

文章编号: 1673- 0062(2010) 01- 0021- 03

RCM 介入核电站设计的探讨

杨红平^{1, 2}, 屈国普^{1*}

(1. 南华大学 核科学技术学院, 湖南 衡阳 421001; 2 大唐耒阳发电厂, 湖南 耒阳 421800)

摘 要: 文章简要介绍了 RCM, 以及通过介绍 RCM 在核电站的应用, 对于在核电站设计阶段就引入 RCM 理念进行了探讨, 得出了 RCM 介入核电站设计对于核电站的可靠性分析是有益且可行的结论.

关键词: RCM; 核电站; AP1000 设计; 非能动

中图分类号: F273 4 **文献标识码:** A

Discussion on Design of RCM Involved Nuclear Power Plant

YANG Hong-ping^{1, 2}, QU Guo-pu^{1*}

(1. School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China; 2. Leiyang Datang Power Generation Co. Ltd., Leiyang, Hunan 421800, China)

Abstract This paper briefly describes the RCM and the application of RCM in the nuclear power plant. For the nuclear power plant design stage, the introduction of RCM concept was discussed. It was concluded that RCM involved in the design was good and feasible for the nuclear power plant reliability analysis.

Key words RCM; Nuclear Power Plant; AP1000 Design; passive

1 RCM 简介

以可靠性为中心的维修——RCM (Reliability-Centered Maintenance) 是全面客观地评价和决策设备维修的方式方法, 它以设备可靠性为中心, 主要包括设备或系统的数据监测、设备状态分析、安全可靠性诊断和维修决策. RCM 与已经普遍采用的纠正性维修、定期维修、状态维修并不矛盾. 相反, RCM 分析是其他形式维修的依据, 即通过 RCM 分析方法, 可确定对哪些设备采取纠正性

维修策略, 对哪些设备采取定期维修策略, 对哪些设备采取状态维修策略, 以确保系统设备实现其功能^[1].

核电站由于其生产的特殊性, 对整个生产过程的安全性有着很高的要求, 设备的可靠性是保障核电站安全稳定运行的先决条件. 在我国, 核电站的 RCM 研究和应用正在逐步展开, 大亚湾核电站从 1998 年开始探索应用 RCM 的可行性, 并于 1999 年在美国 RCM 专家指导下, 进行了冷凝水抽取系统 (CEX) 的 RCM 分析试点工作, 取得成

收稿日期: 2009- 11- 30

作者简介: 杨红平 (1973-), 男, 湖南耒阳人, 大唐耒阳发电厂工程师, 南华大学核科学技术学院工程硕士研究生.

主要研究方向: 电力设备.* 通讯作者.

功后,开始在大亚湾核电站推广(包括核岛),完成了分析系统的维修导则和维修大纲的优化和升级^[2]。由于 RCM 具有增加系统可靠性、延长设备解体检修周期等优势,国内其他核电站也陆续逐步进行了由常规岛向核岛的 RCM 应用。

2 核电站 RCM 与设计的关系

核电站数字集散控制系统和状态监测技术的应用,为 RCM 在核电站的应用提供了方便。RCM 分析系统通过采集设备的关键数据,结合设备的设计参数进行分析,得出设备当前的可靠性程度。RCM 要求对核电站的系统和关键设备都建立各自的可靠性分析模型。建模的核心数据即为核电站设计设备选型的参数和系统运行逻辑。在已投运的核电站,建模所需要的数据有的能够从集散控制系统和状态监测系统中通过计算机网络采集,有的数据由于设计时没有考虑,就要在以后进行技术改造,增加这些数据的采集。

例如某台冷却水泵可靠性分析模型数据包括:运行小时数,泵的运行失效率,电机的运行失效率,6 kV 接触器运行失效率,自动控制回路失效概率,泵出口逆止门失效概率,整个系统开关信号的失效概率,泵/电机振动,电机接头温度,轴承温度,电机温度,泵进出口压力、流量等。通过对泵的运行小时数统计,来决定是否对其解体检修,而不是定期解体检修。通过对整个泵系统失效率的计算,来决定何时进行启动试验。通过分析温度、振动和压力数据,来判定泵的效率 and 潜在的故障。核电站的冷却系统,一般都有主泵和备用泵,主泵和备用泵的 RCM 分析要区别对待。对于整个冷却系统泵组的 RCM 分析还应包括分析和判断设备故障的影响及后果,判断运行设备是否有备用,备用设备是否可以在线维修,设备故障是否与时间有关,是否可以采用状态监测技术捕捉潜在故障点等,从而决定对该设备所采取的维护方式^[2]。

以上的种种数据,设备和器件的失效率和失效概率在设计选型时就能够确定,轴承和电机温度、泵的压力参数等数据一般在设计时都有,但泵运行时间统计,开关量的计数,电机接头温度和泵/电机的振动等数据的采集功能却很少设计。这就给 RCM 分析建模带来了困难。

又如核反应堆的控制棒驱动机构,主要由承压壳体、电磁部件、运动部件、驱动杆和步长位置指示器组成。其电磁部件,运动部件和步长位置指示器的组成器件都有运行失效率和失效概率。所

有控制棒的作用又不尽相同,有的动作频繁,有的却不动作。通过对不同控制棒的可靠性建模,分析每个控制棒的可靠性,在维修中就可以区别对待。控制棒驱动机构的各线圈通电次数,棘爪和弹簧组件的动作次数对于 RCM 分析就至关重要。

RCM 分析离不开核电站的设计资料,在核电站开始进入设计阶段时就引入 RCM 理念,将会对以后的 RCM 分析具有事半功倍的效果。

3 RCM 介入 AP1000设计的可行性

我国已决定全面引入目前世界上最先进的第三代核电技术 AP1000,现已开工建设的两个项目,在引进、消化、吸收、创新后形成了具有自主知识产权的核电技术。可以预见,具有 AP1000 核电技术的核电站将是我国将来建设的主力型核电站,RCM 介入 AP1000 将对核电站的维修大有作为。

与以往传统的压水堆设计相比,AP1000 的主要特点在于采用了非能动的安全理念,包括非能动的余热排出系统、非能动的应急堆芯冷却系统(包括堆芯补水箱、安注箱和内置换料水箱)、自动降压系统、非能动的安全壳冷却系统和非能动的主控室可居留性系统。这些非能动安全系统仅依靠重力、自然循环和蓄压工作,投运时只要相关阀门的一次性切换,不需要机械设备的连续运转,不需要外部动力供应,也不需要支持系统,能提高安全系统的可靠性水平。同时,AP1000 的主泵采用屏蔽泵,没有反应堆冷却剂泵轴封系统,消除了全厂断电状态下主泵轴封破口的风险;屏蔽泵与蒸汽发生器直接连接,也没有蒸汽发生器与主泵之间的过渡管段。此外,AP1000 采取了多项严重事故缓解措施,包括非能动的氢气复合器系统和堆芯熔融物在压力容器内的保持能力(IVR)^[3]。

由于采用了非能动的安全系统设计,安全系统中的某些器件将起关键作用,如启动安全系统的温度、压力、液位开关,各种隔离阀、爆破阀等,这些关键器件的可靠性决定了整个系统的可靠性,如果在需要其动作时未动作,将引起不安全因素的多米诺效应。在对某个安全系统进行 RCM 分析建模时,应将环境因素和介质质量考虑在内,包括管道的结垢程度、堵塞概率等。

由于 AP1000 采用了大量的非能动安全设计,对于安全系统的 RCM 分析显得尤为重要,下面以 AP1000 核电站中典型的非能动安全壳冷却系统为例,探讨 RCM 在其中的作用,以及如何在

设计中介入 RCM. 非能动安全壳冷却系统如图 1

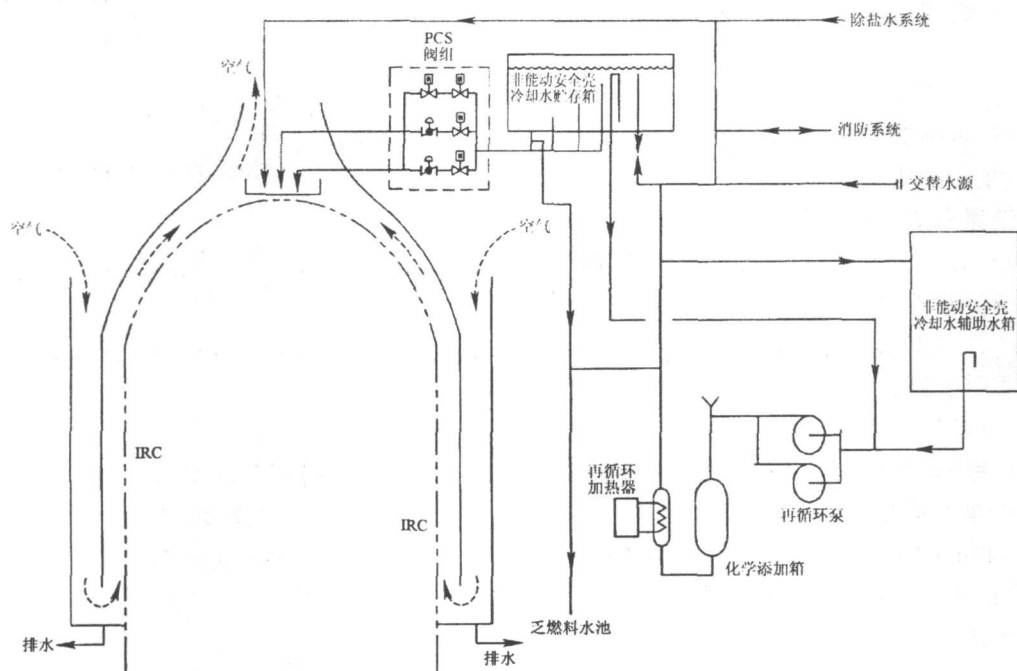


图 1 非能动安全壳冷却系统

Fig 1 Passive containment cooling system

非能动安全壳冷却系统利用钢制安全壳壳体作为一个传热表面,主要部件和结构有:非能动安全壳冷却水储存箱;空气导流板结构;冷却空气入口;空气排放口;洒水装置;水管隔离阀。蒸汽在安全壳内表面冷凝并加热内表面,然后通过导热将热量传递至钢壳体。受热的钢壳表面通过对流、辐射和物资传递(水蒸发)等热传递机制,由水和空气冷却。热量以显热和水蒸气的形式通过自然循环的空气带出,来自循环的空气通过一个“常开”流道进入,沿安全壳容器外壁上升,最终通过一个高位排气口返回环境。位于屏蔽构筑物顶部的储水箱在接到安全壳的压力或温度信号后,通过重力自动将水洒湿安全壳壳体。在正常情况下,为了防止结冰,配有再循环泵和再循环加热器^[4]。

对非能动安全壳冷却系统进行 RCM 分析包括主要部件和结构的可靠性分析,冷却水水质的分析,及其结构引起堵塞管道的概率,为整套系统的换管维修提供分析依据。在非能动安全壳冷却系统 RCM 分析介入核电站设计时,应具有以下数据:安全壳压力和温度开关动作次数,再循环泵系统启动计数和运行时间,再循环加热棒运行时间,隔离阀动作次数,冷却空气入口水位,空气排放口差压以及所有部件和结构的失效率和失效概率,整个系统的运行逻辑等。这些数据为整个非能动

安全壳冷却系统建立 RCM 分析模型提供重要依据。通过对非能动安全壳冷却系统的 RCM 分析,来确定何时进行再循环泵的启动试验和检修策略,何时对隔离阀和温度压力开关检验,何时对冷却水箱防腐以及冷却水管组更换等维修策略。

4 结论

总之,RCM 在核电站正在逐步应用,在保持系统设备安全、可靠、经济运行方面取得了显著的效果,较好地解决了“为什么修、何时修、修什么”的问题。在核电站处于设计阶段时,采用 RCM 分析的理念,将 RCM 分析所需要的数据尽可能在数字集散控制系统中采集到,对于 RCM 在核电站的应用有着极其重要的作用。

参考文献:

- [1] 陈志林. 以可靠性为中心的维修体系在大亚湾核电站的应用 [J]. 中国设备工程, 2006(6): 13-14
- [2] 陈志林. 以可靠性为中心的维修体系在大亚湾核电站的应用(续) [J]. 中国设备工程, 2006(7): 14-16
- [3] 刘 玥. AP1000 核电站技术性能浅析 [J]. 核工程研究与设计, 2008(3): 9-11.
- [4] 林诚格. 非能动安全先进核电厂 AP1000[M]. 北京: 原子能出版社, 2008