

T/WHHLW

武汉互联网产业商会团体标准

T/WHHLW 133—2024

航空发动机燃油电液伺服阀通用规范

General specification for aero engine fuel electrohydraulic servo valves

2024 - 05 - 29 发布

2024 - 06 - 13 实施

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。

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由武汉长行机电科技有限公司提出。

本文件由武汉互联网产业商会归口。

本文件起草单位：武汉长行机电科技有限公司、武汉航达航空科技发展有限公司、空装驻武汉地区第一军事代表室、中国航发西安动力控制科技有限公司。

本文件主要起草人：景海、林聪、谢劭芊、晏德平、易胜刚、刘维进、刘明、文小莉、谢迎波、宋彦军、刘剑辉、王卓远、张猛、江波、姚东林、黄珊、谭子魁、陈超。

引 言

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，可能涉及到本文件相关的专利的使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得：

专利持有人姓名：武汉长行机电科技有限公司

地址：430000 湖北省武汉市东西湖区径河街道十字街7号(10)

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

全国团体标准

航空发动机燃油电液伺服阀通用规范

1 范围

本文件规定了航空发动机燃油电液伺服阀的组成结构、工作原理、通用要求、技术要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于航空发动机燃油电液伺服阀的应用与测试。

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 10844-2007	船用电液伺服阀通用技术条件
GB/T 13384-2008	机电产品包装通用技术条件
GJB 150.16A-2009	军用装备实验室环境试验方法 第16部分:振动试验
GJB 3370A-2022	飞机电液流量伺服阀规范

3 术语和定义

GJB 3370A-2022界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

额定流量 rated flow

在额定电流和特定负载压降条件下的控制流量大小。

3.2

极性 polarity

控制流量方向与输入电流方向之间的关系。

3.3

零偏 null bias

为使伺服阀回归于零位所需要的输入电流，不包括伺服阀滞环的影响，以其对额定电流之比的百分数表示。

3.4

内漏 internal leakage

在额定供油压力下，控制流量为零(控制窗口关闭)时，从回油窗口流出的流量。

3.5

线性度 linearity

在其他工作变量保持不变的情况下，名义流量曲线与名义流量增益线相一致的程度。

3.6

对称度 symmetry

两个极性流量增益之间相一致的程度。

3.7

滞环 hysteresis

当输入电流在正、负额定电流之间，以小于记录仪表的动特性起作用的速度循环时，产生相同控制流量往和返的输入电流之差的最大值。

3.8

电感 inductance

线圈阻抗的电感分量。

3.9

分辨率 threshold

使伺服阀的控制流量发生变化(增加和减少)的输入电流最小增量。

3.10

重叠 lap

在滑阀中, 阀芯处在零位时, 固定与可动节流棱边之间的相对轴向位置关系。

3.11

压力增益 pressure gain

在控制流量为零(控制窗口关闭)时, 负载压降对输入电流的变化率。

3.12

供油压漂 supply oil pressure drift

供油压漂是指航空发动机燃油电液伺服阀在工作过程中, 其供油压力发生不稳定或持续变化的现象。

3.13

回油压漂 return oil pressure drift

回油压漂是指航空发动机燃油电液伺服阀在运行时, 其回油(即排放或返回的燃油)压力发生不稳定或持续变化的现象。

3.14

综合零漂 comprehensive zero drift

综合零漂是指航空发动机燃油电液伺服阀在多种因素影响下, 其零位发生不稳定或持续变化的现象。

3.15

温度零漂 temperature zero drift

航空发动机燃油电液伺服阀在温度变化时出现的零点偏移现象。

3.16

零位突跳 zero position jump

零位突跳是指航空发动机燃油电液伺服阀在无输入信号或输入信号稳定时, 其零位突然发生不连续、大幅度的变化。

3.17

电阻 resistance

力矩马达单个线圈的直流电阻。

3.18

绝缘电阻 insulating resistance

航空发动机燃油电液伺服阀中体现其绝缘性能的电阻值, 用于衡量不同导电部分之间的绝缘程度。

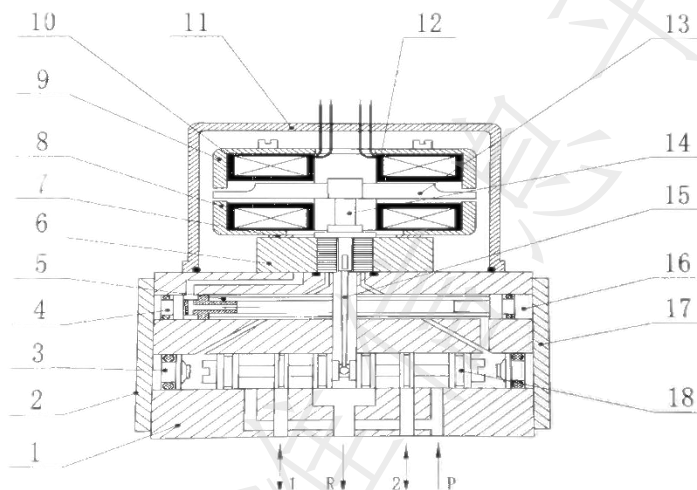
4 组成结构

产品主要由力矩马达、偏转板射流放大器、壳体组件和阀芯组成, 结构如图1所示, 组成零部件有:

- 1、壳体;
- 2、左端盖;
- 3、限位块;
- 4、油滤堵头;
- 5、油滤;
- 6、一级座组件;
- 7、调整垫片;
- 8、下导磁体;
- 9、上导磁体;
- 10、红绿线圈;
- 11、上盖;
- 12、黄蓝线圈;

- 13、衔铁；
- 14、弹簧管；
- 15、偏转板；
- 16、堵头；
- 17、右端盖；
- 18、阀芯。

图1 结构图



5 工作原理

产品主要工作原理是当给力矩马达线圈输入控制电流时,在控制磁通和极化磁通的相互作用下,衔铁上产生一个力矩,该力矩使衔铁组件绕弹簧管旋转中心旋转,从而使偏转板运动。它使得射流片上的一个接收孔压力增大,另一个压力减小,致使阀芯两腔产生压差,引起阀芯位移,阀芯的位移又带动偏转板产生变形,以力矩的形式反馈到力矩马达的衔铁上,与衔铁产生的电磁力矩相平衡,这样阀芯与壳体组件的配合窗口形成一个固定的开口使油液流过。在阀压降为恒值情况下,输出流量与输入控制电流之间成比例关系。

6 通用要求

6.1 外观

被试品的表面不应有明显的压痕、裂纹、划痕、腐蚀痕迹,以及其它影响工作和恶化外观的损伤。允许有由于正常装面而造成的局部微小痕迹。

6.2 材料

产品材料应满足高性能、耐腐蚀、耐高低温等要求,确保其在复杂环境下的稳定工作和长寿命。

6.3 重量

产品重量不大于 300g(不包括工作液、安装螺钉和护板)。

6.4 外廓尺寸

不大于44.5mm×43mm×51.5mm(不包括安装螺钉和护板)。

6.5 使用环境

产品使用环境要求如下:

- a) 使用环境温度:(-55-180)°C。

b) 介质温度: $(-40\sim 140)^{\circ}\text{C}$ 。产品工作介质3号喷气燃料P-3应符合GB 6537-2018的要求。

7 技术要求

7.1 可靠性

在地面或舰面使用条件下, 产品无维修待命时间不小于30天(暂定);

MTBF门限值: 不小于68000h(暂定);

WTBF目标值: 不小于96000h(暂定)。

7.2 维修性

一级维修, 不计接近时间; 外场更换时间: 不大于30min(暂定)。

7.3 耐久性

耐久性设计指标要求如下。

7.3.1 首翻期

5年500发动机工作小时, 附加10%寿命时间的地面工作时间(配装发动机地面调试时间), 不计入总寿命, 其他调试及半物理模拟试验工作时间也不计入总寿命。

7.3.2 贮存期

贮存期为3年。

7.3.3 翻修间隔期

5年500发动机工作小时, 附加10%寿命时间的地面工作时间(配装发动机地面调试时间), 不计入总寿命, 其他调试及半物理模拟试验工作时间也不计入总寿命。

7.3.4 总寿命

1500发动机工作小时, 附加10%寿命时间的地面工作时间(配装发动机地面调试时间), 不计入总寿命, 其他调试及半物理模拟试验工作时间也不计入总寿命;

7.4 互换性

型号相同的产品应可互换。

7.5 工作性能

7.5.1 静态性能

表2 产品静态性能参数表

序号	工作性能	性能指标
1	额定流量	$(2.5 \pm 0.25)\text{L}/\text{min}$
2	极性	断电情况下, 控制口A与回油口沟通, 即 $P_B > P_A$
3	零偏	$(10 \pm 1)\text{mA}$
4	内漏	$< 0.8\text{L}/\text{min}$
5	线性度	$\leq 7.5\%$
6	对称度	$\leq 10\%$
7	滞环	$\leq 5\%$
8	分辨率	$\leq 1\%$
9	重叠	0~3%
10	压力增益	$> 30\%$

11	供油压漂	$\leq \pm 2\%$
12	回油压漂	$\leq \pm 3\%$
13	综合零漂	$\leq \pm 7.5\%$
14	温度零漂	$\leq \pm 6\%$
15	零位突跳	$\leq 0.03\text{L}/\text{min}$
16	电阻	$(50 \pm 5) \Omega$
17	电感	$(50-400) \text{mH}$
18	绝缘电阻	$\geq 20\text{M} \Omega$

7.5.2 动态性能

幅频特性(-3dB)不小于20Hz;相频特性(-90°)不小于20Hz。

8 试验方法

8.1 外观

8.1.1 试验条件

试验条件如下:

- 温度:15℃~35℃;
- 相对湿度:20%~80%;
- 大气压力:试验场所气压。

8.1.2 试验方法

试验方法如下:

- 目视检查被试品型号、额定流量、额定压力、零偏和被试品编号等标识是否正确;
- 目视检查被试品外观质量,检查紧固件和保险是否牢靠;
- 用游标卡尺测量被试品的外廓尺寸、接口并记录;
- 将被试品放在电子秤上称重并记录。

8.2 电气性能

8.2.1 试验条件

同8.1.1。

8.2.2 电阻

分别测每个线圈的电阻,并按照公式(1)换算成温度为20℃时的电阻值,具体步骤如下:

- 将万用表(FLUKE-17B)档位打至电阻档(Ω)
- 将被试品的两个线圈(红绿、黄蓝)分别连接到数显兆欧表测电阻两输入端($V \Omega$)
- 在显示屏上读出电阻值,并记录,

注:温度为20℃时,被试品线圈有效电阻值换算公式如下:

$$R_{20} = \frac{R_T}{1+0.004 \times (T-20)} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

R_{20} :————有效电阻值
 R_T :————实测电阻值

T:———测试环境温度

8.2.3 电感

分别测每个线圈的电感，具体步骤如下：

- a) 将手持式LCR表(U1732C)档位打至电感档(L)；
- b) 设置测试频率为(100±1)Hz；
- c) 将被试品的两个线圈(红绿、黄蓝)分别连接到手持式LCR表的两个接头，在显示屏上可读出电感值。

8.3 温度适应性

8.3.1 高温

8.3.1.1 高温工作

a) 试验条件

被试品环境温度上升到180℃，介质温度上升到140℃，保持不少于2h使被试品达到温度稳定，调节进油压力(2.8+P=±0.2)MPa，回油压力(0.2±0.05)MPa，给被试品通(-20~40)mA电流，满载工作2h，温度变化率≤3℃/min。

b) 技术要求

技术要求如下表：

表3 高温试验中的性能技术要求表

序号	试验条款	计量单位	技术要求
1	额定流量	L/min	电流-20mA，额定流量2.5±0.63
			电流40mA，额定流量2.5±0.63
2	温漂	-	≤±6%
3	分辨率	-	≤1.5%
4	外部泄露	-	不允许存在明显外部泄漏和湿润
5	绝缘介电强度	-	频率50Hz，500V交流电压下，历时1min，红绿与黄整、红绿与壳体、黄蓝与壳体不应击穿
6	绝缘电阻	mΩ	500V直流电压下，红绿与黄蓝绝缘电阻≥5
			500V直流电压下，红绿与壳体绝缘电阻≥5
			500V直流电压下，黄蓝与壳体绝缘电阻≥5

8.3.1.2 高温恒温贮存

a) 试验条件

恒温贮存试验时间为48h，温度为70℃，温度变化率小于3℃/min，高温贮存试验应填充介质以免损坏。

b) 技术要求

试验后技术要求如下表：

表4 高温贮存试验后的性能指标

序号	试验条款	计量单位	技术要求
1	额定流量	L/min	电流-20mA，额定流量2.5±0.25
			电流40mA，额定流量2.5±0.25
2	零偏	mA	红绿线圈，10±1.5
			黄蓝线圈，10±1.5
3	滞环	-	≤5%

4	分辨率	-	≤1%
5	绝缘电阻	mΩ	500V直流电压下, 红绿与黄蓝绝缘电阻≥20
			500V直流电压下, 红绿与壳体绝缘电阻≥20
			500V直流电压下, 黄蓝与壳体绝缘电阻≥20

8.3.2 低温

8.3.2.1 低温工作

a) 试验条件

介质温度(-40±2)℃, 环境温度(-55±2)℃;时间3h(被试品温度稳定时间1h, 0.01Hz频率, 按工作电流(-20~40)mA满载连续工作2h)。

b) 技术要求

技术要求如下表:

表5 低温试验中的性能技术要求表

序号	试验条款	计量单位	技术要求
1	额定流量	L/min	电流-20mA, 额定流量2.5±0.25
			电流40mA, 额定流量2.5±0.25
2	零偏	mA	红绿线圈, 10±1.5
			黄蓝线圈, 10±1.5
3	滞环	-	≤5%
4	分辨率	-	≤1%
5	绝缘电阻	mΩ	500V直流电压下, 红绿与黄蓝绝缘电阻≥20
			500V直流电压下, 红绿与壳体绝缘电阻≥20
			500V直流电压下, 黄蓝与壳体绝缘电阻≥20

8.3.2.2 低温贮存

a) 试验条件

环境温度:(-55±2)℃, 被试品温度稳定1h后保持72h。

b) 技术要求

试验后技术要求如下表:

表6 低温储存试验后的性能指标

序号	试验条款	计量单位	技术要求
1	额定流量	L/min	电流-20mA, 额定流量2.5±0.25
			电流40mA, 额定流量2.5±0.25
2	零偏	mA	红绿线圈, 10±1.5
			黄蓝线圈, 10±1.5
3	滞环	-	≤5%
4	分辨率	-	≤1%
5	绝缘电阻	mΩ	500V直流电压下, 红绿与黄蓝绝缘电阻≥20
			500V直流电压下, 红绿与壳体绝缘电阻≥20
			500V直流电压下, 黄蓝与壳体绝缘电阻≥20

8.3.3 温度冲击

a) 试验条件

试验温度为高温 150℃、低温-55℃，高低温段各保持2h，或产品达到温度稳定取时间长者为准，转换时间≤1min，至少转换温冲3次。

b) 技术要求

试验后技术要求如下表：

表7 温度冲击试验性能技术表

序号	试验条款	计量单位	技术要求
1	额定流量	L/min	电流-20mA，额定流量 2.5 ± 0.25
			电流40mA，额定流量 2.5 ± 0.25
2	零偏	mA	红绿线圈， 10 ± 1.5
			黄蓝线圈， 10 ± 1.5
3	滞环	-	≤5%
4	分辨率	-	≤1%
5	绝缘电阻	mΩ	500V直流电压下，红绿与黄蓝绝缘电阻≥20
			500V直流电压下，红绿与壳体绝缘电阻≥20
			500V直流电压下，黄蓝与壳体绝缘电阻≥20

8.4 振动试验

8.4.1 试验条件

8.4.1.1 正弦扫频振动试验条件

a) 产品应进行正弦扫频振动试验确定产品的共振点，三个频率一个循环，每个循环20min；3个垂直面每个面进行3个循环。总时间3h。

b) 若被试品共振点在发动机固有频率范围内，在每个方向上选取振幅较大的4个点(少于4个点的按实际数量)进行高周疲劳正弦共振试验，加速度不低于30g，3个垂直面每个面进行2h，总时间为6h。

c) 若被试品共振点不在发动机固有频率内的，被试品需按宽带随机进行振动试验。

8.4.1.2 宽带随机振动试验条件

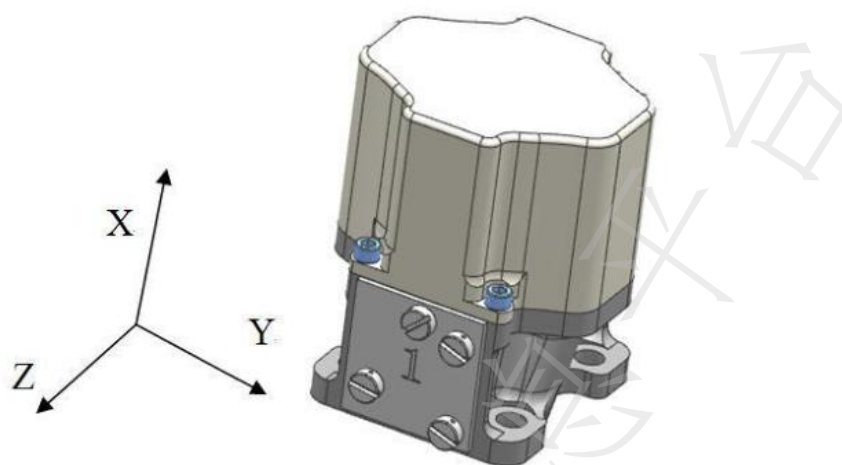
按GJB 150.16A-2009要求进行试验，振动环境分类选第22类，振动方法为宽带随机振动试验。

a) 功能振动持续时间:每个轴向1h。

b) 试验轴向:X、Y、Z三个轴向，如图8所示:

c) 耐久振动试验持续时间:每个轴向3h。

图8 振动方向定义



8.4.2 试验方法

8.4.2.1 正弦扫频振动

正弦扫频振动试验方法如下：

(1) 试前检测

在额定试验条件下检测被试品工作性能和绝缘电阻，并记录；

(2) 被试品安装

将被试品通过夹具按规定的轴向固定在振动试验台上，固定试验方向；

(3) 试验运行

步骤1，最初共振检查

在试验规定的频率范围内，以振幅0.3mm(10Hz~40Hz)、加速度2g(40Hz以上)的正弦扫描进行共振检查。

步骤2，振动试验

若被试品共振点在发动机固有频率范围内的，在每个方向上选取振幅较大的4个点(少于4个点的按实际数量)进行高周疲劳正弦共振试验，给产品供(2.8±0.2)MPa压差，输入控制电流(-20~40)mA，频率0.01Hz，加速度不低于30g，每个面进行2h。

步骤3，依次考核被试品其余两个轴向的振动试验；步骤4，若被试品共振点不在发动机固有频率内的，被试品需按宽带随机进行振动试验。

(4) 试后恢复

在标准大条件下稳定被试品。

(5) 试后检测

每个轴向振动试验后，在额定试验条件下检测被试品外观质量、工作性能和绝缘电阻，并记录。

8.4.2.2 宽带随机振动试验

宽带随机振动试验方法如下：

(1) 试前检测

在额定试验条件下检测被试品工作性能和绝缘电阻，并记录；

(2) 被试品安装

将被试品通过夹具按规定的轴向固定在振动试验台上，固定试验方向；

(3) 试验运行

步骤1，取 $F_{0\text{低}}/P$ ，按要求设置振动图谱、频率、带宽等参数；

步骤2，给产品供(2.8±0.2)MPa压差，输入控制电流(-20~40)mA，频率0.01Hz；

步骤3，对该轴向持续进行0.5h的功能振动；

步骤4，对该轴向持续进行3h的耐久振动；

步骤5，对该轴向持续进行0.5h的功能振动；

步骤6, 依次考核被试品其余两个轴向的振动试验;

步骤7, 取 $F_{0\text{高压}}$, 按要求设置振动图谱、频率、带宽等参数;

步骤8, 重复步骤2~步骤6考核三个轴向的振动试验。

(4) 试后恢复

在标准大气条件下稳定被试品。

(5) 试后检测

每个轴向振动试验后, 在额定试验条件下检测被试品外观质量、工作性能和绝缘电阻, 并记录。

9 检验规则

9.1 出厂检验

出厂检验的规定如下:

- a) 出厂检验为逐台检验。
- b) 出厂检验项目应包括外观检查、性能测试(按7.5.1和7.5.2进行)以及密封性测试。
- c) 出厂检验完成后, 应给出检验报告, 内容包括产品编号、检验项目、检验结果等。

9.2 型式检验

- a) 型式检验为周期检验, 周期为一年。
- b) 当产品设计、工艺或材料有重大改变时, 也应进行型式检验。
- c) 检验项目按照9.1的规定。

9.3 结果判定

- a) 出厂检验和型式检验的结果均应符合本标准规定的性能指标要求。
- b) 若出厂检验或型式检验中有任何一项不合格, 则判定该次检验不合格。对于出厂检验不合格的产品, 应进行返修或报废; 对于型式检验不合格的产品批次, 应查明原因并采取相应措施后进行复检。
- c) 检验报告中应明确记录各项检验项目的实测数据、判定结果及总体结论, 并由检验人员和审核人员签字确认。

10 标志、包装、运输以及贮存

10.1 标志

10.1.1 标志应清晰、耐磨、不易脱落, 并确保在使用寿命内保持清晰可见。

10.1.2 每个伺服阀都应在显著位置附带永久性标志, 包括但不限于以下内容:

- a) 产品型号;
- b) 生产批号;
- c) 制造商;
- d) 额定工作压力;
- e) 流量范围;
- f) 适用的航空燃油类型。

10.2 包装

10.2.1 应符合 GB/T 13384-2008 的要求, 采用防潮、防震、防锈的包装材料进行包装, 以确保产品在运输和贮存过程中的安全。

10.2.2 包装箱内应附有产品合格证、使用说明书、保修卡等相关文件。

10.2.3 包装外部应标明产品名称、型号、数量、生产日期、制造商等信息, 并贴上易碎、防潮、防震等警示标志。

10.3 运输

运输过程中，应采取必要的防震、防冲击措施，防止伺服阀在运输过程中发生损坏或变形。

10.4 贮存

- a) 应贮存在干燥、通风、无腐蚀性气体的仓库中，避免阳光直射和雨淋。
 - b) 贮存期间，应定期对伺服阀进行检查和维护，确保其性能稳定可靠。
 - c) 贮存期限不得超过产品规定的有效期，过期产品应重新进行检测和评估，确保其性能符合要求后方可继续使用。
-