

# 某核电厂反应堆保护系统试验的分析

## Analysis of Tripping Event Caused by Switch Fault and Lamp Test

张锡轮 李广锋

Xilun Zhang Guangfeng Li

广东省深圳市大亚湾核电厂 中国 · 广东 深圳 518000

Daya Bay Nuclear Power Operations and Management Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

**摘要:** 核电厂的反应堆保护系统试验是核电厂的关键试验, 该试验用于验证反应堆保护系统停堆断路器部分和专设安全设施部分输出动作信号的可靠性。试验对于机组的核安全功能至关重要, 论文对试验原理及操作步骤进行了分析。

**Abstract:** The reactor protection system test of the nuclear power station is an important test part of the nuclear power station, this test is used to verify the reliability of the output action signals of the reactor protection system shutdown circuit breaker and the special safety facilities. This test is very important for the nuclear safety function of the unit, this paper analyzes the test principle and operation steps.

**关键词:** 核电厂; 反应堆保护; 试验; 传感器; 紧急停堆

**Keywords:** nuclear power plant; reactor protection; test; sensors; scram

**DOI:** 10.12346/etr.v4i10.7181

### 1 概述

核电厂反应堆保护系统试验简称 T3 试验, 该试验是为了验证反应堆保护系统停堆断路器部分和专设安全设施部分输出动作信号的可靠性, 安全性和准确性而进行的定期试验。属于核电厂的预防性维修项目。

T3 试验包括反应堆紧急停堆断路器试验和专设安全设施执行机构试验, 停堆断路器试验的方法是利用旁路断路器合闸后, 对主断路器进行各种功能试验, 对联锁信号用串联电阻检查电压法试验反应堆保护停堆保护联锁输出放大器及执行机构线圈。

如图 1 所示, T3 试验的控制信号从放大器前级的或门注入, 引起输出继电器的动作, 向下一级的执行机构发出控制信号。

对于核电机组而言, 不同的执行机构其执行的功能也是不同的。所以, 根据三个准则: ①一次测试完成尽可能多的功能相同的执行机构; ②不影响机组的正常运行; ③要确保安全功能最低限度的可用性。

专设安全设施部分的 T3 试验分为三类: A——不闭锁执行机构的测试; B——有条件的不闭锁执行机构的测试; C——闭锁执行机构的测试。

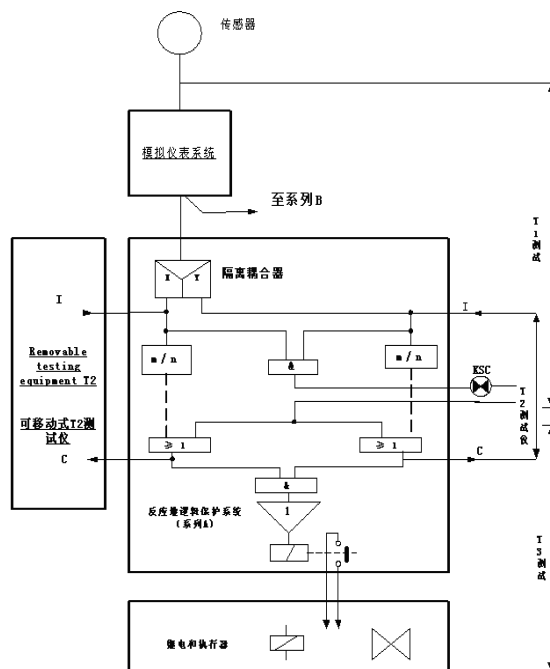


图 1 T3 试验信号流程

【作者简介】张锡轮（1974-），男，中国河南新乡人，本科，工程师，从事核电站控制系统调试与维护研究。

## 2 核电厂反应堆保护设计原理

核电厂反应堆保护系统用于保护核电厂核安全屏障（即燃料包壳、一回路压力边界和安全壳）的完整性，机组运行期间当运行参数达到危及三大屏障完整性的阈值时，需紧急停闭反应堆，必要时启动专设安全设施，反应堆保护系统，从广义上说，由仪表系统和逻辑系统组成，逻辑系统也就是狭义的反应堆保护系统<sup>[1]</sup>，如图2所示。

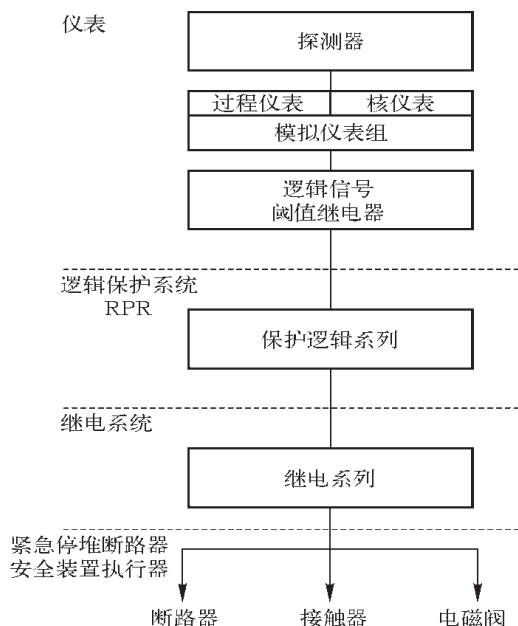


图2 T3 反应堆保护系统组成

核电厂的设计需遵守一定的原则，包括冗余性和独立性、多样性、单一故障等设计原则，其中冗余性设计原则可以满足反应堆保护系统在发生一列故障或维修后还能继续运行，实际运行中，为了检验保护系统运行的可靠性，需要执行定期试验，冗余性设计为在线测试提供了可能性。

核电厂设计中一个运行参数（如温度、液位、压力、流量等）一般采用多只探测器同步探测。广东某核电厂的信号流程设计为探测器采集信号送往各自仪表柜，由模拟电路处理产生模拟显示、控制信号，由阈值继电器处理产生逻辑输出信号，由接口电路分成的两个逻辑信号分别送往不同房间的保护柜中。在保护柜中，经过符合门输出两个隔离的逻辑信号，它们分别控制A和B两个通道的紧急停堆断路器。逻辑信号为1时（其电平为低电平）使紧急停堆断路器的失压线圈断电，切断控制棒驱动机构电源，使控制棒全部落入堆芯，机组紧急停堆。

## 3 反应堆紧急停堆断路器的 T3 试验的原理

停堆断路器位于核电厂反应堆棒控房间，一台机组有四台断路器，包括两台主断路器（RPA300JA/RPB300JA），两台旁路断路器（RPA320JA/RPB320JA），如图3所示，两台串联的主断路器按二取一的逻辑矩阵方式动作，它们是

常闭的，两台旁路断路器常开，为定期进行跳闸回路的动作试验而设置<sup>[2]</sup>。

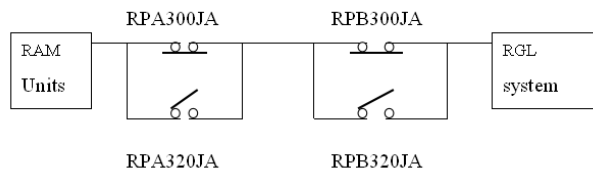


图3 T3 停堆断路器连接方式

在进行一列主断路器的跳闸试验前，首先测试对应列旁路断路器的有效性：

①在机柜处，即核电厂反应堆棒控房间进行旁路断路器的测试。

②从T3测试柜进行旁路断路器的测试。然后再合上旁路断路器，通过操作反应堆保护试验柜上的试验按钮和主控室手动跳闸按钮进行不同原理和方式的跳闸。

在试验期间，如果出现自动停堆信号，主断路器和旁路断路器将同时跳闸。主断路器的开合试验完成后，重新合上主断路器，拉开旁路断路器，恢复到试验前的初始状态。这种试验对机组的核安全水平没有影响。

## 4 针对专设安全设施执行机构的 T3 试验的原理

对于针对专设安全设施执行机构的T3试验来说，在专门设计的T3试验柜上进行A类试验和C类试验，在主控室的试验盘（T16和T17）上进行A类试验和B类试验。

### 4.1 反应堆保护系统 A 类和 B 类 T3 试验的原理

A类试验指的是输出信号与不闭锁执行机构的测试，在机组正常运行期间，这些测试可以在被控制的执行机构上完成，例如，打开主蒸汽旁路阀进行试验不影响汽轮机的蒸汽供应。B类测试指的是，在一定的条件下，输出信号与不闭锁执行机构的测试，操纵员为了执行该项测试，必须要将对应的或相关的核安全设备或系统设置到一定的状态，例如，进行容控箱电动操作隔离阀的试验时操纵员需要相应的设备设置到一定的状态。

A类试验和B类试验的共同特点是在主控室试验盘或电气室试验盘上，通过操作试验盘上的四位置试验开关来进行试验。当试验开关打在“INJ”位置时，通过开关上的触点将试验信号分两个逻辑从放大器前级的或门注入，驱动输出放大器，使相应的输出继电器动作，向被测试的执行机构发出动作信号，从而驱使对应的执行机构动作。此时，试验人员可以通过不同的报警状态和执行机构动作状态判断试验的成功与否。在试验中，已经通过反应堆保护系统驱动具体的安全设施执行机构动作，表示反应堆保护系统的安全控制信号已正常送出，所以，反应堆保护系统本身在执行这些试验的过程中对机组的核安全水平无影响。

## 4.2 反应堆保护系统 C 类 T3 试验的原理

在机组正常运行期间，有些执行机构是不能动作的。它们被设计成仅在事故情况下才投入运行，它们的动作意味着反应堆紧急停堆或设备处于危险工作状态。此时，针对这些执行机构的测试仅限于检查保护逻辑系统传送到执行机构的安全信号的有效性，这些测试被称为 C 类 T3 试验，由仪表处试验人员在电气室的测试机柜上完成。根据执行机构接收安全信号并动作的原理，C 类 T3 试验的测试原理也分为两种，一种是电流法测试原理，一种是电压法测试原理。

如图 4 所示，这种原理的测试连线适用于连接执行机构的继电器处于得电状态的执行机构及装置的测试。机组在正常运行状态下，核安全有关的设备或系统相关的 48V 直流供电电源利用电阻 R2 和反应堆保护系统输出继电器的常闭动作接点向执行机构的驱动继电器输出电源，电流表支路和并联 R1 电阻支路处于断开状态。当安全信号到来时，反应堆保护系统输出继电器励磁，常闭动作接点打开，相关执行机构用于驱动继电器失去供电，执行机构动作。当试验信号注入时，反应堆保护系统用于输出继电器同样得电励磁，常闭动作接点断开，但用于供电的 48V 直流电源通过与之并联 R1 电阻支路向执行机构的关联继电器供电，保证对应执行机构驱动继电器处于得电励磁状态，执行机构维持初始状态不动作。此时，电流表所在回路连接但指示为零，表征输出继电器的电励磁，常闭接点动作断开，安全信号正常动作。此时，如果机组状态真实变化，对应的执行机构实际无法动作，并联的 R1 电阻支路在试验中已将安全信号整体屏蔽。因此，该试验对机组的核安全存在影响<sup>[3]</sup>。

在做用电流法测试时，要确保试验位置与电流指针的正常指示相符合。例如，在做给水阀隔离信号测试时：

① 699CC 在 P1 位置时，其正常指示应该在红区（11~25MA），此时，如果指示在了黄区，且经过轻敲无效，则可能是旁路正电回路没有断开，此时保护系统有拒动的风险。

② 而 699CC 转到 ON 位置时，电流表应指示在黄区，若其停留在红区，则可能试验 CC 接点故障，导致驱动继电器旁路正电回路未接通。

③ 699CC 转到 INJ 位置时，电流表只是应为 0，如指示在黄区且无报警，则原因为 a. 信号已注入，反应堆保护逻辑异常或输出继电器未动作；b. 试验开关异常，信号未注入。如指示在黄区且有 760AA 出现，则由于试验开关异常，导致 X、Y 逻辑有一个逻辑未注入信号。

④ 699CC 转到 RES 位置时，指示正常应在黄区，如其指示为 0，则试验 CC 注入信号接点未断开或者反应堆保护逻辑或输出继电器异常。所以，试验过程中，如出现执行机构误动作，则应立即将该回路的试验 CC 恢复至初始（OFF）状态，出现的任何异常都应该有记录，可能涉及反应堆保护逻辑及输出继电器问题的，必须进行后续跟踪。

如图 5 所示，这种原理的测试连线适用于驱动执行机构的继电器在正常运行时处于失磁状态的执行机构的测试。在正常运行时，反应堆保护系统的输出继电器失磁，常开接点是断开的。当安全信号到来时，反应堆保护系统输出继电器励磁，常开接点闭合，核安全系统或设备的 48V 直流电源通过试验开关的常闭接点使对应执行机构驱动继电器励磁，执行机构将动作。当试验信号注入时，反应堆保护系统输出继电器同样励磁，常开接点闭合，但由于图示试验开关选择的关系，对应试验开关的常闭接点断开，核安全系统或设备的 48V 直流供电电源通过其中的电阻 R1 支路给执行机构驱动继电器提供电源，但由于电阻 R1 分压的关系，实际加在驱动继电器线圈上的电压只有 8V 左右，它不足以使驱动继电器励磁，执行机构将不会动作。此时，电压表指示的正是驱动继电器线圈上的电压，通过读数可以判断试验合格与否。机组运行过程中机组状态变化，根据机组需要相关的执行机构需启动，而处于试验状态的执行机构实际是不能动作的，因为串联电阻已经将电源电压降低，因此该试验对机组的核安全必然产生影响<sup>[4]</sup>。

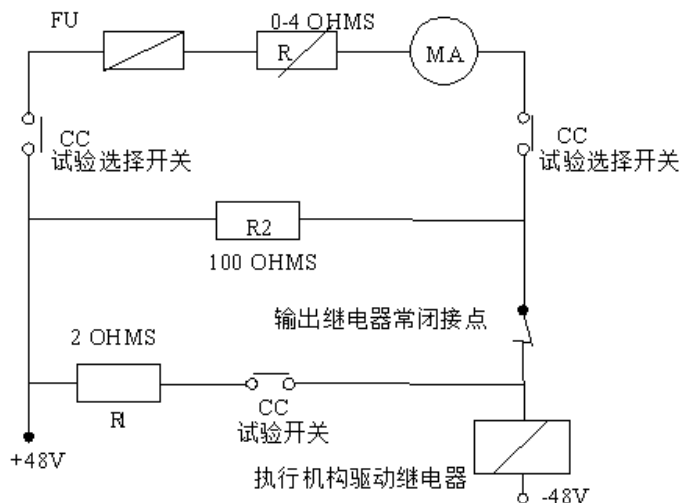


图 4 电流法测试原理图

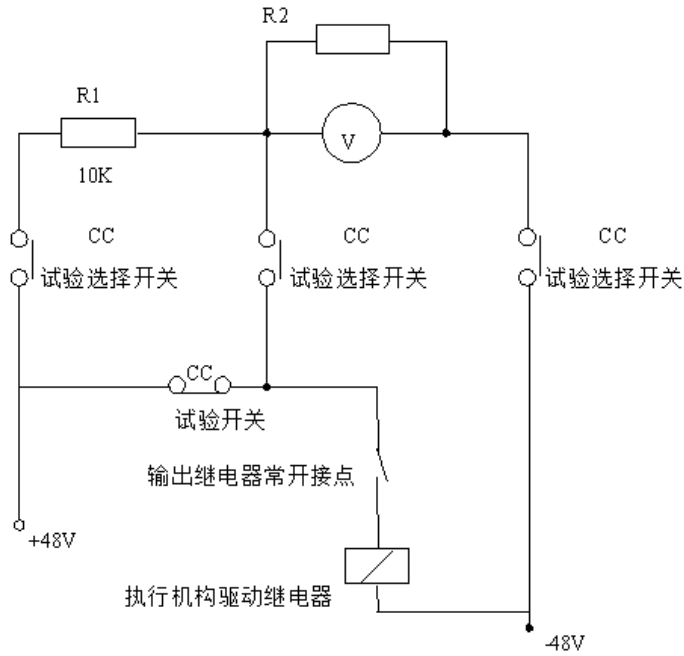


图 5 电压法测试原理图

## 5 结语

反应堆保护系统试验包括电压法与电流法两种方式，试验过程相似，试验过程对机组的核安全存均在影响，根据电厂要求，执行此类试验时，应注意核对规程的要求与试验结果，以上为对某核电厂反应堆保护系统试验的分析，望对各位工程人员在工作中思路有所借鉴。

## 参考文献

- [1] 广东核电培训中心.900MW压水堆核电站系统与设备[M].2版.北京:原子能出版社,2010.
- [2] 庞松涛.压水堆核电站过程控制系统[M].1版.深圳:中国电力出版社,2014.
- [3] 马菲.DCS控制系统的构成与操作[M].1版.锦州:化学工业出版社,2012.
- [4] 胡寿涛.自动控制原理[M].7版.北京:科学出版社,2019.