

IAEA 在评估基础设施，即规划能力和决策能力，组织结构，电网大小和结构，合格人力，工业保障力量和筹资等方面提供援助。另外，还可在评估吸收转让技术的能力，以及尽可能依据本国核技术和研究反应堆的经验拟定发展规划的能力方面，提供援助。在人力开发方面，IAEA 可提供各种形式的 TC 活动，如开辟因国而异的项目、大型 UNDP 项目、组织培训班、派工作组和组织讲习班。这个一揽子援助方案中的许多活动，与制订核动力计划规划方面的援助方案所提供的援助是重叠和相辅相成的。

机构在核动力项目可行性研究（包括筹资可行性研究）方面的作用，仅限于就如何组织该项研究提出建议、明确其内容，以及评审其执行情况和所得结果。只要有可能，机构就与世界银行和联合国工业发展组织（UNIDO）合作进行此事。

● **确定本国如何参与的政策和策略。** 本国参与是核动力计划中不可分割的一部分。本国参与的广度和深度，将因国家的具体条件而异，并将取决于本国的政策和基础设施、投资能力、合适的市场因素（诸如本国产品的价格）、筹资方式、质量标准、技术专门知识、核安全和原料供应等因素。

IAEA 的作用主要是帮助设计本国如何参与的研究课题。这种研究包括进行工业普查，以找出本国工业中有哪些部门的产品能满足或有可能满足核技术的质量标准。

● **制订核动力项目筹资规划。** 核动力项目的筹资涉及许多需要有关各方充分了解的复杂问题。IAEA 鼓励买方、供应方、金融机构和出口信贷承保单位之间互通情报，以便各方更好地了解发展中国家核动力筹资问题的特殊要求、复杂性和可能性。IAEA 还可与世界银行一起，帮助加强和支持当地政府和电力公司制订核电筹资规划的能力，以便有助于改善核动力的筹资成功率。

培训核电厂控制室 操纵员 防止核事故

用模拟器进行恶性核事故培训

Luis Lederman

美国宾夕法尼亚州三里岛核电厂正在进行模拟培训。
(来源: INPO)





利用模拟器对操纵员进行培训，这在核工业及其他高级工艺技术领域是常见的。近几年来，概率安全评价 (PSA) 的研究结果和核电厂的运行经验，都发现了一些需要对操纵员作进一步培训的场景。

会导致恶性事故的场景，一般兼有人为差错、共因故障、随机部件故障以及各种类型的系统交互作用，且实质上都已“超过设计基准”。这些极端的场景是非常罕见的，很难预先想好操纵员在这些情况下应如何响应。在这种情况下，利用模拟器培训操纵员防止或应付恶性事故的做法相当吸引人，因此目前人们正在探索各种各样的办法。

在最近由国际原子能机构 (IAEA) 于维也纳召开的会议上，与会者回顾了利用模拟器进行紧急工况培训的经验。*

为了适宜于模拟，必须在预计的应用范围内考虑可能出现的场景。例如，为了给运行班制造紧张气氛，必须使场景的持续时间较短。对事故期间必须介入的应急小组进行培训以及鉴定各种程序或对策，也是模拟需要专门研究的事故场景的主要目的。

全域模拟器的局限性比较明显，对持续时间较长的场景尤其如此。迄今，人们一直是用限制性的方式处理边界条件的。初始工况仅限于满功率运行。这一假设把包括与安全有关系统的可利用率可能较低和运行人员因执行外加任务而分散精力等情况排除掉了。这些情况当反应堆处在次临界和其他的低功率状态时是比较常见的，应予以考虑。另一方面，由于计算机模拟的准确性随堆芯性能下降而降低，所以恶性事故

的场景在人的干预已无法控制堆芯毁坏进程的阶段终止。

就培训目的而言，场景的主要特征是再现控制室内的情况。展开来说，建议把每个场景分成三个截然不同的阶段：

- 逐渐引入严重程度不断增加的扰动，以便操纵员逐步进入角色；
- 引入更多的故障或扰动，以便给操纵员施加尽可能大的压力；
- 延长场景的时间，以便让时间一长才有可能出现的那些特殊困难有可能出现；也才能向技术保障队员提供补充资料，使他们能参与处理事故并作出决定。

对供操纵员进行恶性事故培训用的全域模拟器的功能要求进行一些分析后，发现了现有模拟器模型的一些局限性，其中包括：

- 现有的数学模型 (中子物理、热工水力、控制和逻辑模型) 没有对能导致恶性事故工况的各种各样瞬变过程都做过验证；
- 对实时模拟程序来说，为提高执行效率，其中许多程序是用特殊的机器语言写成的，因此，难以甚至不可能加以修改。

需要新的模拟模型或模拟模型需要加以改进的具体领域，包括两相流、安全壳的响应、应急堆芯冷却系统 (ECCS)、堆芯热工水力学和中子物理，以及核燃料的行为。就建立堆芯热工水力学模型而言，可以把整个事故过程分为两个明显不同的阶段：第一阶段为堆芯毁坏前，一般可以用冷却剂丧失事故 (LOCA) 模型处理；第二阶段的模拟工作确实难得多。如果堆芯温度上升速度很大，而且该场景假设应急堆芯冷却系统部分或全部失效，情况尤其如此。对事故实际发生期间能使堆芯不同象限给出矛盾读数的现象，也需要建立具体的模型。

概率安全评价的结果表明，堆芯损坏事故主导序列中，有许多起源于涉及核电厂二回路侧的过渡过程。因此，需要建立供常规岛用的两相流模拟。

在恶性事故期间，安全壳的参数 (诸如温度、压力、湿度和放射性等) 是在控制室进行监测的。操纵员必须有能力识别这些参数，并采取相应的行动。安全壳模型应包括蒸汽和水在各舱室之间流动的现象，以及喷淋器和确定氢气位置的通气管道等安全设施的動作情况。

鉴于与恶性事故有关的物理现象相当复杂，数学模型极易给出不真实的工况。教员必须对此种状况做到心中有数。

人们普遍认为，在使用模拟器进行培训时，对超设计基准建立模型时应极为小心。另外，也应注意尽量避免不恰当地过分强调特定事故的场景，这会使操纵员偏爱某些特定的诊断及随后的行动过程。

* Experience with simulator training for emergency conditions, IAEA-TECDOC-443, Vienna, 1987.

Lederman 先生是核安全处工作人员。