

700732 号飞机座舱盖爆破故障分析

北京航空材料研究所 许凤和

本文用断口分析、红外光谱、能谱、电子探针和材料力学性能检测等手段，对残骸玻璃进行了分析判断，认为：座舱盖是在撞击力作用下空中爆破的。

Failure Analysis of Canopy for 700732# Aircraft

Xu Fenghe

(Institute of Aeronautical Materials, Beijing)

The failure reason of the canopy was analyzed by the method of fracture surface analysis, infrared spectrum, electron probe, energy spectrum and mechanical testing. The results show that it is the force by some object that lead to the rupture of the acrylic plastics.

一、概 述

700732 号飞机在进行高空超音速训练飞行时空解体，飞行高度约 14000~15000m。现场调查分析的结论是：“飞机在加力超音速平飞增速过程中，由于座舱盖爆破，飞行状态突然急剧变化，飞行员头部受到严重撞击昏迷，飞机失去控制超过允许飞行范围，发生特殊形式的颤振，大应力解体。即舱盖玻璃空中爆破是造成这次事故的直接原因。”因此，分析舱盖玻璃爆破原因是弄清本次事故成因的关键所在。

座舱盖在飞机解体后落在飞机残骸散落区域（8×8km）的中前部位。座舱盖框架完整，部分残存的玻璃均镶在框架内。座舱盖上方偏右有一约占座舱玻璃 1/5 面积的残片，在距舱盖 3km 处找到。复原后的座舱盖见图 1。

二、试验分析及结果

1.断口分析

(1) 裂纹源

从座舱残骸右侧距后弧框玻璃 375mm，距软固定边缘 230mm 处有 1 条 105mm 长的弯曲冲击断口，其中 3 个裂纹源从座舱内表面上开始，这 3 个裂纹源分别有几条羽状冲击裂纹残留在玻璃里（见图 2 和图 3）。与裂纹源相对应的外表面有 3 处机械伤痕。1[#]伤痕为 $\phi 3.5\text{mm}$ 圆形伤痕，深度约为 0.5mm；2[#]伤痕为弦长 5.6mm 月牙形，推算直径约为 7mm，残留面积约 5.5mm²；3[#]伤痕为长 9mm 不规则形状。在 1[#]和 2[#]机械损伤对应的羽状裂纹之间的内表面上有 2 条直钩形机械伤痕（图 4），伤痕宽 1~2mm，长分别为 20mm 和 30mm。这 2 条伤痕在残骸上留下的 4 个“起止”端，均位于残骸一次裂纹弯曲冲击断口的边沿部

位，其中有的“起止”端位于裂纹源区。

(2) 裂纹走向

a.残骸玻璃一次裂纹：由裂纹源（105mm）算起向后裂纹长约 375mm，向前并转向左后侧裂纹长约 1420mm，这条总长约 1900mm 的裂纹是连续的，都是由玻璃内表面开裂，外表面受压剪的一次裂纹（见图 5）。在裂纹源两边亦是弯曲冲击断口，其余均属快速撕裂断口特征。

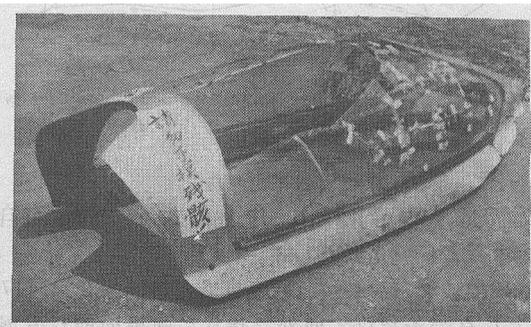


图 1 复原后的座舱盖

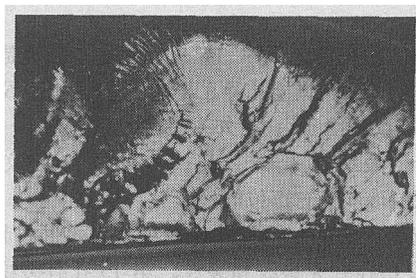


图 2 裂纹源

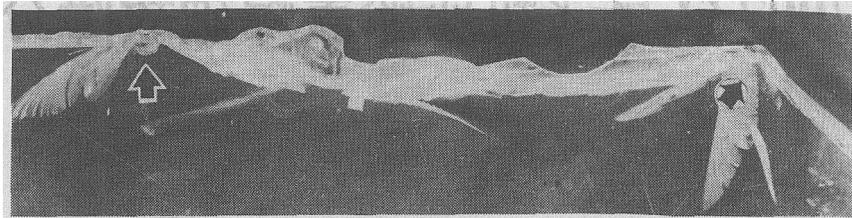


图3 裂纹源外表面的机械损伤 黑色箭头所指为1^号伤痕 白色箭头所指为2^号伤痕 黑色带白圈箭头所指为3^号伤痕



图4 两条直钩形机械伤痕

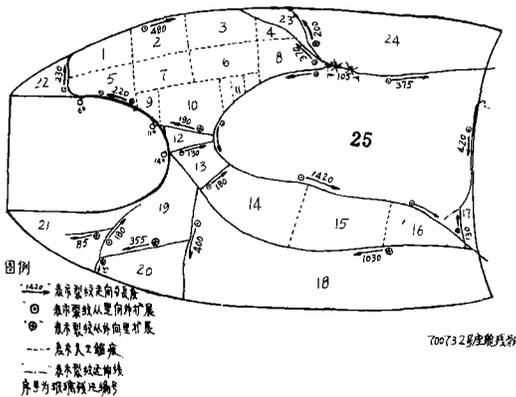


图5 裂纹的走向与长度

25号碎片玻璃周围断口与上述断口完全一致。并且可以判断裂纹源区就是爆破源区。

b.残骸玻璃二次裂纹：后弧框右起第5梅花槽（17号残片上）有一条裂纹，向外（指从后弧框向前）发展约20mm转向沿后弧框向座舱左侧发展与一次裂纹相交（16号残片）后终止，说明17号裂纹是后于一次裂纹发展的。17号断口源区有疲劳条纹特征，其它为弯曲和撕扭断口特征。

前弧框右起第6、11和14三个螺栓孔破裂是座舱落地时造成的。第14螺栓孔除了落地时摔裂的裂纹外，有一条13-1裂纹是由14孔向外发展的，它终止于一次裂纹处，说明1-1裂纹是后于一次爆破裂纹的二次裂纹。

(3) 座舱玻璃其它部位的检查

座舱玻璃透明部分没有发现银纹。前弧框右起7、8、9、10和12螺栓孔无银纹和裂纹。第13孔有裂纹是落地时摔裂产生的。后弧框右起第4~10梅花槽局部有银纹，有的有裂纹。

2.座舱玻璃残片上白色擦痕的化验分析

座舱玻璃14、15、16、18和24号残片上有明显的白色擦痕6处（图6）。25号残片上白色擦痕5处（见图7）。对白色擦痕及头盔上白漆分别取样进行红外光谱法鉴别，分析结果证明二者为同一材料，因此说明玻璃残余碎片上的白色擦痕为头盔上的白漆。另外，在24号残片断口上有两处少量的白色物，经与25号残片上白漆擦痕核对证明是断口产生后飞行员头盔在断口上擦上的漆痕。

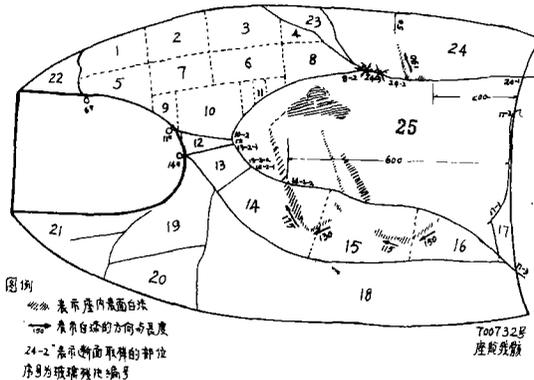


图6 座舱内白漆的位置与断面取样部位



图7 25号残片玻璃内表面的白漆擦痕

3.座舱残骸玻璃的力学性能测试结果

从第18号残片取样进行了力学性能测试，结果列在表1中，结果说明残骸玻璃的力学性能没有降低。

4.方向舵上擦痕的分析

方向舵上有3束擦痕，两束白色擦痕（长度分别为260mm和330mm）、一束黑色擦痕（长度370mm）。

光学显微镜检查认为，白色（无色）擦痕为硬度低于铝合金蒙皮的部件撞擦伤。

白色（无色）擦痕部位经电子探针测试富硫、硅元

素, 无镁; 能谱分析富硅、硫元素, 无锰和锌。

表 1

测试单位 结果	玻璃生产厂 出厂数据	飞机制造厂 复验数据	621 所对残 骸测试数据
项目 拉伸强度,MPa	87.3	79.4	75.6
拉伸弹性模量,MPa			2.6×10^3
断裂延伸率,%	7.0	4.0	5.1
无缺口冲击强度 kJ/m^2	14.4	15.3	15.0
软化温度 (拉祖尔金耐热), $^{\circ}\text{C}$	115		113

黑色擦痕部位经电子探针分析富硫、硅元素, 无镁、锰、锌; 能谱分析富硅、硫元素。

黑色擦伤部位刮下的黑色物经发射光谱定性有硅元素, 无镁、锰、锌; 经红外光谱定性鉴别有聚硫胶。分析结果表明, 方向舵上黑色擦痕为含聚硫胶的部件碎片擦伤造成。

由于 25 号残片本身完整, 故方向舵擦痕不是座舱玻璃所致。

5. 头盔检查情况

头盔防护外壳撞击压痕 11 处, 严重压痕 4 处。其中右侧有长 100mm、宽 75mm 压平压痕; 左下侧有长 90mm、宽 25mm、深 5~10mm 的压痕; 顶部左下有长 45mm、宽 40mm、深 3~4mm 压痕; 外壳后颈部左侧有长 25mm、宽 15mm、深 8~10mm 压痕等。

防护面罩上有 130mm 长的撞击裂纹 (见图 8), 内外玻璃裂透。

调节网调节松散可与外壳内顶部相贴, 起不到保护头部作用。

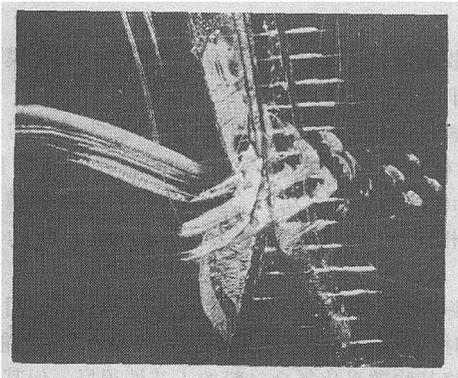


图 8 防护面罩裂纹及擦伤

三、分析意见

1. 座舱玻璃爆破源 (即裂纹源) 为 105mm 长的弯曲冲

击断口, 在裂纹源外表面有 3 处机械损伤, 裂纹源内表面有 2 条直钩形伤痕。

2. 座舱玻璃内表面有头盔白漆擦痕 11 处。

3. 飞行头盔外壳压痕 11 处。

4. 经检查高空头盔系超期使用, 调节网调节不适当失去保护作用。面罩双层玻璃有机械撞击穿透性裂纹, 不能保证正常供氧。

5. 座舱玻璃右起第 4~10 梅花槽上存在银纹和裂纹。

6. 有机玻璃力学性能指标未降低。

7. 一条连续的约 1.9m 长的残骸玻璃一次裂纹是在有压差和机械损伤条件下, 在座舱内头盔多次冲击作用下导致座舱玻璃空中爆破。

四、结 论

座舱玻璃空中爆破是由于玻璃表面有机械损伤和飞行员头盔多次撞击造成的。

参加本工作的还有陆履平、吴培远、赵进等同志

※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※

全国探针分析标准样品标委会 第八次会议召开

全国探针分析标准样品标准化技术委员会第八次会议于 1991 年 5 月 16~23 日在浙江宁波举行。刘永康、林卓然等 17 位委员出席了会议。主任委员刘永康作了“探针标委会 1990 年工作总结”报告; 林卓然、张宜副主任委员分别作了“关于争取在 ISO 建立微束分析标准化技术委员会 (TC) 的工作进展情况报告”和“关于标样委员会八五规划报告”; 曾朝伟秘书长作了“秘书处工作总结”。

会议对送审的 10 个标样逐个进行了认真审查, 其中 4 个标样已获通过作为国家标样上报; 会议就如何促进在 ISO 建立微束分析 TC 及承担其秘书工作问题进行了热烈讨论; 会议对“九一计划”、“九二计划”和“八五规划”进行了讨论, 研究了 1992 年的文字标准和实物标样项目。会议还就如何改善标样制作、提高标样质量、拓宽销售渠道等问题进行了讨论。

这次会议通过的文字标准标志着委员会工作取得较大进展, 工作内容不仅限于实物标样本身, 而且涉及微束分析的物理概念、仪器、定量方法及具体的实用领域的标准化工作, 这是全体委员共同努力的结果。

(祝印兰)