

歼七飞机前风档玻璃炸裂原因探讨

空军第一研究所 武广仁

1988年连续发生三起歼七飞机前风档玻璃炸裂事故。本文通过分析对炸裂原因提出了看法,认为事故的原因可能是无机玻璃的质量问题。

Study on the Cause of the Explosion of the Front Windshield of the Fighter F-7

Wu Guangren
(The First Research Institute of PLAAF)

Three accidents of the front windshield glass explosion on the fighter F-7 were happened consecutively in 1988. An idea to the explosion cause is proposed through the analysis in this paper. The quality problem of inorganic glass is considered as the accident cause.

1988年连续发生三起歼七飞机前风档玻璃炸裂事故。炸裂后,飞行员前方的视场几乎全部破坏。歼七飞机发生这样的事故还是首次,事故检查尚未找到直接原因。鉴于它与飞行安全的关系极为密切,很有必要对事故原因进行认真探讨。

三次事故简况如下:

1988年2月在海南岛某机场,歼七I型29号机完成起落架收放检查工作后,落下千斤顶,发现前风档玻璃内层8mm厚的玻璃炸裂。起爆点在玻璃右下角,距边框20mm处。

1988年5月在某机场,歼七II型19号机飞行第二架次,发动机用最大状态起飞,直线爬升8min,发生前风档玻璃炸裂。当时飞行高度9000m,真速900km/h,座舱内外压差0.022MPa,也是中间的8mm厚玻璃炸裂。起爆点在玻璃右上角距边框25mm处。

1988年10月一天上午7:45,机务人员在河南某机场做飞行前准备,发现歼七I型66号机前风档玻璃炸裂。从内层8mm厚玻璃开始,持续至下午1:45左右表层玻璃也开始炸裂。起爆点在玻璃的底边。

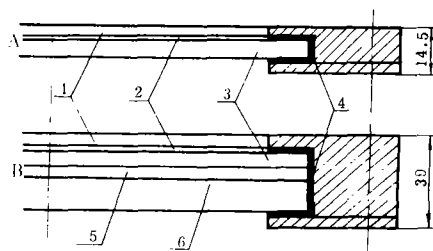
歼七机前风档玻璃为防鸟撞玻璃。I型与II型飞机的玻璃结构不同,分别如下图所示。

为避免同类事故再次发生,曾组织有关单位于当年10月调查了空军六个机场歼七前风档玻璃的故障情况。与玻璃结构安全有关的故障有六种。

出现在表层4.5mm厚玻璃上的故障有三种:

玻璃裂口。在玻璃的外表面,裂口大致呈圆形或

月牙形,直径1.5~2mm。



歼七飞机前风档玻璃结构示意图

A—歼七I型;B—歼七II型

1—半钢化玻璃,δ4.5; 2—813胶片,δ2; 3—钢化玻璃,δ8; 4—GD414硅橡胶; 5—GN581硅橡胶,δ4; 6—定向有机玻璃,δ20

玻璃边部脱鳞。在玻璃的端面上,由于外力或周边胶条应力作用,呈鱼鳞状脱落。

夹钳印炸口。玻璃钢化处理时留下的夹钳印凹坑出现放射状微裂纹。

脱胶。胶合的两层无机玻璃之间的813聚乙烯醇缩丁醛与玻璃之间出现脱开现象,是一种老故障,这次仍出现较多。

出现在硅橡胶上的故障有两种:一种是硅橡胶断裂,即在硅橡胶上出现贯穿整个厚度的大裂口;另一种是硅橡胶脱胶,即在硅橡胶与无机或有机玻璃间产生脱开现象。六种故障出现次数见表1。

表 1

机 型	4.5mm 厚玻璃故障			813 胶片		硅橡胶故障	
	裂口	脱鳞	夹钳印炸口	脱 胶	断 裂	脱 胶	脱 胶
歼七 I	4	2	1	0	—	—	—
歼七 II	2	0	3	83	6	2	2
合 计	6	2	4	83	6	2	2

1988 年三起事故是什么原因造成的? 与上述几类故障关系怎样, 还有没有外界因素, 或是否玻璃本身的原因? 试做了一些分析和探讨。

三起事故均发生在 8mm 厚的玻璃上, 或者是从它开始炸裂的。上述六种故障中的前三种均属于表层 4.5mm 厚玻璃上的故障, 与 8mm 厚玻璃之间还隔着约 2mm 厚的 813 胶片层。事故的起因可认为与这三种故障无关。

硅橡胶故障。三起事故中的两起发生在 I 型飞机玻璃上, 该玻璃没有硅橡胶和有机玻璃层。II 型飞机玻璃上, 硅橡胶介于有机玻璃和无机玻璃之间, 其作用在于松弛这两种材料在温度变化时由于膨胀系数不同引起的界面应力。硅橡胶在常温下的弹性模量和拉伸强度都很小, 几乎不能传递应力。因而可以认为三起事故也与硅橡胶无关。

三起事故是否与 813 胶片脱胶有关? 813 胶片是由不含增塑剂的聚乙烯醇缩丁醛加工而成。813 胶片与厚度 4.5mm 和 8mm 的玻璃合片, 在 160℃、25 个大气压条件下粘结为一整体。粘合完成后, 玻璃温度逐渐降至室温。813 胶片与玻璃的线膨胀系数相差一个数量级, 在降温收缩过程必然在界面处残余下冻结应力。813 胶片的玻璃化温度是 65℃, 从 160℃降至 65℃过程中, 813 胶片处于高弹态, 弹性模量很小, 因而残余的应力也很小, 可以忽略。残余应力主要是在 65℃降至室温过程中形成的。残余应力可由下式计算:

$$\sigma_r = \frac{E \cdot \Delta\alpha \cdot \Delta T}{1 - \nu}$$

式中 $\Delta\alpha$ —两种材料的线膨胀系数差(813胶片和玻璃的线膨胀系数分别为 $9 \times 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$ 和 $9 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$, 其差值约为 $80 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$);

ΔT —813胶片玻璃化温度与室温的差值(设室温为 20℃, 则差值为 43℃);

E —813胶片弹性模量, 20℃时为 2058MPa;

ν —813胶片泊松比, 20℃时为 0.3~0.4, 取 0.35。

代入上式计算得 20℃时的残余应力为 10.9MPa。在玻璃不装金属边框的自由状态, 该应力对于 813 胶片是拉应力, 而玻璃则是压应力。玻璃装入金属框

后, 在玻璃与金属框之间填充 GD414 硅橡胶。

部分风档玻璃在使用中边缘有脱胶故障。形成脱胶的原因, 从应力上分析可能有两种, 一种是上述的残余应力在界面处形成的剪切力大于粘结的剪切强度; 另一种是, 表层 4.5mm 厚的玻璃并没有镶入金属框内, 仅靠 813 胶片与 8mm 厚的玻璃粘在一起, 风档玻璃在受气动载荷和座舱内外压差载荷作用下产生弯曲变形时, 在玻璃的边缘处沿玻璃厚度方向上 813 胶片与玻璃之间形成张开拉应力, 当它大于粘结强度时, 也会形成开胶。实际上这两种力常常是综合作用的。

三起事故中的两起是在地面停放状态发生的。也就是说, 玻璃的炸裂并没有飞行气动载荷和座舱内外压差载荷的作用, 仅存在冻结应力的作用。无论玻璃有无开胶故障, 若玻璃边缘为自由状态, 玻璃在常温是处于压应力下, 不致使玻璃炸裂。若考虑到金属边框对玻璃的固定作用, 即玻璃边缘被一定的粘结力固定, 在脱胶的边界处, 在玻璃内则可能存在拉应力, 成为玻璃炸裂的潜在危险。钢化玻璃的拉伸强度是很大的。取风档玻璃进行水压爆破试验, 同时测量 4.5mm 厚玻璃表面的应力, 水压增至 0.49MPa 玻璃爆炸, 当时玻璃的长轴方向上最大应力为 29.1MPa, 横轴方向最大应力为 132.7MPa。两起地面炸裂事故, 一次是在海南岛 2 月间一天下午, 一次是河南 10 月间一天上午 7:45, 环境温度都正好在 20℃左右。这种情况下残余应力是不大可能超过玻璃这样大的爆破应力的。5 月间飞行时出现的炸裂事故, 是在飞机起飞后发动机以最大状态直线爬升 8min 发生的。这一过程是前风档玻璃表面升温过程。随着温度的升高, 813 胶片的弹性模量明显降低, 残余应力被松弛, 应力水平比常温时还低。实际上歼七飞机装备部队 20 多年来, 脱胶故障是较长期、普遍存在的, 但从未发生过玻璃炸裂事故。可以认为, 仅仅脱胶故障不会引起玻璃炸裂事故。

8mm 厚玻璃在风档玻璃上是在中间层或内表层。如果有外来物的撞击, 首先应该是表层的 4.5mm 厚玻璃破裂, 但三起事故均非如此。

前面已经对除 8mm 厚玻璃本身以外的有关故障因素作了分析, 没有找到引起炸裂事故的直接原因。最后回到 8mm 厚玻璃本身。

8mm 厚玻璃是经过钢化处理的无机硅酸盐玻璃。这种玻璃的表层是压应力状态, 内部则是拉应力状态。据资料介绍, 在玻璃拉应力区不能存在有应力“结石”, 当存有 0.02~0.04mm 应力结石时, 存在着“自爆”的隐患。轰六飞机电加温玻璃, 结构与歼七 I

表 2 前风档玻璃水压爆破试验

序号	风档玻璃 编 号	爆破前脱胶发展情况	爆破压力 MPa
1	15781J789	0.20MPa 开始脱胶 0.29MPa 脱胶至 81mm	0.49
2	8193-1	0.41MPa 开始脱胶	0.55
3	8198-3	0.29MPa 脱胶至 25mm	0.37
4	15781J716	0.29MPa 脱胶至 53mm	> 0.63
5	15781J789	0.20MPa 开始脱胶 0.29MPa 脱胶到 81mm	0.49
6	8194-3	0.29MPa 脱胶至 200mm	0.55
7	8193-2	无脱胶	0.53
8	8197-2	0.39MPa 开始脱胶	0.49
9	15781J754	0.24MPa 开始脱胶 脱胶至 80×3mm	0.39
10	1578212-4	脱胶至 80×3mm	0.65
11	1578213-2		0.71
12	1578110	未脱胶	> 0.65
13	1-108	0.20MPa 开始脱胶	0.22
14	1-110	未脱胶	0.27
15	2-114	0.45MPa 开始脱胶	> 0.54
16	3-1	0.41MPa 开始脱胶	0.55
17	7-2	0.39MPa 开始脱胶	0.49
18	5-54	0.24MPa 开始脱胶	0.39
19	8-3	0.29MPa 开始脱胶	0.37

型机前风档玻璃相似，曾发生过几次玻璃炸裂事故，就是由于应力结石引起的。有明显的起爆源，起爆源就在结石点。歼七机三起玻璃炸裂也都有明显的起爆源，与轰六机玻璃炸裂特征相同。如果玻璃内有这样的结石点存在，同时受到 813 胶片内残余应力作用，就有可能发生炸裂事故。157 厂和建材院曾取产品性能检验合格的前风档玻璃进行水压爆破试验，结果见表 2。19 块玻璃中有 13 块玻璃的爆破压力都在 0.49MPa 以上。但也有个别一两块玻璃仅在 0.22、

0.27MPa 压力下就爆破了。这些玻璃破坏都是 8mm 玻璃炸裂，可能是与 8mm 玻璃材质不均匀性有关。表中还可以看到，除三块玻璃在爆破前没有开胶外，其余都有不同程度的脱胶，但其爆破压力并不低。这也说明仅仅脱胶对玻璃的炸裂没有明显的影响。目前还没有仪器可以准确检验玻璃内的微小结石，今后须继续研究结石与玻璃炸裂的关系，改进玻璃质量，解决检测手段问题。

西航公司研制成功包装新材料——可剥性塑料

一种能抵御轻度摩擦及撞击并可保护精密件表面不受损坏的包装新材料——可剥性塑料，已在西安航空发动机公司研制成功。

可剥性塑料在国外是一种较普遍的包装材料，对各种精密件的防摩、防锈、防摸、防撞击等有着良好的保护作用，并可轻易剥除，比一般的油封包装优越。此种包装材料在国内尚未被普遍采用，致使许多精密仪器零件在包装运输中造成损坏，带来损失。

新研制成的可剥性塑料分为溶剂型和热熔型两类，是以塑料为基体的一种防锈包装材料，它涂覆于金属制品表面成膜后，并不直接粘附于金属表面，而是被一层析出的油膜与金属隔开，启封时不需借助溶剂，用手即可轻易剥除。该塑料保护膜层透明，柔韧性好，在-40~60℃不受破坏，防锈期长，适用于钢、铁、铜、铝等制件的包装。

(西航公司 丁占生)