

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.10.024

水下液压控制系统浅水测试专用仿真测试软件^{*}

肖仕红¹, 沈亚坤¹, 刘立新², 候 莉², 张 薇², 梁 政¹

(1. 西南石油大学 机电工程学院, 四川 成都 610500; 2. 海洋石油工程股份有限公司, 天津 300451)

摘要:针对某浅水测试场选用的 SimulationX 软件难以掌握且操作困难等问题, 利用 VC 软件对 SimulationX 软件进行了二次开发。在介绍了水下液压控制系统浅水测试原理和测试方法基础上, 开展了专用仿真测试软件的功能要求分析, 从仿真模型的建立、C 代码输出设置和 VC 软件开发设计等方面论述了浅水测试专用仿真测试软件的开发, 总结阐述了所开发的软件特点。研究表明: 所开发的专用仿真测试软件具有操作简单, 对操作人员的专业化程度要求低、重复工作量少等特点, 完全满足浅水测试需要, 同时还可应用于水下生产装备液压控制单元设计及测试等领域。

关键词:二次开发; 仿真测试软件; 水下液压控制系统; 浅水测试

中图分类号:TP319; TH137.5; TE9.07

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2015)10-1385-05

Special simulation test software for shallow water test of subsea hydraulic control system

XIAO Shi-hong¹, SHEN Ya-kun¹, LIU Li-xin², HOU Li², ZHANG Wei², LIANG Zheng¹

(1. School of Mechatronic Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China;

2. COOEC Engineering Company, Tianjin 300451, China)

Abstract: Aiming at the problems that SimulationX is difficult to grasp and operate, SimulationX was developed secondly by VC. Functional requirement of the special simulation test software was analyzed on the basis of introducing the principle and method of shallow water test. The development of special simulation test software for shallow water test was discussed from the aspects of simulation model building, C code output and development design of VC and so on. And the characteristic of the simulation test software for shallow water test was elaborated. The result shows the developed special simulation software completely meets shallow water test requirement, because it possess such characteristic as simple operation, the low degree of specialization of operators, little repetitive work and so on. Meanwhile, it can also be used in the fields of the design and test for hydraulic control unit of Subsea equipment.

Key words: second development; simulation test software; subsea hydraulic control system; shallow water test

0 引 言

深水油气开发属于高风险和高技术领域, 对水下生产系统的可靠性要求极高, 在投产前, 需开展一系列的测试^[1-2]。浅水测试是水下生产装备到货后进行的系统完整性测试内容之一, 需使用修井控制系统和水下生产控制系统进行采油树功能试验^[3]。然而, 目前

水下生产控制路径已达到 150 km, 水深也接近 3 000 m, 测试中难以模拟真实的控制系统和测试环境, 与实际工况存在差异, 无法验证到货系统的性能, 需借助仿真验证^[4-5]。目前, 国内常用 AMESim 软件对水下液控系统进行仿真研究^[6-8]。其中, 中海油和浙江大学还利用 Visual Basic 软件对 AMESim 软件进行了二次开发。因 SimulationX 软件具有专门的水下仿真

收稿日期: 2015-05-22

基金项目: 国家科技重大专项资助项目 (2011ZX05027-004)

作者简介: 肖仕红 (1976-), 女, 四川达州人, 博士, 讲师, 主要从事石油天然气装置研制及测试方面的研究。E-mail: xiaoshihongswpu@126.com

环境和相关水下液压元件库,相对其他液压软件具有一定的优势,也逐渐被国内研究机构接受,已在水下控制系统、水下闸阀、深水防喷器组控制系统等的仿真研究中^[9-12]得到应用。

某浅水测试场确定 SimulationX 软件为水下生产液压控制系统的仿真软件。但该软件专业化程度高、相关参数输入值只默认一个^[13],不易为浅水测试场操作人员掌握,且操作繁琐,重复工作量大。

鉴于 SimulationX 软件能输出完整模型的 C 代码文件和相关参数文件;而 VC 软件具有便捷的界面设计,能实现输入与输出数据的保存与调用。课题针对水下液压控制系统浅水测试需求,结合两套软件特点,开展 VC 软件对 SimulationX 软件的二次开发研究。

1 测试原理及测试方法

1.1 测试原理

标准要求,测试系统需模拟实际系统的主要操作。本研究参考实际水下液压控制系统的工作原理和国外浅水测试系统^[14-16],建立了水下液控系统的浅水测试原理框图如图 1 所示^[17]。

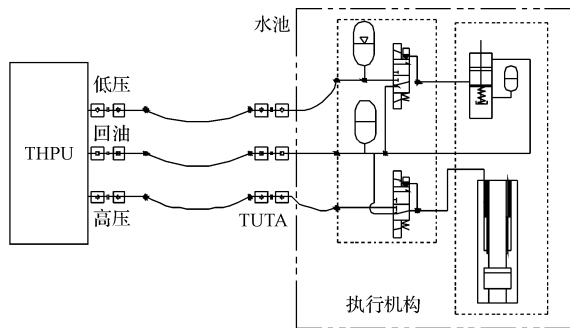


图 1 液压系统测试原理图(含 SCM)

浅水测试场配置的测试用液压动力单元(THPU)提供所需的测试液通过地面管道传送到水面控制终端(TUTA),再通过脐带缆或液压软管将 TUTA 与安装在浅水池中的水下采油树或水下管汇上的 SCM 或执行器连接,从而测试水下液压系统的性能。若测试系统中配置脐带缆模拟器,则可模拟脐带缆的传输特性,减小测试误差。此外,若设备制造方提供实际使用的液压动力单元(HPU),则须替换测试系统中浅水测试场所提供的 THPU。

1.2 测试方法

本研究通过对标准分析及国内外浅水测试现状调研^[18],确定液压控制系统浅水测试主要进行水下液驱阀门的功能测试及其泄漏测试,具体包括 SCM 试运行

测试和阀操作测试;通过 SCM 试运行检查 THPU 在内部管路充压后的油箱液位高度;检查整个高/低压液压系统各自的充压时间及充压后 THPU 的油箱液位高度;检查系统充压后 SCM 内部高/低系统的压力值是否达到期望值。通过阀操作测试水下采油树、水下管汇等水下生产装备上任一水下阀的开/关性能,以及液压系统的泄漏程度;验证整个控制系统的 ESD 功能。其中,阀操作测试期间,每次只允许操作一个阀门,禁止多个阀门同时操作。实际测试可获取液压系统充压时间、系统充压后 SCM 内部压力值、阀的开/关性能、液压线路泄漏程度等参数值。

由于实测值难以直接验证被测设备的性能,浅水测试中通常在 THPU 或控制台里安装仿真测试软件,利用仿真测试软件获取被测系统的仿真值。通过对比分析实际测试值和仿真值,判断到货产品的性能。

2 专用仿真测试软件的功能要求

浅水测试中,被测设备众多,且厂家及型号各异,再加上测试设备可用设备制造方提供的对应设备替换,则具体测试设备未固定,因此仿真模型和仿真参数值都在变化。为此,针对浅水测试特点及需求进行 SimulationX 二次开发的专用仿真测试软件至少具有如下功能:

(1) 专用仿真测试软件的输出结果至少包含:SCM 蓄能器压力(验证高/低压液压系统充压时间及系统充压后 SCM 内部压力值)、执行器开启腔压力、执行器弹簧腔压力、执行器位置(验证阀的开关性能)和执行器开启腔流量(验证液压系统的泄漏程度)。

(2) 测试人员无需建模、参数输入工作量小、操作简单。

(3) 能进行无 SCM 时的仿真测试。为了高效地利用浅水测试场及其测试设备,浅水测试场还可为设备制造方提供水下生产装备液压控制单元的功能测试,测试时通常无 SCM 配置。

(4) 能实现仿真测试值与实际测试值的对比。

3 二次开发中 SimulationX 软件设计

通常仿真分析需完成建模、仿真参数设置和仿真运行 3 个基本操作流程后获得仿真结果。专用仿真测试软件针对浅水测试特点,在完成其功能要求的基础上,融合 SimulationX 软件和 VC 软件各自的优势开发而成。

3.1 仿真模型的建立

专用仿真测试软件利用 SimulationX 软件进行建

模。由 THPU 供液、含 SCM 的水下闸阀的浅水测试仿真模型如图 2 所示。

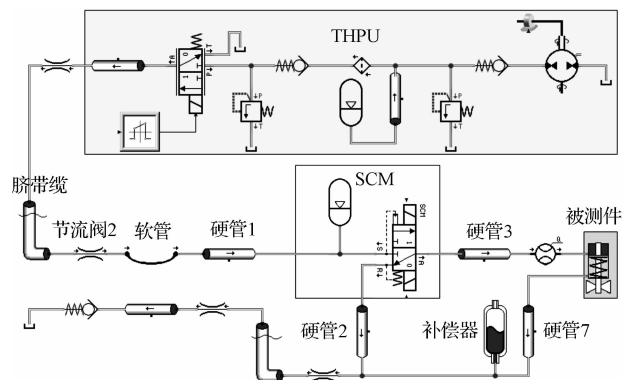


图 2 水下液控系统浅水测试仿真模型

模型中所有单元(除 THPU 外)可直接调用软件中基本液压库和水下液压库内相应元件。其中,过滤器、TUTA、水下分配单元、弯管、接头等元件产生的液阻由节流阀单元表述。由于 THPU 与 SimulationX 软件中提供的 HPU 单元原理不同,不能直接调用,需利用软件的基本液压库元件构建,还可进一步通过“TypeDesigner”命令对 THPU 元件进行封装。若制造商提供 HPU,需单独建立仿真模型,除 THPU 替换成 HPU 单元外,其他元件基本相同。对于无 SCM 的水下生产装备液压控制单元测试系统,也需单独建立测试仿真模型,其控制液由 THPU 提供。此外,常用液控水下阀主要为水下闸阀和水下球阀,需分别建立水下闸阀和水下球阀的测试仿真模型。因此,整个专用仿真测试软件需建立 6 个独立的仿真模型。

3.2 C 代码输出设置

系统在 SimulationX 软件的 C 代码输出命令中进行 Outputs 命令和 Parameters 命令设置,并完成 C 代码生成和编译。

系统在 Outputs 命令设置中,选中 SCM 蓄能器压力、执行器开启腔压力、执行器弹簧腔压力、执行器位置和执行器开启腔流量作为输出参数。

测试系统中被测设备参数、THPU(或 HPU)的控制参数可能发生变化,为变量,其他模型参数为常量。为了减少输入工作量,测试工作人员只需在专用仿真测试软件中录入测试系统中的变量,而常量固化在仿真模型中。在 Parameters 命令设置中,选中仿真模型中的变量为输出参数,如 THPU(或 HPU)蓄能器的预充压力、环境温度、水下阀执行器各参数等。

系统在完成了 Outputs 和 Parameters 命令设置后,通过 C 代码生成和编译命令,即生成可供 VC 调用的可执行程序及对应的模型参数文件(Parameters.txt)、

仿真控制参数文件(Solversettings.txt)和仿真结果文件(Outputs1.txt)。

水下闸阀执行器和水下球阀执行器的工作机理和结构基本相同,在 SimulationX 软件中其特征参数一致,不需区分其可执行程序,所以实质上只有 3 个独立的仿真模型,并生成 3 个可执行程序 and 相应的参数文件,分别放在不同的文件夹中。

4 VC 软件开发设计

为实现人机交互操作以满足浅水测试需要,通过 VC 软件的二次开发完成了仿真参数输入、驱动仿真运行、读取仿真结果、传感器参数采集和结果对比等功能。主要开发内容如下:

(1)可执行程序选择设置。由于专用仿真测试软件中包含 3 个独立的仿真模型及其对应可执行程序,需设置可执行程序选择框,即通过选择 THPU/HPU、有/无 SCM、闸阀/球阀选项,确定本次仿真测试选用的可执行程序,并指向其保存路径,同时界面上显示对应的仿真模型图。

(2)仿真参数输入设计。VC 仿真参数输入主要包括模型参数和仿真控制参数两大类,并与模型参数文件和仿真控制参数文件内容一一对应。为了便于参数管理和操作方便,笔者设置两个主对话框以分类输入模型参数和仿真控制参数。此外,因水下闸阀执行器和水下球阀执行器的特征参数相同,不需区分输入界面,实质上仍只有 3 个独立的仿真参数输入界面。数据输入界面上显示对应的仿真模型图,以便于模型单元识别和仿真参数输入。

下面以 THPU 供液、含 SCM 的水下闸阀测试系统仿真为例,进行仿真参数输入设计。仿真模型的数据输入界面如图 3 所示。由于测试仿真中模型参数众多,则系统对参数进行了分类设置,主要分为 THPU、脐带缆、SCM、水下阀、回路和附件 6 类。其中 THPU 中只需设置蓄能器的预充压力、预充温度、环境温度、初始气体温度和陆上电磁阀的启闭控制参数,其他参数已固化在仿真模型中;回路主要包括图 2 中硬管 7 和补偿器参数;附件包含硬管 1、硬管 2、硬管 3、软管和节流阀 2 参数。水下阀常用的闸阀和球阀两大类已经标准化和系列化,为此,建立“测试件库”,对测试过的同厂家的同型号测试件,可直接调用相关参数,而不需重复输入,若是新型号测试件,通过设置“增加”按钮,在图 4 中输入新型号测试件的相关参数,并保存在“测试件库”里,以逐步丰富“测试件库”。测试件库中文件的参数顺序和格式应严格按照对应模型参数文件

的顺序和格式存储。同时,参数输入具有记忆功能,每次默认最后一次成功仿真过的参数值。系统在仿真参数输入对话框中设置“保存”命令,点击该命令后,VC 软件将更新同文件夹内对应模型参数文件和仿真控制参数文件内参数值。

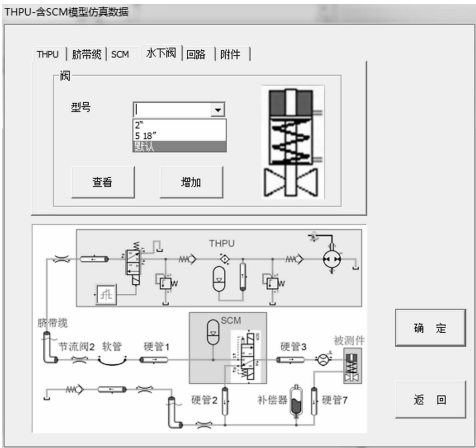


图 3 仿真模型的数据输入(含 SCM)



图 4 闸阀新型号数据输入

- (3) 仿真运行设计。VC 操作界面上设置“仿真运行”按钮,软件通过 ShellExecute 函数自动调用指定保存路径下对应的可执行程序。可执行程序运行时,自动调用同目录下的模型参数文件和仿真控制参数文件,同时,在同目录下生成或更新仿真结果文件。从而实现两套软件的联合仿真。
- (4) 仿真结果读取设计。系统设置读取仿真结果对话框,以曲线方式直观显示结果参数的动态性能,方便对仿真结果的分析。
- (5) 传感器参数采集。为了能观察到实际测试中通过传感器采集到的参数性能,系统设置“传感器参数采集”对话框,调用由传感器获取的参数数据文件,并以曲线方式直观显示传感器采集到的参数值。

(6) 结果对比。结果对比图如图 5 所示。用户选择不同的仿真输出参数按钮,则显示相应的仿真测试和实际测试对比图(注:为了描述需要,图 5 中实际曲线为虚拟值,非实测值)。此外,系统可以以 word 文档形式记录专用仿真测试软件操作时所输入的参数值、产生的图形等信息,便于仿真测试后的数据分析和处理。

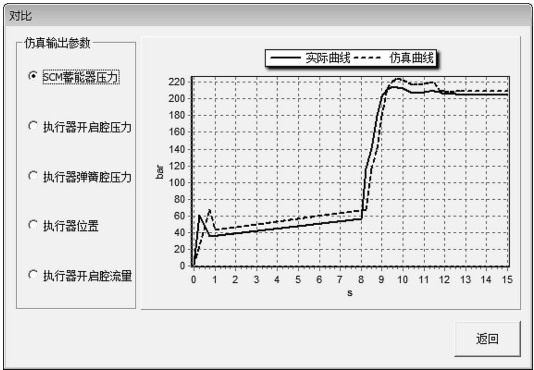


图 5 结果对比

5 浅水测试专用仿真测试软件特点

- 所开发的专业仿真测试软件具有如下特点:
- (1) 对模型参数中的常量进行了屏蔽,仿真测试时只需输入变量参数,同时,通过“测试件库”的建立和记忆功能的设置,减少了操作人员的输入工作量。
- (2) 专用仿真测试软件的功能进行了拓展。专门建立了无 SCM 仿真模型,可辅助水下生产装备液压控制单元设计及测试;通过对仿真模型、模型参数和 VC 输入参数界面的局部调整还可用于扩展出厂验收测试(EFAT)和系统集成测试的仿真测试或水下生产液压控制系统的优化设计。
- (3) 操作简单,对操作人员的专业化程度要求低。软件可在无 SimulationX 软件环境中运行,操作人员只需根据实际测试系统点选 THPU/HPU、有/无 SCM、闸阀/球阀选项,并依照软件提示输入仿真测试相关参数,然后点击“仿真运行”就可以得到仿真结果。仿真模型参数可从被测设备制造商提供的说明书获取或浅水测试场实际操作参数获取,而仿真控制参数主要是设置仿真时间、仿真步长、误差控制等,亦可采用默认形式,或根据测试需要适当调整。
- (4) 由于浅水测试主要进行低压系统测试,该仿真测试软件仅针对低压系统进行了仿真测试。高压系统的仿真测试可采取同样原理开发。

6 结束语

本研究在分析水下液压控制系统的浅水测试原理和测试方法基础上,利用 SimulationX 软件强大的建模特点和 C 代码输出特点及 VC 软件便捷的界面操作和数据管理能力,开发出了水下液压控制系统专用浅水测试仿真测试软件。研制的仿真测试软件可在无 SimulationX 软件环境中操作,并具有操作简单、专业化程度要求低、重复工作量少等特点。此外,通过无 SCM 的仿真模块,可辅助水下生产装备液压控制单元设计及测试;若对模型、模型参数及 VC 输入参数界面的局部调整还可用于扩展出厂验收测试(EFAT)和系统集成测试的仿真测试或生产液压控制系统的优化设计。

由于浅水测试场是一个系统工程,支撑本课题的浅水测试场还没建立,目前难以获取实测值。还需进一步获取实测值,通过与同本课题研究获得的仿真测试值对比,以界定仿真测试结果的精度。

参考文献(References):

- [1] 高原,魏会东,姜 瑛,等.深水水下生产系统及工艺设备技术现状与发展趋势[J].中国海上油气,2014,26(4):84-90.
- [2] 陈 斌,苏 锋,周 凯,等.水下生产系统测试技术研究[J].海洋工程装备与技术,2014,1(2):146-150.
- [3] Petroleum and natural gas industries. ISO 13628-1: Design and operation of subsea production systems-Part 1: General requirements and recommendations[S]. BeiJing: Standards Press of China,2005.
- [4] 周美珍,程寒生,余国核,等.水下生产复合电液控制液压仿真分析研究[C].第十四届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集.北京:海洋出版社,2009:425-428.

- [5] 张 涛,刘立新,刘冬冬,等.基于 AMESim 的深水液压控制仿真分析研究[C].第十五届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集.北京:海洋出版社,2011:602-605.
- [6] 周美珍,高 明,王宇臣,等.水下生产设施液压控制仿真系统[J].机电工程,2012,29(12):1414-1418.
- [7] 李华凤.近海油田水下生产设施液压控制系统设计及仿真研究[D].杭州:浙江大学机械工程学系,2010.
- [8] 王俊明.测试用水下采油树控制模块研制[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学机电学院,2013.
- [9] 胡雪峰,封延松.电液复合式控制系统的组成及分析工况[J].中国造船,2012,53(Z1):189-199.
- [10] 赵宏林,王 鑫,肖 玄,等.基于 SimulationX 的深水闸阀执行机构动态仿真研究[J].海洋工程装备与技术,2014(3):230-233.
- [11] 李 博,李迅科,葛 斐,等.深水防喷器组控制系统的模拟分析[J].石油机械,2013(11):74-78.
- [12] 权钰云.一种多功能液压试验台的设计[J].液压气动与密封,2015(1):40-42.
- [13] 刘艳芳.SimulationX 精解与实例[M].北京:机械工业出版社,2010.
- [14] BAI Yong, BAI Qiang. Subsea Engineering Handbook [M]. Amsterdam: Elsevier Press,2010.
- [15] ERIKSEN S, MCLERNON H, MOHR C. Pazflor SSPS Project, Testing and Qualification of Novel Technology: A Key to Success[C]. OTC23178,2012:1-28.
- [16] 李华凤,顾临怡,李 林.应用于水下生产系统的控制阀设计与仿真[J].轻工机械,2010,28(4):51-53.
- [17] 苏 锋,刘立新,肖仕红,等.水下生产装备控制系统的浅水池测试系统研究[J].石油机械,2015,43(5):53-57.
- [18] Petroleum and natural gas industries. ISO 13628-6: Design and operation of subsea production systems-Part 6: Subsea production control systems[S]. BeiJing: Standards Press of China,2006.

[编辑:张 豪]

本文引用格式:

肖仕红,沈亚坤,刘立新,等.水下液压控制系统浅水测试专用仿真测试软件[J].机电工程,2015,32(10):1385-1389.

XIAO Shi-hong, SHEN Ya-kun, LIU Li-xin, et al. Special simulation test software for shallow water test of subsea hydraulic control system[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015,32(10):1385-1389.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>