

QJ

中华人民共和国航天行业标准

FL 1680

QJ 20674—2018

防空导弹制导控制系统半实物仿真 试验方法

Test method for air-defense missile guidance and control system
hardware-in-the-loop simulation

2018—01—18 发布

2018—05—01 实施

国家国防科技工业局 发布

目 次

前言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 试验目的.....	1
5 试验依据.....	2
6 试验要求.....	2
6.1 受试产品要求.....	2
6.2 参试设备要求.....	2
6.3 仿真软件要求.....	6
6.4 参试人员要求.....	7
6.5 环境要求.....	7
7 试验系统构成及项目.....	7
7.1 概述.....	7
7.2 独立回路半实物仿真试验.....	7
7.3 闭合回路半实物仿真试验.....	8
8 试验程序.....	11
8.1 试验流程.....	11
8.2 试验准备.....	13
8.3 试验实施.....	13
8.4 试验结束.....	15
9 试验数据处理与结果评定.....	15
9.1 试验数据处理.....	15
9.2 试验结果评定.....	15
10 试验报告.....	16

前 言

本标准由中国航天科技集团有限公司提出。

本标准由中国航天标准化研究所归口。

本标准起草单位：上海机电工程研究所。

本标准主要起草人：张 励、张 琰、冯晓晨、刘晓娟、袁晴晴、史 明、李艳红、曹倩倩。

防空导弹制导控制系统半实物仿真试验方法

1 范围

本标准规定了防空导弹制导控制系统半实物仿真的试验目的、试验依据、试验要求、试验系统构成及项目、试验程序、试验数据处理与结果评定、试验报告。

本标准适用于射频寻的制导、光学寻的制导、射频/光学复合寻的制导的防空导弹制导控制系统半实物仿真试验。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包含勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GJB 151A—1997 军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求

GJB 1696—1993 航天系统地面设施电磁兼容性和接地要求

GJB 2225.7—1994 地面电子对抗设备通用技术要求 电源供电要求

GJB 3588—1999 导弹控制系统术语

GJB 6935—2009 军用仿真术语

QJ 2281—1992 地（舰）空导弹半实物仿真试验规范

QJ 3289—2007 地空导弹射频寻的制导控制系统半实物仿真试验要求与方法

3 术语和定义

GJB 3588—1999、GJB 6935—2009、QJ 2281—1992 和 QJ 3289—2007 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

复合目标同轴度 composite target coaxiality

射频/光学复合目标出射中心电轴与光轴的偏差。

3.2

波束合成装置 beam combiner

用于将不同入射方向的射频和光学辐射波束合成为同波束合成装置轴同向出射波束的装置。

4 试验目的

导弹制导控制系统半实物仿真试验的目的的一般包括：

- a) 验证防空导弹制导控制系统设计方案；
- b) 验证稳定控制系统和制导控制系统的设计参数的正确性；
- c) 检验弹上受试产品工作的协调性和匹配性；

- d) 检验导弹飞行全过程的飞行控制品质；
- e) 检验导弹中末制导/复合制导的交班概率、制导控制精度；
- f) 为制导控制系统数学模型校核提供依据；
- g) 为制导控制系统的性能评定提供依据等。

5 试验依据

防空导弹制导控制系统半实物仿真试验的依据文件应签署完整。一般包括：

- a) 试验输入文件：一般形式为试验任务书或试验要求或试验大纲，由试验任务提出方负责编写，内容一般包括试验目的、依据文件、受试产品技术状态、试验条件、试验项目与内容、试验评定准则等；
- b) 试验过程文件：一般形式为试验细则或试验作业指导书，由试验任务实施方根据试验输入文件编写，内容一般包括试验目的、试验依据文件、试验人员岗位及职责、受试产品及参试设备清单、试验原理框图、设备连接图、试验准备内容、试验内容及方法、试验记录要求等；
- c) 试验用其他技术文件。

6 试验要求

6.1 受试产品要求

6.1.1 受试产品技术状态

受试产品技术状态应符合半实物仿真试验大纲相关要求，具备有效的质量证明文件。

6.1.2 受试产品选择

可根据试验要求和试验目的不同选择相应的弹上设备接入系统，不接入系统的弹上设备用弹上产品数学模型代替。受试产品选择共分为两种情况：

- a) 独立回路受试产品，接入独立回路半实物仿真系统的受试产品一般包括：惯性测量装置、弹上计算机、舵系统等；
- b) 闭合回路受试产品，接入闭合回路半实物仿真系统的受试产品一般包括：惯性测量装置、弹上计算机、舵系统、导引头等。

6.2 参试设备要求

6.2.1 参试设备组成及基本要求

6.2.1.1 参试设备组成

参试设备一般由仿真设备、辅助设备及仪器仪表等组成。

6.2.1.2 仿真设备组成与基本要求

仿真设备用于为仿真试验提供所需的物理效应仿真和数学仿真，应经专门检验测试满足试验要求。仿真设备组成根据试验项目不同可分为：

- a) 独立回路半实物仿真系统组成一般包括：仿真计算机系统、飞行模拟转台、负载力矩模拟器、数据采集系统等；
- b) 闭合回路半实物仿真系统组成一般包括：目标/干扰（环境）模拟系统、仿真计算机系统、飞行模拟转台、负载力矩模拟器、数据采集系统等，根据受试产品需要配备制冷供气装置。

6.2.1.3 辅助设备组成及基本要求

辅助设备一般由产品工装、产品加电测试设备、仿真电缆等组成。

6.2.1.4 仪器仪表组成及基本要求

仪器仪表一般由示波器、电源等标准设备组成。参试的辅助设备要求经过测试并满足试验要求。参试的仪器仪表应经过计量检验合格，具有合格证或准用证，并在有效期内。

6.2.2 仿真计算机系统要求

仿真计算机系统应能为半实物仿真系统提供软硬件运行平台和控制接口，完成半实物仿真试验数据采集、时序控制及模型解算，并通过信息交互与数据通讯实现对半实物仿真系统的实时控制及过程管理。仿真计算机系统要求包括：

- a) 应满足实时仿真要求，一般包括：具有实时仿真运行环境、实时仿真计算速度、实时数据通讯接口等；
- b) 应满足仿真系统的精度要求，一般包括：仿真计算精度、数据通讯接口传输数据精度等。

6.2.3 目标/干扰（环境）模拟系统要求

6.2.3.1 概述

目标/干扰（环境）模拟系统一般分为射频目标/干扰（环境）模拟系统、光学目标/干扰（环境）模拟系统和射频/光学目标/干扰（环境）模拟系统。射频目标/干扰（环境）模拟系统应能实现目标/干扰/背景的微波辐射特性和运动特性模拟；光学目标/干扰（环境）模拟系统应能实现目标/干扰/背景的光学辐射特性和运动特性模拟；射频/光学目标/干扰（环境）模拟系统一般由射频目标/干扰（环境）模拟系统、光学目标/干扰（环境）模拟系统和射频/光学波束合成装置组成，应能同时实现目标/干扰/背景的射频/光学辐射特性模拟与波束合成、运动特性模拟。

6.2.3.2 射频目标/干扰（环境）模拟系统要求

射频目标/干扰（环境）模拟系统应符合射频制导导引头工作方式和技术特点，满足射频导引头对目标（环境）模拟的要求，一般根据半实物仿真系统方案确定。其主要指标及要求包括：

- a) 工作频段：应覆盖被测产品射频工作波段；
- b) 模拟通道数：一般根据被测产品典型目标/干扰（环境）的形式和复杂度、综合考虑实现形式及能力确定；模拟通道数指标一般包括目标通道数、干扰通道数等；
- c) 目标特性：应根据被测产品典型目标射频特性要求、结合模拟目标实现形式确定；射频目标特性指标一般包括目标散射截面积、幅度起伏特性、角闪烁特性、面（体）目标的强散射点分布模型等；
- d) 干扰（环境）特性：应根据被测产品的干扰（环境）射频特性要求、结合模拟干扰（环境）实现形式确定；射频干扰/（环境）通道一般要求应能够受控模拟噪声干扰、欺骗式拖引干扰、地海杂波、箔条干扰等环境背景干扰；
- e) 功率动态范围：到达飞行模拟转台回转中心处最大功率一般应不小于被测产品对射频模拟信号最大功率增益要求，能量动态范围应不小于被测产品对射频模拟信号动态可控范围要求；
- f) 功率控制精度：应不大于被测产品对射频模拟信号功率控制误差要求；
- g) 信号调制形式：目标系统可产生信号调制形式应满足被测产品对射频模拟信号调制形式及范围要求，一般信号调制形式要求包括对目标/干扰（环境）信号延时、多普勒频移、功率调制等；

- h) 信号更新率：应高于被测产品对目标辐射特性更新率的要求；
- i) 极化形式：应满足被测产品工作的极化形式；
- j) 视场角范围：一般根据被测产品开环仿真、典型弹道仿真所需的射频目标视场角运动范围确定；
- k) 角位置分辨率：应小于被测产品的角分辨率要求，一般要求为高于被测产品的角分辨率 2 倍以上；
- l) 角位置更新率：应高于被测产品对目标/干扰运动特性更新率的要求；
- m) 时间延迟精度：一般应高于被测产品距离分辨率对应的延时要求；
- n) 相位控制精度：应不大于被测产品对射频模拟信号相位控制误差的要求。

6.2.3.3 光学目标/干扰（环境）模拟系统要求

光学目标/干扰（环境）模拟系统应符合光学制导导引头工作方式和技术特点，满足光学制导导引头对目标（环境）模拟的要求，一般根据半实物仿真系统方案确定。其主要指标及要求包括：

- a) 工作波段：应覆盖被测产品的光学工作波段；
- b) 模拟通道数：一般根据被测产品典型目标/干扰（环境）形式和复杂度、综合考虑实现形式及能力确定；模拟通道数指标一般包括成像通道数、点源目标通道数、点源干扰通道数等；
- c) 目标特性：应根据被测产品典型目标光学特性要求、结合模拟目标实现形式确定；目标特性指标一般包括形状、大小、出瞳处最大能量、能量动态范围、能量最大变化速度等；
- d) 干扰（环境）特性：应根据被测产品典型干扰（环境）光学特性要求、结合干扰（环境）实现形式确定；干扰（环境）特性指标一般包括干扰种类、干扰数量、干扰运动特性、干扰辐射特性等；
- e) 瞬时视场：应根据被测产品瞬时视场确定，一般要求为被测产品瞬时视场的 1.2 倍；
- f) 出瞳直径：应根据被测产品光学入瞳直径确定，一般要求为被测产品光学入瞳直径的 1.2 倍；
- g) 目标视线角范围：一般根据被测产品开环仿真、典型弹道仿真所需的光学目标视线角运动范围确定；
- h) 目标视线角位置精度：应根据被测产品的光轴指向精度和角分辨率要求确定，一般要求优于光轴指向精度；
- i) 目标视线角运动最大速度：应不小于被测产品的最大跟踪角速度要求；
- j) 目标视线角运动最小速度：应根据被测产品最小跟踪角速度要求确定，一般要求比被测产品最小跟踪角速度要求低一个数量级；
- k) 频率响应特性：应根据被测产品带宽确定，一般要求比被测产品带宽高 2 倍~3 倍。

6.2.3.4 射频/光学目标/干扰（环境）模拟系统要求

射频/光学目标/干扰（环境）模拟系统性能指标应符合射频/光学复合制导导引头工作方式和技术特点，满足射频/光学复合制导导引头所面临的目标（环境）模拟要求，一般根据半实物仿真系统方案确定。其主要指标及要求包括：

- a) 复合方式：应根据被测产品射频/光学复合方式确定；
- b) 复合目标同轴度：应根据被测产品指向精度要求确定；
- c) 射频/光学波束合成装置要求应根据被测产品射频/光学复合方式和半实物仿真系统方案，综合考虑实现形式及能力确定，射频/光学波束合成装置一般要求有效尺寸能够覆盖视线角运动范

围，且引入的功率衰减、相位偏差、形状畸变等在仿真系统允许的范围内，实现射频和光学辐射波束合成功能。射频/光学波束合成装置主要性能指标要求一般包括射频工作波段、光学工作波段、射频传输特性、光学传输特性等；

- d) 射频目标/干扰（环境）模拟系统相关要求见 6.2.3.2；
- e) 光学目标/干扰（环境）模拟系统相关要求见 6.2.3.3。

6.2.4 飞行模拟转台要求

飞行模拟转台应能模拟导弹在弹体坐标系下的俯仰、偏航、滚转姿态角运动。飞行模拟转台姿态角运动范围、角速度精度、频率特性、负载能力等应满足导弹制导控制半实物仿真试验方案的要求，主要性能包括结构特性、运动特性和电磁干扰特性等要求，可按 QJ 3289—2007 中 4.4.3 的规定。一般要求如下：

- a) 结构特性要求包括：
 - 1) 转台结构形式；
 - 2) 负载安装空间；
 - 3) 负载安装基准；
 - 4) 各轴之间的相交度；
 - 5) 各轴之间的垂直度。
- b) 运动特性要求包括：
 - 1) 转角范围、角位置精度；
 - 2) 最大角速度、最小角速度、角速度精度；
 - 3) 最大角加速度；
 - 4) 频率特性；
 - 5) 重复性；
 - 6) 分辨率。
- c) 电磁干扰特性要求包括：
 - 1) 台体材质；
 - 2) 台体形式；
 - 3) 吸波处理的适宜度；
 - 4) 负载安装区域的电磁场强度。
- d) 负载能力要求包括：
 - 1) 负载外形；
 - 2) 负载质量及重心；
 - 3) 负载转动惯量。

6.2.5 负载力矩模拟器要求

负载力矩模拟器应能模拟导弹在飞行过程中作用于导弹舵面的气动载荷。负载力矩模拟器要求应根据导弹的舵面负载来确定，可按照 QJ 2281—1992 中 6.4 的规定。一般包括：

- a) 最大角速度；
- b) 最大转角范围；

- c) 频率响应;
- d) 负载直径范围;
- e) 舵面等效转动惯量的可调范围;
- f) 力矩精度;
- g) 力矩分辨率;
- h) 力矩线性度。

6.2.6 制冷供气装置要求

制冷供气装置应能提供光学导引头正常工作所需的制冷供气条件,其主要指标一般包括制冷气体种类、制冷气压、露点、纯度、颗粒度等。

6.3 仿真软件要求

6.3.1 仿真软件组成

仿真软件一般由仿真模型软件、仿真控制软件和仿真管理软件组成。

6.3.2 仿真模型软件要求

仿真模型软件功能指标应满足仿真系统的模型仿真要求,根据半实物仿真系统方案确定,一般包括:

- a) 弹体运动及动力学模型;
- b) 目标运动模型;
- c) 导弹-目标相对运动模型;
- d) 射频/光学目标模型;
- e) 射频/光学干扰环境辐射模型;
- f) 误差源模型;
- g) 火控(发控)系统与导弹通信模型;
- h) 产品等效数学模型:导引头模型、舵系统模型等。

6.3.3 仿真控制软件要求

仿真控制软件应能实现半实物仿真系统的实时控制和时序控制功能,功能模块一般包括:实时调度管理模块,弹体动力学及运动学模型实时解算模块,数据实时通讯模块,信号接口模块,仿真设备实时控制模块等。仿真控制软件应符合半实物仿真的技术特点,满足仿真过程控制要求、实时性要求、时序控制要求,根据半实物仿真系统方案确定。其功能要求一般包括:

- a) 仿真试验的过程控制,包括试验的启动、运行、停止、复位和异常中断等;
- b) 仿真试验过程的实时控制,包括仿真过程中仿真帧时间管理、数据实时通讯、试验数据的高速并行处理等;
- c) 仿真时序控制,根据仿真工作流程进行仿真时序的实时调度等。

6.3.4 仿真管理软件要求

仿真管理软件应能实现仿真试验与试验数据管理功能,功能模块一般包括:人机交互模块、试验项目管理模块、试验流程管理模块、试验文档管理模块、试验数据管理模块及试验数据分析处理模块等。仿真管理软件性能指标应符合半实物仿真的技术特点,满足仿真系统的实时性要求和仿真过程管理要求。其性能指标一般包括:

- a) 仿真试验数据采集;

- b) 仿真过程实时监控；
- c) 仿真试验数据显示、记录、存储、处理及管理；
- d) 提供人机交互界面。

6.4 参试人员要求

所有试验岗位参试人员应持证上岗，特种设备操作人员应当按照国家有关规定经特种设备安全监督管理部门考核合格，取得国家统一格式的相应资格证书，方可从事相应的作业。

6.5 环境要求

仿真试验环境要求一般包括：

- a) 温度、相对湿度、洁净度等环境条件应满足受试产品和参试设备要求；
- b) 电磁环境按GJB 151A—1997中的相关规定执行；
- c) 各设备仪器、受试产品和参试设备的接地要求按GJB 1696—1993中的相关规定执行；
- d) 供电系统应满足受试产品和参试设备的用电要求，一般按GJB 2225.7—1994中的相关规定；
- e) 屏蔽暗室环境按QJ 2281—1992中7.2.1的规定。

7 试验系统构成及项目

7.1 概述

防空导弹制导控制系统半实物仿真试验包括独立回路半实物仿真试验和闭合回路半实物仿真试验，应根据具体试验项目搭建对应的试验系统。

7.2 独立回路半实物仿真试验

7.2.1 仿真试验系统构成及工作原理

典型的独立回路半实物仿真系统构成见图1，由仿真计算机系统、飞行模拟转台、负载力矩模拟器等组成。独立回路半实物仿真工作原理为：仿真计算机系统通过模型解算，驱动飞行模拟转台为惯性测量装置提供导弹飞行的姿态运动，驱动负载力矩模拟器为舵系统提供导弹飞行的负载力矩，采集惯性测量装置的角速度、角加速度输出按试验要求合成角速度、角加速度信息送给弹上计算机进行解算，采集舵系统反馈信号进入仿真计算机系统，实现半实物仿真系统闭环控制。

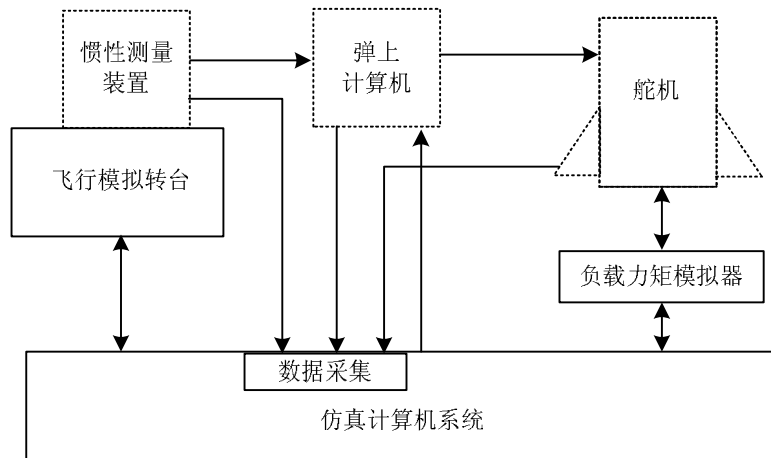


图1 独立回路半实物仿真系统构成示意图

7.2.2 仿真试验状态

独立回路半实物仿真试验状态分为：

- a) 仿真模型中不加误差模型，无参数拉偏状态下的典型控制指令弹道仿真；
- b) 仿真模型中加入不同误差模型，无参数拉偏状态下的典型控制指令弹道仿真，误差模型一般包括：飞行振动误差、雷达探测误差等注入性误差模型等；
- c) 仿真模型中不加误差模型，有参数拉偏状态下的典型控制指令弹道仿真，应依据任务书对拉偏参数范围及组合进行明确规定，并保证参试设备和受试产品安全，拉偏参数一般包括：气动参数、推力参数、质量和质心参数、舵系统参数等；
- d) 仿真模型中加入不同误差模型，有参数拉偏状态下的典型控制指令弹道仿真。应依据任务书对误差模型及拉偏参数范围及组合进行明确规定，并保证参试设备和受试产品安全。误差模型见 b)，拉偏参数见 c)。

7.2.3 仿真试验项目

独立回路半实物仿真试验项目依据仿真试验大纲制定，一般分为惯性导航系统半实物仿真、稳定控制系统半实物仿真及程控飞行试验半实物仿真，主要用于检验惯性导航系统设计、稳定控制系统设计、程控飞行试验设计的正确性和合理性，具体如表1所示。

表1 独立回路半实物仿真试验项目

序号	项目	目的
1	惯性导航系统半实物仿真	a) 检验惯性器件的静态零漂； b) 检验弹体摆动下陀螺和加表输出的准确性及导航姿态解算的精度； c) 检验在无误差和加入典型初始误差条件下陀螺和加表输出的准确性及导航姿态解算的精度
2	稳定控制系统半实物仿真	检验不同时间段不同过载指令下控制系统的稳定性
3	程控飞行试验半实物仿真	a) 检验弹上计算机指令形成的正确性； b) 检验不同程控指令下舵系统执行的正确性； c) 检验不同过载指令下弹体响应特性

7.3 闭合回路半实物仿真试验

7.3.1 闭合回路半实物仿真系统构成

7.3.1.1 射频制导闭合回路半实物仿真系统构成

射频制导闭合回路半实物仿真系统按照制导体制的不同分为主动寻的制导半实物仿真系统、半主动寻的制导半实物仿真系统和被动寻的制导半实物仿真系统。

- a) 典型的射频主动寻的制导闭合回路半实物仿真系统构成见图 2，一般由仿真计算机系统、飞行模拟转台、负载力矩模拟器、射频目标/干扰（环境）模拟系统等组成。仿真计算机系统、飞行模拟转台和负载力矩模拟器的工作原理同 7.2.1，射频目标/干扰（环境）模拟系统工作原理：从导引头引出主振信号作为射频信号产生系统的输入信号，经过延时处理、速度叠加、功率控制，并采用导引头脉冲基准信号进行波形调制，最终通过天线阵列空馈输出给导引头，实现射频主动目标/干扰（环境）信号的模拟。

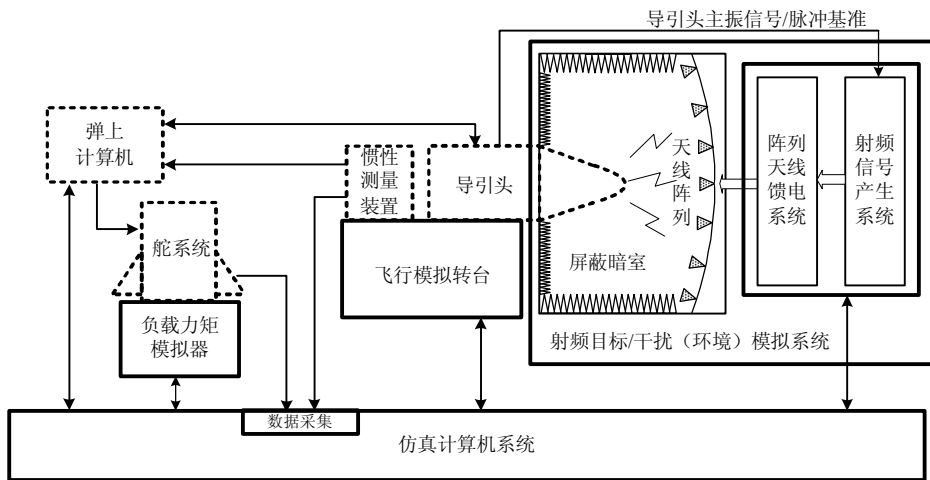


图 2 射频主动寻的制导闭合回路半实物仿真系统构成示意图

- b) 典型的射频半主动寻的制导闭合回路半实物仿真系统构成见图 3，一般由仿真计算机系统、飞行模拟转台、负载力矩模拟器、射频目标/干扰（环境）模拟系统等组成。仿真计算机系统、飞行模拟转台和负载力矩模拟器的工作原理同 7.2.1，射频目标/干扰（环境）模拟系统工作原理：射频信号产生系统产生直波照射信号通过线馈方式注入给导引头，同时产生目标/干扰（环境）信号通过天线阵列空馈输出给导引头，实现射频半主动目标信号的模拟。

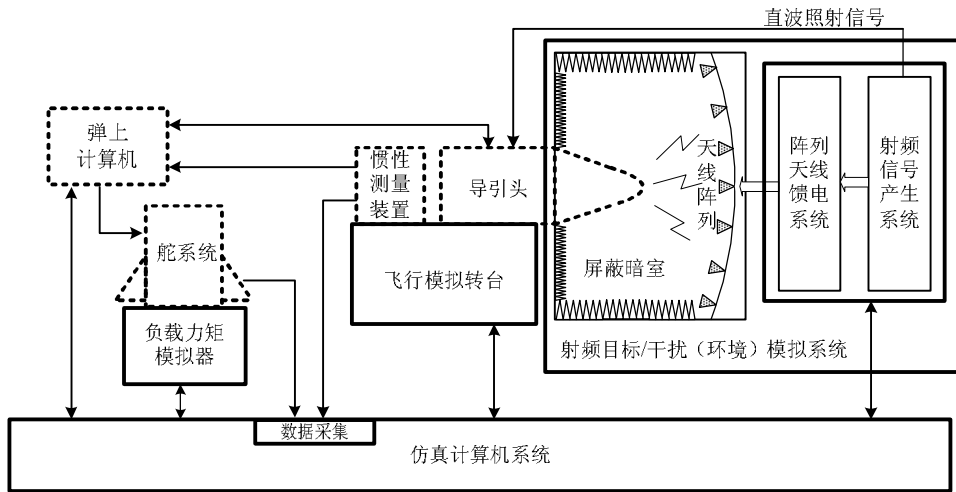


图 3 射频半主动寻的制导闭合回路半实物仿真系统构成示意图

- c) 典型的射频被动寻的制导闭合回路半实物仿真系统构成见图 4，一般由仿真计算机系统、飞行模拟转台、负载力矩模拟器、射频目标/干扰（环境）模拟系统等组成。仿真计算机系统、飞行模拟转台和负载力矩模拟器的工作原理同 7.2.1，射频目标/干扰（环境）模拟系统工作原理：射频信号产生系统直接产生目标干扰（环境）辐射信号通过天线阵列空馈输出给导引头，实现射频被动目标信号的模拟。

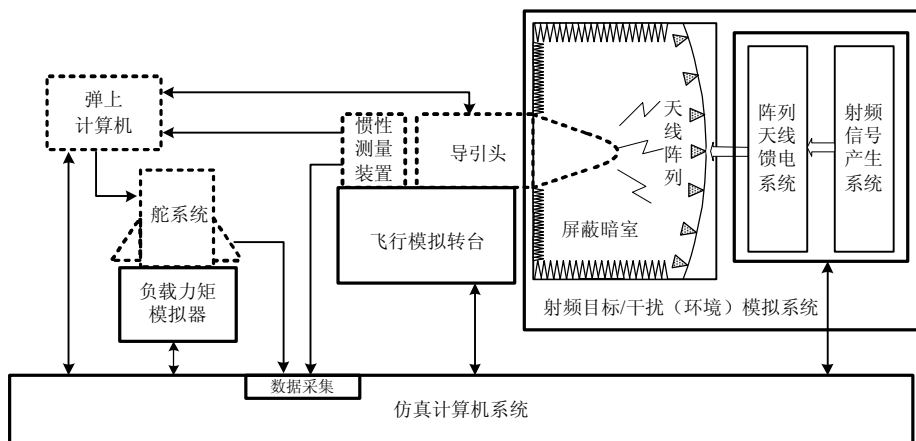


图4 射频被动寻的制导闭环回路半实物仿真系统构成示意图

7.3.1.2 光学制导闭环回路半实物仿真系统构成

典型的光学闭环回路半实物仿真系统构成如图 5 所示，一般由仿真计算机系统、飞行模拟转台、负载力矩模拟器、光学目标/干扰（环境）模拟系统等组成。光学目标/干扰（环境）模拟系统一般由光学目标模拟器和目标运动模拟转台组成。仿真计算机系统、飞行模拟转台和负载力矩模拟器的工作原理同 7.2.1，光学目标/干扰（环境）模拟系统工作原理：光学目标模拟器模拟目标/干扰/背景的光学辐射特性和瞬时视场内的运动，光学目标运动模拟转台模拟目标相对导弹的视线角运动。

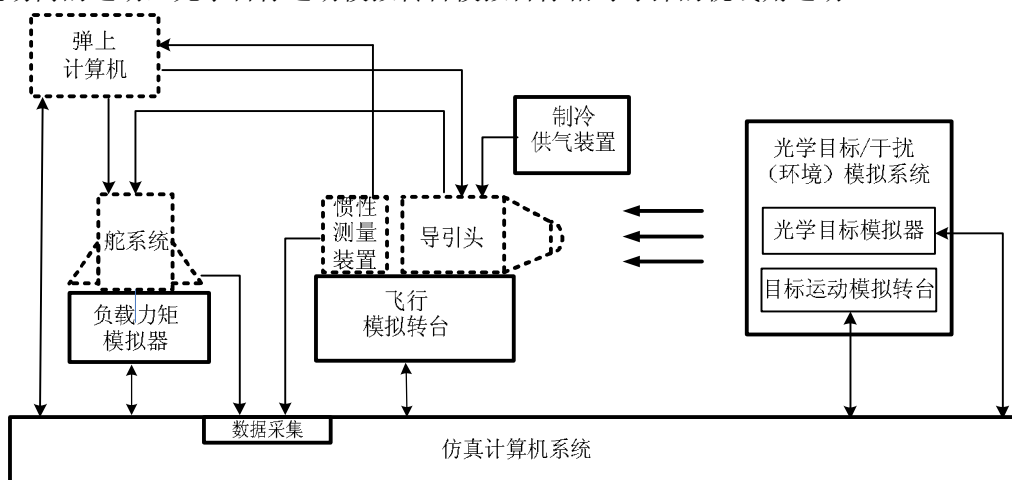


图 5 光学制导闭环回路半实物仿真系统构成示意图

7.3.1.3 射频/光学复合制导闭环回路半实物仿真系统构成

典型的射频/光学复合闭环回路半实物仿真系统构成如图 6 所示。一般由仿真计算机系统、飞行模拟转台、负载力矩模拟器、射频/光学目标/干扰（环境）模拟系统等组成。仿真计算机系统、飞行模拟转台和负载力矩模拟器的工作原理同 7.2.1，射频/光学目标/干扰（环境）模拟系统工作原理：射频目标/干扰（环境）模拟系统模拟目标/干扰/背景的射频辐射特性和运动特性，光学目标/干扰（环境）模拟系统模拟目标/干扰/背景的光学辐射特性和运动特性，波束合成装置实现射频辐射波束和光学辐射波束的合成。

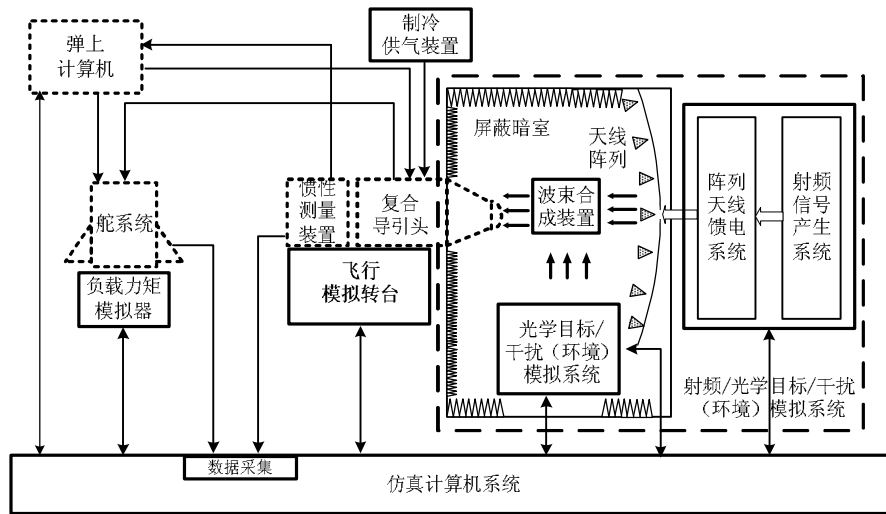


图 6 射频/光学复合制导闭合回路半实物仿真系统构成示意图

7.3.2 仿真试验状态

闭合回路半实物仿真试验状态一般分为：

- a) 仿真模型中不加误差模型，无参数拉偏状态下的典型控制指令弹道仿真；
- b) 仿真模型中加入各种不同误差模型，无参数拉偏状态下的典型控制指令弹道仿真，误差模型一般包括：射频目标的幅度起伏噪声、角闪烁，光学目标的能量起伏、光谱分布误差、末端几何形态误差等，惯性测量装置飞行振动条件下的误差等；
- c) 仿真模型中不加误差模型，有参数拉偏状态下的典型控制指令弹道仿真，拉偏参数一般包括：气动参数偏差、推力参数、质量和质心参数等；
- d) 仿真模型中加误差模型，有参数拉偏状态下的典型控制指令弹道仿真，应依据任务书对误差模型及拉偏参数范围及组合进行明确规定，并保证参试设备和受试产品安全，误差模型见 b)，拉偏参数见 c)；
- d) 干扰状态下的典型飞行弹道仿真，干扰状态一般有自然环境干扰（海面闪烁、海面亮带、云背景等）、人工无源/有源干扰等。

7.3.3 仿真试验项目

闭合回路半实物仿真试验项目依据仿真试验大纲制定，一般分为制导控制系统半实物仿真和制导控制系统抗干扰半实物仿真，主要用于检验制导控制系统设计的正确性和合理性，检验制导控制系统在干扰状态下制导精度是否满足设计要求，具体要求如表2所示。

表2 闭合回路半实物仿真试验项目

序号	项目	目的
1	制导控制系统半实物仿真	a) 检验制导控制系统设计的合理性和正确性； b) 检验制导控制系统制导精度是否满足设计要求
2	制导控制系统抗干扰半实物仿真	检验制导控制系统在干扰状态下制导精度是否满足设计要求

8 试验程序

8.1 试验流程

试验流程图如图7所示。

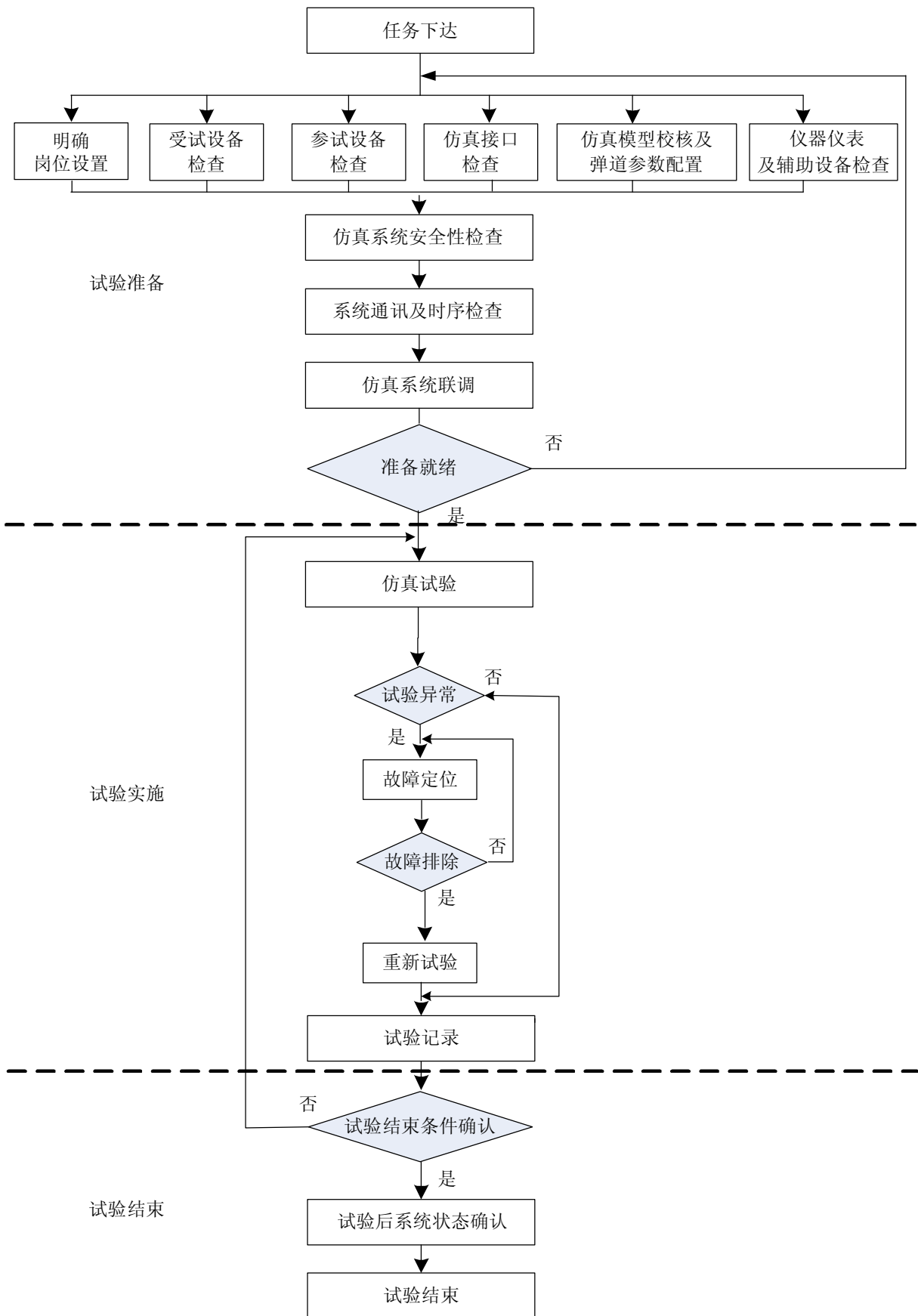


图7 试验流程图

8.2 试验准备

试验准备项目及内容一般如表3所示。

表3 试验准备项目及内容

序号	项目	内容
1	明确岗位设置	明确参试人员岗位分工及职责
2	受试产品检查	检查受试产品的外观、配件及履历文件齐套性等
3	参试设备检查	确认参试设备齐套且性能符合技术指标要求
4	仿真接口检查	确认仿真接口的传输精度、抗干扰性、传输速度满足试验要求，并符合相关通讯协议要求
5	仿真模型校核及弹道参数配置	仿真模型校核：根据制导控制系统数学模型等相关输入文件，进行适用于半实物仿真系统的仿真模型开发，对比仿真计算结果校核仿真模型的正确性。仿真计算结果对比内容一般包括：导弹位置、目标位置、导弹倾角、偏航角、滚转角、过载等。 弹道参数配置：根据试验大纲规定的半实物仿真弹道进行弹道初始参数及装订参数的仿真配置
6	仪器仪表及辅助设备检查	确认具有合格证或准用证，且在有效期内
7	仿真系统安全性检查	通电前，对设备状态、接口、线路连接、接地电阻、供电电源等进行安全检查，确保设备运行安全和人员安全
8	系统通讯及时序检查	对试验系统的通讯和时序进行检查，确保信息传输的正确性、时间的确定性，以及数据传输的稳定性、可靠性和实时性
9	仿真系统联调	a) 受试产品安装：通过产品工装将受试产品安装在飞行模拟转台上，确认安装精度满足要求； b) 仿真计算机系统与受试产品接口调试：通过产品加电测试设备实现受试产品与弹上计算机的连接和控制，确认仿真接口能够实现仿真计算机系统与受试产品进行正常数据交互； c) 仿真计算机系统与转台系统联调：通过给转台系统发送指令控制转台进行开环仿真，确认转台能够正确响应，给定和反馈能够吻合； d) 仿真计算机系统与目标系统联调。通过给目标系统发送指令控制目标进行开环仿真，确认目标能够正确响应，给定和反馈能够吻合； e) 目标系统与受试产品联调。确认目标系统出射辐射能够被受试产品正常截获，辐射特性和运动特性满足受试产品仿真试验要求； f) 受试产品测试：根据试验大纲开展受试产品的测试，确认受试产品技术状态符合技术指标要求，一般包括：导引头测试（灵敏度、零位、精度、解耦等）、舵系统测试（传递函数等）、弹上计算机测试（通信、时序等）、惯性测量装置测试（零漂、极性）等； g) 制导控制系统开环仿真：按仿真工作流程进行典型弹道的制导控制系统开环仿真，确认受试产品和参试设备的输出正确，具备半实物仿真系统闭合条件，并由试验任务提出方进行确认； h) 在仿真控制软件中装订弹道初始参数

8.3 试验实施

8.3.1 试验步骤

8.3.1.1 独立回路半实物仿真试验步骤

独立回路半实物仿真试验的步骤一般为：

- 参试设备加电，自检；
- 各计算机运行实时仿真程序，进入实时仿真状态；
- 三轴飞行模拟转台状态初始化，并进入等待控制命令状态；
- 受试产品（弹上计算机、惯性测量装置，可视实际具体项目选择一项或多项）加电、供油（针对液压产品），并检查受试产品电压、电流等安全性、自检及初始化的正确性；

- e) 选择仿真试验弹道等仿真配置文件;
- f) 三轴飞行模拟转台初始位置加载;
- g) 舵系统加电;
- h) 负载力矩模拟器初始化状态加载;
- i) 模拟导弹发射控制流程;
- j) 控制“发射”,启动实时仿真;
- k) 当满足仿真结束判据,停止本次仿真,三轴飞行模拟转台、负载力矩模拟器恢复零位,停止受试产品供电、供油(针对液压产品)、供气;
- l) 一次仿真结束,按试验大纲或试验要求录取并保存试验数据;
- m) 按照仿真试验大纲要求重复步骤 b)~l),直至完成全部仿真试验项目。

8.3.1.2 闭合回路半实物仿真试验步骤

闭合回路半实物仿真试验的步骤一般为:

- a) 参试设备加电,自检;
- b) 各计算机运行实时仿真程序,进入实时仿真状态;
- c) 三轴飞行模拟转台状态初始化,并进入等待控制命令状态;
- d) 目标模拟系统状态初始化,并进入等待控制命令状态;
- e) 受试产品(导引头、弹上计算机、惯性测量装置,可视实际具体项目选择一项或多项)加电、供油(针对液压产品),并检查受试产品电压、电流等安全性,自检及初始化的正确性;
- f) 选择仿真试验弹道等仿真配置文件;
- g) 三轴飞行模拟转台初始位置加载;
- h) 目标模拟系统初始状态加载(视实际具体选择不同的目标模拟系统);
- i) 舵系统加电;
- j) 负载力矩模拟器初始状态加载;
- k) 模拟导弹发射控制流程;
- l) 控制“发射”,启动实时仿真;
- m) 当满足仿真结束判据,停止本次仿真,并给出脱靶量信息。三轴飞行模拟转台、目标模拟系统、负载力矩模拟器恢复零位,停止受试产品(导引头、弹上计算机、惯性测量装置,可视实际具体项目选择一项或多项)供电、供油(针对液压产品)、供气;
- n) 一次仿真结束,按试验大纲或试验要求录取并保存试验数据;
- o) 按照仿真试验大纲要求重复步骤 b)~n),直至完成全部仿真试验项目。

8.3.2 试验中断与处理

8.3.2.1 试验中断

试验过程中出现下列情况之一的,试验应予以中断:

- a) 受试产品突发故障或技术性能改变;
- b) 参试设备突发故障;
- c) 发生其他意外事件。

8.3.2.2 试验故障处理

试验过程中出现故障，按以下方法处理：

- a) 对于试验中出现的任何故障均应分清性质，组织有关人员进行排除；
- b) 根据故障情况对出现故障前所得到的试验数据进行具体分析，确定是否有效；
- c) 试验中出现的任何故障都应作文字记录。

8.3.2.3 继续试验或重新试验

具备下列条件，可继续试验或重新试验：

- a) 出现故障的受试产品经返修或更换已满足试验大纲规定的受试产品技术状态；
- b) 参试设备故障已排除并经测试确认其性能达到试验大纲的要求；
- c) 故障原因已查清并采取了相应措施。

8.3.3 试验记录

对试验过程和试验结果进行记录，试验记录应完整、准确，记录内容一般包括：

- a) 试验状态记录。如：无参数拉偏、各种不同误差模型、参数拉偏状态、干扰状态等。
- b) 设备状态记录。
- c) 产品状态记录。如：受试产品编号、受试产品状态、受试产品软件版本等。
- d) 试验过程及结果记录。如弹道号、数据文件名、产品输出数据、脱靶量（闭合回路半实物仿真试验）等。
- e) 异常情况、处理方法及处理结果记录。

8.4 试验结束

8.4.1 试验结束确认条件

检查试验过程原始记录表，确认是否可以结束试验，确认内容一般包括：

- a) 试验项目和试验内容正确、齐全，完全覆盖试验大纲要求；
- b) 试验数据完整、有效；
- c) 试验结果有异常或不满足要求的，已检查分析原因，采取措施，补做有关试验项目。

8.4.2 试验后系统状态确认

试验结束后，应对受试产品和参试设备进行测试和自检，产品和设备的技术状态应与试验前一致。

9 试验数据处理与结果评定

9.1 试验数据处理

试验任务实施方应根据试验大纲要求对试验数据及时进行处理、归纳。

9.2 试验结果评定

试验结果评定根据试验依据文件确定，由项目相关技术负责人签字确认，并通过试验任务提出方的评审验收。试验结果评定准则一般按照试验依据文件确定：

- a) 仿真试验项目是否正确；
- b) 仿真试验过程是否受控；
- c) 仿真试验数据是否完整、有效；
- d) 仿真试验结果是否有效。

10 试验报告

试验报告根据试验大纲要求，对进行的各项试验作出结果分析，与试验大纲不一致或出现变更需进行说明。试验报告一般包括下列主要内容：

- a) 试验概况、试验日期与地点、试验环境条件；
 - b) 试验（受试产品）的技术状态；
 - c) 试验项目及其工作内容；
 - d) 试验中出现的故障及处理；
 - e) 试验的数据分析及结论；
 - f) 试验大纲规定的其他内容。
-

中华人民共和国航天行业标准

防空导弹制导控制系统半实物仿真
试验方法

QJ 20674—2018

*

中国航天标准化研究所出版
北京市丰台区小屯路 89 号

邮政编码：100071

中国航天标准化研究所
印务发行部印刷、发行

版权专有 不得翻印

*

2018 年 5 月出版

定价：42 元