

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 12966—2022

代替 GB/T 12966—2008

## 铝及铝合金电导率涡流测试方法

The methods for determining aluminium and aluminium alloys  
conductivity using eddy current

2022-03-09 发布

2022-10-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替 GB/T 12966—2008《铝合金电导率涡流测试方法》，与 GB/T 12966—2008 相比，除结构性调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了范围(见第 1 章,2008 年版的第 1 章)；
- b) 删除了“涡流”“有效透入深度”“标准透入深度”“提离效应”“边缘效应”“仪器灵敏度”“仪器稳定性”“提离抑制性”“直接测试”“修正测试”“修正系数”术语(见第 3 章,2008 年版的第 3 章)；
- c) 更改了涡流电导率仪的测试范围(见 4.3.1.2,2008 年版的 5.2.2)；
- d) 增加了电导率仪运行 30 min 的稳定性(见 4.3.1.4)；
- e) 增加了标准试块(见 4.3.2)；
- f) 增加了涡流标准渗透深度计算公式和典型电导率值的最小测试厚度(见 4.4.1.5)；
- g) 增加了非接触式测试方法(见第 5 章)；
- h) 增加了期间核查(见附录 A)；
- i) 增加了窄料测试方法(见附录 B)；
- j) 增加了曲面修正测试的试样(见 C.1)；
- k) 增加了 Sigmatest D2.069 型和 Sigmascopie SMP 350 型电导率仪修正表(见附录 D)；
- l) 增加了包覆铝样品修正测试方法(见附录 F)；
- m) 增加了非导电涂层修正测试方法(见附录 G)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国有色金属工业协会提出。

本文件由全国有色金属标准化技术委员会(SAC/TC 243)归口。

本文件起草单位：东北轻合金有限责任公司、西南铝业(集团)有限责任公司、山东南山铝业股份有限公司、有色金属技术经济研究院有限责任公司、广西南南铝加工有限公司、辽宁忠旺集团有限公司、中铝材料应用研究院有限公司、福建省南平铝业股份有限公司、有研工程技术研究院有限公司、山东兖矿轻合金有限公司、国标(北京)检验认证有限公司、西北铝业有限责任公司、广东省科学院工业分析检测中心、广西柳州银海铝业股份有限公司。

本文件主要起草人：张晓霞、王洪玉、金承龙、葛立新、高新宇、郑许、韩世涛、熊晓波、刘克伟、霍庆利、韦绍林、刘泉泉、李亚楠、刘浩、金雨佳、刘旭明、郭鲤、吴镇宇、祝楷、邱宏伟、张玉、隋信辉。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 1991 年首次发布为 GB/T 12966—1991,2008 年第一次修订；
- 本次为第二次修订。

# 铝及铝合金电导率涡流测试方法

## 1 范围

本文件规定了采用接触式或非接触式测定铝及铝合金电导率的方法。  
本文件适用于铝及铝合金材料电导率涡流测试。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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。

GB/T 12604.6 无损检测 术语 涡流检测

JJF 1516 非铁磁金属电导率样(标)块校准规范

## 3 术语和定义

GB/T 12604.6 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**测量精度 accuracy**

给定条件下涡流电导率仪测试电导率标准试块获得的测量值与标准试块电导率值之间的差异。

## 4 接触式测试方法

### 4.1 原理

当载有确定频率和振幅交流电的线圈接近导体表面时,线圈中交流电产生的交变磁场在导体表面和近表面感应产生涡流,涡流的磁场反作用于线圈,这种反作用的大小与导体表面和近表面的电导率有关。据此原理,可用已知电导率值的标准试块标定涡流电导率仪后直接测出样品真实电导率值。当样品尺寸、形状或表面状态导致电导率实测值与真实值偏离较大时,经用户同意后,可采用样品叠加或平面与曲面对比或去除表面状态等方式获得电导率真实值和测试值的关系,从而对电导率实测数据进行补偿,补偿后的测试结果作为电导率真实值。

### 4.2 测试条件

4.2.1 测试场地应为非腐蚀环境,避免阳光直射且无电磁场干扰。

4.2.2 测试环境温度不应有较大波动。

4.2.3 测试人员应具备涡流基础知识,熟悉专项技术文件,经过实际操作培训并通过企业内考评后方可上岗。

### 4.3 测试设备

#### 4.3.1 涡流电导率仪和探头

4.3.1.1 涡流电导率仪应能直接显示测试值,以兆西门子每米(MS/m)或以国际退火铜百分比(%IACS)为显示单位,测试频率范围宜 50 kHz~500 kHz,通常为 60 kHz。

4.3.1.2 涡流电导率仪测试范围为 0.5 MS/m~60.5 MS/m,工作温度为 0 °C~40 °C。

4.3.1.3 在 9.5 MS/m~36 MS/m 测试范围内,灵敏度优于 0.2 MS/m,测量精度应优于±0.2 MS/m。

注:涡流电导率仪灵敏度是给定方法和涡流电导率仪所能检测出材料或样品电导率的最小变化。

4.3.1.4 涡流电导率仪运行 30 min 的稳定性应优于±0.2 MS/m。

注:涡流电导率仪稳定性是涡流电导率仪测量指示值在一定时间间隔内的变化情况。

4.3.1.5 提离距离不小于 0.076 mm,提离抑制性应优于±0.2 MS/m。

4.3.1.6 减小探头上的操作压力测试涡流电导率仪的响应变化优于 0.2 MS/m。

4.3.1.7 从垂直方向倾斜圆形笔尖探头到 20°,测试涡流电导率仪的响应变化不应超过 0.2 MS/m。

4.3.1.8 生产现场测试用涡流电导率仪应有温度补偿功能。

注:提离抑制性是涡流电导率仪消除或减小探头与样品间微小间隙影响的能力,该能力可保证探头与被检测面在一定间隙内的测量精度。

4.3.1.9 涡流电导率仪与配套使用的探头共同校准及期间核查,期间核查按附录 A 中 A.1 的规定进行。

4.3.1.10 涡流电导率仪初次使用前或每 12 个月或修复后应送计量部门或计量归口单位进行校准,涡流电导率仪应按用户提出的标准进行校准,校准后的涡流电导率仪与探头技术要求应达到 4.3.1.3~4.3.1.7 要求,校准条件应满足 4.3.1.11、4.3.1.12。

4.3.1.11 涡流电导率仪和配套使用探头共同校准,校准应覆盖电导率测试过程中使用的频率。

4.3.1.12 应使用实验室或基准标准试块对涡流电导率仪进行校准,应使用不少于 5 块电导率值在 9.5 MS/m~36 MS/m 范围的经校准合格的标准试块,低值标准试块应在 9.5 MS/m±1.5 MS/m 范围内,高值标准试块应在 36.0 MS/m±1.5 MS/m 范围内,标准试块电导率值分布应具有代表性。

#### 4.3.2 标准试块

4.3.2.1 标准试块组织均匀、状态稳定,表面粗糙度( $R_a$ )应优于 1.6  $\mu\text{m}$ 。

4.3.2.2 标准试块尺寸应不小于 25 mm×25 mm 或直径不小于 25 mm,厚度不小于 5 mm。

4.3.2.3 标准试块标称值一般为 9.5 MS/m~36 MS/m。

4.3.2.4 标准试块在初次使用前或每 12 个月或检修维护后应送计量部门或计量归口单位进行校准,标准试块应按用户提出的标准进行校准,校准后的标准试块技术要求应满足 JJF 1516 的规定,校准条件应满足 4.3.2.5~4.3.2.7 的规定。

4.3.2.5 校准用的基准标准试块可溯源到国家标准计量机构或其他国际认可的标准化机构。

4.3.2.6 实验室标准试块应使用基准标准试块进行校准,涡流比较测试系统不确定度应符合表 1 的规定。

4.3.2.7 生产标准试块应使用实验室标准试块或基准标准试块进行校准,涡流比较测试系统不确定度应符合表 1 规定。

表 1 涡流比较测试系统不确定度

标准试块	电导率值范围 MS/m	最大不确定度
用基准标准试块校准实验室标准试块 涡流比较测试系统不确定度	>9.5~16.5	标称值的 0.7%
	>16.5~20.5	0.11 MS/m
	>20.5~36.0	0.16 MS/m
用实验室标准试块校准生产标准试块 涡流比较测试系统的不确定度	9.5~36.0	0.30 MS/m

#### 4.4 样品

##### 4.4.1 常规样品

4.4.1.1 样品为自然时效状态时,其自然时效时间应不小于 48 h。

4.4.1.2 样品的测试部位表面粗糙度( $Ra$ )应优于  $6.3 \mu\text{m}$ ,无腐蚀斑、灰尘、油脂及划伤等影响涡流电导率测试结果的缺陷。

4.4.1.3 样品为表面无包覆层、电镀层或非导电涂层不大于  $0.076 \text{ mm}$ 。

4.4.1.4 样品的凹面曲率半径应不小于  $250 \text{ mm}$ ,凸面曲率半径应不小于  $75 \text{ mm}$ 。

4.4.1.5 样品的厚度应不小于涡流标准渗透深度的 3 倍,按公式(1)计算涡流标准渗透深度  $\delta$ 。典型电导率值的最小测试厚度见表 2。

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \mu_r \pi f \sigma}} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$\delta$  —— 涡流标准渗透深度,单位为米(m);

$\mu_0$  —— 真空磁导率( $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ ),单位为亨利每米(H/m);

$\mu_r$  —— 相对磁导率,对于铝合金  $\mu_r$  值近似为 1;

$f$  —— 测试频率,单位为赫兹(Hz);

$\sigma$  —— 样品的电导率真实值,单位为西门子每米(S/m)。

表 2 典型电导率值的最小测试厚度

典型电导率值 MS/m	下列测试频率对应的最小测试厚度 mm			
	60 kHz	120 kHz	240 kHz	480 kHz
10	1.95	1.38	0.99	0.69
11	1.86	1.32	0.93	0.66
12	1.77	1.26	0.90	0.63
13	1.71	1.20	0.87	0.60
14	1.65	1.17	0.84	0.57
15	1.59	1.14	0.81	0.57
17	1.50	1.05	0.75	0.54

表 2 典型电导率值的最小测试厚度（续）

典型电导率值 MS/m	下列测试频率对应的最小测试厚度 mm			
	60 kHz	120 kHz	240 kHz	480 kHz
19	1.41	0.99	0.72	0.51
21	1.34	0.96	0.66	0.48
23	1.29	0.90	0.63	0.45
25	1.23	0.87	0.63	0.45
27	1.20	0.84	0.60	0.42
29	1.14	0.81	0.57	0.42
31	1.11	0.78	0.57	0.39
33	1.08	0.75	0.54	0.39
35	1.05	0.75	0.51	0.36
36	1.02	0.72	0.51	0.36

#### 4.4.2 其他样品

不符合 4.4.1 规定的样品。

### 4.5 测试

#### 4.5.1 常规样品

4.5.1.1 检查标准试块、探头表面是否清洁,如有油脂、灰尘等污物,应使用棉布或软纸蘸不会产生化学腐蚀的液体擦拭干净。

4.5.1.2 将涡流电导率仪、探头和标准试块置于被测样品测试环境下应不少于 1 h,直至涡流电导率仪、探头、标准试块和被测样品之间的温差不大于 3 ℃。

4.5.1.3 选用标准试块 3 块,试块应包含低值试块、中值试块、高值试块,其中中值试块的电导率标称值应在产品验收要求规定 $\pm 4.0$  MS/m 以内,低值试块和高值试块电导率标称值与中值试块电导率标称值的差值应不小于 3.0 MS/m 且低值试块和高值试块电导率标称值差应不大于 14.5 MS/m。

4.5.1.4 按涡流电导率仪说明书要求对涡流电导率仪进行预热,直至涡流电导率仪稳定,设置测试频率,宜采用 60 kHz。

4.5.1.5 将探头分别平稳地置于低值、中值、高值三个标准试块中心部位上,对涡流电导率仪进行标定。

4.5.1.6 用三个标准试块进行校验,校验值与标准试块标称值差不应大于 $\pm 0.2$  MS/m。

4.5.1.7 当校验结果不符合 4.5.1.6 规定时,应按 4.5.1.5 进行标定,直至校验结果符合 4.5.1.6 规定。

4.5.1.8 按产品验收要求的测试位置和测试点数对样品进行测试;测试厚度不一致的样品时(锻件、挤压件等),至少在最薄和最厚处及形状不一样的区域进行测试;测试小尺寸样品时,探头应置于平整区域中心部位进行测试。

4.5.1.9 连续测试 15 min 或测试完成后,应按 4.5.1.6 规定对涡流电导率仪进行校验,校验满足规定要

求时测试结果是有效的；当不符合规定时，应执行 4.5.1.7 的规定，并对最后一次校验合格所测试的点重新进行测试。

4.5.1.10 标定、校验以及测试时，手不应直接接触标准试块、样品的测试部位表面及探头测试部分等部位。探头应平稳地置于测试面并紧密接触，测试时手持探头时间尽可能短。

4.5.1.11 对于薄规格样品可选较高的测试频率，使厚度满足 3 倍的标准渗透深度的测试条件，可按表 1 选择测试频率。

#### 4.5.2 其他样品

4.5.2.1 样品宽度小于探头直径的 1.5 倍时，测试方法按附录 B 的规定进行。

4.5.2.2 样品凸面曲率半径小于 75 mm，厚度大于 3 倍标准渗透深度的产品时，测试方法按附录 C 和附录 D 的规定进行。

4.5.2.3 样品厚度小于 3 倍的涡流标准渗透深度时，测试方法按附录 E 的规定进行。

4.5.2.4 样品有包覆层，包覆层厚度较薄且均匀，基材样品厚度（裸材）大于 3 倍的标准渗透深度时，测试方法按附录 F 的规定进行。

4.5.2.5 样品表面有厚度大于 0.076 mm 非导电涂层，且非导电涂层厚度已知时，测试方法按附录 G 的规定进行。

#### 4.6 结果处理与结果表示

##### 4.6.1 常规样品

4.6.1.1 保存有效的校验及测试结果。

4.6.1.2 自然时效的样品测试结果超出验收标准范围时，以自然时效到总计 96 h 的测试结果为最终结果。

4.6.1.3 当对电导率测试值有异议时，应以在  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  的温度下测试结果为准。

4.6.1.4 测试结果以实测值表示。当测试结果与验收标准极值的偏差在  $\pm 0.2\text{ MS/m}$  范围内时，重新校验涡流电导率仪，确认涡流电导率仪工作正常后，在该测试点附近增加测试。应对超出验收值点进行标识。

##### 4.6.2 其他样品

其他样品按附录 B~附录 G 的规定处理。

#### 4.7 测试报告

测试报告应至少包括以下内容：

- a) 委托单位；
- b) 被检样品信息（样品名称、合金牌号、状态、炉批号、批次、件号、规格）；
- c) 测试单位、场地、温度；
- d) 测试用涡流电导率仪、探头、标准试块的型号、编号、外部校准时间、校准有效期；
- e) 测试频率、标准试块的标称值；
- f) 校验时间及校验值与标称值偏差值；
- g) 测试结果；
- h) 本文件编号及使用的方法；

- i) 测试日期;
- j) 测试人员。

## 5 非接触式测试方法

### 5.1 原理

当载有确定频率和振幅交流电的线圈接近导体表面时,线圈中交流电产生的交变磁场在导体表面和近表面感应产生涡流,涡流的磁场反作用于线圈,这种反作用的大小与导体表面和近表面的电导率有关。据此原理,可用已知电导率值的标准试块标定涡流电导率仪后,在探头和样品表面没有直接接触条件下测出样品电导率。由于动态测试和静态校验的测试状态不同,而采用已知电导率值的参比试样验证动态和静态下的测试偏差,在测试偏差不大于 0.3 MS/m 的条件下时,对样品进行动态测试,测试结果可作为电导率真实值。

### 5.2 测试条件

测试条件应符合 4.2 规定。

### 5.3 测试设备

#### 5.3.1 涡流电导率仪和探头

5.3.1.1 涡流电导率仪具有连续测试功能,数据采集步进和探头运动速度及样品传输速度应匹配,使采集的数据稳定可靠。测试结果宜以可视化彩色扫描图形式显示,在扫描图上可查到测试数据和位置,且显示电导率变化分布趋势和超过验收标准范围的电导率值。

5.3.1.2 能显示标定值、校验值及与标称值的偏差,应能显示提离距离,标定、校验、测试参数及测试数据并能自动保存。

5.3.1.3 非接触式测试用涡流电导仪和探头期间核查按 A.2 的规定进行。其他要求应符合 4.3.1 规定。

#### 5.3.2 标准试块

5.3.2.1 标准试块应符合 4.3.2 的规定。

5.3.2.2 标准试块尺寸应不影响标定和校验的结果。

#### 5.3.3 探头运动控制扫查装置

5.3.3.1 支撑探头应配置机械臂,机械臂在设备运行时应平稳、不颤动,应不影响测试结果。

5.3.3.2 探头与测试面在相对运动时应保持提离距离不变。

5.3.3.3 应保证探头表面与测试面平行。

5.3.3.4 探头装置升降距离应可调。

5.3.3.5 在标定、校验、样品测试中探头与测试面的距离应相同。

5.3.3.6 探头运动控制扫查装置和探头以及配套使用的涡流电导率仪应共同校准和期间核查。

#### 5.3.4 样品传输装置

5.3.4.1 传输速度应是匀速稳定且连续可调,传输装置不应影响测试结果。

5.3.4.2 样品传输装置应可正反两方向传送。

## 5.4 样品及试样

### 5.4.1 样品

5.4.1.1 样品为自然时效状态时,其自然时效时间应不小于 48 h。

5.4.1.2 样品平直度应满足产品标准规定。测试部位表面粗糙度( $R_a$ )应优于  $6.3\ \mu\text{m}$ ,无腐蚀斑、灰尘、油脂及划伤等影响涡流电导率测试结果的缺陷。

5.4.1.3 样品表面应无包覆层、电镀层,样品表面的非导电涂层厚度不大于  $0.076\ \text{mm}$ 。

5.4.1.4 样品的厚度应不小于涡流标准渗透深度的 3 倍。

### 5.4.2 参比试样

5.4.2.1 参比试样可在被测产品上截取或在相同电导率验收标准范围的合格产品中截取,参比试样电导率值应稳定。

5.4.2.2 参比试样厚度应大于 3 倍的标准渗透深度。上下两面的电导率极差值不应大于  $1\ \text{MS/m}$ 。

5.4.2.3 参比试样尺寸应能保证平稳地在传输轨道上传送,参比试样平直度应满足产品标准规定。

5.4.2.4 参比试样应与测试设备在同一环境下存放。

## 5.5 测试

5.5.1 检查标准试块、探头表面是否清洁,如有油脂、灰尘等污物,应使用棉布或软纸蘸不会产生化学腐蚀的液体擦拭干净。

5.5.2 涡流电导率仪、探头、标准试块和被测样品之间的温差应不大于  $3\ ^\circ\text{C}$ 。

5.5.3 选用标准试块 3 块,试块应包含低值试块、中值试块、高值试块,其中中值试块的电导率标称值应在产品验收要求规定  $\pm 4.0\ \text{MS/m}$  以内,低值试块和高值试块电导率标称值与中值试块电导率标称值的差值应不小于  $3.0\ \text{MS/m}$  且低值试块和高值试块电导率标称值差应不大于  $14.5\ \text{MS/m}$ 。

5.5.4 按涡流电导率仪说明书要求对涡流电导率仪进行预热,直至涡流电导率仪稳定,设置测试参数,测试频率宜采用  $60\ \text{kHz}$ 。

5.5.5 将探头分别平稳地置于低值、中值、高值三个标准试块中心部位上方(探头与试块的距离应与测试样品时的距离一致),对涡流电导率仪进行标定。

5.5.6 用三个标准试块进行校验,校验值与标准试块标称值差不应大于  $\pm 0.2\ \text{MS/m}$ 。

5.5.7 当校验结果不符合 5.5.6 规定时,应执行 5.5.5 的规定,直至校验结果符合 5.5.6 规定。

5.5.8 测试电导率,连续测试  $15\ \text{min}$  或测试完成后,应按 5.5.6 规定对涡流电导率仪进行校验,校验满足规定要求时测试结果是有效的,当不符合规定时,应执行 5.5.7 的规定,并对最后一次校验合格所测试的点重新进行测试。

## 5.6 结果处理与结果表示

5.6.1 保存有效的校验及测试结果。

5.6.2 当校验结果符合 5.5.6 规定时,测试结果有效。

5.6.3 当测试结果超出验收标准范围时,用接触式测试方法在偏离验收值的位置附近增加测试,以接触式测试结果为准,对超出验收标准范围的点进行标识。

5.6.4 当测试结果在验收值范围内,且最大值和最小值与验收极限值偏差不大于  $0.3\ \text{MS/m}$  时,在最大值和最小值的位置附近,采用直接测试法确定最大值和最小值,以直接测试数据为准。

5.6.5 自然时效的产品测试结果超出验收标准范围时,以自然时效时间不小于  $96\ \text{h}$  的测试结果为最终结果。

5.6.6 当对电导率测试值有异议时,应以  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  下的接触式测试结果为准。

5.6.7 测试结果以实测值表示。

## 5.7 测试报告

测试报告应符合 4.7 的规定。

**附 录 A**  
(规范性)  
期 间 核 查

### A.1 接触式电导率测试设备

A.1.1 电导率仪每6个月至少1次期间核查,电导率仪满足4.3.1.3~4.3.1.5的规定。期间核查可以按用户要求增加。

A.1.2 按电导率仪说明书要求对涡流电导率仪进行预热和参数设置,用非金属夹具将探头平稳置于标准试块中心部位上,按生产使用范围选择两套标准试块,选择其中一套标准试块对电导率仪进行标定。

A.1.3 标定完成后对另一套标准试块进行测试以核查涡流电导率仪测量精度,其测量精度满足4.3.1.3规定。

A.1.4 对A.1.3中使用的标准试块每隔15 min进行一次测试,测试不少于3次。测量值与标准试块的标称值比较,满足4.3.1.4规定。

A.1.5 在标准试块与探头之间放置厚度不小于0.076 mm的非导电薄膜,非导电薄膜可以是塑料薄膜或其他绝缘材料薄膜,厚度应采用经计量合格的计量器具进行测量,测试不少于3次,测量值与标准试块的标称值比较,满足4.3.1.5规定。

### A.2 非接触式电导率测试设备

A.2.1 经校准合格的非接触式涡流电导率仪设备初次使用或每3个月或设备出现故障修复后至少1次期间核查,期间核查可以按用户要求增加。

A.2.2 选用一台接触式电导率仪,按4.5.1.1~4.5.1.7规定标定和校验。

A.2.3 用接触式电导率仪对参比试样进行测试,测试点间距不大于50 mm等间距测试。

A.2.4 分别以最大值和最小值为圆心,半径不大于30 mm圆弧处增加测试点,两点间夹角不大于45°,并画出测试点分布图表。

A.2.5 测试后按照4.5.1.6~4.5.1.7规定对仪器进行校验,保存满足要求的校验及测试数据。

A.2.6 按照5.5.1~5.5.7规定对非接触测试设备进行标定和校验。

A.2.7 对参比试样进行非接触测试,最大值和最小值的位置应临近接触式测试的位置,比较测试结果,最大值和最小值偏差值应不大于0.3 MS/m。

### A.3 记录

记录并保存期间核查的数据。

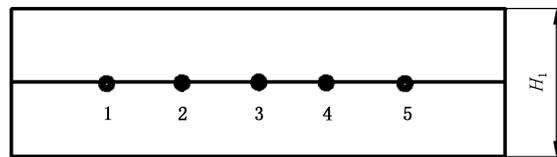
**附 录 B**  
(规范性)  
窄料测试方法

**B.1 试样**

**B.1.1** 在相同电导率验收标准范围的合格产品中截取,试样宽度应不小于 2 倍的探头直径。

**B.1.2** 试样加工过程中的加工温度不应超过 93 ℃。

**B.1.3** 在截取好的试样上中心位置标识一条平行于长边的标识直线,在直线上标识不少于 5 个测试点,测试点距离应不小于探头直径。试样加工前示意图见图 B.1。



说明:

1、2、3、4、5——在试样中心区域上均匀分布的测点,本文件标记 5 个测试点;

$H_1$  ——试样的宽度。

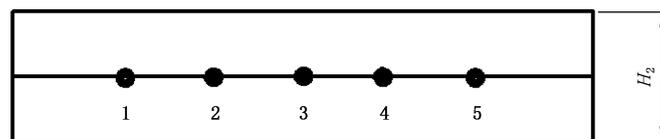
图 B.1 试样加工前示意图

**B.2 测试**

**B.2.1 试样测试**

**B.2.1.1** 按 4.5.1 规定测试 B.1.3 标识测试点的电导率。

**B.2.1.2** 将测试后的试样对称加工至样品宽度,示意图见图 B.2,加工后保证 B.1.3 标识的测试点处于试样中心区域,按 4.5.1 规定测试 B.1.3 标识测试点的电导率。



说明:

$H_2$  ——样品宽度。

图 B.2 试样加工后示意图

**B.2.2 样品测试**

**B.2.2.1** 试样加工前后同一点电导率测试变化不大于 0.2 MS/m 时,按 4.5.1 规定对样品进行电导率测试。

**B.2.2.2** 试样加工前后同一点电导率测试变化大于 0.2 MS/m 时,该电导率仪不适用于该样品测试。

**B.3 结果处理与结果表示**

查看样品电导率真实值( $\sigma$ )是否处于电导率验收标准极值规定的范围内。测试结果以电导率真实值表示。其他按 4.6.1.1~4.6.1.3 的规定进行。

附 录 C  
(规范性)  
凸面电导率修正测试

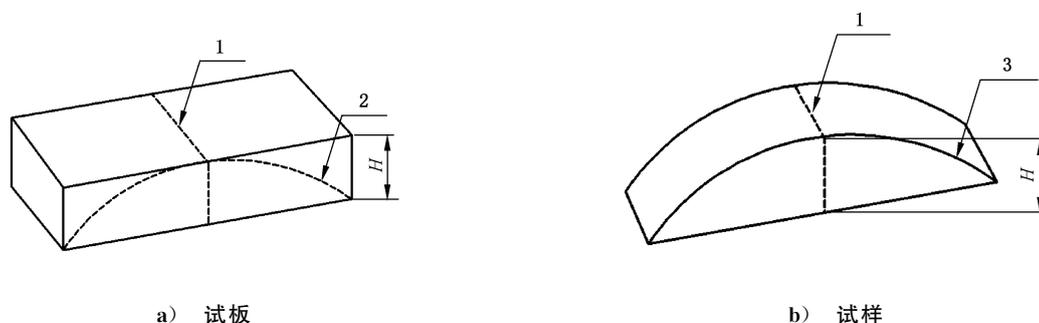
### C.1 试板与试样

#### C.1.1 扁棒试板与试样

C.1.1.1 在与样品同合金、同状态,组织均匀,厚度大于3倍标准渗透深度的扁棒上截取试板,并标识测试区域[见图 C.1a)和 C.2a)],其电导率值应在与样品相同的电导率验收标准范围内。至少取3个扁棒试板,3个试板电导率差值应不大于0.3 MS/m。

C.1.1.2 按图 C.1a)中所示曲线进行机加工制备试样[见图 C.1b)],或将试板[见图 C.2a)]进行弯曲变形制备试样[见图 C.2b)]。

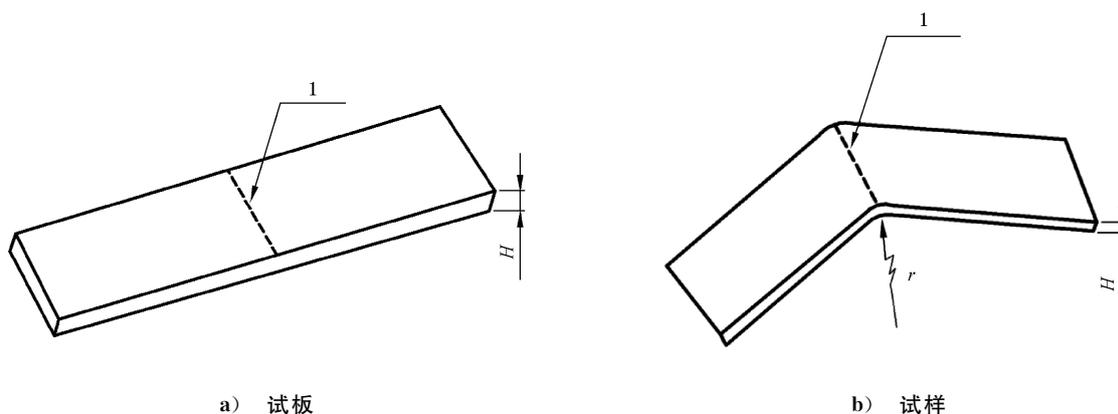
C.1.1.3 弯曲变形或机加工温度不应超过93℃,试样加工前后的表面粗糙度( $R_a$ )应优于6.3 μm。



标引序号说明:

- 1 —— 电导率测试区域;
- 2 —— 加工曲线;
- 3 —— 试样曲面;
- $H$  —— 试板或试样的厚度。

图 C.1 扁棒试板与机加工试样示意图



标引序号说明:

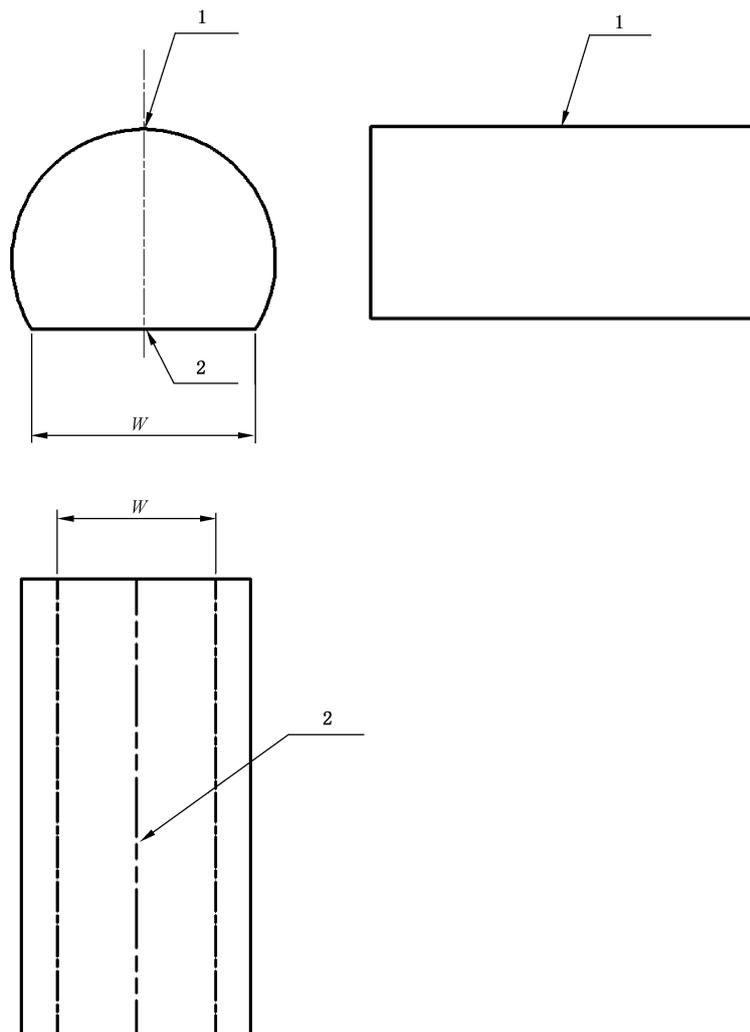
- 1 —— 电导率的测试区域;
- $H$  —— 试板或试样厚度;
- $r$  —— 试样半径。

图 C.2 扁棒试板与机弯曲变形试样示意图

C.1.2 圆棒试样

C.1.2.1 热处理前在圆棒产品上截取长度不小于 50 mm 的试样,在试样上加工一个如图 C.3 所示的平面,其平面宽度应不小于探头直径的 1.5 倍,表面粗糙度 ( $Ra$ ) 应优于  $6.3 \mu\text{m}$ 。试样加工温度不应超过  $93 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

C.1.2.2 试样加工后按产品热处理工艺进行热处理,热处理完成后,其平面电导率值应在该产品电导率验收标准范围内。



标引序号说明:

- 1 —— 曲面电导率测试区域,一般为沿平面中心线过圆心的对应位置。
- 2 —— 平面电导率测试区域,为平面的中心位置或近中心位置;
- W —— 平面的宽度。

图 C.3 圆棒试样横截面示意图

## C.2 测试

### C.2.1 修正值测试

#### C.2.1.1 扁棒试板与试样

C.2.1.1.1 将试板编号为 1、2、3…… $n$ ，按 4.5.1 的规定在图 C.1a) 或图 C.2a) 中的测试区域上测试试板的电导率，每个试样测试点不少于 3 点，测试结果取平均值，记为  $\bar{\sigma}_{a1}$ 、 $\bar{\sigma}_{a2}$ 、 $\bar{\sigma}_{a3}$ …… $\bar{\sigma}_{an}$ 。

C.2.1.1.2 按 4.5.1 的规定在图 C.1b) 或图 C.2b) 规定的测试区域 1 上测试试样的曲面电导率，测试点不少于 3 点，测试结果取平均值，记为  $\bar{\sigma}_{b1}$ 、 $\bar{\sigma}_{b2}$ 、 $\bar{\sigma}_{b3}$ …… $\bar{\sigma}_{bn}$ 。

C.2.1.1.3 按公式(C.1)计算修正值( $\sigma_0$ )。

$$\sigma_0 = \frac{1}{n}(\bar{\sigma}_{a1} - \bar{\sigma}_{b1}) + \frac{1}{n}(\bar{\sigma}_{a2} - \bar{\sigma}_{b2}) + \frac{1}{n}(\bar{\sigma}_{a3} - \bar{\sigma}_{b3}) + \dots + \frac{1}{n}(\bar{\sigma}_{an} - \bar{\sigma}_{bn}) \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

$\sigma_0$  ——电导率修正值，单位为兆西门子每米(MS/m)；

$\bar{\sigma}_{a1}$  ——试板 1 电导率测试平均值，单位为兆西门子每米(MS/m)；

$\bar{\sigma}_{a2}$  ——试板 2 电导率测试平均值，单位为兆西门子每米(MS/m)；

$\bar{\sigma}_{a3}$  ——试板 3 电导率测试平均值，单位为兆西门子每米(MS/m)；

$\bar{\sigma}_{an}$  ——试板  $n$  电导率测试平均值，单位为兆西门子每米(MS/m)；

$\bar{\sigma}_{b1}$  ——试样 1 曲面电导率测试平均值，单位为兆西门子每米(MS/m)；

$\bar{\sigma}_{b2}$  ——试样 2 曲面电导率测试平均值，单位为兆西门子每米(MS/m)；

$\bar{\sigma}_{b3}$  ——试样 3 曲面电导率测试平均值，单位为兆西门子每米(MS/m)。

$\bar{\sigma}_{bn}$  ——试样  $n$  曲面电导率测试平均值，单位为兆西门子每米(MS/m)。

#### C.2.1.2 圆棒试样

C.2.1.2.1 按 4.5.1 规定测试圆棒试样的平面电导率值，测试点不少于 3 点，应按图 C.3 所示平面测试区域 1 上均匀分布，测试结果取平均值，记为  $\bar{\sigma}_{a0}$ 。

C.2.1.2.2 按 4.5.1 规定测试圆棒试样的曲面电导率值，测试点不少于 3 点，应按图 C.3 所示曲面测试区域 2 上均匀分布，测试结果取平均值，记为  $\bar{\sigma}_{b0}$ 。

C.2.1.2.3 按公式(C.2)计算修正值( $\sigma_0$ )。

$$\sigma_0 = \bar{\sigma}_{a0} - \bar{\sigma}_{b0} \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：

$\sigma_0$  ——电导率修正值，单位为兆西门子每米(MS/m)；

$\bar{\sigma}_{a0}$  ——圆棒试样平面电导率平均值，单位为兆西门子每米(MS/m)；

$\bar{\sigma}_{b0}$  ——圆棒试样曲面电导率平均值，单位为兆西门子每米(MS/m)。

## C.2.2 样品测试

### C.2.2.1 直接测试

C.2.2.1.1 将探头垂直接触样品的曲面，轻微摆动探头捕获电导率最大值，记为电导率实测值( $\sigma_Y$ )。测试过程应符合 4.5.1 的规定。

C.2.2.1.2 按公式(C.3)计算样品电导率真实值( $\sigma$ )。

$$\sigma = \sigma_Y + \sigma_0 \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:

$\sigma_Y$ ——样品电导率实测值,单位为兆西门子每米(MS/m)。

C.2.2.2 查表测试

C.2.2.2.1 制作修正表

C.2.2.2.1.1 选取不同牌号的圆棒按 C.1.2 制作成不同样品直径的系列修正试样,对试样进行不同工艺的热处理,以使试样达到预期目标的电导率指标。

C.2.2.2.1.2 对系列曲率修正试样的平面进行测试,测试频率为 60 kHz,测试点不少于 3 点,取平均值,记为  $\sigma_a$ 。

C.2.2.2.1.3 对系列曲率修正试样的曲面进行测试,测试频率为 60 kHz,测试点不少于 3 点,取平均值,记为  $\sigma_b$ 。

C.2.2.2.1.4 根据 C.2.2.2.1.2 和 C.2.2.2.1.3 已测得的数据,按公式(C.4)计算修正系数。

$$\sigma(\varphi) = \frac{\sigma_b}{\sigma_a} \dots\dots\dots (C.4)$$

式中:

$\sigma(\varphi)$ ——修正系数,即在该曲面上测试的电导率与平面上测得的真实的电导率之比。

C.2.2.2.1.5 将 C.2.2.2.1.2 测得数据和 C.2.2.2.1.3 测得数据按由小到大顺序列出,并按照一定的数据差值关系制作修正表,如表 D.1~表 D.3 所示, $\sigma_a$  在表左侧按从上到下递增排序,间距应不大于 0.6 MS/m;  $\sigma_b$  在表格右侧按对应的试样弧面直径逐一列出,试样弧面直径按一定规律递增。

C.2.2.2.1.6 当修正表中相邻  $\sigma_a$  差值大于 0.6 MS/m 时,根据 C.2.2.2.1.4 计算修正系数。

C.2.2.2.1.7 以试样弧面直径为横坐标,以修正系数为纵坐标,绘制函数曲线(函数为指数函数),函数中的指数与试样直径成线性规律,根据线性关系得出修正因子( $s, t$ )。按公式(C.5)构建修正测试数学模型并计算  $\sigma_a$  对应的  $\sigma_b$ 。以补充修正表中数据,使得修正表中相邻  $\sigma_a$  差值不大于 0.6 MS/m。

$$\frac{\sigma_b}{\sigma_a} = \exp\left(s + \frac{t}{\varphi}\right) \dots\dots\dots (C.5)$$

式中:

$\varphi$  ——试样直径,单位为毫米(mm);

$s, t$  ——修正因子。

C.2.2.2.2 电导率真实值的确定

C.2.2.2.2.1 按 4.5.1 规定对样品进行电导率测试,将探头垂直接触样品的曲面,轻微摆动探头捕获电导率最大值,记为曲面电导率值( $\sigma_Y$ )。

C.2.2.2.2.2 在电导率仪供应商提供的或用户认可的修正表或附录 D 中的修正表中,查出曲面电导率值( $\sigma_Y$ )对应的平面电导率值( $\sigma_a$ ),作为样品电导率真实值( $\sigma$ )。

C.2.2.2.2.3 当修正表的  $\sigma_b$  栏中查不到与  $\sigma_Y$  相同的值,但  $\sigma_b$  栏中临近值与  $\sigma_Y$  的偏差不大于 0.2 MS/m 时,将该临近值对应的平面电导率记为样品电导率真实值( $\sigma$ )。

C.2.2.2.2.4 当修正表的  $\sigma_b$  栏中查不到与  $\sigma_Y$  相同的值,但  $\sigma_b$  栏中临近值与  $\sigma_Y$  的偏差大于 0.2 MS/m 时,用内插法按公式(C.6)计算电导率真实值( $\sigma$ )。

$$\sigma = \sigma_{a1} + \frac{\sigma_Y - \sigma_{b1}}{\sigma_{b2} - \sigma_{b1}} \times (\sigma_{a2} - \sigma_{a1}) \quad \dots\dots\dots (C.6)$$

式中：

- $\sigma$  ——样品电导率真实值,单位为兆西门子每米(MS/m);
- $\sigma_Y$  ——样品电导率实测值,单位为兆西门子每米(MS/m);
- $\sigma_{b1}$  ——临近且小于  $\sigma_Y$  的曲面电导率,单位为兆西门子每米(MS/m);
- $\sigma_{b2}$  ——临近且大于  $\sigma_Y$  的曲面电导率,单位为兆西门子每米(MS/m);
- $\sigma_{a1}$  —— $\sigma_{b1}$  对应的平面电导率,单位为兆西门子每米(MS/m);
- $\sigma_{a2}$  —— $\sigma_{b2}$  对应的平面电导率,单位为兆西门子每米(MS/m)。

C.2.2.2.2.5 附录 D 给出了 Sigmatest D2.068 型电导率仪、Sigmatest D2.069 型电导率仪、Sigmascope SMP350 型电导率仪<sup>1)</sup>在 60 kHz 工作频率时的曲面修正表。

### C.2.2.2.3 电导率实测值合格极限的确定

C.2.2.2.3.1 分别以电导率验收标准极值上限( $\sigma_{ad}$ )、电导率验收标准极值下限( $\sigma_{ax}$ )作为平面电导率,在电导率仪供应商提供的或用户认可的修正表或附录 D 中的修正表中,查出其对应的曲面电导率值,作为电导率实测值合格极限( $\sigma_{bx}$ )、 $\sigma_{bd}$ )。

C.2.2.2.3.2 在修正表的  $\sigma_a$  栏中查不到与  $\sigma_{ax}$  或  $\sigma_{ad}$  相同的值,但  $\sigma_a$  栏中临近值与  $\sigma_{ax}$  或  $\sigma_{ad}$  的偏差不大于 0.2 MS/m 时,以该临近值作为平面电导率值,查出其对应的曲面电导率值,作为该验收标准极值对应的电导率实测值合格极限。

C.2.2.2.3.3 若  $\sigma_a$  栏中临近值与验收标准极值下限( $\sigma_{ax}$ )的偏差大于 0.2 MS/m,按公式(C.7)计算电导率实测值合格下限( $\sigma_{bx}$ )。

C.2.2.2.3.4 若  $\sigma_a$  栏中临近值与验收标准极值上限( $\sigma_{ad}$ )的偏差大于 0.2 MS/m,按公式(C.8)计算电导率实测值合格上限( $\sigma_{bd}$ )。

$$\sigma_{bx} = \sigma_{bx1} + \frac{\sigma_{ax} - \sigma_{ax1}}{\sigma_{ax2} - \sigma_{ax1}} \times (\sigma_{bx2} - \sigma_{bx1}) \quad \dots\dots\dots (C.7)$$

式中：

- $\sigma_{bx}$  ——电导率实测值合格下限,单位为兆西门子每米(MS/m);
- $\sigma_{ax}$  ——电导率验收标准极值下限,单位为兆西门子每米(MS/m);
- $\sigma_{ax1}$  ——与  $\sigma_{ax}$  相邻且小于  $\sigma_{ax}$  的平面电导率,单位为兆西门子每米(MS/m);
- $\sigma_{ax2}$  ——与  $\sigma_{ax}$  相邻且大于  $\sigma_{ax}$  的平面电导率,单位为兆西门子每米(MS/m);
- $\sigma_{bx1}$  —— $\sigma_{ax1}$  对应的曲面电导率,单位为兆西门子每米(MS/m);
- $\sigma_{bx2}$  —— $\sigma_{ax2}$  对应的曲面电导率,单位为兆西门子每米(MS/m)。

$$\sigma_{bd} = \sigma_{bd1} + \frac{\sigma_{ad} - \sigma_{ad1}}{\sigma_{ad2} - \sigma_{ad1}} \times (\sigma_{bd2} - \sigma_{bd1}) \quad \dots\dots\dots (C.8)$$

式中：

- $\sigma_{bd}$  ——电导率实测值合格上限,单位为兆西门子每米(MS/m);
- $\sigma_{ad}$  ——电导率验收标准极值上限,单位为兆西门子每米(MS/m);
- $\sigma_{ad1}$  ——与  $\sigma_{ad}$  相邻且小于  $\sigma_{ad}$  的平面电导率,单位为兆西门子每米(MS/m);

1) Sigmatest D2.068 型电导率仪、Sigmatest D2.069 型电导率仪、Sigmascope SMP350 型电导率仪是适合的市售产品实例。给出这一信息是为了方便文本的使用者,并不表示对这些产品的认可。

$\sigma_{ad2}$  ——与  $\sigma_{ad}$  相邻且大于  $\sigma_{ad}$  的平面电导率,单位为兆西门子每米(MS/m);

$\sigma_{bd1}$  —— $\sigma_{ad1}$  对应的曲面电导率,单位为兆西门子每米(MS/m);

$\sigma_{bd2}$  —— $\sigma_{ad2}$  对应的曲面电导率,单位为兆西门子每米(MS/m)。

### C.3 结果处理与结果表示

#### C.3.1 直接测试

查看样品电导率真实值( $\sigma$ )是否处于电导率验收标准极值规定的范围内。测试结果以电导率真实值表示。其他按 4.6.1.1~4.6.1.3 的规定进行。

#### C.3.2 查表测试

查看样品电导率真实值( $\sigma$ )是否处于电导率验收标准极值规定的范围内,或查看电导率实测值( $\sigma_Y$ )是否处于电导率实测值合格极限规定的范围内。当电导率真实值( $\sigma$ )接近验收标准极值或电导率实测值( $\sigma_Y$ )接近电导率实测值合格极限时,重新校验涡流电导率仪,确认涡流电导率仪工作正常后,在该测试点附近增加电导率测试次数,并对电导率真实值( $\sigma$ )超出验收标准极值,或电导率实测值( $\sigma_Y$ )超出其合格极限的点进行标识。测试结果以电导率真实值或实测值表示。其他按 4.6.1.1~4.6.1.3 的规定进行。

附 录 D  
(规范性)  
凸面电导率修正表

D.1 Sigmatest D2.068 型电导率仪凸面电导率修正表

Sigmatest D2.068 型电导率仪在 60 kHz 工作频率时的凸面电导率修正表应符合表 D.1 的规定。

表 D.1 Sigmatest D2.068 型电导率仪凸面电导率修正表

平面电导率 ( $\sigma_a$ ) MS/m	下列直径的样品对应的曲面电导率( $\sigma_b$ ) MS/m								
	19.1 mm	25.4 mm	38.1 mm	50.8 mm	76.2 mm	88.9 mm	101 mm	127 mm	152 mm
11.6	10.4	11.0	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6
12.2	11.0	11.6	11.9	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2
12.8	11.6	11.9	12.5	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8
13.3	11.9	12.5	13.1	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3
13.9	12.5	13.1	13.6	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9
14.5	13.1	13.6	14.2	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5
15.1	13.3	14.2	14.8	14.8	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1
15.7	13.9	14.5	15.1	15.4	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7
16.2	14.5	15.1	15.7	16.0	16.2	16.2	16.2	16.2	16.2
16.8	15.1	15.7	16.2	16.5	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8
17.4	15.4	16.2	16.8	17.1	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4
18.0	16.0	16.5	17.4	17.7	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
18.6	16.5	17.1	18.0	18.3	18.6	18.6	18.6	18.6	18.6
19.1	16.8	17.7	18.3	18.9	19.1	19.1	19.1	19.1	19.1
19.7	17.4	18.3	18.9	19.4	19.4	19.4	19.7	19.7	19.7
20.3	18.0	18.6	19.4	19.7	20.0	20.0	20.3	20.3	20.3
20.9	18.6	19.1	20.0	20.3	20.6	20.6	20.9	20.6	20.9
21.5	18.9	19.7	20.6	20.9	21.2	21.2	21.5	21.2	21.5
22.0	19.4	20.3	21.2	21.5	21.8	21.8	21.8	21.8	22.0
22.6	20.0	20.6	21.8	22.0	22.3	22.3	22.3	22.3	22.6
23.2	20.3	21.2	22.6	22.6	22.9	22.9	22.9	22.9	23.2
23.8	20.9	21.8	22.6	23.2	23.5	23.5	23.5	23.5	23.8
24.4	21.5	22.3	23.2	23.8	24.1	24.1	24.1	24.1	24.4
24.9	21.8	22.9	23.8	24.4	24.7	24.7	24.7	24.7	24.9

表 D.1 Sigmatess D2.068 型电导率仪凸面电导率修正表 (续)

平面电导率 ( $\sigma_a$ ) MS/m	下列直径的样品对应的曲面电导率( $\sigma_b$ ) MS/m								
	19.1 mm	25.4 mm	38.1 mm	50.8 mm	76.2 mm	88.9 mm	101 mm	127 mm	152 mm
25.5	22.3	23.2	24.4	24.9	25.2	25.2	25.2	25.2	25.5
26.1	22.9	23.8	24.9	25.2	25.8	25.8	25.8	25.8	26.1
26.7	23.5	24.4	25.2	25.8	26.4	26.4	26.4	26.4	26.7
27.3	23.8	24.9	25.8	26.4	27.0	27.0	27.0	27.0	27.3
27.8	24.4	25.2	26.4	27.0	27.6	27.6	27.6	27.6	27.8
28.4	24.9	25.8	27.0	27.6	28.1	28.1	28.1	28.1	28.4
29.0	25.2	26.4	27.6	28.1	28.7	28.7	28.7	28.7	29.0
29.6	25.8	27.0	28.1	28.7	29.3	29.3	29.3	29.3	29.6
30.2	26.4	27.3	28.4	29.3	29.6	29.6	29.9	29.9	30.2
30.7	26.7	27.8	29.0	29.9	30.2	30.2	30.5	30.5	30.7
31.3	27.3	28.4	29.6	30.2	30.7	30.7	31.0	31.0	31.3
31.9	27.8	29.0	30.2	30.7	31.3	31.3	31.6	31.6	31.9
32.5	28.4	29.3	30.7	31.3	31.9	31.9	32.2	32.2	32.5
33.1	28.7	29.9	31.3	31.9	32.5	32.5	32.8	32.8	33.1
33.6	29.3	30.5	31.6	32.5	33.1	33.1	33.4	33.4	33.6
34.2	29.9	31.0	32.2	33.1	33.6	33.6	33.9	33.9	34.2
34.8	30.2	31.3	32.8	33.6	34.2	34.2	34.5	34.5	34.8

D.2 Sigmatess D2.069 型电导率仪凸面电导率修正表

Sigmatess D2.069 型电导率仪在 60 kHz 工作频率时不同直径凸面电导率修正表应符合表 D.2 的规定。

表 D.2 Sigmatess D2.069 型电导率仪凸面电导率修正表

平面电导率 ( $\sigma_a$ ) MS/m	下列直径的样品对应的曲面电导率( $\sigma_b$ ) MS/m													
	20 mm	25 mm	30 mm	35 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	90 mm	100 mm	120 mm	140 mm	160 mm
11.6	10.3	10.6	10.8	11.0	11.1	11.2	11.3	11.3	11.4	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5
12.2	10.4	11.1	11.3	11.5	11.6	11.8	11.9	11.9	12.0	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1
12.8	11.0	11.7	11.9	12.1	12.2	12.4	12.4	12.5	12.6	12.6	12.6	12.7	12.7	12.7
13.3	11.8	12.2	12.4	12.6	12.8	12.9	13.0	13.1	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2

表 D.2 Sigmatest D2.069 型电导率仪凸面电导率修正表 (续)

平面电导率 ( $\sigma_a$ ) MS/m	下列直径的样品对应的曲面电导率( $\sigma_b$ ) MS/m													
	20 mm	25 mm	30 mm	35 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	90 mm	100 mm	120 mm	140 mm	160 mm
13.9	12.4	12.4	13.1	13.1	13.3	13.4	13.5	13.5	13.7	13.7	13.7	13.8	13.8	13.8
14.5	12.9	13.2	13.6	13.6	13.7	13.9	13.9	14.1	14.2	14.2	14.3	14.3	14.3	14.4
15.1	13.0	13.7	14.1	14.1	14.3	14.5	14.6	14.7	14.7	14.8	14.8	14.8	14.9	15.0
15.7	13.6	14.2	14.8	14.8	15.0	15.1	15.2	15.3	15.3	15.4	15.4	15.4	15.5	15.5
16.2	14.2	14.7	15.5	15.5	15.7	15.7	15.8	15.9	15.9	16.0	16.0	16.0	16.1	16.1
16.8	14.7	15.3	16.1	16.1	16.3	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	16.5	16.5	16.6	16.6
17.4	15.0	16.1	16.4	16.7	16.8	16.9	17.0	17.0	17.0	17.0	17.1	17.1	17.2	17.2
18.0	15.3	16.6	16.9	17.2	17.3	17.5	17.5	17.5	17.6	17.6	17.7	17.9	17.9	17.9
18.6	15.9	17.1	17.4	17.7	17.8	18.0	18.1	18.1	18.2	18.2	18.2	18.2	18.3	18.4
19.1	16.2	17.7	18.0	18.2	18.4	18.5	18.6	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.9	19.0
19.7	16.8	18.2	18.5	18.7	18.9	19.1	19.1	19.3	19.3	19.3	19.3	19.3	19.4	19.5
20.3	17.4	18.7	19.0	19.3	19.5	19.7	19.7	19.7	19.7	19.8	19.8	19.8	20.0	20.1
20.9	17.9	18.8	19.5	19.9	20.1	20.2	20.2	20.2	20.5	20.5	20.6	20.6	20.6	20.6
21.5	18.5	19.1	20.1	20.4	20.6	20.6	20.6	20.6	21.1	21.1	21.1	21.1	21.3	21.3
22.0	18.8	20.2	20.6	20.9	21.1	21.1	21.1	21.1	21.6	21.6	21.7	21.7	21.8	21.8
22.6	19.4	20.8	21.1	21.4	21.6	21.6	21.7	21.7	22.1	22.3	22.3	22.3	22.3	22.4
23.2	20.0	21.4	21.7	22.0	22.2	22.3	22.3	22.3	22.7	22.7	22.9	22.9	22.9	23.0
23.7	20.5	22.0	22.6	22.8	22.9	22.9	22.9	22.9	23.2	23.2	23.6	23.6	23.6	23.7
24.3	21.1	22.3	23.1	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.7	23.7	24.1	24.1	24.1	24.1
24.9	21.3	22.9	23.6	23.6	23.6	23.9	24.2	24.2	24.2	24.2	24.6	24.7	24.8	24.8
25.5	21.4	23.4	24.0	24.1	24.1	24.3	24.6	24.6	24.8	24.9	25.1	25.2	25.3	25.3
26.1	22.0	24.1	24.3	24.7	24.7	24.7	24.9	24.9	25.2	25.2	25.5	25.7	25.8	25.9
26.6	22.6	24.5	25.0	25.3	25.3	25.3	25.5	25.5	25.8	25.8	25.8	26.3	26.5	26.6
27.2	24.0	25.1	25.5	25.8	26.0	26.0	26.1	26.1	26.3	26.3	26.3	26.6	26.6	27.1
27.8	24.6	25.6	26.0	26.3	26.5	26.5	26.6	26.6	26.9	26.9	26.9	27.2	27.2	27.8
28.4	25.2	26.2	26.7	27.0	27.0	27.0	27.2	27.2	27.5	27.5	27.5	27.8	27.8	28.3
29.0	25.8	26.7	27.3	27.5	27.5	27.8	27.8	27.8	28.1	28.1	28.1	28.4	28.4	28.9
29.5	26.3	27.2	27.8	28.2	28.2	28.3	28.4	28.4	28.4	28.4	28.7	29.0	29.0	29.5
30.1	26.9	27.8	28.4	28.4	28.4	28.4	29.0	29.0	29.0	29.0	29.2	29.5	29.5	30.0
30.7	27.2	28.4	28.9	29.3	29.3	29.3	29.5	29.5	29.5	29.5	29.8	30.3	30.4	30.6
31.3	27.8	29.0	29.4	29.5	29.5	29.5	30.1	30.1	30.1	30.1	30.4	30.9	30.9	31.0

表 D.2 Sigmatest D2.069 型电导率仪凸面电导率修正表 (续)

平面电导率 ( $\sigma_a$ ) MS/m	下列直径的样品对应的曲面电导率( $\sigma_b$ ) MS/m													
	20 mm	25 mm	30 mm	35 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	90 mm	100 mm	120 mm	140 mm	160 mm
31.9	28.4	29.5	29.9	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.7	30.7	31.0	31.4	31.5	31.7
32.4	29.0	30.1	30.5	30.9	31.0	31.0	31.0	31.0	31.3	31.3	31.8	32.0	32.1	32.2
33.0	29.5	30.7	31.0	31.4	31.5	31.6	31.6	31.6	31.9	31.9	32.1	32.6	32.7	32.8
33.6	29.8	31.3	31.5	31.9	32.1	32.1	32.1	32.1	32.4	32.4	32.7	33.2	33.3	33.3
34.2	30.4	31.9	32.0	32.4	32.7	32.7	32.7	32.7	33.0	33.0	33.3	33.8	33.9	33.9
34.8	31.0	32.7	32.6	33.0	33.2	33.3	33.3	33.3	33.6	33.6	33.6	34.5	34.5	34.5

D.3 Sigmascope SMP350 型电导率仪凸面电导率修正表

Sigmascope SMP350 型电导率仪在 60 kHz 工作频率时不同直径凸面电导率修正表应符合表 D.3 的规定。

表 D.3 Sigmascope SMP350 型电导率仪凸面电导率修正表

平面电导率 ( $\sigma_a$ ) MS/m	下列直径的样品对应的曲面电导率( $\sigma_b$ ) MS/m													
	20 mm	25 mm	30 mm	35 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	90 mm	100 mm	120 mm	140 mm	160 mm
11.6	10.6	10.8	11.0	11.1	11.2	11.2	11.4	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5
12.2	11.1	11.4	11.5	11.7	11.8	11.8	11.9	12.0	12.0	12.0	12.1	12.1	12.1	12.1
12.8	11.3	11.9	12.1	12.2	12.4	12.4	12.5	12.6	12.6	12.6	12.7	12.7	12.7	12.7
13.3	11.9	12.5	12.6	12.8	12.9	12.9	12.9	12.9	13.0	13.1	13.3	13.3	13.3	13.3
13.9	12.6	12.8	13.2	13.3	13.4	13.4	13.4	13.4	13.5	13.6	13.8	13.9	13.9	13.9
14.5	13.1	13.5	13.7	13.8	13.9	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.3	14.4	14.5	14.5
15.1	13.7	14.1	14.3	14.4	14.5	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.9	15.0	15.1	15.1
15.7	13.9	14.5	14.9	14.9	15.1	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.5	15.5	15.6	15.6
16.2	14.5	15.1	15.4	15.4	15.5	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	16.1	16.1	16.2	16.2
16.8	15.1	15.7	15.8	16.0	16.0	16.0	16.1	16.2	16.2	16.2	16.4	16.7	16.8	16.8
17.4	15.8	16.4	16.4	16.5	16.5	16.5	16.6	16.8	16.8	16.8	17.0	17.2	17.2	17.3
18.0	16.4	16.5	16.9	17.1	17.1	17.1	17.2	17.4	17.4	17.4	17.6	17.7	17.7	17.9
18.6	16.5	17.1	17.5	17.7	17.7	17.7	17.8	18.0	18.0	18.0	18.2	18.3	18.4	18.5
19.1	17.1	17.7	18.2	18.3	18.3	18.3	18.4	18.6	18.6	18.6	18.7	18.9	19.0	19.0
19.7	17.7	18.3	18.6	18.6	18.7	18.9	18.9	18.9	19.0	19.1	19.3	19.4	19.5	19.5

表 D.3 Sigmascope SMP350 型电导率仪凸面电导率修正表 (续)

平面电导率 ( $\sigma_a$ ) MS/m	下列直径的样品对应的曲面电导率( $\sigma_b$ ) MS/m													
	20 mm	25 mm	30 mm	35 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	90 mm	100 mm	120 mm	140 mm	160 mm
20.3	18.3	18.9	19.1	19.1	19.3	19.4	19.4	19.4	19.5	19.7	19.8	19.9	20.1	20.1
20.9	18.6	19.4	19.7	19.7	19.8	20.0	20.0	20.0	20.1	20.3	20.5	20.6	20.8	20.8
21.5	19.1	20.0	20.3	20.3	20.3	20.3	20.4	20.6	20.7	20.9	21.1	21.2	21.3	21.3
22.0	19.7	20.3	20.9	20.9	20.9	20.9	21.0	21.2	21.3	21.5	21.6	21.8	21.9	21.9
22.6	20.3	20.9	21.4	21.5	21.5	21.5	21.6	21.8	21.8	21.8	22.0	22.5	22.6	22.6
23.2	20.9	21.6	21.9	22.0	22.0	22.0	22.2	22.3	22.3	22.3	22.6	23.1	23.1	23.1
23.8	21.2	22.2	22.3	22.6	22.6	22.6	22.7	22.9	22.9	22.9	23.2	23.7	23.8	23.8
24.4	21.8	22.6	22.6	22.9	23.0	23.2	23.3	23.5	23.5	23.5	23.8	24.1	24.2	24.2
24.9	22.3	23.1	23.1	23.5	23.6	23.8	23.9	24.1	24.1	24.1	24.4	24.8	24.9	24.9
25.5	22.9	23.8	23.7	24.1	24.2	24.4	24.5	24.7	24.7	24.7	24.9	25.2	25.3	25.5
26.1	23.5	24.1	24.2	24.7	24.8	24.9	25.1	25.2	25.2	25.2	25.5	25.8	25.9	26.1
26.7	23.8	24.7	24.9	25.2	25.2	25.2	25.3	25.5	25.6	25.8	25.8	26.1	26.5	26.7
27.3	24.4	25.2	25.5	25.8	25.8	25.8	25.9	26.1	26.2	26.4	26.4	26.7	27.1	27.2
27.8	24.9	25.8	26.1	26.4	26.4	26.4	26.5	26.7	26.8	27.0	27.0	27.7	27.7	27.7
28.4	25.5	26.4	26.7	27.0	27.0	27.0	27.1	27.3	27.4	27.6	27.6	28.2	28.2	28.3
29.0	26.1	26.9	27.0	27.3	27.6	27.7	27.7	27.8	28.0	28.1	28.1	28.7	28.8	28.9
29.6	26.4	27.5	27.6	27.8	28.0	28.1	28.2	28.4	28.5	28.7	28.7	29.2	29.6	29.6
30.2	27.0	27.8	28.1	28.4	28.5	28.7	28.8	29.0	29.1	29.3	29.3	29.8	30.0	30.1
30.7	27.6	28.4	28.7	29.0	29.1	29.3	29.4	29.6	29.6	29.6	29.9	30.4	30.6	30.6
31.3	28.1	29.0	29.5	29.6	29.7	29.9	30.0	30.2	30.2	30.2	30.5	30.9	31.1	31.1
31.9	28.4	29.6	30.2	30.2	30.2	30.2	30.5	30.7	30.7	30.7	31.0	31.5	31.6	31.6
32.5	29.0	30.2	30.6	30.7	30.7	30.7	31.0	31.3	31.3	31.3	31.6	32.1	32.2	32.2
33.1	29.6	30.7	30.8	31.0	31.1	31.3	31.6	31.9	31.9	31.9	32.2	32.8	32.8	32.8
33.6	30.2	31.3	31.4	31.6	31.7	31.9	32.0	32.2	32.3	32.5	32.8	33.4	33.4	33.4
34.2	30.7	31.6	31.9	32.2	32.3	32.5	32.6	32.8	32.9	33.1	33.4	33.9	33.9	34.0
34.8	31.0	32.1	32.5	32.8	32.9	33.1	33.2	33.4	33.5	33.6	33.9	34.5	34.5	34.6

附 录 E  
(规范性)  
薄规格样品修正测试方法

E.1 试样

E.1.1 取样

在样品中截取或选取不少于 3 个试样,对试样进行编号。试样尺寸应相同并且能够紧密贴合,试样叠加后的厚度应大于涡流标准渗透深度的 3 倍。

E.1.2 测试点

在试样上标识不少于 5 个测试点,测试点应在试样上均匀分布。

E.1.3 测试

E.1.3.1 修正值测试

E.1.3.1.1 将试样分别放置在测试平台上,按 4.5.1 规定分别测试试样上 5 个测试点的电导率,分别计算各试样的电导率平均值。

E.1.3.1.2 将试样按顺序排列依次叠加组合(表 E.1 为 3 个试样的叠加示例),按 4.5.1 分别测试组合试样最上面标识的 5 个测试点电导率,并分别计算各叠加试样的电导率平均值。

表 E.1 3 个试样叠加示例

试样叠加位置	组合试样的结构		
上	1	2	3
中	2	3	1
下	3	1	2

E.1.3.1.3 电导率修正值为叠加组合测试结果的平均值与每个样品测试结果的平均值之差。公式(E.1) 给出了 3 个试样叠加的电导率修正值计算示例。

$$\sigma_0 = \frac{1}{3}(\bar{\sigma}_{123} + \bar{\sigma}_{231} + \bar{\sigma}_{312}) - \frac{1}{3}(\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2 + \bar{\sigma}_3) \quad \dots\dots\dots(E.1)$$

式中:

- $\sigma_0$  ——电导率修正值,单位为兆西门子每米(MS/m);
- $\bar{\sigma}_1$  ——试样 1 的电导率平均值,单位为兆西门子每米(MS/m);
- $\bar{\sigma}_2$  ——试样 2 的电导率平均值,单位为兆西门子每米(MS/m);
- $\bar{\sigma}_3$  ——试样 3 的电导率平均值,单位为兆西门子每米(MS/m);
- $\bar{\sigma}_{123}$  ——按 123 顺序叠加后的电导率平均值,单位为兆西门子每米(MS/m);
- $\bar{\sigma}_{231}$  ——按 231 顺序叠加后的电导率平均值,单位为兆西门子每米(MS/m);
- $\bar{\sigma}_{312}$  ——按 312 顺序叠加后的电导率平均值,单位为兆西门子每米(MS/m)。

## E.1.3.2 样品测试

按 4.5.1 的规定对样品进行电导率测试。

## E.2 结果处理与结果表示

E.2.1 测试结果按表 E.2 规定处理。

表 E.2 样品厚度小于 3 倍标准渗透深度的结果处理

修正值 $\sigma_0$	结果处理
$< -3.0$ MS/m	电导率修正值无效,调整测试频率,重新测试修正值
$-3.0$ MS/m $\sim$ $-1.5$ MS/m	叠加试样测得的电导率值 $\sigma_{123}$ 、 $\sigma_{231}$ 、 $\sigma_{312}$ 为对应样品 1、2、3 的电导率值
$> -1.5$ MS/m $\sim$ $1.5$ MS/m	按公式(C.3)计算样品电导率真实值 $\sigma$
$> 1.5$ MS/m $\sim$ $3.0$ MS/m	叠加试样测得的电导率值 $\sigma_{123}$ 、 $\sigma_{231}$ 、 $\sigma_{312}$ 为对应样品 1、2、3 的电导率值
$> 3.0$ MS/m	电导率修正值无效,调整测试频率,重新测试修正值

E.2.2 查看样品电导率真实值( $\sigma$ )是否处于电导率验收标准极值规定的范围内。测试结果以电导率真实值表示。其他按 4.6.1.1~4.6.1.3 的规定进行。

**附 录 F**  
(规范性)  
**包覆铝样品修正测试方法**

**F.1 试样**

试样从样品上截取,将试样分为两个区域,完全有效去除一个区域测试面的包覆层。

**F.2 测试**

**F.2.1 修正值测试**

**F.2.1.1** 按 4.5.1 规定对试样进行电导率测试,在不受边缘效应影响的情况下测试去除包覆层区域的电导率,测试点不少于 5 点,取平均值,记为  $\bar{\sigma}_{a3}$ 。

**F.2.1.2** 测试有包覆层区域的电导率,测试点不少于 5 点,取平均值,记为  $\bar{\sigma}_{b3}$ 。

**F.2.1.3** 按公式(F.1)计算修正值( $\sigma_0$ )。

$$\sigma_0 = \bar{\sigma}_{a3} - \bar{\sigma}_{b3} \dots\dots\dots(F.1)$$

式中:

- $\sigma_0$  ——电导率修正值,单位为兆西门子每米(MS/m);
- $\bar{\sigma}_{a3}$  ——去除包覆层区域电导率平均值,单位为兆西门子每米(MS/m);
- $\bar{\sigma}_{b3}$  ——有包覆层区域电导率平均值,单位为兆西门子每米(MS/m)。

**F.2.2 样品测试**

**F.2.2.1** 按 4.5.1 规定对样品进行电导率测试,记为电导率实测值( $\sigma_Y$ )。

**F.2.2.2** 按公式(C.3)计算样品电导率真实值( $\sigma$ )。

**F.3 结果处理与结果表示**

**F.3.1** 当电导率修正值( $\sigma_0$ )不大于 3.0 MS/m 时,测试结果有效。

**F.3.2** 当电导率修正值( $\sigma_0$ )大于 3.0 MS/m 时,应去除包覆层后按照 4.5.1 进行样品电导率测试。

**F.3.3** 查看样品电导率真实值( $\sigma$ )是否处于电导率验收标准极值规定的范围内。测试结果以电导率真实值表示。其他按 4.6.1.1~4.6.1.3 的规定进行。

**附 录 G**  
(规范性)  
非导电涂层修正测试方法

**G.1 试样**

**G.1.1** 在样品中取试样,去除涂层,试样电导率应在被测样品的电导率验收标准范围内,在试样上至少选取 5 个测试点进行标识。

**G.1.2** 按照被测样品的涂层厚度,制作大小与被测试样相同的绝缘垫片,绝缘垫片一般为绝缘塑料薄膜,薄膜厚度应与涂层厚度一致。

**G.2 测试****G.2.1 修正值测试**

**G.2.1.1** 按 4.5.1 规定对试样上标识点的电导率进行测试,取平均值,记为  $\bar{\sigma}_{a4}$ 。

**G.2.1.2** 将绝缘垫片放置于试样上,测试标识点的电导率,取平均值,记为  $\bar{\sigma}_{b4}$ 。

**G.2.1.3** 按公式(G.1)计算修正值( $\sigma_0$ )。

$$\sigma_0 = \bar{\sigma}_{a4} - \bar{\sigma}_{b4} \dots\dots\dots (G.1)$$

式中:

$\sigma_0$  ——电导率修正值,单位为兆西门子每米(MS/m);

$\bar{\sigma}_{a4}$  ——试样电导率平均值,单位为兆西门子每米(MS/m);

$\bar{\sigma}_{b4}$  ——加盖绝缘垫片后的试样电导率平均值,单位为兆西门子每米(MS/m)。

**G.2.2 样品测试**

**G.2.2.1** 按 4.5.1 规定对样品进行电导率测试,记为电导率实测值( $\sigma_Y$ )。

**G.2.2.2** 按公式(C.3)计算样品电导率真实值( $\sigma$ )。

**G.3 结果处理与结果表示**

查看样品电导率真实值( $\sigma$ )是否处于电导率验收标准极值规定的范围内。测试结果以电导率真实值表示。其他按 4.6.1.1~4.6.1.3 的规定进行。