

改进 WWER 型核电机组的安全性： 对中欧和东欧的技术援助重点

核专家们正在通过 IAEA 支助的一国和地区项目
提高此类机组的安全水平

中欧和东欧的能源平衡在很大程度上以核能的利用为基础。电力生产量中的核电份额在捷克共和国约为 20%，乌克兰为 25%，保加利亚为 32%，匈牙利为 46%，斯洛伐克共和国则达到 49%。核电厂的可靠运行对于这些国家的经济发展一直是至关重要的。

中欧和东欧各国的核电机组基本上是以苏联技术为基础的核电机组，尤其是被称为 WWER 型的压水堆(PWR)。这些核电机组处理核安全的方案，一开始就与西方设计的 PWR 的不同。与国际实践相比，这确实使 WWER 存在着严重的缺点。显然，过去有至今仍然有必要转让技术知识，特别是核安全领域的知识，以利于利用 PWR 及相关基础设施方面的信息。这些需要甚至包括安全分析用的现代化工具、质量保证计划、高度计算机化的仪器仪表和控制系统，以及将机器人用于在役检查等等。

然而，情况并不都一样，而是与核电机组的具体堆型关系极大。堆型中有老式的 WWER-440/230 型堆(正在保加利亚、斯洛伐克共和国和乌克兰运行)，比较先进的 WWER-440/213 型堆(正在捷克共和国、斯洛伐克共和国、匈牙利和乌克兰运行)，以及新一代的 WWER-1000/320 型堆(正在乌克兰和保加利亚运行，并正在捷克共

和国建造)。人们普遍认为需要设立一项改进安全和转让技术的计划。但过去由于该地区的政治和其他限制因素，设立这种计划有困难。该地区的核专家们知道 PWR 和 WWER 技术之间的差别，并曾探讨过改善这种状况的可能性。80 年代初期，他们曾要求 IAEA 给予技术援助。

本文所报告的是过去几年中一直在执行的、目的在于提高 WWER 型核电机组安全水平的 IAEA 技术援助项目。本文还简单介绍今后的工作，尤其是计划于 90 年代中期进行的活动。

项目的建立

从较早的阶段开始，提供技术援助，特别是通过 IAEA 的技术合作计划提供技术援助，就是传播知识和技术的重要途径。尽管 80 年代初期的这种技术援助可能性限于 WWER 型堆，但自那时起这种可能性一直在扩大。目前已经建立了一个从事地区合作的高度有效的机制，这种地区合作对于有兴趣加强其核动力部门能力的那些国家来说，已成为必不可少的。

1984 年，规定可以以早期的一个地区技术合作项目的名义利用 IAEA 的计算机系统。这就为利用当时最先进的热工水力学计算机程序提供了可能。曾组织过计算冷却剂丧失事故的标准问题练习，这给地区合作和将计算结果与西方专家们获得的

Wiktor

Zyszkowski

Zyszkowski 先生是 IAEA 技术合作司技术合作计划处职员。

结果进行比较提供了可能。建在布达佩斯中央物理研究所(KFKI)内的一个实验装置,是可用于进行比较的实验数据的一个来源。保加利亚、前捷克斯洛伐克、匈牙利和波兰从这种练习中获益匪浅,该地区的其他许多国家也是这样。

1988年,开始执行一个后续项目,重点放在 WWER 型堆的安全分析上。这项活动已扩展到其他领域,包括维护、放射性废物管理、审管基础设施,以及对 WWER 型核电机组的各种安全评审出访等领域。

通过地区合作加强本国的能力

对拥有 WWER 型核电机组国家的技术援助的长期目标,是加强他们本国的能力。这就必须帮助这些国家建立用于独立评估和评价核电厂的基础设施。几个地区性项目已成为解决这一问题的重要手段,这些项目涉及保加利亚、捷克共和国、斯洛伐克共和国、匈牙利、波兰和乌克兰。

安全分析。就整体的安全性而言,中欧和东欧各国的 WWER 型堆一直是人们批评的主要对象。因此,有必要对它们的现状进行全面的估价和系统的研究。

新的 WWER-440/213 型机组在阻止放射性释放的屏障方面采用了较高的结构安全裕量,接近西方标准。这些机组能够解决核电机组的固有安全性对安全系统的某些不足可以补偿到何种程度的种种疑问。在 IAEA 的一个地区项目名下,正在开发一种国际公认的采用最先进的计算机安全程序的分析方法。还正在提供有关的文件供分析博胡尼斯核电机组(以这套 WWER-440/213 型机组作为参考机组)实际的安全水平使用。

具体地说,该项目侧重于利用最新方法和技术对安全进行重新分析,以便:总结有关设计指导思想的所有可获得资料;总结支持此种设计的实验结果;从核电厂实绩和安全的角度评价运行结果;建立设计基准事故(DBA)和超 DBA 的严重事故的事故分析方法学;更新作为编写安全报告、操作须知和技术说明书的参考分析结果的 DBA(包括外部事件)分析结果;在特别注意事故管理问题的情况下扩充对超 DBA 事故和严重事故情况的分析;根据新的安全要求评估安全水平和安全裕量;确定增强安全和小改革(如有必要)的轻重缓急;



斯洛伐克共和国的博胡尼斯核电厂。

以及为审管部门决策提供科学技术依据。

已经理出了一些具体任务,并已分配给参加者,包括 19 个研究机构和 100 多名各国专家。IAEA 的援助除协调安全分析活动外,还包括提供计算机程序、先进的计算机技术和专门知识,组织讲习班、工作组会议与其他会议等。同时,由本国提供经费的综合性计划已开始执行,并得益于在该地区项目名下获得的方法学和成果。

尽管有连续进行的内部质量保证,但是,由国际公认的专业组织独立进行的同行评审,对于认可这些工作成果来说也是一个必要条件。这种评审过程已于 1992 年开始,得到了比利时特拉克泰布尔公司(Tractabel)、西班牙原子能技术公司(Tecnatom)和总部设在布鲁塞尔的欧洲共同体委员会的支助。完成审查的预定日期是 1994 年年中。这些工作成果将成为方法学方面重要的指导性意见,可供各国专家编写针对特定机组的安全分析报告时使用。

这种地区合作的一个实例,是为斯洛伐克共和国的博胡尼斯 WWER-440/213 型机组开发严重事故模拟培训设备。一个国际专家小组在美国的风险管理联合公司

的密切配合下正在研制这种培训设备。

概率安全分析(PSA)。自 70 年代中期以来,业已证实概率论的安全分析方法是对标准的确定论分析方法的非常有用的补充。这种方法有助于运营者和审管者更深入地了解核反应堆的安全性。因此,拥有核电厂的多数国家都针对运行中的每座反应堆开发了因机组而异的 PSA。已经作过示范的多种应用包括:评价/改进设计和程序;技术参数和维护活动的优化;基于 PSA 的审管性检查;以及分析运行经验。中欧和东欧各国也都承认 PSA 有许多好处,并为应用这项技术做了大量工作。

IAEA 于 1988 年设立的一个地区计划,是旨在在运营 WWER 型核电机组的国家中实际利用 PSA 的第一项国际活动。开始时,该计划旨在为 PSA 的使用者提供培训/教育,帮助开发适用于 WWER 型堆的 1 级通用 PSA。这被认为是后期开发因机组而异的 1 级 PSA 的基础。每个参加国(包括保加利亚、前捷克斯洛伐克、匈牙利和波兰,以及以观察员身分参加的前德意志民主共和国和前苏联)都曾打算制作适用于有限数目起始事件的事故序列模型。机构



在 IAEA 的一个地区项目名下,正在为俄罗斯设计的 WWER-440/213 型核电机组开发一种称为 MELSIM 的严重事故模拟培训设备。该培训设备是一种以个人计算机为基础的系统,它也可以用来评价事故管理战略和评估各应急操作程序与各事故管理细则之间的复杂接口。这套培训设备利用了同时在不同模拟领域工作的多台计算机。在显示出不断变化着的核电厂工况的彩色显示器屏幕上,可提供有关电厂运行的详细情况,本图所示为部分显示结果。

主要通过举办多期以某些方法学课题为中心内容的讲习班,提供与该项工作有关的专门知识,进行指导和协调。

该项目第一个阶段(1988—1991年)的主要成就是开始将 PSA 方法学实际用于 WWER 型核电机组的安全分析。这包括接收与理解 1 级 PSA 所用的方法学,以及熟悉计算机软件。现在,所有参加国已形成一支具有实践经验的 PSA 专业队伍。由于 IAEA 的这个项目和对核安全问题的了解日益增加,所有运营 WWER 型核电机组的国家都设立了内容广泛的本国 PSA 计划。该地区都在为几乎每套核电机组进行或计划进行因机组而异的 PSA 研究。1994 年前将完成对所有 WWER 型机组(440/230、440/213 和 WWER—1000 型)的 1 级 PSA 研究。

为适应各国 PSA 计划的这一新情况,这一 IAEA 项目的重点正在加以调整。在 1993—1994 年间,将把援助集中在先进的 PSA 方法学、PSA 结果的利用以及通过独立的评审确保 PSA 的高质量等方面。

该项目已取得了一些重要成果,尤其是在眼下人们关心一些领域。例如,1993 年 6 月,在匈牙利的波克什核电站举行了一次“数据交流”讨论会,所有参加国的 PSA 小组和 WWER 型机组的运营者都到了。这次会议确定要编写一份介绍数据收集活动和提供大量因厂而异数据集的技术文件。

以前编写的大量文件早已用于 WWER 型反应堆的 PSA 项目。其中一份文件含有一些表,给出了专为 WWER—440 和 WWER—1000 型堆编制的一个一个通用的起始事件,还有将 350 多堆年的运行经历进行分类的独一无二的分类法。由于设计和运行实践不同,西方 PWR 的运行经验通常不适合于 WWER 型堆的 PSA。该项目有利于对所有 WWER 堆型的运行经验的收集和分析。

取得实际成果的另一个重要方面是对 PSA 的评审。对保加利亚的科兹洛杜伊 3 号机组、斯洛伐克共和国的博胡尼斯 1 号机组和俄罗斯的科拉核电站正在进行的 PSA 进行了独立的评审。对匈牙利波克什

核电站的 PSA 项目结束后评审刚刚完成。

预计 1994 年及以后将在 PSA 应用方面继续开展一些重要活动。1994 年将开始进行 2 级 PSA 研究和进行外部事件分析和停堆风险研究,预计那时会有大量的活动。这项工作将进一步支持 PSA 的各种应用,在拥有 WWER 型核电机组的国家中,这些应用正在渐渐地进入审管和运行安全的许多领域。在捷克共和国的杜库凡尼核电站,正在研制一种预计将在 1994 年初期完成的风险监测系统,并预计 PSA 将用于决定各种小改革选择的优先次序。正在考虑将于 1994 年以后开展的其他活动有 WWER 型机组的源项(事故中可能释放的各种放射性物质的量)的表征,为高效的事故管理和应急准备打基础。

核电站的维护和服务

维护、在役检查和质量保证,被认为是 WWER 工艺技术管理工作中的几个薄弱环节。这几件事已纳入 IAEA 的地区和一国计划名下的各种技术合作项目中。

1990 年处理的第一个问题是科兹洛杜伊核电站全部蒸汽发生器的在役检查(ISI)。来自萨格勒布的埃勒克特罗普里夫雷杜(Electroprirodu)研究所的一群专业人员进行了首次涡流检查。检查结果表明,必须对其他核电站也进行此种检查。其结果是,为了支持由运营 WWER 型反应堆的 IAEA 成员国承担的、为此类检查建立必要的本国基础设施和系统的工作,设立了一项技术援助计划。IAEA 一直在通过在职培训、讲习班和专家服务提供援助。援助的重点是:确定检查要求、设备的基本标准和人员配备的一般要求;评估当地的能力;确定实施方案;建立基本的在役检查能力;建立质量保证计划;以及建立在役检查计划。此外,通过来自西班牙的预算外捐助,已向参加此项目的各国提供了在役检查设备的技术规范和基本设计。

检查对象包括反应堆压力容器、蒸汽发生器与一回路管道、泵、阀门以及稳压器

在内的一些特殊部件。因此,该项目的讲习班和在职培训侧重于检验这些部件的实际方法,详细介绍涡流试验和其他形式的无损试验(如超声波方法)等检查技术,并介绍蒸汽发生器的堵管技术。此外,还安排参加人员赴正在进行计划维修的核电厂进行“实地”研究。保加利亚和匈牙利的一国项目,进一步有助于提高他们检查其核电厂主要部件的能力。

作为 ISI 项目的继续,IAEA 设立了一个以核电厂维修和服务活动为中心内容的地区项目。该项目由 IAEA 的经常预算和来自美国的预算外捐款提供基金。它通过各种渠道促进了现代化维修方法和维修技术方面的知识的传播。这些渠道包括技术交流、讲习班和基于风险概念(PSA)的管理计划。安排此计划的目的是,使它能作为这些核电厂的日常运行和维修活动的基础,以及作为对安全有关的需要或改进进行短期与长期评估和确定其优先次序的基础。

放射性废物管理

运营 WWER 型核电机组的国家,已经在放射性废物管理领域遇到了许多困难,它们起因于本国的战略与法规的缺陷和现有工艺技术的不足。1991 年设立的一个 IAEA 地区项目,旨在提高在 WWER 型核电机组中进行的放射性废物管理实践的安全性和有效性。由于各国积累的经验和水平都不同,地区合作被认为对于找出共同的问题、分享经验和就废物管理提出可以考虑与实施的改进建议是十分有效的。

需采取纠正行动和改进措施的具有普遍意义的问题如下:

- 放射性废物管理领域的立法;
- 核电厂的废物产量过大;
- 设备的泄漏过大;
- 未处理的蒸发器浓缩物的积累;
- 减容和转形设施不适当;和
- 缺少极低放废物免管限值方面的指导性意见。

该项目的第一阶段涵盖 1991—1992

年间开展的活动,其成果已在 1993 年发表的一份 IAEA 技术文件《WWER 型反应堆的放射性废物管理》中报道过。该报告列出了 WWER 型堆核电厂废物管理方面的问题,描述了拥有运行中 WWER 型反应堆各国进行地区合作的计划和仿效西方核电厂中的良好实践的计划。

安全高效管理放射性废物的一体化系统的基本组成,也是 1992 年在斯洛伐克举办的地区培训班的主题。来自该地区的成员国的 23 名参加者参加了这期培训班。

该项目的下一个阶段(1993—1994 年)有如下两项主要任务:

- 在评价和改进审管体制的现有立法、许可证审批原则和对核电厂的放射性废物管理要求等方面,向参加国提供援助;和

- 对 WWER 型堆核电厂的废物管理系统进行比较评价,并为改进这些系统提出推荐意见。从该地区项目开始执行时起,芬兰、法国、瑞典、联合王国和美国等国家就提供了专门知识。

运营 WWER 型反应堆的中欧和东欧各国,还请求 IAEA 提供乏燃料贮存方面(人们特别关注的一个方面)的意见。以前,这些国家产生的乏燃料都返回前苏联进行后处理。然而,鉴于该地区的政治和经济的新发展,过去那套满足乏燃料方面一切要求的做法已不再能继续使用。

一国项目和其他活动

IAEA 的 WWER 计划包括了许多技术项目,这些项目一直在对核能部门的种种改进作出贡献。核电厂的安全评审,即由称之为运行安全检查组(OSART)和安全重要事件分析组(ASSET)提供的 IAEA 服务,起到了重要的作用。所有拥有 WWER 型堆的国家都接待过此类工作组,通过这些出访,人们对这类核电厂有了更多的了解。

1991 年,出访保加利亚科兹洛杜伊核电厂的 OSART 工作组及随后的多次后续出访,就该厂两套机组的运行安全等问题

向审管部门提出了建议。保加利亚的专家们也作为观察员参加了对南非的科贝赫、德国的格拉芬莱因费尔德和法国的费森海姆等核电厂的 OSART 出访。OSART 工作组和后续工作组还到过匈牙利的波克什核电厂和捷克共和国的泰梅林核电厂。与此同时,为这些国家组织过一次 ASSET 方法学研讨会。在保加利亚,一系列的 ASSET 出访处理了以下一些问题:科兹洛杜伊核电站 4 套 WWER-440/230 型机组发生的安全重要事件的管理;运行安全的表现;培训运营者和审管者;帮助电厂管理部门执行 ASSET 的建议;和评估在事件预防方面的进展。此外,还举办了几期关于如何使用使核电厂事件报道标准化的国际核事件分级表(INES)的讲习班。

应当认为,安全方面的这些出访不仅是有关 WWER 型堆的信息来源,而且是向该地区各国传播关于核电厂运行的安全文化和先进实践方面的知识的重要机制。

为执行这些地区项目已安排了其他一些活动。这些活动的目的在于解决各国的一些具体问题,例如:

- 核电厂的质量保证和 ISI (保加利亚、捷克共和国、斯洛伐克共和国、匈牙利和波兰);
- 厂址和地震安全(保加利亚、捷克和斯洛伐克共和国);
- 核安全和辐射防护(保加利亚、匈牙利和乌克兰);
- 放射性废物管理和乏燃料贮存技术(保加利亚、匈牙利和波兰);
- 严重事故的管理和分析(捷克和斯洛伐克共和国,匈牙利);
- WWER 型反应堆内噪声测温技术和可燃吸收体的测量(保加利亚、捷克和斯洛伐克共和国);
- 本国的核专家培训工作(匈牙利);和
- 加强本国审管能力(捷克和斯洛伐克共和国)。

虽然这些活动主要是传播知识,但在某些情况下也提供设备。例如,提供了西班牙

Tecnatom 公司设计和制造的先进的 ISI 设备,供检查保加利亚和匈牙利的反应堆压力容器使用。这进一步开辟了以地区为基础培训专家的可能性。此外,还提供了管理科兹洛杜伊核电厂的放射性废物的技术。这也为目前正在执行的有科学依据的放射性释放限值的拟订作出过重要贡献。

这些一国项目都伴有涉及面很宽的用于开发人力资源的计划,通过有关核安全和核工程的具体课题的培训来实现。最近 10 年间,在与 WWER 型堆有关的领域内,来自该地区各国的 100 多名进修人员受到了培训。最近,机构一直在考虑支助维修方面的地区培训中心问题,这个中心将是对现有的核电厂操纵员培训中心的补充。

辅助性的作用

IAEA 关于 WWER 型堆的技术援助计划,是 IAEA 和其他组织在该地区各国的核电部门中正在进行的范围广泛的各种活动的一部分。尽管该计划的资金相对地说很有限,但它起着重要的辅助作用。

具体地说,该计划正在:

- 有助于改进中欧和东欧各国核电部门的核安全;
- 加强和(或)建立各国对他们的每套核电机组进行安全分析和独立的安全评估的能力;
- 促进在核电方面有类似情况和问题的国家之间的国际合作;
- 有助于形成开发人力资源方面的专业队伍;
- 使核安全方面的知识从拥有先进经验和先进设备(硬件和软件)的国家向该地区传播;
- 改善关于 WWER 型堆及其安全性的知识交流和丰富世界性的知识宝库;
- 就许多特殊的安全问题提供国际专门知识和建议;和
- 建立一种国际合作机制和开辟向 WWER 型堆运营者转让知识和技术的渠道。