

奇异

的驻极体

欧阳毅 编著

奇异的驻极体

欧阳毅 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书是介绍驻极体知识的一本中级科普读物，内容包括驻极体的基本工作原理、制备、测试和应用，还介绍了这一领域中的一些新进展。

本书可供具有高中文化程度的广大读者和从事驻极体研制工作的工人、初级技术人员阅读。

奇 异 的 驻 极 体

Qiyi de Zhujiti

欧 阳 毅 编著

责任编辑：高坦弟

•

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

•

开本：787×1092 1/32

1985年8月第 一 版

印张：3 16/32 页数：58

1985年8月河北第一次印刷

字数：77 千字

印数：1—3,000册

统一书号：15045·总2980—无6313

定价：0.46 元

前 言

本书是为普及驻极体知识编写的一本入门读物。对于想大致地了解一下什么是驻极体的读者，第一章和第二章就能把他们引进驻极体“王国”的大门；若想进一步了解驻极体的应用，读者要耐心地读完第五章。如果读者还有兴趣自己动手测试和制作驻极体，必须阅读第三章和第四章。第三章中，驻极体电场强度公式的数学推导可能会使一些读者感到困难，这时可以暂时不去阅读有关数学推导部分，而着重弄懂其物理意义。

本书编写过程中，得到南京工学院驻极体科研组和卢民强、吴宗汉二同志的大力支持，天津师范大学林荫浓副教授和周广连同志审阅初稿并提出宝贵意见，在此一并致谢。

书中不当和错误之处，敬请读者不吝指正。

欧阳毅

1984.4

目 录

第一章 奇异的驻极体	(1)
1.1 奇异的驻极体.....	(1)
1.2 什么是驻极体.....	(2)
1.3 驻极体的一家.....	(5)
1.4 驻极体的同号电荷与异号电荷.....	(8)
1.5 驻极体的三个基本功能.....	(9)
第二章 驻极体的内部世界	(15)
2.1 电介质的极化.....	(15)
2.2 驻极体电荷的储存与衰减.....	(23)
2.3 驻极体寿命的预测.....	(31)
第三章 驻极体的电荷与电场	(39)
3.1 驻极体带电状态的描写.....	(39)
3.2 驻极体内外的电场.....	(40)
3.3 驻极体等效表面电荷与表面电位的测量.....	(48)
第四章 制作一个自己需要的驻极体	(54)
4.1 驻极体制作中的一些共同性问题.....	(54)
4.2 热极化法.....	(62)
4.3 电晕充电法.....	(65)
4.4 低能电子束轰击法.....	(69)
4.5 液体接触充电法.....	(72)
第五章 驻极体的应用	(74)
5.1 驻极体换能器.....	(75)

5.2	电子照相术·····	(89)
5.3	静电记录·····	(93)
5.4	驻极体空气过滤器·····	(94)
5.5	驻极体马达·····	(95)
5.6	压电换能器·····	(97)
5.7	高聚物热电器件·····	(101)
5.8	驻极体送话器·····	(102)

第一章 奇异的驻极体

1.1 奇异的驻极体

提到驻极体，一些读者不免感到陌生。其实，驻极体与我们的生命息息相关——我们身上的血管就是一种驻极体。血管内壁带有负电，因而那些带负电的血球能不受血管壁的吸附而畅游全身。平常，当我们收听广播或收看电视节目时，驻极体也在不辞辛劳地为我们服务。象电视英语讲座主讲教师胸前别着的小小的无线话筒中，驻极体就起着一个特殊而关键的作用。

今天，盒式录音机已是大家熟悉和喜爱的电声设备了。它体积虽小，但放出来的声音却相当逼真。这除了与它有较好的电路和扬声器有关外，机内录音话筒质量较好也是一个重要因素。大家想想，要是机内话筒的音响效果，象电话机中的送话器一样，而话筒的体积又象厅堂扩声话筒一般粗大，那么盒式录音机一定不会引起人们今天这样大的兴趣。但是奇怪的是，当我们初次接触盒式录音机的时候，竟然找不到它的录音话筒。它的录音话筒在哪里呢？原来，

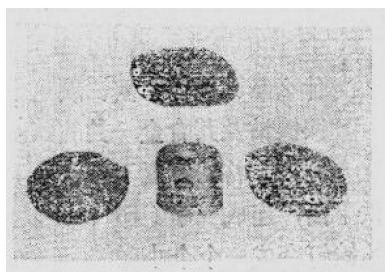


图 1.1 驻极体传声器与花生米

录音机的机内话筒是一个只有花生米大小的精巧的驻极体传声器，如图1.1所示。图中的那个圆柱形的东西就是国产驻极体传

声器。传声器顶上的圆孔是声音入口，录音机所录的声音，就是从进声孔进入录音机的。很明显，这种传声器既不同于大会讲台上的一般动圈式传声器，也不同于歌唱演员演出使用的高级电容传声器。驻极体传声器具有和它有相同大小的电容传声器相似的音响效果，而它的构造和制作工艺却要简单得多，成本也低廉得多。此外，它还可以做得很小、很轻。最小的驻极体传声器已装配在塞在耳道里的微型助听器中。为各种目的设计的驻极体传声器，有的可以跟随宇宙飞船进入太空，记录并向地面报告流星对飞船的撞击；有的则正忙碌地在聆听病人的心音；有的还在探测飞机喷气口附近的噪声，等等。这些作用一般是其他传声器无法或难以替代的。

这种传声器的关键材料就是驻极体。什么是驻极体？它具有些什么样的功能？它的内部世界怎样？它的寿命有多长？如何制作？怎样测量？除了制造传声器以外，它还有哪些用途？这一连串的问题，可能是一些热心的读者十分关注的。本书将对此作出通俗易懂的回答。

1.2 什么是驻极体

什么是驻极体？要说明这个问题，得从永久磁铁谈起。

铁镍钴及其合金一类的铁磁物质，在外磁场作用下即被磁化。例如，将铁钉置于磁铁底下，铁钉就一个接一个地吸在磁铁下面，连成一串（图1.2），这是因为铁钉被磁化了。磁化了的铁钉变成一个个小磁铁，因而它们能够互相吸引。磁铁吸铁的性质叫磁性。当铁钉被拿下并远离磁铁时，铁钉就不再具有吸铁的能力，人们就说它失去了磁性。不过有些钢材在强磁场作用解除以后，仍然具有吸铁的磁性，这种现象称为剩余磁

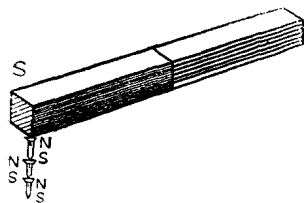


图 1.2 磁铁吸钉

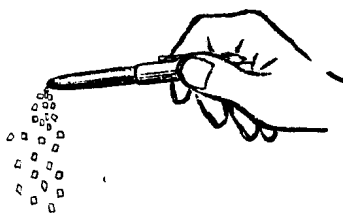


图 1.3 带电笔杆吸引纸片

化。具有剩余磁化的钢铁，就成了永久磁铁。永久磁铁的制作过程，叫做充磁。连同其他具有永久磁铁一样性质的物质在内，物理上统称为永磁体。

自然界还有另一类物质叫电介质，或称电介体。绝缘体就是人们用来隔断两个带电体间传导电流的电介质。玻璃、陶瓷、绸布、塑料、橡胶、纸和毛发等等都是电介质。

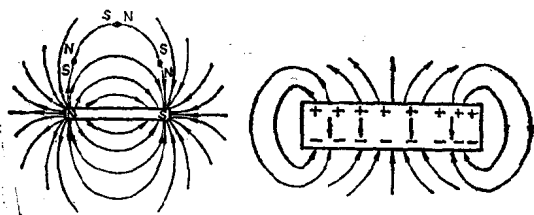
和磁性物质在磁场中磁化的情形类似，电介质在电场中也会极化。在头发上摩擦后带电的笔杆能够吸引小纸片，就是纸被极化了的表现（图1.3）。这些纸片靠近带电笔杆的端面，出现了与笔杆相反的电荷，而另一端面，出现了与笔杆相同的电荷；由于靠近笔杆的电场强度比远离笔杆的电场强度要强，纸片受笔杆的吸力大于斥力，纸片就被吸到带电笔杆上来了。由此可见，电介质在电场中的特性与铁磁物质在磁场中的表现极其类似。这样，人们自然会想到：既然用充磁的方法能够制成具有剩余磁化的永磁体，那么能否用某种充电的方法将电介质制成具有剩余极化的永电体呢？长期以来，人们一直在关心这个问题。

实验证明，大多数在电场中极化的电介质，当电场去掉以后，极化立即消失；普通的纸片就是这样。但是有一些电介质在强电场作用解除后，会长久地保留剩余极化。有人把这种能

长久地保留剩余极化的电介质称为永电体，但习惯上称它们为驻极体。这也并不奇怪，我们只要将“长久地保留着极化的电介质”说成是“长久地留驻着极化的电介质”，再简而言之，不就成了“驻极体”了吗？

这样理解和称呼驻极体的第一个人，是英国物理学家奥·亥维赛（O·Heaviside）。亥维赛在1892年就曾假定，某些熔融的蜡在电场作用下凝固，可能会成为永久极化的电介质，并定名为electret（驻极体），以表示它是magnet（永磁体）的电类似物。

磁铁有南北两个极，它的周围存在着磁场（图1.4a）；驻极体的两个对立的表面分别带有正负电荷，它的周围存在着电场（图1.4b），二者在有关对应的方面非常相似。这就是为什么称驻极体是永磁体的电类似物的基本原因，也是亥维赛给驻极体定名为electret的主要理由。



(a) 磁铁的磁极及磁场 (b) 驻极体的电荷及电场

图 1.4 磁铁的磁场和驻极体的电场

铁磁物质在磁场中的磁化比其他物质的磁化来得特别强烈；在电介质中，有一类电介质在电场中的极化比其他电介质也更胜一筹。如制造压电扬声器的压电陶瓷和酒石酸钾钠晶体就是这样的电介质。由于这类电介质在电场中的极化与铁磁物质在磁场的磁化极其类似，取名为铁电体。按照亥维赛的观点，

有剩余极化的铁电体是名符其实的驻极体。但有关铁电体的研究已成为物理学中的一个特有领域，不是当今驻极体研究的主要对象了。

四十年代以后，人们发现驻极体的电荷不尽来自介质内部的极化，还有从外部注入的只带一种符号的实在电荷，有些实在电荷分布在介质内部某一空间层内，故又称空间电荷，而且有些驻极体本身就只带一种符号的电荷。驻极体所带电荷留驻的时间有长有短，短的以天计算，长的达几百年甚至更长的时间。因此现在物理界所说的驻极体是指那些“长久地留驻着实在电荷或电极化状态的电介质”。电荷保持时间很长的驻极体称为长寿驻极体。只有长寿驻极体才有资格被称为永电体。

1.3 驻极体的一家

驻极体种类繁多。以材料性质分类，有无机驻极体、有机驻极体以及生物驻极体。以具体材料的名称命名，有聚四氟乙烯驻极体、聚全氟乙丙烯驻极体、聚丙烯驻极体、聚偏氟乙烯驻极体等。若按照制备方法分类，驻极体又可分为热驻极体，光驻极体、辐射驻极体、电子轰击驻极体、电晕充电驻极体等。本节我们只根据制备方法的不同分别介绍各种驻极体。

1.3.1 热驻极体

驻极体的系统研究，开始于日本江口元太郎的工作。1919年，他在研究油和蜡的导电性随温度变化的关系时，第一次制成了驻极体。他用的材料是巴西棕榈蜡与松香的等量混合物再略加蜂蜡。将这种混合物在 130°C 下熔融，加上 15kV/cm 的电场，凝固后去掉电场，便制成了直径 19.5cm 、厚 1cm 的驻极

体，其电荷面密度（单位面积上的电量）在 $10^{-9} \sim 10^{-8} \text{ C/cm}^2$ （库/厘米²）之间。江口还用实验的方法，证明了驻极体所带电荷不同于摩擦起电的情形。他用水或酒精涂擦，用 x 光照射，都未能消除驻极体上的电荷，而摩擦产生的电荷一般是经不起这些作用的。他还曾用刀刮去驻极体表层的蜡，也没有能将样品上的电荷刮掉。即使将驻极体切成两段，每一段还是一个驻极体。因而江口认为：驻极体的电荷与蜡的剩余极化有关。他说：“当对熔化了物质施加电场时，具有电矩的复杂分子转到电场方向；物质凝固时，分子保持它的取向，从而使电介质存在着恒定的极化”。至于有关电矩的意义，将在第二章的2.1节再详加说明。

后来人们称这种加热又加电场的极化方法为热极化方法。用这种方法制成的驻极体称为“热驻极体”。同时也有人称在室温下加电场制作的驻极体为“电驻极体”。

江口制作的驻极体有两个至今还保留在日本上野国立科学博物馆里，四十五年以后，高松俊昭测得其负电荷还有原值的五分之一左右，其正电荷还有初值的九分之一左右。

1.3.2 光驻极体

1938年，保加利亚学者纳特沙柯夫，用一个别致的方法将硫制成了驻极体。硫磺、硒等一类物质，在光照射以后，它们的导电性能显著增加，人们称这种性质为光电导性，称这类物质为光导体。纳特沙柯夫用光照射加上电场的硫片，当光照停止后撤去电场时，发现硫片已成了驻极体。这种驻极体一见光就失去电荷，但在黑暗环境下，其电荷却能保持好几个月。这种用光照代替加热制成的驻极体叫“光驻极体”。这一现象到四十年代以后逐渐发展成静电印刷术和今天的复印技术。

1.3.3 辐射驻极体与电子轰击驻极体

五十年代用电子束轰击电介质,制成了“电子轰击驻极体”。现在这种方法已发展成研究和制备驻极体的重要方法。差不多同一时期里,用 γ 射线或 x 射线照射介质,并伴以电场作用,制成了“辐射驻极体”。电场的作用,在于使由射线在电介质中产生的离子对分离,两极分离后的离子经捕获后形成驻极体内部的一种空间电荷。

1.3.4 电晕充电驻极体

在针形电极上加上数千伏的高压,针尖附近便形成很强的不均匀电场,使针尖附近的空气分子电离成正负离子。这些离子又发生频繁的复合而辐射出淡紫色的光辉,包围着电极尖端,称为电晕,并随伴着发出嗤嗤的放电声,电晕放电因此得名。电晕放电现象虽早已发现,但用来制作驻极体还是六十年代的事情。用电晕制作的驻极体称“电晕充电驻极体”。这种方法称为电晕充电方法。现代的静电复印中感光板的充电就用这种方法,所不同的,仅是后者用的电极是线形电极。

1.3.5 磁驻极体

用加热和几千高斯的磁场作用的方法,也能使蜡和有机玻璃等一些介质成为驻极体。这种驻极体称为“磁驻极体”。此外,还有其他一些制备方法,如用液体(酒精、水等)充满电极与介质间的空隙,在室温下加上电场,也能生成驻极体。这种方法称为液体接触充电方法。又如塑料加工成形中的拉、压、挤,也能生成驻极体。这可能是一般塑料薄膜和塑料制品带电的一个原因。

以上仅是人工驻极体制备的一般情形，实际的制作工艺要复杂得多。除了人工驻极体外，还有天然驻极体及生物驻极体。除一开始提到的血管而外，动物的骨骼、豪猪身上的角质箭等都有压电效应，它们都是驻极体。随着生物物理学的发展，关于各种各样的生物驻极体与生命现象的联系也将逐步揭露出来。

1.4 驻极体的同号电荷与异号电荷

同号电荷与异号电荷是驻极体研究和应用中经常用到的两个术语。人们在建立这一概念的过程中，遇到了一些有趣的现象。

江口在观察驻极体电荷变化规律时，发现他的一些驻极体所带电荷的符号，几天后发生了反转！即原来带正电的面变成了带负电的面，原来带负电的却变成了带正电的，但此后三年内又没有发现电荷的明显变化。这一现象，江口无法解释。1935年，盖门特（Gemant）提出了“双电荷”理论，解释了这一现象。他认为驻极体的任一表面同时存在着两种符号相反的电荷，其中一种电荷的符号与相邻极化电极的符号相同，称“同号电荷”；另一种电荷的符号则相异，称“异号电荷”（见图1.5a）。由于江口的驻极体中异号电荷比同号电荷衰减得更快，因而原来异号电荷占优势的驻极体，几天后变成了同号电荷占优势的驻极体，电荷的极性反转随之出现。有关这方面的较详细的论述请看2.2节。

这种双电荷理论，在四十年代为格罗斯（B. Gross）等人的实验所证实。格罗斯用切片测量等方法，发现蜡驻极体内的异号电荷主要是介质的剩余极化所致，而同号电荷是从外部沉

积到样品表面，有的则渗透到表层内部，形成表面电荷与空间电荷（见图15b）。表面电荷只棲息在样品的表面，而空间电荷是停留在介质内部一定深度的一个或两个很薄的空间层内的实在电荷。

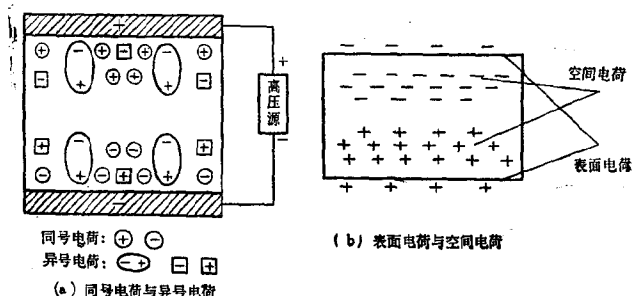


图 1.5 驻极体的电荷

同号电荷占优势的驻极体称为同号驻极体，异号电荷占优势的驻极体称为异号驻极体。同号电荷寿命一般比异号电荷长得多，因此传声器等用的驻极体是同号驻极体。至于那些具有长寿命的剩余极化的异号驻极体，由于它们呈现极其有用的压电效应和热电效应，现在正成为国内外人们争相研究和应用的对象。有关这个问题，将在下节再行介绍。

1.5 驻极体的三个基本功能

现代的驻极体主要用高聚物薄膜或板材制成，属于高分子功能材料。它得到人们的重视和应用，是因为它有三个基本功能，这就是驻极体的静电效应、压电效应和热电效应。

1.5.1 驻极体的静电效应

驻极体的静电效应，是指两面裸露的驻极体的外部存在着静电场。当导体和介质进入这个电场之后，将分别发生静电感应和介质的极化而受到吸引。驻极体电容传声器、驻极体静电式耳机和驻极体静电扬声器，以及驻极体空气过滤器等，都是依靠驻极体的静电效应而工作的。

最早应用驻极体静电式送话器于军用电话机的是日本，这是第二次世界大战期间从美军俘获的日本军舰上发现的。当时美国通讯兵看到这种异乎寻常的送话器时，感到迷惑不解。而现在薄膜驻极体传声器已广泛使用于广播、电视、录音、舞台扩声等各个领域了。

1.5.2 驻极体的压电效应与热电效应

(1) 定性描述

驻极体的压电效应与热电效应，是指两面蒸有金属电极的驻极体，分别在机械应力（拉、压）或热应力作用下发生形变时，蒸金电极上的感应电荷产生相应的变化，而将电流释放于外电路的现象（见图1.6）。应该再强调一下，外电路中流过的电流，不是驻极体内部储存电荷的释放，仅是驻极体的有效表面电荷由于样品厚度变化而产生的临时性的可恢复的变化。这

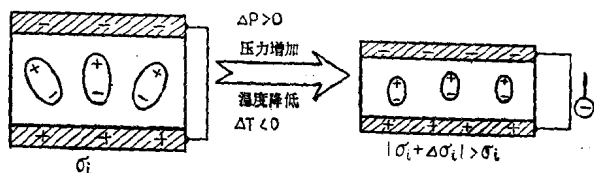


图 1.6 驻极体的压电效应与热电效应

种临时性的可恢复的等效表面电荷变化，引起了电极上感应电荷的相应变化，从而在外电路中产生电流。

实验和理论已经证明，驻极体中的空间电荷，在样品发生均匀形变时，不会产生压电效应；在样品发生不均匀的形变（如弯曲）时，则只有微弱的压电效应。而驻极体中的剩余极化，则有明显的压电效应。特别是聚偏氟乙烯薄膜驻极体具有很强的极其有用的压电效应。

如图1.6所示，当外界压力增加或样品温度降低时，其厚度变小。实验和理论可以证明，在样品厚度变小时，电极上的感应电荷面密度 σ_i 要增加，这时电子将由下电极经外电路流向上电极；相反地，当压力减小或样品温度升高时，样品变厚，电极上的感应电荷面密度减少，这时电子将由上电极流向下电极。

(2) 定量描述

现在我们来定量地描述压电效应和热电效应，为此，下面我们将引入压电常数和热电系数两个术语。有一个前提应该首先说明，即用来定义上述二物理量的样品是两面蒸上金属电极的，而且用电阻为零的导线将二电极短路连接。这样作的目的，是使电极上感应电荷的变化能够立即得到泄放和补充。

① 热电系数

如果样品温度变化 ΔT ，电极上感应电荷面密度有一变化量 $\Delta\sigma_i$ 。我们用 $\Delta\sigma_i/\Delta T$ 表示样品热电效应的性能，称为热电系数，用 P_v 表示，即

$$P_v = \frac{\Delta\sigma_i}{\Delta T} \quad (1.1)$$

式1.1告诉我们，驻极体的热电系数等于样品温度增加1K时，样品电极上感应电荷面密度的变化量。如前所述，温度升高时