

影响电缆护套层收缩的因素分析

苏州美显高分子材料有限公司 汪关才

不管是电缆还是光缆，挤出后的外护套层收缩过大都可能导致露铜或者露纤。此问题一直受到电缆或光缆生产企业以及终端用户的高度关注，但至今依然没有一个直接有效的方式能完全避免收缩的发生。其主要原因是成缆后的护套层收缩问题并不只是由某一个因素导致。在此，本文想以无卤阻燃聚烯烃材料为例，跟大家共同分享一下导致线缆绝缘或护套层收缩的相关影响因素。

（1）无卤护套材料本身的收缩问题。我们知道，目前无卤护套材料基体为EVA、PE、POE、EBA、EPDM等聚乙烯或烯烃弹性体，此系列烯烃材料在相互熔融后，其因为聚乙烯相的缘故还是会在一定的结晶度（见图1），图中

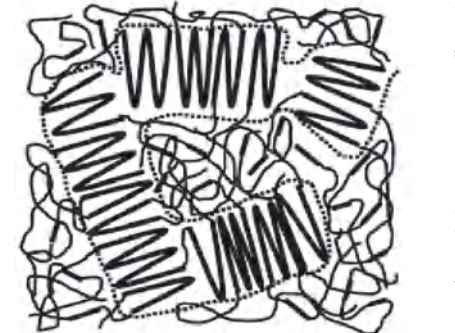


图1.无卤电缆材料相区示意图
的锯齿状的区间即为结晶区，此结晶区在材料从高温到低温变化过程中会出现

一定程度结晶收缩现象，这也就是为什么纯PP或HDPE等结晶度较高材料在热加工过程中出现较大冷收缩的原因。针对此问题，我们建议配方中尽可能采用茂金属催化的mLLDPE基料，一方面其可以保证材料的热抗开裂效果；另一方面，与MDPE或HDPE相比其可以降低整体材料的结晶度，从而从配方本身来降低收缩。除此以外，提高配方中无机阻燃剂的含量对降低材料本身的收缩也是很有好处的，毕竟氢氧化物（无机物）在-40℃~100℃的收缩几乎可以忽略不计的；此外，在配方中，更多的使用微观形貌为球形或类球形的无机阻燃剂会对降低收缩有非常大的帮助，其主要原因是类球形无机物各向同性，在线缆材料取向拉伸的过程中，其不会因为拉伸的作用而导致阻燃剂的取向。因为无机物的取向排列也很容易造成电缆护套层应力的聚集，而电缆护套层后续在消除类似应力的过程中便会导致收缩的产生。

（2）在拉线过程中，采用“挤压”（见图2a）模具来代替“挤管”（见图2b）或“半挤管”（见图2c）模具，这会大大降低护套的后期收缩。本质而言，无卤阻燃护套材料还属于烯烃弹性体，其没有固定的熔点。在加工过程中，尤其是在出模头的时候，材料还处于“高弹态”状态。此高弹态状态在“挤管”或“半挤管”模具挤出时，会受到较大的相对冷拉伸（因为此加工方式会有一定的拉伸比），此拉伸会使得

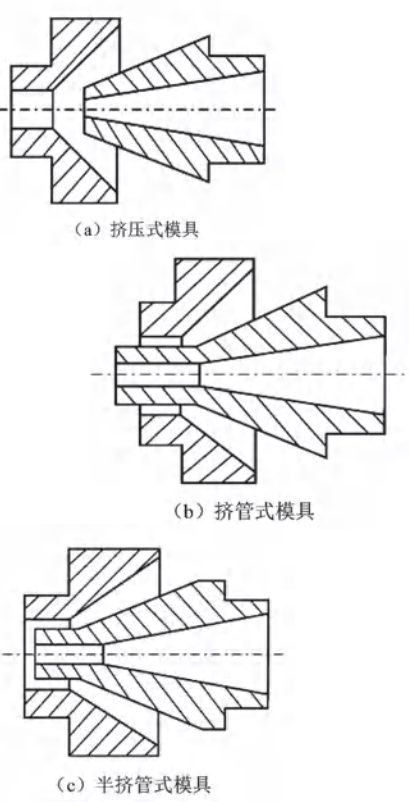


图2.线缆模头挤出方式示意图

线缆护套成型过程中预存较大应力。此应力在线缆生产完成后会慢慢的释放出来，从而导致护套的收缩露芯。这一点是护套材料收缩的最主要原因。此方面的改善措施有：采用挤压方式进行加工，同时，在保证材料不分解的情况下尽可能提高材料挤出温度，使得材料从“高弹态”进入部分“粘流态”以降低其挤出时的弹性变形，这对降低后收缩也是有帮助的。下面简单分析一下三种挤出方式：如图2a所示，挤压式模具的模芯没有管状承压部分，模芯缩在模套承压后面，熔融的材料是靠压力通过模套在模芯周围成型的。挤出的护套层结构紧密，外表平整，可以使整根线缆成为一个整体。模芯与模套间的夹角决定物料的压力（即挤出压力），此压力越大，物料与芯线的包覆力也会越大，相对挤出过程中物料所受到的塑性拉伸也会减小，等等这对降低后续收缩是很有帮助的。模芯及模套的尺寸及其表面光洁度也直接决定了挤出现线缆的形状和表面质量。模套孔径的确定既要考虑挤出膨胀效应，又要考虑挤出后冷却收缩效应。由于是压力挤出，塑料在模口处产生较大的反作用力，因此挤压式出料量要比挤管式少得多，这会严重影响生产效率。此外，挤压式挤出时偏心不易调节，因而挤出包覆层的厚度有时候会较难控制。但整体而言，从降低后续护套层收缩的角度挤压方式会优于挤管方式。

中国质量认证中心启动CQC1146防水电缆试点认证工作

防水电缆作为潜水电机电泵、水中景观灯等在水下进行工作的电气设备的电源连接软电缆在国内得到广泛的应用，然而国内相关标准的缺失导致产品在结构设计、材料选择和性能要求，特别是防水相关性能的检测方法和指标等方面规定的不明确和不统一，对国内防水电缆产品的规范生产、质量管控和质量提升带来不利影响。

为此，中国质量认证中心（CQC）积极组织相关企业单位研究起草防水电缆相关标准。目前，CQC联合上海慧慧检测技术有限公司已完成5家企业多根防水电缆的防水性能预验证工作，发布《CQC1146防水电缆预验证结果分析报告》，并形成CQC1146-202X《额定电压450/750V及以下防水橡胶软电缆技术规范》（验证稿）。

为进一步做好标准制定工作和产品认证服务，CQC于近期正式启动CQC1146防水电缆的试点认证工作，组织生产企业按照标准制备认证样品进行型式试验，测试结果将作为CQC1146标准相关指标设定的输入参考，也将转为后续产品认证报告中的具体数据。欢迎国内防水电缆相关生产企业积极踊跃报名参加试点认证，关于报名要求、标准详情及试点认证的具体情况请与CQC总部产品认证四部电线部（010-83886521）咨询联络。

团体标准小知识

一、团体标准与推荐性标准有什么区别和联系？

团体标准是市场自主制定的标准，是我国标准化改革的重要方面，是新型标准体系中最具有活力和创新性的部分，是由依法成立的学会、协会、商会、联合会、产业技术联盟等社会团体协调市场相关主体，以市场和创新需求为目标，共同制定的标准，供团体成员约定采用或者按照本团体标准的规定供社会自愿采用，是自愿性标准。国家鼓励制定高于推荐性标准相关技术要求的团体标准。

推荐性标准是政府主导制定的标准，包括推荐性国家标准、行业标准和地方标准，与团体标准相比较，更侧重于公益性和基础性。

团体标准和推荐性标准是我国标准体系的重要组成部分，对实施效果良好、符合推荐性标准制定条件的团体标准，应当转化为推荐性标准。一些可以由市场主体遵循市场规律制定的推荐性标准，宜由团体标准来承接。例如：2018年3月，住房城乡建设部办公厅关于印发《可转化或团体标准的现行工程建设推荐性标准目录（2018年版）》的通知指出，将逐步缩减现有推荐性标准的数量和规模，培育发展团体标准。该部对2013年及以前批准的推荐性标准（不含正在修订标准）进行了复审，编制了可转化或团体标准的现行工程建设推荐性标准目录，具备相应条件和能力的学会、协会、商会、

联合会等社会团体，在保证开放、透明、公平和不降低国家标准、行业标准水平的前提下，可组织对目录所列标准项目特别是标龄较长的项目进行完善提高、补充细化。

二、团体标准与企业标准有什么区别和联系？

（1）团体标准是由依法成立的社会团体按照自行规定的标准制定程序制定并发布的标准，由社会团体成员约定采用或按照社会团体成员的规定供社会自愿采用。

（2）企业标准是由企业根据需求自行按照企业有关规定制定，由企业法人代表或法人代表授权的主管领导批准、发布。

（3）需要注意的是，以多个名义或多个企业协议组成的联盟（尚未依法登记）的名义制定的标准，属于企业间联合制定的标准，这种标准是企业标准，不是团体标准。

（4）团体标准与企业标准属于市场自主制定的标准。

综上所述，它们之间没有管理的联系。

三、团体标准化工作的管理特色是什么？

国务院标准化行政主管部门统一管理全国标准化工作。国务院有关行政主管部门分工管理本部门、本行业的标准化工作。

县级以上地方人民政府标准化行政主管部门统一管理工作区域内标准化工作。县级以上地方人民政府有关行政主管部门分工管理本行政区域内本部门、本行业的标准化工作。

CQC1146标准(验证稿)相关信息参考

1. 使用特性

- 电缆的额定电压 U_0/U 为450/750V。
- 在正常使用，电缆导体的最高温度为65℃。
- “W”派生电缆具有耐气候和耐油性性能，适宜于户外或接触油污的场合适用。
- “B”派生电缆为三芯扁形电缆。

2. 材料代号和型号

产品的绝缘和护套材料代号			
材料类型	材料代号	适用的电缆型号 ^a	材料名称
绝缘混合物	IE4	JHS、JHSB	乙丙橡胶混合物或其他相当的合成弹性体
护套混合物	SE3	JHS、JHSB	天然丁苯或类似弹性体混合物
	SE4	JHSW、JHSWB	氯丁橡胶混合物（PCP）或其他相当的合成弹性体

产品型号、电压等级、规格及名称		
产品型号 ^a	电压等级及规格	产品名称
JHS	450/750V	额定电压 450/750V 防水橡胶圆形软电缆
JHSW	1~150(1, 3, 4, 5芯)、 1~50(2芯)	额定电压 450/750V 氯丁或相当合成弹性体防水橡胶圆形软电缆
JHSB	450/750V	额定电压 450/750V 防水橡胶扁形软电缆
JHSWB	1~95(3芯)	额定电压 450/750V 氯丁或相当合成弹性体防水橡胶扁形软电缆

3. 防水相关性性能试验

- | | |
|--------------|------------------|
| (1)高温绝缘电阻试验 | (2)电缆径向水密性试验 |
| a)短期高温绝缘电阻试验 | (3)护套高压浸水吸水量试验 |
| b)长期高温绝缘电阻试验 | (4)护套高温长期浸水吸水量试验 |

国务院标准化行政主管部门会同国务院有关行政主管部门对团体标准的制定进行规范、引导和监督。

国家实行团体标准自我声明公开和监督制度。国家鼓励团体标准通过标准信息公共服务平台向社会公开。

国务院建立标准化协调机制，统筹推进标准化重大改革，研究标准化重大政策，对跨部门跨领域、存在重大争议标准的制定和实施进行协调。

国务院办公厅印发的《深化标准化工作改革方案》指出，在标准管理上，对团体标准不设行政许可，由社会组织和产业技术联盟自主制定发布，通过市场竞争优胜劣汰。国务院标准化行政主管部门会同国务院有关部门制定团体标准发展指导意见和标准化良好行为规范，对团体标准进行必要的规范、引导和监督。

征稿启事

为了更有效地获取行业资讯、更好地服务电线电缆产业发展，特向行业内外广大读者公开征稿。征稿内容以行业最新资讯、动态为主，可涉及市场动态、中外标准对比、新产品、新工艺、新方法等多个方面，稿件字数以1000~1500字为佳，专题文章可适当增加字数。欢迎大家积极投稿，本报将择优利用。

投稿热线

0510-80713715
18013837159
邮箱：
zhout_0609@126.com

金属丝编织层编织密度计算公式中D的讨论

上海慧慧检测技术有限公司运营总监/西安交通大学客座教授 吴长顺

金属丝编织结构在许多电线电缆产品中得到运用，对于特殊场合下需要具有电磁屏蔽功能或具备特殊机械性能的情况下，设计电缆结构时都会采用金属丝编织标准，但在不同的产品标准或测试方法标准中对计算编织密度的有些参数提法要求不一致，以致在测量过程中产生混淆，在此我们罗列有关标准中的提法并进行讨论。

一、相关标准编织密度的计算公式的信息

1. 塑料绝缘控制电缆

不同年份的标准	GB/T9330.1-2008《塑料绝缘控制电缆 第1部分：一般规定》	GB9330.1-1988《塑料绝缘控制电缆 一般规定》（作废标准）
计算公式	$P = \frac{(2p - p^2) \times 100\%}{p} = \frac{m \times \pi \times d^2}{2 \times D} \left[1 + \frac{\pi^2 p^2}{L^2} \right]^{-\frac{1}{2}}$	$K = \frac{(2K - K^2) \times 100\%}{K} = \frac{m}{2\pi D} \left[1 + \frac{\pi^2 p^2}{L^2} \right]^{-\frac{1}{2}}$
公式中符号代表的含义	P: 编织层覆盖密度, %; p: 单向覆盖系数; L: 编织节距, mm; d: 编织丝直径, mm; m: 编织机同一方向的锭数; n: 每锭的编织根数。	K: 编织密度, %; K: 单向覆盖系数; L: 编织节距, mm; d: 编织丝直径, mm; m: 编织机同一方向的锭数; n: 每锭根数。

新、老版本编织覆盖密度计算公式一致，单向覆盖系数计算公式中，老版本分母中多了一个2，是新、老版本对m（编织锭数）的定义差异造成的，2008年版本m为编织机同一方向的锭数，而1988版本m为锭子总数，刚好相差2倍。

我们来分析一下新、老版本中对D的定义差异，1988年版本D定义为编织层平均直径，可以理解为编织层的平均外径（含编织铜丝）吗？但这个D是测量值还是计算值，标准没有说明；2008年版本D定义为编织层的节圆直径，这个节圆直径如何理解？这个节圆直径D是测量值还是计算值，标准也没有说明。

2. 塑料绝缘电线电缆

不同年份的标准	计算公式	公式中符号代表的含义
JB8734.1-1998《额定电压450/750V及以下聚氯乙烯绝缘电线电缆 第1部分：一般规定》	$k = \frac{(2k_f - k_f^2) \times 100\%}{k_f} = \frac{m}{2\pi D} \left[1 + \left(\frac{\pi p}{L} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}$	k: 编织密度, %; k: 单向覆盖系数; 1: 节距, mm; d: 屏蔽用金属圆单线直径, mm; m: 每锭根数; n: 每锭根数。
JB/T8734.1-2012《额定电压450/750V及以下聚氯乙烯绝缘电线电缆 第1部分：一般规定》	$k_f = \frac{(2k_f - k_f^2) \times 100\%}{k_f} = \frac{m}{2\pi D} \left[1 + \left(\frac{\pi p}{L} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}$	k: 编织密度, %; k: 单向覆盖系数; 1: 节距, mm; d: 屏蔽用金属圆单线直径, mm; m: 每锭根数; n: 每锭根数。
JB/T8734.1-2016《额定电压450/750V及以下聚氯乙烯绝缘电线电缆 第1部分：一般规定》	$k = \frac{(2k_f - k_f^2) \times 100\%}{k_f} = \frac{m}{2\pi D} \left[1 + \left(\frac{\pi p}{L} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}$	k: 编织密度, %; k: 单向覆盖系数; 1: 节距, mm; d: 屏蔽用金属圆单线直径, mm; m: 每锭根数; n: 每锭根数。

JB/T 8734.1《额定电压450/750V及以下聚氯乙烯绝缘电线电缆和软线 第1部分：一般规定》这个标准最近二十多年修改过三次，每次的屏蔽标准密度计算公式没有发生变化，唯一变化的是屏蔽层直径的定义有变化：JB 8734.1-1998版本中D定义为“屏蔽层直径”；JB/T 8734.1-2012版本中D定义为“屏蔽层直径，即成缆外径加上两倍的单丝直径”；JB/T 8734.1-2016版本中D定义为“屏蔽层计算直径”。

JB 8734.1-1998版本中D定义为“屏蔽层直径”，标准中没有阐述“屏蔽层直径”是测量值还是计算值，可以理解为屏蔽层的外径吗？

JB/T 8734.1-2012版本中D定义为“屏蔽层直径，即成缆外径加上两倍的单丝直径”，这里已经明确了是屏蔽层的外径，但没有明确说明“成缆外径”是计算值还是测量值。

JB/T 8734.1-2016版本中D定义为“屏蔽层计算直径”，但没有说明计算方法是什么。

3. 舰船电缆

不同年份的标准	GB916-1994《船舶用低压电缆和软线通用要求》	IEC60092-350《船用和船用电缆、控制线和仪表电缆的一般结构和试验方法》
计算公式	$K = (2F - F^2) \times 100$ $F = \frac{NPd}{\sin \alpha}$ $t_{90} = 2\pi DP / C$	$F = \frac{NPd}{\sin \alpha}$ 或 $F = \frac{mnd}{2\pi D} \left[1 + \frac{\pi^2 p^2}{L^2} \right]^{-\frac{1}{2}}$
公式中符号代表的含义	G: 锭数; D: 编织前电缆或软线或软线直径, mm; d: 编织单线直径, mm; N: 编织层覆盖率, %; α: 每毫米电缆（或线芯）长的绞合根数; α: 金属丝与电缆或软线绞合绞合的编织角。	F: 填充系数; a: 编织金属丝与电缆相交的编织角; d: 编织单线直径, mm; N: 每毫米电缆长的绞合根数; m: 锭子总数; n: 每锭根数; D: 编织层平均直径, mm; L: 节距, mm;

GB1916-1994版本中定义D为“编织前电缆或软线或线芯直径”，没有说明是测量值还是计算值，IEC60092-350标准中定义D为“编织层平均直径”，可以理解为编织层的平均外径（含编织铜丝）吗？但这个D是测量值还是计算值，标准也没有说明。

4. EN试验方法标准

标准名称	EN50306-3:2002《铁路用具有特殊防火性能的车辆电缆 第3部分：单芯和多芯电缆（对绞、三绞和星绞）屏蔽（不屏蔽护套）》
计算公式	$K_f = \frac{mnd}{2\pi D} \left[1 + \frac{\pi^2 p^2}{L^2} \right]^{-\frac{1}{2}}$
公式中符号代表的含义	k: 填充系数; L: 节距, mm; d: 屏蔽用金属圆单线直径, mm; Φ: 编织层下线缆直径加上两倍的单丝标称直径, mm; m: 锭子总数; n: 每锭根数。

EN50306-3:2002标准中Φ定义为“编织层下成缆直径加上两倍的单丝标称直径”，这里已经明确了是屏蔽层的外径，但没有明确说明“成缆直径”是计算值还是测量值。

从上述内容我们可以看出不同标准对编织屏蔽直径的定义都不太一样，当进行检测时各人的理解也有所不同，给检测结论带来一定的争议。另外绝大部分编织屏蔽层材料都使用铜导体，企业在进行原材料控制时屏蔽编织密度也控制的比较严，可能会出现同一个样品不同的人、不同的检测机构测出的编织密度出现不一样的结果，甚至出现合格与不合格的情况，因此规定D的定义和测试方法对检测机构或制造企业都很重要。

二、编织密度或单向覆盖系数计算公式推导

我们在这里推导编织密度或单向覆盖系数计算公式不是数学演算，而是从物理意义上确定编织层直径的定义及测量方法。

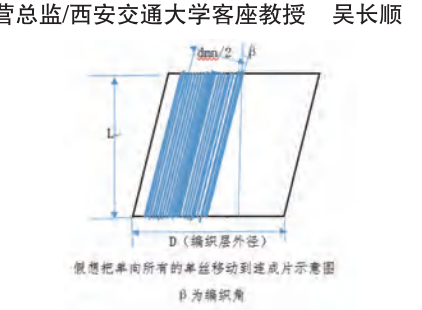
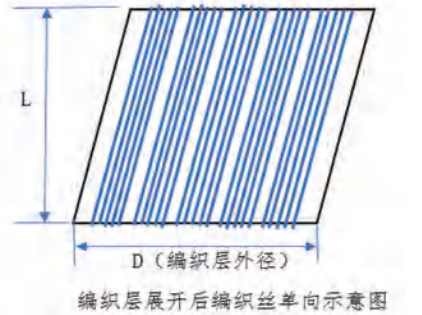
我们假定：编织金属单丝的编织节距为：L mm；

屏蔽用金属圆单线直径为d mm；

锭子总数为m,那么单向的锭子数为m/2；

每锭根数为n；

那么单向所有编织丝覆盖的宽度为dmn/2;如下图所示：



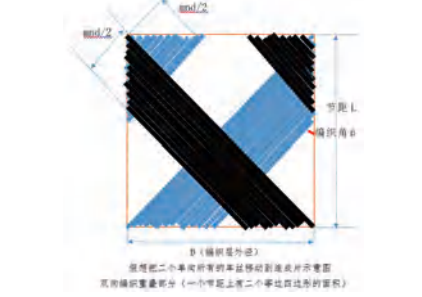
此处的D是编织屏蔽的外径（也就是编织层每一根单丝最外点形成的圆面的直径）。

每一根单丝在一个节距上的长度那么单向覆盖系数k_f：

$$k_f = \frac{\sqrt{(\pi D)^2 + L^2}}{2\pi D} = \frac{mnd\sqrt{(\pi D)^2 + L^2}}{2\pi D} = \frac{mnd}{2\pi D} \left[1 + \frac{\pi^2 p^2}{L^2} \right]^{-\frac{1}{2}}$$

为了计算编织密度，我们把双向编织层进行如下图所示处理，由于二个单向编织层是对称的，可知在一个节距内编织丝重叠部分是一个等边四边形+二个一半的等边四边形。

设等边四边形的面积为A：



$$A = \text{菱形边长} \times \text{菱形高度} = \frac{mnd}{2} \times \frac{mnd}{2} = \frac{(mnd)^2}{8 \sin \beta \cos \beta}$$
$$= \frac{(mnd)^2}{8 \times \frac{L}{\sqrt{(\pi D)^2 + L^2}} \times \frac{\pi D}{\sqrt{(\pi D)^2 + L^2}}} = \frac{(mnd)^2 \times ((\pi D)^2 + L^2)}{8\pi DL}$$
$$= \frac{1}{2} \times \left(\frac{mnd}{2\pi D} \left[1 + \frac{\pi^2 p^2}{L^2} \right]^{-\frac{1}{2}} \right)^2 = \frac{nDL}{2} \times k_f^2$$

因此，双向覆盖面积2A: $2A = \frac{nDL}{2} \times k_f^2 = \pi DL \times k_f^2$

编织密度 K:

$K = \frac{\text{编织层覆盖面积}}{\text{编织层外径的圆周面积}} \times 100\%$

$K = \frac{2 \times \text{倍的单向覆盖面积} - 2 \times \text{的重叠四边形的面积}}{\text{编织层外径的圆周面积}} \times 100\%$

$K = \frac{2 \times \frac{(mnd\sqrt{(\pi D)^2 + L^2}}{2} - \pi DL \times k_f^2}{2}}{\pi DL} \times 100\%$

$K = \frac{(mnd\sqrt{(\pi D)^2 + L^2}}{\pi DL} - k_f^2) \times 100\%$

$K = (2k_f - k_f^2) \times 100\%$

从上述理论推导可以看出编织屏蔽外径的物理含义，推导过程中涉及的参数（L、m、n、d、D）都是样品的实际值（客观存在的值），其中D是编织层每一根单丝最外点形成的圆面的直径，如下图所示。

因此，编织层外径应为编织层下直径（成缆外径）加二倍的编织单丝直径。

三、编织层外径D的确定及测量

在本文的上述部分我们已经从理论推导了编织层外径D在电缆结构中所处的位置，D应该称作编织层实测平均外径。

从计算公式我们可知D的大小会影响编织密度，从现有中、外标准中归纳关于D的提法有：编织层的节圆直径、编织层平均直径、屏蔽层直径、屏蔽层直径（即

编织层下平均直径（测量值）+2倍的编织单丝直径

或编织层平均外径（测量值）。

关于测量方法，依据GB/T2951.11-2008第8.3条规定有二种情况：

a)当软线和电缆的外径不超过25mm时，用测微计、投影仪或类似的仪器在互相垂直的两个方向分别测量；

b)软线和电缆的外径超过25mm时，应用测量带测量其圆周长，然后计算直径。也可使用能直接读数的测量带测量。

由于编织层表面不光滑，成缆线芯不一定圆整等因素，用测微计等仪器测量会产生一定的误差、没有重复性或再现性，直径测量结果不稳定，建议：不管外径大小一律采用测量带测量样品的平均外径（编织层下的成缆平均直径或编织层平均外径）。