

核电站设备可靠性管理

石炜

大亚湾核电运营管理有限公司

DOI:10.12238/pe.v2i4.8360

[摘要] 核电站设备可靠性管理系统以分析设备的可用性以及优化修补方案为主导,并借由监测设备状况以及管理故障作为方式,包含了日常生产活动和大规模维护工程。核电站的所有功能部门均全面地参与了设备稳定性管理系统的实施。对设备可靠性的管理,实际上是从系统工程的角度,对设备设计、生产制造到使用各阶段的可靠性活动进行策划、组织、监控和管理。其目标是在尽可能减少资源投入的前提下,全面满足设备的可靠性要求。

[关键词] 核电站设备管理; 设备可靠性管理; 寿命管理; CCM设备

中图分类号: TL48 文献标识码: A

Nuclear power plant equipment reliability management

Wei Shi

Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co., LTD

[Abstract] The reliability management system of nuclear power plant is dominated by analyzing the availability of equipment and optimizing the repair scheme, and includes daily production activities and large-scale maintenance projects. All the functional departments of the power plant are fully involved in the implementation of the equipment stability management system. In fact, the reliability management of equipment is planned, organized, monitored and managed from the perspective of system engineering. Its goal is to fully meet the reliability requirements of products on the premise of reducing resource input as far as possible.

[Key words] nuclear power plant equipment management; equipment reliability management; life management; CCM equipment

引言

设备管理是追求整体表现的管理手法,它运用一系列的概念与方法,结合科技、经济以及组织的策略。此管理手法全面涵盖设备从初步的计划与设计,到选择、采购、安装、验收,再到使用过程中的保养、维护、改良,直到更新换代和最后的淘汰,都进行着细节化的管理。这种管理方式的目标在于科学地掌握和操控设备的物质流动和价值转化。

1 设备管理

设备管理涵盖了设备生命周期中的各个阶段,这包括设备的选择、正确的使用方法、设备的维护修理以及对设备的更新和改造等环节。设备管理人员需要定期对设备进行维护,比如清洁设备,保养设备,对设备进行定期检查,早发现问题,早解决问题,防止发生设备故障。对于出现故障的设备,需要合理评估是否要修理,还是要直接更换新设备。

2 设备可靠性管理

设备的可靠性管理源自系统工程的理念,对设备从设计、制造到生产、使用各个阶段的可靠性活动进行全方位的策划、组

织、监管及控制。它的主要目标是降低资源投入,同时满足产品的可靠性需求。这项管理工作是企业组织管理中的关键环节,并包含以下的几个重要理念:

全寿命设备可靠性=固有可靠性+使用可靠性。

固有可靠性取决于设计、制造、安装等;使用可靠性取决于现场运维。

设计、制造、安装等工程阶段直接决定了设备的固有可靠性上限,后期的运维仅能无限接近该上限,并不能超越。

可靠度: 可靠度可以被定义为产品在既定环境和期限内,实现约定功能的可能性。这是一个具有定量性质的概念,通常以 $R(t)$ 来表示。

可靠性: 可靠性指的是产品在特定环境和一段特定的时间内执行既定功能的能力,这是一种品质上的特点。使用寿命: 产品经过使用到达一个阶段,无论从技术角度或者经济角度看,继续使用都不再适宜,这时就需要进行大规模修理或是直接报废,我们把到达这个阶段的时间称之为产品的寿命。

失效率: 产品在当前时刻失效的概率。

3 核电站的设备可靠性管理

在核能设备的稳定性管理系统中,以稳健性为中心的修理(RCM)、以技术属性为导向的修理(TCM)及关键灵敏设备的辨认与管理(CCM)组成了系统的主要框架和基础。这些方法共同执行设备的分类和辨识、优化修补方案以及制定设备效能指针等关键工作。PDM和PFU系统分别是RCM和TCM项目的应用平台,具备设备状态监测实施、分析、评估、跟踪等功能,使关键敏感设备的健康状态得到及时有效的跟踪、评估^[1]。

3.1 RCM方法

RCM不仅是一种维修途径,更是一种修理优化的策略。RCM从系统功能的观点出发,通过系统性的问题导向,获取了制定修理任务所需的全方位信息,如功能、功能失败及其影响等。接着,基于这些资料,RCM运用决策逻辑图,按照特定的流程,即“状态监控、预防性保养(定期保养、定时更换)、定期测试、纠正性修理、设计更改”,来选择合适的修理任务。做这一切的目标就是提升设备的稳健性,同时缩减修理的开支。

为管理预防性维护活动的实施提供指导,并涵盖大规模预防性维护评审项目导致大量“首次”预防性维护产生的情况,以及正在进行的预防性维护的计划和实施^[2-3]。

RCM方法的特点:

(1)大部分设备的故障模式与时间没有直接的关系。(2)定期维修不能管理与时间无关的故障模式。(3)并不是维修得越频繁,设备的可靠性就越高,应避免过剩维修。(4)定期维修本身就是一种故障模式,因为它将导致设备不可用。(5)管理故障后果比管理故障模式更重要(修不修主要取决于故障后果)。(6)有效维修策略应基于故障模式制定(如何修主要取决于故障模式)。(7)定期维修任务的周期取决于设备使用寿命,而非平均无故障时间。(8)状态监测任务的周期取决于故障模式的发展速度和监测技术的敏感性。(9)多余设备也需要维护管理。

3.2 TCM分析方法

对于具备特定属性的仪器控制设备,我们会结合设备的技术特点,以仪器控制维修指导的形式,深度分析其原理、功能、失败模式、精确性标准以及降级预防。借鉴现场的经验反馈和RCM的功能分析,我们可以制定针对设备预防性维修行动的决策,并运用于维修清单。这样做可以避免过度或不足的维护,防止设备出现问题。对于那些出现老化症状的仪器控制设备,我们可以通过维修指导的详尽分析进行定期的设备检查,获取设备资讯,接下来将这些资料输入系统绘制出趋势曲线,以跟踪设备的降级趋势。根据这些资讯,我们可以实时作出设备状态的判断,并在设备发生问题之前做出维修决定,以实现预见性维修的目标。

3.3 CCM设备分类方法

在项目执行过程中,我们通过失效树的剖析和对于停运停堆经验的反馈来确认哪些系统和设备对停运停堆会造成敏感影响。接着结合RCM/TCM的设备功能分析结果,进一步整理出电站关键敏感设备的详细名单。对于这类关键敏感设备,我们更倾向于采用预防、检测以及纠正的步骤进行全面的分析,对于设备维

护策略、员工管理和备件管理等方向提供改善的建议,从而提升电站设备的稳定性管理水准;

分级分类方法及目的:基于设备的关键度不同,综合考虑设备对电厂安全、生产、成本的影响程度,将其分为四级,对不同级别设备制定不同管理策略,从而提升电厂精益化管理水平,科学有效分配电厂资源。

关键少数:作为设备分级最核心的CCM设备(关键敏感设备)通过综合管理措施,CCM设备可靠性得到持续提升。关键设备应由制定的维修策略来预防设备故障。维修策略应为“可靠性最大值”。要求对维修策略变更的依据进行论证,确认变更可继续对消除关键设备故障事件的目标有所帮助;对于非关键设备,根据设备可靠性目标和维修策略费用的平衡来制定维修策略;此类分析包括考虑故障概率和故障后果。

3.4根本原因分析(RCA)

3.4.1失效模式与影响分析:对系统各构成部件可能的故障模式、其对系统功能的影响及严重性的分析,并提出潜在的预防和优化措施,是提升产品稳健性的一种有效方案。这是一种归纳性的分析方法,也就是自下而上的分析方式。

为此,分析这些情形时,可能需要其他的分析方法和技术,如马尔柯夫分析或故障树分析。

3.4.2故障树分析:一种特殊倒立树状逻辑关系因果关系图。逻辑门的输入事件是输出事件的“因”,逻辑门的输出事件是输入事件的“果”,是一种自上而下的图形演绎(定量)分析方法。

(1)定量应用:事件配置优化方案的风险增减量评估。(2)定量应用:顶事件/中间事件的概率计算。(3)定性应用:条件CCM设备识别与风险管理。(4)定性应用:割集/结构重要度识别。

3.4.3事件树分析:按照事故发展的时间顺序从初始事件开始推断可能的结果,进行危险源识别的综合分析方法。事件用于描述故障后果、故障原因:故障后果包括最终后果(顶事件)和中间后果(中间事件)。故障原因包括基本原因(基本事件)和待发展原因(待发展事件)。逻辑门用于描述故障后果和故障原因之间的逻辑关系:与门:任何一个故障原因都会直接导致故障后果;或门:所有故障原因才会直接导致故障后果;表决门: k/N , k 个故障原因才会直接导致故障后果;

3.4.4设备故障及影响范围确定:(1)全面理解接触的系统或设备,包括它们的工作机制、基本功能设计、工作状况以及相应的标准;(2)确定是否存在故障,具体呈现为设计功能失效或未预期的偏离;(3)明确了该情况可能引发的结果或严重程度;(4)向相关人员咨询以获取更多信息,查阅并收集各类基本资料,方便评估故障现象;(5)分析并按时间先后描绘和整理早期故障现象及其发展过程。

3.4.5证据收集:(1)一旦设备出现问题,马上启动证据的采集工作;(2)采集的证据应包含:实质的物理证据、现场人员提供的信息(例如询问记录)、运行记录、照片和录像资料、设备的维护历史、设计和供应商提供的相关资料,以及来自内部和外

部的经验反馈等;(3)尽量最大限度且迅速地采集所有可能有助于分析问题根本原因的资料。

3.4.6可能的故障模式分析和评定:根据出现的故障表现,我们需要罗列所有可能导致此结论的故障方式。接着,针对每个故障方式的特性和机制,我们会根据收集的证据,逐个验证或排查。对于那些无法确定或排除的故障方式,我们会依据证据对其可能性进行评定。

对于已经确认或可能性较高的故障方式,我们会把其视为下一级的故障表现,再罗列可能导致此表现的所有潜在故障缘由,并对每一可能的故障缘由进行逐一分析和论证。最后,在经过一层又一层深入的分析、确认和排除后,我们能找出导致故障的根本缘由及其影响因素。

3.4.7重新构建故障情景:当我们重建故障场景时,应当以已确认的根本缘由为出发点,接着考虑故障方式,最后关注故障症状。在进行这项任务时,我们需确保各阶段的场景与实际证据相符,推理过程逻辑精确且科学合理,如此我们才能最后确定设备问题的实际缘由。这个原因要能够科学合理地解释故障发生的全过程,因此它必须既广泛又具体,能涵盖所有可能的元素。

3.4.8根本原因确定:通过故障方式的剖析,我们可以通过深度推论,最后发现最可能的根本缘由以及相关的影响要素。这个根本缘由需要能够科学合理地阐释事故发生的全部过程,我们才能最终确定它就是引发故障的实际缘由。这是一个既要分析具体数据,又需要科学推理的过程。我们需要着眼于现象,原因可能在于操作过程中的错漏,可能是设备结构的设计问题,也可能是天然环境的影响,真正的答案需要我们从多个视角去考量,只有这样,我们才能真正揭示故障发生的深层次缘由。某个事件的根本缘由可能不止一个,但也不应过多,我们需要明确区分根本缘由和影响要素。

3.4.9事件涉及的范围及影响:我们需要考虑故障可能给电站造成的潜在风险。有时候,故障可能会触发一连串的问题,这便是我们所说的“雪崩效应”。例如,一台设备的故障可能会导致其他设备过载,从而引发其他设备的故障。在这种情况下,需要严谨的风险评估和适当的风险控制措施进行防范。

3.5老化与寿期管理

通过采取有效的管理措施或手段来缓解或控制并及时探测

发现其老化效应的发展,采取行动避免设备老化失效。通过在核电厂的整个服务寿命期间,提升重要安全设备的稳健性,确保核电厂的安全余量;最大程度地减少因老化引发的非计划停运停堆、降载与重大设备破损,确保核电厂寿命期间重要设备的功能在正常阈值范围内;在确保安全可靠的前提下,最大程度地提升核电厂的经济性。

3.6设备管理理念

(1)为了保证优化而不是劣化,优化维修大纲需要正确的设备管理理念;(2)大部分设备的故障模式与设备运行时间没有直接的关系。(3)定期维修不能管理与时间无关的故障模式。(4)并不是维修得越频繁,设备的可靠性就越高。(5)设备管理,管的不是设备,而是故障模式;管理故障后果比管理故障模式本身更重要。

3.7设备管理后续改进方向

维修大纲例行动态优化和专项优化的方式进行,另外,一些设备问题适合于通过一次性的专项处理(包括排查和设计改进)来解决问题,而并不适合通过修改大纲周期来解决。

借助后续设备分级顶层设计分析结果,对识别出的重要设备维修策略进行梳理;完成时间取决于设备分级分析结果何时出台;完成质量取决于参与人员的构成和投入;对于分级清单中没有包含的设备,根据反馈,认为需要管理的,单独梳理。

4 结语

每个机器都有自己的使用寿命,都希望能够在有限的使用时间范围内,尽可能地提高使用价值。核电站由于其对安全的高度重视程度,设备管理可靠性更是保证安全发电的重要手段。管理好故障模式,做透故障根本原因分析,确保核电站重要设备在整个寿期内安全稳定运行,是核电站守护核安全的有力保证。

[参考文献]

[1]张鲁山,付忠明,王浩.新监管形势下核电厂特种设备管理思考[J].中国核电,2021,14(02):255-257.

[2]段苏杭.核电厂设备台账信息及标识牌标准化管理实践分析[J].中小企业管理与科技,2022(04):67-69+73.

[3]韩伟,赵国辉,周哲俊.核电厂关键敏感设备故障模式管理探索[J].中国核电,2021,14(06):810-815.