

三叉戟飞机高压供气管爆破分析

中国民航总局航空器适航中心 戈阿力

本文对三叉戟飞机高压供气管的一次爆破事故进行了分析。结果表明,该供气管系长期处于高温、高压和腐蚀环境条件下,导致内表面损伤,疲劳裂纹得以萌生扩展,最后爆破终止供气,飞机迫降。

一、概述

由北京飞汕头航班的一架三叉戟飞机,起飞后改平飞不久,高压供气指示红灯点亮(危险警告),飞机立即改在天津机场着陆,地面检查发现高压供气管爆破。

该管材料为 Crade Ti (相当于国产 1Cr18Ni9Ti),主管外径 60mm,壁厚 3mm,支管外径 25mm,壁厚 3mm。两者材料相同,焊接构成三通型。

该管工作温度为 500℃,管内大气压力为 200MPa。至爆破时共使用了 17648h,英方规定使用寿命为 30000h,而且在寿命期内无需检查维护,这次爆破属于早期失效。

二、试验过程及结果

1. 化学成分分析

定量分析结果列于表 1。

表 1 供气管材料化学成分

项目	化学成分(%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti
实 测	0.07	0.52	1.36	—	—	17.90	10.13	0.62
英国标准 BS1501-821	≤0.12	0.20~ 1.00	0.50~ 2.00	<0.045	<0.045	17.00~ 20.00	>7.50	4×C% ×0.7

表列数据表明,材料化学成分符合英国技术条件。

2. 外观检查

检查爆破管,在结构上管子包着一薄层起绝热保温作用的石棉布,布已被撕裂。爆破发生在三管相交处,主管-支管焊缝完好未开裂(图 1)。爆破口向外翻,管子外壁表面光滑无损伤,管子内壁表面发黑,放大观察显示沿纵向分布的氧化腐蚀裂痕(图 2)。在图 1 标识的 1#、2# 位无宏观变形,3# 位有鼓肚变形。

3. 断口分析

爆破的宏观断口可分为三个区(图 1)。1#、2# 区为平断口区,3# 区为斜断口区,伴有塑性变形。

1# 区断口表面严重氧化腐蚀,在高倍下显示颗粒状形貌(图 3)。2# 区断口表面复盖着一层氧化腐蚀膜(图

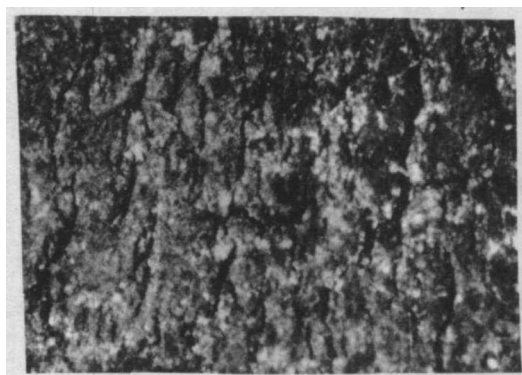


图 2 内管壁表面的氧化腐蚀损伤 50×

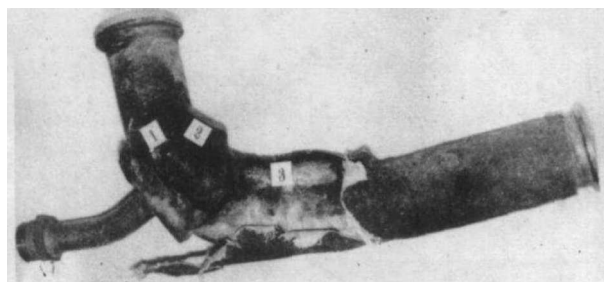


图 1 爆破高压供气管外形 1/3×

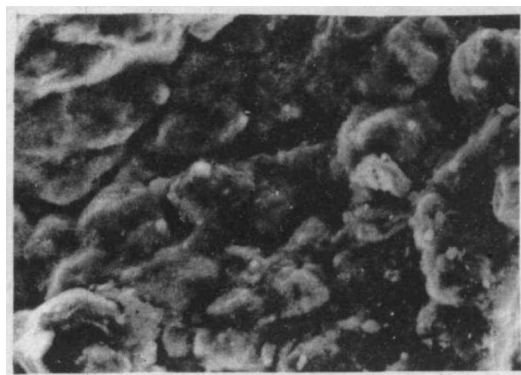


图 3 1# 区表面形貌 500×

4), 其损伤程度比1#区要轻。经过清洗, 2#区断口显示细密的疲劳条带及局部存在的二次裂纹(图5)。

宏观检查发现有明显变形的斜断口区, 在高倍下显示韧窝花样(图6)。

在形貌分析的基础上, 对断裂源区做了能谱分析, 其结果列于表2。

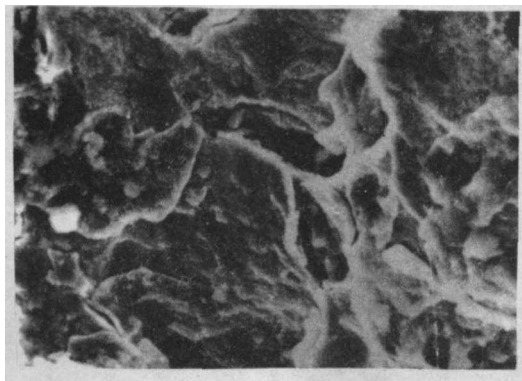


图4 2#区表面形貌 500×

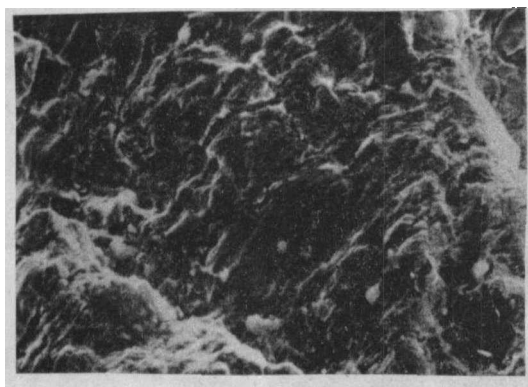


图5 疲劳条带+二次裂纹 1000×

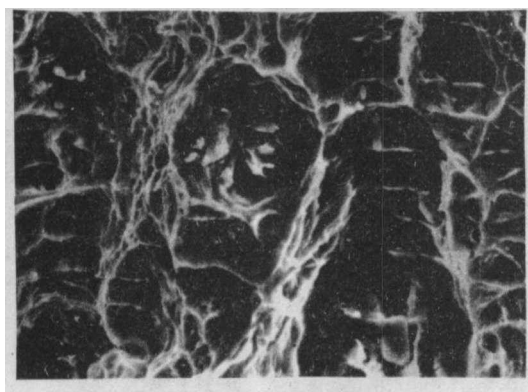


图6 韧窝花样 1000×

表2 源区能谱分析

元素	MgK	AlK	SiK	PK	CaK	TiK	CrK	FeK	NiK
wt%	7.19	14.22	6.65	2.82	1.34	0.77	12.62	48.99	5.40
at%	12.26	21.84	9.81	3.78	1.39	0.66	10.06	36.37	3.82
SE%	5.89	2.87	3.50	5.09	5.47	8.63	1.69	0.98	3.72

从表列数据显示, 合金元素Cr、Ni成分变化较大。

三、讨论

1. 供气管的工况分析

如前所述, 高压供气管在工作中除供气压力200MPa、供气温度500℃之外, 飞机平均每天飞3~4个航班(为低频加载), 这样, 在温度方面有从0~500℃的变化。压力也有从0~200MPa的变化, 尤其是压力, 除从0~200MPa的变化之外, 在每次飞行使用中都伴有管内气流的脉冲应力作用。此外, 发动机工作带来的振动应力几乎传及飞机上的每一个零部件。因此, 管内实际作用的应力是比较复杂的, 即在应力方面, 既有机械应力, 也有热应力; 在加载频率方面, 既有低频, 也有高频, 虽然其总的应力水平不会太高。

从结构上考虑, 供气管是三点固定, 在供气过程中气流对三交点部位施以脉冲加载比其它任何部位都要严重。因此, 在交变应力作用下, 三交点部位即为结构上的薄弱环节。

2. 供气管损伤的性质及原因分析

(1)根据供气管的工况分析不难看出, 若在正常工作应力下发生破裂失效, 由于疲劳载荷小, 应属低应力高循环疲劳损伤, 这从管子投入使用至出现爆破为止所经历的周期17648h及断口特征分析结果可获得证实。

(2)根据供气管的结构工作受力分析, 三交点部位是薄弱环节。因此, 在相同环境条件下(介质、温度)经过长期使用, 即使管子内壁表面损伤情况相同, 三交点部位因承受的脉冲加载更严重一些, 疲劳裂纹会优先在此形核扩展。此分析在断口上的1#、2#、3#及其内侧表面的观察结果获得了证实。

(3) 裂纹起始和扩展

由于供气管长期处于高温、高压的大气气流冲刷下工作, 其内壁表面实际上长期承受机械应力-氧化腐蚀的共同作用。能谱分析发现, 表面Cr、Ni元素低于基体, 断口表面有氧化腐蚀形貌, 该现象充分表明, 供气管爆破绝非单纯机械应力作用所致, 在三交点部位爆破还必须考虑氧化腐蚀对表面的破坏, 因为只有当该部位表面的连续性遭到破坏时, 疲劳裂纹方能在此生核扩展。

对在具有氧化腐蚀环境(其中也包括潮湿的大气)条件下工作的零件所作的研究表明, 即使对同一材料, 其疲劳强度会大幅度降低, 疲劳裂纹扩展速率加快, 甚至不存在疲劳极限(即在S-N曲线上不存在水平段)。环境的这种影响, 在低频加载情况下更为严重。

基于上述分析不难看出, 供气管是在高温氧化腐蚀环境条件下, 叠加低频与高频加载, 在三交点部位由腐蚀疲劳损伤导致早期爆破。

四、结论

高压供气管系腐蚀疲劳损伤导致的早期爆破, 疲劳裂纹源于内管壁三交点部位。