

COS ϕ

73.253

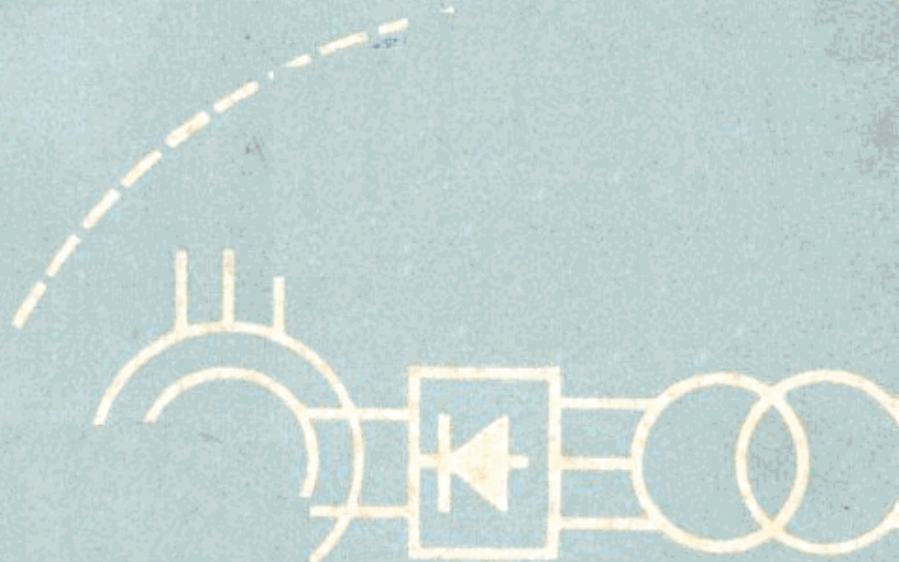
~~HXB~~

HXG

73.253

HXG

+



线绕式异步电机同步化

湖南省湘中供电局
湖南大学电机系电器教研室 合編
湖南省革委会生产指挥组科技情报服务站

前 言

线绕式异步电动机改为同步运行，是节约用电的一项有效措施。它可在保证电动机正常负荷的条件下，不仅不向电网吸收无功功率，而且能向电网输送无功功率，提高功率因数和供电质量。

在“计划用电、节约用电和群众办电”运动中，我省有部分单位，学习外地的先进经验，积极开展“异步电机同步化”的试验，取得了一定成效。为适应“三电”运动的需要，我们以湖南省水利电力勘测设计院、长沙肉类联合加工厂和供水公司所作的线绕式异步电动机同步化的实践为基础，参考外地兄弟单位的有关资料，编成《线绕式异步电机同步化》一书，供有关部门和从事这项工作的同志参考。不当之处，请批评指正。

目 录

前 言

第一章 概述	(1)
第一节 什么是线绕式异步电动机的同步运行	(1)
第二节 异步电动机同步化, 提高功率因数的意义	(3)
第三节 异步电动机同步化, 为什么能提高电网电压	(5)
第四节 线绕式异步电动机同步化的优缺点	(6)
第五节 技术经济比较	(8)
第二章 线绕式异步电动机同步运行的基本原理	(12)
第一节 异步电动机和同步电动机	(12)
第二节 电磁转矩与电磁功率	(16)
第三节 电动机的过载能力	(22)
第四节 电动机的启动与牵入同步	(27)
第五节 电动机的运行状态	(31)
第六节 激磁线圈的接法和磁势	(37)
第三章 线绕式异步电动机同步运行的控制线路	(44)
第一节 对控制线路的基本要求	(44)
第二节 控制线路图	(47)
第三节 主控制回路的简化	(52)
第四节 失步保护	(58)
第五节 其它一些问题	(61)

第四章 静止励磁装置的设计与计算..... (62)

第一节 设计依据的来源..... (63)

第二节 直流励磁回路的电流与电压..... (65)

第三节 整流电路..... (67)

第四节 硅整流器..... (72)

第五节 静止励磁装置的过电流与过电压保护..... (83)

第六节 整流变压器的设计与计算..... (90)

附录: 名词解释

一、什么是有功功率.....(101)

二、什么是无功功率.....(101)

三、什么是总功率.....(102)

四、什么是功率因数.....(103)

附表

一、常用电工符号及单位换算.....(105)

二、常用导体的物理系数.....(106)

三、决定每一千瓦有功容量时所需之无功容量.....(106)

四、QZ及QQ型高强度漆包圆铜线的规格.....(107)

五、扁导线的尺寸及截面表.....(109)

第一章 概 述

第一节 什么是繞式异步电动机的同步运行

一般带有滑环的线绕式异步电动机，在经过启动装置启动完毕后，便处于正常异步运行状态，此时若在转子回路中经滑环加入适当数值的直流励磁电流，电动机便转入同步运行状态。

无论从实践或是理论方面均表明，凡是线绕式异步电动机，在一定的直流励磁情况下均可实现同步运行。

图1—1所示为将线绕式异步电动机改为同步运行的原理接线图，首先是将开关 K_1 投向位置“1”，再合上交流接触器 K_2 ，电动机经过启动变阻器 R ，异步启动完毕并达到额定转速后，随即将刀开关 K_1 投入位置“2”，将由静止励磁装置 B 供给的直流电流经滑环接入电动机的转子线圈，电动机便从异步牵入同步进行同步运转。调节励磁电流的大小便可以改变功率因数的大小，使之超前或滞后。

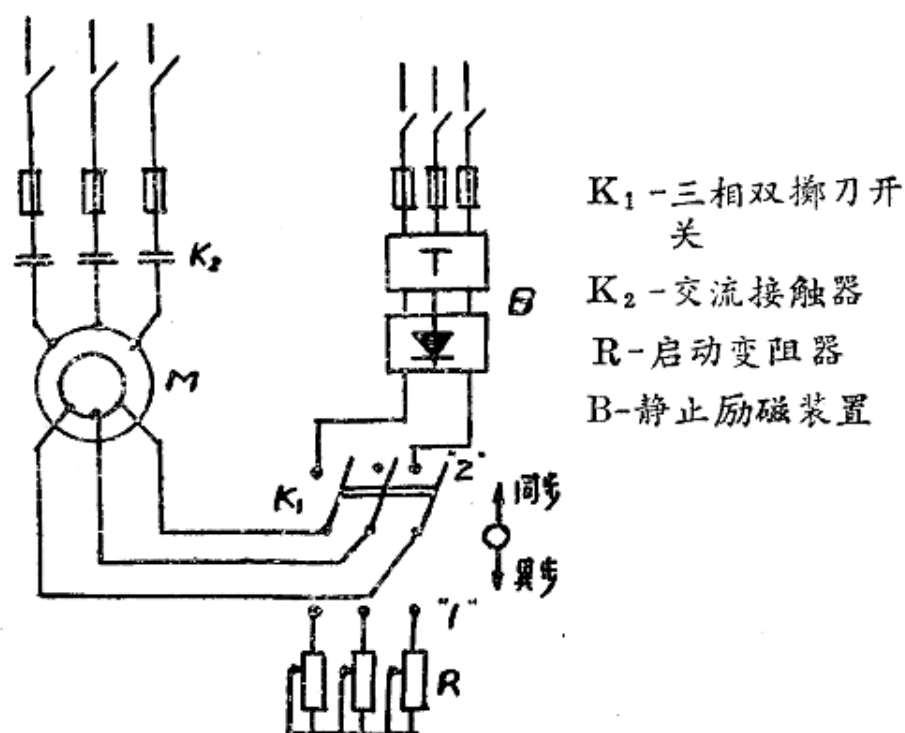
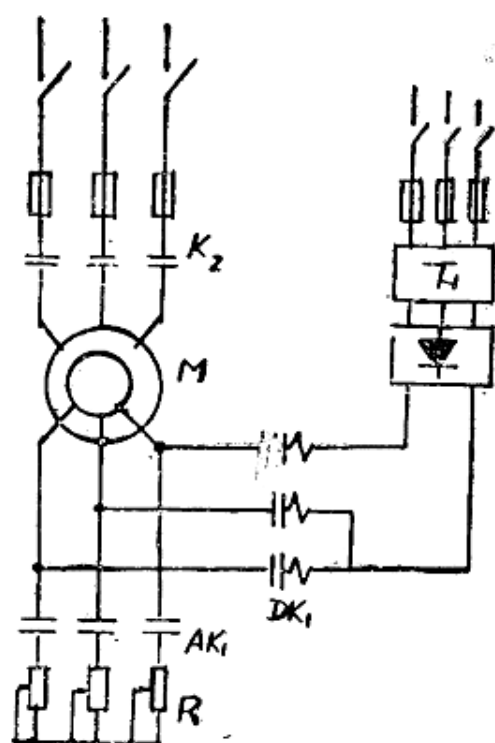


图1-1 用三相双掷刀开关进行转换的原理接线图

将刀开关 K_1 投回位置“1”时，电动机便立刻恢复异步运行。

图1—2所示为用交流接触器进行转换的原理接线图。当使用接触器后，更有利于进行自动控制与转换，其中特别是在失步情况发生时，可使之由同步自动退入异步运行。



T_1 整流变压器 5千伏安
 M 线绕式异步电动机 130
 千瓦, 380伏
 K_2 断路器
 AK_1 交流接触器 CJ_1 300 A
 DK_1 " CJ_1 600 A

接触器	K_2	AK_1	DK_1
异步	×	×	○
同步	×	○	×

表中“×”——合
 “○”——分

图1-2 用两个交流接触器进行转换的原理接线图

第二节 异步电动机同步化， 提高功率因数的意义

功率因数的大小是衡量供用电企业经济运行好坏的标志之一，它和供电部门 and 用户都有密切的关系。一般用户由于使用设备不当，变压器和电动机负荷不足等原因，功率因数通常较低，这样既浪费了电力，积压了设备，又增加了成本。将线绕式异步电动机改同步运行后，对用户来讲有下列好处：

一、充分利用了原有设备容量：

变压器的设备容量是按照仟伏安计算的，如果功率因数低，为了供给同样仟瓦数的电力负荷，必须购买较大仟伏安容量的变压器；反过来说，如果提高了功率因数，同样容量的变压器可以供给较大仟瓦的负荷，这充分利用了原有设备，节约了投资。例如：

某厂原有一台变压器额定容量是560仟伏安，平均功率因数0.7，能供给392仟瓦的负荷；该变压器原先供给的实际负荷为390仟瓦，没有发生困难，后来由于生产的发展，负荷要增加到500仟瓦，如果功率因数还是0.7的话，则要求变压器的容量增大到720仟伏安，这样势必要改换一台额定容量较大的变压器或在原有560仟伏安变压器基础上再加一台变压器，所花费的投资很大。而将由它供电的线绕式异步电动机改同步运行，功率因数提高到0.95，同样的变压器便可供给532仟瓦的负荷，即能满足生产发展的需要。

二、减小了线路损耗，合理地利用导线截面：

由于功率因数低，供给同样的有功负荷，线路上的电流必然加大，即增加了线路的电功率损耗，为了减少线路损耗，则要加大导线的截面，这样不但增加了线路导线投资，浪费了有色金属材料。对用户来讲，这些损耗是计入电度表内的，相应增加了用户的负担。提高功率因数，则可减轻用户的负担。

三、有利于安全生产：

就安全生产观点来看，如果功率因数过低，在使用按正常功率因数而设计的内部线路和选用的电气设备时，均会受到过负荷的影响。例如导线因所载电流超过安全载流量而过热损坏其绝缘，严重的足以招致触电及火灾等事故发生。同样，变压器也将因长期过负荷而招致发生事故。为了保护变压器，必须

降低负荷仟瓦数，这必然会影响到生产。而采取适当措施，提高了功率因数，则可避免上述情况发生。

电力系统的发电，供电，用电是一个有机联系的整体，若一个工厂功率因数低，输配电线路和变压器的有功电能就无形中减少，设备不能充分利用，不仅直接影响本厂生产的发展，还妨碍了发电供电部门的安全经济运行。因此，千方百计提高功率因数是多快好省地建设社会主义的需要，是节约用电的必要措施。

第三节 异步电动机同步化为什么能提高电网电压

异步电动机同步化，就是将线绕式异步电动机转子，通以直流激磁电流，随着激磁电流的增加，它除建立本身磁场外，能产生使电流超前电压的无功功率，即向电网输送无功功率，减少了电网总的无功负荷，提高了电网的功率因数。

由于电网功率因数的提高，在发电机输出有功功率一定情况下，无功输出有所减小，这样一则会使发电机的输出电流减少，减少了发电机的内压降，一则使电枢反应的去磁作用减少，提高了发电机的电势，使发电机的端电压增加。

通常用户端的电压 U 要比发电机的输出端电压低一个线路压降 Δu 数值，线路压降 Δu 越低，则用户的电压会越高。

$$\Delta U = \frac{\sum PR + \sum QX}{U}$$

式中： $\frac{\Sigma PR}{U}$ 为各段有功功率产生的电压降之和；

$\frac{\Sigma QX}{U}$ 为各段无功功率所产生的电压降之和；

P, Q ——在该段上电网的有功和无功负荷。

R, X ——在该段上电网的线路电阻和电抗。

显然，在输送同样有功功率 ΣP 的情况下， ΣQ 减少，则 ΔU 随之减少。

综上所述，由于线绕式异步电动机改为同步运行后，能够提高电网的功率因数，降低了电网的无功负荷，所以能够提高电网电压。

在电力系统中，往往供电电压达不到额定值，特别是线路末端（如湖区电力排灌站），电压低使电动机不易启动，将线绕式异步电动机改同步运行，则可避免这种现象。

第四节 綫繞式異步电动机同步化 的优缺点

上二节介绍了异步电机同步运行后，提高功率因数和电网电压的优越性，同时还有以下优点：

一、异步电机改同步运行后，可不吸收电网的无功功率，相反能向电网输送无功功率。也就是说，同步运行后，一方面与原有异步电动机一样仍然能带动生产机械进行正常运行，转速保持恒定；另一方面它还作无功补偿机向电网送出无功功率。因此同步化是一项挖掘无功潜力的重要措施之一。

二、我国对现代企业要求功率因数在0.9以上，但异步电动

机由于本身为建立磁场，必须消耗一部分无功电流，同时在制造上由于材料性能和加工工艺的缺陷等原因，在满负荷运转时，功率因数到达0.9是很不容易的，再加上目前工矿企业选用电动机的不当，通常在低于额定容量下空载或轻载运行，功率因数常低于0.5，因此必须寻求人工补偿办法。目前制造厂生产的同步电动机数量少，价格较贵；静电电容器的供应也不能满足需要，加上电容器温度限制较严，容易损坏，检修困难。而将线绕式异步电动机改同步运行，改装工作比较容易，运行操作比较简单，可靠；同时效果显著。因此将线绕式异步电动机改为同步运行是充分利用原有设备，提高功率因数，挖掘无功潜力的好办法。

三、异步电动机同步运行，充分利用了原有异步电动机的传统结构和启动设备，启动性能良好，而且不必在现有电动机结构上进行什么改变（例如装上启动绕组等），改装工作对原来的生产没有多大影响。励磁装置的制造可以在完全不影响生产的条件下进行。

四、近几年来大功率硅整流元件大量生产，可更经济合理地用“整流变压器——硅整流器”组成的整流装置，代替过去所采用的直流发电机（励磁机）作为改装后的同步电动机的直流电源，这种励磁装置，效率高，工作可靠，维护容易，这也是新技术的一种应用。

它的主要缺点是：

一、电动机的过载能力较差，对负荷变动较大的生产设备运行效果不好。因而它在一般情况下只适用于转速需保持恒定，带动负荷波动较小的（如通风机，水泵，压缩机，连续运输机械等）负荷。倘若用来拖动负荷冲击较大的负载，还需要

采取强行励磁及其它措施。

二、在重负荷情况下由异步牵入同步运行较困难，容易失步。

三、操作过程比异步电动机复杂一些，宜用于长期运转的负载。

四、需要增加一套静止励磁装置，维修（碳刷、冷却水装置等）工作增加。

虽然如此，线绕式异步电动机同步运行仍然是一个值得推广的好方法。尤其是在需要无功补偿，而又缺乏其它措施的情况下，对于所带负荷较轻，负荷性质较稳定的线绕式异步电动机，这种改装的技术与经济效果是优越的。

第五节 技术经济比较

将线绕式异步电动机改为同步运行后，与异步情况相比，得出的效果是明显的。

（一）表1—1所示为对某厂CW（老型号）92.5瓩线绕式异步电动机的实测情况：

表 1—1

内 容 \ 负荷率		轻 载($S = 50\%$)	重 载($S = 70\%$)
定子电流 (安)	异步	102	123
	同步	81	101
有功功率 (瓩)	异步	45.5	62
	同步	48	65.3

续前

无功功率 (千乏)	异步	50	52.6
	同步	-37.4	-27.8
	潜力	87.4	80.4
功率因数	异步	0.67	0.768
	同步	-0.775	-0.925
转子电流(安)		160	160

- 注: 1.表中无功功率“-”表示输出。
2.表中功率因数“-”表示超前。
3.有功功率在同步时稍有增加,是因为同步时转速稍有增大的缘故。

由异步改为同步运行,在负荷率为70%时,挖出无功功率为 $52.6 - (-27.8) = 80.4$ 千乏。功率因数由滞后0.768变为超前0.925。该电动机在带动水泵负载时的生产效率并有所提高。见表1—2:

表1—2

项 目 负荷率	转 速 (转/分)		送水量 (吨/时)		电能消耗 (度/时)		折合单耗 (度/吨)	
	异步	同步	异步	同步	异步	同步	异步	同步
70%	1450	1480	420	446	66	62.4	0.157	0.140

将该设备改为同步运行后的技术经济效果可概括如下:

- 1.挖掘无功潜力80.4千乏,每年可节约无功电力六十七万度。
- 2.单耗降低11%,每年可节约有功电力六万度。

3. 在补偿效果相同情况下,同步化所需的设备投资比用电力电容器节约百分之三十。并且只要运行四个月节约的电力收入就可收回全部投资费用。所以采用线绕式异步电动机同步运行措施在经济上是合算的。

(二) 表 1—3 为根据目前各单位将线绕式异步电动机改为同步运行的实测数据整理的结果:

表 1—3

额定容量 (瓩)	负 载		无功功率(千乏)		挖出无 功潜力 (千乏)	激 磁 功 率 (瓩)
	种 类	负荷率 S %	异 步	同 步		
70	打浆机	50	+32.4	-16.5	48.9	2.3
75	—	70	+36.7	-17.5	54.2	2.13
80	空压机	90	+10	-64.2	74.2	—
95	氮压机	89	+48.8	-36.3	83.1	2.83
100	—	50	+33.6	-56.6	90.2	—
130	压缩机	80	+82	-45	127	6.24
155	空压机	95	+105	-51.4	156.4	7.5
200	空压机	70	+52.2	-104.2	156.4	5
1000	水 泵	80	+670	-381	1051	2.1
2000	轧铝机	0	+686	-1428	2114	—

图 1—3 所示为线绕式异步电动机改为同步运行能挖出无功功率潜力与电动机额定容量的关系。从图中不难看出,这种关系在负荷率为50~90%时,每一个瓩电动机额定容量大致可以挖出一个千乏的无功功率。

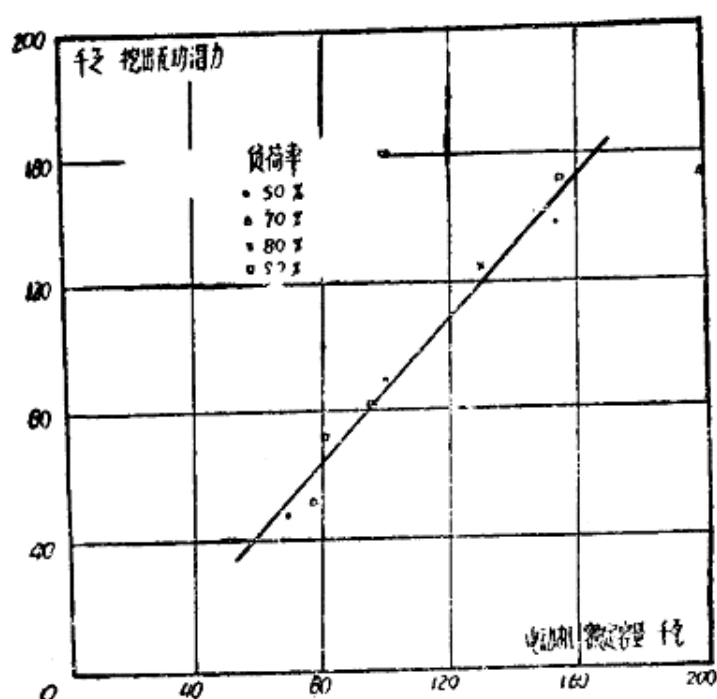


图1-3 线绕式异步电动机改为同步运行所能挖出无功功率潜力与电动机额定容量间关系

图1-4所示为挖掘无功功率与静止励磁装置的励磁功率之间的关系:

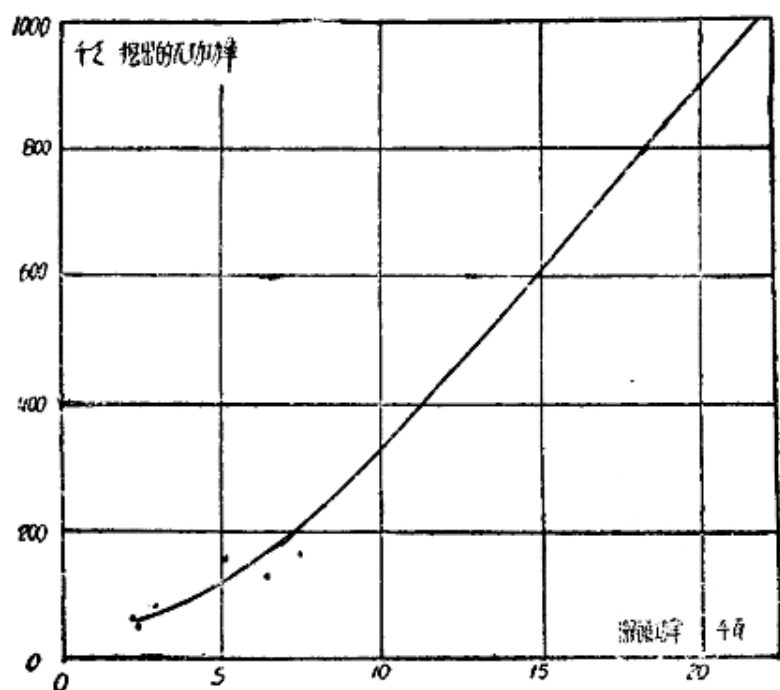


图1-4 线绕式异步电动机的励磁功率与所能挖出无功功率潜力之间的关系

可以明显看出，电动机额定容量为70—2000千瓦范围内，每挖掘一个千乏的无功功率需要的激磁功率为0.030—0.047千瓦，或30—47瓦/千乏，在电动机额定容量为1000千瓦时，降低到20瓦/千乏，对小容量电动机来说，这个损耗虽比采用补偿电容器的方法有功损耗为大，但是随着电动机容量的增加，它的优点越来越突出。

第二章 綫繞式异步电动机同步运行的基本原理

在第一章中，我们分析了异步电机同步运行的优缺点，明确了这一改进对于提高功率因数、节电增产的重大作用。为了实现这一改进，就要拟定控制线路和设计制造静止励磁装置，这将在第三章和第四章进行介绍。同时，为了分析解决制造试验和运行中的基本现象和问题，还需要对异步电动机同步运行的物理过程有一定的了解，所以在这一章中先讨论异步电动机和同步电动机的基本原理，以及异步电动机同步运行的几个特殊问题。读者可以根据需要，或者顺章阅读，或者先看后面的内容，在实践过程中再研究这一章的问题。

第一节 异步电动机和同步电动机

(一) 异步电动机

图2—1是线绕式异步电动机的工作原理图。定子线圈接

入三相交流电源，转子线圈短接。

定子线圈接入三相电源，就在空间产生旋转磁场。旋转磁场的旋转速度叫做同步转速 n_0 ， n_0 决定于电源频率 f 和电动机的磁场极对数 P 。

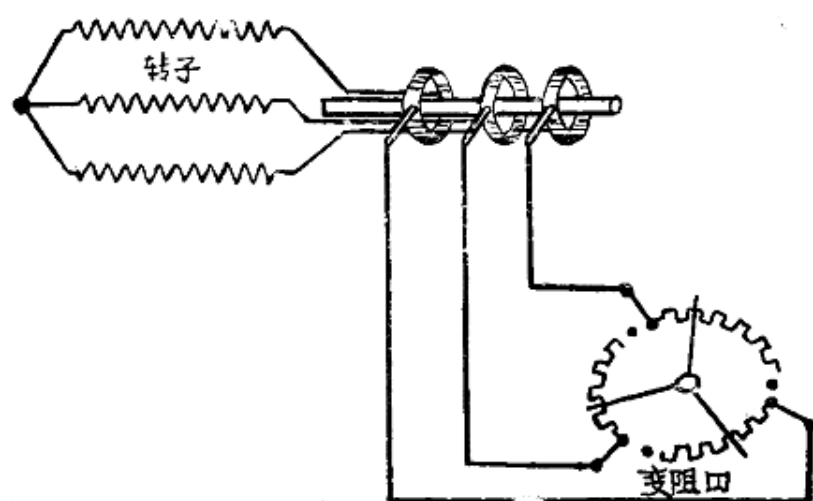
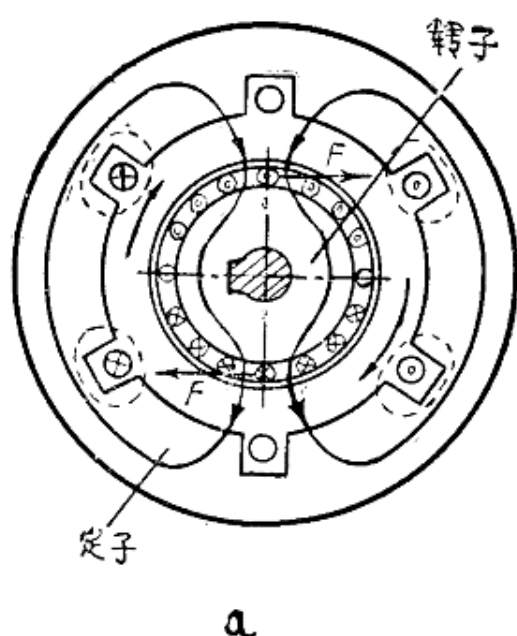


图 2-1 线绕式异步电动机

a. 工作原理图

b. 转子与启动变阻器连接图