

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2020.06.11

产品型号试验中计量软件工程化管理探索与应用

杨懿¹, 王凤涛², 郭亚男¹

(1. 北京航天试验技术研究所, 北京 100074; 2. 海洋石油工程股份有限公司, 天津 300457)

摘 要: 针对产品型号试验计量软件开发过程中针对性不强, 编写效率低, 通用性、可操作性和维护性差等缺点, 研究当前软件工程化的优势和产品型号试验软件的编制标准, 对计量软件开发的特性需求分析、系统设计、模块设计等七个方面进行深入探索和研究, 制定相应解决措施, 编写本单位《产品型号试验计量软件工程化管理办法》并应用到压力传感器/变送器检定软件的开发中, 通过验证取得了良好的效果。

关键词: 产品型号试验; 计量软件; 软件工程化

中图分类号: TB9

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2020)06-0059-05

Exploration and Application of Engineering Management of Measurement Software in Product Test

YANG Yi¹, WANG Fengtao², GUO Yanan¹

(1. Beijing Institute of Aerospace Test Technology, Beijing 100074, China;

(2. Offshore Oil Engineering Co., Ltd., Tianjin 300457, China)

Abstract: In view of the shortcomings in the development and use of aerospace product test measurement software, such as weak pertinence, low compilation efficiency, generality, operability and poor maintainability, this paper studies the advantages of current software engineering and compilation standards of aerospace product test software. The in-depth exploration and research on seven aspects of measurement software development, such as characteristic demand analysis, system design and module design were made, and corresponding solutions were formulated. The engineering management method for product model test measurement software was compiled and applied to the development of pressure sensor transmitter verification software, which has achieved good results through verification.

Key words: product test; metering software; software engineering

0 引言

随着科技发展水平和设备制造水平的提高, 航天领域产品型号试验设备的种类及相关计量检定任务逐年增多。产品型号试验设备基本的自动化、可编程、可实现远程控制为实现设备自动化计量提供了硬件基础。

产品型号试验对设备基本技术指标之外的参数检定要求和非标设计设备越来越多^[1], 对计量软件的开发提出更高的要求。因此, 开展产品型号试验设备计量软件工程化的产品型号计量研究, 能够为型号试验提供可靠的计量技术保障^[2]。

本文通过对本单位现有产品型号计量软件的统计和开发过程的经验总结发现, 当前工作中所运用到的自主开发计量软件的数量不断增多, 软件的规模也不断增大。以往单一的个体开发模式已相形见绌, 无法解决软件开发过程中遇到的问题。其主要原因有以下

几点: ①软件由程序员按照一定的编程逻辑进行开发, 其开发的进度受到程序员自身能力的制约; ②软件维护存在困难; ③软件开发人员开发后最终产品与用户需求不匹配; ④缺乏统一指导的方法和工具; ⑤软件开发完成后, 无软件管理和维护人员。

产品型号计量软件工程化管理旨在借助工程管理的理论和实践经验, 结合软件开发的实际情况, 采取有序、系统的方式对软件开发全过程规范管理和控制^[3], 确保软件开发的进度和质量, 增强软件的可维护性, 降低成本, 从根本上解决上述几点问题。

1 产品型号计量软件工程化开发流程

根据软件的开发时间、使用寿命和可替代性等特点, 可以将软件的周期分为三个过程: 定义软件, 开发软件, 使用、维护软件^[4]。

1.1 软件的实用性研究

任何软件在开发之前都必须进行实用性研究。其

目的在于了解任务提出方的需求、自身行业内的技术状态并综合考虑经济、市场等多方面的因素,并论证开发该软件的实用性^[5]。

对于计量软件而言,需要根据检定设备的特点和现状,从技术、效率、成本等因素对软件实用性进行论证。

1.2 需求分析

对拟开发的软件从性能需求、功能需求、约束条件等方面进行分析。在此阶段必须确定软件要实现的功能、需具备的性能指标;要对软件的可靠性、计量精度、可操作性等方面进行详细的分析;对软件的约束条件进行详细的说明。

软件开发人员要与任务提出方保持良好的沟通,建立完备、详尽的软件需求框架,并编写软件开发的任务书。

1.3 系统设计

系统设计的目的是对软件系统的结构进行总体设计。系统设计的主要内容包括软件系统的框架结构、功能模块组成、通讯接口设计、数据结构设计等。

系统设计需要编写设计说明书,对框架结构、功能模块组成、通讯接口设计、数据结构设计等进行详细的说明。

1.4 模块设计

模块设计的目的是在完成系统设计的基础上,软件开发者针对各个功能模块进行细分。对各个功能模块的编程算法、数据结构、模块之间的调用关系、所包含的子程序等要作详细的设计和说明。要做到模块功能清晰,调用关系简洁、明了,算法准确可靠。

1.5 软件编程

软件编程的主要任务是根据系统设计、模块设计的内容分别将各项功能转化为编程语言,实现对模块、数据结构和算法分析等方面的设计要求,并完成各模块程序的调试以及功能模块之间的通讯测试。在此过程中要严格对标系统设计、模块设计的内容,防止出现方向性的偏差。

1.6 软件系统综合测试

软件系统综合测试是计量检定软件开发中最重要步骤之一,也是问题最容易发生的环节。

软件系统综合测试的主要目的是在完成软件的实用性研究、需求分析、系统设计、模块设计、编程后,对软件系统各模块功能以及各模块之间通讯连接的正确性、子程序输入/输出处理、软件系统容错能力和输入输出数据的精度进行测试。在进行综合测试之前应

编写软件系统综合测试方案。

软件系统综合测试的结果应满足系统设计的总体要求,并备份编写软件系统源程序清单以及软件综合测试报告。测试合格后编写软件测试验收报告,并提交评审。

1.7 软件交付与验收

开发软件通过软件系统综合测试后,将所开发的软件安装在用户指定的运行环境中,测试通过后,正式移交用户使用。高质量计量软件的使用是提高计量检定效率、计量数据可靠性和降低人为误操作可能性的重要手段。

1.8 软件维护

软件交付后,使用方在使用的过程中可根据软件的运行情况编写软件运行情况统计表。软件开发方定期对软件进行维护,并解决用户在使用过程中遇到的问题。当用户提出修改需求或者软件运行环境发生变化时,根据使用方的合理建议,开发者也可对软件进行改正性维护、适应性维护、完善性维护和预防性维护。软件的维护应贯穿整个软件的使用寿命周期。

2 产品型号试验软件工程化的问题分析与解决措施

2.1 特性分析

在航天领域产品型号试验设备计量过程中,对计量软件编制提出了特定的需求^[6],其特殊性主要体现在以下几个方面:

1) 针对性强

产品型号试验中,大量设备均是根据任务设计方的要求非标定制。因此,对该类型的设备除了按照相关规程进行检定/校准之外,还要根据设备使用方的实际使用情况,制定相应的量值溯源标准,在编制计量软件时,需要充分了解设备使用方的需求。

2) 量值输出精度要求

产品型号试验对设备的量值输出精度提出了特定的要求,例如,针对某型号试验的精密直流稳压电源,直流电压的输出精度直接影响稳态压力的测量不确定度以及后续自动紧急关机程序判读的准确性。因此,在软件编制过程中,除了对设备出厂技术指标进行判定,还需要加入量值输出精度对相关参数测量的影响及波动范围。

3) 软件通用性需求

航天科研院所通常成立单独的计量检定部门来负

责多项计量标准的使用和维护。为降低软件开发成本,增强软件通用性,提高软件开发效率,对于相同或者相近类型设备计量软件的开发需要注重其通用性。

2.2 现状分析

目前,在软件工程实施过程中,受型号试验的特殊性、计量标准维护人员的技术水平、软件开发技术水平的差异性等诸多因素影响,在软件开发和管理过程中暴露出一些问题,主要表现在以下几个方面:

1) 需求分析方面

任务提出方对任务要求不具体、软件的功能定位模糊,造成软件开发对软件开发任务了解不全面,为后续的系统设计、软件验收和维护埋下隐患^[7]。

2) 特性分析不全面

因前期调研和沟通不到位,导致对设备使用方的需求了解不充分,增加后期软件修改的工作量,延长产品交付周期,增加软件调试困难。

3) 软件开发方面

软件开发没有工程化的概念,依靠个人的编程习惯和理念进行软件开发,软件的可读性和开发未建立统一、标准的范式^[8]。

4) 软件系统综合测试方面

软件的功能测试覆盖不全,软件存在深层次质量隐患。

5) 软件交付与验收方面

交付与验收的细节把控不严,评审工作形式化,忽略整个软件开发流程,只给出笼统的评审结论,不易发现深层次问题,严重影响计量软件的质量和后续使用。

6) 软件使用和维护阶段

由于不重视软件使用情况记录和版本控制的记录,加之人员更迭造成所开发软件的操作越来越复杂,可读性、可维护性和可扩展性越来越差^[9]。

2.3 解决措施

参照软件工程化现有标准《型号软件工程化管理要求》和《航天型号软件评审与审查》,结合计量检定工作的实际,对软件开发中遇到的问题进行分析,可采取的措施有以下几点。

2.3.1 针对特性分析所述问题可采取的解决措施

1) 以产品型号试验的需求、设备的综合技术指标和试验任务书大纲为参照,编写计量软件。

2) 计量软件编写完成后,按照测量不确定度评定的相关要求对系统进行的不确定度评定,评定结果合格后

方可开展后续工作。

2.3.2 针对现状分析所述总是可采取的措施

对现状分析所述问题主要采取强化部门任务分工的办法加以解决,在本单位开展软件开发前,需要进一步细化相关技术和管理部门的任务分工。

1) 任务提出方需要做到:根据自身特性需求提出软件开发任务,明确详细的软件需求;调研软件开发方的技术能力;核心岗位人员要积极参与软件开发的各个环节,确保开发的方向性准确。

2) 软件开发方需要做到:设立项目负责人,根据任务提出方的要求,负责相应软件开发的技术把控和实施;确定软件系统的结构,选择程序设计语言和编译工具,建立软件开发和测试环境;与任务提出方沟通、确认软件的需求,并编写软件开发和综合测试计划;组织人员开展软件开发、测试、评审和验收;完成相关技术文档;负责软件使用方相关人员的操作指导和培训。

3) 军品型号试验管理部门:应设置专职人员,对所开发软件项目的研制经费、安全保密等方面进行监管。

4) 军品型号质量管理部门需要做到:积极协调任务提出方、软件开发方和军品型号试验管理部门,对软件开发项目进行关键节点计划管理;组织并参加各关键节点的评审;组织系统联试和软件验收;对软件开发过程实施质量监督;对软件质量问题进行归零管理。

3 软件工程化的应用实例

根据上述研究内容,将软件工程化的研究应用于信号隔离模块校准软件、可编程直流稳定电源自动检定软件和压力传感器/变送器检定软件的开发应用过程中。以压力传感器/变送器检定软件的开发为例,从部门分工、确定开发流程两方面进行说明。

3.1 细化参与部门的职责分工

职责分工如下表1所示。

3.2 特性需求解决方法

表1中的特性需求分析所体现的问题,主要有以下几点:①为应对试验周期紧、检定任务量大的问题,需要增加检定的通道数量;②考虑到产品型号试验的特殊性,所编制的计量软件需要满足计量标准量值传递的需求;③为确保数据的可靠性,需要对异常数据进行判读,计算检定数据的误差。

表 1 各部门职责分工表

部门	职责	任务完成时间
任务提出方	基本功能：开发压力传感器/变送器计量检定软件系统；系统包含数据采集、存贮、精度分析、打印报告、误差分析等功能；采用最小二乘法进行直线相似性系数拟合公式；压力计量检定人员全程参与软件系统的开发。 特性需求：检定通道不低于 6 个；系统不确定度满足 0.02 级和 0.05 级压力计量标准的不确定度要求；异常数据判定；计算基本误差。	X 年 X 月 X 日
软件开发方	参照 2.3.2 中软件开发方职责要求进行软件开发。	X 年 X 月 X 日
型号试验管理部门	参照 2.3.2 中军品型号试验管理部门职责对软件开发过程中的研制经费、安全保密等方面进行管理。	X 年 X 月 X 日
型号质量管理部门	该项目由技术保障处负责，参照 2.3.2 中军品型号质量管理部门职责进行管理。	X 年 X 月 X 日

解决方法有：为应对试验周期紧、检定任务量大的问题，增加采集通道，并设计备用通道；将数据重复性、稳定性纳入压力计量标准不确定度来源，以满足计量标准量值传递要求；对检定数据进行正态性检验、单因素方差法分析和线性回归分析，对异常数据进行判定，计算数据误差，确保数据可靠性。

3.3 确定开发流程

通过对软件工程化的学习和研究，结合计量检定任务的实际情况，确定软件开发的流程应包括：需求分析、系统设计、模块设计、软件编程、软件系统综合测试、软件交付与验收和软件维护 7 个阶段。以压力传感器计量软件开发流程中的需求分析、系统设计和综合测试三个环节的内容为例进行介绍说明。

1) 软件需求分析

随着军品型号试验任务日益增加，压力传感器/变送器的使用量急剧增加，压力传感器/变送器的检定任务日益繁重，现有的计量模式(单一通道、手动记录)的模式已无法满足型号试验设备检定任务的需要，需要研究开发可靠性高、实用性强、工作效率更高的压力传感器/变送器计量软件系统。

2) 系统设计

压力传感器/变送器计量软件系统的基本框架结构如图 1 所示。系统由数据采集、异常数据处理、精度分析和数据保存四个模块组成，系统各模块通过 RS - 232 通讯接口实现连接通讯。该设计方法的优点是：在前期需求分析的基础上，采用模块化的设计方法，便于编写开发程序，且程序的可读性强，维护方便，具有极强的适用性。

3) 软件系统综合测试

软件系统开发完成后，要对各个子模块和整体软件系统进行综合测试。综合测试的项目要涵盖所有模

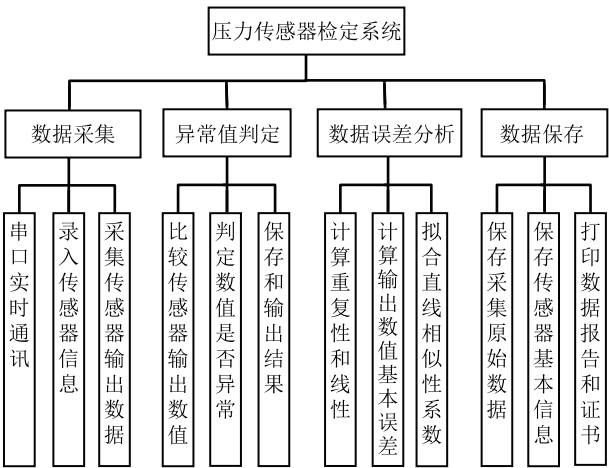


图 1 软件系统框架结构图

块的功能。以压力传感器计量检定系统的通道测试为例进行说明，通过电学计量标准设备 5520 A 多功能校准源在通道输入端输入 0 ~ 10 mV 直流电压，计量软件采集通道 1 至通道 6 的电压值。通道 1 的测试情况如表 2 所示。

表 2 通道 1 电压采集测试情况表

5520A 多功能校准源输出值/mV	计量软件采集显示值/mV	设计的技术指标(最大允差)/mV	是否合格
0.0000	0.0000	-0.0005 ~ +0.0005	是
2.0000	1.9999	1.9995 ~ 2.0005	是
4.0000	3.9998	3.9995 ~ 4.0005	是
6.0000	5.9998	5.9995 ~ 6.0005	是
8.0000	8.0001	7.9995 ~ 8.0005	是
10.0000	9.9999	9.9995 ~ 10.0005	是

3.4 软件工程化的优势

为便于分析软件工程化在软件开发中的优点，以

该软件数据采集模块的开发过程为例，从软件开发人均工时，开发后程序修补次数以及维护人数等方面进行对比分析，具体情况如表 3 所示。

表 3 数据采集模块开发情况统计

方法	总工时/h	人均工时/h	修补程序 次数/次	维护 人数/个
传统方法	52	13	8	2
软件工程化	28	7	3	1

通过表 3 可以看到，软件工程化后，总工时和人均工时效率均提升 46%，修补程序次数减少了 62.5%，维护人数只需传统方法的一半。总之，软件工程化在产品型号试验计量软件开发中具有传统方法无法比拟的优势。

4 结 论

通过对软件工程化理论知识和多项航天型号试验的软件工程化标准的学习和研究，有针对性地开展本单位计量软件工程化的管理和研究，成功开发电学、压力计量标准关于隔离放大模块、压力传感器和压力变送器计量软件系统，并制定了本单位的《产品型号试验计量软件工程化管理办法》。该办法在其他计量软件和型号试验系统的软件开发中也具有重要的参考和应用价值。

参 考 文 献

[1] 王忠贵，刘姝. 航天型号软件工程方法与技术[M]. 北京：中国宇航出版社，2015.

[2] 郭娟，韩冬，王阳，等. 基于风险分析的航天器软件工程化管理方法研究[J]. 项目管理技术，2019，17(9)：90-94.

[3] 陈乘新，梁克，王静华，等. 航天器软件风险集成管理方法[J]. 航天器工程，2015，24(3)：114-119.

[4] 李超，王栋，周晴，等. 我国空间科学卫星软件工程化管理实践与思考[J]. 项目管理技术，2020，18(1)：84-91.

[5] 刘正高. 航天型号软件产品保证总体策划[J]. 质量与可靠性，2005(6)：29-31.

[6] 史劼，吴冉，张义. 载人航天型号软件智能化开发技术研究[J]. 中国电子科学研究院学报，2019，14(7)：712-719.

[7] 石柱. 航天型号软件工程化十年回顾与展望[J]. 航天控制，2006，24(4)：66-72.

[8] 宋征宇. 载人运载火箭软件工程化二十年实践[J]. 载人航天，2013，19(3)：1-7.

[9] 刘杰，叶东升，牛爱民. 载人航天工程软件工程化技术标准若干技术探讨[J]. 载人航天，2007，13(4)：40-46.

[10] 陈炳忠，王朋. 载人航天工程软件化趋势及其启示[J]. 载人航天，2006，12(4)：3-6.

收稿日期：2020-04-25；修回日期：2020-12-04

作者简介

杨懿(1984-)，男，高级工程师，硕士。主要研究方向为军品型号试验测量数据分析、型号计量保障技术研究、国防计量标准使用及维护、计量仪器检定。



王凤涛(1987-)，男，工程师，硕士。主要研究方向为项目管理、质量可靠性。

