

驻极体与驻极体话筒

吴宗汉 王 丽 李 军 编著

● 东南大学出版社

驻极体与驻极体话筒

吴宗汉 王丽 李军 编

东南大学出版社
· 南京 ·

内 容 提 要

本书介绍驻极体与驻极体话筒的相关知识,共4章,内容包括驻极体的概念、驻极体表面电荷密度和寿命的测量、驻极体话筒、驻极体话筒的机电耦合设计。可供相关专业学生、工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

驻极体与驻极体话筒/吴宗汉主编. —南京:东南大学出版社,2004.12

ISBN 7-81089-776-4

I. 驻... II. 吴... III. 驻极体—基本知识
IV. TM278

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 122010 号

驻极体与驻极体话筒

出版发行 东南大学出版社
社 址 南京市四牌楼2号(邮编:210096)
出 版 人 宋增民
经 销 江苏省新华书店
印 刷 江苏地质测绘院印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/32
印 张 5
字 数 134 千字
版 次 2004 年 12 月第 1 版第 1 次印刷
定 价 10.00 元

* 东大版图书若有印装质量问题,请直接向发行科调换,电话:(025)83795801。

前 言

本书原系应深圳豪恩电声科技有限公司之约,为公司培训人员所编的讲稿,其内容多采用东南大学物理系相关人员多年前所编写的油印刻本。在王丽董事长大力支持下,印成讲稿后得到有关方面的好评,但也指出内容上反映新技术、新进展不够,为此,在王丽董事长、李军总经理的通力合作下,在豪恩公司研发部陈为波经理、胡宗保经理、朱纪文工程师、温志锋工程师、杨震工程师、戴莉、廖华娟等人和已在美国攻读博士学位的东南大学物理系毕业生赵波的协助下,由吴宗汉教授执笔写成了本书。

由于我们水平所限,错误不当之处在所难免,恳请读者不吝赐教。

本书出版过程中得到东南大学出版社社长宋增民教授的大力支持,在此一并致谢。

编 者

2004 年 3 月于深圳

目 录

1	驻极体的概念	(1)
1.1	薄膜驻极体的制备方法	(5)
1.1.1	电晕极化法	(7)
1.1.2	界面夹层极化法	(10)
1.2	驻极体材料	(11)
1.3	SiO ₂ 薄膜驻极体	(13)
1.4	驻极体唯象理论	(19)
2	驻极体表面电荷密度和寿命的测量	(22)
2.1	驻极体表面电荷密度的测量	(22)
2.2	驻极体寿命的测量	(24)
2.3	驻极体的热刺激电流(去极化电流)	(27)
2.3.1	偶极子模型	(28)
2.3.2	电介质模型	(31)
2.3.3	捕获电子模型	(33)
2.3.4	从陷阱中释放电荷缓慢重陷模型	(34)
3	驻极体话筒	(45)
3.1	发展概况	(45)
3.2	驻极体话筒的结构和基本原理	(46)
3.2.1	驻极体电容传声器振膜盒(极头)和前置放大器	(46)
3.2.2	驻极体话筒部件特性	(50)
3.3	一些驻极体话筒极头结构与阳抗变换器介绍	(76)
3.3.1	极头部分	(76)
3.3.2	阻抗变换器部分	(82)
3.4	关于薄膜驻极体话筒若干工艺问题的讨论	(90)
3.4.1	关于驻极体材料的选择	(90)
3.4.2	最佳极化方法、条件的寻求	(92)

3.4.3	驻极体薄膜的金属化问题	(92)
3.4.4	背极工艺和极头工艺	(93)
3.4.5	前置放大器的问题	(93)
3.4.6	产品例行试验问题	(94)
3.5	几种话筒的介绍	(105)
3.5.1	压差-压强式驻极体话筒	(105)
3.5.2	用 MEMS 方法生产硅麦克风	(109)
3.5.3	光纤麦克风	(113)
3.5.4	超低频驻极体微音器与超声驻极体话筒	(117)
3.5.5	多支撑点(线)话筒	(118)
3.5.6	声聚焦话筒	(118)
3.5.7	无声话筒	(118)
3.5.8	超指向话筒	(119)
4	驻极体话筒的机电耦合设计	(121)
4.1	电声学的基础知识	(121)
4.1.1	力学系统	(122)
4.1.2	声学线路	(125)
4.1.3	力学与声学混合系统	(128)
4.2	话筒电声参数简介	(128)
4.3	驻极体话筒的设计	(130)
4.3.1	话筒结构	(130)
4.3.2	话筒结构参数	(131)
4.3.3	类比线路图	(132)
4.3.4	灵敏度的计算	(133)
4.4	分析讨论	(136)
4.4.1	改变防尘布声阻	(137)
4.4.2	改变外壳的各个参量	(138)
4.4.3	改变铜环(相当于改变前腔①)	(139)
4.4.4	改变振膜	(140)

4.4.5 改变前腔(腔②)	(143)
4.4.6 改变背极	(144)
4.4.7 改变后腔(腔③)	(145)
参考文献	(148)
后记	(149)

■ 驻极体的概念

驻极体是一种能永久保持极化状态的电介质。如果同“永磁铁”相类比,驻极体就是“永电体”。

早在 1890 年前后,英国物理学家亥维塞(O. Heaviside)为了描述永久磁铁的电类似物而创造了“Electret”(驻极体)一词。

1920 年左右,日本的江口元太郎在研究油类、蜡类物质的电传导机理时,将巴西棕榈蜡(或称加洛巴蜡)和松香等量混合,熔融后施加高压静电场,并在高压作用下让其冷却固化。撤除电压之后,发现跟电极相接的两个面上有正、负电荷存在,并且在物质的内部也能观察到它们。还发现:最初,跟正电极相接的面带负电荷,跟负电极相接的面带正电荷(格曼特认为这有异种电荷的含义,取名为异号电荷 Heterocharge),但数日之后会反号,原来跟正极相接的面变成带正电荷,跟负极相接的面带负电荷(即有同种电荷的含义,故称为同号电荷 Homocharge)。当把它放在空气中,受 X 光照射以及用水或其他有机溶剂洗涤时,它的表面电荷会一度消失。当把两面短路并使之干燥,电荷还会恢复,并永久地将电荷保存下来。再者,如果沿垂直于外加电场方向的面将它分为两半,切口处会出现等量的同号电荷,正好跟人们将永久磁铁的薄片分割成两半后所出现的结果同样。这样,亥维塞才将这种跟磁铁(Magnet)相似的、能保持外部永久电极化的物质取名为驻极体(Electret)。

为了解释江口所发现的驻极体现象的生成机理,从日本到其他国家,有许多有关这方面的研究,不过,由于现象极为复杂,至今还不能完全解释清楚。20 世纪 60 年代后,更多的注意力已转到

合成高分子物质的驻极体现象上了。由于新现象的发现和手段的改进,目前驻极体的应用已深入到各个部门,这是由于它不能像电池那样从中取出电流来,然而由它提供电压却是办得到的。同时又因为它体积小,重量轻,易集成化,所以有较广泛的用途和美好的应用前景,它除了通常所熟知的可以制成电声换能器(传声器、送、受话器,扬声器,拾音器)外,还可以用在包括公交、军事、科研、医学和宇航等许多部门,如高压电动机、高压发电机、静电计、静电显示设备、激光聚焦系统、振动计、引爆装置、数据存储系统、辐射剂量计、空气过滤器和人造心血管系统等。

如今,已经可以用各种物理方法将电介质制备成驻极体。这些方法大概有如下6种:

(1) 热驻极体:它的制备是将电介质加热到熔点附近,一边往电介质上加直流高电压,一边让电介质徐徐冷却至室温,撤除电压后就得到热驻极体。

(2) 电驻极体:电介质在室温下受电晕放电的直流高压作用可得到。

(3) 光驻极体:将光电导性物质在一定的光照下,同时加上比较低的直流电压制成。

(4) 放射性驻极体:让电介质受 γ 射线或电子射线等高能放射线照射而得到。

(5) 磁驻极体:特定的电介质,例如巴西棕榈蜡等,在熔融状态下受强静磁场作用,慢慢冷却后就得到了磁驻极体。

(6) 压力驻极体:将各种合成高分子物质在高温加压成形之际,使其受外力作用而使分子产生变形得到。

现在,关于这些方面的研究报告,有上千篇,并且还有逐年递增的趋势。限于篇幅,不可能一一加以仔细叙述。这里,仅以驻极体电容传声器为主,着重谈谈高分子的热驻极体。

一般,合成高分子,从分子构造上有结晶性和非结晶性、有极

性和无极性之分。此外,它们的固有电气阻抗很大,有些种类的高分子,持有很强的偶极子。用高分子物质制备驻极体并对它的性质进行调查,是1950年以后开始的。先后用聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA——有机玻璃)、聚酰胺(尼龙)、聚醋酸乙烯、聚氯乙烯、聚丙烯、聚偏二氟乙烯、聚四氟乙烯等为材料。

以前都认为,无极性高分子,例如聚乙烯、聚四氟乙烯、聚苯乙烯等,比较难驻极化,有极性高分子能制备成好的驻极体。然而,我们就常用的聚偏二氟乙烯(PVF₂ 或 PVDF)及其驻极体性质作了调查。得知,聚偏二氟乙烯是有极性的,室温下的电阻率很高,介电常数为5~6。压延时,分子链将沿延伸方向取向。垂直于压延方向,介电常数增加到15~16。

未取向的、厚0.32 mm的PVF₂薄膜,在室温到160℃的温度范围内的不同温度下,用最高为 7.8×10^4 V/cm的直流电压作用,慢慢冷却到室温后撤去电压,再测定驻极体的电荷面密度 σ 。图1.1表示的是,极化电压一定时,改变极化温度, σ 与经历时间的

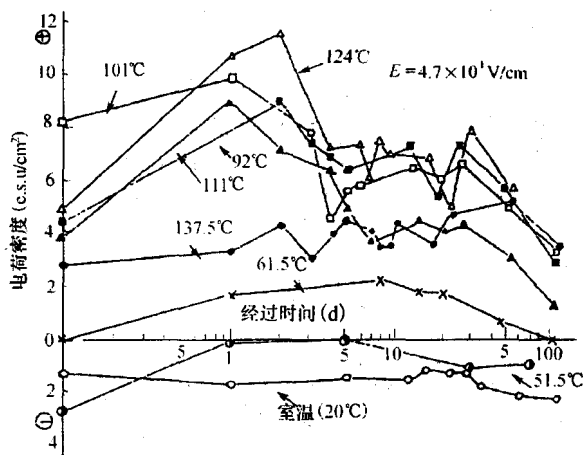


图 1.1 PVF₂ 薄膜的电荷面密度和时间的关系(跟正电极相接的面)

注: $1\text{C} = 3 \times 10^6 \text{ e} \cdot \text{s} \cdot \text{u}$; $1 \text{ e} \cdot \text{s} \cdot \text{u} \approx 3.3 \times 10^{-10} \text{ C}$

关系。驻极体生成之初, σ 的值比较小, 最初出现的是同号电荷。随着时间的推移, 同号电荷增加, 达到极大值之后又出现逐渐减小的倾向。

一般, 热驻极体生成时, 电场强度较低, 出现同号电荷。电场强度高于某一数值, 开始为异号电荷的极性会发生反转, 变为同号电荷。再就是, 不同电介质会出现同号电荷或异号电荷, 也会有极性不发生反转的材料, 或者存在和极性发生反转的电场强度极不相同的状况。

图 1.2 是电压一定 ($E=3.1 \times 10^4$ V/cm) 时, 极化温度与 σ 的关系。极化温度超过 60°C 时, 出现同号电荷, 其数值随温度上升而增加, 约 $90 \sim 120^\circ\text{C}$ 的范围内出现最大值。图 1.3 表示, 保持在一定的极化温度下, 极化电压跟 σ 的关系。生成同号电荷所需最

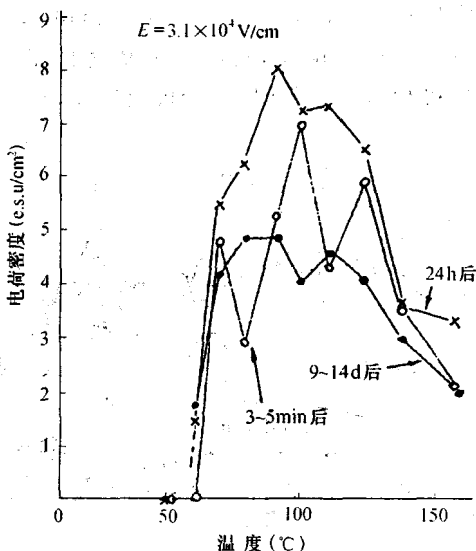


图 1.2 PVF₂ 薄膜的极化温度与表面电荷的关系

小电压,大约是 3×10^4 V/cm,它恰等于 20°C 、1 个大气压的空气中的放电电场。这个数值比用巴西棕榈蜡制备成同号电荷驻极体时所需最小电场($E=1 \times 10^4$ V/cm)约大 2 倍。

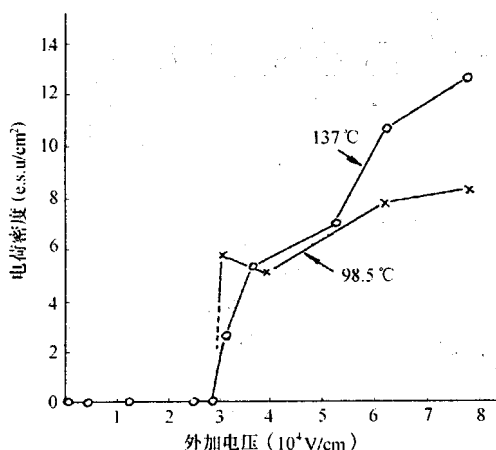


图 1.3 PVF_2 薄膜的极化电压与表面电荷的关系
(极化后 10 日中的平均值)

由于在工业上用来制作薄膜驻极体电容传声器所用的驻极体大多数是用高分子薄膜制备成的。为此,本文首先从制备方法的角度介绍它的极化方法。

1.1 薄膜驻极体的制备方法

一开始将薄膜放在高温炉中加热到熔点附近的温度,然后施加高压直流电场,保温一段时间,最后在不撤去电场的情况下慢慢冷却到室温,撤去电场就制得了热驻极体。一般此过程大约需几十分钟至几小时,如图 1.4 所示。

本方法实际上是最原始的方法,但因为所需设备少,操作简便,所以至今在国外(包括在日本)往往还采用此法。当然,此方法

也有缺点,如需花费的工时比较多。

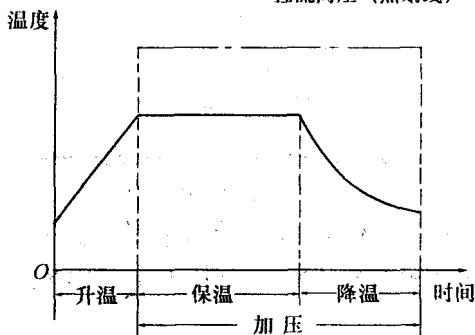
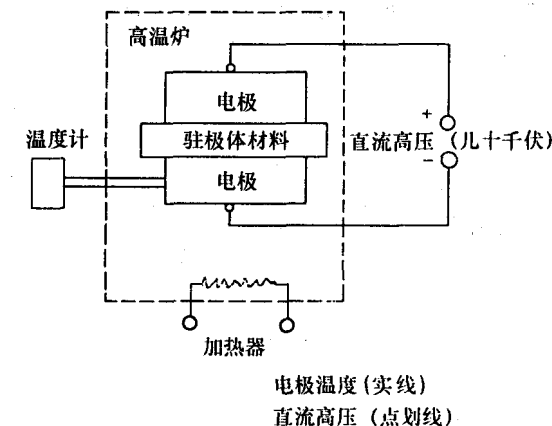


图 1.4 薄膜驻极体的制备

用上述方法极化出来的驻极体,一般上表面带负电荷,下表面带正电荷,因为同相邻电极的符号相反,定义它们为“异号电荷”。实验表明,异号电荷的寿命(衰变时间)较短。例如:一片厚0.025 mm的涤纶薄膜驻极体几个月以后,面电荷密度就衰减了2/3。

如果将上述方法加以改进,在驻极体材料的上下端插入介质,插入介质的片数、厚度、材料视驻极体的材料而定,一般为酚醛层

压玻璃布胶板、云母片、玻璃板等。在插入介质后制备成的热驻极体,往往带有同相邻的电极符号相同的电荷,定义为“同号电荷”。实验表明:同号电荷的寿命较长,例如同样上述材料制成的驻极体的寿命可达一年以上。

另外,近年来薄膜驻极体在制备方法上有了不少改进,据报道有“电晕极化法”和“电子束轰击法”,前者制备成的驻极体为电驻极体,后者为放射性驻极体。

1.1.1 电晕极化法

电晕极化法不采用加热条件,仅在常温下加强电场使之极化。为了使场强集中,其中一个方法是把电极做成刀刃形,其装置如图 1.5 所示。由于在强电场作用下,空气明显击穿,出现电晕放电现象,所以称为电晕极化法。即一个电极 of 薄膜金属化的一侧(预先涂上导电层),刀刃状电极离薄膜非金属化一侧约 0.5 mm,电压 6 kV。此方法的优点是效率比较高,许多无机材料也能适用,所得极化电荷的稳定性也较好。

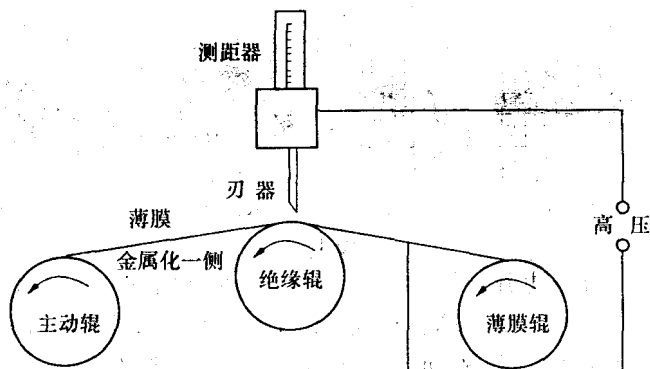


图 1.5 电晕极化法装置

电子束轰击法是使薄膜受电子轰击而带电,美国贝尔电话公

可采用范德格喇夫发生器产生的 1 MeV 电子束,强度调节到 $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$,与薄膜相距 1 cm,轰击时间只有秒的数量级。为防止电子穿透破坏极化效果,还可以衬以环氧玻璃板等绝缘板。用此法制备的驻极体寿命达到相当于或高于热驻极体的寿命。

目前在工厂使用较多的方法是带网的负高压电晕极化,这个方法是从负高压电晕极化而发展起来的。开始时,人们常用针-板式的高压电晕极化,1983 年本书编者之一在日本东京工业大学日野研究室曾对此做过较详细的研究,使用装置如图 1.6 所示。

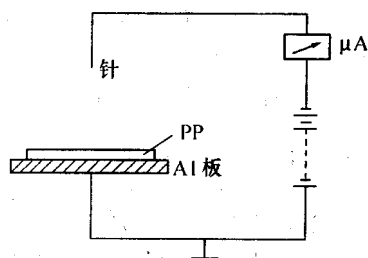


图 1.6 针-板式高压电晕极化装置

实验发现,在针的下方,会出现一个电位的谷区,这个区的最低电位点是针尖所对的位置。为此,改加交流高压,随着电压的增加可得如图 1.7 所示的电位分布图。

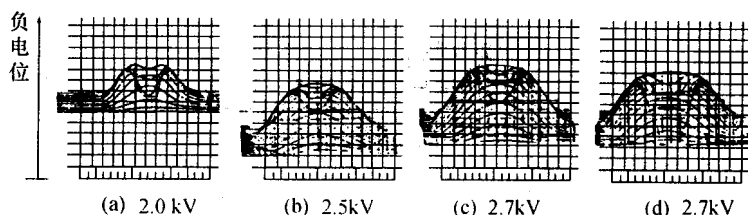


图 1.7

若加直流电压(先加 $2.7 \text{ kV}/\text{cm}$,再分别加 $-1.3 \text{ kV}/\text{cm}$, $-1.7 \text{ kV}/\text{cm}$, $-2.0 \text{ kV}/\text{cm}$),得出下列电位分布图(图 1.8)。

若先加负电压(先加 $-2.7 \text{ kV}/\text{cm}$,再分别加 $+1.7 \text{ kV}/\text{cm}$, $+2.7 \text{ kV}/\text{cm}$, $+3.2 \text{ kV}/\text{cm}$, $+3.5 \text{ kV}/\text{cm}$),得到下列电位分布图(图 1.9)。

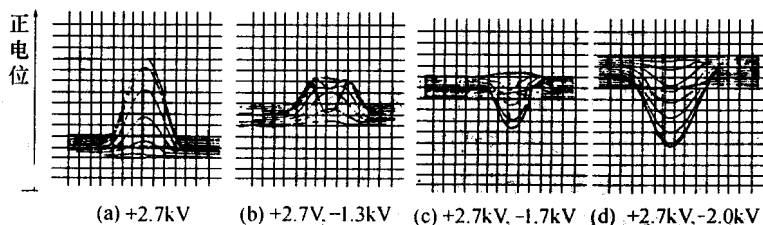


图 1.8

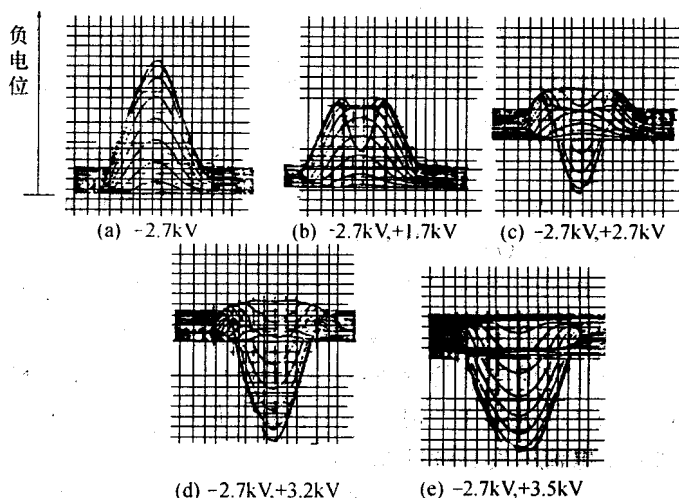


图 1.9

总之,针-板式电压系统中不可避免有不均匀的电位分布区,为此人们采用了带栅网的负高压极化的方法,此法能改变电位分布不均匀的情况,这时栅网所起的作用是使从针尖端射出的电子,经栅网的作用得到一个均匀一致的加速电压而将电子均匀“注入”到薄膜中去。近年来,这个方法又有不少改进,譬如将单针改为多针,或环状排布针等。

1.1.2 界面夹层极化法

我们曾利用界面夹层极化来制备稳定驻极体,它是利用两层介质间的层间极化来达到的。如图 1.10 所示,若有两介质相互密切接触,其介电常数分别为 ϵ_1, ϵ_2 , 电导率为 γ_1, γ_2 , 厚度为 d_1, d_2 , 当施加电压 U 后应有如下关系:

在稳态时有

$$\begin{cases} \epsilon_1 E_1 = \epsilon_2 E_2 \\ j = \gamma_1 E_1 + \gamma_2 E_2 \end{cases}$$

从开始态至稳态时,电场分布随时间而变化,其传导电流密度 $j = j(t)$, 且有

$$\begin{cases} j_1 = \gamma_1 E_1(t) \\ j_2 = \gamma_2 E_2(t) \end{cases} \quad j_1 \neq j_2$$

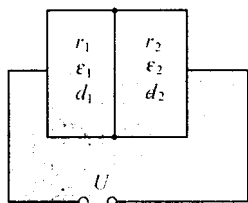


图 1.10

由于从开始态到稳态的过渡过程中,双层介质中传导电流密度不相等,因此,必然在介质的分界面上形成自由电荷的聚积,造成电介质中电荷的不均匀分布,这就是一种空间极化(夹层极化)。而 $j_1(t) - j_2(t)$ 就是单位时间内聚积在单位界面上的电荷。

利用全电流密度连续的原理,

$$j = \gamma_1 E_1 + \epsilon_0 \epsilon_1 \frac{dE_1}{dt} = \gamma_2 E_2 + \epsilon_0 \epsilon_2 \frac{dE_2}{dt}$$

因为

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_0 \epsilon_1 \frac{dE_1}{dt} &= \frac{dD_1}{dt} \\ \epsilon_0 \epsilon_2 \frac{dE_2}{dt} &= \frac{dD_2}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (\text{位移电流密度})$$

而作用于双层介质上的直流电压 $U = E_1 d_1 + E_2 d_2$, 由此可得

$$E_1 = \frac{\gamma_2}{d_1 \gamma_2 + d_2 \gamma_1} U + \left[\frac{\epsilon_2}{d_1 \epsilon_2 + d_2 \epsilon_1} - \frac{\gamma_2}{d_1 \gamma_2 + d_2 \gamma_1} \right] U e^{-t/\tau}$$