



大长径比丙纶纺丝螺杆的研究

高辉 郭英 赵式英 (北京服装学院 纺机教研室)

TQ342.62

摘要

本文介绍了大长径比丙纶纺丝螺杆的研究成果。并在实验室进行了大长径比螺杆试验, 分析了增加长径比对于挤出机产品和挤出熔体质量的影响, 分析了在放大设计中应注意的问题。在放大设计中用计算机模拟了挤出机的熔融过程并用生产中实测的数据验证了设计。

近几年来丙纶在我国获得了很大发展, 产品品种多样化是其主要特征。随着丙纶工业的发展, 要求采用丙纶纺丝机专用螺杆的呼声越来越高, 特别是提出了采用大长径比(30D)螺杆的要求。在原有丙纶纺丝螺杆研究的基础上, 我们开展了大长径比丙纶纺丝螺杆的研究工作。在螺杆试验机上对L/D30普通螺杆和L/D30销钉螺杆进行了性能测定并与L/D24普通螺杆进行了对比试验。在试验中用计算机对丙纶纺丝螺杆挤压机的熔融过程进行了模拟计算, 对各项参数进行分析, 提出了生产用螺杆的设计方案, 设计了长径比为30的 $\phi 80\text{mm}$ 螺杆和 $\phi 120\text{mm}$ 螺杆。将两螺杆于实际生产条件下, 测取了挤压机的各种参数与原设计方案进行了对比。

一 大长径比丙纶纺丝螺杆的实验研究

1. 实验装置及条件

(1) 实验装置

纺丝螺杆试验机的螺杆直径30mm, 拖动电机Z₂-41型, 直流电机的额定功率5.5kw, 其额定转速3000rpm, 加热采用电阻丝加热器, L/D24螺杆用五区加热, L/D30螺杆用六区加热。试验机可自动、连续记录挤压机沿程的熔体压力, 熔体温度, 电机功率

消耗及挤压机出口熔体温度; 螺杆挤出量用称重法; 螺杆转速以手持转速表测定。

纺丝实验时, 在纺丝螺杆试验机上配单头纺丝实验机和单锭卷绕机。

(2) 实验用料

北京向阳化工厂产PP3702

(3) 实验用螺杆

螺杆主要几何尺寸见表1。

表1 螺杆几何尺寸

螺杆型式	长径比	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	H ₁ (mm)	H ₂ (mm)
普通螺杆	24D	8D	6D	10D		5	1.3
普通螺杆	30D	8D	6D	16D		5	2
销钉螺杆	30D	8D	6D	13D	3D	5	2

(4) 实验工艺条件

为加强实验的可比性, 各次实验均采用同一工艺条件。螺杆各区加热温度设定为一区250°C、二区260°C、三区270°C、四区260°C、五区260°C及六区260°C。

六区温度设定只在30D螺杆实验时用。挤压机机头压力: 2.94、5.88、8.83MPa
螺杆转速: 20、40、60、80、100rpm

2. 实验结果

(1) 螺杆挤出量

实测的螺杆挤出量比较见表2。

实验表明, 30D螺杆产量比24D螺杆产量

表2 不同直径螺杆挤出量比较

螺杆转速(rpm)	20			40			60			80			100		
机头压力(MPa)	2.94	5.88	8.83	2.94	5.88	8.83	2.94	5.88	8.83	2.94	5.88	8.83	2.94	5.88	8.83
螺杆型式	挤出量(g/min)														
24D普通螺杆	20.5	18	14.5	36	34.5	30	54	48.5	42.5	72	65.5	59.5	86.5	81	75
30D普通螺杆	26	22	18.5	52.5	47.5	43	76.5	67.5	62	119.5	102.5	86	120	109	88.7
30D销钉螺杆	28.1	23.5	50	54	47	40	78.7	68.4	59.5	99	87.9	77.3	119.4	107	97

有明显增加,其增加率在30%左右。30D销钉螺杆与30D普通螺杆比无显著区别。

螺杆挤出量可用下式进行理论计算:

$$Q = \frac{\pi^2 D^2 n H_3 \cos\phi \sin\phi}{2} - \frac{\pi D H_3 \sin^2\phi}{12\eta_1} \cdot \frac{P}{L} - \frac{\pi^2 D^2 \Delta^3 E t g\phi}{12\eta_2 b} \cdot \frac{P}{L} \quad (1)$$

此式第一项为正流流量,第二项为逆流

流量,第三项为漏流流量。用(1)式进行理论计算,螺杆理论挤出量比实测结果大约高25%左右。

(2) 挤压机功率消耗

实测的挤压机功率消耗见表3。

数据表明,随螺杆长径比增加,挤压机功率消耗也明显增加,而30D销钉螺杆比30D普通螺杆的功率消耗要少,特别是在高转速情况下,30D销钉螺杆的功耗几乎与24D普通螺杆接近。

表3 不同直径螺杆挤出机功率消耗比较

螺杆转速(rpm)	20			40			60			80			100		
机头压力(MPa)	2.94	5.88	8.83	2.94	5.88	8.83	2.94	5.88	8.83	2.94	5.88	8.83	2.94	5.88	8.83
螺杆型式	功率消耗 KW														
24D普通螺杆	0.3	0.4	0.42	0.6	0.6	0.6	0.85	1.0	1.1	1.4	1.5	1.7	2.2	1.9	1.9
30D普通螺杆	0.6	0.6	0.6	1.1	1.0	1.3	1.6	1.6	1.7	2.0	2.2	2.2	2.5	2.7	2.8
30D销钉螺杆	0.6	0.6	0.7	0.9	1.1	1.2	1.2	1.4	1.4	1.5	1.7	1.8	2.0	2.0	2.2

(3) 沿程熔体温度分布

物料在挤压机中熔融,其热源一个是机筒的外加热,一个是螺杆对物料的剪切热。在一定工艺条件下,由于螺杆的剪切作用可以使物料温度高于外加热温度,反过来讲,从沿程熔体温度的变化情况可以反映出物料受到的剪切情况。

表4是一组沿程熔体温度情况,螺杆转速80rpm,机头压力5.88MPa。

实验表明,30D螺杆的计量段较24D螺杆要长,物料承受剪切作用的时间也长,尽管有较大的槽深,较高的挤出量,仍然使物料

表4 不同直径螺杆各区熔体温度

加热区	一	二	三	四	五	六
加热温度(℃)	250	260	270	260	260	260
螺杆型式	熔体温度(℃)					
24D普通螺杆	173	245	254	270	283	
30D普通螺杆	170	242	245	269	272	284
30D销钉螺杆	174	254	278	275	282	262

有较高的温升。销钉螺杆与普通螺杆的沿程温度分布不同,由于销钉区具有较小的剪切,较大的混合,使物料温度趋于均匀,所以销钉螺杆具有低温挤出的特征。

二 螺杆放大设计

物料在螺杆挤压机中熔融及大分子降解主要是热作用和剪切作用的综合结果。其主要影响因素有加热温度、剪切速度及其作用时间。试验的结果应用于放大设计中主要应考虑这三个因素。

1. 物料加热工艺条件分析

物料加热温度主要取决于工艺条件，但高聚物特别是聚丙烯导热系数低是必须重视的问题。即螺杆直径的增加，螺槽相应加深，而螺槽中物料的温度梯度也势必增加。在外部加热条件相同的情况下，大螺杆中物料的平均温度以及料层低温部分的最低温度都会比小螺杆低。因此，要保证物料有同样的温度状况，大螺杆的加热工艺条件必须高于实验时的工艺条件。

2. 物料受剪切作用的分析

螺杆剪切速率可用下式计算：

$$\dot{\gamma} = \pi D n / H_3 \quad (2)$$

从式(2)中可以看出，螺杆剪切速率 $\dot{\gamma}$ 与螺杆直径 D 和螺杆转速 n 成正比，与螺槽深度 H_3 成反比。如要使大螺杆与小试验的螺杆具有同样的剪切速率，只要让槽深与螺杆直径具有同样的放大比例即可。当然，槽深的确定除了要考虑剪切速率的因素以外，还要考虑到挤压机产量，螺杆特性等因素。

表5以螺杆转速40rpm为例计算了大小螺杆不同槽深时的剪切速率。

表5 不同直径不同螺杆槽深的比较

螺杆直径(mm)	30			80			120		
螺杆槽深(mm)	1.3	2.0	3.5	4.5	5.5	5.5	6.5	7.5	
剪切速率(s ⁻¹)	48.3	31.4	17.9	37.2	30.5	45.7	38.7	33.5	

3. 物料在挤压机中的停留时间

物料在挤压机中的停留时间反映了物料在螺杆中受加热作用和剪切作用的时间。准

确地确定这一时间是很困难的，常常从物料平衡角度做简化分析。分析表明，物料在挤压机中的停留时间与螺杆直径和长径比关系不大。

(1) 物料在挤压机中的停留时间几乎与螺杆直径无关

若忽略漏流与逆流的影响，螺杆产量公式可以简化为：

$$Q = \pi^2 D^2 n H_3 \cos \varphi \sin \varphi / 2 \quad (3)$$

简化的挤压机螺槽容积为：

$$V = 2.3 H_3 \pi D^2 Z / \cos \varphi \quad (4)$$

物料在挤压机中的停留时间可用下式计算：

$$t = V / Q \quad (5)$$

将(3)、(4)代入(5)，可以看出， D 被消掉，物料在挤压机中的停留时间 t 与螺杆直径 D 无关。其原因在于随螺杆直径的增加，挤压机产量与螺槽容积同步增加，所以物料在螺杆挤压机中的停留时间不会因螺杆直径的放大而增加。

(2) 长径比的增加对停留时间影响不大

从式(1)可以看出，螺杆长径比增加对正流量没有影响，但会减少漏流与逆流流量，使挤出量稍有增加。一般在长径比增加的同时螺槽 H_3 也会增加，使螺杆挤出量有较大增加，而长径比和螺槽增加也使螺槽容积 V 增加，因此，停留时间 t 的变化就取决于 ΔV 与 ΔQ 之比，一般情况下两者相差不大，所以增加长径比不会对停留时间有大的影响。

我们用实例的产量反算其停留时间，结果如表6所示。从实测情况可以看出，物料在螺杆中的停留时间与长径比关系不大，但随转速增加(因产量增加)而明显减少。

表6 不同长径比的螺杆内物料停留时间(min)的比较

螺杆长径比	螺杆转速(rpm)				
	20	40	60	80	100
24D	8.37	4.39	3.11	2.30	1.86
30D	8.95	4.13	2.91	2.12	1.80

4. 物料在挤压机中的熔融过程

通过计算机对物料在螺杆中的熔融过程进行了模拟计算,图1、图2是一组 $\phi 80\text{mm}$ 螺杆的计算结果。

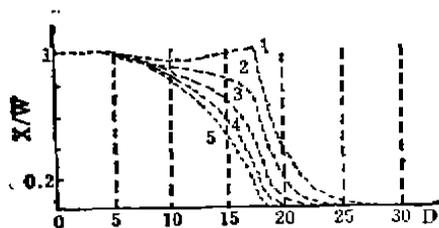


图1 螺杆挤出量 60kg/h 时的固相分布函数
螺杆转速: 1-40rpm; 2-50rpm; 3-60rpm;
4-70rpm; 5-80rpm

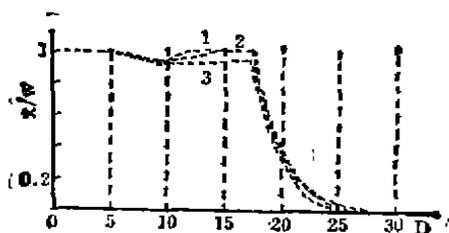


图2 螺杆挤出量 100kg/h 时固相分布函数
螺杆转速: 1-70rpm; 2-80rpm; 3-90rpm

模拟计算中采用的螺杆参数为: L_1 的 L/D 为9, L_2 的 L/D 为8, L_3 的 L/D 为10, L_4 的 L/D 为3, $H_1=16\text{mm}$, $H_3=4\text{mm}$, $H_4=5.5\text{mm}$ 。

图1是在挤出量60kg/h的条件下,转速从40rpm到80rpm做出的固相分布函数曲线。从图1中可以看出,在几个转速条件下都没有出现固体床破碎,物料在25D之内基本上全部熔化,熔融过程稳定。

图2是在100kg/h的情况下,转速从70~90rpm做出的曲线,尽管出现了固体床崩溃的情况,但熔融过程也在 L/D 为27左右完成。就熔体质量而言,显然比图1情况要差,但此螺杆是销钉螺杆,混合作用优于普通螺杆,在使用时熔体中混有少量未熔物更能显示其作用,所以,在此螺杆产量的情况下仍可保证熔体质量。如确需提高熔体质量其方法第一是适当提高加热温度,使熔融速率加快,

第二是提高机头压力,使转速提高,增加物料所受剪切力。

三 螺杆挤压机样机实测情况

在装有长径比30D,直径80mm螺杆的丙纶长丝纺丝机上试纺了82.5dtex/18F,99dtex/18F,165dtex/36F三个品种,纺速相应为1200m/min,936m/min,1000m/min,纺丝质量达到考核验收标准。结果表明,螺杆挤压机提供了高质量的熔体,保证了纺丝机的产量和质量要求。现就螺杆特性的实测结果提出几点看法。

1. 螺杆挤出特性测定

螺杆挤出特性是在机头压力稳定在9.81MPa条件下,测取螺杆挤压机的挤出量,即测各个计量泵流量取其和。由于纺丝机机头压力自控,在稳定机头压力的情况下,螺杆转速只有取近似的平均值。测定结果绘制于图3。用实测值与理论值进行了比较,与小试结果一致,理论值也比实测值高25%左右。

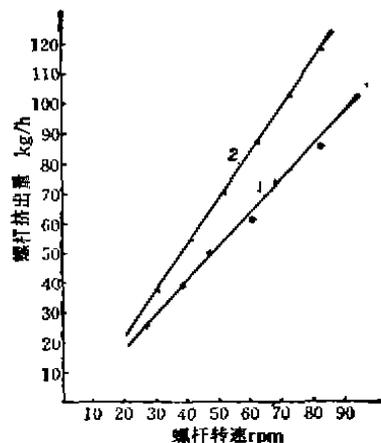


图3 螺杆挤出特性的比较
1—实测值; 2—理论值

2. 物料在螺杆中的停留时间

在扩大设计时我们提出物料在螺杆中的停留时间与螺杆直径几乎无关,而与转速关系很大,实测结果证明了这一点。

表7对转速40rpm和80.5rpm两种情况进行了比较。为了在同转速、同压力下比较,我们对小试结果进行了必要的换算,并与实测结果一起列入表7中。

表7 物料在不同直径螺杆中停留时间的比较

螺杆直径 (mm)	机头压力 (MPa)	螺杆转速 (rpm)	挤出量 (kg/h)	螺槽容积 (cm ³)	停留时间 (min)	备注
30	8.83	40	2.4	208.534	4.696	实测值
30	9.81	38	2.16	208.534	5.213	换算值
80	9.81	38	39.408	4275.9	5.259	实测值
30	8.83	80	4.638	208.534	2.428	实测值
30	9.81	80.5	4.458	208.534	2.526	换算值
80	9.81	80.5	87.69	4275.9	2.633	实测值

3. 机头压力波动

机头压力的波动是与熔融过程密切相关的,熔融过程稳定,则压力波动小。在纺丝螺杆挤压机上配有一套良好的机头压力控制系统,利用调整螺杆转速的办法来控制机头压力,使其波动不大于 $\pm 0.29\text{MPa}$ 。但不论在试车过程中,还是在测螺杆特性过程中,随着产量的上升,机头压力还是逐渐出现波动的趋势。

当纺99dtex丝,机头压力9.81MPa时,螺杆转速37rpm,机头压力最大差值为0.24MPa,把机头压力提高到12.75MPa,螺杆转速50rpm,此时最大压差下降到0.20MPa。当纺制165dtex丝,机头压力9.81MPa时,螺杆转速为70rpm,机头最大压差升到0.39MPa。

做螺杆特性测试,当实测挤出量63.67kg/b时,螺杆转速59.5rpm,比较接近图1的情况,可以预料固体全部熔化时的位置是23D左右,还有4D的计量段和3D的销钉段在起均化和计量作用,熔融过程平稳,此时机头压力稳定容易控制,压差较小。而当实测挤出量87.69kg/h时,螺杆转速80.5rpm,情况比较接近图2所示,预料固体全部熔点是在27D左右,计量段几乎不起均化作用,而要担当部分熔化作用,再者固体床破碎又是一个极不稳定的过程,破碎的位置,破碎的程度随时变化,因此这时的机头压力波动差值增加就很容易理解了。

参 考 文 献

- [1] 郭英,《合成纤维机械原理与设计》,纺织工业出版社1990
[2] 高辉,《合成纤维》5, p.42, 1981

EXTRUSION SCREW WITH LENGTHENED L/D FOR SPINNING PP FIBER

Gao Hui, Guo Ying and Zhao Shiyong
(Beijing Institute of Clothing Technology)

Abstract

The result of studying extrusion screw with lengthened L/D for spinning PP fiber is introduced in this paper and the performance tests of the screw are described, it seems the lengthened L/D has influence on extrusion output and melt quality. The points of attention in the scale up design are proposed with a computer simulating the melting situation of extrusion. The designed screw has been used for spinning PP fiber and the data measured in practice agreed with that from the scale up design.