

高等学校教学用书

无綫电材料

WUXIANDIAN CAILIAO

成都电讯工程学院选編

人民教育出版社

高等学校教学用书



无 綫 电 材 料

WUXIANDIAN CAILIAO

成都电讯工程学院选编

人 民 教 育 出 版 社

无 綫 电 材 料

成都电讯工程学院选编

人民教育出版社出版 高等学校数学用书编辑组
北京宣武门内大街27号

(北京市书刊出版业营业许可出字第2号)

京 华 印 书 局 印 装

新华书店科技发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

统一书号 15010·1074 开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印张 $10 \frac{7}{16}$

字数 251,000 印数 0001—6,000 定价 (7) 半 1.20

1961年9月第1版 1961年9月北京第1次印刷

目 录

緒論	1
----	---

第一章 物質結構的理論基

礎	3
---	---

§ 1.1 原子結構	3
------------	---

§ 1.2 分子的結構	5
-------------	---

§ 1.3 物質的聚集	9
-------------	---

第一篇 絕緣材料

引言	11
----	----

第二章 電介質的電導

§ 2.1 基本概念	14
------------	----

§ 2.2 介質電導的度量	15
---------------	----

§ 2.3 气体的電導	17
-------------	----

§ 2.4 液体介質的電導	18
---------------	----

§ 2.5 固体介質的電導	20
---------------	----

第三章 電介質的極化

§ 3.1 極化的宏觀現象及微觀本質	25
--------------------	----

§ 3.2 介質極化的基本形式	27
-----------------	----

§ 3.3 介質根據極化形式的分類	35
-------------------	----

§ 3.4 气态、液态和固态介質的介電系數	36
-----------------------	----

§ 3.5 各种物态的介質的極化形式 ϵ 值的比較	41
------------------------------------	----

第四章 電介質損耗

§ 4.1 基本概念	42
------------	----

§ 4.2 電吸收現象	43
-------------	----

§ 4.3 介質損耗及代表介質損耗的等效電路	44
------------------------	----

§ 4.4 介質損耗的各种形式	48
-----------------	----

§ 4.5 气体介質中的損耗	53
----------------	----

§ 4.6 液体介質中的損耗	54
----------------	----

§ 4.7 固体介質中的損耗	54
----------------	----

第五章 電介質的击穿

§ 5.1 基本概念	58
------------	----

§ 5.2 電介質击穿机理	58
---------------	----

§ 5.3 各种電介質的击穿原因及影响因素	61
-----------------------	----

第六章 絕緣材料的机械性

能及物理化学性能	68
----------	----

概論	68
----	----

§ 6.1 絕緣材料的机械性能	68
-----------------	----

§ 6.2 絕緣材料的吸湿性	71
----------------	----

§ 6.3 絕緣材料的热性能	77
----------------	----

§ 6.4 絕緣材料的一般物理化学性能	80
---------------------	----

§ 6.5 輻射对絕緣材料的作用	82
------------------	----

第七章 有机絕緣材料

§ 7.1 有机絕緣材料的結構及分類	83
--------------------	----

§ 7.2 油蜡状物質及瀝青	84
----------------	----

§ 7.3 纖維材料	93
------------	----

§ 7.4 高分子化合物的一般知識	98
-------------------	----

§ 7.5 树脂和塑料	104
-------------	-----

§ 7.6 天然橡胶与合成橡胶	133
-----------------	-----

§ 7.7 絕緣漆及化合漆	135
---------------	-----

§ 7.8 无綫電元件的浸漬、灌注、涂复、密封工艺	140
---------------------------	-----

第八章 无机絕緣材料

	147
--	-----

§ 8.1 无机绝缘材料的基本特 性及分类.....147	§ 11.1 软磁性材料的性能要 求.....231
§ 8.2 云母.....151	§ 11.2 金属软磁性材料.....233
§ 8.3 绝缘用玻璃.....155	§ 11.3 磁介质.....251
§ 8.4 无线电陶瓷.....163	§ 11.4 铁氧体软磁材料.....257
第二篇 磁性材料	第十二章 硬磁性材料.....265
第九章 磁性基础的知識.....173	§ 12.1 硬磁材料的一般介紹、 性能、指标及用途.....265
§ 9.1 铁磁性.....173	§ 12.2 硬磁材料設計的基本原 理.....268
§ 9.2 磁各向异性与磁致伸縮.....179	§ 12.3 各种硬磁性材料.....270
§ 9.3 磁化曲线磁滞迴线及导 磁率.....183	§ 12.4 硬磁材料的充磁.....279
§ 9.4 磁性材料在交变磁场中 的性能.....193	第十三章 矩磁材料及压磁 材料.....283
§ 9.5 影响铁磁性材料磁性能 的因素及改进磁性能 的方法.....199	§ 13.1 矩磁材料.....283
第十章 磁性材料的測量.....207	§ 13.2 压磁材料.....290
§ 10.1 磁性材料的測試项目.....207	第十四章 铁氧体旋磁材料.....294
§ 10.2 样品的准备.....207	§ 14.1 铁氧体旋磁材料的主要 参数.....294
§ 10.3 使用阻抗法測量起始导 磁率.....210	§ 14.2 铁氧体旋磁材料的 类型.....296
§ 10.4 使用Q表測試磁性材料 的导磁率及損失.....211	第三篇 导电材料
§ 10.5 用电桥法以測量导磁率 及損失.....214	第十五章 导电材料.....301
§ 10.6 使用电子管电压表測量、 导磁率磁化曲线.....217	引言.....301
§ 10.7 測量微变导磁率.....221	§ 15.1 导电材料的一般性质.....301
§ 10.8 用阴极示波器測試磁滞 迴线.....222	§ 15.2 导电材料的基本特性.....303
§ 10.9 使用冲击电流計以測試 磁滞迴线.....225	§ 15.3 高导电材料.....311
第十一章 軟磁性材料.....231	§ 15.4 超导体.....316
	§ 15.5 高电阻材料.....319
	§ 15.6 接触材料.....323
	§ 15.7 焊接材料及熔线.....329

緒 論

无綫电材料是指无綫电設備中所使用的一切材料。按照无綫电材料的性能和用途可以分为絕緣材料、导电材料、磁性材料和半导体材料四大类。本书的內容主要包括前三部分，至于半导体材料和电真空方面材料另有专书討論，不列在本課本內。

全书分为三篇，第一篇絕緣材料，第二篇磁性材料，第三篇导电材料，在每篇中首先討論有关該类材料的理論基础知識，然后再分別介紹各种材料。介紹必要的理論基础知識的目的是为了使讀者能对材料的各种性能有一个基本的了解，为学习材料部分打下一定的理論基础。对于电介質物理和鉄磁学等方面的基本知識书中作了簡明的系統的介绍，并以闡述理論的物理概念为主，而以必要的数学式子为輔。在介紹具体材料时，主要介紹現在无綫电設備中帶有关鍵性的和使用最广泛的材料，并着重討論材料在高頻、高温等方面的主要性能及其主要用途。同时为适应无綫电技术对无綫电設備及其元件、材料的愈来愈高的要求，书中也部分地叙述了无綫电材料方面的最新成就。

本书是为高等工业学校无綫电专业三年級学生选編的。其目的是通过本課程的学习，以培养学生具有認識、判別、选择和使用无綫电材料的能力；使他們在将来的工作中对选择和使用无綫电材料方面具备应有的知識。

限于課程学时和篇幅的要求，书中內容分別以大小号字編出，大字討論必要的部分，至于参考性或解釋性以及某些非重点部分則用小字排印。

无綫电材料工业是无綫电工业中的基础工业和重工业。在任

‘何一个国家中如果没有无线电材料工业便不可能建立起一个独立完整的无线电工业系统。无线电材料工业的产量与质量又直接影响着一切无线电设备工业产品的产量与质量。所以在任何一个国家中发展无线电材料工业是十分重要的。

解放以前的中国是一个半封建半殖民地的国家，这也就决定了我国那时的无线电工业不可能得到发展。当时即使仅有的一些无线电修配工厂也是技术水平低，产品式样陈旧，质量很差的。尤其值得注意的是当时只作装配工作，而一切材料几乎全部要自外国进口。因此就不可能存在无线电材料的工业。

解放后，在党的正确领导下，在苏联及其他兄弟社会主义国家的无私援助下，通过第一个五年计划的实施，我国的无线电工业得到史无前例的发展。

随着无线电工业的发展，现代化的无线电材料专业工厂将不断地建立和扩充起来。这将促使生产的无线电材料和设备无论在数量、质量、品种方面，都高速度地发展和提高起来。

第一章 物質結構的理論基礎

物質的許多性質與其微觀結構和宏觀結構直接有關。因此為了了解無線電材料在電磁場中所發生的現象的本質，就必須對物質的結構首先是物質的微觀結構有所了解。

誰都知道：宏觀物質是由大量的分子組合而成的，而分子是由原子構成的，而原子又是由原子核和電子組成的。然而，原子核和電子是怎樣組成原子的？原子又依靠什麼力來組成分子？而分子又凭什么能聚集為宏觀物質？對於這些最基本的問題將在本章各節中作概括的介紹。

§1.1 原子結構

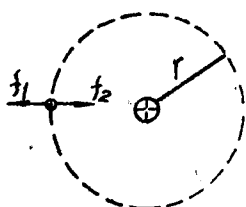
在19世紀以前，原子一直被認為是一種不可分割的、構成物質的最小質點。但是隨着人們對自然探索的深入，在研究許多自然現象時（如黑體輻射等問題）對“原子是最終的不可分割的質點”這一論點漸漸地產生了懷疑。加之後來在元素的光譜分析中發現單個原子的光譜非常複雜，因而就使人們明白了原子並不是一個最簡單而不可分的質點，而是一個結構複雜的體系。後來當科學家從實驗中發現了電子以後，就最後肯定地否定“原子是物質的最終質點”的古典概念了。

然而原子是一個怎樣的體系呢？單個的原子是中性的，其中既然包含有荷負電的電子，則必然還包含有荷正電的粒子，而且這兩種電荷的配布必然使構成體系（原子）在電性上是中和的。由這個顯而易見的前提出發很多人提出了原子結構模型的假設。得到公認的是盧瑟福的原子結構模型學說，這種學說是將原子比擬作整個天體。即在原子中心為一原子核，核的外層有繞其旋轉的質點（電子），原子核為荷正電的質點（質子、中子）組成，其電荷量的大小等於繞核運動的荷負電的質點的電荷量的總和，而質量則幾乎等於整個原子的重量。因此在一定動量矩的原子狀態下，電子得以飛速旋轉而核運動。

則很少。电子的运动轨道取决于一定的量子条件。在一定轨道上运动的电子,由于繞核旋轉所产生的离心力恰与电子与原子核間的靜引力(向心力)相平衡,因而电子得以稳定运动在这个轨道上。如图 1.1.1 的氢原子(最简单的),其离心力 $f_1 = \frac{mv^2}{r}$, 向心力 $f_2 = \frac{q^2}{r^2}$, 在組成稳定体系时 $f_1 = f_2$

$$\therefore \frac{q^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \quad (1.1.1)$$

其中 q ——电子的电荷,等于 4.802×10^{-10} CGSE 制单位。



v ——电子的环行速度,

r ——电子的环行半径。

m ——电子的质量,等于 9.106×10^{-28} 克。

对其他元素的原子,原子核的电荷等于 Zq , 其中 Z 为原子序数。另一方面,如前所述,电子的軌道是量子化的。許可的軌道符合于方程式:

图 1.1.1 氢原子模型。

$$mvr = \frac{nh}{2\pi} \quad (1.1.2)$$

式中 n ——量子数 $1, 2, 3, \dots$, 而 h ——普朗克常数等于 6.624×10^{-27} 尔格·秒。由上面方程式即可求出电子的軌道半径和环行速度:

$$r = \frac{n^2 h}{4\pi^2 m q^2}; \quad v = \frac{2\pi q^2}{nh} \quad (1.1.3)$$

当 $n=1$ 时, $r = 0.528 \times 10^{-8}$ 厘米, $v = 2 \times 10^8$ 厘米/秒。根据現代的量子力学(波动力学)理論,任何質粒都具有二重本性——微粒性和波动性。从波动的观点来看,电子的严格軌道是没有意义的。

在近代原子論中,关于电子在原子中的状态。系用下列四个量子数來說明:

(1)主量子数 n :——它表征电子与核子之間的距离及电子的能級,或从波的观点來說表征电子与核的距离为 r 的最大可能性(几率)。 n 可取数值 $1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, \dots$, 一个原子包含着若干电子壳层。对于最內层的电子都是 $n=1$, 对于第二层的电子 $n=2, \dots$ 。各层电子的饱和数为 $2n^2$ 。故第一层只能有电子 $2 \times 1^2 = 2$ 个。第二层可有电子 $2 \times 2^2 = 8$ 个……。对于不同层次电子具有不同的能量,因而也将 n 称为“能量子数”。

(2)次量子数 l :——它表征电子动量矩的大小。 l 可取自 $0, 1, 2, \dots$ 到 $(n-1)$ 的数值。这个量子数是用来表征同一壳层电子的不同运动状态的。

如第二个壳层的 8 个电子, 其中 2 个电子的 $l=0$, 而另 6 个的 $l=1$ 。 $l=0$ 的电子称为 s 电子 $l=1$ 的电子称为 p 电子, $l=2$ 的电子称为 d 电子……。

(3) 磁量子数 m : —— 它表示当外力(如磁場的作用力)作用于电子时, 电子轨道改变所必須遵循的方向的量子数。即决定电子轨道的平面在空間的位置, 决定电子云伸展方向。轨道应取如此的方向, 使动量矩在所取方向上的投影 P_m 为:

$$P_m = m \frac{h}{2\pi} \quad (1.1.4)$$

m 可取 $0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$ 。

(4) 自旋量子数 s : —— 它是表征电子自轉角动量的量子数(电子繞自己的軸旋轉称为自轉)。自轉矩在任何方向的投影应等于:

$$P_s = s \frac{h}{2\pi} \quad (1.1.5)$$

s 仅可取两个数值: $-\frac{1}{2}$, 及 $+\frac{1}{2}$, 相当于电子自轉的两个方向。

用以上四个量子数足以充分地描写电子在原子中的状态。量子理論中的一个重要原則說明: 在任一原子中不存在四个量子数完全相同的电子。例如, 如果两个电子已有 n, l, m 相同, 則此二电子必在同一壳层轨道上采取自轉相反的方向运动, 即其中一个电子 $s = +\frac{1}{2}$, 另一电子 $s = -\frac{1}{2}$ 。

这就是微觀世界中的一个普通規律——“保里(Паули)不相容原則”。

綜合以上所述, 原子由原子核及电子組成。原子核中包括数目等于原子序数的帶正电荷的質子以及数目为原子量与原子序数之差的中子。在原子核外有作复杂运动、在不同位置繞核旋轉的电子。而电子在原子中的排列、运动状况就决定了原子的各种性質。

以上我們只着重地討論了电子, 而不討論原子核。这是因为一方面原子核深居原子里层, 其作用被外层电子所掩盖, 另一方面, 它的质量几乎比电子大 2000 倍, 相对于电子而言变劲(运动)很少。因此, 物質的一切性質几乎全部取决于电子, 特別是最外层的电子。

§ 1.2 分子的結構

分子系由原子构成, 然而人們发现并非任意两种(或若干种)元素的原子

都能结合成为分子的。因而原子结合为分子必然需要满足某种条件。那么，这条件是什么？其次，原子与原子结合为分子，则原子间必然有一作用力（维系力）而这又是一种什么力呢？从元素周期表中可以发现，凡是电子壳层饱满的元素的原子，它们在化学上是稳定的惰性元素，如氦(He)氖(Ne)等，而分子相对于其他元素说来也是稳定的。这样就自然而然地使人们想到：原子相互结合(成分子)的条件就是要使得在结合后能达到稳定状态(电子壳层饱满)。

另外，关于维系原子结合为分子的作用力在19世纪上半世纪对电解过程的研究中即已明了，这实质上是一种静电力，这也就是我们所称的“化学键”。构成分子的化学键可以分为三大种：

(1)离子键：又称电价键或极性键，是金属元素的原子与非金属元素的原子的结合键。通常，金属元素的原子易于放出外壳的价电子而得到稳定的结构(当其能够与它相化合的其他元素的原子相接近时)，而非金属原子都要求得电子以成稳定的结构，当这样两种可以相结合的原子接近时，前者即放出壳层的价电子而变为正离子，而后者则取得这些放出的电子而成为负离子，依靠异性离子间所存在的静电库伦力，即将它们结合而为分子。这样的化学键，我们称为“离子键”或“异极性键”。

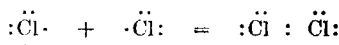
例如氯化钠(NaCl)分子，系由钠原子交出—个价电子而成为 Na^+ (正离子)，而氯原子获得—个价电子成为 Cl^- (负离子)，再由正钠离子和负氯离子结合而成氯化钠的分子。



必须说明，由于两个离子的外层都是电子壳层，因此，除了正负离子的静电引力作用外，同时还存在着电子云间的静电排斥力，正因为如此，所以原子不能无限靠近，而在排斥力和吸引力相平衡的一定距离(位置)上保持下来。由于许多正负离子借静电吸引力而互相紧密排列起来，便形成离子晶体的结构。在离子晶体中，每个离子都被符号相异的离子包围着，组成电中性的离子性化合物。

由于离子化合物中离子键的键能大(可达几百千卡/克分子)，加之由这种键结合的分子所组成的物质结构紧密而稳定，在固体状态时，正负离子因结合紧密而不导电，只在熔化或者溶解以后离子方参与导电。故这些物质一般都坚固，机械强度高，熔点高，热膨胀系数小电气性能优良……。很多无机材料都属此类，如云母，陶瓷等。

解釋分子結構的上述理論是由德國科學家柯塞爾 (Kossel) 最先提出來的。由於這種理論對許多物質 (離子式結構的) 有着完滿的解釋, 所以有不少的科學家就欲將其應用於一切化合物中。然而根據這種理論必然得出這樣一個結論: 相互結合的原子外殼層的價電子的總和必需等於 8。然而實際上發現有許多種分子則不然, 如氯分子的結合:



氯原子外殼層電子 = 7 而 $7+7=14 \neq 8$ 。

因此欲得柯塞爾理論應用於一切化合物是行不通的, 為彌補這個缺陷, 後來又引出了路易斯 (Lewis) 的共價鍵理論。

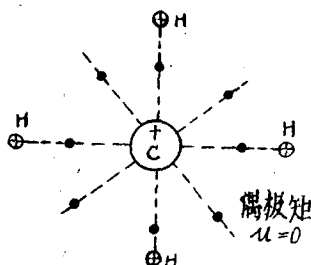
(2) 共價鍵: 又稱為原子鍵或類极性鍵。非金屬元素的原子之間的結合鍵常為共價鍵。共價鍵的本性比離子鍵複雜得多。嚴格的理論研討非應用量子理論不可, 因此我們這裡只能從最簡單的質的方面來敘述它。

如甲乙二元素原子 (就最簡單的双原子分子而論), 皆欲獲得電子 (從另一原子上) 以使外殼層飽滿而穩定, 也存在另一種“辦法”, 即在它們結合時各交出一定數量的外殼層電子作為“公共”電子。由這些電子云所產生之靜電力就能將它們結合為分子, 這種化學力就是我們所謂的“共價鍵”。例如: 上面已經划出的兩個氯原子結合為氯分子, 就是各交出一個電子來“公共”, 从而使每個原子外殼層都達到了飽和的 8 個電子的要求。

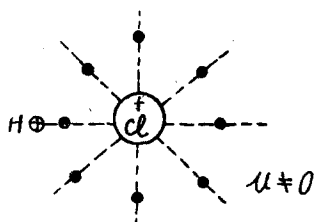
共價鍵的本性是: 例如, 氯原子原來由於殼層電子均勻分布而呈中性, 當將兩個氯原子接近時, 由於二者負電性都強, 都希望從對方獲得一個電子。而又由於二者的這種爭取電子的本領與機會是均等的 (同一元素的原子), 因此在二原子之間造成了一群密度比單個原子時為大的電子云, 而這群與原來的原子不成對稱分布的密集電子云就在二原子核間形成了一個負電場, 結果兩旁荷正電的原子核就在這負電場的靜電引力作用下靠近起來而結合成為分子。

由共價鍵構成的分子, 其外層電荷的分布可以是对稱的 (如 Cl_2 , CH_4 , CO_2 等) 也可以是不對稱的 (如 CH_3Cl 等), 前者由於正負電荷重心重合而呈中性組成中性分子。後者正負電荷重心不相重合而有一定距離, 故具有一定的偶極矩, 成為极性分子。如圖 (1.2.1) 及圖 (1.2.2) 示明:

有機絕緣材料多屬於共價鍵結合, 共價鍵結合的物質在任何狀態時不導電, 故有機絕緣材料常為良好的絕緣材料 (尤以中性的), 不過共價鍵鍵能小,



图(1.2.1) 甲烷的分子结构图。



图(1.2.2) 氯化氢分子结构图。

故有机绝缘材料一般机械强度不高,但加工性能良好。

在离子键与共价键之间还存在着一个过渡键——“极性键”。在极性键中,联系两原子的电子云,不象在纯共价键中那样对称地分布在被联系的两个原子之间,也不象纯离子键那样密集在一个原子上,而只是比较地倾向于其中的一个原子。

(3)金属键:是金属原子之间的结合键。由于金属元素的原子最外层的电子是弱系电子(元素负电性小)易于脱离原子,因而形成整块金属时,这些弱系电子能自由地活动于金属晶格节点之间,整个地成为一群“电子气”,它们被所有金属离子所组成的晶格节点所吸引,因而是所有原子对这所有的价电子“共价”。由于在金属内部电子受到各方面的金属离子的吸力,可以相互抵消,因此这些电子是自由的,所以金属可以导电,传热……。也正因为是所有原子对所有电子共价(而不象前述的只是某些原子的共价)故金属具有延展性。

上述三种价键称为主价键,除此以外还有剩余键。

(4)剩余键:剩余键是由原子结合为分子之后剩余的对外电场所引起的,最典型的例子就是极性分子之间的吸力。实际上由于分子之间的接近和互相影响,会产生感应电偶矩,通过感应出的电偶矩就会产生吸力,即使是惰性气体分子,互相之间也会由于分子不断的振动而产生的瞬时电偶矩而产生吸引力,凡此种主价键以外的分子之间的吸力都称之为剩余键力。它的键能极小,约0.5~5千卡/克分子,键距约3~5Å。中性分子之间的剩余键最弱,极性分子之间的剩余键较强,但比起主价键力就都弱得多,因而这样聚结成的物质的机械强度,耐热性等都远较直接由主价键聚集形成的晶体互分子的要差得多。

氢键是一种介乎主价键和剩余键之间的化学键,这是由于氢原子只有一个价电子;当它给出价电子和其他分子共有后,具有正电荷的原子核就能和外界发生相当的联系(而不象其他原子的核是被层层电子壳层所包围着,因而即使给出价电子共价后对外界影响也还不很大),产生剩余键力。氢键的键能约5~10千卡/克分子。键距约2.5 Å。水的分子通常就是通过氢键而互相结合成 $(H_2O)_n$ 的形式存在的,很多高分子化合物,如纤维素、蛋白质分子间也都有氢键的作用。在低温时惰性气体(氮、氧等等)分子之间以及具有中性结构的(石蜡、地蜡等等)分子之间是用剩余键力结合起来的。剩余键是不牢固的;属于这种结构的物质具有低的机械强度和加热时很易被破坏,亦即其熔化温度低。

§ 1.3 物质的聚集

分子与分子之所以能聚集为宏观物质,在于分子间的引力作用,这种力称为“范德华力”。

我们知道分子有二种:一种为偶极性分子——具有一定的偶极矩。另一种为中性分子——偶极矩为零。因此,任一宏观物质的组成不外有下面三种情况:

- (1)由极性分子与极性分子聚集而成;
- (2)由极性分子与中性分子聚集而成;
- (3)由中性分子与中性分子聚集而成;

我们来分别讨论作用于这三种场合下的范德华力的本性:

- (1)极性分子与极性分子的聚集(定向作用):

极性分子具有一定的电偶矩,这个电偶极子在周围空间形成一定大小的电场,这电场对邻近的偶极子产生定向作用,而使得偶极分子得以相互有序而紧凑的排列起来,如图 1.3.1:



图 1.3.1

但实际上,由于在不同温度下的热扰动的原因,故分子的这种有序排列总要遭到不同程度的破坏。

- (2)极性分子与中性分子的聚集(诱导作用):

极性分子的电场对邻近的中性分子有一种极化作用，而使中性分子“感应”而为一“准弹性偶极子”，然后又在偶极分子间的定向作用下聚集起来。如图 1.3.2:

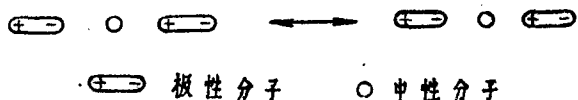


图 1.3.2

(3) 中性分子与中性分子的聚集(分散作用):

中性分子没有永久电矩，但有“瞬时电矩”(因为就某一瞬间而言，电子总处在与原子核有一定距离之位置)。许多“瞬时电矩”即可发生定向作用；并且一个分子的瞬时电矩亦可“诱导”相邻分子，而使彼此吸引。这就是中性分子间聚集力的本质。

由上可知，分子间作用力的本质是静电力，这种分子力统称为“范德毕力”(Van der Waal's force)。

就物质的聚集状态来看，可以把物质分成三种：即气体物质，液体物质和固体物质。

第一篇 絕緣材料

引 言

絕緣材料(或電介質)是作為阻止電流經過(如電機絕緣)或儲蓄電能(作電容器的電介質)用的。它們的比電阻都很大,其值為:

$$\rho_v = 10^9 \sim 10^{22} \text{ 歐姆} \cdot \text{厘米}。$$

絕緣材料無論在那一種電器設備上都是不可缺少的,因此它們在電器工業中占有異常重要的地位。

現代無線電技術對絕緣材料的性能要求是既嚴格而又多種多樣的,除通常要求其絕緣電阻等,介質損耗非常小,耐電強度足夠大以外,有時還要求要有很高的機械強度(因需承受機械負載,如絕緣子等),而在某一些場合又要求有良好的抗潮性或耐熱性(如工作於潮濕的大氣中,甚至工作於水中,或工作於高溫條件下的絕緣材料),在另一些場合又要求有特別的柔韌性(如導綫及電纜的絕緣)或可塑性(壓製品)等等。

當然,最理想的絕緣材料是:絕緣電阻大,介質損耗小,耐電強度高,機械強度大,耐熱性抗潮性好。然而這樣十全十美的材料是很少的。

由於在各種科學技術上對絕緣材料要求的多樣性和由於絕緣材料性能的不够完美。所以往往不是應用一種,而是用多種絕緣材料做成一種製品作為電器的絕緣(如電機絕緣),其中任一種絕緣材料的選擇不當,都足以急劇地降低製品的絕緣性能;而要正確地選擇材料,那就首先要求我們對於絕緣材料中所發生的一切物理現象(首先是在電場作用下所發生的物理現象)有一明晰的本質

的了解。所以在介绍实际的绝缘材料之前,必须先介绍一些“电介质物理学”中的基本概念。

这些基本概念是:

- (1) 电介质的极化: —— 这个特性用介电系数 ϵ 来表示。
- (2) 电介质的电导: —— 用比电阻 ρ 来表征。
- (3) 电介质的损耗: —— 用损耗角的正切值 $\tan\sigma$ 来表征。
- (4) 电介质的击穿: —— 用介电强度 E_{np} 来表示。

绝缘材料的分类: 材料可以按不同的方式分类, 如按化学成分、按聚集状态、按加工性等等, 其目的是为了便于掌握和使用各种互有优缺点的材料, 现在对于材料的分类方法是: 首先按聚集状态分为气态、液态、固态, 然后再按化学成分来分(其中也部分结合了按加工性、来源等的分类法)。

(1) 气态绝缘材料: 一般是无机的, 如空气、高真空、氮、氩各种惰性气体, 电气(SF_6)等, 空气是任何电气器件所必然遇到的, 因为大多数电器总是在空气中工作。

(2) 液体绝缘材料: 实用上都是有机化合物, 包括:

(i) 天然油类: 如石油提炼出的变压器油、电容器油、植物性的蓖麻籽油等。

(ii) 合成油类: 如苏伏油, 苏伏多油及硅有机油等。

(3) 固体绝缘材料是最多的, 有有机的、也有无机的:

(i) 有机的:

a. 蜡类: 石蜡、卤蜡、蜂蜡等。

b. 树脂: 天然的有: 松香、虫胶、沥青、琥珀等。

合成的有: 热硬性的酚醛树脂、甘油树脂以及热塑性的聚苯乙烯树脂、纤维脂等。

c. 塑料有: 模压塑料, 例如胶木, 还有迭层塑料, 如层压纸板。