

Dana Sacchetti

地球、风

使核电厂做好应对大自然愤怒的准备

核发电不是在真空中进行的。暴露在外界，就会面临飓风、地震、火灾、海啸和火山等危险。安全是核电厂的头等大事，核设施设计者和建设者有责任事先准备好应对大自然可能施加的最恶劣的条件。

从太空看埃特纳火山。照片：美国宇航局

和火

自核能发展初期以来，对核电厂的首要担忧一直是发生会导致放射性环境释放的人为差错或机械故障的可能性。切尔诺贝利和三里岛事故留给人的印象是，最大的危险因素来自电厂围墙之内。

然而，近年来的事件加大了人们对新的威胁的恐惧：核电厂运行面临的最大威胁在其围墙之外，而不是之内。核发电不是在真空中进行的，遍布全球的电厂暴露在自然环境下，受自然现象影响的机会也就无所不在。暴露在外界，就会面临飓风、地震、火灾、海啸和火山等危险。安全是核电厂的头等大事，核设施设计者和建设者有责任事先准备好应对大自然可能施加的最恶劣的条件。

与地震有关的薄弱性

引起核社会关注的第一起外部事件发生在30多年前，1977年发生在罗马尼亚的地震影响了附近保加利亚的科兹洛杜伊核电厂。尽管地震的摇动只对该电厂与安全无关的部件造成表面损坏，但是仍提醒国际社会一些较老的苏联设计电厂可能存在弱点。

“1977年弗兰西地震给苏联设计电厂敲响了一次警钟，”国际原子能机构核装置安全处前处长Aybars Gürpınar解释说，“它也促使苏联加强亚美尼亚的核电厂安全，使国际原子能机构开始第一次派遣援助工作组，考察整个地区电厂的设计。”

切尔诺贝利事故也引起东欧、苏联和国际核社会对核安全进行深深的自省。除了与核安全有关的一般问题外，人们也开始担心在防止电厂免受可能的外部事件影响方面做得不够。

在20世纪80年代末和90年代初，国际原子能机构多次派遣评审工作组到亚美尼亚、前捷克斯洛伐克、保加利亚和俄罗斯联邦，评价苏联设计的电厂。国际原子能机构通过这些工作组，发现第一代水冷和水慢化动力堆电厂在设计上没有将外部危害考虑到建设中。国际原子能机构结束工作组出访后，建议对电厂某些设备进行检查，同时安装附加支撑和加固安全设备。

在其他地区，核电厂的抗震设计限值也受到质疑。美国的一些电厂曾经超过地震设计基准，尽管它们都没有造成任何重大安全风险。

1986年1月在位于俄亥俄州东北部的佩里核电厂附近发生了里氏4.9级地震。根据记录，该场址的地面加速高

达0.19g~0.23g，超过了该电厂设计基准0.1g。电厂当时处于停堆状态，计划第二天换料。事件过后，由工程师和地震学家组成的工作组被派到该电厂，进行系统故障和随后几天余震的检查。小组观察到混凝土中有小裂纹、非临界管道系统中有泄漏，不过，这两种状况也许震前就存在。佩里核电厂地震在法律上引发了一场旷日持久的斗争，但是该厂最终被认定能够经受住地震，不久后重新启动。

影响核电厂的最大地震发生在去年日本世界最大的核电厂附近。地震强度造成邻区11人死亡，近400栋建筑物被夷为平地，并且中断了电厂自动生产线。2007年7月16日这场里氏达6.6级地震给坐落在日本海海岸线的柏崎·刈羽7机组核电厂以重创，造成电厂安全地关闭。尽管反应堆运行良好，但是地震发生在一个不为电厂设计者所知的断层上，它的作用力极大地超过电厂最初设计的限值。

国际原子能机构对该场址进行了两次专家访问，结论是尽管超过设计基准，受到料想不到的地震强度，但是电厂工程设计正确，支撑良好。然而，该电厂自地震以来仍处于关闭中，尚未确定恢复运行时间。

由于日本是世界地震最活跃的国家之一，因此它制订了成套的严格规章来限制地震的核电厂影响。日本的标准规定电厂建在坚硬的基岩上，以减少晃动，并将电厂的所有部件分成不同的安全类别。由于该电厂的某些方面比其他电厂更脆弱，因此在坚固性方面设计上和其他电厂一样。

海啸和洪水

由于世界绝大多数核电厂提取海水用于冷却，因此核电厂面临的第二大威胁是沿海泛滥，更准确地说海啸。2004年12月26日印度洋大地震引发了一系列破坏性海

啸，几乎造成25万人死亡，11个国家受到灾难性破坏。

印度卡尔帕卡姆核电厂的两台机组受到海啸打击，但平安渡过。虽然电厂设计者从未设想海啸袭击电厂，但是他们确实考虑了旋流风暴等类似现象。电厂建设者估计了风暴大潮下可能逼近电厂的最高水位，作出了相应的建设。为了在风暴大潮侵入时向操纵员发出预警，建了两口井，一口远离大海，一口在陆地。一旦电厂操纵员收到警报，电厂立即关闭。甚至，反应堆厂房围上1米厚的墙壁，这样水就不大可能进入反应堆机组。

因此，即使水位上涨，大潮挤压，卡尔帕卡姆电厂仍然能够良好地运行。

“为使这类重要厂房能经受住地震，建造了一个大的混凝土地基，”设在卡尔帕卡姆的英迪拉·甘地原子研究中心前主任L. V. Krishnan说。“因此如果结构移动，它将一起移动，不会断裂。”

洪水也曾多次影响法国波尔多地区的布莱耶核电厂。在1999年12月的一次强烈风暴中，高高的波浪损毁了电厂护堤，部分设施被淹。洪水影响了电厂的实绩，通常用于电厂排水的1号和2号水泵全被破坏，迫使电厂经理采取紧急行动防止堆芯可能熔毁。应急给水系统被用于补救洪水，电厂后来恢复了运行。

法国的安全标准要求支撑安全相关设备的平台位置至少和最高水位一样高，以堵塞外部水域可能接近低于场址平台水平的反应堆安全设备的任何可能路线。由于布莱耶洪水泛滥，两个标准都未发挥作用，法国核安全主管部门被迫重新审查有关洪水泛滥的标准。

高瞻远瞩

自20世纪70年代以来，国际原子能机构成功地评价了世界各地核电厂应对危险

的准备情况。早期派遣的工作组大多数以发展中国家为目标，帮助这些国家确保核设施足够坚固，能经受住某些环境风险。长期以来，国际原子能机构还不断发布安全标准，为寻求改善核设施安全指导的国家提供建议。

大约在八年前，国际原子能机构开始筹划更具风险指引型和基于概率评价的安全标准。这种方法转变要求电厂建设者综合考虑电厂建设期间外部危害发生的可能性，而旧标准是一套比较统一的适用于全世界所有电厂的规定。

国际原子能机构还在核电国家召开的各种会议上引领他们讨论如何建设和改进核电厂以防外部事件的方法。在过去的一年里，国际原子能机构曾召开两次有关外部危害会议，重点讨论海啸造成的地震安全与威胁。

国际原子能机构在外部危害方面的工作量预期在未来岁月会不断增加。

Gürpınar先生解释说，“目前许多新兴核电国家请求国际原子能机构帮助评价场址和外部事件因素。”

然而，确定防止核设施受大自然暴怒影响的最佳方法仍是一个学习过程。国际原子能机构工程安全科代理科长Antonio Godoy说，“我们现在发现，我们对有关地震的核电厂影响的最重要知识总是在强烈地震事件发生后获得的。”

核电国家、国际原子能机构与全球监管者之间通过不断的沟通交流和保持透明度，正在努力确保电厂免遭大自然之患。

印度原子能部S. N. Ahmad先生归纳了核电厂针对自然现象的设计。他说，“人类必须与自然灾害共存，人类的智慧在于有效地应对这种状况的挑战和确保人类生命和财产安全。”核电厂已将诸如此类的所有自然灾害和极不可能的事件情况纳入到选址和设计中。

Dana Sacchetti是国际原子能机构新闻处工作人员。电子信箱：d.sacchetti@iaea.org。

震动事件的不变教训

日本柏崎——在去年发生冲击世界最大的核电厂日本柏崎·刈羽核电厂的强烈地震后，国际社会一直在集中精力重新审查核设施的结构强度。2008的6月19-21日，国际原子能机构组织了一次研讨会，共享近来在设计和维护核电厂坚固性以安全抵抗强烈外部危害方面的技术知识和方法。来自不同专业领域的300多名与会者出席了这次会议，会议于2008年6月底在日本结束。

担任此次会议主席的国际原子能机构工程安全科代理科长Antonio Godoy说：“我们组织这次研讨会，目的是共享近来从影响核电厂的强震中获得的结果和信息，以及吸取的良好实践和教训。”

此次研讨会得出的重要结论是：

- ① 地震危害评价仍旧是确保核电厂地震安全的一个关键因素；
- ② 厂址特有的信息以及全面了解核电厂场址的地质和构造特性对于确保地震安全十分关键；
- ③ 从2007年7月发生在柏崎·刈羽电厂附近的地震清楚地看到，设计和安全监管在维护电厂坚固性方面起着关键作用，虽然当时进行的地震学研究低估了原有的地震输入数据；
- ④ 从柏崎·刈羽核电厂获得的经验教训为国际原子能机构的安全标准提供了宝贵的输入数据。

日本东北电力公司N. Hirawaka先生说：“科学在不断进步，我们必须始终保持获取新结果和新信息的热情，以确保核电厂安全。我们还要保持透明。”

这次研讨会是国际原子能机构与日本原子力安全和保安院、核安全委员会和日本原子力安全组织合作组织的。经济合作与发展组织核能机构也为此次研讨会提供了支持。

由国际原子能机构牵头举办的有关海啸的核电厂影响研讨会于2008年6月23日在韩国大宇进行。