

# Kevlar29纤维及在降落伞上的应用

三机部纺织材料应用研究室 周以琰

1972年美国杜邦公司公布了研制成功并投入生产 Kevlar (聚对苯二甲酰对苯二胺) 合成纤维的消息, 先后有 Kevlar、Kevlar49和 Kevlar 29 三种商品名称 (其中 Kevlar 29 适用于作降落伞材料)。这类纤维的强度达到 26克/旦乃至32克/旦, 远远超过锦纶纤维 (一般为5~6克/旦) 和所谓高强尼龙纤维 (10克/旦), 使合成纤维性能提高到了令人瞩目的崭

新阶段。它的耐热性也很好, 熔点可达600℃, 因而一问世就受到普遍重视, 不仅已被用于特种轮胎帘子线、工业用帆布、绳、索等方面, 而且在降落伞上也得到了应用。

## 性能

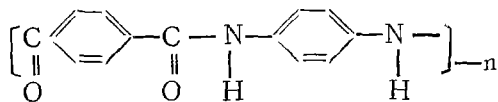
Kevlar29纤维和纱线与尼龙、聚酯等纤维的性能比较可见表1。

由表1可见, 其强力为尼龙的3倍, 而耐

表1

性能	尼龙	聚酯	Nomex	玻璃纤维	Kevlar29
比重	1.14	1.38	1.38	2.5	1.44
断裂强度, 克/旦	6~9	6~8	5	9~10	25~32
断裂伸长, %	15~25	12~20	15~20	3~5	4
50%强度时温度, °F	350	400	500	650	550
起始弹性模量, 克/旦	40	100	140	350	550
弯曲模数, 克/旦	50	—	—	300	400
扭转剪切模数, 克/旦	2.7	4.5	9.16	—	14.6
断裂能量, 英尺·磅/磅					
静态	16000	12000	22000	—	60000
动态	12000	11000	12000	—	11000
熔点, °C	255	260	分解温度 400		600 分解点500 有自熄性

热性能比目前受欢迎的 Nomex 还好得多, 故被誉为“第二代合成纤维”。它之所以有高强度和高模量是与其分子结构密切相关的, 由于其分子



沿着纤维轴方向伸展排列, 大分子苯环 —C—  
||  
D

及N—H上一对电子的共轭效应; 还由于相邻分子间形成大量氢键, 赋予纤维很大强度。此外, 还因其分子中含有六环旦分子结构对称, 故纤维热性能稳定, 热机械性能也很好。

## 应用

Kevlar29纤维的特高强度和高的耐温性能, 对减小降落伞重量和体积具有特殊的重要意义, 同时对用于高速回收伞克服材料高温降解方面也颇理想。

事实上, 美国1975年即已用此种纤维设计制成80种配套的宽带、窄带、厚带、绳子、缝线、伞衣及伞包织物, 尽管这种纤维的比重稍高于尼龙, 但由于其特高强度的弥补, 所以作为与尼龙材料等强度设计制造的 Kevlar29 材料, 其重量只有相应尼龙材料的1/2, 而体积只有1/4。

这里仅举美国为降落伞设计制造的几种 Kevlar29 无芯绳与美国通用标准尼龙无芯绳

(MIL-C-7515)数据为例列入表2,表中同时列入我国相当强度的有芯锦丝绳以资对比。

表2

指标强度 公斤	断裂伸长, %		重量, 克/米		
	Kevlar	尼龙	Kevlar	尼龙	锦纶6 (国产)
250	3.7	20	1.86	6.4	9
340	4.1	20	3.14	10.7	16
454	4.2		3.96	12.4	15
680	4.1		6.6	20	38
910	3.9		9.9	24.8	
1820	5.2		19.8	55.3	80

由表2可见,等强度的Kevlar29和锦纶66空芯绳重量前者为后者的 $\frac{1}{2}$ 左右,为国产锦纶6有芯绳的 $\frac{1}{4}$ 左右。而绸、带情况亦相似。

这种纤维在200℃高温下能保持15克/旦的高强度,在-45℃下能保持与室温相同的强韧性,且尺寸稳定。因此,美国阿波罗登月飞船就使用了Kevlar29材料作降落伞绳、带,实现了软着陆。

美国飞机杂志还报导,曾经对用Kevlar29和尼龙材料制成的3.81米直径的带条伞在相同条件下作空中对比试验证明,用小伸长(4~7%)Kevlar29材料设计降落伞时,产品设计需作适当改变就可成功地代替尼龙,在重量和体积方面可以减小50%,在最大减速、充满时间或拖泄面积方面与尼龙伞无明显区别。如用Kevlar29绳配以尼龙伞衣混合制成降落伞时,其重量可为纯尼龙降落伞重量的65%,而最大过载却比纯尼龙伞小。可见带条伞无论是全用Kevlar29材料或仅伞绳使用Kevlar29材料,其性能均远比纯尼龙伞为好。

Kevlar29材料还有特别优异的耐腐蚀性能,如在海水里经一年,强度也不下降,因而也有利于作海上救生装置(包括降落伞)用。

此外,Kevlar29织物因其强重比特别高,尺寸稳定,伸长小,故经涂层后可得到强重比高的气密织物用在空气支撑结构的飞艇或封闭式滑行减速器上。利用其小伸长制造翼伞伞绳,利用其抗燃性制造飞行服均是较理想的。

尽管Kevlar29纤维尚存在抗磨损性较低,吸收能量比尼龙小等一些缺陷,但这些缺陷通过不断改进或其他补偿措施将会克服并发挥其特高强重比和耐高温的优点。从Kevlar29短期发展和应用的势头,可以预期80年代将会有大的发展与应用。我们期望通过努力能从绳带到织物,逐步改变我国以尼龙为降落伞主要材料的情况而到达以Kevlar29为主要材料,通过材料更新从而促成降落伞性能获得又一次飞跃。

(上接第32页)

量降低杂质P和Ca的含量,采取细化晶粒的措施就可提高30CrMnSiNi2A钢的 $K_{Ic}$ 值。

这样调整成份是否会使得 $\sigma_b$ 的降低太大呢?从式(2)和(4)中C和P的回归系数看,式(2)中C和P的回归系数几乎比式(4)中C和P的回归系数大一个数量级,因此适当降低C和P的含量将使 $K_{Ic}$ 受益大,而 $\sigma_b$ 下降相对地较小。这样做还可以进一步提高韧强比,以满足韧强比大于1.5的要求。

对任何一种材料的评价不是简单地用 $\sigma_b$ 和 $K_{Ic}$ 就够了,还要考虑它的疲劳性能、抗腐蚀性能、加工性能、热处理淬透性及其它性能,上面的建议仅仅是为多指标优选提供一种方案。但是, $K_{Ic}$ 作为航空材料的重要指标,应予以优先考虑。

## 八、结 束 语

30CrMnSiNi2A钢是在飞机上服役多年的老钢种,我们从新的力学指标 $K_{Ic}$ 出发对它进行研究,找出它的不足之处,这对提高航空产品的质量是有一定参考价值的。

目前,对材料的断裂韧性及其影响因素的研究还是很充分的,不少研究报道的观点也不一致,某些理论分析有待进一步验证。在这种情况下,本文有关30CrMnSiNi2A钢的断裂韧性及其影响因素的研究也仅仅是一次尝试,有些问题需要进一步探讨。