

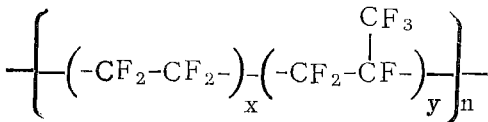
氟塑料-46绝缘电线及其在新机上的选用

六〇一所 孔宪贵

随着宇航技术的发展, 新型材料亦不断出现, 得到发展和应用。在我国, 含氟材料——氟塑料制品电线作为新材料已首次使用在自行设计与制造的高空高速歼击机上。

一、F46绝缘电线的选材依据

由于氟塑料与其他塑料相比具有更优越的耐高、低温, 耐腐蚀, 电绝缘性, 不吸水及低摩擦系数等特点, 因此已成为现代尖端科学技术、宇航及其他工业部门不可缺少的新型材料之一。在品种上主要有聚四氟乙烯、聚三氟氯乙烯、聚全氟乙丙烯等十余种。其中的聚全氟乙丙烯简称氟塑料-46 (或 F46) 作为电线的包复绝缘层较四氟乙烯 (F4) 应用更为广泛。所以如此, 是因为它具有与F4十分相近的优异性能, 而却克服了F4的加工困难。利用它具有真正热塑性的这一显著优点, 加工导线可以连续进行, 简化了工序, 从而提高生产效率。F46的真正热塑性, 是因为在F4的大分子链中加入了一部分三氟甲基支链, 使这种高分子材料的熔体粘度降低到可以用热塑加工方法成形。F46是F4与六氟丙烯的共聚物, 其分子结构式为:



F46 的主要性能及特点见表 1。从表 1 看出, F46 除具有很好的物理机械性能外, 作为导线绝缘皮的突出优越性是使用温度范围宽, 电性能在很宽广范围内不受频率及温、湿度影响。另外, 它的低温性能也优于 F4 和其他塑料,

在同样低温条件下 F4 与 F46 航空导线对比试验结果也说明了这一点。

表 1

项 目	单 位	数值或特点
流动温度	°C	270±20
熔融指数	克/10分钟	1~8
拉伸强度	公斤/厘米 ²	>200
伸 长 率	%	>250
冲击强度 (室温, 无缺口)	公斤-厘米/厘米 ²	不断
介电系数 (10 ⁶ 赫)		2.1
使用温度范围	°C	+200~-200 长期连续使用
热膨胀性		不明显

在国外, F46 首先由美国杜邦公司于五十年代末进行商品化生产, 名为Teflon、FEP, 其后苏、日等国也相继有同类产品介绍。美制 F 4B 及波音 707 飞机的电网系统主要是采用 F4 线, 而F4的改性品种——F46在波音707飞机上曾做电线护套使用。六十年代中期, 我国科学院有关单位开展了F46的研究, 采用悬浮聚合法试制成功了通用型树脂。该项成果已通过鉴定, 由化工部所属有关工厂相继进行了中试与批量生产。这就给我国电缆行业研制新型耐热导线创造了物质条件。

我们在新机设计时, 对飞机电网设计中的选用导线向有关电线电缆承制单位提出了研制氟塑料绝缘导线要求。研制目的是在满足新机设计要求和环境要求的前提下, 减轻飞机电网中的导线重量和减小导线外径。针对该机后机身及发动机区温度有的高到200℃(或以上), 因此一般的塑料导线或其他安装线已满足不了使用要求。伴随着可长期耐热200℃的F46的

问世, 根据该塑料可热塑成形的特点, 很多单位相继研制出了F46 航空电线, 为我国首次能将此新材料用于飞机上, 做出了一定的贡献。

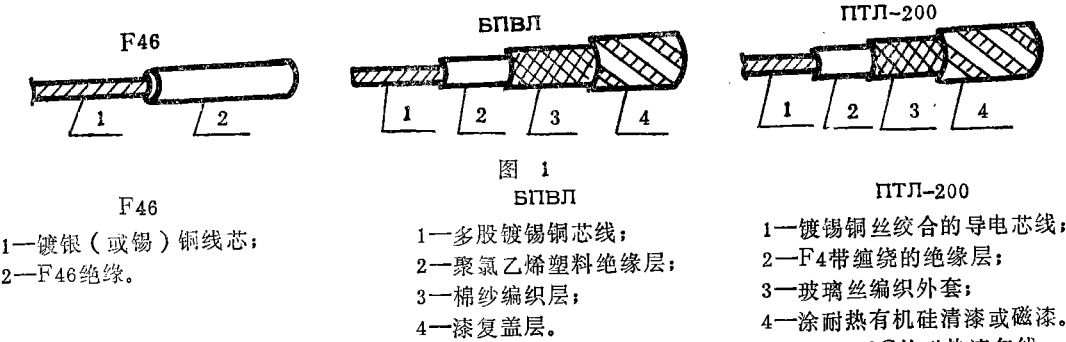
二、F46绝缘电线的结构特点

目前, 国内生产的F46航空电线主要有非屏蔽及屏蔽导线, 线芯由镀银或镀锡铜线绞成。电线的绝缘层用F46, 绝缘层的基本颜色为红、黄、兰、绿等十余种。屏蔽电线用镀锡铜线编织, 也可用镀银铜线编织。所用的F46电线在满足同样条件的温度及电压等级情况下, 对比过去所用苏联牌号的电线, 结构简化, 外径减小, 重量减轻, 见图1及表2。

ПТЛ耐热漆包线在同等条件下不仅重量、外径比F46增加, 而且玻璃纤维编织层易受机械损伤和松散, 导线端部更易松散, 在安装中要进行绑扎。另外由于此线用玻璃丝编织, 据生产和使用工人反映有发痒感。此线表面涂漆(腊克), 在保存与使用中腊克易发粘、脱落、发霉等, 因此使用寿命短, 而且导线结构复杂, 制线生产效率低。

表 2

公称截面 毫米 ²	F46		БПВЛ		ПТЛ-200		F46与ПТЛ-200比较	
	重量 公斤/千米	外径 毫米	重量 公斤/千米	外径 毫米	重量 公斤/千米	外径 毫米	重 量 公斤/千米	外 径 毫 米
0.35	6.2	1.5	7.5	2.3	8.8	2.0	-2.6	-0.5
0.50	8.07	1.65	10	2.5	10.3	2.2	-2.23	-0.55
1.0	16.6	2.30	16.5	3.0	17.5	2.6	-0.9	-0.3



注: БПВЛ(苏联牌号)为聚氯乙烯塑料腊克线; ПТЛ-200(苏联牌号)为耐温200°C的耐热漆包线。

三、F46绝缘电线在新机上的使用情况

我们于一九六七年首次将10千米左右的F46导线用于第一架原型机上。F46线主要用于飞机高温区域作连接安装线用, 担负电能输送和各种讯息传递等任务。在新机上的使用部位由机头至机尾, 从左机翼至右机翼, 几乎如同人的神经穿遍全身一样。主要有: 前上、前下、后设备舱, 电源舱, 左、右机轮舱, 机身下部发动机舱, 背鳍, 垂尾, 左右机翼等部位。所用的规格有0.35、0.50、0.75、1.0、1.5、2.5、3.0、6.0毫米²等截面的线。

F46电线应用于新机上, 由于它柔软, 直径小, 重量轻, 外表美观, 绝缘易剥落加之采用了镀银铜线芯, 不仅强度高且易焊接, 深受敷设电线的工人和地勤人员的欢迎。但是在我国F46线试制及使用时间还不长, 尚属新材料。一九七二年以来我们曾发现该线在使用及存放过程中有部分绝缘层发生开裂现象, 经对库存全部线进行检查, 认为是一个较普遍现象。

象,尤以大规格导线开裂严重。同时还发现在老机种上用的F46 镀锡线龟裂严重。由此引起了有关领导部门的重视,一方面对现有的库存F46 线进行试验与检验,另一方面组织对装机近五年、飞行三年的该原型机导线(609厂生产的)进行了首次检查,随后对该型机装线主要部位又进行五次检查。接着自一九七二年开始有关部门(包括中国科学院所属单位)即开展了氟塑料导线开裂原因及机理的研究,进而又研制出耐开裂的导线。

几次检查结果表明:绝缘层裂纹,每一次都比前一次有所发展。绝缘层裂纹主要发生在靠近插销处,并且是在地面维护时常拆卸的部位。另外,电线受弯处和环境温度较高处(如靠近发动机区域)导线绝缘层开裂也较严重。在平时很少接触到的平直部分则很少有裂纹。由此说明应力与温度是造成F46 线绝缘层开裂的重要因素。在对外场试飞飞机的检查中还发现,高温区(200℃或以上)某些插销焊接处导线绝缘层收缩较严重(达2~3.5毫米),见图2。如果插销内的灌注料失去绝缘能力或发生其他问题,将造成电网线路短路。绝缘层收缩(或伸长)原因,一般认为和树脂性能有关,更主要的是制线工艺,其次据分析也与环境温度有关。

F46 电线自装在新机上使用以来,已有十几年的历史,期间曾进行多次调研与检查,虽然质量上尚有某些问题,但为设计选材、尽量采用先进技术和新型材料积累了一定经验。

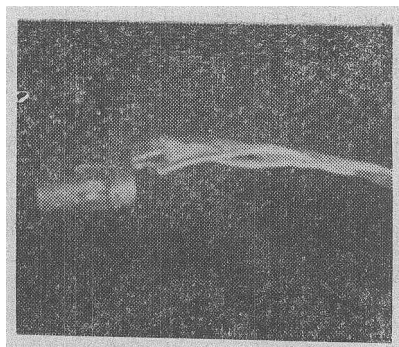


图 2

四、F46绝缘电线质量的改善 与试验方法的讨论

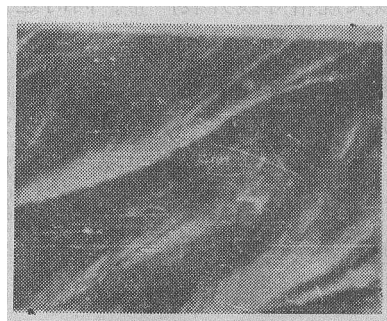
电线绝缘层开裂等现象引起了有关科研、生产、使用单位及主管部门的重视,组织技术力量攻关,着手解决。首先研究绝缘层开裂的原因,分析其机理,然后对树脂的聚合工艺和电线的挤出工艺,以及为控制树脂、导线的质量对试片和导线的人工加速试验方法进行了摸索,通过许多单位的共同努力,基本搞清了绝缘层开裂原因,从而改善和提高了后来生产的F46线的质量。

吉林应用化学研究所等单位关于“氟塑料-46 绝缘电线绝缘层开裂问题的研究”的报告认为:F46树脂的熔融指数(M_I),明显影响导线加工、结构与耐开裂性能。选择适当低的 M_I 的树脂所制得的导线,绝缘层的形态结构较好,结晶度、密度较低,较耐开裂;六氟丙烯的含量及分布对树脂的耐开裂性能是有影响的,加工条件对氟塑料的序态结构与导线的耐开裂性能亦有一定影响,但影响大小仍决定于树脂性能,故树脂的性能对导线开裂起主导作用。另外,淬火使导线绝缘层的序态结构趋于理想,使结晶度、密度降低并形成枝状结构(见图3),如图3a厚壁导线绝缘层的密度最高,球晶也最完整。波音707用的导线,护套密度最小,呈枝状结构(图3b)。中国科学院上海有机化学研究所的试验结果亦同,他们通过电镜照片的观察认为,F46 应力开裂首先在球晶中心,球晶内部与球晶径向垂直的方向以及在球晶边界形成银纹,银纹生长的途径可以是沿球晶径向,横贯几个球晶或其边界。银纹发展便导致应力开裂,见图4。

根据试验结果,提出了获得耐开裂线的措施:1)选择热稳定性好的具有适当小的 M_I 和适中的六氟丙烯含量,较窄组成分布的F46 树脂;2)工艺上在不使树脂分解的前提下保证充分的良好塑化。

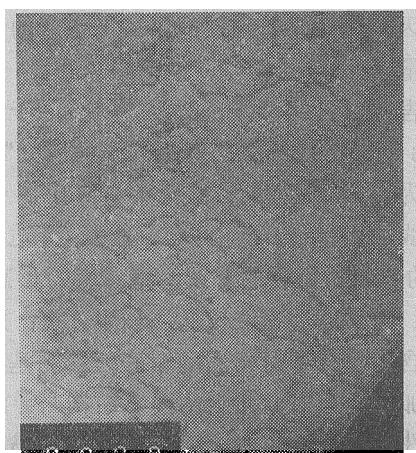


a. F46 厚壁形态



b. 波音 707 飞机上 F46 样品形态

图 3



a. 沪74-20球晶中心出现银纹



b. Teflon100导线绝缘层球晶中心银纹

图 4

导线厂对有关单位的试验结果提出的相应措施进行了对比验证，得到比较一致的结论。为了生产耐开裂、高性能、符合新机要求的导线，注意在选择原材料（树脂）上下功夫，选取适当的 M_1 和树脂粒子的透明度，再加上筛选小样拉线，取小样线做多项耐开裂试验。

为了检验F46导线的质量，验收耐开裂的导线必须有可靠而可行的试验方法。在MIL-W-22759和MIL-W-81044等美国军用标准中大致有10余种试验方法可供F46导线借鉴，即：绝缘层伸长率和抗拉强度试验、绝缘火花、浸水耐压（槽液）、绝缘电阻、冲击电压、收缩和伸长、同心度、毛细管、低温、温度冲击（冷热冲击）、寿命（循环）、抗湿、冒

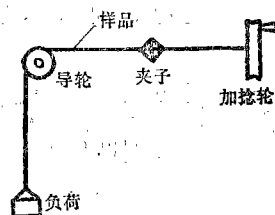
烟、加速老化及导体镀层等试验方法。

结合在新机上使用的实际情况与氟塑料的特点，这些年我们及有关单位主要选用了冷热冲击、加速老化、低温、热收缩和伸长、耐温卷绕、寿命等几个典型试验方法。这些方法只能定性的鉴别或对比鉴别电线的质量，不能定量的鉴别，同时试验也还不够简便。尽管如此，这些方法比原一机部（JB1141-70）氟塑料导线标准中所列的一些试验较能真实地反映产品的性能和合理的检验电线的质量。这些方法具有一定的优越性，但还不能快速的检验产品。几年来又有几个单位对试片及电线的人工加速开裂方法进行了摸索，如有机化学研究所以氟调聚醇为溶剂进行开裂试验（简称调聚醇应力

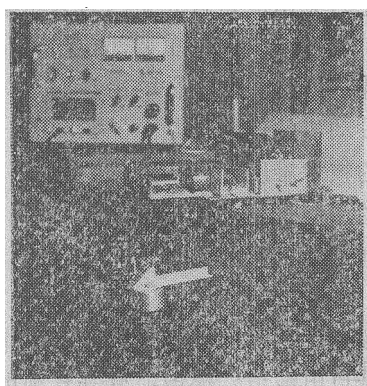
开裂试验方法), 评价F46树脂的耐开裂性能, 收到较好的效果。吉林应用化学研究所采用十氢萘为介质以弯条法进行应力开裂试验, 方法简便, 测试周期短, 重复性和敏感度好, 经试验对比, 可初步评价和鉴别F46树脂的耐开裂性能。最近应用化学研究所又推荐了以扭绞为特点的电线加速开裂试验方法(又叫加捻法等。

模拟产品实际使用条件的较典型试验方法是冷热冲击试验, 采用了从 $+200\sim-60^{\circ}\text{C}$ 温度, 每次循环1.5小时, 经过多次循环, 从而评定导线的耐开裂性质。具体方法是: 取300毫米长的样品, 绕成3倍导线外径的螺旋圈, 于 $+235^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中存放1小时, 立即取出投入 -60°C 的环境中半小时, 作为一个循环, 然后取出放在水中测量绝缘电阻以检查导线开裂情况。天津609厂曾做过100多次循环, 导线无开裂现象。这称为静态试验。若每次循环后再加正反卷绕, 即为动态试验了。导线开裂情况, 动态试验的循环次数要比静态的低得多, 苛刻得多, 但可缩短试验周期。

上述试验方法都各有特点, 溶液试验法一般用于检验、筛选F46树脂, 需要专门制作试片。而人工加速开裂试验则用于最终产品——导线的耐开裂性能。无论哪种试验, 不外乎与温度、时间、应力等几种因素有关, 试验效果短时间内不明显。应用化学研究所推荐的加捻法试验导线, 可以快速检验产品的质量, 引起了人们的注意, 认为这一方法能够鉴别出由于树脂质量不同或挤出工艺不同而引起的电线质量的差异, 并给出数量指标, 重复性较好, 而且与树脂的试片开裂及熔融指数等的对应关系也较好。从另一角度上说, 它烘烤的时间短(2~3小时), 温度不太高($200\sim230^{\circ}\text{C}$), 所用试验设备也不太复杂, 见图5。这与其他方法比较, 可节约许多时间、人力、电力, 适合于工厂的生产和检验。这种方法还有利于消除一些偶然因素的影响, 所以是一个较好的方法。



a. 加捻机械示意图



b. 卷绕装置

图 5

五、结 束 语

本文概述了F46树脂及其所制导线的优点, 也谈了存在绝缘层开裂等问题以及相应的解决措施, 讨论了质量检验方法。此外, 在使用中还必须注意以下问题。

1. F46导线比较柔软, 但表面硬度差, 易划伤和磨损, 因此在敷设和使用导线时应在电线外边加保护套。

2. 严格按F46导线技术条件中的使用范围应用, 不可在高于 200°C 以上的温度场内应用。

到目前为止, 新机中飞行时间最长的约100多飞行小时, 170多起落, F46导线并未出现影响飞行的不安全因素。由此可见, 随着开裂质量问题的继续解决并按相应的技术标准严格检验的F46电线, 一定能更好地满足使用要求并得到推广应用。