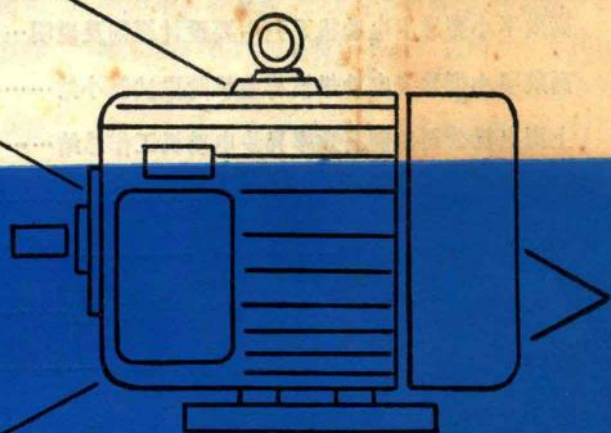


高效率电机專輯

GAOXIAOLU



一九八三年五月

前言

中小型异步电动机是一种量大面广的动力设备,用电量为我国总发电量的50%左右。由于电动机在能量转换过程中,平均有14%左右的能量变为无用的损耗,因此大幅度降低这种损耗,提高电动机的效率,更新产品,对于提高社会效益和国民经济的发展速度具有重要的意义。

去年已定型推广生产的Y系列(IP44)三相小型异步电动机是一种生产批量很大的基本系列,具有经济发达国家七十年代水平,其综合性能均比老系列JO2有较大的提高。加速生产和采用Y系列,必将在促进技术改造、节能和扩大出口等方面起重要的作用。

但是社会的需要是多方面的,发展新品种提高效率水平,是我们电机行业的重要使命。薄一波同志在今年四月召开的“全国机械电子工业技术进步工作会议”上指出:“不能把技术改造理解为一次完成,要不断改造,日新月异。翻两番,一半或者多一些要靠技术改造。”因此,Y系列(IP44)刚刚定型推广生产,机械工业部电器工业局又立即组织上海电器科学研究所等有关单位研制高效率小型异步电动机系列,更新中型异步电动机系列。

高效率小型异步电动机系列,与Y系列(IP44)相比,总损耗减少20%以上,全系列效率平均提高3%左右,以年产100万千瓦计,投入运行后,若年运行时间为4000小时,则每年可节电一亿二千万度,第一年可节约电费1200

万元。100万千瓦高效率电机的制造成本比Y系列(IP44)增加1000万元,故第一年即可回收200万元。若这批电机运行十年,则节电12亿度,经济效益为1亿1千万万元。因此,对于长期连续运行及负载率较高的设备,采用高效率异步电动机,具有较高的经济效益。

中型异步电动机目前大量生产的产品只相当于国外四十年代的水平,效率低,体积大,出力小,亟待更新换代,我们对此怀有历史的责任感和时间的紧迫感。考虑到中型异步电动机共有21个派生系列,2000多个规格,工作量很大,我们决心在1990年将基本系列达到八十年代初的国际先进水平,要求全系列的效率比老系列提高2.5%,如产量为500万千瓦,投入运行后以年运行时间为4千小时计,则每年可节电5亿度。

由此可见,推广Y系列,发展高效率小型异步电动机系列,更新中型异步电机系列,是中小型电机行业以产品为龙头,搞好技术改造的重要途径。为此,我们特将近几年我国有关单位在设计、研究、试制高效率电机和中型异步电动机的经验,汇集成册,以飨读者,并供设计、研究、制造和使用部门的科技人员参考。由于篇幅所限,本专辑以机械工业部电器工业局在无锡召开的“高效率电机技术发展讨论会”资料为基础编辑而成,一定还有好的经验未予汇集,望继续提交中国电工技术学会或《中小型电机》杂志交流。

高效率电机专辑

目 录

前 言	(1)
联合起来, 研制高效率异步电动机	(2)
发展高效率电动机, 以适应国民经济各部门节能需要	潘兆庆 (3)
关于发展高效率异步电动机系列的初步探讨	秦 和 (5)
高效率小型异步电动机系列研制可行性分析报告	(13)
高效率小型异步电动机系列主要设计原则及说明	(15)
高效率小型异步电动机模样电机阶段试制小结	机械工业部上海电器科学研究所 (20)
上海电机公司研制高效率异步电动机工作总结	上海市电机技术研究所 (25)
论节能异步电动机及其研制	杨庚文等 (30)
节能电动机研制小结	肖仲夫、俞惠敏 (35)
低噪声高效率节能异步电动机(100千瓦2极)	北京市电机总厂 (41)
高效率小型异步电动机样机试制总结	大连电机厂技术开发中心 (46)
我国中型异步电动机系列更新换代的进程与展望	李杏法 (48)
高效率电动机系列模样电机设计的一些考虑	秦和 胡春雷 (66)
三相正弦绕组及其在高效率电动机设计中的应用	张城生等 (70)
二极异步电动机通风损耗的降低与节能	清华大学等 (81)
影响异步电动机铁耗的工艺因素	沈林海等 (87)
关于降低异步电机杂散耗、提高效率的试验研究工作小结	秦 和 (93)
国外高效率异步电动机	彭友元 (98)
国外有关降低异步电动机损耗的技术措施综述	彭友元 (105)
高效率小型异步电动机的合理选用	周 瑛 (111)

前 言

中小型异步电动机是一种量大面广的动力设备,用电量为我国总发电量的50%左右。由于电动机在能量转换过程中,平均有14%左右的能量变为无用的损耗,因此大幅度降低这种损耗,提高电动机的效率,更新产品,对于提高社会效益和国民经济的发展速度具有重要的意义。

去年已定型推广生产的Y系列(IP44)三相小型异步电动机是一种生产批量很大的基本系列,具有经济发达国家七十年代水平,其综合性能均比老系列JO2有较大的提高。加速生产和采用Y系列,必将在促进技术改造、节能和扩大出口等方面起重要的作用。

但是社会的需要是多方面的,发展新品种提高效率水平,是我们电机行业的重要使命。薄一波同志在今年四月召开的“全国机械电子工业技术进步工作会议”上指出:“不能把技术改造理解为一次完成,要不断改造,日新月异。翻两番,一半或者多一些要靠技术改造。”因此,Y系列(IP44)刚刚定型推广生产,机械工业部电器工业局又立即组织上海电器科学研究所等有关单位研制高效率小型异步电动机系列,更新中型异步电动机系列。

高效率小型异步电动机系列,与Y系列(IP44)相比,总损耗减少20%以上,全系列效率平均提高3%左右,以年产100万千瓦计,投入运行后,若年运行时间为4000小时,则每年可节电一亿二千万度,第一年可节约电费1200

万元。100万千瓦高效率电机的制造成本比Y系列(IP44)增加1000万元,故第一年即可回收200万元。若这批电机运行十年,则节电12亿度,经济效益为1亿1千万万元。因此,对于长期连续运行及负载率较高的设备,采用高效率异步电动机,具有较高的经济效益。

中型异步电动机目前大量生产的产品只相当于国外四十年代的水平,效率低,体积大,出力小,亟待更新换代,我们对此怀有历史的责任感和时间的紧迫感。考虑到中型异步电动机共有21个派生系列,2000多个规格,工作量很大,我们决心在1990年将基本系列达到八十年代初的国际先进水平,要求全系列的效率比老系列提高2.5%,如产量为500万千瓦,投入运行后以年运行时间为4千小时计,则每年可节电5亿度。

由此可见,推广Y系列,发展高效率小型异步电动机系列,更新中型异步电机系列,是中小型电机行业以产品为龙头,搞好技术改造的重要途径。为此,我们特将近几年我国有关单位在设计、研究、试制高效率电机和中型异步电动机的经验,汇集成册,以飨读者,并供设计、研究、制造和使用部门的科技人员参考。由于篇幅所限,本专辑以机械工业部电器工业局在无锡召开的“高效率电机技术发展讨论会”资料为基础编辑而成,一定还有好的经验未予汇集,望继续提交中国电工技术学会或《中小型电机》杂志交流。

联合起来，研制高效率异步电动机

为了更合理地利用能源、节约用电，在国家经委、计委的支持下，高效率电机技术发展讨论会，于1983年2月21—25日在江苏无锡市召开。会议由机械工业部电器工业局主持，54个单位、90余名代表出席了会议，着重对高效率异步电动机的意义、可行性、设计原则、指导思想和技术措施进行讨论、论证。

小型异步电动机是一种量大面广的动力设备，用电量为我国总发电量的40%左右。由于电动机在能量转换过程中，平均有14%左右的能量变为无用的损耗，因此大幅度降低这种损耗，提高小型异步电动机的效率，对于节能具有重要的意义。目前已定型推广生产的Y系列(IP44)，已具有较高的效率水平和节电效果，但对于负载率高、年运行时间长的场合，采用专门设计的高效率异步电动机，节电效果更好。

根据各单位的研究结果，参照国外的现有水平，代表认为，高效率异步电动机系列与Y系列相比，功率等级、安装尺寸及两者的对应关系不变，损耗降低20%以上，效率平均提高3%左右，达到国外高效率电机的先进水平，经济回收期在两年以内，由此确定高效率异步

电动机的设计原则。按此原则研制的高效率异步电动机，以100万千瓦计，若年运行时间为4千小时，则每年可节电1.2亿度。

会上广泛交流了经验，代表们从各方面反映了近年来中小型电机行业依靠技术进步，研制高效率异步电动机的可喜成果。根据上海电器科学研究所、华中工学院、清华大学、上海电机公司所属厂(所)、北京电机总厂、大连电机厂和其他制造厂的试验研究结果，表明适当增加有效材料用量，采用低损耗硅钢片、冲片退火氧化处理，选用正弦绕组及其它合适的绕组型式、改进通风结构、选择适当的槽配合和转子铸铝工艺等措施，可使损耗减少20%以上，对发展高效率异步电动机是行之有效的。

代表们迫切希望组织起来，发挥联合的优势，研制高效率异步电动机系列。在前阶段工作的基础上，成立了由上海电器科学研究所负责，有大学、工厂等13个单位参加的高效率电动机研制工作组，讨论和提出了高效率异步电动机可行性分析报告和设计原则。工作组表示，要相互信任、相互支持，通力合作，各尽其能，力争在短期研制出我国第一代具有世界先进水平的高效率异步电动机系列。

(上接第5页)

造费较Y系列增加1000万元外，净节约200万元，以后则每年可节约1200万元。在国民经济各有关部门对节能的紧迫要求下，一定会加快高效率小型异步电动机新系列的研制进度。据悉，全系列可于1984年上半年鉴定，84年年底或85年年初即可定型，并开始批量生产供应国内外用户。

2. 以沈阳机电学院为主研制的永磁高效率同步电动机，目前受稀土永磁价格的影响，尚难投入实用，由于该院对起动的研究已有所突破，因此当我国稀土原料降价到一定程度时稀

土永磁高效率同步电动机也有其实用的前途。

3. 异步电动机采用双层绕组和串联电容结构，是高效率电动机的一个新的探索领域，在试验的基础上，也可望于近几年内有新的试制产品出现于市场。

4. 对小型异步电动机要在基本研究上下功夫，即对电动机的电场、磁场、温度场、绝缘老化机理、电动机损耗、工艺因素对电动机性能影响等方面进行扎扎实实的研究，取得成果。再应用于提高电动机的效率，争取在新的第二代高效率小型异步电动机研制上能应用这些成果。

发展高效率电动机， 以适应国民经济各部门节能需要

机械工业部科技司 潘兆庆

众所周知，异步电动机是国民经济各部门应用的主要动力设备，据有关部门统计，全国异步电动机的总装机容量占全部用电设备总容量的75%以上，其中0.55~100千瓦的小型异步电动机用电量约占全国总发电量的40%。异步电动机的功能是将电能转化为机械能，在能量的转化中有一部分能量变成无用的甚至是有害的热能损耗。对于Y系列小型异步电动机来说，总损耗平均约为输入功率的13%左右，因此减少这部分损耗，提高小型异步电动机的效率，对各部门节约能源具有相当重要的意义。

高效率电动机，就是较普通型电动机（或者用行业的术语来说是基本系列）提高效率的电动机，或者说比普通型电动机降低损耗的电动机。电动机的损耗包括空载损耗和负载损耗两部分，空载损耗又包括铁心损耗、机械损耗两部分，取决于有效材料和风扇设计；负载损耗包括定子损耗、转子绕组损耗、杂散损耗三部分，在小型异步电动机中约占损耗的70%左右，较大幅度降低负载损耗就要相应的增加用铜量，成本也就相应的增加，因此要将高效率电动机的效率选择在适当的范围内。国外高效率电动机分为两类，一类是损耗较普通电机下降20~30%，成本也相应增加20~30%；另一类是专用电动机，损耗较普通电机下降40~50%，成本也相应增加50%以上。我国电机制造行业于1983年2月在无锡召开高效率电机技术发展讨论会上确定，我国即将发展的高效率小型异步电动机系列，损耗要较Y系列降低20%以上，效率较Y系列平均提高3%左右，成本增加不超过25%，经济回收期在二年之内。

一、我国高效率电动机目前的研制概况

我国高效率电动机的探索工作开始较早，真正开始研制始于从1981年至1983年一季度，已有博山、厦门、五一、北京、革新、人民、跃进、先锋、襄樊、抚州、通县、河北、无锡县电机厂、华中工学院、清华大学等十五个单位试制出了样机。

1. 由上海电器科学研究所组织的高效率异步电动机系列模样试制

1982年5月，上海电器科学研究所受机械工业部电工局的委托，组织北京、博山、河北、人民、五一、大连、抚州、厦门、襄樊和无锡县等电机厂拟订了高效率电动机设计原则和进行电磁设计，提出了试制任务书。各厂据此进行了样机试制工作，已有7个工厂完成了14个规格的样机试制。从试制结果看，实测出的效率高于标准值的有9个规格，占64%；实测出的功率因数高于标准值的有12个规格，占86%。除了4极11千瓦效率占40%容差，4极5.5千瓦堵转电流倍数占64%容差外，其它规格的性能基本上符合模样电机试制技术条件的要求。

2. 上海电机公司研制高效率异步电动机

上海电机公司组织先锋、人民、革新、五一、跃进和电机技术研究所试制了10种规格20台高效电动机样机，从电机的实测结果看，效率合格的8台，吃容差合格的10台，不合格的仅2台。五一电机厂已为上海国棉三十一厂研制了二种规格的高效率电机，经使用，节能效果明显，用户满意。上海电机公司研制高效率电机的主要技术措施为：（1）用电子计算机

进行优化电磁设计；（2）适当增加有效材料用量；硅钢片平均增加约5.94%；用铜量平均约增加9.92%；（3）采用优质磁性材料，如上海矽钢片厂生产的D31A快速急冷硅钢片，B25为15400高斯，P15/50为4.2瓦/公斤；（4）采用正弦绕组，降低杂散损耗；（5）改进风扇设计，适当缩小风扇外径，减小风摩擦；（6）转子采用闭口槽，减少定子表面损耗和脉振损耗；（7）定转子冲片退火及氧化处理，降低铁耗和杂散耗；（8）冲气隙环，减少转子表面损耗。

3. 大连电机厂技术开发中心对美国 Wanlass电动机进行试验研究

研究表明，1马力的4极电动机，实测效率为82.96%，比Y（IP44）系列0.75千瓦电机，效率高8.46%，功率因数高0.166，用铜量多12.6%，用铁量多73%。但这种电机适于单方向运行，且嵌线困难，绝缘可靠性差，电容器容易损坏，其推广应用，有待进一步研究。

4. 沈阳机电学院研制的小型永磁高效率同步电动机

该院从1981年开始，选用稀土永磁材料，研制了二个规格的永磁同步电动机，并对电动机的起动方面做了一系列试验研究工作。研制结果表明，功率因数达0.9，效率比异步电动机有较大的提高。但目前永磁材料价格昂贵，若不大幅度降价，有碍这种电动机的推广应用。

5. 清华大学和北京通县电机厂联合研制的高效率电动机（YDEJ—180—4/6）

该电动机在北京第三纺织厂代替JO2—62—4/6电动机，对比结果如下：

	单耗 (度/百公斤 棉纱)	最大 功率 (KW)	最小 功率 (KW)	平均 功率
JO2-62-4/6	83.62	7.92	6.39	7.275
YDEJ- 180-4/6	75.57	7.47	5.81	6.773
对比情况	-9.63%	-5.68%	-9.01%	-6.9%

因此，使用这种电动机，全年每台电动机可节电3520~4224度。

清华大学和北京电机总厂合作，对引进的二极异步电动机进风结构进行试验研究，研究出机翼型轴流式风扇，配以空气动力性能好的风罩，使2极55千瓦异步电动机的风扇效率从30%提高到67%，风扇损耗下降1千瓦左右。

6. 华中工学院进行了三相正弦绕组及其在高效节能电动机中的应用研究工作

该院对三角一星串接的三相正弦绕组，不断深入研究，并和襄樊电机厂协作试制出5.5、7.5、11和15千瓦四种规格的高效率电动机。与Y（IP44）系列相比，5.5千瓦效率提高3.49%；7.5千瓦效率提高3.02%。

二、我国发展高效率小型异步电动机系列的设计思想和设计原则

1. 在发展高效率小型异步电动机时考虑了以下设计思想

（1）发展高效率小型异步电动机系列设计时要综合考虑电动机的各种性能，在效率较大幅度提高的同时，其他主要性能也要兼顾，根据情况有所改进或提高，不能单纯追求效率的提高，而不顾及其他，要使高效率电动机的效率高，性能好，质量精良的新型节能产品出现于国内外市场上；

（2）考虑了高效率电动机和Y系列电动机的对应和衔接，这是因为高效率电动机使用的范围一般是在运行时间较长，负荷率较高的场合，国外一般约占电动机总产量的10%左右，在一般使用场合还是要采用Y系列电动机，考虑了这二类系列的衔接，如功率等级、安装尺寸相同，便于互换和用户选型和使用；

（3）考虑了小型异步电动机的不同工况。在不同工况下，电动机的效率特性比较平坦，不致因负荷的减少而大幅度降低效率；

（4）采用国际标准。

2. 设计原则

（1）功率和转速范围：中心高为H80—H280，功率为0.55~90千瓦，极数为2、4、

关于发展高效率异步电动机系列的初步探讨

机械工业部上海电器科学研究所 秦 和

一、前 言

电动机在传递能量的过程中,有一部分电能将变成热能而形成电机的损耗。对于量大面广的小型异步电动机(0.55~100千瓦),其损耗为输入功率的6%~25%,平均为13%左右。也就是说,输入电机的能量要有相当一部分消耗在电机内部。如何减少这部分损耗,提高电机的效率已成为当前电机节能的一个重要内容。

国外从1975年开始发展了高效率异步电机。其中发展较快,投入市场已有一定数量的是美国。它从开始只有一、二个厂生产,以后迅速地发展到一些主要制造厂的如西屋、

GE和Reliance等公司都设计生产了高效率电机系列。据报导,至1979年,美国这类电机的产量已达相应功率电动机总产量的11%。继美国之后,日本各大制造厂如东芝、三菱、日立等均有高效率电机系列投入市场。欧洲目前主要有法国CEM公司研制了高效率电机系列;西德西门子则在小机座上研究了一部分高效率电机。另外,美国电气电子工程师学会(IEEE)和美国电机制造商协会(NEMA)也围绕电机节能和电机效率测定问题做了不少工作。为了达到效率的准确测定和较好的可比性,IEEE对试验方法标准进行了修订。NEMA规定了效率的数系以及相应的拉丁字母代码。每一代码代表一规定的效率名义值和一个相应的最

6极;

(2) 功率等级和安装尺寸和Y系列相同;

(3) 效率水平,据初步框算H80—H132机座范围,高效率电动机系列比Y系列分别高3~7%,平均约为4.84%,H160—H280较Y系列分别高1.5~4%,平均提高2.255%,全系列效率平均为89.364%;Y系列53个规格平均值为85.934%,高效率系列争取比Y系列提高3.43%,损耗平均下降约26.95%;

(4) 不同负荷率的效率要求:高效率小型异步电动机在50%~100%负载率范围内,有较平坦的效率特性;并提供 $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{3}{4}$ 和额定负载下的效率数据,以方便用户选型;

(5) 功率因数:全系列为84.057%,与美国西屋公司MAC-II型高效率系列的功率因数平均值83.97%相当;

(6) 起动特性:考虑到高效率电机应用在不经常起动的场合,适当降低起动转矩,有助于效率的提高,设计采用起动电流倍数较Y系列高0.5倍,起动转矩小0.2倍;

(7) 零部件尽量和Y系列通用;

(8) 成本控制在较Y系列增加25%范围内。

三、对高效率小型异步电动机的发展展望

1. 高效率小型异步电动机新系列,具有明显的节能效果。据上海电器所计算,效率平均较Y系列提高3%,每千瓦电机每年可节电120度,以年运行4000小时计,年产100万千瓦高效率电机投入运行后,每年可节电一亿二千万度,第一年节约电费1200万元,扣除电机制

(下转第2页)

低保证值，并要求在电机名牌上标明，以便于选用和监督。

国外高效率电机发展的直接起因是西方从1973年开始的能源危机。近年西方能源供应似有所缓和，但鉴于节约能源具有深远的重要意义，所以对高效率电机的发展仍给予相当重视。

国内近三年来，不少单位为响应国家节能号召，纷纷进行了提高电机效率、节约电能的工作。其中有些电机厂也结合用户需要设计和试制了个别规格的高效率电机。在此情况下如何正确的认识高效率电机的作用，以及如何发展这一系列产品，值得很好的讨论和研究。

二、发展高效率电机的意义

1. 损耗与效率的关系

电动机的效率(η)和损耗相对值($\sum \bar{p}$)的关系如下式所示：

$$\eta = \frac{1}{1 + \sum \bar{p}} \quad (1)$$

式中： $\sum \bar{p} = \sum p / p_2$

$\sum p$ 为损耗， p_2 为输出功率。

于是可以得到

$$\Delta \eta = \eta \cdot \eta' \Delta \sum \bar{p} \approx \eta^2 \Delta \sum \bar{p} \quad (2)$$

式中： η, η' —损耗变化前后的效率，在图1中表示了式(1)损耗与效率的关系。从图可见，较大的损耗相对值对应了较低的效率。当损耗降低时效率将提高，但从图可见，电机原有的损耗相对值不同时，降低同一比例的损耗

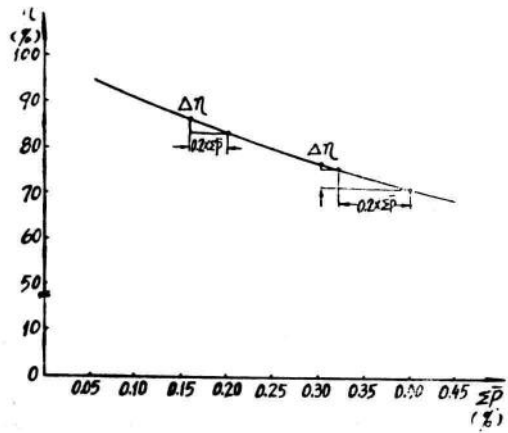


图 1

时效率提高的幅度是不同的，例如在原损耗相对值为0.4时，当降低20%损耗，效率从71.43%提高到75.75%，提高了4.33%。但在原损耗相对值为0.2时，如同样降低20%损耗，效率从83.33%提高到86.21%，提高了2.877%。这是因为效率的变化是与损耗的变化成比例，如式(2)所示。在上例中原损耗相对值为0.4，降低20%时，其损耗的变化为0.08，而当原损耗相对值为0.2，同样降低20%时，其损耗的变化为0.04。二者损耗变化的幅度相差一倍，因此效率变化的幅度也相差一倍。但从式(2)可见，该式等号右面包含 $\eta \cdot \eta'$ ，因此使效率变化的幅度实际上要小于损耗变化幅度。综上所述，对于原先具有不同损耗相对值(即不同效率)的电机，当降低相同比例损耗时，因为损耗值的变化不同，它的效率变化值也不同，其关系可近似用式(2)来表示。这说明当电机的效率不同时，提高同样的效率幅度，损耗下降的比例是不同的，对原效率高的电机，损耗下降的比例要大；对原效率低的电动机，损耗下降的比例要小。所以不宜笼统地要求不同效率的电机的效率均提高同一的幅度。

2. 衡量高效率电动机的指标

在一系列设计电机中，随着功率的不同，电机的损耗和效率也不同。图2曲线1为一般4极电机效率与功率的关系。一般来说，随着电机功率的增大，其损耗相对值下降，效率提高，由于不同规格电机的损耗和效率不同，当降低相同的损耗比例时，如前所述，效率提高的幅度是不同的，因此对于高效率电机，就不可能对各规格电机用一统一的效率提高的幅度来表征。考虑到高效率电机节电的效果是由于损耗的下降所致，因此看来还是以损耗相对于一般电机下降多少作为衡量高效率电机的指标为好。

究竟损耗较一般电机下降多少才可列入高效率电机的范畴呢？这是一个值得讨论的问题，既称为高效率电机，其损耗应较普通电机有明显的下降。考虑到批量生产的电机，即使同一设计由于原材料、工艺和测试等的影响，

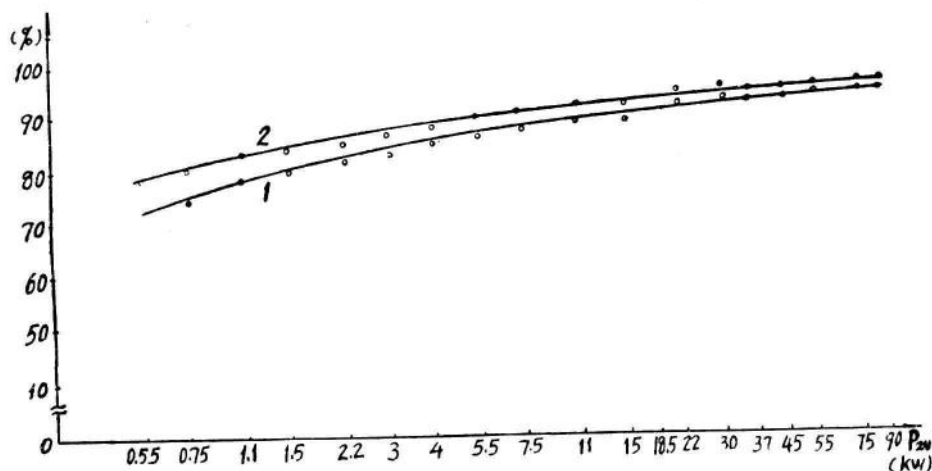


图 2

其损耗值仍然会有一定的波动。电机的实际损耗值有一部分高于额定的损耗值，也有一部分低于额定的损耗值。美国NEMA曾于近年在16个规格电机上请若干制造厂对相同设计的电机，在若干月内不同时候生产的各20台进行了测试。发现损耗的偏差常常大于 $\pm 10\%$ ，甚至高达 $\pm 19\%$ [文1]。美西屋公司的Woll曾提出以损耗下降20%以上作为高效率电机的标志 [文2]。事实上，目前投入市场的几个高效率电机系列也大致符合此要求，如法CEM公司的M2E系列平均损耗下降了30%左右，日立公司的EX系列损耗平均下降了20~30%。根据上述讨论，在我们目前尚未进行损耗波动普测的情况下，似也可暂以损耗下降20%以上作为高效率电机的定义。图2曲线2表示了当损耗较一般电机下降25%后的功率曲线。从图可见这时0.75千瓦4极电机效率提高了5%，90千瓦4极电机效率则提高了1.5%。

损耗下降比较的基础通常应以一般用途的基本系列作为基准。美国由于各制造厂一般用途基本系列的效率值不统一，因此一般以Arthur D. Little公司1976年为美能源部提供的报告中所列的各主要厂效率的平均值作为基础 [文3]。

3. 高效率电机的节能和经济效益

(1) 电能的节约

电动机由于损耗每年所消耗的电能 (E) 可由下式表示：

$$E = \sum \bar{p} \cdot P_{2N} \times H \times K_Z \quad (3)$$

$$\text{或 } E = (1/\eta - 1) P_{2N} \times H \times K_Z \quad (4)$$

式中：H—运行小时； K_Z —负荷率。

当换用高效率电机后，每年电能的节约 (ΔE) 如下式所示：

$$\Delta E = \Delta \sum \bar{p} \times P_{2N} \times H \times K_Z \quad (5)$$

$$\text{或 } \Delta E = \left(\frac{1}{\eta_o} - \frac{1}{\eta_e} \right) \times P_{2N} \times H \times K_Z \quad (6)$$

式中： η_o 、 η_e —分别为一般电机与高效率电机对应于负荷率 K_Z 时的效率； P_{2N} —额定功率。

以11千瓦4极电机为例。该电机效率为88%，由式(1)可知 $\sum \bar{p}$ 为0.136。如降低25%损耗，则 $\Delta \sum \bar{p} = 0.25 \times 0.136 = 0.034$ 。假定年运行小时为4000小时，负荷率 $K_Z = 1$ ，于是由式(5)可得每年电能的节约：

$$\Delta E = 0.034 \times 11 \times 4000 \times 1 = 1500 \text{度}$$

当负荷率为0.75时，由式(5)可得 $\Delta E = 1125$ 度。

从式(5)和式(6)可见，能量的节约与运行小时和负荷率成正比。一般封闭式鼠笼型异步电机的效率和损耗相对值在负荷率处于0.6~1范围内基本不变，在负荷率低于0.5后，才急剧下降。因此当 K_Z 在0.6~1范围时，用式(5)

和式(6)估计电能的节约,式中的 $\Delta \sum p$ 、 η_e 和 η_0 等可近似采用额定负载(即 $K_z=1$)时的数值,以便于分析。

高效率电机在运行时节约了电能,但在生产时由于多用了一定的材料,因此相应的也将耗费掉一定的能量,美国ADL公司进行了能量回收的分析所提供的报告认为,由于材料增加所耗费的能量一般可在电机运行1000小时内得到回收。西德西门子公司也进行了分析,其结论是高效率电机的能量回收要显著快于经济上的回收[文4]。因此对于长期连续运行的电机而言,采用高效率电机节能的效果是肯定的。

(2) 经济效益

高效率电机由于电能的节约从而减少运行时的电费支出。电费的节约(ΔC_2)可用下式表示:

$$\Delta C_2 = \Delta E \times C_e \times N \quad (7)$$

式中: C_e —电费; N —运行年数。

高效率电机为提高效率,在制造上采用了较多或较好的材料,并往往增加一定的工艺措施,从而使电机成本增加。现用 ΔC_1 表示此成本的增加,当运行到一定的时候所节约的电费已能补偿成本的增加,即 $\Delta C_2 = \Delta C_1$ 。这段时间 N_r 称为投资增加的回收期。超过此回收期后的电费节约将是净经济收益了。仍以11千瓦4极电机为例,在年运行小时为4000小时, $K_z = 1$ 当损耗下降25%,每年节电1500度,电费如以0.1元/度计,则每年可节约150元。这时电机原售价400元,现提高效率后约增加了25%,为100元。因此可知在这种情况下经济上的回收期是8个月。当年运行小时是2000小时或6000小时,回收期分别变为1.6年或5.3个月。

为估计在整个预定的运行期间 N_0 年内总费用(即电机售价与运行电费之和)的节约可采用式(8)。在该式中已考虑了电机制造一次投资和运行费用分期支付在经济效益上的差别。

$$\Delta C = \Delta C_2 - \Delta C_1 = \Delta E \times C_e \times N_0 - \Delta C_1 \quad (8)$$

式中: ΔC —采用高效率电机代替一般电机后总费用的减少; N_0 —考虑了投资效果的

等效运行时间,其表达式为[文5]:

$$N_e = \frac{(1+i)^{N_0} - 1}{i(1+i)^{N_0}} \quad (9)$$

式中: i —积累率或利润率。

现仍以11千瓦4极电机为例。假定运行年限 $N_0 = 10$ 年,积累率 $i = 0.08$,于是按式(9)可得等效年限 $N_e = 6.7$ 年。原效率为88%,现损耗下降25%,年运行时间 H 为4000小时,负荷率 $K_z = 0.75$,原价格为400元,现增加25%。将这些数据代入式(8)可得总费用的减少为:

$$\Delta C = 1125 \times 0.1 \times 6.7 - 100 = 653.7 \text{元}$$

在图3中给出了该电机在不同年运行小时和积累率的总费用减少的情况。从图可见,当高效率电机应用在年运行小时较长的场合,其经济效果较显著。

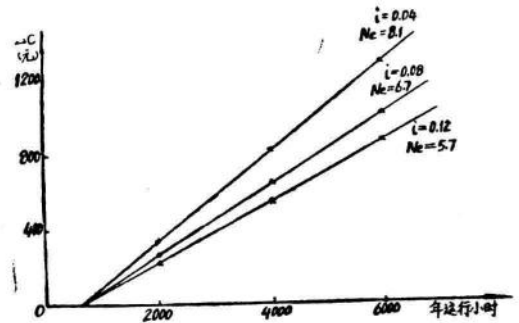


图3

4. 高效率电机的使用场合和作用

以上仅讨论一台电机效率变化时的经济效益。对于一个车间或企业在进行综合经济分析时,则必须考虑电机在同一时刻使用电力的问题。通常采用利用系数 K_u 来表示电能利用的情况。它等于同时使用系数 K_t 与负荷率 K_z 的乘积,即 $K_u = K_t \times K_z$ 。因此在对一批电机进行评价时,应把式(5)和式(6)中的负荷率 K_z 代以利用系数 K_u 。利用系数与所配套的主机有关。小型异步电动机主要为机床、水泵、压缩机、风机等主机配套。对于机床配套而言,利用系数是较低的,一般为0.12~0.2。对于一般的金属加工厂,一般每年工作日为300天,

每天工作二班,每班6小时,则每年工作3600小时,现取利用系数为0.15。仍以前述11千瓦电机为例,并假定损耗仍降低25%,按式(5)可知,每年仅节电202度,节约电费20.2元。考虑了投资效果,十年内可节约电费135元(设积累率为0.08),而由于成本的提高售价增加了100元,故仅收入35元,经济效益甚低。

但是对于水泵、风机、压缩机等主机,电机的利用系数相对较高,一般在0.5~0.6之间,尤其是应用于化工、冶金、纺织、造纸等行业中,由于这些工业的长期连续生产的特点,利用系数可高达0.6~0.7。对于这种运行场合,高效率电机在经济效益上是相当可观的。例如某一制药厂,每年工作日为300天,每天三班,每班8小时,每年工作7200小时,利用系数为0.7。对于上述11千瓦电机则效率提高后,每年可节电1890度,相应节约电费189元。在整个计算年限(设 $N_0=10$, $i=0.08$)可节约电费1266元,大大超过电机售价的增加(100元)。

根据以上讨论可见,高效率电动机对于长期连续运行的场合较为合适,而对于利用系数较低的场合在经济上并不一定有利。因此在选用电机时,有必要根据具体情况进行经济分析。

国民经济各行业中应用着大量的通用机械(泵、风机、压缩机),它们有相当一部分是长期连续运转的,配以高效率电机将带来节能和经济上的显著收益。但是小型电动机面广量大,还有相当一部分应用在金属加工部门为各种机床配套,利用系数甚低。另外就是通用机械在有些应用场合中的利用系数也并不都是很高的。例如应用于城市排灌设备中的水泵,以及某些车间的通风设备,年运行小时并不高。因此把一般通用的电机全都设计成高效率电机在经济上是不合算的,更何况众多的派生系列须在此基本系列上派生,采用高效率电机作为基本系列从设计上也是不合理的。故在一般用途的基本系列上发展一高效率电机的派生系列,应用于那些长期连续运行的场合,才是较

为合适的。

三、关于高效率电机系列设计的考虑

1. 高效率电机系列的分类

根据前述讨论,当损耗较一般电机下降20%以上可列入高效率电机的范畴。按照目前国内发展的情况,我们可把高效率电机分为下列两类:

第一类:损耗较一般电机下降20—30%,成本也相应增加20—30%,功率等级与机座号的对应关系和基本系列相同。

第二类:损耗较一般电机下降40—50%,成本相应增加50%以上,功率等级与机座号的对应关系和基本系列不同。

第一类高效率电机可称为一般高效率电机,目前国外一些主要的高效率电机系列,如美西屋公司的MAC II系列、GE公司的Tri-Clad 700系列,法国CEM的M2E系列和日本三菱的Hi-Eff系列等均属这一类。它们与普通电机的功率等级、安装尺寸及其对应关系均相同,因此可与普通电机互换。这主要用于运行时间非常长,利用系数很高的专用设备上。日本三菱的纺织专用高效率电机SE-E系列即属这一类。

下面则讨论适用面较宽的一般高效率电动机。

2. 功率等级与安装尺寸的对应关系

一般用途异步电机基本系列的功率等级与安装尺寸对应关系,为便于用户配套选用,不少国家均列为国家标准,并在一个时期内稳定不变的。一般高效率电机主要配套对象为通用机械,原属基本系列的配套范畴,所以其功率等级与安装尺寸的对应关系与基本系列相同,这样才能便于用户的安装维修,且不影响或极少影响主机的结构安排。高效率电机由于有效材料较一般电机增多,在某些规格中内腔尺寸较紧,致使电机体积有所增大,因为轴中心高是标准的,径向尺寸放大受到限制,故只能在轴向长度上略予放长,这在选用时应予注意

的。

3. 冲片外径的选择

高效率电机较普通电机的损耗低, 主要措施之一是增加有效材料, 降低电磁负荷, 从而使损耗降低。放大基本系列相应机座的冲片外径是增加有效材料的途径之一。但放大外径存在如下缺点: (1) 外径与基本系列不同, 增加了制造厂模具制造工作量和库存, 提高了制造成本; (2) 由于冲片外径的不同, 必然有相当一部分的结构零部件与基本系列不能通用, 使制造厂管理复杂影响电机成本和加工周期; (3) 基本系列的冲片外径是考虑了防爆电机等派生系列的要求, 放大外径在某种程度上使这些品种派生困难。而高效率电机在石油化工行业要求防爆的场合还是具有广阔应用的前景。(4) 在电磁设计上, 如有效材料用量相同, 并假定铁心磁负荷不变, 则当外径增大时, 铁心长度缩短, 铁耗基本不变, 但定子绕组直线部分的损耗将减小, 而端部损耗将增加。总的绕组损耗变化要视绕组端部长度与直线部分长度的比例而定。计算表明, 对于小型异步电机的2极电机由于外径放大, 端部较长, 总的绕组损耗增大, 使效率下降; 对于4极电机外径变化对效率的影响不大, 对于6极电机由于端部较短, 放大外径使绕组直线部分的损耗下降大于端部损耗的增加, 所以效率有所提高。因此对于不同极数, 外径对效率的影响不同, 而对产量较大的4极电机则影响不大。

综上所述, 为有利于制造厂生产管理, 加强标准化, 通用化程度, 一般高效率电机的冲片外径应与基本系列保持相同。为降低电磁负荷, 增加用料, 可通过适当增加铁心长度来解决。

4. 性能要求

(1) 效率指标

如前所述, 一般高效率电机的损耗应较基本系列相应规格小20~30%。故对于小功率电机效率提高4~6%, 对较大功率约提高1~3%, 全系列平均约提高3~4%。效率提高

可用下式估算:

$$\eta_e = \frac{\eta_0}{1 + K(\eta_0 - 1)}$$

式中: K ——损耗下降比例; η_e 和 η_0 ——分别为高效率电机和基本系列的效率值。

(2) 功率因数

提高功率因数可降低电网损耗, 过去习惯于把功率因数与效率并列, 但实际上二者对损耗的影响不同。功率因数可通过电容补偿, 而补偿设备在总费用中所占比例甚小。GE公司通过功率因数降低所引起的电网损耗与效率降低所引起的损耗相比, 认为效率对损耗的影响要大于功率因数的影响至少十倍以上[文5]。因此在高效率电机设计中应以提高效率作为主要目标, 功率因数仍可保持基本系列的水平。

(3) 起动性能

起动电流是高效率电机在性能上的主要限制。为了降低损耗, 往往减少匝数, 使漏抗减少, 从而使起动电流增大。因此从设计角度希将起动电流指标放宽, 但考虑到国内电网还不是很大和对用户保护设备的影响, 指标仍应接近基本系列为好。

考虑到高效率电机大多用于水泵、风机和压缩机, 对于起动转矩要求不高, 因此其指标可较基本系列适当降低。

四、降低损耗提高效率的途径

1. 电动机损耗的分布

异步电机的损耗主要由定、转子绕组损耗、铁心损耗、风摩耗和杂散耗等五部分所组成。定转子绕组损耗和杂耗随负载而变化, 构成所谓可变损耗, 铁耗和风摩耗则构成不变损耗。在图4中列出了一般电机各部与损耗占电机总损耗的比例随功率变化的情况。图4(a)和图(b)分别为2极和4极电机的曲线。从中可见, 定转子绕组损耗在小功率部分要达到总损耗的60~70%, 随着功率增大, 下降至30~40%左右。铁耗则基本不随功率的变化, 约占总损耗的20%左右。风摩耗在小功率部分甚小, 仅5~10%左右, 但随功率增大, 尤其是

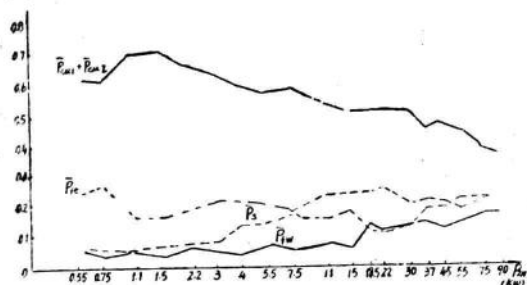


图 4 (a)

$\bar{P}_{ou1} + \bar{P}_{ou2}$ —空转转子铜耗; $\bar{P}_{Fe}$ —铁耗;
 $\bar{P}_{fw}$ —风摩耗; $\bar{P}_s$ —杂耗。

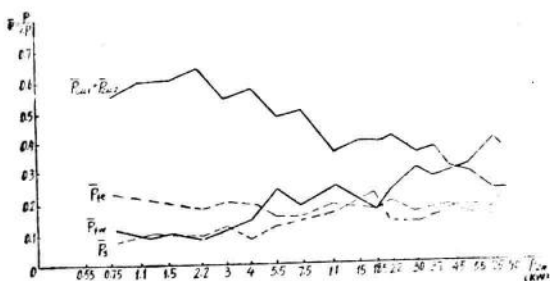


图 4 (b)

2 极电机在大功率部分可达30%，与定转子绕组损耗相当。杂散损耗在小功率部分为总损耗的5~10%左右，随功率增加而增加，在大功率部分达20%左右。

通过该图曲线可见，在小功率部分总损耗中定、转子绕组损耗占绝大比例，而在大功率部分，除2极电机风摩耗占较大比例外，各项损耗所占比例基本相当。

为降低损耗，显然应着眼于主要损耗分量的下降。因此上述损耗分布的特点，在小功率电机中主要通过适当增加有效材料，放大导线截面，来降低导体绕组中所产生的电流损耗，这样可变损耗的下降将使负载降低时也能获得较高的效率。在大功率部分则应通过各种措施来降低风摩耗。铁耗和杂耗，而不能主要依靠增加材料来降低绕组损耗。下面简述降低损耗的一些途径。

2. 增加有效材料，降低绕组损耗

定子绕组损耗 P_{cu1} 等于：

$$P_{cu1} = \rho \frac{W \cdot l_z}{S} \cdot I^2$$

式中： ρ —电阻率， W —串联匝数， l_z —线圈平均匝长， S —导线截面， I —电流。

上式近似得：

$$P_{cu1} \approx \frac{W^2 L_z}{Q} \cdot I^2$$

式中： Q 为槽截面积。铜线体积 $V_{cu} = Q \cdot L_z$ ，由上式得：

$$P_{cu1} \approx \frac{W^2 L_z^2}{V_{cu}} \times I^2 \quad (10)$$

当冲片外径不变，铁心放长，定子线圈匝数可减少。如保持磁密，则匝数 W 将与铁心长度 L_{Fe} 成反比，但由于受到功率因数和起动电流的制约，一般匝数仅能近似于 L_{Fe} 的 $1/2$ 次成反比的即 $W \approx 1/\sqrt{L_{Fe}}$ 。代入式(10)可得：

$$P_{ou1} \approx \frac{V_{Fe}}{V_{cu}} (1 + K_d)^2 \times I^2 \quad (11)$$

式中： V_{Fe} —铁心体积； K_d —线圈端部长度与直线部分长度之比。为便于分析计算，可把(10)化成标么值：

$$\bar{P}_{ou1} \approx \left(\frac{V_{Fe} + K_{do}}{1 + K_{do}} \right)^2 \times \frac{1}{\bar{V}_{Fe} \times \bar{V}_{ou}} \times \left(\frac{\eta_o}{\eta_e} \right)^2 \quad (12)$$

式中各标么值的基本值为原设计时数值； K_{do} 也为原设计的线圈端部长度与直线部分长度之比，对于Y系列(IP44)电机2极 K_{do} 约为1.8，4极 K_{do} 约为1.1；式中 $(\eta_o/\eta_e)^2$ 系数考虑电流随效率变化的影响。

通过式(12)可近似估计用铜和用铁量变化对定子绕组损耗的影响。例如，对于2.2千瓦4极电机，原效率为0.81，现须提到0.85，用铜、用铁量各增加25%，于是应用该式可得：

$$P_{cu1} = \left(\frac{1.25 + 1.1}{1 + 1.1} \right)^2 \times \frac{1}{1.25 \times 1.25} \times \left(\frac{0.81}{0.85} \right)^2 = 0.727$$

于是可知定子绕组损耗将为原损耗值的72.7%，该部分下降了27.3%。

在上述设计改变，铁耗基本不变。因为铁

耗可用下式近似表示:

$$P_{Fe} \equiv B^2 \cdot V_{Fe} \quad (13)$$

因为 $W^2 \equiv L$, 所以 $B \equiv 1/\sqrt{L_{Fe}}$, 而 $V_{Fe} \propto L_{Fe}$,

所以 $P_{Fe} = 1/L_{Fe} \times L_{Fe} = 1$

也即这时磁密虽降低, 但因铁心放长, 使铁耗仍不变。

3. 采用较好的磁性材料或工艺措施以降低铁耗。

从式 (13) 可见, 通过铁心放长, 降低磁密, 从而使铁耗降低。只有在磁密的下降大于铁心长度增长的 $1/2$ 次时才可实现。但这时绕组损耗由于铁心长度增加而提高, 所以单纯的放长铁心以降低铁耗的效果并不理想。当铁心长度不变, 增加匝数降低磁密, 也将使铁耗下降。但由式 (10) 可知, 这时绕组损耗上升, 因此需在设计时权衡得失。降低铁耗较有效的途径是采用比损耗较低的磁性材料。另外, 由于冲剪应力对铁耗影响较大, 因此对冲片进行热处理可降低 $10 \sim 20\%$ 损耗 [文 6]。这对于高牌号的磁性材料更加重要, 因为它们对于应力的敏感程度大于一般的磁性材料。由于磁性材料的价格对电机的成本影响较大, 所以选用高牌号材料时, 应注意经济核算。

4. 缩小风扇降低通风损耗

从图 4 可见, 对于较大功率的 2、4 极电机, 风摩耗占有相当比例, 如对于一 90 千瓦 2 极电机风摩耗可达总损耗的 40% 左右。风摩耗主要是由于冷却风扇消耗的功率所构成。由于高效率电机的热耗较一般电机低, 因此冷却用的风量可减少, 从而通风功率也可减少。通风功率约与风扇直径 $4 \sim 5$ 次方成比例, 因此在温升许可的情况下, 缩小风扇尺寸可有效地降低风摩耗。除了风扇本身尺寸外, 整个通风结构的合理设计对于提高通风效率, 降低通风损耗也是重要的。初步试验表明, 高效率电机的风摩耗在大功率部分可较基本系列降低 40% 左右。由于通风损耗的降低的幅度较大, 而且不需增加多少成本, 因此一般它是对这部分高效率电机所采取的主要措施之一。

5. 通过设计和工艺措施降低杂散损耗

异步电机杂散损耗主要由于高次谐波磁场在定转子铁心和绕组中所产生的高频损耗。为降低杂耗可通过采用 Y— Δ 串接的正弦绕组来降低各次相带谐波的幅值, 从而降低杂耗 [文 7]。另外可通过选用较多的定转子槽数以降低齿谐波幅值, 从而使这部分谐波引起的杂耗降低 [文 8]。

在工艺上可通过转子槽绝缘工艺来降低转子高频横向电流损耗, 也可通过冲出气隙来减少表面铁耗。

上述措施均要使加工工时增加、成本提高, 为此需要根据各项措施所取得的效果, 以及杂耗本身所占的比例, 经过技术经济分析后, 决定在何种功率范围采用。

五、结束语

高效率电动机是一种具有较高效率指标, 本身耗能较少的电动机。它是为适应能源供应紧张而出现的一种新品种, 适用于长期连续运行, 消耗电能相对较多的场合, 在当前具有一定的现实意义。但在选用时应注意设备的利用系数, 应进行必要的经济核算, 以使能收到真正的效果。

就设计原理而言, 这种电机与一般电机并无根本的区别, 但是随着材料, 设计技巧和工艺方法的发展, 如何以较少的代价获得较显著的损耗下降, 则是高效率电机设计制造的重要内容。

参 考 文 献

1. J.R. Kein & R.L. Houlton: "NE-MA Nominal Efficiency-What Is and Why" IEEE-TIA.V, IA-17, No.5, 1981
2. R.F. Woll. "High Efficiency Motors" IEEE IAS Meeting 1980
3. Arthur D. Little Inc. "Energy Efficiency and Electrical Motors"
4. H. Auinger, G. Kracke und W. Neuhaus: "Wirkungsgrad elektrischer

高效率小型异步电动机系列研制 可行性分析报告

一、概况

1. 项目名称: 高效率小型异步电动机系列研制

年限: 1983年~1984年12月

2. 承担单位:

负责单位: 机械部上海电器科学研究所

参加单位: 华中工学院、清华大学、北京电机总厂、博山电机厂、上海电机公司、大连电机厂、河北电机厂、南通电机厂、厦门电机厂、抚州电机厂、无锡县电机厂、襄樊电机厂、广州电机厂

3. 研究项目及预期效果

通过对小型异步电动机(0.55~90千瓦)设计, 工艺的研究, 提出降低各损耗分量的有效措施, 并研制出一高效率电机系列, 用于长期连续运行的场合, 以期较大幅度的节约电能。要求此系列损耗较基本系列下降20%以上, 效率平均提高3%, 以100万千瓦每年运行4000小时计, 则可节电1亿2千万度左右, 电费如以0.1元/度计, 则可节约电费1200万元, 但由于成本增加25%左右, 制造费用将增加1000万元左右, 因此这一部分电机在第一年运行后不但可收回增加的费用, 而且可再节约200万元。在以后的运行时间内, 每年则可节

约1200万元的支出。

二、承担单位的基本情况和条件

1. 人员及技术力量

上海电器科学研究所为机械部的中小型电机归口所, 是以中小型电机、低压电器为主的综合性专业研究所。华中工学院、清华大学在中小型电机方面具有相当的科研力量。北京电机总厂、博山电机厂、大连电机厂、上海电机公司等制造厂为国内小型电机生产骨干厂, 具有相当的技术力量。

2. 经济及物资力量

各单位基础较好, 固定资产一般均在2000万元以上。各类机床精密镗床、冷冲锻压、电加工等设备较为齐全, 只需添置部分专用仪表及测试设备就能进行工作。科研成果能直接用于产品, 并可迅速投入生产。

上器所的主要经济来源由上级主管部门拨款, 部分收入为产品试验费、新产品设计图纸费、科研成果转让费等。各制造厂的主要经费来源为生产利润留成所得。高等学校主要经费来源也由上级主管部门拨款。

三、技术分析及论证

1. 国内外水平及发展趋势

Maschinen-Möglichkeiten und Grenzen für eine Verbesserung" Siemens-Energi-etechni k2(198) H7

5. D.C.Montgomery: "Evalutton of Energy Efficient Motors"IEEE IAs Meeting 1979

6. 上海电器科学研究所: "影响异步电动机杂散损耗与铁耗的工艺因素分析研究"

1982年

7. 华中工学院、湖北电机厂: "正弦绕组三相异步电动机"中小型电机技术情报。1972. No.2.

8. 上海电器科学研究所: "小型三相异步电动机(铸铝转子)设计和工艺参数对负载杂散损耗影响"(OAH.126.006) 1965年

由于小型电动机的量大面广,每年要消耗40%以上的电能。因此建国以来我国几个基本系列的先后更替,新系列都比原有系列的效率水平有所提高。但是由于国际标准化发展以及绝缘耐热等级的提高,同功率电机体积的缩小,使电机导体和磁性材料中的电磁负荷增加,从而往往引起损耗的增加。这对于进一步提高效率、节约能源来说是日益困难了。为此必须进行大量的试验研究和理论分析,以进一步掌握各项损耗变化的规律,并研究采取有效措施给予降低。

国外自1973年能源危机以后,即引起了效率问题的充分注意。美国能源部委托有关部门进行了专题研究。研究结果认为,在发电、输变电、用电三大部分中,前两部分因集中组织程度高,效率本身已较高,应将主要重点放在用电设备节能上。而用电设备的重点则是提高1~125马力电动机的效率。美能源部曾设想,到1979年高效率电动机占总产量的5%,现据报导,1979年美国高效率电动机的产量达11%,已超过了设想的指标。由于能源的紧张和政府采取了鼓励节能的措施,美国各电机制造厂在降低电机损耗提高效率和发展高效率电机方面均作了不少工作。其中较著名的有GE公司、西屋公司和永联电气公司等。其他国家如西德西门子公司和法国CEM公司、日本三菱和东芝等公司在这方面也做了大量的研究工作和发展工作。

目前国外高效率电机系列较著名的有美西屋公司的MAC—II型系列(1~200马力),GE公司的TRI—CLAD700系列(3~200马力)和Reliance公司的XE系列($1\frac{1}{2}$ ~200马力)。它们的安装尺寸与基本系列相同。效率平均高3~4%。价格约高出20~40%。高效率电机主要应用于长期连续运行的场合,如果每年运行4000小时,电机负荷接近满载时,电机的加价部分在1~2年内即可回收。由于高效率电机在生产时多用了一定的材料,因此相应也将耗费掉一定的能量,美国ADL公司进行了能量回收的分析,所提供的报告认为由于材料增加所耗费的能量一般可在电动机满载运行1000小时内得到回收。

国内近年来,由于节能的重要性,也有不少电机厂和研究单位、学校结合用户需要研制了个别规格的高效率电机,采取的措施主要为适当的增加有效材料的用量、改进风扇设计、采用较好的磁性材料、采用正弦绕组以及改进制造工艺等,为进一步的系列设计提供了一定的实践基础。

2. 国内引进情况

1980年初接受了美Reliance公司赠送的两台高效率电机样机,希再引进一些国外样机以供比较分析。

3. 本项目技术方案分析及论证

本项目的关键在于研究设计和工艺参数对电机中各项损耗的影响从而提出措施,降低损耗,提高效率。

设计上采用性能较好的磁性材料以降低激磁电流损耗和铁耗,研究较合适的风扇及风路的尺寸和形状,以降低通风损耗提高通风效果,对于杂散耗则通过槽配合研究寻找杂耗较低,起动性能较好,噪声又较低的槽配合,通过正弦绕组的验证和其它绕组型式的研究进一步降低相带谐波所产生的杂耗。适当增加有效材料降低绕组损耗和铁耗,同时在电磁设计上选择合理的电磁参数,以求得较佳的效率。

工艺上通过冲片退火和氧化处理来消除冲剪应力影响和增加片间绝缘,从而降低铁耗,通过转子铸铝工艺的研究来提高转子导体的导电率,从而降低转子铝耗。另外通过转子槽绝缘的研究以降低高次谐波在转子中所产生的杂散损耗。

本系列适用于长期连续运行的一般用途电机,其安装尺寸与功率等级的关系和基本系列相同,以便互换,方便用户,利于推广,有利于工厂管理和降低制造成本。

四、经济效益分析

1. 节约能源

本系列损耗平均较基本系列下降20%,效率平均提高3%,如以100万千瓦每年运行4000小时计,则可节电1亿2千万度左右。