

# 飞机无舵面解锁信号指示问题分析

安卫杰 张 珊 黄昱诏

空军装备部驻汉中地区军事代表室 陕西 汉中 723000

**摘 要:** 本文针对空中飞行时飞机解锁指示灯不亮问题, 首先分析了某型舵面锁操纵装置基本原理和电动机构结构及其工作状态, 其次, 结合舵面锁操作装置基本原理, 通过应用故障树分析法详细分析了飞机无解锁信号指示的可能原因, 并逐个明确了机上排查方法, 最后, 根据上述分析, 总结了舵面锁操纵装置质量控制原则, 为产品设计、产品试验和故障排查具有一定的参考价值。

**关键词:** 舵面锁操纵装置; 电动机构; 解锁信号

引言: 电动机构是用于根据指令控制相关部件工作的执行机构。在飞机上, 安装有多种不同功能的电动机构, 可用于驱动调整片或舵面偏转、配平操纵力等功能, 其中舵面锁操纵装置(又称停机制动操纵系统)是用于地面停机时将升降舵、方向舵和副翼操纵系统锁住, 避免地面突风时舵面摆动损坏舵面和操纵系统的传动机构, 在空中飞行时, 舵面锁操纵装置是否工作, 将直接影响飞行安全。

本文以舵面锁操纵装置为研究对象, 详细分析了舵面锁操纵装置的工作原理和状态, 并应用故障树分析法详细分析了空中飞行时飞机无解锁信号指示的可能原因, 逐个明确了机上排查方法, 最后, 总结了舵面锁操纵装置质量控制原则。

## 1 舵面锁操纵装置

### 1.1 组成及基本原理

舵面锁操纵装置主要由舵面锁转换开关和多台电动机构组成, 分别用于锁住左升降舵、右升降舵、左副翼、右副翼和方向舵。其中, 舵面锁转换开关有“解锁”、“中立”和“锁定”三个操作位置, 当接通舵面锁操纵装置断路器后, 系统会显示当前舵面锁状态。

其工作原理是: 当飞机在地面停机时, 地面承载开关处于接地状态, 此时需要将转换开关设置至“锁定”位置, 将舵面锁定, 从原理简图分析可知, 电源转换继电器2和复线转换继电器1均处于接通状态, 通过按压舵面锁操纵装置断路器, 舵面锁操纵装置开始工作, 当舵面处于锁定状态, 输出锁定信号, 因此集中告警信号灯盒上“舵锁定”红色告警灯会闪亮, 舱内告警铃响。当飞机即将移动或者开展空中飞行时, 地面承载开关处于悬空状态, 此时需要将转换开关设置至“解锁”位置, 将舵面解锁, 从原理简图分析可知, 电源转换继电器2始终处于释放状态, 通过按压舵面锁操纵装置断路器, 舵

面锁操纵装置开始工作, 当舵面处于解锁状态, 输出解锁信号, 因此集中告警上“舵锁定”告警灯灭, 舱内告警铃停止鸣响。

### 1.2 电动机构结构及其原理分析

电动机构主要由永磁直流电动机、减速器、丝杆副、输出轴组件、位置开关组件、信号开关组件及电连接器等组成。

如图1所示, 产品通过电连接器接口向电动机构内部提供信号, 使得直流电动机开始正常工作, 电动机输出的圆周运动通过减速器传递给连杆组件中的梯形丝杆副, 梯形丝杆副将旋转运动转换成连杆组件的直线运动, 从而带动锁销伸出或收回。因此, 当固定在锁销上的滑块触动信号开关组件导通, 从而给出锁定(或解锁)信号, 在锁定(或解锁)位置, 固定在连杆组件上的滑块触动行程控制位置开关组件断开用以控制锁销行程。

由电动机构原理分析可知, 舵面锁操纵装置工作可产生两种状态和两个过程, 分别是解锁状态、锁定状态、解锁过程和锁定过程。

#### ①解锁状态

当电动机构处于解锁状态时, 梯形丝杆副应处于收回极限位置, 此时位置开关组件中收回极限位置微动开关O1与cb1应断开, 伸出极限位置微动开关O2与cb2应接通, 信号开关组件中解锁信号微动开关O3与cb3应接通, 锁定信号微动开关O4与cb4应断开。

#### ②锁定状态

当电动机构处于锁定状态时, 梯形丝杆副应处于伸出极限位置, 此时位置开关组件中伸出极限位置微动开关O2与cb2应断开, 收回极限位置微动开关O1与cb1应接通, 信号开关组件中解锁信号微动开关O3与cb3应断开, 锁定信号微动开关O4与cb4应接通。

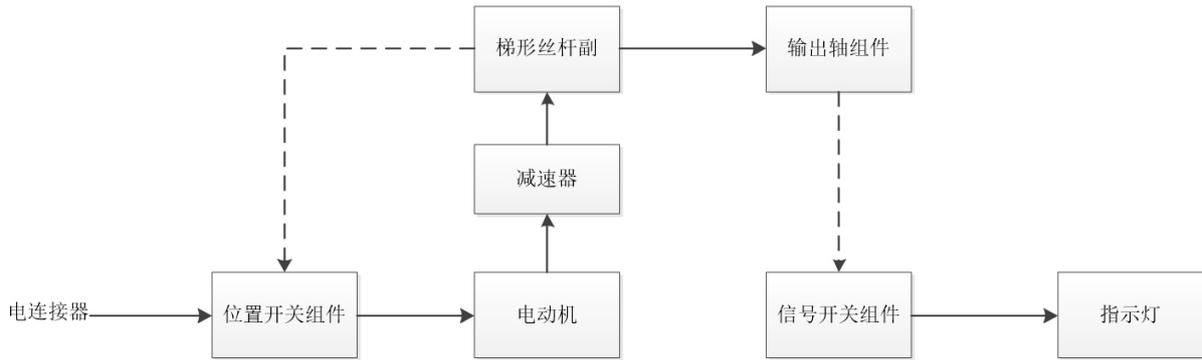


图1 电动机构功能框图

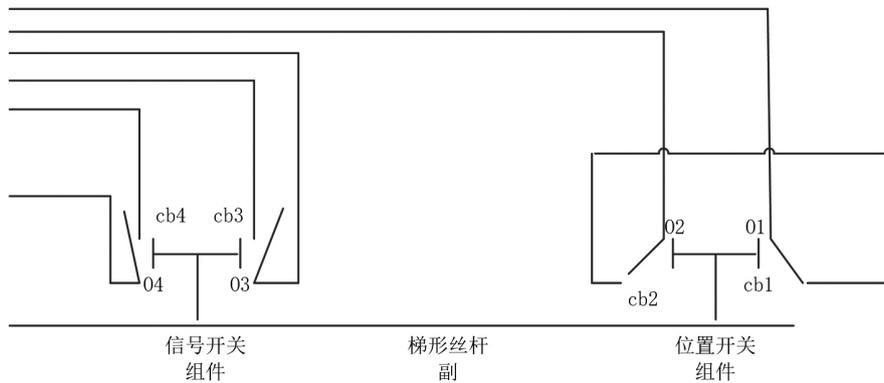


图2 电动机构电气简要原理图

### ③ 锁定过程

因电动机构处于解锁状态，伸出极限位置微动开关O2与cb2接通，当舵面锁转换开关置于“锁定”时，锁销开始伸出，解锁信号微动开关O3与cb3断开，解锁信号灯熄灭；锁销继续伸出，锁定信号微动开关O4与cb4接通，锁定信号灯亮；当锁销工作伸出极限位置时，伸出极限位置微动开关O2与cb2断开，电机停止工作。

### ④ 解锁过程

因电动机构处于锁定状态，伸出极限位置微动开关O1与cb1接通，当舵面锁转换开关置于“解锁”时，锁销开始收回，伸出极限位置微动开关O2与cb2断开，锁定信号微动开关O4与cb4断开，锁定信号灯熄灭；当锁销继续收回，解锁信号微动开关O3与cb3接通，解锁信号灯亮；当锁销收回至极限位置时，收回极限位置微动开关O1与cb1接通，电机停止工作。

## 2 无解锁信号指示问题分析

### 2.1 故障树分析

对于空中飞行时飞机不显示解锁信号问题，通过原理分析可知，在空中飞行前，舵面锁肯定始终处于解锁到位状态（即解锁绿灯燃亮），由于空中飞机时，轮载信号处于“悬空”状态，因此，不会因舵面锁操纵转换开关接通或舵面锁操纵装置断路器接通而造成空中舵面

锁定。

造成空中解锁绿灯不亮主要有解锁信号断路、锁机构故障两个原因造成，按照故障树分析法详细分析故障原因，如图3所示。

### 2.2 解锁信号断路（A1）

由于系统通过设置指示灯显示解锁信号，因此，当电连接器针脚接触异常（A13）、电气线路异常（A11）、指示灯故障（A12）均可造成解锁信号显示电路存在构不成回路的情况，因而会出现解锁信号绿灯不亮。

排查方法：电连接器针脚接触异常（A13）可通过外观检查排查，电气线路异常（A11）可通过使用万用表进行线路导通、搭接电阻测量、供电电压测量等方法排查，指示灯故障（A12）可通过模拟输入信号排查。

### 2.3 舵机构故障（B1）

由电动机构内部工作原理可知，影响解锁信号指示的可能原因主要涉及减速器、信号开关组件和位置开关组件。

#### 2.3.1 减速器传动卡滞（B11）

当电动机传动部位出现卡滞情况时，极易造成因电机驱动无法正常传递到输出轴，能量无法释放导致电机线路烧损、传动零件或机械结构损坏，出现产品不工作，从而无法发出信号的情况。

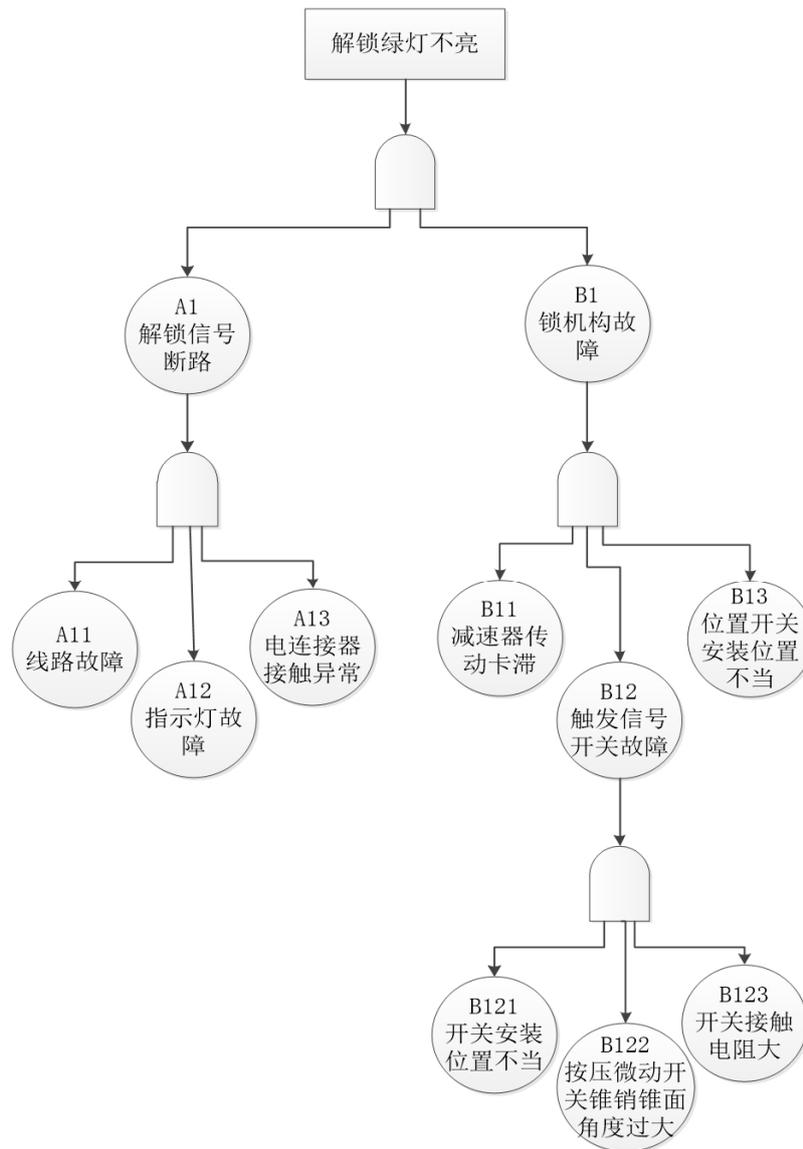


图3 不显示解锁信号问题故障树

排查方法：需关注产品是否在锁定或解锁模式下均无法正常工作，观察直流电机是否能工作，并分解舵面锁电动机构，检查传动零件和机械机构的外观。

### 2.3.2 位置开关组件安装位置不当（B13）

当梯形丝杆副收回时，如果位置开关组件试装位置存在偏差，导致当固定在连杆组件上的滑块触动行程控制位置开关组件断开时，固定在锁销上的滑块并未触动信号开关组件，导致解锁信号微动开关O3与cb3未能接通。

排查方法：需分析舵面锁电动机构，检查位置开关组件安装孔位置尺寸。

### 2.3.3 信号开关安装位置不当（B121）

当微动开关工作时，使用的行程和释加在促动件上的操作力对微动开关的电接触可靠性和寿命有直接影

响<sup>[1]</sup>。在不施加操作力（或力矩）时，应使微动开关的促动件处于自由位置；施加的操作力（或力矩）应为（100~130）%全行程力（或力矩）<sup>[1]</sup>。因此，当信号开关组件安装孔距锥销中心距离小于正常值时，导致弹簧片弯曲半径变大，如公式（1）所示

$$F = (E \cdot t^2 \cdot r) / (2 \cdot R) \quad (1)$$

其中：F表示压紧力，E为弹性模量，t为弹簧片的厚度，r为弯曲半径，R表示弹簧片平均半径。

因此，弹簧片压量较大，长期处于该工况可使微动开关失效。

排查方法：需分析舵面锁电动机构，使用游标卡尺检查信号开关组件安装孔距锥销中心位置。

### 2.3.4 锥销锥面角度过大 (B122)

按公式(2)和公式(3)分析,

$$P = \frac{2[n]T \cdot \cos\alpha}{\pi d_m^2 \cdot L \cdot \mu} \quad (2)$$

其中:  $d_m$ 为锥销锥面直径,  $[n]$ 为安全系数,  $T$ 为摩擦力所能传递的扭矩,  $\alpha$ 为锥角,  $L$ 为长度,  $\mu$ 为锥面结合面传递扭矩时的静摩擦因素,  $P$ 为圆锥面与弹簧面间结合压强。

$$F_\theta = \frac{P\pi d_m L \sin(\alpha + \rho)}{\cos\alpha \cdot \cos\rho} \quad (3)$$

其中 $\rho$ 为当量摩擦角,  $F_\theta$ 为圆锥轴压入力。因此, 当锥销面角度 $\alpha$ 过大时, 锥销在按压微动开关弹簧片时接触面过小, 压力增加, 长期使用如造成弹簧片变形, 从而因此信号灯不亮。

排查方法: 需分析舵面锁电动机构, 测量锥销面角度。

### 2.3.5 接触电阻过大 (B123)

根据公式(4)~(6),

$$R_c = R_\delta + R_f \quad (4)$$

$$R_\delta = \frac{\rho}{2\pi b} + \frac{\rho}{\alpha} \quad (5)$$

$$R_f = \frac{\sigma}{\pi n b^2} \quad (6)$$

其中 $R_c$ 为接触电阻,  $R_\delta$ 为收缩电阻,  $R_f$ 为膜电阻,  $\rho$ 为导体电阻率,  $b$ 为接触点半径,  $\alpha$ 为Holm半径,  $\sigma$ 为膜层隧道电阻率。

当腐蚀或电烧蚀等因素导致信号开关组件的导体电阻率、表面粗糙度发生变化或者腐蚀产物膜<sup>[2]</sup>, 均会导致开关接触电阻增大, 从而由于接触电阻的分压作用, 导致信号无法正常输出。

排查方法: 分别通过未按压和按压开关的情况, 用低阻检测仪检测信号开关组件常闭端、常开端的接触电阻。

## 3 质量控制

经过上述分析研究可知, 造成飞机在空中出现解锁

信号灯不亮的主要原因可能是信号开关组件接触电阻大、位置开关组件或信号开关组件的安装位置不当、锥销锥面角度过大或解锁信号断路等因素。因此, 为了保证机载设备的装机质量, 对舵面锁操纵装置应进行质量监督, 结合工作岗位和经验, 在工作中建议如下:

①在选用微动开关等部件时, 机载设备承制单位应严格执行GJB809《微动开关通用规范》等标准, 充分考虑适用环境工况, 确保在不同环境下产品, 特别是开关的接触电阻应满足要求。

②机载设备承制单位应将开关安装尺寸等指标作为出厂交付的质量控制内容。

③电动机构在交付产品前应进行出厂前试验, 试验环境应符合飞机实际环境;

④紧跟产品装上飞机后的工作情况, 对故障件应履行返厂管理流程, 建立故障件管理台账, 明确故障件的故障原因及措施。

## 结束语

本文首先对舵面锁操纵装置的工作机理和工作状态进行研究, 其次, 结合电动机构内部结构和工作机理, 应用故障树分析法详细分析了可能造成飞机在空中飞行时无解锁信号指示问题的原因, 并逐项制定了排查措施, 最后, 结合自身工作岗位和经验, 给舵面锁操纵装置提出了质量控制建议, 对飞机机载系统的设计和故障排查提供了一定的参考意义。

## 参考文献

- [1]GJB8004.航空微动开关系列型谱[S].北京: 中国人民解放军装备发展部军标出版发行部,2013.
- [2]朱蒙,李明,陈宇等.海洋大气环境下微动开关触点回跳时间增大故障的试验复现与分析[J].海军航空大学学报,2022(37):462-467..
- [3]HB7665.航空电动机构通用规范[S].北京: 航空工业出版社,1999.