



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 6463—2005/ISO 3882:2003  
代替 GB/T 6463—1986

---

## 金属和其他无机覆盖层 厚度测量方法评述

**Metallic and other inorganic coatings—Review of methods  
of measurement of thickness**

(ISO 3882:2003(E), IDT)

2005-06-23 发布

2005-12-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

## 目 次

前言 .....	I
引言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 非破坏法 .....	2
5 破坏法 .....	3
参考文献 .....	7

## 前 言

本标准是对 GB/T 6463—1986 标准的修订,等同采用 ISO 3882:2003(E)《金属和其他无机覆盖层厚度测量方法评述》。

本标准按 GB/T 1.1 的编辑要求,根据 ISO 3882 标准重新起草。本标准对 ISO 3882 作了如下修改:

- 取消了 ISO 3882 前言,重新起草了本标准前言;
- 用“本标准”代替“本国际标准”;
- 为便于使用,引用了部分采用国际标准的我国标准。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国金属与非金属覆盖层标准化技术委员会归口。

本标准起草单位:机械工业表面覆盖层产品质量监督检测中心。

本标准主要起草人:钟立畅、姜新华、宋智玲。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 6463—1986。

## 引 言

本标准概述了用于测量覆盖层厚度的各种方法,并叙述了它们的工作原理。测量覆盖层厚度的方法可以是破坏性的或非破坏性的(见表1)。表2给出的信息在选择适合于特定用途的方法上有助于厚度的测量。对所有方法起作用的仪器,制造商应在说明书中加以说明。

使用不同方法测出的厚度,取决于覆盖层材料、覆盖层厚度、基体和使用的仪器(见表3);例如,虽然用X射线光谱法能测量铬覆盖层的厚度,但如果厚度大于 $20\ \mu\text{m}$ ,测量则不准确。同样,用磁性法能测量磁性钢铁基体上金覆盖层的厚度,但大多数磁性测厚仪不能精确地测量厚度小于 $2\ \mu\text{m}$ 的金覆盖层。

适于覆盖层厚度测量的仲裁方法,应进行必要的商议。

# 金属和其他无机覆盖层 厚度测量方法评述

## 1 范围

本标准评述了金属和非金属基体上的金属和其他无机覆盖层厚度的测量方法(见表1、表2、表3)。这些方法仅限于在国家标准中已经规定或待规定的试验,不包括某些特殊用途的试验。

表1 覆盖层厚度测量方法

非破坏法	破坏法
双光束显微镜(光切)法(GB/T 8015.2 <sup>a</sup> )	显微镜(光学)法(GB/T 6462)
磁性法(GB/T 4956和GB/T 13744)	裴索多光束干涉法(ISO 3868 <sup>b</sup> )
涡流法(GB/T 4957)	轮廓仪(触针)法(GB/T 11378 <sup>b</sup> )
X射线光谱方法(GB/T 16921)	扫描电子显微镜法(ISO 9220)
$\beta$ 射线反向散射法(ISO 3543)	溶解法: 重量(剥离和称重)法和重量(分析)法(ISO 10111) 库仑法(GB/T 4955)
<sup>a</sup> 在某些应用中可能是破坏的。	
<sup>b</sup> 在某些应用中可能是非破坏的。	

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

- GB/T 4955 金属覆盖层 覆盖层厚度测量 阳极溶解库仑法(idt ISO 2177)  
 GB/T 4956 磁性基体上非磁性覆盖层 覆盖层厚度测量 磁性法(ISO 2178, IDT)  
 GB/T 4957 非磁性基体金属上非导电覆盖层 覆盖层厚度测量 涡流法(ISO 2360, IDT)  
 GB/T 6462 金属和氧化物覆盖层 厚度测量 显微镜法(ISO 1463, IDT)  
 GB/T 8015.2 铝及铝合金阳极氧化膜厚度的试验方法 光束显微镜法(idt ISO 2128)  
 GB/T 11378 金属覆盖层 覆盖层厚度测量 轮廓仪法(ISO 4518, IDT)  
 GB/T 12334 金属和其他无机覆盖层 关于厚度测量的定义和一般规则(idt ISO 2064)  
 GB/T 13744 磁性和非磁性基体上镍电镀层厚度的测量(idt ISO 2361)  
 GB/T 16921 金属覆盖层 厚度测量 X射线光谱方法(eqv ISO 3497)  
 ISO 3543 金属和非金属覆盖层 覆盖层厚度测量  $\beta$ 射线反向散射法  
 ISO 3868 金属和其他无机覆盖层 覆盖层厚度测量 裴索多光束干涉法  
 ISO 9220 金属覆盖层 覆盖层厚度测量 扫描电子显微镜法  
 ISO 10111 金属和其他无机覆盖层 单位面积质量的测量 重量法和化学分析法的评述

## 3 术语和定义

本标准采用 GB/T 12334 规定的术语和定义。

## 4 非破坏法

### 4.1 双光束显微镜(光切)法(GB/T 8015.2)

本仪器原为测量表面粗糙度而设计的,但也可用来测量透明和半透明覆盖层的厚度,尤其是铝的阳极氧化膜。一光束以 $45^\circ$ 角投射到表面上,光束的一部分从覆盖层表面反射,另一部分则穿透覆盖层并从覆盖层与基体金属的界面反射,从显微镜目镜可以观察到两条分离图像,其距离与覆盖层厚度成正比。此方法仅适用于能从覆盖层与基体金属界面有足够光线反射回来,并在显微镜中显示清晰图像的覆盖层。对于透明或半透明的覆盖层,如阳极氧化膜,此方法是非破坏性法。

为了测量不透明覆盖层的厚度,要去掉一小块覆盖层,因此,此方法是破坏性的,利用覆盖层表面与基体金属之间形成一台阶产生光束的折射,测量出覆盖层厚度的绝对值。

此方法不适合测量硬的阳极覆盖层、非常薄( $<2\ \mu\text{m}$ )或非常厚( $>100\ \mu\text{m}$ )的覆盖层以及粗糙的覆盖层。也不适合测量基体经过度喷砂处理的覆盖层。在不能使用双光束显微镜测厚法的情况下,可选用其他的方法,如:涡流法(GB/T 4957)、干涉显微镜法(ISO 3868)和显微镜法(GB/T 6462)。

此方法的测量不确定度一般小于厚度的10%。

### 4.2 磁性法(GB/T 4956 和 GB/T 13744)

这类方法的仪器是测量磁体与基体金属之间受覆盖层影响的磁力变化,或测量通过覆盖层和基体金属间磁通路的磁阻。

用于磁性法的所有仪器对磁性条件和试样的特征,如表面曲率、表面清洁度、表面粗糙度、基体金属的厚度和覆盖层都是敏感的。

实际上,这些方法仅限于测量磁性基体上非磁性覆盖层(见 GB/T 4956)和磁性或非磁性基体上电镀镍层的厚度(见 GB/T 13744)。

此方法的测量不确定度一般小于厚度的10%或 $1.5\ \mu\text{m}$ ,取其中较大的值。

### 4.3 涡流法(GB/T 4957)

此方法描述了一种根据覆盖层与基体之间电导率的差异而广泛应用的方法。该方法主要用于测量非磁性金属基体上非导电覆盖层和非导体上单层金属覆盖层的厚度。如果用此方法测量金属基体上金属覆盖层的厚度,须特别注意所得结果的适用性。

该方法是测定铝和铝合金上阳极氧化膜厚度的理想快速的方法,并能很好地用于现场测量。对于自催化镍覆盖层,该方法提出的测量不稳定是由于金属覆盖层的导电性与磷含量的变化而引起的。

此方法的测量不确定度一般小于厚度的10%或 $0.5\ \mu\text{m}$ ,取其中较大的值。

### 4.4 X射线光谱法(GB/T 16921)

此方法是利用发射和吸收X射线光谱的装置测定金属覆盖层的厚度。

使X射线发射到覆盖层表面一固定面积上,测量由覆盖层发射的二次射线强度或由基体发射而被覆盖层减弱的二次射线强度。X射线强度与覆盖层厚度具有一定的关系,由校准标样确定。

该方法在下列情况下精度会降低:

- 当基体金属中存在覆盖层的成分或者覆盖层中存在基体金属的成分时;
- 当覆盖层多于两层时;
- 当覆盖层的化学成分与校准标样的化学成分有大的差异时。

该方法不适用于超过由相关材料的原子序数和密度确定的饱和厚度的测量。

对于自催化镍覆盖层,此方法仅在电镀条件下的沉积层中推荐,必须知道覆盖层中的磷含量才可计算沉积层的厚度,覆盖层中磷的分布也会影响测量的不确定度,须在相同生产条件下制作校准标样。

市场上可购到的测厚仪的测量不确定度小于厚度的10%。

### 4.5 $\beta$ 射线反向散射法(ISO 3543)

此方法采用放射性同位素发射 $\beta$ 射线并测量由试样反射的 $\beta$ 射线反散射强度。 $\beta$ 射线反向散射强

度值应在覆盖层反向散射强度值和基体金属反散射强度值之间,只有当覆盖层材料与基体金属的原子序数相差足够大时才可测量。使用与待测试样具有相同覆盖层和基体的校准标准片校准仪器。试样测得的 $\beta$ 射线反向散射强度用以计算覆盖层单位面积的质量,如果覆盖层的密度是均匀的,则 $\beta$ 射线反向散射强度值与厚度成正比。

此方法可用于测量薄的覆盖层,其最大厚度是覆盖层原子序数的函数。

该方法在较大厚度范围内获得的测量不确定度小于厚度的10%。

## 5 破坏法

### 5.1 显微镜(光学)法(GB/T 6462)

在这种方法中,覆盖层厚度是在覆盖层横断面放大的图像上测得的。

当有 $0.8\ \mu\text{m}$ 的最小误差时,此方法的测量不确定度小于厚度的10%。如果精心制备试样并使用适当的仪器,该方法在重复测量时,其测量不确定度可达到 $0.4\ \mu\text{m}$ 。

### 5.2 斐索多光束干涉法(ISO 3868)

完全溶解一小块覆盖层而不腐蚀基体或在电镀前掩蔽一块,从覆盖层表面到基体形成一台阶,用一台多光束干涉仪测量台阶的高度。

此方法特别适用于测量很薄的不透明的金属覆盖层的厚度。它不适用于搪瓷覆盖层的测量。此方法是一种实验室方法,用于测量标准片上覆盖层的厚度,以校准无损测厚仪,如 $\beta$ 反向散射仪和X射线仪。尤其适用于测量相当薄(微米以下)覆盖层的标准片。

该方法规定了用显微镜垂直于试样表面测量,其厚度在 $0.002\ \mu\text{m}\sim 0.2\ \mu\text{m}$ 范围内的覆盖层厚度绝对值。此方法的测量不确定度为 $\pm 0.001\ \mu\text{m}$ 。

### 5.3 轮廓仪(触针)法(GB/T 11378)

在制备覆盖层时掩蔽一块,或不腐蚀基体溶解一小块覆盖层,使基体与覆盖层表面形成一台阶。触针通过台阶,由电子仪器测试并记录触针的移动来测量台阶的高度。

适用的商品仪器允许的测量范围为 $0.000\ 02\ \text{mm}(20\ \text{nm})\sim 0.01\ \text{mm}$ 。

此方法的测量不确定度小于厚度的10%。

### 5.4 扫描电子显微镜法(ISO 9220)

在这种方法中,覆盖层厚度是用一台扫描电子显微镜在覆盖层横截面放大的图像上测量的。此测量是在一张普通显微图或单向扫描横断层的视波信号照片上进行的。图像放大可能在整个视场上不一致,如果校准和测量不在同一切片视场上进行,则会发生误差。在厚度测量中,放大的图像常会随时间而变化,产生进一步的测量误差。

此方法的测量不确定度小于厚度的10%或 $0.1\ \mu\text{m}$ ,取其中较大的值。

## 5.5 溶解法

### 5.5.1 库仑法(GB/T 4955)

在适当的条件下,试件作为阳极,用适当的电解液从精确限定的面积上溶解覆盖层,通过所消耗的电量测定金属覆盖层的厚度。

当溶解到底层材料时电位发生变化,以此表示溶解的结束点。本方法可用于测量金属和非金属基体上的金属覆盖层。

此方法的测量不确定度小于厚度的10%。

### 5.5.2 重量(剥离和称量)法(ISO 10111)

此方法在溶解掉覆盖层而不侵蚀基体的情况下,对溶解覆盖层前后的试样称重,或者在溶解掉基体而不侵蚀覆盖层的情况下,对覆盖层进行称重,以测定覆盖层的质量。覆盖层的密度应是均匀的。

覆盖层的质量除以覆盖层的面积和密度得到覆盖层厚度的平均值。

该方法的局限性是不能指出存在的裸露点或覆盖层厚度小于规定的最小值的部位。另外,每一次

表 2 覆盖层厚度测量的典型仪器的适用范围

基体	覆 盖 层																		
	铂其 合金	银	阳极 氧化	金	铜	镍	铜	镍 <sup>b</sup>	自催 化镍	非 <sup>d</sup> 金属	钴	钨	铱	铂	镍	镍-镍	镍-铂	瓷相 <sup>e</sup> 和搪瓷	铀
铂及其合金	—	BCX	E	BCX	BCXE	BCXE	BCXE	BCX	BCX <sup>f,g</sup> BC <sup>h</sup> E <sup>h</sup> X <sup>h,i</sup>	E	BCX	BCX	BCX	BCX	BCX	BCX	BCX	E	BCX
银	BX <sup>c</sup> C	—	X	BCX	BCXE	BCX	BCX	BCX	BCX <sup>f,g</sup> BC <sup>h</sup> XE	BEX <sup>i</sup>	BCX	BCX	BCX	BCX	BCX	BCX	BCX	EX <sup>i</sup>	BCX
铜及其合金	BX <sup>c</sup>	BCX	E	BCX	BCXE	BCX	BCX	C <sup>h</sup> X	C <sup>h</sup> E <sup>h</sup> X <sup>h,i</sup>	BEX <sup>i</sup>	BCX	BCX	BCX	BCX	BCX	BCX	BCX	EX <sup>i</sup>	CX
镍及其合金	BX <sup>c</sup>	BX	E	BCX	BCX	BCX	BCX	BX	BX <sup>f,g</sup> E <sup>h</sup>	E	BCX	BCX	BCX	BCX	BCX	BCX	BCX	E	BX
镍	BXM <sup>a</sup>	BCXM <sup>a</sup>	B	BCXM <sup>a</sup>	BCXM <sup>a</sup>	BCXM <sup>a</sup>	CXM <sup>a</sup>	S	—	M <sup>h</sup> X <sup>i</sup>	BCXM <sup>a</sup>	BCXM <sup>a</sup>	BCXM <sup>a</sup>	BCXM <sup>a</sup>	BCXM <sup>a</sup>	BCXM <sup>a</sup>	BCXM <sup>a</sup>	M <sup>h</sup> X <sup>i</sup>	CXM <sup>a</sup>
镍-钴-铁	BMX <sup>a,k</sup>	BMCX	X	BCMX	BCMX	BCMX	CMX	CX <sup>l</sup> M <sup>l</sup>	CX <sup>l</sup> M <sup>l</sup>	BMX <sup>l</sup>	BCMX	BCMX	BCMX	BCMX	BCMX	BCMX	BCMX	X <sup>l</sup> M <sup>l</sup>	MCX
非金属材料	BEX	BCXE <sup>m</sup>	—	BCXE <sup>m</sup>	BCXE <sup>m</sup>	BCXE <sup>m</sup>	BCXE <sup>m</sup>	BCXE <sup>m</sup> BC <sup>h</sup> X <sup>h,i</sup> E <sup>h</sup>	BC <sup>h</sup> X <sup>h,i</sup> E <sup>h</sup>	—	BCXE <sup>m</sup>	BCXE <sup>m</sup>	BCXE <sup>m</sup>	BCXE <sup>m</sup>	BCXE <sup>m</sup>	BCXE <sup>m</sup>	BCXE <sup>m</sup>	—	BCXE <sup>m</sup>
磁性钢 <sup>n</sup>	BMX <sup>a</sup>	BCMX	X	BCMX	BCMX	BCMX	CMX <sup>o</sup>	CXM <sup>o</sup>	C <sup>h</sup> M <sup>o</sup> X <sup>o</sup>	BEMX <sup>o</sup>	BCMX	BCMX	BCMX	BCMX	BCMX	BCMX	BCMX	MX <sup>o</sup>	BCMX
非磁性钢 <sup>n</sup>	BX <sup>a</sup>	BCXE <sup>m</sup>	X	BCXE <sup>m</sup>	BCX	BCX	CX <sup>o</sup>	CXE <sup>m</sup>	C <sup>h</sup> X <sup>h,i</sup>	BEX <sup>o</sup>	BCX	BCX	BCX	BCX	BCX	BCX	BCX	EX <sup>o</sup>	BCX
铁	B <sup>h</sup> X <sup>h</sup>	BCXE <sup>m</sup>	X	BCXE <sup>m</sup>	BCX	BCX	CX	BCXE <sup>m</sup> BCX <sup>h</sup>	BC <sup>h</sup> X <sup>h</sup>	BE	BCX	BCX	BCX	BCX	BCX	BCX	BCX	X <sup>h</sup>	BCX
铂及其合金	BX <sup>c</sup>	BCX	X	BCX	BCX	BCX	CX	CXM <sup>h</sup>	CX <sup>h,i</sup>	BEX <sup>h</sup>	BCX	BCX	BCX	BCX	BCX	BCX	BCX	E <sup>h</sup> X <sup>h</sup>	—

表 2 中的方法表示如下:

B=β射线反向散射法, ISO 3543;

C=库仑法, GB/T 4955;

E=剥蚀法, GB/T 4957;

M=磁性法/电磁感应, GB/T 4956, 对镍覆盖层(见注 g);

S=阶梯法;

X=X射线光谱法, GB/T 16921.

注 1: 此表只提供一般性的指导, 每种方法的使用应根据仪器与其他像覆盖层和基体厚度的不同而改变, 对这些方法的细节, 须参考已制定的相关标准。

注 2: 金属和非金属覆盖层的厚度, 可用显微测法(ISO 9220)测定, 对重量法(ISO 10111)、干涉法(ISO 3868)、轮廓法(GB/T 11378)

和双光束显微测法(GB/T 8015.2)也适用。每种方法的测定应符合基本标准与相关标准的适当条款。



表 2 (续)

基体	覆 盖 层																
	铝基合金	银	阳极氧化	金	镍	铬	铜	镍 <sup>b</sup>	自催 <sup>c</sup> 氧化膜	非 <sup>a</sup> 金属	铅	钨	锡	锡-镍	锡-铅	瓷釉 <sup>e</sup> 和搪瓷	锌
a	阳极氧化。																
b	镍(非催化)。																
c	自催化镍。																
d	非金属。																
e	瓷釉和搪瓷。																
f	此方法对覆盖层导电率的变化是敏感的。																
g	磁性法测厚仪可用于一些镍层厚度的测量。																
h	此方法对覆盖层中的磷/硼含量的变化是敏感的。																
i	方法可行但比规定的测量误差大。																
j	此方法对合金成分敏感的。																
k	具有足够厚的基体。																
l	仅在铜、锡、铜-锡、铜-锡-铝上。																
m	此方法对覆盖层电导率的变化是敏感的。																
n	不对铬钢。																
o	磁性的、耐腐蚀的钢。																
p	非磁性钢。																

的测量值是整个测量区域内的平均值;这里不能进行更多的数学处理,如统计步骤的控制。

此方法的测量不确定度在很大的厚度范围内小于5%。

### 5.5.3 重量(分析)法(ISO 10111)

在此方法中,无论基体材料是否溶解,采用化学分析法测定溶解的覆盖层金属的含量,以测定覆盖层的质量。

覆盖层的质量除以覆盖层的面积和密度得到覆盖层厚度的平均值。

本方法规定如下:

- 如果在覆盖层和底层或基体金属中存在相同的金属,用此方法是不可靠的;
- 不能指出测量区域内存在的裸露点或覆盖层厚度小于规定的最小值的部位;
- 每一次的测量值是整个测量区域内的平均值;这里不能进行更多的数学处理,如统计步骤的控制。

此方法的测量不确定度在很大的厚度范围内一般小于5%。

表3 覆盖层厚度测量仪的典型厚度范围

仪器类型	典型厚度范围 <sup>a,b</sup> /μm	有关标准
磁性法(用于钢铁上非磁性覆盖层)	5~7500	GB/T 4956
磁性法(用于镍覆盖层)	1~125	GB/T 13744
涡流法	5~2000	GB/T 4957
X射线光谱法	0.25~25	GB/T 16921
β射线反向散射法	0.1~1000	ISO 3543
双光束显微镜法	2~100	GB/T 8015.2
库仑法	0.25~100	GB/T 4955
显微镜法	4~数百	GB/T 6462
轮廓仪法	0.002~100	GB/T 11378
扫描电子显微镜法	1~数百	ISO 9220
<p>注1:规定的厚度范围代表以下情况:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>——市场出售的标准型号仪器;</li> <li>——使用大的、平和光滑的试样;</li> <li>——采用普通电镀、自催化镀、阳极氧化或搪瓷的覆盖层;</li> <li>——小心细致的操作。</li> </ul> <p>实际范围值取决于试样的基体材料、覆盖层材料、形状、尺寸和仪器的制作与型号等因素,已规定的范围值常常由于测量技术和仪器的改进而扩宽,任何一台仪器都不可能包括各类仪器所测出的全部范围值。</p> <p>注2:通常,当厚度在范围值下限的1/10时,其测量不确定度大约可达100%,因此显微镜法的测量不确定度为4 μm的1/10,即0.4 μm。</p>		
<p><sup>a</sup> 表中的数值是由仪器制造厂提供的。</p> <p><sup>b</sup> 厚度范围含有小于厚度10%的不确定度。</p>		

## 参考文献

- [1] CLARKE, M. and DUTTA, P. K. , Transactions of the Institute of Metal Finishing, 1966, 44(1), 9
  - [2] HARBULAK, E. P. , Simultaneous thickness and electrochemical potential determination of individual layers in multiplayer nickel deposits, Plating and surface finishing, February 1980, 67 (2), 49-54
  - [3] JOFFE, B. B. , Plating and surface finishing, September 1983, 40
  - [4] LATTER, T. D. T. , British journal of NDT, July 1989, 31(7), 372
  - [5] KOMATSU, H. , Interferometry: Principles and applications of two-beam and multiple-beam interferometry, Sendai, Japan, Institute of Materials Research, Tohoku University
  - [6] RAY, G. P. , Thickness testing of electroplated and related coatings, Electrochemical Publications Ltd. , Asahi House, , 10 Church Road, Port Erin, Isle of Man , British Isles, 1993, ISBN 0 901150 27 4. Available from Institute of Metal Finishing, Exeter House, 48 Holloway Head, Birmingham B1 1NQ, UK)
  - [7] BIKULCIUS, G. , Plating and surface finishing, August 1997, 84(8), 30
-