

文章编号：0258-0926(2014)06-0077-03；doi: 10.13832/j.jnpe.2014.06.0077

核电厂 ATWT 缓解系统的多样性与独立性分析

张云波，张 宓，黄伟杰，毛从吉，李世欣，尹宝娟

环境保护部核与辐射安全中心，北京，100082

摘要：介绍多样性保护系统之一的用于预期瞬态不停堆（ATWT）缓解系统，并分析 ATWT 缓解系统的多样性与独立性，同时结合相关法规对 ATWT 的设计中可能遇到的问题进行探讨。

关键词：核电厂；ATWT；多样性；独立性

中图分类号：TL48 文献标志码：A

0 前言

我国部分运行核电厂和所有在建核电厂均已采用或确定采用数字化仪表控制系统（DCS）。DCS 系统一般分为安全级（主要指反应堆保护系统）和非安全级（主要指常规控制系统）。

由于安全级仪控系统承担功能的重要性，HAF102-2004《核动力厂设计安全规定》明确规定：必须考虑安全重要物项发生共因故障的可能性，以确定应该在哪些地方应用多样性、多重性和独立性原则来实现所需的可靠性。因此，为了降低安全级仪控系统发生潜在共因故障的后果，核电厂设置了多样性保护系统。其中，用于预期瞬态不停堆（ATWT）事件的缓解系统（简称 ATWT 缓解系统）就是多样性保护系统之一。

1 ATWT 缓解系统

ATWT 事件是由于共因故障引起的控制棒不能插入堆芯、未能实现紧急停堆的预期瞬态。ATWT 缓解系统就是针对 ATWT 事件设置的多样性手段，是针对反应堆保护系统拒动情况下的硬件和功能多样性保护措施^[1]。在 M310 改进型机组中，该系统主要监测蒸汽发生器的给水流量和核功率水平。图 1 为典型三环路 M310 型核电厂 ATWT 缓解系统逻辑图。正常运行时，当蒸汽发生器的给水流量低于设定值且反应堆运行在设定的功率水平以上（即中间量程中子注量率高于设定值）时触发 ATWT 缓解系统，包括启动辅助给水系统、触发汽轮机跳闸，同时发出停堆信号。

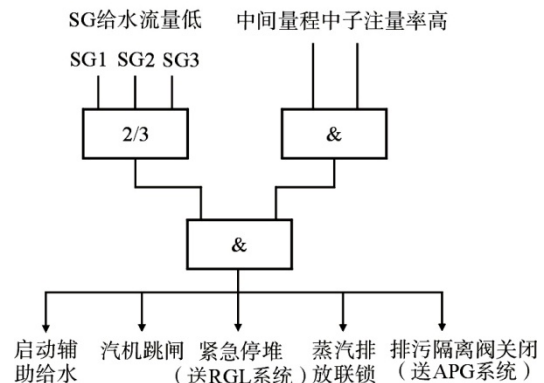


图 1 典型三环路 M310 型核电厂 ATWT 缓解系统逻辑图
Fig. 1 Logic Diagram of ATWT Mitigation System in Typical Third-Ring Road M310 Nuclear Power Plant
RGL—棒控和棒位；APG—蒸汽发生器排污

在反应堆出现预期瞬态需要紧急停堆，而紧急停堆系统失效的情况下，ATWT 缓解系统应能够使反应堆的安全得到保障。因此，作为反应堆紧急停堆系统的后备，ATWT 缓解系统在设计中应遵循多样性和独立性的原则。

2 ATWT 缓解系统的多样性

ATWT 缓解系统采用不同于反应堆保护系统（紧急停堆系统）的设备实现，其技术与制造工艺有别于反应堆紧急停堆系统的设备。如能确认非安全级的数字化仪控平台具有多样性，ATWT 缓解系统也可由非安全级数字化仪控平台实现，但功能应与其他非安全级功能相互独立，以提高 ATWT 缓解系统功能的可靠性。为了简化多样性分析，ATWT 缓解系统通常采用与数字化反应堆

紧急停堆系统完全不同的技术,如模拟技术或现场可编程门阵列(FPGA)技术等。

除了设备多样性以外,ATWT缓解系统的多样性还体现在功能多样性上:其发出的停堆信号送到RGL系统的棒电源柜,触发RGL系统发出控制信号以切断控制棒驱动机构的电源,实现紧急停堆;而反应堆紧急停堆系统则是通过打开停堆断路器的方式实现停堆。因此,在停堆断路器出现故障不能打开的情况下,ATWT缓解系统也可以实现紧急停堆。

3 ATWT缓解系统的独立性

通常ATWT缓解系统的信号处理设备与反应堆紧急停堆系统某一冗余通道的设备安装在同一房间内。由于ATWT缓解系统设有单独的机柜,也可确保其与紧急停堆系统的实体分隔。此外,ATWT缓解系统与反应堆保护系统共用的信号是通过带有隔离功能的信号分配组件分配后得到的,可以确保其与安全系统之间满足独立性的要求。最好的设计方法是ATWT缓解系统与反应堆保护系统采用不同的传感器。ATWT缓解系统由不同于紧急停堆系统电源的独立电源供电,以保证其作为反应堆紧急停堆系统的后备,在反应堆紧急停堆系统失效后仍能保证反应堆安全。

4 ATWT设计中存在的问题

某核电厂ATWT缓解系统设计中存在反应堆保护系统220V重要负荷交流电源系统(LND)失电闭锁逻辑。该逻辑在LND失电期间能够闭锁因主给水系统流量信号失效而产生的ATWT动作信号。设计中,触发ATWT缓解系统动作信号的主给水流量信号位于由LND供电的保护组IVP。增加该闭锁逻辑的原因是:如果不将LND电源引入ATWT缓解系统且中间量程中子注量率高信号存在,则一旦保护组IVP的LND电源失去,将引起ATWT缓解系统保护信号误触发。对于ATWT缓解系统误触发的风险,文献[2]指

出:由于ATWT缓解系统实现方式的特殊性,在ATWT缓解系统的供电电源失去并重新恢复时,要求电厂运行人员按照特定的顺序推入电源开关,否则会导致相关ATWT缓解系统信号误触发,保护设施误动作。

但在考虑到ATWT缓解系统误动作风险的同时不应忽视ATWT缓解系统拒动的风险。如果LND电源检测装置误发失电信号,则会闭锁ATWT缓解系统保护信号,造成ATWT缓解系统拒动,从而会危及核安全,这是将LND电源引入ATWT缓解系统所带来的风险之一。

美国联邦法规10CFR50.62明确要求:ATWT缓解系统从传感器输出到终端驱动机构的方式必须多样化,并独立于现有的反应堆紧急停堆系统。LND失电闭锁逻辑的引入无疑将使ATWT缓解系统相对于反应堆停堆系统的独立性受到影响。

因此,考虑到LND误发虚假失电信号可能导致的ATWT缓解系统拒动,以及ATWT缓解系统的供电独立性要求,本文不建议简单地通过增加LND失电闭锁逻辑,而是在确保ATWT缓解系统设计满足相关法规和标准的前提下,通过改进蒸汽发生器流量测量变送器的供电方式解决由于LND失电导致ATWT缓解系统误触发的问题,以确保核电厂安全稳定地运行。

5 结束语

作为反应堆紧急停堆系统的多样性手段之一,ATWT缓解系统除了在设备、动作方式等方面保证多样性之外,在供电上也应严格遵循独立性的原则,以保证在反应堆紧急停堆系统因故障而不能提供停堆功能时,ATWT缓解系统仍可执行既定的保护功能。

参考文献:

- [1] 曹建亭. 采用DCS实现核电站多样性保护控制分析[J]. 现代电力, 2007, 24(6): 34-39.
- [2] 郭城. 大亚湾及岭澳核电站ATWT保护失电风险[J]. 核动力工程, 2010, 34(4): 61-65.

Analysis of Diversity and Independence for ATWT Mitigation System in Nuclear Power Plant

Zhang Yunbo, Zhang Mi, Huang Weijie, Mao Congji, Li Shixin, Yin Baojuan

Nuclear and Radiation Safety Center, Ministry of Environmental Protection, Beijing, 100082, China

Abstract: It introduces the Anticipated Transients Without Trip (ATWT) in this article, and analyzes the diversity and independence of ATWT mitigation system, and discusses the problems faced in the design of ATWT on the basis of relevant law and regulations.

Key words: Nuclear power plant, ATWT, Diversity, Independence

作者简介：

张云波（1982—），男，工程师。2008年毕业于华北电力大学控制理论与控制工程专业，获硕士学位。现主要从事核电厂仪控审评工作。

张 宓（1971—），男，高级工程师。2000年毕业于北京理工大学检测技术与自动化装置专业，获硕士学位。现主要从事核电厂核安全设备和软件的审评工作。

黄伟杰（1979—），男，工程师。2008年毕业于西北工业大学机械电子工程专业，获硕士学位。现主要从事核电厂核安全设备和软件的审评工作。

（责任编辑：孙 凯）