

電工角度(Electrical Degree)

電動機的定子或轉子，其圓周等於 360° ，這種用機械關係計量的空間角度叫做機械角。但是在電工技術中經常用到電工角度(簡稱電角)的概念。也就是說經過空間一對極時，電磁上相應變化了 360° ，即每一磁極為 180° ，經過 2 對極時則電磁上相應變化為 720° 等，將這種計量電磁關係的角度單位叫做電角度，顯然它是與磁極數有關的。圖 1 及 2 所示分別為一台 2 極及 4 極的電動機定、轉子旋轉一週 360° 後，磁場變化之示意圖。

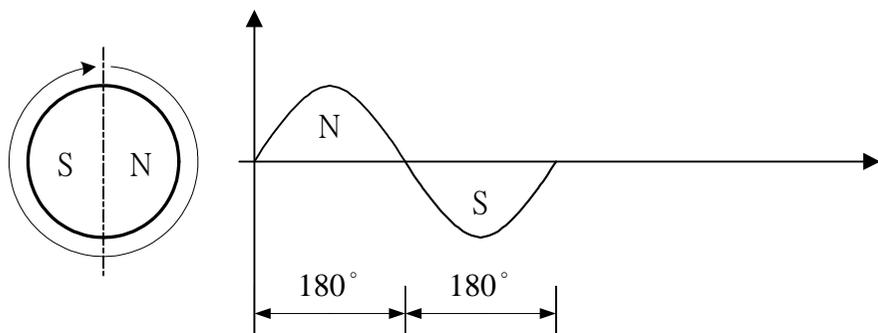


圖 1

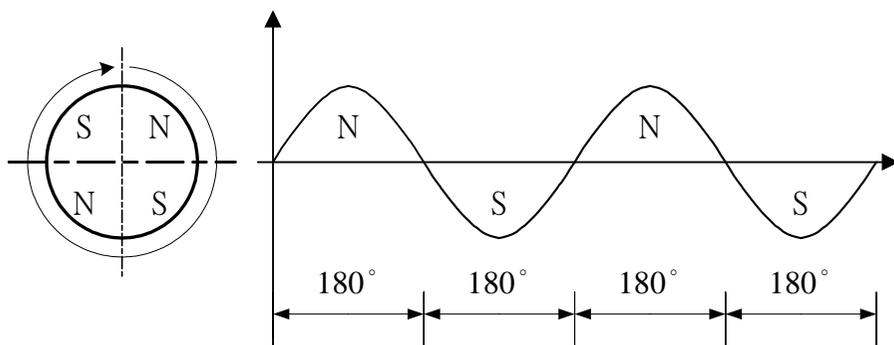


圖 2

由以上可知電角度與機械角度的關係為：

$$\text{電角度} = \text{對極數} \times \text{機械角度}$$

如果電動機有 P 對磁極，則這電動機定子鐵芯的整個圓周便有 $360^\circ \times P$ 之電角度，而每一條槽佔的電角度是 $360^\circ \times P \div S$ 。

$$\text{每槽佔的電角度} = \frac{360^\circ \times P}{S}$$

P = 電動機對極數

S = 電動機定子槽數

極距(Pole Pitch)

每極所佔的槽數或每極下的氣隙長度，用符號 M 來表示。

$$M = \frac{S}{2P}$$

M = 每極所佔的槽數

節距(Span)

當三相電動機繞組放在定子線槽內時，一個線圈兩條直線邊所跨的相隔槽數距離，稱為節距(俗稱跨距)，用符號 y 來表示，一般電動機會以極距 M 的數據作為節距。所以若節距 y 與極距 M 相等時，如圖 3 中實線所示的位置(1-7 槽，跨距=6)，稱為全距(Full Pitch)。但當節距 y 小於極距 M 時，如圖 3 中虛線所表示的位置(1-6 槽，跨

距=5)，則稱為短距(Short Pitch)。採用了適當的短距後(短距多採用 $y \geq 0.8M$)，可使 5 次和 7 次諧波的影響同時削減得比較小，既改善了電動機的電磁性能，又可節省端部用銅材料，減少無效導線的總長度，而且嵌線較方便，因此近年廣泛地應用。

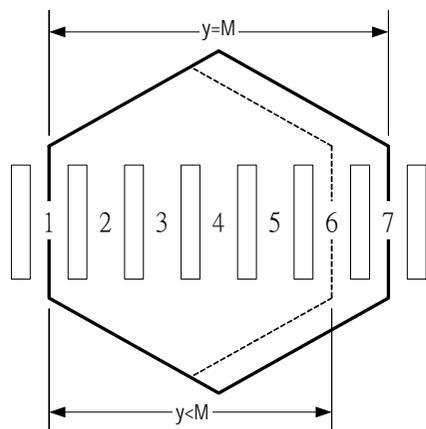


圖 3

每極每相槽數

每一相繞組的一個磁極所佔的槽數，用符號 Q 來表示。 Q 的數值一般是大於 1，多是整數，但也可以是分數。

$$Q = \frac{S}{3 \times 2P}$$

Q = 每一相繞組的一個磁極所佔的槽數

三相繞組的分佈原則

三相繞組的每相繞組數相同，相與相之間在槽內分佈間隔為 120° 電角度，符合這條條件的繞組為對稱的三相繞組，就能產生平衡

的三相電動勢。為了提高繞組的利用率和繞組分佈係數，三相繞組通常在槽內按 60° 相帶分佈，也就是每極每相佔據 60° 電角度的位置。因為每極為 180° 電角度，因此可以分成三個相帶，並根據三相間隔 120° 的原則，可以得到三相在定子槽內分配次序為 $A \rightarrow -C \rightarrow B \rightarrow -A \rightarrow C \rightarrow -B \dots$ 依次類推，如圖 4 示。三相電動機繞組之基本條件如下：

- 每相繞組之間在槽相距 120° 電角度。
- 每相繞組佔據 60° 電角度。
- 每相繞組所佔的槽數相等，並且分佈均勻對稱。

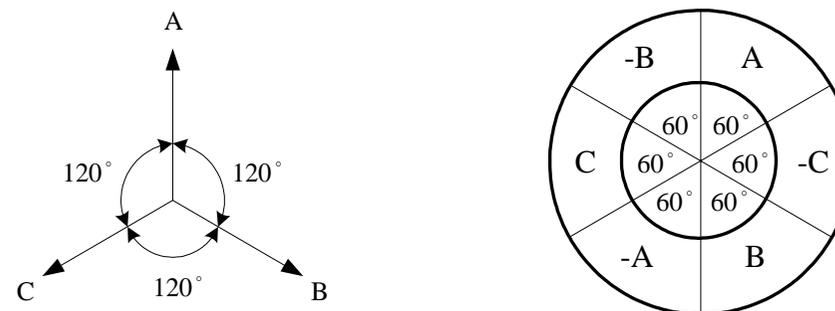


圖 4

繞組的種類及其特點

三相電動機繞組的結構型式是多種多樣的，常用的主要有單層繞組、雙層繞組等。

1. 單層繞組(Single Layer)

單層繞組在每個線槽內只嵌放一個線圈，線圈的個數等於定子槽數的一半，主要用於小容量電動機。

優點：工藝比較簡單，繞線、落線的工時都較省。槽內無層間絕緣，

在槽內不可能發生相間擊穿。

缺點：採用短節距時，繞組會受到限制，因單層繞組當節距 $y=$ 雙數時，繞組將無法嵌放。電氣性能較差，電磁波形不夠理想。下層邊端部彎曲變形較大，端部較厚，不易整形。

- 同心式繞組

按繞組端部的安放位置又分成兩平面同心式(圖 5)和三平面同心式，三平面同心式主要用於超過 24 槽之電動機。同心式繞組的優點是落線時方便，缺點是比較浪費銅線。

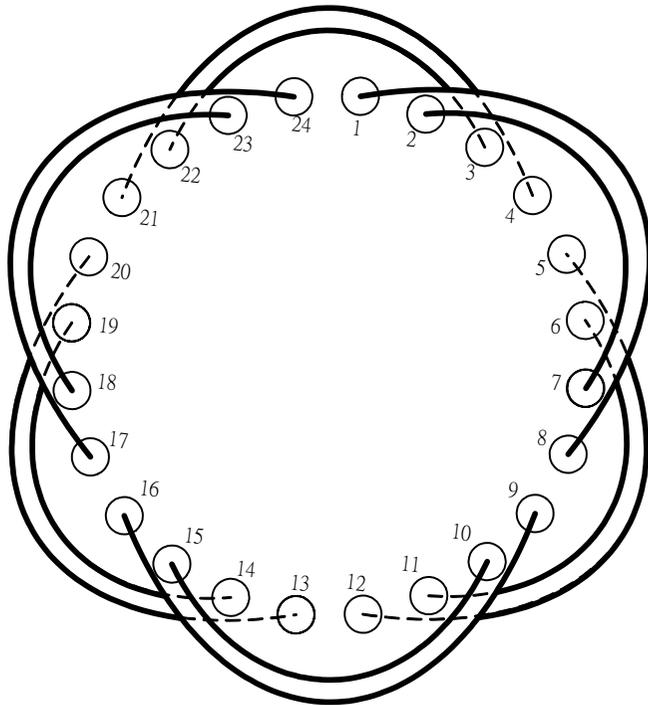


圖 5：4 極 24 槽兩平面同心式圓圖

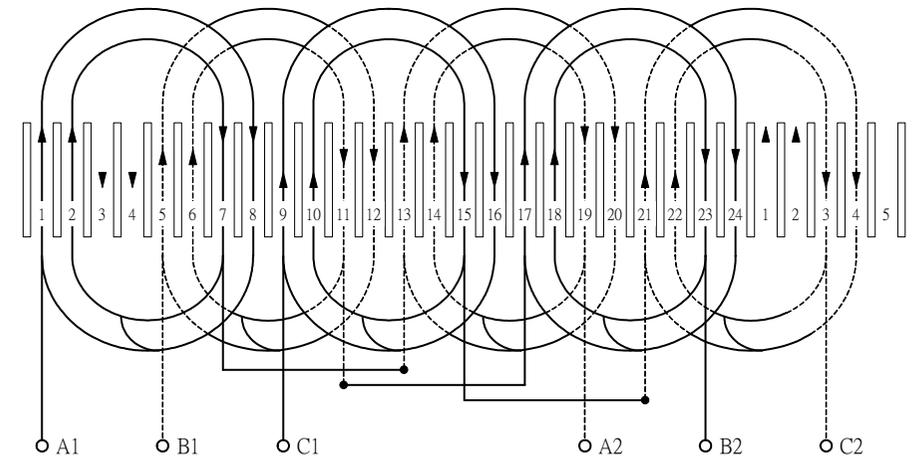


圖 6：4 極 24 槽兩平面同心式之展開圖

- 鏈形繞組(單魚鱗)

鏈形繞組分為同心式鏈形、等距鏈形和叉式鏈形三種。圖 7 為同心式鏈形繞組之圓圖及展開圖，多用在 $Q=2, 4, 6, 8$ 等 2 極和 4 極的電動機中，其結構特點與同心式繞組相同。圖 8 及圖 9 為等距鏈形繞組，它由等節距的繞組所組成，線模是一種尺寸，製造時工藝更方便，適用於 $Q=2$ 的 4 極、6 極和 8 極的電動機之中。鏈形繞組的優點是可節省銅線，缺點是落線及接線時需時較長。

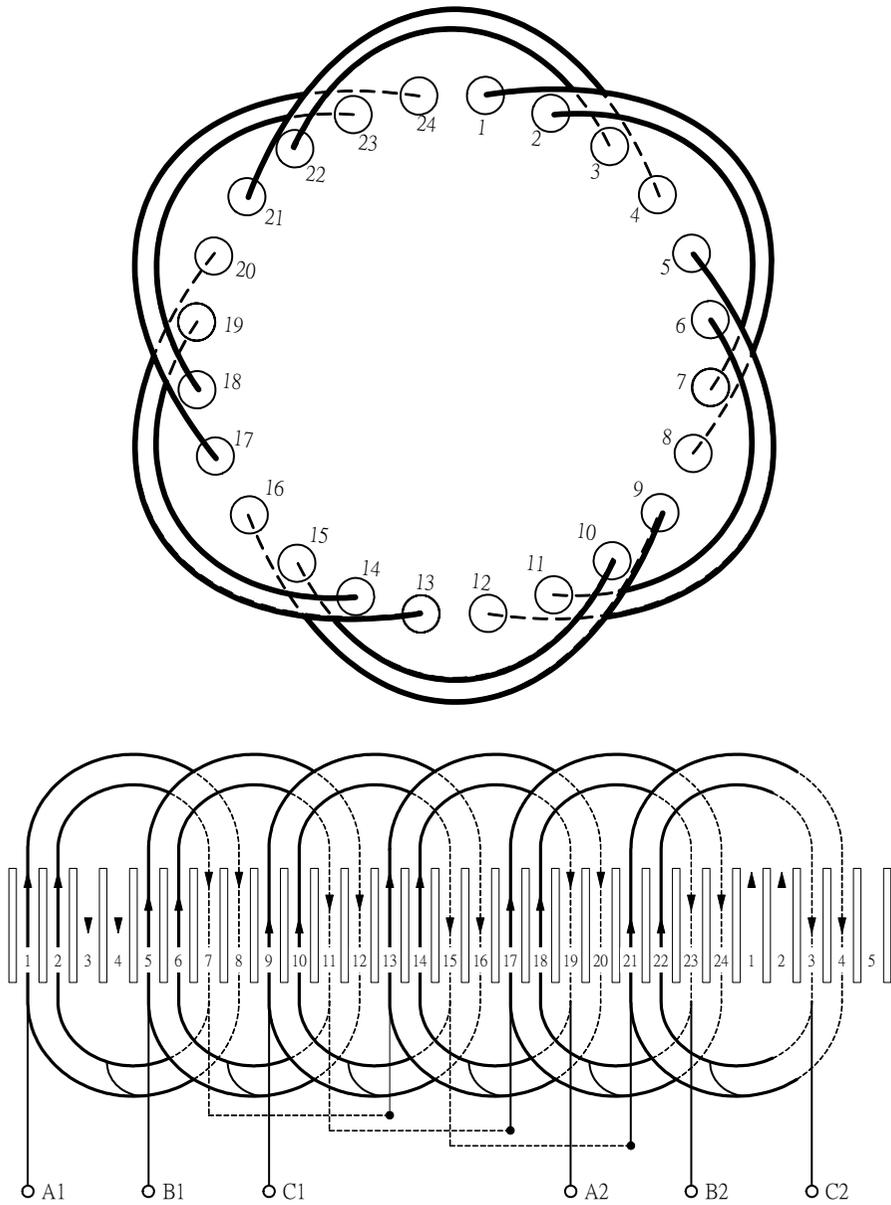


圖 7：4 極 24 槽同心式鏈形之圓圖及展開圖

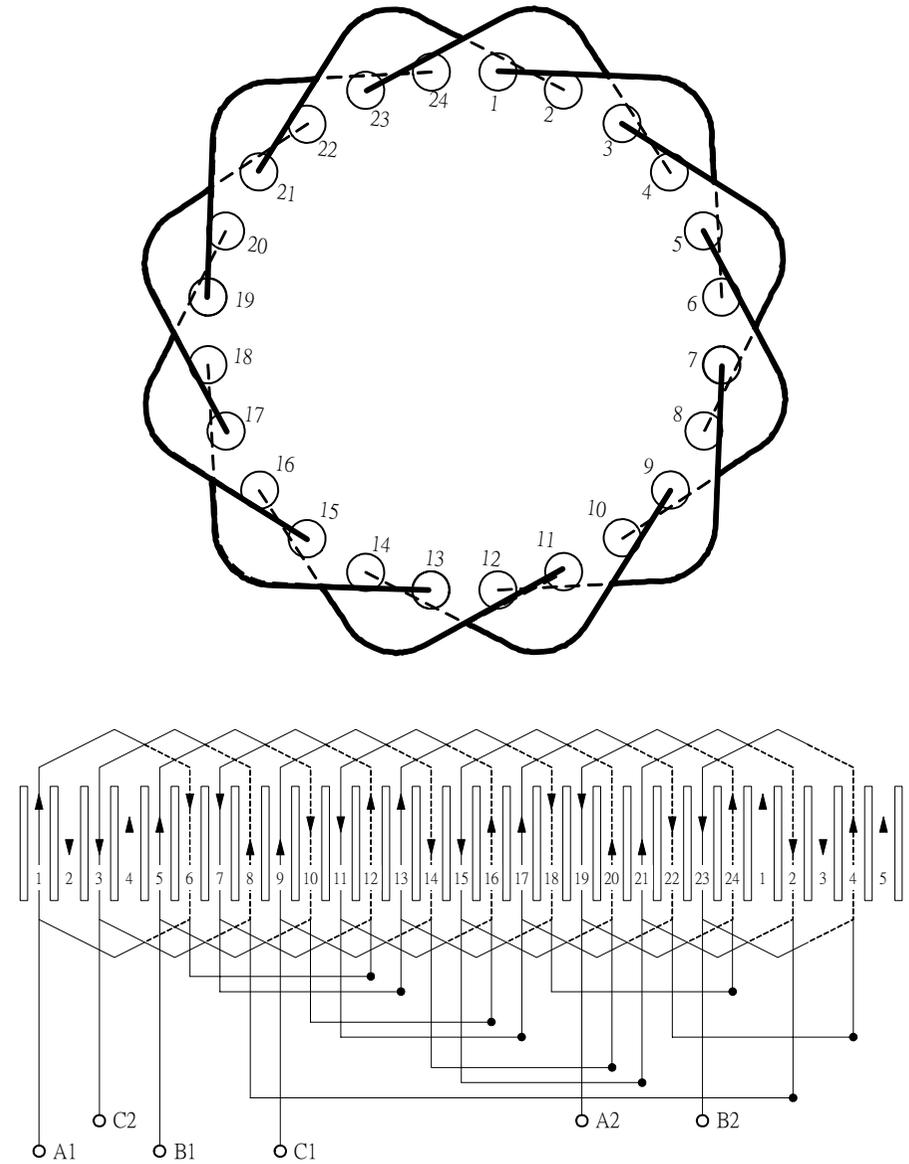


圖 8：4 極 24 槽等距鏈形(跨距=5) 之圓圖及展開圖

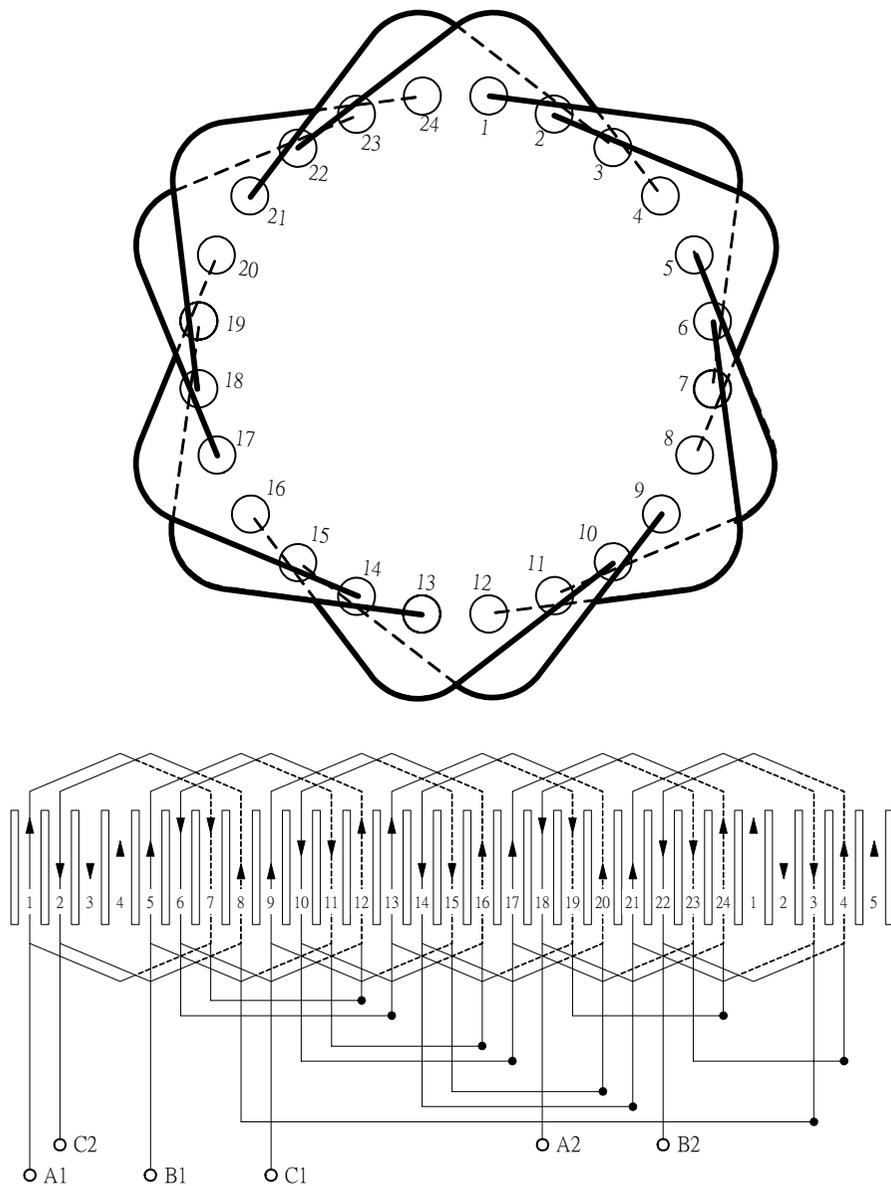


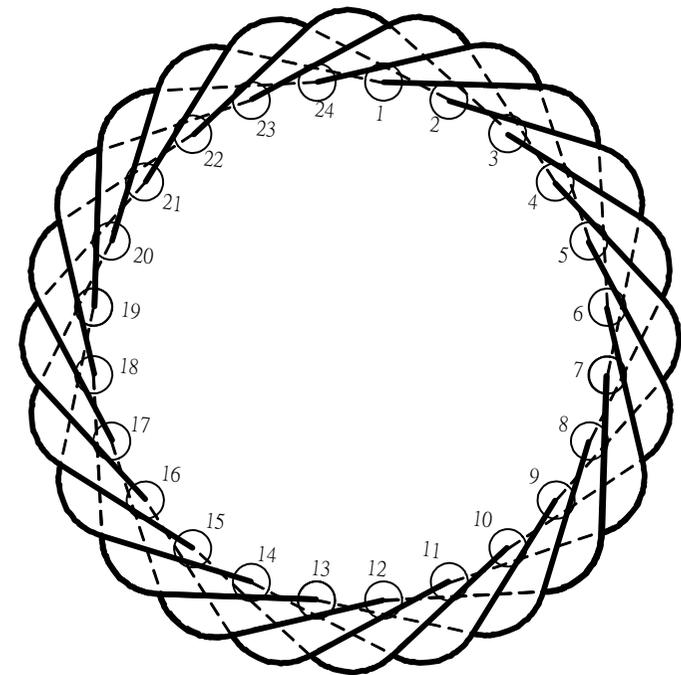
圖 9：4 極 24 槽等距鏈形(跨距=6)之圓圖及展開圖

- 叉式鏈形繞組

每極相組由二組繞組反串而成，例如：一組為 2 只節距 1-9 槽的繞組串聯，另一組為一隻節距 1-8 槽的繞組。因採用了適當的短距後，端部用銅節省，而且嵌線很方便，因此近年來廣泛地應用在 $Q=3, 5, 7$ 等 2 極、4 極和 6 極的電動機中。

2. 雙層繞組(Double Layer)

雙層繞組的線槽內，每槽都嵌放二個線圈，二個線圈分別向左、右兩方向延伸。線圈的總個數等於定子槽數，一隻線圈的一條圈邊放在某一槽的下層，另一條圈邊放在另一槽的上層，做成魚鱗的效果。



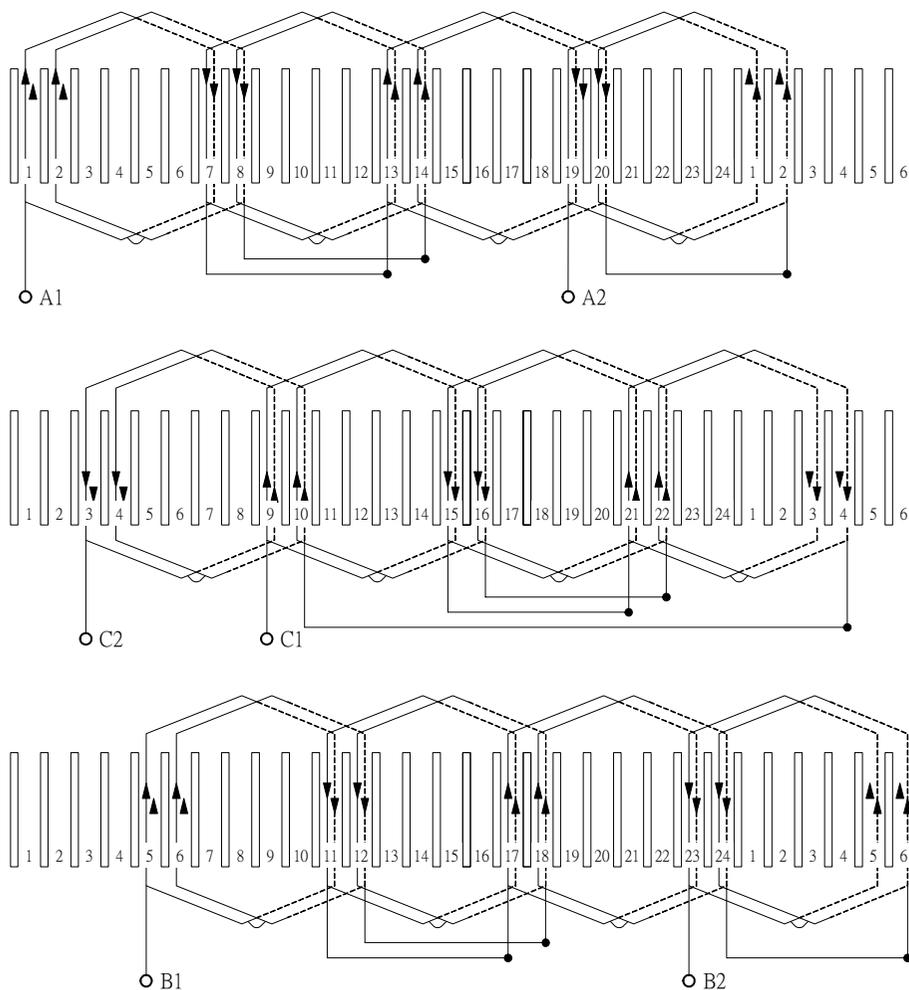


圖 10：4 極 24 槽等距雙魚鱗(跨距=5)之圓圖及展開圖

雙層繞組有疊繞式及波繞式兩種，一般中小型的電動機多採用雙層疊繞組。其優點是可任意選用合適的短距繞組，改善電磁波形，一般取 $y=0.7\sim 0.9$ ，並且可用分數槽繞組來削弱高次諧波等。因此使

用雙層繞組後，電動機的電磁性能、起動性能以及力能指標都比單層好，且繞組製造方便，所以較大容量的電動機都會採用雙層繞組。雙層繞組主要為鏈形，一般稱為雙魚鱗。

電動機重繞之步驟

1. 首先將連接摩打之電線拆開，並留下記號，以便日後駁回。
2. 鬆開摩打座螺絲，並將摩打搬離底座，一般摩打底部楔有薄片，使到摩打水平，記下薄片的數目及位置，以免重裝時再次調校，然後搬到工場。
3. 拆開前後蓋前，先在蓋與摩打身之間用鋸片劃一直線，另一邊劃二條，以便日後對位安裝。
4. 前後蓋拆開後，必須從摩打繞組根查並記錄以下之數據，若已知摩打之數據，可省去此程序。
 - 摩打鋁牌數據。
 - 摩打線之截面積（可能有多種類的線）。
 - 槽數、絕緣種類、線圈匝數、數量、線圈節距、相隔槽數和線圈圓週大小。
 - 接法、極數。
5. 拆卸電機零件及舊繞組銅線，清洗內部及各零件。
6. 繞製新線圈，並放置鐵芯槽坑絕緣。
7. 將線圈根據數據之槽距放入槽內及接駁。
8. 用指南針方法作初步測試，再用布帶包紮。
9. 上絕緣漆，並烘乾。(可增強電氣絕緣強度，提高防潮性；改善散熱條件；加固繞組端部的機械強度)
10. 裝回機殼，進行試車，沒有問題，便搬回所在地。
11. 裝落機器架，簪回摩打接線。
12. 試轉動方向是否配合，否則要調相序線更正。
13. 試正常行車。

三相電動機頭尾線的辨別

交流感應電動機的定子繞組共有三個(六個端頭),分別接在接線盒的六個接線柱上,並標有 U、V、W、Z、X、Y,可以接成星形或三角形。當六個接線柱丟掉了,六根線沒有了標記,如何辨別繞組首尾從而接成星形或三角形。首先應先用萬用錶電阻檔將三個繞組分辨出來,並做上標記,然後再判斷各繞組的首、尾端。

1. 剩磁法

將電機繞組並聯在一起,並接在萬用錶上(用毫安培檔),接線如圖 11 示。用手轉動電機轉子,如萬用錶指針不動,則說明繞組頭尾連接是正確的;如萬用錶指針擺動了(小幅度微動),說明繞組頭尾連接是錯誤的,應該對調後重試。這一方法是利用轉子中剩磁在定子三相繞組中感應出的電動勢,使萬用錶指示出電流值的原理進行的。這種方法簡單、不需電源,適用於較小型的電動機。

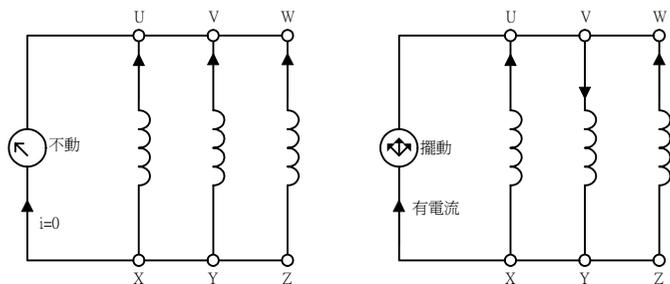


圖 11：剩磁法辨別繞組首尾

2. 交流指示燈法

將任意兩相串聯起來,再與一個燈泡串聯,第三相繞組接約 36V 低壓交流電(對小容量的電動機可直接用 220V 電源,中、大功率電動機不宜用 220V 電源),其接線如圖 12 示。如果燈亮,表示繞組頭尾連接是正確的,作用在燈泡上的電壓是兩相繞組感應電動勢的相

量和。如果燈泡不亮,說明兩相繞組頭尾反接,作用在燈泡上的電壓是兩相繞組感應電動勢的相量差,正好抵消。應該對調後重試。

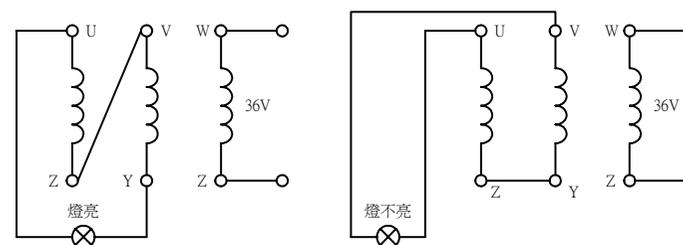


圖 12：交流指示燈法辨別繞組首尾

3. 交流感應法

用一台約 36V 變壓器作交流電源,分別將六根電機引線中的任意兩根與電源碰擦,接線如圖 13 示。把碰擦有火花的兩個頭作為一相繞組,共分為三組(三相),然後把三相繞組中的假設尾端 4、5、6 三個頭接在一起,接於電源的一端。再將另外三端的任意一端(如為 1 端)接到電源另一端,將餘下的兩端 2、3 相互碰擦,若無火花,則此兩端皆為首端(或均為尾端)。再另換接線端 2 接在電源上,把 1、3 相碰擦,若無火花,則說明瞭 1、2、3 均為首端(或均為尾端);若有火花時,應將三個繞組中的任一組調換首尾端,重複上述試驗步驟,直至沒有火花為止。

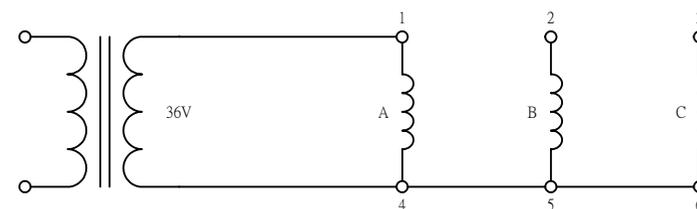


圖 13：交流感應法辨別繞組首尾

4. 直流感應法判斷的原理和操作

圖 14 所示為兩極電機繞組。將 X 接電池的負極，從 U 引出一根導線，碰一下電池的正極，這時將有電流從 U 進入 A 相繞組，從 X 流回電源。繞組線圈中的電流產生一個方向向上的磁場(實線箭頭)，在 A 相接通時，磁場從無到有地逐漸增加。根據電磁感應定律，它在 B、C 兩相繞組中感應的電動勢必然反對這個變化(增長)的方向，即 B、C 相線圈中電流將產生一個方向朝下的磁場(虛線箭頭)，來反對 A 相線圈磁場的增長。按右手定則，B、C 相感應電動勢(電流)方向是從 V、W，流進線圈，從 Y、Z 流出線圈。用直流電流錶或萬用錶的毫安培檔檢測，若 Y 或 Z 接在錶頭的正極，V，或 W 接錶頭的負極時，錶針應向正向擺，反之，錶針向反向擺動。

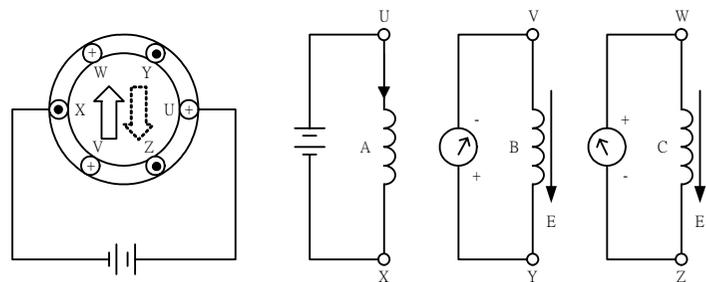


圖 14：直流感應法辨別繞組首尾

若將已經接在電池正極上的 U，突然斷開時，A 相線圈中磁場向減少的趨勢變化。接著重複上述過程，其結果相反。若在測量中連續地將電源打開、閉合，會使錶針來回擺動，就不能準確地作出判斷，因此，測試時切忌抖動電源。

三相電動機銘牌

- 電壓

接到電機繞組上的額定線電壓。

- 電流

電機在額定電壓下使用，輸出額定功率時，流入定子繞組的線電流，稱為額定電流。

- 功率

表示電動機在滿載運行對電機軸上所輸出的額定機械功率。

- 接法

表示在額定電壓下，電機定子繞組聯接成 Y 形或 Δ 形。若電壓不變，而將 Y 形接成 Δ 形，則電機會燒毀。反之，輸出功率要降低。

- 轉速

在額定電壓、額定頻率和額定負載情況下，電機每分鐘的轉數。

- 頻率

電動機的設計頻率。(每秒鐘內週期變化的次數)

- 絕緣級數

表示電機繞組的絕緣等級。它與電機溫升有關，E 級絕緣耐溫 120°C 。有些製造廠銘牌上標明電機溫升，不標絕緣等級。

- 運行方式

“連續運行”指電機符合上述各項規定數據可以連續不斷地運行。一般電機都是連續運行，但有些電機如起重電機等，是斷續運行的。還有用於開閉閘門的電機是短時運行的。“斷續運行”表示電機只能間斷使用，並以負載持續率百分數表示。標準負載持續率分為四種：15%，25%，40%，60%。每週期為 10 分鐘(例如：25%為 2.5 分鐘工作、7.5 分鐘停車)。“短時運行”表示電機只能在限定的時間內短時運行。短時運行的持續時間標準也分為四種：10 分鐘，30 分鐘，60 分鐘及 90 分鐘。在達到規定的短時間後，必須停車，待電機完全冷卻後再可運行。