

X 型发动机燃油胶管 破坏失效分析

马思第 王聚渊 满淑鸭

X—型发动机燃油胶管先后曾发 4 起破坏事故,均发生于规定的胶管总寿命期之内。对 3 根破坏胶管按有关技术条件进行了结构分析和内胶层分析,并采用体视显微镜和扫描电镜进行了断口分析。结果证明这些胶管内胶层的伸长率偏低,且均存在不同的缺陷。故胶管的破坏是由于胶管本身的质量问题引起的。

Four accidents due to failure of jetfuel rubber hose of X-model aero-engine occurred within the period of total specified life time. The structure and inside rubber layer of three failed hose have been analyzed according to specification. The fracture analysis has been also conducted by stereomicroscope and scanning electromicroscope. Results of analysis showed that elongation of all analyzed rubber hoses were lower than normal ones and have various kinds of defects. Therefore, it can be concluded that the failures of rubber hose were caused by problem of quality itself.

一、前 言

在涡喷-五型发动机的燃油系统中,大量使用钢丝编织层增强的橡胶软管。按航空用钢丝编织胶管的技术标准 HG 6-416-79 的规定,胶管的工作压力分 10.0 MPa 和 12.5 MPa 两种。但这种胶管通常在比规定工作压力低得多的压力下发生破坏。幸而,胶管的破坏常发生于地面开车及滑跑。但它们毕竟是重大事故的隐患。曾发生胶管破坏而导致二等事故,给国家财产造成重大损失。本文阐述了 3 起胶管爆破事故的分析情况。从来样分析中认为:提高胶管质量、加强使用维护,对确保飞行安全、减少国家财产损失是至关重要的,应引起有关方面的注意。

二、胶管的破坏情况

本次分析的 3 根燃油胶管是在一年之内破坏的,情况如表 1 所列。

3 根胶管均系本体破坏,破坏的胶管钢丝编织层未发生破坏,故系由内胶层破坏导致渗油,继而鼓破外胶层而漏油。按技术条件的规定,这些胶管的使用期为:自由保管

期 6 个月、装配保管期 1 年,使用期 3 年,即总寿命 4 年零 6 个月,故上述破坏胶管都在规定的总寿命期内。最长者仅 3 年零 3 个月的时间,最短者仅 1 年。

三、分析结果

受检胶管中除上述 3 根破坏胶管外,为了进行对照试验还选取了与上述胶管大致同时生产的、经安装使用或未使用的两种胶管。分析项目包括钢丝编织层的检查、破坏断面的检查、胶管结构及尺寸检查、内胶层性能检查以及胶管在受压状态下胶管尺寸变化的检查。

1. 钢丝编织层的检查

表 1 破坏胶管的生产及使用情况

胶管安装编号	规格	破坏时的使用情况	破坏日期	胶管生产日期	已使用时间 小时
P 868	21 R 10-100	地面开车	1985 年 7 月	1984 年 7 月	84
P 861	21R 6-125	起飞滑跑	1986 年 6 月	1983 年 7 月	139
P 859	21R 6-125	地面开车	1986 年 7 月	1983 年 10 月	28

剥去外胶层检查钢丝编织层的编织波纹度和背胶情况,其结果如表2所列。P861胶管因采样时已解剖未能检查。检查结果表明波纹度基本符合技术要求。但检查的3根P868胶管中有两根背胶超过技术要求的規定,其中破坏管在破坏的部位区域竟在一行程内有4处背胶。

2. 断口检查

采用体式显微镜、扫描电镜观察并拍摄了断口的形貌。3根破坏胶管的断面均光滑,但P859胶管可以观察到一个椭圆形疏松缺陷,其长径0.188 mm,短径0.092 mm,如图1所示。P861胶管内壁有一河流状裂口。沿断口将内胶层切开观察到原断面有一个穿孔(如图2所示)。在穿孔处呈两个区域,近内壁有一个三角形淤积区,具有杂质;接着淤积区是扩展区,其断口光滑。

3. 内胶层性能检查

将受检胶管剥去外胶层和钢丝编织层后先后用30°和60°砂轮打磨,然后按GB 528-83《硫化橡胶拉伸性能的测定》方法中规定的4°切刀切取试样,进行拉伸性能测定;硬度的测定系采用华来氏显微硬度计进行测定,测定胶管断面的硬度;从胶管内层胶切取试样测定内胶层在介质中的重量变化率;同时进行了P868胶管内胶层的拉伸疲劳性能测定。以上试验结果如表2所示。



图2 P861胶管断口上的穿孔

4. 胶管的内径检查

检查了胶管的内径,其结果亦示于表2。

5. 胶管在不同压力下尺寸变化的测定

将P868、P851胶管各3根分别进行串联连接,然后将P868和P851胶管成对以卡套进行并联,卡套的大小及安装方式近似于在发动机上的实际安装方式。将连接好的胶管进行充压,压力相继为4.0、10.0、15.0 MPa,在每个压力下保持5分钟后测定P868胶管直径(距两端扣压处各100 mm和卡套两侧共4点)和管长的变化。其试验结果如表3所列。



图1 P859胶管内胶层断口缺陷形貌(扫描电镜摄)

四、讨 论

1. 在胶管钢丝编织层检查中P868胶管的钢丝编织层背胶不符合技术标准的规定。在受检的3根胶管中有2根不合格。胶管内胶层的壁厚不到2 mm,之所以能承受10.0 MPa的压力,主要靠钢丝编织层的补强作用。由于背胶的存在致使编织层出现缺丝间隙,因而造成薄弱环节,降低钢丝编织层的补强作用。

2. 胶管内胶层的缺陷是胶管破坏的重要原因之一。从断口分析中看到,在P859胶管断口上有一椭圆形疏松区,其长径已达0.188 mm,超出技术标准中不允许有大于0.15 mm药粒子及杂质的规定。橡胶的疲劳破坏内部缺陷是主要的原因。在应力下沿缺陷发生撕裂,在交变拉伸压力下终于使缺陷逐渐发展导致胶管破坏。P861胶管断口及其穿孔形貌表明,穿孔内侧淤积区的存在说明存在原始缺陷,它的存在使胶管

表 2 胶管分析检查结果

管结构检查项目及标准值	P 859 2IR 6-125			P 861 2IR 6-125			P 868 2IR 10-100		
	未破坏 使用200h	未使用 1983年10月7日生产	未使用 1983年10月23日生产	未破坏 使用33h	未使用 1983年7月29日生产	未使用 1983年7月23日生产	未破坏 使用200h	未使用 1984年7月4日生产	未使用 1984年7月3日生产
	破坏管	1983年10月10日生产	1983年10月23日生产	破坏管	1983年7月29日生产	破坏管	破坏管	1984年7月4日生产	1984年7月3日生产
胶管内胶层胶料507测试项目、胶管结构检查项目及标准值	11.5	11.2	11.2	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.0
拉伸强度, MPa	125	115	115	125	115	125	125	125	110
扯断伸长率, %	5	4	4	5	4	5	5	5	1
扯断永久变形, %	85	80	80	85	80	85	85	85	82
邵尔A型硬度, 度	77 ± 5	77 ± 5	77 ± 5	77 ± 5	77 ± 5	77 ± 5	77 ± 5	77 ± 5	76
耐介重量	120汽油+苯 0~14	120汽油+苯 0~14	120汽油+苯 0~14	120汽油+苯 0~14	120汽油+苯 0~14	120汽油+苯 0~14	120汽油+苯 0~14	120汽油+苯 0~14	10.0
变化率, %	± 5	± 5	± 5	± 5	± 5	± 5	± 5	± 5	2.0
拉伸强度	拉伸25%	拉伸25%	拉伸25%	拉伸25%	拉伸25%	拉伸25%	拉伸25%	拉伸25%	450000
寿命, 次	拉伸60%	拉伸60%	拉伸60%	拉伸60%	拉伸60%	拉伸60%	拉伸60%	拉伸60%	500
钢丝编织层	$\phi < 8$	$\phi < 8$	$\phi < 8$	$\phi < 8$	$\phi < 8$	$\phi < 8$	$\phi < 8$	$\phi < 8$	3
波度, mm	$\phi 10 \sim 12 < 0.3$	$\phi 10 \sim 12 < 0.3$	$\phi 10 \sim 12 < 0.3$	$\phi 10 \sim 12 < 0.3$	$\phi 10 \sim 12 < 0.3$	$\phi 10 \sim 12 < 0.3$	$\phi 10 \sim 12 < 0.3$	$\phi 10 \sim 12 < 0.3$	4
每行程, 2	2IR 6-125, 6 ± 0.2	2IR 6-125, 6 ± 0.2	2IR 6-125, 6 ± 0.2	2IR 6-125, 6 ± 0.2	2IR 6-125, 6 ± 0.2	2IR 6-125, 6 ± 0.2	2IR 6-125, 6 ± 0.2	2IR 6-125, 6 ± 0.2	8.8~9.7
胶管内径	5.5~5.7	5.5~5.7	5.5~5.7	5.5~5.7	5.5~5.7	5.5~5.7	5.5~5.7	5.5~5.7	10.1
管长	2IR 10-100 10 ± 0.2	2IR 10-100 10 ± 0.2	2IR 10-100 10 ± 0.2	2IR 10-100 10 ± 0.2	2IR 10-100 10 ± 0.2	2IR 10-100 10 ± 0.2	2IR 10-100 10 ± 0.2	2IR 10-100 10 ± 0.2	10.1

表 3 P 868 胶管在不同压力下的尺寸变化率(%)

胶管序号	MPa	管径变化, %				管长变化 %
		距扣压 100mm处	卡套 一侧	卡套 另一侧	距另一 端扣压 100mm 处	
1	4.0	+1.6	+1.0	+0.5	+0.8	-0.7
	10.0	+2.8	+1.9	+1.3	+1.5	-1.2
	15.0	+3.0	+2.1	+2.3	+2.4	-2.3
2	4.0	+1.8	+1.3	+2.1	+0.9	-1.6
	10.0	+2.0	+2.2	+2.7	+2.1	-1.7
	15.0	+2.5	+2.9	+3.5	+2.7	-2.8
3	4.0	+0.9	+1.7	+0.9	+1.4	-1.4
	10.0	+1.7	+2.1	+1.9	+2.0	-2.0
	15.0	+2.7	+2.8	+1.8	+2.5	-2.7

在应力下迅速扩展, 最后内胶层破坏, 燃油穿过钢丝编织层, 冲破外胶层而着火。

3. 内胶层的分析表明, 内胶层的扯断伸长率在 105~145% 范围之内, 这样就大大低于胶料的扯断伸长率应大于 200% 的要求, 因而造成弹性不良。在拉伸疲劳试验中, 在 60% 的拉伸变形下, 仅经 500 次拉伸即行破坏就可证实这一点。但在有关标准中没有成品拉伸性能的规定, 今后应对此加以研究。

4. 胶管内径检查中发现多数内径偏小。在使用厂调查中也发现此现象, 并有同一根胶管一端偏小一端偏大的现象。

5. 胶管在充压下径向及长度尺寸变化表明, 在压力作用下直径变大、长度缩短, 这说明在胶管安装中一定要使胶管有一定弯曲度, 以保障在压力作用下不使胶管因长度缩短而处于拉伸状态, 更为严重的是在此情况下还会因径向膨胀造成双向拉伸。这种安装状态加之前述内胶层的缺陷和低弹性极易造成胶管的破坏。

6. 在 1961 年至 1965 年发生的 9 起胶管破坏事故中有 8 起是苏联生产的胶管, 但这 8 根胶管全系超期使用。最长者已达 8 年零 10 个月之久, 最短者也已使用 4 年零 7 个月。而且破坏常发生于扣压接头处, 其中有一根是国产胶管, 仅使用 2 年即行破坏。在 1982 年至 1986 年的 7 起胶管破坏事故中均系国产胶管, 其中只有 1 根属于超期使用。这一对比可以说明, 尽管我国航空用钢丝编织胶管的技术标准与苏联的标准大体一致, 但其质量确有一定差距, 也反映胶管标准中规定的技术性能指标并不能很好地控制产品的质量。

航空用扁平带状电缆

张耀中

本文介绍了带状电缆的一般概念及其典型结构、绝缘材料。主要叙述了推挤扁导体电缆优异的电气特性和空间节省。在生产环境中,带状电缆的使用与常规方法相比将导致较大的设计效率,同时还显著地节省时间、劳力和费用。

The general concept of ribbon cables, their typical structures and insulating materials are introduced in this paper. Their excellent electrical characteristics and space savings of extruded flat conductor cable are described mainly. The application of extruded flat conductor cable in the production environment will lead to not only the greater design efficiency compared with conventional methods, but also the significant savings in time, labour and cost.

由于飞机性能的不断提高和航空电子系统的迅猛发展,飞机电缆重量出现成倍增长的趋势,促进加速发展新的电缆材料和器件,新的电缆加工工艺,乃至新的飞机电气连接系统。为了在保证电缆系统工作安全可靠的基础上减少电缆的重量和体积,必须尽可能减小电线规格,但单根圆电线却受到电缆在飞机安装上的严格限制。一般飞机电缆系统电线最小规格只能是 0.5 mm^2 标准截面,如果再需要降低电线规格,在美国军用规范MIL-W-5088(航空航天器布线)中明确规定飞行器用最小规格为AWG24,而它必须是高抗拉强度铜合金线芯电线,并需要增加额外紧固点和在电线端接处提供支承。在70年代生产的M117-21MΦ飞机电缆仅约3000根电线段,而80年代的先进战斗机将超过10000根电线段,因此航空电线小型轻量化必须冲破原有的旧概念、旧系统。当前在美国F16上已使用的扁平带状电缆完全能对付这种新的挑战。它和高密度小矩形连接器的匹配使用不仅能减少飞机电缆重量20~60%,缩小体积25~50%,并且容易实现冗余度,大大地提高了飞机电缆系统的可靠性。

扁平带状电缆是指在同一种绝缘材料封闭的同一

平面内有两种或两种以上的平行导体的任何电缆。可以用粘合剂把两层或两层以上的扁平带状电缆胶合在一起而制成叠层制品。电缆结构中粘结材料可为薄膜、粘合剂和纤维。通过将导线压接在一层薄膜上或压接在两层薄膜之间,或采用粘合剂或采用单丝或绳纤维编织(可以采用或不采用隔离物,根据要求而定),而将导线以规定的线距构成一个扁平带状结构,并使每根导线的纵向轴线相互平行,且处在同一平面上。带状电缆随其采用导体线型不同可有圆导体带状电缆和扁导体带状电缆之分。带状电缆的导体可用单股线或者绞合线、裸线或涂覆线。带状电缆中全部圆形绞合线都应有符合规定的相同型号和规格。新的氟聚合物ETFE制成的圆电线在几年前已列入美国军用规范MIL-W-22759的第32、33、34、35和41、42、43单篇规范,组成一个比较完整的交联ETFE绝缘电线系列。它们可以单独使用,也可以作为扁平带状电缆的绞合线使用,制成高级的航空扁平带状电缆。总括起来,在圆导体无屏蔽柔软带状电缆中,采用的电线型号有MIL-W-16878/1~6、11~13, MIL-W-22759/9、11、18、19、32~35, MIL-W-81044/11、12和

五、结 论

1. 受检的胶管为本体破坏。
2. P868胶管钢丝背股超过技术标准规定的要求,编织层钢丝间造成间隙有损于钢丝编织层的补强作用。

3. P859、P861胶管内胶层的缺陷对胶管的破坏有重要的影响。

4. 胶管成品内胶层扯断伸长率过低使胶管在应力集中或胶管在安装中处于拉紧状态下容易发生破坏。