

南京工學院推薦交流講義

電力機械課程設計

1954. 秋

第一章 变壓器的構造

I-1 变壓器的裝配：

在設計之前，必須先將变壓器的結構完全了解。因之先介紹一具大型內鐵式变壓器的全部結構。当然並非所有的变壓器均完全有相同的裝配，但有許多原則上的問題，那是必須要講清楚的，當在下文中隨時指出。圖(1-1)所示：

- 1) 內鐵式变壓器的鐵芯，由0.35公厘厚4½%的矽鋼片疊成而組成。
- 2) 壓緊橫樑，目的在將变壓器上的矽鋼片夾緊不使振動。
- 3) 低压繞圈。
- 4) 高压繞圈，以上四項將在此后設計過程中詳細討論。
- 5) 高压引出線。
- 6) 低压引出線。高低压引出線最好用絕緣套管，即使用了套管以后，在套管与套管之間，仍須保持相當距離，不宜靠在一起。套管的材料大致可分膠木与雲母兩種。前者絕緣性能較低而後者絕緣性能較高。下表為東北出品之絕緣套管。

表 1—1 膠木管類(東北工部管理局出品)

產品編號	名 稱	顏色	型 號	比重	厚 度 公 厘(吋)	標定長度 公 厘(吋)
352	膠木管	棕	牛皮紙—— 酚醛樹脂	1.28	0.8-6($\frac{1}{32}$ — $\frac{1}{4}$)	450-500(18-22) 1060-1170(42"— 46")
358	"	黑	全 上	1.28	0.8-35($\frac{1}{32}$ — $\frac{3}{8}$)	全 上
376	"	棕	麻細棉布—— 酚醛樹脂	1.3	1.6-25.4($\frac{1}{16}$ —1)	全 上
390	"	棕	純纖維紙—— 酚醛樹脂	1.29	0.8-25.4($\frac{1}{32}$ —1)	全 上

表 1-2 雲母管 (東北工業管理局出品)

產品 編號	名 稱	內 徑 公 厘 (吋)	厚 度 公 厘 (吋)	標定長度(約數) 公厘 (吋)
701	50%雲母管	9.5 以上 ($\frac{3}{8}$ "以上)	(1.6-6.4) ($\frac{1}{16}$ "- $\frac{1}{4}$ ")	500 (36)
702	85%雲母管	9.5-38.1 ($\frac{3}{8}$ "- $1\frac{1}{2}$ ")	(1.2-6.4) ($\frac{3}{64}$ "- $1\frac{1}{2}$ ")	760 (30)
704	100%雲母管	9.5-50.8 ($\frac{3}{8}$ "-2")	(1.2-6.4) ($\frac{3}{64}$ "- $\frac{1}{2}$ ")	580 (23)

(1) 50%係指雲母：紙=50:50；85%雲母：紙=85:15

7) 高压繞圈調整用的分接頭的三重轉換開關。8) 轉換開關電動齒。將開關轉動即可變動高压方面的电压。标准的高压方面分接為±15%亦有為±5% 在同心式的高压繞圈通常在低壓繞圈的外面(交疊式則不然)是由十幾個繞圈串聯而成，每兩個相鄰的繞圈在疊置起來時尚有約六公厘的油道一寸。目的是保持繞圈溫度不致太高，但同時亦有使絕緣良好的副作用，因為最高的一個(或兩個)與最末的一個繞圈(或兩個)要特別加強絕緣以防止過电压波的影響，所以分接頭要在中間的繞圈中抽出。又因分接關係，該抽有分接繞圈油槽要特別寬，普通為9公厘厚。9) 高压絕緣套管。10) 為低压絕緣套管。其目的為引進及引出高压及低压繞圈端繞接頭之用。視电压高低及使用場所而定其所用形式與材料。普通有純瓷質，充油式與電容式三類。如果就所用場所而分別其形式，則有戶內式與戶外式之別因為戶內式的變壓器是不多的，所以此地不計其數。戶外式純瓷質絕緣套管的电压範圍大約在66千伏以下，如果电压在66千伏以上應用充油式或電容式的絕緣套管，后者成本較貴，所以使用較少。充油式絕緣套管的圖樣，可參攷蘇俄電氣工程師學第二冊第272頁圖14-16。茲附充氣式絕緣套管 如圖1-2。

高压瓷絕緣套（15仟伏）及1—3 500 伏低压瓷絕緣套的装配图。絕緣套在装配時最主要目的是要防止雨水和潮氣的侵入。所以一定要裝得不漏空氣。圖1—2及1—3所示的絕緣套均裝在变压器的頂上，与变压器盖垂直（有時与垂直綫作不到 15° 的角），所以更应特别注意。

茲先說明圖1—2 15仟伏高压絕緣套

- ① 錫黃銅的瓷瓶帽，其目的在遮蔽絕緣套管的中空部份，以免潮氣侵入，同時又可做接綫柱之用。
- ② 3公厘厚的軟木墊，使絕緣套与瓷瓶帽很緊密的靠攏。
- ③ 絕緣套本身，為了使雨水不易積聚，所以製成傘狀以增進“轉距”电压，高低壓狀層數愈多。
- ④ 鋁鋅法蘭，目的在固定絕緣套，在油箱上面不便動搖。同時又可密封瓷瓶縫隙，不受潮氣漏入。
- ⑤ 6公厘厚的軟木墊圈，目的与②同。
- ⑥ 鉄黃絕緣套座，用电焊焊在油箱頂上。
- ⑦ ⑧ 螺絲帽及螺絲桿係法蘭加緊在絕緣套的突出部份上。
- ⑨ 彈簧墊圈。
- ⑩ 六公厘厚黃銅板。
- ⑪ 螺絲帽。
- ⑫ 墊圈。
- ⑬ 12.7公厘直徑的鍍銅元，目的在將油箱內的高壓端接身至油箱外面，因為防止雨水潮氣由絲牙內要入，所以要搪錫。
- ⑭ 六公厘厚軟木。

圖（1—3）500 伏低压瓷絕緣套的說明

- ① 錫黃銅瓷瓶帽及附帶的低压接綫頭。
- ② 1500安500 伏低压瓷絕緣套。
- ③ 鋁鋅瓷瓶法蘭。

- ④ 25.4公厘直徑 400公厘長氣銅圓鼻桿，在線牙末端鍍
 槽錫，以防潮氣由線牙穴滲入。
- ⑤ 9公厘厚，黃銅墊圈。目的在夾緊瓷
 ⑥ 墊圈，三公厘厚；
- ⑦ 三公厘厚軟木墊圈
- ⑧ 六角銅絲帽
- ⑨ 彈簧華司。目的使螺絲帽永遠不鬆。
- ⑩ 銅華司
- ⑪ ⑫ 鍍黃銅絲帽及絲桿，目的使瓷瓶夾緊在法蘭與瓷瓶座
 之間。
- ⑬ 彈簧華司
- ⑭ ⑮ 銅質六角螺絲桿及螺絲帽

第1-1 图中自11-21止为說明变压器油的性质。在分節說明
 之前，先将油浸自然冷却式变压器的油箱作简单的介绍。油箱
 是盛藏变压器油之用。所以要用变压器油的原因，

1. 因为油的绝缘能力较空气大。

2. 因为油的导热能力是差不多超过空气对流系数的十倍。
 (参考朴德罗夫基基电机学 352页)。由于油的对流作用，使油
 将铁芯中及绕组中的热能吸收，同时又将吸收的热能在油箱四
 周的铁壳经空气的“对流”及“辐射”作用散发到空气中去。
 这种样式称为“油浸自然冷却式”。是变压器中最普通的一种形
 式。苏联标准，油的温升，在最热的地方不得超过摄氏 60° 。可
 是在设计中，应当用油的平均温升。油的最热地方的温升与平
 均温升比为1.25-1.5那末油的平均温升为 $48-40$ 度(摄氏)。在油
 浸变压器的绕组中，绕组对于油的平均温升，约为 $15-20$ 度，那
 末绕组对于变压器外四周空气的温升，应为 $20+(48-40)=68$ 。

60 度。測量溫昇的方法在繞組中是按電阻的變化計算的。可是這個方法祇能量出平均的溫昇。與可能繞組中最熱地方的溫昇，相比尚差 15° (攝氏)。所以與繞組中最熱地方的溫昇可能為 $(68 \rightarrow 60) + 15 = 83 \rightarrow 75$ 度。蘇聯的每年平均溫度為 10 度 (5—10 度，我們採用 10 度) 所以繞組中最高平均溫度應為 $93 \rightarrow 85$ 度)。從另一方面講，要保證絕緣正常地損壞時間為 20—17 年，絕緣的最高溫度不得超過 $90-95$ 度，所以上述 $93-85^{\circ}$ 恰好在這範圍以內。我國在蘇聯以南每年平均溫度較蘇聯為高。大約在 20° 比較蘇聯高了 10 度 (蘇聯每年平均溫度作為 10 度) 所以如將油的最高溫昇作為 50° ，那末作設計計算時的平均溫昇應為 $40-33.3$ 度。繞組對油的平均溫昇，仍以 $15-20^{\circ}$ 我們仍以 20 度計算，那末繞組對油箱四周空氣的平均溫昇應為 $60-53.3$ 。繞組中最高溫昇為 $75-68.3$ 度。繞組中每年最高的平均溫度，應為 $95-88.3$ 。所以絕緣的壽命仍在 20—17 年間。

油箱的形式：

(4) 平滑油箱，由平滑的鐵板焊接而成，僅適于 20 仟伏及以下的電壓。因為油箱大部份用密封式的，所以油面與油箱蓋間必須留有足夠的空隙。使油受熱後膨脹不使空氣過于壓縮而使油箱變到過高的壓力。否則油箱將有損壞之虞。有部份容量較大的受壓箱不採用密封式者，必須裝有“呼吸器”。在呼吸的過程中必須將油箱外面空氣中的潮氣，用二氯化矽等劑濾去。因為油中如有潮氣，油的絕緣能力將大大的減低，當二氯化矽的顏色變成藍綠色時，應即調換油量視設計而異，大約 5—10 仟伏安為 50 公斤；20 仟伏安約為 70 公斤；30 仟伏安約為 80 公斤。

(5) 瓦楞式油箱 (之極皮形油箱)：該項油箱可適用於 1000 仟伏及左右的電壓。在蘇聯以前曾廣泛使用。但現時已

不製造，因為它和油管式油箱比較起來，在機械強度上不够堅固，同時冷卻效果也很差。

(B) 油管式油箱：可以適用於 20000 伏特左右的變壓器，油管二級有約直徑 50 公厘的鐵質油管，並非或一層或多層。在 500 至 1000 伏特左右大約為每伏安需油 2 公升左右，對於巨型變壓器往往採用自冷式的射熱油管。有時用 150-200 瓦的鼓風器，使射熱油管人工空氣冷卻。該項鼓風器的變壓器，實際上可製成任何大的容量。圖 1-4 為人工空氣冷卻的射熱油管。

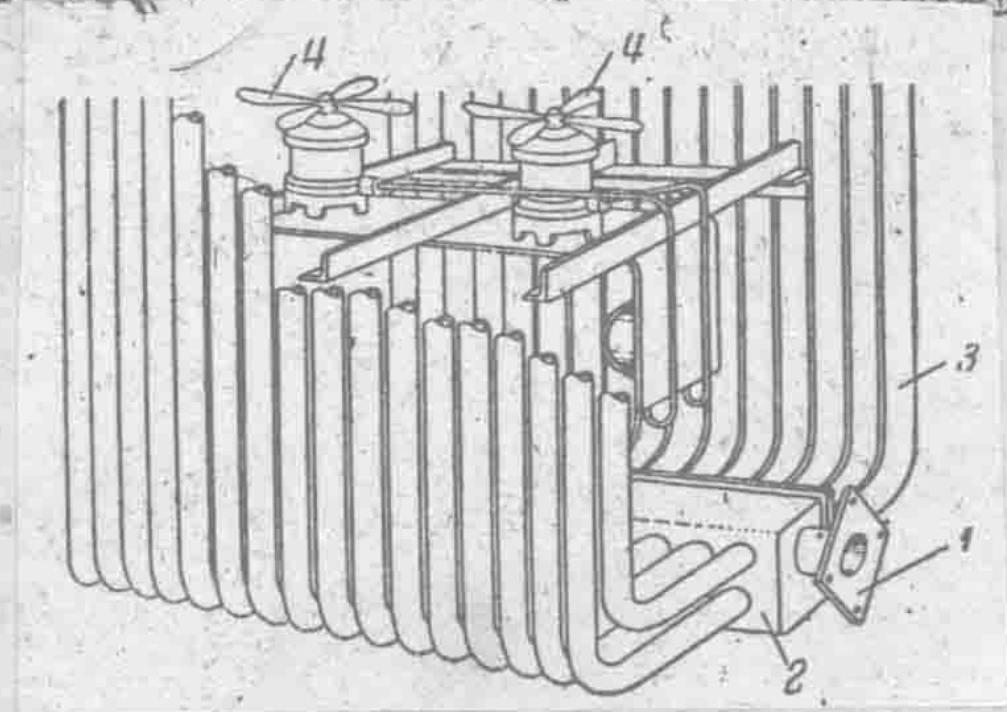


圖 1-4

① 及 ② 係總管子，上下各一。上面一根將變壓器中熱的油流入射熱管，下面一根將已經由射熱管而冷卻的油流回變壓器的油箱內。

③ 為油管，有時為橢圓形的截面，而採用橢圓形的理由，是為了減少油管的油量。

④ 為鼓風器，必須檢查，万一鼓風器失效時，變壓器上应立即敲出警告，或甚至自動的跳油開關。

在房屋建築上容積有限制的地方則可改用強迫油循環法，把變壓器油用油泵強迫熱油流經用空氣或水冷卻的蛇形管循環，這樣昇熱非常迅速。同時由於變壓器所需冷卻表面比較小，變壓器可以設計的非常緊湊。這種冷卻方法的缺點，就是需要附加壓力泵組和冷卻系統。同時，如果用水冷的話，消費巨大水量。在出水口和入水口的溫度差約為攝氏 10 度時，對每瓩損失約需 $1\frac{1}{2}$ 公升/秒的水量。

現在我們再回到圖 1-1 上去。11 為變壓器油管式油箱，12 為注油閥，油由該處加入。13 為吊環，係為左右各一個，供吊起變壓器之用。14 為真空泵接管，因為油箱要能耐

受半個大氣壓的内部剩餘壓力。並且當油注到高度約佔箱高 90% 時，可耐受 350 公厘水銀柱的真空。經由該變壓管接入真空泵或壓力泵以試驗上述二條件是否能符合。注意該種式樣的油箱必須將油裝到膨脹蓋上約 $\frac{1}{2}$ 的地方，15 瓦特氣道。通常裝于 1000 伏特以上的變壓器油箱蓋上。它是一根直徑在 200—250 公厘的鋼管子，在管子的頂端用一塊厚約 3—5 公厘的軟鋼片封固。亦有用薄鋼片密封者。其目的使變壓器在發熱損壞時，形成大量的氣體，將薄片衝破，散到空氣中去。否則油箱將遭致變形或損壞。16 瓦斯繼電器。該項瓦斯繼電器的作用原理可參考朴德羅夫斯基著 368 頁。該項繼電器的作用，是警告由于繼電器所發現的故障，可以即時修理，不使事故擴大。這是其他保護裝置所不能及的。這類故障舉例如下：

- 1 變壓器內身繞線接觸不良，由于接觸面的氧化。
- 2 繞圈間的絕緣不良，發生嚴重的短路。
- 3 變壓器一相或多相短路。
- 4 鐵芯穿心釘絕緣不良。
- 5 矽鋼片間絕緣不良。
- 6 部份的過熱致產生瓦斯。
- 7 油面內的絕緣套被打穿。
- 8 電流過大，使一部線圈過熱。
- 9 調整電壓分接開關，接觸不良或發生電弧。
- 10 因漏油或嚴寒時使油面降低。
- 11 密封不嚴，使空氣吸入。
- 12 變壓器因過載而過熱。

如果能夠經常監視瓦斯繼電器內所積聚的瓦斯量的顏色和化學成分，那末對故障的原因，即可有大概的估計。

- 1 無色不可燃的瓦斯，故障原因是空氣。
- 2 淺黃色可燃的瓦斯，故障原因是水質燃燒。

- 3 白色可燃的瓦斯，故障原因是紙或紙板的燃燒。
 - 4 黑色可燃的瓦斯，故障原因是鐵的故障及因此引起油的分解。
 - 5 瓦斯顏色的鑑別必須迅速，否則顏色立刻消失。
- 瓦斯繼電器是我國電力管理局机电修理廠的出品。

型 別	上部動作 瓦斯量	下部動作瓦斯 量/速度	變壓器容量
小 型	50 立方公分	50立方公分/秒	500-1000 仟伏安
大 型	160 立方公分	92立方公分/秒	1000 仟伏安以上

瓦斯繼電器的裝置要點如下：

- 1 要平，必須要用水平尺試過
- 2 繼電器的底部，要高于變壓器的頂蓋約 30 公厘。
- 3 繼電器的頂部，不能高于膨脹器的底部。
- 4 繼電器中水銀開閉器祇适合于 110—220 伏 5 安之用。

17 膨脹器：膨脹器與“呼吸器”是往往聯合使用的。膨脹器的作用是爲了（1）減少一熱油與空氣的接觸面積（2）保護油清潔。因爲油與空氣很長時期接觸，便少數油起氧化作用，而有渣滓沉澱于膨脹器的底部。所以膨脹器的底部，應當有“集油器”（藍圖上未圖出來）到了相當長的時間，將渣滓從集油器中取出。膨脹器的容積大約爲油箱容積的 9—10%。膨脹器作圓柱形，橫放在油箱蓋上。蓋長約爲直徑的 2—4 倍。變壓器容量在 100 仟伏安以上即可裝置膨脹器。在 5000 仟伏安以上，在膨脹器的底部必須裝瓦斯繼電器。在膨脹器的側壁裝有油表。油表的玻璃管（或玻璃瓶）上，必須刻有三個標誌，表示出油面溫度爲 -35° ， $+15^{\circ}$ 及 $+35^{\circ}$ 。當變壓器空載而溫度等於周圍空氣時，膨脹器油面必須與相當的側壁上的溫度標誌相符合。

18 槽底支撐角鐵作爲支撐全部變壓器重量之用。19 夾緊壓板橫樑的雙頭螺絲。20 運輸用滾輪。在 5000 仟伏安

安以下的变压器，一般不装滚轮。在100—5600千伏安变压器，以便在变电站或室内短距离移动，在750—5600千伏安变压器，滚轮结构可使变压器改变方向移动，从横向方向（沿变压器短轴）变到纵向方向（沿变压器长轴）。3200—5600千伏安变压器并装有“千斤顶”以便调换滚轮。滚轮标准装置为平滑滚轮，但在3200—5600千伏安，在用途上的需要，亦可装“有边滚轮”好在装有千斤顶，可以随时调换的21 为放油筒，预備将变压器油全部放出时之用。

I—2 变压器铁芯及其装设。

(1) 变压器铁芯均係由0.35公厘—0.5公厘厚有4—5% 磁的矽钢片所堆叠而成。加矽的原因是為了減少磁滯及渦流損耗而所以疊堆叠的原故，是要減少渦流損耗，它的比重為7.6較普通的鋼略輕（普通的鋼為7.8）每片之間用0.04公厘的紙隔開，或塗上絕緣漆。該項絕緣应在製造矽片廠完成。如果製造廠未將矽片絕緣時應用矽鋼片的工廠應自己加漆。附表為我國自製的絕緣漆 #136, #134 及 #145 均可作矽鋼片的絕緣塗料

表 1—3 絕緣材料

東北人民政府工業部電器工業管理局出品

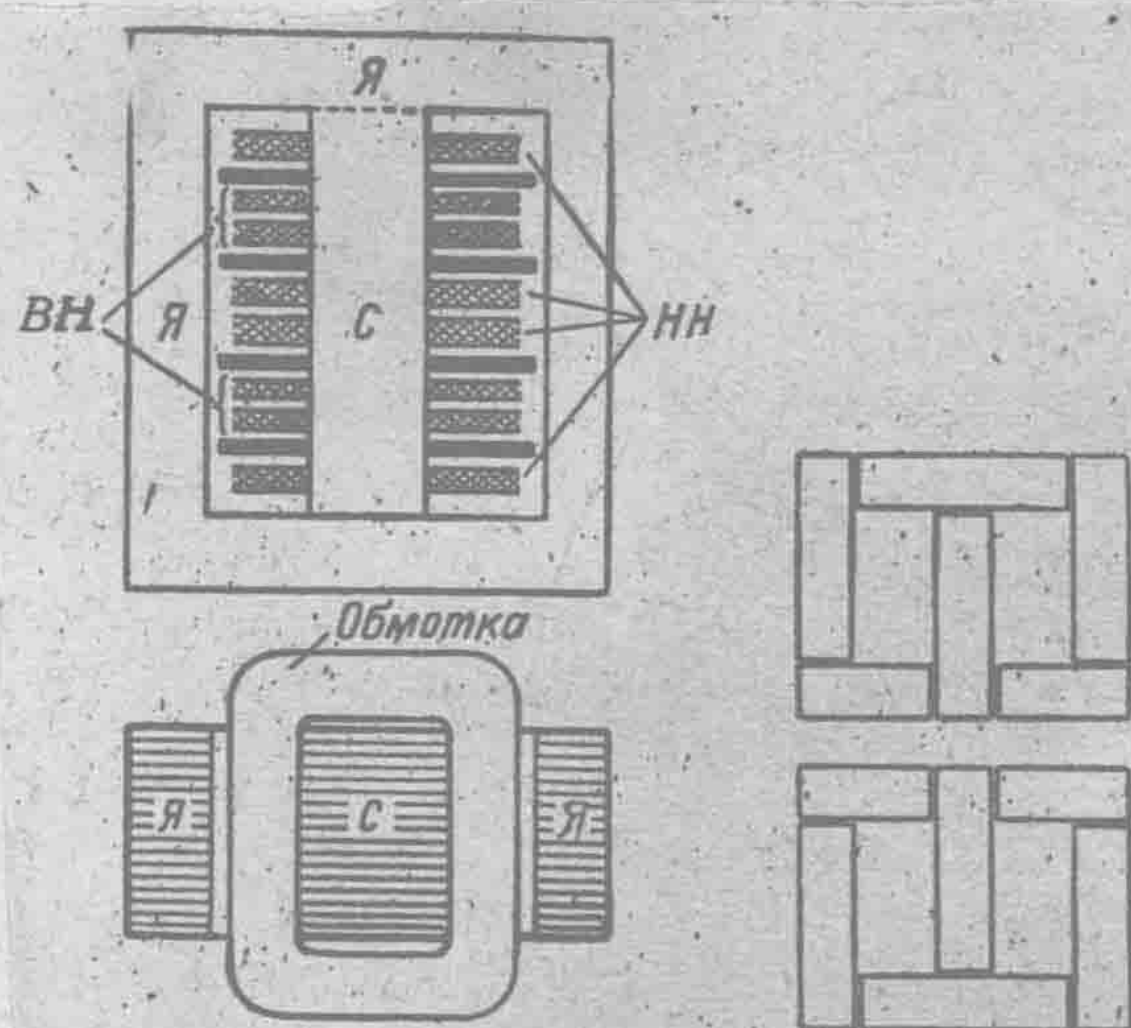
產品編號	名稱	型類	稀釋劑	乾燥溫度	比重 (25°C)	乾燥時間
136	絕緣黑烘漆	醇酸樹脂油漆	松節油或石油溶劑 (150—200°C)	400—500°C	.900-.94	54-60秒
134	同上	同上	同上	110—120°C	.905-.945	8-10小時
144	絕緣黑漆	同上	汽油或石油 110°—180°C	室溫	.807-.910	4-6小時
145	同上	同上	同上	室溫	.900	4-6小時

- (1) 乾燥時間隨此器之大小，同烘箱之種類而不同，如高溫度，可縮短烘燥時間，溫度升高 10℃，時間的可縮短一半。
- (2) 市上的松節油及汽油，不大合用，東北局有精製的松節油及汽油快乾。
- (3) 絕緣黑烘漆可作矽鋼片絕緣塗料，耐油性強，140℃為絕緣塗料，但耐油性不強，145℃耐油性優良耐久，而且可以室溫乾燥。

因為鐵芯係由許多片片疊而成，每面均覆有絕緣漆，所以計算有效面積時，應該乘一個堆疊因數，這因數應該小於 1。普通堆疊因數 $K_1 = 0.9 - 0.93$ 。在我們設計中 K_1 採用 0.9。

我國自製矽鋼片，正在趕造中，不久即有正式出品，現通用變壓器用的矽鋼片計有 $\exists 4$ ； $\exists 4A$ ；及 $\exists 4AA$ ，一種，它的磁化曲線，詳朴德羅夫斯基 279 頁。至於鐵芯損耗可用“比耗”計算出來。但朴著 285 頁所示的比耗數目太少，所以另附表 3—2 作為計算鐵芯損耗時的參考數目。做 50 周變壓器的時候，宜用 0.35 公厘的矽片，做 25 周的時候，可以用 0.5 公厘的矽片。在我們的設計中採用 0.35 公厘厚熱壓矽鋼片($\exists 4A$)級)

(2) 普通變壓器的鐵芯約分鐵芯式與外鐵式兩種。茲先介紹外鐵式變壓器，圖 1.5 示外鐵式單相變壓器的鐵芯形狀及共餅式繞圈（詳后） C 為鐵芯； $Я$ 為鐵



軛。矽片堆疊方法如图 1-6。由鉄芯 C 中流出之磁通，分爲兩路走。所以鉄軛 g 的寬度与鉄芯 C 的寬度比应爲 1:2。外鉄式变压器的缺點爲 (1) 絕緣困難 (特別在高电压的变压器)；(2) 鉄芯 C 及軛 g 的構造較複雜。所以在苏联实际上祇製造鉄芯式变压器但是外鉄式变压器亦有他的优点 (1) 机械强度較高。(2) 散热情况較佳，(3) 引出端綫方便。所以适用于电压低，电流大的变压器 (例如电炉变压器等)。在 5 万至 10 万千瓦时，电压在 6600 伏以下，亦可应用外鉄式。要之外鉄式与鉄芯式的決定，主要在电压方面，以及在鉄芯的構造是否較簡。但在這兩点上对外鉄式变压器而言，均是弱點。例如三相外鉄式变压器有時爲三只腿 (实际上最外面的两只腿是軛了而鉄芯式則祇須三只腿了) 所以我們的設計，亦僅限于鉄芯式变压器。

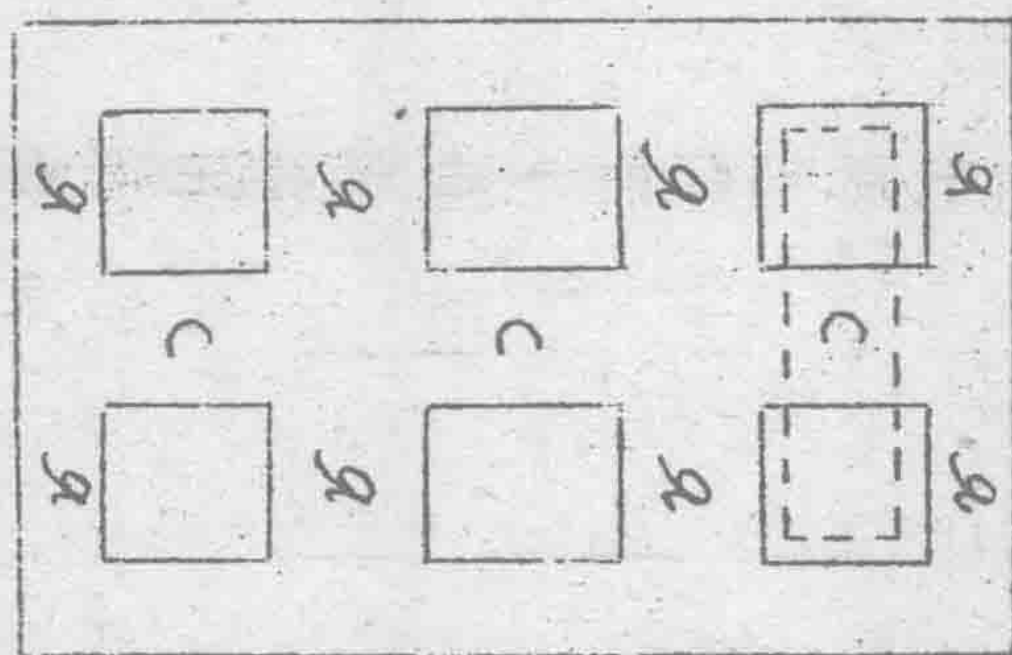


图 1-7

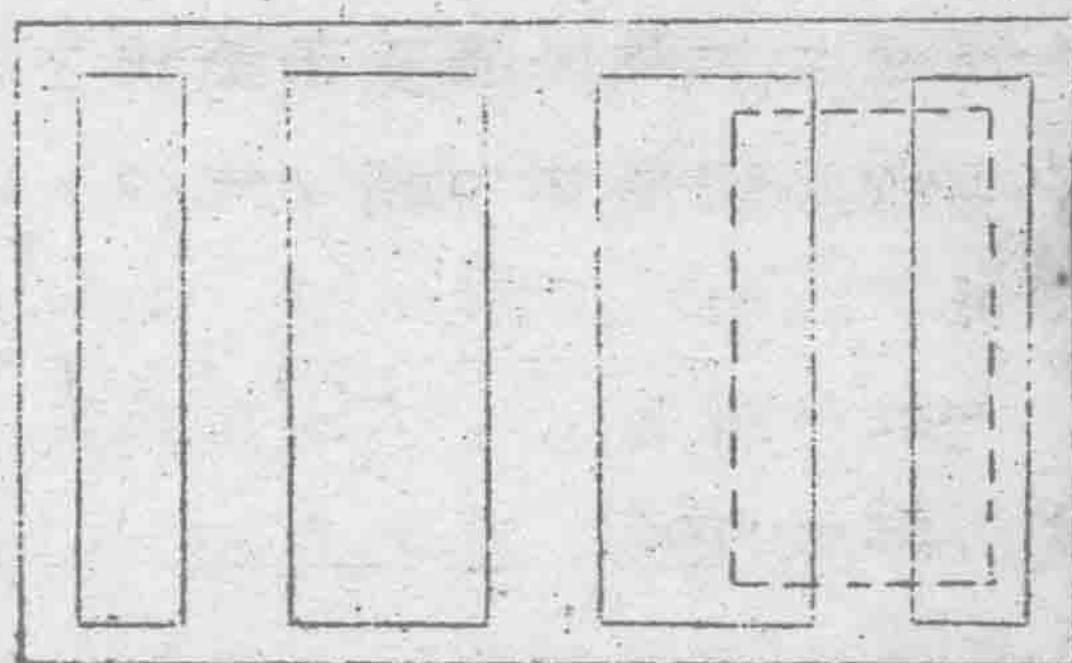
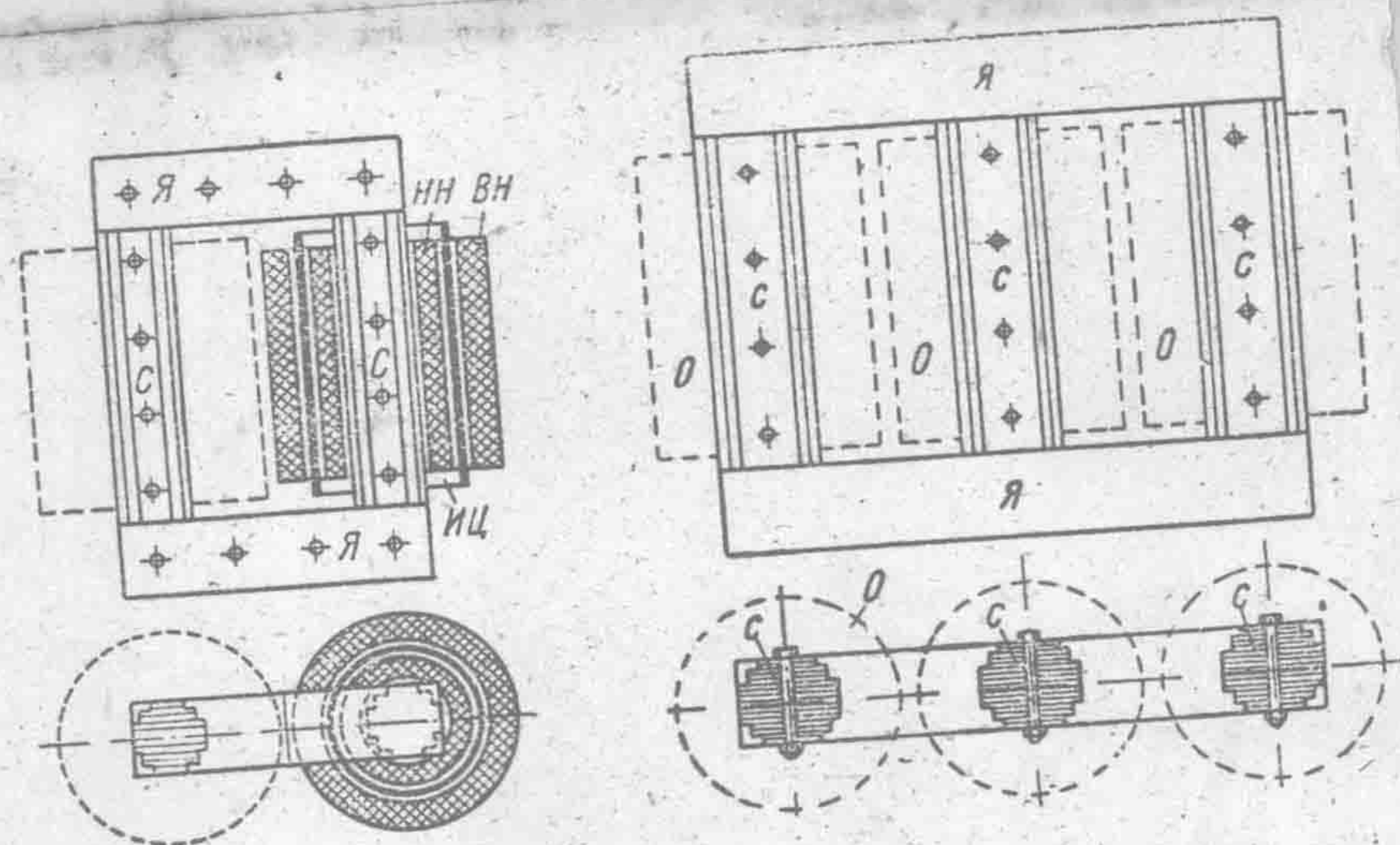


图 1-8

图 1-7 及 1-8 示二种不同的三相外鉄式变压器，鉄芯形状。虚綫示每相的原副繞組位置。

(3) 鉄芯式变压器在絕緣方面是較外鉄式变压器爲优。它的鉄芯形状，如图 1-9。矽片用穿心螺絲桿及帽夾緊。如果夾得太緊，損伤矽片上的絕緣漆，致漏磁損耗加大而引起發熱。如果夾得太鬆，必致矽片因振動而起声响。普通以每公分 0.35 公厘厚之矽片約 26—27 張左右，相隣螺桿中心的距離約爲 150 公厘左右。爲了压力均匀起見，繞組腿上在前后二處均宜

名加薄鉄板，上下軌可用水流鉄及穿心螺絲夾緊。在小型的變



壓器（大約 200 仟伏安以下）有時竟用硬木。但如果用硬木，必須經過烘乾及浸夜壓油手續。

硬木的形狀如圖 1—10。圖中有凹凸的一面緊靠在乾的砂

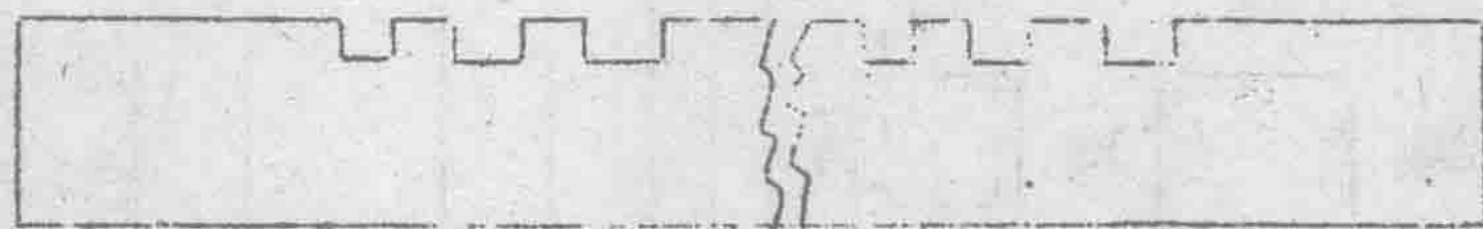


圖 1—10

片上。其目的在使油能流通。即使用水流鉄夾緊鉄軌，在硬木能耐受壓力的條件下，在水流鉄內，仍以加硬木條能使油流通為宜。雖然在將來計算鉄芯浸油面面積時，該部份被遮蔽的面積，即使有油流通，仍不宜計算在內。無論水流鉄或硬木的兩端必須伸出在砂片或鉄軌外面。所以水流鉄或硬木比長，僅較油箱壁內徑短 2—3 公分。如此硬壓油在油箱中或在行變壓油放入油箱的過程中，在長的一方面起了保護作用，不易碰傷繞組。圖 1—9 中所示 Y 的地方，亦為硬木環系夾緊鉄軌外面部份所致。

片之用。

另一方面如果螺絲桿与水流鉄没有絕緣或螺絲桿与矽片間没有絕緣必致在水流鉄中或螺絲桿上引起短路电流而茂蒸。所以螺絲桿上必須加絕緣套及絕緣華司。其目的在使螺絲桿与矽片絕緣，螺絲桿与水流鉄絕緣。至于水流鉄与矽片不一定要絕緣，但如果水流鉄与矽片間，為了使油通過起見加了一道，有凹凸的硬夾層亦起了絕緣的副作用。图 1—11 說明了裝置水流鉄時情形。

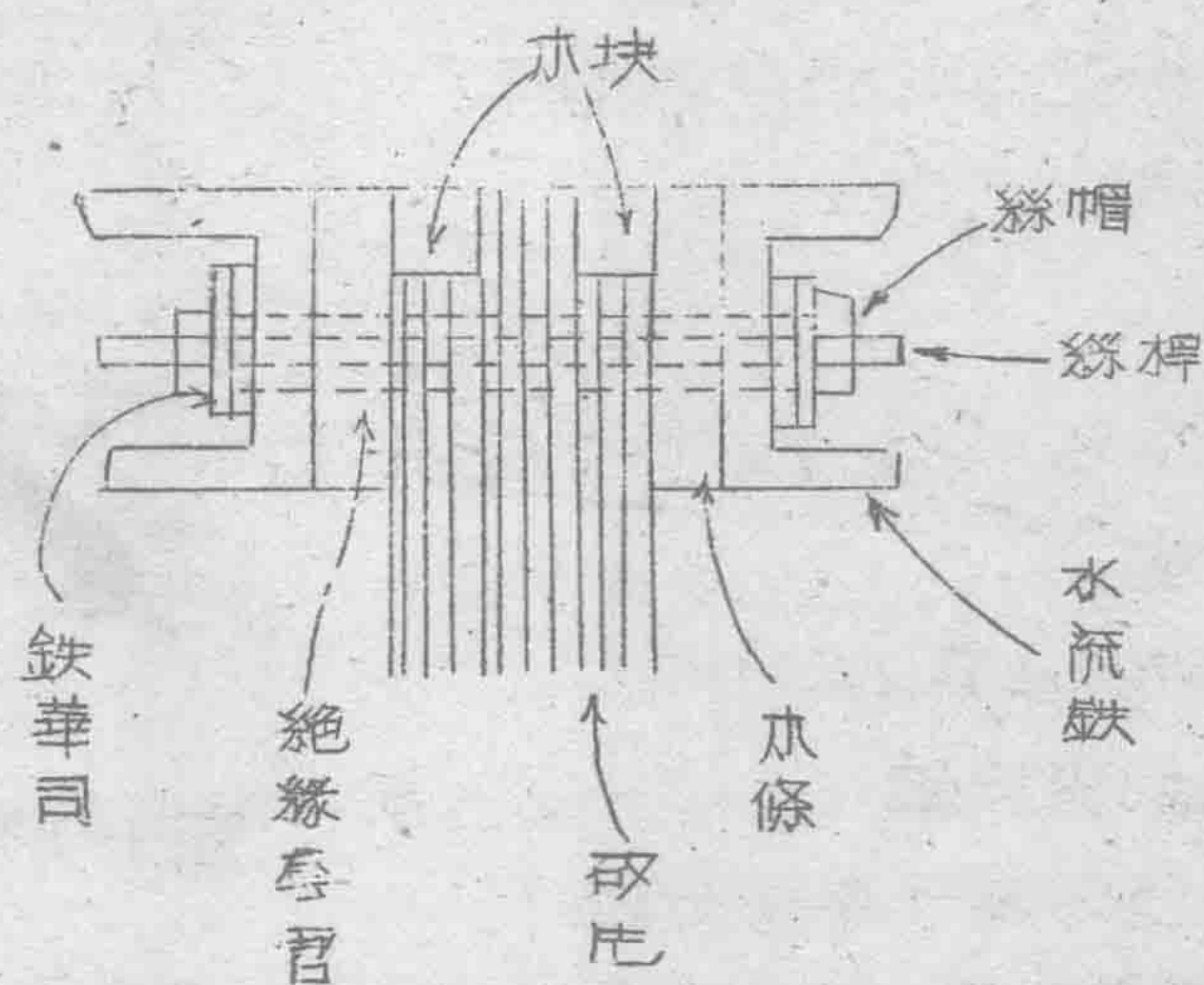


图 1—11

必須預先在矽片中任何穿心螺絲桿及帽同樣的亦須加絕緣套及絕緣華司。下鉄軛与水流鉄及三只由矽片堆疊而成的腿以及螺絲桿等先行裝配完成，然后

將繞組放置腿上，加以必要的各部份絕緣及夾緊，始能裝配上軛的矽片，然后加以夾緊，矽片必須在适当地方預先衝有圓孔以備通過穿心螺絲桿之用。圓孔的直徑須較絕緣套略大。倘若没有适当的絕緣套管時，改用東北工業管理局出品的 667[#]0.25 公厘厚，9.1 公厘闊的黃腊帶双層包裹亦可。

(4) 腿的鉄芯形狀，預視繞組的形狀而異。如果繞組的形狀為長方形，那末鉄芯亦必然為長方形，該種繞組形式的缺點，在起磁時，因為四邊所受的力不均勻，在長邊的一面，容易變形。所以長方形繞組及長方形鉄芯祇适合于小型变压器其容量約為 10 伏安（单相）30（接次頁）

行伏安（三相）。圖 1-12 示長方形鐵芯 $\frac{b}{a}$ 約為 1.4 至 2。

毛面積等於 ab ；有效面積 = abK_1 。

$K_1 = 0.9 - 0.93$ 。在我們設計中採用

0.9。

在圓形鐵芯中的鐵芯是

(1) 方形

(2) 十字形鐵芯（即二葉形鐵芯）

(3) 多葉形鐵芯（最多可至九葉形）

圖 1-13 為方形鐵芯。如果最外面的直徑為 d ，那末正方形的邊長為：

$$d \cos 45^\circ = 0.707d.$$

正方形的毛面積： $S = (0.707d)^2 - 2\ell^2$ 。

ℓ 普通約為 3 → 6 公厘。

有效面積應為 $[(0.707d)^2 - 2\ell^2]K_1$ 。

該種鐵芯祇適用於較小的變壓器

二相鐵芯（即普通稱為十字形鐵芯）

如圖 1-14 所示。毛面積 $S_c = 2a \cdot 2b + (2b - 2a) \cdot 2a$
 $= 4(2ab - a^2)$

$$\text{因 } a = \frac{D}{2} \sin \alpha; \quad b = \frac{D}{2} \cos \alpha$$

$D = \text{圓的直徑}$

$$S_c = 4 \left(2 \frac{D}{2} \sin \alpha \cdot \frac{D}{2} \cos \alpha - \frac{D^2}{4} \sin^2 \alpha \right) \\ = D^2 (2 \sin \alpha \cos \alpha - \sin^2 \alpha)$$

$$\frac{dS_c}{d\alpha} = D^2 (2 \cos 2\alpha - 2 \sin \alpha \cos \alpha) = 0$$

$$\tan \alpha = 2; \quad \alpha = 31.75^\circ$$

$$\text{所以：} \quad 2a = D \sin 31.75 = 0.526 D$$

$$2b = D \cos 31.75 = 0.85 D$$

$$S_c = 0.618 D^2$$

$$S_c K_1 = 0.618 D^2 K_1$$

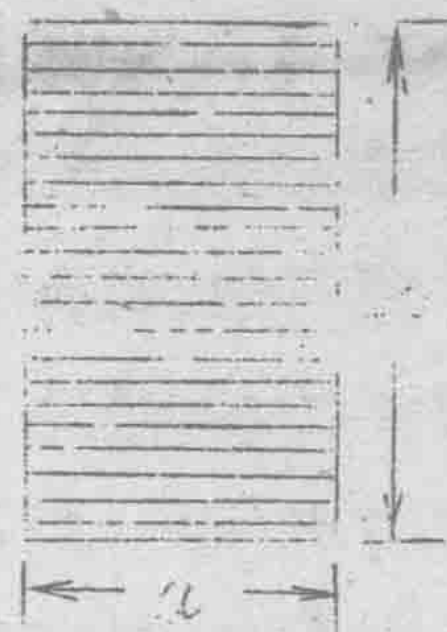


圖 1-12

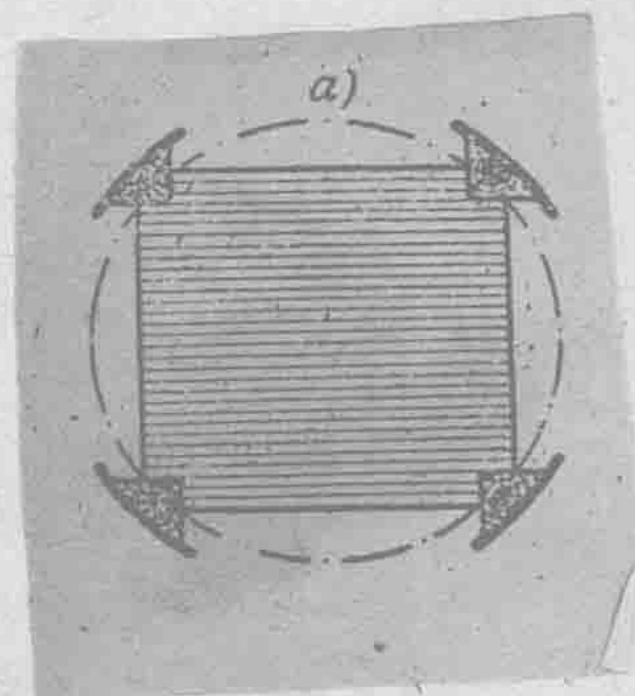


圖 1-13

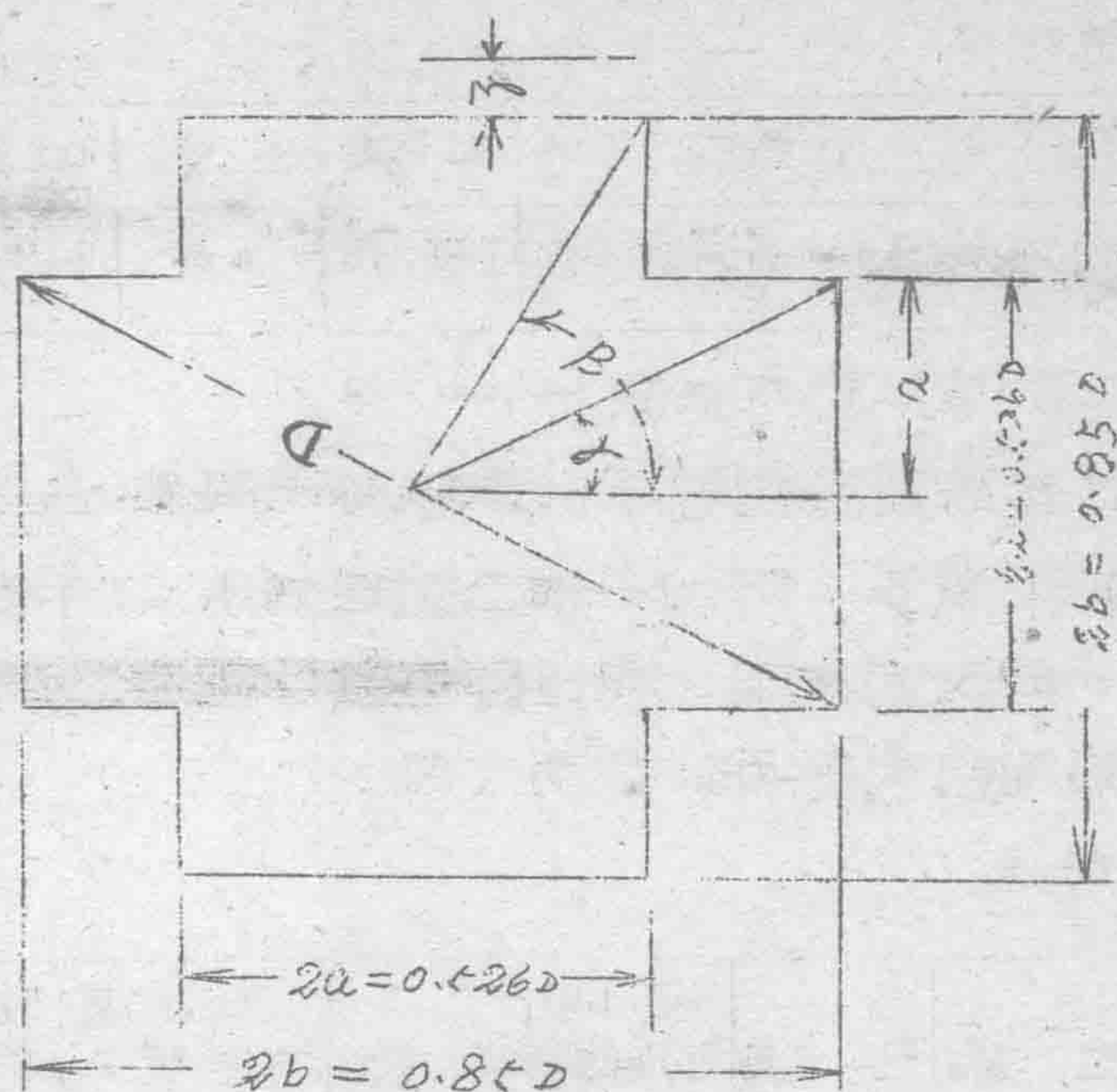


图 1-14

我們假定 $\frac{S_c K_1}{\pi/4 D^2}$ 之比為鐵芯利用因數 $= f_c$ ，那末十字形鐵芯

的鐵芯利用因數 $f_c = \frac{.618 D^2 \times 0.9}{\pi/4 D^2} = 0.71$ 在設計的時候，

必須注意 $\frac{D-2b}{2} = \delta$ ， δ 的長短必須要能夠容納薄鐵

壓板，絕緣華司，鐵華司螺絲帽為原則，否則砂片仍無法夾

緊。因為 δ 需要較大的尺寸以容納上述各種附件的關係，所

以與砂片垂直的一面的厚（ $2b'$ ）有時較 $2b$ 為小。例如照

圖 1-14 所示 β 應為 $90 - 31.75 = 58.25^\circ$ ；

$\frac{\alpha}{\beta} \frac{31.75}{58.25} = .5451$ ； $\alpha = .5451 \beta$ 。但在下面的表中

$\alpha = .553 \beta$ ， β 的減小是完全是為了沿砂片堆積的方向一面

（即與砂片垂直的一面）因壓板及螺絲帽關係，必須多留隙

地。對徑大的鐵芯 2δ 的尺寸約為直徑 D 的 15%。對徑小的鐵

芯 2δ 的尺寸約為直徑 D 的 25%。 β 的角大約為 57° （鐵芯對徑大的變壓器）並將各不同級數的鐵芯的“鐵芯利用因數”列表如下，以供參考。到 48° （鐵芯對徑小的變壓器）

表1-4

級	別	二級	三級	四級	五級
鐵芯利用因數	f_c	0.71	0.75	0.78	0.723

在計算上表時假定 $k_1 = 0.9$

上表顯示出鐵芯級數愈多，鐵芯利用因數 f_c 愈大，因之每極的磁通亦可增多，所以銅線匝數可減小。結果 f_c 愈大，銅線可節省。但反過來講，構造愈複雜，製造工時愈多。表(1-5)示鐵芯各級間的角度與級數的關係：

表 1-5

級 角 度	二級	三級	3級(1油道) 油道寬 =0.03D	4級	4級(1油道) 油道寬 = 0.03D	5級(1油道) 油道寬 = 0.03D	5級(3油道) 油道寬 = 0.015D
ϵ	—	—	—	—	—	固 定	固 定
δ	—	—	—	固 定	固 定	0.833 ϵ	0.850 ϵ
γ	—	固 定	固 定	0.785 δ	0.785 δ	0.667 ϵ	0.702 ϵ
β	固 定	0.712 γ	0.714 γ	0.563 δ	0.570 δ	0.491 ϵ	0.511 ϵ
α	0.553 β	0.400 γ	0.414 γ	0.321 δ	0.337 δ	0.291 ϵ	0.299 ϵ

茲為了說明表 1-5 中數字的用法及如何決定“固定角”起見舉例如下：

圖 1-15 二級鐵芯。假定沿牙心螺絲釘的方向 δ 的尺寸是等於直徑的 8%。該尺寸的决定；必須先決定螺桿的直徑，從而決定螺帽的標準尺寸，最後決定，絕緣華司及鐵華司的厚度

$$\sin \beta = 0.84 ; \quad \beta = 57.2^\circ ; \quad \alpha = .553 \beta = 0.31.6^\circ$$

$$2a = D \sin 31.6^\circ = 0.524 D ; \quad 2b = D \sin 58.4^\circ = .85 D$$

$$2a' = D \sin (90 - 57.2) = .542 D ;$$