

核安全方面

由 IAEA 核安全司安全评价科代理科长、专题会议 7:“核安全补救措施”科学秘书 Luis Lederman 提出的报告。

1996 年 4 月 1—3 日,在奥地利维也纳 IAEA 举办了一次“切尔诺贝利事故后 10 年:核安全问题”国际论坛。这次论坛是由 IAEA 在联合国人道主义事务部(UNDHA)合作下组织的。论坛的目的是审议切尔诺贝利事故以来,为改进 RBMK 型反应堆和切尔诺贝利被毁堆封隔构筑物(石棺)的安全性所采取的措施。在次周举行的国际切尔诺贝利大会上报告了论坛的结果。

本文介绍安全论坛关于切尔诺贝利型反应堆(RBMK)安全性和切尔诺贝利核电站厂址本身状况所作的结论的摘要。

事故起因

在过去的 10 年,许多科学家小组已对导致 1986 年 4 月 26 日切尔诺贝利核电站 4 号机组事故的事件进行了调查研究。虽然对事故中所涉及的某些现象的细节的了解还存在一些空白,但人们根据所获得的知识足以判定事故的起因和采取有效措施来防止此类事故的再度发生。

从今天的观点看,事故的主要起因可概述如下:

- 反应堆物理设计和停堆系统设计存在严重缺陷;
- 高能耗运行工况下的高正反应性空泡效应;
- 事故前反应堆工况下的正紧急停堆效应;
- 未能将运行反应性裕度(OMR)纳入

堆保护中;

● 主管部门缺乏安全文化,从而导致无力纠正重大缺陷,虽然在事故之前这些缺陷很早已为人所知;

● 技术安全性方面的试验计划,是考虑不周并缺乏论证的;

● 违反操作程序;

● 运行和运行设备对责任人员强加了过分要求;

● 对超过设计基准的事故保护不充分;

RBMK 型堆的安全性

普遍认为,RBMK 型堆堆芯和停堆系统的初始设计存在严重缺陷。各代 RBMK 机组都存在这种情况。在 1987—1991 年期间,对所有 RBMK 机组进行过第一阶段的安全性改进,处理了这一领域的最严重问题。

空泡反应性效应通过如下措施已得到减弱:安装 80—90 根额外吸收棒;把运行反应性裕度提高到有 43—45 根手动控制棒;和把燃料富集度提高至 2.4%。

紧急停堆系统的效率通过如下措施已得到提高:消除水柱;增加事故停堆信号后与上部控制棒一起插入堆芯的底部控制棒的数量;提高控制棒插入速度;增加一个新的速动停堆系统;以及增加控制和安全系统输入信号。

组织和运行通过如下措施已得到加强:更加频繁地计算和显示运行反应性安全裕度;改进运行规则和程序。在遥控停堆操纵台的设立、无损试验和人员培训(模拟机)等方面也已取得进展。这些措施实施情况在各核电站不尽相同。

在第一阶段改进范围之外,还留有一些需进一步注意的问题。这些问题在很大程度上取决于 RBMK 发展的不同阶段。

毫无疑问,在与切尔诺贝利事故相关的安全性缺陷方面,已实现了重大改善。至于其它方面的安全问题,改进工作正在进行或处于规划中。这第二阶段改进工作的实施依然遇到大的财政困难。对于 RBMK 型堆安



全性来说,第二阶段的改进即使不是现今的主要问题,也可称得上是重要问题。

RBMK 型堆尚存的问题。迄今所作的分析表明,从技术观点看,第二和第三代 RBMK 型堆已知的安全性缺陷,或许能用一种与纵深防御概念大体一致的方式克服。许多将要采取的措施业已确定,并已成为国际上所认可。

改进第一代 RBMK 型堆的可行性,还提出了除与第二、三代 RBMK 相关的问题之外的一些问题。关于改进的可行性及其费效,西方国家一直有很大的疑问。不过,从现今看来,必须承认,现有的改进计划将解决大多数安全问题,包括控制和保护系统、应急堆芯冷却系统和局部包容等基

本安全设施的改进。显然,这些改进计划将导致重大改善,虽然它们并不是总能再现在新的 RBMK 型堆电厂实施的技术方案。在“经典”方案难以实施的情况下,它们往往依赖“补偿方案”。

切尔诺贝利的特有问题的

上面有关 RBMK 型堆安全性的考虑,多数也适用于切尔诺贝利核电厂。不过,切尔诺贝利的情况是特殊的,因为那里存在一系列厂址特有的问题。这些问题涉及余留的机组的安全和事故后果。

切尔诺贝利核电厂鸟瞰。石棺(图的前部)围住了事故中被毁机组。(来源:Mouchkin/I-AEA)

有关 RBMK 型堆安全性的国际活动概述

应前苏联提出的请求,IAEA 在 1992 年启动了一项关于 RBMK 型堆安全性的计划。“此项计划的目的在于综合各国、双边和多边活动的成果,并就所要求的安全改进和相关的优先次序达成国际一致意见。它向监管机构和运行组织提供帮助,并为技术和财政决策提供依据。

计划涵盖的活动范围很广,而且自 1992 年以来已进行了若干评述和评价工作。在计划实施的第一阶段,一直用斯摩棱斯克-3 和伊格纳林纳-2 作为 RBMK 型堆参考机组。

欧洲委员会。在欧洲委员会的主持下,1991 年建立了关于“RBMK 型反应堆核电站设计方案和运行安全”的国际 RBMK 财团。8 个西方国家(加拿大、芬兰、法国、德国、意大利、西班牙、瑞典、联合王国)和 3 个运行 RBMK 型堆的国家(立陶宛、俄罗斯联邦和乌克兰)参加了该财团。研究的课题领域有:系统工程设计与事故进展;控制和保护系统;堆芯物理学;外部事件;工程质量;运行经验;人为因素;监管配合;和概率安全评价(PSA)。

在安全性改进方面,已提出了 300 多条建议。其中许多建议是先前已被设计人员和运行人员所认可并已按其行事的,而其余则是重要的新建议。

世界核运营者协会(WANO)。1992 年,“国际苏制反应堆用户集团”确定了改进 RBMK 型堆安全性的一般要求,包括已经实施的或开发完毕可以实施的措施,以及那些尚待实施的措施。

欧洲复兴和开发银行(EBRD)。截至 1995 年底,已有 14 个国家和欧洲联盟就 2.45 亿欧

洲货币单位的“核安全帐户”(NSA)做出保证。

向伊格纳林纳核电站提供的援助包括在役检查设备、全规模模拟机、消防设备,以及安全分析报告的编写。

对列宁格勒 RBMK 型堆提供的援助与安全改进计划有关,所提供的设备类似于向伊格纳林纳提供的设备。

NSA 切尔诺贝利项目重点是 3 号机组的短期安全性改进。相应的援助包括提供在役检查设备、中子通量仪器仪表,以及氦监测系统。

此外还正在为设施退役,即一个低中放液态废物处理厂和一个乏燃料贮存设施的退役提供资金。

双边计划。瑞典和立陶宛。该计划包括支持监管机构 VATESI、瑞典核工业公司与伊格纳林纳核电站的合作,以及各种技术项目。正在接受援助的主要领域涉及法律框架(《立陶宛能源法》的审议)、监管制度的制定、材料检查、管理和组织,以及关于伊格纳林纳核电站的一级概率安全分析的研究。

主要技术项目涉及:消防措施、堆空腔卸压能力的增强、事故局部化系统的增强、乏燃料贮存能力、废物压实、电厂实体保卫的改善,和通讯系统的升档。

俄罗斯和加拿大、法国、德国、日本、意大利、瑞典、瑞士、联合王国、美国。与俄罗斯的双边计划涉及:开发基于征兆的应急运行程序(美国);消防;燃料元件管道密封塞;仪器仪表和控制系统的改进;在役检查;泄漏探测系统(日本);金相分析;概率安全评价;质量保证;热工水力和中子规范。

展望。普遍认为,国际援助的成果已增加了这样的信任,即 RBMK 型堆的主要缺陷和所要求的安全性改进都已得到确认。

各电厂实施安全性改进情况大不相同。因此,仍需花大力气完成针对特定电厂的安全分析和实施所需要的安全性改进。

* 该计划的综述刊登在《国际原子能机构通报》第 38 卷第 1 期(1996 年 3 月)上。

尽管有在不久的将来关闭切尔诺贝利反应堆的计划,但还应执行得到国际认可的改进计划,以确保它们在剩余寿期内的安全。

对于事故后果,人们关注的有三点:沿被毁反应堆而围造的石棺;石棺内所包放射性材料;和该厂址所埋放射性材料。

石棺。石棺的潜在不稳定性是一大问题。这种担心主要与下述事实有关:主构筑物最重要的支撑物,当时是不得不在没有焊接和栓连接件等固定部件的情况下用遥控方法建造的。因此,在抵抗可能的内部和外部影响方面,存在着相当大的不确定性。上述事实与石棺能否经受得住外部负荷或冲击(如风、雪或地震所造成的荷载)有关。普遍认为在最初预期的约30年的石棺设计寿期期间,如果不采取必要的对策,石棺局部或整体坍塌的危险是不容忽视的。

即使在整体坍塌的最坏情况下,预期也不会有广泛的影响。尽管如此,稳定石棺还是一个高度优先考虑的问题。

水进入石棺是另一个重要的安全问题。水的存在会促进燃料块体解体成碎屑和造成构筑结构的腐蚀毁坏,并能增加燃料块体的反应性。关于地下水污染的危险,石棺内水的存在从长远来看会带来某种风险。不过,这种风险被认为比石棺外掩埋在地下的放射性材料与水相结合所带来的风险要小得多。

临界的可能性已受到广泛研究。结果表明,从临界角度看,石棺现在是安全的。不过不能完全排除这种情况,即石棺内存在的燃料块体配置与水接触时可能达到临界状态。然而,即使这种情况可能导致石棺内产生强辐射场,但也无需担心此类事件中会有大的场外释放或机械效应。对其它机组运行人员的影响,也应予以澄清。

切尔诺贝利核电厂另一特殊问题是,石棺和被毁反应堆附近的安全性对毗邻的运行中的3号机组可能产生怎样的影响。

虽然这种风险一般被认为是小的,但该问题需进一步调查研究。(注:在石棺坍塌引起切尔诺贝利3号机组发生事故的风险大小方面,存在广泛的不同意见。这个问题需要更详细的研究。)

其他的厂址特有问題

其他的厂址特有问題与污染有关,尤其是与厂址掩埋的放射性材料有关。污染类型和范围,通过测量可确切得知。虽然局部剂量率很高,但大部分地区仍是可进入的。然而,高放材料(例如事故期间从反应堆抛出的核燃料)的临时处置设施,成为建造和重建措施的障碍。此外,放射性物质还进到那里的地下水中。目前,污染水平仍然低。不过从长期来看,存在很大风险,绝对需要有次序地对临时设施进行处置。

厂址的逐步恢复

鉴于要在切尔诺贝利解决的问题的规模,显然需要付出长期的巨大努力。必须确保石棺的稳定性、被毁反应堆的永久安全、废物得到处置和厂址得以恢复。

许多人普遍认为,处理这些问题要有总体方案,分成若干适当步骤进行。这个方案应建立在现实的目标上,要考虑厂址放射学状况、适当的安全和废物处置优先次序。方案应从稳定现有石棺起步。稳定石棺可大大减小这个屏障坍塌的风险,并为精心考虑和周密规划下一步措施(例如构筑新的包封结构和废物管理设施)准备时间。这一步骤应包括回收或部分回收石棺内的燃料块体,以及处置厂址掩埋的放射性材料。 □