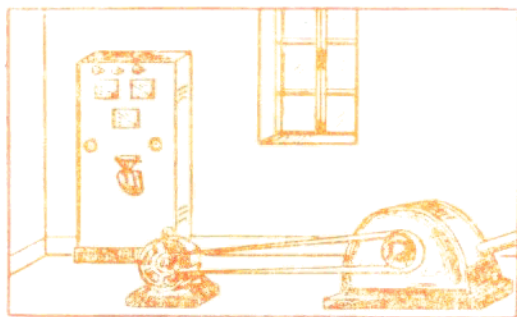


怎样发好电

水利电力部技术改进局编



水利电力出版社

內 容 提 要

書中对綫繞式感应电动机发电的問題作了詳細的介紹。关于采用何种励磁接綫最好，用轉子发电好还是用靜子发电好，特别是怎样发好电等問題，提出了精辟的見解和有效的方法，本書对“小土羣”电厂作好发电工作，有很大的参考价值。

怎 样 发 好 电

水利电力部技术改进局編

*

2006D573

水利电力出版社出版（北京西郊科學路二里溝）

北京市書刊出版業營業許可証出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印 新华書店发行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 开本 * $\frac{3}{16}$ 印張 * 15千字

1959年3月北京第1版

1959年3月北京第1次印刷(0001—10,270册)

統一書号: 15143·1591 定价(第8类)0.09元

目 录

一、前言	2
二、用感应电动机发电	3
1.鼠笼式感应电动机发电	4
2.繞繞式感应电动机发电	4
三、繞繞式感应电动机发电的几个問題	4
1.励磁繞卷的接綫問題	5
2.轉子发电好还是靜子发电好	7
3.并列及負荷特性	9
4.其他問題	12
四、怎样发好电	14
1.轉速要合适	15
2.判断运行方式的簡易方法	15
3.励磁裝置的选择	16
4.电压的选择	19
5.并列問題	20
6.发电机的停电	21
7.出力問題	21
五、結束語	22

前言

解放以来电力工业发展的速度是史无前例的，单是1958年新增的发电容量即达180万千瓦，年发电量达到275亿度。可是这样的发展速度仍然不能适应国民经济发展的需要，目前全国很多地区感到严重缺电，估计这种缺电情况还会继续相当时间。为了解决这一问题，我们要象全民炼钢一样，开展全民办电的群众运动。

全民办电的群众运动在很多地区已经开始形成，在这一运动中除了建立少数中型的发电站以外，绝大多数是属于“小土”一类的。“小土”类的发电机中有一小部分是按照当时当地的材料和加工条件自行制造的，绝大部分是利用原有的电机（如同期电机，直流电机以及感应电动机等）改作发电机的。

各式各样的原动机带动各式各样的发电机要发出电来并不十分困难，很多地方不懂电的店员妇女儿童都已经证明他们能够破除“电”的神秘观点，用各种各样办法发出了电。

能够发电只是解决了问题的一个方面，要使电能真正为人民服务还必须把电发好，怎样才算发好电呢？我们认为应该做好下列几点：

1. 尽可能使用到发电机的最大出力；
2. 要求连续而可靠地发电；
3. 有电网的地方最好能并列运行。

要达到这样的要求比起发出电来困难得多，根据我们在全民办电运动中对很多单位的了解，发现除了有原动机的运行经

济性问题阻碍了“小土羣”的正常发电以外，絕大多数都存在着发电机发不足名牌出力的問題，甚至有些地方由于沒有輸出功率表，和系統并列运行的发电机组虽然轉得很欢，但是运行人員却不知道到底是不是在发电，或者发多少电。的确也发生过这样的情况，一边在向汽輪机內送着蒸汽，而另一边电力系统却也在向发电机(实际上是在作电动机运行)供电。

为了及时地总结經驗和使全民办电运动能够更健康更有效地开展起来，怎样发好电的問題各有关单位应该特別注意。

二、用感应电动机发电

在“小土羣”的发电机中有直流电机，同步电机以及感应电机。其中以感应电机为最多，因为它是电机中最“土”的一种。同步电机一般都是大型的，小型的同步电机很少制造，在市場上不易找到。直流电机构造比較复杂，运行维护比較困难，而且造价也高得多。后两种除了办电单位挖掘潛力时找出来作为发电机以外，可以说不是发展“小土羣”电机的方向。

感应电机作为发电机有很多优越条件，归纳起来有：

1. 感应电动机結構简单结实，运行可靠，在超速度和过負荷时有較大的承受能力。

2. 价格便宜，特别是20瓩以下的感应电动机比同步电机便宜很多。

3. 感应电动机易于制造，在市場上也比其他电机多，容易买到，适宜于目前“小土羣”发展的需要。如将来“小土羣”办电完成使命以后，这种电机仍然可以作电动机用。

4. 感应电动机作为感应发电机使用时，尚有不 需要励磁

机、轉子滑环、不怕短路、易于和电力系统并列等优点。

用来发电的感应电动机有两种，一种是鼠籠式感应电动机，另一种是綫繞式感应电动机。作为发电机使用时各有其特点，分别叙述如下。

1. 鼠籠式感应电动机发电

关于这方面的有关技术问题，水利电力部技术改进局已經在它所編著的“用感应电动机发电”的小册子里詳細介紹过了。到目前为止使用中发生的最大困难是这种发电机单独运行时需要容量相当大的电容器，而这种电容器在市場上也难于購買到，同时在起動較大的动力負荷时，常常会使电压垮台。

2. 綫繞式感应电动机发电

綫繞式电动机在将其轉子綫卷短路或通过电阻短路作为发电机使用时，則它的作用原理和鼠籠式沒有多大区别。但是因为它有三相繞組的轉子，我們便可以利用轉子或者靜子的綫卷加以直流励磁，然后再由靜子或者轉子发电。这样的发电方式实际上已經是属于同步发电机的一类，可以說是用綫繞式感应电动机作同步电机发电。

下面我們將一台綫繞式感应电动机作同步电机发电的試驗結果作一簡單的介紹。

三、綫繞式感应电动机发电的几个問題

我們試驗的綫繞式感应电动机的名牌是：

型式 TS-11，功率11馬力，

电压220/380伏，电流32.9/19安，

轉速950周/分，

轉子电压227伏，轉子电流25安，制造厂德国 TBT。

在进行发电試驗时原动机为一台25瓩的直流电动机，原动机和发电机之間用皮带連接，調节直流电动机的电源电压及励磁电阻以調整发电机的轉速及負荷。

发电机所发出的电力直接和交流电网并列，将功率送回系統。

試驗中我們发现在励磁綫卷的接綫，发电的方式以及并列的电压方面存在着很多有趣的問題，这些問題解决得好坏直接影响到輸出功率的大小。在我們的試驗中輸出功率最小时只有一个多瓩，最大时可以达到5瓩。前者只有名牌功率的13%，而后者已經达到62%。如果适当地超过轉子名牌电流运行，完全可以帶到电动机的名牌容量。

通过这一試驗，充分說明发好电是何等的重要。从13%到62%，以致达到100%，这是多么大的差別！同时通过这一試驗也使我們体会到影响发好电的各个有关問題，对于这些問題的分析总结 and 介紹，将非常有利于全民办电运动的正常发展。

1. 励磁綫卷的接綫問題

綫繞式感应电动机的靜子和轉子綫卷都是三相的，而我們的励磁是直流的，怎样在三相綫卷內通以直流而能得到最高的励磁效率是我們首先碰到的一个問題。因为改变轉子綫卷的接綫比較困难，我們在靜子綫卷上采用各种接綫方式进行励磁，在轉子上引出电压，得到如图1所示的(1)，(2)及(3)的励磁曲綫。

从曲綫中可以看出，无負荷励磁的效率以曲綫1为最高，即当三相接綫改接成 Δ -形时为最好，此时按照向量图可以画出其励磁效率为2（以一相綫卷励磁为1）。这种接法实际上是将Y形中性点拆出一相，拆出的一头接到引出綫其他二相任何

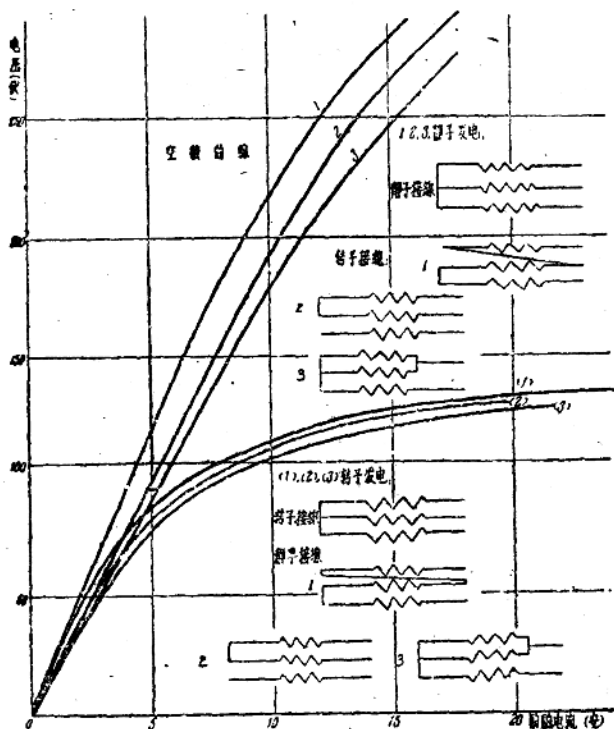


图1 繞綫感应电动机作发电机时的励磁曲线

一根出綫上，如图所示“Y”+（实际成为“4”形）。

不改动任何接綫而从Y形的任何两个引出綫上通入直流即可以得到励磁效率为1.73的曲线（如2所示）。其他接綫方法及励磁效率都已經在图上表明，不再詳細介紹。

应该注意的是在改接綫时必须首先搞清楚三相綫卷的接綫是Y形还是△形。上面的例子只适用于Y形，如果是△形，曲线1励磁效率为2的接法便必須將△中一相的两端完全拆开，

然后将一端接上其余两相的他端，而将其他一端引出如图所示会(即为 $\triangle$)。可以很明显地看出，在不改变接线的条件下由引出线任何两端通入直流的励磁效率将是1.5而不是1.73。

如果单从无负荷特性曲线(图1)来看，励磁效率越高，则发出同样电压所需的励磁电流越小，因此在选用某种励磁接线时应该首先考虑采用励磁效率较高的一种。从各种接线的分析来看，励磁效率最大为2.0，其次为1.73，再其次为1.5，最差的为1.0。当然，我们应该采用2.0或者1.73那两种。

2. 转子发电好还是静子发电好

为了证明这一问题，我们除了进行上述试验以外，又将转子的中性点拆开进行励磁，得出了和“1”中一样的一系列曲线，它们的励磁效率也和静子励磁一样有着明显的规律性。

从图1的两组曲线上可以看出，以同样的励磁电流，在相应的接线方式下，转子励磁的效率要高出很多。在曲线内的励磁电流是用的绝对值，实际上转子的额定电流较静子要大得多，如果考虑这一因素，则转子无负荷励磁效率要比静子还要高很多。

但是这只是问题的一方面，要解决是转子发电好还是静子发电好的问题，单是无负荷电压还不能证明问题，还必须进行短路特性曲线的检验。

短路特性曲线试验和无负荷特性曲线试验一样，分别在转子及静子上励磁，并且在各种不同励磁接线方式下进行。图2中的两组曲线便是静子和转子励磁时的短路特性曲线。

从图上可以看出，和无负荷特性恰巧相反，转子励磁的短路特性较静子要低得多，这说明静子的电枢反应要比转子大得多，所以虽然静子发电时无负荷励磁效率很高，当带上负荷时，由于电枢反应大，大部分磁场被抵消，以致实际上电压下

降很多因此也发不了多大的电流。当然这样一来输出功率也就大不了。

实际带负荷的结果也证明了这一点，转子发电也就是静子励磁要比静子发电为好，前者只能发到额定容量的13%，而后者则可以发到62%，以达到100%。

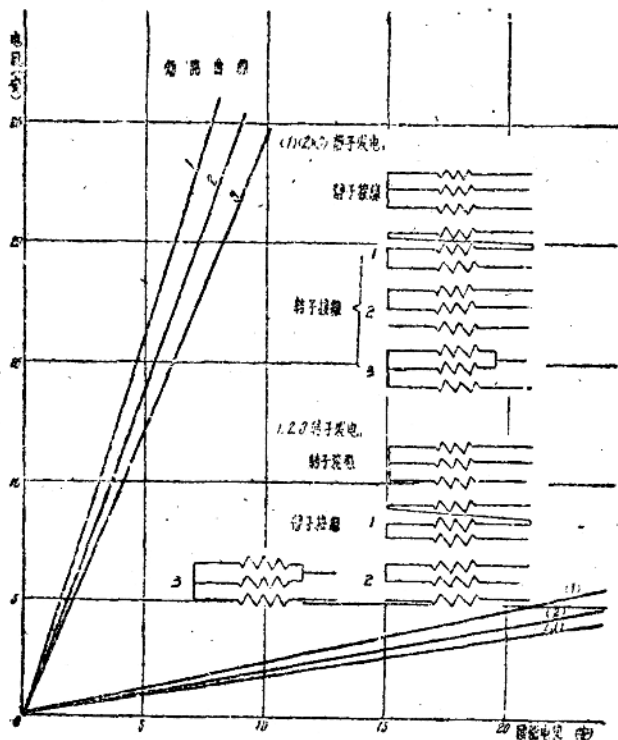


图2 繞繞式感应电动机作发电机时的短路特性曲线

3. 并列及負荷特性

綫繞式感应电动机作同步电机运行时，可以独立运行而不必增加电容器，但是为了使供电更为可靠，在有系統的地方以和系統并列运行更为有利，特別負荷变化較大而且容量也比較大的感应发电机，更有必要和系統并列运行。

目前全国各电网都在进行提高出力的工作，絕大多數系統內无功功率感到不足，因此这种和系統并列运行的“土电厂”如果不采用电容器或直流励磁的方法增加无功出力，常常会使系統增加无功出力而减少有功出力，这对整个国民經济說来是不利的。所以綫繞式电动机和系統并列发电时应尽可能采用励磁的方式，改进成为同步电机发电，以供給系統必要的无功功率。

和系統并列时的首要問題是电压問題，一般說来“土电厂”主要是解决自用电問題，自用电的系統大多數是三相 380 伏，三相 220 伏的便比較少，三相 110 伏的則更少。当然从綫繞式电动机发出最大电力的观点看来，电压等級可以从无負荷及短路特性曲綫上計算出来，但是計算出来的电压很可能和上述标准电压相差很大，为这样的土发电机配备专用的变压器是不合理的，所以只能就上述电压等級中选择較接近的一种作为并列的电压。

依照前面已經得到初步結論，轉子发电比靜子发电要好。而轉子額定电压的变化很大，以 AK71-8 为例，轉子額定电压为 125 伏，則这种情况只能和 110 伏系統并列。又如 AK92-4 电机，轉子額定电压为 517 伏，則可以和 380, 220 或 110 伏并列，至于何者最为优越，必須从无負荷及短路特性曲綫上进行校驗和計算，并在实际帶負荷下进行試驗。

我們所进行試驗的一台綫繞式电动机轉子額定电压为 227

伏，可以和220伏并列，也可以和110伏并列，三相380伏并列是不可能的。从靜子励磁的无負荷特性曲綫中（图1）可以看出，曲綫在到达140伏时便已經接近飽和，因此要发到三相220伏是根本不可能的。所以在轉子发电的条件下，和系統并列运行的电压只能是110伏。

当采用110伏和系統并列时，从轉子发电无負荷曲綫最高的一根（1）上可以得出其励磁电流为8.7安，这相当于靜子額定电流19安的 $\frac{1}{2}$ 以下。如果能够采用非标准电压，可以把无負荷电压适当提高，这样可能得到較高的出力。

在实际应用中，单独运行的110伏电网还可能存在，而从大电力系统供电的110伏电网已經基本上沒有，所以我們所采用进行試驗的电动机帶有很大的局限性。在各办电单位选择这样的电动机时，必需注意到轉子电压的选择，最好能发到三相380伏，否則和系統并列是不可能的，要另加变压器那就不經濟了。

为了証明前面所說的轉子发电比靜子发电好，我們进行了实际負荷的試驗。試驗开始是靜子发电，靜子的接綫有星形也有三角。轉子励磁采用励磁效率为2， $\sqrt{3}$ 及1.5的三种，从下面附表所列的数值可以看出限制出力的是轉子励磁电流，当轉子电流已經达到160%額定值时，最大的出力才不过2.8瓩。

轉子发电試驗的結果也列在附表內，在这里限制出力的是轉子輸出电流，当轉子电流达到額定值时，輸出功率最大可以达到5.0瓩。在同样条件下，如果功率因数降低为0.80，則輸出功率可达3.75瓩。在这种条件下靜子的励磁电流还很小，只达到額定值的90%左右。

从发热情况分析，靜子由于只通直流，而轉子經常处于同步状况，因此鉄心損失大大减少，基本上只有銅核。而轉子的

負 荷 試 驗 記 錄

发电方式	次 数	接 綫 方 式		电 压 (伏)	电 流 (安)	功 率		COS ϕ	励磁电流		励磁电压 (伏)	励磁容量 (瓦)
		靜 子	轉 子			(瓦)	(%)		(安)	(%)		
靜子发电	1			105	10	2.4	29.6	≈ 1	40	160	8.10	0.33
	2	同 上		110	5.45	1.04	12.8	≈ 1	20	80	3.75	0.075
	3	同 上		202	8.4	2.8	34.6	0.95	41.5	166	7.5	0.31
	4		同 上	210	7.6	2.7	33.3	0.98	37.5	150	5.8	0.218
	5	同 上		202	5.4	1.92	23.7	≈ 1	23	92	5	0.15
轉子发电	6			110	25	4.7	58	≈ 1	15.8	83	15	0.237
	7		同 上	113	25	5.0	61.6	≈ 1	17.5	92.2	12.5	0.218
	8		同 上	113	25.5	4.9	60.5	≈ 1	12	63.1	17.3	0.208
	9	同 上	同 上	107.5	25	3.75	70.9	0.80	16	84	23	0.368
	10	同 上	同 上	113	38.5	8.1	100	≈ 1	13	95	30	0.54

鉄心損失比原来要增加很多，再加上轉子电流較靜子先达到額定值，所以这台发电机限制出力的是轉子。但是因为我們进行試驗时是冬季，室温較低只有 8°C 。因此发电机轉子虽长期带

有額定電流時，溫度仍然很低。在負荷記錄表內最後一行是當轉子電流達到38.5安時，出力為8.1瓩（相當於額定值11馬力）；此時靜子勵磁電流尚未超過額定值。在這樣過負荷條件下運行約1小時，發電機各部溫度均無異狀，停機後測得轉子鐵外部的最高溫度為53°C。在試驗過程中短期出力曾達到10瓩。

全部負荷記錄如上表所示。

4. 其他問題

除上述各個現象以外，在進行這一發電試驗時我們還發現下面一系列有趣的問題，值得提供辦電者參考。

（1）電流和功率的擺動問題：

作為同步發電機運行時和感應發電機不同，當發電機功率因數提高太高時會產生電流及功率的擺動，這種擺動的範圍很大，可以使接在電流回路內的電流表指針來回撞，同時在發電機及原動機上也產生周期性的响声，這便是一般所說的非同期運行過程。

初次參加這種發電的運行的同志看到這種情況時常會驚慌起來，其實這種情況除了對撞針的儀表有可能產生損壞以外（實際在選擇適當的電流互感器以後完全可以避免撞針），其他部分都不會引起什麼問題，而且在處理這種擺動情況時也十分簡單，只要增加一定的勵磁電流，或者干脆把勵磁電壓去掉，並將勵磁繞卷短路，使發電機恢復為感應發電機，都可以使擺動全部停止。當停止擺動以後再檢查並調整各項儀表，使恢復到正常的運行狀況。

在擺動中間還有一些小的擺動，例如當原動機帶較小負荷和系統並列時，由於發電機有時作為發電機，有時作為電動機，而原動機又沒有調速裝置，便產生小的擺動。又如當皮帶夾子在皮帶輪上滑過時也會產生小的功率的擺動，這種擺動和皮帶

的噪音的噠噠聲的周期相一致。再如当原动机提高出力到一定程度时皮带打滑程度增加，摆动的情況会增大。所有这些小的摆动对发电都是无害的，有的可以消除，有的不可能消除，只要知道产生的原因便可以安心发电。

因为是感应电动机改为同步发电机，轉子和靜子之間的間隙較一般同步电机为小，所以它能够在比較高的功率因数下运行而不致失去同期，在我們的負荷特性記錄內很多試驗是在功率因数接近于1的条件下进行的，在这种条件下发电机运行得平穩而正常。只有在功率因数达到进相时，发电机才失去同期。

(2) 皮带的打滑問題

我們在开始进行带負荷試驗时，当有功功率增加到2瓩以上时，功率表便发生严重的摆动，而且再繼續增加原动机轉速时，发电机的出力再也不見上升，这說明皮带已經严重打滑。

經過在皮带上擦皮带油，并将皮带調整使之更紧以后，发电机出力便提高到5瓩。在运行一段時間以后，又发现发电机出力有下降現象，这是因为經過长期运行以后，皮带有所伸长，再加以发电机及原动机的地脚螺絲打得不够紧，便产生皮带又打滑的原因，在进一步調整皮带以后，发电机出力提高到8瓩，最高时在短期內达到10瓩。

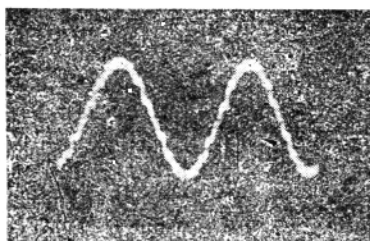
从这一情况可以說明皮带的松紧对发好电有多大的影响。

(3) 发电机电压的波形問題

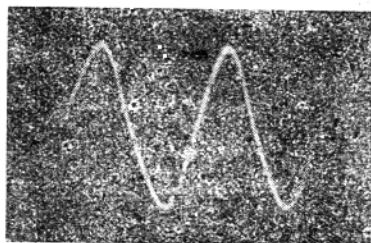
发电机发出的波形基本上是正弦的，但是存在着很明显的高次諧波。靜子发电时的电压波形最差，如图3甲所示，高次諧波数值較大。轉子发电要好一些，但高次諧波仍然存在，如图3乙所示。在轉子发电时出口处加接三相2微法的电容器以后，电压波形(如图3丙)大为改善，在示波图中已經看不出高次諧波的存在。



甲、靜子发电时的电压波形



乙、轉子发电时的电压波形



丙、加装电容后的轉子发电时的电压波形

图3 綫繞式感应电动机发电时的电压波形

四、怎样发好电

从我們了解到的“小土羣”办电中发电过程所存在的問題，以及从上面我們进行的綫繞式感应电动机当同步发电机发电試驗中所得的一些現象，我們觉得要发好电必須解决一系列的問題，从技术上說来这些問題并不是十分困难的，但是只要这些問題中的一个得不到解决，发电机的出力便不可能达到名牌的出力，或者甚至不能可靠地发电。

我們認為从原动机送出功率以后要发好电的問題大致可以歸納如下。

1. 轉速要合适

从原动机运行的效率着眼，原动机具有最大出力以及經濟出力时的轉速。在“小土羣”办电中，原动机和发电机的轉速不可能相互配合，在这种条件下必須采用变速設備。变速設備中有齒輪箱，这是比較高級的一种，它的制造困难，价格高昂，一般采用不多。常用的变速設備是皮带裝置，只要調整皮帶輪的相互直徑比率，便可以在很大範圍內調整发电机的轉速。

在設計皮带輪时，必須从原动机的轉速及发电机的額定轉速出发，考虑到皮带可能打滑，估算出来的直徑比还必须加以修正，使发电机在皮带不打滑时有較高的轉速。

特别是感应发电机，在估算轉速时更应加以注意，曾經有人将感应电动机名牌的轉速作为估算的标准，結果作为发电机使用时根本发不出电来，除非将原动机的轉速大大提高。在这样的发电机上估算轉速时不能以名牌轉速为标准，而應該以高于同步轉速的数值作为依据。例如四极的电动机一般名牌轉速为1,450轉/分，同步轉速为1,500轉/分，在估算皮带輪直徑比时应以1,550~1,600轉/分为依据。

皮带的长度和皮带輪直徑的大小，都可以影响到皮带的打滑与否。如果地位允許，原动机和发电机之間的距离应尽量远一些，皮带輪尽可能采用大一些的，如果可能可以加装能調整的皮带压輪。在开始正式投入运行以前皮带上应擦以皮带油。

2. 判断运行方式的簡易方法

判断电机是作为发电机还是电动机运行的最好方法是安装正确接綫的功率表或电度表，由它們旋轉的方向来确定是功率送往电网还是由电网吸收功率。但是在开始并列到电网上时往