

第六篇 電工材料

目 錄

頁

第一章 絕緣材料

1.1	絕緣材料之分類	6— 1
1.1.1	概說	6— 1
1.1.2	耐熱性	6— 2
1.1.3	絕緣劣化與壽命	6— 3
1.2	絕緣材料之性質	6— 4
1.2.1	吸收及殘餘現象	6— 4
1.2.2	絕緣電阻	6— 4
1.2.3	電介質損失與介質常數	6— 5
1.2.4	絕緣耐力	6— 6
1.2.5	溫度上昇	6— 6
1.3	氣體材料	6— 7
1.3.1	空氣	6— 7
1.3.2	特殊氣體	6— 7
1.4	液體材料	6— 8
1.4.1	天然礦油	6— 8
1.4.2	合成油	6— 10
1.5	無機固體材料	6— 11
1.5.1	雲母	6— 12
1.5.2	石棉	6— 12
1.5.3	大理石及石板石	6— 13
1.5.4	瓷器	6— 13
1.5.5	玻璃	6— 14
1.6	有機固體材料	6— 14
1.6.1	木材	6— 14

1.6.2	紙	6—15
1.6.3	纖維線與布	6—16
1.6.4	纖維素衍生物	6—16
1.6.5	天然樹脂	6—16
1.6.6	橡皮	6—17
1.6.7	古塔波膠及巴拉他	6—18
1.6.8	石臘及地臘	6—18
1.6.9	地瀝青及瀝青	6—18
1.7	塑料	6—18
1.7.1	塑料之性質	6—18
1.7.2	乙烯樹脂	6—19
1.7.3	苯乙烯樹脂	6—20
1.7.4	一甲基丙烯酸樹脂	6—20
1.7.5	聚乙烯	6—21
1.7.6	四氟乙烯	6—21
1.7.7	三氟氯乙烯聚合物	6—21
1.7.8	尼龍樹脂	6—21
1.7.9	酚樹脂	6—22
1.7.10	氨基樹脂	6—22
1.7.11	脲氧樹脂	6—22
1.7.12	矽樹脂	6—23
1.7.13	合成橡膠	6—23
1.8	凡立水及混合物	6—24
1.8.1	油脂與臘	6—24
1.8.2	凡立水及混合物	6—25

第二章 導電材料

2.1	導電材料之性質	6—26
2.2	電線	6—27
2.2.1	裸電線	6—28
2.2.2	絕緣電線	6—30
2.2.3	電力電纜	6—35
2.2.4	通訊電纜	6—38

2.3	電阻材料	6—40
2.3.1	電阻器用材料	6—40
2.3.2	電熱用材料	6—43
2.3.3	高頻率用電阻材料	6—46
2.4	特殊導電材料	6—47
2.4.1	保險絲	6—47
2.4.2	接點材料	6—49
2.4.3	碳質材料	6—50
2.4.4	真空管用材料	6—52
2.4.5	電晶體用材料	6—52
2.4.6	熱電材料	6—52
2.4.7	壓電材料	6—52
2.4.8	雙金屬恒溫器材料	6—53
2.5	半導體材料	6—53
2.5.1	珠粒熱阻器	6—53
2.5.2	變阻器	6—54
2.5.3	半導體整流器	6—54
2.5.4	光電池	6—55
2.5.5	電子冷光	6—56
2.5.6	半導體之製法	6—57
2.5.7	電晶體之製法	6—58
2.6	導體特性附表	6—61
2.6.1	裸導線表	6—61
2.6.2	被覆導線表	6—97
2.6.3	電纜特性表	6—110
2.6.4	電阻材料表	6—138

第三章 磁性材料

3.1	磁性體之性質	6—144
3.2	永久磁鐵材料	6—145
3.2.1	熱處理硬化磁鐵	6—145
3.2.2	拆出硬化磁鐵	6—146
3.3	磁鐵心材料	6—147

3.3.1 純鐵	6—147
3.3.2 矽鋼片(帶)	6—147
3.3.3 高導磁係數材料	6—154
3.3.4 高頻率用磁鐵心材料	6—156
3.3.5 角形磁滯材料	6—158
3.4 特殊磁性材料	6—158
3.4.1 磁的畸變材料	6—158
3.4.2 整磁材料	6—158
3.4.3 非磁性材料	6—158
3.5 各種矽鋼片之磁化曲線，導磁係數曲線、損失曲線	6—159

第四章 材料試驗法

4.1 絕緣材料之電氣特性試驗	6—167
4.1.1 絕緣電阻試驗	6—167
4.1.2 介質強度試驗	6—168
4.1.3 電介質功率因數及電介係數試驗	6—169
4.2 絕緣材料之物理試驗法	6—172
4.2.1 厚度	6—172
4.2.2 比重	6—172
4.2.3 吸水量	6—173
4.2.4 吸水度	6—173
4.2.5 水份	6—173
4.2.6 耐濕性	6—173
4.2.7 硬度	6—173
4.2.8 粘度	6—173
4.2.9 流動點	6—174
4.2.10 粘着性	6—174
4.2.11 接着力	6—174
4.2.12 抗張強度與伸長率	6—174
4.2.13 永久伸長變形	6—174
4.2.14 壓縮率	6—175
4.2.15 耐壓力	6—175
4.2.16 抗折力	6—175

4.2.17 衝擊.....	6—175
4.2.18 屈曲性.....	6—175
4.2.19 可撓性.....	6—176
4.2.20 雲母含量.....	6—176
4.2.21 流體之膨脹係數.....	6—176
4.2.22 固體之膨脹係數.....	6—176
4.2.23 耐熱性.....	6—177
4.2.24 耐燃性.....	6—177
4.2.25 劣化性.....	6—177
4.2.26 耐寒性.....	6—177
4.2.27 引火點.....	6—177
4.2.28 不揮發份.....	6—177
4.2.29 灰分.....	6—178
4.2.30 蒸發減量.....	6—178
4.2.31 烘乾時間.....	6—178
4.3 有機材料之化學試驗法.....	6—178
4.3.1 絕緣塗料.....	6—178
4.3.2 臘布及臘帶.....	6—178
4.3.3 臘紙.....	6—179
4.3.4 黑包布帶.....	6—179
4.3.5 絕緣油.....	6—179
4.3.6 石炭酸樹脂.....	6—180
4.3.7 絕緣紙及電容器紙.....	6—181
4.4 磁性材料試驗法.....	6—181
4.4.1 磁化曲線及磁滯曲線試驗法.....	6—181
4.4.2 低頻率交流磁化特性與鐵損試驗法.....	6—184
4.4.3 高頻率磁特性試驗法.....	6—187
4.4.4 永久磁鐵材料試驗法.....	6—188
4.4.5 層間電阻試驗法.....	6—189
4.4.6 佔空因數試驗法.....	6—190

第六篇

電工材料

張國泰

第一章 絕緣材料

1.1 絕緣材料之分類

1.1.1 概說

電氣絕緣材料之種類很多，有氣態、液態及固態，大致可分為天然材料與化學合成材料二大類。天然材料有礦物系之無機類及動植物系之有機類二種。天然

表 6.1.1 絕緣材料組織上之分類

分		類	原 料 素 材 例	加 工 材 料 例	
天	無機物	氣 體	空氣、氮、CO ₂ 、Freon		
		礦 物 質	雲母、石棉、各種礦物。	雲母製品、石棉製品、玻璃、瓷器、陶器。	
然	有 機 物	纖 維 質	木材、木綿、生絲、麻。	絕緣紙、板紙、絲、布類、絕緣凡立水、混合物、臘布、絕緣處理木材、絕緣油、電纜用混合物。	
		動 植 物 脂 肪	亞麻仁油、中國桐油、蜜臘。		
		石 油 系 質	礦油、石臘、地氈青。		
		天然樹脂	松脂、柯巴脂、蟲膠。		
		天然橡膠	生橡膠、古塔波膠。		
合	無機或有機物	氣 體	冷凍劑、六氟化硫。	加硫橡膠製品、絕緣用橡膠混合物。	
		合 成 油	氯化油、氯化苯、矽油。		
		合成礦物	合成雲母、單結晶。		合成雲母型造品。
		合成樹脂	phenol酚樹脂、polyester聚酯樹脂、矽素樹脂、合成纖維、合成薄膜。		絕緣凡立水、混合物、注型混合物、積層材、成型品、布。
		合成橡膠	聚丁烯橡膠、chlorprene矽橡膠。		型造品、電線被覆材、玻璃布。
		合成物			

物質大都須經選別、精製或加工處理後始能使用。隨化學工業之進步，化學合成絕緣材料現於工業上已占相當重要的地位，絕緣材料在其構成上，可分類如表 6.1.1，由形態上可分類如表 6.1.2 所示。

表 6.1.2

絕緣材料型態上之分類

分	類	例
氣體絕緣材料		空氣、氮氣、六氟化硫、冷凍劑。
液體絕緣材料	絕 緣 油	礦油、合成油。
半固體絕緣材料	絕 緣 凡 立 水	酒精凡立水、油性凡立水、合成樹脂凡立水。
	絕 緣 混 合 物	浸透用、填充用混合物、臘類。
	注 型 混 合 物	Epoxy 樹脂、Polyester 樹脂。
固 體 絕 緣 材 料	絲狀管狀絕緣物	天然纖維、合成纖維凡立水、積層管。
	薄 膜 絕 緣 物	凡立水處理品、合成樹脂薄膜。
	彈 性 體	天然橡膠、合成橡膠。
	積 層 品	合成樹脂積層品。
	成 型 品	合成樹脂成型品。
	窯 業 品	玻璃、陶瓷器、凍石。

1.1.2 耐熱性

電機之輸出受該電機最高容許溫度所限制，而電機之容許運轉溫度，則由絕緣材料之耐熱程度而決定，故電機使用之絕緣材料可依耐熱之程度而分類。電機絕緣由其耐熱特性，依 CNSC 161，分為 Y、A、E、B、F、H、及 C 等類。

(1) Y 類絕緣：係能充分耐受其容許最高溫度為 90°C 之材料所構成之絕緣。例如由棉紗、絲、紙等構成，但未滲透清漆 (varnish) 類，或未浸入油中者。

(2) A 類絕緣：係能充分耐受其容許最高溫度為 105°C 之材料所構成之絕緣。例如由棉紗、絲、紙等構成並經滲透清漆類，或浸入油中者。

(3) E 類絕緣：係能充分耐受其容許最高溫度為 120°C 之材料所構成之絕緣。

(4) B 類絕緣：係能充分耐受其容許最高溫度為 130°C 之材料所構成之絕緣。例如雲母、石棉、玻璃纖維等材料，藉適當之黏合劑所構成之絕緣。

(5) F類絕緣：係能充分耐受其容許最高溫度為 155°C 之材料所構成之絕緣。例如雲母、石棉、玻璃纖維等材料，藉矽烷化樹脂 (silicon alkylde resin) 等之黏合劑所構成之絕緣。

(6) H類絕緣：係能充分耐受其容許最高溫度為 180°C 之材料所構成之絕緣。例如雲母、石棉、玻璃纖維等材料，藉矽烷仕樹脂 (silicon alkylde resin) 或具有同等特性之黏合劑所構成之絕緣。此外，將膠狀及固體狀矽樹脂或具有同等特性之材料單獨使用者，亦包括在內。

(7) C類絕緣：係能充分耐受其容許最高溫度為 180°C 以上之材料所構成之絕緣。例如單獨使用生雲母、石棉或瓷等，或藉黏合劑所構成者。

不同絕緣材料之併用：某類絕緣材料如為構造上之目的，而須與少量另一種容許最高溫度較低之絕緣材料合併使用時，即使後者有所損傷，但不至於損害整個絕緣之電氣及機械特性者，亦可視為該類絕緣。

1.1.3 絕緣劣化與壽命

普通絕緣材料於使用過程中，經一段時間後，其電氣及機械特性將會低下。特性的低下即屬絕緣劣化，其程度較輕時，尚可繼續使用，但劣化進展後，若不能耐過電壓或機械負載時，將導致絕緣破壞。絕緣劣化狀態之判斷相當困難，可靠之判斷方法現尚在研究中。絕緣劣化由於電氣方面之原因，則有熱劣化、電暈 (corona)、電弧等；機械的劣化原因，則為應力、振動等；化學之原因，則為化學藥品、紫外線、沼氣、或微生物的發生侵蝕之劣化等。經對熱劣化加以研究，得下列結論：

(1) 壽命與使用溫度之關係

依各種材料實驗結果，設某種材料假定其壽命為 Y 年，使用溫度為 $\theta (^{\circ}\text{C})$ 時， Y 與 θ 間有下式關係，

$$Y = Ae^{-m\theta} \quad [\text{年}] \quad (6.1.1)$$

式中 A 及 m 為材料特有之常數，其壽命時間之對數與溫度間之關係，近似一直線。圖 6.1.1 所示為 A、B 及 H 類絕緣材料之壽命時間與溫度間之關係。如其耐用年限均為 8 年，則 A 類之使用溫度為 105°C ，B 類為 130°C 。

(2) 相當於半壽命之溫度差

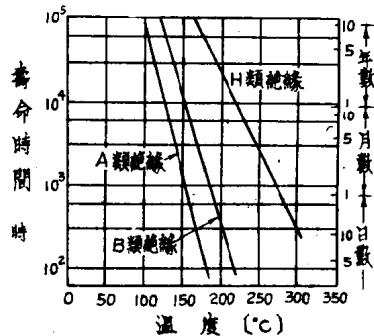


圖 6.1.1 絕緣材料使用溫度與壽命之關係

若使用溫度增高 $\Delta \theta^{\circ}\text{C}$ ，而使材料之壽命減為一半，則 $\Delta \theta$ 稱為半壽命之溫度差，如下式所示，

$$\Delta \theta = \frac{\log_e 2}{m} = \frac{0.69}{m}^{\circ}\text{C} \quad (6.1.2)$$

$\Delta \theta$ 之值經實驗結果，A、B 及 H 類各約為 8° 、 10° 及 12°C ，即 A 類絕緣材料之使用溫度，如上升 8°C 時，其壽命會減低一半，故可想像使用溫度提高時壽命低下之程度。近年經多方面研究結果，認為 8°C 定律並不完全正確。A 類絕緣材料減半溫度差各國制訂不同，日本取 6°C ，英國則採用 7°C 。

1.2 絕緣材料之性質

以絕緣為目的所使用之材料謂之絕緣材料。如電容器內之電介質即為絕緣材料之一種。絕緣材料之種類甚多，性質各異，但一般有下列共同之特性。

1.2.1 吸收及殘餘現象

如圖 6.1.2 所示，絕緣物施以直流電壓，最初有較大電流通過，隨時間之增加而逐漸減少，最後趨近於一定值 i_L 。暫態變化之電流值 i 係由充電電流 i_c 、漏電流 i_L 及被絕緣物吸收之吸收電流 i_a 所形成。停止對絕緣物所施電壓，則在短接端子間會發生與前述相反之暫態電流通過，此現象謂之殘餘現象，其電流、電壓及電荷各謂殘餘電流、殘餘電壓及殘餘電荷。絕緣性能良好之物質通常發生吸收及殘餘現象之時間較長。

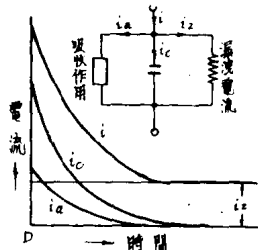


圖 6.1.2 絕緣物之吸收及殘餘現象

1.2.2 絕緣電阻

因實際上無絕對性非導電體的存在，故絕緣物加電壓時仍有電流在其內部及表面通過，因此物質之電阻可分為體積絕緣電阻及表面絕緣電阻。單位體積及面積之電阻值稱為體積電阻係數及表面電阻係數。設加直流電壓 V 伏時通過之電流為 I 安培，絕緣物厚度為 L 公尺，電極面積為 A 平方公尺，體積電阻係數為 ρ ，則

$$\rho = \frac{V}{I} \cdot \frac{A}{L} \quad \text{歐姆} \cdot \text{公尺} \quad (6.1.3)$$

ρ 之實用單位為歐姆·公分，圖 6.1.3 內電極間隔為 d 公尺，絕緣長度為 l 公尺，電極間直流電壓為 V 伏，全表面之漏洩電流（Surface leakage current）為 I 安培，絕緣

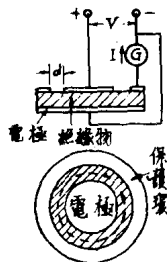


圖 6.1.3a 絕緣物之表面電阻率

物表面每單位面積之電壓為 V/d ，介質吸收電流 (Dielectric absorption current) 電流為 I/l ，故表面電阻係數 ρ_s 如下式所示：

$$\rho_s = \frac{V/d}{I/l} = \frac{V}{I} \cdot \frac{l}{d} \quad \text{歐姆} \quad (6.1.4)$$

ρ 或 ρ_s 之數值由濕度、溫度及表面狀況之變化而相異，電壓除以表面漏洩電流而得之電阻稱為表面漏洩電阻 (surface leakage resistance)，電壓除以電介質吸收電流而得之電阻稱為體積絕緣電阻 (volume insulation resistance)，表面漏洩電阻與體積絕緣電阻之和，或電壓除以漏洩電流之電阻稱為絕緣電阻 (insulation resistance)，且測定電阻值時，電流值必需為穩定者，故普通以加電壓一分鐘後之電流值為標準。

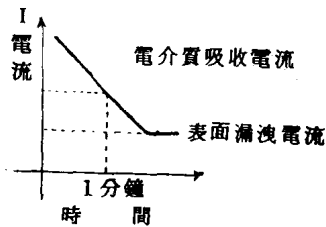
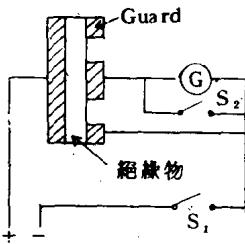


圖 6.1.3.b 絕緣物之體積電阻率

表面漏洩不因加電壓時間因而改變其值。而電介質吸收電流却在剛加電壓時電流值頗大但隨時間而減弱直至為零。

1.2.3 電介質損失 (dielectric loss) 與介質常數 (dielectric constant)

圖 6.1.4 內之絕緣物兩端加以頻率為 f 赫，正弦波電壓有效值為 V 伏之電壓，此時電流之有效值為 I 安培， I 與 V 間之相角為 ϕ ，則電介質內所消費的電力即電介質損失，如下式：

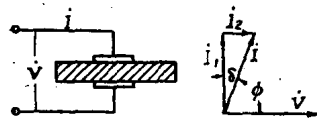


圖 6.1.4

G 15/3 B28

$$P = VI \cos \phi = VI \sin \delta \quad \text{瓦特} \quad (6\cdot1\cdot5)$$

設電介質電容器之電容量為 C 法拉，而以空氣為介質時之電容量為 C_0 法拉，又電介質之介質常數為 ϵ_s 法拉/公尺，則

$$C = \epsilon_s C_0$$

$$I \sin \delta = I_2 = I_1 \tan \delta$$

$$I_1 = 2\pi f CV = 2\pi f \epsilon_s C_0 V$$

$$\therefore P = 2\pi f C_0 V^2 \epsilon_s \tan \delta \quad \text{瓦特} \quad (6\cdot1\cdot6)$$

式中 $\tan \delta$ 稱為介質損失角 (dielectric tangent)。由此式可知電壓 V 雖一定，但頻率 f 愈高，或者 $\epsilon_s \tan \delta$ 愈大，介質損失亦隨之增大。因此絕緣物使用在交流時必須充分考慮這些影響。但也有利用此項介質損失者，如電介質加熱 (dielectric heating) 烘乾方法等。以絕緣材料而言， ϵ_s 之值愈小愈好，但若用作電容器的電介質，則 ϵ_s 愈大其形狀愈小。以油絕緣紙作為介質時，因兩者之介質常數甚為接近，可得均等電場而有利於高電壓的絕緣。

1.2.4 絕緣耐力

將加於絕緣物的電壓漸漸提高，以至絕緣破壞，則其單位厚度之破壞電壓，稱為絕緣破壞強度或絕緣耐力，其單位為 仟伏/公厘。絕緣破壞強度與物質種類、電極形狀、空隙長、電源種類、頻率、電壓昇高速度、加壓時間、溫度、濕度等條件有關。

1.2.5 溫度上昇

電線或電機之絕緣物，由於銅損與鐵損，或絕緣物本身的漏洩電流及介質損失等之發生，而使溫度上昇。溫度過高即導致絕緣物的劣化與燒損，因此絕緣物必需按照規定使用於安全的最高溫度範圍內，即不得超過容許最高溫度。溫度上昇限度與周圍溫度限度（空氣或氣體為 40°C ）之和為容許使用溫度，普通較容許最高溫度稍低。茲將不同絕緣物之溫度上昇限度值列於表 6.1.3。

表 6.1.3 絕緣物溫昇限度 (°C)

溫度測定法		絕緣種類				
機器部分		A 種	E 種	B 種	F 種	H 種
回 轉 機 (交流機定子線圈)	溫度計法	50 *	65 *	70 *	85 *	105 *
	電 阻 法	60	75	80	100	125
靜 止 器 (乾式自冷式線圈)	溫度計法	50		70		
	電 阻 法	55		75		

5/1/3 14-8

(註) 對全閉型，有*者溫昇限度須再提高 5°C

1.3 氣體材料

1.3.1 空氣

空氣是時常被利用作為絕緣材料的氣體，在電極距離不太小的均勻電場中，空氣的絕緣耐力在常溫常壓下為 3 仟伏/公厘。設氣體壓力為 P 公厘汞柱高，電極距離為 d 公厘時，破壞電壓與 P 及 d 之乘積有關。如將 d 減半而把 P 加倍時，破壞電壓仍相同。故 P 愈大，體積即可縮小，但是 P 若過分的增大，則因增加氧氣量，而促進導體及絕緣物的氧化作用。因此常用氮 (N_2) 或冷凍劑 (freon) 等氣體代替。

1.3.2 特殊氣體

絕緣破壞強度較空氣為大的氣體，雖有四氯化碳 (CCl_4)、二氧化硫 (SO_2) 等，但尚未達實用階段。而較有實用希望者則為冷凍劑及六氟化硫 (SF_6) 等。冷凍劑為二氯二氟化甲烷 (dichlorodifluoro-methane, CCl_2F_2) 及含有同系統之氯與氟的有機化合物。因化學性安定，絕緣破壞強度大，故普遍的在冷凍機作為冷媒使用。其絕緣耐力約為空氣之 2.5 倍，在常溫下能壓縮至 4~5 氣壓，約相當於壓縮 10 氣壓之空氣，而可得 30 仟伏/公厘。用於 X 線裝置高壓電機，高週波電路之絕緣，但若發生電暈或火花放電，則易分解產生腐蝕性物質。六氟化硫 (SF_6) 為無色、無臭、不燃、無毒、化學性安定，且無引火爆發等危險的氣體，在 500°C 高溫亦不易分解，電暈放電時則稍有分解，比重為 5.03，比熱為 0.1427 卡/克 $\cdot^{\circ}\text{C}$ ，導熱係數 (於 25°C) 為 3.4×10^{-5} (卡/秒 $\cdot$ 公分 $\cdot^{\circ}\text{C}$)，介質常數 (於 27.5°C) 為 1.00191。 SF_6 氣體之飽和蒸汽壓較冷凍劑高，故實用上無須考慮凝縮問題。其他對於溫度及放電的影響亦尚不致影響實際的使用。其絕緣破壞電壓在高氣壓時，可與絕緣油匹敵，壓力為 2.1 仟克/平方公分之 SF_6 氣體與絕緣油的絕緣破壞強度比較如表 6.1.4 所示。

表 6.1.4 2.1 仟克/平方厘米之 SF₆ 氣體絕緣破壞強度與絕緣油比較表

種 類	均 勻 電 場		不 均 勻 電 場	
	60 赫電壓	衝擊電壓	60 赫電壓	衝擊電壓
N ₂	1	1	1	1
SF ₆	1.5	72	5.1	26
絕 緣 油	1.95	72	4.4	37

1.4 液體材料

電機使用絕緣油（液體材料）之目的，主要除作為絕緣外，尚有其他附帶目的，如表 6.1.5 所示。絕緣油因要滿足表 6.1.5 的各項目的，故除須具備高絕緣耐力、安定的化學性能、高引火點、低凝結點、小介質損失等特性外，按用途的性質尚需具有適當的介質常數或粘度。通常使用之絕緣油都為天然礦油，因有易燃等缺點，近年來已漸使用不燃性合成油，但因價格昂貴尚未普遍使用。

表 6.1.5 絕緣油使用之目的

浸油機器種類	使 用 目 的
變 壓 器	絕緣、冷卻
斷 路 器	絕緣、消弧、冷卻
電 容 器	絕緣、增加介質常數、冷卻
電 機	絕緣、冷卻
套 管	絕緣

1.4.1 天然礦油

普通絕緣油由石油系原油分餾精煉所得。原油通常含有碳 83—87%，氫 11—15% 及其他少量的硫磺、氧、氮等化合物。中東產者多為環烷 (naphthene) 系，美國產者多為烷系 (paraffins)。兩者特性無大差異，但前者具有化學性安定，不易劣化，由溫度引起的粘度變化少等優點。絕緣油之絕緣耐力受所含有之水分、塵埃、氣體、油垢及酸類雜物等之影響，尤其水分及塵埃的影響最大。按照 CNS 規格使用直徑 12.5 公厘球形電極，測定 2.5 公厘間隙之絕緣破壞電壓值須在 30 仟伏以上。表 6.1.6 為絕緣油之各項特性。絕緣油在使用中受溫度或觸媒物質等之影響將漸劣化，達到某種劣化程度以上者需用過濾、離心分離器處理，或化學處理，重煉再生後才能使用。

離器處理或化學處理，重煉再生後才能使用。使用礦物性絕緣油電氣機器必須顧慮絕緣油本身可燃性和經電弧分解所產生主成份爆炸性以策安全。

表 6.1.6 b 絕 緣 油 之 比 較

項目 \ 絕緣油	氯 化 油	礦物性絕緣油
適 用 規 格	JIS C 2321-1963 2號B	JIS C 2320-1966
比 重 15/4°C	1.50~1.57	0.92 以下
粘 度〔秒〕30°C	82 以下	82 以下
雷氏粘度 (Red wood) 75°C	39 以下	39 以下
流 動 點 (°C)	-27.5 以下	-27.5 以下
燃 燒 性	無	(引火點 130°C以上)
蒸 發 量 (%)	2 以下	0.4 以下
全 酸 價 KOH(mg/g)	0.01 以下	0.02 以下
絕緣破壞電壓 (2.5mm) [KV]	40 以上	30 以上
誘 電 功 率	10 以下	
體積固有阻抗 (Ω-cm) (50°C)	10 ¹¹ 以上	10 ¹⁴ 以上
誘 電 率 100°C	4.0±0.2	2.2~2.4

表 6.1.6.C 氟 化 油 之 特 性

種 類	流動率 〔°C〕	沸 點 〔°C〕	比 重 (25°C)	比誘電率 (100C/S)	tanδ (100C/S)	比 阻 抗 (Ω-cm)	絕 緣 耐 力 kv/2.5mm (25°C)
(C ₂ F ₅) ₂ N	—	69	1.73	1.89	5×10 ⁻⁴ 以下	10 ¹³ ~10 ¹⁴	39
(C ₂ F ₅) ₂ N	—	129	1.83	1.85	"	"	44
(C ₂ F ₅) ₂ N	-50	178	1.87	1.86	"	10 ¹⁴ ~10 ¹⁵	45
(C ₂ F ₅) ₂ O	—	101	1.71	1.77	"	10 ¹³ ~10 ¹⁴	43
(C ₂ F ₅) ₂ O	-90	172	1.81	1.85	"	"	45

表 6-1-6a

絕緣油規範

種類	比重 15/4 (°C)	粘 度 CTS		流 動 點 (°C)	引 火 點 (°C)	蒸 發 量 (%)	反 應 性	全 酸 價	腐 蝕 性	安定度 (120°C) (75小時)		價	絕緣 破壞 電壓 (KV) (2.5 mm)	電阻係數 (Ωcm) (50°C)	介質功率因數 (50°C)
		30°C	75°C							油垢量 (%)	全酸價				
1號		23 (96) 秒以下	5.5 (39) 秒以下	-27.5 以下						—	—	6 15		10 ¹⁴ 以上	0.001 以下
—2號	0.92 以下	19 (82) 秒以下		-15 以下	130 以上	0.4 以下	中 性	0.02 以下	須 銅 板 不 變 色	0.4 以下	0.6 以下	— — —	30 以上	—	—
3號														—	—

(註) 1 號：使用於浸油電容器、浸油電機。

2 號：使用於浸油變壓器、浸油斷路器。

3 號：使用於寒帶以外之浸油變壓器、浸油斷路器。

1-4-2 合成油 (人造油)

(1) 氯化油 (不燃性油)

(a) 三氯苯 (trichloro-benzene)：為苯經氯化所得，實用上以氯化 60 % 程度為主体，為低粘度的無色透明液體，常與粘度較高之五氯聯苯 (pentachloro-diphenyl) 混合使用。凝固點低，用於地下或大樓等高壓設備。

(b) 三氯聯苯 (trichloro-diphenyl)：五氯聯苯 (pentachloro-diphenyl) 由苯 (benzene) 之縮合而得之聯苯 (diphenyl) [$C_{12}H_{10}$  ] 氯化物。通常為多異性體之混合液，將三個氫以氯更換者稱為三氯聯苯，五個氫更換氯者稱為五氯聯苯。五氯聯苯呈淡黃色，在常溫稍呈強粘性，介質常數大、絕緣耐力高。故廣泛的作為含浸劑，用於電容器方面，最近開始採用低粘度之三氯聯苯作為電容器含浸劑，凝結點較五氯聯苯為低，冷卻能力强，且在低溫時各種特性較優所致。上述合成絕緣油在美國稱為 Askarel，而一般商用名稱稱為 Pyranol 及 Aroclor 等。其特徵為化學性安定、不氧化、難燃性，

且絕緣性良好。因其為合成油，故其特性可由人為調整之。Askarel 經火花分解，則有發生氯化氫氣體之缺點，因此用於變壓器時需混合特殊添加劑。一般置於禁煙火、防爆炸建築物中之各種變壓器及電容器即使用此種合成絕緣油。

變壓器用的不燃性絕緣油，是由三氯化苯與五氯化二苯混合而成，其價格貴，普通同一容積價格高達礦物性油6~9倍，因不燃性油容易因油中電暈而分解成對絕緣物具有腐蝕性氯化氫（HCl）略臭所以不能使用於100Kv以上電壓，且因不燃性油具有微毒關係，被視為公害物，現已構成嚴重公害問題，日本政府已於（1972年）正式禁止生產與使用，美國政府也開始管制不燃性絕緣油生產使用。

(C) 氯萘 (chlorinated naphthalene)

以萘 $\left[\text{C}_{10}\text{H}_8 \right]$ 之氯化作成，介電常數比礦油及石蠟 (paraffine) 大，常作為電容器含浸劑。化學性稍不安定，使用中發生氯氣的缺點。

(2) 氟化油

近年發展出的氟化油有：甲烷系，胺系氟化物及 $\text{C}_2\text{F}_{10}\text{O}$ 之氟化醚等，其優點有：難燃、非爆、粘度低、有揮發性，故蒸氣壓高，冷卻效率高，沸點低，故熱安定，於廣泛頻率和溫度範圍內比電介係數和介質正切均小，消弧性佳，分解炭化物少；故適合作變壓器和斷路器之絕緣油，其缺點是遇高熱或電弧將產生有腐蝕性之生成物，需加適當安定劑如四苯基錫等。

(3) 矽油 (silicone oil)

矽油有耐熱性、耐寒性、化學性安定、不氧化變質及粘度受溫度變化的影響少等特點，因此可用做特殊絕緣油及電容器油。矽油與無機質填充劑混合製成的油膏狀矽化合物 (silicon compound)，富有撥水性及化學的抵抗性，尤其有環抱附着塵埃及鹽分等污損物的作用，故塗刷於套管等外部絕緣的表面以防止絕緣劣化。其他在玻璃、瓷器等表面塗一層薄的矽油再入窯燒製，可防止由吸濕引起的絕緣劣化。

(4) 成油氟聚合物 (polymerized olefine) [PO-3000]

乙烯 (ethylene) 等成油氟 (olefine) 系碳氫重合者，一般稱為 PO-3000，絕緣耐力比天然礦油稍大，但電阻係數大、介質損失小。可使用於高頻率高電壓電路。

1.5 無機固體材料

1.5.1 雲母 (mica)

天然雲母有白雲母 (white mica, 別稱為 muscovite 或硬質雲母) 與金雲母 (別稱軟質雲母) 等, 為透明或半透明結晶體, 可以剝薄至 0.001 公厘, 電氣特性優良, 富柔軟性、彈性及強度; 化學藥品不能侵蝕, 能耐高温 (白雲母約 550°C, 金雲母約 900°C)。白雲母有優良的電氣特性, 故多用作高電壓絕緣及電容器之介質。金雲母有優良的耐熱性, 故多用於電爐、電熱器之絕緣, 但遇加熱會發生水分與氣體, 所以作為真空管等材料時需要留意。因不易取得面積寬潤之天然雲母, 故通常以小片的硬質或軟質之剝離雲母片以各種膠劑膠合, 經過適當的加熱壓縮成板型稱為雲母板。雲母板有用於各種成形雲母, 如整流子片絕緣用雲母板、硬質及軟質雲母板、耐熱絕緣用墊板沖型用雲母板、電熱器用耐熱雲母板 (僅適用軟質雲母) 等。如用在電機 B 級絕緣, 須為富柔軟性容易彎曲之可撓性雲母 (flexible mica)。其他尚有單面或雙面貼紙之單紙或雙紙雲母片、雙面用薄絕緣紙貼合之雲母帶、一面用薄絕緣紙, 另一面用玻璃絲貼合之特質玻璃絲雲母帶 (silk mica tape) 等。雲母粉加添約半量之硼酸鉛玻璃粉, 在 700°C 附近強壓成形者為雲母成形絕緣物, 電氣性質良好、鑄造容易、與金屬之粘接力強、有耐熱性、車製及加工容易等。用作碳刷保持器、水銀整流器之陽極套管。天然雲母產地有限, 品質不齊, 故有人造雲母的研究。第二次世界大戰中德國即製造各種大小的人造雲母, 戰後在美國已有大量的生產, 日本雖曾試作, 但尚未製造大片人造雲母。

1.5.2 石棉 (asbestos)

天然無機材料中唯一有纖維狀結晶組織而可紡織者即為石棉, 經加工後作為耐熱材料。可供使用於電工方面者為溫石棉 (crysotile) 與青石棉 (crocidolite), 因原礦中含有導電性雜物, 且容易吸濕, 故電氣特性不理想, 但因有優良之耐熱性, 故適用於耐熱及耐火之絕緣材料, 最高使用溫度溫石棉為 450°C、青石棉為 300°C, 處理後之溫石棉有優良的絕緣、柔軟及耐蝕等特性, 青石棉則優於耐酸性及耐水性。石棉紙為石棉加棉花纖維織成紙狀者, 適用於電櫃槽絕緣, 及貼於斷路器內壁。石棉線為石棉加棉花纖維織成線狀; 石棉布則由石棉線織成。棉花纖維能補助強度, 但使耐火性降低, 一般作為耐熱絕緣電線之外皮。石棉與石灰及水泥混合壓縮成板形之石棉板, 可作各種機械加工, 富耐熱性, 能耐 500°C 溫度且能耐電弧, 尤其富於熱衝擊等特徵, 廣泛作為耐熱性及耐電弧性絕緣材料。為提高絕緣性及防濕性, 而浸含地氈青 (asphalt) 者謂之 Ebonyas-