

58975

基本馆藏

哈尔滨工业大学讲义

高 壓 電 器

王 彌 惠 等 譯



1956

277

02
1035

500
5/6035

58975

K4

高 壓 電 器

王 彌 惠 等 譯

1 9 5 6

譯 者：王 彌 惠 等
出版者：哈 爾 濱 工 業 大 學
印刷者：哈爾濱工業大學印刷廠

1956 年 6 月出版 工本費 1 元

前 言

1955 年 10 月，苏联專家 里沃夫 (Е. Л. Львов) 为我校電器專門化學生講授了「高壓電器」課程。本講義系由電器教研室研究生王線懇、徐任學、徐近霖、卞敬明根據聽課筆記編寫而成並進行校對，電器教研室教師王士和審校。

根據我校實際情況（普通課程時數少），在本課程中對電弧及發熱等理論作了較多的講授。如果學生在普通課程中已熟悉該部分理論，可作適當精簡，其餘時間可用來加強高壓電器結構方面的講授。由於時間的限制，對於教學大綱中規定的測量用互感器，高壓電器的試驗及自動氣體斷路器等部分沒有講授，而對壓縮空氣斷路器及操作機構部分作了適當精簡。該部分資料可從參考文獻 1, 2, 3, 及 4 中獲得。

本講義未經專家審閱，如有遺漏及錯誤之處，概由教研室負責，並請讀者指正，以便修改。

哈爾濱工業大學電器教研室
1955 年 12 月

目 錄

第一章 緒論

§ 1. 高壓電器的分類	1
§ 2. 高壓電器在配電裝置中的工作情況	1
§ 3. 對高壓電器的要求	1
§ 4. 高壓電器製造簡史	5

第二章 絕緣、導電部分及電弧計算的基礎

§ 1. 絕緣的抗電強度	6
§ 2. 在工業頻率與沖擊作用下電器的絕緣的試驗電壓	7
§ 3. 絕緣抗電強度的計算	8
§ 4. 導電部份截面的選擇	12
§ 5. 觸頭尺寸和壓力的選擇	16
§ 6. 高壓配電與保護電器中的交流電弧	18
§ 7. 電弧間隙電壓的恢復過程	28
§ 8. 工頻恢復電壓	29
§ 9. 自由振盪的恢復電壓	31
§ 10. 在複雜線路中電壓恢復過程的概念	35
§ 11. 開斷小的電感和電容電流的特點	37

第三章 高壓斷路器

§ 1. 對高壓斷路器的要求	39
§ 2. 高壓斷路器的分類	40
§ 3. 多油式斷路器	41
§ 4. 簡單分斷的斷路器	42
§ 5. 簡單消弧室	43
§ 6. 去離子柵	43
§ 7. 縱吹消弧室	46
§ 8. 橫吹消弧室	46
§ 9. 油斷路器的觸頭	47
§ 10. 高壓套管	49
§ 11. 斷路器的油箱	51
§ 12. 油斷路器的機械運動圖	53
§ 13. 斷路器的操作機構	54
§ 14. 斷路器的開斷過程	56
§ 15. 開斷彈簧的選擇	57
§ 16. 斷路器的閉合過程	61
§ 17. 多油式斷路器的設計	62

第四章 含少量消弧液的斷路器

§ 1. 食油式斷路器的結構.....	66
§ 2. 每相二分斷的食油式斷路器.....	66
§ 3. 消弧室.....	67
§ 4. 導氣管、油分離器及儲油櫃.....	68
§ 5. 傳動機構與操作機構.....	68
§ 6. 戶外用 35 — 110 仟伏食油式斷路器.....	68
§ 7. 水斷路器.....	69
§ 8. 食油式斷路器的設計.....	69
§ 9. 多油式斷路器與食油式斷路器的比較.....	69

第五章 空氣斷路器

§ 1. 消弧裝置.....	70
§ 2. 斷路器的結構.....	71
§ 3. 空氣斷路器的優點.....	72

第六章 隔離開關

§ 1. 對隔離開關的要求.....	73
§ 2. 隔離開關的構造.....	75

第七章 熔斷器

§ 1. 對熔斷器的要求.....	77
§ 2. 熔斷器的工作過程.....	78
§ 3. 熔斷器的構造.....	80

第八章 避雷器

§ 1. 管式避雷器.....	81
§ 2. 閘式避雷器.....	83

第九章 電抗器

§ 1. 對電抗器的要求.....	86
§ 2. 電抗器的計算.....	87

第一章 緒 論

§ 1. 高壓電器的分類

A) 按用途分類。

1) 開斷電器：用來斷開和接通高壓電力線路，例如：斷路器，負荷開關和隔離開。斷路器不僅能夠開斷額定電流，而且能開斷短路電流。負荷開關只能開斷額定電流，隔離開專供開斷或接通無電流電路之用。

2) 保護用電器：保護線路和電力設備不受過電壓和過負荷的損壞，如避雷器和熔斷器。

3) 限流用電器：用來限制短路電流，如限流電抗器。

4) 測量用電壓及電流互感器：他們的任務是：

(a) 把測量線路和高壓電力線路分開；

(б) 把被測量的量改變至適於測量的數值。

5) 成套電器：把所有一切必要的電器裝在櫃內，並接成需要的線路，以便完成某種工作。

B) 按名牌數據分類。

名牌數據是指電器的額定電壓、額定電流、熱穩定電流及電動力穩定電流等。各種電器的名牌數據是不同的，這在講具體電器時會看到。

B) 按運用條件分類。

電器可以分成戶內用和戶外用。對戶外用電器來說，氣候條件對它有很大影響。

§ 2. 高壓電器在配電裝置中的工作情況

A) 長期的額定工作狀態。此時電壓和電流不超過額定值。

B) 短時過電壓或過電流工作狀態。

最大電流過載就是短路，此時在各導電部分間產生很大的電動力，同時且大量發熱。電器應能經受此時的電動力作用和熱作用。對斷路器來說還應能開斷此短路電流。

過電壓發生在電力系統中電器操作和受雷擊時，這時絕緣可能被擊穿。

§ 3. 對高壓電器的要求

這裡所講的是對高壓電器的一般要求，至於對具體電器的特殊要求，將在以後講到。

A) 額定電流的等級。

額定電流等級由 ГОСТ 統一規定，是爲了使各種電器可以相互配合。額定電流的等級規定在 ГОСТ 2705 項內（表 1）

表 1

順序	名 稱	額 定 電 流 (a)								
1	一般等級	1—	2	3	—	5	—	7.5		
		10	15	20	30	40	50	—	75	
		100	150	200	300	400	500	600	750	
		1000	1500	2000	3000	4000	5000	6000	7500	
2	斷路器 隔離開關 絕緣套管	—	—	—	—	—	50*	—	—	
		100	—	200	—	400	—	600	—	
		1000	1500	2000	3000	4000	5000	6000	—	
3	電流互感器 (一 次線圈)	—	—	—	—	—	5	—	7.5	
		10	15	20	30	40	50	—	75	
		100	150	200	300	400	500	600	750	
		1000	1500	2000	3000	4000	5000	6000	7500	
		10000	—	—	—	—	—	—	—	
4	電流互感器 (二 次線圈)	1	—	—	—	—	5	—	—	
5	熔斷器	—	—	20	—	—	50	—	—	
		100	—	200	—	—	—	—	—	
6	熔斷片	—	—	2	3	—	5	—	7.5	
		10	15	20	30	40	50	—	75	
		100	150	200	—	—	—	—	—	
7	電抗器	—	—	—	30	—	50	—	75	
		100	150	200	300	400	500	600	750	
		1000	1500	2000	3000	—	—	—	—	

註: 只隔離開關有這一級

B) 額定電壓和最大電壓。根據 ГОСТ 1516—42 規定如下 (表 2)

表 2

額定電壓 (KB 有效值)	3	6	10	15	20	35	110	154	220
最大電壓 (KB 有效值)	3.5	6.5	11.5	17.5	23	40.5	121	169	242

最大電壓的長期作用應對電器的絕緣無影響。規定最大電壓是因為考慮到線路電壓可能離於額定電壓。

В) 絕緣。

電器的絕緣應能經受工頻及衝擊試驗電壓而不被擊穿。對隔離開關、熔斷器及絕緣子等，還規定放電電壓，即沿絕緣套管表面放電的電壓。對戶外用電器規定有濕放電電壓，即沿濕表面放電的電壓。

Г) 高壓電器絕緣的允許溫度和極限溫度。

電器的絕緣分成四級 (O, A, B, C)，每一級絕緣都有其極限溫度，在該溫度下絕緣可長期工作而不致使絕緣性質改變。

溫度可以用各種方法進行測量，如：電偶、溫度計及電阻法等。國家標準中所規定的最高允許溫度通常是指用一定的測量方法來測定的。在該溫度下，電器的絕緣在長期工作時不致損壞，因此其最熱點不應超過極限溫度。最大允許溫度與測量方法和被測電器的結構特點有關。

例如在用熱電偶測量時，須把熱電偶放在物體表面上（如圖 1），但如其間有間隙存在時，則熱電偶所測得的溫度將低於物體表面實際溫度。同時還應考慮到最熱點溫度將不一定能測到，所以在全蘇聯國家標準中所規定的最高允許溫度低於極限溫度，即允許上述之誤差存在。

又如在用電阻法測量線圈溫度時，可能得到平均溫度 θ_{cp} （圖 2）。要使實際的最大溫度低於極限溫度，即欲使

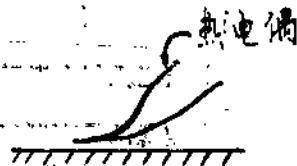


圖 1

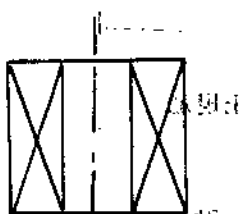


圖 2

$$\theta_1 \leq \theta_{пред}$$

則須使

$$\theta_{cp} \leq \theta_{доп} \quad (\text{允許溫度})$$

各種絕緣的極限溫度 $\theta_{пред}$ 在 ГРСТ 8555/1472 中有規定（表 3）。

表 3

等 級	絕 緣 類 別	$\theta_{пред} (^{\circ}\text{C})$
O	未經浸漬的有機絕緣	90
A	浸漬過的纖維材料，瓷漆 (эмаль)	105
B	帶有膠合物的雲母、石棉	125
C	陶器，不帶膠合物的雲母、石棉	未

電器各部分的最大允許溫度也有規定，它低於 $\theta_{\text{пред}}$ ，且和電器的結構有關（表 4）。

表 4

順序	名 稱	$\theta_{\text{max}}(^{\circ}\text{C})$
1	未絕緣和不與絕緣物接觸的導電部分	不高於 110
2	絕緣的導電部分	
	O 級.....	80
	A 級.....	95
	B 級.....	110
	C 級.....	110
3	在油中的裸導電部分	90
	在溫合物(компаунд)中的裸導電部分	未規定
4	固定和可動的接觸聯接	75
5	斷路器用的變壓器油（最上層）	75
6	電器用的變壓器油（最上層）	90

上表中的最大允許溫度都是指長期持續工作而言，而且是用熱電偶或溫度計測得的。

在測量變壓器油的溫度時，測量儀器應放在油的上層，靠近上層油表面。

短期過載時的最大允許溫度也有規定。（表 5）

表 5

順序	名 稱	$\theta_{\text{макс-доп}}(^{\circ}\text{C})$
1	和有機絕緣或油接觸的導電部分（銅）	250
2	不和有機絕緣接觸的導電部分	
	a) 材料是銅，黃銅，青銅	300
	б) 材料是鋁	200
註：鋁的最大允許溫度低，因為在高溫時，鋁制導線的機械變壞。		

在通過規定的熱穩定電流並經過規定的時間時，其溫度不應超過上列數值。熱穩定電流按其持續時間可分為 1 秒，5 秒及 10 秒三種。

也可用允許溫昇來表示。此時最大的周圍溫度如取 $+35^{\circ}\text{C}$ ，則允許溫昇與允許溫度間的關係為：

$$\tau_{\text{доп}} = \theta_{\text{макс-доп}} - \theta_0$$

此處

$$\theta_0 = +35^{\circ}\text{C}$$

Д) 電器不致受機械上破壞的極限短路電流 (ток сквозного короткого замыкания), 該電流通常稱為力穩定電流。電動力作用是瞬時的, 其最大值係當電流到達的最大值時出現, 所以該電流通常用最大值來表示, 一般取短路發生后第一半週波內電流的振幅值表示; 有時也用有效值表示。

至於其他要求, 如動作時間, 斷流容量, 耐磨性能等, 在研究具體電器時再講。

§ 4. 高壓電器製造簡史

俄國的第一批電器工廠建立在上世紀末。1892 年在彼得堡 (現列寧格勒) 建立了「Электрик」工廠, 1899 年在塔林建立了「Вольта」工廠, 1900 年在莫斯科建立「Изолятор」絕緣製造廠, 1909 年在彼得堡建立了「Электроаппарат」, 電器製造廠, 1912 年在彼得堡建立了「Электросила」工廠。

但是在沙俄時期, 這些工廠都是屬於外國資本控制下的, 而且僅僅生產 35 仟伏以下的最簡單的電器。

革命後, 在 1923 年「Электросила」工廠, 1925 年「Электроаппарат」工廠, 分別造出額定電壓為 3, 6, 10 仟伏, 斷流容量為 100 兆伏安的油斷路器。同時製造出帶有簡單熄弧裝置的貧油式斷路器。在 1926 年「Электроаппарат」工廠生產出 35 仟伏, 250 兆伏安的油斷路器。1928 年出產了 115 仟伏, 1000 兆伏安的油斷路器, 同時也生產了熔斷器, 互感器及隔離開關等。1932 年該廠開始生產 35 仟伏, 1000 兆伏安及 110 仟伏, 1500 兆伏安的油斷路器。1933 年開始生產 220 仟伏, 2500 兆伏安的油斷路器。

1937 年, 建立了專製造高壓電器的「Уралэлектроаппарат」電器製造廠。

在 1939 年製造出帶有橫吹熄弧裝置的貧油式斷路器。戰後在 1947 年造出帶有固體發氣物質熄弧裝置的斷路器; 1949 年掌握了 110 仟伏, 2500 兆伏安的空氣斷路器的製造。

在避雷器方面, 1932 年生產了 6 及 10 仟伏的管形避雷器, 1935 年生產了 6、10、35、及 110 仟伏的閘式避雷器 (Вентильный разрядник тилитовый) 1943 年生產出閘式避雷器系列, 其中應用蘇聯創造的非線性電阻材料 Вилит。

戰後生產出結構優良, 並能可靠地在冰凍情況下工作的戶外隔離開關。

近年生產出用於 400 仟伏輸電線上的各種新型電器及補償式電流互感器。斷路器的結構也在不斷地改善。

第二章 絕緣、導電部分及電弧 計算的基礎

§ 1. 絕緣的抗電強度

絕緣的抗電強度就是它所能承受的而不被擊穿的最大工頻電壓。絕緣抗電強度可用這一電壓的有效值或最大值表示之。

絕緣的衝擊強度是指絕緣所能承受不被擊穿衝擊電壓的最大值。

絕緣的抗電強度應大於額定電壓，這是因為：

A) 在使用運行過程中絕緣的性能可能降低，這由于

- 1) 油和纖維性絕緣的老化；
- 2) 油和有機絕緣吸收濕氣；
- 3) 電弧發生時所產生的污物使油變髒；
- 4) 在陶質絕緣子上帶有水分、灰塵等。

因之電壓須要有一定的儲備量。

B) 在線路中可能發生過電壓，例如：

1) 操作過電壓：在 6 仟伏線路，操作過電壓可達 (6—7) U_{ϕ} (相電壓)。在 220 仟伏線路，操作過電壓可達 (3.5—4) U_{ϕ} 。所以絕緣應能經受短時的工頻過電壓而不至被擊穿。

2) 衝擊電壓：衝擊電壓發生在雷擊時。但由於在變電所和電站中的電器，有閘形避雷器來保護，所以這些電器的衝擊耐壓值可大大降低。

絕緣的衝擊強度以標準波形的衝擊電壓試驗和表示之。

標準波形有二種 (如圖 3 所示)：

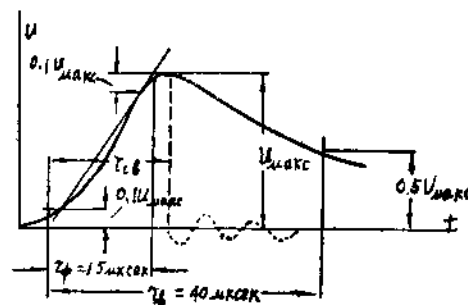


圖 3

а) 全波：

$$\tau_c = 1.5 \text{ мксек}$$

$$\tau_d = 40 \text{ мксек}$$

6) 截斷波:

$$\tau_{CB} = 2 \text{ мксек}$$

試驗用衝擊電壓比保証的安全衝擊電壓高得多，因為試驗時衝擊次數取得少些而保証的安全沖擊电压是電器絕緣應能承受無數次沖擊而不被擊穿的最大电压。衝擊次數越多，絕緣擊穿所需之衝擊波电压的最大值愈低。

§ 2. 在工業頻率與衝擊作用下電器的電器絕緣的試驗電壓

ГОСТ 1516/42 中規定了高壓電器的工業頻率(以后簡稱工頻試驗電壓)，並單獨規定了拉桿(шальштанг)的試驗電壓，此電壓比較高，因為工作人員要用它操作隔離開關等。

標準中也規定了隔離開關、熔斷器、絕緣套管的乾放電電壓和濕放電電壓。前者大於試驗電壓，後者小於試驗電壓(參考表 6)。

下表所列電壓數值為有效值(кв)，頻率為 50 赫芝。

表 6

絕緣等級 (KV)	試 驗 電 壓					乾 放 電 電 壓			電器和
	電器和 電流互 感器	電壓互 感器	拉 桿	絕 緣 子		隔離開關 和熔斷器 同極開斷 的觸頭間	絕 緣 子		絕緣子 的濕放 電電壓
				戶 內 用	戶 外 用		戶 內 用	戶 外 用	
3	24	24	36	24	27	34	27	30	20
6	32	32	48	32	35	44	35	38	28
10	42	42	63	42	46	58	46	50	34
15	55	55	82	55	60	76	60	66	47
20	66	66	100	66	73	92	75	80	57
35	95	95	150	100	105	135	110	120	80
110	260	230	—	—	285	345	—	315	220
154	360	320	—	—	490	485	—	440	305
220	500	460	—	—	550	670	—	610	430

絕緣的安全衝擊強度未規定在國家標準內。表 7 所給出各級絕緣的安全衝擊強度。是由 ВЭИ 所制訂的

表 7

絕 緣 等 級		3	6	10	15	20	35	110	154	220
衝 擊 強 度 кВмакс	全 波	40	50	70	85	105	155	380	540	750
	截斷波	50	65	90	105	130	190	475	675	940

試驗用衝擊電壓值較高，因其試驗次數不是無限多次。由全蘇電工研究院擬定出來作為標準草案的等級列在表 8 中。

表 8 對電器及電力變壓器推荐的試驗電壓 (KB_{max})

(氣壓 760 公厘汞柱，空氣溫度 20°C，濕度 11 克/公尺³)

表 8

絕緣等級 (KB)	斷路器和互感器				空氣間隙絕緣子			
	3 次衝擊法		50 次衝擊法		3 次 衝 擊 法			
	全波 1.5/40 (±)	截波	全波 1.5/40 (±)	截波	全波 1.5/40 (±)	截波	全波 1.5/40 (±)	截波
3	52	63	47	58	54	65	56	68
6	70	80	63	74	71	83	75	87
10	92	100	84	100	95	113	100	119
15	110	132	100	120	113	137	119	144
20	127	155	115	140	130	160	137	168
35	185	240	185	220	190	250	200	260
110	550	630	525	580	505	655	530	690
154	640	870	610	795	650	850	685	890
220	900	1210	860	1100	920	1180	970	1240

試驗電壓加在：

- A) 導電和接地部分之間；
- B) 相隣兩極的導電部分間；
- B) 電器開斷時每極觸頭間。

工頻電壓加在絕緣上的試驗時間：對陶瓷質絕緣和油為 1 分鐘；對有機物絕緣為 5 分鐘。

§ 3. 絕緣抗電強度的計算

絕緣的抗電強度與電極形式有關。當電場中的電場強度大於擊穿強度時，絕緣被擊穿。對於針尖——平板電極，由於電場不均勻，因而擊穿電壓低些，最低擊穿電壓決定於電場中電場強度最高的地方，從那裡開始發生擊穿。電器中帶電部分經常有稜角的，所以其擊穿電壓常按針尖——平板電極來計算，即按最好的情況計算。絕緣計算結果最後應該用實驗來檢驗。

A) 空氣間隙擊穿電壓。

在頻率 $f = 50$ 赫芝時， $U_{np} = 10 + 3.5 a$ KB₃₀₀₀。

在受 1.5/40 衝擊波電壓時， $U_{np} = 40 + 5 a$ KB₃₀₀₀。

上式算得之擊穿電壓適用於針尖——平板電極，而極間距離 a 大於 10 厘米時。

表 9 中介紹在各種電壓等級下空氣間隙中最小容許距離作為設計時參考。

表 9

U_H (KB ₃₀₀₀)	3	6	10	35	110	154	220
a (MM) 封閉的	75	100	120	310	—	—	—
敞開的	—	150	200	400	1000	1400	2100

Б) 油間隙的擊穿电压。

油間隙的擊穿电压和電極間距離的關係示於表 10 中。

表 10

a (MM)	10	20	30	40	50	60	70	80
U_{np} (KB ₃₀₀₀)工頻	25	38	50	60.5	70	79	87.5	96
U_{np} (KB ₃₀₀₀)衝擊	—	—	76	107	138	170	201	230

當 $a > 80$ 公厘時可由圖 4 曲線 2 查得。

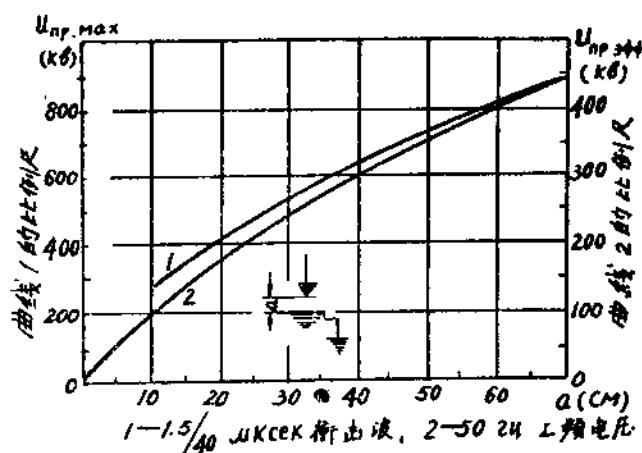


圖 4

如為均勻電場時，油間隙中擊穿電場強度可按下式計算

$$E_{np} = 22 \left(1 + \frac{2.2}{\sqrt{a}} \right) \frac{\text{KB}_{3000}}{\text{CM}}$$

其中 $a > 1 \text{ CM}$ 。

Б) 固體介質的抗電強度。

固體介質的抗電強度电压示于表 11 及表 12 中。

對於均勻電場來說，擊穿電場強度（介質強度） $E_{np} = \frac{U_{np}}{a}$ ， a 是電極間隙長。

表 11 油浸電纜紙製成的繞線絕緣的短時擊衝电压（在 50 赫芝時）和衝擊擊穿間隙。

表 11

一側的絕緣厚度 (MM)	0.5	1	1.5	2	2.5
50 赫芝的擊穿電壓 (KB ₃₀₀₀)	20	76	110	140	165
衝擊擊穿電壓 (KB ₃₀₀₀)	70	120	170	210	245

表 12 電工紙板擊穿電壓 KB₃₀₀₀ (50 赫芝)

厚 度 (MM)	乾燥後放	放 在 油 中	
	在空氣中	20°C 時	75°C 時
0.2	2.8	14	14
0.5	6	29	27
1.0	11	46	40
2	21	60	53
3	30	68	63

Г) 固體介質表面的擊穿壓電。

見表 13、表 14、表 15。

表 13 在空氣中和在油中沿固體電介質表面的放電電壓。(電極為直徑 25 公厘的圓柱)

材 料		放 電 電 壓 (KV ₃₀₀₀)									
		在 空 氣 中						在 油 中			
		電 極 間 距 離 (MM)									
		10	20	30	40	50	60	10	20	30	40
樺木(沿木紋方向)		12	17	21	—	—	—	35	—	—	—
電 纜 紙		16	22	33	39	47	53	53	76	96	110
層壓紙膠木		12	19	28	33	38	44	45	65	88	110
橡木(沿木紋方向)		13.5	16.5	21	—	—	—	34	—	—	—
紙 板		12	26	34	37	42	44	48	71	108	110
玻 璃		12	20	30	40	—	—	40	55	—	—
瓷		12.5	18.5	28	—	—	—	43	55	—	—
硬 橡 膠		13	23	32	38	42	54	58	82	104	110

表 14 在空氣中沿瓷質圓柱表面夾端電極間的放電電壓

夾端電極間的距離 (MM)	20	40	60	80	100	120	140
放 電 電 壓 (KB ₃₀₀₀)	10.5	20.5	27	34	42.5	51	60

表 15 沿浸在油中的電工紙板疊片組端面的放電電壓

電極間距離 (MM)	10	20	30	40	50	60	70	80
放電電壓 (KB ₉₀ Φ)	54	74	89	102	115	125	135	144

Д) 帶屏障的油間隙的抗電強度。

電器絕緣間隙有時由幾種絕緣構成，如油和固體介質。

1) 對於平板放電極 (圖 5)。

圖中: $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ 是介質常數;
 $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ 是各層介質的厚度。
 在 K 層的電場強度:

$$E_K = \frac{U}{\epsilon_K \left(\frac{\Delta_1}{\epsilon_1} + \frac{\Delta_2}{\epsilon_2} + \dots + \frac{\Delta_n}{\epsilon_n} \right)}$$

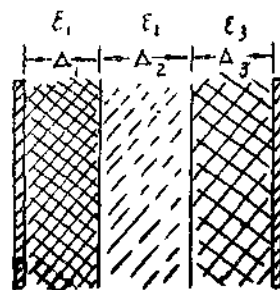


圖 5

2) 對於同心圓柱電極
 K 層中的電場強度

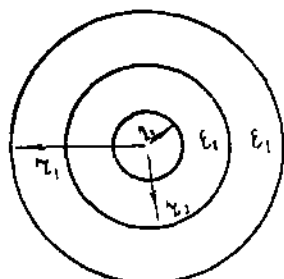


圖 6

$$E_K = \frac{U}{\gamma_K \epsilon_K \left(\frac{\ln \frac{\gamma_1}{\gamma_2}}{\epsilon_1} + \frac{\ln \frac{\gamma_2}{\gamma_3}}{\epsilon_2} + \dots + \frac{\ln \frac{\gamma_n}{\gamma_{n+1}}}{\epsilon_n} \right)}$$

必須使 $E_K < E_{up}$ 才能使絕緣不被擊穿。

油的擊穿電壓場強度及其他固體介質之擊穿電場強度，可由表 10—13 中數值算得。

現在研究在油中放電工紙板做屏障時，電場強度分部情

況的變化。

A) 不加屏障時;

油中的電場強度為:

$$E_M = \frac{U}{\Delta_1 + \Delta_2}$$

Б) 加屏障時:

如油間隙長為 Δ_1 ，電工紙板厚為 Δ_2 ，則油中電場強度為:

$$E_M = \frac{U}{\epsilon_M \left(\frac{\Delta_1}{\epsilon_M} + \frac{\Delta_2}{\epsilon_K} \right)} = \frac{U}{\Delta_1 + \Delta_2 \frac{\epsilon_M}{\epsilon_K}}$$

已知:

$\epsilon_M = 2.3$ (油的介質常數);

$\epsilon_K = 4$ (電工紙板的介質常數)。

故得

$$\frac{\epsilon_M}{\epsilon_K} = \frac{2.3}{4} < 1,$$