

# 红外与光电载荷 FPGA 软件测试实验室建设实践

黄 赢<sup>1,2</sup>, 南海兰<sup>2</sup>, 涂步华<sup>1,2\*</sup>, 王旭静<sup>1,2</sup>, 郑洪波<sup>1,2</sup>, 杨 帆<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083; 2. 上海济物光电技术有限公司, 上海 201800)

**摘要:** 在红外与光电载荷 FPGA 软件的可靠性、安全性等质量要素要求越来越高的背景下, 建立相应的 FPGA 软件测试实验室尤为重要。本文旨在构建和完善 FPGA 软件测试实验室的能力管理体系, 以获得中国合格评定国家认可委员会 (China National Accreditation Service for Conformity Assessment, CNAS) 认可。本文运用了策划—实施—检查—改进循环 (Plan-Do-Check-Act, PDCA) 的质量方法对实验室能力管理体系建设工作进行详细阐述, 分享了实验室建设案例和成果, 为其他实验室能力管理体系建设提供思路和参考。

**关键词:** 红外; FPGA 软件; 软件测试; 实验室能力; CNAS; PDCA

## Construction practice of infrared and optoelectronic sensing payload FPGA software test laboratory

HUANG Ying<sup>1,2</sup>, NAN Hai-Lan<sup>2</sup>, TU Bu-Hua<sup>1,2\*</sup>, WANG Xu-Jing<sup>1,2</sup>, ZHENG Hong-Bo<sup>1,2</sup>, YANG Fan<sup>1,2</sup>

(1. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China; 2. Shanghai Jiwu Optoelectronics Technology Co., Ltd., Shanghai 201800, China)

**ABSTRACT:** Against the backdrop of increasing demands for quality elements such as reliability and safety in FPGA software for infrared and optoelectronic payloads, the establishment of a corresponding FPGA software testing laboratory is particularly important. This paper aims to build and improve the capability management system of the FPGA software testing laboratory to obtain recognition from the China National Accreditation Service for Conformity Assessment (CNAS). This paper elaborates in detail on the construction of the laboratory management system using the Plan-Do-Check-Act (PDCA) quality method, shares case studies and outcomes of laboratory construction, and provides ideas and references for the construction of CNAS competency management systems in other laboratories.

**KEY WORDS:** infrared; FPGA software; soft testing; laboratory system; CNAS; PDCA

## 0 引言

随着信息技术的迅猛发展, 数字化、信息化已成为推动社会进步和科技创新的重要力量。软件作为数字技术的重要载体, 保障其质量也成了各领域的重要环节<sup>[1]</sup>。

红外与光电是国防安全、大气地表的科研探索、灾害监测以及地质勘探等领域的一项关键技术, FPGA 软件在该技术领域发挥着重要作用, 用来实现载荷的数据处理、控制与通信、实时成像等功能<sup>[2]</sup>。软件测试是保证 FPGA 软件质量的关键手段, 通过测试能发现软件的缺陷和问题, 验证软件的功能、性能、

安全性等质量特征<sup>[3-5]</sup>。

为确保软件测试的专业性和高效性, FPGA 软件测试实验室需构建和完善能力管理体系, 以获得 CNAS 认可。

## 1 实验室管理体系背景

2022 年, 公司对资源进行了深度的整合与优化, 特别设立了专注于红外与光电载荷 FPGA 软件测试的实验室, 将其作为保障 FPGA 软件质量的关键部门。建设初期, 使用 SWOT 分析方法对实验室的优势、劣势、机会和威胁进行了充分评估, 如图 1 所示。针对劣势和威胁, 实验室决定引入实验室认可准则,

\* 通信作者: 涂步华, 硕士, 高级工程师, 主任, 研究方向为软件产品保证管理、专业软件体系建设、软件工程技术研究、信息和数字工程技术研究等。E-mail: buhuatu@163.com

\* Corresponding author: TU Bu-Hua, Master, Senior Engineer, Director, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China. E-mail: buhuatu@163.com

构建实验室能力管理体系并进行为期 6 个月的试运行, 目标通过 CNAS 认可。

S 优势	1. 引入丰富经验和专业知识的测试人员 2. 具有先进的测试软件ALINT-PRO、VCS MX、QuestaSim、PrimeTime 3. 具有专用的测试场地
W 劣势	1. FPGA软件可靠性要求高、运行环境恶劣、可维护性差等; 研制任务紧、需求变化频繁、软件研发过程管理严格 2. 实验室测试规范性不足, 业内影响力低, 缺少资质
O 机会	1. FPGA软件在红外和遥感领域市场需求增长 2. 政府对航天事业的重视和支持
T 威胁	1. 新的测试技术和方法不断涌现 2. 市场上竞争对手的增多

图 1 SWOT 分析图  
Fig.1 SWOT analysis chart

CNAS 是我国依法设立的唯一合格评定国家认可机构。建立标准的实验室能力管理体系有助于提高实验室的管理水平和工作效率, 增强实验室服务的专业性和权威性<sup>[6]</sup>。

## 2 实验室管理体系建设

针对红外与光电载荷 FPGA 软件产品的特点, 采用质量管理 PDCA 循环的方法<sup>[7-8]</sup> 规划实验室管理体系建设。

### 2.1 策划(Plan)阶段

参照公司 GB/T 19001 质量管理体系<sup>[9]</sup>, 实验室建立了四层文件。

顶层文件为质量手册, 是实验室能力管理体系的纲领性文件, 包含有公司介绍、组织机构图、质量目标、质量方针、人员授权和体系中要求对程序文件的引介等内容。

二层文件为程序文件, 是对质量手册条款的详细化规程, 实验室根据 FPGA 测试特点编制《FPGA 软件测试方法选择、验证及确认程序》《FPGA 软件测试报告管理程序》及《软件测试问题处理程序》等文件。

三层文件为作业指导书, 是指导测试人员进行具体操作的指南, 其中包括《可编程逻辑器件软件测试规程》《软件配置管理规程》及软件测试工具作业指导书等 7 份文件。

四层文件为质量记录, 质量记录是一些过程产生的记录的实证性模板, 结合 GJB 9764—2020《军用可编程逻辑器件软件文档编程规范》要求, 由技术主管编制了 FPGA 软件仿真测试计划、说明、报告模板, FPGA 软件确认测试计划、说明、报告模板共 6 份文件<sup>[10]</sup>。

### 2.2 实施(Do)阶段

#### 2.2.1 团队建设

在软件测试领域, 人员能力是决定项目质量的关键因素。当测试团队成员能力参差不齐, 比如存在对软件工具操作不熟练、对体系和认可准则理解不到位以及对测试方法掌握不全面等问题时, 测试项目的质量无疑会受到影响。

测试人员的首次能力确认发生在入职培训过程中, 培训内容包含 FPGA 软件测试工具的使用、测试类型及方法的介绍, 确保测试人员熟悉掌握并具有测试执行任职资格。在后续过程中注重人员在测试类型(如: 性能测试、安全性测试、功耗分析等)所使用方法的能力监控, 通过现场检测的监督、不同人员的比对、测量审核等方式, 确保人员持续地具有合格的测试能力。

#### 2.2.2 资源建设

##### (1) 环境建设

为了保证红外与光电载荷 FPGA 软件测试的质量, 实验室

以确保场地符合测试要求、保证数据的准确及测试设备的安全稳定为目标, 对测试场地进行了规划布局, 确保场地符合测试要求、保证数据的准确及测试设备的安全稳定。本测试实验室的场地均采取防静电措施, 并设置隔离网络, 定期进行杀毒, 保存杀毒记录。这样把项目以外的信息进行网络物理隔离, 同时防止病毒等不良程序破坏环境影响被测软件的运行状态。实验室也对外来人员进行严格控制, 通过线上软件进行人员信息录入及申请, 防止项目无关人员进入实验室使用设备设施等意外因素造成测试结果偏离。

#### (2) 设备资源建设

实验室纳入台账的设备包括软件测试工具、仪器设备、电子计算机。FPGA 软件测试工具需要具有专业性、可扩展性和灵活性、易于集成、支持多种硬件描述语言等特点<sup>[11-12]</sup>, 公司结合客户需求和业内标准的调研最终选用 FPGA 规则检查工具 ALINT-PRO、仿真验证工具 VCS MX、QuestaSim、静态时序分析工具 PrimeTime 等; 根据 FPGA 软件测试的需要, 仪器设备选用示波器、任意波形发生器、逻辑分析仪等。

### 2.2.3 流程建设

对于红外与光电载荷的 FPGA 软件测试, 实验室在满足 GJB 9433—2018《军用可编程逻辑器件软件测试要求》的基础上, 结合 CNAS 要求, 梳理了 FPGA 软件测试活动在实验室流转的全过程, 最终整合的 FPGA 软件测试过程分为合同签订、方法确认、测试执行、产品交付四个阶段, 见图 2。

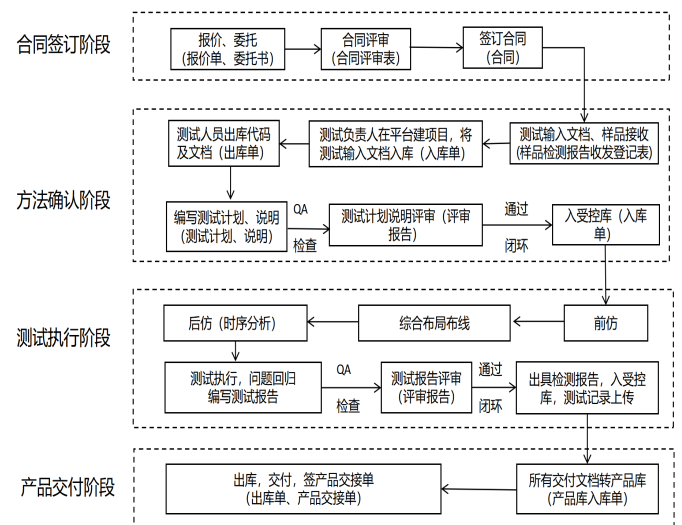


图 2 软件测试过程管理流程图

Fig.2 Software testing process management flow chart

实验室对上述流程使用软件系统生命周期管理与集成平台对项目进行过程策划、记录、监控、存档, 实现了测试流程的标准化、信息化, 促进软件测试实验室从管理流程上的信息化转型。

### 2.3 检查(Check)阶段

实验室策划并开展了一系列质量控制活动: 内外部监控、内部审核、管理评审以及针对风险和机遇的应对策略等, 旨在确保实验室能力的可靠性与持久性<sup>[13]</sup>。

内部监控活动采取定期日常检测监督的方式进行, 由监督员对测试人员按照监控计划进行监控, 2023 年共计监督 16 人次, 确保人员能力的持续性。

外部监控活动按照 CNAS-RL02:2022《能力验证规则》两年进行一次能力验证, 实验室 2023 年参加可编程逻辑器件

(FPGA) 软件功能测试的测量审核, 根据测量审核机构提供的需求对代码进行测试, 最终结果通过。保证了实验室检测项目的可信度。

内部审核每年末进行, 通过自查的方式提高实验室体系运行的符合性和规范性; 管理评审是针对一年的体系运行情况总结, 实验室所有监控活动都作为管理评审输入, 针对薄弱环节群策群力, 落实到实验室各项工作中, 促进实验室质量控制能力正向增长<sup>[14-15]</sup>。

完成以上检查工作后, 实验室向 CNAS 认可委提出现场评价申请以获取 CNAS 认可证书, 希望通过第三方权威机构的认可和监督, 提高实验室内部管理水平, 增加市场竞争力。

#### 2.4 改进(Action)阶段

在体系建立的初期阶段, 内审、管理评审、预审的问题主要集中在未严格按体系执行、关键记录缺失等方面, 实验室积极采取培训措施, 强化员工对 CNAS 准则、相关规范及体系的理解, 从而提升人员的执行力度, 确保测试管理记录的完整性和准确性。

体系运行满一年之际, CNAS 组织对实验室进行了现场评审。在评审过程中, 专家对体系不完善处提出了建议, 如体系未涵盖非固定场所测试活动的具体规定, 质量主管根据 CNAS-CL01-G005《检测和校准实验室能力认可准则在非固定场所检测活动中的应用说明》及时完善体系相关规定; 对个别测试类型的方法提出了建议, 如时序仿真的测试方法, 为此实验室调研购买时序仿真加速设备, 加大动态仿真测试方法的研究和投入; 对能力验证不符合项, 如未对测量审核结果分析错因, 为此软件测试组及时召开专题会议, 对测量审核的代码进行全面复盘, 编写详细的分析报告, 为日后测试工作提供了重要的指导和参考。

### 3 实验室运行效果

实验室经过管理体系建设阶段、试运行阶段、CNAS 认可审核阶段到最终获得 CNAS 认可后的正式运营阶段, 在以下方面都获得了高速发展。

#### 3.1 软件测试水平专业化

自 2023 年 6 月体系建立以来, 承接了 44 项测试项目, 项目总数较过去 12 个月增长 50%。共测代码 27 万余行; 仿真测试约 15.2 万行代码, 设计用例数 3436(用例比例为 226 个/万行), 发现问题数 221 个(缺陷密度 14.5 个/万行); 确认测试约 11.8 万行代码, 设计用例数 1287(用例比例为 109 个/万行), 发现问题数 99 个(缺陷密度 8.4 个/万行)。同时, 按照功能模块(例如: RS422 模块、1553B 模块)建立仿真测试用例重用库, 提高了测试效率。各项数据表明, 实验室在体系建立以后专业能力得到了极大提升, 在红外与光电领域展现出了 FPGA 软件测试的雄厚技术实力, 也赢得了客户的高度认可和一致好评。

#### 3.2 软件测试过程规范化

实验室构建了一套规范化的软件测试实验室能力体系, 为公司提供了标准化的测试流程与管理机制。这一举措加强了实验室对软件测试的规范化、系统化管理, 显著提升了红外与光电载荷 FPGA 软件测试的效率, 得到了公司质量部门和市场部的高度评价, 巩固了实验室在公司内部的核心地位。

## 4 结论

红外与光电载荷 FPGA 软件测试实验室通过实验室能力体系建设实践, 促进了 FPGA 软件测试技术能力的发展, 保证了软件产品质量的可靠性。通过本文的分享, 希望能对其他实验室的建设提供思路和参考。

#### 参考文献

- [1] 龚维斌. 加快数字社会建设步伐(人民观察)[N]. 人民网, <http://cpc.people.com.cn/n1/2021/1022/c64387-32260959.html> [2021-10-22].
- [2] 孙启扬, 柴瑞青, 谢圣文, 等. 航天遥感红外探测器需求与发展[J]. 激光与红外, 2023, 53(10): 1469-1475.
- [3] 周学花. 航天软件测试技术研究[J]. 北华航天工业学院学报, 2020, 30(06): 17-19.
- [4] 杨丰玉, 徐浩明, 郑巍, 等. 嵌入式软件测试研究综述[J]. 航空计算技术, 2021, 51(01): 112-115.
- [5] 张莎莎, 杨琪, 王菲. FPGA 测试验证质量保证技术研究[J]. 微电子学与计算机, 2018, 35(12): 133-136.
- [6] 检测和校准实验室能力认可准则: CNAS-CL01:2018[S]. 北京: 中国合格评定国家认可委员会, 2018.
- [7] 李霜. PDCA 循环应用于实验室管理[J]. 科技信息, 2011, (09): 537-538.
- [8] 涂步华, 梁宏, 祁公祺, 等. PDCA 循环在航天红外载荷产品保证管理中的应用[J]. 航天工业管理, 2021, (06): 3-7.
- [9] 全国质量管理和质量保证标准化技术委员会. 质量管理体系要求: GB/T 19001—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [10] 阎思进. 质量管理发展与质量体系构建[J]. 中国纤检, 2004, (01): 28-31.
- [11] 张蕾. 嵌入式软件测试技术及工具的研究[J]. 中国新技术新产品, 2017, (21): 36-37.
- [12] 金成杰, 俎涛, 张焕欣. 嵌入式软件测试平台的设计与实现[J]. 信息技术与网络安全, 2022, 41(04): 102-107.
- [13] 李国强. 浅谈实验室质量管理体系的管理与提升[J]. 机械工业标准化与质量, 2021, (05): 45-48.
- [14] 徐恒. 高职院校开展质量管理内部审核的探索与研究[J]. 中国检验检疫, 2022, 30(06): 84-86.
- [15] 陈爱群. 测试和校准实验室管理评审的实施[J]. 中国计量, 2021, (09): 62-64, 70.

#### 作者简介



黄赢, 硕士, 助理工程师, 研究方向为软件质量管理。



涂步华, 硕士, 高级工程师, 主任, 研究方向为软件产品保证管理、专业软件体系建设、软件工程技术研究、信息和数字工程技术研究等。