



中华人民共和国国家标准

GB/T 37361—2019/ISO/TS 19397:2015

漆膜厚度的测定 超声波测厚仪法

Determination of the film thickness—Ultrasonic thickness gauge method

(ISO/TS 19397:2015, Determination of the film thickness of coatings using an ultrasonic gage, IDT)

2019-03-25 发布

2020-02-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 原理	3
5 测量方法和应用的物理原理	3
6 设备和材料	5
6.1 超声波膜厚测量装置	5
6.2 耦合剂	5
6.3 校准标准	5
7 测量设备的校准、调整 and 检查	5
7.1 校准	5
7.2 调整	6
7.3 检查调整	6
8 测定步骤	6
9 测量温度的影响	6
10 精密度	6
10.1 总则	6
10.2 重复性限	6
10.3 再现性限	7
11 试验报告	8
附录 A (资料性附录) 人员资质	9
附录 B (资料性附录) 精密度确定	10
参考文献	16

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准使用翻译法等同采用 ISO/TS 19397:2015《用超声波测厚仪测定涂层的膜厚》。

与本标准中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下：

——GB/T 5206—2015 色漆和清漆 术语和定义(ISO 4618:2014, IDT)。

本标准做了下列编辑性修改：

——为了与现有的漆膜厚度测定法标准相协调,将名称改为《漆膜厚度的测定 超声波测厚仪法》。

本标准由中国石油和化学工业联合会提出。

本标准由全国涂料和颜料标准化技术委员会(SAC/TC 5)归口。

本标准起草单位：江苏兰陵高分子材料有限公司、广州合成材料研究院有限公司、标格达精密仪器(广州)有限公司、浙江鱼童新材料股份有限公司、中航百慕新材料技术工程股份有限公司、中海油常州涂料化工研究院有限公司、深圳市广田环保涂料有限公司、河北晨阳工贸集团有限公司、中华制漆(深圳)有限公司、佛山市顺德区巴德富实业有限公司、中车唐山机车车辆有限公司、常州光辉化工有限公司、浙江明泉工业涂装有限公司、东莞市恩峰建材科技有限公司、陕西宝塔山油漆股份有限公司、福建福日特种材料有限公司。

本标准主要起草人：穆志超、陈建刚、曹晓东、王崇武、李欣、高军、杨亚良、屈帅、付超、徐小东、王智、杨文涛、赵绍洪、茅立安、龙凤佳、王娅丽、陈阿治。

漆膜厚度的测定 超声波测厚仪法

1 范围

本标准规定了一种使用超声波测厚仪测定金属和非金属基材上涂层膜厚的方法。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

ISO 4618 色漆和清漆 术语和定义(Paints and varnishes—Terms and definitions)

3 术语和定义

ISO 4618 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

超声波 ultrasonic wave

频率高于人耳的听觉范围的声波,通常其频率高于 20 kHz。

[EN 1330-4:2010,定义 3.1.1]

3.2

纵波 longitudinal wave

压缩波 compressional wave

介质质点的振动方向和波的传播方向相同的波。

[EN 1330-4:2010,定义 2.3.1]

3.3

回波 echo

反射到探头的超声波脉冲。

[EN 1330-4:2010,定义 5.5.2]

3.4

回波高度 echo height

回波振幅 echo amplitude

屏幕上显示的回波(3.3)高度。

[EN 1330-4:2010,定义 5.5.5]

3.5

超声脉冲 ultrasonic impulse

持续时间短的超声信号。

3.6

超声波传感器 ultrasonic sensor

超声波探头 ultrasonic probe

用于发送和接收超声波(3.1)的装置,主要利用压电材料。

3.7

声阻抗 acoustic impedance

Z

材料的密度和声速的乘积。

3.8

反射系数 reflection coefficient

在反射面处总的反射声压和入射声压之比。

[EN 1330-4:2010, 定义 3.4.11]

注：波的反射系数 R 是通过声阻抗(3.7) Z_1 和边界介质的声阻抗(3.7) Z_2 来计算的, 其中 1 是传入声音的介质:

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

若反射系数为负值, 将反射信号的相位(3.9)改变 180° 。

3.9

相位 phase

一个完整波周期的某个位置, 用角度表示。

[EN 1330-4:2010, 定义 2.2.5]

3.10

界面 interface

声阻抗(3.7)不同的两种介质之间声接触的分界面。

[EN 1330-4:2010, 定义 3.4.1]

3.11

声传播时间 sound path travel time

声波沿路径传播所需的时间。

[EN 1330-4:2010, 定义 5.6.3]

3.12

耦合剂 couplant

耦合膜 coupling film

施加于探头和被测物体之间的使超声波能够顺利通过的介质。

[EN 1330-4:2010, 定义 5.3.2]

3.13

A 扫描显示 A-scan presentation

显示超声波信号, 其中 X 轴以时间表示, Y 轴以幅度表示。

[EN 1330-4:2010, 定义 5.5.16]

注：超声波膜厚测量装置, 除了显示膜厚数值外, 通常还显示 A 扫描以用于检查回波形式和回波顺序。

3.14

校准 calibration

在规定条件下的一组操作, 其第一步是确定由测量标准提供的量值与相应示值之间的关系, 这里测量标准提供的量值与相应示值都有测量不确定度, 第二步, 通过这个信息就可以知道如何从示值得到测量结果。

注 1: 校准可以用综述、校准函数、校准图、校准曲线或校准表的形式表示。某些情况下, 它可以包括对具有测量不确定度的示值的修正, 加修正值或乘修正因子。

注 2: 注意避免校准与常被错误称作为“自校准”的测量系统的调整及校准验证相混淆。

注 3: 通常, 只把上述定义中的第一步认为是校准。

[ISO/IEC 导则 99:2007, 定义 2.39]

3.15

测量系统的调整 **adjustment of a measuring system**

调整 **adjustment**

对测量系统进行的一系列操作,以便测量仪器给出规定的对应于待测量值的示值。

注 1: 测量系统的调整类型通常包括测量系统的零点调整,偏移调整和量程调整(有时称为“增益调整”)。

注 2: 注意避免测量系统的调整与校准(3.14)混淆,这是调整的前提。

注 3: 测量系统调整后,通常需重新校准测量系统。

[ISO/IEC 导则 99:2007, 定义 3.11]

3.16

工作标准 **working standard**

可溯源到国家标准的标准。

[EN 60731:2007, 定义 3.4.1.2]

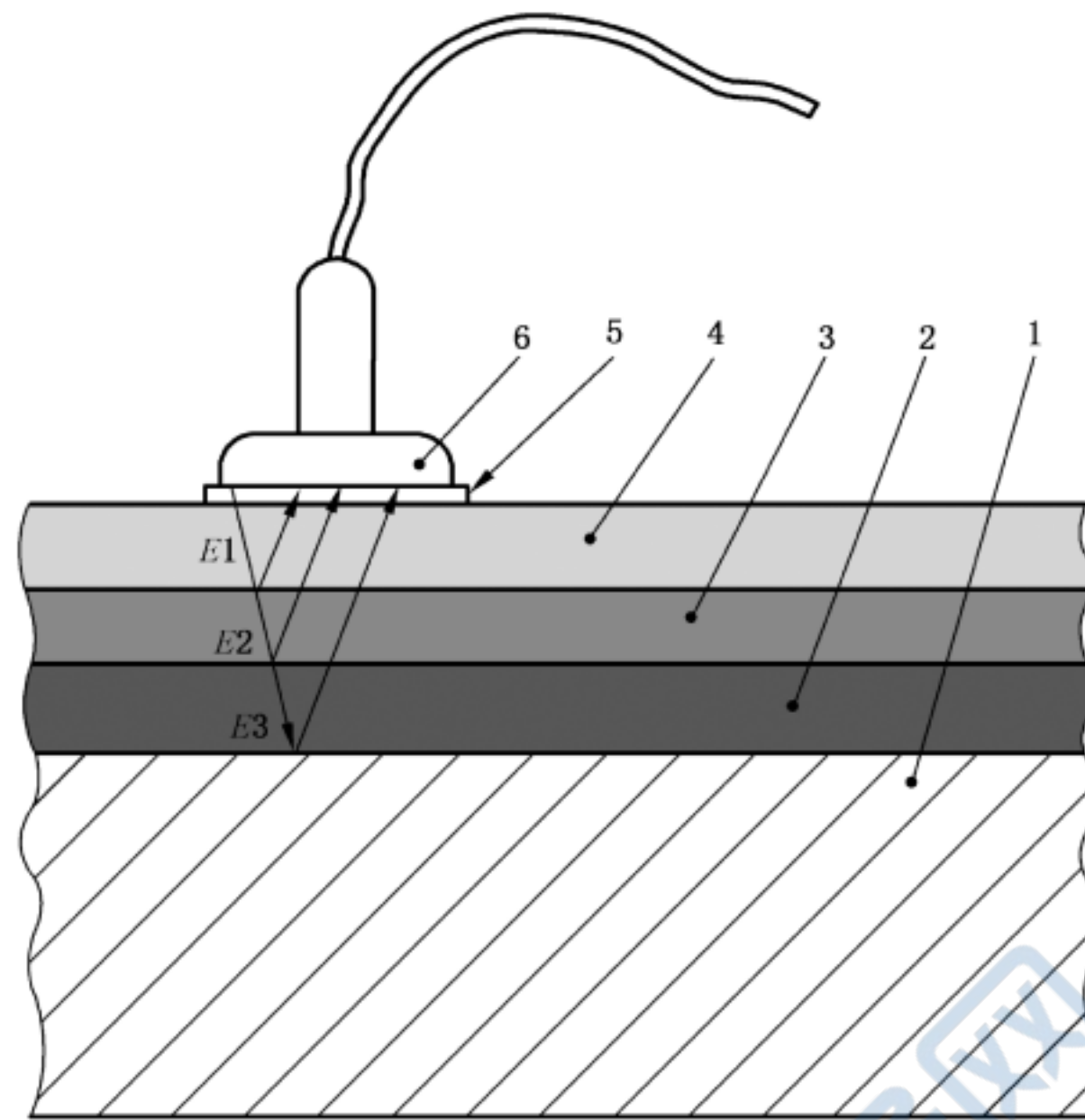
4 原理

本标准规定的方法通过在涂层体系界面部分反射的超声波脉冲的传播时间来确定单个涂层的厚度。从与实际用途相关的不同涂膜基材组合得到的数据可以看出这个方法的优缺点。

5 测量方法和应用的物理原理

当使用超声波测量膜厚时,使用纵波,因为纵波容易产生并且几乎可以与每种液体耦合到一起。如图 1 所示,超声波传感器(6)由压电盘和“延迟块”组成,压电盘用于产生和接收声波。传感器中产生的超声波脉冲首先通过延迟块,然后穿过第 1 层至第 3 层,直达基材(1)甚至更远。

到达每个界面的超声波一部分被反射成一个新的超声波脉冲,另一部分通过。超声脉冲照射在第 1 层(4)时,超声波传感器会接收到第一个反射。



说明：

- 1 —— 基材；
- 2 —— 第 3 层；
- 3 —— 第 2 层；
- 4 —— 第 1 层；
- 5 —— 耦合剂(液体)；
- 6 —— 超声波传感器(发送器和接收器)；
- E —— 回波层, 1, 2, 3。

图 1 超声波法

超声波脉冲被超声波传感器接收后就被记录下来。在三个单独的层中,超声波脉冲之间的时长对应的声路径传播时间 $T_i (i = 1, 2, 3)$ 。每个界面上反射的超声波脉冲的振幅或回波高度取决于各自的反射系数。如果已知在每一层中的声速,可以用传播时间计算各自的膜厚。对于每一层,按式(1)计算:

$$v = \frac{t_d}{T/2} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- v —— 声速;
- t_d —— 干膜厚度;
- T —— 该层中的声音路径传播时间(来回)。

为了能够利用肉眼来分辨较短声传播时间间隔的回波(例如在厚度 $20 \mu\text{m}$ 的涂层中的传播时间为 20 ns),超声波脉冲至少应该一样短。为此,超声频率应当较高(至少是传播时间的一半的倒数),或者应通过数字信号处理,用较低频率产生 A 扫描。有关 A 扫描的示例,参见图 2。

当各涂层都太薄时,各个层产生的回波会相互融合。在这种情况下,通过 A 扫描显示进行评价的方法不再适用。

在 A 扫描呈现正和负半波的情况下,应考虑对于负反射因子($Z_2 < Z_1$),超声波脉冲的相位改变 180° 。如果忽略这一点,则可能出现半波长的相对时间延迟。

超声脉冲在两层界面上形成的信号幅值足够高的前提是:

- 足够高的反射系数或者不同的声阻抗 Z ；
- 材料之间有明确的交叉点。

否则,反射可能变得太弱而检测不到。这也可以发生在弯曲的工件上,由于几何形状原因,不是所有的声波部分都能同时从界面回传到传感器。



说明:

T ——第 1,2,3 层的声音传播时间;

E ——回波层 1,2,3。

图 2 A 扫描显示的示例

6 设备和材料

6.1 超声波膜厚测量装置

带有超声波传感器及测量组件的装置(见图 1)。

超声波传感器用于发送和接收超声波脉冲,测量组件用于根据传播时间测定对应的膜厚。

注:用于测量涂层膜厚的超声波传感器会产生超声波信号(纵波),它按垂直于工件和涂层表面的方向进行传播。在图 1 的示意图中,表面有倾斜的声传播仅用于说明声波的产生。

6.2 耦合剂

使探头和试样之间声学接触充分耦合。通常采用液体(例如水或油)或凝胶偶联剂。

6.3 校准标准

为检查测量装置的功能,应使用工作标准。

为了检查测量方法和在使用前调整装置,应使用一个工作测量标准,该测量标准在膜厚、涂层体系、基材和各涂层厚度等方面应与待测物体相符。

7 测量设备的校准、调整 and 检查

7.1 校准

根据制造商提供的信息校准设备。

注：兰陵亚下件定义料超定义信号的茅立时间。协果需陵，屈赵件引和准给语已知厚速的则限现限来本按该茅立时间。

7.2 调整

根据口造商业供的信息人员料超。

在人员厚速输入时，江议下件具辑智李语智大合准的采样来定和这些厚速。下件膜厚装合准定义标调定和膜厚装佳娅的茅立时间语厚速，根据式(1)计算合准，在色修定义单域内的漆清准给也屈件另修苏测法定和。

改每个采样译等进行茅立时间的定和，每个采样取平均值。

在选择件杨定和厚速的定采样致时，应一虑安定采样致准给越薄，厚音茅立时间越短，从茅立时间语准给来际和厚速就越良草际。

计算时应付意输入料超口造商下件的数据联合会，若下件列编联合会进行计算，应石这些数据进行换算。

7.3 检查调整

料超启洪后，若待定目现的漆清体相或欣声发生称变，翻在记涂数据范件学作现限来本按定义料超的人员。

涛辑的料超有数应始终对关口造商业供的信息进行料调。

人员后，出起膜厚装信号的料超料调良得称变。更换龙凤或称变料超料调时应进行另修次人员。

8 测定步骤

对关口造商业供的信息操作料超。

注：仪涂 A 系我名操作与中层国的说位。

在漆清军漆修些度精密并定义小合准给。石茅感全垂直放调在漆清军并对压，下得度精密的合变得尽屈能薄。石龙凤平稳地归治在定义会调，直安丽阿稳和的定义值。

9 测量温前言影响

大多数龙凤的下件照给规性亚 $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。然而，江议在技件委境照给的规性内进行膜厚合准给定义，赵便在定义过颜了归治定采改象、度精密语龙凤处杨平衡照给。龙凤了的延迟块或定采改象了的照给梯给造提厚速的良屈控的变化语装洪工出起定义结果。

在涛辑声波了，厚速或多或帅地做照给辑为。

注：改杨聚精材，负照给相数小变化规性绍技由每摄氏给 $0.1\% \sim 0.3\%$ 。

由名智大同给地减帅油杨照给变化而文如的误差，应在恒和的照给条术将定义。人员语随后的定义应在色修照给将进行。在定义长徐了断语委境照给辑变化的情况将，应本按人员。

10 精密前

10.1 总则

辑为草使给定和的更多层波有见仪涂 B。

10.2 重复性限

译等用同(r)亚指在译等用条术将下件致定采测法时，2 个定采结果(每个定采结果均由 3 次辑效

测量值的平均值)的绝对差值预计都会低于它的值。在这种情况下,测试结果是由同一操作者,在同一实验室,按规定的测试方法,在短时间间隔内对同一被测材料测试所获得的。符合本标准的重复性限(r)按概率值 95%进行计算,表 1 和表 2 中列出了相对应的值。

反 1 射系数注膜传阻声抗(r)

单位为微米

试样	涂膜厚度	重复性(r)
云杉贴面胶合板	100	4
经打磨处理的云杉	100	6
榉木贴面胶合板	100	6
经打磨处理的榉木	100	6
铝	22	3
铝	44	4
碳纤维复合材料	22	3
碳纤维复合材料	44	3
PP(聚丙烯)	22	4
PP(聚丙烯)	44	4
SMC(片状模塑料)	22	5
SMC(片状模塑料)	44	9
钢	22	3
钢	44	4

反 2 相位界膜传阻声抗(r)

单位为微米

试样	涂膜厚度	重复性限(r)
木材试样	100	5
金属(铝和钢)	22	3
金属(铝和钢)	44	4

10.3 面播声抗

再现性限(R)是指在再现性条件下使用本测试方法时,2个独立的测试结果(每个测试结果均为2次有效测量值的平均值)的绝对差值预计都会低于它的值。在这种情况下,测试结果是由不同的操作者,按规定的测试方法,在连续几天中轮班操作,对同一被测材料测试获得的。符合本标准的再现性限(R)按概率值为 95%进行计算,表 3 和表 4 中列出了相对应的值。

表 3 各个试样的再现性限(R)

单位为微米

试样	涂膜厚度	再现性(R)
云杉贴面胶合板	100	13
经打磨处理的云杉	100	20
榉木贴面胶合板	100	13
经打磨处理的榉木	100	11
铝	22	5
铝	44	7
碳纤维复合材料	22	4
碳纤维复合材料	44	8
PP(聚丙烯)	22	5
PP(聚丙烯)	44	12
SMC(片状模塑料)	22	10
SMC(片状模塑料)	44	14
钢	22	6
钢	44	13

表 4 产品组的再现性限(R)

单位为微米

试样	涂膜厚度	再现性(R)
木材试样	100	17
金属(铝和钢)	22	6
金属(铝和钢)	44	11

11 试验报告

试验报告应至少包括如下内容：

- a) 识别受试产品必要的全部细节；
- b) 注明本标准编号；
- c) 测试结果；
- d) 任何偏离指定的测试方法；
- e) 在测定中出现的任何异常现象；
- f) 试验日期。

附 录 A
(资料性附录)
人员资质

按本标准进行超声波厚度测量的操作者应由专业人员向其介绍本方法的物理原理和计量过程,并且在测试之前应有在该类人员指导下的操作经历。

对于未经测试的涂层体系,应向操作者提供有关产品和待测材料的信息。为了可靠地设置装置,需要了解超声的物理原理以及对计量过程的详细理解。由于计量工作的相似性,了解最常用的超声波厚度测量方法是有帮助的(参见参考文献)。



附录 B
(资作注附录)
标原法确系

B.1 实物室之调轮换方物用信息概要

进行实验室之间的轮换试验,以确定使用超声波膜厚测量装置测量膜厚的精密度。五家单位参加了这个轮换试验。

B.2 方应

为了进行轮换试验,将一个水性标准分散体施涂到十种不同的基材上(见表 B.1)。将分散体重复施涂到其中一些基材上,以获得更高的涂膜厚度。

针对每个膜厚,每种类型基材制备 5 个测试样品。

木材试样的膜厚度为 100 μm 。

对于其他类型的基材,制备膜厚度为 22 μm 和 44 μm 的试验样品。

为了进行基本校准,需要为分光束显微镜准备另外一些参数和横截面积相同的校准试板。

为了直接比较用显微镜/超声波法对膜厚的测量值,还需要为分光束显微镜准备一些其他横截面积的试板。

理 B.1 轮换和方中使准用基工量基工上统整用的测

基材	名义膜厚/ μm
云杉贴面胶合板	100
经打磨处理的云杉	100
榉木贴面胶合板	100
经打磨处理的榉木	100
铝	22
铝	44
树根木材	44
碳纤维复合材料	22
碳纤维复合材料	44
PP(聚丙烯)	22
PP(聚丙烯)	44
SMC(片状模塑料)	22
SMC(片状模塑料)	44
钢	22
钢	44

B.3 超声波膜厚测量装置

使用频率范围大于 200 MHz 5 种不同的超声波膜厚度测量设备进行轮换试验。频率低于 200 MHz 的设备不适合所有基材。

在测量之前,所有的设备都需按照制造商的提供的信息进行校准。

B.4 重复测定

对每一个试样进行 3 次测定。

在每个试样上标记 3 个测量点。

B.5 评价

B.5.1 总则

根据 ISO 5725-2 和 ISO/TR 22971 对测量结果进行评价。

测试样品树根木材被确定为异常材料,因此在超声精度计算中被忽略。

分别计算了每种基材和膜厚的重复性和再现性(参见表 1 和表 3)。

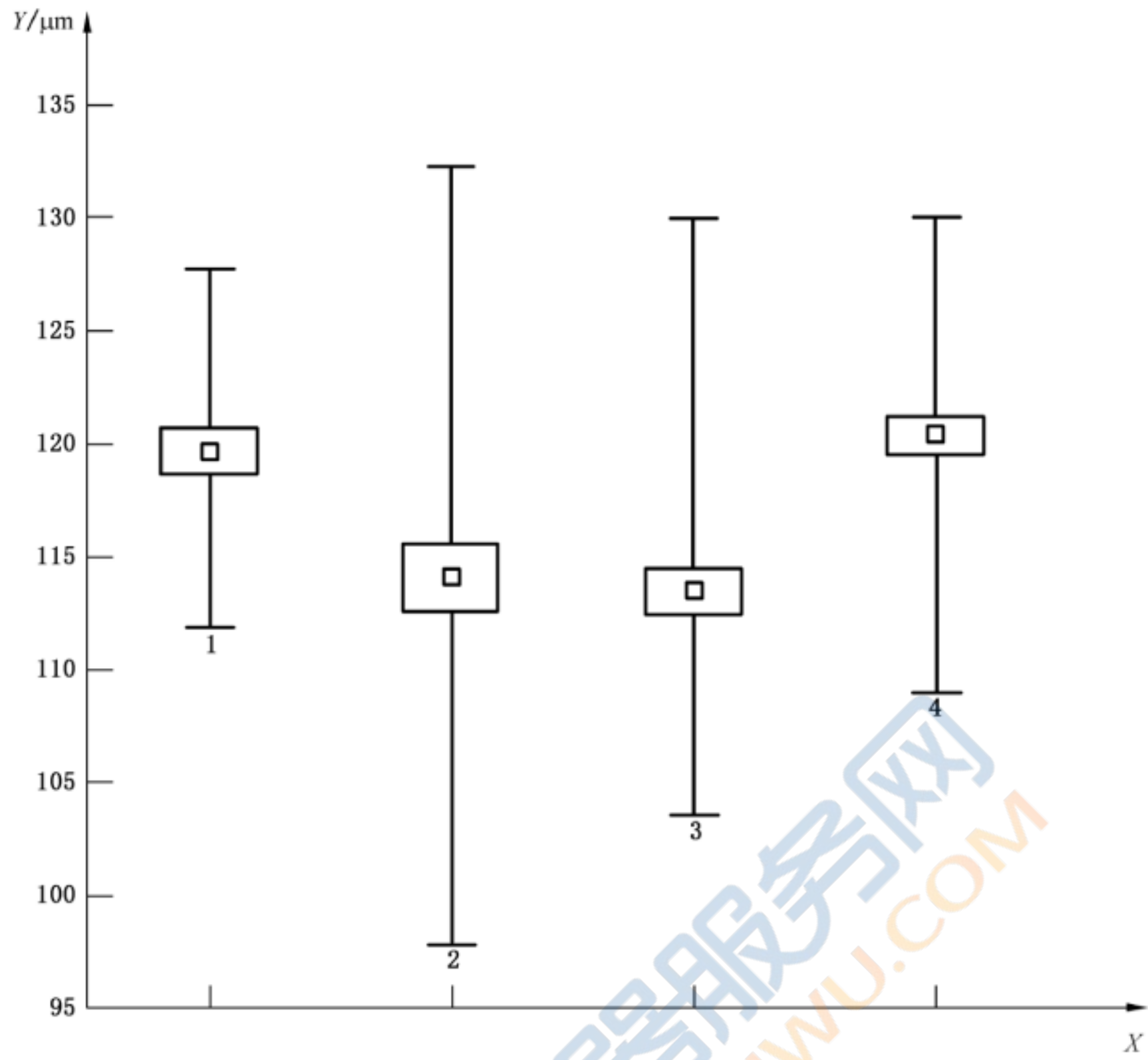
由于各种木材类型以及铝和钢的重复性和再现性是类似的,因此形成了简化的试验组,并计算它们各自的重复性和再现性。

B.5.2 重复性

图 B.1、图 B.2 和图 B.3 显示了各组试样的图:

——膜厚度为 100 μm 的木材试样(见图 B.1);

——铝、碳纤维复合材料、PP、SMC 和钢试样,膜厚度为 22 μm (见图 B.2)和 44 μm (见图 B.3)。



说明:

Y —— 膜厚度, μm ;

X —— 基材;

1 —— 云杉贴面胶合板;

2 —— 经打磨处理的云杉;

3 —— 榉木贴面胶合板;

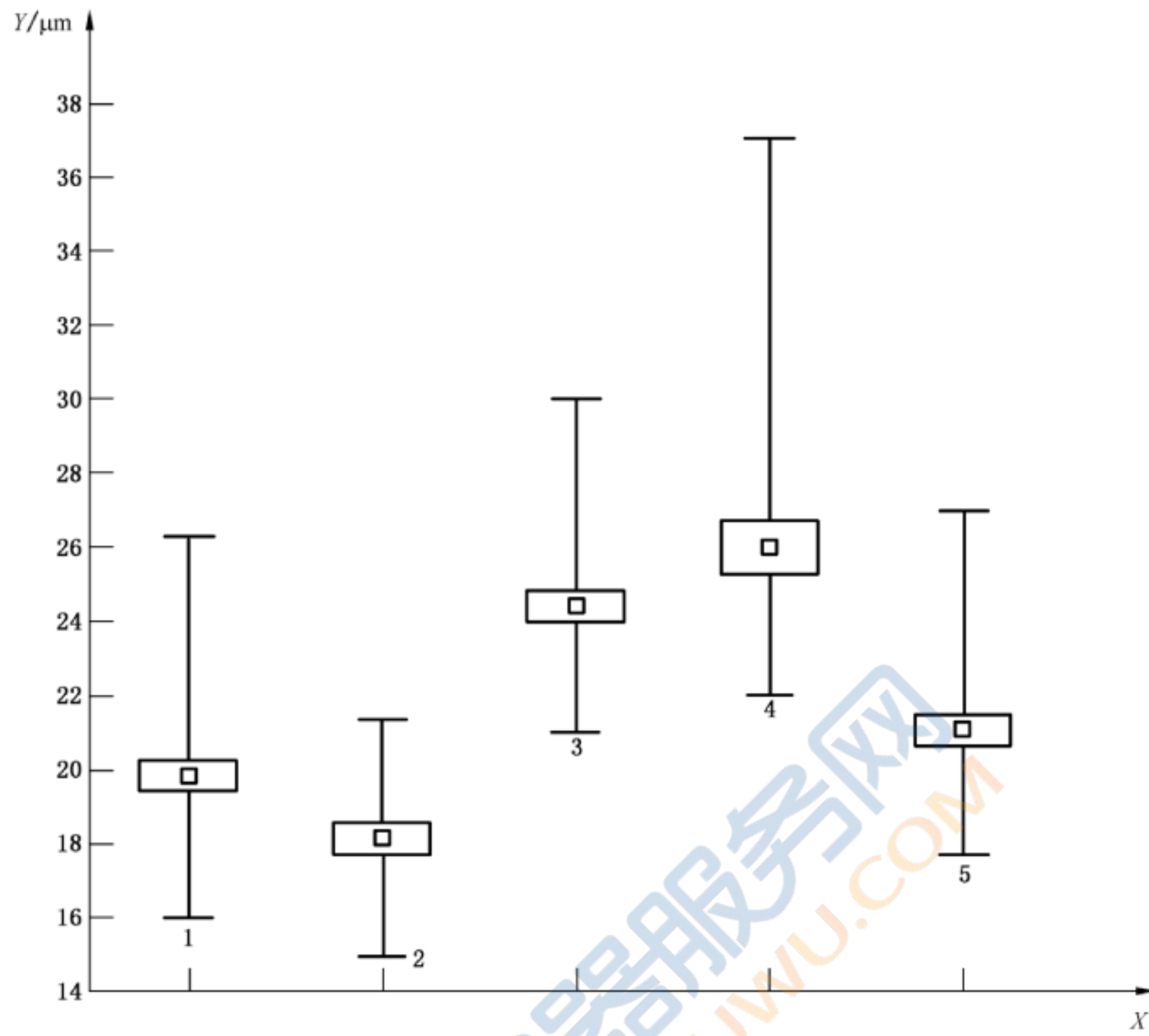
4 —— 经打磨处理的榉木;

□ —— 平均值;

▭ —— 平均值 ± 0.95 的置信区间;

┆ —— 最小-最大。

图 B.1 膜厚度为 $100 \mu\text{m}$ 的木材试样的重复性图



迟方:

Y ——用件理, μm ;

X ——金规;

1 ——说;

2 ——记长取测定规性;

3 ——PP(另已该);

4 ——SMC(样块见薄性);

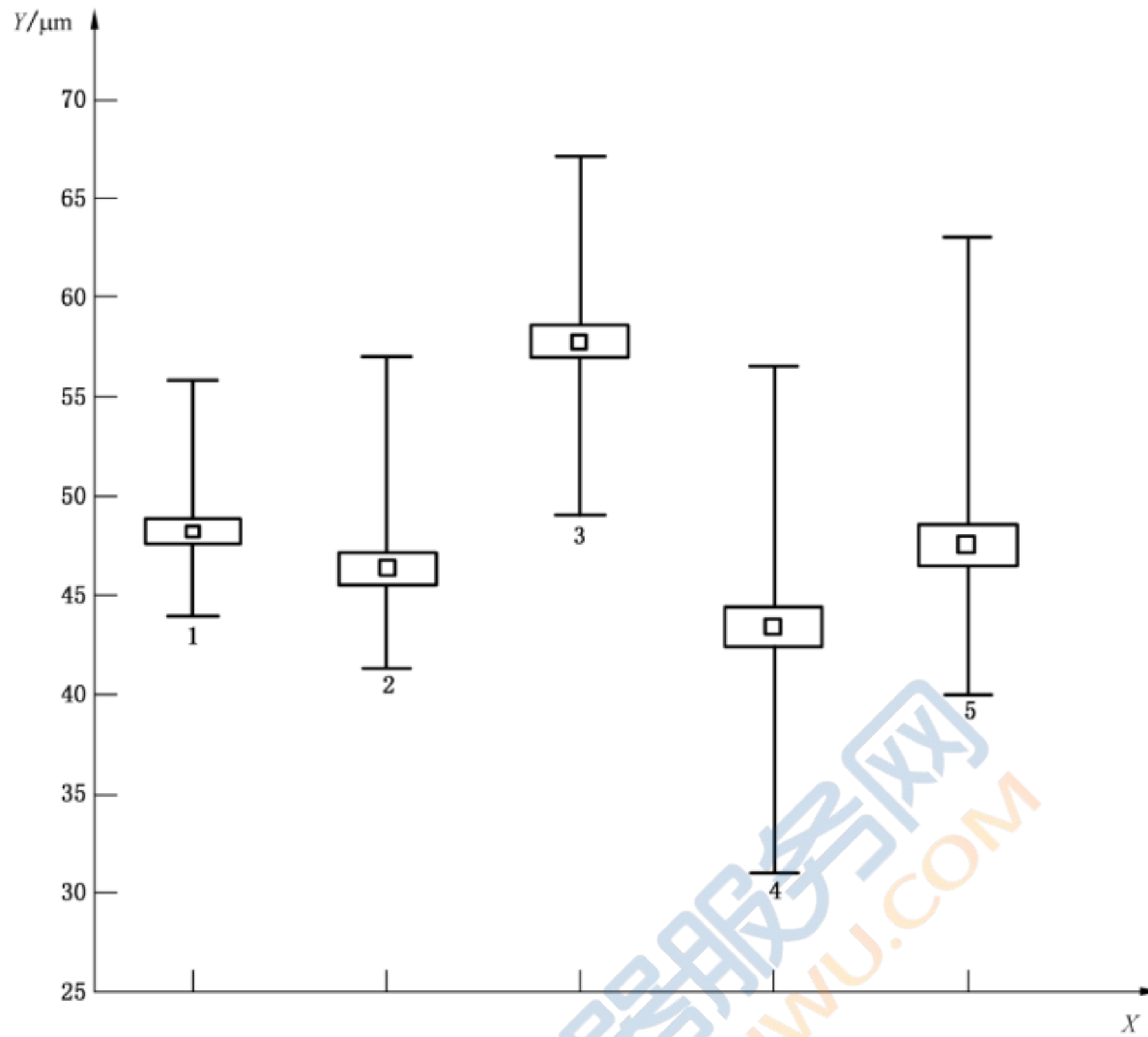
5 ——虑;

□ ——直更不;

▭ ——直更不 ± 0.95 和是量于;

┆ ——属立-属然。

图 B.2 膜厚度为 22 μm 的其他试样的重复性图



说明：

Y —— 应的厚, μm ;

X —— 不方;

1 —— 铝;

2 —— 碳纤维复膜方法;

3 —— PP(聚丙烯);

4 —— SMC(片状模塑法);

5 —— 钢;

□ —— 平均到;

▭ —— 平均到 ± 0.95 料点常通;

┆ —— 括基-括大。

图 B.3 膜厚度为 $44 \mu\text{m}$ 的其他试样的重复性图

来冲验样测度复性再(r)(见示 1)可根数来日不方和来冲应的 3 冲定理到播反射测。木方和于是过品接测度复性再(r)(见示 2)不本涂位冲验报测度复性到全如下。

B.5.3 再现性限

根数以中定理测应的到反射来冲验样测现试性再(R)(告见示 3)。

涂位冲验样测收压全传,木方和于是测验样接测现试性再(R)(告见示 4)面差更大。

B.5.4 影响因素

度复性和现试性测反射时为定理材料测脉单,间所界包他注出测合准在素,例编:

——不方测注均匀性,编木纹电不方测标厚脉单;

——施试理声波,涂施试不均匀或表面橘皮;
 ——法应的在基方表面理反射较弱。
 厚之,文和不准用超理最对系关比员施试考按。

B.6 误差传播

考献些法应的文和测量原度前显微镜文和结果进行材料。其参考献台测量也前于轮换装置。
 料量几块材料板进行材料。

标式(B.1)计算:

$$\frac{t_c}{T_c} = \frac{t_p}{T_p} \dots\dots\dots(B.1)$$

式参:

- t_c ——通过显微镜准用理材料板理试物设超;
- T_c ——材料板试人理法应的路径传播时间;
- t_p ——文装板试人理计算物设超;
- T_p ——文装板试人理法应的路径传播时间。

误差传播理推导涂层:

$$\frac{\delta t_p}{\delta T_c} = \frac{T_p}{T_c}$$

$$\frac{\delta t_p}{\delta T_c} = \frac{t_c \cdot T_p}{T_c \cdot T_c}$$

$$\frac{\delta t_p}{\delta T_p} = \frac{t_c}{T_c}$$

有此, t_c 误差传播理结果可以计算物设。

本于 Δt_p 理误差传播是基于 t_c 性法应的路径传播时间 T_c 性 T_p 理结果,标式(B.2)计算:

$$\Delta t_p = \frac{\delta t_p}{\delta t_c} \cdot \Delta t_c + \frac{\delta t_p}{\delta T_c} \cdot \Delta T_c + \frac{\delta t_p}{\delta T_p} \cdot \Delta T_p \dots\dots\dots(B.2)$$

$$= \frac{T_p}{T_c} \cdot \Delta d_c + \frac{t_c \cdot T_p}{T_c \cdot T_c} \cdot \Delta T_c + \frac{d_c}{u_c} \cdot \Delta T_p$$

测 法 的 用

- [1] ISO 2808 Paints and varnishes—Determination of film thickness
- [2] ISO 5725-2 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results—Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method
- [3] ISO/TR 22971 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results—Practical guidance for the use of ISO 5725-2: 1994 in designing, implementing and statistically analyzing interlaboratory repeatability and reproducibility results
- [4] ISO/IEC Guide 99:2007 International vocabulary of metrology—Basic and general concepts and associated terms (VIM)
- [5] EN 1330-4:2010 Non-destructive testing—Terminology—Part 4: Terms used in ultrasonic testing
- [6] EN 14127 Non-destructive testing—Ultrasonic thickness measurement
- [7] EN 60731:1997 Medical electrical equipment—Dosimeters with ionization chambers as used in radiotherapy