

# 降落伞锦丝绳的断口显微分析

五二〇厂 马衍富

## 一、前言

在降落伞的试验和使用事例中, 仅仅因为一根连接绳断裂致使开伞程序错乱, 甚至主伞被封在伞包中, 从而酿成重大事故的教训往往是十分惨重的。事故原因的分析故然可以采用其它各种手段, 但是借助扫描电子显微镜, 依据锦丝绳的断口显微特征, 确立锦丝绳的致断原因, 却是一项具有吸引力的尝试。本文即以降落伞锦丝绳在使用中的几种常见断口显微特征, 说明这一故障分析的可行性。

## 二、锦丝绳断口的显微特征及其成因

依据降落伞锦丝绳的常见断裂形式, 本文选择纵向拉伸和横向切割二类降落伞事故中的典型情况进行分析。

### 1. 纵向力形成的拉伸断口

#### (1) 静载拉断

静载拉伸的典型断口特征为:

- 1) 纤维断口呈不规则的凹凸面 (图1)。
- 2) 纤维断口塑性流动变形, 头端呈多变的曲面并出现形态互异的拉丝现象 (图2)。



×1000

图1 凹凸面的拉伸型纤维断口



×1200

图2 具有拉丝现象的拉伸型纤维断口

纤维纵向拉伸时, 破断一般总是在纤维表面某一薄弱点开始, 然后沿着纤维结晶区的缝隙缓慢地向纵深扩展, 直至残余部分的承载超过临界负荷而断裂。由此形成不规则的凹凸面断口。但是, 锦纶6是一种耐热性比较差的纤维, 160℃开始塑性流动, 170℃到达软化点。由于外力在克服纤维大分子内聚力过程中所做的功部分地以热的方式作用于纤维, 致使纤维塑性流动, 断口处呈现多变的曲面及形态互异的拉丝现象。

#### (2) 动载冲击断裂

冲击断裂和静拉断口的特征基本类同。但由于冲击载荷作用时间短促, 断裂时热量集中而不易散发, 与静拉相比, 干净利落的刚性断口 (凹凸面断口) 减少, 而丝丝缕缕的塑性断裂断口 (拉丝状断口) 相对递增。

#### (3) 打结静拉

绳结断口除具有静拉断口的一般特征外, 明显地出现多根纤维的熔融粘连现象 (图3)。

绳结在拉伸过程中, 由于抽紧、挤压使绳辫间产生剧烈的摩擦, 从而产生附加热量使纤



×300

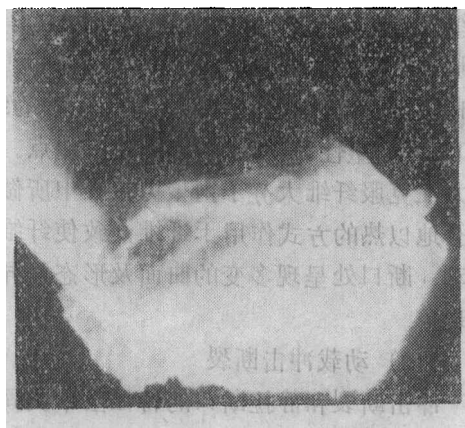
图3 纤维粘连形成的枝网状外形

维表面达到甚至超过锦纶6的熔点,致使绳结断口处纤维粘连形成枝网状外形。

## 2. 横向力形成的切割断口

这种断口情况比较复杂,但其基本特征可以归纳为二种类型。

- (1) 平齐光洁的切割型断口(图4)。
- (2) 凹凸面及拉丝状断口(拉伸型断口)。



×2250

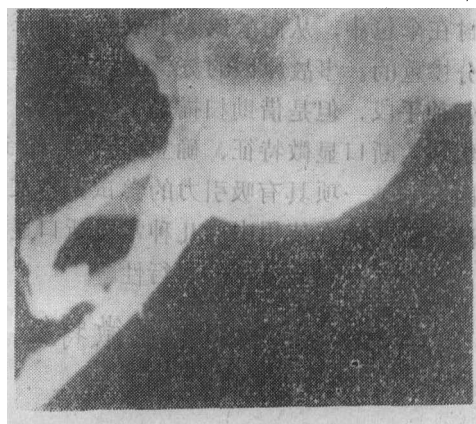
图4 平齐光洁的切割型断口

绳子在张紧情况下遭遇切割时(一般绳子只有在张紧状态下才能切割致断,否则只能是剪断),迎面绳线当即割裂断开。但随着切割的绳线增加,剩余绳线的张力也随之增大。当到达临界点时,该部分绳线就未及切割而拉伸断裂,显然,切割的绳线形成平齐光洁的切割型断口,拉断的绳线形成拉伸断裂型断口,二者具有明

显的差别。

## 3. 低温下形成的断口

制备锦丝绳静拉、冲击和切割三种断口试样,在 $-60^{\circ}\text{C}$ 低温条件下试验,低温断口具有常温断口的一般特征。其中低温冲击断口的塑性流动特性没有明显变化,只是低温静拉断口中约略出现塑性下降的趋向。但是表征塑性流动的拉丝状断口依然存在(图5),因此,低温断口和常温断口的显微特征基本类似。



×1500

图5 低温静拉断口中的拉丝现象

## 三、讨 论

锦丝绳断口的显微分析应注意以下几个问题。

### 1. 识别断口的典型特征

由于锦纶是一种兼具弹性和塑性的材料,在热量的作用下不仅产生塑性流动,而且出现熔融,加上一根绳子多由千百根纤维组合而成,每根纤维的断口形状又各不相同,因此给分析工作带来困难。

但是,既然断口形态与其破断时力的作用方式有关,一种特定作用力下的纤维断口必定有其一致的规律。例如,纵向拉伸的凹凸面和拉丝状断口,横向切割的平齐光洁断口,不仅特征显著而且数量也占优势。因此,分析时一般不必拘泥于断口多变的形态,而要着眼于断口的典型特征。

## 2. 关于拉、割二类断口混杂问题

由于锦丝绳拉伸断口中混有一些类似切割的纤维断口,而切割断口中又具有相当数量的拉伸型纤维断口,致使分析工作受到阻碍。

但是这两类断口混杂具有质的区别。所谓拉伸断口中的平齐切割状纤维断口,其实并非真正的切割断口,而是断面形状大致平齐而已。一旦增加放大倍数,凹凸面的征状依旧可寻。至于切割断口中存在着拉伸型纤维断口,则是真实的拉伸断口(成因已如上述)。其实这是拉、割二种因素同时作用的结果。因此,只要切割和拉伸二种断口同时并存,就不难作出绳子是在张紧下切割致断的结论。

## 3. 低温的影响

由于降落伞事故多发生在高空,环境气温可能低至 $-60^{\circ}\text{C}$ 。因此,低温对断口的影响是必须认真加以考虑的。

试验表明,尽管低温使锦纶纤维的刚性增加,但塑性本质未变。因此低温和常温断口的显微特征没有本质差别。

## 4. 绳头外观与显微分析的关系

拉、割二类断口不仅在扫描电镜中可以区分,而且外观上也大致能够鉴别。因为绳子拉伸时纤维都从各自的薄弱点开始断裂,断口参差不齐,外观呈现“毛头”;而绳子切割时,

纤维大致在一个位置上断开,断口平齐,外观成为“平头”。对于张紧状态下的切割断口,由于拉、割二种因素同时并存,断口中的“平头”和“毛头”也同时并存。显然,平头中呈现平齐光洁的切割型断口,毛头中呈现凹凸面和拉丝状的拉伸型断口,这一现象已为大量试验所证实。因此,显微分析时,一般可以先用肉眼作大致的外观鉴别,然后进行全面的显微观察,切忌摄取局部现象,避免产生以偏盖全的错误。

## 四、结 论

1. 锦丝绳的断口特征取决于载荷的作用方式;特定的作用载荷都有其特定的断口形态。

2. 每一种锦丝绳断口都具有典型的断口征状。其间虽有少量混杂,但并不影响区分。

3. 锦丝绳在 $-60^{\circ}\text{C}$ 低温下形成的断口并未失去常温断口的典型特征。因此,低温断口可以按常温断口的原则区分。

4. 锦丝绳断口外观上也能大致判别。外观鉴别和显微分析具有内在联系。

因此,用扫描电镜可以对降落伞锦丝绳进行断裂故障分析。本文列举各种典型断口特征可以作为真实断口分析的一个对照基准参考。



## 无损检测新工具——扫描激光声学显微镜

许多年来,超声检验已广泛用作无损检验的一个手段。对于大多数大型结构,由于受有限的频率范围( $1\sim 10\text{MHz}$ )限制,无法检测宏观缺陷。

随着材料技术的进展,需要研制高分辨率的无损检测设备。近年来,扫描激光声学显微镜研制成功,并开始进入实用阶段。扫描激光声学显微镜(SLAM)是一种高频超声映象装置,它可以在光学上不透明材料的内部产生放大的图象。它具有 $10\sim 500\text{MHz}$ 的广阔的频率范围,能够检验大型零件的内部缺陷,也可以用于小型零件的探测。由于高频范围,使显微镜结构探测进入微观范围。高频能力可使扫描激光声学

显微镜产生实时图象(30帧/秒),这对于快速表征材料中的缺陷是有帮助的。

SLAM和其它超声试验技术与C扫描装置相比,主要区别是在图象分辨、采样速率和图象质量方面,前者都比较优越。

据悉,美国已研制成功SONOMICROSCOPE 100型扫描激光声学显微镜,并投入使用。与此同时,还研究了小室充气的扫描激光声学显微镜(SPAM),用于表面或近表面缺陷的探测。该装置也开始进入实用阶段。

(傅孙靖编译)