

复杂航空装备自动化测试技术指南

Technical guide for automated testing of complex aviation equipment

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

目 次

前言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 缩略语 6

5 数据采集系统 6

6 总体原则 7

7 试验人员交互功能要求 7

8 自动化测试流程 7

9 自动化测试技术要求 9

附录 A（规范性）测试脚本编写规范 20

附录 B（资料性）航空常用总线协议 22

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由辽宁省工业和信息化厅提出并归口。

本文件起草单位：沈阳航空航天大学、沈阳飞机设计研究所、沈阳飞机工业(集团)有限公司、沈阳市市场监管事物服务中心（沈阳标准化研究院）、东北大学、沈阳建筑大学。

本文件主要起草人：丁国辉、王竹筠、范纯龙、徐一民、孙永佼、李胜宇、王磊、张荣博、蒋宁、吴昊、姜文、宛旭、骆遥、辛晨亮、刘蒙、尹海军、孙洁、刘艳、张薇、王姝、龚艺、于洋、郭蓝嵘、曹科研。

本文件发布实施后，任何单位和个人如有问题和意见建议，均可以通过来电、来函等方式进行反馈，有关单位将及时答复并认真处理，根据实际情况依法进行评估及复审。

归口管理部门通讯地址和联系电话：辽宁省工业和信息化厅（沈阳市皇姑区北陵大街45-2号），024-86893258。

文件起草单位通讯地址和联系电话：沈阳航空航天大学（沈阳市沈北新区道义南大街37号），024-89724258。

复杂航空装备自动化测试技术指南

1 范围

本文件规定了复杂航空装备的数据采集系统、总体原则、试验人员交互功能要求、自动化测试流程、自动化测试技术要求等内容。

本文件适用于复杂航空装备自动化测试平台的设计、构建等工作，其他领域复杂装备自动化测试系统的构建也可参考使用本文件。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 30264.1 软件工程自动化测试能力第1部分：测试机构能力等级模型

GB/T 36252 基于模型的航空装备研制数字化产品定义准则

HB 8391 民用飞机航空电子系统飞行试验要求

RTCA DO-160G 机载设备环境条件和试验程序 (Environmental conditions and test procedures for airborne equipment)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

接口控制文件 Interface Control Document

航空电子系统间数据交互协议文件，对为特定系统提供输入和接收输出所涉及的方法和结构的形式化描述。

3.2

反射式内存网络 Reflective Memory Network

由反射内存卡组成的实时通信网络，是基于环状/星状、高速复制的共享内存网络，支持不同总线结构的多计算机系统，并且可以使用不同的操作系统来共享高速的、稳定速率的实时数据。

3.3

数据分发服务 Data Distribution Service

新一代分布式实时通信中间件协议，采用发布/订阅体系架构，强调以数据为中心，提供丰富的QoS服务质量策略，以保障数据进行实时、高效、灵活地分发，可满足各种分布式实时通信应用需求。

3.4

设备类型 device type

地面验证试验中所用到的设备或仿真系统，包括：被测设备、参试设备、试验辅助设备、虚拟仿真系统等。

3.5

设备实例 device Instance

设备类型的实例。

3.6 3

测试信号 test signal

控制接口文件中规定的测试信号或变量，不同的测试信号通信格式不相同。

3.7

总线信号 bus signals

以总线格式传输的信号统称为总线信号。

3.8

模拟量 analog quantity

在时间和数值上都是连续变化的信号，通常为传递电压、电流或者电阻值的信号。

3.9

离散量 discrete magnitude

不是连续变化的信号量，通常分为数字量和开关量，通过高低电平表达0、1进行传输。

3.10

试验配置模板 test configuration template

试验测试所用到的设备、信号选型模板，用于试验测试的信号筛选。

3.11

试验目录 test catalogue

试验项目的组织结构或者试验项目存储的路径。

3.12

试验项目 test item

试验测试的基本单位，通过试验项目可管理试验配置、测试脚本和测试结果。

3.13

测试用例 test case

对一项特定的信号、任务或设备进行测试任务的描述，可以是针对单个信号的测试数据和方法描述，也可以是针对某项试验任务的测试描述。

3.14

测试脚本 testing script

测试用例的集合，以XML文件的格式存储。

3.15

测试结果 test result

测试用例运行结果的描述文件，通常以测试脚本文件的组织顺序存储，并且回填了信号在测试时读取到数据和测试用例的执行结论。

3.16

激励系统 stimulation system

为保证试验运行所必须的外部激励系统。

3.17

数采系统 data acquisition system

在自动化测试试验环境中部署的数据采集和存储系统，负责将实时监控采集到的总线数据回传，供自动化测试系统读取数据用。

3.18

波形 waveform

通常是指由简单波形组成复杂波形。

3.19

波形仿真 waveform simulation

将波形数据按照时间周期注入到测试信号的共享网络地址中的过程。

3.20

总线仿真 bus simulation

是辅助自动化测试而设计的数据注入或仿真功能，数据显示格式与ICD数据包格式一致。

3.21

实仿控制 Real-Simulation Control

控制试验过程中设备的选型是采用实物设备还是仿真设备。

3.22

试验管理系统 Test Management System

是自动化测试系统的主体框架，自动化测试系统将各功能项以插件的形式嵌入到试验管理系统。

4 缩略语

以下缩略语适用于本文件。

ICD：接口控制文件（Interface Control Document）

QoS：服务质量（Quality of Service）

CRC：循环冗余校验（Cyclic Redundancy Check）

FIR：有限长单位冲激响应（Finite Impulse Response）

XML：可扩展标记语言（Extensible Markup Language）

RAID：独立磁盘冗余阵列（Redundant Array of Independent Disks）

CAN：控制器局域网（Controller Area Network）

FPGA：现场可编程门阵列（Field-Programmable Gate Array）

5 数据采集系统

复杂航空装备自动化测试平台（以下简称“平台”）架构由以下四部分核心模块构成（具体架构参见图1）：

- 自动化试验控制与综合信息平台：主要负责收集汇总各个子系统对应的测试结果以及控制和调度各个子系统自动化测试服务。
- 子系统自动化试验服务端：主要负责与被测终端进行通信、控制被测终端、解析测试用例以及执行总控端的测试任务等。
- 数采系统：为测试提供被测对象的状态检测以及测试结果反馈功能。
- 被测终端：试验的被测对象。

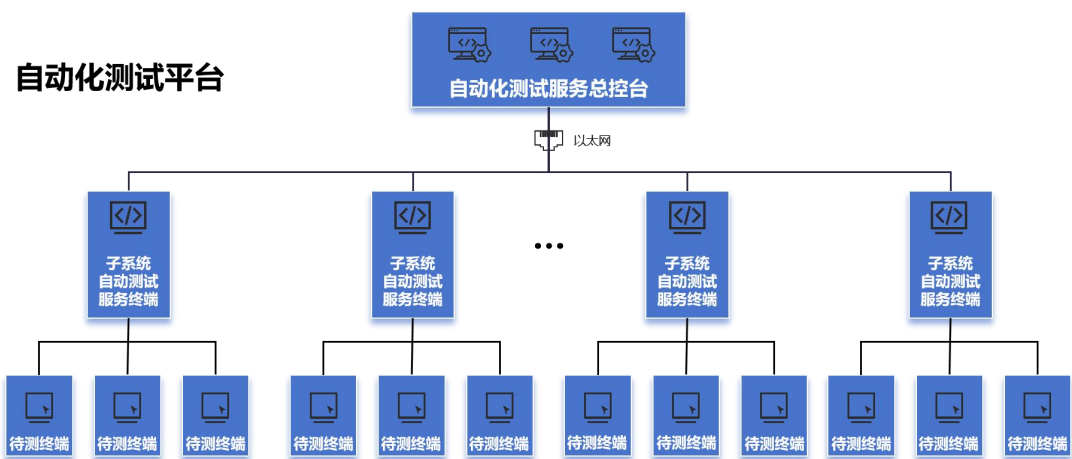


图1 自动化测试平台

6 总体原则

6.1 功能性原则

系统需具备子系统自动化测试、多试验管理、多试验并行执行、数据采集与存储能力。

6.2 安全性原则

具备故障检测与异常处理机制，保障试验设备安全，避免因异常导致设备损坏。

6.3 可扩展性原则

支持新类型子系统接入，可扩展与外部试验管理、数据分析系统的对接能力。

6.4 兼容性原则

兼容航空常用总线协议（如 MIL-STD-1553、ARINC 429、CAN），支持多类型试验资源接入。

7 试验人员交互功能要求

7.1 交互功能

提供试验人员交互功能，支持试验人员输入操作指令、查看试验状态与结果。

7.2 响应要求

处理试验人员的输入，并将这些操作转化为系统可识别的指令，同步反馈操作结果。

8 自动化测试流程

自动化的测试流程如图 2 所示。

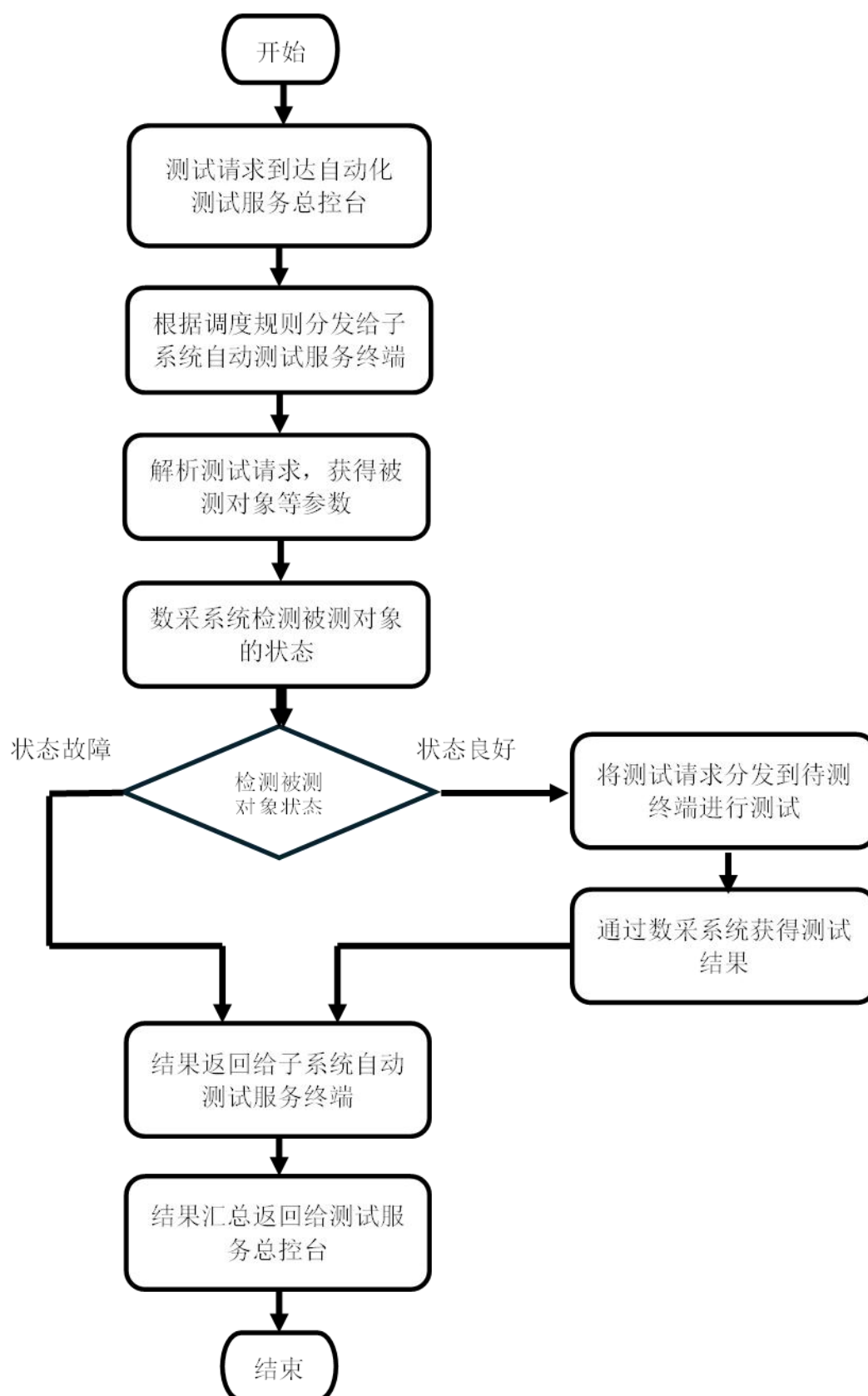


图2 自动化测试平台

9 自动化测试技术要求

9.1 试验控制与综合信息平台

9.1.1 试验任务的统一管理与调度

9.1.1.1 功能描述

对各类试验资源和任务流程进行集中配置、分发和执行控制，支持多类型试验任务的创建、编辑、审批、分配及执行过程的全流程管理，包含任务优先级排序、时间窗控制、资源分配等子功能。

9.1.1.2 输入与输出

输入：用户通过界面定义的试验计划、配置参数、被测对象信息；

输出：调度策略、任务执行状态和执行反馈日志。

9.1.1.3 技术要求

技术要求应包括：

- a) 任务响应时延不超过子系统要求的最长时延；支持不少于 10 个子系统并发调度；
- b) 调度策略支持优先级与轮询两种模式；
- c) 与各子系统服务端保持通信同步，实时掌握各子系统运行状态，依据其资源占用情况调整调度策略；
- d) 多个试验并行时，优先分配高优任务至子系统，低优任务排队等待；
- e) 支持新类型子系统接入后的调度模板定义；
- f) 具备任务中断恢复机制，支持调度日志的自动归档与审计；
- g) 支持新建子系统、修改已有子系统属性的管理功能；
- h) 自动化测试技术应符合 GB/T 36252 的要求。

9.1.2 试验环境的配置与下发

9.1.2.1 功能描述

提供统一试验环境配置软件，集中管理测控计算机、采集板卡、通信接口等试验设备，维护设备拓扑结构、工作模式及协议参数，支持用户动态配置测试信号、硬件接口、通道资源及映射关系，系统可自动校验资源互斥性与相容性，依据硬件容量约束优化资源分配与复用。

9.1.2.2 输入与输出

输入：试验所需的环境资源配置、信号映射关系与约束参数。

输出：结构化配置指令、资源映射结果及执行反馈信息。

9.1.2.3 技术要求

技术要求应包括：

- a) 支持多类型试验资源的集中建模，包括测控计算机、采集卡、激励源、接口模块等；

- b) 具备设备拓扑可视化编辑功能，支持资源位置、连接关系、通信协议的图形化维护；
- c) 支持测试信号与物理资源（如通道、板卡）的自动映射与优先级配置；
- d) 具备资源冲突检测机制，支持互斥性、相容性验证，不满足约束条件时提示与阻断；
- e) 支持试验环境配置的版本管理、导入导出与模板复用；
- f) 配置参数应支持自动封装为下发指令，满足各子系统的通信协议适配要求；
- g) 平具备资源复用调度策略，硬件能力受限时实现最优配置方案；
- h) 环境配置结果应具备可回溯，参数变更过程与下发记录自动归档；
- i) 配置应符合 GB/T 30264.1 的要求。

9.1.3 子系统测试结果的汇总与分析

9.1.3.1 功能描述

汇聚试验数据、提取指标、对比分析并展示结果，按任务维度、流程节点、被测子系统归类统计数据，支持试验过程可视化回放、异常事件时间轴重建与多维参数联动展示，自动对比多任务或版本结果差异，标示超限数据与趋势变化，结合通信状态、执行日志与设备响应诊断异常，根据规则库辅助故障研判，自动生成测试日志。

9.1.3.2 输入与输出

输入：各子系统上传的测试数据、通信状态、故障码、日志文件与采集信号数据。

输出：结构化分析结果、图表报告、对比结果、故障定位建议及自动生成的测试日志文档。

9.1.3.3 技术要求

技术要求应包括：

- a) 支持多类型的数据处理与集中汇总，包括测试参数、采集数据、异常事件与响应状态等；
- b) 具备试验过程回放能力，包括重建任务流程，联动展示信号曲线、状态变化与命令响应过程；
- c) 支持多子系统、不同任务批次或测试版本间结果对比，自动标注差异项并生成对比图表；
- d) 具备故障分析功能，支持异常聚类、事件定位、故障模式识别与规则匹配，辅助异常数据的快速研判；
- e) 自动生成测试日志，记录测试过程、结果、异常、操作及系统状态，支持日志模板配置与导出归档；
- f) 支持图形化展示分析结果，包括折线图、趋势图、误差分析图、故障定位图等多种可视化形式；
- g) 支持历史结果查询与任务对比分析，具备数据追溯、趋势预测与回归验证能力；
- h) 与任务管理、资源配置、试验控制模块联动，形成试验闭环与质量追踪链路。

9.1.4 数据交互与共享管理

9.1.4.1 功能描述

通过统一数据交互接口与权限控制机制，实现试验数据集中上传、分级存储与受控访问，支持数据

在子系统间同步共享、模块间调用复用，确保跨模块数据一致性，支持与试验管理系统数据同步，实现试验项目信息、配置文件、测试脚本与试验结果自动上传下载。

9.1.4.2 输入与输出

输入：各子系统、模块或外部系统提交的试验项目、配置文件、自动化测试脚本、试验结果文件等。

输出：上传结果确认、项目同步状态、覆盖提示信息、调用日志及版本比对结果等。

9.1.4.3 技术要求

技术要求应包括：

- a) 支持试验项目、试验配置文件、自动化测试脚本、试验结果文件等数据类型同步；
- b) 支持基于 Web Service 接口的数据同步机制：
 - 1) 支持通过 Web Service 接口将试验项目、测试脚本与试验结果上传至试验管理系统，上传过程应支持失败重试与状态反馈；
 - 2) 支持通过 Web Service 接口下载试验目录并同步试验项目信息。数据下载应在试验项目创建之前完成，或与本地数据库比对仅更新未创建的试验项目，同名项目允许用户手动选择是否覆盖；
- c) 支持数据版本管理与同步冲突提示机制；
- d) 数据同步过程应具备访问控制与身份认证机制，记录完整操作日志，支持审计追踪；
- e) 具备可扩展的接口能力，支持未来与更多试验管理、数据分析系统对接的数据交互需求。

9.1.5 多试验并行执行的协调与控制

9.1.5.1 功能描述

支持多试验任务并行调度执行，通过任务级隔离、资源动态绑定、信号冲突检测与优先级控制实现协同运行，自动分析任务资源类型、通信接口、测试信号及 ICD 分配情况，判断资源、地址冲突或执行互斥关系，调整调度策略或提示用户处理。

9.1.5.2 输入与输出

输入：多个试验任务的流程配置、资源依赖项、信号映射表与任务优先级策略。

输出：调度控制策略、并行执行计划、资源分配映射表、冲突检测报告、任务状态监控信息与执行日志等。

9.1.5.3 技术要求

技术要求应包括：

- a) 支持多任务并发运行，具备任务队列管理能力，支持按任务属性设定优先级、资源锁定策略与时序依赖关系；
- b) 试验任务启动前自动进行资源冲突与信号互斥检测，包括但不限于板卡、端口、通道、实时网地址、ICD 标识等；

- c) 具备资源动态绑定与释放机制，允许任务运行时根据状态变化释放空闲资源供其他任务调用；
- d) 支持关键资源加锁保护，确保同一时刻仅一任务可操作独占性资源（如转接箱通道）；
- e) 上下位机架构中应具备任务隔离机制，下位机中每个试验任务独立运行逻辑块，避免仿真、故障注入等功能跨任务干扰；
- f) 支持对并行任务执行状态进行实时监控，包括当前进度、活跃通道、信号负载、异常状态与资源使用率；
- g) 检测到资源冲突、执行异常时，具备自动暂停、重新调度、回滚重试或人工干预处理机制；
- h) 支持对并行执行过程进行日志记录与追踪分析，形成完整的任务执行闭环数据，用于试验归档与调度优化。

9.2 子系统自动化试验服务端

9.2.1 测试用例的解析与执行

9.2.1.1 功能描述

对预定义测试脚本进行语法校验、参数解析与执行调度，自动识别脚本结构、解析变量依赖关系，有序执行测试流程，支持执行日志记录、异常中断恢复与多轮测试复用。

9.2.1.2 输入与输出

输入：用户上传或测试平台生成的测试用例脚本。

输出：执行结果日志、状态码、错误报告、运行时参数及测试数据文件等。

9.2.1.3 技术要求

技术要求应包括：

- a) 支持脚本结构化执行，兼容顺序执行、条件跳转、循环控制、异常捕获等流程语义；
- b) 执行任务过程支持断点续测与失败重试，保障测试过程稳定可靠；
- c) 支持多脚本同时调度，具备资源隔离与并发控制能力；
- d) 执行日志须包括时间戳、输入参数、返回状态、异常栈信息等内容，并支持本地存储与平台上传；
- e) 测试脚本符合附录 A 要求。

9.2.2 与被测终端的通信控制

9.2.2.1 功能描述

对通信链路的初始化、协议适配、数据收发与状态反馈的全过程管理，实现与被测终端的稳定、可靠通信控制。

9.2.2.2 输入与输出

输入：测试脚本中定义的通信指令、终端设备参数、通信协议配置与 ICD 数据格式描述。

输出：被测终端返回的响应数据、状态码、故障信息、通信日志与异常报告等。

9.2.2.3 技术要求

技术要求应包括：

- a) 支持多种通信接口协议（如 MIL-STD-1553、ARINC 429、CAN 等），具备协议识别与解析能力；
- b) 支持与被测终端的多主从通信模式，具备同步/异步通信、轮询与事件驱动等控制方式；
- c) 通信过程应具备 CRC 校验、数据完整性验证与链路异常检测机制；
- d) 脚本调度过程中支持指令级应答判断、执行状态反馈与异常标志处理；
- e) 支持通信日志自动记录与分类保存，可回溯指令流与终端响应；
- f) 通信故障（如超时、掉线、格式异常等）时，触发重试机制或中断保护；
- g) 服务端应支持并发管理多个被测终端，具备链路状态监控与可视化展示能力；
- h) 支持通信接口配置模板化管理，自动匹配终端类型、协议特征与任务要求。

9.2.3 测试过程数据的本地缓存与上传

9.2.3.1 功能描述

子系统自动化试验服务端在测试脚本执行过程中，实时采集与记录指令响应结果、设备状态反馈与异常信息，本地构建缓存结构暂存、分类与管理，支持测试过程中断续运行、网络异常情况下的数据保护与后续补传。

9.2.3.2 输入与输出

输入：测试过程中产生的各类运行时数据，包括原子指令与复合指令的执行结果、状态码、响应时间、返回数据与异常码等。

输出：结构化缓存文件、本地日志文件、上传数据包、上传状态反馈与日志记录等。

9.2.3.3 技术要求

技术要求应包括：

- a) 子系统自动化试验服务端应内置运行时数据缓存模块，采用双向指针连接的广义链表结构组织缓存节点，支持复合指令与原子指令分级管理；
- b) 缓存节点应存储指令 ID、执行状态、时间戳、原始值、处理结果、异常标志等基本字段，支持结构扩展；
- c) 缓存结构应支持实时动态插入与并发读取，保障多线程场景数据一致性；
- d) 定期扫描缓存状态，自动标记已完成可上传节点并移入上传调度队列；
- e) 上传触发支持手动控制、任务完成自动触发、定时调度与网络恢复补传等模式；
- f) 上传前对缓存数据进行压缩、加密封装，符合试验数据上报接口规范；
- g) 缓存空间具备配额管理与溢出保护机制，磁盘或内存临近上限时可自动清理或暂存保护；
- h) 记录所有缓存行为日志，包括数据生成时间、节点结构、上传时间、状态反馈、失败重传等内容，支持问题溯源。

9.2.4 故障检测与异常处理

9.2.4.1 功能描述

自动化试验服务端在测试任务执行过程中，实时监控与分析各类操作的执行状态、设备响应、通信链路和数据返回情况，识别指令失败、通信中断、资源冲突、数据异常等问题，记录、上报并自动化处置。

9.2.4.2 输入与输出

输入：指令执行反馈、设备通信状态、链路质量参数、采集数据合法性结果、资源使用状态与测试脚本控制逻辑等。

输出：异常告警信息、故障码、恢复建议、自动处理结果、异常日志与状态上报数据。

9.2.3.3 技术要求

技术要求应包括：

- a) 支持以下典型故障类型的自动识别与分类：
 - 1) 指令执行失败（如返回错误码、未响应）；
 - 2) 通信中断（如链路掉线、时延超限、CRC 校验失败）；
 - 3) 数据异常（如格式错误、物理量超限、采集失败）；
 - 4) 资源冲突或缺失（如设备占用、通道绑定失败）。
- b) 具备故障码与异常信息处理机制，支持统一编码、分类描述与处理建议绑定；
- c) 可恢复类异常（如暂时掉线、采集失败）具备自动重试、软复位、数据保护等策略；
- d) 不可恢复类异常（如硬件故障、致命错误）提供任务中断机制，保障测试设备安全；
- e) 支持异常跳过与流程回滚策略，可配置是否继续执行后续指令或终止流程；
- f) 具备异常日志记录功能，包含发生时间、异常类型、关联资源、处理结果与操作建议；
- g) 异常事件自动上报至上位测试平台或数据管理系统，支持人工确认、审计追踪与数据导出功能。

9.2.5 对联合试验中多服务端协同调度的支持

9.2.5.1 功能描述

在联合试验场景中，多个子系统自动化试验服务端需同时参与任务执行。各个系统服务端需支持不同服务端间的任务划分、时序同步、状态联动与结果集成。

9.2.5.2 输入与输出

输入：上位调度系统下发的联合试验任务配置与节点分工参数。

输出：各服务端执行状态、同步事件记录与联合试验结果。

9.2.5.3 技术要求

技术要求应包括：

- a) 支持将联合试验任务自动拆解至多个服务端，明确任务边界与执行责任；

- b) 具备基本的服务端间通信能力,可实现关键控制信号(如启动、暂停、完成等)的跨节点传递;
- c) 支持节点状态信息的发布与监听,实现运行状态的共享与异常联动处理;
- d) 具备时间协同机制,可选择性支持统一时钟或同步触发方式;
- e) 具备联合日志与试验结果聚合机制。

9.3 数采系统

9.3.1 被测终端关键参数的实时采集

9.3.1.1 功能描述

依据 ICD 定义的信号规范,持续稳定采集被测设备运行过程中的关键物理量和逻辑状态,通过多通道采集模块周期性获取、实时解析与时序校验数据。

9.3.1.2 输入与输出

输入: ICD 文档所定义的信号参数清单、通道配置表、采样策略与设备通讯参数等。

输出: 结构化采集数据集、采集日志、状态反馈与异常信息。

9.3.1.3 技术要求

技术要求应包括:

- a) 具备对航空装备常用 ICD 文件(如 ARINC 429、MIL-STD-1553 等)解析能力,可自动提取信号名称、字节偏移、起始位、结束位、电压范围等内容;
- b) 支持不少于 32 路并发采集通道,具备模拟量、数字量、串口、CAN、以太网等多种信号适配能力;
- c) 采样频率不低于 1000Hz,具备小于子系统要求的端到端最大数据传输时延;
- d) 支持与试验控制平台的数据同步机制,采集数据可实时回传用于动态任务调度、测试逻辑判断与图形展示;
- e) 具备信号级状态监控能力,可对采集时延、丢包率、信号质量等关键指标实时分析并触发告警机制。

9.3.2 多通道同步采样

9.3.2.1 功能描述

通过硬件触发与时钟同步技术,实现航空传感器网络(如振动、压力、温度传感器)的纳秒级同步数据采集,消除通道间相位差对飞行参数分析的干扰,支持动态调整采样率,并具备抗电磁干扰能力。

9.3.2.2 输入与输出

输入: 同步触发信号(硬件/软件)、通道配置参数(采样率、增益、滤波阈值)、传感器校准数据(温度补偿系数、零点偏移量)等。

输出: 带统一时间戳的多通道数据包(精度 $\leq 1\mu s$)、同步状态报告(触发成功/失败、通道时延

值）、异常通道标识（如信号超量程、同步失效）。

9.3.2.3 技术要求

技术要求应包括：

- a) 硬件触发动抖、软件触发时延小于最大时延；
- b) 通道隔离性能符合 RTCA DO-160G 的电磁兼容要求，内置数字滤波（如 FIR 滤波器）以抑制工频干扰和射频噪声；
- c) 飞行工况突变时支持采样率的快速切换，具备双缓存机制确保高速采样过程中的数据完整性；
- d) 具备实时通道时延校准（基于 FPGA 的时差修正算法）的能力。

9.3.3 采集数据的存储与回放

9.3.3.1 功能描述

采用分级存储机制持久化保存原始数据、预处理数据，存储模块支持断点续传与自动归档，回放功能允许按时间戳、事件触发条件检索历史数据，支持多倍速回放与数据切片导出。

9.3.3.2 输入与输出

输入：实时采集的原始数据流（含时间戳、通道标识）、存储策略指令（触发条件如时间阈值、事件标记）、回放请求参数（时间范围、回放速率、目标通道）等。

输出：结构化存储文件、回放数据流（支持同步显示）、存储完整性报告（校验码、空间占用率）。

9.3.3.3 技术要求

技术要求应包括：

- a) 支持高速写入和 RAID5 冗余存储，能够满足长周期原始数据保存及高效无损压缩需求；
- b) 支持多倍速调节和高精度时间对齐，可实现多视图同步回放（如飞参数据与视频帧同步）；
- c) 提供断电保护机制，支持数据恢复。

9.3.4 数据完整性校验与异常标识

9.3.4.1 功能描述

通过多级校验机制（包括硬件校验、数据包校验和业务逻辑校验）实时检测数据异常，对异常数据进行标识和记录。

9.3.4.2 输入与输出

输入：来自传感器采集的原始数据流、校验参数配置（校验算法选择、异常阈值）、参考肌醇数据等。

输出：带有正常数据标记或者异常数据标记的数据包、完整性报告。

9.3.4.3 技术要求

技术要求应包括：

- a) 支持 CRC32（数据包级）、SHA-256（存储级）和奇偶校验（硬件级）校验算法；
- b) 每个数据块存储时附带校验码，存储后定期扫；
- c) 对异常数据进行隔离存储，保留原始值用于故障分析；
- d) 校验的误报率和漏检率均控制在所要求的最大允许误差范围内。

9.3.5 与试验控制平台的数据交互接口

9.3.5.1 功能描述

支持实时参数配置、指令下发及数据回传，通过通信协议（如 ARINC 429）实时相应测试控制指令，满足航电系统硬实时要求。

9.3.5.2 输入与输出

输入：控制指令（试验启停指令、参数配置指令、应急干预指令）、平台状态数据、通信协议类型等。

输出：采集的原始数据流、指令执行状态反馈。

9.3.5.3 技术要求

技术要求应包括：

- a) 支持双向同时通信，满足上行带宽、下行带宽和丢包率符合航电系统要求；
- b) 符合 ARINC 615 协议栈，可扩展支持自定义协议；
- c) 关键控制指令端到端时延应小于所设计系统的最大时延要求；
- d) 支持远程配置与固件升级，支持故障诊断。

9.4 被测终端

9.4.1 具备通信响应能力的航空装备子系统或模块

9.4.1.1 功能描述

通过通信接口与测试系统建立稳定的数据交互通道，接收指令、返回状态并在规定时间内完成响应操，模块内嵌通信控制器，支持如 MIL-STD-1553、ARINC 429 等航空常用总线协议，满足不同测试阶段对时效性、可靠性与冗余性的要求。

9.4.1.2 输入与输出

输入：包括测试平台下发的控制命令、参数设定、通信握手信息等。

输出：模块状态响应、执行结果反馈、异常标识与通信日志等。

9.4.1.3 技术要求

技术要求应包括：

- a) 支持至少一种航空总线协议（如 1553、429、1394b 等），具备物理接口与电气特性匹配能力，协议参数见附录 B；

- b) 通信响应时延小于设备要求最大时延，支持可配置的重发机制与超时告警策略；
- c) 支持双向通信机制，可在平台发起请求后返回状态，也可根据触发条件主动上报事件；
- d) 具备异常帧检测与纠错能力，可区分超时、位错、帧长异常等典型通信故障类型；
- e) 支持协议层解析与物理量转换能力，符合 ICD 文件中信号定义的格式、单位与刷新规则要求；
- f) 支持并发多终端通信管理，具备地址管理、优先级调度与链路状态监控功能；
- g) 具备通信加密与安全认证机制（如 ID 校验、签名校验等）；
- h) 航空装备子系统或模块应符合 HB 8391 的要求。

9.4.2 支持接口协议的控制指令执行

9.4.2.1 功能描述

解析并执行通过航空接口协议（如 ARINC 429、MIL-STD-1553）发送的控制指令，实现设备参数配置、模式切换或任务调度等操作，支持接口协议规定的帧格式、传输速率及错误处理机制。协议参数见附录 B。

9.4.2.2 输入与输出

输入：控制指令流、配置参数等。

输出：指令执行结果反馈、异常日志等。

9.4.2.3 技术要求

技术要求应包括：

- a) 支持符合 ARINC 429（单向）与 MIL-STD-1553（双向）要求的协议栈；
- b) 指令解析时延小于最大时延要求；
- c) 具备无效指令隔离与系统保护能力，禁止危险指令执行。

9.4.3 状态反馈与自检

9.4.3.1 功能描述

通过周期性自检和实时状态监控，采用分级诊断机制（硬件层、协议层、应用层）检测传感器异常、通信链路中断等故障，通过接口（如 ARINC 429）将诊断结果反馈至控制平台。

9.4.3.2 输入与输出

输入：包括触发信号（自检指令、周期信号、系统事件）、实时采集的传感器数据、环境参数等。

输出：终端健康状态报告、终端自检结果。

9.4.3.3 技术要求

技术要求应包括：

- a) 硬件诊断支持传感器短路/开路检测；
- b) 支持 ARINC 429/MIL-STD-1553 通信链路完整性校验；
- c) 自检过程总耗时小于最大时延要求；

d) 支持故障隔离与降级运行，如主传感器故障时，自动切换备用传感器。

9.4.4 适配多种测试场景的结构与接口配置

9.4.4.1 功能描述

采用模块化架构设计，通过可重构接口系统实现多场景适配，支持物理接口动态配置、协议智能识别、环境适配扩展。

9.4.4.2 输入与输出

输入：包括接收下发的场景配置指令、接口参数配置、传感器状态信号、传感器数据等。

输出：接口配置反馈（包括识别码、协议握手结果）、自检报告（信号完整性测试、误码率等）、异常反馈（如阻抗失配、电压异常）。

9.4.4.3 技术要求

技术要求应包括：

- a) 接口支持防误插设计，支持热插拔操作；
- b) 接口支持电气、光纤、射频等多种传输介质的即插即用；
- c) 接口兼容不同航空接口的自动识别；
- d) 接口具备拓扑感知能力，自动检测接口类型、信号参数及连接状态，确保测试系统与被测终端间的物理层兼容性；
- e) 接口支持批量接口参数预装，配置自动识别响应时间。

附 录 A

（规范性）

测试脚本编写规范

A. 1 脚本文件格式

- A. 1. 1 每个测试用例存储为一个扩展名为 “`.script`” 的测试脚本文件。
- A. 1. 2 一个自动化测试过程可包含单个测试脚本，或多个测试脚本组合的顺序执行。

A. 2 指令分类与参数编辑

- A. 2. 1 测试指令分为简单指令（不可添加子指令）和复合指令（可包含子指令）。
- A. 2. 2 不同指令需填写不同指令参数，指令编辑器中可编辑参数列头字体为蓝色，不可编辑参数列头字体为灰色。

A. 3 指令参数说明

测试脚本指令参数应符合表 A.1 要求。

表 A. 1 指令参数说明

序号	参数名称	参数说明	用例说明
1	所属系统	测试指令所属的系统名称。	
2	层次	编辑器采用树状结构展示指令的层次结构，不能编辑。	
3	指令名称	测试指令名称，如： <code>write</code> 表示向实时网写入数据； <code>read</code> 表示从实时网读取数据； <code>wait</code> 表示等时命令； <code>if endif</code> 表示条件指令； <code>until</code> 表示循环指令等。	复合指令是由单一指令的组合而成。
4	名称	该属性为复用参数，对于 <code>write</code> 和 <code>read</code> 指令，该参数为信号名称；对于 <code>wait</code> 、 <code>if-then-else</code> 、 <code>block</code> 等指令，该参数为说明性文字。	
5	实时网地址	该列为复用列，对于不同的指令具体含义不同。对于读写指令表示实时网地址。	
6	数据类型	表示指令读写数据的类型。	例如： <code>uint</code> 、 <code>float</code> 或 <code>double</code> 。
7	LSB 开始时间	对于 <code>write</code> 和 <code>read</code> 指令表示数据的起始位置，对于 <code>block</code> 指令表示指令内容开始执行时间（相对于测试开始时间）。	
8	MSB 结束时间	对于 <code>write</code> 和 <code>read</code> 指令表示数据的截至位置，对于 <code>block</code> 指令表示指令内容结束执行时间（相对于测试开始时间）。	
9	数值 时长/延时	读写指令的数据值，循环或等时指令的延时周期。	字符串类型数据。

表 A.1 指令参数说明（续）

序号	参数名称	参数说明	用例说明
10	数据描述	备注性信息	
11	物理下限	与物理上限、整数范围一起用于浮点数与 UINT 类型的数值转换。	浮点数。
12	物理上限	同上。	
13	整数范围	同上。	65535、255 等。
14	期望值	读取数据的期望值，与误差下限、误差上限一起用于测试结论的评判。	1。
15	误差下限	同上。	-0.01。
16	误差上限	同上。	+0.01。
17	标识码	表示一行指令的编号，用于存储临时数据。	
18	转码格式	转码格式包括：1394 码和原码，根据 ICD 数据自动关联，无需手动修改。	1394 码需要进行大小端转换操作。

A.4 时间块指令编写

按规定时间（或时间周期）执行的脚本，需将同一时间块内执行的指令集放在一个 **block** 块下。

附 录 B

（资料性）

航空常用总线协议

B.1 MIL-STD-1553

B.1.1 协议概述

MIL-STD-1553 是一种用于航空航天和国防领域的指令/响应型数据总线协议。其核心特点是采用集中控制，由一个总线控制器（BC）作为唯一主站来调度所有通信。协议具备双冗余总线设计和强大的错误检测与重传机制，确保了极高的可靠性和实时性，广泛应用于战斗机、航天器等关键任务系统。

B.1.2 关键技术参数

MIL-STD-1553 的关键技术参数如表 B.1 所示。

表 B.1 MIL-STD-1553 关键技术参数

序号	参数类别	参数说明
1	拓扑与速率	线性总线，传输速率为 1 Mbps。
2	终端类型	BC（总线控制器）：唯一主机； RT（远程终端）：最多 31 个从机； MT（总线监视器）：监听器。
3	消息与字结构	由命令字、数据字（16 位有效数据）、状态字构成，每个字均为 20 位（含同步头和奇偶位）。
4	可靠性	双冗余总线、曼彻斯特码、奇偶校验、状态字反馈与重传机制。

B.2 ARINC 429

B.2.1 协议概述

ARINC 429 是民航领域中最常用的单向广播式数据总线标准。它采用点对点或一点对多点的拓扑结构，数据传输方向是固定的。协议定义了独特的双极归零码差分信号，支持两种传输速率（100kbps 和 12.5kbps）。由于其协议简单、技术成熟且可靠性高，被广泛应用于波音和空客等多种民航客机的航电系统之间。

B.2.2 关键技术参数

ARINC 429 的关键技术参数如表 B.2 所示。

表 B.2 ARINC 429 关键技术参数

序号	参数类别	参数说明
1	核心机制	单向广播，点对点或一点对多点（最多 20 个接收器）。

表 B. 2 ARINC 429 关键技术参数（续）

序号	参数类别	参数说明
2	传输速率	12.5 kbps (低速) 或 100 kbps (高速)，同一总线速率固定。
3	电气特性	差分信号，双极归零码， 高电平：+5V ~ +13V，低电平：-5V ~ -13V，零电平：-2.5V ~ +2.5V。
4	字结构	每个字 32 位，包含标号、源/目的标识、数据组、符号状态位、奇偶校验位。
5	数据编码	支持 BCD 码 和 BNR 码。
6	同步方式	字间至少有 4 位零电平间隔 作为同步基准。

B. 3 CAN

B. 3. 1 协议概述

CAN（控制器局域网）是一种广泛应用于工业控制领域的多主串行通信协议。其特点是采用非破坏性位仲裁机制，能根据报文 ID 自动决定发送优先级，无需中央控制器。CAN 总线具有实时性、错误检测与容错能力，适合在电磁环境复杂的场合中连接各种控制单元（如发动机、ABS 等）。

B. 3. 2 关键技术参数

CAN 的关键技术参数如表 B.3 所示。

表 B. 3 CAN 关键技术参数

序号	参数类别	参数说明
1	拓扑与速率	总线型拓扑；速率最高 1Mbps (40 米内)，最远达 10km (速率 5kbps 以下)。
2	物理层特性	差分信号 (CAN_High & CAN_Low)，显性电平 (逻辑 0) 与隐性电平 (逻辑 1)。
3	帧类型	数据帧、远程帧、错误帧、过载帧。
4	标识符	标准帧为 11 位，扩展帧为 29 位，定义报文优先级；ID 值越小，优先级越高。

B. 4 1394b

B. 4. 1 协议概述

1394b，通常被称为 FireWire 800，是 IEEE 1394-1995 和 1394a 标准的重大升级和扩展版本。它的核心目标是更高的速度、更长的距离和更好的可靠性。1394b 协议的高速性应用于专业音视频设备，例如视频采集卡、外部存储阵列等。1394b 协议的长距离和高可靠性使其适用于工业自动化和测试测量设备。

B. 4. 2 关键技术参数

1394b 协议包信号的显示表格可按照发送端、接收端、信号名称排序。包信号的属性信息如表 B.4 所示。

表 B. 4 1394B 包信号属性

序号	属性名称	属性说明
1	信号编号	信号表关键字，是按照规则生成整数。
2	信号名称	最大长度 50 个字，该字段不允许为空。
3	消息编号	十六进制的字符串，是 1394 包消息的唯一标识， 通常 B 通道值=A 通道值+0x4000,C 通道值=A 通道值+0x8000,D 通道值=A 通道值+0xC000， 但在 ICD 编辑时只需要存储 A 通道值。 该属性为空时，采用红色背景提示用户。
4	消息长度	包括包头信息的字节数，只能输入数字。 该属性为空时，采用红色背景提示用户。
5	发送偏移	消息发送时间偏移，单位时 us，只能输入数字。 该属性为空时，采用红色背景提示用户。
6	STOF 标识	枚举量 T：是,F:否，默认： F。不允许空。
7	消息类型	枚举量：事件/周期,默认周期。不允许空。
8	A 通道	“√”表示通道有效，“□”表示通道无效。
9	B 通道	“√”表示通道有效，“□”表示通道无效。
10	C 通道	“√”表示通道有效，“□”表示通道无效。
11	D 通道	“√”表示通道有效，“□”表示通道无效。
12	发送端	下来框选择发送端名称，存储设备节点号（不是设备号），允许空。
13	接收端	下来框选择接收端名称，存储设备节点号，允许空。
14	所属系统	下来框选择分系统名称，存储分系统编号，允许空。
15	编码格式	枚举量： /1394 码/物理量/机器码； 默认： 空串，该字段允许位空，即物理量。
16	说明	最大长度 250 个字节，文本编辑。

1394b 协议信号的显示表格按照字节偏移、位段起始位排序，信号的属性信息如表 B.5 所示。

表 B. 5 1394b 信号属性

序号	属性名称	属性说明
1	信号编号	信号表关键字，是按照规则生成整数。
2	字节偏移	只能输入数字。不允许空。
3	起始位	只能输入数字。不允许空。
4	结束位	只能输入数字。不允许空。
5	信号名称	最大长度 50 个字，该字段不允许为空。

表 B.5 1394b 信号属性（续）

序号	属性名称	属性说明
6	数据类型	uint/int/float/double,默认位 uint。
7	数据单位	允许空。
8	默认值	允许空。
9	转换方式	Mode_LSB/Mode_MSB/Mode_VAL/地空协议/偏置运算，默认 LSB。
10	比例值	默认：1，不允许为空。
11	存储方式	绝对值/补码/高 16 位/低 16 位等。
12	转换关系	例如：1:有效；2：无效。 也可能是 2 进制或 16 表达形式，例如：01：有效;00:无效。 要求数据存储时，全部转换为半角编码。
13	数据范围	例如：0，10 或者 >= 100。要求数据存储时，全部转换为半角编码。
14	电压范围	例如：-10，10。要求数据存储时，全部转换为半角编码。
15	误差范围	-0.04，+0.05。要求数据存储时，全部转换为半角编码。
16	信号说明	无。