

芬兰

芬兰的运行经验

负荷因子高, 停役次数少

Klaus Sjöblom 和 Ahti Toivola

芬兰国内化石燃料资源缺乏, 核电是其电力生产的一种重要手段。芬兰1985年的电力总消耗量为518 亿千瓦小时 (kWh), 其中核电约占38%。芬兰人均电力消耗量比较高 (10800 kWh每年), 这些电力主要用于广泛的木材加工工业和住宅供暖。

核电厂的管理审查和评价工作由芬兰辐射与核安全中心进行。管理的必要条件——建造许可证、国家进口核燃料以前的燃料许可证以及电厂运行许可证——由贸易和工业部审批。此外, 修改中的核法规应包括, 在一项核工程开始前应得到众议院原则同意和地方上认可的条款。

迄今, 芬兰核电厂的运行一直是令人满意的。负荷因子一直是高的, 工作人员所受的辐射剂量一直是低的, 释放到环境中的放射性一直是可忽略不计的。这些成绩的取得是由于基础设计合理 运行实践良好和工作人员素质好。

洛维萨核电厂

洛维萨核电厂 (两套440兆瓦机组)座落在赫尔辛基东南约100千米处。主要供应者苏联原子能出口公司, 提供了反应堆和汽轮机系统。但是, 该工程的国内供应部分, 约占总投资的60%。许多国家的许多公司, 也对这个独一无二的东-西方项目作出了贡献。

自调试以来, 该电厂的负荷因子逐渐提高, 并正在接近理论最大值。反应堆事故停堆很少发生, 在过去几年里发生率还不到一年一次。至今, 没有发生过威胁反应堆安全的故障, 或发生过显著地向环境释放放射性的事件。

设计特性

1967—1970年间商谈洛维萨核电厂的一些技术方案时人们已经确认, 芬兰的安全要求在若干方面与当时苏联的情况不同。那时, 做了广泛的研究, 结论是, 洛维萨核电

Sjöblom 先生和Toivola 先生分别在洛维萨和奥尔基洛托核电厂工作。



厂应配备符合西方标准的气密安全壳*。

应急冷却泵、柴油发电机组和一些其他的主动安全部件的冗余度是 $4 \times 100\%$, 而被动部件的冗余度至少为 $2 \times 100\%$ 。自动化水平比苏联“母”电厂的高得多。苏联设计人员对工艺参数和应力的选取相当保守。因此, 与西方制造厂家采用的性能要求相比, 许多部件的安全系数都过大。这样一来, 瞬变过程都比较缓慢, 而且设备所受应力较小。

运行实践

安全参数范围、定期试验要求和容许的部件修理时间, 在一份技术规范文件中有规定, 该文件在已有的经验基础上不断进行修改。主要原则是, 核电厂能经受住与任何单一故障同时发生的任何一个起始事件; 部件修理时间限于三天, 否则电厂就得停堆。

修理和维修工作必须按严格的质量要求进行。备件必须与原先用的部件标准相同, 并且必须采用相应的质量保证 (QA) 程序。此外, 必须根据批准的程序进行大量在役试验和检查。

* 因为有6个卧式蒸汽发生器, 使得其安全壳的直径较大; 还应指出, 某些部件经受不了普通“干式”安全壳内的事故工况, 而要重新设计这些部件得花许多时间。因此, 选用了冰凝汽器安全壳系统。以一回路管子双端破裂为依据, 安全壳的设计压力为1.7巴。

改进

对安全有重要意义的改进的主要根据是运行经验；用现场培训模拟器得到的经验；其他压水堆（PWR）的运行经验；三里岛（TMI）核电站事故；有关材料和部件的新资料；许可证要求的更改；以及本公司进行的实验结果。

反应堆压力容器的堆芯区在运行过程中因受快中子通量的辐照而变脆。已做了广泛的分析和在役检查。为了降低脆化率，最外层燃料元件已由假燃料元件代替，这样做并未降低反应堆总热功率水平。应急堆芯冷却引起的潜在热冲击，已通过提高冷却水温度而减小。

TMI事故以后，又作了若干改进。这些改进包括安装了与氢气浓度测量、辐射监测和其他各方面有关的仪表和设备。

此外，还更换了若干部件，修改了一些试验程序，以便在正常使用中和事故工况下达到更高的可靠性。许多改进还使消防能力得到改善。

辐射安全

与国际上的其它核电厂相比，洛维萨核电厂的辐射剂量是较低的。工作人员的年集体剂量为约1人-希(Sv)每核电机组。100千米内居民的年集体剂量为约0.01人-Sv。核电厂部件的可靠性（只堵塞过一根蒸汽发生器的管子）和燃料包壳的密闭性（在15堆年期间只有6次泄漏），对极好放射性记录作出了贡献。

芬兰的辐射监测网

芬兰辐射监测网由内政部和芬兰防御部队管理的约270个辐射测量站组成。通常，这些辐射测量站每隔一天测量一次辐射水平，一天由内政部管理的测量站测量，另一天由防御部队管理的测量站测量。通过内政部营救司或总司令部的核子、生物、化学（NBC）防御局，将测量结果向芬兰辐射与核安全中心报告。

芬兰气象研究所也有一个由10个气溶胶测量站组成的监测网。通过这个网，可能探测到比上述装备有盖革计数器的监测网测到的更低的人造放射性核素的辐射水平。

必要时，芬兰辐射与核安全中心（STUK）随时派出巡回队进行测量。这些巡回测量队装备有全套测量剂量率的设备和袖珍式 γ 谱仪。

奥尔基洛托核电厂和洛维萨核电厂也都有相当完备的测量设备。

—资料引自芬兰辐射与核安全中心的一篇报告。

培训模拟器

洛维萨核电厂有一台相当于全尺寸的模拟器，它模拟电厂在正常运行方式和各种瞬态以致小失水事故（LOCA）工况下的行为。

运行人员初始培训时间为6至8周，以后每年再培训时间为10天。该模拟器也用于运行设备和仪表改进的验证；电厂运行指令的确定和检验；更好的模拟模型的建立；电厂瞬变状态报警减少的研究；验证电厂的改进和概率风险评估（PRA）成功准则的规定；以及各类研究工作。

安全分析

核电厂在LOCA事故各阶段的行为，已用许多分析方法作了研究。反应堆压力容器在各种应急冷却瞬态中的完整性，已经成为广泛材料研究、强度研究和工艺过程研究的课题。PRA评价工作正在进行。通过这种评价，可以鉴别出一些最重要的风险因素，也将得到有关核电厂在各种假想事故中行为的有价值的数据库。

奥尔基洛托核电厂

奥尔基洛托核电厂有两套机组，它位于芬兰西海岸，属于工业电力有限公司（TVO）所有。该电厂的机组都是710MWe的沸水堆（BWR）。由瑞典通用电气公司—原子能公司提供。1号机组（TVO-1）首先于1978年9月与国家电网联网，TVO-2于1980年2月联网。

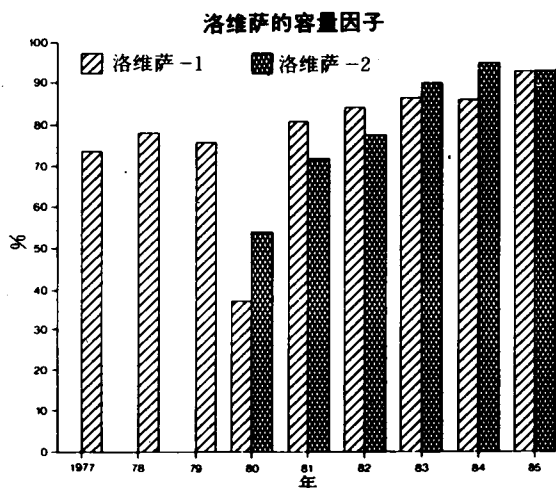
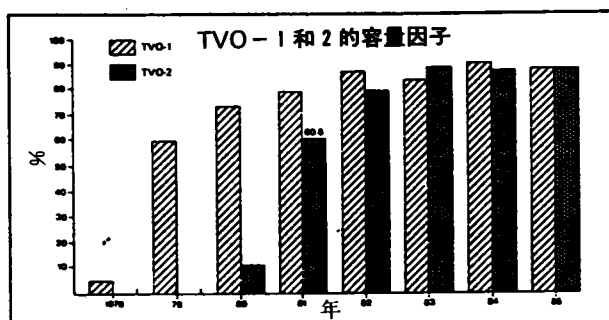
各套机组原额定输出功率虽为660MWe，但人们认为成熟的工艺和足够的安全余量，可以将电厂输出功率提高8%。自1985年初起，国家安全局已批准该电厂以提高后的额定功率710MWe运行。

运行

近几年来，两套机组负荷因子均能稳定地保持在80%以上。1981年，两套机组的发电机发生了技术问题。这一问题突出反映在TVO-2的负荷因子上。发电机用水冷却定子和转子，这是一台转速为3000rpm的机器在技术上所要求的特征。转子设计已有改变，并已成为两套机组制造了新的发电机转子。1981年以来，新的转子已证明是成功的，没有出现类似的运转问题。

停役经验

两套机组的燃料循环周期为12个月，换料停役安排在夏初，因为这时电力需求较少，而且水电厂的水源充足。减少停役时间对达到良好电厂实绩的重要性不久便被人们



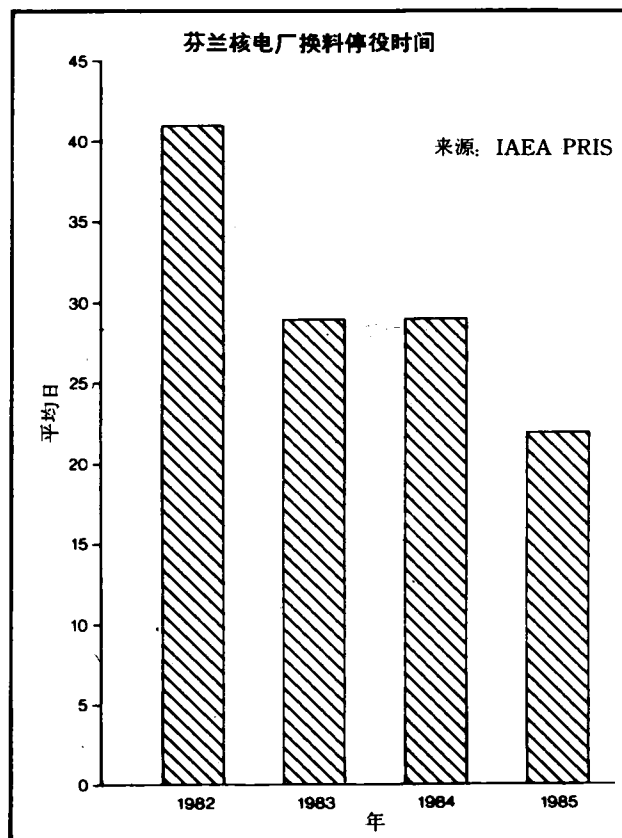
注：1980年，洛维萨-1有一台蒸汽发生器作了焊缝检查。

所认识。(见停役时间趋势附图。)根据估计，能够达到的最短停役时间是12天，在这段时间，能够完成正常换料与定期检查与维修活动。根据停役计划中已被采用的长期战略，最好在一次较长停役期间集中进行大修，这种大修每隔一年进行一次。这就有可能每隔一年有一次时间很短的停役。

TVO-2 1982年停役时间长，而TVO-1 1983年停役时间长，部分原因是反应堆堆芯内部构件作了大范围的修理。反应堆堆芯全部卸料，堆芯支撑格架从堆容器中取出。这是因为，堆芯格架导轨的系紧螺栓发生应力腐蚀裂纹。导轨和螺栓已换成新的。同其他BWR堆一样，应力腐蚀裂纹也是TVO核电厂最关心的事，每年都要进行全面的调查。由于瑞典通用电气公司-原子公司电厂的管材采用低碳钢，应力腐蚀在压力轴承部件中没有带来大的麻烦。但是，在反应堆堆芯内部构件和燃料束构件中，用不大易于产生应力腐蚀裂纹的其他材料作了大量更换。

安全原则和经验

将TVO-1和2中所有与安全有关的系统分成在实体上是彼此分离的四个分系统。四个分系统只要有二个正常运转，就足以对付所有可能的事故。这种4 × 50%的安全系统意味着，冗余系统如果有一个系列处于不能运转状态，再出现单一故障时安全功能仍有保证。这个事实使人们有可能制定一个在功率运行期间，与安全有关的系统进行预防性维修的计划。每个分系统每年允许有三天的不能利用期，以便进行预防性维修。这个计划减少了换料停役时



的许多工作量，因此能起到缩短停役时间的作用。

该核电厂的技术规范要求对每一个与安全有特殊重要意义的违章行为和其他事件都写一份专门报告。在过去5年运行期间，平均每年写过一至二份关于两套机组的专门报告。

专门报告报道的情况可能是多样的，从正式违反安全条例到安全系统方面有疑问的技术问题。然而，可能使厂区内外的工作人员受到放射性过度照射量的事故，没有发生过。在TVO-2四台应急柴油机中的一台内曾发现过一个已折断的排气阀摇杆臂，这是可能产生重大后果的一个例子。在接着的检查中，发现同一台柴油机的若干摇杆臂上有裂纹。此后，对两套机组的全部柴油机都作了检查。由于在相同的位置上又发现了一些有裂纹的摇杆臂，人们认为必须要求制造厂家重新设计摇杆臂，并更换了全部摇杆臂。

放射记录史

工作人员的年集体剂量是低的，放射性水平也是低的，主要原因是燃料故障率低。由于严格控制与水接触部件所用钢的钴含量，腐蚀产物的放射性也是低的。严格的辐射防护条例也起了很大作用。事实上，电厂的许多高放射性系统至今没有必要进行大修。

厂内的放射性低，也反映在厂外。电厂附近居民区的剂量总计为十分之几微希(μSv)每年。这个数值仅为容许限值(100微希每年)的千分之几。