

中华人民共和国国家标准

GB/T 37543—2019

直流输电线路和换流站的合成场强与 离子流密度的测量方法

Measurement method for total electric field strength and ion current density of
DC transmission line and converter station

2019-06-04 发布

2020-01-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	I
1 范围	1
2 术语和定义	1
3 测量仪器	1
4 测量方法	2
5 测量记录与数据处理	4
附录 A (规范性附录) 场磨校准方法	5
附录 B (规范性附录) 离子流密度测量仪校准方法	9
参考文献	10



前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国电磁兼容标准化技术委员会(SAC/TC 246)提出并归口。

本标准起草单位：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、国家电网有限公司、江苏南瑞恒驰电气装备有限公司。

本标准主要起草人：邬雄、万保权、张建功、张广洲、刘皓、王劲、李妮、张业茂、王延召、路遥、于喆渊、张小武。

直流输电线路和换流站的合成场强与 离子流密度的测量方法

1 范围

本标准规定了直流输电线路和换流站的合成场强与离子流密度的测量仪器、测量方法、测量记录与数据处理。

本标准适用于正常运行条件下的直流输电线路和换流站的合成场强与离子流密度的测量。

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

2.1

合成场强 total electric field strength

带直流电导体上电荷产生的场和导体电晕引起的空间电荷产生的场合成后的电场强度。

注 1: 单位为 kV/m。

注 2: 在大地表面处的电场强度称为地面合成场强。

注 3: 改写 DL/T 1088—2008, 定义 3.1。

2.2

离子流 ion current

带直流电导体发生电晕放电时, 带电离子在电场力的作用下, 向附近空间运动, 形成的离子电流。

2.3

离子流密度 ion current density

单位面积的离子流。

注 1: 单位为 nA/m²。

注 2: 改写 DL/T 1088—2008, 定义 3.2。

2.4

场磨 field mill

由交替暴露于被测电场的导体构成的旋转式直流电场测量仪。

2.5

威尔逊板 Wilson plate

用于收集电荷的、周围带有保护带的金属导电板。

3 测量仪器

3.1 直流合成场强和离子流密度的测量应使用专门的测量仪器, 测量仪器宜具有自动记录功能。

3.2 直流合成场强测量仪应具有测量直流合成场强幅值和极性的功能。通常采用场磨来测量地面合成场强, 应使用 1 m×1 m 的铜或铝等导电良好的金属板作为接地参考平面, 并将其可靠接地。

3.3 离子流密度测量仪应具有测量离子流密度幅值和极性的功能。通常采用威尔逊板收集电荷电流来测量离子流密度, 采集板尺寸应为 1 m×1 m。采用威尔逊板测量离子流密度的示意图见图 1, 威尔

逊板的示意图见图 2,金属保护带应良好接地。

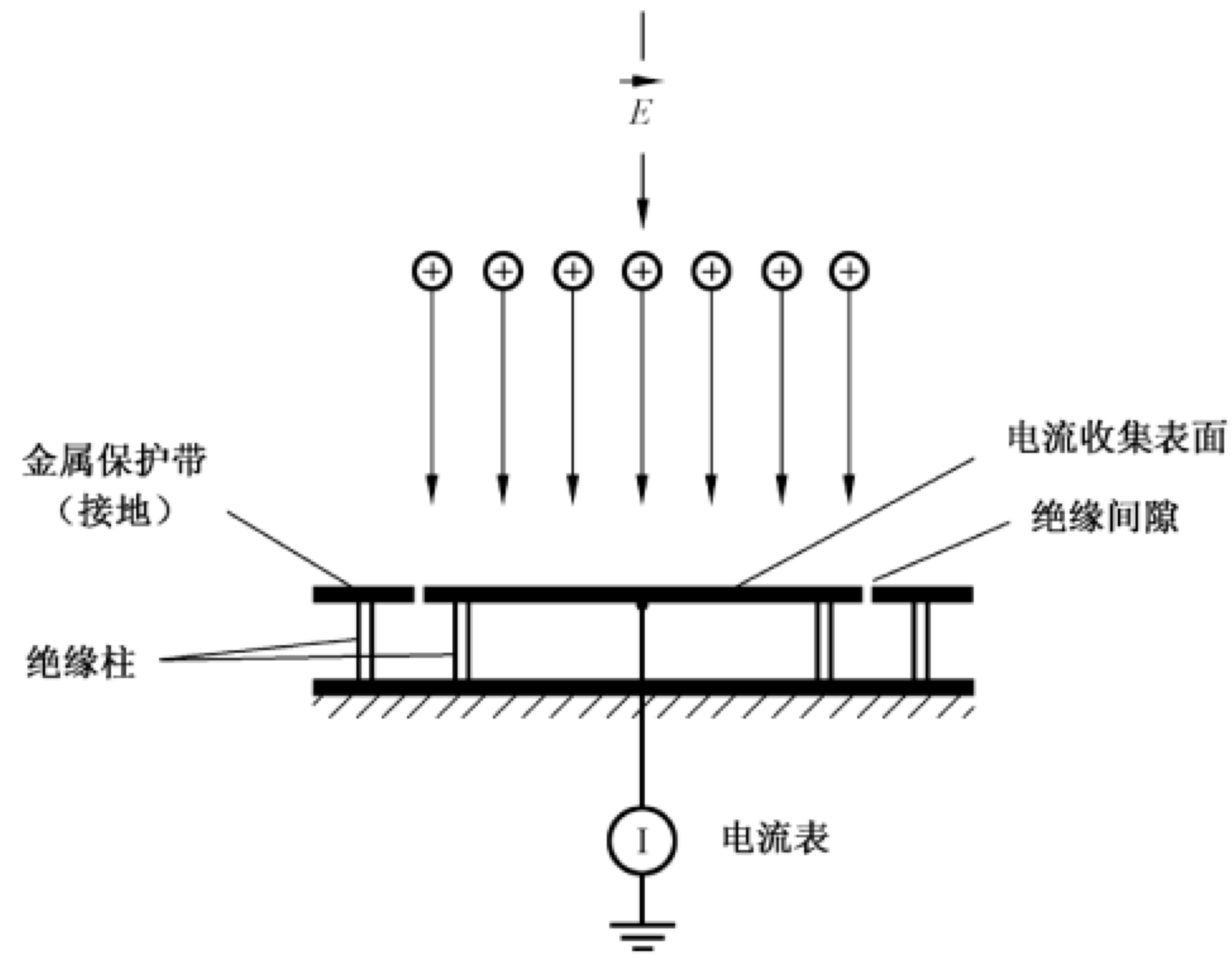


图 1 威尔逊板测量离子流的示意图

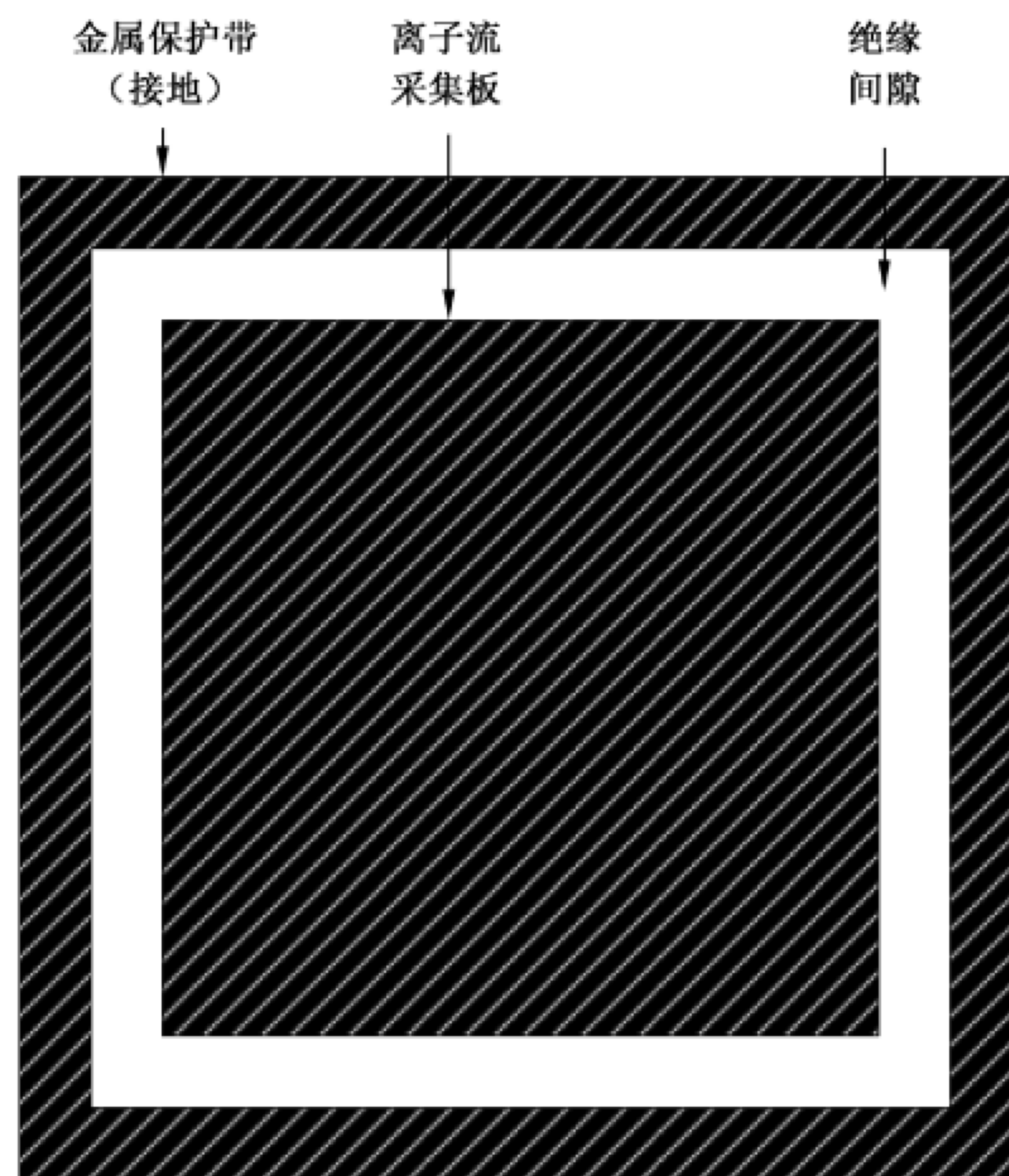


图 2 威尔逊板示意图

3.4 测量仪器应在校准有效期内。场磨和离子流密度测量仪校准方法见附录 A 和附录 B。

4 测量方法

4.1 一般要求

地面合成场强、离子流密度的测量,应在无雨、无雪、无雾、风速小于 2 m/s 的天气下进行,且相对湿度应在 80% 以下。测量合成场强和离子流密度时,测量仪器应直接放置在地面上(金属板与地面间的距离应小于 200 mm),接地板应良好接地,测量布置示意图见图 3。测量报告应清楚标明测量仪器放置的具体位置。

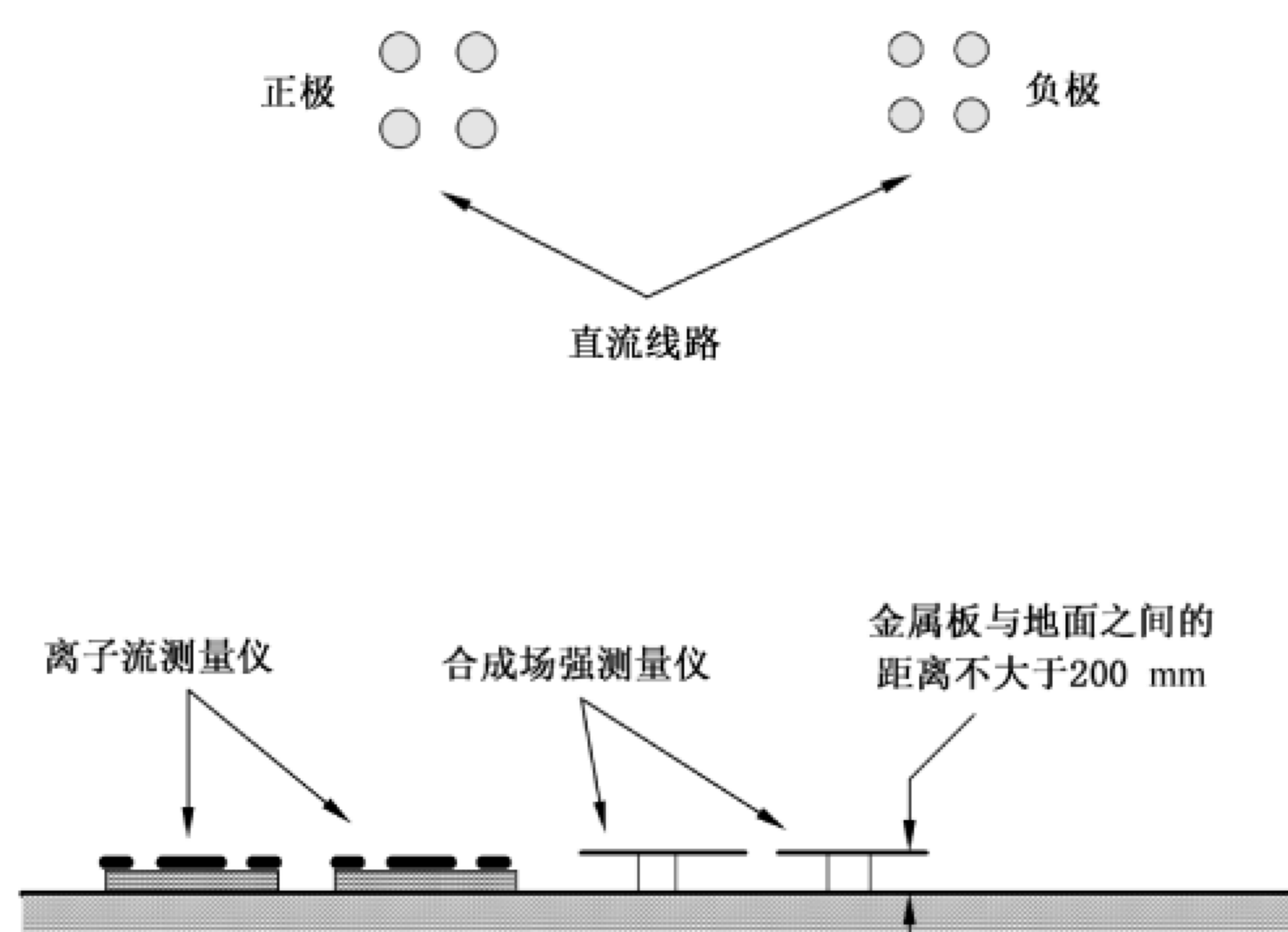


图3 合成场强和离子流密度测量示意图

测量仪器使用自动记录或人工记录方式,单次测量时间不少于 10 min。每个测量点每个测量时间段的测量数据不少于 100 个。

测量仪器应与测量人员保持足够远的距离(至少 2.5 m),避免在场磨处产生较大的电场畸变,或影响离子流的分布;与固定物体的距离应不小于 1 m,以减小固定物体对测量值的影响。

4.2 直流输电线路合成场强和离子流密度测量

4.2.1 输电线路下地面合成场强和离子流密度测量

测量直流输电线路地面合成场强和离子流密度时,测量应选在地势平坦、远离树木杂草、没有其他电力线路、油气管线、通信线路及广播线路的空地上。测量点应选择在极导线档距中央弧垂最低位置的横截面方向上,见图 4。在极导线地面投影附近,两相邻测量点间的距离应不大于 5 m。

输电线路下合成场强和离子流密度的测量,一般延伸至距离极导线对地投影外 50 m 处。

除了在线路横截面方向上测量外,也可选择线下其他位置进行测量,但测量条件应满足 4.1 的要求,同时也要详细记录测量点以及周围的环境情况。

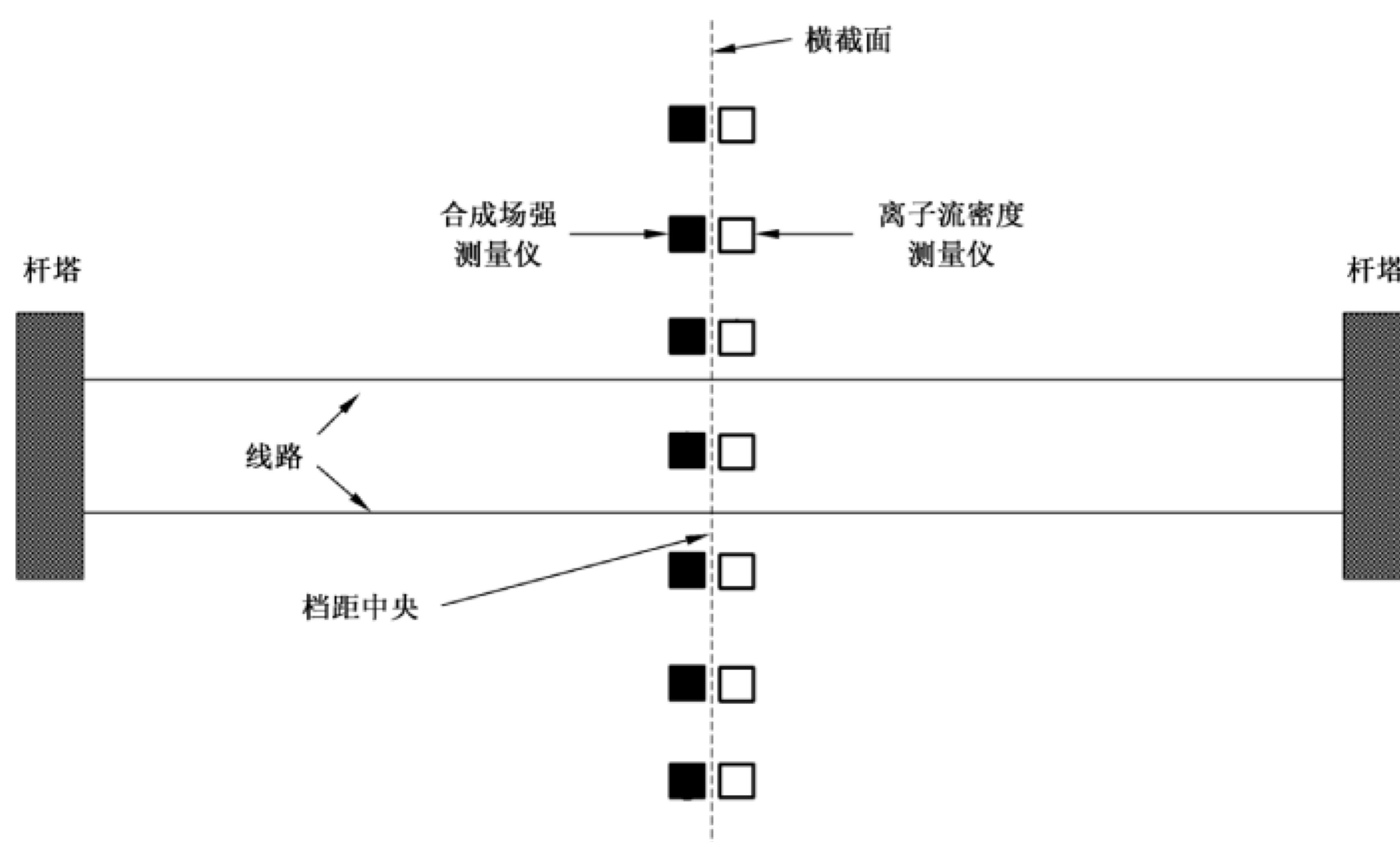


图4 输电线路下方合成场强和离子流密度测量布点图

4.2.2 输电线路邻近民房合成场强和离子流密度测量

邻近民房位置的地面合成场强和离子流密度的测量点应布置在靠近线路最近极导线侧、距离民房(围)墙外侧不小于1 m处。

4.3 换流站合成场强和离子流密度测量

4.3.1 换流站内合成场强和离子流密度测量

换流站内合成场强和离子流密度测量点应选择在换流站直流带电区域的巡视走道、直流母线下等位置。其他测量条件应满足4.1的要求。

4.3.2 换流站外合成场强和离子流密度测量

测量换流站围墙外的合成场强和离子流密度时,测量点应选择在无进出线或远离进出线的直流侧围墙外且距离围墙5 m的地方,测量合成场强和离子流密度的最大值。换流站围墙外合成场强和离子流密度测至围墙外50 m处即可。

测量换流站围墙外合成场强和离子流密度衰减特性时,测量点以距离换流站围墙外5 m处为起点,沿垂直于围墙的方向分布,相邻两测量点间的距离一般应不大于5 m,所有参数均应记录在测量报告中。

4.3.3 换流站附近民房合成场强和离子流密度测量

换流站附近民房合成场强和离子流密度的测量点选择和测量方法参照4.2.2进行。

5 测量记录与数据处理

5.1 测量记录

测量直流输电线路合成场强和离子流密度时,应记录测量点或测量路径所在处极导线的线路参数,如导线高度、极间距离、导线型式和运行电压、电流;测量档距两端的杆塔编号、同杆线路回路数、线路排列方式。测量换流站合成场强和离子流密度时,应记录测量点的具体位置、换流站的运行方式、换流阀功率、直流电压等。

同时,应记录测量布置位置及周围环境信息,测量时间段的风速、风向、温度、相对湿度、大气压等气象条件,以及每一次测量的开始时间与结束时间。

5.2 数据处理

连续测量地面合成场强、离子流密度时,考虑到测量数据的分散性,应用概率统计的方法进行数据处理。测量数据按测量点统计,每个测量点数据按绝对值大小排序,求出95%的数据不超过的值为最大值;90%不超过的值为90%值;80%不超过的值为80%值;50%不超过的值为50%值。以100个同一测量点数据为例,每个测量点数据按绝对值从小到大排序,则第95个、第90个、第80个和第50个测量数据作为该点95%、90%、80%、50%所对应的值,分别为该点的最大值、90%值、80%值和50%值。

地面合成场强测量数据按测量点统计,以最大值、80%值和50%值作为评价依据。

离子流密度测量数据按测量点统计,以90%值作为评价依据。

附 录 A
(规范性附录)
场磨校准方法

A.1 概述

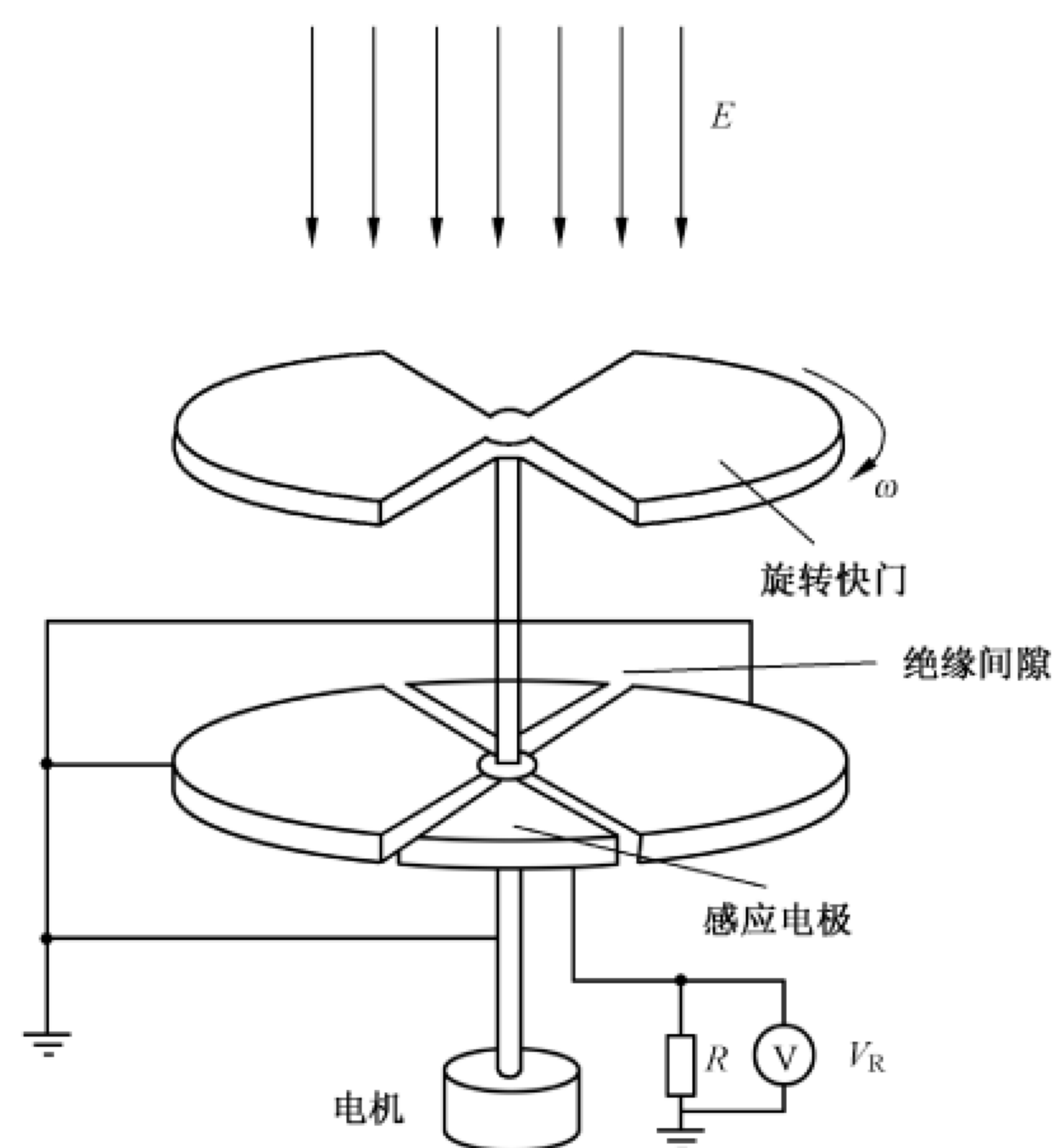
由于直流合成场不像交流电场那样可用极板耦合,所以直流场的测量需要特殊的传感器,使传感元件上接收到的电力线总数量周期性地变化,与之相应的感应电荷也随之周期性地变化。利用周期性变化的电荷所形成的电流即可测出相应的场强。该电场测量仪既要可准确地测量合成的直流电场,又要可把多余的吸附离子导入地面,不致影响读数。

双极性直流输电线路的地面合成场强不仅有大小变化,而且有极性的变化;由于空间离子的存在和漂移,地面合成场强的极性是变化的。因此,测量仪应具备测量场强幅值和极性的功能。

场强测量仪传感器通常有快门型、圆筒型和震板型,目前常用快门型传感器。本附录仅描述快门型传感器(即场磨)的校准方法。

A.2 场磨工作原理

场磨的结构如图 A.1 所示。其探头是由两个同轴安装的圆形扇片构成,上扇片随轴由电机驱动转动,下扇片固定不动。



说明:

E —— 电场强度;

R —— 电阻;

ω —— 角速度;

V_R —— 电阻 R 上的电压降。

图 A.1 场磨示意图

设场磨位于均匀恒定的电场 E 之中,电动机带动旋转快门(或称为动磨片)作定速旋转,下部的感应电极(或称为静磨片)暴露于电场 E 的面积呈周期性变化,当静磨片暴露于电场时,为了维持其地面

电位,其上面会积聚相应的电荷,当电场 E 指向地面时静磨片上积聚的是负电荷,当电场 E 指向上空时静磨片上积聚的是正电荷。当静磨片被动片遮蔽时,其上的电荷会流散于地中。电荷的积聚与流散都是通过电阻 R 进行的,通过测量 R 上的压降即可测得其所在位置的电场强度。

积聚的电荷量由式(A.1)确定:

$$q_s(t) = \epsilon_0 EA(t) \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

$q_s(t)$ ——静磨片上随时间而变化的电荷量,单位为库仑(C);

ϵ_0 ——真空介电系数, $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}$,单位为法每米(F/m);

E ——所测点的电场强度,单位为伏每米(V/m);

$A(t)$ ——静磨片暴露于电场下随时间而变化的面积,单位为平方米(m²)。

与 $q_s(t)$ 相应的电流由式(A.2)确定:

$$i_s(t) = \frac{dq_s(t)}{dt} = \epsilon_0 E \frac{d}{dt} A(t) \dots\dots\dots (A.2)$$

电阻 R 上的压降为:

$$V_R = i_s(t)R = \epsilon_0 ER \frac{d}{dt} A(t) \dots\dots\dots (A.3)$$

式(A.3)即为设计场磨的基本依据。

A.3 校准

A.3.1 合成场校准方法

场磨是测量直流合成场的。除了直流电场外,还存在空间电荷,所以为校准场磨,不但要有直流电场源,而且还要有相应的空间电荷发生装置。考虑到直流输电工程现场实际存在离子流影响,宜采用离子场校准方法对场磨进行校准。

校准场磨所需的电荷是由电荷源提供的,其布置方式如图 A.2 所示,在电压($V_{CO} - V_A$)作用下,电极 4 的细金属导线上产生电晕。电极 2、3、5 是由金属网构成的电极,电晕电荷除一部分被电极 3 和 5 吸收之外,向上逸至上空,向下则进入电极 2、3 之间的空间,其中一部分被电极 2 吸收之外,其余部分则进入电极 1、2 之间的空间,为校准区提供电荷。

建立可计算电场和空间电荷的校准装置,将被校场磨的读数与计算值相比较,对场磨进行校准。

校准时场磨的上表面应与电极 1 的表面取平且紧密接触。

离子流场的场域充满了空间电荷,其数学描述为一维泊松方程(A.4):

$$\nabla \cdot E = \rho/\epsilon_0 \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

E ——电场强度,单位为伏每米(V/m);

ρ ——空间电荷密度,单位为库仑每米(C/m);

ϵ_0 ——真空介电常数,单位为法每米(F/m)。

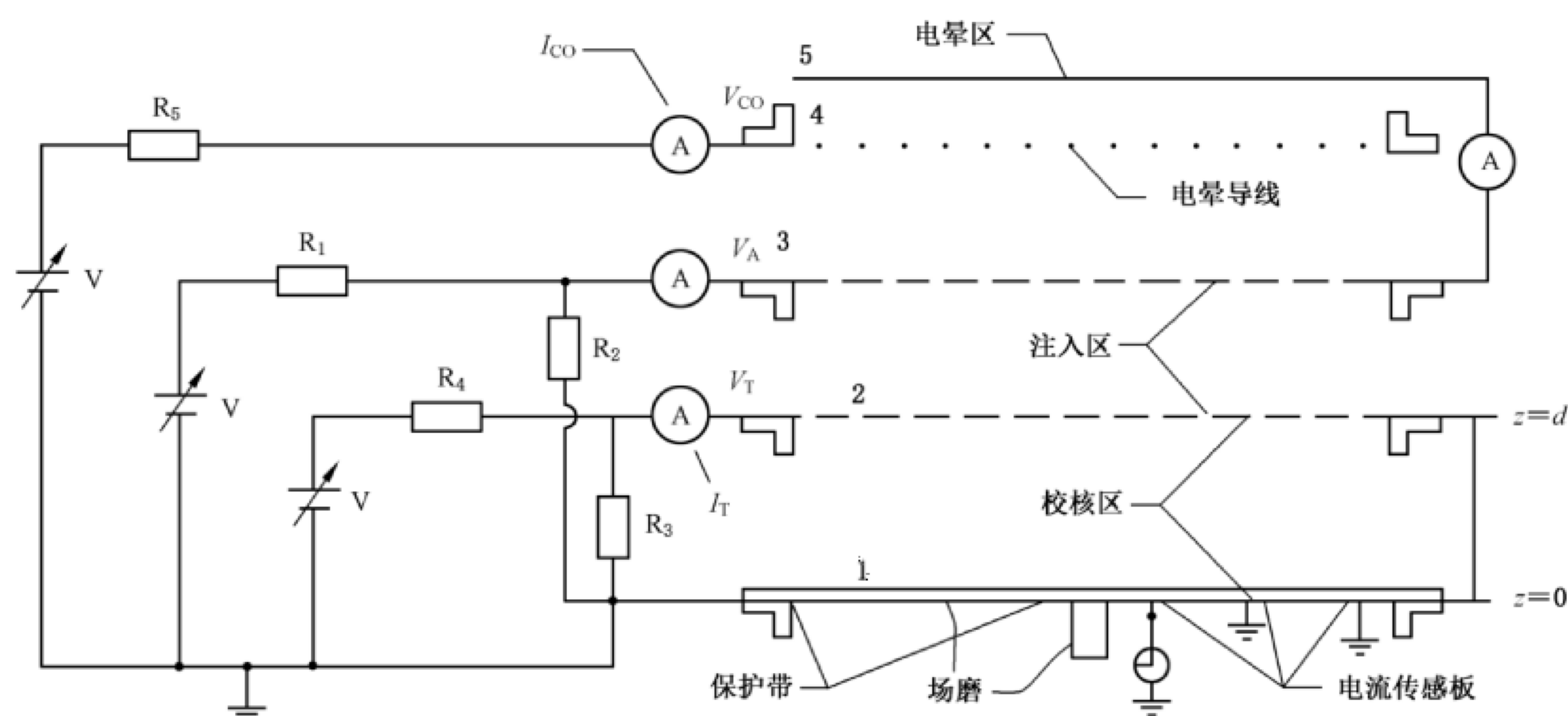
在电场力作用下,这些空间电荷以速度 $\gamma = KE$ 迁移,形成离子流,其密度为式(A.5):

$$J = \rho(KE) \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

J ——离子流密度,单位为安每平方米(A/m²);

K ——离子迁移率,单位为平方米每伏秒[m²/(V·s)]。



说明:

- V —— 可调高压实场方源;
- R₁、R₂、R₃、R₄、R₅ —— 方阻;
- I_{co}、I_T —— 方场;
- d —— 方极 1 线方极 2 之间测距合。
- 1、2、3、4、5 —— 方极;
- V_{co}、V_A、V_T —— 方压;
- z —— 线方极 1 之间测距合;

图 A.2 场磨校准装置示意图

当实场方晕达到稳流后,合成场的可假设为线时间变输无关测稳态的,方场连续电程为式(A.6):

$$\nabla \cdot J = 0 \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

在无旋的布,可用一个子输函路表征它测特站,因此引入空间方发函路密式(A.7):

$$E = -\nabla\varphi \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

式(A.4)至式(A.7)是描述实场合成场的测基离电程。

平行板之间方的应满足式(A.4)至式(A.7),对一维空间密式(A.8):

$$\frac{dE}{dz} = \frac{J}{\epsilon_0 K E} \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

解此差分电程,可得式(A.9):

$$E = \left(E_0^2 + \frac{2Jz}{K\epsilon_0} \right)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

其布,E₀是顶板换测方的施与,即z=d换,在平面z=d直z=0换,方发分别为V_T直0。根和式(A.7)直式(A.9),可得度E₀、K、J三者之间关系式(A.10):

$$\frac{3JV_T}{K\epsilon_0} = \left(E_0^2 + \frac{2Jz}{K\epsilon_0} \right)^{3/2} - E_0^3 \quad \dots\dots\dots (A.10)$$

当平行板方极区域内测方场强与达到饱直值时,E₀=0,因此,量式(A.9)得到式(A.11):

$$E = \left(\frac{2Jz}{K\epsilon_0} \right)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (A.11)$$

以及量式(A.10)得到式(A.12):

$$K = \frac{8}{9} \cdot \frac{J_s}{\epsilon_0} \cdot \frac{d^3}{V_T^2} \quad \dots\dots\dots (A.12)$$

式布:

J_s —— 方场强与饱直值,法发为安每平电米(A/m²)。

式(A.12)布测K代入到式(A.11)布,可得到下极板测的施式(A.13):

$$E(z = d) = \frac{3V_T}{2d} \dots\dots\dots (A.13)$$

由式(A.12)可知,用试验方法测出 J_s 和 V_T ,即可求得离子迁移率 K 。当 K 确定后,则可由式(A.10)求得在电压 V_T 作用下任意电流密度 J 对应的 E_0 值,然后再由式(A.9)可求得在电压 V_T 作用时,任意电流密度 J 对应的场强 E 值,从而可实现对场磨的标定。

A.3.2 静电场校准方法

两块无穷大平行的平板之间的电场,就是可精确计算出来的均匀场源。校准时,将场磨置于底板下方,场磨的上表面与底板下表面取平且紧密接触。

实验表明,在距离边缘大于板间距离的地方就可看作均匀场了。校准点与平板边缘的距离 x 应大于或等于两平板之间的距离 d ,如图 A.3 所示。

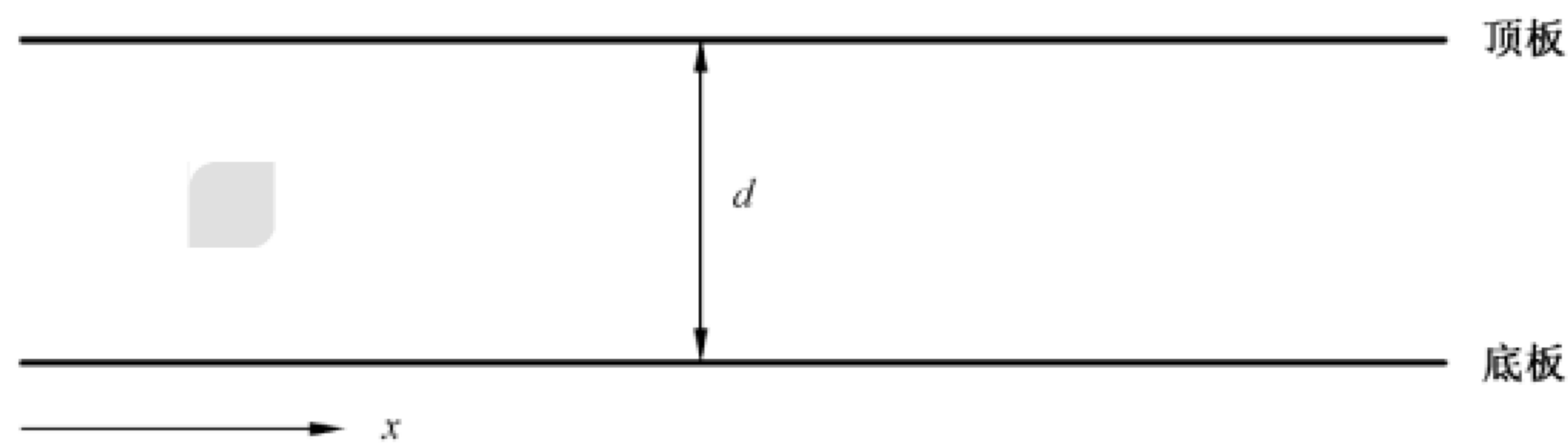


图 A.3 产生均匀电场的平板电极

两平板电极之间施加电压 U ,比较场磨的读数与 U/d 计算值,从而对场磨进行校准。

此外,场磨的动磨片并不是将其所在的圆片面全部填满,其中含有空档部分,这也会影响其上空电场的均匀性。实验表明,这一影响在其上约 4 倍场磨半径的地方即可认为已不存在了,即图 A.3 中两板之间的距离 d 应等于或大于 4 倍场磨的半径。

平板具有足够的尺寸,应保证不会发生电晕而导致平板间产生离子。

附录 B
(规范性附录)
离子流密度测量仪校准方法

B.1 离子流密度测量仪工作原理

离子流密度可通过测量对地绝缘的威尔逊板截获的电流计算得出。一般采用 1 m×1 m 的采集板进行测量。一种方法是将采集板连接一个可测微弱电流的电流表接地,直接测量电流;另一种方法是将采集板与地间并联一个电阻,通过测量该电阻上的压降来得到流过的电流。

测量仪器可人工读取数据,也可用多通道自动测量系统进行测量。

B.2 校准

根据上述测量原理,可通过注入小电流的方法校准离子流密度测量仪。如图 B.1 所示。当已知直流电压 U 和电阻 R (R 应大大超过测量仪的输入阻抗)时,离子流密度测量仪的电流测量回路读数应符合式(B.1):

$$I = U/R \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

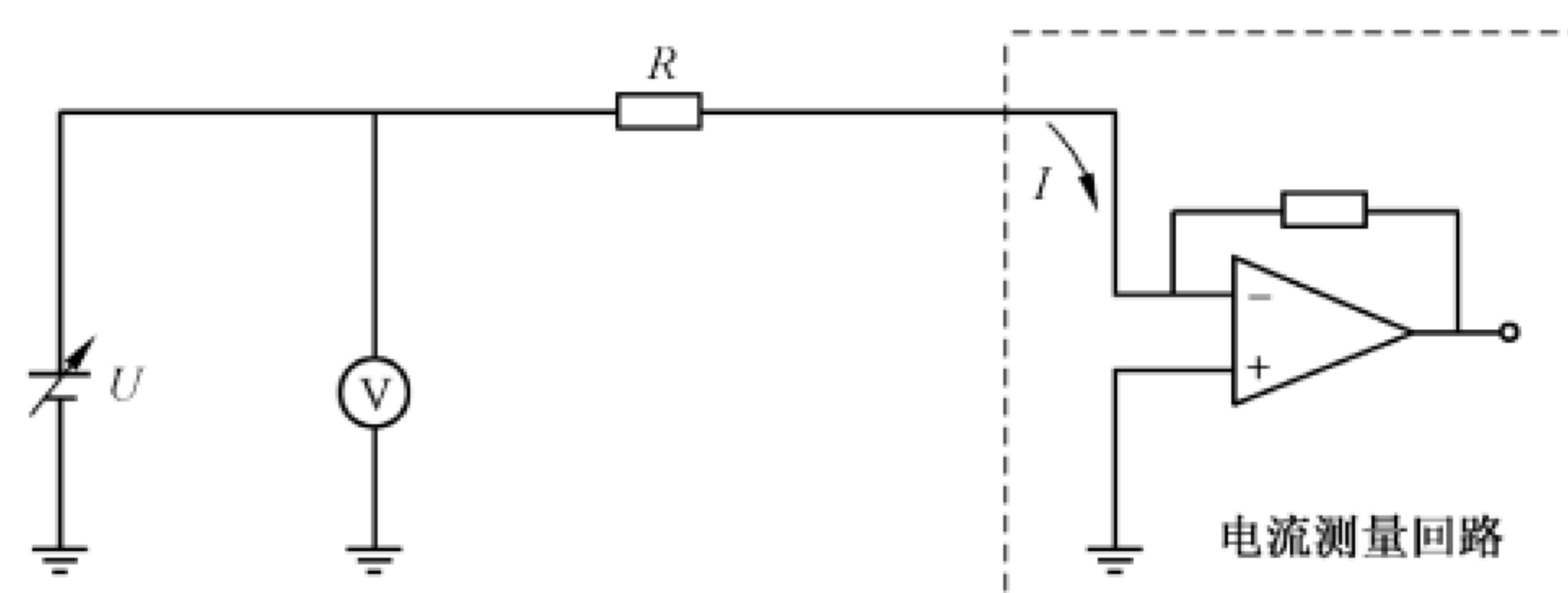
式中:

I —— 电流,单位为安(A);

U —— 电压,单位为伏(V);

R —— 电阻,单位为欧(Ω)。

若电流测量回路的读数确实符合式(B.1),表明离子流密度测量仪已校好。



说明:

U —— 直流电压;

R —— 电阻;

I —— 电流。

图 B.1 电流注入校准离子流密度测量仪

直 流 输 电

- [1] DL/T 1088—2008 ±800 kV 特高压直流线路电磁环境参数限值
 - [2] DL/T 1089—2008 直流换流站与线路合成场强、离子流密度测量方法
 - [3] IEEE Std 1227—1990 IEEE guide for the measurement of DC electric-field strength and ion related quantities
-