

用“人-机工程”思想进行产品设计的尝试—歼××型飞机阻力伞系统的“防错设计”

成都飞机公司 张功勋

摘 要

通过对飞机阻力伞系统外场使用中故障和事故的分析,用“人-机工程”思想进行了一系列的“防错设计”。经过对“故障树”的分析,说明该系统故障率大幅度下降,大大提高了系统的安全性、容错性和可靠性。使用实践也证明该设计减少和防止了飞行中的很多故障及严重事故。

一、引 言

“人-机工程”把人看作系统的一个组成部分,在进行产品设计时把人的因素作为重要内容加以研究、综合平衡。

一般产品设计者也早已把人和机器有机的结合为一个整体来考虑了。但在“人-机”结合的某些方面,却往往为产品设计者所忽略。就以飞机阻力伞系统为例,如有的飞行中飞行员要投掉副油箱,按投副油箱按钮时,由于投副油箱按钮与放阻力伞按钮相距很近,而且所处环境相似,错按了放阻力伞按钮,把阻力伞放了出来伞被飞掉,着陆时飞行员误为有伞,未及时采取补偿措施,造成飞机冲出跑道;再如有时由于地勤人员在匆忙中的疏忽,阻力伞舱门未锁牢,飞机起飞滑跑中的振动,使舱门打开而放出伞来,致使飞机拉不起,造成严重事故。

这些事故的发生,直接原因是飞行员操纵失误或地勤失误。因此,强调飞行员要动作准确,精力要集中及要求地勤人员装好伞,关好舱门等。当然差错减少了一些,但事故仍然发生。

因为墨菲定律早已指出^[1]:做某一件事情,如果存在着发生人为差错的可能性,那么人为差错事件迟早总要发生。要想消除人为差错事件,必须消除发生人为差错的可能性,从设计上采取措施。

二、问题的提出

根据我们多年来积累的外场信息和掌握的情况,阻力伞系统主要有以下几方面的事故。

1. 放伞速度过大,拉断绳索,打坏飞机尾部。歼××型机这类事故时有发生,空军不得不被迫降低放伞速度,控制放伞速度

1986年11月16日收到

在 250km/h 以下，以损失阻力伞的刹车功能来保伞绳不被拉断。

2. 飞行中，伞在空中飞掉（舱门意外打开或飞行员误放），飞行员并不知道，着陆时冲出跑道。

3. 电动、冷气系统的故障，放不出伞来。

4. 飞机起飞，机轮即将离地时，阻力伞意外地开伞（大多数属于舱门未关好引起），于是阻力伞产生很大的减速力作用在飞机上，这时希望绳索立即断掉。然而，此时飞机速度又不够大。比如⁽²⁾，此时机速为 320km/h，阻力伞的阻力为 41130.6N（即使考虑阻力伞的开伞动载，阻力伞的力也只有 47706.4N），而限载轴颈（也称细颈）断开的最小拉力为 51940N，因此拉不断轴颈，于是飞行员打开发动机的加力，想使飞机加速，以拉断轴颈。

在打开加力的情况下，飞机沿飞行速度方向上所受的有效推力（见图 1）为

$$\Delta P = P \cos \alpha - Q_x - Q_s - G \sin \theta \quad (1)$$

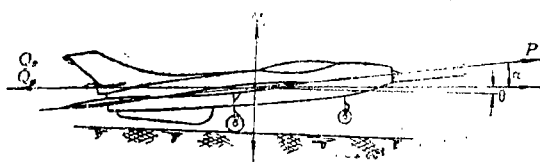


图 1 飞机受力简图

其中：P 全加力状态下装涡喷-7 乙发动机，机速为 $M=0.3$ 时的可用推力 $P=47138$ N。

α 为飞机起飞，速度为 $v=320$ km/h 时的攻角， $\alpha=9^\circ$

$$Q_x \text{ 为飞机阻力, } Q_x = \frac{1}{2} \rho v^2 s c_x,$$

$$Q_s \text{ 为阻力伞的阻力, } Q_s = \frac{1}{2} \rho v^2 s_{ss};$$

$G \sin \theta$ 为飞机总重力在航迹方向上的分量。

θ 为航迹角，起飞刚要离地阶段， θ 很小，可近似看作零。

计算得

$$\Delta P_{320} = -8629.9 \text{ N}$$

用同样方法，可以算出当机速为 300km/h、310km/h、330km/h、340km/h 速度下，飞机意外开伞后，打开发动机加力，飞机所能获得的最大有效推力，如图 2 所示。

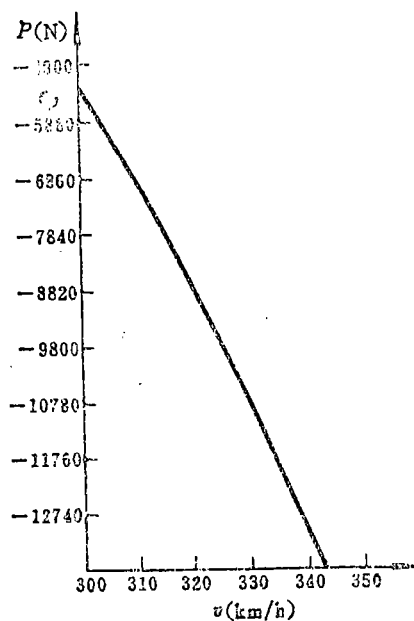


图 2 不同机速下伞张满时，发动机对飞机的有效推力

可以看出在一定速度范围内，有效推力均为负值。说明当机速较小时，如果阻力伞意外张满，即使打开全加力，也不能使飞机加速。所以，飞机拉不起来，也无法拉断轴颈，此时唯一可靠的解救办法是把伞抛掉；如果抛不掉（国内大部分机种抛不掉），就会造成飞机事故。

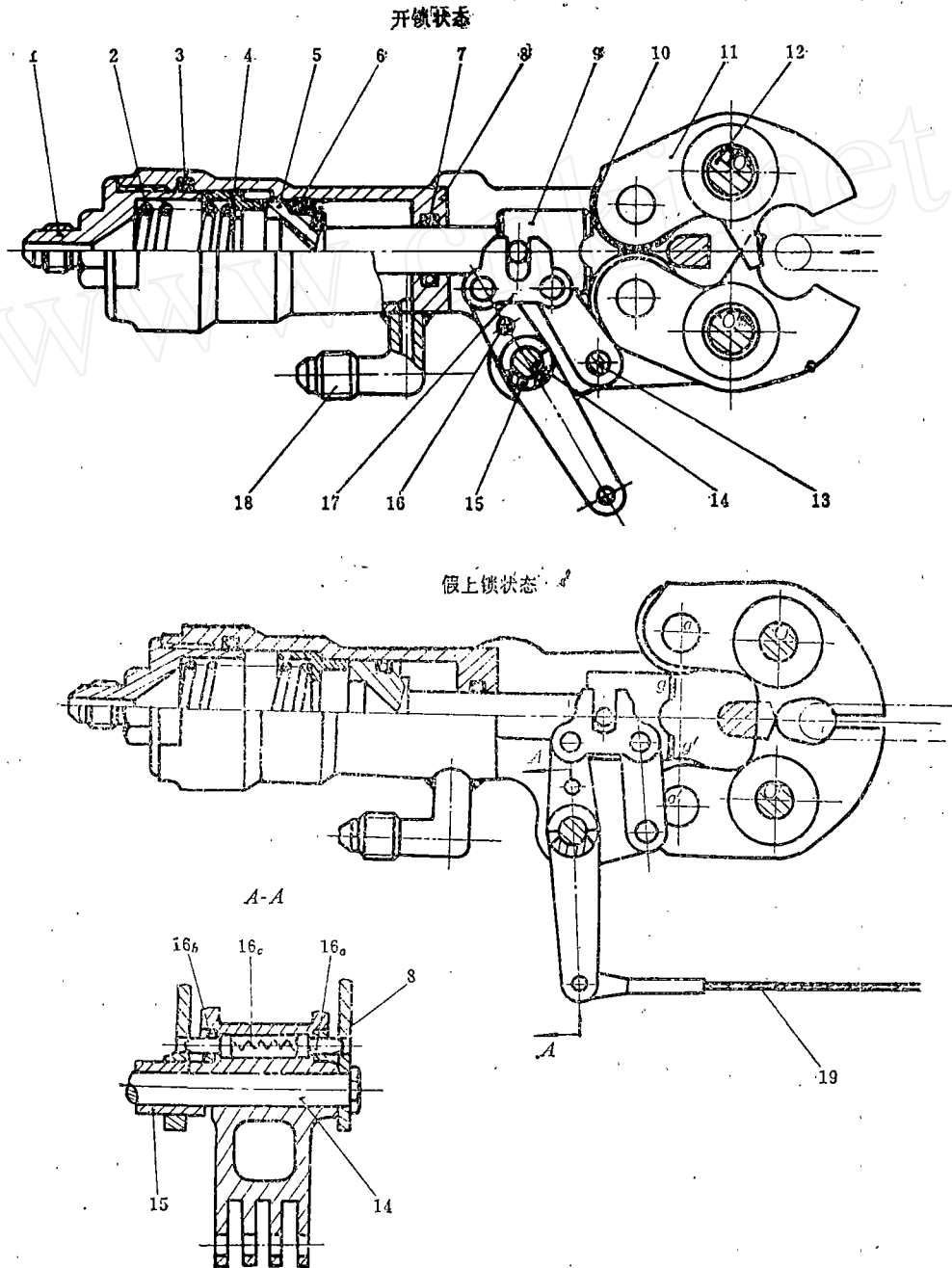


图 3 阻力伞锁钩开锁状态和假上锁状态

1—上锁（放伞）进气嘴；2—压缩弹簧；3、6、7—密封胶圈；4—止动衬套；5—活塞；8—壳体；
 9—滑块；19—滚轮；11—带滚轮的钩体；12—锁钩的固定螺栓；13、14—摇臂的安装轴；15—扇形件的凸块；
 16—碰珠机构（16a—碰珠；16b—可调螺塞；16c—压缩弹簧）；17—4 联杆机构的拨叉摇臂组；18—开锁（抛
 伞）进气嘴；19—协调钢索

三、“防错设计”的尝试

部队出现的问题，很多是使用和维护失误所造成的，这就必须把人的因素和机器作为一个整体来考虑。于是我们针对部队出现过的故障和事故，设计了歼××型飞机具有防错性能的阻力伞系统^[2,3]。

1. 简化装伞过程，减轻地勤负担，把多个“信息-处理-执行”的循环，降低到最少，从而减少装伞差错。我们把阻力伞锁钩设计成一把自动撞锁，就像詹天佑火车挂钩一样，只要伞的挂环撞入锁钩，锁钩就自动上锁（上假锁），因此往飞机上装伞的动作非常简单迅速，如图 3 所示。大大减少了地勤的工作量，减轻了地勤的心理负担，从而减少了差错。

锁钩处于打开时，压缩弹簧（2）处于压缩状态，弹簧推压止动衬套（4），止动衬套推压活塞（5）及固定在其上的滑块（9），滑块顶在钩体的滚轮（10）上。由于压缩弹簧的作用，活塞杆总是有进一步伸出的趋势，只要钩体上的滚轮一脱离滑块，滑块就会立即随活塞杆移动。

当装伞时，圆环被推入钩嘴碰撞钩体的拨爪时，两钩体各绕其转轴 o 、 o' 转动。锁钩闭合，此时，钩体上的滚轮开启让开滑块，受压缩的弹簧立即将滑块向前推动。压缩弹簧（2）推动止动衬套，当止动衬套移动至与壳体（8）内的台阶抵住时，止动衬套再也不能向前移动，活塞及滑块也就停止在这个位置上。在这个位置上，滑块尚未达到两滚轮的连线 aa' ，这就形成了假上锁状态。

2. 设置机械指示，即在人们经过“信息-处理-执行”以后，使机械发出一个显而易见的反馈信息，以便执行者判别自己动

作的准确性，减少差错。

（1）装伞到位后，在伞舱下方有指针指示，在座舱内又有指示灯显示。减少和避免了装伞的差错。

（2）舱门上锁有检查孔，孔边附有形象的上锁标牌，协助检查人员判别，见图 4。

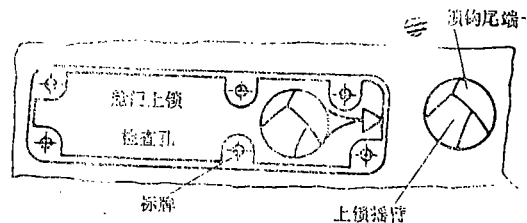


图 4 形象的上锁标牌

3. 即使出现差错，让它也不会造成严重事故。尽各种可能来避免发生人为差错，这只是问题的一个方面，由于差错的不可避免性，要设法最大限度地减轻人为差错带来的恶果。

（1）装伞后，伞的锁钩自动上假锁（图 3），只要飞行员没有操纵放伞装置，阻力伞与飞机的联接就始终保持在假锁状态。从起飞一直到飞机着陆正常放伞时，飞行员操纵放伞按钮，气电阀工作，接通放伞的冷气管路，冷气进入作动筒的放伞（上锁）腔，先使锁钩真上锁，然后打开舱门放伞，见图 5。由于有这样一个假锁装置，在整个飞行过程中，一旦出现意外开伞，只要阻力伞的拉力达到 196N，锁钩就能自动开锁，把阻力伞从飞机上抛掉。这样就消除了飞机起飞时阻力伞意外开伞造成严重事故的可能性。也就是即使出现装伞差错，也不会对飞机产生危害，从而保证了飞机和飞行员的安全。

过去，如果起飞时意外开伞会造成等级事故；现在再碰上意外开伞，飞机照常起

飞, 不会造成事故。

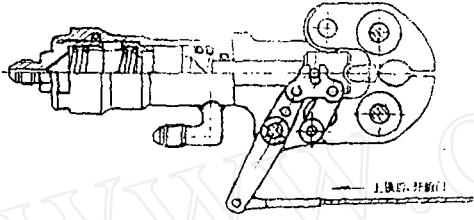


图 5 锁钩真上锁

从上述可以看出, 假上锁位置的准确性是至关重要的, 如果锁钩假上锁位置出现差错, 一连串的防错设想将成泡影。为此, 我们在设计上采取了三重措施: 第一是压缩弹簧(2)只能把止动衬套推到与壳体内凸台相抵住, 带滑块的活塞在这个位置上立即失去前进的动力。第二是滑块向前移动的过程中, 将带动拨叉摇臂组(17)摆动, 在止动衬套抵住壳体内凸台的同时, 拨叉摇臂组上的磁珠(16a)进入锁壳的孔中, 起到止动作用, 避免了滑块由于惯性而冲过假锁位置。第三是通过拨叉摇臂组下端的协调钢索(19)与舱门锁相连, 在假锁位置上, 舱门锁上有联锁摇臂起作用, 使得拨叉摇臂组只能运动到这个假锁位置。当关闭舱门时, 舱门锁上的联锁摇臂开启, 保证两锁钩能正常工作。这三个措施确保撞钩假锁准确无误。

(2) 为防止飞行中飞行员误放, 把放伞的电路设计成受起落架收放控制, 起落架和襟翼收上后, 自动切断电源, 这样即使飞行中出现误操纵, 也放不出伞来。当着陆时放下襟翼或起落架后, 电路就自动接通, 为放伞作好准备。

(3) 当放伞速度过大时, 只要阻力伞的拉力大于58800N, 就可以拉断限载轴颈, 以保证飞机不被拉坏。

4. 当出现阻力伞意外开伞, 阻力伞飞掉时, 锁钩上的拨叉触动微动电门, 座舱内左仪表板上的无伞指示灯立即显示; 给飞行员发出信号, 指示无伞, 提示着陆时要控制速度、注意使用刹车, 不会造成因误认为有伞而冲出跑道。

5. 采用安全贮备设计。当正常电动、冷气系统失灵时, 或当放不出起落架或襟翼时, 可以使用应急机械放伞系统。只要拉一下应急放伞手柄, 就能确保阻力伞放出工作(这个过程也是先使锁钩真上锁而后开舱门放伞)。

6. 进行了大量必要的试验

(1) 静力试验。

(2) 锁钩的疲劳试验, 先后于1979年和1983年进行了两次试验, 9个试件。在试验基础上, 算出了可靠度为99.9%的条件下, 锁钩的首翻期。

(3) 阻力伞全系统1:1加载模拟寿命试验, 相应给出系统的首翻期。

(4) 外场大侧风下使用条件试验, 通过计算和外场大侧风条件下空中放伞^①试验, 给出了在大侧风条件下空中放伞的限制值。

四、效果与实例

为了更直观的说明问题, 我们用故障树来说明系统可靠度的提高。通过两个使用实例说明其经济安全价值。

1. 阻力伞系统的故障树对比^[4,5,6]。

图6是采取防错设计前的阻力伞系统故障树。图7是采用防错设计后的阻力伞系统故障树。如果基本事件(图中用圆圈表示)的故障率均为 10^{-3} , 经计算可知, 图6中飞机事故的故障率数量级仍为 10^{-3} ; 而图7中飞

① 空中放伞系指飞机接地前, 拉平后放伞, 此时飞机距地面高度约为0.5~1m。

机事故的故障率数量级则已降为 10^{-6} 。因此以后，阻力伞系统的可靠度明显提高了。可以看出，采用“人-机工程”的防错设计

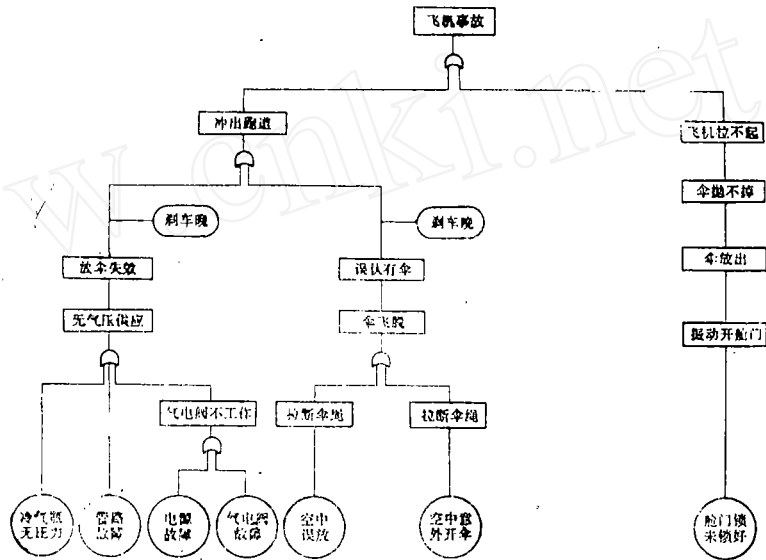


图 6 原阻力伞系统故障树

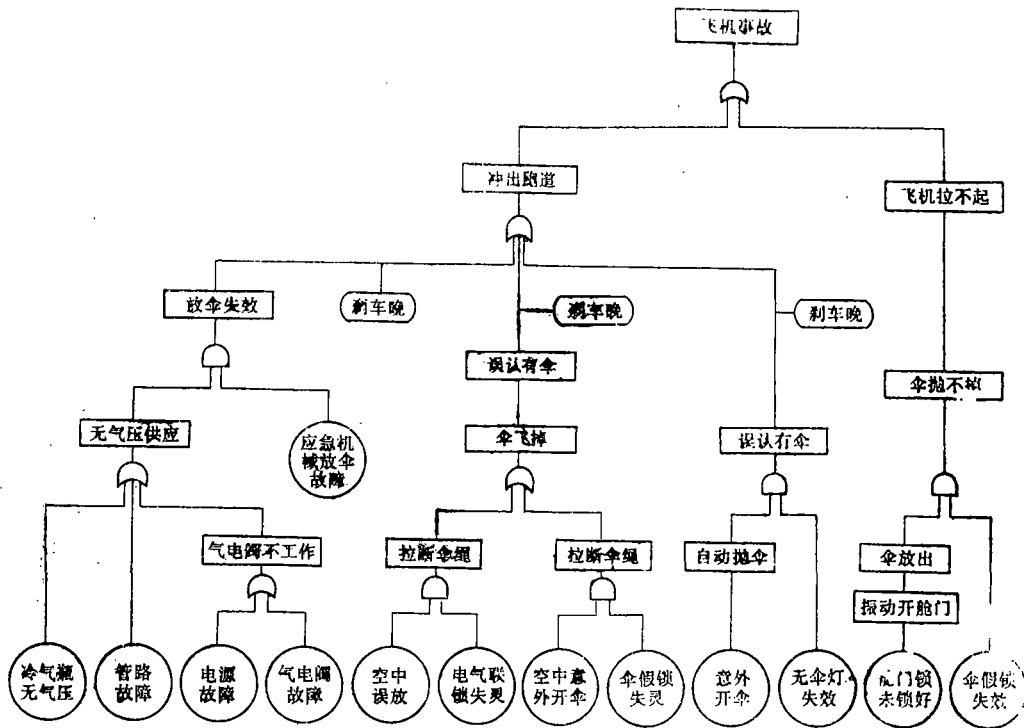


图 7 采取防错设计后的阻力伞系统故障树

2. 两个实例:

(1) 一次厂内飞行, 由于装伞疏忽, 伞舱门没锁好, 在飞机刚刚离地时伞舱门打开了, 于是引导伞张开了, 立即拉出了主伞, 此时, “假锁”起了作用, 没等主伞张开, 锁钩就打开了, 自动把伞抛在跑道上。一场灾难避免了。飞机大批交部队后, 在部队也避免了类似事故。

(2) 一次着陆放伞, 由于电门“积碳”, 飞行员两次操纵按钮放伞后无效, 立即拉动手柄应急放伞, 避免了冲出跑道的可能。

五、结束语

这套防错设计的阻力伞系统投入使用后, 得到部队的好评, 空军已经把这套系统改装到所有服役的歼××型飞机上。现在这

套系统已沿用于歼××、歼××型出口飞机上。并将得到更广泛地推广应用。

参考文献

- (1) Headquarters, US Army Material Command, Maintainability Engineering Theory and Practice, AMCP706-133, 5-8.5, (1976)。
- (2) 歼××型飞机技术说明书, 第一、二册, (1983)。
- (3) 张功勋, 飞机阻力伞的自动解脱装置, 航空与航天, 第二期 (1981)。
- (4) 杨为民、盛一兴, 系统可靠性数字仿真, 中国航空学会科普与教育工作委员会, (1984)。
- (5) 屠庆慈、陆廷孝, 系统可靠性分析与设计, 中国航空学会科普与教育工作委员会, (1984)。
- (6) MIL-D-9036 B (USAF)。

AN ATTEMPT TO ADOPT THE IDEA OF "ERGONOMICS" IN DESIGNING PRODUCTS—"ANTI-MISOPERATION" DESIGN OF THE DRAG CHUTE SYSTEM FOR F-XX AIRCRAFT

Zhang Gongxun

(Chengdu Aircraft Corporation)

Abstract

This article points out that human can not avoid misoperations and puts forward an idea that the human factor and machine should be taken into account together in design.

Through analysing defects and accidents occurred in operation, the writer has put forward and performed a series of new "Anti-Misoperation designs".

Studying the "defect trees" we find out that the rate of defect in this system has decreased considerably and the safety, misoperation compatibility and reliability have increased greatly. It has been proved in practice that this design can reduce and avoid a lot of defects and dangers in flight.