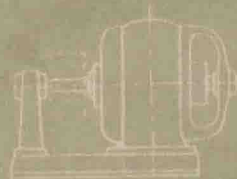


電 机 工 人 適 用

电 工 学

第五分册 直流电机

章炎福 刘申永著



水利电力出版社

目 錄

第十一章 直流發電機	2
一、直流發電機的原理	2
二、直流發電機的構造	4
三、直流發電機的類型	10
四、自激式發電機	11
五、各種直流發電機的特性	16
六、直流發電機的电樞反应	22
七、直流發電機的电刷位置和中間極	24
八、感应电動勢的公式	26
九、直流發電機的併列运行	27
十、三綫送电制和三綫發電機	31
第十二章 直流電動機	5
一、直流電動機的原理	5
二、直流電動機的構造	7
三、電動機中的反电動勢	38
四、直流電動機的起動	42
五、各種直流電動機的特性	51
六、直流電動機的电樞反应	56
七、直流電動機轉向的变换	57
八、直流電動機的速度控制	58
九、直流電動機的制動	59

目 錄

第十一章 直流發電機	2
一、直流發電機的原理	2
二、直流發電機的構造	4
三、直流發電機的類型	10
四、自激式發電機	11
五、各種直流發電機的特性	16
六、直流發電機的电樞反应	22
七、直流發電機的电刷位置和中間極	24
八、感应电動勢的公式	26
九、直流發電機的併列运行	27
十、三綫送电制和三綫發電機	31
第十二章 直流電動機	5
一、直流電動機的原理	5
二、直流電動機的構造	7
三、電動機中的反电動勢	38
四、直流電動機的起動	42
五、各種直流電動機的特性	51
六、直流電動機的电樞反应	56
七、直流電動機轉向的变换	57
八、直流電動機的速度控制	58
九、直流電動機的制動	59

第十一章 直流發電機

一、直流發電機的原理

發電機是將機械能變換為電能的機械。發電機的作用原理是：原動機（如汽輪機或水輪機）帶動着發電機的轉子轉動，轉子上的導線切割了發電機的磁場，因而產生感應電動勢。

發電機按所產生電流的性質，可分為直流發電機和交流發電機兩種。直流發電機便是用機械能力產生直流電的機械。

講到這裏，讀者們可能提出這樣一個問題：第四分冊裏說過，當導線在磁場中移動，由於導線切割磁力線角度不同，所產生的電動勢是交變電動勢；那末，直流電又是怎樣產生的呢？要明白這個道理，我們不妨先看幾張圖。

圖1是最簡單的直流發電機磁場和導線，和交流發電機不一樣的的地方是：旋轉電樞導線和外電路連接的地方，用一對整流子片。當導線位置如圖1甲時，因為不切割磁力線，所以並不產生電動勢，外電路的電壓為零；當導線位置如圖1乙時，切割磁力線成最大角度，電流由整流子片經外電路正極碳刷流向負極，外電路電壓升到正的最大值；當導線位置如圖1丙時，因為並不切割磁力線，因而沒有電流經過，外電路的電壓為零；當導線位置如圖1丁時，導線以相反方向切割磁力線成最大角度，如果是交流

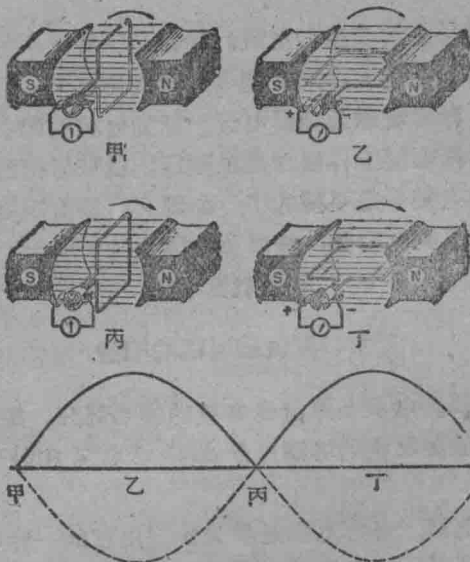


圖 1 直流電動機的磁場

發電機，這時外電路的電壓是負的最大值，但在直流發電機，因為整流子片是和導線一起轉動，因而，電流仍由整流子片經外電路的碳刷流向負極。這樣，當電樞的導線在磁場中旋轉一週時，外電路的電壓便如圖 1 曲線所示，始終是固定的方向。直流發電機繞線二端的整流子片，因為有着改變電流方向的作用，因而也叫作換向器。

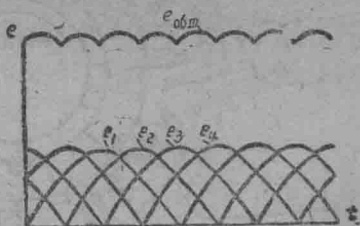


圖 2 由四個綫圈所產生的總電勢

由这种方法產生的电流，始終是朝着一个方向，其电压是由零逐渐昇大，又回到零，然後再昇大，这样地反覆变化。这种电流称为脉動电流。脉動电流的起伏波動很大，如果在电樞上再增加幾根繞綫，就可以把这种波動減小到实际上幾乎是平穩的了。如圖 2，是由四根繞綫切割磁力綫產生的電動勢，總電勢如圖上的 e 所示。繞綫更多（例如 8 个或 16 个），电流就更平穩。

二、直流發電机的構造

1. 电樞。电樞是直流發電机的轉動部分。按照电樞的形狀，直流發電机的电樞可分为环形电樞和鼓形电樞兩種。

环形电樞。环形电樞是早先曾經用过的一种电樞，形狀如圖 3 所示。当电樞轉動時，只有在电樞外層的繞圈才

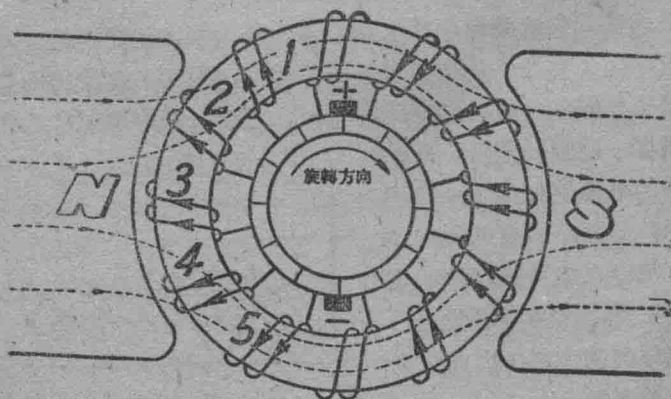


圖 3 环形电樞

能切割磁力綫。這時，按照圖3中各組繞綫的位置來看。第3組繞綫移動方向和磁力綫垂直，因而產生的電動勢最大；第2、4組繞綫產生的電動勢比第3組小，第1、5組產生的電動勢就更小；正對着電刷正極和負極的兩組繞綫，因為和磁力綫平行，所以不產生電動勢。環形電樞目前雖然很少見到，但由於這種電樞繞綫的接法比較簡單，容易看清，因而常用來說明電樞的作用原理。

鼓形電樞。鼓形電樞是現代常用的電樞，形狀如圖4所示。這種電樞的優點是所有的繞綫



圖4 鼓形電樞

都在電樞表面，都可以切割磁力綫；電樞的內部是鐵心的，磁阻比空心的環形電樞小；同時因為所有的繞綫都在電樞表面，所以修理起來也很方便。由於鼓形電樞具有以上這些優點，因而目前的直流發電機多採用這種電樞。

直流發電機的電樞由電樞鐵心、電樞繞組、換向器和樞軸等幾個主要部分組成。電樞的鐵心，並不是用整塊的鐵做成，而是由很多片互相絕緣的軟鋼片疊成的。為什麼不用整塊的鋼鐵呢？我們知道，鐵也是一種良導體，當電

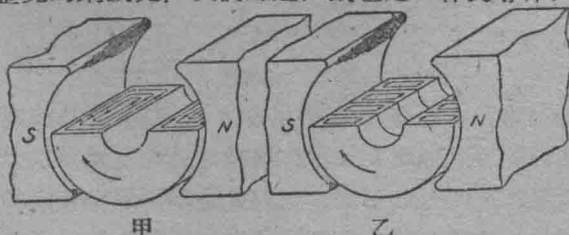


圖5 整塊鐵心和疊片鐵心的渦流

樞在磁場中旋轉時，由於電磁感應的作用，鐵心內部也會產生迴行的電流，這種電流稱為渦流，如圖 5 甲所示。渦流消耗着原動機的能量，並使電樞發熱，這樣，不但減低發電機的效率，而且還有燒壞電機絕緣的危險。如果採用了圖 5 乙那樣的絕緣疊片的鐵心，就可以分斷渦流的路徑，使渦流的總值大大減小。

換向器由許多銅片組成。銅片的數量和綫圈相等，各個銅片之間用雲母互相絕緣，並用 V 形的雲母環和壓板緊合，圖 6 表示一個換向器的截面。

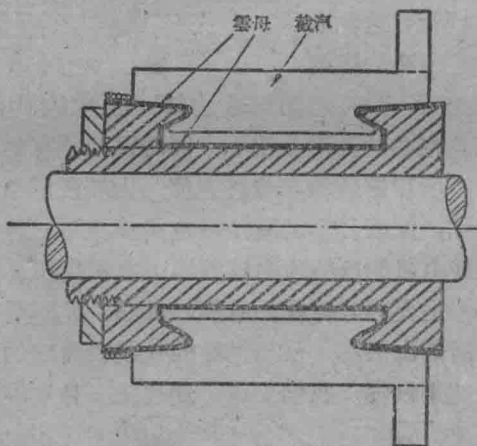
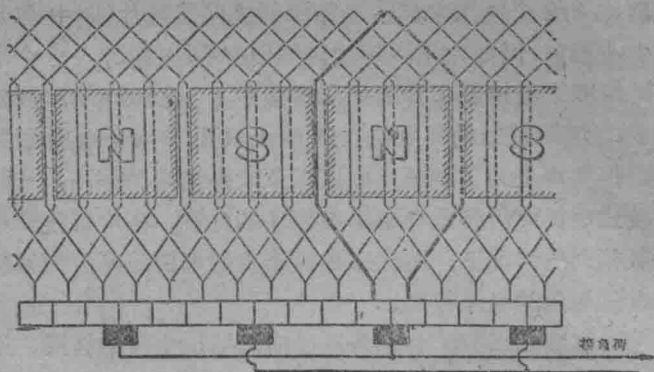
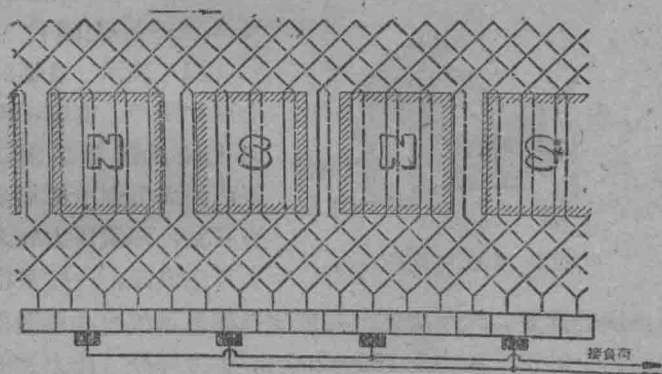


圖 6 換向器

換向器和電樞繞組連接的方法有迴繞式和波繞式兩種，其展開形狀如圖 7 所示。這兩種繞組主要差別是綫圈和換向器連接的方法不同，迴繞式綫圈兩端和相鄰的兩個換向器截片連接，整個電樞中具有和極數相等的通路，因



甲—廻繞式



乙—波繞式

圖 7 直流發電機電樞繞組的展開圖

而必須採用和極數相等的電刷；這種繞組適用於低電壓高電流的電機。波繞式線圈兩端所連接的換向器截片，則必

須經過 $P/2$ 個綫圈才能接到相鄰的換向器截片(其中 P 是發電機極數,例如六極波繞式綫圈便必須經過 $6/2=3$ 個串聯的綫圈才能接到相鄰的換向器截片)。這樣,不論極數多少,波形繞組的發電機在理論上只要有兩個電刷便行了,但實用上為了避免高電壓以及改進換向的作用,一般波繞式電機中仍裝置和磁極數相等的電刷。在電樞繞組導綫數相同的情況下,波繞式電機產生的電壓較高,而迴繞式電機產生的電流較強。

2. 電刷和刷握。電刷是從換向器引出電流的裝置,通常為碳或銅製的長方塊。電刷的位置由刷握固定,刷握裝置的方法很多,一般是採用螺栓和絕緣的電刷軛。實用上為了調節電刷在換向器上的位置,大部分電機的電刷都

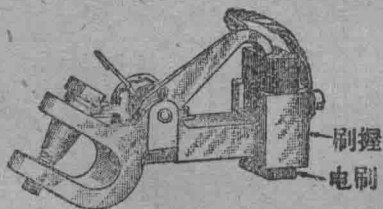


圖 8 電刷和刷握

可以在一定範圍內移動。圖 8 表示一普通的電刷和刷握。電刷和換向器間的接觸必須良好,因而電刷頂部都裝有彈簧,彈簧壓力的大小可以調節,一般是根據電刷的性質和大小決定。在固定裝置的電機中,電刷在換向器上的正常壓力是 150—250 克/平方公分,壓力過低會使電刷與換向器接觸時發生火花而迅速磨損,壓力過高就會使電刷與換向器接觸時熱度增高,同樣也會迅速磨損。在裝置不固定或振動較劇的電機,彈簧的壓力應大些,以保證電刷和換向器的接觸良好。如果將換向器外表

面截片的雲母切割得比截片稍低，可以減輕電刷和換向器的磨損及降低功率消耗，並保證換向器和電刷接觸良好；但切割過深時，截片間容易嵌有污垢和電刷磨損的粉末，因而切割的深度一般不宜超過 1 公厘。

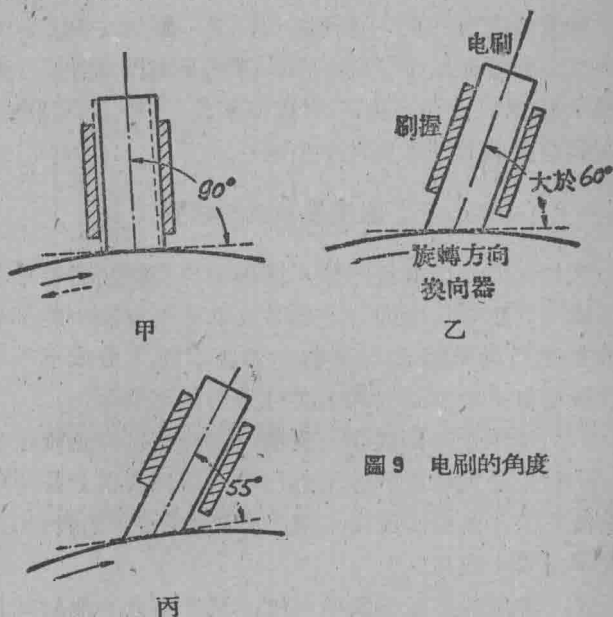


圖 9 電刷的角度

在可以倒順旋轉的电机中(主要指電動机，發电机是比較少的)，電刷一般垂直裝在換向器的表面，如圖 9 甲；而在轉向固定的电机(大多數的發电机轉向都是固定的)，則由轉向來決定電刷的角度，通常都是順着轉向与換向器成一個 60° 以上的角，如圖 9 乙；有時電刷也可以逆着電樞的轉向与換向器表面成一個 55° 左右的角度(最大不得

超过 65°), 如圖 9 丙所示。如果电刷和換向器表面間的角度太大, 当电机轉動時, 电刷往往会在刷握內振動。

3. 軸承。电机的軸承分鉛合金、銅合金軸承和滾珠、滾柱軸承兩類, 与普通机械上所用的軸承並沒有什麼不同。軸承的潤滑, 前一類用机油, 後一類用牛油。軸承的內外必須配置軸承盖或封油圈, 以防止潤滑油外溢。鉛合金軸承適用於大型电机, 滾珠軸承大、中、小型电机都用, 銅合金軸承則多用於小型电机。

三、直流發電机的類型

我們知道, 發電机的作用原理便是導綫在磁場中旋轉產生感應電動勢, 因而, 磁場是电机中不可缺少的部分。直流發電机即是因產生磁場的方法不同, 分成不同的類型。发电机中產生磁場的方法可分为以下兩種:

一种是用永久磁鉄作为磁場, 这种电机称为永磁式电机。一般永磁式电机的容量都很小, 而且大部分是用以產生交流电的, 永磁直流發電机只在高电阻計(搖表)和某些電動示速器中应用。

另一种是採用电磁鉄的电机, 又可以分为他激式和自激式兩種。他激式發電机的磁場綫圈由其它电源來供給电流(实用上常由較小的自激式激磁机來供給他激式主發電机激磁电流)。这种發電机虽然具有便於調節的性能和用途, 但構造複雜, 成本昂貴, 一般極少採用。自激式發電机的激磁繞組是和电樞电路相联系, 这种發電机磁極繞組中的电流, 是由自己的电樞供給。在这一章裏着重講一講

自激式發電機。

四、自激式發電機

1. 自激式發電機磁場繞路的接法

自激式發電機按照磁場繞圈和電樞的接法，可分為串激、並激（又稱為分激）和複激三種。

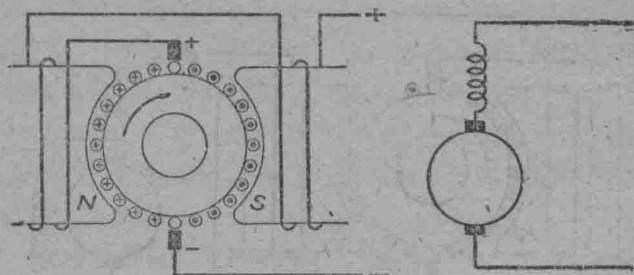


圖 10 串激發電機

串激發電機如圖 10 所示，是電樞和場圈串聯的發電機。

並激發電機的磁場繞圈，跨接在發電機的电刷上，如

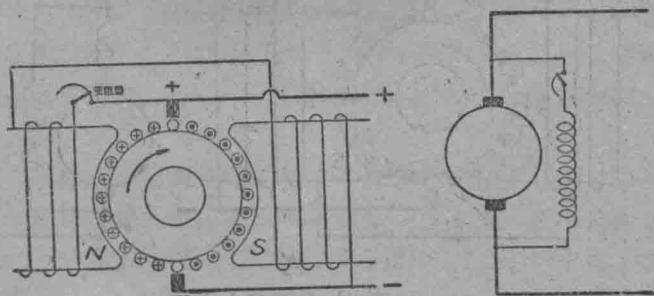


圖 11 並激發電機

圖 11 所示。電樞和磁場繞圈，不論外電路的通或斷，總是自己組成一條完全電路。

複激發電機具有串激和並激兩種磁場繞圈，如圖 12 所示。複激發電機的並激場繞圈可以並接在電樞的兩端，稱為短複激發電機（圖 12 甲）；也可以並接在電樞和串激場的外端，稱為長複激發電機（圖 12 乙）。

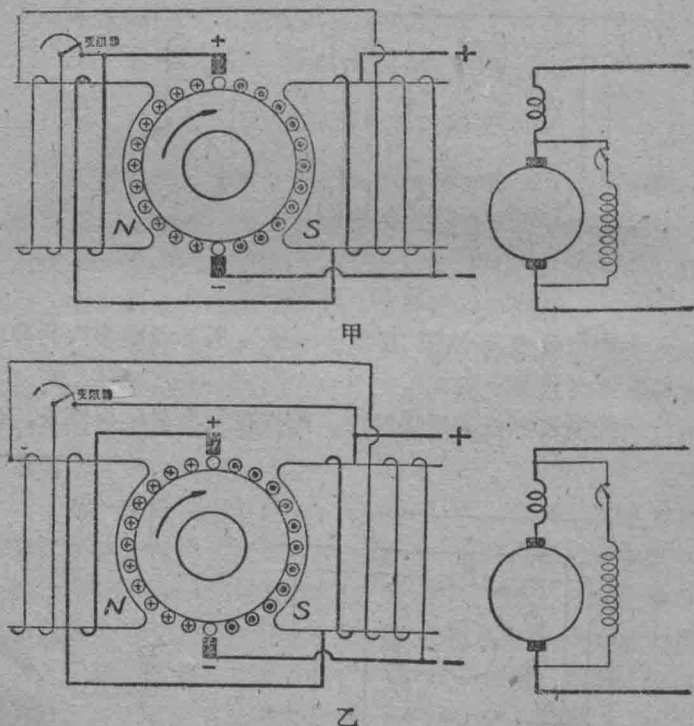


圖 12 . 複激發電機

2. 自激式發電機的激發

自激式發電機的激發，需要下列條件：

自激式發電機停止使用時，雖然在磁場繞圈中並沒有電流通過，但是在磁極中常保留着少量的剩磁。當發電機轉動時，由於電樞繞圈切割剩磁的磁力綫，能夠產生很低的電動勢，同時就有電流通過磁場繞圈，開始激勵磁場，使發電機產生較高的電動勢，就會有較大的電流通過磁場繞圈，並會加強磁極的磁場。這樣經過不斷的相互作用，可使發電機在固定的轉速下，根據磁場電阻的大小，產生一定的電勢；電勢的增大限度，直到使發電機的電壓達到正常為止。由此可見，剩磁是自激發電機激發的第一個條件。

自激式發電機激發的第二個條件是整個磁場電路（包括場圈、電刷、電樞和變阻器等）的總電阻，必須不超過一個稱為臨界值的電阻總值。假定我們在磁場中需要通過一定的激磁電流，必須有適當的電壓。所需電壓的高低，根據歐姆定律 $U = IR$ ，可知是與電阻的大小有關。在一定的電壓下，如果磁場電路的電阻越大，場圈中通過的激磁電流就越小。激磁電流太小，就不能使發電機產生足夠的感應電動勢。所以，過大的磁場電阻會阻礙發電機激發。

自激式發電機激發的第三個條件是發電機必須具有一定的轉速。要是發電機的轉速低於一定限度，便不能產生足夠供給場圈電流需要的感應電動勢，就會影響電機不易激發。

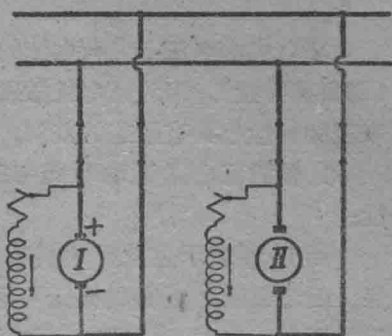
自激式發電機激發的第四個條件是激磁電流的作用必須和剩磁的方向一致。這樣才能使磁通增加，產生更高的感應電動勢，並推動更多的激磁電流。如果方向相反，必然使剩磁削弱，以致產生更低的感應電動勢。激磁電流的作用與剩磁方向相反的現象，大多是由於發電機旋轉的方向錯誤，或發電機拆裝或修理後接綫錯誤而造成的。

前面已經說過，剩磁是自激式發電機激發時不可缺少的因素，但是，在缺乏剩磁的情況下怎麼辦呢？這裏有幾種情況：

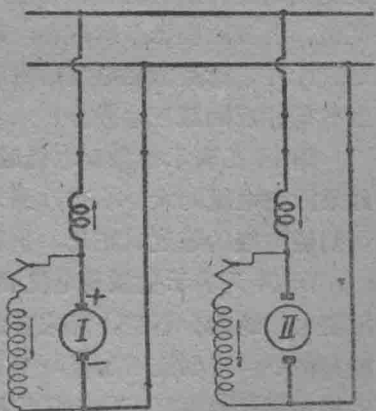
假定缺乏剩磁的發電機原來是可以和其他正常的發電機併列運行，那末恢復剩磁的方法是比較簡單的，只要在發電機靜止和主開關閉斷時拉起所有的電刷，再把主開關閉合片刻，使電流引入這一座缺乏剩磁的發電機的並激磁場綫圈，然後進行開斷並拉回電刷。這時必須調整電刷彈簧的壓力，並檢查電刷在刷握中能不能滑動。這樣，當發電機再度開動時，就可以激發。至於激發的理由，可由圖13甲加以說明。圖中發電機I表示供电正常的一座並激發電機，發電機II表示缺乏剩磁的一座並激發電機。可知當電刷拉起時，由匯流排引入並激場圈的電流，與供电正常時並激場圈中電流的方向相同，就可以逐漸恢復剩磁，使發電機激發。這一種恢復剩磁的方法同樣能適用於複激發電機，如圖13乙所示。我們知道，複激發電機具有並激場圈和串激場圈，而並激場圈中電流的方向是與供电正常時電流的方向相同的，即使串激場圈中電流的方向和供电時的方向相反，可是並激場圈的匝數遠比串激場圈的匝數為

多，而它們通过的电流却相等，所以仍可使發电机恢復剩磁。其实併列使用的複激發电机間總是安有均压綫(見第九節)，因此用这种方法來恢復剩磁，串激場圈被均压綫短路，只有並激場圈才有电流通过。

假定原來只具有一座單独的發电机，那末恢復剩磁就比較困难。过去常用的方法是先使發电机超速轉動，同時擊震电机的場軛，往往可獲得成效。採用这种方法，可以在發电机轉動前用保險絲短接电刷，要是轉動後發現保險絲燒坏，即可肯定發电机已獲得足够的剩磁。除上述方法外，如果用电池組來接通磁場綫圈，也可以恢復电机的剩磁。用电池組激發時，一般並不需額定的电压，並且所費時間也很短，实是一种極簡便的方法。



甲



乙

圖 13 恢復發电机剩磁的一种方法