

# WAMS 高级应用系统通用测试平台技术研究<sup>①</sup>

施秀萍<sup>1</sup>, 黄远超<sup>1</sup>, 李波<sup>1</sup>, 濮钧<sup>2</sup>, 奚江惠<sup>3</sup>, 邵德军<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(国网电力科学研究院, 南京 210003)

<sup>2</sup>(中国电力科学研究院, 北京 100192)

<sup>3</sup>(国家电网公司华中分部, 武汉 430077)

**摘要:** 随着 PMU 在各级电网大范围的投运, 基于 PMU 数据的 WAMS 高级应用系统目前在不同层面得到了广泛的应用, 而原有的 WAMS 高级应用系统的测试方法已远远不能满足性能要求, 为实现对基于 PMU 数据的 WAMS 高级应用系统进行多方位、多层次的测试, 以及对测试系统的灵活性、复用性及可扩展性的要求, 我们设计和构建了基于广域数据的高级应用系统通用测试平台. 本文首先介绍了通用测试平台的基本功能、平台组成及软件结构及实现技术, 并对构建测试平台的数据模型做了详细的阐述, 最后利用通用测试平台对基于广域数据的扰动源定位系统进行了多方位的测试, 测试结果表明基于广域数据的扰动源定位高级应用系统实现的扰动源定位功能准确、性能满足要求; 通用测试平台的使用, 显著减少广域应用系统测试工作量、提高了测试效率; 对降低 WAMS 高级应用系统的研制成本、加快研制进度具有重要意义.

**关键词:** 通用测试平台; WAMS 高级应用系统; 多源测试数据

引用格式: 施秀萍, 黄远超, 李波, 濮钧, 奚江惠, 邵德军. WAMS 高级应用系统通用测试平台技术研究. 计算机系统应用, 2017, 26(12): 84-88. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/6114.html>

## Research on Universal Test Platform for WAMS Advanced Application System

SHI Xiu-Ping<sup>1</sup>, HUANG Yuan-Chao<sup>1</sup>, LI Bo<sup>1</sup>, PU Jun<sup>2</sup>, XI Jiang-Hui<sup>3</sup>, SHAO De-Jun<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

<sup>2</sup>(China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

<sup>3</sup>(State Grid Corporation of Central China Branch, Wuhan 430077, China)

**Abstract:** In order to meet the multi-directional and multi-level testing requirements for the WAMS advanced application system, and to meet requirements of the test system on flexibility, reusability and scalability, a universal test platform is designed and constructed. In this paper, the basic function, composition, software structure, data model, application test cases of the universal test platform are described in detail. The division to the function of the test platform according to structured, hierarchical, modular standard is completed. To provide communication interface with external program and a complete test case according to different input data source cases, the test platform scalability and versatility is realized. The realization of WAMS advanced application system test using the universal test platform significantly reduces the workload of testing, it can also reduce the development cost of WAMS advanced application system and speed up the development progress.

**Key words:** universal test platform; WAMS advanced application system; multi-source test data

广域测量系统 WAMS(Wide area measurement system) 是智能电网的重要组成部分, WAMS 系统能够

实现在同一时间参考轴下获取大型互联电网系统实时动态信息和稳态信息, 为实现电力系统的动态监视、

<sup>①</sup> 收稿时间: 2017-03-15; 修改时间: 2017-04-05; 采用时间: 2017-04-10

分析甚至控制提供了前提条件,因此基于 WAMS 数据的高级应用系统目前在不同层面得到了广泛的应用,电力系统的监控也从稳态阶段提高到动态阶段.为了保证 WAMS 高级应用系统的准确性、可靠性、实用性,需要在系统开发过程中进行广泛地测试,而原有测试模式使用的测试方法和测试数据远远不能满足 WAMS 高级应用系统的测试要求,迫切需要采用新的测试技术和手段<sup>[1-3,5]</sup>.

同时在 WAMS 高级应用系统中,因为需要用不同数据源来验证系统准确性、可靠性和稳定性,因此构建测试平台系统 TPS(Testplat system)的系统模型、建立测试软件平台系统、实现多数据源融合的测试案例是很有必要的,这样不仅可以大大加快 WAMS 高级应用系统开发进度,而且可以大幅降低系统开发成本和维护成本<sup>[8]</sup>.

鉴于上述原因,我们开发了 WAMS 高级应用系统通用测试平台,它不仅可以利用 WAMS 提供的实时数据、录波数据,还可以采用多种电力系统仿真软件的输出数据作为通用测试平台的测试数据;通用测试平台通过对测试数据进行前期处理和融合,以模拟电网实际运行的方式,达到为 WAMS 高级应用系统提供测试服务和测试案例的目的.通用测试平台通过动态调用不同的测试案例模块实现了测试软件系统的动态重组,保证了通用测试平台的可扩展性及通用性.

## 1 平台组成

### 1.1 通用测试平台架构

TPS 软件构架主要遵循五个设计原则,即层次化的软件结构、良好的可扩充/剪裁性、良好的可重用性、支持可移植性和可互换性,并遵循标准化. IEEE 组织在遵循这些标准的基础上提出了自动测试系统 ATS(Automatic test system) 软件框架理论模型,它主要在 IEEE 制定的国际通用标准接口的基础上,对数据库、公共接口、测试功能执行模块进行了详尽的层次划分,采用数据库技术记录了在测试过程中所需的相关信息,利用公共接口实现了测试程序对底层数据的访问.基础服务为各种高级应用功能和应用软件提供相关的数据服务,通用测试平台架构如图 1 所示.

### 1.2 软件实现方式

通用测试平台系统软件平台启动后,默认读取平台基础数据,然后通过用户选择不同的输入数据源进行自动或者手动匹配关联的数据并实现模型数据融合

及数据预处理,最后生成不同的测试案例,WAMS 高级应用系统对各种测试案例的响应结果以图形和数据输出的方式进行展示,输出结果和测试案例进行比对,实现对 WAMS 高级应用系统的测试和验证功能.具体软件实现逻辑结构如图 2 所示.

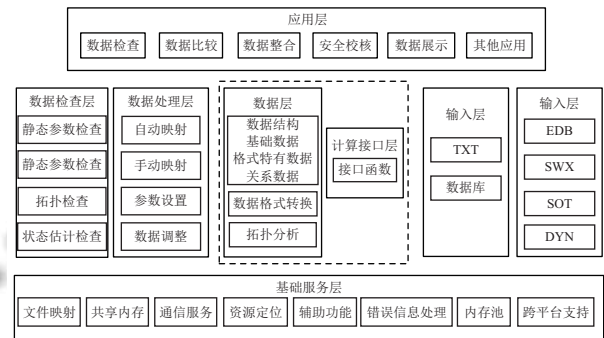


图 1 测试系统平台分层架构示意图

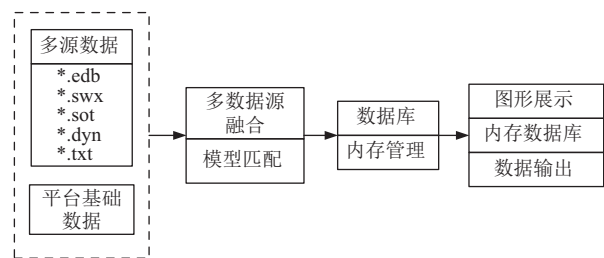


图 2 软件逻辑处理示意图

## 2 平台主要功能

WAMS 高级应用系统通用测试平台提供了以下几种功能:

### (1) 多数据源输入功能

可以实现对不同数据源的测试数据进行数据预处理,形成可用于 WAMS 高级应用系统的测试模型或测试案例;测试数据源主要包括 WAMS 主站数据、BPA 仿真软件稳定计算数据、PSASP 仿真软件稳定计算数据、相量测量装置(Phasor measurement unit, PMU) 动态数据及自定义格式的数据等.

### (2) 多模式数据输出功能

通过对不同数据源的数据进行融合,实现对通道数据、设备设备以及厂站数据的匹配关联;可选择性的将数据、模型等信息通过设计的通用输出格式进行数据文件保存,以生成满足不同应用需求的测试案例.

### (3) 平台数据源匹配功能

可以实现不同数据源数据的自动匹配和手动匹配;

自动匹配功能通过建立通道数据名称、数据类型等规则进行自动数据源的匹配工作. 手动匹配数据源通过数据源厂站列表和厂站模糊数据查询等方式, 手动地完成平台与测试数据源之间的匹配工作.

(4) 平台图形数据展示功能

可以展示平台数据与测试数据源的信息, 通过时间段的选择可显示该测试平台中的所有数据, 包括线路及发电机等设备包含的详细通道数据信息, 再根据选择的通道名称和类型可动态刷新该时间段内数据曲线及数据统计信息.

(5) 平台数据内存共享功能

通过实时库接口, 将测试案例的数据与平台数据进行映射, 按照关联后的通道 PMU 号和通道号写入实时库共享内存, 调用实时库接口功能, 达到测试数据的回放, 实现模拟电网实际运行环境的目的, 完成 WAMS 高级应用系统功能测试和验证工作.

(6) 二次开发功能

测试平台具有软件二次开发功能, 实现了系统的可扩展性, 可提供功能完善的基础性软件构件, 为 WAMS 高级应用系统设计、使用和维护提供标准化的测试模型和测试案例.

(7) 人机交互功能

平台提供数据的人机交互接口, 包括图形界面展示、数据报表打印、用户帮助文件等, 能够帮助用户快速掌握通用测试平台的使用.

3 数据模型

3.1 数据流程图

图 3 用一个数据流程图来展示一个新的测试案例的生成过程, 以及测试案例的使用过程.

3.2 数据输入与输出

通用测试平台支持的输入数据源包括 WAMS 主站数据文件:\*.edb、BPA 仿真软件稳定计算输出文件:\*.swx、PSASP 仿真软件稳定计算输出文件:\*.sot、PMU 动态数据文件:\*.dyn 以及自定义数据文件等多种格式的数据源.

通用测试平台输出的数据包括厂站映射关系表、厂站映射表中的设备包括线路、变压器和发电机等均各自输出一个模型数据文件, 输出文件为自定义格式文件:\*.wms, 其中\*为发电机名称或线路名称, 输出格式见表 1、表 2、表 3.

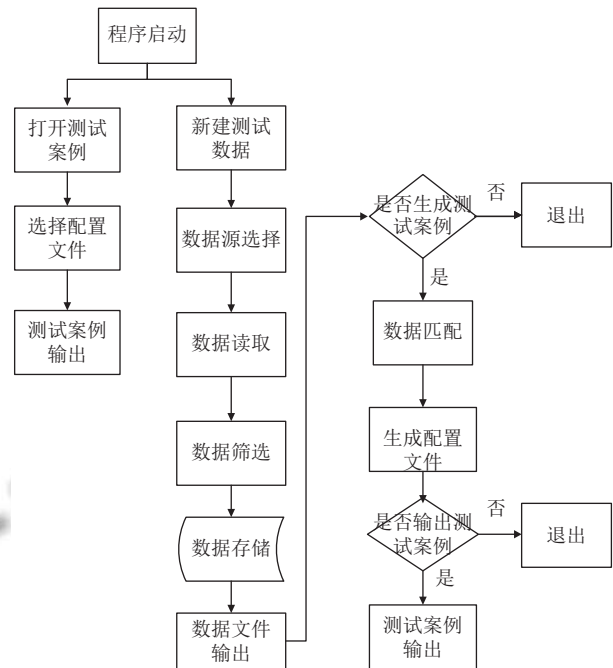


图 3 测试案例数据流程示意图

表 1 厂站映射关系表 (wms 文件)

序号	名称
1	厂站名称
2	设备名称
3	设备类型
4	通道名称
5	通道类型
6	PMU号
7	通道号

表 2 线路及变压器输出表 (wms 文件)

序号	名称
1	时间(ms)
2	有功P(MW)
3	无功Q(MVar)
4	电压U(kV)
5	电流I(A)
6	频率F(Hz)

表 3 发电机输出表 (wms 文件)

序号	名称
1	时间(ms)
2	有功P(MW)
3	无功Q(MVar)
4	电压U(kV)
5	电流I(A)
6	频率F(Hz)
7	内电势Eq(kV)



### 3.3 数据接口

通用测试平台中数据接口函数主要完成以下几个方面的任务: 根据 TPS 测试程序提交的厂站对应关系索引, 将关系索引映射到真实资源数据; 根据被测信号描述即 XML 文件执行测试端口和信号端口的连接算法程序; 选择文件执行路径, 执行信号通道的连接控制程序; 根据被测信号规定的方法和属性, 获取通道基本信息和数据信息. 下面以 BPA 仿真软件稳定计算输出文件 (\*.SWX) 的接口函数为例, 说明测试平台接口功能函数库的开发设计方法和过程.

#### (1) 获取文件基本信息接口

```
Bool GetFileInfoBPA(char* strFileName, unsigned int& uiBgnSOC, unsigned int& uiEndSOC, unsigned int& uiInterval, unsigned int& uiSmpNum);
```

- a) char\* strFileName BPA 数据文件名
- b) unsigned int& uiBgnSOC 数据开始时间 SOC
- c) unsigned int& uiEndSOC 数据结束时间 SOC
- d) unsigned int& uiInterval 数据存储间隔
- e) unsigned int& uiSmpNum 数据存储点数

#### (2) 获取数据配置信息接口

```
Bool GetConfigBPA(char* strFileName, stuc Config* config);
```

- a) char\* strFileName BPA 文件名
  - b) stucConfig\* config 返回配置信息
- (3) 设置需要获取数据的配置信息接口
- ```
bool SetConfigBPA (stucConfig* config);
```
- a) stucConfig\* config 需要数据的配置信息
- (4) 设置需要获取数据的时间信息接口

```
bool SetTimeBPA (unsigned int& uiBgnSOC, unsigned int& uiEndSOC);
```

- a) unsigned int& uiBgnSOC 数据开始时间 SOC
  - b) unsigned int& uiEndSOC 数据结束时间 SOC
- (5) 输出数据文件接口

```
bool WriteFileBPA (char* strFileName);
```

- a) char\* strFileName 输出数据文件名

### 3.4 数据库模型

数据库模块的设计使被测对象的基本信息与测试程序的开发各自独立, 测试程序通过解析和调用数据库中的信息对被测对象执行具体操作. 这种设计使得测试程序具备通用性和复用性, 同时数据库信息具备可移植性, 这样开发出的测试结果数据库管理工具可

更高效地实现对数据库的管理. 该类型的数据库针对的测试模型或测试案例描述了测试需求、测试项目的设置、测试数据相关信息、测试校准数据、故障诊断逻辑等信息.

(1) 测试需求数据库定义了当前测试对测试资源的需求, 该需求是系统测试资源数据库中所定义的测试资源中的一个子集. 测试项目数据库定义了测试项目的相关信息, 包括测试项目间的隶属关系及测试关联信息、对应的测试流程函数及函数调用参数、项目测试前(后)函数、测试项目属性, 以及交互式测试项目用户界面及项目测试函数等.

(2) 测试数据模板从测试项目名称、子项目名称、通道数据类型、单位、标称值等几个方面定义了所有测试数据的特征参数. 借助于测试数据模板可以简化 TPS 编程, 提高 TPS 的可维护性. 当测试数据参数需要修改时, 可以通过修改测试数据模板的方法实现, 提高了 TPS 的可维护性及互操作性.

## 4 测试应用案例

### 4.1 WAMS 主站数据测试案例

#### (1) 案例描述

7月14日5:00、6:14、6:40及8:21分, 三峡电站出现机组功率波动, 三峡近区龙斗、宜兴、江兴等线路发生了不同程度的功率波动, 华中电网联络线、重要断面以及特高压联络线功率波动不明显, 华中电网其他机组功率波动不明显.

#### (2) 测试方法

利用通用测试平台软件解析该事故的 WAMS 主站数据, 根据数据映射模型和数据接口函数得到厂站映射关系表文件、线路及变压器输出文件以及发电机输出文件, 通过测试平台实时库内存操作进行事故数据回放, 通过每秒 50 帧数据实时模拟现场环境重现事故状况; 利用基于 WAMS 信息源的扰动源定位高级应用系统对通用测试平台提供的测试数据进行计算和分析, 得出了本次振荡的扰动源信息.

#### (3) 测试结论

1) 本次测试结论是振荡主导频率为 0.82 Hz, 属于局部振荡模式, 振荡源为三峡站内机组, 经和实际事故报告中的结论对比完全一致.

2) 基于 WAMS 信息源的扰动源定位高级应用系统实现的扰动源定位功能准确.

## 4.2 BPA 仿真软件数据测试案例

### (1) 案例描述

在 BPA 仿真程序中, 设置官地电站#1 机组 PSS 为退出状态, 并在官地电站#1 机组出口处设置发生三相短路故障, 模拟电网发生低频振荡事故, 生成故障状态下全网运行数据。

### (2) 测试方法

利用通用测试平台软件解析测试用例中的模拟故障时的全网数据, 根据数据映射模型和数据接口函数得到厂站映射关系表文件、线路及变压器输出文件以及放电机输出文件, 通过测试平台实时库内存操作进行事故数据回放, 通过每秒 50 帧实时模拟故障状况。利用基于 WAMS 信息源的扰动源定位高级应用系统对通用测试平台提供的测试数据进行计算和分析, 得出了本次振荡的扰动源信息。

### (3) 测试结论

基于 WAMS 信息源的扰动源定位高级应用系统对本次测试案例输出的扰动源定位结果为官地#1 机组, 与 BPA 仿真程序中设置的振荡源一致, 基于 WAMS 信息源的扰动源定位高级应用系统实现的扰动源定位功能准确。

## 5 结束语

本文提出的 WAMS 高级应用系统通用测试平台, 实现了多数据源的输入匹配和多模式数据输出, 利用平台基础数据和测试数据的映射关系, 完成数据的融合和预处理, 输出通用的测试模型和测试案例, 为 WAMS 高级应用系统的测试提供了完整的解决方案; 多数据源的测试应用案例的测试结果验证了通用测试平台的实用性和高效性, 通用测试平台的使用, 可以从不同角

度、不同层次对 WAMS 高级应用系统进行多方位测试, 显著减少了 WAMS 高级应用系统测试工作量、提高了测试效率, 并且较好地验证了 WAMS 高级应用系统的准确性、可靠性和稳定性, 这对降低 WAMS 高级应用系统的研制成本、加快研制进度具有重要意义。

### 参考文献

- 1 王英涛, 张道农, 谢晓冬, 等. 电力系统实时动态监测系统传输规约. 电网技术, 2007, 31(13): 81-85. [doi: 10.3321/j.issn:1000-3673.2007.13.016]
- 2 汤涌, 王英涛, 田芳, 等. 大电网安全分析、预警及控制系统研制系列报告. 北京: 中国电力科学研究院, 2011.
- 3 吴涛, 周济, 濮钧, 等. 三峡右岸电站励磁调节器检测分析. 中国电力, 2011, 44(12): 1-6. [doi: 10.3969/j.issn.1004-9649.2011.12.001]
- 4 边泽强, 孟晓风. 测试需求和资源的标准化描述模型. 电子测量技术, 2008, 31(7): 111-114.
- 5 汤涌. 电力系统安全稳定综合防御体系的框架. 电网技术, 2012, 36(8): 1-5.
- 6 钟建林, 何友, 任献彬. 基于 LabWindows/CVI 的 ATS 软件框架. 电子技术应用, 2008, 34(4): 70-73.
- 7 汤涌. 电力系统强迫功率振荡的基础理论. 电网技术, 2006, 30(10): 29-33. [doi: 10.3321/j.issn:1000-3673.2006.10.006]
- 8 李文锋, 郭剑波, 李莹, 等. 基于 WAMS 的电力系统功率振荡分析与振荡源定位 (1) 割集能量法. 中国电机工程学报, 2013, 33(25): 41-46.
- 9 张剑云, 李明节, 周济, 等. 三峡巨型电站异常功率波动仿真与试验研究. 中国电机工程学报, 2012, 32(16): 122-129.
- 10 任献彬, 许爱强. TPS 重用性及互操作性设计技术. 电子测量技术, 2003, (2): 13-14.
- 11 刘畅, 李显甫. 一种自动测试系统的开发平台——PAWS. 测控技术, 2003, 22(12): 16-18. [doi: 10.3969/j.issn.1000-8829.2003.12.006]