

控制棒动态失步监测逻辑异常问题研究、应对及改进

李瑞豪

中广核核电运营有限公司, 广东 深圳 518124

摘 要 : 某核电机组在升降功率提插控制棒期间多次闪发控制棒动态失步报警, 且该报警多发生在功率棒组和温度棒组动作期间。报警闪发时, 仪控人员检查对应棒组棒位指示无明显异常。报警闪发后通过分析当时棒组指令棒位和实际棒位测量情况, 结合 KIC (集中数据采集系统) 中历史数据分析, 认为报警所涉及棒组中未真实发生失步情况。通过历次报警数据和信息收集与分析, 认为控制棒动态失步报警逻辑设计存在缺陷。针对该问题进行原因分析和研究后, 项目组制定了应对方案和改进方向, 使运行人员在升降功率期间触发该报警时能配合仪控保驾人员按既定预案从容应对, 大大降低了机组升降功率期间的不确定性因素。

关 键 词 : 控制棒; 动态失步; 棒组; 棒位测量; 触发器

Research, Response and Improvement of Dynamic Step Monitoring of Control Rod

Li Ruihao

CGN Nuclear Power Operation Co., LTD. Shenzhen, Guangdong 518124

Abstract : In a nuclear power unit, during the lifting power lifting control rod, and the alarm mostly occurs during the action of power rod group and temperature rod group. When the alarm flashes, the instrument and control personnel check the rod position indication of the corresponding rod group for no obvious abnormality. After the alarm flash, by analyzing the rod position and the actual rod position measurement of the rod group, combined with the historical data analysis in KIC (centralized data acquisition system), it is considered that there is no real step loss in the rod group involved in the alarm. Through the collection and analysis of alarm data and information, the logic design of dynamic step of control bar is defective. After the cause analysis and study of the problem, the project team formulated the response plan and improvement direction, so that the operators could cooperate with the instrument control guard personnel according to the established plan when triggering the alarm during the lifting power, which greatly reduced the uncertainty factors during the lifting power of the unit.

Keywords : control rod; dynamic lost step; rod group; rod position measurement; trigger

引言

某核电机组在某次大修下行降功率期间, 主控出现控制棒动态失步报警, 功率棒 G22 棒组失步指示灯亮, 检查 G22 棒组棒位指示一致。十五分钟后温度棒 R2 棒组动态失步指示灯亮, 检查 R2 棒组各棒位显示正常。仪控保驾人员分析认为 G22、R2 棒组未出现真实失步, 分析与控制棒动态失步报警逻辑设计存在缺陷有关, 仪控人员复位后报警消失。约三小时后 R2 棒组再次触发控制棒动态失步报警。本次下行期间出现动态失步问题在该电站曾多次出现, 仪控人员在多次大修上、下行提插控制棒期间进行了逻辑及数据库运行监测, 对此典型问题进行了分析, 总结出了问题出现的原因, 并给出了现阶段问题的应对方法及改进方向。

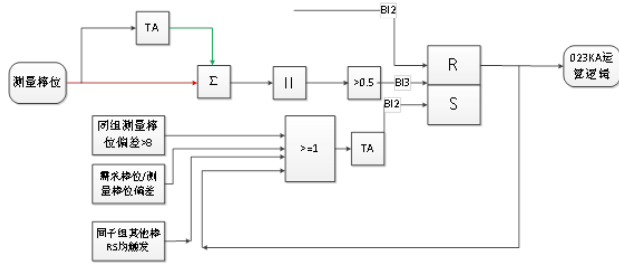
一、控制棒动态失步报警逻辑介绍

控制棒束动态失步监测报警组态逻辑在 CCS (堆芯棒位控制系统) 中实现, 仅对 N/G/R 棒 (功率棒和温度棒) 进行监测, S 棒不进行监测^[1]。

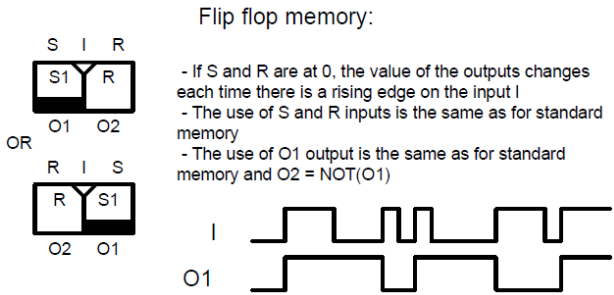
如图 1, 在某子棒组 4 束棒动棒过程中, 如果其中某束棒的测量棒位与上个程序周期 (50ms) 监视到的测量棒位相比偏差大于 0.5 步, 则判断测量棒位出现了翻转 (实测棒位精度为 8 步, 翻转就是有 8 步的变化, 也称作棒位切换点), 经过两个程序周期后, 使得该棒束 RS 触发器的触发端 BI3 变为逻辑 1 (该逻辑 1 仅维持

作者简介: 李瑞豪 (1988.03-), 男, 汉族, 籍贯: 广东深圳, 工程师, 大学本科, 从事核电厂仪控运维工作。

1个程序周期)，这时该棒的RS触发器输出被置1^[2]。这里用到的RS触发器为FLIP-FLOP触发器，与普通的触发器相比多了个中间的触发端，其逻辑图见图2，在R/S端均为0的情况下，RS触发器输出就跟随触发端进行变化，在触发端有上升沿，则触发器输出进行翻转。其他三束棒如果出现棒位的翻转，则各自的RS触发器输出均被置1^[3]。

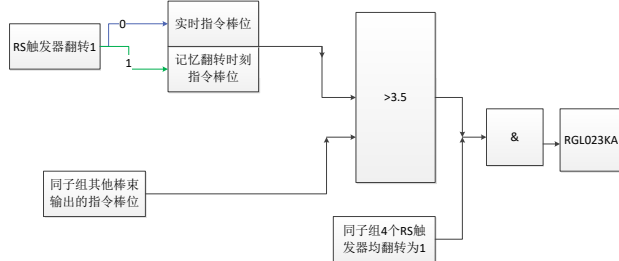


>图1 棒位变化触发器原理图



>图2 FLIP-FLOP触发器逻辑

图3显示了控制棒动态失步报警的触发计算逻辑。在每束棒的RS触发器被置1后，软件记住当时翻转时刻的指令棒位，由于子棒组的四束棒在棒位切换点附近可能会出现有的棒先翻转，有的棒后翻转的情况，因此每束棒的RS触发器输出置1的时间点不完全一样，有先有后，各棒记录的指令棒位也可能不完全一致。在子组四根棒RS触发器输出全部被置1后，软件找出记录到的四个指令棒位中的最大值和最小值，并进行偏差计算，如果偏差大于3.5步则发出动态失步报警^[4]。同时，在四个RS触发器全部为1后将会对四个RS触发器的S端置1，使得四个RS触发器的输出被复位。等待下一个棒位切换点再进行动态失步的监测^[5]。



>图3 动态失步计算以及报警触发原理图

二、故障原因分析

针对引言中所述两次动态失步报警触发过程分析，查询KIC（集中数据采集系统）历史趋势，第一次出现控制棒动态失步报警时G22棒组指令棒位从127步降至125步，所有子组棒的测量棒位从128步插至120步。随后闪发R2棒组动态失步报警时，R2指令

棒位从221步至222步，R棒组F10测量棒位从216步至224步，同子组其他棒测量棒位未见变化。第二次出现控制棒动态失步报警时，R2指令棒位从213步降至211步，K06先前在指令棒位为214步时就已经从216步切换到208步，在其他棒从216步切换到208步时闪发报警。

该电站在大修下行期间为了监测控制棒动态失步报警的成因，仪控人员在SU端（棒控系统服务端）制作脚本对功率棒和温度棒的棒位以及各棒组的RS触发器状态进行了监测，其中G22棒组和R2的第2次动态失步报警被监测到，经过分析确认动态失步报警的触发与部分棒组RS触发器的不合理输出有关。

为了分析大修下行G22棒组出现动态失步报警的数据，将对应棒组各棒束的测量棒位变化（可以理解为图1中的BI3（实际BI3触发需要延时2个程序周期））、RS触发器输出状态、指令棒位及报警触发情况进行逐一对比^[6]。

选取G22子棒组在指令棒位133~135步的提棒过程，四个触发器状态分别是：RS2.1为0，RS2.2/RS2.3/RS2.4均为1。G22的第一束棒位为136步，还未翻转到128步，而其他三个棒均翻转至128步，因此RS2.1为0，而其他RS为1属于正常情况。之后，G22.1棒的棒位指示发生了变化，从第136步翻转到了128步。系统则认为棒束正常翻转，因此将RS2.1置位，并进行动态失步的计算和输出，经计算这个时候不存在动态失步，没有触发报警。系统在处理完动态失步逻辑后将四个RS输出全部复位至0。不巧的是，在系统进行动态失步计算和复位RS输出的过程中，从监测的第8组数据看，G22.1棒的棒位又从128步切换到了136步，而这个翻转使得棒位变化信号再次出现了1，本应导致触发器状态的变化，但软件正在进行动态失步的报警处理以及RS的复位过程，该BI3的1信号被软件给“忽略了”。

从脚本的时序上看，G22.1的棒位从136步到128步，再从128步到136步，仅仅250ms，而控制棒移动的最高速度为72步/分，大约833ms（此处指在最高棒束下控制棒动作一步至少需要833ms）^[7]，因此该棒并没有发生真正的动作，而仅仅是棒位测量的波动。该波动是由于棒位测量在棒位切换点附近，棒位探头反馈电压与阈值非常接近，微小的反馈电压波动就会导致棒位出现来回切换，这时一般再多提/插一步控制棒，使得棒位远离棒位切换点，棒位波动的情况就会消失，这是棒位测量探头的特性导致的^[9]，各个CPR机组均存在同样的现象^[8]。

CCS软件是每个程序周期进行棒位实时处理与计算的，如果能够对棒位的短时波动（也可以称作“抖动”）进行滤除的话，则正确的RS触发器状态应该为括号中的状态。经过分析，从检测数据第5组开始，如果RS触发器为正常的状态，G22棒组将在后续的提插棒过程中不会产生动态失步报警。因此，动态失步报警的隐患是这个时刻埋下的。

实际上，CCS组态使用FLIP-FLOP类型的触发器也具备一定的棒位“防抖”功能。如果在其他三个RS不同时为1的情况下，G22.1的棒位发生了抖动，从136翻转到128，RS触发器被置1，250ms后，从136又翻转到128，RS触发器会被第二次脉冲给复位到0，因此这种情况下RS触发器的状态抖动也不会真正影响到动态失步逻辑，所以也不是任何棒位的抖动都可能导致动态失步报警的误闪发。只有在其他三束棒的RS均被置1，且本棒束又出现了棒位抖动的特殊情况下才会导致处理逻辑的错误。

采取同样的方式方法分析 R2棒第二次闪发动态失步的情况。经过分析,从脚本开始记录的时候,R2.1/2.2/2.4的RS触发器的状态就存在异常,应该为1(而实际为0),判断出现这种异常的原因和上面G22的情况类似,由于某束棒的测量棒位的抖动导致。随着各棒组随后的棒位切换,RS输出状态的变化,最后在监测数据的29组导致系统误闪发动态失步报警。

同时我们关注到监测数据的第30组,在4个RS触发器刚刚置1后,软件系统正在进行动态失步计算和RS复位操作过程中,第3束棒的棒位出现了翻转,这次系统又在“忙碌”中将这次的翻转给“忽略”掉了,但这次的“忽略”又鬼使神差的未再次使得RS触发器状态出现错误,所以之后的R2棒没有再次闪发动态失步报警。

综上所述,确定控制棒动态失步报警出现的原因有以下三点:

- 1) 目前CCS逻辑能够对真正的动态失步进行监测和报警触发;
- 2) CCS逻辑还不能完全避免在出现棒位测量“抖动”时RS的错误翻转,但是出现错误翻转的概率也不是很大,只有在某些比较极端的状态下才会偶尔出现;
- 3) CCS逻辑在动态失步计算和RS复位过程中,针对BI端也出现1的情况下,软件底层逻辑存在某种“竞争”,RS触发器状态可能不定,导致RS触发器不能正确翻转或者错误翻转。

三、动态失步报警闪发对机组的影响

控制棒动态失步报警仅对功率棒和温度棒(G棒组和R棒组)进行监测,停堆棒组不进行监测。如果在动棒过程中出现了动态失步报警,将对机组和操纵员造成以下影响:提示操纵员动棒过程中可能有棒存在滑步等异常,如果控制棒真实失步会造成堆芯中子通量发生畸变;若达到运动中失步阈值(一束棒失步大于12步),机组将产生随机第一组IO^[9]。

动态失步报警不参与棒控逻辑,不影响动棒/落棒功能。

报警出现后操纵员需要执行相关程序对控制棒状态进行诊

断,专业需现场核查失步情况和手动复位报警,可能会暂时停止自动或操纵员手动动棒操作。出现控制棒动态失步报警,将影响操纵员对机组监控、判断和对异常的响应^[10]。

该电站两台机组历史上均多次出现过动态失步报警,经检查均为误报警,不存在真正的失步的情况。

四、现状评价、应对措施及改进方向

控制棒动态失步报警在动棒期间可能误触发,触发后需核实测量棒位是否有偏差,如测量棒位一致(测量棒位相差不超过8步),则是误发报警,由仪控保驾人员复位报警即可,动态失步报警不影响控制棒手动操作功能。在启停机操作控制棒前,仪控保驾人员可以在SU中检查各棒束的RS触发器输出的状态,如存在错误的情况下,予以复位和纠正,减少误报警的概率。

当前动态失步报警误发原因与CCS组态设计缺陷有关,报警误发影响可控,风险低。解决该报警误触发的问题需厂家修改CCS组态并进行软件的测试,目前项目组已将历史起停机过程中记录的该报警触发时脚本数据发给厂家进行研究和确认,并建议厂家对棒位测量通道进行“防抖”处理以及评估FLIP-FLOP触发器在S端和I端同时出现1的情况下的执行语句“竞争”的问题,以期通过厂家针对这两个问题进行进一步软件升级彻底解决该遗留问题。

五、结束语

项目组通过历次报警信息和数据收集与分析,确认了控制棒动态失步报警误触发的原因为组态逻辑设计存在缺陷。针对该问题进行原因分析研究后,项目组制定了针对该问题的应对方案,同时将该报警涉及的逻辑设计缺陷及改进方向告知厂家以便后续进行组态升级。该问题的分析、定位及应对措施的制定,使运行人员在升降功率期间触发该报警时能配合仪控保驾人员按既定预案从容应对,大大降低了机组升降功率期间的不确定性因素。

参考文献

- [1] 楼蕴昊,马一鸣,周宇.方家山核电厂棒位探测器的故障分析及改进措施[J].中国核电,2022,15(5):730-734.
- [2] 黄可东,张英,王华金,等.广东岭澳核电二期工程数字化棒控棒位系统设计[J].核动力工程,2008,29(2):105-109.
- [3] 赖厚晶,陈卫华,姚立民,等.CPR1000棒控棒位系统性能试验研究及开发[J].自动化仪表,2013,34(02):56-60.
- [4] 祝伟健,张建兵,唐龙.基于全数字化棒位测量系统的通道比对分析[J].电子技术应用,2021(047-S01).
- [5] 王兴,高鸣,黄尧.压水堆核电站棒位测量偏差分析及应对[J].电子技术应用,2022,48(S1):5-8.
- [6] 常乐莉,范雪珍,郑云龙.压水堆核电站控制棒位置测量准确性因素研究[J].核电子学与探测技术,2013,33(6):713-716.
- [7] 商静,董威,苟晓龙.CPR1000核电厂棒位指示系统改进建议[J].自动化仪表,2015,36(11):81-84+88.
- [8] CHEN Jianwen,GONG Chengjun.国产棒位系统故障分析及处理措施[J].上海交通大学学报,2019,53(Sup.1):33-44.
- [9] 马旭升.核电站重要仪表测量通道的不确定度计算方法[J].自动化仪表,2012,33(07):43-48.
- [10] 蓝剑,舒芝锋,刘阳,等.核反应堆棒位探测器自动检测装置的设计[J].工业仪表与自动化装置,2024(4):36-41.