则，以避免不必要的复杂技术和由此带来的额外成本。安全规则的积累和适用于特定厂址的一些特殊设备在后续项目上的推广，导致核电站在设计中存在大量的细节要求和设备要求。面对日益复杂的设计，我们必须将常规自检与平衡工作相结合：工程师必须质疑设计的选择，省去不必要的设备。这个质疑过程也是持续改进循环的一个组成部分。另外，由于工程设计是我们产业组织的基石，我们也必须不断提高其效率。

遵循这些原则，我们就能够指导核电站设计朝着正确的方向发展，从而达到不断优化的目的。这种战略为核电站未来的发展做好了准备，工程设计和运行之间的紧密联系，成本控制和能达到的最高的安全水平都会使核电的发展受益匪浅。目前，核能是唯一一种稳定且丰富的低碳能源。从这方面来说，核工业在应对全球气候变化进程中有着独有的突出贡献。核工业领域的从业者有责任提供适合的生产工具来完成这个历史使命。