

T/GXDSL

团 体 标 准

T/GXDSL —2026

高频镍锌铁氧体磁芯电磁性能测试技术规 范

Technical Specification for Electromagnetic Performance Testing of High-Frequency
Ni-Zn Ferrite Cores

(工作组讨论稿)

(本草案完成时间：2026-01-29)

2026 - - 发布

2026 - - 实施

广西电子商务企业联合会 发布

目 次

前 言	II
1 引言	1
2 范围	1
3 规范性引用文件	1
4 术语和定义	2
4.1 起始磁导率 (μ_i)	2
4.2 振幅磁导率 (μ_a)	2
4.3 功率损耗 (P_v)	2
4.4 饱和磁通密度 (B_s)	3
4.5 剩磁 (B_r)	3
4.6 矫顽力 (H_c)	3
4.7 阻抗频率特性	3
4.8 居里温度 (T_c)	3
5 测试条件通用要求	3
5.1 环境条件	3
5.2 样品预处理	4
5.3 样品安装	4
6 测试方法与程序	4
6.1 起始磁导率 (μ_i) 测试	4
6.2 振幅磁导率 (μ_a) 及功率损耗 (P_v) 测试	5
6.3 静态磁滞回线 (B_s 、 B_r 、 H_c) 测试	6
6.4 阻抗频率特性测试	7
6.5 居里温度 (T_c) 测试	8
7 数据处理与结果表述	9
7.1 数据修约	9
7.2 结果表述	9
8 测试报告	9
9 附则	10

前 言

本文件依据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。
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。

本文件由广西产学研科学研究院提出。

本文件由广西电子商务企业联合会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

高频镍锌铁氧体磁芯电磁性能测试技术规范

1 引言

为统一高频镍锌铁氧体磁芯关键电磁性能的测试方法、技术条件及结果评价要求，保障产品质量一致性与稳定性，支撑我国高频磁性元器件产业高质量发展，促进国内外技术交流与贸易便利化，特制定本规范。本规范依据国家相关法律法规、强制性国家标准及行业技术发展需求编制，严格遵循“技术精准化、判定科学化、管理规范化的原则，在技术层面明确精准的参数定义与科学的判定方法，在质量管理层面强化测试溯源性、测量不确定度评定及报告规范性，为全国范围内磁芯研制、生产、应用、检验检测及科研等单位提供科学、统一、可重复、可追溯的测试技术依据，推动高频磁性材料及元器件行业技术进步与产业升级。技术要求与测试方法兼顾科学性、先进性、实用性与规范性，参考国际先进标准并结合我国产业实际情况，精准界定核心参数定义，规范科学的测试判定流程，严格落实测量溯源性要求，系统纳入测量不确定度评定内容，确保测试结果具备权威性、可比性、溯源性与可靠性。本规范可作为高质量团体标准或行业标准草案，适用于指导各类高频镍锌铁氧体磁芯产品的质量控制、性能评价、检验检测及科研验证工作。

2 范围

本规范规定了高频镍锌铁氧体磁芯(以下简称“磁芯”)在室温环境下主要电磁性能的精准测试原理、测试设备技术要求、样品管控要求、测试条件、标准化测试程序、数据处理(含测量不确定度评定)及测试报告的规范化内容。适用于工作频率范围为1MHz至300MHz的镍锌铁氧体软磁磁芯电磁性能的精准测量与科学评价，涵盖起始磁导率、振幅磁导率、功率损耗、静态磁滞特性(饱和磁通密度、剩磁、矫顽力)、阻抗频率特性及居里温度等关键性能指标。本规范明确了各指标的精准定义、科学判定方法、测量溯源要求及不确定度评定要点，其他类似结构与用途的软磁铁氧体磁芯，可参照本规范执行。

3 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，仅所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（包括所有修改单）适用于本文件。所有引用文件均需具备可追溯性，确保本规范技术要求与判定方法的合规性与科学性。

GB/T 9637-2022 磁性材料；

GB/T 11436-2023 软磁铁氧体材料分类；

GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定；

GB/T 27418-2018 测量不确定度评定和表示；

IEC 60401-3:2022 软磁磁芯的命名规范第3部分：磁芯尺寸指南；

IEC 62044-3:2022 磁性材料制成的磁芯测量方法第3部分：在高磁通密度下的磁性能；

IEC 63093-12:2021 铁氧体磁芯电气和机械特性及其测量方法第12部分：功率应用用磁芯的测量指南；

JJG 1001-2023 通用计量术语及定义；

JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示。

4 术语和定义

GB/T 9637-2022、JJG 1001-2023界定的术语和定义适用于本文件。为确保本规范测试工作的精准性与统一性，明确核心测试指标的科学内涵，避免歧义，补充下列精准化术语和定义：

4.1 起始磁导率 (μ_i)

在磁中性状态下，磁感应强度 B 趋近于零时，复数磁导率的实部值，表征材料弱场下的磁导能力。本规范统一规定测试条件：施加磁场强度幅值 $H \leq 0.4 \text{ A/m}$ ，测试频率选用 10 kHz （允许偏差 $\pm 0.1 \text{ kHz}$ ）或 100 kHz （允许偏差 $\pm 0.1 \text{ kHz}$ ），测试信号电平 $\leq 0.1 \text{ V}_{\text{rms}}$ ，测试温度 $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，测试报告中需明确标注所选测试频率及相关条件。

4.2 振幅磁导率 (μ_a)

在指定频率、指定峰值磁通密度的周期性正弦交变磁场作用下，磁感应强度峰值 B_m 与磁场强度峰值 H_m 的比值，计算公式为 $\mu_a = B_m / (\mu_0 \cdot H_m)$ ，其中 μ_0 为真空磁导率（ $4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ ，精确取值）， B_m 单位为 T ， H_m 单位为 A/m 。该指标表征材料在特定交变磁场条件下的有效磁导能力。

4.3 功率损耗 (P_v)

单位体积磁芯在指定频率、指定峰值磁通密度的正弦交变磁场作用下，一个磁化周期内所消耗的总能量，包括磁滞损耗、涡流损耗及剩余损耗，其数值与工作频率 f 、磁通密度峰值 B_m 及材料特性密切相关。单位优先采用 kW/m^3 ，亦可采用 mW/cm^3 （换算关系： $1\text{kW}/\text{m}^3=1\text{mW}/\text{cm}^3$ ），测试报告中需明确标注测试频率、 B_m 值及单位。

4.4 饱和磁通密度 (B_s)

在指定温度（本规范统一为 $(25\pm 2)^\circ\text{C}$ ）下，随着磁场强度 H 单调增加，磁感应强度 B 的增长速率降至初始增长速率10%以内时的 B 值，表征材料磁化饱和时的磁通量承载能力。本规范统一规定测试磁场强度 $H=1194\text{A}/\text{m}$ （允许偏差 $\pm 1\%$ ），以此条件下测得的 B 值作为 B_s 定值，确保测试结果的可比性。

4.5 剩磁 (B_r)

磁芯在指定温度（ $(25\pm 2)^\circ\text{C}$ ）下经饱和磁化（ $H\geq 2000\text{A}/\text{m}$ ）后，去除外施磁场（ H 降至0）时，剩余的磁感应强度，是表征磁芯磁滞特性的核心指标之一，测试前需确保样品完全退磁至磁中性状态。

4.6 矫顽力 (H_c)

在指定温度（ $(25\pm 2)^\circ\text{C}$ ）下，磁芯经饱和和磁化后，施加反向磁场使磁感应强度从剩磁 B_r 降至0时所需的反向磁场强度绝对值，反映磁芯抵抗磁化状态变化的能力，测试需与剩磁测试同步进行，基于同一磁滞回线数据提取。

4.7 阻抗频率特性

在指定偏置条件（无直流偏置或指定直流偏置）、恒定幅值激励信号（电压或电流）作用下，磁芯（含测试线圈）的复数阻抗 $Z(\omega)$ （含电阻分量 R 、感抗分量 X_L 、容抗分量 X_C ）或有效磁导率随工作频率变化的规律，测试频率范围覆盖 $1\text{MHz}\sim 300\text{MHz}$ ，是评估磁芯高频应用适配性的关键依据。

4.8 居里温度 (T_c)

铁氧体材料由亚铁磁性（或铁磁性）转变为顺磁性的临界温度，超过该温度后，材料的起始磁导率将急剧下降（通常降至室温值的10%以下），磁性能基本丧失实用价值。本规范采用起始磁导率突变法判定 T_c ，明确两种科学判定方法并规定优先顺序。

5 测试条件通用要求

5.1 环境条件

测试环境应满足下列精准管控要求，所有环境参数均需实时监测、记录并留存溯源依据：温度控制在 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ，采用多点（不少于3个测点）测温方式，测点分布均匀，确保环境温度均匀性 $\leq \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，测温设备精度不低于 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，经法定计量机构校准合格并在有效期内；相对湿度保持在45%~75%，配备高精度湿度调控与监测设备，精度不低于 $\pm 1\%\text{RH}$ ，定期校准；大气压范围为86kPa~106kPa，实时记录实测值。测试场地应远离强电磁干扰源（如大功率射频设备、高压输变电装置，距离不小于10m），避免强烈机械振动（振动加速度 $\leq 0.1\text{g}$ ），无腐蚀性气体、粉尘及其他有害污染物，场地环境需定期检测并记录，确保测试过程不受外部环境因素干扰，保障测试结果的稳定性与准确性。

5.2 样品预处理

测试前，样品需执行全流程可追溯预处理：样品需逐一编号标识，标识信息包含样品型号、生产批次、生产商、取样日期、取样人等关键溯源信息；样品需在本规范规定的测试环境下静置不少于24小时（静置时间精确记录至小时），实现样品温度与环境温度的完全平衡，消除温度梯度对测试结果的影响；样品表面应采用无水乙醇清洁，确保无油污、无粉尘，清洁后检查表面状态，无机械损伤、无裂纹，若样品表面有防护涂层，需确保涂层完整无脱落、无破损，涂层破损或存在机械损伤的样品不得用于测试，样品预处理过程需全程记录并存档。

5.3 样品安装

样品安装需严格遵循规范操作流程，确保安装过程可追溯、无附加干扰：样品应稳固安装于经校准合格的专用测试夹具中，安装过程中采用扭矩扳手控制安装力度，避免对样品施加额外机械应力（应力值 $\leq 5\text{N}$ ），确保样品与夹具接触良好、定位精准，定位偏差 $\leq 0.1\text{mm}$ ；测试线圈应采用规定直径（误差 $\leq \pm 0.01\text{mm}$ ）的高强度漆包线，均匀、紧密地绕制在样品指定位置（如环形磁芯绕制于整周、E型磁芯绕制于中柱），绕线张力恒定（张力值50~100mN），避免因张力过大导致样品变形或线圈绝缘层破损，线圈匝数精确计数（误差 $\leq \pm 1$ 匝）并记录，绕线完成后采用万用表检测线圈通断性，确保无匝间短路；样品安装、线圈绕制的操作人员、操作时间、设备信息等均需详细记录，形成完整溯源链条。

6 测试方法与程序

6.1 起始磁导率（ μ_i ）测试

6.1.1 测试原理：采用高精度电桥法进行测试，在本规范规定的弱磁场（ $H \leq 0.4\text{A/m}$ ）、指定低频条件下，通过测量绕制测试线圈的磁芯样品的串联电感量 L_s （实部）和损耗电阻 R_s ，计算得到起始磁导率实部 μ_i' （本规范中 $\mu_i = \mu_i'$ ）及相对损耗因数 $\tan\delta/\mu_i$ 。核心计算公式精准表述为：

$\mu_i=(L_s \cdot l_e)/(N^2 \cdot \mu_0 \cdot A_e) \times 10^3$ ，其中： L_s 为测量电感量（单位：H，精确至 10^{-9} H）； l_e 为磁芯有效磁路长度（单位：mm，精确至0.01mm）； N 为测试线圈匝数（整数，精确计数）； A_e 为磁芯有效截面积（单位： mm^2 ，精确至 0.01mm^2 ）； μ_0 为真空磁导率（ $4\pi \times 10^{-7}\text{H/m}$ ，精确取值）。测试过程中需考虑线圈分布电容、测试夹具损耗等系统误差，为不确定度评定提供依据。

6.1.2 测试设备：测试设备应满足下列技术要求，且全部经法定计量机构校准合格，校准证书有效并留存溯源：精密阻抗分析仪或电感电容电阻（LCR）测量仪，基本精度不低于0.1%，频率范围覆盖10kHz~100kHz，电感测量分辨率不低于1nH，电阻测量分辨率不低于0.01 Ω ；专用测试夹具及绕线装置，夹具电接触电阻 $\leq 0.01\Omega$ ，定位精度 $\leq 0.05\text{mm}$ ，绕线装置可精准调节绕线张力（调节范围0~200mN，精度 $\pm 1\text{mN}$ ）；几何尺寸测量工具，包括数显卡尺（精度 $\pm 0.01\text{mm}$ ）、测微尺（精度 $\pm 0.001\text{mm}$ ）、投影仪（放大倍数 ≥ 20 倍，精度 $\pm 0.01\text{mm}$ ），用于精准测量磁芯有效参数；所有设备需定期维护、校准，校准周期不超过12个月，设备使用记录、校准证书编号等信息需全程追溯。

6.1.3 测试程序：首先，精准测量磁芯的有效截面积 A_e 、有效磁路长度 l_e ，每个参数重复测量3次，取平均值作为有效数据，测量数据精确记录至0.01mm，测量工具的校准证书编号同步记录；若采用供应商提供的有效参数，需确认该参数经第三方认证或具备完整溯源链条，供应商提供的参数证明文件需留存归档。其次，按规定要求选用合适直径的漆包线，在磁芯指定位置均匀绕制测试线圈，匝数 N 按测试方案确定（如环形磁芯通常绕制10匝，E型磁芯绕制于中柱），绕制完成后检查线圈完整性，用万用表检测无短路、虚接情况，记录绕线张力、漆包线直径、绕制人员及时间。随后，将样品平稳接入测试夹具，连接测试仪器，仪器预热不少于30分钟，设置测试频率为 $(100.0 \pm 0.1)\text{kHz}$ （或指定的10kHz），测试信号电平 $\leq 0.1\text{V}_{\text{rms}}$ ，按仪器操作规程进行参数校准，校准记录留存。接着，启动测试程序，每个样品重复测量3次，每次测量间隔不少于1分钟，记录每次测量的 L_s 和 R_s 数据，计算3次测量结果的平均值、标准差，作为后续不确定度评定的A类标准不确定度来源。最后，依据核心计算公式精准计算起始磁导率 μ_i ，记录所有测试参数、测量数据、计算过程及结果，形成完整的溯源记录。

6.2 振幅磁导率（ μ_a ）及功率损耗（ P_v ）测试

6.2.1 测试原理：采用示波器法（首选方法）或功率计法进行测试，两种方法均需对绕制有初级线圈 N_1 和次级线圈 N_2 的磁芯样品施加标准正弦波励磁信号（失真度 $\leq 1\%$ ）。通过高精度测量初级线圈两端电压 $U_1(\text{rms})$ 、初级电流 $I_1(\text{rms})$ 及次级线圈感应电压 $U_2(\text{rms})$ ，结合磁芯有效参数，分别计算峰值磁通密度 B_m 、峰值磁场强度 H_m 、振幅磁导率 μ_a 及功率损耗 P_v 。核心计算公式精准表述为： $B_m=U_2(\text{rms})/(4.44 \cdot f \cdot N_2 \cdot A_e) \times 10^3$ （单位：T）； $H_m=(N_1 \cdot I_1(\text{rms}) \cdot \sqrt{2})/l_e$ （单位：A/m）； $P_v=(U_1(\text{rms}) \cdot I_1(\text{rms}) \cdot \cos\phi)/V_e$ （单位： kW/m^3 ）。其中： $U_2(\text{rms})$ 为次级电压有效值（单位：V，精确至

10^{-6}V)； $I_1(\text{rms})$ 为初级电流有效值（单位：A，精确至 10^{-6}A ）； $\cos\varphi$ 为初级电压与电流的相位差余弦值（精确至0.001）； V_e 为磁芯有效体积（单位： mm^3 ，精确至 0.01mm^3 ）； f 为测试频率（单位：Hz，精确至1Hz）； N_1 、 N_2 为初、次级线圈匝数（整数，精确计数）。测试过程中需考虑探头相位误差、线路损耗、环境干扰等因素，纳入不确定度评定体系。

6.2.2 测试设备：测试设备应包含以下核心组件，所有设备均需经法定计量机构校准合格，具备有效校准证书并全程溯源：高频功率放大器，输出信号为标准正弦波，频率范围覆盖1MHz~300MHz，输出功率 $\geq 10\text{W}$ ，频率精度 $\pm 1\text{Hz}$ ，失真度 $\leq 1\%$ ；宽频带、高精度电压探头和电流探头（或罗氏线圈），电压探头带宽不低于测试频率的3倍，输入阻抗 $\geq 100\text{M}\Omega$ ，精度不低于0.2%；电流探头带宽不低于测试频率的3倍，精度不低于0.5%，罗氏线圈变比误差 $\leq 0.3\%$ ；数字示波器（带宽 $\geq 100\text{MHz}$ ，采样率 $\geq 1\text{GS/s}$ ）或高频功率分析仪（精度不低于0.1级），示波器垂直分辨率 ≥ 8 位，可精准捕捉信号波形与相位差；数据采集与处理系统，具备信号分析、参数计算、数据存储及追溯功能，可自动计算 B_m 、 H_m 、 μ_a 、 P_v 及相关统计参数；所有设备校准周期不超过12个月，使用前需进行功能验证，设备使用记录、校准信息等全程留存。

6.2.3 测试程序：第一步，样品准备，在磁芯上绕制初级线圈 N_1 和次级线圈 N_2 （通常推荐 $N_1=5$ 匝、 $N_2=5$ 匝，匝数精确计数并记录，误差 $\leq \pm 1$ 匝），线圈绕制应紧密均匀，匝间间距 $\leq 0.1\text{mm}$ ，避免匝间短路，绕线完成后用万用表检测线圈通断性，记录绕线参数。第二步，搭建测试电路，按仪器操作规程连接高频功率放大器、电压探头、电流探头、示波器及样品，连接完成后检查电路完整性，对探头进行相位校准和幅值校准，校准数据记录留存，确保信号传输精准。第三步，参数设置，根据测试方案设定测试频率 f （典型测试频率点包括1MHz、5MHz、10MHz、20MHz、50MHz，频率偏差 $\leq \pm 1\text{Hz}$ ），记录设定频率值。第四步，励磁调节，调节高频功率放大器输出，使磁芯磁通密度 B_m 达到设定值（典型设定值包括1mT、5mT、10mT，偏差 $\leq \pm 5\%$ ），确保励磁信号为标准正弦波，失真度 $\leq 1\%$ ，通过示波器观察信号波形，确认无明显失真。第五步，信号采集，同步采集初级电压 $U_1(t)$ 、初级电流 $I_1(t)$ 及次级电压 $U_2(t)$ 的实时波形，采集时长不少于3个磁化周期，采样率设置为测试频率的10倍以上，确保数据完整性，每个测试点重复采集3次。第六步，数据处理，通过数据处理软件对采集的波形数据进行分析，计算得到 $U_1(\text{rms})$ 、 $I_1(\text{rms})$ 、 $U_2(\text{rms})$ 、 $\cos\varphi$ 、 B_m 、 H_m 、 μ_a 及 P_v 数值，计算3次测量结果的平均值、标准差，作为不确定度评定依据。第七步，重复测试，在同一频率下改变磁通密度 B_m 的设定值，重复上述测试步骤；更换测试频率，按相同流程完成不同频率下的测试，所有测试数据、参数设置、操作人员、测试时间等信息均需详细记录，形成完整溯源链条。

6.3 静态磁滞回线（ B_s 、 B_r 、 H_c ）测试

6.3.1 测试原理:采用冲击法或直流磁滞回线测试仪(B-H分析仪,首选方法)进行测试,对磁芯样品施加准静态(频率 $\leq 1\text{Hz}$)循环磁化场,使样品经历完整的磁化-退磁-反向磁化-反向退磁循环过程,实时、精准测量磁感应强度B与磁场强度H的对应关系,绘制完整的B-H磁滞回线(磁滞回线重复性误差 $\leq 2\%$)。基于绘制的磁滞回线,科学提取饱和磁通密度 B_s 、剩磁 B_r 及矫顽力 H_c 等关键参数,提取方法统一规范,确保测试结果的可比性与权威性。

6.3.2 测试设备:核心测试设备包括:直流磁滞回线绘图仪或带积分器的B-H分析仪,具备准静态磁化场输出功能,磁场强度测量范围 $0\sim 5000\text{A/m}$,精度不低于 0.5% ,磁感应强度测量范围 $0\sim 2\text{T}$,精度不低于 0.5% ,可自动绘制B-H磁滞回线并提取参数;直流励磁电源,可提供连续可调的直流电流,最大输出电流 $\geq 10\text{A}$,电流调节精度 $\leq 0.1\%$,纹波系数 $\leq 0.5\%$;磁通检测线圈,采用直径 $0.1\sim 0.2\text{mm}$ 漆包线绕制,匝数根据样品尺寸合理确定(通常 $50\sim 200$ 匝),线圈绝缘电阻 $\geq 100\text{M}\Omega$;样品定位夹具,定位精度 $\leq 0.1\text{mm}$,可避免样品受力变形;所有设备均需经法定计量机构校准合格,校准证书有效,校准周期不超过12个月,设备使用记录、校准信息全程溯源。

6.3.3 测试程序:首先,对测试样品进行规范退磁处理,将样品置于退磁装置中,施加频率从 50Hz 逐渐降至 0Hz 、幅值从 1000A/m 逐渐衰减至 0 的交变磁场,使样品达到磁中性状态(剩余磁感应强度 $\leq 1\text{mT}$),退磁过程参数记录留存。其次,将退磁后的样品安装于测试夹具,连接磁通检测线圈与直流励磁电源,确保电路连接可靠,无接触不良情况,记录样品安装信息。随后,设置直流励磁电源参数,使磁场强度从 0 缓慢增加至饱和值(通常 $H\geq 2000\text{A/m}$),升压速率 $\leq 100\text{A/m}\cdot\text{s}$,之后缓慢降低磁场强度至 0 ,再施加反向磁场并逐渐增加至饱和,最后降低反向磁场强度至 0 ,完成一个完整的磁化循环,循环速率 $\leq 1\text{Hz}$ 。在此过程中,仪器实时记录B与H的对应数据,绘制完整的B-H磁滞回线,回线绘制分辨率 ≥ 1000 个数据点。最后,从磁滞回线上科学提取相关参数: B_s 取 $H=1194\text{A/m}$ 时对应的B值(插值计算,精度 $\pm 1\text{mT}$); B_r 取磁场强度为 0 时对应的B值(精度 $\pm 1\text{mT}$); H_c 取磁感应强度为 0 时对应的反向磁场强度值(精度 $\pm 0.1\text{A/m}$)。每个样品至少测试2次,2次测试结果的相对偏差 $\leq 2\%$,取平均值作为最终结果,所有测试数据、曲线、参数提取过程均需记录归档,实现全程溯源。

6.4 阻抗频率特性测试

6.4.1 测试原理:采用矢量网络分析仪(VNA,首选方法)或高精度阻抗分析仪,在宽频带范围内($1\text{MHz}\sim 300\text{MHz}$),对磁芯样品施加指定偏置条件(无直流偏置,特殊要求除外)、恒定幅值($\leq 0\text{dBm}$)的激励信号,精准测量样品的复数阻抗 $Z(\omega)$ (含电阻分量 R 、感抗分量 X_L)或S参数,通过标准化公式将S参数转换为复数磁导率 $\mu(\omega)$ (实部 μ' 、虚部 μ'')频谱特性。通过分析测试数据,得到阻抗、感抗、磁

导率实部/虚部等参数随频率的变化规律，科学提取阻抗峰值频率、截止频率等特征参数，评估磁芯在高频段的电磁响应特性，测试过程中需考虑夹具寄生参数、线缆损耗等因素，纳入不确定度评定。

6.4.2 测试设备:测试设备主要包括：矢量网络分析仪（VNA），频率范围需完整覆盖1MHz~300MHz，频率精度 $\pm 1\text{Hz}$ ，幅值精度 $\pm 0.1\text{dB}$ ，相位精度 $\pm 0.1^\circ$ ，具备双端口测试功能，源功率可调节（0~-40dBm）；专用射频测试夹具（如磁芯测试座），具备良好的射频屏蔽性能（屏蔽衰减 $\geq 80\text{dB}$ ）与阻抗匹配特性（ 50Ω ，反射系数 $\leq -20\text{dB}$ ），避免测试信号反射与外部干扰；校准件，包括开路、短路、负载（ 50Ω ）校准件，经法定计量机构校准合格，校准证书有效；线圈绕制工具，可精准控制绕线匝数、张力，绕线精度 ± 1 匝；所有设备需按操作规程进行全双端口校准，校准周期不超过12个月，校准数据、设备使用记录全程留存溯源。

6.4.3 测试程序:首先，按仪器操作规程对矢量网络分析仪及测试夹具进行全双端口校准，校准频率范围覆盖1MHz~300MHz，校准点不少于20个/十倍频，校准完成后验证校准精度（反射系数 $\leq -25\text{dB}$ ），校准数据记录留存。其次，准备测试样品，根据样品结构绕制单匝或少数匝测试线圈（匝数精确计数并记录），或直接利用测试夹具电极与样品接触，将样品平稳装入测试夹具，确保样品定位精准、接触良好，无额外寄生电容/电感，记录样品安装信息。随后，设置矢量网络分析仪参数，扫描频率范围为1MHz~300MHz，扫描类型为线性扫描，扫描点数不少于1000个，源功率设定为 $\leq 0\text{dBm}$ ，测试参数选择S参数（优先测试S11），信号带宽 $\leq 100\text{Hz}$ 。启动扫描测试程序，仪器自动测量并记录不同频率下的S参数数据，每个频率点重复测量3次，取平均值作为有效数据。测试完成后，通过仪器自带软件或专用数据处理软件，按标准化公式将S参数转换为阻抗Z或磁导率 μ 频谱数据，绘制阻抗频率特性曲线、磁导率频谱曲线，分析参数随频率的变化规律，科学提取特征频率点及关键指标数据。所有测试参数设置、校准数据、原始测试数据、处理结果均需详细记录，形成完整的溯源链条，确保测试过程可复现、结果可追溯。

6.5 居里温度（ T_c ）测试

6.5.1 测试原理:基于铁氧体材料磁性能随温度变化的特性，在可控升温过程中，持续、精准测量磁芯的起始磁导率 μ_i （或饱和磁化强度 M_s ）随温度的变化规律。当温度升高至某一临界值时， μ_i （或 M_s ）将发生急剧下降，该临界温度即为居里温度 T_c 。本规范统一采用起始磁导率法进行测试，通过监测电感量 L_s 的变化（ μ_i 由 L_s 精准计算得出）间接表征磁性能变化。明确 T_c 科学判定方法及优先级：优先采用外推法（主方法），辅助采用百分比法（验证方法），两种方法判定结果的偏差 $\leq 5^\circ\text{C}$ ，确保 T_c 判定的科学性与准确性。

6.5.2 测试设备:测试设备由以下部分组成：可编程温控箱，温度控制范围覆盖室温至预计 T_c 以上 50°C ，控温精度 $\pm 1^\circ\text{C}$ ，升温速率可调节（ $0.5^\circ\text{C}/\text{min}$ ~ $5^\circ\text{C}/\text{min}$ ）；内置式电感测试夹具，安装于温控箱

内，具备耐高温、抗干扰性能；LCR测量仪，精度不低于0.1%，测试频率选用10kHz（低频弱信号）；温度传感器及记录仪，温度传感器精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，可实时采集温控箱内温度数据并同步记录。

6.5.3 测试程序:首先，将绕制好测试线圈的样品安装于温控箱内的专用夹具，连接LCR测量仪与温度传感器，确保线路连接可靠，不受升温过程影响；其次，设置温控箱参数，升温速率设定为 $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，升温终点设定为预计居里温度 T_c 以上 50°C ，启动温控程序；在升温过程中，LCR测量仪以固定时间间隔（或固定温度间隔）连续测量样品的电感量 L_s ，温度传感器同步记录对应温度数据，测量频率固定为10kHz，测试信号电平 $\leq 0.1\text{V}_{\text{rms}}$ ；升温至设定终点后，停止测试，整理测试数据，根据电感量 L_s 计算得到不同温度下的起始磁导率 μ_i ；最后，绘制 μ_i - T 特性曲线，采用外推法或百分比法确定居里温度 T_c ——外推法为将曲线陡降部分延长，与温度轴的交点即为 T_c ；百分比法为取 μ_i 下降至室温值50%时对应的温度作为 T_c ，测试报告中需明确所采用的 T_c 判定方法。

7 数据处理与结果表述

7.1 数据修约

所有测量数据及计算结果均需按照GB/T 8170《数值修约规则与极限数值的表示和判定》进行修约，确保数据的规范性与可比性。各类参数的修约位数统一规定如下：起始磁导率 μ_i 、振幅磁导率 μ_a 保留三位有效数字；功率损耗 P_v 保留两位有效数字，单位优先采用 kW/m^3 ；饱和磁通密度 B_s 、剩磁 B_r 精确至 1mT ；矫顽力 H_c 精确至 $0.1\text{A}/\text{m}$ ；居里温度 T_c 精确至 1°C 。修约过程中需严格遵循“四舍六入五考虑”的原则，避免人为误差。

7.2 结果表述

测试结果的表述需完整、清晰、可追溯，核心内容应至少包含：本规范的标准编号；样品核心标识信息，包括样品型号、生产批次、生产商名称、样品规格尺寸等；样品有效参数，包括有效截面积 A_e 、有效磁路长度 l_e 、有效体积 V_e 等；测试环境条件，包括测试温度、相对湿度、大气压等实际测量值；测试设备信息，包括设备名称、型号规格、生产厂家、校准证书编号及校准有效期；详细测试条件，包括测试频率、磁通密度设定值、测试信号电平、线圈匝数、升温速率（居里温度测试）等关键参数；各项电磁性能指标的测试原始数据、计算过程、修约后结果，建议结合特性曲线图辅助说明（如 μ_i - T 曲线、阻抗频率特性曲线、磁滞回线等）；测试日期、测试人员签名、审核人员签名等溯源信息。

8 测试报告

测试报告应符合国家计量技术规范及行业管理要求，格式规范、内容完整、数据真实、结论明确，确保测试结果具备法律效力与可追溯性。测试报告需加盖测试单位公章，经授权签字人签字后生效。报告正文应包含引言、测试依据、测试样品信息、测试设备与环境条件、测试方法与程序、数据处理过程、测试结果、结论等核心章节，必要时可增加附加说明部分，对测试过程中的特殊情况、异常数据及结果分析进行补充说明。

9 附则

本标准由广西电子商务企业联合会负责解释。本标准自发布之日起试行，试行期为一年。试行期满后，根据实施反馈情况进行修订和完善。各相关单位可依据本标准制定具体的实施细则。若本标准与国家新颁布的法律法规或强制性标准有不一致之处，应以国家法律法规和强制性标准为准。本标准所引用的规范性引用文件如有更新，其最新版本适用于本标准。广西电子商务企业联合会将根据技术发展和应用需求，适时组织对本标准的复审与修订工作，以保障其持续的先进性和适用性。本标准的有效实施，有赖于各级医疗机构、主管部门、技术服务商和各相关方的共同努力，通过规范智慧医院数据互联互通共享技术，推动医疗健康数据资源有效整合与安全共享，提升医疗服务质量和效率，促进智慧医院建设规范化发展，为推进健康中国建设提供技术支撑。
