

# QJ

# 中华人民共和国航天行业标准

FL 1380

QJ 2187A—2008

代替 QJ 2187—1991

---

## 弹道式导弹和运载火箭飞行软件 仿真试验要求

Requirement for flight software simulation  
of trajectory missile and launch vehicle

2008—03—17 发布

2008—10—01 实施

---

国防科学技术工业委员会 发布

## 前 言

本标准代替QJ 2187—91《弹道式导弹和运载火箭飞行软件仿真试验规范》。

本标准与QJ 2187—91《弹道式导弹和运载火箭飞行软件仿真试验规范》相比，主要有以下变化：

- a) 补充了制导、姿态控制系统联合仿真试验；
- b) 对制导系统飞行软件仿真试验、姿态控制系统飞行软件仿真试验内容中试验设备、试验状态、试验内容等进行了修改，补充了故障模拟试验等内容。

本标准由中国航天科技集团公司提出。

本标准由中国航天标准化研究所归口。

本标准起草单位：中国航天科技集团公司一院十二所。

本标准主要起草人：马卫华、禹春梅、陈宜成。

本标准1991年2月首次发布。



# 弹道式导弹和运载火箭飞行软件仿真试验要求

## 1 范围

本标准规定了弹道式导弹和运载火箭飞行软件仿真试验的基本要求、输入条件、项目和内容。本标准适用于弹道式导弹和运载火箭飞行软件的仿真试验验证。其它类型导弹也可参照使用。

## 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。

GB/T 11457 软件工程术语

## 3 术语

GB/T 11457 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

#### 飞行软件 **flight software**

运行在弹（箭）载计算机中的、完成弹道式导弹或运载火箭控制系统飞行实时控制功能的软件，又称飞行控制软件（飞控软件）。一般包括制导系统、姿态控制系统、综合（时序）控制系统三大功能。

## 4 试验目的

飞行软件设计、编制完成后须在真实运行环境（目标机）下进行仿真试验验证，飞行软件仿真试验的目的是，验证飞行软件设计与实现的正确性、功能的完整性以及软件与硬件环境的匹配适应性。包括三类：

- a) 制导系统飞行软件仿真试验；
- b) 姿态控制系统飞行软件仿真试验；
- c) 制导、姿态控制系统联合仿真试验。

## 5 试验系统组成与主要参试设备

### 5.1 试验系统组成

#### 5.1.1 制导系统飞行软件仿真试验系统组成

制导系统飞行软件仿真试验包括开路仿真试验和闭路仿真试验。制导系统飞行软件开路仿真试验系统组成的原理框图见图 1，制导系统飞行软件闭路仿真试验系统组成的原理框图见图 2。当制导系统采用组合制导方案时，须进行组合制导系统飞行软件仿真试验，其试验系统组成的原理框图见图 3。



图 1 制导系统飞行软件开路仿真试验原理框图

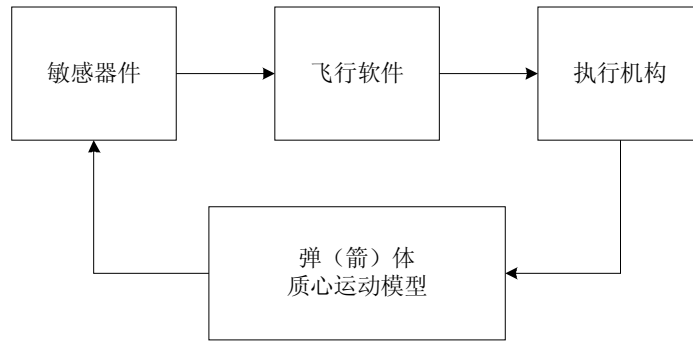


图 2 制导系统飞行软件闭路仿真试验原理框图

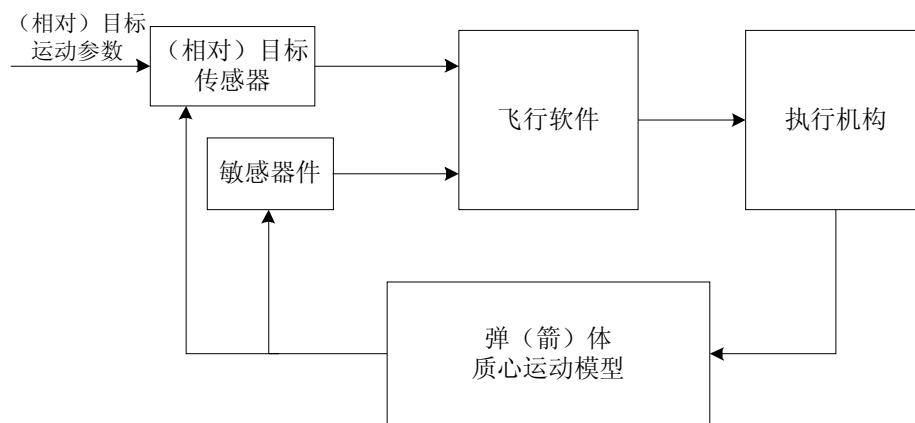


图 3 组合制导系统飞行软件仿真试验原理框图

### 5.1.2 姿态控制系统飞行软件仿真试验系统组成

姿态控制系统飞行软件仿真试验系统组成的原理框图见图 4。

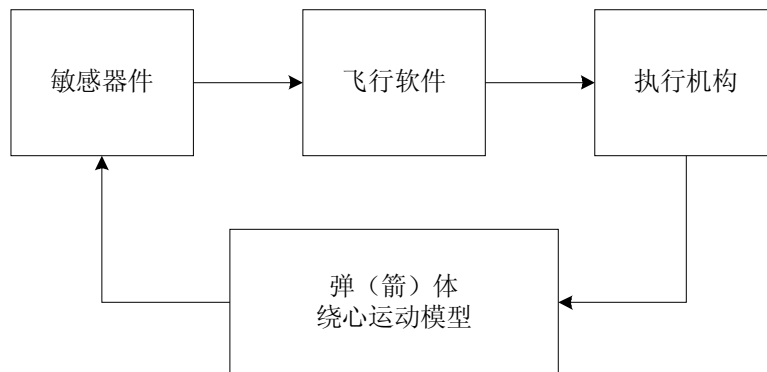


图 4 姿态控制系统飞行软件仿真试验原理框图

### 5.1.3 制导、姿态控制系统联合仿真试验系统组成

制导、姿态控制系统联合仿真试验系统组成的原理框图见图 5。

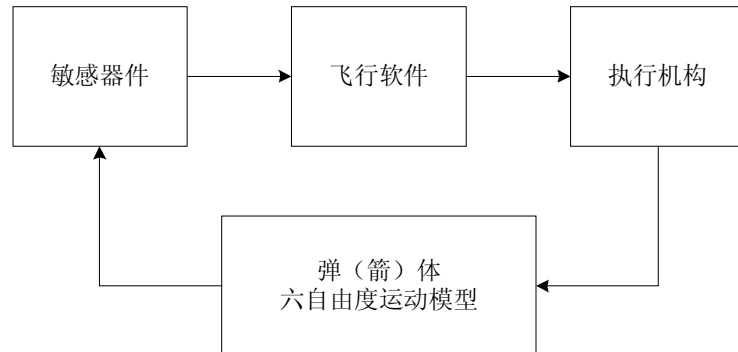


图 5 制导、姿态控制系统联合仿真试验原理框图

## 5.2 主要参试设备

飞行软件仿真试验设备必须包含弹（箭）载计算机。试验参试设备根据不同的试验目的、状态、内容进行选择。飞行软件仿真试验有时可与控制系统仿真试验合并进行。

主要参试设备一般有：

- a) 弹（箭）载计算机（含飞行软件）及其地面监控计算机；
- b) 地面仿真计算机（含仿真软件）；
- c) 敏感器件或其等效设备，包括惯性测量组合、陀螺稳定平台、速率陀螺、加速度计等；
- d) 执行机构或其等效设备，包括伺服机构、舵机或喷管等；
- e) （相对）目标传感器或其等效设备，包括导航卫星接收机、雷达导引头、红外导引头等；
- f) 信号记录装置；
- g) 信号转换装置；
- h) 实物控制台等。

## 6 试验条件

### 6.1 控制对象模型

控制对象模型包括：

- a) 质心运动模型；
- b) 绕心运动模型等。

### 6.2 输入信息

输入信息可分为标准状态和干扰状态，其内容包括：

- a) 飞行加速度信息；
- b) 姿态角、姿态角速度信息；
- c) 发动机燃烧室压力信息；
- d) 卫星导航系统信息；
- e) 目标探测信息；
- f) 天文导航系统信息等。

### 6.3 敏感器件和执行机构模型

敏感器件和执行机构模型包括：

- a) 惯性测量组合；
- b) 速率陀螺；
- c) 伺服机构；
- d) 舵机；
- e) 喷管等。

## 7 试验项目

### 7.1 制导系统飞行软件仿真试验项目

根据制导系统飞行软件仿真试验需要确定试验项目，一般按照表 1 进行试验项目的选取。

表1 试验项目

试验项目	制导系统飞行软件 开路仿真试验	制导系统飞行软件 闭路仿真试验	组合制导系统飞行软件 仿真试验
导航计算精度验证	●	●	●
关机控制实时性验证	●	●	—
导引控制精度验证	●	●	—
制导诸元装订正确性验证	—	●	—
飞程序角正确性验证	●	●	—
遥测参数正确性验证	—	●	—
与导航卫星软件的匹配性验证	—	—	●
与图像处理软件的匹配性验证	—	—	●
定位数据传送验证	—	—	●

注：●必检项目；—不检项目。

### 7.2 姿态控制系统飞行软件仿真试验项目

试验项目包括：

- a) 姿态控制系统飞行软件增益计算正确性验证；
- b) 姿态控制系统飞行软件网络计算正确性验证；
- c) 姿态控制系统飞行软件导引计算正确性验证；
- d) 姿态控制系统飞行软件控制信号输出正确性验证；
- e) 姿态控制系统飞行软件极性验证；
- f) 姿态控制系统飞行软件与硬件匹配适应性验证等。

可根据需要选择单通道（俯仰姿态角通道、俯仰姿态角速度通道、偏航姿态角通道、偏航姿态角速度通道、滚动姿态角通道、滚动姿态角速度通道、法向加速度通道、横向加速度通道、法向导引通道、横向导引通道）、双通道（如俯仰通道加滚动通道）或多通道（俯仰加偏航加滚动）试验。

### 7.3 制导、姿态控制系统联合仿真试验项目

试验项目包括：

- a) 制导、姿态控制系统飞行软件程序角计算跟踪功能验证；
- b) 制导、姿态控制系统飞行软件导引计算跟踪功能验证；
- c) 制导、姿态控制系统飞行软件控制状态信息传递正确性验证；

- d) 制导、姿态控制系统飞行软件与硬件、其它软件匹配适应性检查；
- e) 冗余控制方案时制导、姿态控制系统飞行软件实现的正确性验证等。

## 8 试验内容

### 8.1 制导系统飞行软件仿真试验内容

#### 8.1.1 常规试验

常规试验一般包括：

- a) 制导系统飞行软件设计与实现正确性验证；
- b) 导航计算结果验证；
- c) 关机方程计算结果验证；
- d) 导引方程计算结果验证；
- e) 飞程序角计算结果验证；
- f) 所有工具误差修正验证；
- g) 遥测参数验证等。

可根据实际情况进行试验项目调整。

#### 8.1.2 时序信号检查

检查制导系统飞行软件发出时序的正确性、时间、保持时间等。

#### 8.1.3 工具误差补偿功能试验

工具误差加入系统误差以及随机干扰误差，按工具误差不补偿、补偿以及反补偿三种状态进行试验。

#### 8.1.4 组合制导系统导航精度试验

组合制导系统导航精度试验一般包括：

- a) 组合导航计算结果验证；
- b) 与导航卫星软件的匹配性验证；
- c) 与图像处理软件的匹配性验证；
- d) 定位数据传送验证等。

#### 8.1.5 冗余功能检查

当采用冗余控制方案时进行冗余功能检查试验。

### 8.2 姿态控制系统飞行软件仿真试验内容

#### 8.2.1 极性检查

各通道（俯仰姿态角通道、俯仰姿态角速度通道、偏航姿态角通道、偏航姿态角速度通道、滚动姿态角通道、滚动姿态角速度通道、法向加速度通道、横向加速度通道、法向导引通道、横向导引通道）极性检查。

#### 8.2.2 静态增益准确性检查

静态增益准确性检查包括：

- a) 姿态通道检查；
- b) 姿态角速度通道检查；
- c) 横、法向导引通道检查；

## **QJ 2187A—2008**

d) 加速度计通道检查等。

### **8.2.3 动态特性检查**

#### **8.2.3.1 时域动态特性检查**

各级（段）、各通道的时域动态特性检查。

#### **8.2.3.2 频域动态特性检查**

各级（段）、各通道的频域动态特性检查。

### **8.2.4 转级转段功能检查**

检查转级转段功能实现的正确性。

### **8.2.5 遥测参数检查**

检查遥测参数的转换、发送功能。

### **8.2.6 冗余功能检查**

当采用冗余控制方案时进行冗余功能检查试验。

## **8.3 制导、姿态控制系统联合仿真试验内容**

### **8.3.1 常规试验**

常规试验一般包括：

- a) 标准额定状态零干扰试验；
- b) 上偏差状态试验；
- c) 下偏差状态试验；
- d) 上限状态试验；
- e) 下限状态试验等。

可根据实际情况组合为上偏差上限、上偏差下限、下偏差上限、下偏差下限状态等。

### **8.3.2 时序信号检查**

检查各时序信号发出的条件、时间、保持时间等。

### **8.3.3 工具误差补偿功能试验**

工具误差加入系统误差以及随机干扰误差，按工具误差不补偿、补偿以及反补偿三种状态进行试验。

### **8.3.4 遥测参数检查**

检查遥测参数的转换、发送功能。

### **8.3.5 冗余功能检查**

当采用冗余控制方案时进行冗余功能检查试验。

## **9 试验状态**

### **9.1 制导系统飞行软件仿真试验状态**

#### **9.1.1 标准状态**

标准状态采用标准弹道参数。

#### **9.1.2 干扰状态**

##### **9.1.2.1 单项干扰状态**

单项干扰通常包括：气动干扰、大气干扰、风干扰、发动机干扰、结构干扰、质量干扰、伺服

机构干扰等。

#### 9.1.2.2 组合干扰状态

组合干扰通常有两种方式，按干扰种类组合和按干扰极性组合，组合方式由试验目的确定。

#### 9.1.2.3 工具误差类干扰状态

当飞行软件中具有工具误差实时补偿功能时可选几种典型状态进行试验，一般选取工具误差不补偿、补偿以及反补偿三种状态进行试验。

#### 9.1.3 故障状态

包括压力传感器失效、加表故障、速率陀螺故障、导航卫星接收或图像处理故障等。

### 9.2 姿态控制系统飞行软件仿真试验状态

姿态控制系统飞行软件仿真试验状态包括：

- a) 额定状态；
- b) 偏差状态：一般包括上限、下限、上极限、下极限 4 种；
- c) 常系数状态；
- d) 变系数状态；
- e) 单级（段）状态；
- f) 全程状态；
- g) 故障状态：一般包括压力传感器失效，冗余控制方案时平台（或惯组）、速率陀螺故障等。

### 9.3 制导、姿态控制联合仿真试验状态

#### 9.3.1 标准状态

标准状态采用标准弹道参数。

#### 9.3.2 干扰状态

##### 9.3.2.1 单项干扰状态

单项干扰包括：气动干扰、大气干扰、风干扰、发动机干扰、结构干扰、质量干扰、伺服机构干扰等。

##### 9.3.2.2 组合干扰状态

组合干扰通常有两种方式，按干扰种类组合和按干扰极性组合，组合方式由试验目的确定。

##### 9.3.2.3 工具误差类干扰状态

当飞行软件中具有工具误差实时补偿功能时可选几种典型状态进行试验，一般选取工具误差不补偿、补偿以及反补偿三种状态进行试验。

##### 9.3.3 故障状态

包括压力传感器失效、冗余控制方案时平台（或惯组）故障、速率陀螺故障、导航卫星接收或图像处理故障等。

## 10 试验结果评定

试验结果评定包括：

- a) 飞行软件功能评定；
- b) 飞行软件性能评定；
- c) 飞行软件实时性评定；

## **QJ 2187A—2008**

- d) 飞行软件适应性评定;
- e) 飞行软件与硬件、其它软件间的协调性、匹配性评定等。

### **11 试验报告**

试验报告一般应包括如下内容:

- a) 试验的名称、性质和目的;
  - b) 试验起止时间;
  - c) 试验系统组成、主要参试设备及其技术状态、飞行软件的技术状态;
  - d) 试验项目及内容、状态;
  - e) 试验中出现的问题及处理措施;
  - f) 试验质量评价;
  - g) 试验结论。
-

中华人民共和国航天行业标准  
弹道式导弹和运载火箭飞行软件  
仿真试验要求  
QJ 2187A—2008

\*

中国航天标准化研究所出版  
北京西城区月坛北小街2号  
邮政编码：100830

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**

\*

2008年10月出版

定价：13.00元