

# 管网 SCADA 系统通信协议一致性测试方法研究

张 伟<sup>1</sup>, 周 峰<sup>2</sup>, 黄 河<sup>1</sup>, 郝 鑫<sup>2</sup>, 陈 曦<sup>2</sup>, 宋 娟<sup>2</sup>

(1. 中国石油北京油气调控中心, 北京 100007;

2. 中国软件评测中心, 北京 100048)

**摘 要:**针对油气管道 SCADA 系统的数据采集通信子系统支持协议种类较多的特点,文中提出一种基于虚拟仪器技术的协议一致性测试方法。针对不同通信协议调用不同的协议解析模块,但调用统一的一致性测试判定模块、测试结果输出分析模块,在测试判定模块中比较实测结果是否与根据标准协议得出的预期结果一致,进行一致性判定,最后利用 LabVIEW 软件平台实现了 SCADA 系统的调度中心、场站控制系统和现场设备的通信协议一致性测试。通过仿真和实验,验证了该方法的可行性和有效性。

**关键词:**一致性测试;数据采集与监控系统;虚拟仪器;通信协议

**中图分类号:**TE978

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2014)01-0224-04

**doi:**10.3969/j.issn.1673-629X.2014.01.001

## Research on Conformance Testing Method of Communication Protocol in Oil/Gas Pipeline SCADA System

ZHANG Wei<sup>1</sup>, ZHOU Feng<sup>2</sup>, HUANG He<sup>1</sup>, HAO Xin<sup>2</sup>, CHEN Xi<sup>2</sup>, SONG Juan<sup>2</sup>

(1. Beijing Oil and Gas Control Center, PetroChina Co., Ltd, Beijing 100007, China;

2. China Software Testing Center, Beijing 100048, China)

**Abstract:** Because the data collection subsystem of the SCADA system in oil/gas pipeline supports different kinds of communications protocols, a new conformance testing method based on virtual instrument technology is proposed. This method could call different protocol analysis subroutines and uniform conformance test and result output subroutine for different communication protocols. Conformance test subroutine could compare the measured result with desired result to make a conformance decision. It realizes the protocol conformance test of control center, control stations and devices in the SCADA using LabVIEW software platform. The simulation and experimental result verify the feasibility and effectiveness of this method.

**Key words:** conformance testing; SCADA; virtual instrument; communication protocol

## 0 引 言

随着 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) 系统技术在油气管道系统的广泛应用,国际上对于油气管道 SCADA 系统的软件开发越来越多,一系列相关的国际标准编制已经基本完成<sup>[1]</sup>。当前,国内大多数油气管理 SCADA 系统均采用国外的 SCADA 系统软件产品。如兰成渝、西部原油成品油管道等采用加拿大 Telvent 公司的 OASysSCADA 系统,陕甘宁气田-北京输气管道工程的 SCADA 系统软件采用德国 AEG 公司生产的 Viewstar750,而管道运行软件采用了丹麦 LIC 公司生产的 PSS 管道模拟软

件<sup>[2]</sup>。

SCADA 系统软件作为油气长输管道自动化调控系统的核心和灵魂,直接影响到管道日常生产调度的正常运行。为了打破国外公司对 SCADA 系统这种技术垄断局面,保证油气管道生产数据、地理数据和生产运营的安全,我国亟需实现油气管道 SCADA 系统软件国产化。

由于油气管道 SCADA 系统所采用的通信协议较为复杂,不同设计人员对标准的理解不同,在协议实现时可能产生错误,为了避免这一问题需要对 SCADA 系统进行一致性测试<sup>[3]</sup>。

文中基于虚拟仪器技术,研究油气管道 SCADA 系统通信协议的一致性测试方法,提出了协议一致性测试的基本原理,并应用于实际系统。

## 1 油气管道 SCADA 系统

在油气管道系统中,SCADA 系统实时采集现场远程终端装置 RTU、PLC 或其他输入/输出设备的数据,传递到调度中心,从而对工业现场进行自动控制,实现顺序输送控制,设备、管道沿线及各站控系统运行状况监控,管道泄漏监测,管道仿真模拟及生产安全保护等多方面功能,并为生产、调度和管理提供必要的信息,保证系统的安全运作及优化控制<sup>[4-5]</sup>。

数据采集子系统是 SCADA 系统的基础和支撑,联系着调度中心和现场设备。数据采集子系统的软件功能包括数据采集和数据下置。数据采集功能负责采集 RTU 及场站控制系统(Station Control System,SCS)、油气管道采集装置等装置的信息并进行规约处理,将实时数据提供给后台应用;实现对场站装置的远方控制、调节和参数设置等功能;实现调度技术支持系统之间的实时信息交换功能。数据下置功能用于将采集系统的控制指令发送到现场设备。

为了适应油气管道跨度大、场站多、链路多样、设备多、全程实时监控的要求,数据采集子系统需要支持多协议、多信道的采集方式。常用标准协议包括有:

- (1) Modbus TCP/RTU;
- (2) IEC-60780-5-104;
- (3) OPC;
- (4) Ethernet/IP(CIP);
- (5) DNP3.0。

## 2 虚拟仪器技术

LabVIEW 内置信号采集、测量分析、数据处理与显示功能,它把复杂、繁琐、费时的语言编程简化成用菜单或图标提示的方法选择功能(图形),并用线条把各种功能(图形)连接起来的简单图形编程方式,可以降低测控系统的开发难度,缩短研发周期<sup>[6]</sup>。

LabVIEW 支持 Modbus TCP/RTU、IEC-60780-5-104、OPC、Ethernet/IP(CIP)、DNP3.0 等通信协议,可以与过程仪表、可编程逻辑控制器、智能传感器、单环控制器等设备进行通信<sup>[7]</sup>。

## 3 协议一致性测试

一致性测试是协议测试中重要的一项基础内容,用来检测所实现的系统与协议规范要求的符合程度。通过一致性测试可以在一定程度上保证被测系统与协

议标准是相一致的,从而大大提高协议实现之间能够互操作的概率。

### 3.1 基本原理

一致性测试是协议测试的基础,使用在特定点 PCO(Point of Control and Observation)对被测实现的层间服务原语和协议数据单元进行控制和观察的原理,通过观察具体实现在不同的环境和条件下的反应行为来验证协议实现与相应的协议标准是否一致,一致性测试只关心协议实现呈现于外部的性能。

### 3.2 测试内容

数据采集系统一致性测试主要包括 4 项测试内容<sup>[8-9]</sup>:

(1) 基本互联测试:检查被测实现是否具有进一步测试的条件,是否具有最小的连接能力,能否接收和发送数据。

(2) 能力测试:检查被测实现是否符合静态一致性要求,如协议参数、变量、定时时钟的取值范围等。

(3) 行为测试:检查被测实现是否符合动态一致性要求,如在连接请求状态下被测实现是否能否完成连接确认、连接拒绝、连接释放等功能。

(4) 一致性分解测试:对被测实现的一致性检测结果逐项给出肯定或否定的诊断结果。

由于事件与事件时间组合的数据规模太大,所以无法进行穷尽测试。而且大部分测试都是在一个相对独立的环境中进行,无法完全重现外部环境的干扰信号或意外事件,所以对于一个不完全符合协议的被测实现,也有可能通过一致性测试。在设计测试集时,应当使其尽可能覆盖可能出现的情况<sup>[10]</sup>。

### 3.3 测试流程

一致性测试的过程包括 5 个步骤<sup>[11]</sup>:

(1) 分析测试需求和标准协议,建立用于实现的一致性描述(Protocol Implementation Conformance Statement,PICS)每个 PICS 应当简洁,且仅针对某一个功能。

(2) 基于 PICS 增加用于测试实现的协议实现额外信息(Protocol Implementation eXtra Information Statement,PIXIT),PICS 和 PIXIT 共同构成用于测试实现的一致性信息(Conformance Information for Testing the Implementation,CITI)。

(3) 基于 CITI,生成一组抽象的测试用例(Abstract Test Case,ATC)。

(4) 根据测试平台的特点,对各 ATC 中的参数选择合适的输入值以及相应的“预测结果”,得到可执行的测试用例(Executable Test Case,ETC)。

(5) 对待测实现(Implementation Under Test,IUT)执行 ETC,得到测试结果。

### 3.4 测试方法

文中主要采用黑盒测试方法,制订覆盖全部功能模块的测试用例<sup>[12]</sup>。

根据 PCO 的不同,在 ISO9646 中已被标准化的抽象测试方法有本地测试法和外地测试法。本地测试法适合于在产品内部测试;外地测试法适合于远程的第三方测试,又可分为分布式、协调式和远程式测试。每一种又可以根据不同的测试条件分为单层的、多层的或嵌入式的。

对于外地测试法而言,必须依据测试管理协议(Test Management Protocol, TMP)来协调测试和定义测试交互进程,对不同的外地测试法可以有不同的 TMP。每种抽象测试方法有两个抽象测试功能体,即由测试协调过程联系起来的上测试器(Upper Tester, UT)和下测试器(Lower Tester, LT)。IUT 则位于一层或多层已经过测试的协议实体之上(称其为服务提供者),抽象测试方法的选择取决于被测协议实现的上下边界的可访问性。

## 4 测试实现

因为石油管道 SCADA 系统中的现场设备如 PLC、RTU、智能仪表等,都已经广泛商用化,所以在采用常用标准协议时,其一致性已经经过实际检验。在采用非常用协议时,则需要对现场设备进行一致性测试。另外还需要对油气管道 SCADA 系统中的场站控制系统和调度中心进行一致性测试。

### 4.1 实现方法

根据测试需要构造符合要求的模拟变化数据,对被测系统进行数据采集或下置,利用 LabVIEW 虚拟仪器的标准协议接口卡和通讯程序,获取被测系统的实际响应。如果实测得到的响应与根据标准协议得到的期望一致,且没有错误事件发生,则一致性测试结果为通过;如果实测结果与期望结果不一致,或测试后发现错误的测试项,则测试结果为失败;如果由于标准、测试过程造成测试失败,则测试结果为不确定,需要找出错误原因并重新测试。

在采用非标准协议时,现场设备的一致性测试结构图如图 1 所示。测试系统上安装有虚拟仪器 LabVIEW,通过标准协议接口卡与场站内的现场总线连接。执行数据采集操作时,测试系统获取现场设备传

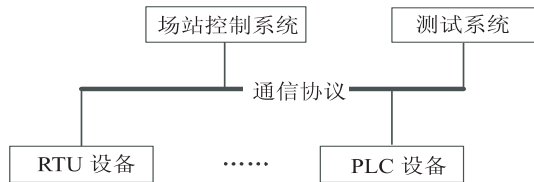


图 1 现场设备的测试结构图

输的数据,与其内部保存的期望结果比较,进行一致性判断。

场站控制系统的一致性测试结构图如图 2 所示。在测试过程中以协议仿真设备模拟产生现场设备的数据,测试系统通过测试协调过程与协议仿真设备进行通信协调。测试用例保存在测试系统中,并逐个执行,协议仿真设备根据测试用例产生仿真数据,场站控制系统对仿真数据进行响应,测试系统通过通信协议总线获取实测结果后与期望结果对比,执行一致性测试。

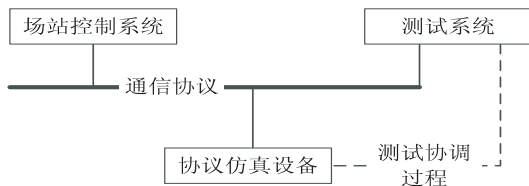


图 2 场站控制系统的测试结构图

因为场站控制系统不仅完成对所在站的数据采集、下置和控制任务,还能够将有关信息上传给调度中心并执行调度中心下达的命令。所以还需要对场站控制系统与调度中心的通信进行一致性测试。调度中心与场站控制系统的一致性测试结构图如图 3 所示。测试系统利用接口卡接入光纤、卫星或公网链路,调度中心和场站控制系统在传输数据时抄送一份发送到测试系统,测试系统将获取到的响应结果与期望结果比较,进行一致性判定。

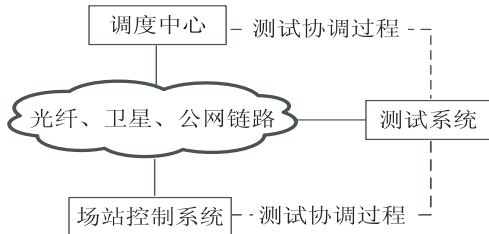


图 3 调度中心与场站控制系统的测试结构图

### 4.2 虚拟仪器程序设计

文中以 RTU 工作模式的串行链路 Modbus 协议为例说明一致性测试的实现方法。在 LabVIEW 虚拟仪器中配置串行接口 RS485,根据 Modbus 协议设计协议解析程序<sup>[13-14]</sup>。为了模拟通信链路在实际工作条件下所受到的干扰,在程序中利用 LabVIEW 随机噪声模块模拟干扰信号。

按照图 2 连接测试系统和被测系统,将串行接口采集到的被测设备或系统的响应作为一致性判定程序的实测输入,将其与根据 Modbus 协议得到的期望输入进行比较,进行一致性判断。测试结果如表 1 所示。

测试一显示在对地址为 0x7F 的设备进行测试时,实测结果与期望结果相符,所以判定结果为通过。测试二显示在对地址为 0x08 的设备进行测试时,测得的数据为 0x44,但期望结果应当为 0xA2,实测结果与期





作者：[张伟](#), [周峰](#), [黄河](#), [郝鑫](#), [陈曦](#), [宋娟](#), [ZHANG Wei](#), [ZHOU Feng](#), [HUANG He](#),  
[HAO Xin](#), [CHEN Xi](#), [SONG Juan](#)  
作者单位：[张伟, 黄河, ZHANG Wei, HUANG He \(中国石油北京油气调控中心, 北京, 100007\)](#), [周峰, 郝鑫](#),  
[陈曦, 宋娟, ZHOU Feng, HAO Xin, CHEN Xi, SONG Juan \(中国软件评测中心, 北京, 100048\)](#)  
刊名：[计算机技术与发展](#)

---

ISTIC

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

---

年, 卷(期): 2014(1)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjz201401057.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjz201401057.aspx)