

### 机组换料大修期间核安全管理的若干问题(续完)

Some Issues about the Nuclear Safety Management of the Unit in Outage

濮阳

(大亚湾核电运营管理有限公司, 广东 深圳 518124)

#### 3 大修各环节核安全管理的关键点

##### 3.1 运行领域的安全管理

机组大修的主要目的是进行换料和设备维护, 这些活动需要通过运行操作提供工作条件, 检修活动结束后, 则通过运行定期试验来验证系统和设备的可用性。在整个大修过程中, 运行操作非常多, 涉及面也非常广泛, 也最容易出现核安全问题。

大修期间机组需要经过多个标准运行工况, 运行技术规范规定了每一个运行工况下为了保证核安全三大功能及其支持功能所必须可用的系统和设备, 待检设备的退出运行和复役必须严格遵守技术规范的要求, 所有这些要求都反映在大修总体计划和运行大修总体规程中, 在这一动态过程中, 核安全管理的关键点是正确理解每项活动中存在的核安全风险并采取适当的预防措施。

##### 3.1.1 可用设备的界定和管理

根据设备可用性的定义, 可以从以下几个方面判断一个系统或设备是否可用。

- (1) 系统或设备的完整性, 对于处于备用状态的系统或设备, 特别需要关注其它设备的检修是否对其完整性构成影响。
- (2) 系统或设备的在线状态, 包括机械回路、电气回路。
- (3) 最近一次所有要求的定期试验的执行情况, 执行日期和结果是否满足《安全相关系统和设备定期试验监督大纲》的要求。
- (4) 最近一次所有要求的满意的定期试验执行日期到当前时间区间内产生过哪些介入性的检修活动, 如果有, 则需要对其进行评价。
- (5) 系统或设备所处区域的通风、消防状况。
- (6) 对于处于运行状态的系统或设备, 还需要关注《安全相关系统和设备定期试验监督大纲》内定义的特性参数(压力、温度、流量、振动等)是否满足大纲的要求。
- (7) 对于大修期间完成设备检修, 恢复投运的设备, 其在线状态、充水排气、品质再鉴定和功能再鉴定的执行结果是非常重要的。

运行技术规范制定了6份静态控制点检查程序, 这些程序体现了特定机组状态下所需要的最小系统的集合。大修阶段冷停堆状态的每一天, 运行值班人员和安全工程师都必须根据静态控制点(SHP)程序的要求, 仔细检查并确认程序中定义的必须可用设备的当前状态。检查中有时会发现偏差, 这时候必须立即评价存在的偏差对设备可用性的影响, 以及对机组核安全三大功能的影响, 同时尝试消除偏差。评价可能产生3种结论:

- (1) 偏差的存在对设备可用性和核安全三大功能的影响甚微, 此时只需要按照正常的设备缺陷处理流程进行消缺活动即可;
- (2) 偏差的存在对当前机组状态下的设备可用性和核安全三大功能的影响甚微, 但是对于机组后续将要转换的下一个机组状态下的设备可用性和核安全三大功能存在明显的、严重的影响, 此时仍然可以按照正常的设备缺陷处理流程进行消缺活动, 但是必须明确消缺的时限和机组状态, 绝对不允许带缺陷进行机组状态转换;
- (3) 偏差的存在对当前机组状态下的设备可用性和核安全三大功能存在明显的、严重的影响, 此时消缺工作的尽快展开已经不足够, 还必须考虑机组状态是否需要后撤, 如果技术规范对此有要求则必须毫不犹豫地严格执行, 如果技术规范对此没有明确要求, 同时根据核安全三大功能的判断需要进行相应的状态转换, 可以通过电厂核安全委员会统一思想, 制定下一步行动方略。需要强调的是, 电厂核安全委员会做出的决定同样必须毫不犹豫地严格执行, 任何挑战电厂核安全委员会的决定都是不明智的。

##### 3.1.2 水传输管理

水传输是换料大修期间频繁执行的活动, 繁杂而且跑水、污染等风险很大。如果水传输出现问题, 会影响到大修的进程甚至可能影响到机组状态的演变。从核安全管理的角度看, 水传输有以下几个关键点:

- (1) 需要清楚传输流体的化学特性, 例如硼浓度, 技术规范对于许多容器例如乏燃料水池、反应堆换料水池都有硼浓度要求, 过高或者过低都是不允许的;

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

(2) 需要关注传输路径、传输手段、是否系统在线等问题，出现任何偏差都可能导致跑水和污染；

(3) 需要分析水传输对其它系统或设备的影响，注意与技术规范的符合度。

### 3.1.3 行政性隔离

行政性隔离是一种强制性保证与核安全功能相关的设备始终处于正确状态的管理手段，这些设备的状态无法在主控室得以确认。行政性隔离的目的就是为了保证这些对核安全有直接贡献，并且不在主控室操作的设备处于正确的状态，以确保相应的系统和设备在需要时可直接投入运行。

针对行政性隔离，核安全管理的关键点在于，根据机组状态的需要，及时正确地实施隔离或者解除隔离。

此外，在机组大修期间，部分行政性隔离与一些运行操作或设备检修的隔离边界之间会有一些相互干扰，因此会频繁地出现某项行政性隔离的临时解除和重新恢复的操作，这些操作和设置对于机组核安全风险度是有一定贡献的，需要继续加强对隔离变更的管理。

### 3.1.4 定期试验和功能再鉴定

换料大修进行到大约一半的时候，开始倒列操作。所谓倒列就是将已经完成的先前隔离检修的系列，通常是系列A，投入运行或备用，而将处于运行或备用状态的系列B隔离检修，这种安排是换料大修的一个特点，也是核安全管理的要求，即部分核安全相关系统和功能始终是要求可用的。

从倒列开始，机组的系统和设备进入部分恢复期，从进入维修冷停堆开始，机组的系统和设备进入全面恢复期，并且在此之后进入机组启动阶段，贯穿这一阶段的重要活动是定期试验和设备再鉴定，通过这些活动判定系统或设备是否存在问题并尽快排除问题。只有根据系统或机组的要求对其承担的功能进行全面测试，获得满意的结果后，才可以宣布系统或者设备恢复可用，并将其重新设置于运行或者备用状态。

功能再鉴定分为2个步骤：(1) 进行针对单个设备的品质再鉴定；(2) 进行针对系统的某一子功能的功能再鉴定。进行功能再鉴定时使用的运行阶段定期试验规程中，实际上也包涵了用以确定大多数单个设备可用性的品质参数，例如水泵的振动、轴承温度、电机的振动、轴承温度、电机电流等，但是有些设备的品质参数不属于运行定期试验范畴。

尽管换料大修是以安全、质量为前提，在确保安全、质量的基础上尽可能缩短工期，但是无谓的浪费工期也是不允许的。进入设备恢复期后，时间的紧迫性越来越大，一个定期试验的结果可能导致倒列或者机组启动操作停止，并持续延误。当然，如果定期试验的结果明显偏离了设备的品质或者系统的功能要求，就必须返工重新处理，此时工期、时间都是第二位的。

在实际换料大修过程中，通常遇到的情况是定期试验发现系统或者设备的某一个或某几个参数稍有偏差，这给制定及控制大修进程出了难题，究竟是状态后撤、重复维修还是评价放行？核安全管理应该采取保守决策，但是绝对不是越保守越好。此时在核安全管理者和决策者的头脑中更应该牢牢建立核安全管理的“适度性”的概念。

### 3.1.5 机组状态转换

换料大修期间机组状态将经过多次转换，为了保证机组状态转换满足核安全要求，转换过程中设置了多个控制点。

机组状态转换前首先必须确认下一状态的核安全要求全部得到满足，这也是控制点程序编写的指导思想。控制点程序中既包括特定系统和设备的明确的可用性要求，也包括广泛意义上的必须可用系统的行政性隔离、TCA/TSD状态、当前存在的工作票、再鉴定执行情况、不符合项等管理性的要求。这一部分是控制点程序执行的难点，也是比较容易出问题的环节。以工作票管理为例，状态转换前必须检查特定系统上本次大修中所产生的工作票，对于已经完成的工作必须确认其再鉴定结果满意，对于正在进行、状态转换之前必须完成的工作，则需要持续跟踪工作票的状态直到工作完成，再鉴定满意为止。目前的实际做法是，在状态转换前24~48h生成状态转换遗留项清单，并持续更新直到状态转换前的最后一刻，这样对机组状态控制起到了非常有效的作用，堪称良好实践。

大修期间还存在另外2种控制点：(1)在机组状态转换前召开再启动安全评审会，根据会议决议生成的再启动决定单；(2)在完成了国家核安全局的再启动安全检查会后由国家核安全局或其代表(广东监督站)给出控制点释放单。相对于控制点程序，不论是电厂内部的决定单还是国家核安全局给出的释放单，关注的重点更多的是管理性的内容。

## 3.2 维修领域的安全管理

换料大修期间的设备维修和机组状态具有这样一些特点：

- (1) 工作量非常大；
- (2) 工期压力大；
- (3) 工作点多，交叉作业多；
- (4) 某些设备由于辐射防护的问题难以接近或难以长时间接近；
- (5) 某些设备内的介质无法完全排出，维修作业展开后有环境污染和人员污染的风险；
- (6) 尽管机组处于大修状态，部分核安全相关的系统和设备，及其支持系统(电源、气源、通风、消防)仍然需要保持运行或者完全可用的状态；
- (7) 现场工作人员更多地关注其维修活动本身。

基于上述特点，核安全管理要求对工作包进行全面审查，进行详细的风险分析并编排合理的检修计划，制定出精确到小时的检修窗口，然后根据每一项工作的性质安排进入合理的窗口，并持续跟踪设备检修后的再鉴定结果。维修领域的核安全管理必须如此细化以便给工作人员创造有利的条件。

维修领域核安全管理的关键点是必须确保在每一特定机组状态下要求可用的系统和设备不能因设备检修而导致不可用；必须确保维修活动不影响到其它要求可用的系统和设备的功能；对于某些特定检修必须确保检修时间满足技术规范的限制要求。

### 3.2.1 工作包审查和风险分析

根据大修准备计划的要求，各个专业的工作包应该在大修开始前3个月全部准备完成，对工作包的审查，

包括工作申请描述的准确性(工作点、工作内容、作业范围、边界、接口等)和工作包的完整性(风险分析、再鉴定要求、检修规程、动火证、特殊作业申请单等),同时要参考运行处大修组做出的主隔离边界图,确认该项工作是否可由主隔离覆盖,如果不能被完全覆盖,就需要考虑适当的补充隔离。

大修期间的作业高峰阶段,每天会产生近300项工作,为了尽量减轻专业处文件准备的工作量和隔离办的工作负荷,对于部分同类型同性质的工作票通常采用合票处理。合票在换料大修期间被广泛使用,但是也应该清楚并正视合票带来的潜在问题,即非本专业的人员审查合票时,无法细致准确地了解整个工作内容。

工作包审查的重点之一是针对该项工作的风险分析,特别是对于一些工作覆盖面广、风险大的维修活动,大亚湾核电站和岭澳核电站在这一方面做得都是比较规范的。

### 3.2.2 工作票审批

从机组解列前3天开始,每天需要审批第2天需要执行的工作票,这些工作票由计划工程师按照预定的出票计划整理出来,首先交由大修运行经理和大修安全工程师审批。此时大修安全工程师负责把守核安全管理的第一道关,需要重新审查在大修准备阶段已经审查过的工作包,如有必要,还需要在工作包封面上注明此项工作的开工条件和特殊注意事项。

关于工作票审批方面的核安全管理关键点有2个:

(1) 大修期间机组状态转换非常快,而许多工作票是跟着机组状态走的。例如:假设机组状态将于次日中午12点转换,次日中午12点之后将要执行的检修工作的工作包必须在开工前一天完成审批,开工前一天的夜班由CBA出工作许可证,但是必须等到状态转换完成之后才可以开票。因此在工作票审批时注明开工条件是必须的和至关重要的;

(2) 大修期间由于某些设备方面的突发性故障可能导致检修计划出现调整,这种调整可能影响到原定出票计划中某些工作票的执行,同时也影响到大修主线计划。仔细地分析并严格地控制主线计划中受到影响的工作项目,可以解决出票的问题。

### 3.2.3 定期试验和设备再鉴定

对于整个大修而言,定期试验的管理应该包括运行、维修和技术部门的所有试验。对于维修领域的定期试验管理主要针对仪表、电气2个专业,管理方法与正常运行机组稍有不同。正常运行期间为了避免对机组状态产生扰动,有风险的试验都是一个一个执行,决不重叠交叉,正常运行机组也有足够的时间来逐项安排这些试验。大修机组的不同点在于某些试验不用考虑停堆因素,同时为了尽可能缩短大修工期,某些试验可以并行安排,此时需要考虑的是不同的试验之间不能相互干扰。

某些设备的部分品质再鉴定不能通过功能再鉴定涵盖,则必须单独考虑,这也是目前大修机组核安全管理的一个薄弱环节。此类型的品质再鉴定包括仪表专业的某些逻辑回路检查和定值检查、安全壳贯穿件的密封性试验和碘过滤器与高效过滤器的效率试验。强化这方面管理的最有效手段就是加强工作包审查和工作票审批这2个环节。另外各专业准备人员在工作包准备的时候也应该尽量考虑再鉴定的因素。

## 3.3 工程领域的安全管理

工程领域的核安全管理主要涉及性能试验、在役检查、不符合项管理和修改。

性能试验的覆盖面比较广泛,试验种类也比较多,核安全管理的关键点则是在相应试验执行过程中,需要确保技术规范内明确给出的限制条件(机组状态、设备可用性要求、试验持续时间等)完全得到满足。而对于试验的现场执行,例如贯穿件密封性试验的隔离、试验、解除隔离的全过程,完全按照正常的工作过程进行管理即可,核安全风险与工作过程管理中存在的风险是一样的。

对于在役检查的核安全管理属于事后管理,也就是说在役检查发现问题之后,再针对相应的问题进行评价和处理。

不符合项管理是换料大修期间经常遇到的,现场设备检修过程中发现任何与图纸或其它文件不相符的情况,即现场实际情况与原始设计不相符的时候都必须填写不符合项报告,由责任处给出临时措施和/或永久措施。不符合项管理的核安全管理关键是:首先确认该不符合项是否影响设备可用性和机组安全运行;其次确定责任处给出的处理措施是否得当、是否能够彻底解决问题、对核安全有无影响。对于可能影响到机组状态转换时的设备可用性要求,或者对后续的功率运行有潜在影响的不符合项,审批时必须给出解决期限,同时必须持续跟踪,并且在执行状态转换点程序时给予特别的关注。

安全重要物项修改的管理完全按照国家核安全法规HAF103/01执行,核安全管理贯穿于修改的全过程:初步设计评价、详细设计评价、现场实施、再鉴定、试运行和最终项目关闭。仅对机组的换料大修期间而言,通常涉及到的只是现场实施和再鉴定2项工作,按照正常的工作过程管理即可,核安全风险与工作过程管理中存在的风险相同。

对于安全重要物项修改的核安全管理,重点不在实施阶段,而是修改的初步设计评价和详细设计评价这2个阶段。修改的总原则应该是提高电站现有的安全水平或者在确保电站现有安全水平不降级的前提下提高电站的经济性。具体体现在以下几个方面:消除系统和设备在设计、制造和安全等方面的缺陷,确保电站满足设计安全标准;提高系统和设备的可靠性,降低核事故产生的概率,限制事故后的影响;对故障率高、技术落后、功能不全面的系统和设备进行更新换代;提高系统和设备的可操作性和可维修性;通过提高系统和设备的性能和可靠性,提高电厂的经济性。违背上述原则的修改都不是合理的修改,而且此类不合理修改的负面影响可能超出所有人的想象。

## 4 探索和思考

随着群堆管理的实施和岭澳核电站的投产,机组换料大修已经由过去的每年1次成为了几乎全年都在进行的日常工作,大修的组织形式和工作方法也在日臻完善,但在某些环节仍然有可以提高的空间。

### 4.1 准确把握大修期间核安全管理的全局性

核安全管理的全局性意味着电厂的核安全是贯穿于电厂从选址、设计、建造、运行直到退役的全过程之中,换料大修是机组正常运行的一个过程,大修机组的核安全管理是否得当直接影响到后续的正常运

行,甚至机组的寿命,对于这些问题的考虑需要长远一些。

换料大修会遇到工期的问题,通过压缩设备检修时间和运行操作时间去节省工期的做法很值得商榷,当然人为地拖延时间也是绝对不允许的,实际上只要理顺各部门和专业之间的协调关系,减少接口和扯皮时间,严格控制设备检修质量避免返工和重复性维修,工期的缩短是可以实现的。

#### 4.2 防止出现多头管理的混乱局面

大修管理的组织形式明确定义了大修指挥部作为大修管理的核心机构,在大修经理的领导下对机组换料大修实施全面的安全、质量、工期等方面的管理,同时受到电厂各职能部门行政领导的全力支持。

大修进展顺利的时候这一组织形式发挥了很高的效率,但是当出现一些问题的時候,似乎每个人都愿意出面发表各自的观点和意见,意见不统一或者哪怕是出现一些细微的偏差的时候,通常会导致大修指挥部或其内部某些成员感到无所适从,此时行政线和技术线之间的交叉不利于工作的推动。

不论处于什么样的外部环境,核安全管理的出发点始终是保证电厂最低的核安全要求,对于这一要求有的时候也会出现仁者见仁智者见智的情况,一旦某一方面的要求没有完全达到,质疑就会出现。岭澳2号机组的L201大修期间,当RRA002P0故障后的决策就遇到这样的问题,大修指挥部的成员不得不全面出动,进行详细的解释工作,这种工作本身,对于大修而言没有任何实际意义。

行政线对大修指挥部充分的信任和支持,共同有效地执行已经明确的管理体系和工作方法,对提高工作效率有很大的贡献。

#### 4.3 强化计划的龙头作用

“以安全为基础、以质量为中心、以计划为龙头”的大修指导方针和管理思想,经过多年的宣传和推动,已经从思想上被大亚湾核电站和岭澳核电站的换料大修参与者接受,而且在实际执行过程中也基本上是按照上述方针政策进行的,但是偶尔仍然会遇到通过计划无法推动的工作。

这里存在的问题,一方面是现场执行人员的我行我素,尽管在电厂的管理规定中是不允许的,但实际情况是几乎每次大修都会遇到此类问题;另一方面,计划的龙头作用的发挥在很大程度上取决于计划的质量,这是大修计划的主要制定人员,大修计划工程师、大修安全工程师、运行经理的责任和义务。制定出来的计划应该尽量贴近现场实际情况,做到合理而且可操作。为了达到上述目的,需要做大量的基础性工作,例如大修参考计划和运行大修停机程序的不断细化和完善,计划制定人员业务能力的提高,特别是对本专业以外的其它重要专业活动的了解。

#### 4.4 实现大修管理队伍中组织与人员的各司其职

大修指挥部由电厂6个专业的9个人组成,通过发挥每个成员的技术专长形成合力,推动大修的顺利进行。电厂的专业、工种细分下来有数百个,对于任何一个个体而言,不可能涉及全部领域。大修期间遇到某方面的问题,召集相关专业人士进行会议讨论时,大修指挥部的成员应该根据自身的业务能力,对问题的推动和解决提供有利的外部条件,对于专业内的问题,应该听取并尊重专业人士的意见,而不是以外行的身份强行深入到专业内部,提出让人啼笑皆非的问题和意见,或者强行要求专业处完成毫无意义的工作。大修准备阶段和大修期间有的时候遇到召开得拖沓冗长,议而不决的会议,与此不无关系。大修期间必然产生的核安全、质量的责任和工期的压力,不是大修经理一个人能够承受得住的,应该由大修指挥部的全体成员共同承担,岭澳核电站L201大修中发生的2起运行事件的报告编写就是以大修指挥部的名义完成的,这不能被理解成为某个人在推脱责任,相反,这体现出L201大修指挥部是一个非常团结的集体。每个人都不可能经历每一项运行操作、检修活动,通过现有的规程体系的自我学习可以改善这方面的了解程度,但是远远达不到理解的深度,此时多听听业内人士的意见不是坏事,大修经理应该把主要精力放在协调专业间的合作关系,理顺并简化接口,推动相关的工作和问题一刻不停地继续直到彻底解决。

大修组织管理是一种多种管理形式组合而成的组合型组织,对待某一具体技术问题的时候,应该最大限度地发挥项目型组织管理的特长,同时尽量减少直线职能性组织管理对其的干扰。只要每个人都能做到各司其职,充分发挥各自的专长,并且有机地结合,机组换料大修的成功完成并不是很困难的事。

#### 4.5 继续强化大修准备的基础工作

经验反馈体系中反映出的大多数问题,都需要通过继续强化基础性工作以便寻求彻底解决。由于大亚湾和岭澳2个电厂在系统设备、管理方法(如运行技术规范和定期试验监督大纲)等方面的不同,以及较高的工作负荷(例如连续的换料大修和较大数量的日常消缺),许多专业很难集中较长时间的人力资源进行包括前期工作准备在内的基础性工作。具体体现在实际工作中就是工作包准备的质量参差不齐,某些运行活动缺乏连贯性。

设置大修常设机构,使部分人员脱离繁琐的日常工作,集中精力进行大修准备和实施阶段的协调工作,应该可以实现大修准备基础工作的有效强化。

## 5 结束语

换料大修作为核电机组正常运行模式的组成部分,机组运行方式的特殊性和现场千变万化的实际情况的复杂性和紧迫性,使得机组换料大修期间的核安全管理既需要满足稳定的核安全法规强制性的规定,也需要符合核安全管理的全局性、动态性、适度性的要求,同时还需要紧跟国际核工业界持续发展的步伐。在安全第一、质量第一的前提下,通过

不断完善的核安全管理,确保大修机组足够的核安(上接第16页)全水平,并在此基础上缩短大修工期,创造更大的经济利益以提升核电的社会竞争力,推动核工业的可持续发展,是核电企业所有从业人员的职责和任务,也是社会进步的必然趋势。(续完)

#### 参考文献

[1] 国家核安全局. 中华人民共和国核安全法规汇编. 中国法制出版社, 1998

[2] 国家核安全局. 核安全导则汇编. 中国法制出版社, 2000

