

中华人民共和国国家标准

GB/T 13789—2008/IEC 60404-3:2002
代替 GB/T 13789—1992

用单片测试仪 测量电工钢片(带)磁性能的方法

Methods of measurement of the magnetic properties of magnetic
sheet and strip by means of a single sheet tester

(IEC 60404-3:2002, IDT)

2008-10-10 发布

2009-05-01 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



GB/T 13789—2008/IEC 60404-3:2002

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 通则	2
3.1 测量原理	2
3.2 磁导计	2
3.3 空气磁通补偿	3
3.4 试样	4
3.5 电源	4
4 比总损耗的测定	4
4.1 测量原理	4
4.2 仪器	4
4.3 测量步骤	5
5 磁场强度、励磁电流、磁极化强度的峰值和比视在功率的测定	6
5.1 测量原理	6
5.2 仪器	7
5.3 测量步骤	7
5.4 磁性能的测定	8
5.5 再现性	9
6 测试报告	9
附录 A(规范性附录) 关于磁轭制作的技术要求	10
附录 B(资料性附录) 单片磁导计相对于爱泼斯坦方圈的校准	11
附录 C(资料性附录) 取向电工钢爱泼斯坦方圈法与单片法的关系	12
附录 D(资料性附录) 波形因数修正	14
附录 E(资料性附录) 无取向电工钢爱泼斯坦方圈法与约定磁路长度单片法的关系	15

前 言

本标准等同采用 IEC 60404-3:2002《用单片测试仪测量电工钢片(带)磁性能的方法》(英文版)。为了便于使用,本标准做了下列编辑性修改:

- “本部分”(指 IEC 60404 第 3 部分)一词改为“本标准”;
- 用小数点“.”代替作为小数点的逗号“,”;
- 删除了国际标准的前言;
- 规范性引用文件按对应的国家标准作了变更;
- 重新编排图片的位置;
- 增加第 6 章“测试报告”;
- 增加附录 D 和附录 E。

本标准代替 GB/T 13789—1992《单片电工钢片带磁性能测量方法》;

本标准与 GB/T 13789—1992 相比,主要内容变化如下:

- 按国际标准变更标准名称;
- 按国际标准重新编排结构;
- 取消原标准第 5 章“取样”;
- 取消原标准第 6 章和第 7 章用互感法测定励磁场场强的相关内容;
- 原标准第 7.3.4“波形因素修正”的内容转换成附录 D;
- 取消原标准的第 9 章“装置的检定”;
- 原标准的第 8 章“等效磁路长度”的内容转换成附录 B;
- 增加附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E。

本标准的附录 A 为规范性附录,附录 B、附录 C、附录 D 和附录 E 为资料性附录。

本标准由中国钢铁工业协会提出。

本标准由全国钢标准化技术委员会归口。

本标准起草单位:宝山钢铁股份有限公司、武汉钢铁(集团)公司、冶金工业信息标准研究院。

本标准主要起草人:李建龙、李和平、周星、冯超、任翠英、杨春甫、齐福荣。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 13789—1992。

用单片测试仪 测量电工钢片(带)磁性能的方法

1 范围

本标准给出了用单片测试仪测量电工钢片(带)磁性能的通则和技术细节。

本标准在工频条件下适用于：

a) 晶粒取向电工钢片(带)：

在 1.0 T~1.8 T 磁极化强度的峰值下测量：

- 比总损耗；
- 比视在功率；
- 磁场强度的有效值。

在不高于 1 000 A/m 的磁场强度的峰值下测量：

- 磁极化强度的峰值；
- 磁场强度的峰值。

b) 无取向的电工钢片(带)：

在 0.8 T~1.5 T 磁极化强度的峰值下测量：

- 比总损耗；
- 比视在功率；
- 励磁电流的有效值。

在不高于 10 000 A/m 的磁场强度的峰值下测量：

- 磁极化强度的峰值；
- 磁场强度的峰值。

本标准规定的单片测试仪适用于测量各种类型电工钢片(带)制成的试样,适用于在规定的磁极化强度峰值和频率以及感应电压为正弦波形的状态下测定磁性能。

测量在环境温度 23 ℃±5 ℃下进行,测试前试样应先退磁。

注：本标准所使用的“磁极化强度”,在其他相关标准中,有使用“磁通密度”和“磁感应强度”的情况。在常规的测量条件下,上述不同定义的物理量之间的量值差别可以忽略。

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 3655 用爱泼斯坦方圈测量电工钢片(带)磁性能的方法(GB/T 3655—2008,IEC 60404-2:1996,Magnetic materials—Part 2,Methods of measurement of magnetic properties of electrical steel sheet and strip by means of an Epstein frame,MOD)

GB/T 19289 电工钢片(带)的密度、电阻率和叠装系数的测量方法(GB/T 19289—2003,IEC 60404-13:1995,Magnetic materials—Part 13,Methods of measurement of density,resistivity and stacking factor of electrical steel sheet and strip,MOD)

GB/T 13789—2008/IEC 60404-3:2002

3 通则

3.1 测量原理

将一块电工钢片试样放入两个线圈内：

- 外部的初级绕组(磁化绕组)；
- 内部的次级绕组(感应电压绕组)。

两个相同磁轭是闭合磁路的组成部分,磁轭的横截面积比试样的横截面积大得多(见图 1)。

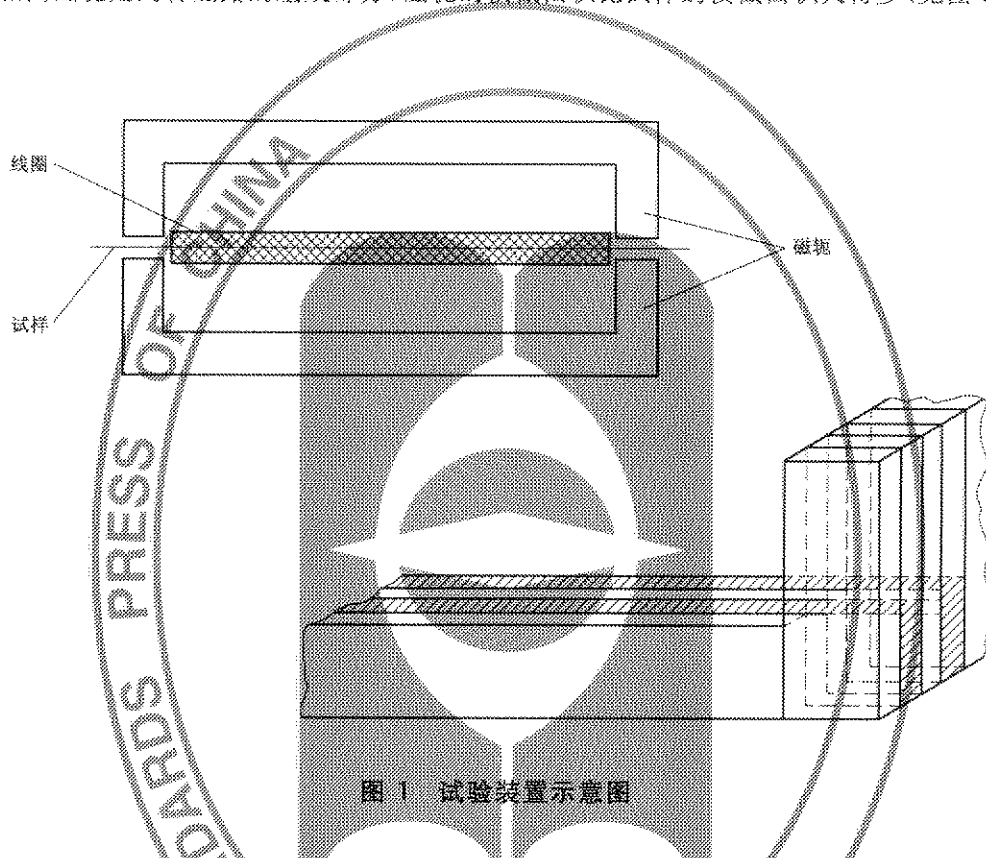


图 1 试验装置示意图

为了使上部磁轭在试样上的压力对测量的影响减至最小,如 3.2.1 所述,应配备悬挂装置,以平衡该磁轭的部分重量。

环境温度的变化应保持在一定的范围内,防止因热胀冷缩在试样中产生应力。

3.2 磁导计

3.2.1 磁轭

每个 U 形磁轭都由多片绝缘的取向硅钢或镍铁合金制成,它应有低的磁阻,并且在磁极化强度 1.5 T 和频率 50 Hz 的情况下其比总损耗不大于 1.0 W/kg,应按附录 A 的要求制造。

为了减小涡流的影响,并使磁通在磁轭内的分布均匀,磁轭应由一对 C 型磁芯或粘结的叠积式磁芯构成,在叠片的情况下,拐角处应按交叠方式对接(见图 1)。

磁轭的磁极面宽度应为 $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ 。

每个磁轭的两个磁极面应是共面的,其公差要在 0.5 mm 以内。两磁轭的相对极面之间在任意点的间隙都不得超过 0.005 mm,并且为了避免在试样中引起机械应力两个磁轭都应该是刚性的。

每个磁轭的高度应在 90 mm 和 150 mm 之间。每个磁轭的宽度应为 $500 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$,内侧长度为 $450 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ (见图 2)。

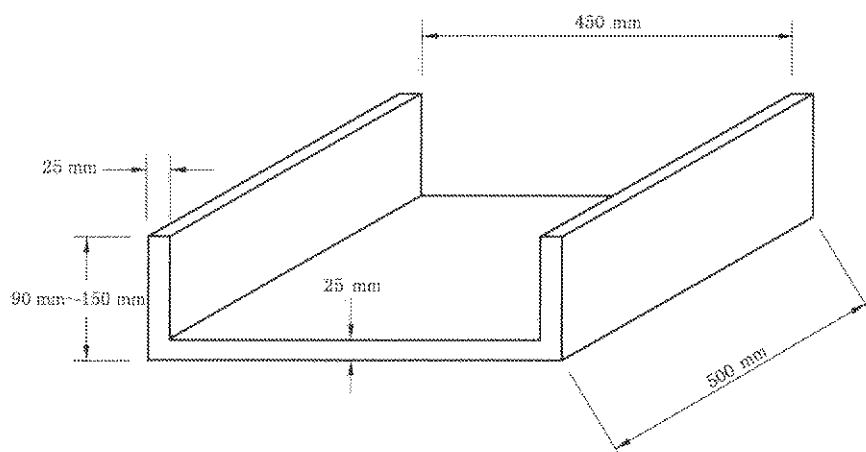


图2 磁轭尺寸图

注：若有测量结果的可比性验证，也可使用其他的磁轭尺寸。

在磁轭竖直臂之间应有放置试样的非导电无磁性的支撑物。该支撑物应放在与磁极面共面的中心位置，以便试样直接与极面接触并且中间无任何间隙。

上部磁轭应能向上移动以便插入试样。插入试样后，上部磁轭应与下部磁轭准确地闭合。上部磁轭的悬吊应平衡其部分重量，并使试样受到的力在 100 N 和 200 N 之间。

注：对于无取向的材料，为了只测量一个试样，选择方形的磁轭。将试样转 90° 就可以测定轧制方向和垂直于轧制方向的特性。

3.2.2 绕组

初级和次级绕组至少应长 440 mm 并绕制在不导电的非磁性矩形框架上。

框架的尺寸如下：

- 长度：445 mm ± 2 mm；
- 内部宽度：510 mm ± 1 mm；
- 内部高度：5 $\frac{1}{2}$ mm；
- 高度：≤ 15 mm。

初级绕组可以如下制作：

- 由 5 个或 5 个以上相同尺寸和相同匝数的线圈并联，并在整个长度上缠绕（见图 3）。例如：5 个线圈，每个线圈可以用直径为 1 mm 的铜线绕 400 匝，共绕 5 层。

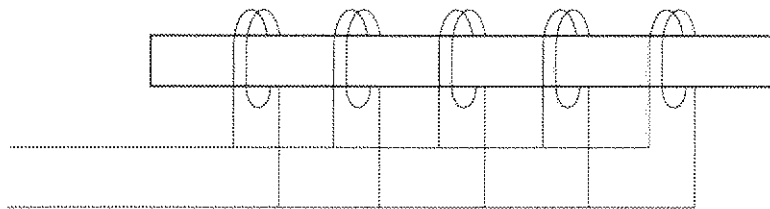


图3 初级绕组的 5 个线圈连接示意图

- 或者用一个在整个长度上连续均匀缠绕的绕组制成。例如：这种绕组可以用直径为 1 mm 的铜线绕 400 匝，绕成一层或多层。

次级绕组的匝数取决于测量仪器的特性。

3.3 空气磁通补偿

对空气磁通的影响应进行补偿。这可以通过互感线圈来实现。互感线圈的初级绕组与磁导计的初级绕组串联，而互感线圈的次级绕组与磁导计的次级绕组反向串联。

GB/T 13789—2008/IEC 60404-3:2002

互感值的调整方法为：当测试装置中无试样时，在初级绕组中通一交流电，使在次级绕组非公共端间测量的电压不大于磁导计次级绕组本身电压的 0.1%。

这样，在串联的次级绕组中感应电压整流后的平均值与试样中磁极化强度的峰值成正比。

3.4 试样

试样的长度不宜小于 500 mm。虽然位于磁极面外的试样部分对测量的影响可以忽略，但此部分的长度取决于试样放入和取出是否方便，试样的长度不宜过长。

试样的宽度应尽可能宽，最宽可以等于磁轭的宽度。

为尽量保证测量的准确，试样的最小宽度不应小于磁轭宽度的 60%。

剪切好的试样不能有明显的毛刺或机械变形。试样应平直；在剪切时，以剪切好的试样的边缘作为基准方向，基准方向与轧制方向之间的夹角允许有下述公差：

——对于晶粒取向钢片为 $\pm 1^\circ$ ；

——对于无取向的钢片为 $\pm 5^\circ$ ；

——对于无取向的钢片，应取两个试样，一个平行于轧制方向，而另一个垂直于轧制方向。若试样是正方形的，则仅需要取一个试样。

3.5 电源

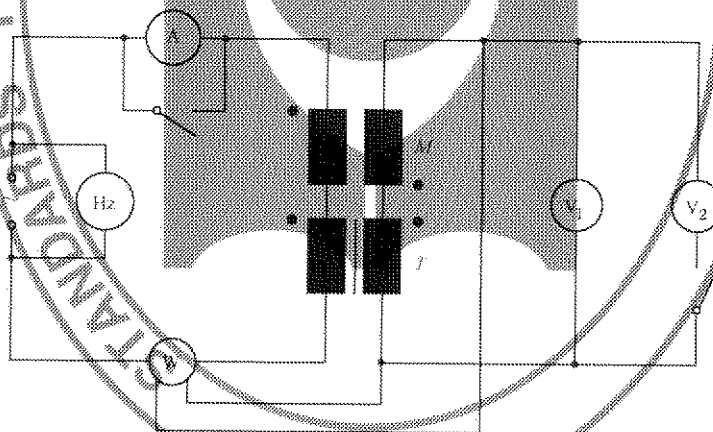
电源应具有低内阻和高度稳定的电压和频率。在测量时，电压和频率应保持恒定在 $\pm 0.2\%$ 之内。

此外，次级感应电压的波形应尽可能保持正弦。最好保持次级电压的波形因数在 $(1.111 \pm 1)\%$ 之内。这可以通过各种方法达到，例如用电子反馈放大器。

4 比总损耗的测定

4.1 测量原理

带有试样的单匝测试仪相当于一个空载变压器，其总损耗用图 4 所示的电路测量。



V_1 ——测量平均整流电压；

V_2 ——测量有效值电压；

M ——互感线圈；

T ——试样框架。

图 4 测定比总损耗的电路原理图

4.2 仪器

4.2.1 电压测量

4.2.1.1 平均值电压表

测量装置的次级整流电压应使用平均值电压表测量。优先选用的仪表是具有准确度为 $\pm 0.2\%$ 的数字电压表。

注：这种类型的仪表通常按 1.111 乘整流的平均值分度。

次级回路中的负载应尽可能小。因此,平均值电压表的内阻至少应为 1 000 Ω/V 。

4.2.1.2 有效值电压表

应使用能测量有效值的电压表,优先选用的仪表是具有准确度为 $\pm 0.2\%$ 的数字电压表。

4.2.2 频率测量

应使用准确度为 $\pm 0.1\%$ 的频率计。

4.2.3 功率测量

应使用在有效功率因数和峰值因数下,准确度为 $\pm 0.5\%$ 或更好的功率表测量功率。

功率表电压回路的电阻,在所有量程内都应至少为 100 Ω/V 。必要时,应从指示的损耗值减去次级回路的损耗。

功率表电压回路的直流电阻至少应为其本身电抗的 5 000 倍,除非功率表对它的电抗进行了补偿。

如果在这个电路里包括电流测量仪表,在调整次级电压和测量损耗时,该仪表应短路。

4.3 测量步骤

4.3.1 测量准备

测量试样长度的误差在 $\pm 0.1\%$ 内,测定试样质量的误差在 $\pm 0.1\%$ 内。装入试样并使其处在测试线圈纵横轴的中心,放下被部分平衡的上部磁轭。

测量前试样应通过慢慢减小交变磁场的方法进行退磁,这个退磁场要比被测量值高。

4.3.2 电源调整

调整电源,使次级整流电压的平均值为:

$$|\overline{U}_2| = 4fN_2 \frac{R_1}{R_1 + R_2} A \hat{j} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$|\overline{U}_2|$ ——次级整流电压的平均值,单位为伏(V);

A ——试样的横截面积,单位为平方米(m^2);

N_2 ——磁导计的次级绕组的匝数;

R_1 ——次级回路中仪器的总电阻,单位为欧姆(Ω);

R_2 ——磁导计的次级绕组和互感线圈的次级绕组的串联电阻,单位为欧姆(Ω);

f ——频率,单位为赫兹(Hz);

\hat{j} ——磁极化强度的峰值,单位为特斯拉(T)。

横截面积 A 由式(2)给出:

$$A = \frac{m}{l\rho_m} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

m ——试样的质量,单位为千克(kg);

l ——试样的长度,单位为米(m);

ρ_m ——试样的材料密度的约定值,或采用 GB/T 19289 方法的测定值,单位为千克每立方米(kg/m^3)。

4.3.3 测量

4.3.3.1 确认初级回路电流表的数值(如果有电流表的话),以保证功率表的电流不过载。然后将电流表短路并重新调整次级电压。

确认次级电压的波形,并读取功率表的示值。比总功率损耗按式(3)计算:

$$P_s = \left[P \frac{N_1}{N_2} - \frac{(1.111 \times |\overline{U}_2|)^2}{R_1} \right] \frac{l}{m l_m} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

P_s ——试样的比总功率损耗,单位为瓦每千克(W/kg);

GB/T 13789—2008/IEC 60404-3:2002

P ——功率表测量的功率,单位为瓦(W);

N_1 ——初级绕组的匝数;

N_2 ——次级绕组的匝数;

R_i ——次级回路中仪表的总电阻,单位为欧姆(Ω);

$[\bar{U}_2]$ ——次级整流电压的平均值,单位为伏(V);

m ——试样的质量,单位为千克(kg);

l ——试样的长度,单位为米(m);

l_m ——约定的磁路长度,单位为米(m)($l_m=0.45\text{ m}$)。

注1:有研究表明,不同材料和磁极化强度值对应的有效磁路长度 l_m 的平均值与磁轭的内部长度相当。对推荐的 $500\text{ mm}\times 500\text{ mm}$ 试样的磁导计而言,有效磁路长度 l_m 约定为 0.45 m 。

注2:长期以来,习惯通过以爱泼斯坦方圈法的比总功率损耗测量结果为基础来标定测量设备的有效磁路长度。具体标定过程参见附录B。

4.3.3.2 对无取向电工钢,其产品标准中规定的比总损耗值,即报告值应为平行于轧制方向和垂直于轧制方向的两个测量结果的平均值。如有其他用途,平行和垂直轧制方向的比总损耗值应分别报告。

4.3.4 再现性

本标准方法使用上述测量装置,其测量结果的再现性用相对标准偏差来表示,对于晶粒取向电工钢为1%,对于无取向电工钢为2%。

5 磁场强度、励磁电流、磁极化强度的峰值和比视在功率的测定

本条款规定了下述特性的测试方法:

——励磁电流的有效值 \bar{I}_1 ;

——磁场强度的峰值 \hat{H} ;

——磁极化强度的峰值 \hat{J} ;

——比视在功率 S_s 。

5.1 测量原理

5.1.1 磁极化强度的峰值

磁极化强度的峰值由按照4.2.1所测量的次级整流电压平均值计算出。

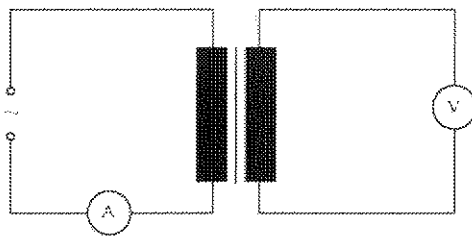


图5 测定励磁电流有效值的电路原理图

5.1.2 励磁电流的有效值

励磁电流的有效值应通过图5所示电路中的有效值电流表测量。

5.1.3 磁场强度的峰值

磁场强度的峰值应由初级电流的峰值 \hat{I} 得出。按照图6所示,用一只峰值电压表测量已知精密电阻器 R_s 两端的电压降来确定 \hat{I} 。

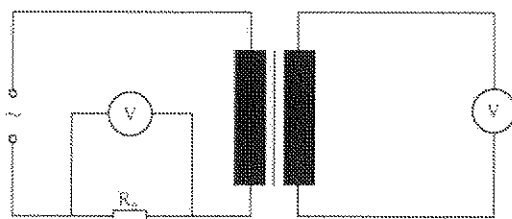


图6 测量磁场强度峰值电路原理图

5.2 仪器

5.2.1 平均值电压表

测量装置的次级整流电压应使用平均值电压表测量。优先选用的仪表是具有准确度为 $\pm 0.2\%$ 的数字电压表。

注：此类仪表通常以整流的平均值乘以1.111来分度。

次级回路中的负载应尽可能小。因此，平均值电压表的内阻至少应为 $1\,000\ \Omega/V$ 。

5.2.2 电流测量

初级电流的有效值用准确度为 $\pm 0.5\%$ 或更好的低阻抗的有效值电流表测量(见图5)，或者用精密电阻器和有效值电子电压表测量(见图6)。

5.2.3 峰值电流测量

电阻器 R_s (见图6)两端的峰值电压用一只指示峰值的高灵敏度电子电压表或者用校准的示波器测量。所使用的仪表，其满量程的误差应在 $\pm 3\%$ 以内。

5.2.4 电源

电源应符合3.5的规定。

5.2.5 电阻器 R_s

图6所示的方法，要求一已知电阻值且准确度在 $\pm 0.5\%$ 之内的精密无感电阻器。

该电阻器的选择取决于峰值电压表的灵敏度。为减小感应电压波形的畸变，该电阻值不应超过 $1\ \Omega$ 。

5.3 测量步骤

5.3.1 测量准备

测量试样长度的误差在 $\pm 0.1\%$ 内，测定试样质量的误差在 $\pm 0.1\%$ 内。装入试样并使其处在测试线圈纵横轴的中心，放下被部分平衡的上部磁轭。

测量前试样应通过慢慢减小交变磁场的方法进行退磁，这个退磁场要比被测量值高。

5.3.2 测量

通常测定单个或一组磁极化强度 \hat{J} 值和磁场强度(\hat{H} 或 \tilde{H})值。

如果规定了磁场强度而需要测定磁极化强度，则应按下面的方式调整初级电流以获得所需的磁场强度，然后在平均值电压表上读出单片测试仪的次级电压(见4.3.2)。

同样，如果规定了磁极化强度而需要测定磁场强度，则应按4.3.2所述调整次级电压到规定的值。

测量 \tilde{H} 时，初级电流有效值需从图5的所示电路的电流表中读出，或按照图6的电路中的电压表的读数得出。

测量 \hat{H} 时，电阻器 R_s 两端的电压降峰值应在峰值电压表上读出。

5.3.3 无取向电工钢

对无取向电工钢，其产品标准中规定的磁极化强度的峰值 \hat{J} 应为平行于轧制方向和垂直于轧制方向的两个测量结果的平均值。如有其他用途或用于测量比视在功率和励磁电流的有效值时，平行和垂直轧制方向的测量值应分别报告。

GB/T 13789—2008/IEC 60404-3:2002

5.4 磁性能的测定

5.4.1 \hat{J} 值的测量

磁极化强度的峰值由式(4)给出:

$$\hat{J} = \frac{1}{4fN_2A} |\bar{U}_2| \quad \dots\dots\dots(4)$$

$|\bar{U}_2|$ 应由电压表读数修正后得到,修正系数为:

$$\frac{R_V + R_2}{R_V}$$

式中:

$|\bar{U}_2|$ ——次级整流电压的平均值,单位为伏(V);

A ——试样的横截面积,单位为平方米(m^2);

R_2 ——次级线圈的内阻,单位为欧姆(Ω);

N_2 ——次级绕组的匝数;

R_V ——电压表的内阻,单位为欧姆(Ω);

\hat{J} ——磁极化强度的峰值,单位为特斯拉(T);

f ——频率,单位为赫兹(Hz)。

5.4.2 \tilde{H} 的测定

通过初级电流的有效值来计算磁场强度的有效值,初级电流有效值按照图 5 所示电路的电流表的读数得出,或按照图 6 所示电路的电压表的读数得出。

$$\tilde{H} = \frac{N_1 \tilde{I}_1}{L_m} \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

\tilde{H} ——磁场强度的有效值,单位为安培每米(A/m);

N_1 ——初级绕组的匝数;

L_m ——约定的有效磁路长度,单位为米(m)($L_m = 0.45$ m);

\tilde{I}_1 ——初级电流的有效值,单位为安培(A)。

测定出若干组 \hat{J} 和 \tilde{H} 的值后,可以绘出 \hat{J} 对于 \tilde{H} 的磁化曲线。

5.4.3 \hat{H} 的测定

磁场强度的峰值应由 \hat{U}_m 的峰值电压表读数计算:

$$\hat{H} = \frac{N_1 \hat{U}_m}{R_n L_m} \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中:

\hat{H} ——磁场强度的峰值,单位为安培每米(A/m);

R_n ——图 6 中精密电阻器的电阻值,单位为欧姆(Ω);

\hat{U}_m —— R_n 两端的峰值电压降,单位为伏特(V)。

注:幅值磁导率表示为:

$$\mu_s = \frac{\hat{J}}{\mu_0 \hat{H}} + 1$$

5.4.4 S_s 的测定

视在功率由下式得出:

$$S = \tilde{I}_1 \cdot \tilde{U}_2 \frac{N_1}{N_2} = \tilde{I}_1 \cdot 1.111 \cdot |\overline{U}_2| \cdot \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots(7)$$

式中:

S ——视在功率,单位为伏安(VA);

N_1 ——初级绕组的匝数;

N_2 ——次级绕组的匝数;

\tilde{I}_1 ——初级电流的有效值,单位为安培(A);

\tilde{U}_2 ——单片测试仪次级电压的有效值,单位为伏特(V)。

注:关系式 $\tilde{U}_2 = 1.111 \cdot |\overline{U}_2|$ 仅对正弦电压是成立的。

这个量除以有效质量 $m_s = \frac{l_m}{l} m$ 给出比视在功率:

$$S_s = \frac{S}{m_s} = \frac{\tilde{I}_1 \cdot 1.111 \cdot |\overline{U}_2| \cdot l_m}{m \cdot N_2} \dots\dots\dots(8)$$

式中:

S_s ——比视在功率,单位为瓦特每千克(W/kg);

N_1 ——初级绕组的匝数;

N_2 ——次级绕组的匝数;

$|\overline{U}_2|$ ——次级整流电压的平均值,单位为伏特(V);

\tilde{I}_1 ——初级电流的有效值,单位为安培(A);

l ——试样长度,单位为米(m);

m ——试样质量,单位为千克(kg);

l_m ——约定的有效磁路长度,单位为米(m)($l_m = 0.45 \text{ m}$)。

5.5 再现性

本标准方法在使用上述测量装置的再现性通过相对标准偏差来表示为不大于3%。

6 测试报告

按需要,测试报告应包含下述内容:

- a) 本标准号;
- b) 试样的类型和标识;
- c) 材料的密度(约定值,或采用 GB/T 19289 方法的测定值);
- d) 试样的几何尺寸;
- e) 试样的质量;
- f) 测量时试样的取向;
- g) 测量过程中的环境温度;
- h) 测量频率;
- i) 作为测试条件的磁极化强度峰值(或磁场强度的峰值);
- j) 测量结果。

附录 A

(规范性附录)

关于磁轭制作的技术要求

应确保损耗低而且恒定的磁轭。测量频率为 50 Hz 和磁极化强度为 40 mT 时,磁轭损耗的典型值为 1 mW/kg。有许多原因可以造成损耗变高,如磁轭中叠片之间的短路。可以采用绕在磁轭上的初级和次级绕组测量磁轭的功率损耗,这些绕组每个有 25 匝就能满足要求。

有必要用电阻表和探针测试磁轭各部分之间的层间电阻。

在磁轭的制作过程中,要求对剪切的条片进行退火以消除应力。在把这些材料粘结起来制成磁轭(不要使用高压)后,对极面应进行机械加工。用一个适当的量具检验其平行度,并用工程蓝油检验空气间隙的均匀度。有必要用碳化硅和金刚石磨膏进一步分级研磨,直到工程蓝油的均匀分布指示出足够均匀的空气间隙为止。这种研磨也可以把上部磁轭垂直放在下部磁轭上,然后在一小段距离上往返移动。

研磨过程引起叠片之间的金属变形,并产生短路,应用非氧化酸(例如盐酸)通过仔细的酸蚀处理,除去这些变形的金属。这包括用酸浸泡的布摩擦极面,直到变形层除去为止。应仔细清洗并消除酸对钢的影响。

在研磨和酸洗前后测量磁轭的损耗,有助于确认经过这种处理使损耗降低。

最终的层间绝缘检验应在极面酸洗和清洁处理之后进行。

在使用前,应仔细地高于使用过程中磁轭所产生的最高磁极化强度开始进行退磁。

附录 B
(资料性附录)

单片磁导计相对于爱泼斯坦方圈的校准

注：本附录不构成本标准的技术要求部分，仅为如何获得本标准方法与爱泼斯坦方圈法测量结果的相关性提供参考（见 4.3.3.1 注 2）。

单片磁导计的校准包括用爱泼斯坦方圈测量的比总损耗确定有效磁路长度。

对于每个钢种和每个测量比总功率损耗对应的磁极化强度，都应进行有效磁路长度的确定。

首先，按照 GB/T 3655 用爱泼斯坦方圈法测量比总功率损耗（除了无取向电工钢外，装在爱泼斯坦方圈中的所有样片都应有相同的剪切方向）。

然后，把已在爱泼斯坦方圈中测量过的至少 12 个样片边靠边拼接放入单片磁导计中。在与爱泼斯坦方圈法测定比总功率损耗时所用的相同磁极化强度下，用单片磁导计再测量此损耗。

有效磁路长度 L_m 则可按式 (B.1) 计算：

$$L_m = \frac{Pl}{mP_{se}} \quad \text{----- (B.1)}$$

式中：

P ——由与试验装置连接的功率表测量的功率，单位为瓦 (W)；

P_{se} ——用爱泼斯坦方圈测定的比总功率损耗，单位为瓦每千克 (W/kg)；

l ——爱泼斯坦条片的长度，单位为米 (m)；

m ——放入试验装置中的爱泼斯坦条片的总质量，单位为千克 (kg)。

注：在无取向电工钢的情况下，将有两个有效磁路长度，每个取样方向对应 1 个。

附录 C (资料性附录)

取向电工钢爱泼斯坦方圈法与单片法的关系

注：本附录不作为标准的要求部分。它包含将取向电工钢单片法测量值转化为爱泼斯坦方圈法测量值和相反过程的信息。本附录与附录 B 的程序有两点明显不同：

——附录 B 给出了一种用爱泼斯坦样片校准单片磁导计的方法。它提供了在考虑特定试样的情况下爱泼斯坦方圈法与单片法校准因子的确定值。

——通过把大样剪切成样片，附录 B 的方法给出了关于退火并消除了内应力的爱泼斯坦样片的爱泼斯坦方圈法与单片法的校准因子。当应用此校准方法时，如果单片样无内应力，则由单片样得出的比总损耗的数值与相应的爱泼斯坦样得出的数值就会比较接近；如果单片样有内应力，那么两种方法得出的数值就会偏差比较大。

本附录从另一个角度描述了将单片法测量值转化为爱泼斯坦方圈法测量值和相反过程的一般情况，例如，只使用两种方法中的一种进行测量时。本附录仅限于取向电工钢。当然，本附录给出的关系式适用性是可以扩展的，但因为所考虑的不同试样本身的内应力等因素会导致结果的统计分散，使转换表现出很大的不确定度。对于比总损耗 P 此不确定度约达到 2% (在 J 的整个范围内)，对于磁场强度 H 不确定度约在 $\pm 3\%$ ($J=1.3\text{ T}$) 至 $\pm 10\%$ ($J=1.7\text{ T}$)，对于比视在功率 S ，不确定度约在 $\pm 5\%$ ($J=1.3\text{ T}$) 至 $\pm 20\%$ ($J=1.7\text{ T}$)。

本附录给出的关系式是通过由 8 家不同工厂生产的不同产品的 750 组最典型的取向钢种试样，由爱泼斯坦方圈法和单片测试法得出的。该研究不包括磁畴细化材料。但是，本标准的使用者可自定是否将本附录的内容应用于磁畴细化材料。

爱泼斯坦方圈法和单片法结果的关系可以通过一个因子 δP (比总损耗 P)， δHS (磁场强度 H 和比视在功率 S) 表示。爱泼斯坦方圈法的结果 $P_{s,EPs}$ 、 $H_{s,EPs}$ 和 $S_{s,EPs}$ 向单片法的结果 $P_{s,SST}$ 、 $H_{s,SST}$ 和 $S_{s,SST}$ 转换可以用下列关系式：

$$P_{s,SST} = P_{s,EPs} \times (1 + \delta P/100) \quad \text{.....(C. 1a)}$$

$$H_{s,SST} = H_{s,EPs} \times (1 + \delta HS/100) \quad \text{.....(C. 1b)}$$

$$S_{s,SST} = S_{s,EPs} \times (1 + \delta HS/100) \quad \text{.....(C. 1c)}$$

对应的相反过程的转换可以用下列关系式：

$$P_{s,EPs} = P_{s,SST} / (1 + \delta P/100) \quad \text{.....(C. 2a)}$$

$$H_{s,EPs} = H_{s,SST} / (1 + \delta HS/100) \quad \text{.....(C. 2b)}$$

$$S_{s,EPs} = S_{s,SST} / (1 + \delta HS/100) \quad \text{.....(C. 2c)}$$

相关实验得出的转化因子在图 C. 1 (δP) 和图 C. 2 (δHS) 中用菱形符号显示。 $J=1.0\text{ T}$ 至 1.2 T 的因子数值，由实验数据外推得到的。两图中也包含对实验数据的曲线拟合(连续线)。

拟合的曲线用下列关系式表达：

$$\delta P = 1.46 + 0.242J^3 \quad \text{.....(C. 3a)}$$

$$\delta HS = 6.0 + 0.103J^{10} \quad \text{.....(C. 3b)}$$

当 J 值超过 1.8 T 时，可使用关系式(C. 2a, C. 2b, C. 2c)和(C. 3a, C. 3b)或者扩展的图示。

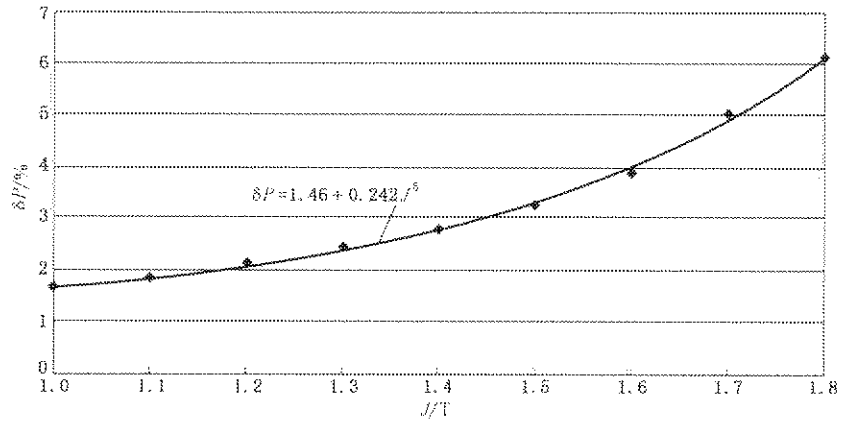
从关系式(C. 3a, C. 3b)得出的转换因子列在表格 C. 1 中。

**表 C. 1 取向电工钢爱泼斯坦方圈法-单片法转换因子 δP 和 δHS
在磁极化强度范围为 1.0 T 至 1.8 T 的数值**

J/T	$\delta P/\%$	$\delta HS/\%$
1.0	1.7	6.1
1.1	1.8	6.3
1.2	2.1	6.6

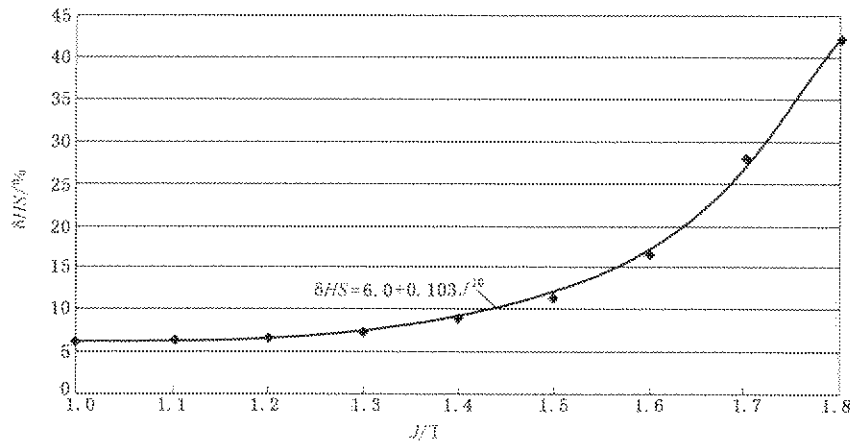
表 C.1(续)

J/T	$\delta P/\%$	$\delta HS/\%$
1.3	2.4	7.4
1.4	2.8	9.0
1.5	3.3	12
1.6	4.0	17
1.7	5.0	27
1.8	6.0	43



菱形符号为试验数据,连续线为试验数据拟合的公式(C.3a)曲线。

图 C.1 晶粒取向电工钢爱泼斯坦方圈法与单片法转换因子 δP -磁极化强度 J 关系图



菱形符号为试验数据,连续线为试验数据拟合的公式(C.3b)曲线。

图 C.2 晶粒取向材料爱泼斯坦方圈法与单片法转换因子 δHS -磁极化强度 J 关系图

附 录 D
(资料性附录)
波形因数修正

D.1 概述

在比总损耗测量时应保持磁通即次级感应电压的波形为正弦,要求波形因数(次级感应电压有效值与平均值的比)在 $1.111 \pm 1\%$ 范围内,这一条件可以采用模拟和数字的反馈技术实现。在次级感应电压波形偏离正弦的情况下,即波形因数超出 $1.111 \pm 1\%$ 的范围,一般在 $1.111 \pm 5\%$ 的范围内,最大不超出 $1.111 \pm 10\%$ 时,可考虑按波形因数的具体值对比总损耗测量值进行修正。

通常将比总损耗分解为两个分量,即磁滞损耗和涡流损耗,且认为磁滞损耗与波形因数无关,而涡流损耗则与波形因数有关。在波形因数能准确测定和合理偏离正弦的情况下,经验上可以用改变频率的方法确定涡流损耗在比总损耗中占的比例;其中磁滞损耗与频率成正比,涡流损耗与频率的平方成正比;测量时频率的改变量不能太小,但也不应超过常规测量频率的一半或二倍。

有协议时,常规频率 50 Hz 或 60 Hz,对应磁极化强度峰值的比总损耗测量值,可以使用下面的方式进行修正。

D.2 比总损耗的修正

用式(D.1)可以得到精确的已修正过的比总损耗值:

$$P'_s = \frac{P_s}{h + e \left(\frac{K}{1.111} \right)^2} \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

- P'_s ——波形失真时比总损耗的修正值,单位为瓦特每千克(W/kg);
- P_s ——按公式(3)求得的试样的比总损耗,单位为瓦特每千克(W/kg);
- h ——磁滞损耗在比总损耗中占的比例,其值等于 $(1-e)$;
- e ——涡流损耗在比总损耗中占的比例;
- K ——波形因数,为次级感应电压的有效值和平均值的比值。

D.3 涡流损耗的典型比例系数

表 D.1 电工钢涡流损耗的典型比例系数 e

材料	试样组成	厚度/mm						
		0.18	0.23	0.27	0.30	0.35	0.50	0.65
无取向	纵横向平均	—	—	—	—	0.20	0.30	0.40
	纵向	—	—	—	—	0.25	0.35	0.45
取向	纵向	0.35	0.45	0.50	0.50	0.65	—	—

附录 E
(资料性附录)

无取向电工钢爱泼斯坦方圈法与约定磁路长度单片法的关系

注：本附录包含将无取向电工钢单片法测量值转化为爱泼斯坦方圈法测量值和相反过程的信息。本附录与附录 B 的程序有以下不同：

——附录 B 给出了在考虑特定试样的情况下以等效磁路长度作为爱泼斯坦方圈法与单片法转换因子的方法；

本附录方法采用约定的磁路长度，其值根据单片磁导计的实际尺寸确定。由对每个钢种每个指标分别以约定磁路长度的单片法测量结果与相应的爱泼斯坦方圈法的测量结果得到相应的换算系数；

——本附录从另一个角度描述了将无取向电工钢单片法测量值转化为爱泼斯坦方圈法测量值和相反过程的一般情况，例如，只使用两种方法中的一种进行测量时。

在同一块电工钢板上取一块纵向和一块横向单片试样，用本标准的单片法测量磁性指标；再分别从纵向和横向的单片试样上切取至少 8 片纵向和 8 片横向爱泼斯坦方圈样片，构成一套试样，用这套爱泼斯坦方圈试样测量磁性指标；然后分别用纵向和横向的爱泼斯坦方圈样片和余料按剪切前对应的状态重新拼成单片试样，再用本标准的单片法测量磁性能。根据整块单片试样的测量数据与爱泼斯坦方圈的试样测量数据的比值，可以得到各项磁性指标的对应的换算系数；根据整块单片试样的测量数据和爱泼斯坦方圈试样和余料拼成的单片试样的测量数据的比值，可以评估剪切应力对于磁性指标的影响。对不同牌号的钢种用上述方法确定对应的换算系数。

中华人民共和国
国家标准
用单片测试仪
测量电工钢片(带)磁性能的方法
GB/T 13789—2008/IEC 60404-3:2002

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.25 字数 35 千字

2009年2月第一版 2009年2月第一次印刷

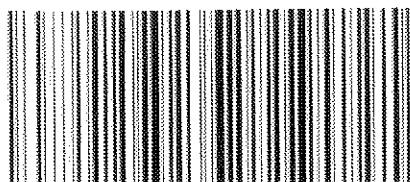
*

书号:155066·1-35412 定价 18.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533



GB/T 13789-2008