

143812

基本馆藏

# 电气絕緣材料的介电性能 和电气絕緣材料中的塑料

M. H. 曼特罗夫講

交通大学电气絕緣与电纜技术教研室譯

2

026

高等教育出版社

5042

Б/6026

к.4

143812



# 电气絕緣材料的介电性能 和电气絕緣材料中的塑料

М. И. 曼特罗夫講

交通大学电气絕緣与电纜技术教研室譯

高等教育出版社

---

本書系根据苏联專家曼特罗夫 (М. И. Мантров) 在交通大学講課時所用的講義電工材料第一部分“电气絕緣材料的介电性能和电气絕緣材料中的塑料” (Электрические материалы, часть I, Диэлектрические свойства диэлектриков и пластические массы в электрической изоляции) 譯出的。

本講義敘述了电介質的結構和介电性能間的关系，以及电气絕緣材料中所应用的一些塑料。

本書可供电机工程系各專業教学之用，对从事絕緣材料制造和絕緣結構生产的工程技術人員也有參考价值。

本書是交通大学張和康同志翻譯的

## 电气絕緣材料的介电性能和 电气絕緣材料中的塑料

M. И. 曼特罗夫講

交通大学电气絕緣与电纜技术教研室譯

高等教育出版社出版 北京琉璃廠170号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第054号)

京華印書局印刷 新华書店总經售

統一書号 15010·551 開本 860×1168 1/32 印張 6 1/2 字數 160,000 印數 0001—2,000  
1957年12月第1版 1957年12月北京第1次印刷 定價(10) 洋1.00

# 目 录

結論	1
1. 課程的目的	1
2. 材料的物理本質和性能	3
3. 电工材料学發展史略述	5
<b>第一章 电介質的極化及其化学結構</b>	<b>11</b>
1. 电介質按其化学結構的分类	11
2. 化学鍵	17
3. 电介質極化的形式	23
4. 电子式極化	24
5. 偶極式極化	27
<b>第二章 电介質的电导</b>	<b>32</b>
1. 电导的本質	32
2. 电阻与溫度关系的經驗公式	33
3. 电阻与周圍媒質湿度的关系	34
4. 电介質中的电流·电流的种类	35
5. 电介質的等效綫路圖	37
6. 固体电介質的欧姆定律	39
7. 液体和固体电介質的电导与溫度之間的关系公式的推导	41
<b>第三章 电介質損耗</b>	<b>46</b>
1. 基本定义	46
2. 电介質的等效綫路	48
3. 电介質損耗的一般理論	48
4. 电介質損耗及其与溫度和頻率的关系	55
5. 电介質損耗的主要型式	57
6. 偶極式損耗理論	61
7. 偶極理論的實驗核對	68
<b>第四章 固体电介質的热击穿电压</b>	<b>73</b>
1. 固体电介質热击穿电压的初步計算	73
2. 固体电介質热击穿电压的近似計算	81
3. 均匀电介質的热击穿电压計算	88
4. 电介質的热击穿試驗数据	109
<b>第五章 固体电介質的电击穿</b>	<b>111</b>

1. 引論 .....	111
2. 电击穿試驗数据 .....	112
3. 电击穿理論 .....	119
4. 电击穿时的边缘效应 .....	121
<b>第六章 双層电介質的电气性能 .....</b>	<b>125</b>
1. 引論 .....	125
2. 双層电介質中的吸收电流和極化过程 .....	128
3. 双層电介質中电压分布的試驗研究 .....	133
4. 双層电介質中的电介質損耗 .....	136
5. 双層电介質中电介質損耗理論的試驗校核 .....	140
6. 云母絕緣的 $\tan \delta$ 的計算 .....	144
7. 層狀电介質在直流下的热击穿电压計算 .....	146
<b>第七章 电气絕緣中的塑料 .....</b>	<b>154</b>
1. 引論 .....	154
2. 塑料的分类 .....	156
3. 高聚物的生成过程 .....	159
4. 工業上的聚合方法 .....	166
5. 聚乙烯为基的塑料 .....	168
6. 聚异丁烯为基的塑料 .....	170
7. 聚苯乙烯为基的塑料 .....	172
8. 聚氮杂苧烯为基的塑料 .....	176
9. 聚氯乙烯为基的塑料 .....	177
10. 增塑过的聚氯乙烯 .....	179
11. 聚偏二氯乙烯为基的塑料 .....	180
12. 聚四氟乙烯为基的塑料 .....	182
13. 聚三氟一氯乙烯为基的塑料 .....	184
14. 聚乙酸乙烯酯 .....	186
15. 聚乙烯醇縮甲醛 .....	187
16. 聚甲基丙烯酸甲酯 .....	188
17. 以酚和醛为基的树脂和以之为基的塑料 .....	189
18. 脲甲醛(碳酰胺)和三聚氰胺甲醛树脂及塑料 .....	194
19. 格里夫塔树脂 .....	196
20. 聚对苯二甲酸乙二醇酯(聚对苯二甲酸酯) .....	197
21. 合成聚酰胺为基的塑料(耐綸, 卡普綸等) .....	188
22. 环氧聚合物 .....	202
23. 綫型高聚物大分子的結構特点 .....	204

# 緒 論

## 1. 課程的目的

“电工材料”課程的目的是研究应用在电工結構中的、在运行时承受电磁場作用的一些特殊材料。在电工結構工作时，电工材料起着一定的只有它才具有的技术功能，来保証电工設備的正常工作。

一切电工材料都可按照它們的功能特点分为四类：

A. 导电的金屬材料 这些材料的电阻系数是在  $1.7 \times 10^{-6}$  与  $1000 \times 10^{-6}$  欧厘米之間，在發電、輸电、配电和調整电能的电工設備中用作导电的部分。这类材料包括电机、变压器的繞組及电器綫圈中的高电导金屬和合金；絕緣电綫和电纜的导电芯綫、电力傳輸綫路的导綫、电气鉄道的接触綫；变阻器、电工測量仪表、电热設備、白熾灯和电子管等等中所用的高电阻金屬和合金；做触头用的金屬和合金等等。导电材料有：銅，鉛，青銅，黃銅，鉄，鎢，鉬以及許多其他的金屬和它們的合金。

B. 电气絕緣材料(电介質) 电气絕緣材料的电阻較大，約为  $10^9$ — $10^{22}$  欧厘米。这些材料是用来在圍繞电工結構导电部分的媒質中建立电場以便取得电能(电容器)，以及用来防止和限制电流，使电流不沿着不希望的方向流动(电机、变压器、电器等等的絕緣)。在实际上应用的是液体电介質(矿物油，苏伏油)，有机和無机固体电介質(树脂，漆，塑料，云母，石英，电瓷等等)。气态电介質和高度真空同样也具有很好的絕緣性能，而且空气是許多电工設備的天然的絕緣媒質(电机、变压器、油开关、电力傳輸綫等等外面的絕緣)。

**B. 磁性材料** 磁性材料是供增加磁通和提高系統的磁能用的，并且还可以产生繼电、磁致伸縮、磁力彈性以及其他一些效应，这些效应可应用在各种仪表和特殊設備中。磁性材料被应用在变压器的磁导体、电机的鉄心、电报和電話工程、無線电通訊和雷达、繼电器、控制电子和离子过程的仪器等等中。

属于磁性材料的有：軟磁材料（純鉄，硅鉄电工鋼；鉄鎳良导磁合金等等）；硬磁材料（含鎢、鉻、鈷的合金鋼；鋁鎳合金，鋁鎳鈷合金，磁鈷合金等等）；由鉄磁粉末和膠粘剂制成的磁介質；氧化鉄和其他金屬氧化物（ $ZnO$ ,  $NiO$ ,  $CuO$  等等）化合成的鉄滄氧磁物。

軟磁材料的特点是最大导磁系数很高，約为  $10^2$ — $10^6$  高斯/奥斯特，而矯頑磁力不大，約为 2—0.01 奥斯特。硬磁材料有很大的矯磁力（100—700 奥斯特），較大的剩磁（5000—12000 高斯）和較高的單位磁能。

$$W_m = 30 \times 10^3 - 150 \times 10^3 \text{ 尔格/立方厘米。}$$

**Г. 电阻系数为  $10^0$ — $10^{-2}$  欧厘米的半导体材料（电子式半导体）** 这种半导体材料可用来制造与电压有显著关系的电阻（避雷器）、与溫度有显著关系的电阻（热电阻）、与机械压力有显著关系的电阻（張量計）、与照度有显著关系的电阻（光电阻），以及用来制造真空管的陰極、光电繼电器、光电池、半导体整流器、放大器、振荡器、晶体檢波器。

許多金屬氧化物（ $CuO$ ,  $Cu_2O$ ,  $ZnO$ ,  $UO_2$ ,  $Fe_2O_3$  等等）；硒，碲和它們的許多化合物；硅，鍺，碳；电工用碳的制品等等都是属于电子式半导体的。

任何电工結構（电机，电器等等）都是各种电工材料的一定的組合，而电工設備的工作情况就是由外界因素（电場和磁場、放射、溫度、压力、机械作用、湿度等等）的作用在材料中所引起的电磁的、光电的、热的、机械的以及其他过程的特性和强度决定的。因此，必須在深入而全面地研究电工材料的化学、物理及工艺性質的

基础上才能在电工結構中合理地使用材料并保証电工結構能可靠地工作。

由此可見，“电工材料”，課程是培养我国具有高度技术水平的电气工程师的总体规划中的一个必要的組成部分。

## 2. 材料的物理本質和性能

材料的性質是和它的化学本質，物理結構以及制造工艺有直接关系的，而材料按照其功能所作的分类最后亦是要由物質的电子結構的特点来决定的。例如，材料的电子式电导是由价电子能級結構的特点以及电子在外界因素(电場，放射，溫度等等)影响下从一个能級轉入另一能級的可能性来决定的。

在电介質中，相当于系統的最低位能(就是它的最穩定状态)的所有价电子能級通常都是被占滿的，而且在每一个能級上都有两个相反地自轉的电子。因而在电介質中，正常区域所能有的能級数应等于分布在這些能級上的电子数的一半。电介質中的电子式电导只有在消耗大約几个电子伏的能量下才会产生，因为在滿区和自由区之間还存在着能量間隔为2—7电子伏的禁区。

在正常工作条件下，电介質分子热分解的能量要比电子轉入自由区的能量小好多倍，这情况在实际上是非常重要的。因此，电介質不是具有电子式电导而是具有离子式电导，它随着溫度的升高而按指数律增長。通常电介質中都含有外来的雜質，它使离子式电导有显著的增加。

反之，在半导体中，离子热分解的能量要比电子从正常区域轉入导电的自由区域的能量大得多，所以半导体具有电子式电导。半导体中禁区的宽度大約为一个电子伏或者更小。在导体中，正常区域被价电子或是部分地充滿，或是全部地充滿，当部分充滿时，在这区域中一切价电子容易达到的能級的某些部分是空着的；当完全被充滿时，这区域又与未被充滿的导电的区域相毗鄰，也就是說，



在它們之間沒有禁区。因此，禁区寬度的數量變化引起了材料電導性質的本質上的改變，因而使材料的使用功能亦起了根本的變化。

鐵磁現象可以作為材料性質與其電子結構相聯繫的另一個例子。金屬和合金的鐵磁性能決定於原子內部未被充滿的電子層的結構，因而有一定數量的電子自轉矩可能未被補償。

相鄰原子的未被補償的原子自轉之間存在着一定的電的相互作用，並且在某些純金屬（Fe, Co, Ni, Cd）以及它們的許多合金中引起鐵磁現象。必須指出，既然材料的鐵磁性質決定於內部電子層的結構（主要是次層  $3d$ ），而不是價電子，那末，顯然不僅只有導體，而且半導體和電介質亦都可以具有鐵磁性能。實際上，如以  $MO$  代表二價金屬氧化物（ $ZnO$ ,  $FeO$ ,  $MgO$ ,  $NiO$  等等），那末  $MO \cdot Fe_2O_3$  型的化合物在常溫下是半導體，在低溫時則是電介質，而且它們同時還具有顯著的鐵磁性質。這些材料稱為鐵滄氧磁物，由於它們的電阻係數很大，因此在高頻和脈沖技術上用作軟磁材料是很有成效的。

宏觀的電磁場理論利用三個物質的特性參數： $\gamma$ ,  $\epsilon$  及  $\mu$ ，即材料的導電係數，介電係數和導磁係數；對於電介質和半導體來說，主要是  $\gamma$  和  $\epsilon$ ，對於磁性材料則為  $\gamma$  和  $\mu$ ，對於磁介質則是所有三個特性參數。

但是實踐指出，為了全面地研究材料的電磁性能，這些特性參數是不夠的。如對電介質而言，有必要加入電介質的損耗角正切、击穿電場強度等等；對磁性材料而言，則要加入如下一些特性：矯頑磁力，剩磁，磁滯損耗等。

一切決定材料性質的特性都是和它的內外因素有關的。材料的化學成分、物理結構、製造工藝、在運行時內部發生的物理化學過程等等都是屬於內在的因素；而溫度、頻率、工作電壓、時間、壓力、濕度、放射作用等等則屬於外在的因素。研究電工材料在一定的具體條件下內部進行的物理、化學和電氣過程，研究製取預先給

定性能的新材料的方法、計算电气絕緣和其他結構以保證它們在运行时工作的最大可靠性，这些都是作为一門科学課程的电工材料学的主要任务。

### 3. 电工材料学發展史略述

众所周知，俄国科学在發展先进的技术部門——电气技术中起着首要的作用。即是俄国在世界上首先卓越地作出了技术的發明，它为电工技术的迅速發展及其实际应用奠定了基础。其中包括研究电动机的結構和应用[В. С. 耶可皮，达魏伐-达勃罗夫尔斯基(Якоби, Довиво-Добровольский)], 研究电气照明的方法[П. Н. 雅勃洛溪高夫(Яблочков), А. Н. 駱特根(Лядыгин)], 發明电弧[В. В. 彼得罗夫(Петров)]發明并研究光电效应[А. Г. 斯托列托夫(Столетов)]等等，均远远地超过其他国家电气技术的發展。

电气技术的發展是和电工材料的研究不可分割地联系着的，因此，电工材料性質的研究經常吸引着俄国学者們的注意，而新材料的应用也常常使电工結構發生根本的和原則性的改进。

В. В. 彼得罗夫(1761—1834)是偉大的罗蒙諾索夫的繼承者，俄国物理学及數學的組織者，电弧(彼得罗夫弧)現象的發明者及基于輝光現象(磷光)的新光源的奠基者，在他的著作中，电工材料占了一个很大的位置。在他有名的电弧試驗中，作为电源的是由4200个電池組成的電池組，这样他第一个解决了高压電池組的电气絕緣問題。他在實驗中应用了木炭，并且注意到碳的質量，他指出，有时几十个碳極中間只有一个是合用的。这就是事情的成功取决于电工材料質量的一个生动例子。

我們还可以在 П. Н. 雅勃洛溪高夫(1847—1894)的著作和發明中看到許多足以說明电工材料在俄国电气工程發展上的巨大意义的例子，雅勃洛溪高夫建議在光源極不穩定的弧光灯中并行安放兩個碳極，其中填以土壤(高嶺土、粘土)。因为高嶺土和粘土在

常溫時是絕緣體，而在足夠高的溫度時就變為導體。這樣一來，雅氏實質上已建議了用新的材料（即高嶺土和粘土）來作為加熱物體了。以後雅氏又建議用導電材料代替碳極，但在電極間仍保留絕緣物質。這種放在各有反射器的玻璃泡中的電燭就是電氣照明廣泛應用的開端。因此，選擇適宜的電工材料並且在電工設備中賦以一定的功能才保證了雅氏著名發明的成功。

最後，白熾燈（1874年）的發明者 A. H. 駱特根（1847—1923年）之所以獲得顯著成就，同樣亦是由於深入地研究了所應用的材料（碳，碳絲，高電阻合金，金屬絲）。駱特根還把熱電子放射貢獻給世人，而如果没有它，近代的電氣真空技術是不可想像的。

隨着電工技術的發展，對電工材料的技術要求也跟着提高了。譬如，實踐提出了儘可能減輕電機和電器的重量的要求。這個任務的歷史性的解決，不單是依靠對電機和電器中電磁過程的更為完善的考慮，而且在很大程度上亦需要依靠研究出和應用新的磁性材料。譬如，直到 19 世紀末葉，只有碳素鋼用作硬磁材料，而碳素鋼的矯頑磁力  $H_c$  一般不超過 50—60 奧斯特，而且鋼會很快地老化（祛磁）。

1917 年研究出了矯頑磁力  $H_c$  達 260 奧斯特的鈷鋼，而在 1932 年提出了矯頑磁力  $H_c$  達 700 奧斯特，剩磁  $B_r$  達 12,000 高斯的鐵，鎳，鋁合金鋼。現在又由於蘇聯學者〔斯大林獎金獲得者 A. C. 柴依莫夫斯基（Займовский）等〕的工作，研究出了大量新的矯頑磁力很大的磁性合金（鋁鎳合金，鋁鎳鈷合金，磁鈷合金等）這些合金的矯頑磁力約為普通鋼的 10—15 倍左右，實際應用它們就可以大大減小儀表、電器及電機的尺寸和重量。同樣還研究出了導磁系數高達  $10^6$  高斯/奧斯特的新磁性材料，而且這導磁系數在高頻（ $10^6$ — $10^8$  赫芝）時亦能保持足夠大的數值。這樣就可以大大地減輕電器的重量和提高其工作可靠性，這對於在高頻下工作的電器尤其重要。高導磁系數的合金對研究新的繼電設備和自動控制儀

器提供了許多新的可能。

俄国的物理学家和化学家們非常关怀对电工材料学具有直接意义的物質結構和性能之間的关系的研究。俄国的著名物理学家 A. Г. 斯托列托夫 (1839—1896) 关于研究外光电效应的一些卓越著作, 在世界上第一次奠定了实际应用这个效应的科学基础。以后一些有名的苏联学者 A. Ф. 約飞 (Иоффе) 院士及其学派繼續着光电效应方面的工作, 結果研究出了新的作为光电陰極用的半导体材料, 并且創建了高灵敏度的光电池。杰出的俄国物理学家、發現光压的 П. Н. 列別捷夫 (Лебедев 1866—1912) 首先研究了目前在工, 农, 医藥的許多部門内应用着的电介質在超高频时的極化。有名的俄国物理学家 B. К. 阿加捷夫 (Аркадьев 1884—1953) 为金屬中的电磁过程奠定了科学的基础, 預測了鉄磁諧振現象, 并研究了目前在超高频工程中具有巨大实际意义的鉄磁金屬在短波时的性能。杰出的俄国物理学家和社会活动家 С. И. 瓦維洛夫 (Вавилов 1891—1951) 是研究新的光源和具有强烈磷光和螢光的新材料的奠基人。这样, 俄国和苏維埃物理学家們在研究物質方面所作的不倦的劳动为实际应用电工材料提供了新的可能性。

俄国和苏維埃的化学家們也对电工材料学的發展有着巨大影响。H. A. 古尔那高夫 (Курнаков) 关于合金的学說和建立合金性質与結構間关系所作的研究, С. В. 列別捷夫、H. Д. 齐林斯基 (Зелинский)、B. В. 勃索夫 (Бызов) 等人的合成橡膠的研究, К. А. 安特里楊諾夫 (Андрианов) 的硅有机化合物的發明, 許多苏維埃学者 [Г. С. 彼得罗夫, А. Я. 德林堡 (Дринберг), С. Н. 烏沙可夫 (Ушаков), И. П. 李舍夫 (Лисев), А. М. 那斯丢高夫 (Настюков) 等] 的大量新树脂和塑料的研究等等, 以上列举的一些例子已足以說明化学在电工材料学、特别是絕緣技术的發展中所起的重大作用了。

苏联学者們首先提出要全面地深入地研究电气絕緣材料在外界电場作用下發生的电气过程。已經全面地研究了固体电介質的

極化, 电导, 介質損耗和热击穿的过程。已經研究出了晶体电介質的电导理論 [А. Ф. 約飛和 Я. И. 弗蘭堪(Френкель)]; 正在詳盡地研究复晶体电介質的介質極化过程 [B. M. 伏尔 (Вул), Г. И. 斯柯挪維(Сканави), Н. П. 鮑高罗齐茨基(Богородцкий)等], 正在研究新的介电系数極高的强性电介質(鈦酸鋇)(B. M. 伏尔); 正在研究新的电瓷材料——高頻瓷料和超高頻瓷料(Н. П. 鮑高罗斯基), 还在研究具有各种溫度系数的电容器用的陶瓷材料(斯柯挪維, 斯鑒巴諾夫(Степанов), 伏龙可夫(Воронков), 鮑高罗齐茨基, 斯莫蘭斯基(Смоленский)等, 正在对苏联产的云母进行詳盡的研究, 并作出了在电机絕緣和电容器中如何最合理地使用云母的建議数据(米哈伊洛夫(Михайлов), 拉歇夫(Лашев)等)。在斯大林獎金获得者 К. А. 安德里揚諾夫的領導下, 已完成了研究新型絕緣材料的初步工作。在全苏电工研究院的他所領導的實驗室中已經研究出了新的合成液体——苏伏油, 苏伏油較之矿物油有許多优点, 特别是介电系数較高, 因此常常用来浸漬紙質电容器。在 К. А. 安德里揚諾夫的實驗室中正在綜合着大量的新型树脂, 特别是維尼弗列克斯树脂(винифлексовая смола), 这种树脂广泛地用作电綫的油漆絕緣, 較之一般用油基漆制成的油漆, 具有显著的优点。但在电气絕緣方面, 最卓越的成就是 К. А. 安德里揚諾夫首先完成的高分子硅有机化合物的合成。这些工作为化学科学的新領域和化学工業的新部門——制造这些不仅对电气絕緣而且对国民經济的許多别的部門有巨大实际意义的硅有机聚合物——奠定了基础。硅有机材料可以制成液体、膠体、橡膠类物体及固态树脂狀物質等, 而且都是稳定性很高、不随時間而变化, 在很大的溫度範圍內具有高度耐热性和优良的电性能。

在电气絕緣中使用了这些材料, 可以减小电机和电器的尺寸和重量(达 50%), 而且还大大地延長了絕緣的使用年限。硅有机絕緣的研究在电气絕緣技术的發展上是一个新的阶段。玻璃纖維

的制造工艺已由斯大林獎金获得者 М. Г. 車尔乃克(Черняк), М. С. 阿斯蘭諾娃(Асланова), С. И. 約飞等人研究成功, 它的应用对电气絕緣技术具有極大的意义。紗狀, 帶狀和布狀的玻璃纖維絕緣, 与云母和耐热的硅有机漆配合起来是現在最可靠和最能耐热的电机絕緣。

在基洛夫“电力”电机制造厂, 哈尔可夫斯大林电机制造厂, 基洛夫“电机”厂中都在为改进电机絕緣的制造工艺而做大量的研究, 因而可以大大地提高絕緣的質量。

苏联也曾非常关怀絕緣材料和电机及电器中絕緣成品的耐电强度的研究。В. М. 伏尔关于高压力下的气体耐电强度的研究著作具有实践上的意义。В. М. 博黑貝格建議的新气态电介質——六氟化硫(爱米加斯 элегаз)的耐电强度是空气的 2.5 倍。

Н. Н. 西門諾夫(Семенов)院士, В. 福克(Фок)院士, Г. А. 格林堡(Гринбер)通訊院士及其他人等成功地研究了固体电介質的热击穿理論, 这对計算电机和电器絕緣的耐电强度具有重要的实际意义。

虽然革命前的俄国学者完成了許多卓越工作, 但在沙皇俄国是没有电工材料工業的, 电工工厂掌握在外国資本家手中, 按照国外的圖样采用国外运来的材料制造。

只是在偉大的十月社会主义革命以后, 我国在共产党领导下組織了社会主义工業的迅速恢复和巨大發展, 特別在几个斯大林五年計劃时期內, 电气工業和电工材料工業一起获得了蓬勃的發展。早在苏維埃政权下的头几年里, 我国已建立了广泛的科学研究机构網(全苏电工研究院, 列宁格勒工程物理研究院等), 在这里进行了广泛的研究, 成功地制出了新型的电工材料。曾經重新組織了电机、电器和变压器的生产, 特別是大功率的, 又重新制訂了生产的工艺过程。

因此, 只有在苏維埃政权下, 我国才能产生电工材料制造工業

(生产电工用的金屬和合金，生产电工絕緣材料等)，現在我們的电工材料工業已完全能滿足我国电气工業和無綫电工業工厂的需要，并且在和科学研究机构的創造性合作下，正在不倦地从事于解决新的苏联發展五年計劃提出的电工材料学方面的許多新問題。

# 第一章 电介質的極化及其化学結構

## 电介質按其化学結構的分类

电介質的極化現象，是在电場作用下电介質內部發生的一种物理过程。極化是物質电性能的結果。每一个分子都是由一些正負电荷組成的电系統。根据这些电荷在分子中的分布特性，可將由分子組成的电介質分成三大类、这三类是極端情况，其中还有电介質分子的电結構的过渡形式。

第一类：中性电介質，它由对称結構的分子所組成，分子內部正負电荷的中心互相重合，因此这类分子的电矩等于零(圖 1-1)。中性电介質的介电系数在 1.8—2.6 范围内，当沒有外来杂质时，它的容积电阻系数很大，数量約为  $10^{16}$ — $10^{18}$  欧—厘米，并且它有化学惰性的特点。属于中性电介質的有烷系碳氢化合物( $C_nH_{2n+2}$ ) 矿物油、石蜡、地蜡、瀝青、苯乙烯等。一般說来，中性电介質分子的化学結構是对称的，也就是說結構式是对称的。举例如下：

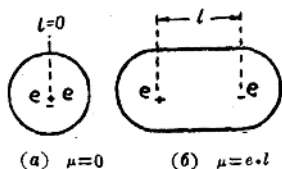
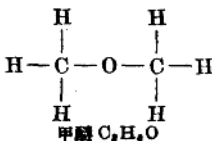
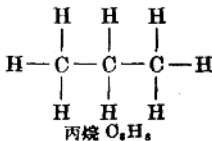
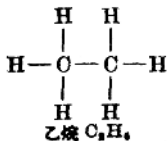
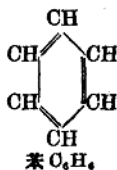
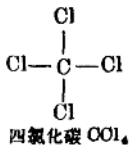
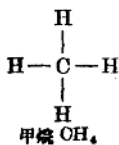


圖 1-1 介質(a)中性分子及 (b)偶極性分子中电荷分布圖。





必須指出，甲醚具有和乙醇相同的化學組成，但是根據各自的性質來看，這些物質彼此間有很大的差別。乙醇是偶極性液體，在  $78^{\circ}\text{C}$  沸騰，而甲醚則是氣體，只在溫度為  $-20^{\circ}\text{C}$  時才是液體。

第二類：偶極電介質，它的分子由於分子中正負電荷的不对称分布而具有電矩。若每個數值為  $e$  的正負電荷的中心距離為  $l$ ，則分子的電矩為

$$\mu = e \cdot l. \quad (1-1)$$

偶極矩視作一個矢量，其方向是沿着偶極軸綫從負電荷指向正電荷（圖 1-1.）。

偶極分子的電矩值在  $0.3 \times 10^{-18} - 10 \times 10^{-18}$  靜電單位·厘米範圍內，或者從  $0.3D - 10D$  範圍內，這裡  $D = 10^{-18}$  靜電單位·厘米，是偶極矩的單位，稱作“德拜”，系紀念首先提出電介質偶極理論的德國學者德拜而制定的。

偶極電介質有時分為：弱偶極電介質 ( $\mu \leq 0.5D$ )，中等偶極電介質 ( $0.5D < \mu \leq 1.5D$ ) 與強偶極電介質 ( $\mu > 1.5D$ )。偶極電介質與中性電介質相比較，具有較大的介電系數值，範圍從 2.6 到 80。它們的容積電阻系數變化範圍極大 ( $10^{17} - 10^7$  歐·厘米)。所有強偶極電介質（水，酒精，丙酮等），它們的介電系數通常為 10 或更高，具有極強的離解能力，所以它們的電阻系數不大，約為  $10^6 - 10^8$  歐·厘米。這些物質只可以列入半導體，而不能列入電介質中。得到實際應用的偶極電介質，其電阻系數為  $10^{10}$  歐·厘米或更高。屬於這樣的材料有植物油（亞麻油、桐油、葵子油、蓖麻油等），許多天然樹脂與合成樹脂（虫膠、松香、培克榮、格里夫大爾樹脂等），其次為紙、硝酸纖維、醋酸纖維、合成液體電介質（蘇伏油及蘇伏多油），以及其他很多種有機物質。

表 1-1, 1-2, 1-3 中列舉了數種有機化合物的弱、中等及強偶極分子的偶極矩值。在表 1-1 中列舉了弱與中等偶極化合物的數據，由此很易看出雙鍵、三鍵及分子對稱為程度對偶極矩數值的影