

ICS 17.220.20

CCS A 55

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 988—2023

代替DL/T 988—2005

高压交流架空送电线路、变电站工频电场 和磁场测量方法

Methods of measurement of power frequency electric field and magnetic field
from high voltage overhead power transmission line and substation

2023-12-28发布

2024-06-28实施

国家能源局 发布

目 次

前言	II
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 测量仪器	3
5 测量方法	3
6 测量数据	5
附录 A（规范性）工频电场测量仪校准	6
附录 B（规范性）工频磁场测量仪校准	8
参考文献	12

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 DL/T 988—2005《高压交流架空送电线路、变电站工频电场和磁场测量方法》。本文件与 DL/T 988—2005 相比，除编辑性修改外，主要技术变化如下：

- 删除了对工频电场和工频磁场测量仪器的探头构成的要求（见 2005年版的第3章）；
- 删除了对工频电场和工频磁场测量分量的要求（见 2005年版的4.1.4）；
- 增加了对探头和主机之间装有连接线的测量仪器在测量时连接线应不接触地面的要求（见 5.1.4）；
- 删除了采用单轴磁场探头测量磁场时应调整探头使其位置在测量最大值方向的要求（见 2005年版的4.3）；
- 更改了图1中导线档距中央弧垂最低位置的标识（见 5.4.1，2005年版的 4.4.1）；
- 增加了测量点远离变电站围墙外远离进出线的距离要求（见 5.5.2）；
- 更改了平行极板校准装置原理的描述（见 A.2，2005年版的 A.2）；
- 增加了对受湿度影响比较大的测量仪器宜针对 60%以上相对湿度进行校准的要求（见 A.3）。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。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由全国电磁兼容标准化技术委员会（SAC/TC 246）归口。

本文件起草单位：中国电力科学研究院有限公司、国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司、江苏南瑞恒驰电气装备有限公司。

本文件主要起草人：万保权、路遥、邬雄、张建功、李妮、张广洲、张业茂、张小武、干喆渊、赵军、谢辉春、刘兴发、王延召、万皓、刘震寰、黄锐、陈玉龙。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 2005年首次发布为 DL/T 988—2005；
- 本次为第一次修订。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

高压交流架空送电线路、变电站工频电场和磁场测量方法

1 范围

本文件规定了高压交流架空送电线路、变电站工频电场和工频磁场的测量方法。
本文件适用于所有电压等级的高压交流架空送电线路和变电站。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

工频电场 power frequency electric field

电场是电荷周围存在的一种物质形式，随时间作 50 Hz 周期变化的电场为工频电场。电场强度在空间任意一点是一个矢量，其计量单位为伏每米 (V/m)，高压交流架空送电线路和变电站的电场单位一般用千伏每米 (kV/m) 表示。

3.2

工频磁场 power frequency magnetic field

磁场是有规则地运动着的电荷（电流）周围存在的一种物质形式，随时间作 50 Hz 周期变化的磁场为工频磁场。磁感应强度是矢量，矢量值在任一点的散度为 0，其计量单位为特斯拉 (T)。

磁场强度也是矢量，其计量单位为安培每米 (A/m)。在空气介质中，1 微特斯拉 (μT) 相当于 0.8 A/m。

3.3

畸变场 perturbed field

由于物体的介入，一个场在幅值、方向的改变，或者两者兼有的改变。

注：由于物体的存在，电场在物体的表面上通常会产生很大的畸变。只要不是磁性物质，工频磁场通常不会由于物体的存在产生畸变。

4 测量仪器

工频电场和工频磁场的测量必须使用经计量合格的工频电场和工频磁场测量仪器，且在校准或检定有效期内。附录 A 和附录 B 给出了工频电场测量仪和工频磁场测量仪的校准方法和举例。

5 测量方法

5.1 一般要求

5.1.1 测量运行高压交流架空送电线路工频电场和磁场时，测量地点应选在地势平坦、远离树木、没有其他电力线路、通信线路及广播线路的空地上。

5.1.2 测量工频电场和磁场时，测量仪器的探头应架设在地面上垂直高度 1 m~2 m 的位置，一般情况下选 1.5 m，也可根据需要在其他高度测量。测量报告应清楚地标明。

5.1.3 为避免通过测量仪器的支架泄漏电流，工频电场和磁场测量时环境相对湿度应不大于 80%。

5.1.4 采用探头和主机之间装有连接线的仪器测量时，连接线应不接触地面，以避免产生泄漏电流。

5.2 工频电场强度测量

- 5.2.1 测量人员距离测量仪器探头应不小于 2.5 m。
 5.2.2 测量仪器的探头应满足：当探头介入到电场中测量时，电场没有明显畸变。
 5.2.3 测量探头放入区域的电场应均匀或近似均匀。
 5.2.4 工频电场测量探头和固定物体的距离应不小于 1 m。

5.3 工频磁感应强度测量

工频磁感应强度测量可以忽略电介质和弱、非磁性导体的邻近效应，测量探头可以用一个小的电介质手柄支撑，并可由测量人员手持。

5.4 架空交流送电线路工频电场和磁场测量

5.4.1 架空交流送电线路下工频电场和磁场测量

送电线路工频电场和磁场测量点应选择在线路弧垂最低位置的横截面方向上，如图 1 所示。单回送电线路应以弧垂最低位置中相导线对地投影为起点，同塔多回送电线路应以弧垂最低位置档距对应两铁塔中心连线对地投影点为起点，测量点应均匀分布在边相导线两侧的横截面方向上。测量时两相邻测量点间的距离可以任意选定，但在测量最大值时，两相邻测量点间的距离应不大于 1 m。送电线路下方工频电场和磁场一般测至距离边导线对地投影外 50 m 处即可。送电线路最大电场强度一般出现在边相外，而最大磁感应强度一般应在中相导线正下方附近。

除在导线横截面方向上测量外，也可在线下其他感兴趣的位置进行测量，但测量条件必须满足 5.1 的要求，同时也要详细记录测量点以及周围的环境情况。

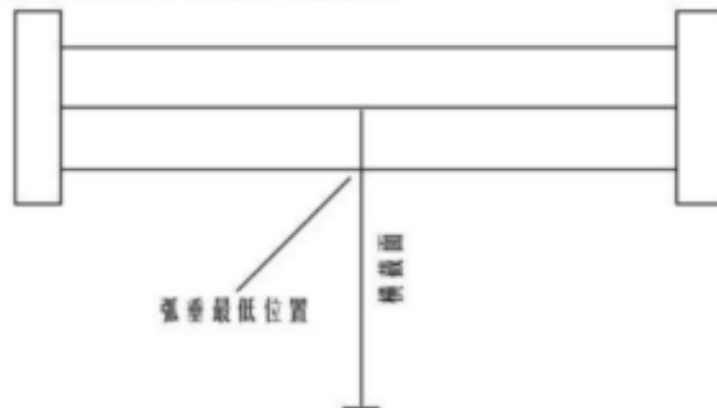


图 1 送电线路下方电场和磁场测量布点图

5.4.2 架空交流送电线路邻近建筑物工频电场和磁场测量

建筑物内场强测量：应在距离墙壁和其他固定物体 1.5 m 外的区域内测量建筑物内的工频电场和磁场，并测出最大值作为评价依据。如不能满足上述与墙面距离的要求，则取建筑物内空间平面中心作为测量点，但测点与周围固定物体（如墙壁）间的距离至少 1 m。

建筑物阳台上场强测量：当阳台的几何尺寸满足建筑物内场强测量布点要求时，阳台上的场强测量方法与建筑物内场强测量方法相同；若阳台的几何尺寸不满足建筑物内场强测量点布置要求，则应在阳台空间平面中心位置测量。

建筑物平台上场强测量：应在距离周围墙壁和其他固定物体（如护栏）1.5 m 外的区域内测量的工频电场和磁场，并测量最大值。若建筑物楼顶平台的几何尺寸不满足这个条件，则应在平台空间平面中心位置进行测量。

5.5 变电站工频电场和磁场测量

5.5.1 变电站内工频电场和磁场测量

变电站内工频电场和磁场测点应选择变电站巡视走道、控制楼以及其他电磁敏感位置。测量高压设备附近的工频电场时，在满足安全距离的前提下，测量探头应距离该设备外壳边界 2.5 m，并测量出高压设备附近场强最大值；测量高压设备附近的工频磁场时，在满足安全距离的前提下，测量探头距离设备外壳边界 1 m 即可。其他测量条件应满足 5.1 的要求。

5.5.2 变电站外工频电场和磁场的测量

变电站围墙外的工频电场和磁场的测量：工频电场和磁场测量点应选在无进出线或远离进出线（距离边导线地面投影不少于 20 m）的围墙外且距离围墙 5 m 的地方，围绕变电站，测量出围墙外 5 m 处工频电场强度和磁感应强度的最大值。

变电站围墙外工频电场和磁场衰减测量：工频电场衰减测量点以变电站围墙周围的电场测量最大值为起点，在垂直于围墙的方向上分布。工频磁场衰减测量点以变电站围墙周围的工频磁场测量最大值为起点，在垂直于围墙的方向上分布。在测量场强衰减时，相邻两测点间的距离一般为 2 m 或 5 m，但也可选其他的距离，所有这些参数均应记录在测量报告中。变电站围墙外工频电场和磁场测至围墙外 50 m 处即可。

5.5.3 变电站邻近建筑物工频电场和磁场测量

变电站邻近建筑物工频电场和磁场测量方法按照 5.4.2 进行。

5.6 畸变场的测量

由于畸变场测量的复杂性，采用一般的测量仪器测量，结果有较大的分散性，所以在畸变场中测量，应详细描述测量现场情况和探头的放置位置及方向，其测量读数仅作参考，不宜与非畸变场强相比较。

6 测量数据

在特定的时间、地点和气象条件下，若仪器读数是稳定的，测量读数为稳定时的仪器读数；若仪器读数是波动的，应每 1min 读一个数，取 5min 读数的平均值为测量读数。

除测量数据外，对于线路应记录导线排列情况、导线高度、相间距离、导线型号以及导线分裂数，线路电压、电流等线路参数；对于变电站应记录测量位置处的设备布置、设备名称以及母线电压和电流等。

除线路和变电站以上参数外，还应记录测量时间、测量地点、环境温度、湿度、仪器型号等。

附录 A
(规范性)
工频电场测量仪校准

A.1 校准装置描述

工频电场测量仪的校准需要一个足够大的均匀电场，理想的产生均匀电场装置的特性主要有：

- a) 装置的尺寸足够大，被校准探头不会对产生电场的电极表面上的电荷分布产生明显的干扰；
- b) 电场均匀区域足够大，被校准探头放置处场强值的不确定度减小到可接受的水平；
- c) 电场不因临近物体、地面或进行校准的操作人员而产生明显的畸变。

A.2 平行极板校准装置

只要两平行极板间的距离与极板的尺寸相比足够小，就可用平行极板产生校准电场测量探头的幅值和方向确定的均匀场强区域。均匀场强值 E_0 为 U/d ， U 是所加的电位差， d 是极板间距。图 A.1 为在极板表面和在半无限大平行极板中间电场标么值 E/E_0 的大小对从平行极板边缘算起的距离标么值 x/d 的函数。

表 A.1 给出了归一化电场的相应数值。对于有限尺寸的正方形极板，当四个边引起的边缘效应（场不均匀性）在极板中心处小于约 0.5% 时，可以进行不均匀性的叠加。这些结果在没有由于附近的接地物体而产生的畸变时是有效的，可用于设计有限尺寸的平行极板结构。还应考虑与探头尺寸的关系。

表 A.1 处于平行极板中间和极板表面的归一化电场值

平行极板中间		平行极板表面	
x/d	E/E_0	x/d	E/E_0
0.0698	0.837	0.0185	2.449
0.1621	0.894	0.0307	2.000
0.2965	0.949	0.0452	1.732
0.4177	0.975	0.0829	1.414
0.6821	0.995	0.0991	1.342
0.7934	0.997	0.1230	1.265
		0.1624	1.183
		0.2431	1.095
		0.4376	1.025
		0.6861	1.005
		0.7954	1.002

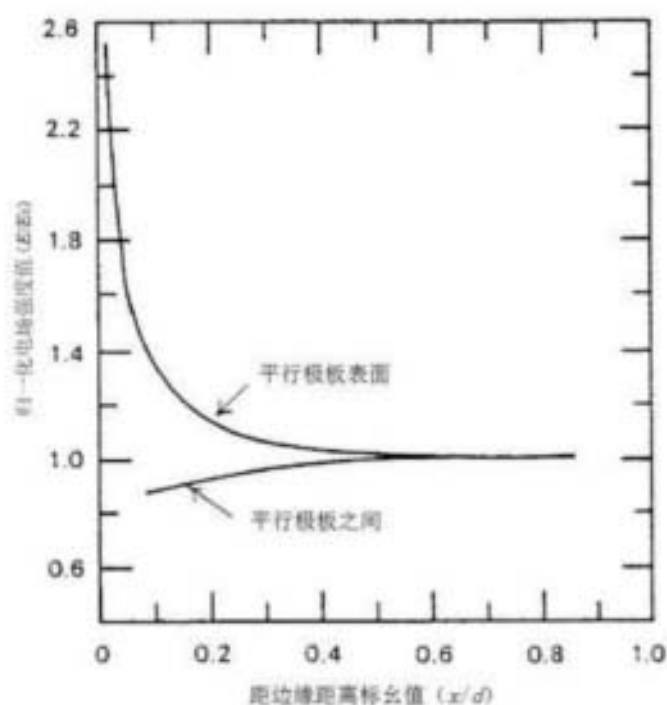


图 A.1 处于平行极板中间和平行极板表面的归一化电场值（标么值表示）

如果极板附近没有其他物体，四个边引起的场边缘效应小于 0.5% 的正方形极板可采用一个有限尺寸的平行极板结构，图 A.2 为一个 3 m×3 m，间距为 1 m 的电场探头校准装置示意图。

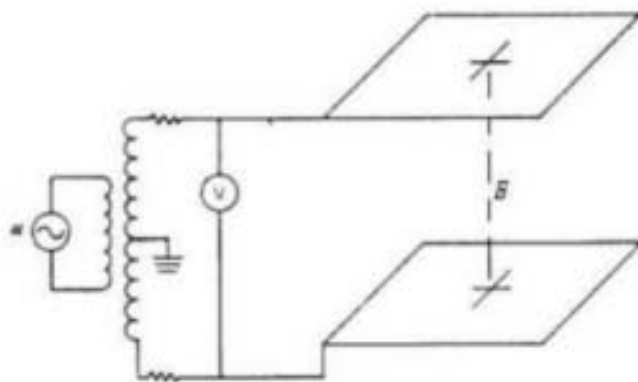


图 A.2 用于校准电场测量仪的平行极板

A.3 校准程序

校准时应将测量探头放在平行极板结构的中央，用来校准的电源电压几乎不含谐波含量（小于 1%），具体程序如下：

- 在场强仪的每个量程 33%~100% 范围内至少均匀地取三点，每一点对应一计算场强， $E=U/d$ ， U 是校准极板上的电位差， d 是校准极板的间距。高压测量的不确定度应不大于 0.5%。
- 改变场强仪的位置和方向，得到仪器的最大读数。
- 在 33%~100% 量程范围内测得的场强值偏差应在计算场强的 $\pm 5\%$ 以内，则认为仪器合格。
- 对于受湿度影响比较大的测量仪器，宜针对 60% 以上相对湿度对测量仪器进行校准。

附录 B
(规范性)
工频磁场测量仪校准

B.1 校准装置

一般将磁场测量探头放入一个基本均匀的幅值和方向确定的磁场中进行校准。磁场可以用载流的环形或正方形线圈组产生。一个矩形多匝线圈产生磁场的计算如下：

尺寸为 $2a \times 2b$ 矩形线圈产生的磁场 z 轴分量（见图 B.1）由公式 (B.1) 给出：

$$B_z = \frac{\mu_0}{4\pi} IN \sum_{\alpha=1}^4 \left[\frac{(-1)^\alpha d_\alpha}{r_\alpha [r_\alpha + (-1)^{\alpha+1} C_\alpha]} - \frac{C_\alpha}{r_\alpha [r_\alpha + d_\alpha]} \right] \dots\dots\dots (B.1)$$

$$C_1 = -C_4 = a + x \quad r_1 = \sqrt{(a+x)^2 + (b+y)^2 + z^2}$$

$$C_2 = -C_3 = a - x \quad r_2 = \sqrt{(a-x)^2 + (b+y)^2 + z^2}$$

$$d_1 = d_2 = b + y \quad r_3 = \sqrt{(a-x)^2 + (b-y)^2 + z^2}$$

$$d_3 = d_4 = y - b \quad r_4 = \sqrt{(a+x)^2 + (b-y)^2 + z^2}$$

式中：

I ——电流均方根值；

μ_0 ——空气的磁导率；

N ——线圈匝数。

坐标 (x, y, z) 如图 B.1 所示，载流线圈内部的导体假定是一个小截面，对于一个边长为 $2a$ 的正方形线圈，线圈中央的磁感应强度值为：

$$B_z(0,0,0) = \mu_0 IN \sqrt{2} / \pi a$$

公式 (B.1) 用来计算接近于线圈中央的磁感应强度值。

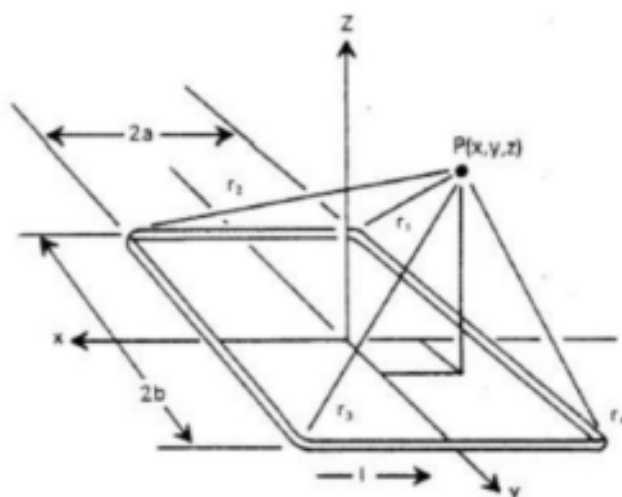


图 B.1 矩形线圈及坐标系

校准磁场测量仪的磁场均匀区域既可由单个多匝载流线圈产生，也可由几个多匝载流线圈按一定的结构组合产生，且线圈形状可以是矩形、正方形或圆环形，只要能产生足够的磁场均匀区域即可。

B.2 实际线圈场均匀域分析

如图 B.2 所示，磁场由 4 重平行的边长为 1.25 m 的正方形线圈产生， n_i 为各线圈匝数。

$n_1=69$ ， $n_2=31$ ， $n_3=30$ ， $n_4=71$ ，线圈之间的距离为：

$H_1=0.475$ m， $H_2=0.32$ m， $H_3=0.475$ m， $H_4=0.19$ m。线圈边长为： $2b=1.25$ m。

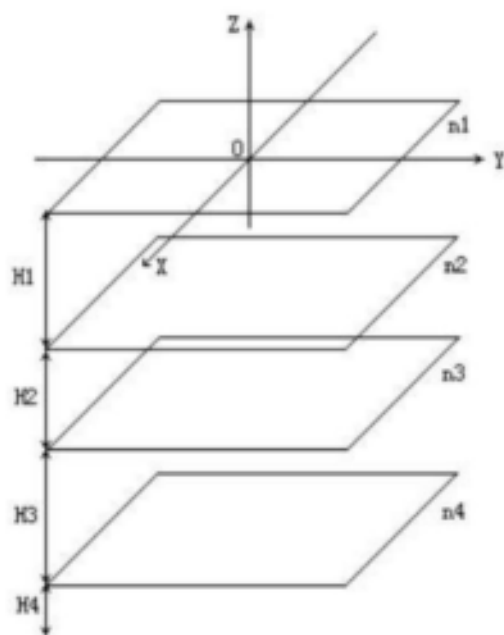


图 B.2 线圈排列举例

计算可得以线圈中央($z = -0.635$)为基准, 精度 0.95 下, 磁感应强度和电流的关系为 $B = 1.0162 \times 10^{-4} I$ 。

在精度 0.95 下, 线圈中央 1/4 平面磁场均匀分布区域如图 B.3 所示, 均匀区域的纵剖面如图 B.4 所示。

单位为米

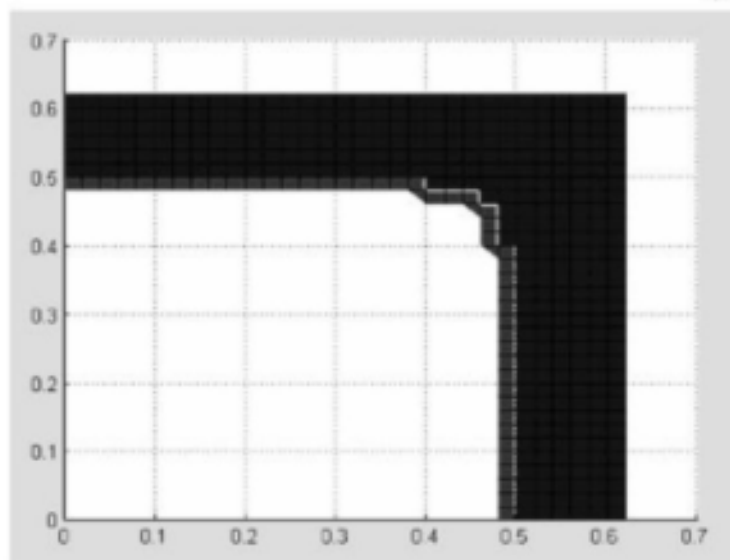


图 B.3 线圈中央平面均匀区域

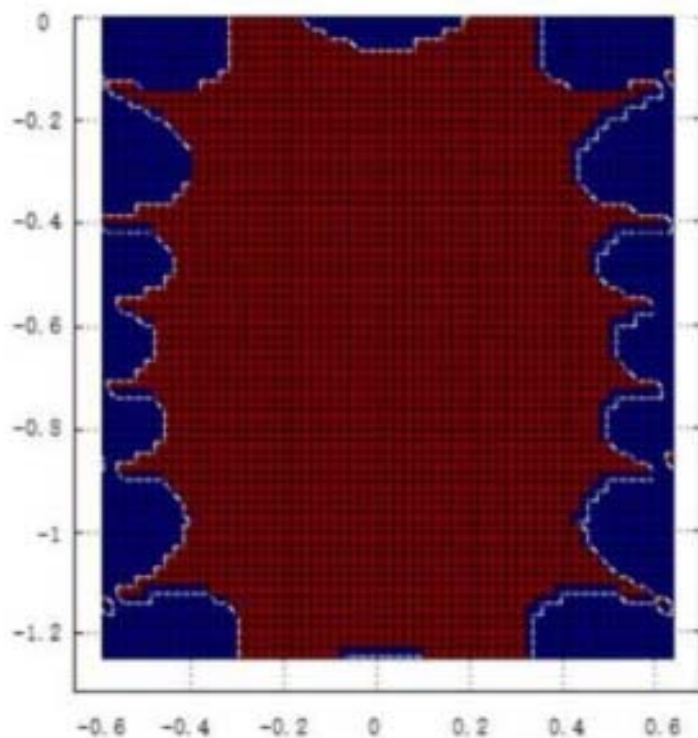


图 B.4 磁场均匀区域纵剖面图

B.3 校准程序

磁场测量仪的校准布置如图 B.5 所示。磁场探头应放在载流线圈产生的均匀磁场内，均匀磁场的区域应足够大，磁场探头放入其中时不会对均匀磁场产生大的影响。对于一个直径 10 cm 的磁场探头，线圈尺寸应至少是 1 m×1 m。

对三维磁场探头，应在每个方向上分别对其进行校准。

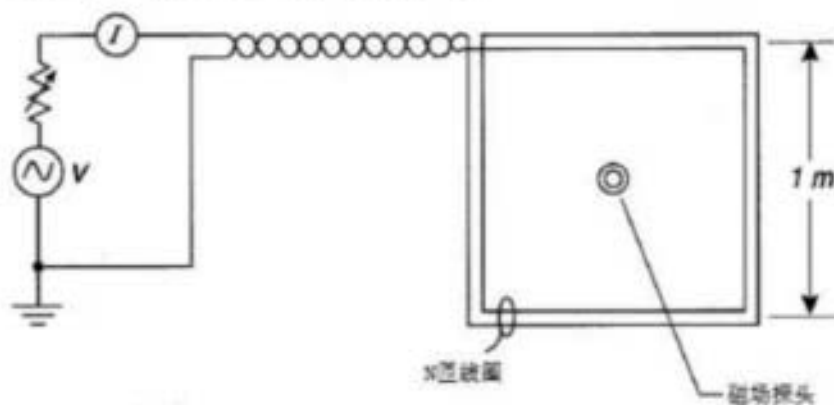


图 B.5 磁场测量仪校准布置图

校准磁场测量仪均匀域的磁感应场强水平应在 $B_z(0, 0, 0) \pm 10\%$ 内。

- a) 校准点选择。对模拟显示的磁场测量仪，在每个量程 30%~90% 的范围内至少选取三个校准点。对数字显示的磁场测量仪，在每个量程 10%~90% 的范围内至少选取四个校准点。对自动量程场强仪，至少选择三个代表性的校准点，这三个校准点要分布在所有量程的大部分区域。对场强仪最灵敏的量程，其中的一个校准点应是该量程最大值的 10%；对最不灵敏的量程，其中的一个校准点应是该量程最大值的 90%。

- b) 改变场强仪的位置和方向，得到仪器的最大读数。
- c) 各校准点的场强值偏差应在计算场强的 $\pm 5\%$ 以内。如果误差超过 10%，则仪器不符合要求。为减小对校准场的干扰，校准线圈应远离闭合的铁磁物体。

参 考 文 献

- [1] IEEE Std 644—2019 IEEE standard procedures for measurement of power frequency electric and magnetic fields from AC power lines
-