

# 核电站DCS模拟量显示精度自动化测试方法的研究与应用

Research and Application of Automatic Test Method for DCS Analog Accuracy Display in Nuclear Power Plant

★北京广利核系统工程有限公司 马维

**摘要：**核电站模拟量显示精度是对模拟量点在操作员站上显示的数据总位数和小数位数的要求，其准确性直接影响操作员对于核电站运行工况的判断。在核电站DCS系统中存在近万个模拟量点需要在操作员站上显示，每个点的显示精度都要依据设定的规则进行测试。目前行业内采用的测试方式为人工逐个测试，测试质量不理想且需要耗费大量的时间。本文通过改变测试方法并开发工具，提出了一种新的模拟量自动化测试方法，以替代传统人工测试。经实际项目试验，该方法可以大大提升测试效率和准确性。

**关键词：**核电DCS；模拟量精度；VBA；自动化测试

**Abstract:** The accuracy of the analog display quantity in nuclear power plant is the requirement of the total number and fractional number of the data displayed on the operator station, and its accuracy directly affects the operator's judgment on the operation of nuclear power plant. There are nearly ten thousand analog points in the DCS system of nuclear power plant, which need to be displayed on the operator station. The display accuracy of each point needs to be tested according to the set rules. At present, the test method used in the industry is manual test one by one, the test quality is not ideal and it takes a lot of time. By changing the test method and developing the tool, this paper proposes a new automated test method of analog quantity precision to replace the traditional manual test method. Through the actual project test, this method can greatly improve the test efficiency and accuracy.

**Key words:** Nuclear power plant DCS; Analog accuracy; VBA; Automatic test

## 1 引言

核电站DCS系统中模拟量精度的准确与否会直接影响操作员对核电站现行工况参数的判断<sup>[1]</sup>，所以对模拟量精度的测试是核电DCS测试中必不可少的一项内容。传统的测试方法为：依据设计院提供的模拟量显示精度要求原则，计算出模拟量点的精度，然后与操作员站中该点的精度进行比对，检验其是否一致。

由于每个模拟量点的量程不同，依据显示精度原则计算出的模拟量精度参数也不相同，传统的测试方法依靠人工计算出精度后逐一比对，不仅耗时长，而且存在计算错误的可能。因此研究自动化测试模拟量显示精度的方法就具有了很大的意义。

本研究将传统的测试方法改变为静态参数比对和平台显示功能验证两部分进行测试，同时借助Excel强大的数据处理能力，使用VBA开发自动化测试程序<sup>[2]</sup>。经广利核公司实际项目检验，该方法可以大幅提高模拟量精度的测试效率和质量。

## 2 现有模拟量显示精度测试方法分析

现在的模拟量精度测试属于电厂画面检查测试的一个环节，测试人员在执行电厂画面检查时，需要对模拟量指示器进行测试，测试内容包括点名、点描述以及显示精度<sup>[3]</sup>。

本文以国内某核电站DCS系统工程为例，模拟量精度在设计输入文件中未定义，首先需要测试人员根据模拟量点量程和精度判断原则计算出模拟量的精度标准值。模拟量精度由模拟量的总位数和小数位数两个参数组成，按照核电设备类型的不同，模拟量精度的判断原则主要分为以下几种：

(1) 温度、压力、液位等普通模拟量。其判断原则为 $\text{Max}(|\text{MU}|, |\text{MD}|) \times 1\% > 10^{-N}$ ，N取最小的整数，计算出的N即为模拟量显示精度的小数位数； $M = \text{Max}(|\text{MU}|, |\text{MD}|)$ 的位数，M即为模拟量显示精度的整数位数；小数点“.”占一位。三者相加即得显示精度为“(M+N+1).N”；

(2) 棒控模拟量。棒控系统的步数模拟量因系统

的特殊性，其显示精度为3.0；

(3) 阀位反馈模拟量。目前国内已投入使用的核电设备的阀位反馈只精确到整数位，其显示精度为3.0；

(4) 科学计数法型模拟量。由于部分模拟量量程范围很大，需要采用科学计数法型模拟量图符，其显示精度为e。

在OPS画面中找到对应的模拟量点，用显示的数值精度与计算出的精度标准值进行比对，判断工程组态是否正确。

现有的测试方法在测试过程中容易出现以下问题：

(1) 测试执行过程中，一幅OPS画面中模拟量显示点数量众多，测试人员在执行测试过程中，需要对模拟量显示点进行多项测试，容易产生人因失误，遗漏测试；

(2) 测试根据信号量程计算和组态规则计算得到，测试执行人员对规则的理解不同，会得到不同的结果，容易导致测试结果错误；

(3) 工厂测试问题修改阶段涉及模拟量图幅的修改较多、人员复杂，易导致模拟量显示精度的误修改，回归测试时只针对工厂测试期间发现的问题进行验证，无法发现误修改的模拟量图幅精度问题。

### 3 测试方法优化

由于传统的测试方法花费了大量的时间在人工计算精度和比对上，所以优化的思路也从这个角度出发。

首先在测试方法上将传统的测试内容拆分为平台模拟量图幅显示精度功能测试和模拟量信号精度组态信息比对两部分。功能测试主要验证平台在工程师站的模拟量图幅精度组态值正确时，操作员站的模拟量图幅显示精度即正确；显示精度组态信息比对是先根据设计输入文件（I/O清单、通讯清单等）中的模拟量点量程与精度原则计算出精度标准值，然后与工程中导出的所有模拟量图幅精度组态信息进行静态比对。

其次针对两部分内容分别设计测试方法。动态功能部分通过分析平台特性，对所有会影响操作员站显示精度的因素进行测试，确保DCS平台模拟量显示精度的功能完好；静态比对部分内容通过开发软件来实现测试用例的自动生成、比对功能。

最终将两部分的测试内容组合起来，即构成了新的模拟量显示精度测试方法。详细流程如图1所示。

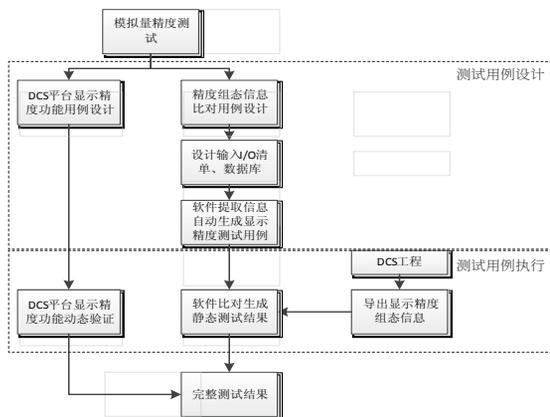


图1 模拟量显示精度测试流程

## 4 模拟量信号精度组态信息自动比对软件开发

采用编程工具，进行自动化测试。采用编程工具的好处在于可以借用Excel本身强大的数据处理能力，提高工具的测试速度<sup>[5]</sup>。以和利时公司的HOLLiAS-N为例，从平台导出工程中所有模拟量点的组态信息。

工程数据库中包含了所有点的点名和量程，编写程序从数据库中查找到平台导出的画面模拟量点对应的量程，再依据显示精度判断原则可计算出其显示精度的标准值，标准值与组态值进行对比即可判断该模拟量显示精度组态是否正确。使用VBA编程对所有的模拟量点重复执行上述过程即可实现自动化测试。

软件实现的难点在于将计算模拟量显示精度标准值的过程程序化。依据上文中提到的4种判断原则，同时结合核电工艺系统的特点<sup>[4]</sup>，计算精度标准值的程序可以按如下方式编写：

#### (1) 判断模拟量图符的类型

· 由于棒控系统的特点，其量程为固定的0~235（根据项目不同而有差异）。当识别到模拟量量程为0~235时，则为棒控模拟量；

· 依据核电工艺设备三字码，阀位反馈点的后缀为特定的VV、VL等（根据项目不同而有差异）。当识别到模拟量点名后缀为VV、VL时，则为阀位反馈模拟量；

· 科学计数法型数值在Excel中的格式具有特殊性（NumberFormatLocal="0.00E+00"），当识别到模拟量点量程格式为科学计数时，则为科学记数法型模拟量；

· 当识别到模拟量点不属于上述三种类型中的任意一种时, 则为普通模拟量。

(2) 计算不同类型模拟量图符的精度

- 棒控模拟量, 其显示精度为3.0;
- 阀位反馈模拟量, 其显示精度为3.0;
- 科学记数法型模拟量, 其显示精度为e;

· 普通模拟量即按照精度公式计算。先由 $\text{Max}(|\text{MU}|, |\text{MD}|) \times 1\% > 10^{-N}$  (N取最小的整数), 计算出模拟量显示精度的小数位数N; 再由 $M = \text{Max}(|\text{MU}|, |\text{MD}|)$ , 模拟量显示精度的整数位数M; 最后计算出普通模拟量显示精度为“(M+N+1).N”。但普通模拟量存在一种特殊情况, 即该点本身量程上下限为小数时(如0~10.123), 按照上述公式计算出的精度有可能低于原量程精度, 造成显示不准确。因此在编写程序时需判断模拟量量程上下限小数位数是否比按照公式计算出的显示精度中的小数位数多, 最终小数位数N取两者中最大的值。

## 5 测试结果与分析

本项研究以广利核公司负责的国内某核电站DCS项目为例进行了测试, 所采用的硬件设备: DELL Latitude 3470 (配置为: Intel(R)Core(TM)i7-6500U CPU@2.5GHz, 8GB的内存。采用Microsoft Windows 7企业版操作系统)。经验证, 传统测试方法测试一台核电机组DCS非安全级部分模拟量精度需要49人/日, 而新的测试方法所花费时间为8.5人/日, 效率可以提升82.6%。

测试结果如图2、图3所示。

No.	Test Key 测试点	Test Objective 测试目的	Test Procedure 测试方法	Expected Results 期望结果	Test Results 测试结果
1		验证显示信号点名的准确性。	验证显示信号点名的准确性。	显示信号点名为: 验证、合格、不合格。	✓
2		验证显示信号点名的准确性。	验证显示信号点名的准确性。	显示信号点名为: 验证、合格、不合格。	✓
3	验证显示信号点名的准确性。	验证显示信号点名的准确性。	验证显示信号点名的准确性。	显示信号点名为: 验证、合格、不合格。	✓
4		验证显示信号点名的准确性。	验证显示信号点名的准确性。	显示信号点名为: 验证、合格、不合格。	✓
5		验证显示信号点名的准确性。	验证显示信号点名的准确性。	显示信号点名为: 验证、合格、不合格。	✓
6		验证显示信号点名的准确性。	验证显示信号点名的准确性。	显示信号点名为: 验证、合格、不合格。	✓

图2 模拟量精度功能测试结果

优化后的测试方法与原测试方法相比, 在保证测试完整性的同时, 具有以下优点:

(1) 测试结果准确。电厂画面设计输入文件中只定义了显示信号的点名, 对于显示精度信息并未明确

### 参考文献:

- [1] 王常力, 罗安. 分布式控制系统 (DCS) 设计与应用实例 (第三版) [M]. 北京: 电子工业出版社, 2016.
- [2] 姜彦伟. Excel中的VBA程序设计[J]. 信息与电脑(理论版), 2012, (04): 46 - 48.
- [3] 蔡蕾, 田苗, 王松, 卢冲, 靳永毅. 核电厂非安全级DCS测试[J]. 信息与电脑(理论版), 2016, (24): 106 - 109.
- [4] 广东核电培训中心. 900MW压水堆核电站系统与设备(第2版)[M]. 北京: 原子能出版社, 2007.
- [5] 朱培育, 朱佳苗, 赵俊香, 龚耀. Excel VBA数据处理软件开发[J]. 地震地磁观测与研究, 2006, (S1): 108 - 115.

画面名称	点名	量程上限	量程下限	设计图符类型	组态图符类型	判断结果
0DVY001YCD	AA0DVY001MT	0	50	%5.2f	%5.2f	TRUE
0DVY001YCD	AA0DVY002MT	0	50	%5.2f	%5.2f	TRUE
0DVY001YCD	AA0DVY003MT	0	50	%5.2f	%5.2f	TRUE
0LC1004YCD	AZ7LG1A005MU	0	7920	%4.0f	%5.2f	FALSE
0LC1004YCD	AZ7LG1B005MU	0	7920	%4.0f	%5.2f	FALSE
5ABP001YCD	AZ5ABP001MD	0	2300	%4.0f	%4.0f	TRUE
5ABP001YCD	AZ5ABP010MT	0	180	%5.1f	%5.1f	TRUE
5ABP001YCD	AZ5ABP009MT	0	180	%5.1f	%5.1f	TRUE
5ABP001YCD	AZ5ABP007MT	0	180	%5.1f	%5.1f	TRUE
5ABP001YCD	AZ5ABP003MT	0	180	%5.1f	%5.1f	TRUE
5ABP001YCD	AZ5ABP002MT	0	180	%5.1f	%5.1f	TRUE
5ABP001YCD	AZ5ABP001MT	0	180	%5.1f	%5.1f	TRUE
5ABP001YCD	AZ5ABP005MT	0	180	%5.1f	%5.1f	TRUE
5ABP001YCD	AZ5ABP006MT	0	180	%5.1f	%5.1f	TRUE
5ABP001YCD	AZ5ABP004MT	0	180	%5.1f	%5.1f	TRUE
5ABP001YCD	AZ5ABP008MT	0	180	%5.1f	%5.1f	TRUE
5ABP001YCD	AZ5ABP002MD	0	2300	%4.0f	%4.0f	TRUE
5ABP002YCD	AZ5ABP004MP	0	1	%5.9f	%6.0f	FALSE
5ABP002YCD	AZ5ABP002MT	0	250	%5.1f	%5.1f	TRUE

图3 精度组态信息软件自动测试结果

定义, 原测试方法需要测试执行人员手动计算精度标准值, 而软件依据精度原则和信号量程计算得到标准值, 可以作为测试的判断标准, 不需要测试人员手动计算, 提高了测试的准确性。

(2) 测试效率高。电厂画面设计输入文件中模拟量显示图幅数据量非常大, 原测试方法中, 测试人员在执行电厂画面检查时对模拟量显示的静态描述和动态测试性进行测试, 并使用信号的量程依据显示组态规则计算显示精度, 工作量大, 易产生人因失误。使用软件自动测试后, 能够大幅提升测试效率。

(3) 测试内容覆盖度高。对于验证问题时的回归测试, 由于测试效率的大幅提高, 可不再只对工厂测试期间发现的问题进行验证, 而是对所有的模拟量图幅重新进行一次测试。以防止工厂测试期间测试正确的模拟量在后续工程修改过程中被误修改而未能发现的情况出现。

## 6 结论

针对目前核电站DCS系统中模拟量精度测试存在准确度不足、效率低的现象, 本文在分析原测试方法的基础上, 结合模拟量精度原则和核电工艺系统的仪控特点, 提出了一种“动态功能与静态比相结合”的核电模拟量精度自动化测试新方法。经实际工程项目验证表明, 该方法能够大幅提高核电站DCS系统中模拟量精度的测试质量及效率, 具有较高的推广价值。AP

### 作者简介:

马维(1978-), 男, 北京人, 工程师, 硕士, 现就职于北京广利核系统工程有限公司, 主要从事核电DCS仪控系统的设计与验证工作。