

影响聚酯预取向丝条干不匀率的因素分析

陈 稀

(中国纺织大学)

【摘要】 本文对影响 POY 条干不匀率的因素作较系统分析,对加强生产技术管理,提高产品质量有一定的指导意义。

近年来在贯彻实施聚酯预取向丝(POY)质量国家标准中,因条干不匀率(U%)偏高造成质量降等是一个最主要而又普遍的问题。因此,如何降低 POY 的 U%已成为生产技术质量管理中的重要课题。本文对影响涤纶高速纺 POY 条干不匀率的工艺和设备因素作以系统分析,对提高产品质量,特别是染色均匀性有一定的指导意义。

一、条干不匀率的测试及其与染色均匀性的关系

条干不匀率的物理意义系长丝沿纤维长度方向粗细变化的程度。以往都用纤度不匀率表征,但由于其测试取丝过长,短片段、中片段和长片段的不匀率得不到反映,故目前国内外都已用乌斯特(Uster)值表征,即用 Uster-C 型电子测试仪测定丝条的条干不匀率,以数学

平均差系数 U%或变异系数 CV%表示,当条干不匀呈正态分布时, $CV\% = 1.25U\%$,Uster 仪器可进行正常试验,得 Normal 值,即来自被测纤维的信号是以所用检测场长度(17mm)作为基准的。还可变换丝束长度进行 L-试验(Uster II-C 型)或迟缓试验(Inert Test)和半迟缓试验(Half Inert Test)(Uster I-C 型)。L-试验的检测长度 L_M 为:

$$L_M = (V_{\text{纺}}/100) \times L\text{-因子} \quad (1)$$

式中: $V_{\text{纺}}$ -测试时的引丝速度; L-因子-长度调节因子。若引丝速度为 400m/min, L-因子取 1.6, 则 L_M 为 6.4m, 检测 6.4m 长片段的条干不匀率亦称半迟缓试验(H.I);检测 22.4m 长片段的条干不匀率称迟缓试验。它们用来检测工艺因素所引起的条干不匀,而正常试验既可检测工艺因素又可检测机械设备因素所引起的不匀。

据报道^[1]，热拉伸(176℃)应力和条干不匀率的CV%值高的POY，其染色均匀性比CV%值低的POY差，而由染色均匀性好的POY加工成的DTY，其染色均匀性亦好。实践表明^[2]，由U%值高的POY加工的DTY(拉伸变形丝)，其染色均匀性亦差。众所周知，DTY染色均匀性还与假捻变形工艺和设备因素有关，因此由U%值低的POY加工的DTY，其染色并不一定都均匀，但U%值低的POY仍是生产染色均匀DTY的必要条件。

二、影响条干不匀率的主要工艺因素

1. 冷却条件对条干不匀率的影响

冷却条件是熔纺成形的关键因素。研究表明^[6]，高速纺中因轴向速度 V_x 大，冷却风速 V_y 对卷绕丝结构和性能的影响不如普通纺丝时大，但对条干不匀率的影响却呈马鞍形的曲线关系。熔纺中冷却长度 L_k 和给热系数 α 、风速 V_y 的关系式^[4]：

$$L_k = \frac{0.052(T_0 - T_a)Q \cdot C_p}{d_0 e^{-1}(T_0 - T_m) - T_a \cdot \alpha} \quad (2)$$

$$\alpha = 0.473 \times 10^{-4} A^{-0.334} [V_x^2 + 8(V_y)^2]^{0.167} \quad (3)$$

式中： Q 为泵供量， T_0 为熔体温度， T_a 为介质温度， C_p 为比热， d_0 为挤出纤维直径， A 为纤维横截面积， V_x 为轴向速度。从(3)式可见，只有在冷却段的上部， V_y 对 α 的影响才有意义。从乌斯特波谱图可见，风速偏大或偏小均会使U%值上升，且波长在4~40m范围内出现山形峰，这是由于凝固点发生周期性位移所致， V_y 愈小和 L_k 愈长，则受外界干扰而摆动的幅度就愈严重； V_y 愈大和 L_k 愈短，又易产生湍流。冷却气流的湍流度与U%值成正比，湍流度越大，气流对丝条作用力的波动也越大，故良好的吹风条件应是风速要适当，且气流的层流性要好。实践表明，纺制中、粗特数丝时，风速分布以矩形为好。除风速外，风温和风湿度亦有最佳值^[2]。

纺丝室与卷绕间的压差，一般控制在2~

5Pa内，依楼层高度，甬道长短而异，这不仅是为了生头掷丝需要，更重要的是使卷绕间的空气不会向丝室上拔风，否则丝束抖动增大，中长段条干不匀率将明显上升。排风门里外的压差 ΔP 对纤不匀的影响如图1所示^[2]。由于PET低聚体和催化剂三氧化二锑的污染，易使排风门的小孔眼堵塞， ΔP 增大。因此，对 ΔP 的检查也应引起重视。适当的冷却风源稳定室和吹风窗的风压及其稳定性可降低U%值^[5]。

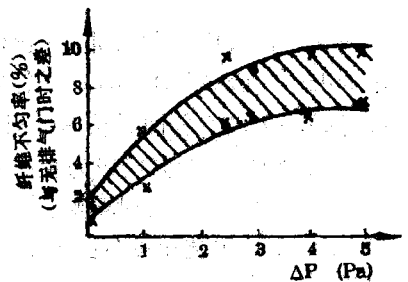


图1 排风门阻力对丝条纤不匀的影响

2. 熔体均匀性对条干不匀率的影响

熔体均匀性除与高聚物的分子量及其分散性，热稳定性，含杂质(机械杂质、凝胶、凝聚块等)有关外，还与切片含水率及其均匀性，熔体在熔融过程和管道输送过程中的混和均匀性等有关。由于某些差异而产生的熔体粘度差均会使喷丝孔吐出的纤维纤度及其均匀性发生波动。例如，涤纶高速直纺法^[6]，因聚合条件所引起的聚合物粘度波动会提高条干不匀率。因此，高速纺的螺杆多装有动态混合器，并在熔体输送管道中安装静态混合器，使熔体温度偏差在±0.1℃内。熔体均匀性还与其温度密切相关，温度过低均匀性差，易形成带硬节的原丝或因形变困难而产生粗细不匀的丝；温度过高易导致热氧化降解，生成凝胶增加纺丝困难。为了提高熔体的可纺性，并使初生纤维的里外层双折射差较小、质量均匀，通常高速纺的PET熔体温度比普通纺高10℃为宜。实践表明^[8]，切片含水率大小及其均匀性是影响熔体均匀性的关键因素，含水率高会使U%明

显上升。

3. 集束上油位置及上油均匀性对条干不匀率的影响

研究表明^[2], 纺制不同纤度的产品可调节集束上油的垂直和水平位置而获得较合适的纺丝张力, 从而得到最小的条干不匀率。油剂的浓度要控制适当, 纺制细特数的产品浓度要偏低些, 确保各部位丝上油均匀和同一根丝条的不同长度上油均匀。上油量也要控制适当, 过多会引起假捻打滑; 过少会使纤维分散, 摩擦阻力增大, 上油量的较大波动亦会影响条干不匀率^[6]。

4. 卷绕张力及其波动对条干不匀率的影响

对无纺丝盘、无沟槽辊的高速卷绕机而言, 卷绕张力即纺丝张力。反之, 两者的张力并不都是相同, 改变纺丝盘或沟槽辊的速度可调节卷绕张力大小。在其他条件不变情况下, 纺丝张力取决于流变力。研究动态热拉伸应力(175℃)发现^[1]POY热应力的离散性与条干不匀率有很好的相关性, 测定热拉伸应力及其波动值能正确评价POY的内在质量。作者^[3]在生产线上测得各部位丝束的卷绕张力及其波动值亦发现条干不匀率与卷绕张力有很好的相关。因此, 国外在线检测张力就可及时发现工艺与设备的波动并及时给予纠正。

三、影响条干不匀率的主要机械设备因素

如上所述, 纺丝工艺因素对条干不匀率有很大影响, 而引起工艺条件的波动则与纺丝卷绕机械设备的质量及其正常运转与否密切相关。

1. 熔融喷丝设备对条干不匀率的影响

(1) 螺杆挤出机的精度: 螺杆挤出机的螺杆在套筒中属悬臂梁传动, 尤其是大直径螺杆经长期使用后易产生磨损, 使套筒和螺杆间的间隙加大, 当出口压力偏大时会产生较多的逆流和漏流, 使熔体在螺杆挤出机中停留时间不一, 影响熔体的均匀性。

(2) 预过滤器的进出口压差: 高速纺丝机多数都配备有熔体预过滤器, 其过滤器面积与过滤芯的精度各有差异, 故即使在切片质量相同情况下, 调换周期也各不相同, 选用20 μm 的滤芯比25 μm 的使用周期短, 一般以进出预过滤器的压差为5~7MPa作为调换的标准。当预过滤器使用到即将切换的前夕, 压差会迅速增加且熔压波动大, 从而对U%影响较大, 故须在压差迅速增大前给予切换为宜。同时还要注意, 当过滤器使用周期过长时, 截留的凝胶状物因热裂解和再凝聚所形成的齐聚物亦会影响熔体的质量。

(3) 计量泵质量及其容积: 计量泵的送料齿轮或泵板存在缺陷会引起熔压波动, 从测试的条干不匀曲线图谱上的波动周期可找出缺陷所在。选用容量较小的泵比容量较大的泵所引起熔压的波动要小, 相应的吐出量变化 ΔQ 也小^[7], 如纺67dT的丝, 纺速为3600m/min, 当选用2.4cm³/r的泵, 转速为12r/min, U%为0.77%; 同样条件下, 当选用0.8cm³/r的泵, 转速为36r/min, U%降为0.22%^[8]。因此, 须根据纺制的品种不同合理选用泵的容积, 使泵的容积和转数相匹配。

(4) 喷丝头组件的压差和喷丝板的设计: 另一个常被忽视的因素是喷丝头组件随使用时间的延长, 其滤网逐渐堵塞而使压力增加, 因而改变了计量泵的输出量, 致使纤度逐渐变细^[7]。高速纺由于单位时间吐出量大, 喷丝板的直径宜比普通纺大, 这样喷丝头组件内过滤容积大, 压差上升缓慢有利于降低条干不匀率。除外, 喷丝板径大, 孔的分布密度小, 孔间距大, 侧吹风窗尺寸宽大均有利于丝束冷却, 降低U%。研究表明^[3], 对纺制不同纤度的纤维应选用与其相匹配的孔径和孔数的喷丝板, 孔数多单丝纤度细, 条干不匀率偏高。由于熔体挤出量在一定的压力下是与喷丝孔径的四次方成正比, 与孔长成反比, 故对喷丝孔的尺寸公差有严格要求: 孔径为 $\pm(2\sim5)\mu\text{m}$; 孔长为 $\pm(20\sim50)\mu\text{m}$ 。

2. 纺丝冷却吹风窗和丝室结构
对条干不匀率的影响

由冷却风源稳压室来的风通过风量调节阀再到吹风窗，调节阀的开度不宜过小，以防气流在调节阀中高速运动而形成湍流。吹风窗的导流板用以调节风速分布，其整流装置用以提供稳定而整流的风速，稳定凝固点，防止紊流所引起的丝束抖动。为了防止整流过滤网堵塞，其结构要简单，清洗要方便。其清洗周期依冷却空调风的净化度而异，多为每月一次，对冷却风的净化进行严格管理亦是至关重要的。实践表明，高速纺吹风窗和丝室结构宜宽而短，主要冷却发生在喷丝板下1m内，排风门的上端不应阻碍冷风向前方排出，此处是影响条干不匀率的重要区域。排风门的下部应尽量避免任何紊流。纺丝板中心与上油中心的偏距为50~80mm，依风速大小而异，偏距过大易产生毛丝。

3. 卷绕装置对条干不匀率的影响

研究表明^[9]，卷绕设备的结构、精度及其运转情况主要影响原丝的短片段和中片段条干不匀，通常在0.5~8m长度范围内。常见的影响因素如下：

(1) 卷装偏心运转的等周期不匀：卷装，又称卷绕丝筒，它是套装在卷绕锭子上，卷绕重心同旋转轴芯的偏心距要尽可能小(经校动平衡检查)，夹紧筒管的定心度要好，夹紧力要均匀。轴承损坏或精度达不到要求，卷绕锭子与摩擦辊的平行度不好等因素均会引起卷装偏心运转，这将在乌斯特波谱图上呈现等波长的且只具有一个基波的正弦波形的周期不匀。设卷装直径为 $\phi 360\text{mm}$ ，则周期出现的长度入为1.13m，即在波长1.13m处出现基波。卷装的偏心运转还会使卷装振动异常，须及时检修解决。

(2) 卷绕三角所引起的张力变化：在无沟槽辊调节张力时，如图2所示的卷绕三角会引起卷绕张力波动，从而影响条干不匀率，它与长度变化 ΔL 成正比，其计算公式如下：

$$\frac{\Delta dT}{dT} = \frac{\Delta L}{L} = \frac{L - I_1}{L} = 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{H}{2I_1}\right)^2}} \quad (4)$$

式中： ΔdT -纤度变化量； ΔL -长度变化量； L -卷绕三角斜边长； I_1 -卷绕三角高度； H -横动导程。

卷绕三角对条干不匀率的影响随角度 θ 的减小而减弱，当 I_1 大于125cm时，其影响将大大减弱。因此，在无纺丝盘纺丝时，丝束断头检测装置(点)的高度愈大愈好，如采用带沟槽辊的卷绕系统时，改变沟槽辊上槽的深度可使丝条张力近于恒定，从而不受卷绕三角的影响。

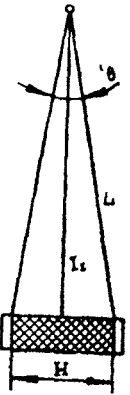


图 2
卷绕三角示意图

(3) 导丝器滑块与槽筒沟槽磨损所引起的条干不匀：由于导丝器滑块在槽筒沟槽中高速的往复运行而磨损，在两端换向点处会发生偏离正常的运转。此时在乌斯特波谱图上呈现双脉冲波形，基波比谐波的波幅低，第二谐波的波幅最大^[11]。设卷绕速度为3200m/min，导丝器往复次数为1572次/分则导丝器往复一次所卷装的POY长度为2.04m，基波出现在波长为1.02m处，即导丝器的每一单冲程都出现一次不匀。每当调换导丝器并清理槽筒后，条干不匀率明显降低^[9]。

综上所述，影响条干不匀率的因素有诸多方面，就其影响程度来看^[10]冷却空气及其紊流度约占27%，横动导丝系统运动的干挠约占20%，靠近纺丝头的熔体温度波动约占14%，高聚物的分子量均匀性和熔体粘度(水分因素等)波动约占13%，泵供量和熔体压力变化约占6%，其他因素约占20%。作者^[9]认为冷却条件的波动可能还要占更大一些比例。因此，对冷却风的检测与控制，熔体温度和压力的自动记录与检查，切片含水率的严格控制，横动导丝系统与卷绕装置的保全维护等应作为经常性

的技术管理工作并给以充分地重视。

收稿日期：1989年10月4日。

参 考 资 料

- [1] 《纺织学报》，1989, №4, p. 25。
- [2] 徐心华、李允成等编《涤纶长丝生产》p. 203。
- [3] 《合成纤维》，1989, №.4, p 5。
- [4] 董纪震等编：《合成纤维生产工艺学》上册，
p. 255、258，纺织工业出版社，1981。

- [5] 《广州化纤》，1989, №.1, p. 49。
- [6] 《广州化纤》，1988, №.4, p 15。
- [7] 吴宏仁等译，[美]马克塔·阿迈德编《聚丙烯纤维的科学与工艺》上册，p260，纺织工业出版社，1987。
- [7] 《合成纤维》，1989, №.2, p. 45。
- [8] R. Furter 《Chemiefasern Textilindustrie》，№ 10, 730, 1983。
- [10] F. Fourne, 《Chemiefasern Textilindustrie》，№6, 419, 1984。
- [11] 陈稀、黄象安编《化学纤维实验教程》，
p319，纺织工业出版社，1988。