

“资源一号”卫星火工控制系统可靠性安全性设计

汪 静

(北京空间飞行器总体设计部, 北京 100094)

摘要:“资源一号”卫星火工控制系统设计的正确性、合理性和可靠性、安全性, 与卫星成败有着非常密切的联系。文章重点描述了“资源一号”卫星火工控制系统可靠性安全性的设计, 主要包括火工控制系统的点火电路设计、点火通路电缆设计、太阳电池板(文中简称太阳翼)可靠展开的冗余设计和点火限流电阻的设计等 4 方面内容, 尤其在点火限流电阻的选取和设计方面进行了完善和提高。

关键词: 火工控制系统; 可靠性设计; 安全性设计; 太阳电池板

中图分类号: V423.4⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1673-1379(2010)04-0505-03

DOI: 10.3969/j.issn.1673-1379.2010.04.022

0 前言

“资源一号”卫星是中国和巴西两国合作的地球资源遥感卫星, 火工控制系统为其整星关键系统之一, 与卫星成败有着非常密切的联系。卫星的火工控制系统设计包括点火电路设计、点火通路电缆设计、太阳翼可靠展开点火起爆冗余设计和点火限流电阻可靠设计等 4 个方面。这 4 个方面的设计

融合了“资源一号”整星可靠性设计和安全性设计的理念和方法。

1 火工控制系统的组成

火工控制系统的主要作用是为太阳翼成功展开提供可靠安全的点火电源和点火通路。整个火工控制系统由 5 部分组成, 如图 1 所示。

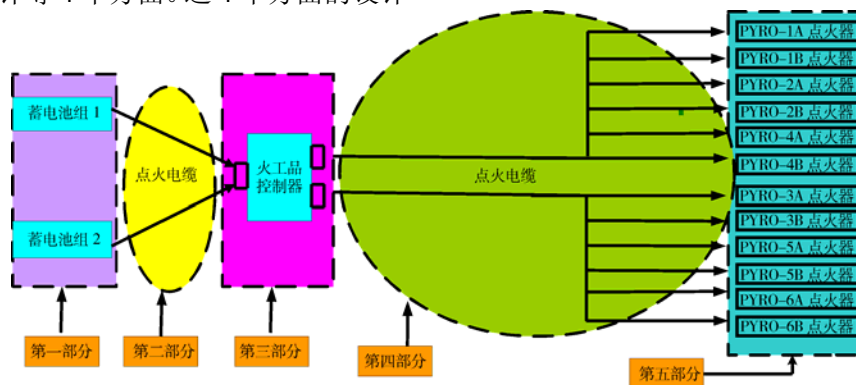


图 1 火工控制系统组成

Fig. 1 Composition of the pyro control system

2 点火电路的可靠性安全性设计

图 1 中的第一部分和第三部分为火工控制系统的点火电路设计。

2.1 点火电源

第一部分为互为备份的 2 组蓄电池, 采取中间抽头方式^[1], 即由一组 36 节镉镍电池单体串联组成, 火工品母线由 18 节镉镍电池单体中间抽头引出, 为火工品控制器提供可靠的点火电源。

1) 在单体蓄电池之间采用四点四线可靠安全的连线方式;

2) 单体蓄电池之间串联采用钩焊形式, 并且采用专用成型工装, 保持跨接线较大的弯曲弧度, 尽可能地减少导线应力对焊点的影响, 以增加单体蓄电池连接的可靠性;

3) 单体蓄电池之间串联导线截面积由 1.0 mm^2 调整为 1.5 mm^2 , 提高了使用的可靠性和安全性。

收稿日期: 2010-06-15; 修回日期: 2010-06-22

作者简介: 汪 静 (1964—), 女, 高级工程师, 从事卫星总体电路设计研究与卫星研制工作。

通过整星热试验、磁试验和电性能测试,证明了两组蓄电池设计合理,质量可靠。

2.2 点火控制电路

第三部分为火工品控制器,图 2 为点火控制电路。

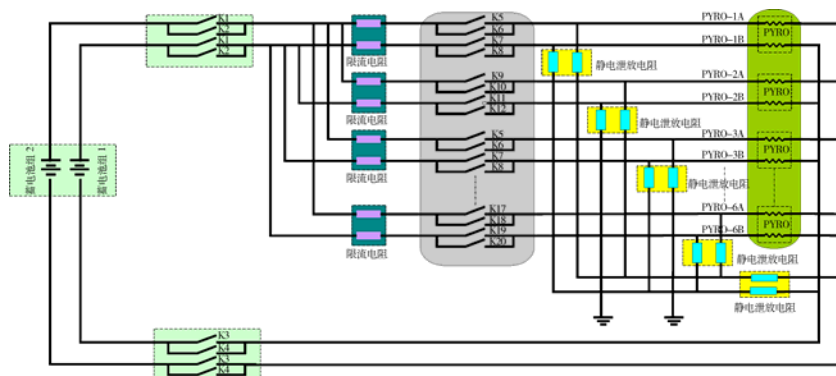


图 2 火工品控制系统点火控制电路

Fig. 2 Pyro control circuit

1) 每个火工品切割器包含冗余的两个点火器,两组蓄电池均可为同一切割器的任意一个点火器供电,任意一个点火器点火成功,则太阳翼成功展开,实现冗余设计;

2) 在火工品控制器内部设置了火工品引爆后防短路的保护电路;

3) 卫星通过两个独立的指令通道,为太阳翼点火器的点火提供互为备份的双通道命令,即启动程控和地面遥控,如图 3 所示;

4) 点火控制电路分别使用了双继电器并联,用来接通或断开的可靠控制方式;

5) 对火工品实施三道可靠控制:点火回线通/断控制,点火母线通/断控制,点火电路接通控制。另外分别使用两个分离开关的触点的压紧和释放^[2],可靠控制点火指令电源的接通和断开,以确保火工品既不误爆,又能在规定的时刻准确引爆;

6) 火工品控制器内部配置了专用的静电释放电路,以消除静电积累。

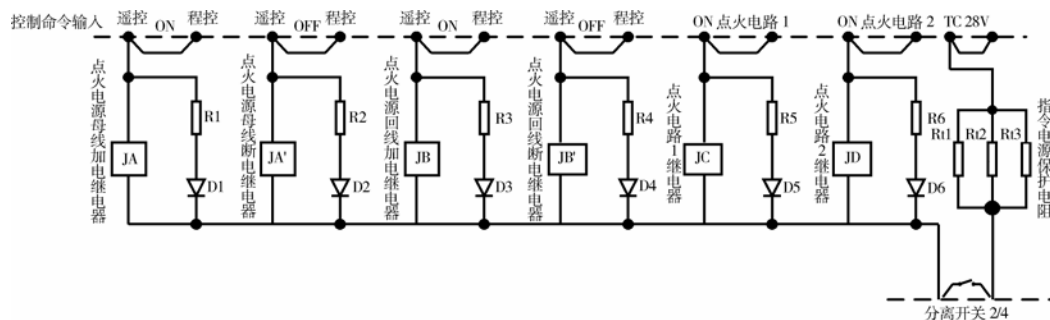


图 3 点火指令控制电路

Fig. 3 Pyro TC control circuit

3 点火通路电缆的可靠性安全性设计

图 1 中的第二部分和第四部分为火工品控制系统的点火通路电缆设计。

3.1 电源电缆通路

第二部分表示 2 组蓄电池为火工品控制器提供点火电源的电缆通路。在电连接器上考虑了电源正线和电源负线的可靠安全间距,如图 4 所示。

接点 2、4、6、8、10、12 和 14 为没有使用的空点,接点 9、11、13 和 15 为电源正线接点,接点 1、3、5 和 7 为电源回线接点。

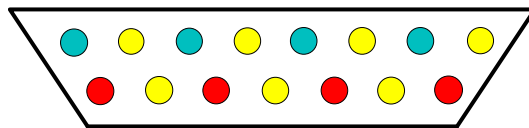


图 4 点火电源电连接器接点布局

Fig. 4 Ignited power connector pin layout

1) 电源正线和回线均匀分布在电连接器的上下两排,且接点间距满足可靠性安全性要求;

2) 电源正线和电源回线均采用了 4 正、4 负引线,且在电缆插头内分别进行短接,提高了可靠性;

3) 点火电源电缆采用屏蔽电缆,且在电缆两端采取屏蔽接地,保证了屏蔽的连续性^[3];

4) 点火电源电缆引出导线在引脚端头 20 mm 处进行弯曲, 弯曲角度不大于 90°, 以减缓外部应力对导线根部的作用和对焊点的损伤。

3.2 点火电缆

第四部分表示从火工品控制器到太阳翼的点火电缆设计。

1) 点火电缆均采用了两正、两负, 且分别在插头内部进行可靠短接, 避免单点失效;

2) 点火电缆均为双绞屏蔽电缆, 且在电缆两端采取屏蔽接地, 保证点火通路的连续性, 以避免射频干扰;

3) 点火电缆按照电缆装联工艺标准, 使电缆的绝缘处理和尾罩处理不出现任何制作缺陷;

4) 严格检验点火电缆屏蔽层的金属丝有无磨损现象或刺破导线现象以防造成短路。

4 太阳翼可靠展开的冗余设计

图 1 中的第五部分为太阳翼点火器可靠起爆的冗余设计。太阳翼共有 6 个切割器, 在星箭分离后, 通过接收程控指令和遥控指令, 顺序执行太阳翼火工品的起爆。图 5 为太阳翼点火器设计示意图。

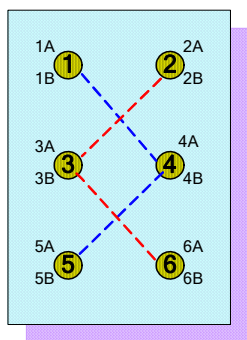


图 5 太阳翼点火器设计示意图
Fig. 5 SAG pyro design

1) 图 5 定义了 6 个切割器的位置, 每个切割器靠一个火工品解锁, 每个火工品内装有两个点火器;

2) 12 个点火器分 2 次解锁: 第一次切割器 1、4、5 解锁, 第二次切割器 2、3、6 解锁;

3) 每个起爆装置上连接 2 个点火器, 互为冗余, 即 1A/1B、2A/2B、3A/3B、4A/4B、5A/5B、6A/6B, 只要 A 或 B 中任一路点火器成功点火, 则该路点火成功起爆^[4];

4) 太阳翼的每个点火器按照工艺规程进行装药并控制药量, 药层清晰, 无错装、漏装现象。

5 点火限流电阻的可靠性安全性设计

图 1 中的五个部分是火工控制系统点火限流电阻选取的重要因素, 限流电阻选取是否合理, 对太阳翼火工品能否成功解锁至关重要。“资源一号”

卫星点火限流电阻 (TRY-A-1W) 采用了新的工艺和材料, 瞬态过负荷特性更好, 可以满足点火后限流电阻无需更换的要求。

在火工品电源电压确定的基础上, 火工品起爆电流的数值是否在指标范围之内, 由火工品起爆电路阻值决定。

$$I = U / (R_h + R_x + R_l + R_j),$$

式中: I 为火工品起爆电流; U 为起爆电源蓄电池输出电压; R_h 为火工装置点火桥丝电阻; R_x 为限流电阻; R_l 为起爆回路导线电阻; R_j 为起爆回路继电器触点和电连接器接点的接触电阻 (阻值很小, 可忽略不计)。

单个火工品桥丝阻值为 0.9~1.1 Ω , 火工品限流电阻设为 2.7 Ω (最大误差为 5%), 电缆线路上阻值根据所用导线的类型、长度和路径计算得出。

计算蓄电池组在不同工作模式下的火工品电源电压:

1) 计算两组蓄电池单体电池在没有失效情况下的电源电压;

2) 计算一组蓄电池有一节单体电池发生短路失效情况下的电源电压。

通过在上述两种情况下计算得出的起爆电流, 可以满足在规定指标范围内的起爆要求, 说明火工品限流电阻选取合理、可靠。

6 结束语

“资源一号”卫星火工控制系统的设计继承了以往成功型号的经验, 在可靠性、安全性和电磁兼容性设计方面进行了完善和提高。根据太阳翼上 3 个切割器同时起爆的起爆电流, 合理设计点火指令控制电路和点火电路继电器、点火通路电缆和点火限流电阻, 并在点火限流电阻的可靠选取和设计方面进行了改进。经过地面和在轨的无故障运行, 进一步验证了火工控制系统设计的可靠性与安全性。

参考文献 (References)

- [1] 马世俊. 卫星电源技术[M]. 北京: 宇航出版社, 2001
- [2] 郑郑. 4KX-2 行程开关技术条件[G]. 北京: 中国航天时代电子公司一六五厂, 2005
- [3] 蔡仁钢. 电磁兼容原理、设计和预测技术[M]. 北京: 航空航天大学出版社, 1997-11
- [4] QJ 3019—1998. 太阳电池阵-蓄电池组电源系统设计规范[S], 1998