

# 纤维长度测试方法研究

李汝勤      沈小妹

(中国纺织大学) (上海纺织纤维检验所)

**【摘要】** 本文从纤维长度重量分布出发,用图解法导出照影机曲线的理论公式。并用实验方法,通过光电照影机直接测取随机夹持试样的照影机曲线与用电容式长度分析仪测量一端平齐试样按照理论公式换算成的照影机曲线对比,检验理论公式的正确性以及分析实际测量中产生的误差,探讨不同测量原理的长度仪器测试结果指标之间的关系。

## 一、引言

多年来,国内外学者围绕着长度测试理论以及长度测试方法,从各种不同角度进行了研究、试验与分析,并提出了各自的观点。与此同时,国内外纺织仪器的生产厂,为改进纤维长度测试仪器进行不断努力,以提高仪器自动化程度和数据处理能力。然而,在纤维长度测试领域中仍然有不少理论与实际问题需要进一步研究。本文将通过光电照影机、电容式长度分析仪以及罗拉式长度分析仪测试结果对比,对三者所得纤维长度分布及其指标之间关系进行探讨,对测量结果存在差异的原因进行分析。

自1940年英国 Hertel 在前人关于棉条中纤维被握持的理论曲线的基础上,提出了纤维长度照影机理论,并研究创制了纤维长度照影机以来,仪器经过多次改型换代,但仪器的原理仍是基于随机夹取试样,测量纤维量与伸出夹持线长度之间的关系,并建立相应的指标。这种测量方法形成了纤维长度测量中的一大类别。纤维长度测量方法中的另一大类别,是将纤维整理成一端平齐试样加以测量,相应的仪器有国产 Y111 型罗拉式长度分析仪以及瑞士电容式 Almeter 长度分析仪。前者可通过称量得到纤维长度重量分布,后者则在第一次测量转换取得纤维长度根数累积分布电信号的基础上,采用计算机技术,对原始信号进行一次

积分,获得照影机理论曲线;对原始信号进行微分,得到纤维长度根数分布,再经长度加权得到纤维长度重量分布,积分后获得纤维长度重量累积分布。

由上所述,对于同一试样,可用光电式照影机直接测取随机夹持试样的照影机曲线,也可用电容式长度分析仪测取一端平齐试样按照理论公式间接换算成照影机曲线。对于人们所关心的照影机理论的正确性,可从两种实验方法所得结果是否一致得到说明,这就是本文研究的主要目的。

## 二、纤维长度理论的图解分析方法

Hertel 的照影机曲线理论,是用概率论方法从纤维长度根数分布出发推导得出的。本文所述图解分析法,是以纤维长度重量分布为基础,推导出与 Hertel 所建立的相同的长度分布曲线之间的数学关系。

公式推导的基本假设是,采用随机夹取试样方法时,梳夹上的纤维长度根数分布,为棉样纤维长度根数分布的长度加权,相当于棉样的纤维长度重量分布。这是因为梳夹在随机夹取试样时,纤维被夹子所抓取的机率,与纤维本身长度成正比。

基本假设之二是,梳夹上的纤维在沿其长度上的任一点都具有相同被握住的机率。这样,对于等长纤维来说,纤维随机夹持后伸出长度的分布为一直角三角形,如图1所示。

实际纤维长度分布是不等长的，可把纤维分成不同长度的若干等长纤维组。梳夹上的每个等长纤维组随机夹持后纤维伸出夹持线的长度分布为底边等于该组长度的直角三角形，如图2所示。这样，所有被夹持纤维伸出长度形成的分布将等于各长度组纤维伸出长度分布之和，可由上述各直角三角形叠加取得，其方法如图3所示。



图1 等长纤维随机夹持伸出长度分布

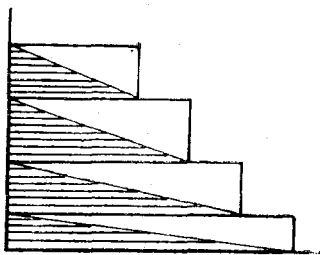


图2 梳夹上各等长纤维组伸出长度分布

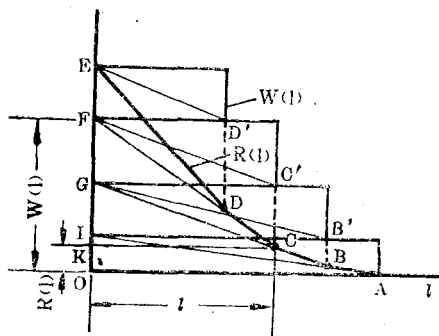


图3 图解法求照影机曲线

图中横坐标  $l$  代表纤维长度，纵坐标为梳夹上各长度组根数分布累积，相当于棉样中各长度组重量分布的累积，用  $W(l)$  表示，为简化起见，图中纤维不同长度只画了四组。首先从下面第二个三角形顶点  $B'$  作垂线，与第一个三角形的斜边  $IA$  相交于  $B$  点，将图中  $G$  点与  $B$  点用直线相连，多边形  $OGBA$  即为三角形  $OIA$  与三角形  $IGB'$  的叠加。以下依此类推，过  $C'$  点作垂线与直线  $GB$  相交于  $C$  点，将  $F$  点与  $C$  点用直线相连。再过  $D'$  点作垂线与直线  $FC$  相交于  $D$  点，将  $E$  点与  $D$  点相连。

曲线  $EDCBA$  即为各三角形叠加结果，为梳夹纤维伸出长度分布，或称照影机曲线。为了推导该叠加曲线的数学公式，取图中某点  $C$  进行分析，该点纤维伸出夹持线长度为  $l$ ，相应的纤维累积重量分布为  $W(l)$ ，照影机曲线值为  $R(l)$ 。在公式推导中，设  $P(l)$  为棉样纤维长度根数频率分布， $Q(l)$  为棉样纤维长度根数累积频率分布， $B(l)$  为棉样纤维长度重量频率分布，则根据一般的长度分布概念，存在如下数学关系：

$$1. \quad Q(l) = \int_l^{l_{max}} P(l) dl = 1 - \int_0^l P(l) dl \quad (1)$$

$$Q'(l) = -P(l) \quad (2)$$

$$2. \quad W(l) = \int_l^{l_{max}} B(l) dl = 1 - \int_0^l B(l) dl \quad (3)$$

$$W'(l) = -B(l) \quad (4)$$

$$3. \quad B(l) = lP(l) \quad (5)$$

再根据图3中三角形  $FCK$  可得：

$$[W(l) - R(l)]/l = -R'(l)$$

$$\text{所以：} W(l) = R(l) - lR'(l) \quad (6)$$

对式(6)两边取导数

$$W'(l) = R'(l) - lR''(l) - R'(l) = -lR''(l) \quad (7)$$

$$\text{由式(4)、(5)得：} W'(l) = -lP(l) \quad (8)$$

$$\text{将式(8)代入式(7)得：} R''(l) = P(l) \quad (9)$$

$$\text{由式(2)、(9)得：} R''(l) = -Q'(l) \quad (10)$$

对式(10)进行两次积分，并根据初始条件  $l=0$  时， $R(l)=1$  得：

$$R(l) = 1 - \int_0^l Q(l) dl = \int_0^{l_{max}} Q(l) dl = \int_0^{l_{max}} \int_l^{l_{max}} P(l) dl dl \quad (11)$$

由此可知，照影机梳夹上纤维伸出长度分布曲线  $R(l)$  为棉样中纤维长度根数累积分布的一次积分，为棉样中纤维长度根数分布的两次积分，这与 Hertel 从纤维长度根数分布推导出的照影机曲线公式完全一致。采用图解分析法可以在已知纤维重量分布的情况下，通过

作图方便地求出照影机的理论曲线。

### 三、试验方法

长度为 27、29、31-33 毫米的三组原棉试样，每个长度组取不同的 10 份棉样，总共 30 份棉样，分别在 Y111 罗拉式长度分析仪、530 纤维长度照影仪以及 Almeter 电容式长度分析仪上进行测试。罗拉式长度分析仪测量纤维的重量分布及主体长度；530 纤维长度照影仪测试 SL2.5%、SL25%、SL50% 以及 SL75% 等点的跨距长度；电容式长度分析仪测试纤维长度根数分布及长度根数累积分布、长度重量分布及长度重量累积分布以及理论照影机曲线，并打印出各曲线相应的长度指标。每份棉样试验时，530 纤维长度照影仪取四次结果平均，电容式长度分析仪取三次结果平均，罗拉式长度分析仪则根据试验方法规定，由试验结果的差异情况决定其试验次数。

试样的来源及编号如表 1 所示。

表 1 棉花试样 (单位: 毫米)

27		29		31~33	
河北	127	山东(110)	129	江苏响水	131
河北衡水	127	松江	329	江苏响水	231
河北衡水	227	山东(105)	229	安徽皖华	131
四川(7327)	227	山东(111)	229	射阳	131
衡水(258)	227	山东(112)	129	闵行	131
河北	227	四川(7268)	129	闵行	231
济阳	127	山东巨野	129	河南商丘	131
河北	327	山东冠县	129	埃及中绒	133
河北(107)	127	山东鄄城	129	埃及 G75	133
河北衡水	127	山东平原	129	苏丹 6B	333

### 四、试验结果分析

(一) 罗拉式主体长度、电容式主体长度、530 纤维长度照影仪 SL2.5% 跨距长度之间关系

30 份棉样试验结果平均数值如表 2 所示。

回归方程与相关系数如下：

1. 罗拉式主体长度  $x$  与 530 照影仪 SL

表 2 不同长度仪器测试结果 (单位: 毫米)

试样	罗拉式主体	电容式主体	照影仪 SL2.5%
27	27.85	26.68	28.01
29	29.02	27.40	29.15
31-33	30.8	29.22	30.18
平均值	29.23	28.01	29.11

2.5% 长度  $y$  :

$$y = 8.478 + 0.706x, r = 0.858$$

2. 罗拉式主体长度  $x$  与电容式主体长度  $y$  :

$$y = 5.8 + 0.76x, r = 0.817$$

3. 电容式主体长度  $x$  与 530 照影仪 SL 2.5% 长度  $y$  :

$$y = 11.01 + 0.646x, r = 0.729$$

从原理上来说，同一棉样用罗拉式长度分析仪分组称重测得的纤维主体长度，与电容式长度仪测取纤维长度根数累积分布经数学方法换算得到的主体长度应该相等。但实际测量结果电容式主体长度比罗拉式主体长度短约 1 毫米左右。可认为，这主要是两种类型仪器整理试样方法不同所致。罗拉式长度仪操作中，由引伸器摇制的小棉条经手扯和限制器绒板反复整理两遍，纤维伸直程度要比电容式长度仪自动制样器用梳针整理试样为高，由此测得主体长度较长，这是造成两者差异的主要原因。

对于本来理论上没有什么直接关系的 530 照影仪 SL2.5% 跨距长度，与罗拉式主体长度实测结果却十分接近，两者总平均值仅相差 0.12 毫米，其原因将在下面的讨论中加以说明。

(二) 理论照影机曲线与实际照影机曲线比较

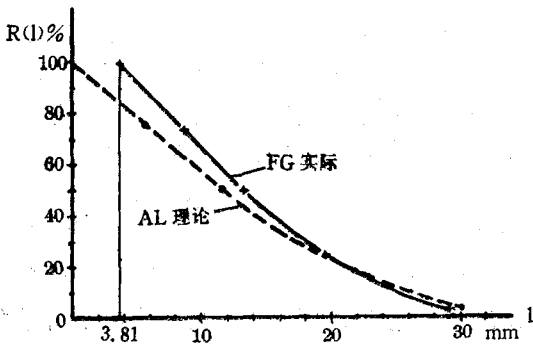
电容式长度分析仪 (Almeter) 测取一端不齐纤维试样电信号，经积分后得到的理论照影机曲线 (以下简称 AL 理论照影机曲线)，与同一棉样用 530 纤维长度照影仪 (Fibrograph) 直接测取随机夹持试样所得照影机曲线 (以下简称 FG 实际照影机曲线) 比较，其中若干跨

**表 3** 理论照影机曲线与实际照影机曲线跨距长度值 (单位: 毫米)

试样		SL2.5%	SL25%	SL50%	SL75%
27	FG实际	28.01	18.52	13.32	8.76
	AL理论	29.13	18.22	11.43	5.62
	FG/AL	0.96	1.02	1.17	1.56
29	FG实际	29.2	19.36	13.25	8.9
	AL理论	30.18	18.79	11.7	5.8
	FG/AL	0.97	1.03	1.13	1.53
31 33	FG实际	30.18	19.62	13.8	9.13
	AL理论	31.58	19.75	12.4	6.09
	FG/AL	0.96	0.99	1.11	1.50

距长度点的平均数值, 如表 3 所示。

按表中数值可绘制三个长度组棉样的试验结果平均照影机曲线(AL理论和FG实际)。现举例画出 29 毫米棉样平均曲线如图 4 所示, 另两组长度棉样平均曲线的规律与之相似。

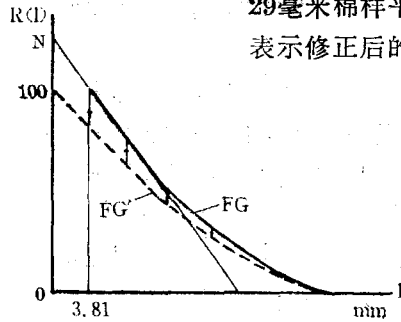


**图 4** 29 毫米棉样平均照影机曲线

由以上实验结果可知, 530 纤维长度照影仪实际测得的 SL 75%、SL 50% 跨距长度, 均大于电容式长度仪理论照影机曲线的相应值; 对于 SL 25% 跨距长度, 两仪器所测数值相接近; 而对于 SL 2.5% 跨距长度, 实际照影机曲线所得值小于理论照影机曲线所得值。

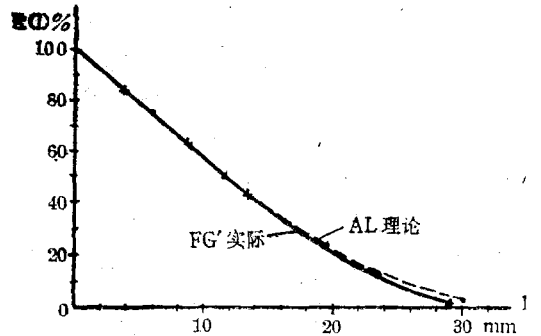
但是, 上述实验结果还不能说明实际照影机曲线与理论照影机曲线的真实差异, 因为两者是在不同条件下得到的试验结果, 530 照影

机实际测量时, 是以离夹持线 3.81 毫米距离处的纤维量作为 100%, 电容式长度仪测量一端平齐试样对其全部长度的纤维量变化进行转换, 得到的理论照影机曲线是以夹持线处的纤维量作为 100% 而计算的。为了在相同条件下进行比较, 需要将 FG 实际照影机曲线加以修正, 其方法如图 5 所示。从 FG 实际照影机曲线的起始部分 (3.81 毫米处) 作切线, 与纵坐标相交于 N 点。再将整个曲线按照 ON 在纵坐标上的比例缩小, 得到修正后的照影机曲线 FG', 如图中虚线所示, 修正后纵坐标上 N 点下移到纤维量 100% 处。由此可得到三个长度组棉样修正后的实际照影机曲线。现仍以 29 毫米棉样平均曲线为例,



**图 5** 照影机曲线修正方法

表示修正后的实际照影机曲线与理论照影机曲线之间的关系, 如图 6 所示。另两组长度棉样修正后平均曲线的规律也与之相似。



**图 6** 29 毫米棉样修正后平均照影机曲线

实验结果表明, 修正后的 FG' 实际照影机曲线与 AL 理论照影机曲线比较接近, 说明了纤维长度根数分布两次积分的照影机曲线理论的基本正确。但是在伸出长度较长的区段, 实际照影机曲线低于理论照影机曲线, 说明实际测量中存在着与理论公式推导假设条件

不一致的地方。其差异原因可作如下解释。

1. 理论假设中梳夹握持纤维时,沿其长度上任一点被握住的机率相等。但实际梳夹抓取纤维从棉样中抽出时,要受到周围纤维的摩擦阻力。对于纤维被握持在端部而伸出长度较长的纤维在上述外力的作用下易于从梳夹中滑脱。

2. 照影机测量前试样用刷子进行人工梳理伸直纤维。若用力不当也可能使较长纤维脱离握持或使纤维断裂。

此外,理论推导中还未考虑纤维粗细不均的影响。综合各种因素,使580照影机所测 $SL2.5\%$ 跨距长度要比其理论值短 $1\sim 2$ 毫米。

(三) 主体长度与照影机曲线 $SL2.5\%$ 跨距长度关系

从理论上讲,纤维主体长度与照影机 $SL2.5\%$ 跨距长度是两个完全不同概念的长度指标。主体长度是棉样中纤维重量最大的那组长度,用来作为试样的代表性长度,而 $SL2.5\%$ 跨距长度则位于纤维的较长区段,所以理论上 $SL2.5\%$ 跨距长度总是大于纤维的主体长度。这可从表4所示电容式长度仪测量结果得到说明。该表指出两者差异约 $2\sim 3$ 毫米。

但是,实际测量罗拉式主体长度却与580照影机所得 $SL2.5\%$ 跨距长度十分接近,两者近乎相等,这正是前面分析的两个差异原因的综合结果。

表4 电容式长度仪主体长度与理论 $SL2.5\%$ 长度 (单位:毫米)

试样	AL 主体长度	AL理论 $SL2.5\%$
27	26.68	29.13
29	27.9	30.18
31-33	29.22	31.58
平均	28.01	30.35

1. 由于试样整理操作中纤维伸直程度不同,罗拉式主体长度比电容式主体长度长约1毫米左右。

2. 由于随机夹取试样实际情况与理论假

设不完全一样,实际照影机曲线在长度较长区段低于理论照影机曲线,实际 $SL2.5\%$ 小于理论 $SL2.5\%$ 约 $1\sim 2$ 毫米。

以上两个差异合起来约 $2\sim 3$ 毫米,正好抵消理论主体长度与理论 $SL2.5\%$ 之间的差异,使照影机实测 $SL2.5\%$ 与罗拉式主体长度取得很好的一致,在实际使用中可用照影机所测 $SL2.5\%$ 跨距长度作为纤维试样的代表性长度。

(四) 由于上述实际照影机曲线与理论照影机存在差异,从实际照影机曲线上某一点作切线与纵坐标相交,求取长短纤维重量百分率的方法,计算结果存在一定误差。

## 五、结 论

用图解分析法可以从纤维重量分布求得理论照影机曲线,并由此推导出与Hertel所得相同的照影机理论公式。它从另一种概念和角度出发,较形象地阐明了各种纤维长度分布曲线之间的数学关系。

实际照影机所得曲线,与已知纤维其他类型长度分布按照影机理论所推算出的照影机曲线之间存在着某些差异。这是由于不同类型长度仪器试样制备方法不同以及照影机梳夹抓取试样的实际情况与理论假设不完全一致所致。由于各种因素综合作用的结果,使实际照影机曲线所测 $SL2.5\%$ 跨距与罗拉式主体长度测试结果十分接近,因而用它可以快速得到纤维试样代表性长度指标,较大程度地缩短试验时间。但是需要对纤维长度分布作进一步分析时,电容式长度仪可以提供更为详细的长度指标。

(收稿日期:1989年5月19日。)

## 参 考 资 料

- [1] «Textile Res», J. 10, 510~525(1940).
- [2] «Textile Res», J. 51, 174~181(1981).
- [3] «华东纺织工学院学报», 1959年3卷3期。
- [4] «纤维检验通讯», 1981年第5期。
- [5] «纤维检验通讯», 1981年第6期。
- [6] «纤维检验通讯», 1984年第6期。