

秦山三期重水堆双机组调试管理

The Commissioning Management of Twin-Unit Qinshan-III Candu Nuclear Power Plant

顾军

(秦山第三核电有限公司, 浙江 海盐 314300)

摘要: 从调试的组织与管理模式、进度管理、接口控制、质量控制与核安全监督以及文件管理5个方面阐述了秦山三期重水堆核电厂双机组调试的成功实践, 并总结了作者在参与这一项目过程中的一些体会, 可为今后核电建设或大型项目的组织管理提供参考。

关键词: 重水堆; 调试; 管理

Abstract: This paper describes the successful practices of commissioning in twin-unit Qinshan-III Candu NPP from the view points of such five respects as the organization and management pattern of commissioning, schedule management, interface control, quality control & nuclear safety monitoring, and document management, it also presents a summary of author's understanding and experiences obtained from this project, which can serve as the reference for the organization and management of future NPP construction project or other large scale industrial projects.

Key words: Candu; Commissioning; Management

秦山三期重水堆核电工程1号机组自2001-04-18启备变受电, 标志着机组现场调试工作开始, 到2002-12-31正式投入商业运行, 调试时间为20.5个月, 2号机组则历时21个月, 与重水堆双机组调试业绩最好的韩国月城3号(调试工期23.5个月)、4号(调试工期25.5个月)机组相比, 实现了新的突破。除了在进度方面取得的业绩, 秦山三期在调试技术方面也取得了不少突破, 创造了新的记录。

(1) 安全壳泄漏试验的记录: 1号机组泄漏率达到0.210%安全壳自由容积/d, 2号机组达到0.132%安全壳自由容积/d。之前最好的记录由月城核电厂4号机组所创, 泄漏率为0.290%安全壳自由容积/d。

(2) 首次装料时间的记录: 1号机组首次装料用了不到7 d时间就完成了380个燃料通道共4 560根燃料棒束的装载。2号机组则只花了5 d多一点时间, 创造了重水堆装料的最短时间记录。

(3) 主蒸汽管道首次采用人工清扫工艺, 不但质量上乘, 同时也节省了约180万元的投资。

(4) 汽轮机润滑油冲洗方案综合采用了高温大流量高速循环冲洗、变温冲洗、管道加减振器和人工敲打以及压缩空气鼓泡方法, 使1号机组的汽轮机润滑油冲洗由原计划的100 d缩短到74 d, 2号机组为60 d, 为汽轮机润滑油冲洗提供了一个新方法。

(5) 燃料通道流量测量——只用了不到3 d(66 h), 比同类重水堆核电厂所需要10 d的时间大大缩短。能够取得这些业绩, 与秦山三期调试组织与管理、科学的进度安排、良好的接口控制、一流的文件管理、独特的质量控制是分不开的。

1 全新的调试组织机构和管理模式

1.1 调试组织机构与特点

高效率的组织机构是项目管理成功的组织保证。而任何一个项目的组织机构和管理模式与合同的特点以及自身的发展方向密不可分。在调试组织机构的设置上, 秦山三期充分考虑了合同上总承包商只作为“指导”、“指引”和47个人力的支持, 中方负责具体调试实施的责任, 同时也考虑到今后电厂运行的管理目标, 因而设置了中外联合、调试生产一体化的调试组织机构。

机构中调试技术组是由系统工程师组成的调试技术部门, 是调试工作的核心。维修和运行部门人员根据系统工程师编写的调试程序进行现场的试验实施工作, 这两大部门组成了调试的执行部门。这一机构有以下几个特点:

(1) 调试与生产合二为一。既充分利用了现有的技术力量, 也使所有生产人员从调试开始即介入了电厂的各项工作, 为自主运行打下了良好的基础。

(2) 机构总体分为调试技术、执行、支持三大块, 技术管理和现场执行相互独立、相互配合、相互监督。

(3) 该机构确立了以系统工程师为技术核心的调试管理模式, 建立起了调试工作程序化和电脑化的工作平台。

(4) 机构以首次装料为分界点, 执行组在机组装料后转入生产功能。

综述
核电设计
工程管理
工程建设
运行维护
核安全
核电前期
核电论坛
核电经济
核电国产化
质量保证
核电信息

(5) 调试计划组作为一根纽带连接调试技术和调试执行两大部门，在进度控制方面发挥着主导作用。

1.2 系统工程师为技术核心的调试管理模式

在确定机构的同时，也确定了以系统工程师为核心的调试管理模式。这一模式通俗地理解，就是系统工程师就是系统的主人或系统的“总工程师”，不仅要负责系统的技术问题，同时也要负责对系统相关的协调和管理工作。系统工程师不按专业划分，原则上要求精通一门，但对其它专业知识也都要了解。

一般根据系统的复杂程度和技术难度安排合适的系统工程师，1个系统工程师负责1个或几个系统。从任命开始到调试结束，系统工程师编制所负责系统的所有技术文件、解决系统调试过程中出现的问题、指导现场调试实施、负责调试报告和记录的归档整理等。同时，强调了软件(文件等)工作和硬件(现场调试等)工作并重的原则，将文件等软件工作提到了更为重要的高度来要求，有力地改变了重硬轻软的习惯做法。

以系统工程师为核心的技术管理模式在秦山三期调试的成功应用，既为今后生产运行提供了良好的文件基础，也为今后电厂运行期间的技术管理模式确定了框架，为中国的核电管理探索了一条新路子。

2 科学的调试进度管理

秦山三期调试计划改变了只给出开工时间和目标完成时间的传统方式，将调试工作根据调试程序建立所有调试活动的数据库，从文件准备、人力资源准备、系统移交、与其他系统的接口等方面提出预期计划，并通过各种数据图表和计划曲线及时反映调试工作进度趋势和问题所在。另外，秦山三期调试采用了国际上大型项目管理较为通用的P3计划管理软件，为调试计划进度管理取得成功打下了坚实的基础。

2.1 计划管理与程序紧密结合

秦山三期调试计划管理分为5级：调试二级进度计划、调试三级进度计划、调试3个月前瞻计划、调试周计划、调试日计划。它的特色就是把每级的计划和调试程序紧紧联系在一起，大大增强了计划的可操作性。图1反映了计划编制与调试程序之间的对应关系。

2.2 进度计划“分—合”推进

秦山三期调试进度管理的一个特色就是采用分组开展调试和独立配备计划员的方式。这一方式的最大特点在于每一个计划员和调试专业组相对应，在反应堆装料前的单体调试阶段各专业组相对独立地开展调试，自成一体进行工作控制，通过计划员来协调安排工作计划的进度，将原来汇成1处进行工作许可的方式变成了6处，大大有利于整体进度的控制。当然，这只适用于单体调试阶段。装料后调试工作将六线合一，工作由主控室统一控制。

在进度控制方面采用P3项目计划管理软件，在P3中要分别输入调试二级进度和三级进度的不同的项目，其中基础数据有调试作业的作业代码、作业说明、作业工期、作业逻辑关系和每项作业需要各工种的人力资源等。根据二级和三级调试程序，把各系统中每一项调试工作的前项和后项或并列工作项连接起来，这样就把各个系统之间工作逻辑关系建立起来，从而把所有调试工作连成一个可控制的进度网络，通过这个网络可以看出其中每一项工作工期的延迟或提前对整个系统甚至整个进度网络所产生的影响。通过这个网络还可以很快看出一个系统或整个调试的关键路径以及实际进展与设定目标之间的浮动天数。使用P3软件的突出优点是可以预计任何一项调试活动的开始和结束时间，这是传统的调试计划进度管理不可能做到的。

3 “归—化”的接口控制

调试作为工程的最后一个阶段，是对工程设计、设备制造、土建和安装施工的质量进行全面鉴定的阶段。因此，调试就牵涉到和设计、采购、安装、运行、维修等部门之间的接口，还涉及到各监管部门(如质量保证、核安全等部门以及国家核安全管理局)之间的接口关系等。在接口控制方面，秦山三期充分发挥了以系统工程师为主这一模式优点，以系统为基本单元，以系统工程师为处理问题的“源”和“终”，比较全面地解决了和各个部门之间的接口关系，保证了调试工作的顺利开展。

3.1 调试与安装之间的接口

这个接口体现在系统移交管理上。系统从安装向调试移交不仅从技术和实体进行移交，对系统和设备的控制权也转移了，也就是说，安装单位准备移交工作文件包提交给调试队审查(主要是系统工程师的确认)，一旦签字接收，该系统的控制权就转移给了调试队。由于责任的转移，移交边界点在移交过程中就显得非常重要，调试队也非常重视对终端点的审查，这为保证每个系统的状态是非常有利的。

在接口管理上，把系统移交纳入到系统调试的逻辑关系与调试计划的管理中，从而实现了1号机组252个移交包、2号机组232个移交包基本上有序地交接，为系统开展调试工作创造了条件。

3.2 调试与工程、设计、采购之间的接口

这一接口关系主要通过调试澄清申请(CCR)和质量观察报告(CQOR)来解决，对于系统设计缺陷/疑问或文件问题，调试队发出CCR，要求工程、设计等相关部门对存在的问题和缺陷做出合理的解释或给出解决方案；对于设备的缺陷或安装过程中造成的损坏，则以CQOR的形式，要求总承包商现场项目经理部(SPMO)的工程、采购部门给出评价和材料补充。除此之外，还有调试现场指令(CCFI)和调试现场行动申请(CFAR)，它们是调试队直接要求安装单位现场施工的指令性文件；调试设计变更申请(CFCR)则是调试队要求做的系统设计变更。

1号机组调试期间共产生接口文件5 500多份，2号机组的接口文件有8 000多份，这些接口文件主要通过每周定期会议来进行审查和讨论解决，对于问题较大或责任不清的，则提交到总经理协调会这一最高级别讨论，通过这些工作单的运作，把调试和工程、设计、采购等部门紧紧联系在一起，加快了问题的解决，增强了团队的凝聚力。

3.3 调试和运行、维修之间的接口

由于秦山三期调试队是一个调试和生产联合的组织，因此：装料前，运行、维修人员组成调试执行组，负责单体试验的调试实施工作；装料后，调试执行组不复存在，人员回归运行、维修部门，按正常生产机制负责电厂的运行和维修工作。这种接口关系主要通过调试队内部的工作申请管理系统(WMS)来运作。系统工程师提出工作申请，维修工作组评估后由计划员排入计划，现场实施前运行人员负责工作许可和控制，做好安全措施后现场执行，工作完工后由工作组组长确认完成状态并填写工作报告，最后由系统工程师验证后关闭工作申请。这一关系可用图2表示。

这一系统的成功运作为3万多条调试活动的有序实施提供了良好的保证，也为后续跟踪管理提供了良好的平台。

4 独特的质量控制体系和核安全监管

秦山三期的质量控制和核安全监管主要围绕调试控制点，以系统可投运证书和调试完工保证证书来开展工作的。

4.1 调试控制点

如果把调试从开始到结束理解成一条直线，那么在这条直线上调试队专门设置了14个控制点，以逐步审查调试的进展和质量状态。这14个控制点分别是重水接收(AD)、慢化剂充装重水(MD)、核燃料进场(AF)、安全壳强度和泄漏率试验(LT)、热态(HC)、失去四级电源(PF)、装料(LF)、主系统装重水(HD)、临界(CR)、提升功率(PI)、首次并网(PP1)、50%满功率(PP2)、100%满功率(PP3)以及临时验收(PA)。其中MD、AF、LF、CR、PI、PP和FP为被国家核安全局选定为调试的取照控制点(LCCP—Li censi ng Commissioning Control Point)。这些点也自然成了调试的质量控制点。

4.2 系统可投运和调试完工保证

为支持上述14个调试控制点的释放，调试队专门以系统可投运(AFS)和调试完工保证(CCA)证书文件作为支持控制点释放的文件依据，AFS/CCA的控制点组成了有效的矩阵控制网络。对于每一个控制点，与此控制点有关系统的系统工程师需编写调试进展到了此控制点时该系统所处的状态和已经完成的调试任务，需验证所负责系统的各项调试活动应满足验收准则，并就试验中发现和暴露的问题及其处理结果作出评价，对于遗留的项目要确保对后续阶段调试没有影响，最终向调试队管理层给出是否满足控制点释放的意见。调试队管理层对这些结论进行审查，并最终确认该系统是否满足控制点释放的要求。CCA主要是针对国家核安全局选定的7个取照控制点，要求更高，核安全局代表参加对CCA文件的审查。

4.3 核安全监管

国家核安全局对调试期间的核安全监管主要体现在2个方面：一是针对7个控制点组织专家团进行检查，二是由核安全局驻现场官员对调试过程中选取67个试验作为专项检查。

控制点的审查是以CCA审查和专家团综合检查相结合进行。在每份CCA审查时核安全局代表都出席审查会，对涉及安全相关问题提出意见，审查通过后由业主对口的核安全部门和总承包商——加拿大原子能有限公司的核安全经理在证书上签字认可。控制点释放前，国家核安全局组织国内同行专家进行详细的综合检查。两者的结合确保了调试质量和核安全。值得一提的是，秦山三期调试中这7个控制点都是一次检查释放通过。

为确保这7个控制点的释放，国家核安全局在调试期间专门设置了67个专项检查点，具体由核安全局驻秦山三期现场的上海监督站负责。对于每个专项检查点，在试验实施前，专门安排系统工程师对试验的目的、试验的操作步骤、试验应达到的目标以及需要满足的验收标准等向检查团作详细介绍。检查团参加试验前的工前会，试验过程中检查团在现场进行监督，试验结束后业主将试验记录提交给核安全局审查批准。由于这67个见证点基本覆盖了秦山三期整个调试过程与安全相关系统的重要调试试验和项目，具有代表性和典型性，这在很大程度上也支持了7个控制点的顺利释放。

5 完善的调试文件管理

秦山三期调试的成功，不仅仅是以20.5个月的最短调试工期，更有意义的是调试产生了一整套完整的调试文件和记录，实现了程序化管理。

5.1 文件体系严密完整

秦山三期自调试生产准备工作开展以来，就一直非常重视程序的开发和应用。根据工程的特点，秦山三期所有的文件在业主总质保大纲的要求下，又制定了调试质保手册和调试期间运行质保手册，分别在装料前后发挥着主导作用。调试期间的文件体系见图3。

文件中的27份调试管理程序是调试管理工作的核心，具体规定了调试的组织、实施、验证、记录等各个方面，是调试活动开展的基础，也是调试质量的保证。同时这27份管理程序也规定了调试需要使用的34类文件，以及规定了调试记录的产生、归档等。其中最为核心的调试文件主要是二级调试程序(CP2)、三级调试程序(CP3)、四级调试程序(CP4)，它们之间有着“父子”关系(见图4)。每个系统都有一份CP2，描述了该系统调试的主要进程，细化为CP3，即为该系统的调试逻辑框架，根据CP3的逻辑点，编写每一份CP4。2台机组的CP4加起来有近6 000份。

5.2 文件管理电子化

由于调试文件的量相当大，2台机组的调试文件有9 500多份，CCR/CQOR等调试接口用的工作单有8 000余份，如此大量的文件靠人工管理是非常困难的。为此，秦山三期建立了多重电子文件管理系统，实现了文件从编制、审批到归档、查询、再利用的高效管理。所有文件最终都通过资源和信息管理系统(AIM)和文件数据管理系统(TRAK)这个“电子总库房”来运转。对于文件的过程管理，专门开发了调试文件管理系统(CDS)，随时跟踪调试文件如CP2、CP3、CP4的状态。而对于一些日常工作单性质的CCR、CQOR、

CFCR等则通过OAR数据管理系统来运转。通过计算机管理，不但大大提高了效率，也促进了管理水平的提高。

6 结束语

秦山三期重水堆核电工程的调试是成功的。通过调试积累了一些管理、技术方面的经验，也取得了一些创新和突破，这些经验对目前已经运行以及后续再建的核电厂建设都将具有一定的参考价值。