

# 伺服燃气源点火测试电路的高可靠设计

李沛文, 邹宝珍, 杨力东

(航天科技集团一院十八所, 北京 100076)

**摘要:** 介绍了伺服燃气源的工作原理; 针对伺服燃气源点火试验测试的要求与检测、点火流程设定的原则, 以及伺服总成测控系统的测试原理, 提出了伺服燃气源点火试验电路设计方法; 分析了伺服燃气源点火试验时干扰的产生以及抑制的方法; 并且通过合理的选用点火电源, 达到电路的高可靠性设计; 通过最终在点火试验中的应用证明了电路设计满足点火试验的要求。

**关键词:** 伺服燃气源; 点火试验; 抑制干扰; 总成测控系统

## Design of High Reliable Servo Gas Source's Ignition Test Circuit

Li Peiwen, Zou Baozhen, Yang Lidong

(Eighteenth Research Institute of China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China)

**Abstract:** This paper's point is the introduce of servo gas source. This paper put forwards the design method of servo gas source's ignition test and long-term transmissions interference suppression. The method is in connection with the requirement of servo gas source's ignition test, the principle of setting ignition process and also testing principium of servo assembly control system. This paper analyzes the cause of interference and suppression method during servo gas source's ignition test. Furthermore, this paper achieves high reliable method of circuit by means of a reasonable choice of ignition power. At last, application in the ignition tests proves the ignition circuit is designed to meet the requirements of the test.

**Keywords:** servo gas source; ignition test; interference suppression; assembly control system

## 0 引言

伺服燃气源作为燃气液压伺服系统的一次能源。伺服燃气源封头安装有隔板点火器。当点火器接收到点火信号后立刻点火起爆, 产生带有炽热粒子的燃气, 引燃伺服燃气源药柱, 药柱本身含有氧化剂和燃烧剂, 在规定的时间内通过有规律的端面燃烧产生大量的高温高压燃气, 进而驱动涡轮泵高速旋转而产生动能。

伺服燃气源点火后高压燃气首先通过涡轮, 使涡轮转子超高速旋转而输出较大的轴功率。将其大部分动能转变为液体的压力能, 高压液体经溢流阀稳压后产生伺服系统工作液压力, 通过自封流体连接器输送给伺服作动器。伺服作动器根据控制系统输出指令, 完成规定的火箭箭体俯仰、偏航动作。

## 1 点火电路的性能要求

伺服总成测控系统(下面简称测控系统)是一套以计算机为核心, 具有多通道信号发生、多通道数据采集和数据分析处理功能, 用于伺服系统及单机性能自动测试的装置。测控系统中点火电路的设计与点火电源的可靠性直接影响到点火试验的成功与否。燃气液压伺服所使用的隔板点火器为双桥电路。性能指标见表1。

表1 隔板点火器性能指标

每个桥的阻值	1.9~2.2 Ω
最大单桥不发火电流	$I=(2\pm 0.2)A$
最小单桥发火电流	$I=(4\pm 0.05)A$
通电到发火时间不大于	80 ms

收稿日期:2014-06-03; 修回日期:2014-06-25。

作者简介:李沛文(1973-),男,浙江平湖市人,大专,特级技师,主要从事燃气液压伺服机构测试方向的研究。

## 2 点火电路工作原理

为了达到高可靠性能得要求, 点火器中的点火电路采用双桥路工作方式。所以点火之前要进行相应的点火器导通检查。由于此时点火器已经安装于燃气源上, 所以需要测控系统自动完成。导通检查与点火电路见图1。

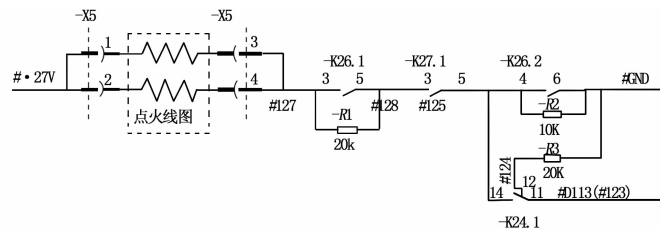


图1 导通检查与点火电路图

当导通检查时, 计算机发出命令将 K26.1、K26.2 断开, K27.1 闭合, 流过双桥的电流小于 1 mA (约 0.9 mA), 远远小于最大单桥不发火电流, 点火器不发火。此时 K24 的 14 与 11 闭合。#D113 端输出信号给测控系统, 用于采集判断。正常情况, 该端输出大于 5 V 的电压(约达 9 V), 系统即判断出点火线圈导通正常。如果该端不大于 5 V 则导通异常, 须作进一步检查, 排除故障, 流程图见图2。

导通检查通过后, 才能进行点火试验。点火时计算机发出命令 K26.1、K26.2 与 K27.1 闭合, K24 的 12 与 11 闭合。点火电源为 27 V 10 A 的电源。此时桥路点火电流为 10 A。大于最小单桥发火电流(4±0.05) A, 点火器点火。点火流程图见图3。

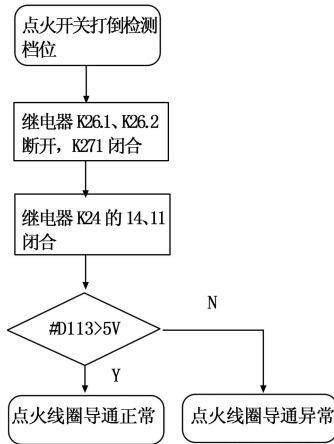


图 2 导通检查流程图

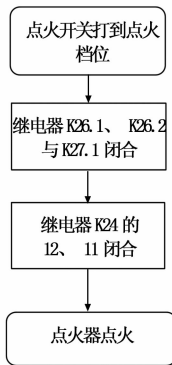


图 3 点火流程图

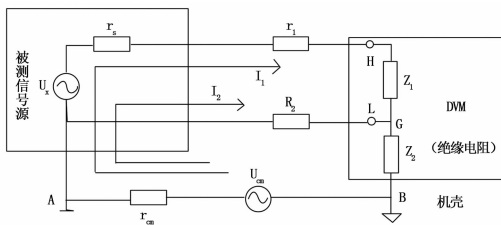


图 4 测控系统接地示意图

### 3 点火电路的抑制干扰措施

点火器的最小单桥发火电流为  $I = (4 \pm 0.05) \text{ A}$ ，点火电路的点火时间为 0.5 s，在此点火时间内，并不能将桥路线圈电阻丝瞬时彻底熔断。熔断过程中线圈电阻丝可能与点火器壳体碰接连通，造成 27 V 电源短路。电源短路不仅影响伺服系统中的直流供电和传感器的正常输出，而且使测控系统公共端共模干扰增大，采集数据曲线发生严重畸变。以下对抑制措施作进一步分析。

#### 3.1 测控系统提高共模抑制比的措施

为了使测控系统提高抗共模干扰能力，减小测量误差，通常采用浮置 DVM 的低端的方法。在图 4 所示的电路中，共模干扰主要由  $I_2$  造成，要设法削弱  $I_2$  的影响，有效的方法是浮置低端，即将 DVM 的 L 端与仪器的机壳相隔离。L 端的电位

是模拟电路的参考电位。

图 4 中在仪器的 L 端与机壳之间有一个很大的阻抗  $Z_2$  表示它们之间是相隔离的。这时在 DVM 输出的等效干扰电压为：

$$U_{cn} = -I_1 \times (r_1 + r_s) - (-I_2 \times r_2) \quad (1)$$

在图中电流  $I_1$  和  $I_2$  为：

$$I_1 = \frac{U_{cn}}{r_{cm} + r_s + r_1 + z_1 + z_2}$$

$$I_2 = \frac{U_{cm}}{r_{cm} + r_2 + z_2} \quad (2)$$

由于  $r_1 + r_s + Z_1$  和  $r_2$  两条支路并联，并且  $r_1 + r_s + Z_1 \geq r_2$ ，所以  $I_2 \geq I_1$ 。

则式可近似认为：
$$U_{cn} \approx I_2 \times r_2 \quad (3)$$

将  $I_2$  的表示式代入上式得

$$U_{cn} = \frac{r_2}{r_{cm} + r_2 + z_2} \times U_{cm}$$

$$U_{cn} \approx \frac{r_2}{z_2} \times U_{cm} \quad (4)$$

因此电路的共模抑制比为

$$CMRR = 20 \text{Lg} \frac{U_{cm}}{U_{cn}} \quad (5)$$

把  $U_{cm}$  的表式代入得

$$CMRR = 20 \text{Lg} \frac{Z_2}{r_2} \quad (6)$$

对比式 (4) 可以看出，由于浮置 DVM 的 L 端，并且  $Z_2/r_2 \geq 1$ ，所以  $CMRR$  不为零。由此可见浮置 DVM 的 L 端可以提高电压测量的抗共模干扰能力，并且 L 端与机壳之间隔离的越好， $Z_2$  值就越大，共模抑制也就越高。

测控系统是将传感器、电源与采集低端全部与机壳保护地隔离断开的。并且在点火试验时，将点火电源的低端与测控系统采集的低端通过开关断开。这样做不仅提高了抗干扰性能，也保证了点火时点火电路与测控电路相互独立<sup>[1]</sup>。

#### 3.2 增加消除反电势的电路

测试系统控制的继电器电路启/停时，由于磁场能量的突变，电路中形成电流浪涌，触点处产生电弧、火花放电。如果触点接触不良，这种现象更严重，还可能对电器造成直接损坏。电弧或火花放电会产生高幅宽频电磁波向外辐射，测试电路会受干扰。为了抑制干扰，缓解对电器的冲击，测试系统在继电器等感性负载上并联灭弧二极管电路，如图 5 所示。当感性负载 L 两端由于电流通/断而产生陡升反电势时，二极管导通从而为浪涌提供了释放通路<sup>[2]</sup>。

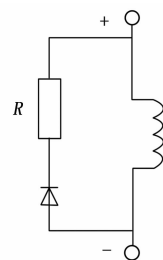


图 5 消除反电势电路

## 4 点火电源的选用

电源是点火电路的重要元件, 它的可靠性直接影响点火的成败。点火电源采用 27 V、10 A 的直流稳压电源。目前主流直流稳压有开关电源与线性电源两种。

### 4.1 线性电源与开关电源的比较

线性电源其优点是稳压性能好, 输出纹波电压小, 电路简单。主要缺点是调压管的压降较大、功耗高。这种稳压电源的效率比较低。一般为 45% 左右, 体积较大。

开关电源被誉为高效节能电源。它代表着稳压电源的发展方向, 现已成为稳压电源的主流产品。开关电源内部的关键元器件工作在高频开关状态, 本身消耗的能量低。电源效率可达 70%~90%, 比线性电源提高了近一倍。在相同的输出功率条件下其体积弊比线性电源大为减小。开关电源的缺点是由于关键器件工作在开关状态, 所以输出纹波较大<sup>[3]</sup>。

### 4.2 电源选用以及干扰的抑制

由于测控系统点火电源输出电流要求为 10 A, 且安装空间有限, 电源输出效率要求较高, 所以选用开关电源。对于开关电源输出噪声较大缺点采用了两种方法加以解决。一种方法是提高共模抑制比措施。第 4 节已有论述。另一种方法为对电源的干扰抑制能力进行筛选。

电源噪声是电磁干扰 (EMI) 的一种, 它属于载波射频干扰, 其传导噪声的频谱大致为 10 kHz~30 MHz, 最大可达 150 MHz。它是由电子设备产生并经电源线传出去的噪声<sup>[4]</sup>。总成测控系统采集低端与传感器电源共地, 所以抑制共模干扰十分重要, 因此分析开关电源的性能是必要的。开关电源典型产品的 EMI 波形图中 (图 6) 最上面两条线分别代表 CISPR228/EN55022B 国际测试标准所规定的峰值极限边界 (QP 曲线)、平均值极限边界 (AV 曲线), 要求被测电源峰值波形的幅度不得超过极限边界, 平均值波形的幅度不得超过平均值极限边界<sup>[5]</sup>。由此看出, 只要选用合格的开关电源, 就可以满足测试系统对抑制干扰的要求。

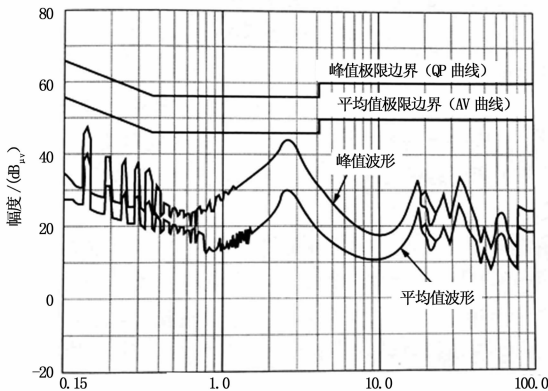


图 6 开关电源典型产品的 EMI 波形图

## 5 试验结果与分析

点火电路研制完成后, 为了验证可靠性与抗干扰能力。用测控系统进行了 8 次模拟点火验证试验。1~3 次为未进行抗干扰设计电路的试验结果 (见表 2)。4~8 次为加入抗干扰设计的最终点火电路的试验结果 (见表 3)。

表 2 未进行抗干扰设计电路的试验结果

序号	试验状态	通电到发火时间/ms	点火完成后隔板点火器双桥路与壳体阻值	测试数据表现
1	点火时继电器 K24 的 14、11 闭合	15	40 kΩ	转速传感器输出超限
2	继电器未增加消除反电势	16	45 kΩ	压差传感器输出纹波超差
3	使用底端开关电源	85	200 Ω	点火时间控制信号零位有 1.5 V 偏移

表 3 抗干扰点火电路的试验结果

序号	通电到发火时间/ms	点火完成后隔板点火器双桥路与壳体阻值/kΩ	测试数据表现
4	15	50	测试数据结果正常
5	20	55	测试数据结果正常
6	12	70	测试数据结果正常
7	13	60	测试数据结果正常
8	18	95	测试数据结果正常

从测试结果分析。加入抗干扰设计的点火电路在系统要求的点火时间下, 顺利完成了隔板点火器的点火, 测试数据未出现干扰现象, 测试结果正常。满足了点火试验的要求。

## 6 结论

点火电路的设计主要考虑工作的可靠性以及与测控系统匹配的抗干扰性能。此电路在燃气液压伺服测控系统中使用多年。经历了很多次的点火试验从未发生过问题。该电路设计余量大、工作可靠, 是测控系统的重要组成部分。

### 参考文献:

- [1] 宋悦孝, 等. 电子测量与仪器 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [2] 李现明, 吴皓, 等. 自动检测技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [3] 徐海明, 刘璐, 等. 现代电源应用技术手册 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [4] 周志敏, 纪爱华, 等. 自动化控制系统电磁兼容设计与应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2013.
- [5] 沙占友, 等. 开关电源的设计入门 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2013.