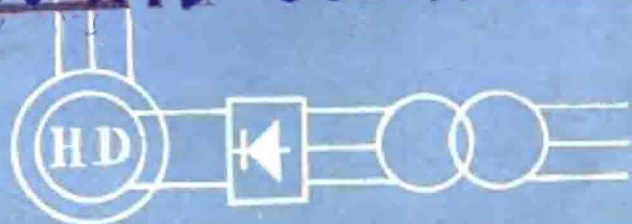
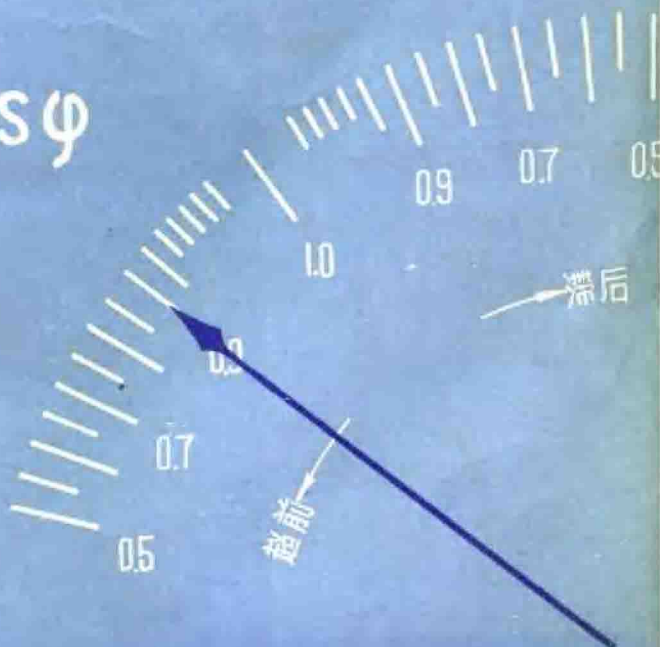


绕线式异步电机同步化运行



$\cos\varphi$



甘肃工业大学
阿干镇煤矿
兰石厂

兰州铁道学院
兰化化肥厂
兰州供电局

等合编

毛主席语录

路线是个纲，纲举目张。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，解放思想。

坚持政治挂帅，加强党的领导，大搞群众运动，实行两参一改三结合，大搞技术革新和技术革命。

认识从实践始，经过实践得到了理论的认识，还须再回到实践去。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

团结起来，争取更大的胜利。

为了使这一经验能够尽快地推广，普及同步化知识，为更多的人掌握，根据广大用户要求，一九七三年六月我局组织，有甘肃工业大学、兰州铁道学院、阿干镇煤矿、兰化化肥厂、兰州石油化工机器厂参加，组成三结合小组，研究解决同步化电机出现的问题，并共同编写《绕线式异步电机同步化运行》小册子，以满足工作需要。此书在编写时，结合兰州地区的经验，吸取他人之长，作了一些调查和试验。初稿完成后，除上述单位外，又邀请兰州有色金属冶炼厂、兰州钢厂、永登水泥厂、窑街矿务局、高崖水泥厂等单位参加讨论，提出了不少宝贵意见，并作了补充和修改。

此书在编写和审订过程中，实行厂校挂钩，内外结合，得到了许多单位的大力支持，加上参加人员的共同努力，使这一工作顺利完成。表示感谢。

现在这本小册子和大家见面了，这对我们的工作又是一次检验。由于经验不足，水平有限，不妥之处，欢迎批评指正。

兰 州 供 电 局
一 九 七 五 年 五 月

目 录

第 1 章 绕线式异步电动机同步化运行的意义.....	(1)
第一节 用电设备的有功功率、无功功率和功率因数.....	(2)
第二节 提高功率因数的意义.....	(6)
第三节 绕线式异步电动机同步化运行的意义.....	(10)
第 2 章 异步电动机与同步电动机的基本原理.....	(13)
第一节 异步电动机.....	(14)
(一) 作用原理	
(二) 转矩与过载能力	
(三) 异步电动机的起动	
第二节 同步电动机.....	(21)
(一) 作用原理	
(二) 转矩与过载能力	
(三) 改变励磁电流调节同步电动机的功率因数	
(四) 同步电动机的起动	
第三节 异步电动机与同步电动机的比较.....	(30)

第3章 绕线式异步电动机同步化运行 (31)

第一节 绕线式异步电动机同步化运行的 条件..... (32)

- (一) 同步化的基本条件
- (二) 同步化运行的最小励磁电流
- (三) 等效发热原则与最大励磁电流

第二节 绕线式异步电动机同步化运行的特点... (38)

- (一) 电机的发热与温升
- (二) 同步化电机的过载能力
- (三) 牵入同步和失步工作情况
- (四) 无功增益和有功损耗

第三节 对绕线式异步电动机同步化运行 的改进..... (50)

第4章 绕线式异步电动机同步化运行的 励磁装置 (54)

第一节 对“同步化”运行可能性的估算和励磁 方式的选择..... (55)

第二节 计算励磁电压和励磁电流 选择 整流电路..... (56)

第三节 整流变压器和平衡电抗器的设计..... (60)

第四节 硅整流元件的选择及其冷却方式和保护 措施的设计..... (71)

第五节 滑环和电刷的改造..... (82)

第六节 设计举例..... (83)

第 5 章	绕线式异步电动机同步化运行的 控制线路·····	(92)
第一节	控制线路的基本要求·····	(93)
第二节	控制线路的简化·····	(103)
第三节	可控硅自动强励磁·····	(111)
第 6 章	绕线式异步电动机同步化运行的 有关测试与维护 ·····	(121)
第一节	电机的发热与温升试验·····	(122)
第二节	无功增益与有功损耗的测量·····	(126)
第三节	绕线式异步电动机同步化运行的 维护·····	(131)
附录	·····	(137)
附录一	电机的绝缘等级与允许温升·····	(138)
附录二	介绍几个同步化电机的控制电路·····	(141)
附录三	介绍几种不同性质负载的同步化电机的 试验资料·····	(161)
附录四	同步化电机失步限公式的推导·····	(175)
附录五	力率查对表·····	(179)

第 1 章

绕线式异步电动机同步化运行的意义

本章目的是从生产实际出发，来说明用电设备的有功功率、无功功率和功率因数，以及它们与“节电挖潜”的关系。并在此基础上介绍国家颁布的现行电价中依照用电力率调整电费的办法，和绕线式异步电动机同步化运行的技术经济效果。

第一节 用电设备的有功功率、 无功功率和功率因数

在发、供、用电的工作中，时常碰到一些以“瓩”、“千乏”和“千伏安”为单位的数字。这些数字代表着三种不同意义的交流电的功率。即“瓩”是有功功率的单位；“千乏”是无功功率的单位；“千伏安”是视在功率的单位。所谓“功率”是指单位时间内所作的功。而作“功”就是指物体在力的作用下，沿受力方向发生了位置或运动形式的改变。能使物体作功的本领叫做“能”。电力作功的本领就是“电能”。所以 $1\text{瓩} \times 1\text{小时}$ 就称为1度有功电能或简称1度电。同理， $1\text{千乏} \times 1\text{小时}$ 称为1度无功电能。它们可以分别用有功和无功电度表来计量。什么是有功功率和无功功率呢？在交流电路中，电压和电流的大小、方向都随时间（按正弦规律）变化着，我们将任一瞬间的电压和电流的乘积称为瞬时功率，显然，瞬时功率也是随时间变化的。对于工厂里常见的电炉，大家都知道它是将电能转变为热能的用电设备。这种用电设备的特点，是任何瞬时都是吸收电源的电能使其变为热能的，所以电炉的瞬时功率是指每秒钟被电炉丝（电阻）所消耗的电能。由于瞬时功率随时间而变化，计量起来很不方便，故取其在交流电的一个交变循环内瞬时功率的平均值即平均功率来计量。它等于接在电炉电路中的交流电压表和电流表读数的乘积。由于电炉消耗的平均功率为人们作

了有实际效果的工作（例如加热物件，煮烤东西），所以平均功率通常也称有功功率或简称功率。工厂里的异步电动机是另一类常见的用电设备。它是将电能转变为机械能，通过它的转轴拖动风机、水泵等为我们鼓风、抽水而做功。这也是作了有实际效果的工作。所以异步电动机的有功功率就是指的这一部分电功率。但是，异步电动机与电炉还不同，即电动机在消耗电源的电能转变为机械能，拖动机械负载做功的同时，还必须占据电源的一部分电能，在电动机内部建立工作磁场。这部分电能并不能被消耗掉，而是一会儿从电源吸取电能变为电动机线圈的磁场能量贮存起来，一会儿电动机线圈的磁场贮能又释放出来，全部地返回给电源。电动机占据电源的这部分能量只是在电动机和电源之间进行着可逆的交换，是电动机作机械功时所必需的。对这一部分没有被消耗的能量，定其在交换过程中的最大交换速率称为无功功率。因此，顾名思义，无功功率就是没有实际做功效果的功率，但并不是说无功功率是无用的功率，因为异步电动机建立其做功所需要的工作磁场，就需要电源供给无功功率。

在交流电路中，若用P代表有功功率的瓦数，用Q代表无功功率的千乏数，可以证明它们的平方和的平方根值，等于交流电路中电压U和电流I的乘积。此乘积称为视在功率，用S表示，即

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1-1)$$

式(1-1)也可以改写为

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (1-2)$$

由几何学的知识可知，式(1-2)可表示为直角三角形三

条边之间的关系，如图 1—1 所示。其中 P 与 Q 分别构成互为直角的两条边长，而此直角三角形的斜边长即为 S 。这个三角形称为功率三角形。在功率三角形中，边 S 与 P 之间的夹角用 φ 表示，从图上可以写出下列关系：

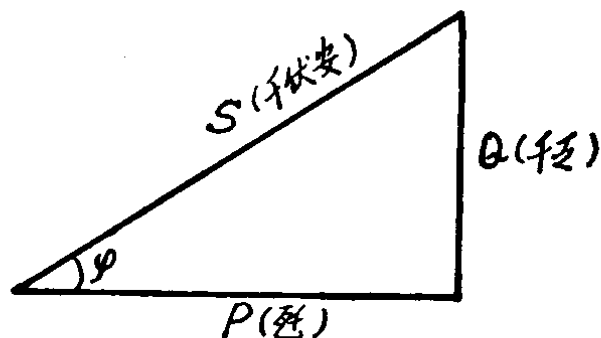


图 1—1

$$P = S \cos \varphi$$

$$\text{即 } P = UI \cos \varphi \quad (1-3)$$

$$Q = S \sin \varphi$$

$$\text{即 } Q = UI \sin \varphi \quad (1-4)$$

由式 (1—3) 可得

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (1-5)$$

式 (1—5) 中 $\cos \varphi$ 称为功率因数，也称力率。其值是介于 0 和 1 之间的数。由此可见，有功功率通常都是小于视在功率，即视在功率打一个折扣就等于有功功率，这个折扣就是功率因数。前面讲过电炉的有功功率等于电压 U （交流电压表读数）与电流 I （交流电流表读数）的乘积。由式 (1—1) 可知，也即等于视在功率。所以电炉的功率因数为 1，其无功功率为 0。而异步电动机的功率因数则小于 1，通常在额定工作情况下约为 0.85~0.9，空载时约为 0.2~0.3。所以异步电动机的无功功率不为 0，且其有功功率总是小于视在功率。

图 1—1 中的 φ 角称为功率因数角。由电工学的基本知

识可知，这个 φ 角就是用电负载的端电压与其电流之间的相位角。对于电感性负载（例如异步电动机），在相位上电流滞后电压为 φ 角，计算时取电感性负载的 φ 为正角度；对于电容性负载（例如电容器），在相位上电流超前电压为 φ 角，故取为负角度；对于电阻性负载（例如电炉），其电流与电压同相位，故 φ 角为0。因此，由式（1—4）可知，对于电感性负载的无功功率为正值，称为感性的无功功率；对于电容性负载的无功功率为负值，称为容性的无功功率。这两种无功功率的区别，可从无功电度表上反映出来。当无功电度表按正常的接法时，则感性无功功率使电度表的铝盘正转，而容性无功功率使电度表的铝盘反转。

在直流用电设备中，电压与电流的乘积就是此直流用电设备的瓦数，也即功率。它与交流用电设备中用式（1—1）表示的视在功率在形式上有些相似，但它却与交流电的视在功率有不同的意义。由于交流电机、电器（例如发电机、变压器）都有一个额定的电压值和一个额定的电流值，从而视在功率便有一个确定的额定值。这一额定值通常用来表示发电机、变压器的额定容量。这就是我们所熟悉的标在发电机或变压器铭牌上的“千伏安”数。发电机、变压器的千伏安数只表示它们可能输出的最大功率数。只有用电力率标定的电机、电器，其容量才能用“瓩”数表示出来。例如某水电站的发电机总容量为100万千伏安，如果用电的力率 $\cos\varphi = 1$ 时，才能输出100万瓩的功率；当用电力率 $\cos\varphi = 0.8$ 时，只能输出 $100 \times 0.8 = 80$ 万瓩的功率了。

第二节 提高功率因数的意义

提高功率因数（也称力率），就是补偿负载端的无功负荷和电网的无功损耗。为此，可以在负载端并联电容器，或在电网的某些适当地点增设无功电源即同步调相机。做到用电设备所需的无功负荷和电网的无功损耗就地就近供应，防止远距离或迂回输送无功电力的不合理现象，从发、供、用电三方面来说都有很大的意义。

第一，从发电方面来说，提高了电力系统力率，可以减少发电机的无功负荷，提高发电机的有功出力，使发电机的容量得到充分的发挥和利用。以上节提到的某水电站为例，若使系统力率从0.8提高到0.95，则能增加15万千瓦的出力，相当系统中增加了一座中型火力发电厂！又如以兰州电网一九七二年负荷概算为例，力率若从0.8起算，每提高1%，即无功负荷减少15000千乏，相当于发电容量增加8000千伏安。用这些电力加工面粉，可供八个兰州市的需要。

第二，从供电方面来说，提高了电网力率，由式（1—3）可知，以同样高的电压 U 输送同样大的功率 P ，所需的电流 I 将会减小，这样不仅可以减少线路功率损失，提高电网的输电效率，而且还可以减少线路电压降，提高用电端的电压，改善电网电压质量。如以刘家峡水电站至陕西关中地区的330千伏超高压输电线路为例，在输电电压和输送功率不变的条件下，当送电力率从0.8提高到0.9时，则线路功率损失可以减少21%，而线路电压降可减少15%。

第三，从用电方面来说，提高用电力率，不但能改善电

压质量，而且直接影响企业的经济核算，降低产品成本，提高产品质量。归纳起来有以下几点：

1.提高用电力率，能使企业的用电设备的利用率提高，充分发挥了企业的设备潜力。对于较大的工矿企业，通常都有自己的降压变电所和电压为6~10千伏的配电变压器，如果用电力率低，供给同样电力负荷，需要设置较大容量的配电变压器。如果设法提高用电力率，就可以在不改变变压器容量的条件下，增大用电负荷；或者用电负荷不变时，减少变压器的装置容量。例如某车间低压负荷 $P = 460$ 瓩，力

率 $\cos\varphi = 0.56$ ，这样该车间低压需要容量 $S = \frac{460}{0.56} = 820$

千伏安，应选择一台1000千伏安的变压器；如果能设法使力率提高到0.89，则需要容量 $S = \frac{460}{0.89} = 517$ 千伏安，在这一

情况下，选择一台560千伏安的变压器就满足需要了。

2.提高用电力率，可以降低用户内部配电线路的功率损耗。因为力率提高能使用户内部配电线路的负荷电流减小，不但可以降低线路功率损耗，还可以减小线路导线截面，节省有色金属材料。由于企业内部配电线路分布很广，这方面的节省累计起来是相当可观的。

3.提高用电力率，可以提高用电的电压质量，从而改变了设备的运行条件。如果用电设备在低于其额定电压下运行，例如普通白炽灯电压下降10%，则光通量要下降30%，使照明大为恶化；对于交流电动机来说，其转矩与电压平方成正比，若电压下降30%，则其转矩将低于50%。因此，对于正常的照明，要求线路电压降不得超过额定电压的2.5%，

而对于交流电动机,要求线路压降不得超过额定电压的 5 %。所以,提高用电力率,能减少线路电压降,从而提高了用电设备的电压质量,保证设备在正常条件下运行。

4.提高用电力率,可以有助于用户设备的安全运行。从安全生产的角度出发,提高用电力率,不会发生按正常力率标准设计的线路、设备等产生过负荷现象,以及由此而造成的设备过热、绝缘老化、甚至引起火灾事故。也就是说,提高用电力率,既能有利于安全生产,又能保证设备的使用寿命。

根据以上分析,为了防止因用户力率过低而带来的许多额外损失和浪费,同时也是为了促进社会主义企业提高用电力率,国家在现行电价中规定,对较大用户实行两部电价和依照用电力率调整电费的办法,即按所用有功电度多少收取电度电费和按装见容量收取基本电费,并且按用电力率高低调整全部电费(即通称的力率奖罚)。例如兰州有色金属冶炼厂,随着生产发展,用电设备增加很快,但用电力率很低,依照力率调整电费,每年要增加电费开支达六、七万元,1974年7月以来,该厂将800瓩和340瓩轧钢机的绕线式异步电动机改为同步化运行后,全厂平均力率从原来的0.36提高到0.90以上甚至超前,挖掘无功900千乏,每年节约电费开支达七、八万余元。

目前从全国来说,由于社会主义革命和建设事业的蓬勃发展,许多地区电力负荷增长很快,一些电网由于无功补偿设备不足,管理不善,电压低劣,直接影响到工农业生产和电网的安全经济运行。兰州地区自无产阶级文化大革命以来,用电负荷增加很快 电网不断扩大,尤其农业用电比例

增大，加上放松了管理和无功补偿措施没有跟上去，致使力率逐月逐年下降。网内无功负荷增大，造成线路电压损失和功率损失的增加，个别地区6千伏电压低到5.0~5.3千伏，低压低到300~340伏，影响用户的正常生产。为了解决这一矛盾，在省、市委和水电局的领导下，于一九七二年六月开展了挖掘无功潜力的节电活动，现在仍在继续进行，潜力还很大。无功不足带有普遍性，引起了人们的重视，国家计委给国务院领导同志的报告中指示：“准备用三年左右的时间解决无功补偿设备不足问题，扭转电网低电压的局面，使电网逐步恢复正常”。要实现这一目标，须从两面着手。一方面增加补偿设备的生产，加快施工，抓紧早日投入；另一方面，管好、用好、维护好现有无功设备，并且发动群众，充分挖掘现有设备的无功潜力。开源节流，解决矛盾。尤其是后者，大有文章可做。兰州地区自一九七二年七月开展挖掘无功的工作以来，通过抓闲置、新增电容器的投入，同步机进相，异步电机同步化改造，调整用电设备减少“大马拉小车”，搞空车自停，采用可控硅和硅整流新技术，输电线路升压等措施，三年共挖掘无功十二万千乏，使供电能力增大四万千伏安，每年节省线路损耗五千八百万度，改善了电压质量，为工农业生产发展多供电、供好电创造了有利条件。这不但在经济上有很大意义，而且在政治上也有很大意义。

挖掘无功不仅关系到一家一户，而且关系到整个电网和全局。只要把道理弄清楚，用无产阶级政治统帅这项工作，依靠党的领导，发动广大群众，大搞节电挖潜的革新，就能缓和无功不足的矛盾，使有限的电力发挥出更大作用。

第三节 绕线式异步电动机 同步化运行的意义

为了提高企业用电力率，挖掘无功电力，绕线式异步电动机同步化运行是行之有效的措施之一。现将我省和全国部分省、区有关同步化挖掘无功的实测资料列表如下：

表 1—1

电机容量 (瓩)	拖动机械	负载率 (%)	异步运行时吸收无功 (千乏)	同步运行时发出无功 (千乏)	挖出无功 (无功增益) (千乏)	励磁功率 (瓩)	备 注
55	球磨机	84.5	31.25	-13.8	45.05	2.2	兰州地区
80	空压机	63.8	55.3	-6.16	61.5	5	"
95	球磨机	53.2	48.3	-27.6	75.9	3.9	"
155	水 泵	70.6	66	-24	90	6.48	"
200	扇风机	50.5	136.4	-34.6	171	6	"
240	空压机	70	143.4	-37.8	181.2	6.4	"
800	轧钢机	—	450	-170	620	11.5	"
2000	轧铝机	—	686	-1428	2114	—	上海地区

从表 1—1 可见，绕线式异步电动机同步化运行挖掘无功的效果是显著的。因为电动机从原异步运行变为同步运行，则从电网吸收无功电力变为向电网发送无功电力，这样无功电力“一正一负”所带来的无功增益是很大的。从表中还可以看出，当负载率为50~84%时，挖出的无功随电机的容量增大而增大。也就是说，对较大容量的绕线式异步电动机实现同步化运行时，其无功增益的效益更大，差不多每瓩

电机铭牌容量可挖掘0.5~1 千乏的无功电力。

同步化运行除了能获得上述的无功增益外，对于电动机拖动的负载，如扇风机、水泵、压风机等与转速有关的机械，还会因同步化后提高了机械转速，使机械的生产效率也相应地提高了。从而降低了单位产品的耗电量，每年可为国家节约相当的有功电度，也给企业降低了产品成本。例如某厂92.5瓩绕线式异步电动机拖动水泵负载，同步化后生产效率提高见表 1—2：

表 1—2

运行方式 \ 项目	电机转速 (转/分)	送水量 (吨/时)	电能消耗 (度/时)	折合单耗 (度/吨)
异步运行	1450	420	66	0.157
同步化运行	1500	446	62.4	0.140

又例如某厂80瓩绕线式异步电动机拖动空压机负载，同步化后生产效率提高见表 1—3：

表 1—3

运行方式 \ 项目	电机转速 (转/分)	排气量 (米 ³ /分)	电能消耗 (度/时)	折合单耗 (度/米 ³)
异步运行	730	0.825×10^2	61.5	12.4×10^{-3}
同步化运行	750	0.83×10^2	60	12.05×10^{-3}

从上述两例可见，同步化后降低水泵单耗10.8%；降低空压机单耗2.82%。累积起来每年节约的有功电度将是一个