

文章编号：0258-0926(2014)03-0055-04; doi: 10.13832/j.jnpe.2014.03.0055

# 反应堆保护系统保护逻辑通道试验装置设计

康 亚<sup>1</sup>, 朱 攀<sup>2</sup>

1. 重庆城市管理职业学院, 重庆, 401331; 2. 中国核动力研究设计院核反应堆系统设计技术重点实验室, 成都, 610041;

**摘要:** 保护逻辑通道试验装置用于秦山核电二期扩建工程反应堆保护系统中保护逻辑的定期试验。本文介绍了该装置的试验原理、设备组成、工作方式、技术特性等内容。

**关键词:** 反应堆保护系统; 保护逻辑; 通道试验

**中图分类号:** TM623 **文献标志码:** A

## 0 引言

为检测反应堆保护系统内部故障(包括安全故障和非安全故障), 保证核电厂的正常运行, 需设计一种具有定期试验功能的保护装置。保护逻辑通道试验装置用于反应堆保护系统中保护逻辑的定期试验, 以达到定期检测反应堆保护系统内部故障的目的。本文介绍了秦山核电二期扩建工程反应堆保护系统保护逻辑定期试验装置(T2 试验装置)的设计。

## 1 定期试验原理和范围

秦山核电二期扩建工程反应堆保护系统的定期试验可以分为过程仪表和核仪表试验(T1 试验)、保护逻辑通道试验(T2 试验)以及输出电路及驱动器试验(T3 试验), 针对各试验都配备了专用的试验装置。为确保试验的完整性, T2 试验和 T1、T3 试验具有一定的重叠, 如图 1 所示。T2 试验的信号输入点位于隔离组件的输出端, 信号采集点分布在从逻辑单元的一些中间点一直到输出放大器的输入端。试验对象包括从隔离组件输出端到输出放大器输入端之间所有的逻辑器件、隔离器件以及它们之间的电气连接。同时, T2 试验装置对保护逻辑产生的信号(报警信号、指示灯及计算机输入信号)提供试验功能。

保护系统由 2 个冗余的保护系列组成, 每个系列又分为 2 个“半逻辑”(X 和 Y)。“半逻辑”的输出信号相“与”形成本系列的输出信号, 2 个系列的输出信号又按“或”的关系作用于

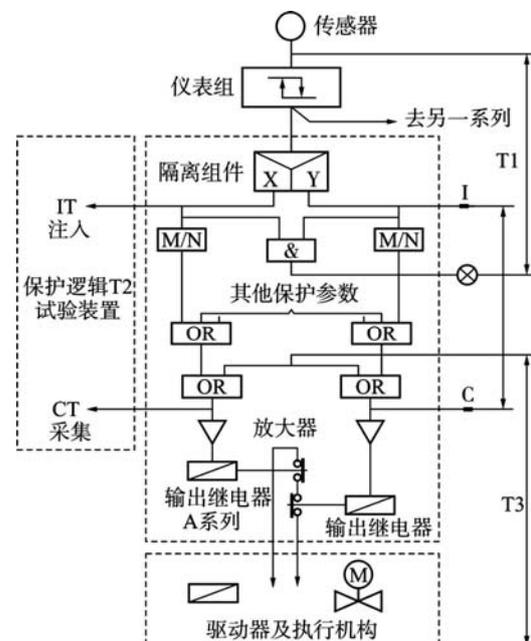


图 1 定期试验原理和范围

Fig.1 Principle and Scope of Periodic Test

驱动器系统。为了保证试验不会触发保护系统不必要的安全动作影响整体的可用性, T2 试验装置每次只对每个保护系列的每个“半逻辑”分别进行试验, 并且利用保护逻辑集成电路与输出电磁继电器的响应时间差, 将试验注入信号设计成极短脉冲从而不会引起输出继电器的动作。

试验设备按照一定的顺序产生试验信号, 注入被试验的保护逻辑设备的输入端, 经过一段时间延迟以后在保护逻辑输出端及一些中间点采集系统对注入信号的响应, 将采集结果与预期的

状态进行比较。如果两者不符合,则说明被试验的逻辑系统内部存在故障。

T2 试验按功能进行,试验过程分成很多个“试验序列”。每个试验序列对应于保护逻辑的一种保护功能。“试验序列”内部又分成若干个“测试步”,每个“测试步”对应于保护功能的一种输入组合。在一个测试步中,T2 试验装置同步向几个注入点发出试验信号,构成某种逻辑组态。为了保证定期试验期间系统具有对真实信号的响应能力,2 个测试步之间设计有一定的时间延迟,使保护系统的真实信号能够通过。

## 2 T2 试验装置的组成

T2 试验装置为一台可移动的自动测试设备。试验时,通过试验电缆连接到被试验的逻辑设备,分别对每个“半逻辑”进行试验。试验完成后,试验装置随即与保护系统脱离。

T2 试验装置的主要硬件组成见图 2。T2 试验装置主要由加固型工业控制计算机、打印机、6 块标准信号输入/输出(I/O)卡、1 块特殊 I/O 卡、1 块自检测试单元以及测试控制软件组成。

I/O 卡用于产生测试激励信号和采集被测试对象状态信号;自检测试卡用于对系统电路、输出信号及测试连接电缆进行自检;液晶显示器用于实施人-机交互;键盘用于设置及启动试验;打

印机用于输出试验数据报告;测试信号接口连接试验电缆,用于试验信号的输入/输出。

7 块 I/O 卡及自检卡插在工业标准结构(ISA)接口上与计算机进行交换数据,接口电路都由可编程逻辑电路(CPLD)实现。CPLD 电路除完成接口功能外,还接受时钟震荡信号,经过分频、记数、触发等电路处理,产生宽度准确的脉冲串,并实现 I/O 信号的自检采集判断和输出。

T2 试验装置的机柜为标准机柜,机柜深约 600 mm,其上部操作面的高度约 800 mm,机柜总高约 1100 mm,以方便操作员站立操作。T2 试验装置在硬件板卡和结构设计上均考虑了设备接口的扩展。

## 3 T2 试验装置的工作原理

T2 试验装置的工作原理是:试验接口电路接收来自计算机的试验输出信号和试验控制信号,产生试验所需的 3 种状态(高电平状态、低电平状态和浮空状态)的试验注入信号,并将注入信号进行隔离后注入被试验的保护逻辑。随后,接口电路将保护逻辑电路对试验注入信号的响应状态信号隔离并转化为可被计算机识别的试验采集信号,送入计算机进行后处理。试验过程中有 3 种计算机信号,分别为:

(1) 试验输出信号:在试验过程中,试验输出信号用 2 Bit 数字输出量表示:高电平(1, 0)、低电平(0, 1)、浮空状态(0, 0)、(1, 1)组合禁止使用。

(2) 试验控制信号:试验控制信号为一组数字量输出信号,送向输入/输出接口板以控制试验状态。其中启动试验信号用 2 Bit 的数字输出量表示,控制试验输出信号的发送;超时控制信号用 1 Bit 数字输出量表示,控制超时监视电路的工作状态。

(3) 试验采集信号:逻辑线路对试验注入信号的响应状态信号经过输入/输出接口板的隔离后形成试验采集信号由计算机读入。每个试验采集信号用 1 Bit 数字输入量表示。

试验接口为硬件电子线路,其主要功能为产生试验注入信号和对被试验逻辑电路的响应状态信号进行处理。接口电路还包括基于硬件电路的试验注入信号超时控制电路,当由于试验控制

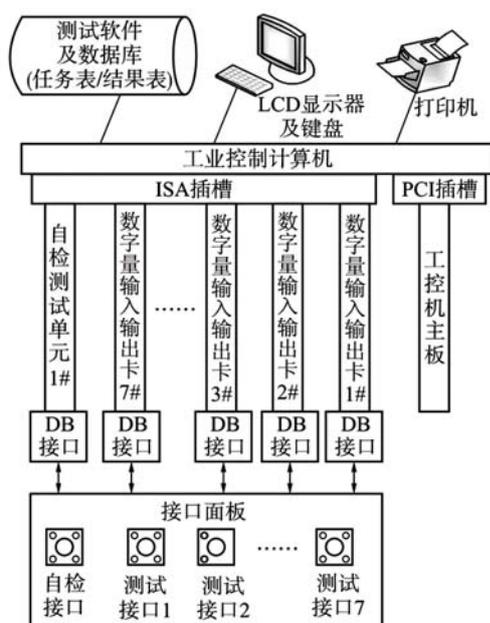


图 2 T2 试验装置硬件组成框图

Fig. 2 Hardware Block Diagram of T2 Test Device

信号故障使试验信号持续时间过长时，自动切断试验注入信号，保证不影响保护逻辑的正常功能。T2 试验装置输入/输出端口数量情况见表 1。

T2 试验装置对保护系统中的逻辑柜和信号柜进行定期功能试验，可分为保护逻辑试验和信号传输试验两种工作方式，工作模式由操作员在试验装置显示器上通过人-机对话方式选择。

表 1 T2 试验装置输入/输出端口数量<sup>①</sup>  
Table 1 Amount of Input/Output Ports for T2 Test Device

| 试验类型   | 机柜编号 <sup>③</sup>         | 输出信号 | 控制信号 | 采集信号 |
|--------|---------------------------|------|------|------|
| 保护逻辑试验 | 500AR, 530AR <sup>②</sup> | 130  | 8    | 64   |
|        | 600AR, 630AR <sup>②</sup> | 86   | 8    | 88   |
| 信号传输试验 | 510AR                     | 132  | 8    | 97   |
|        | 520AR                     | 162  | 8    | 90   |
|        | 610AR                     | 96   | 8    | 52   |
|        | 620AR                     | 96   | 8    | 57   |

注：①按一个机组的保护系统一个系列的机柜统计，2 个系列端口数量相同；②半逻辑 X、Y 的 2 个机柜端口数量相同；③AR 为控制机柜的功能标识。

保护逻辑试验针对保护系统系列 A、B 的逻辑柜（包括 500AR、530AR、600AR 和 630AR）进行，目的在于检测被试验逻辑单元内部的故障，保证保护逻辑单元可以产生预定的安全信号，同时监测保护逻辑的响应时间，检验安全信号是否能在规定的时间内产生，它是自动进行的。

信号传输试验针对保护系统系列 A、B 的信号柜（包括 510AR、520AR、610AR 和 630AR）进行，其目的在于检验信号单元面板上的就地灯光指示以及检验控制室内相应的信号和报警装置（如报警光字牌、指示灯和计算机输入等），它可以自动方式运行，也可以由操纵人员控制手动进行。此外，T2 试验装置还具有自诊断功能，用于在进行保护系统定期试验之前能保证试验装置本身的正确性。

## 4 试验程序

T2 试验装置的程序采用 VC++ 和 VB 语言编写，界面设计采用汇编语言图形控件与文字显示相结合设计。其主要特点是数据库独立于主程序，并且嵌入的故障定位算法能自动分析判别出故障位置，对故障定位到可更换的基本功能部件（插件）。

系统程序结构见图 3。其中硬件层由驱动程序控制，完成数据和控制指令的输入、输出。数

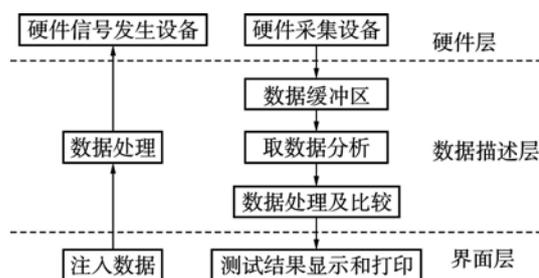


图 3 系统程序结构示意图

Fig. 3 Schematic Diagram of System Program Structure

据描述层完成指令和数据的分析、解释、工程量转换、抗干扰处理、误操作保护等。界面层实现人-机接口，用户指令输入、过程和数据显示、数据管理、报表生成和打印输出等。

## 5 技术特点

### 5.1 在役试验的实现及透明性设计

保护逻辑定期试验对象为反应堆保护系统的安全参数逻辑处理电路，T2 试验装置分别对每个“半逻辑”单独进行试验。保护逻辑采用 CMOS 系列集成电路，输出电路采用电磁继电器，两者响应时间相差 2 个以上数量级。因此，T2 试验装置设计采用持续时间极短的脉冲信号施加于逻辑电路的输入端，并在输出端采集其响应状态信号。而对于输出电路，这样的窄脉冲信号（ $<80 \mu\text{s}$ ）不能引起继电器的动作，使试验不会对保护系统输出产生干扰，实现了“在役试验”的要求。同时，试验信号的注入并不是连续的，在连续的 2 个注入脉冲之间有大约 300 ms 的时间间隔，保护系统利用这段时间对电厂真实信号进行处理。这就是 T2 试验装置的“透明性”设计，它保证了电站运行期间保护系统对真实信号的响应能力。

### 5.2 实时性设计

为了有利于提供更友好的人-机交互功能，采用了 Windows 操作系统。但是 Windows 操作系统的多任务处理模式必然带来实时性的降低，若由软件控制脉冲信号，可能使试验注入脉冲的宽度无法满足要求，因此，考虑由硬件对脉冲宽度进行限制。

CPLD 电路负责产生试验用的窄脉冲注入信号，脉冲宽度可以做到几个 ns，这种硬实时电路完全满足试验和测试的需要。由于脉冲宽度由硬

件控制,不需要工控机软件干预,工控机只需发送开始指令和读取缓冲数据,不需要做实时处理,因此可以采用非实时的操作系统。

### 5.3 超时控制电路

当由于试验控制信号故障使试验信号持续时间过长时,基于硬件的超时控制电路自动切断试验注入信号,从根本上限制了试验信号的持续时间,保证不会产生不希望的输入信号而触发保护动作,不影响保护逻辑的正常功能。

### 5.4 电源接入保护电路

由于 T2 试验装置需要分时对多个系统进行测试,在一个系统试验完毕后进行下一个系统试验。当试验电缆接入被试验设备时(即电缆是在被测系统正常工作情况下动态接入的),存在带电插拔的可能,出于可靠和安全的考虑,设计了电源接入保护电路,保证不引入干扰信号。

此外,试验装置开机自诊断及 I/O 输端口检查保证了用于试验的设备的完好;试验开始前的

电缆连接测试保证了试验电缆连接无误以及被试验对象与试验内容相符合;试验开始前总体状态及保护系统状态的确认保证了在允许的工况下开始试验;基于硬件的计算机软件运行监控电路避免了在试验进行期间由于计算机“死机”对试验的影响。

## 6 结束语

秦山核电二期扩建工程反应堆保护系统 T2 试验装置具有高度的自动化设计,不仅缩短了进行试验所需要的时间,同时也减少了在定期试验期间由于误操作而引起停堆的概率,对故障位置的自动分析判别性能也提高了设备的可用性。它兼顾了实时性和交互性,在给操作人员提供方便的同时保证了不会因为试验装置自身的故障而影响保护系统的正常功能,提高了保护系统定期试验的安全性。

# Design of Protection Logic Channel Test Device for Reactor Protection System

Kang Ya<sup>1</sup>, Zhu Pan<sup>2</sup>

1. Chongqing City Management College, Chongqing, 401331, China; 2. Science and Technology on Reactor System Design Technology Laboratory, Nuclear Power Institute of China, Chengdu, 610041, China

**Abstract:** A protection logic channel test device is used in the periodic test of protection logic for reactor protection system in Qinshan Phase II extension project. This paper introduces test principle, equipment composition, working style, technique characteristics and etc. of the device.

**Key words:** Reactor protection system, Protection logic, Channel test

#### 作者简介:

康亚(1972—),女,讲师。2008年毕业于重庆大学仪器科学与技术专业,获硕士学位。现从事自动化和仪器仪表专业教学和研究工作。

朱攀(1981—),男,工程师。2007年毕业于电子科技大学信号与信息处理专业,获硕士学位。现从事反应堆仪表与控制工作。

(责任编辑:张明军)