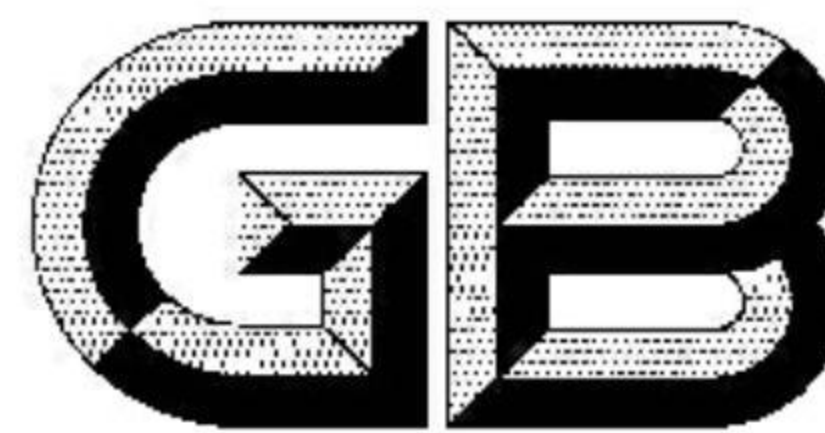




中华人民共和国国家标准

GB/T 43870.2—2024

磁性材料居里温度的测量方法 第2部分：软磁材料

Measurement methods for Curie temperature of magnetic materials—
Part 2: Soft magnetic materials

2024-04-25 发布

2024-11-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 居里温度的确定方式 1

5 居里温度的测量 2

 5.1 L - T 曲线法 2

 5.1.1 测量原理及方法 2

 5.1.2 测量装置 2

 5.1.3 样品 3

 5.1.4 线圈 3

 5.1.5 测量程序 3

 5.1.6 数据处理 4

 5.2 m - T 曲线法 4

6 结果报告 4

附录 A（资料性） 常见软磁材料的居里温度典型值 5

图 1 L - T 曲线及居里温度 T_c 图示 2

图 2 L - T 曲线法测量装置示意图 3

表 A.1 常见软磁材料的居里温度典型值 5



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。

本文件是 GB/T 43870《磁性材料居里温度的测量方法》的第 2 部分。GB/T 43870 已经发布了以下部分：

- 第 1 部分：永磁材料；
- 第 2 部分：软磁材料。

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。

本文件由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本文件由全国磁性元件与铁氧体材料标准化技术委员会(SAC/TC 89)归口。

本文件起草单位：中国计量大学、中国电子科技集团公司第九研究所、中国计量科学研究院、浙江省计量科学研究院、横店集团东磁股份有限公司、长沙天恒测控技术有限公司。

本文件主要起草人：葛洪良、吴琼、颜冲、彭清贵、龚文杰、虞志书、周新华、张爱国、雷国莉、王子生、泮敏翔、杨杭福、俞能君。



引 言

居里温度是铁磁性/亚铁磁性材料内部磁矩从有序到无序的转变温度,也即铁磁性/亚铁磁性和顺磁性相互转变的温度,是铁磁性材料的基本特征之一。居里温度测量是磁特性测量的一部分。

GB/T 43870《磁性材料居里温度的测量方法》由两个部分构成。

——第1部分:永磁材料。目的在于规定永磁材料居里温度的测量方法。

——第2部分:软磁材料。目的在于规定软磁材料居里温度的测量方法。



磁性材料居里温度的测量方法

第 2 部分：软磁材料

1 范围

本文件描述了软磁材料居里温度的测量方法。
本文件适用于铁氧体软磁材料和金属软磁材料居里温度的测量。

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 2900.60 电工术语 电磁学
GB/T 9637 电工术语 磁性材料与元件
GB/T 28869.1—2012 软磁材料制成的磁心 测量方法 第 1 部分：通用规范
GB/T 28869.2—2023 软磁材料制成的磁心 测量方法 第 2 部分：低励磁水平下的磁特性
GB/T 43870.1 磁性材料居里温度的测量方法 第 1 部分：永磁材料
JJF 1101—2019 环境试验设备温度、湿度参数校准规范

3 术语和定义

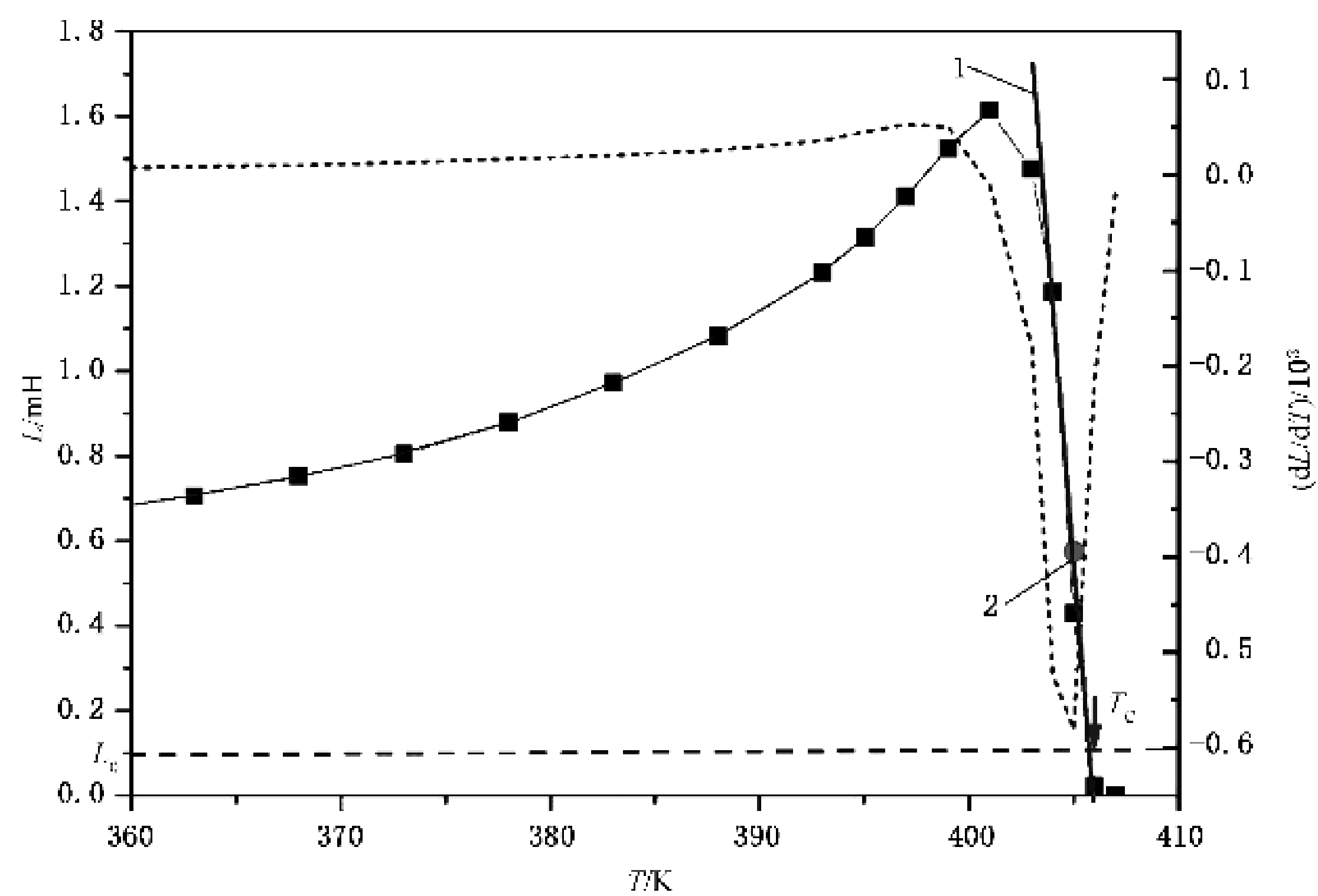
 GB/T 2900.60、GB/T 9637 界定的术语和定义适用于本文件。

4 居里温度的确定方式

测量电感 L 随温度 T 的变化曲线 (L - T 曲线) 或者磁矩 m 随温度 T 的变化曲线 (m - T 曲线), L - T 曲线或 m - T 曲线斜率 (dL/dT 或 dm/dT) 绝对值最大处的切线与 $L = L_0$ (L_0 为空心线圈电感) 或 $m = 0$ 横轴相交, 此处的温度值即为居里温度, 如图 1 所示。

在居里温度不高于 300 °C 时, 推荐采用 L - T 曲线法; 居里温度高于 300 °C 时, 推荐采用 m - T 曲线法。

也可按照 GB/T 28869.2—2023 第 14 章确定居里温度。



标引序号说明：

1——经过 dL/dT 绝对值最大处的切线；

2—— dL/dT 绝对值最大点。

—■— L

----- dL/dT

- - - $L = L_0$

图 1 L - T 曲线及居里温度 T_c 图示

5 居里温度的测量

5.1 L - T 曲线法

5.1.1 测量原理及方法

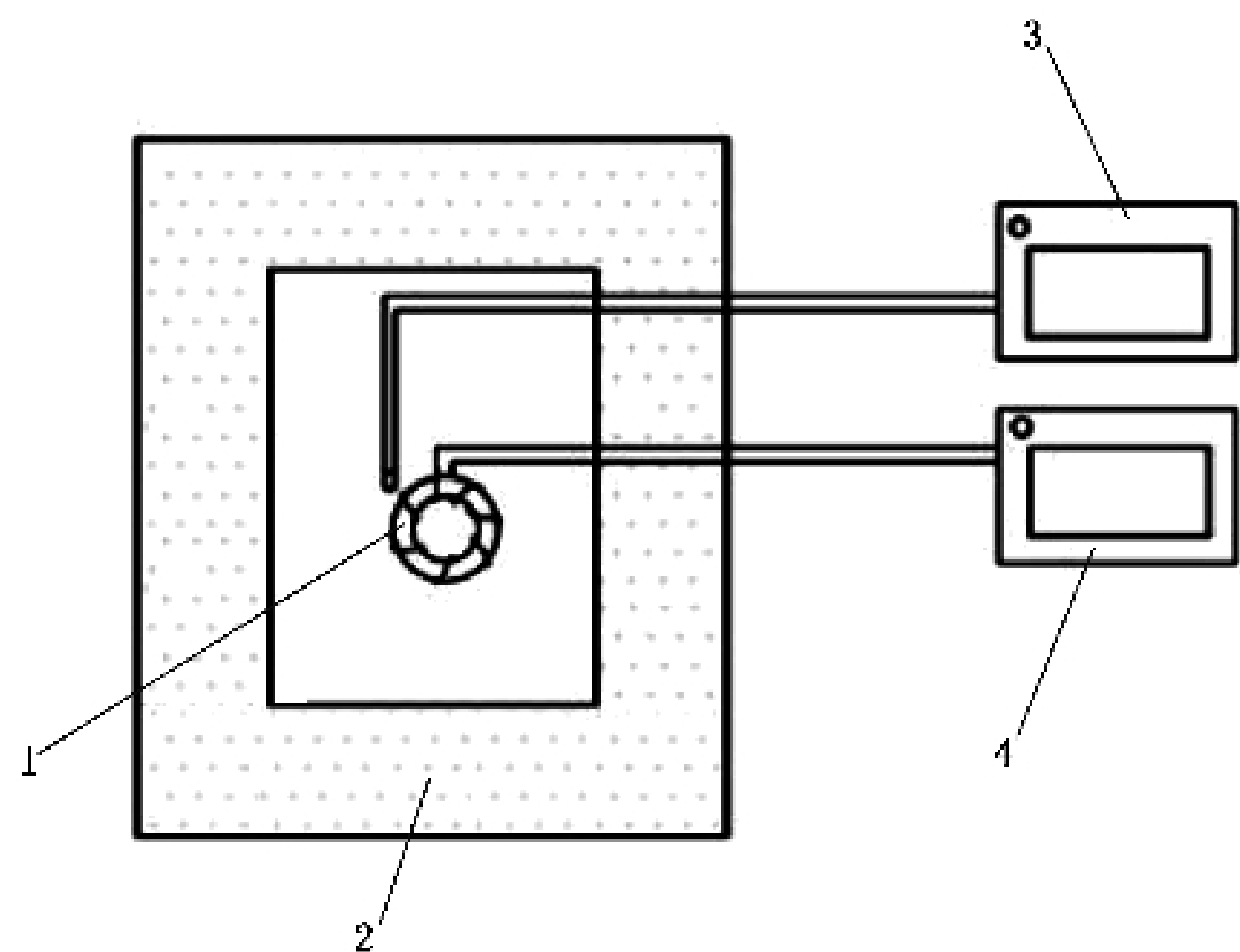
采用 LCR 测试仪、阻抗分析仪或其他等效测量仪器测量样品的电感。

通过温度试验箱控制温度变化,用温度传感器测出试验温度。

测量样品在不同温度下的电感 L ,获得 L - T 曲线,按照第 4 章确定居里温度。

5.1.2 测量装置

使用频率范围及测试电压满足要求的 LCR 测试仪或阻抗分析仪、温度试验箱、温度传感器,如图 2 所示。



标引序号说明：
1——样品；
2——温度试验箱；
3——温度传感器；
4——LCR 测试仪或阻抗分析仪。

图 2 *L-T* 曲线法测量装置示意图

温度传感器应置于样品附近；电感测量的最大允许误差应优于±1%；温度试验箱的温度偏差、均匀度、波动度应满足 JJF 1101—2019 表 1 的要求，其最高温度应达到所测样品的居里温度。

5.1.3 样品

样品推荐环形磁心样品。测试前，按照 GB/T 28869.1—2012 第 5 章的规定对磁心进行磁正常状态化处理。在整个过程中，样品不应受到机械冲击、振动以及磁性干扰等影响。

5.1.4 线圈

样品圆周上包 1~2 层绝缘纸(电容纸或黄蜡绸)后，使用耐高温绝缘线在圆周上均匀绕制测量线圈。线圈绕制时应尽可能贴近样品。线圈的匝数 *N* 应根据测量条件、仪器灵敏度和测量准确度而定。

5.1.5 测量程序

5.1.5.1 测量条件设定

测量线圈两端正弦电压 *U* 与磁通密度峰值 $\hat{B}$ 的关系见公式(1)：

$$U = 4.44 f N \hat{B} A_c \dots\dots\dots (1)$$

式中：
U ——测量电压有效值，单位为伏特(V)；
f ——测试频率，单位为赫兹(Hz)；
N ——线圈匝数；
 $\hat{B}$ ——磁通密度峰值，单位为特斯拉(T)；
A_c ——样品有效截面积，单位为平方米(m²)。

将频率 *f* 和磁通密度峰值 $\hat{B}$ 调到规定值。
测试频率 $f \leq 10$ kHz，磁通密度峰值 $\hat{B} \leq 0.5$ mT。

5.1.5.2 测试

将绕有测量线圈的样品放入温度试验箱中心区域,线圈引出导线连接 LCR 测试仪或阻抗分析仪,记录温度传感器的温度 T 和不同温度下样品的电感 L 。

温度试验箱从室温开始升温至每个测量温度点,并保温足够时间,使样品与箱内温度达到热平衡,待电感值稳定后读取电感数据,并记录温度传感器温度,获得 L - T 曲线。

在低于预估居里温度 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 内升温速率应不超过 $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$;在低于预估居里温度 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右时,每个测量温度点的间隔不超过 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

5.1.6 数据处理

用数据处理软件对 L - T 曲线求导,得到 dL/dT 曲线,再将 dL/dT 绝对值最大处的 L - T 曲线的切线与 $L=L_0$ 横轴的交点处的温度确定为居里温度。

也可按照 GB/T 28869.2—2023 第 14 章,根据 L - T 曲线,得出居里温度。

通过本文件中的 L - T 曲线法与 GB/T 28869.2—2023 第 14 章的方法得出的居里温度可能存在差异,可由制造商和用户商定取值方法。

5.2 m - T 曲线法

按 GB/T 43870.1 的振动样品(线圈)磁强计法和磁称法获得 m - T 曲线。

采用数据处理软件对 m - T 曲线求导,得到 dm/dT 曲线,再将 dm/dT 绝对值最大处的 m - T 曲线的切线与 $m=0$ 横轴的交点处的温度确定为居里温度。

推荐外磁场不大于 10 mT 。

6 结果报告

结果报告至少应包括:

- a) 样品信息;
- b) 仪器设备信息;
- c) 环境条件;
- d) 测量方法(所使用的标准编号);
- e) 测量结果。

测量结果以测量曲线和测量数据的形式提供,具体规定如下:

——对于 L - T 曲线法,应提供 L - T 曲线以及求导后的 dL/dT 曲线和居里温度的数值,以及确定居里温度的切线或连线、频率 f 、磁通密度峰值 $\hat{B}$ 等信息;

——对于 m - T 曲线法,应提供 m - T 曲线以及求导后的 dm/dT 曲线和居里温度数值,以及确定居里温度的切线、升温速率(居里温度附近)、保温时间和外磁场大小等测试条件信息。

常见软磁材料的居里温度典型值见附录 A。

附 录 A
(资料性)
常见软磁材料的居里温度典型值

表 A.1 列出了常见软磁材料的居里温度典型值,供参考。

表 A.1 常见软磁材料的居里温度典型值

序号	材料	居里温度 ℃
1	锰锌铁氧体	100~300
2	镍锌铁氧体	100~500
3	电工纯铁	≥700
4	坡莫合金	350~600
5	金属磁粉心	≥450



