

核动力厂的老化及延长寿命: 安全问题

兼述 IAEA 于 1987 年召开的学术会议

Stanislav Novak 和 Milan Podest

大型化石燃料发电厂及所有加工工业的经验表明, 这些工厂在运行了约十年之后开始随着厂龄的增加而逐渐老化。对核动力厂来说, 也会产生同样的现象。如不采取适当措施, 不仅核动力厂的可利用率, 而且其安全性都会受到影响, 这是完全可以预料的。

显而易见, 国际原子能机构 (IAEA) 成员国内的动力堆的平均年龄正在增加 (见附图)。到 2000 年, 将有 50 多座核动力厂已经发电 25 年或更长些。大多数核动力厂的运行寿期是 20 至 40 年。

老化的定义: 材料性能因处于服役条件 (包括正常运行和瞬变工况) 下而随着时间的推移不断下降。根据一般的经验, 材料性能是在一段较长的时间内逐渐变化的。这些变化能够影响专设的部件、系统或构筑物履行其应有功能的能力。虽然并不是所有的变化都是有害的, 但从平常观察到的情况来看, 老化过程通常会使材料设备的性能逐渐下降。

核动力厂的所有材料都可能受到老化的危害, 可能部分或全部地失去其预定功能。老化问题不仅关系到有源部件 (其丧失功能的几率随着时间的推移而增加), 而且关系到无源部件, 因为它会使安全裕度逐渐趋近最低允许水平。

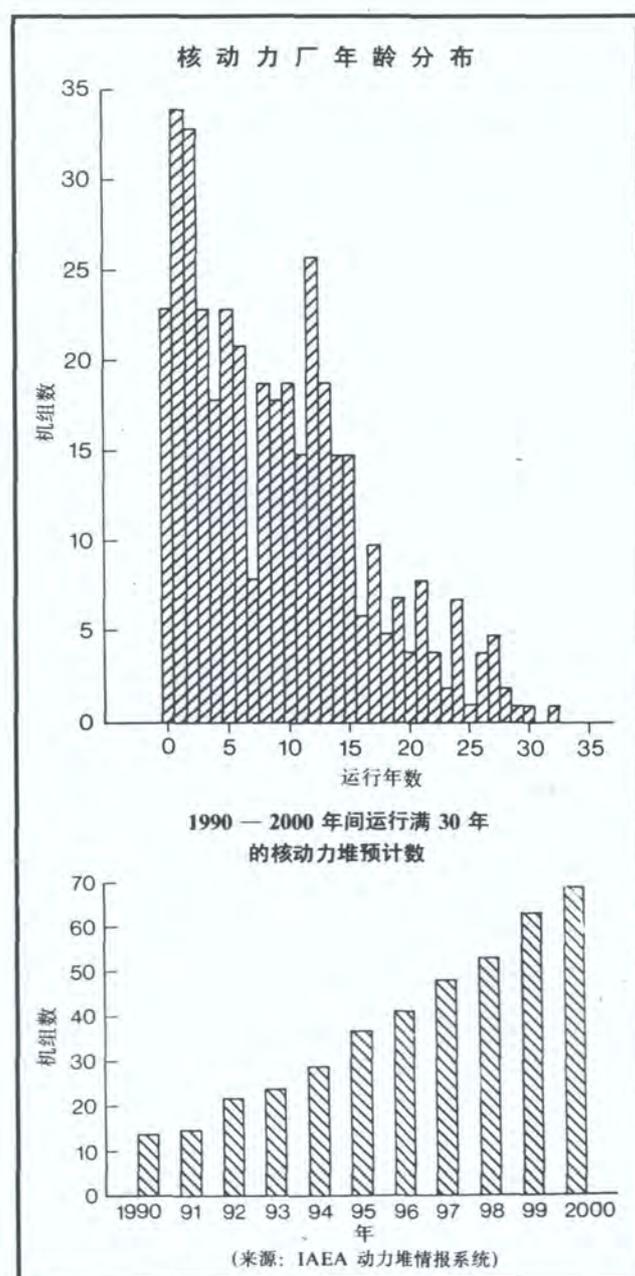
老化的效应

老化的主要效应是物理性能 (例如导电性)、辐照脆化、热脆化、蠕变、疲劳、腐蚀 (包括被腐蚀加速的消蚀和生成裂纹)、磨损 (包括被摩擦疲劳之类的磨损加速的微振磨损和生成裂纹) 等方面发生变化。

因此, “老化” 一词代表上述这些因素中的一个

Novak 和 Podest 先生是核能和核安全司工作人员。

或多个因素在部件或构筑物内随着时间的推移而造成的那种累积性变化。从这个观点来看, 很清楚, 这是



一个很复杂的过程，从部件或构筑物一生产出来就开始，并贯穿其整个服役期。老化在确定核动力厂的寿期限值或延长寿命方面，无疑是一个重要的因素。没有任何一座核动力厂（包括目前仍在建造的或已封存的核动力厂）能够摆脱这种影响。

老化的速度在很大程度上取决于服役条件和材料对这些条件的敏感性。因此，必须在设计阶段就开始注意老化问题，如选用合适的材料，并在整个使用期间不断地加以注意。

核动力厂的老化不仅可以影响发电效率，而且，如果关键部件或构筑物的退化未能在其履行功能的能力丧失前被发现，或者未能及时采取纠正行动，同样也会影响到安全性。因此，务必弄清楚的是，在其用意是减轻瞬变过程和事故后果的那些系统中，老化过程是怎么会改变部件发生故障的几率从而减小安全裕度的；以及时效退化是怎么会引发这类事件的。

对设备老化的担心出于这样一个事实，即故障会在若干冗余安全系统内同时（或基本上同时）发生。多重性（加上多样性）是防备设备随机故障造成后果，并确保在动力厂运行期间的任何时候至少有一套完整的安全系统在起作用的最基本手段。倘若设备的老化达到了使其履行功能的能力降到这样的程度，即降到设计基准事件所产生的应力增加会引起冗余系统同时失效（或在一个临界时间间隔内先后失效）的程度，就会使核动力厂失去所需的保护。

监控和探测

运营单位一直在使用各种方案和手段来防止、发现和纠正包括时效退化效应在内的各种原因所引起的系统或部件的失效，和减轻失效的后果。这些方案和手段包括预防性维护计划、重大事件报告系统、及定期审查动力厂的性能。这些一直在根据所获得的经验教训和学到的新知识，不断地加以完善。从总体上看，它们在发现和减缓老化效应方面是相当有效的。

过去，老化问题被认为仅仅是部件失效的许多可能原因之一。老化问题的研究，主要着眼于实际碰到的运行问题或各种故障。然而近年来，核工业界、管理机构和国际组织已认识到，随着核动力厂平均年龄的不断增长，利用新技术加强现有的计划将能得到一种更为系统和更有成效的解决方案。因此，为了加深对老化现象的规律及可用于对付其效应的新方法的了解，一些成员国已经开始执行一些计划或项目。这就

促使人们在评议和发展监控、测试和检查方法方面狠下功夫，以确保及时探测时效退化。

对付核动力厂的老化过程，需要有能够系统地分析这些现象的手段。为了评价老化对核动力厂性能的影响，应该建立一批实验方法和理论方法。应该在核动力厂运行期间，进行有效的检查、监视和监控，以评定部件、系统和构筑物的“合格使用期”。这些数据应成为及时和有效地维护、修理和更换部件和系统的依据，特别是对安全性重要的那些部件和系统。

国际学术会议

如同妥善处理核动力厂老化问题那样，延长核动力厂寿期的经济效益问题同样引起了人们愈来愈大的兴趣。IAEA 在其计划中，已经注意到了这两个课题。

最近，机构组织了有关核动力厂老化和维护中的安全问题的国际学术会议，它是 1987 年 6 月 29 日至 7 月 3 日在维也纳召开的。^{*} 这是由 IAEA 组织的有关这一课题的第一次会议，因此是面向范围广泛的参加者的一次会议。参加者中包括：从事核动力厂运行的技术和管理人员，政府管理机构的工作人员，咨询和建筑工程公司、供应商的技术和经理人员，以及参与维修活动的核动力厂技术和管理人员。来自 30 个国家和 3 个国际组织的 140 名参加者出席了这次会议。下面重点介绍会上讨论的主要专题。

各国的努力

在某些国家，已经开始执行若干计划。这些计划所包括的研究工作，其目的在于了解核动力厂的老化规律、它们对安全的潜在影响，探索探测和减缓老化现象的方法。例如，美国核管理委员会（NRC）已有一项称为“研究核动力厂老化问题”（NPAR）的计划。该计划包括 3 个方面的工作：（1）寻找和选出其老化对安全性有严重影响的部件；（2）审查设计依据的安全裕度及进行合格与否的测试办法，审查运行经验和专家的意见，开发监视、检查、监控和维护的方法；（3）开展工程研究，包括验证检查、监视、监控和维护用的方法，进行就地检验，收集正在运行设备的数据，进行服役后设备的检验，自然老化的设备

^{*} 国际原子能机构已出版了论文汇编。

测试, 以及费用-效益分析。这个计划真实地显示出了老化问题的复杂性。

该学术会议也谈到了其他管理机构处理老化问题的方案。会上提到的一些重要措施有: 以广泛收集运行数据为基础的定期评估计划; 预防性维修计划; 核动力厂部件的连续监测; 分析意外事件得到的反馈; 零件和部件的合格条件; 运行人员的教育和培训; 来自外部的控制和质量保证。目前正在开发一些程序, 以便利用老化和部件失效数据, 使核动力厂的风险量化。

对运行数据的收集和评价, 同样正在受到人们更多的重视。会议介绍了一种计算机化数据收集系统的优点, 它能同时收集监视、测试和维护计划方面的各种结果。该系统还能收集有关各种运行模式的数据, 这些数据可供以后评估紧要部件寿期时使用。会上还介绍了运行反馈在制订电气和其他设备的测试规范中的作用。

在了解老化现象方面, 目前还有其他几种手段正在使用或正在进一步开发中。这些手段包括老化状况概率模型; 利用核动力厂退役核设施的部件评估老化现象; 以及利用一些能使紧要部件“人为老化”的方法测定其可使用寿期。

在核动力厂运行期间, 也可采取某些能够减轻老化现象的措施。这次会议提到的有: 利用技术诊断设备追踪系统的退化状况并推算出剩余寿命; 进行水化学监控以防止腐蚀; 以及监测压力容器的辐照损伤。

核动力厂寿命的延长

此次学术会议从几个角度对核动力厂寿命的延长问题(技术上简称为 Nuplex)进行了讨论。会上介绍了法国、日本及美国的核动力厂寿命延长计划。这些计划尽管所涉及的核动力厂类型不同, 内容却是大同小异的。它们一般都包括: 建立存有必要运行资料的数据库, 开展研究与发展工作, 以及收集更换或修理紧要设备所需适用器材的可获得性方面的情报资料。美国设立了 Nuplex 指导委员会, 其主要作用是: 提醒核管理委员会及时制订许可证延期办法; 发起必要的法规研究, 并在核管理委员会提出的有关许可证延期的政策和规定方面, 为电力公司辩护。

在核动力厂寿命延长的技术方面, 此次学术会议上的论文大多是针对运行说的。美国爱达荷国家工程实验室介绍了评估压水堆(PWR)主要部件剩余寿

命的方法。美国桑地亚国家实验室, 介绍了将概率风险评价(PRA)技术用于性能监测, 以提高核动力厂运行安全性的情况。在一份评述1987年2月由经济合作与发展组织核能机构在IAEA配合下组织的、延长核动力厂寿命问题学术会议的报告中, 深入讨论了一些工艺技术问题。

日本在判断反应堆压力容器的基本寿命方面, 已做了一些研究工作。他们告诉会议的参加者, 这些研究成果已应用于拟订评价老化现象的工程措施。法国的一篇论文, 介绍了记录本国标准化压水堆上发生的瞬变事件的记帐系统, 这是满足法规要求的一种辅助工具。

这次会议还组织了三个小组讨论会。第一个小组讨论会讨论了与有源和无源部件老化有关的一些问题。会议强调, 务必仔细研究有源部件老化对风险的贡献。必须改进数据库系统, 以便收集故障、修理和维护方面的更详细数据。会议强调了以下几个观点, 即老化问题不仅关系到未来, 而且关系到目前正在运行的全部核动力厂; 目前使用的测试、监控和维护方法, 尚不足以应付老化问题; 老化影响的量化, 对于确保核动力厂的安全运行和向管理机构提供有根有据的数据都是很重要的; 处理老化问题应以“预防为主”; 应把注意力集中在核动力厂最敏感的零部件上。

第二个小组讨论会把重点放在运营者的一项重要活动上, 即系统地标出对安全和可靠性比较重要的部件和零件的时效退化情况。人们认为, 为了推断退化程度, 并进而估计零部件的实际损伤情况, 必须了解退化的机制。制定出以详细的数据分析为基础的合适的维修计划(目的在于在物项失效前及时把它们换掉), 是处理运行中核动力厂老化现象的一项特别重要措施。

在第三个小组讨论会上, 集中讨论了IAEA在这方面的国际合作中的作用。与会者特别提到了机构在促进对话和情报与经验交流方面的工作, 提到了它通过文件、导则和其他出版物传播情报资料的作用。总的来说, 人们建议机构在此领域内继续积极起作用。这是因为在核动力厂的老化和寿命延长方面能够做出决定之前, 还有大量的技术、经济和管理方面的问题必须解决。

IAEA目前正在起草一份报告, 预计1988年完成。该报告将吸收1987年有关核动力厂寿命延长和有关核动力厂老化和维修的两次学术会议所取得的成果。