

本标准参照采用国际标准 IEC 833 (1987) 《工频电场测量》。

1 主题内容与适用范围

本标准规定了工频电场测量所使用的术语、测量仪器的基本工作原理、校准和校准检验的方法、电场强度测量程序以及辨认重要的测量误差源并给出允许的不确定度。

本标准适用于市场上已有的和(或)通用的场强仪对气体中(空间或地面)工频准均匀电场的电场强度的测量,也适用于按照本标准所描述的程序校正的其它场强仪。

2 术语

2.1 电场强度

当一导体带电时,导体周围受到影响,因此若一带电粒子被引入此空间,则在任意瞬间均经受到方向一定的力。即有一电场存在于此空间。在任意点的电场强度是矢量,它等于位于该点单位正电荷所受的力。在本标准中考虑了二种型式的电场,单相交流电场和三相交流电场。电场强度的大小以每米的伏特数(V/m)来表示。

2.2 单相交流电场

当一个单相电压源连接到一导电的边界面(例如电极)时,在受影响空间的任意点产生沿一固定轴振荡的电场矢量。

2.3 三相交流电场

当一个交流三相电压源分别各连接到一导电的边界面(例如电极)时,通常产生一个在空间旋转的电场矢量。该旋转矢量描绘一椭圆,它的长半轴代表电场强度最大值的大小和方向,其短半轴代表电场强度的最小值的大小和方向,且滞后于最大值四分之一周期。在导电界面上,旋转矢量为—振荡矢量,它的方向垂直于表面。

3 电场强度测量仪

3.1 概述

在本标准中考虑了三种类型的测量电场强度的仪器。它们是:

- a. 悬浮体型;
- b. 地参考型;
- c. 光电型。

一个电场强度仪一般由探头或传感器和由模拟或数字显示的信号处理电路组成的检测器以及由探头到检测器的信号传输通道(导线或光纤等)三部分组成。当进行电场强度测量时,观察者必须离探头足够远,以避免使探头处的电场有明显的畸变(6.2, 6.3, 6.4条)。探头的尺寸应使得引入探头进行测量时,产生电场的边界面(带电或接地表面)上的电荷分布没有明显的畸变(4.2, 6.2和6.3条)。当场强仪在均匀电场中校准过后(4.2条),被测电场不需要很均匀(附录A, A7)。场强仪测量振荡或旋转电场矢量在探头主轴方向上的投影,场强仪读数校准到假定为一纯正弦的电场强度的有效值,

能同时测量空间某一点电场强度的三个正交分量的悬浮体探头(三维探头)可用来测量最大场强。这种探头在本标准中不详细讨论,因为它们是被认为下面所讨论的悬浮体型场强仪的延伸。

3.2 悬浮体场强仪

悬浮体场强仪的工作原理是测量引入到被测电场的一个孤立导体的两部分之间的工频感应电流和感应电荷。它用于在地面以上的地方测量空间电场,并且不要求一个参考地电位,它通常做成携带式。悬浮体场强仪的指示器可以放在探头内构成探头的一个组成部分,探头和指示器用一个绝缘手柄或绝缘体引入电场。还有一种远距离显示电场强度的悬浮体场强仪,信号处理回路的一部分装在探头内,指示器的其余部分放在一个分开的壳体内并有模拟或数字显示。采用光导纤维把探头和显示单元连接起来。这种型式的探头也可用一绝缘手柄或绝缘体引入电场。悬浮体场强仪主要用电池供电。

悬浮体场强仪形状示于图1 a和图1 b。所有的探头可以考虑为偶极子,当球形探头(图1 a)位于一均匀场内,分开两半球的平面垂直于电场,在一个半球上的感应电荷有效值 Q 为:

$$Q = 3 \pi \epsilon_0 r^2 E \dots\dots\dots (1)$$

式中: ϵ_0 ——真空的介电常数;

r ——球半径;

E ——均匀电场强度,有效值。

在公式(1)中 Q 对时间的正弦关系未反映出来,这一做法将贯穿在整个标准中。公式(1)表示测量感应电荷可度量电场强度。同样,对此电荷采用电子线路微分得到的感应电流 I ,也可以用来测定场强:

$$I = 3 \pi \epsilon_0 \omega r^2 E \dots\dots\dots (2)$$

式中: ω ——角频率 ($2 \pi f$)。

对于对称性较差的平行板偶极子(图1 b),公式(1)和公式(2)分别以下面形式的公式来代替:

$$Q = K E \dots\dots\dots (3)$$

$$I = K \omega E \dots\dots\dots (4)$$

K 是与几何形状有关的一个系数,由校准来确定。平行板场强仪(图1 b)也是由测量在板上感应电荷或感应电流来确定场强的。

3.3 地参考场强仪

这种型式的仪器用来测量地面处的场强。探头可以由一块平板和一个安装在薄绝缘层上的接地电极组成,或者由一薄绝缘层分开的两平行板组成,如图1 c所示。后者的下板接地。这种情况下的传感电极用一屏蔽电缆与指示器相联。假定没有电场的边缘效应,在传感电极中的感应电荷由公式(5)给出:

$$Q = S \epsilon_0 E \dots\dots\dots (5)$$

式中: S ——传感平板的面积。

微分感应电荷得到关系:

$$I = S \omega \epsilon_0 E \dots\dots\dots (6)$$

因为探头是由平板组成的,它的使用局限于平坦的地面,对界面上电荷分布的畸变通常是不大的。当探头用于非均匀电场中时,应注意所测场强是在探头表面上的平均场强。地参考型场强仪可以由电池或交流电源来供电,但要求有一参考地电位。

必须注意在图1 c中所示探头也可用于带电的平表面,只要指示器的参考电位和带电表面一样。

在这种情况下,必须采取远距离观察模拟或数字显示的措施(例如使用光纤连接或者从一定距离以外观察显示)。

3.4 光电场强仪

本标准中考虑的光电场强仪利用介质晶体探头中的波克尔氏(Pockels)效应确定电场强度。和悬浮体场强仪相似,因为它们是携带式的,允许测量空间场强,且不要求有一参考地电位。介质探头和指示器用光缆连接。光缆将指示器中的光源的光送到探头并从探头传送到指示器。

图1d是探头简图,它使用波克尔氏效应,在一个完全定向的介质晶体中,电场引起光的双折射,它的大小正比于场强,通过晶体(该晶体有时被透光的电极覆盖)和有关光元件偏振光的强度被感应的双折射所调制。透射光 I_t 对入射光 I_i 的比例如下:

$$I_t/I_i = (1 + \sin M) / 2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中: $M = \frac{E}{F_0}$; $F_0 = \frac{\lambda}{2\pi n^3 c L}$;

λ ——光的波长;

n ——晶体的折射指数;

E ——晶体内部的场强;

c ——光电系数;

L ——晶体的厚度。

公式(7)中的关系是假定晶体本身不发光,光调制的幅值是晶体内部场强的度量,从而也是外部电场的间接度量。

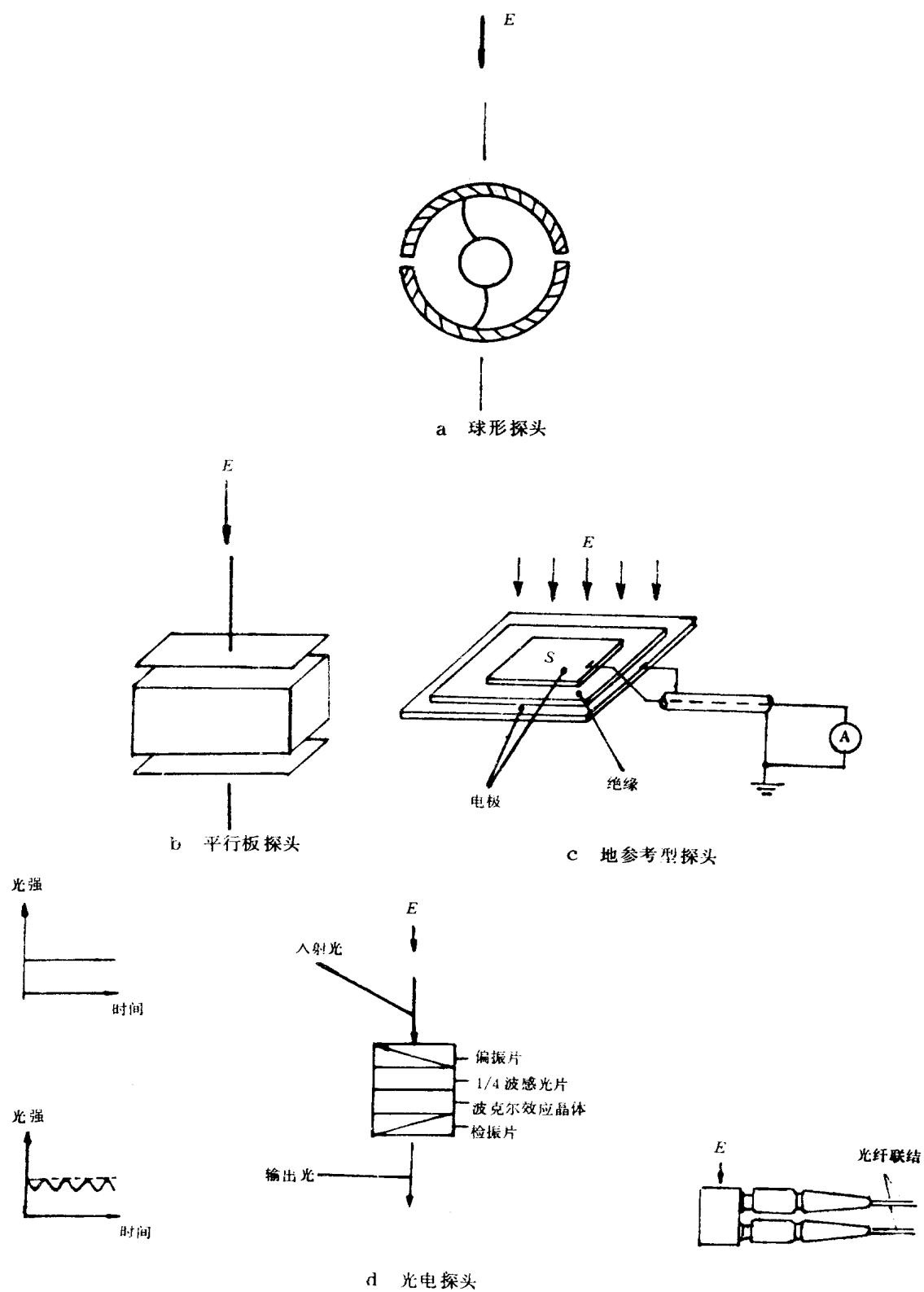


图 1 场强仪的主要形式

4 校准电场和校准的检验

4.1 概述

校准需要一足够大的已知场强的均匀电场，在什么气体中测量就在什么气体中校正。产生校准电场的装置的理想特性是：

- a. 装置的尺寸足够大，使探头不对产生电场的电极表面上的电荷分布产生明显的干扰；
- b. 均匀场区域足够大，以使在探头位置处场强值的不确定度减小到可接受的水平；
- c. 电场不因邻近物体、地面或进行校准的操作人员而产生明显的畸变。

一旦场强仪在已知场中进行了校准，还需要一个方便的对校准进行检验的方法。

下面叙述一个具有上面所述特性的校准电场装置和对校准过的场强仪的校准作检验的方法。

4.2 用平行板产生均匀校准电场

只要板的间距相对板的尺寸来说足够小，用平行板可以产生用于校准的大小和方向已知的均匀场区域。均匀场强值 E_0 为 U/d ， U 是所加的电位差， d 是板的间距。图 2 所示为在板表面和在半无限平行板中间电场标么值 E/E_0 的大小对从平板边缘算起的距离标么值 X/d 的函数。

图 2 中的曲线和在表 1 中相应的数值表明在离边缘一个板间距处，由于边缘效应而使均匀度偏离 0.1%，对于有限尺寸的正方形板，当一个边的边缘效应小于 0.1% 时，可以由叠加来估算四个边的边缘效应。有限尺寸的平行板间电场的数字计算认为对于从平行板边缘向内一个板间距处使用表 1 中的结果估计边缘场效应约有 0.04% 差异。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。若用中间抽头变压器对平行板加压，这种干扰可以减小。

表 1 处于平行板中间和板表面上的归一化的电场值

二 平 板 中 间		平 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	0.0829	1.414
0.2965	0.949	0.1230	1.265
0.4177	0.975	0.1624	1.183
0.6821	0.995	0.2431	1.095
0.7934	0.997	0.4376	1.025
1.0000	0.999	0.6861	1.005
		0.7954	1.002
		1.0000	1.001

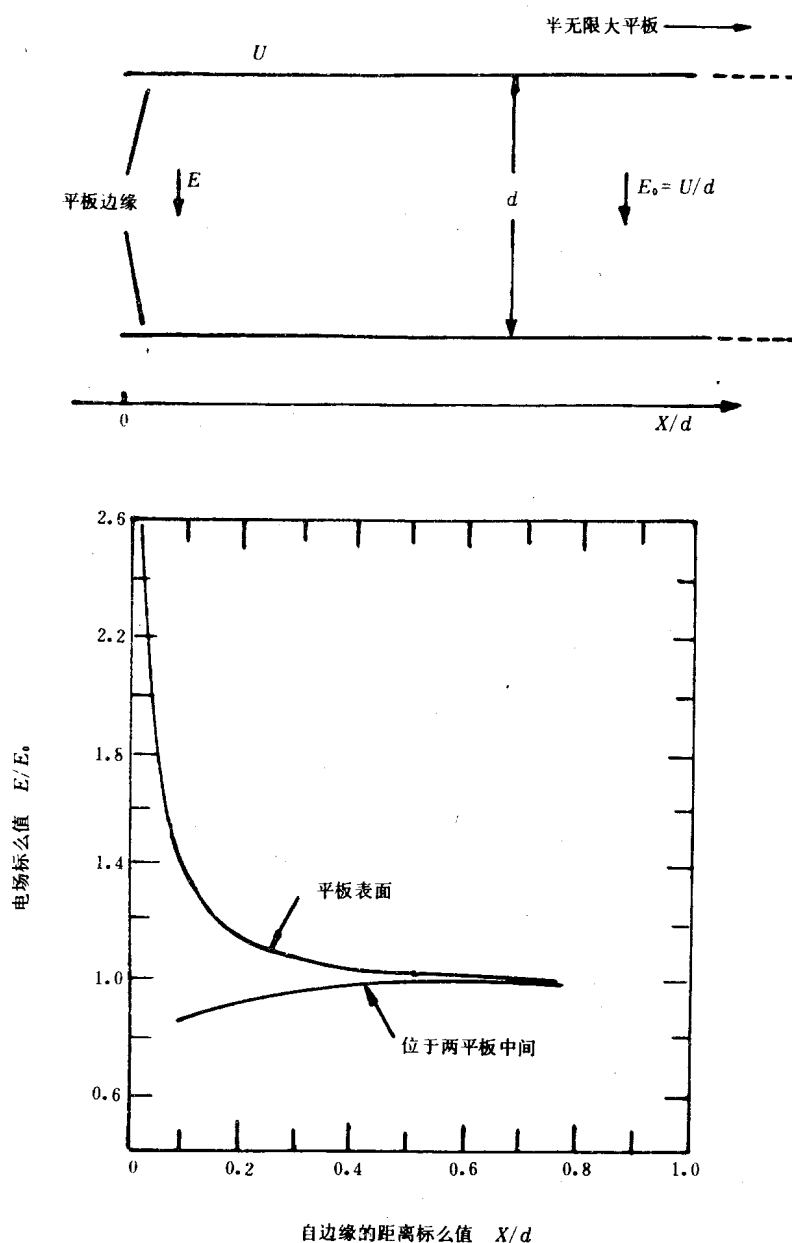


图2 半无限大平行板间的电场 (标么值表示)

图3所示为适合于悬浮体型场强仪校准用的一个例子装置。间距0.75 m的金属板或绷紧铺设在 $1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ 框架的金属网(孔尺寸约1 mm),用于构成一平行板结构。此板用一个在输出引出线中具有合适的限流电阻的中间抽头变压器加压。在校准过程中应遵守高压实验室安全规则。采用上述尺寸,在电极系统中央可建立一个均匀场值 U/d ,在1%以内变化的校准用均匀场强。悬浮体型场强仪在电场测量过程中通常用作支撑的绝缘棒引入平行板结构的中央。如果绝缘棒手柄或绝缘体(或光纤联接)的方向相对探头可以变动,则校准过程中其方向应和电场测量过程中一样。只要被校准的场强仪对角线的尺寸不大于0.23 m,校准的不确定度就小于1%,板边缘对附近地表面(墙、地等等)或物体之间的距离至少应为0.5 m。为校准更大或更小的场强仪,平行板的尺寸可以按比例放大或缩小,其它装置如能达到同样的不确定度(小于1%)也可以使用。例如强迫均压加护环的方法,用圆角电极等。

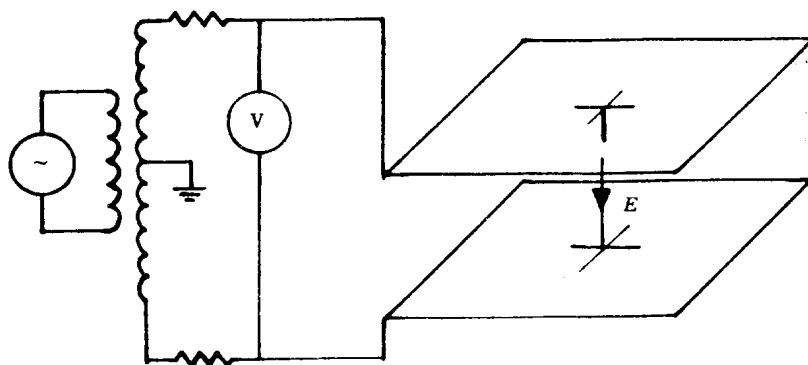


图3 用于校准电场强度仪的平行板

为校准一个地参考型场强仪，图3所示中央抽头的布置可改为底板接地，探头必须放在接地的底板上。因为加大了平板探头与顶板之间的距离，大大减小由于探头引起的顶板电荷分布的畸变，前面指出的平行板间距（0.75 m）也可以减小，从而扩大了近似均匀区域的横向范围（见图2和表1）。平行板间距应不小于1.5倍探头的侧面尺寸，并且探头的边缘距底板的任一边缘不小于2倍板间距。平行板与最近的地面（墙、地等等）之间的距离应大于2倍板间距，指示器应有屏蔽，并放在平行板的外面，采用以上的限制后，校准场的变化将在均匀场值 U/d 的0.5%以内。其它装置如能达到同样的不确定度（小于0.5%）也可以使用。

4.3 校准检验

下面介绍一种注入电流法：

如果一个悬浮体或地参考型场强仪感应电流对电场强度的比值 I/E 已经由校准确定了，而且这一确定是在表的校准之后立即进行的，那么注入电流回路可用于检验表的校准。

使用图4所示的回路向一个被检验的悬浮体型场强仪探头的传感板注入一已知电流，V是一精密电压表，Z是一已知阻抗，它至少比场强仪的输入阻抗值大两个数量级。于是可以用欧姆定律算出被注入的电流。虽然电阻和电容都可以作图4中所示的阻抗，但推荐使用电阻。因为电容器的导纳随频率增加。因而，与使用电阻相比（附录A，A1、A4），电压源中的谐波会带来更大的误差。

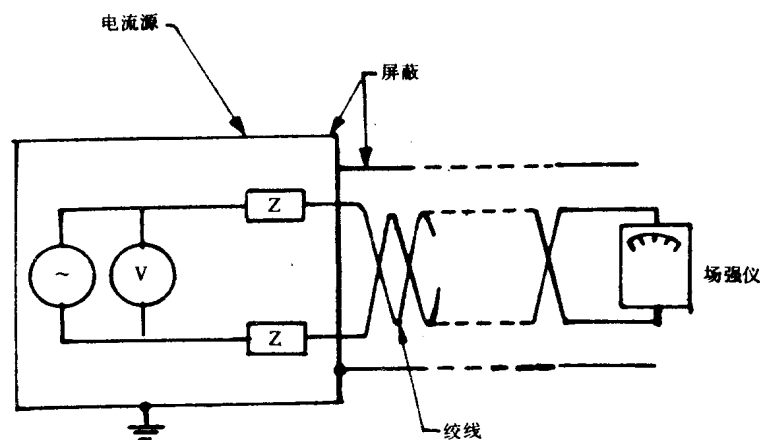


图4 电流注入校验

可用一个与图4相似的回路来检验一个地参考型场强仪的校准，只要将回路（图4）中地一边的阻抗拿掉，而将剩下的阻抗值加倍。

如果使用电流注入，应使用合适的屏蔽以消除从室内诸如内部照明、带电导线或附近的电力电源等周围干扰源的信号影响。如果由于场强仪的设计屏蔽不够好，由下面两种程序中的一种可以指示出周围干扰电场的大小。在第一种程序中，注入信号和干扰信号之间的相位关系，由于交换悬浮体场强仪传感板的引线或者颠倒地参考场强仪的电源线而变化。如果场强仪的一给定读数要求的注入电流对两种接线是一样的，干扰信号就可忽略；如果存在有小的差异，两个读数的平均值就是所要求的在没有干扰时的读数值。在第二种程序中，以短接线代替图4中的电压源，于是仪器将指示出干扰信号的大小。通常，干扰信号应被限制至小于被测场强最大值的3%。在要求更高精度的情况小于1%。为了达到上述水平可能需要改进电流注入引线的屏蔽或者是在距离干扰源更远的地方进行校准检验。

上述检验程序的有效性，依赖于假定在均匀电场中校准后，场强仪探头的几何形状没有改变。

如果光电型场强仪（3.4条）的透光电极可进行电气联接，且已在一均匀电场中校准过，则可以用一电压源检验这种场强仪的校准。回路可以与图4相似，但需去除阻抗。

其它检验法，如小平板法、自检法，只要达到检验精度要求也可以使用。

5 校准程序

场强仪应在一如同4.2条中所述用平行板产生的近似均匀电场中进行校准，如果场强仪读数与频率有关，用来校准的电源的频率应与被测场的频率相同。

校准就是取一合适的系数 $K = \text{场强}(E) / \text{格}$ ，即场强仪单位读数代表多少场强。

推荐程序如下：

- 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， $E_i = U_i / d$ 。 U_i 是校准板上的电位差， d 是校准板的间距。高压测量的不确定度应不大于0.5%。
- 旋转场强仪的手柄或绝缘体，得到仪器上的一最大读数，此方向应在垂直方向的 10° 以内。
- $K_i = E_i / \text{格}$ ， E_i 是计算场强，格为该计算场强下仪器上的最大读数。取几个测量点 K_i 的平均值即为场强仪的刻度系数 K 。
- 用系数 K 乘上仪器上的读数即得到测量值。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。如图5所示。如果误差超过5%，则认为仪器不符合要求。

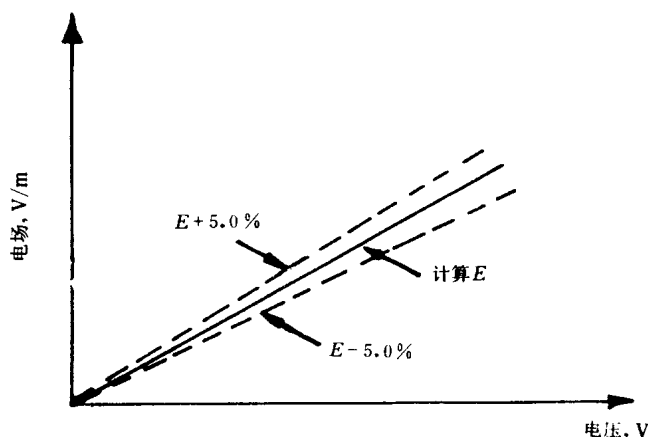


图5 校准的电场和偏差水平

可在校准的同时进行校准的检验，如果没有平行板装置，可以用校准检验方法代替均匀电场的校准。为了保证获得可靠的场强测量，在任一系列测量过程中至少每天进行一次校准检验。用来校准和校准检验的供电电源的电压应几乎没有（小于1%）谐波分量。不能得到时，应对由于存在谐波引起的测量不确定度进行定量，并记录下来。

6 场强测量

6.1 概述

为了对工频电场测量提供指导，下面举两个例子：高压输电线周围的场强测量和靠近一个球—板电极系统的场强测量。球—板电极情况下的测量程序可用于很多电场几何形状不明确的实际情况，例如：变电站的电场。选择这两个例子是因为在这两种情况下能引起测量误差的观察者的邻近效应有很大的不同。其它测量误差源在下面以及附录 A 中阐明。

6.2 三相输电线

通常，一个三相输电线的电场矢量在空间旋转描绘一椭圆（2.3条）。但是，在地平面上椭圆成—与地垂直的直线，在导线下方地面以上 0 ~ 2 m 之间电场垂直分量主要随水平位置而变化，它随高度的变化很小；在导线的正下方电场的水平分量很小，但随着对导线横向距离的增大而增大。采取一定预防措施，可以在这个区域的大部分点测量而不会由于探头和观察者的存在引起地平面和附近物体表面电荷分布畸变而产生很大误差。

当在地平面以上进行测量时，应指出高度，探头应放在测量垂直场强的方向。因为是用垂直场强来表示靠近地平面物体中感应效应的特性的，在离地面高度约 1.8 m 的地方，测量的最大场强对计算感应效应可能是重要的。试验报告中应指出观察者的探头的距离和观察者的高度。用悬浮体或光电型探头测量空间场强时，为使探头和地面间没有很大的相互作用，其离地高度（从探头中心算起）至少为探头最大对角线尺寸的两倍。探头和观察者之间的距离应足够大，以便将观察者的邻近效应减小到小于 3%，此距离与探头和观察者的高度有关。图 6 所示为：接地的观察者高度 1.8 m（站立，臂在两边），探头的高度为 1.4 m，1.6 m 和 1.8 m 时，一近似均匀场在探头处畸变，实线为近似均匀电场的理论值，在输电线下面得到的测量值由数据点示出。例如当观察者距离探头位置约 2 m，探头位置高于地面 1.4 m 时产生 3% 的邻近效应。实际场强畸变取决于观察者、探头与输电线三者组合的几何形状。

当探头位于高度更大处进行测量时，观察者邻近效应可能较小（图 6），由于有泄漏电阻和对地电容，通常观察者的电位近似于零。图 6 中所示邻近效应可以视作典型。观察者应站在电场强度最低的区域，以将探头处的电场畸变降到最小（试深性测量可能要求定出最低场强区域的位置）。

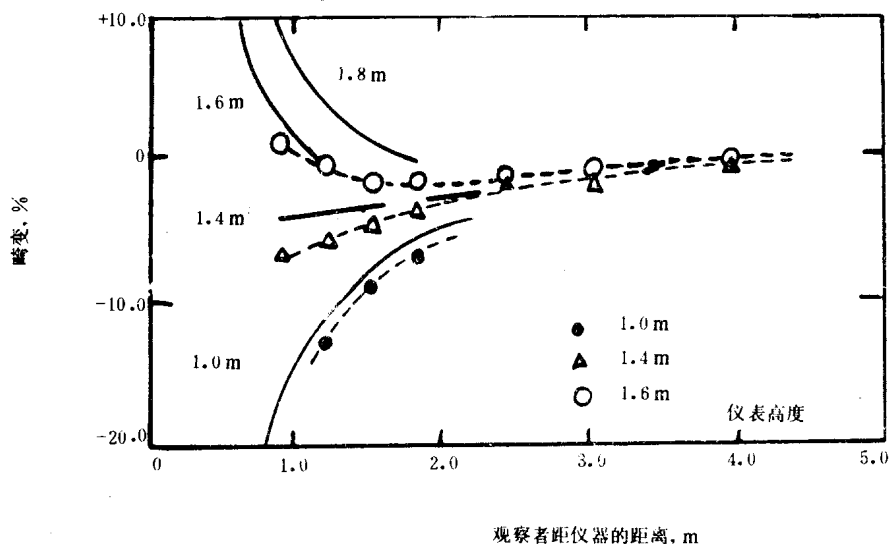


图 6 由于 1.8 m 的接地观察者引起的畸变与仪器和观察者距离、仪器在地面上的高度关系
——为理论值；---为在输电线下的测得值

悬浮体型场强仪探头设计中的不对称,可能使几何轴和电轴不一致。用这种仪器进行测量,不可利用图6中所示邻近效应。在这种情况下,在使用场强仪进行测量以前应估计观察者的邻近效应。6.4条给出了这一用途的一个程序。邻近效应超过3%时应作记录。

为更全面地描述所测点的场强,可在电场椭圆平面内最大和最小电场方向测量最大、最小值。水平输电线下面有一平的地表面的理想情况下,椭圆平面垂直于导线的方向。这近似于输电线邻近没有物体并且地平面平坦的情况。为在椭圆平面内进行测量,观察者与场强仪连线(往往与手柄重合)应平行于导线。将探头围绕和手柄重合的连线转动,可决定场强最大和最小分量以及它们的方向。

测量区域必须相当平坦,而且没有干扰物体和不能移开的物体,必须记录相对于导线的尺寸和位置,应在离物体几个不同处做附加测量。探头和固定的物体(包括草木)之间的距离应至少为探头最大对角线的两倍,以保证探头与物体表面电荷分布之间没有很大的相互作用(虽然探头将影响表面电荷分布,但是由于表面电荷分布畸变引起的探头处电场的畸变可忽略)。

当用远距离显示的探头测量输电线附近的场强时,在远离探头处监视检测信号,便可消除观察者的邻近效应。必须提醒,地参考型探头只能用于地平面的情况,并且附近不应有草等小植物。

6.3 球-板布置

确定球-板电极系统附近的电场强度时,因为与输电线的情况不同,电场探头和观察者会使产生电场的带电导体的表面电荷分布产生严重的畸变,也会使平面和附近物体的表面电荷分布畸变,故作为第2种测量的情况考虑。虽然电场比输电线附近的电场更不均匀,使用在均匀电场中校准过的探头进行测量仍可获得高精度(附录A, A7)。探头与电极之间以及观察者和电极之间的允许距离在一定程度上与球的尺寸和球与板电极之间的距离有关。进行测量时应该遵守在高电压设备邻近工作的安全守则。

使用地参考型探头测量地平面的场强很方便,因观察者可在远离电极的位置上监视指示器,且探头一般将不会使表面电荷分布产生严重畸变。

用一悬浮体或光电型探头进行测量时,离地高度(从探头中心算起)至少为探头最大对角线尺寸的两倍。用悬浮体型探头进行的试验表明,当球电极表面和探头中心之间的距离大于4倍探头最大对角线尺寸,且没有电晕时可以进行准确的场强测量。理论研究表明,电极和场强仪探头之间距离太小,能引起由于电场的不均匀而产生测量误差(附录A, A7)。

如同在地参考型探头的情况一样,当使用具有远距离显示的场强仪进行测量时,观察者的邻近效应可忽略。因观察者可在远离电极的地方监视指示器,当使用不带远距离显示的探头在球-板电极附近进行测量时,预测观察者的邻近效应不是很容易的。6.4条中描述了直接测量此效应的方法。

6.4 邻近效应的测定

为确定在空间一给定点观察者的邻近效应对测量的影响,可以将电场探头手柄支持在一垂直绝缘柱上来进行测定,如图7所示。试验表明,玻璃圆柱体的存在对邻近效应的测量没有很大的影响。邻近效应的测定,是研究观察者与探头之间距离改变时电场读数值的变化。仪器的数字或模拟显示的安排,使观察者在测量过程中可以安全地、清楚地进行观察。球-板电极系统的这一测量技术,也可以用于在电场的几何形状更复杂的实际情况的场强测量。进行场强测量时,观察者的邻近效应应保持小于3%。

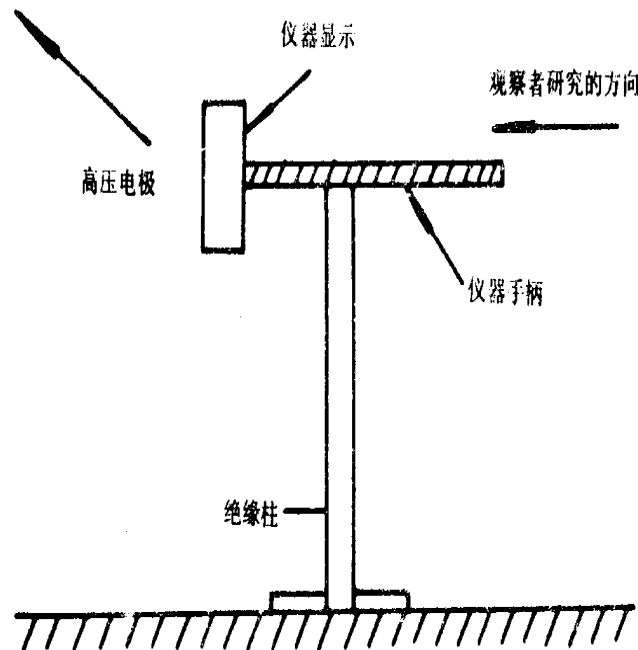


图 7 确定观察仪邻近效应的实验布置

7 场强测量的不确定度

工频电场强度的测量方法应该避免探头与产生电场的电极之间有可以检测到的相互作用。一般，观察者的邻近效应应限制到小于3%。在要求更高准确度的情况下应小于1%（图6和6.2、6.3、6.4条）。例如，在比较场强的测量值和计算值时，在场强的测量过程中，观察者应了解能引起的测量误差的各种因素，并确定它们的大小。如附录A中所述。由于校准和测量程序引起的不确定度（第5章、4.2、4.3、6.2、6.3和6.4条）以及列于附录A的因素引起的不确定度，应进行叠加（平方和的方根）。它可作为测量的总不确定度估计值记录下来。在任何情况下此不确定度不应超过±10%。

附录 A

影响场强测量准确度的因素

(参考件)

采用可买到的悬浮体场强仪进行实际户外测量时,测量不确定度典型值接近10%。若条件更好,这一数字还可以降低。最可能的主要误差源有难以确定场强仪的位置、读数误差、温度和湿度的影响、观察者的邻近效应、探头和产生电场电极的相互作用(6.2, 6.3, 6.4条)以及在这些情况下,沿支持手柄的泄漏电流。电场中具有较大的谐波成分时,测量感应电流的场强仪的指示中也会带入一些误差〔公式(2)〕,下面仅对上述几个因素的影响进行讨论。

A1 手柄泄漏

电场探头手柄的引入对测量有影响,特别是介质特性,可能由于表面污染或潮湿而劣变。由于手柄上表面污染而通过接地观察者的电泄漏,可能使场强仪的指示不可靠。在测量输电线电场过程中,为检验手柄泄漏,探头应定向垂直于电场椭圆平面的几何轴(6.2条)。理想状况下应测出零电场强度。在单相电场测量的情况下,可先做一些初步的测量,定出最大场强的方向,以检验手柄泄漏。然后应将仪器轴旋转90°进行测量。在这位置,任何偏离零点的偏差可能使手柄泄漏引起误差(见A6)。这里,假定在泄漏检验过程中探头的电轴和它的几何轴重合。应注意,具有不对称传感电极的探头电轴和几何轴可以不重合。

A2 湿度

尽管仪器的外壳是不透水的,在高湿度情况下将形成一表面凝露层,它可能在场强仪的两个传感电极之间产生很大的泄漏电流使内部的测量回路局部短路。因此,当相对湿度超过80%进行测量时,需要采取措施。场强仪的内部绝缘和手柄或绝缘体应保持清洁和干燥状态,以便减小泄漏电流以及由此而产生的测量误差。当场强仪是放在环境模拟室内,环境湿度对场强仪性能的影响可以用电流注入技术测定(4.3条)。在电流(电压)注入不变的情况下,监视读数随湿度的改变。

A3 温度

市场上供出售的模拟显示的悬浮体型场强仪的环境模拟室试验表明,当温度由0℃增加到40℃时,由于温度的影响对场强仪指示的作用可达到8%。如果校准时的温度与场强测量时的温度有很大的不同,该差值应记录下来,应确定场强仪对温度的依赖关系。必要时,应将场强测量进行温度校正。

与湿度的影响相似(A2),场强仪性能的温度效应可以采用电流注入技术和环境模拟室来测定。

光电型探头对场强的灵敏度也受温度变化的影响。用 $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ 晶体做波克尔氏效应试验表明,温度变化由0℃到40℃时,灵敏度改变小于4%。还必须指出,已知的其它介质的晶体比 $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ 具有更大的温度系数,因此应进行温度校正。

A4 谐波成分

如果场强仪指示器是测量电流〔公式(2)和(4)〕来测定场强,电场中具有谐波,会引起测量误差。因为谐波电流会随谐波次数而增加,误差的总和取决于指示器的回路设计,应注意测量电荷的场强仪指示器〔公式(1)和(2)〕不会过份加重谐波成分的影响。

如果可能的话,应监视电场的波形,以便估计谐波成分的大小。用示波器和在电场中联结到偶极子探头的电荷传感检测器可以做定性监视。用谐波分析仪代替示波器可测量各种谐波分量的百分数。输电线路电压的谐波成分可能很大(例如靠近大工业负荷处)。

A5 周围磁场

因为磁场与工频电场同时产生,场强仪应不受它们存在的影响。一个场强仪对于交流磁场的灵敏度可以这样决定:将电场探头和指示器放在一个磁通密度大小与测量中间可能遇到的情况可比拟的区域(例如对输电线 $<0.5 \times 10^{-4} \text{T}$ 、对室内场 $\approx 2 \times 10^{-7} \text{T}$),工频磁场可以用赫尔霍茨(Helmholtz)线圈或多圈框产生。

A6 仪器倾角

模拟量场强仪运动的机械不平衡,可能是测量误差的一个来源。如果运动的平衡不够好,使用场强仪时,方向应与校准时相同。在没有电场的情况下,旋转场强仪,观察指针的偏移,可估计这一误差源的大小。

对于一给定的感应电流,具有模拟显示的悬浮体场强仪的指示可能与仪表的倾角有关。即使仪表处于机械上平衡也是这样。如果场强仪在使用中的方向不同,这一效应可能成为测量误差的来源,可在没有电场的情况下,旋转场强仪的同时,使用电流注入技术来确定这一误差的大小。

从它的设计,具有对称传感电极的场强仪测量的是与它的主轴平行的电场分量(见图1 a、b、c),如果想要测量空间某一点的最大场强,仪器的定向必须使得在指示仪器上得到最大偏转,因此测出场强最大值并推论出其方向。

如果测量在电场椭圆平面中进行(6.2条),方向将为椭圆的长轴方向。根据椭圆平面中场强最小值的方向可定出短轴的方向。

用一具有方形或矩形传感电极(图1 b)的平行板探头测量场强。当电极与主轴不对称时,如果有一垂直于主轴的电场分量,得到的场强测量值可能随绕主轴的旋转角而改变。例如,垂直场强的测量,在具有很大的水平电场分量时,若探头绕垂直轴旋转,指示可能变化。测量的最大值和最小值之间的差值为水平电场强度的函数。可以给出对正交于被测电场值的分量所引起的误差。

具有对主轴圆柱形对称(盘式)的探头没有由于这一效应而产生的误差。

A7 电场的均匀性

电场中的不均匀性一般不会减小测量的精度,因为仪器是在一均匀电场中校准过的。考虑一位于一点电荷 $Q(\omega t)$ 产生的非均匀电场中的球偶极子中的感应电流来说明这一点。在没有邻近的接地体时电流是:

$$I = 3 \pi r^2 \omega \epsilon_0 E (2/3 a^2) [1 - (1 - a^2)(1 + a^2)^{-1/2}] \dots\dots\dots (A1)$$

或近似为:

$$I = 3 \pi r^2 \omega \epsilon_0 E [1 - (7/12) a^2 + (11/24) a^4 \dots] \dots\dots\dots (A2)$$

式中: $E = Q(\omega t) / 4 \pi \epsilon_0 D^2$;

$a = r/D$;

r —— 偶极子半径;

D —— 点电荷与偶极子中心距离。

上面假定了探头的电轴与场的方向成一直线。参见3.2条中球偶极子的公式可看出。如果忽略 r/D 项,感应电流与大小为 $Q/4 \pi \epsilon_0 D^2$ 的均匀电场的感应电流是一样的。于是当球偶极子位于均匀电场中时,两半球偶极子之间的感应电流几乎与位于偶极子中央那一点等值的高度发散电场中时的感应电流一样。例如,如果 $r/D \leq 0.1$,由均匀电场和由一点电荷产生的非均匀电场产生的感应电流的差值小于1%,而在没有偶极子的非均匀电场中,等于球的直径的距离内电场强度的改变为40%。也就是离点电荷从 $D-r$ 到 $D+r$;

$$\Delta E/E = 4r/D = 0.4$$

可以表明,即使当探头轴与电场的方向不成直线时,测量误差仍很小。因此,由于场的不均匀性引起的误差是很小的。理论分析表明,只要指示器是测量板上感应电荷或感应电流值,平行板探头(代替半球)也可以用来测量非均匀电场,而具有的误差相对比较小。为了与上面的公式比较,应注意市场上出售的矩形的场强仪的等值或有效半径,可以保守的估计为最大对角线尺寸的一半。

附加说明:

本标准由中华人民共和国机械电子工业部提出,西安高压电器研究所归口。

本标准由西安高压电器研究所负责起草。

本标准由西安高压电器研究所负责解释。