密级：

版本：A

北京旋极信息技术股份有限公司

PHM机载系统综合监控与处理样机

技术方案

**中国商用飞机有限责任公司文件**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 编制： |  |  |
| 校对： |  |  |
| 审核： |  |  |
| 标审： |  |  |
| 审定： |  |  |
| 审批： |  |  |
| 批准： |  |  |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **会签栏** | | | | | |
| 单位/部门 | 签名 | 单位/部门 | 签名 | 单位/部门 | 签名 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

更改记录

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 版本 | 更改说明 | 日期 |
|  |  |  |

目 录

[1 概述 1](#_Toc472091926)

[2 引用 1](#_Toc472091927)

[3 设计要求 1](#_Toc472091928)

[3.1 组成 1](#_Toc472091929)

[3.2 功能要求 1](#_Toc472091930)

[3.3 性能要求 2](#_Toc472091931)

[3.4 外部接口要求 2](#_Toc472091932)

[3.5 通用要求 3](#_Toc472091933)

[3.6 主要设备清单 4](#_Toc472091934)

[4 整体设计与架构 4](#_Toc472091935)

[4.1 需求分析 4](#_Toc472091936)

[4.2 组成与功能 4](#_Toc472091937)

[5 硬件设计方案 6](#_Toc472091938)

[5.1 综合监控与处理计算机 6](#_Toc472091939)

[5.2 人机显示控制终端 10](#_Toc472091940)

[5.3 电源 11](#_Toc472091941)

[5.4 工作台 12](#_Toc472091942)

[6 软件设计方案 13](#_Toc472091943)

[6.1 软件总体设计 13](#_Toc472091944)

[6.2 故障诊断功能 15](#_Toc472091945)

[6.2.1 故障诊断原理 16](#_Toc472091946)

[6.2.2 层叠故障故障消除原理 17](#_Toc472091947)

[6.2.3 故障诊断模型产生过程 20](#_Toc472091948)

[6.2.4 最近航段FDE故障 24](#_Toc472091949)

[6.2.5 现存FDE故障 29](#_Toc472091950)

[6.2.6 最近航段故障 31](#_Toc472091951)

[6.2.7 现存故障查询 35](#_Toc472091952)

[6.3 状态监控 39](#_Toc472091953)

[6.3.1 状态监控报告定义模块 39](#_Toc472091954)

[6.3.2 状态监控报告定义上传模块 40](#_Toc472091955)

[6.3.3 状态监控数据下载模块 40](#_Toc472091956)

[6.3.4 状态监控数据显示模块 41](#_Toc472091957)

[6.3.5 状态监控数据导出模块 41](#_Toc472091958)

[6.3.6 用户界面设计 41](#_Toc472091959)

[6.4 地面测试 46](#_Toc472091960)

[6.4.1 状态转换设计 47](#_Toc472091961)

[6.4.2 页面设计 49](#_Toc472091962)

[6.5 配置管理功能 54](#_Toc472091963)

[6.5.1 用户界面设计 54](#_Toc472091964)

[6.6 故障/参数内部模拟模块 56](#_Toc472091965)

[6.6.1 故障报告模拟 57](#_Toc472091966)

[6.6.2 状态监控数据模拟 57](#_Toc472091967)

[6.7 网络通讯模块 58](#_Toc472091968)

[6.8 故障诊断信息LDI加载模块 59](#_Toc472091969)

[6.9 超时与通讯错误处理 59](#_Toc472091972)

[6.9.1 错误处理原则 59](#_Toc472091973)

[6.9.2 错误处理方法 60](#_Toc472091974)

[6.9.3 容错性设计 60](#_Toc472091975)

# 概述

PHM机载系统综合监控与处理样机用于对各个成员系统仿真模块的故障报告和状态参数接收，进行整机级的故障综合和状态管理，监测飞机参数，生成维护信息，对FDE进行故障隔离，并且通过地面操作进行故障确认和故障隔离。

# 引用

《PHM机载系统综合监控与处理样机技术规格及要求》

ARINC 624-1 Design Guidance for Onboard Maintenance System

ARINC 604-1 Guidance for design and use of built-in test equipment

# 设计要求

## 组成

PHM机载系统综合监控与处理样机由1个综合监控与处理计算机和1个人机显示控制终端组成，综合监控与处理计算机采用ATR机箱和航空接插件，运行实时操作系统，人机显示控制终端采用触摸屏和彩色显示界面。

## 功能要求

1. 接收处理来自各个成员仿真系统的故障报告信息，能够对成员仿真系统之间的级联故障进行抑制和报告；
2. 生成各个故障报告的维护信息；
3. 具备维护信息与FDE的关联功能，以及对FDE-维护信息对的历史信息存储功能；
4. 具备对故障诊断信息数据库的加载和更新功能；
5. 能够实时计算飞行阶段，并发送给相关应用；
6. 完成对各个成员系统的LRU/LRM的软、硬件配置信息的请求、接收和存储功能；
7. 具备对各个成员仿真系统的状态参数的监控功能，按照报告指定的触发条件和采集设置对指定状态参数进行采集存储，生成对应的状态报告；
8. 应提供“当前航段FDE”故障的显示功能，包含当前航段的所有FDE-维护信息对，并按照飞行阶段筛选逻辑进行筛选显示；
9. 应提供“现存FDE”故障的显示功能，包含当前状态下的所有FDE-维护信息对；
10. 应提供“当前航段故障”的显示功能，包含当前航段的所有维护信息，并按照飞行阶段筛选逻辑进行筛选显示；
11. 应提供“现存故障”的显示功能，包含当前状态下的所有维护信息。
12. 应提供“故障历史记录”的显示功能，能够提供界面按照ATA章节或航段查询故障历史记录；
13. 应提供“飞机/系统状态监控”的显示功能，能够提供界面定定义状态监控报告的触发条件和逻辑组合，设置报告的采集参数，完成报告采集设置的定制工作；
14. 应提供“系统配置信息“的查询显示功能，可按照ATA章节号进行选择，成员系统仿真模块应按照规定的格式传送其硬件和软件的配置信息，包括硬件的部件号和软件版本号等。

## 性能要求

1. PHM机载系统综合监控与处理机的故障报告接收和处理能力为1s内不少于300个故障报告；
2. 故障诊断信息数据库支持的维护信息数量应不低于10000条；
3. 用户操作响应时间不大于500ms；

验收时使用内部模拟模块测试并演示故障报告接收和处理能力的性能指标，并且制作一个包含10000条以上的测试用故障诊断信息数据库进行加载运行，样机应能正常加载和运行。用户操作响应时间使用秒表和测试工具进行测试确认。

## 外部接口要求

PHM机载系统综合监控与处理样机的上位机为成员仿真系统，下位机为地面综合监控软件。

1. PHM机载系统综合监控与处理样机设备供应商须根据相关资料定义与上位机的故障报告通讯协议；
2. PHM机载系统综合监控与处理样机设备供应商须定义好各成员系统仿真模块的构型信息、通讯方式，以便能够演示构型管理功能；
3. PHM机载系统综合监控与处理样机设备供应商须根据各成员系统仿真模块的故障信息定义不少于10条FDE，开发EICAS信息发生器软件，定义好成员系统仿真系统、EICAS信息发生器软件、PHM机载系统综合监控与处理样机之间的通讯方式；
4. PHM机载系统综合监控与处理样机设备供应商须完成各成员系统仿真模块的参数信息定义，及参数传输的通讯接口；
5. PHM机载系统综合监控与处理样机设备供应商须定义好飞行阶段计算所需参数及计算逻辑，确立参数传输接口。
6. PHM机载系统中央模块开发承担方须预留与地面综合监控软件的接口，定义所需下传信息的通讯方式。
7. 显示控制接口在外部未提供仿真成员系统时，应显示样例数据对功能进行仿真显示和演示，样例数据应仿照实际机载系统的FDE、故障报告和维护信息、状态报告、地面测试和配置信息进行定义；

综合监控与处理计算机采用ATR机箱和航空接插件，需要具备的接口如下：

1. 28V电源接口；
2. AFDX接口；
3. 以太网接口；
4. 4路模拟输入输出接口；
5. 4路数字输入输出接口；

## 通用要求

1. 重量要求

＜12Kg

1. 体积要求

处理计算机尺寸不大于270x130x160mm

1. 环境适应性要求

需要提供相关环境试验报告

## 主要设备清单

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **序号** | **货物名称** | **数量** |
| 1 | 综合监控与处理计算机 | 1台 |
| 2 | 人机显示控制终端 | 1台 |
| 3 | 28V电源 | 1个 |
| 4 | 工作台 | 1套 |
| 5 | 综合监控与处理开发环境 | 1套 |

# 整体设计与架构

## 需求分析

总体来讲，本次拟研制的样机设备，主要可分为两个演示或工作阶段和场景：

1. 在仿真成员系统尚不具备时，独立显示或演示PHM机载系统的功能和显示界面。

2. 在仿真成员系统具备条件并按照对应协议进行改造和开发后，联合演示PHM机载系统的功能和显示界面和工作过程。

在这两个工作阶段下，综合监控与处理计算机的核心处理算法是相同的，只有外围接口的原始数据来源是不同的，前一阶段来自于内部仿真预设数据，后一阶段来自于外部仿真系统发送的网络数据。

在内部仿真预设数据工作模式下，本方案中所有由外部仿真成员系统实现的接口和功能由内部模拟模块实现，在本方案中每处功能项中不再详细分别说明。

从功能需求上看，原理样机对硬件的性能和指标无特殊要求，主流硬件即可满足需求，主要的工作量由软件进行实现，应加强对PHM机载系统功能及核心算法的仿真和模拟。

## 组成与功能

PHM机载系统综合监控与处理样机由1个综合监控与处理计算机和1个人机显示控制终端组成，综合监控与处理计算机采用ATR机箱和航空接插件，运行实时操作系统，人机显示控制终端采用液晶显示和按钮操控。

如下图所示为系统的组成图。

1. 综合监控与处理计算机：

* 功能定义：提供PHM机载系统综合监控和处理软件的运行和调试环境，运行各个功能软件模块，负责和所有的仿真成员系统进行通讯和连接，故障综合和状态管理，监测飞机参数，生成维护信息，对FDE进行故障隔离，并且通过地面操作进行故障确认和故障隔离。
* 实现途径：采用嵌入式硬件平台，集成PHM机载系统综合监控和处理功能软件的VxWorks5.5 操作系统，应用程序开发环境Tornado2.2。嵌入式计算机通过前面板航空插头使用以太网和仿真成员系统相连，在本次开发的后期，能实现与外围仿真系统使用AFDX通讯，扩展到使用AFDX总线和仿真外设进行连接。
* 设备硬件：市售主流嵌入式计算机，使用ATR加固机箱，外形和配色仿照民用航空机载设备形制，前面板安排航空插头。
* 设备软件：VxWorks5.5 操作系统、开发环境Tornado2.2、PHM机载综合监控和处理应用软件各一套。

1. 人机显示控制终端：

* 功能定义：为用户操作PHM机载系统提供一个集中式显示与操作交互界面，用于查看故障诊断结果和地面测试结果、以及状态监控报告定义和查看、系统配置查看等功能。
* 实现途径：采用嵌入式硬件平台，显示面积10.4寸，嵌入式计算机通过后部航空插头使用以太网/RS232总线和综合监控与处理计算机进行通讯。
* 设备硬件：定制显示器和控制按键及接口，外形尺寸和配色仿照民用航空机载设备形制。
* 设备软件：Windows操作系统、PHM机载综合监控和处理用户界面软件各一套。



图 1 PHM机载系统综合监控与处理样机总体结构图

# 硬件设计方案

## 综合监控与处理计算机

综合监控与处理计算机硬件部分模拟PHM机载计算机。采用cPCI架构，由处理器模块和总线通讯模块组成，各个模块之间由控制器模块进行统一管理，如下图所示，数据交互通过背板的cPCI总线进行，总线模块和下位/上位的地面数据中心或机载仿真成员系统形成总线通路，离散IO模块用于通过网络获取电气操作面板的信号转化真实的数字量的输入输出，处理器板自带以太网接口，项目后期可扩展ARINC664总线接口卡。



图 2 综合监控与处理计算机硬件结构

具体的选型如下：

cPCI嵌入式机箱，提供3U CPCI系统，带4个背板插槽和电源模块，具体特点如下：

1. 3U高度cPCI背板，带有1个系统插槽和3个外围卡插槽
2. 温度、电压和风扇监测LED指示灯
3. 热插拔散热风扇和过滤器



图 3 综合监控与处理计算机外形示意图

机箱采用封闭式1/2 ATR 加固式机箱，能适应强烈的振动冲击，面板的手提把手便于携带，底座各卡槽便于板卡与基座的固定与快速抽出。

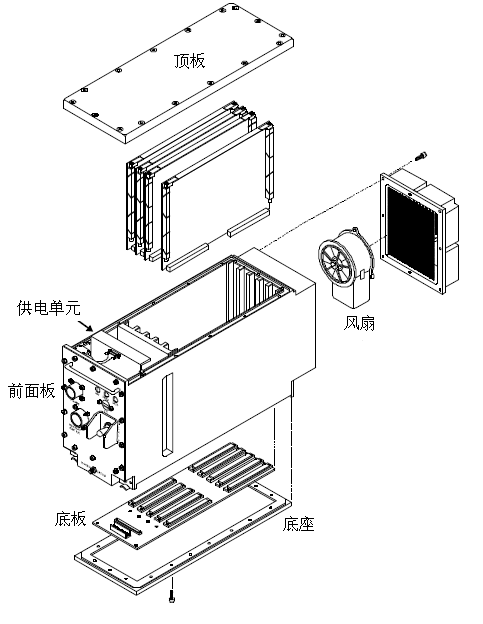


图 4 综合监控与处理计算机ATR机箱结构示意图

该机箱采用1/2 ATR结构设计，具有高级别的环境保护设计和散热性能。

前面板布局三套航空插头，1、电源使用；2、 信号通讯互连接口卡使用（包含数字/模拟输入,总线通讯连接）；3、 开发环境计算机调试和下载程序使用。前面板安装有手提把手，便于移动；LED灯用于指示机箱供电和工作状态；M5型接地端用于满足电磁兼容的需要。

CPCI扩展底板安装在机箱底座上，可以插接5个IEEE 1101.2 1992标准板卡，并为其调节直流供电分配。

板卡在机箱内部牢固卡紧，不仅保证了板卡的物理安全，也形成了良好的热接触；同时，机箱尾部的风扇，使冷空气经过热交换墙体吸入机箱内部，确保了优良的散热性能。

通过在机箱壳体为整体特种导热合金雕刻而成，极大地提高了该机箱的热力学、机械学与电磁兼容性能。



图 5 处理器模块示意图

本系统采用CPCI的处理器模块，采用Intel Core 2 Duo LV 1.5 GHz处理器，其性能指标如下：

* 2GB的插槽和系统带宽；
* 标准配置为2GB (1 x 4 GB DIMM) 单通道1600 MHz DDR3 RAM；
* 64GB flash非易失性存储器，可做程序存储器
* 2个以太网端口、4个USB 2.0端口、ExpressCard及其他外设；
* In-ROM内存和硬盘诊断；

如下图所示为所选离散IO模块CPCI-7432的外观示意图，具体参数如下：



图 6 离散IO与模拟输入输出接口卡示意图

* 3U CPCI版型
* 32路隔离数字输入和32路隔离数据输出、4路AD,DA
* 数字逻辑电平0~24V，无极性
* [输入阻抗2.4KΩ@0.5w](mailto:输入阻抗2.4KΩ@0.5w)
* 采样率100M
* 存储器容量256M.

## 人机显示控制终端

人机显示控制终端产品采用定制方式。信号及电源接口采用紧密型航空连接器插件，保证信号传输的稳定安全。宽温高亮的特性能适应各种恶劣复杂环境,12寸加固液晶显示器根据大多数用户需求设计的面板式安装方式，可使用触摸屏输入方式/键盘输入进行交互，无需额外的光标控制装置。



图 7 人机显示控制终端示意图

◆主体结构材料采用航空铝镁合金，表面导电氧化喷漆处理，结合面导电密封处理，外部配件均具备抗电磁干扰及防尘防水特性。

◆专业电连接器，设有1个电源接口，1个USB接口，1个网口。

◆12寸4:3 TFT LCD显示屏（配电磁屏蔽触摸屏），分辨率1024\*768

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | |  |
| 液晶屏参数 | 类型及分辨率 | 12寸4:3，1024\*768 |
| 视 角 | 80/80/70/80(左/右/上/下) |
| 对比度及亮度 | 600:1，450cd/m² |
| 点距及响应时间 | 0.0555\*0.1665，8ms |
| 背光寿命 | 80k小时 |
| 接口、按键、菜单 | 视频信号 | VGA、DVI、HDMI、AV信号传输（军用电连接器插件）(可选) |
| 电  压 | DC9V~36V宽电压输入（军用电连接器插件） |
| 菜 单 | 触摸屏输入，另外可选配数字键，或Menu、PgDn、PgUp、End、Power（菜单、增大、减小、确定、开关）薄膜键盘可选 |
| 环境规格 | 工作温度 | -20℃～+50℃/-40℃～+60℃(可选) |
| 储存温度 | -50℃～+70℃ |
| 相对湿度 | 95﹪无凝结 |
| 加固指标 | 防护等级 | IP65 |
| 振动指标 | 满足GJB150.16-86中相关要求 |
| 冲击指标 | 满足GJB150.18-86中相关要求 |
| 电磁兼容 | 满足GJB151A-97中相关要求 |
| 湿热指标 | 满足GJB322A-98中相关要求 |
| 盐雾指标 | 满足GJB150.11-86中相关要求 |
| 配置 | 透明可发光式防水按键 | 左右：各八键（自定义功能）  上下：各六键（预定义功能） |
| 其他 | 颜 色 | 黑无光、军绿、中绿灰、银白(客户自定义) |
| 外形尺寸 |  |
| 显示区域 |  |
| 功 耗 | ≤30W |

## 电源



图 8 大华DH1716直流电源

系统采用大华DH1716直流电源为综合监控与处理计算机样机进行供电。

DH1716大华中功率直流电源主要功能及特点：

◆单路高稳定度稳压稳流输出

◆电压、电流值同时数字显示

◆十圈电位器精细调节输出电压

◆无触点电子开关控制电压输出

◆可对输出电压、电流进行预置

◆有过压断电保护并可进行预置

◆智能风扇自动调节风量

◆过热断电自动保护

◆允许长期在0℃-40℃温度下满负荷工作

◆外取样输出可使远距离负载获得高稳定度电压

◆可串联（电压相加）或并联（电流相加）使用

◆可用外电压对本机的电压、电流输出进行远距离控制

◆可用外接电位器对本机的电压、电流输出进行远距离控制

◆ 通过A/D转换卡可用微机输出的电压、电流进行程控

## 工作台

为了便于操作和办公，提供配套的控制台，包括座椅，如下图所示：



图 9 操作台示意图

所选控制台具有如下特点：

* 控制台在设计上符合人体工程学参数，并以最大限度提高操作员的舒适度；
* 模块化的框架体系，可以创建不同的配置和可视化布局，在增减模块时不会影响控制台的结构完整性，使未来重建或改造更加容易；
* 采用全拼装式架构，使运输及安装更加简便，仅使用一把螺丝刀即可完成整个安装过程；
* 控制台每组可轻松容纳2个PC主机
* 控制台后部有通长的毛刷走线孔，桌面显示器数据线等由此进入控制台内部，在后台面的下部和控制台的地步均设有横向通长的离线槽，让每个电源线、数据线和地面的布线分开，另外可根据需要就近安装电源插座和多个信息点安装，合理的走线方式使整体线路布局整洁，美观。
* 利用气流交换的原理，分别在控制台前后门设计了散热孔、底部和前门上部预留了较大散热空间，充分保障设备安全高速运转。

# 软件设计方案

## 软件总体设计

PHM机载系统综合监控和处理软件采用模块化设计，并支持后续功能扩展。



图 10 软件结构示意图

如上图所示，PHM机载系统综合监控和处理软件由下列模块构成：

* AFDX通信模块：预留调用AFDX接口卡底层驱动能力，实现与仿真成员系统实时数据的通信；
* 网络通信模块：调用以太网接口卡底层驱动实现与仿真成员系统和地面系统的通信；
* 可加载诊断信息装载模块：读取可加载诊断信息并进行解析，装载到内存中供故障报告输入处理、故障诊断推理、故障报告综合、维护信息与驾驶舱效应关联、维护信息与驾驶舱效应存储、地面测试控制、状态参数监测与处理等模块调用；
* 故障报告输入处理模块：处理来自实物部件/系统及激励器系统的故障报告，包括有效性检查、状态判断和缓冲处理；
* 故障诊断推理模块：根据输入故障报告以及故障模型，调用推理机进行诊断，滤除关联故障，定位真实故障源；
* 故障报告综合模块：把源于同一故障的数个报告进行合并，生成系统级单一维护信息；
* 维护信息与驾驶舱效应关联模块：将维护信息及由其引发的驾驶舱效应进行关联，形成驾驶舱效应-维护信息对；
* 维护信息与驾驶舱效应存储模块：利用飞行阶段筛选策略，将维护信息及关联驾驶舱效应分类存储（当前航段驾驶舱效应、现存驾驶舱效应、当前航段故障、现存故障、历史故障），发送到人机接口模块进行显示处理；
* 地面测试控制模块：启动实物部件/系统地面测试，控制测试过程，处理测试结果；
* 配置信息处理模块：接收实物部件/系统软硬件配置信息，发送到人机接口模块进行显示处理；
* 软件加载控制模块：启动并控制软件加载仿真系统进行软件加载操作，处理异常结果；
* 状态参数监测与处理模块：根据预先定义的监控内容（包括监控参数、触发逻辑、采样点数、采样频率等），接收、记录激励器系统状态参数，生成监控报告；
* 航段与飞行阶段计算模块：模拟产生航段和飞行阶段，将航段、飞行阶段发送到维护信息与驾驶舱效应存储模块，作为故障存储的标识；
* 人机接口模块：人机界面生成、显示和处理，包括维护信息分类显示，地面测试对象选择，地面测试过程和结果显示，软件加载过程控制显示，触发条件定义，状态报告显示等。
* 航段及故障信息模拟模块：在未连接相关的外部仿真系统时，模拟产生预定义的航班信息、位置信息、飞行阶段信息、飞机ID、故障报告数据、状态报告数据，便于演示PHM机载系统功能和驱动地面系统的运行。



图 11 处理计算机软件组成结构

**应用软件**：提供与中央维护相关的功能，见下一章描述。

**平台软件**：为应用软件提供管理、运行平台，包括操作系统平台、扩展服务。

各部分的功能如下：

操作系统平台：操作系统选择VxWorks操作系统，实现对各模块上运行的应用软件的支持。

操作系统扩展服务：为应用软件提供所需要的扩展包，包括数据库管理支持、网络管理SNMP协议库等。

**开发环境**：为PHM机载系统软件提供开发和调试/交叉调试环境，以及现场软件调试功能。

## 故障诊断功能

故障诊断功能是指PHM机载系统根据仿真成员系统转发的故障信息基础上根据预先加载的特定诊断信息数据库LDI推理出FDE对应的故障源可能集合的功能。

故障诊断功能自动故障隔离功能由以下工作过程共同实现：

* + 各仿真成员系统在设计阶段实现规定的故障检测和故障报告功能；
  + 各仿真成员系统根据实际BITE实现细节提交对应的故障诊断信息数据LDI；
  + 运行时各仿真成员系统在模拟注入故障时，发送对应的FDE给EICAS系统，对应的故障报告发送给PHM机载系统；
  + PHM机载系统综合监控和处理样机的人机交互终端上选择对应的菜单，PHM机载系统从仿真成员系统中接收对应的故障信息，在PHM机载系统上进行分析，显示对应的故障原因和排故指南。



图 12 故障诊断显示界面示意图

### 故障诊断原理

机载故障诊断功能对于给定的一组维护信息（故障报告）按照可能的故障原因按发生概率大小进行排列。机载诊断功能是中央维护故障数据处理流程中“维护信息生成”模块的一部分，处理流程如下图所示：



图 13 故障信息处理流程

* 输入处理模块：处理各个系统输入的故障报告信息，鉴别故障报告的格式是否正确，故障报告是否为活动故障。
* 特殊事件屏蔽模块：去掉那些由于正常状态引起的故障报告，例如：飞机初始上电时，发动机启动时，去掉电源时，发动机关断时。以及暂时抑制指定系统的指定故障报告。
* 去除连锁效应模块：去掉和停止那些由于其他故障引起的连锁效应故障报告。
* 维护信息生成模块：将同一故障原因的故障报告综合成为单一的维护信息，最终在界面上显示和在内部存储。
* 维护信息与FDE关联模块：将维护信息和FDE进行关联，将维护信息与维护提示进行关联。
* 维护信息存储：将前述的维护信息关联对进行存储记录和显示。

### 层叠故障故障消除原理

机载系统BIT的主要问题是发生故障时同一故障原因往往引起多个系统多个设备的多个故障报告/故障现象（层叠故障或衍生故障），如果将这些故障报告同时显示在显示终端上，维护人员无法判断根源故障原因，往往会花费大量精力去更换和排除本身没有故障而是由于外部原因或上游系统导致故障的设备，导致无效修理和拆换等维护行为。

传统上此类系统使用逻辑方程或等式来解决层叠故障消除次生故障效应的问题，本项目中解决的方案是采用模型描述出所有系统/设备之间的上下游故障传递和关联影响关系，使用模型自动推导出系统中所有故障发生时会引发的故障报告/故障现象集合或图样，根据实际运行时接收到的多个故障报告集合与模型中的集合进行逐个比对，就能根据最匹配的那一项指定的故障原因来消除层叠故障，只显示根源故障，使维护人员能集中精力排除真正的故障原因。原理示意见下图：



图 15 基于模型的故障诊断示意图

#### 层叠故障消除示意



图 15 层叠故障实例

例如，设备冷却控制卡发出设备通风活门作动指令，通过629总线发送指令给P110配电箱，P110配电箱控制设备通风活门继电器输出电源给设备通风活门进行空气循环。

当上述系统各个部分发生故障时，系统可能分别发送对应的故障报告到中央维护系统：

* L SEC 1交流汇流条故障
* 设备通风活门控制继电器故障
* 设备通风活门故障
* P110供电管理箱故障

当由于P110供电管理箱故障导致不能正确控制继电器时，中央维护将接收到以下故障报告：

* 设备通风活门控制继电器故障
* 设备通风活门故障
* P110供电管理箱故障

其中“设备通风活门控制继电器故障”和“设备通风活门故障”是”P110供电管理箱故障”的层叠发生故障，将会根据故障消除逻辑进行消除。

当由于L SEC 1交流汇流条故障导致不能正确控制继电器时，中央维护将接收到以下故障报告：

* L SEC 1交流汇流条故障
* 设备通风活门控制继电器故障
* 设备通风活门故障

其中“设备通风活门控制继电器故障”和“设备通风活门故障”是” L SEC 1交流汇流条故障”的层叠发生故障，将会根据故障消除逻辑进行消除。

#### 故障合并方法示意



图 16 维护信息ADIRU总线接收故障合并示意图

以上图所示故障传播模型为例，当综合监控和处理样机接收到发生时间相近的4个故障故障报告，

* ADIRU接收不到左动压ADM数据
* ADIRU接收不到左静压ADM数据
* ADIRU接收不到左AIMS数据
* ADIRU接收不到左飞控计算机数据

通过查询模型的故障传递路径，可以将原有这4个故障报告对应的左动压探头、左静压探头、AIMS左系统和左飞控计算机排除在故障原因之外，只保留对应的ADIRU中对应的总线接收模块，从而合并成为新的维护信息“ADIRU总线接收故障”，实现故障的准确提示和定位。

### 故障诊断模型产生过程

根据模型推导出所有故障报告集合的过程是分步骤进行的，依次如下：

* 测试性建模及综合：得到故障传递路径关系
* 依存关系分析：得到所有故障-测试依存矩阵
* 中央维护信息综合：指定测试与故障报告之间的关系

我们使用公司自行研发的TADS测试建模工具对成员系统进行故障传递路径及故障报告关系建模，模型示意图如下：



图 17 多信号建模软件界面

多信号建模软件经过分析以后得到以下模型数据内容，再根据模型数据内容进行可达性分析得到依存矩阵：

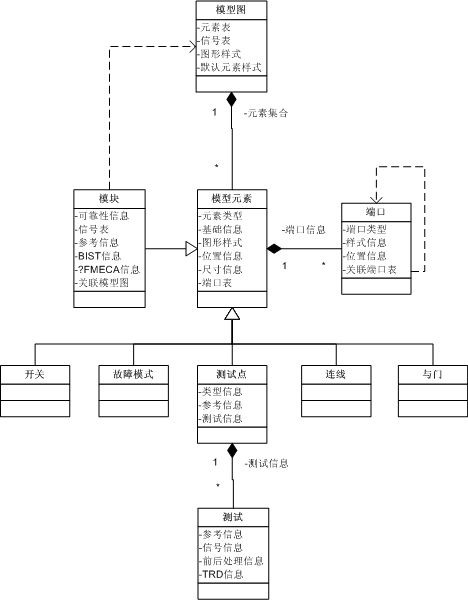


图 18 依存模型和诊断信息数据结构

模型中的数据内容结合依存矩阵经过整合形成诊断信息LDI文件，其中存储了所有故障分别发生时按照模型会对应产生的故障报告集合，实际运行时发生的故障报告集合和LDI中的进行比对和查找，即可得到根源故障对应的维护信息。

软件运行过程中，综合监控和处理样机接收到各个成员系统发送的故障报告，根据故障报告查询到模型中对应的测试项目，根据各个测试项目在D矩阵中查询到对应的故障原因，进行故障诊断工作。



图 19 基于模型的设计流程

LDI文件中存储了系统故障诊断的依据和关键信息文件，要生成最后的可装载数据库，需要对各个成员系统分别进行建模，提取故障传递关系和故障诊断关联关系，然后对各个系统提交的模型按照系统间的交联关系进行数据综合，形成全机的诊断关联数据，供给在线推理和诊断使用。

而故障数据处理模块又是机载PHM功能的一部分，故障数据处理和PHM机载系统综合监控与处理功能的关系见下图所示：

图 20 PHM机载系统综合监控与处理样机功能框图

### 最近航段FDE故障

最近航段FDE的主要功能是用来显示本次飞行过程中发生的与故障相关的FDE，用于在需要快速再次出动和过站短时维修情况下决定维护工作内容和排故方案，显示时按照FDE发生的时间进行排序显示，最后发生的FDE显示在页面列表的最上部。



图 16最近航段FDE软件流程图



图17最近航段FDE页面转换示意

#### 最近航段FDE页面设计

点击主显示界面中的“最近航段FDE”菜单项进入本功能，即显示“最近航段FDE页面”。

本页面显示的文本信息包括以下内容：

##### 页首信息

1. 页面标题；
2. 页面描述（描述页面的内容）；
3. 页面指导（操作帮助，简单描述如何界面上进行操作以得到更多信息）；
4. 飞机编号：
5. 航班编号：
6. 本次飞行起始时间和日期；
7. 本页面显示信息来源（左或右）；
8. 本架次发生的FDE-维护信息关联对数量。

##### FDE-维护信息关联对列表

**FDE**

FDE-维护信息关联对列表中对于每条FDE显示以下内容：

1. FDE代码；
2. FDE描述；
3. FDE级别；
4. FDE状态；
5. FDE发生的日期和时间。

**维护信息**

FDE-维护信息关联对列表中对于每条FDE关联的维护信息显示以下内容：

1. 维护信息编号；
2. 维护信息描述；
3. 维护信息状态；
4. 维护信息发生的飞行阶段。

列表信息如果由于数量的原因在一个页面上不能完全容纳时将使用滚动条或翻页的形式进行显示。

#### 维护信息详细内容查询

维护人员可以在显示页面上使用光标选定某个维护信息，点击“维护信息详细内容”按钮来显示该维护信息的详细数据页面，此维护信息详细数据页面显示的文本内容如下：

* 页面标题；
* 与之相关的FDE描述；
* 维护信息编号；
* 维护信息描述；
* 维护信息状态；
* 故障报告来源（故障检测源）；
* 故障类型（硬故障或间歇故障）；
* 故障发生次数（仅针对间歇故障）；
* 故障发生时的日期时间；
* 故障发生时的飞行阶段；
* 本故障是否在以前的航段中发生过；
* 可能的故障源列表（按故障发生概率进行排序）；
* 维护文档参考；
* 与该维护信息关联的其它FDE。

除了以上文本信息以外，“维护信息详细内容页面”上还应显示以下按钮：

* “返回”按钮；
* “下一条组内维护信息”按钮；
* “上一条组内维护信息”按钮；
* “本条维护信息故障历史”按钮。

“返回”按钮的作用是返回调用到本维护信息详细内容页面的那个显示页面上，一般是一个包含FDE-维护信息对列表的显示页面。

“下一条组内维护信息”按钮和“上一条组内维护信息”按钮只在当FDE同时对应多条维护信息的情况才出现或有效，当FDE只和单条维护信息对应时这两个按钮不出现或无效。当按下“下一条组内维护信息”按钮时，显示下一条维护信息的详细内容页面，页面内容与本页面一致。

“本条维护信息故障历史”按钮只有在本条维护信息曾经在本架次之前的历次飞行中出现过并且记录在历史信息中时才出现或有效，当本条维护信息在本架次之前的历次飞行未出现时按钮无效。当按下“本条维护信息故障历史”按钮时，显示“维护信息故障历史”页面。

#### 维护信息故障历史查询

如果“维护信息详细内容”页面中显示的维护信息曾经在过去的航段中发生过，那么该页面中会提供“本条维护信息故障历史”按钮，点击该按钮进入“维护信息故障历史”页面。

本页面应显示以下内容：

**页首信息**

* 页面标题；
* 页面描述（描述页面的内容）；
* 页面指导（操作帮助，简单描述如何界面上进行操作以得到更多信息）；
* 飞机编号；
* 当前日期和时间；
* 本页面显示信息来源（左或右）。

**单条维护信息历史**

* + 本条维护信息的代码；
  + 本条维护信息的描述；
  + 本条维护信息的历次发生情况列表：
  + 故障发生的历史航段号；
  + 故障发生的飞行阶段；
  + 故障发生的时间和日期；
  + 故障的类型（硬故障或间歇故障）；
  + 该航段中该故障发生次数（仅针对间歇故障）。

以上列表信息在一个页面上不能完全容纳时应使用滚动条或翻页的形式进行显示。

除了以上文本信息以外，单条“维护信息故障历史”页面上还应显示“返回”按钮， 点击“返回”按钮显示原有的维护信息详细内容页面。

### 现存FDE故障

现存FDE的主要功能是用来显示在地面维护阶段时飞机系统中仍然存在的FDE，用于在需要快速再次出动和过站短时维修的情况下决定维护工作内容和排故方案。

显示时应按照FDE发生的时间进行排序显示，最后发生的FDE显示在页面列表的最上部。

与最后航段的FDE显示相比，主要差别在于显示现存FDE页面时不显示当前不活动的FDE，只显示当前状态为活动的FDE。

本页面上不显示FDE发生的具体时间。

与本架次FDE信息不同的是，在接收到本功能数据命令以后，处理样机应从存储信息中筛选出当前状态为活动的FDE/维护信息关联对以及所有的故障报告，同时实时更新当前发送的故障状态。



图 18 现存FDE软件流程图



图 19现存FDE页面转换示意

点击主显示界面中的“现存FDE”菜单项进入本功能，即显示“现存FDE显示页面”。

本页面显示的文本信息应包括以下内容：

**页首信息**

* 页面标题；
* 页面描述（描述页面的内容）；
* 页面指导（操作帮助，简单描述如何界面上进行操作以得到更多信息）；
* 飞机编号；
* 当前日期和时间；
* 本页面显示信息来源（左或右）；
* 现存的FDE-维护信息关联对数量。

**FDE和维护信息关联对列表**

**FDE**

FDE-维护信息关联对列表中对于每条FDE应显示以下内容：

* FDE代码；
* FDE描述；
* FDE级别；
* FDE状态；

**维护信息**

FDE-维护信息关联对列表中对于每条FDE关联的维护信息应显示以下内容：

* 维护信息编号；
* 维护信息描述；
* 维护信息状态。

列表信息如果由于数量的原因在一个页面上不能完全容纳时应使用滚动条或翻页的形式进行显示。

除了以上文本信息以外，“现存FDE显示页面”上还应显示“维护信息详细内容”按钮。该按钮的作用是显示指定维护信息的详细内容。

#### 地面当前故障列表

地面当前故障列表功能列出系统中所有活动的维护信息列表，在接收到本功能数据命令以后，仿真成员系统应从存储信息中筛选出当前状态为活动的维护信息关联对以及所有的故障报告，同时实时更新当前发送的故障状态。

#### 故障信息搜索功能

故障信息搜索功能允许维护人员输入“维护信息编码”，“故障报告编码”，“维护信息文本”的部分文本内容或完整内容来快速搜索定位系统中相关的信息。

#### 需要仿真成员系统实现的功能和接口

仿真成员系统在此过程中应实现以下功能：

1. 通讯链路建立和维护
2. 故障信息筛选传输
3. 实时故障状态更新
4. 飞机信息传输

### 最近航段故障

最近航段故障页面转换如图所示。



图20 最近航段故障页面转换示意

最近航段故障主要功能是用来显示本次飞行过程中发生的故障，用于在隔夜维修和定期检查的情况下决定维护工作内容和排故方案。与“最近航段FDE”的显示差别主要在于，“最近航段故障”除了显示与FDE关联的故障信息以外，还显示那些不与任何FDE关联的维护信息，即全部的维护信息，以供维护人员在进行较彻底的维护。

#### 最近航段故障列表

点击主显示界面中的“最近航段故障”菜单项进入本功能，即显示“最近航段故障页面”。

“最近航段故障页面”与“最近航段FDE”的显示方式基本相同，只是在列表的最后附加那些不与任何FDE关联的维护信息，最近航段故障默认按照本方式显示页面。

显示顺序应按照FDE和维护信息发生的时间进行排序显示，最后发生的FDE和维护信息应显示在页面列表的最上部。

不与FDE关联的维护信息按发生时间顺序排列在关联列表的下面。

本页面显示的信息应包括以下内容：

**页首信息**

页面标题；

页面描述（描述页面的内容）；

页面指导（简单描述如何界面上进行操作得到进一步信息）；

飞机编号；

飞行编号（或任务编号）；

本次飞行起始时间和日期；

本页面显示信息来源（左或右）；

本架次发生的维护信息数量（FDE-维护信息关联对数量与未关联FDE的维护信息数量之和）。

**FDE和维护信息关联对列表**

**FDE**

FDE-维护信息关联对列表中对于每条FDE应显示以下内容：

FDE代码；

FDE描述；

FDE级别；

FDE状态；

FDE发生的日期和时间。

**维护信息**

关联维护信息组中显示与该FDE关联的每条维护信息的以下内容：

* + 维护信息代码；
  + 维护信息描述；
  + 维护信息的状态；
  + 维护信息发生的飞行阶段；
  + 维护信息发生的日期和时间。

未关联FDE维护信息列表中显示每条维护信息的以下内容：

* 每条维护信息的代码；
* 每条维护信息的描述；
* 每条维护信息的状态；
* 每条维护信息发生的飞行阶段；
* 每条维护信息发生的日期和时间。

列表信息如果由于数量的原因在一个页面上不能完全容纳时应使用滚动条或翻页的形式进行显示。

**按钮**

除了以上文本信息以外，本页面还应显示以下按钮：

“维护信息详细内容”按钮；

“指定系统故障”按钮；

“指定系统故障”按钮的作用是只显示指定分系统的故障。

#### 系统选择列表

在“主显示页面”上按下“指定系统故障”按钮后，在主显示页面的基础上弹出“系统选择”对话框。系统选择对话框覆盖显示在原有页面上。

“系统选择对话框”应以列表框的形式列出本架次中出现了维护信息的系统名称或标识，如果本架次出现了故障的系统数量多于列表框一屏所能显示的数量，应采用滚动条或翻页按钮的形式进行显示。对话框中应显示本架次出现过故障的系统的总数量。

列表框中的系统排列顺序应按照标准编码系统的编码顺序进行排列。

用户可以使用光标控制设备选择列表框中的某一系统，选中的系统以高亮或者反白的形式进行显示，点击对话框中的“继续”按钮进入“指定系统故障”页面，点击对话框中“放弃”按钮回到初始显示。在没有选择系统时，对话框中的“继续”按钮为灰色禁止状态，点击动作无效。

#### 指定系统故障列表

“指定系统故障”页面只显示该系统在最近航段所发生的故障维护信息，而不显示与之关联的FDE部分内容，以缩小显示范围和显示内容。维护人员需要使用主显示页面中的“指定系统故障”按钮通过“系统选择”对话框选择才能切换到本页面。

当选择按系统划分显示时，应首先弹出分系统章节号列表（只列出有故障的分系统章节号）。当维护人员从该对话框中选择某一分系统并点击“继续”按钮时，显示“指定系统故障”页面，本页面应显示以下文本内容：

**页首信息**

页面标题；

页面描述（描述页面的内容）；

页面指导（简单描述如何界面上进行操作得到进一步信息）；

飞机编号；

飞行编号（或任务编号）；

本次飞行起始时间和日期；

中央维护信息来源（左或右中央维护软件模块）；

信息数量（选定分系统中的维护信息总数）。

**维护信息列表**

选定分系统中维护信息列表，其中每条维护信息显示以下内容：

维护信息的代码；

维护信息的描述；

维护信息状态；

维护信息发生的飞行阶段；

维护信息发生的日期和时间。

以上信息在一个页面上不能完全容纳时应使用滚动条或翻页的形式进行显示。

**按钮**

除了以上文本信息以外，“指定系统故障”页面上还应显示以下按钮：

“维护信息详细内容”按钮；

“显示全部本架次故障”按钮；

“选择其它系统”按钮。

“维护信息详细内容”按钮的作用是显示指定维护信息的详细内容。

“显示全部本架次故障”按钮的作用是返回最近航段故障的“最近航段故障页面”。

“选择其它系统”按钮的作用是弹出“系统选择对话框”，选择另外一个系统的本架次故障进行显示。

### 现存故障查询

现存故障页面转换如下图所示。

图21 现存故障页面转换示意

现存故障主要显示本次飞行过程中发生的故障维护信息，用于隔夜维修和定期检查的情况下决定维护工作内容和排故方案，与最近航段故障的主要差别在于显示现存故障页面时不显示当前不活动的故障维护信息，只显示当前状态为活动的故障维护信息，

现存故障默认按照系统划分显示方式进行显示，维护人员也可以使用页面或系统选择对话框中的按钮切换显示方式为显示全部现存故障。

显示按照FDE和维护信息发生的时间进行排序显示，最后发生的FDE和维护信息显示在页面列表的上部。不与FDE发生关联的维护信息按发生时间排在列表的下部。

#### 现存故障列表

维护人员在弹出的“现存故障系统选择”对话框中（只列出有活动故障的分系统章节号）中选择了某一分系统时，对话框消失，进入“指定系统现存故障”显示页面。“指定系统现存故障”显示页面只显示该系统内发生的故障维护信息，而不显示与之相关的FDE部分内容，以缩小显示范围和显示内容。

本页面应显示以下内容：

**页首信息**

页面标题；

页面描述（描述页面的内容）；

页面指导（简单描述如何界面上进行操作得到进一步信息）；

飞机编号；

当前日期和时间；

中央维护信息来源（左或右中央维护软件模块）。

信息数量（选定分系统的维护信息总数）。

**维护信息列表**

维护信息列表中每条维护信息显示以下内容：

维护信息的代码；

维护信息的描述；

维护信息状态。

以上信息在一个页面上不能完全容纳时应使用滚动条或翻页的形式进行显示。

**按钮**

除了以上文本信息以外，“指定系统故障”页面上还应显示以下按钮

“维护信息详细内容”按钮；

“显示全部现存故障”按钮；

“选择其它系统”按钮。

“维护信息详细内容”按钮的作用是显示指定维护信息的详细内容。

“显示全部现存故障”按钮的作用是进入“全部现存故障显示页面”。

“选择其它系统”按钮的作用是弹出“系统选择对话框”，选择另外一个系统的现存故障进行显示。

#### 系统选择列表

点击主显示界面中的“现存故障”菜单项，弹出“系统选择”对话框。系统选择对话框覆盖显示在原有页面上。

“系统选择对话框”应以列表框的形式列出当前仍然活动的故障对应的系统名称或标识，如果当前故障对应的系统数量多于列表框一屏所能显示的数量，应采用滚动条或翻页按钮的形式进行显示。对话框中应显示具有当前故障的系统的数量。

列表框中的系统排列顺序应按照标准编码系统的编码顺序进行排列。

用户可以使用光标控制设备选择列表框中的某一系统，选中的系统以高亮或者反白的形式进行显示，点击对话框中的“继续”按钮关闭本对话框，显示“指定系统现存故障”页面，点击对话框中“放弃”按钮回到初始显示。在没有选择系统时，对话框中的“继续”按钮为灰色禁止状态，点击动作无效。

对话框中还具有“显示全部现存故障”按钮，点击后进入“全部现存故障”显示页面。

#### 指定系统故障列表

维护人员在弹出的“现存故障系统选择”对话框中（只列出有活动故障的分系统章节号）中选择了某一分系统时，对话框消失，进入“指定系统现存故障”显示页面。“指定系统现存故障”显示页面只显示该系统内发生的故障维护信息，而不显示与之相关的FDE部分内容，以缩小显示范围和显示内容。

本页面应显示以下内容：

**页首信息**

页面标题；

页面描述（描述页面的内容）；

页面指导（简单描述如何界面上进行操作得到进一步信息）；

飞机编号；

当前日期和时间；

中央维护信息来源（左或右中央维护软件模块）。

信息数量（选定分系统的维护信息总数）。

**维护信息列表**

维护信息列表中每条维护信息显示以下内容：

维护信息的代码；

维护信息的描述；

维护信息状态。

以上信息在一个页面上不能完全容纳时应使用滚动条或翻页的形式进行显示。

**按钮**

除了以上文本信息以外，“指定系统故障”页面上还应显示以下按钮

“维护信息详细内容”按钮；

“显示全部现存故障”按钮；

“选择其它系统”按钮。

“维护信息详细内容”按钮的作用是显示指定维护信息的详细内容。

“显示全部现存故障”按钮的作用是进入“全部现存故障显示页面”。

“选择其它系统”按钮的作用是弹出“系统选择对话框”，选择另外一个系统的现存故障进行显示。

## 状态监控

图 22 状态监控功能框图

### 状态监控报告定义模块

PHM机载系统综合监控和处理样机上提供用户界面可以定义对应的状态监控报告，定义状态监控报告模块不需要和综合监控与处理样机进行任何通讯链路，可离线进行。定义完成的状态监控报告以XML的形式存储在PHM机载系统本地，也可以直接从其他来源进行拷贝。

自定义报告是指哪些为了排故分析或者临时性监控目的而设置的报告，而这些报告由于未在预设报告中定义，所以需要维护人员在进行设置和操作来进行定义或者查看。

需要长期固定的监控内容应通过地面软件对状态监控系统的菜单和内容进行定义，定义完成后使用状态监控报告上传或地面软件加载的方式进行更新。

表 1自定义报告类型比较

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 触发条件定义 | 额外结果页面 | 采集容量 | 采集速率 | 参数数量 |
| 实时报告 | 无 | 无 | 当前值 | 无 | 无限制 |
| 临时报告 | 有 | 是 | 自定义 | 有 | 7个 |
| 快速报告 | 无 | 无 | 固定60个 | 有 | 7个 |

在临时报告定义页面中，维护人员可以定义以下内容：

1. 报告标题名称

报告标题名称为文本输入框，用于输入临时报告的标题名称。

1. 报告触发条件

报告触发条件是一组文本输入框和下拉选择框的组合，用于定义与一组特定状态参数条件表达式组成的一个逻辑表达式，但此逻辑表达式为真时，指定报告开始采集数据，采集数据中会同时包含触发时刻前后的数据。

条件表达式有以下类型：小于、大于、等于、小于等于、大于等于、不等于。维护人员可以使用条件表达式关联一个特定参数到达一定数值条件时的逻辑值。

逻辑表达式有以下类型：与和或。逻辑表达式可以用以表达一组参数条件的组合。

1. 采集速率和容量

用户可以选择临时报告所采集数据的速率和采集容量。

1. 快取存储选项

用于选择当触发条件满足时，对应报告生成后是否将报告存储到PHM机载系统中。

1. 采集参数设置

采集参数设置用来添加和编辑临时报告所需要监控的参数列表。

### 状态监控报告定义上传模块

状态监控报告定义上传模块负责将在PHM机载系统综合监控和处理样机上定义好的监控报告设置上传到仿真成员系统中，仿真成员系统接收到报告定义后，应按照指定的监控内容和条件进行采集。

在本方案中由于暂不与其它仿真成员系统相连，本模块实际通过应用程序接口API将监控报告设置信息传送到“故障信息内部模拟模块”，由“故障信息内部模拟模块”完成对应报告设置的存储。

### 状态监控数据下载模块

状态监控数据下载模块负责将综合监控与处理样机中指定的报告内容下载到PHM机载系统处理样机本地，仿真成员系统应向PHM机载系统发送当前存储器中的监控报告生成情况和状态，PHM机载系统综合监控和处理样机以列表的形式选择下载。

在本方案实施中由于暂不与其它仿真成员系统相连，本模块实际通过应用程序接口API从“故障信息内部模拟模块”获得状态监控模拟数据，完成对应信息的存储。

### 状态监控数据显示模块

状态监控数据显示下载模块负责将下载完成的状态监控报告按照预定的格式进行显示。

### 状态监控数据导出模块

状态监控数据导出显示下载模块负责将下载完成的状态监控报告按照预定的格式进行导出汇总到地面维护数据库中，供给集中监控和长期趋势分析。

### 用户界面设计



图 23 状态监控界面示意

以上显示页面为示意图，本项目实际显示将根据需要进行调整和修改。

#### 实时状态数据显示

实时状态数据页面主要为了排故的需要而查看一些特定参数的当前数值和状态。

**参数列表**

实时状态数据页面主要以参数列表的形式进行显示，表头为：

* 参数名称；
* 数据源LRU名称，位置（如果有的话）；
* 参数值；
* 工程单位。

点击“实时状态数据显示”菜单进入后，本列表初始状态为空，没有正在监控的参数。

**按钮**

除了“参数列表”以外，本页面具有以下5个按钮：

* 搜索/添加参数按钮

点击此按钮，弹出“参数搜索对话框”，用以添加希望监视的参数；

* 删除监控参数按钮

在表格中选择某一行参数，点击此按钮，即从监视列表中去掉此参数；

* 清除所有参数按钮

点击此按钮，从监视列表中去掉所有参数；

* 开始监控按钮

点击此按钮，表格中各个参数的数值按每秒一次的速率进行更新；

* 停止监控按钮

点击此按钮，表格中各个参数的数值停止更新，保持停止监控按钮按下时刻的数值不变。

#### 参数搜索列表

**参数搜索对话框**

参数搜索对话框提供状态监控数据库中所有的参数列表供给维护人员选择。对话框弹出后覆盖在原有的实时状态数据显示页面上，未覆盖部分显示原页面的内容。

对话框分为“参数列表”控件，“参数名称”编辑输入控件，和“数据源LRU名称”编辑输入控件和功能按钮等几个区域。

**参数列表**

“参数列表”占据对话框的主要区域，用以显示符合搜索条件的所有参数名称，刚进入此页面此列表为空（主要原因是全机所有参数列表过多，通过总线传输到显示控制终端或PMA可能耗时过多，导致每次对话框显示缓慢）。

参数列表的表头具有以下几列显示内容：

* 参数名称；
* 数据源名称；
* 速率/单位。

在“参数名称”编辑输入控件处输入需要搜索或添加的参数名称，可以使用“\*”或“？”作为通配符进行搜索。

在“数据源LRU名称”编辑输入控件处输入需要搜索或添加的参数的数据源LRU名称，可以使用“\*”或“？”作为通配符进行搜索。

**按钮**

除了以上控件以外，本对话框还具有以下4个按钮：

* 搜索参数按钮

点击此按钮，“参数列表”控件显示的内容根据维护人员在“参数名称”输入框和“数据源LRU名称”输入框的输入情况进行更新，显示符合输入条件的参数列表。列表返回时间较长时应显示等待光标或其它标记。

* 停止搜索按钮

点击此按钮，放弃当前正在进行的搜索。

* 添加参数按钮

先在“参数列表”控件中选择指定参数，然后点击此按钮，将指定参数添加到监控列表中。

* 确定按钮

点击此按钮，关闭当前对话框，显示原有页面，如果在对话框中执行了添加参数操作，则原有页面增加相应信号

#### 临时报告定义

点击“临时报告定义”菜单，进入“临时报告定义”页面。

**自定义内容**

在临时报告定义页面中，维护人员可以定义以下内容：

* 报告标题名称

报告标题名称为文本输入框，用于输入临时报告的标题名称。

* 报告触发条件

报告触发条件是一组文本输入框和下拉选择框的组合，用于定义与一组特定状态参数条件表达式组成的一个逻辑表达式，但此逻辑表达式为真时，指定报告开始采集数据，采集数据中会同时包含触发时刻前后的数据。

条件表达式有以下类型：小于、大于、等于、小于等于、大于等于、不等于。维护人员可以使用条件表达式关联一个特定参数到达一定数值条件时的逻辑值。

逻辑表达式有以下类型：与和或。逻辑表达式可以用以表达一组参数条件的组合。

* 采集速率和容量

用户可以选择临时报告所采集数据的速率和采集容量。

* 快取存储选项

用于选择当触发条件满足时，对应报告生成后是否将报告存储到PMA中。

* 采集参数设置

采集参数设置用来添加和编辑临时报告所需要监控的参数列表。

**按钮**

本页面还应包括以下按钮：

* 搜索参数按钮

点击“搜索参数按钮”，弹出“参数搜索对话框”，在“参数搜索对话框”中定义需要监控的参数。

* 删除参数按钮

在表格中选择某一行参数，点击此按钮，即从监视列表中去掉此参数。

* 监控使能准备按钮

定义好监控触发条件、采集速率和容量、参数列表之后，就可以点击“监控使能准备按钮”来使能监控，点击此按钮之后，本临时报告所定义的触发条件满足或发生的时刻就会自动按指定的速率和容量采集指定的参数列表，直到达到指定容量为止，采集数据结果中包含触发时刻前后的参数。没有使用“使能监控按钮”使能报告监控之前，即使指定触发条件发生，也不会进行数据采集。

* 解除监控准备按钮

对以进行使能的报告进行解除监控。

* 显示报告结果按钮

点击此按钮，进入临时报告结果页面。

* 清除报告设置按钮

点击此按钮，将本报告的监控触发条件、采集速率和容量、参数列表等定义内容都进行清除。

#### 临时报告显示

点击“临时报告结果”菜单后进入本页面显示。

“临时报告结果页面”以参数列表的形式进行显示，数据表头是各个监控参数的名称。表的每一行代表同一时刻这组监控参数各自的参数值。每一行的行号代表距离触发时刻的序号，触发时刻采集的一组数据行号为0，在此之前采集的数据行号为-1，再往前是-2，依此类推；在触发时刻发生之后采集的第一组数据行号位1，再往后是2，依此类推。

#### 快速报告定义

快速报告是指不需要定义触发条件的报告，与实时状态报告相比，快速报告提供了指定参数组的在一定时间内随时间变化的多个数值信息，而实时状态报告只显示当前值。

点击“快速报告定义”菜单项，进入“快速报告定义”页面。

**页面信息**

“快速报告定义”页面主要包含以下部分：

* 报告标题名称

报告标题名称为文本输入框，用于输入临时报告的标题名称。

* 采集速率

选择指定报告采集参数所使用的速率。

* 采集参数设置

采集参数设置用来添加和编辑临时报告所需要监控的参数列表。

* 报告结果显示列表

显示指定参数列表的一组60个参数数值。

**按钮**

本页面具有以下按钮：

* 搜索/添加参数按钮

点击此按钮，弹出“参数搜索对话框”，用以添加希望监视的参数。

* 删除监控参数按钮

在表格中选择某一行参数，点击此按钮，即从监视列表中去掉此参数。

* 清除所有参数按钮

点击此按钮，从监视列表中去掉所有参数。

* 开始监控按钮

点击此按钮，表格中各个参数的数值按指定的速率进行更新，直到采集到60组指定参数为止。

* 停止监控按钮

在60组数采集完成之前点击此按钮，表格中各个参数的数值停止采集。采集完60组数以后点击此按钮无效果。

#### 快速报告显示

点击“快速报告结果”菜单后进入本页面显示。

“快速报告结果页面”以参数列表的形式进行显示，数据表头是各个监控参数的名称。表的每一行代表同一时刻这组监控参数各自的参数值。每一行的行号代表距离触发时刻的序号，触发时刻采集的一组数据行号为0，在此之前采集的数据行号为-1，再往前是-2，依此类推；在触发时刻发生之后采集的第一组数据行号位1，再往后是2，依此类推。

## 地面测试

PHM机载系统综合监控和处理样机能通过人机交互终端启动成员系统的地面测试，并对测试过程进行管理和控制。

PHM机载系统综合监控和处理样机通过以太网总线向仿真成员系统发送测试命令，并接收成员系统的测试响应。仿真成员系统在这个过程中进行接收和发送数据协议的相互转换，同时监控地面测试使能开关的位置，判断是否允许PHM机载系统综合监控和处理样机进入地面测试准备状态，同时监控其它PHM机载系统综合监控和处理样机的地面测试状态，防止多个终端发出矛盾和无法并存的测试状态。



图 24地面测试软件流程

地面测试有三种类型：系统测试、操作测试和LRU更换测试。

### 状态转换设计

在地面测试过程中，PHM机载系统综合监控和处理样机应具备以下几种工作状态：

1. 准备状态；
2. 等待成员系统执行测试状态；
3. LRU测试运行状态；
4. 等待操作者响应状态；
5. 等待成员系统响应终止测试状态。



图 25地面测试过程PHM机载系统状态转换图

#### 正常状态

维护人员通过PHM机载系统综合监控和处理样机选择地面测试类型、被测系统后，PHM机载系统综合监控和处理样机进入地面测试“准备状态”，在此状态下PHM机载系统综合监控和处理样机等待维护人员地面测试。

#### 等待成员系统执行测试状态

维护人员启动地面测试后，PHM机载系统综合监控和处理样机应按照通信协议向成员系统发送“启动测试”消息，并进入“等待成员系统执行测试”状态。如果由于某种原因成员系统当前无法执行该测试，则应向仿真成员系统发送“测试禁止”消息，PHM机载系统综合监控和处理样机收到该消息后将回到“正常”状态，并显示该测试被禁止。

#### LRU测试运行状态

成员系统收到“启动测试”消息后如果可以执行测试，则启动成员系统BITE交互式测试功能，并向PHM机载系统综合监控和处理样机发送“测试运行”消息，使PHM机载系统综合监控和处理样机进入“成员系统测试运行”状态。

当成员系统测试运行过程中需要维护人员干预时，成员系统应按照通信协议向PHM机载系统综合监控和处理样机发送“测试显示”消息，PHM机载系统综合监控和处理样机显示指定页面并进入“等待操作者响应”状态。

成员系统BITE交互式测试完成后向PHM机载系统综合监控和处理样机发送“测试完成”消息，PHM机载系统综合监控和处理样机回到“正常”状态，并显示测试结论。

当维护人员终止测试运行时，PHM机载系统综合监控和处理样机应向成员系统发送“终止测试”消息，PHM机载系统综合监控和处理样机进入“等待成员系统响应终止测试”状态。

#### 等待操作者响应状态

该状态下PHM机载系统综合监控和处理样机显示成员系统指定的信息页面，并等待操作者完成操作后选择继续或终止测试。

操作者选择继续测试时，PHM机载系统综合监控和处理样机向成员系统发送“继续测试”消息，PHM机载系统综合监控和处理样机返回“成员系统测试运行”状态。

操作者选择终止测试时，PHM机载系统综合监控和处理样机向成员系统发送“终止测试”消息，PHM机载系统综合监控和处理样机进入“等待成员系统响应终止测试”状态。

#### 等待成员系统响应终止测试状态

该状态下如收到成员系统发送的“测试终止”消息，PHM机载系统综合监控和处理样机返回“正常”状态。

如收到“测试显示”消息，则PHM机载系统综合监控和处理样机显示“确认终止页面”或“拒绝终止页面”，并进入“等待操作者响应”状态。

#### 需要仿真成员系统实现的功能和接口

仿真成员系统在此过程中应实现以下功能：

1. 通讯链路建立和维护
2. 飞机地面测试使能开关状态判定
3. 其他MAT/PHM机载系统工作状态与通讯链路状态判断
4. 其他禁止与干涉条件的判断
5. 地面测试命令与响应转发

### 页面设计

#### 成员系统选择

在主显示界面上选择“地面测试”菜单以后，弹出“地面测试系统选择”对话框，系统选择对话框覆盖显示在显示内容上。对话框应提供以下显示内容：

* 成员系统选择列表；
* 测试类型单选按钮；
* 测试项目列表；
* 继续按钮；
* 放弃按钮。

#### 测试类型选择

“成员系统选择列表”应以列表框的形式列出成员系统中实现了地面测试功能的所有成员系统的名称或标识，如果成员系统数量多于列表框一屏所能显示的数量，应采用滚动条或翻页按钮的形式进行显示。对话框中应显示支持地面测试的系统的总数量。

列表框中的系统排列顺序应按照标准编码系统的编码顺序进行排列。

用户可以使用光标控制设备选择列表框中的某一系统，选中的系统以高亮或者反白的形式进行显示。选择的系统将决定和影响“测试类型单选按钮”和“成员系统内LRU或功能列表”中的显示内容和数量。

“测试类型单选按钮”应以单选按钮的形式列出以下选项：

* 系统测试；
* 操作测试；
* LRU更换测试。

当操作人员在“成员系统选择列表”中改变或选择了特定成员系统后，根据该系统的实际实现，使能或禁止这三个单选按钮，使之符合系统所支持的地面测试类型。例如某系统只实现了系统测试，那么“系统”测试按钮使能，其它两个测试按钮则处于禁止状态无法按下或选中。新选择了特定成员系统时，测试类型选择中的所有按钮默认为未选择状态。测试类型选择为互斥选择，当选中某一测试类型时，其余测试类型自动显示为未选择状态。改变“测试类型”选择时，将决定和影响“测试项目列表”中的显示内容。

“测试项目列表” 应以列表框的形式列出指定成员系统中指定测试类型的所有测试项目，列表框中的内容以系统内部被测试的LRU名称或被测试的功能名称的形式给出地面测试的名称和内容。如果测试项目数量多于列表框一屏所能显示的数量，应采用滚动条或翻页按钮的形式进行显示。对话框中应显示该列表框中地面测试的总数量。未选择“成员系统选择列表”或未选择“测试类型”时；改变“测试类型”选择时，将决定和影响“测试项目列表”中的显示内容。用户可以使用光标控制设备选择列表框中的某一测试项目，选中的测试项目以高亮或者反白的形式进行显示。

当操作人员选择了“测试项目列表”中的某一测试项目后，点击对话框中的“继续”按钮关闭本对话框，弹出“测试项目描述”对话框。在没有选择测试项目时，对话框中的“继续”按钮为灰色禁止状态，点击动作无效。选择了某一项目后，“继续”按钮使能，可以点击。“测试项目描述对话框”显示要求见第6.4.2.3节描述。

点击对话框中“放弃”按钮回到初始显示。

#### 测试项目描述

在“地面测试系统选择对话框”中选择了测试项目并点击“继续”按钮后，弹出“测试项目描述”对话框。

本对话框应提供以下文本显示内容：

* 测试名称文本；
* 测试描述文本；
* 测试估计需要的时间；
* 测试影响文本；
* 测试的前提条件和设置文本；
* “继续”按钮；
* “返回”按钮。

**测试描述文本**

“测试描述”使用一段话简要描述测试的内容。

“测试估计需要的时间”描述通常条件下的一般状况该测试需要多长时间才能完成测试以得到测试结果。

“测试影响”描述测试执行过程中飞机外部能够观察到的由于测试带来的系统效应和部件动作。

“测试前提条件和设置”以条目和步骤的形式给出执行测试所需要的前提条件以及设置步骤。

上列内容都由成员系统预先设计并存储在综合监控与处理样机中的。

操作人员确认测试的内容和前提以后，点击“继续”按钮，关闭本对话框，显示“测试显示页面”。

“返回”按钮的作用是关闭本对话框，返回前一显示页面。

#### 测试过程显示

当操作者在“测试项目描述对话框”中点击“继续”按钮后，显示“测试显示页面”。“测试显示页面”为测试过程提供状态信息显示和控制功能。

“测试显示页面”应提供以下文本显示内容：

* 系统名称；
* 测试类型；
* 测试名称；
* 测试执行状态；
* 测试结果文本框；
* 测试控制按钮；
* “新测试项目”按钮；
* “维护信息数据”按钮（测试失败时才显示）。

**系统名称**

“系统名称”文本区显示先前选择的成员系统名称。

**测试类型**

“测试类型”文本区显示先前选择的测试类型。

**测试名称**

“测试名称”文本区显示先前选择的测试项目名称。

**测试执行状态**

“测试执行状态”显示测试过程所处的状态，为以下状态之一：

* 准备好；
* 测试被禁止；
* 测试运行中；
* 测试通过；
* 测试失败；
* 测试被终止。

当在“测试描述对话框”中点击“继续”按钮之后第一次显示“测试显示页面”时，测试执行状态为“准备好”或“测试被禁止”。

当在“测试显示页面”中通过测试控制按钮启动测试以后，根据测试进程可能的测试执行状态可能为“测试运行中”或“测试通过”或“测试失败”或“测试被终止”。

**测试控制**

“测试控制”按钮为单一按钮，根据测试状态的不同，该按钮显示为下列文本之一：

* 开始测试；
* 停止测试；
* 重新测试；
* 禁止原因。

**测试结果**

“测试结果”文本框提供测试状态的补充信息，根据测试状态的不同分别显示以下内容。

测试通过时简单显示测试通过信息；

当测试状态为“失败”时，显示与测试失败相关的维护信息，包括维护信息代码，状态和维护信息文本；

当测试状态为“停止”时，显示测试停止的原因（人工或自动）；

当测试状态为“测试被禁止”时显示，给出测试禁止的原因。

**维护信息数据**

“维护信息数据”按钮仅当测试状态为失败时才显示，点击以后显示与此次测试失败相关的维护信息的详细数据页面。

**新测试项目**

“新测试项目”按钮的作用是起始另外一个测试项目，点击“新测试项目”按钮将弹出“地面测试系统选择对话框”。

#### 测试禁止原因显示

如果测试的某项前提条件没有被满足，那么成员系统地面测试将禁止此测试，此时在“测试显示页面”中测试状态显示为“测试被禁止”状态，而且测试控制按钮显示为“显示禁止原因”。点击此按钮，弹出测试禁止对话框。

测试禁止对话框中应显示以下文本信息：

* 测试名称；
* 禁止原因文本；
* 返回按钮。

禁止原因文本应简明描述未满足测试前提的条件，该禁止原因文本由成员系统预先设计内容并存储在综合监控与处理样机中，由成员系统通过协议通知综合监控与处理样机进行显示。

点击“返回”按钮，关闭本对话框。显示“测试显示页面”。

#### 测试中止显示

在过程中点击“中止测试”按钮后，弹出 “测试终止”对话框，测试终止对话框应根据具体情况而定包含以下内容：

* 测试名称；
* 终止测试确认信息；
* 拒绝终止测试原因描述信息；
* 终止恢复设置步骤信息；
* “确认”按钮；
* “返回”按钮。

“终止测试确认信息”一般显示如下文本“是否确认终止当前测试？”。

如果由于测试步骤的原因不能在这一步进行终止，那么应显示“拒绝终止”的原因。

如果终止测试之前需要一系列的恢复设置工作，那么显示终止恢复设置步骤信息。

“确认”按钮按下后，对话框关闭，测试终止，“测试显示页面”显示测试状态为“测试终止”状态。如果由于测试步骤的原因不能在这一步进行终止，本对话框不显示“确认”按钮。

“返回”按钮按下后，对话框关闭，返回测试过程继续测试。

## 配置管理功能

### 用户界面设计

点击主显示界面中的“系统配置”菜单进入本功能，

综合监控与处理样机负责与多个维护接口之间维护、建立、断开通讯链路，综合监控与处理样机检查对应分系统的当前工作和连接状态（例如是否处于加载状态、测试状态等），以控制PHM机载系统是否能够进入对应的功能

PHM机载系统系统配置功能具有以下两个显示对话框或者页面：

1. 系统选择对话框；
2. 系统配置对话框。



图 26 配置信息界面示意图

#### 系统选择对话框

“系统选择对话框”应以列表框的形式列出所有支持系统配置显示功能的系统名称或标识，如果实际支持系统配置显示功能的系统数量多于列表框一屏所能显示的数量，应采用滚动条或翻页按钮的形式进行显示。对话框中应显示支持本功能的系统数量或实际显示页数。

列表框中的系统排列顺序应按照标准编码系统的编码顺序进行排列。

用户可以使用光标控制设备选择列表框中的某一系统，选中的系统以高亮或者反白的形式进行显示，点击对话框中的“继续”按钮进入“系统配置对话框”，点击对话框中“放弃”按钮回到初始显示。在没有选择系统时，对话框中的“继续”按钮为灰色禁止状态，点击动作无效。

#### 系统配置对话框

“系统配置对话框”应以列表框的形式列出指定系统中实际安装的LRU软硬件配置信息。

配置信息包括以下内容：

1. LRU/LRM设备名称或标识；
2. 硬件部件号（PN）；
3. 软件版本号（SN）；
4. 改装状态号、配置状态号或改版号（可选）；

如果指定系统中的所有LRU设备的配置信息多于列表框一屏所能显示的数量，应采用滚动条或翻页按钮的形式进行显示。对话框中应显示本系统中包含的设备数量或实际显示页数。

当无法获取指定系统中某个设备的配置信息数据时，应在列表框中该LRU设备名称或标识的对应位置显示无法获取到配置数据的原因或者状态。

## 故障/参数内部模拟模块

在本方案实施过程中，初期阶段未连接相关的外部仿真系统时，由本模块模拟产生预定义的航班信息、位置信息、飞行阶段信息、飞机ID、故障报告数据、状态报告数据，便于演示PHM机载系统功能和驱动地面系统的运行。

其中航班信息、位置信息和飞行阶段信息、飞机ID信息均按照固定的用户指定数据进行发送，监控与处理样机故障处理模块根据这些信息对故障数据进行筛选和存储。

故障报告数据和状态报告模拟主要是按照协议要求在上电或运行中模拟特定的故障发生和传递层叠关系向监控与处理样机发送故障报告和驾驶舱效应报告，故障报告发送流程见下图：



图 27 故障报告流程图

### 故障报告模拟

本方案中计划由内部模拟报告提供演示用的故障报告，故障报告总数不少于20条，实际演示时根据故障模拟的需求从以上报告中按照实际系统的连接和故障传递情况进行发送。故障报告系统拟从以下系统中进行选择和确定：

* 21章环控系统
* 23章通讯系统
* 24章电源系统
* 34章导航系统

### 状态监控数据模拟

本方案中计划由内部模拟报告提供发动机的启动监控报告，模拟发动机起动命令后的一定时间内的以下参数的状态变化：

* N1转速
* N2转速
* EGT排气温度
* FF燃油流量
* OIP油压
* OIT油温
* N1振动

## 网络通讯模块

网络通讯模块负责对输入故障报告进行有效性检查，以及缓冲存储。故障报告接收和处理能力为1s内不少于300个故障报告。

经过人机显示控制终端发送到综合监控与处理计算机，再经由计算机进行处理后发送回人机显示控制终端，这几个时间总的时间组成用户操作响应时间，不大于500ms；

通讯模块是把从网络总线上接收到的数据，与LDI中定义的详细数据综合，根据当前的状态以及一些诊断、推理规则进行筛选；数据通讯示意图见下图所示：



图 28 网络通讯模块

## 故障诊断信息LDI加载模块

综合监控与处理样机装载LDI文件时，按照之前介绍的LDI文件格式，读取各个类型数据；并把这些数据分类型存放的存储器中，以便之后的使用。把LDI文件中各个节点信息转换为CDefine\_XXX类对象，这些数据是关联数据、显示信息的基础。故障诊断信息数据库支持的维护信息数量应不低于10000条；



流程示意图见下图所示：



图 29 诊断信息加载模块

## 超时与通讯错误处理

系统必须具备良好的容错性，避免系统出现不可恢复的错误，造成数据采集的错误，以致整个测试结果出现错误。当系统出现故障时，应按照相应的故障处理原则进行处理，给出故障报告并提示用户解决，并尝试隔离此故障，避免整个测试系统的崩溃。

### 错误处理原则

当软件出现故障时提示相应的故障原因；

当软件出错后能够再启动；

软件具有备份数据的能力，当软件不能运行而必须重新安装时，可以不丢失以前的数据。

### 错误处理方法

当软件运行出现故障时，使用信息框显示出现故障的环节和原因，并对故障立即进行处理；

当软件运行出错时，根据错误的性质、程度以及所导致的对运行过程的影响，分别设置不同的程序入点，使软件能够再启动并正常工作；

在软件运行过程中，数据定节点进行备份保存，以保证数据不丢失；同时，在每次运行完毕退出系统时，对新增加或改变的数据信息以及系统的状态信息进行备份保存。

### 容错性设计

系统容错性设计主要包括操作界面的容错性设计、硬件控制的容错性设计和上层应用软件的容错性设计。

**人机界面的容错性设计**

操作界面的容错性设计要求操作界面的设计应能保证用户正确、可靠地使用系统，对用户输入不适当的请求应能给用户提出相应的提示，并阻止用户继续操作，以保证有关程序或数据的安全性。在做界面设计中，考虑界面的容错性是界面设计的一项基本原则。

**应用程序的容错性设计**

应用软件的容错性设计应保证在应用软件出现故障时，在尽量小的范围内发现故障，并进行故障处理。同时应保证在应用软件出现错误时受影响的应该仅是该次实验的数据，不能影响已经存盘的其它已处理完毕的有效数据。