

中小型电机译文集

上海电器科学研究所 译



机械工业出版社

中小型电机译文集

上海电器科学研究所 译



机械工业出版社

中小型电机译文集

上海电器科学研究所 译

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $7\frac{5}{8}$ · 字数 201 千字

1978 年 11 月北京第一版 · 1978 年 11 月北京第一次印刷

印数 00,001—24,000 · 定价 0.74 元

*

统一书号: 15033 · 4540

前 言

为了介绍国外中小型电机产品、制造工艺及设备和技术、新材料、新工艺应用等方面的发展情况，本书选译了二十三篇有关资料。其中，产品有八篇，介绍铝线电机新系列、F级绝缘电动机、中型异步电动机改进、无刷同步发电机和电动机、直流电机新系列以及无整流子电动机等；工艺及设备有九篇，介绍铁心连续退火炉、铁心迭压机、自动转子铸铝机、转轴加工自动线、机械手应用、自动绕线下线机、铝铜焊接、换向器焊接以及传送自动化等；新技术、新材料、新工艺的应用有六篇，介绍异步电动机调速、铝合金线研制、新型电工钢片的探讨、高压绝缘以及电磁泵式自动浇注机等。本书可供从事研制、生产和使用中小型电机的广大工人和工程技术人员参阅。

在编译中，承第一机械工业部第八设计院、上海电机厂、上海先锋电机厂、上海交通大学等单位的大力协助，在此表示感谢。

由于水平有限，在编译中存在缺点和错误，欢迎读者批评指正。

编译组

目 录

第一部分 电机产品	1
交流电动机新系列	1
小型电动机采用F级绝缘材料	11
中等功率异步电动机的改进	19
小功率无刷同步发电机	25
无刷同步电动机的应用正在增加	31
12~550千瓦、1500转/分直流电机新系列	40
1G3和1H3、1H4直流电动机新系列	47
无整流子电动机的发展	68
第二部分 制造工艺及设备	81
电动机铁心连续退火炉	81
定子铁心制造	88
自动转子压铸机	93
电机轴自动加工线	99
两台机械手为八台机床服务	123
电机线圈的自动绕制	130
用于直流电机换向器联接线的机械化焊接法	136
制造电工产品用铝铜过渡联接的方法和注意点	141
由自动仓库、零件分配搬运装置组成的电机 生产线的传送自动化	153
第三部分 新技术、新材料、新工艺的应用	170
脉宽调制逆变器技术	170
交流电动机驱动用电流源换流器	188
电导体用铝合金	198
未来旋转电机用的电工钢带	207
旋转电机高压绝缘的发展	217
铝合金用电磁泵式自动浇注机	229

第一部分 电机产品

交流电动机新系列

ASEA 公司最近完成了一个开启式交流电动机新系列。其功率范围于 1500 转/分时为 75 千瓦到 280 千瓦，机座号 250、280、315 和 355。此种电动机的定子与转子，绝大多数采用铝绕组。

该系列的标志：有深槽或楔形笼条转子的电动机为 MBK 型，有双鼠笼转子的为 MCK 型，有绕线转子的为 MAK 型。

此种异步电动机的中心高为 63~315 毫米；空载转速于 50 周时为 3000、1500、1000 及 750 转/分，于 60 周时提高 20%。

此种电动机除 355 机座号可做到 3300 伏最大运行电压外，所设计的最大电压为 660 伏。

此种标准系列包括底脚安装和凸缘安装的各种型式。按国际电工委员会标准 34-5 规定：其防护型式，卧式电机为 IP23S，立式电机为 IP21S。

改型设计时，对影响特性的某些因素考虑如下：

1. 成本

降低生产成本是设计新产品的目标之一。以新的设计观点，发掘新材料和新工艺的的优点，以及对将来作出正确的估计，可以达到降低成本的目的。

预计低价获得高质量铸件的困难将会增加，因此，设计了钢板定子机壳，并建立了弯板、切割与焊接定子机壳的新车间（见图 1）。

更好地利用定转子铁心材料，可使材料费用下降。

电机和其他产品中广泛使用的铜导体，比其他金属的导电和导热性更优良，但其价格较贵，而且比电机所用其他材料的价格

涨得快。

铜的价格往往波动很大，图 2 是以往十年铜价格的上涨情况。

因为铝的价格长期稳定、来源充沛，故人们早有“以铝代铜”的想法。在电缆厂和变压器厂中，“以铝代铜”较多，异步电动机中采用铝绕组已获很大成功。在美国，小型电动机的定子，现采用铝绕组较铜绕组为多。



图 1 定子铁心焊到机壳上去

由于铝的导电率仅为铜的 65%，同电阻的铝导线截面较铜导线的截面约大 55%。因此，铝导线占用较大的空间，需要较多的铁心叠片。所以，究竟采用铝还是铜导线，主要取决于铝、铜和铁心叠片的价格关系。

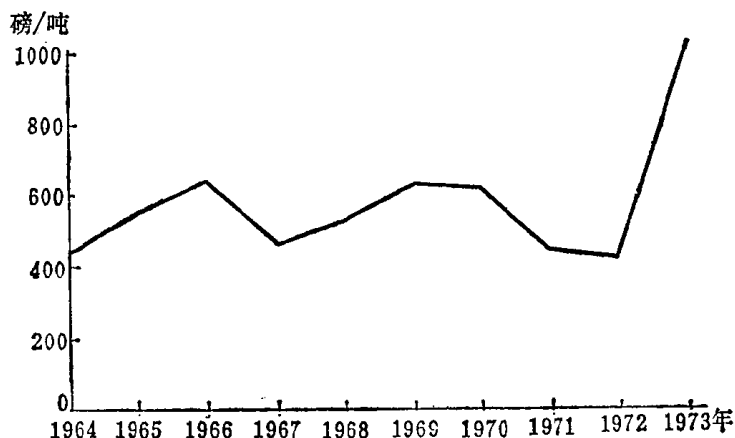


图 2 英国伦敦金属交易所电解铜排的价格

在上述功率范围内，ASEA 公司认为，从长远的观点看，采用铝是比较经济的。

2. 运行可靠性

对运行的可靠性应予以高度重视，并以最大努力满足这一严格的要求。

绕组是异步电动机的最薄弱部件。交变或脉动电磁力、介电应力和在电动机中出现的最高温度对绕组都有影响。仅次于轴承损坏，绕组缺陷是发生故障最常见的原因之一。所以研制可靠的绕组是一项重要工作。

3. 定子绕组

上述功率范围的电机，其定子绕组由漆包的铝圆线组成，并嵌入定子半闭口槽，要求导线和浸渍漆符合耐热 155 度（即 F 级——译者注），所用绝缘材料耐热 130 度（即 B 级——译者注）。

铝线要求专门的联接工艺。几年来，对电机在恶劣的环境下试验所得的试验结果表明，定子采用铝绕组比较有利。导线接头采用压接带齿接头的联接方法，对铝线因暴露于空气中所形成氧化膜的穿透性有所改善。

首先，通以电流对这种接头作周期试验，试验装置将许多接头串联起来，经受高达 4000 个电流负载和冷却的周期，其温度变化在环境温度和超过环境温度约 $80 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 之间。在这种情况下，测量接头接触电阻的变化，与初始值作一比较。图 3 示出五个相似接头接触电阻的增加对电流周期数的关系曲线。如图所示，应用于 M(A、B、C)K 系列的一个接触良好的接头稳定于低的

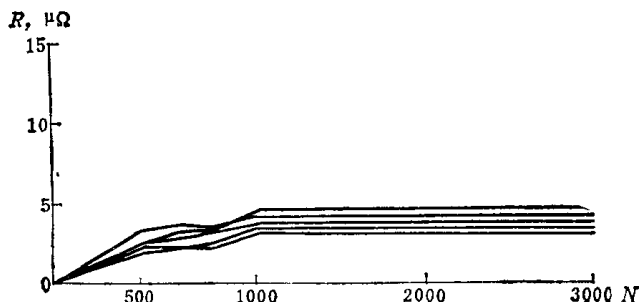


图 3 铝导线与铜电缆之间接头接触电阻 R 值与电流周期数 N 的关系曲线（试验前电阻为 $16 \sim 17.5$ 微欧）

接触电阻值。不良接头的接触电阻不断上升，或者稳定于过高的电阻值。

在上述试验期间，使该接头在 750 个周期后再经受三次短促的电流冲击负载，使其温度上升到略高于 200°C 。

对这种接头的研制作出结论之后，还需要将整台电动机按特定程序作一系列可靠性试验。其中包括强烈的机械振动和 50000 次起动电流冲击试验。

由于这种绕组经过双罐漆（双罐漆系指一罐绝缘漆和一罐固化剂在使用时才合在一起滴落浸渍——译者注），滴浸处理代替了酚醛树脂漆或常用的浸渍漆浸渍法，滴浸后的绕组有很高的强度，也是使试验获得良好结果的原因之一。

4. 转子绕组

鼠笼电动机的转子绕组比定子绕组承受到更大的应力，其原因如下：

1) 电磁的波动力，使转子导条沿整个铁心拉向槽底。该电磁力以两倍转子的频率而波动，并与转子电流的平方成正比。若转子导条在槽内径向移动，就会产生疲劳裂纹。

2) 热应力，导条的上下边之间和导条与端环之间，由于温度变化而引起的热应力，在电动机频繁起动时，也会产生疲劳裂纹。

3) 离心力，大小与转速平方成正比的离心力，使转子导条抵压在槽的顶部。

因此，在设计和制造鼠笼转子绕组时，要特别谨慎，尤其是对频繁起动的中等功率电动机。

鼠笼转子也采用铝绕组，并选用将转子导条和端环硬钎焊的方法，来替代较小功率的电机转子所普遍采用的浇注鼠笼绕组的方法。

用压铸、模铸和离心浇注法浇注转子是很合理的，能获得良好的效果，可使这种绕组有高度可靠性和优良的性能。但这些方法有某些缺点，故要用硬钎焊法。

首先,对带有用来冷却绕组的径向通风道的转子,难以合理浇注。其次,浇注会增加杂散损耗。因此,浇注鼠笼绕组的电动机所需的有效材料要略多一些。

选用硬钎焊,容易在导条与端环之间取得较大的过渡面,这是它优于熔焊的一个理由。

所设计的鼠笼绕组有高疲劳强度,并经过多台电动机的正反转试验。研制目标是找到至少能承受两百万次相当于直接满压起动的,负载脉动的转子绕组。

采用在升高温度下仍有高疲劳强度的铝合金,并用环氧树脂浇注,将铝条粘牢,而取得了优良的试验结果。

绕线型电动机的转子绕组,除 MAK250 机座 4 极电动机外,均用铜线。由于绕线型电动机的转子绕组用铜而不用铝,已证明,可用与鼠笼型电动机同样的定子冲模,并保持同样的气隙直径。

在大多数场合下,绕线型电动机的制造批量较鼠笼型电动机要少得多。

除产量较大的 MAK250-4 外,MAK 型电动机具有与 MBK 型电动机同样的转子直径。由于转子槽截面积不足,所以不能用铝,而必须用铜。

大多数转子绕组是散嵌绕组的(与所有的定子绕组一样),见图4。导线嵌入半闭口槽后用槽楔封住。不过,机座号 315 和 355 两种较大的电动机,在二极设计中采用笼形绕组(见图5)。这种电动机转子的每一槽内,有两根铜条,相互间绝缘。铜条间以及铜条与引出线间用接头焊接。由于电动机的离心力引起应力,故必须用绑带扎紧,该办法在笼形绕组上比散嵌绕组更易施行。

5. 电动机性能

电机用户对电性能,即效率、功率因数、转速、起动和转矩特性等的评价很不相同,而生产成本在很大程度上受到性能要求(特别是效率)的影响。

按现行标准测定效率:假定杂散损耗为输出功率的 0.5%。

这里所谓杂散损耗，是由不导致产生有效转矩的那部分电流所形成的。电动机的杂散损耗随设计和制造工艺而定，可比 0.5% 输出功率大好几倍。在这种情况下，效率将低于按标准计算出来的数值。MBK 型电动机的杂散损耗设计得较低，故实际效率和计算效率比较相近。



图4 MAK 型电动机转子的
散嵌绕组

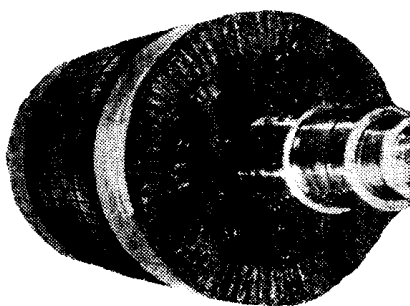


图5 MAK 型电动机转子的
笼形绕组

如上所述，绝缘的转子导条通常比铸入转子铁心中的导条所产生的杂散损耗要低一些。在铝条的四周有天然的氧化物层绝缘，如果是铜绕组，就没有这样的绝缘层。将转子冲片冲出最后尺寸，转子叠压后不再加工，也可降低杂散损耗。

异步电动机的转矩特性，即表示转速与转矩关系的曲线。

图 6 与图 7 示出实测的转矩特性。图 6 示出的电动机，其记录下来的杂散损耗为 2.5%。在反转范围中，即零转速线的左边，转矩大幅度上升，显示出产生损耗的谐波含量较高。

图 7 示出 MBK250、4 极电动机的转矩特性，在反转范围内的谐波含量相当低。在图 7 中，由于没有下凹或同步转矩，故在零转速与 100% 转速之间有充裕的加速转矩。

就功率因数、转速和起动电流特性而言，这种新型电动机较市场上一般的电动机水平还高一些。

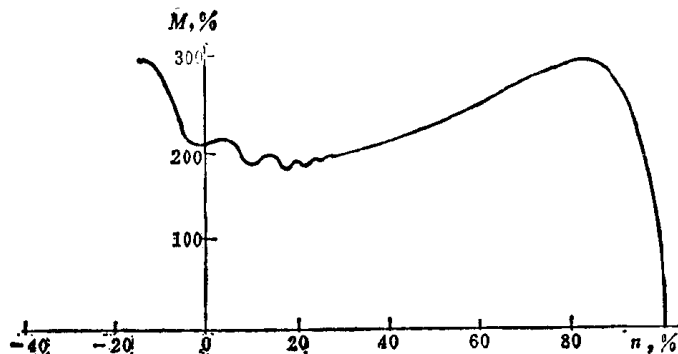


图6 转子杂散损耗较高电动机的转矩特性，
用转矩 M 与转速 n 的关系曲线表示

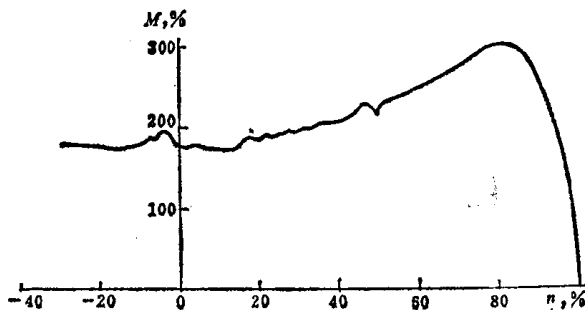


图7 MBK250 S型4极电动机的转矩特性，
用转矩 M 与转速 n 的关系曲线表示

在定、转子绕组温升的允许范围内，电动机承受频繁起动的能力，通常是不写在标准样本上的一种特性。

由于对效率的要求，将铝绕组的电阻设计成和铜绕组的电阻几乎相等，这就意味着产生的热量大致相等。不过，铝的热容量（比热）较铜的大2.3倍，所以“等值损耗”绕组的热容量较相应的铜绕组约大20%。对某种已定的起动条件，这就意味着，铝绕组在起动期间的温升，将比相应的铜绕组降低约20%。

6. 绕组出线

对用户而言，实用的出线装置要具有便于接线，即使接线不正确，也不会影响出线端头间必需的间隙；从电缆进口到连接点

之间有充分的距离；密封性和稳固性好等特点。

ASEA 公司交流电机车间提供的电动机新系列，其明显的特点是大容积的出线盒装设在电动机顶部。M(A、B、C)K 型电动机的出线盒都是这样。

出线盒由钢板压制，分上盖和底座两部份，能旋转 180° ，允许向右或向左接线。

电源电缆可直接与绕组引出线联接而不必用接线板。后一种导线的端部有专用的接线套。图 8 所示为将出线盒盖卸去后的出线端。

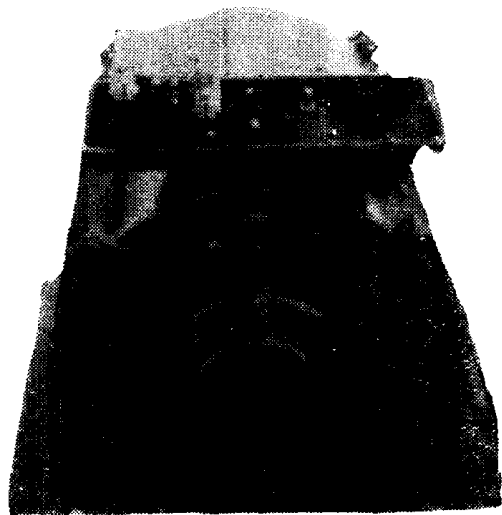


图 8 定子出线端

因为出线盒尺寸较大，对特大截面的铝或铜电缆在接线时，都不成问题。出线盒边在电缆进口处做成倾斜，便于安放电源电缆。这种出线盒经受过按 IP55 机壳防护等级要求的密封性试验。

7. 噪声与通风

现代化电动机应能符合低噪声级的严格要求。电动机发出的噪声，主要来源于磁路、轴承和冷却空气三个方面。定子、转子槽配合不适当，以及主要由于气隙偏心而引起的磁路的任何不对称，都会产生磁噪声，而上述新系列电动机槽配合的选择可使磁噪声减至最小。

以定子铁心的内径为基准，将定子机壳两端与端盖配合的止口一次加工而成，能最好地保证气隙均匀。图 9 示出进行这种加工的专用立式车床。

如用优质的耐磨轴承和适当的加工与装配工艺，则在上述

范围内的电机，其轴承噪声通常不会达到干扰级。因此，不需要采取降低轴承噪声的专门措施。

最难控制的噪声来源是冷却空气。冷却空气或通风噪声，主要来自定子的进、出风通道和风扇。现代化电动机的特点是材料利用率高，要加强冷却，由此，可以预计空气噪声级会升高。如要“无声冷却”，就必须对空气通道，特别是风扇及其周围的结构设计加以注意。

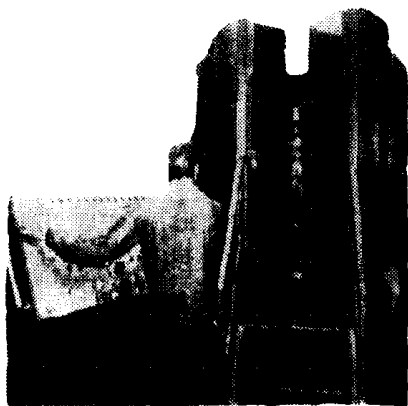


图9 定子止口加工

国际电工委员会所发布的关于电机允许噪声的IEC34-9推荐标准，规定从离电动机一米处测量声压级。表1列出ASEA公司新系列电动机的噪声，与IEC推荐的标准相比，较为优越。

ASEA公司M(A、B、C)K型电动机，用dB(A)表示的声压级，离电动机1米处测定的声压与 2×10^{-5} 牛顿/米²的比值
(IEC推荐标准规定值列于括弧中)

机座号	转 速 (转/分)			
	3000	1500	1000	750
250	86(92)	75(88)	69(83)	66(78)
280	89(95)	77(88)	71(85)	69(79)
315	89(95)	81(90)	72(85)	69(82)
355	93(95)	83(92)	75(87)	72(85)

8. 维护与运行

轴承是异步电动机中通常易于磨损的部件，绕线型电动机的电刷也较易磨损。

所有轴承均有常规润滑脂阀，电动机运行时可以加润滑脂。轴承的寿命取决于轴承负载，按照一般定义，轴承寿命相当于在

较大规模的一系列测试中，至少有 90% 的轴承达到一定的运行小时数，而仍无任何疲劳迹象。

电动机样本规定了作用于轴伸的外力的数值，这些数值是从皮带传动的皮带张力推算出来，按以上定义得出的轴承寿命不小于 63000 小时。还应指出，50% 的轴承有 5 倍于以上的寿命。大多数直接耦合传动的电动机，由于轴伸上的作用力很小，从来不需要更换轴承。

另一方面，绕线型电动机的电刷必须经常更换。由于更换电刷比更换集电环容易一些，所以决定选用对集电环磨损最少的那种电刷。这确实使需用电刷的数量增加了，不过维护将会简便。

倘使电动机绕组必须重绕，而又缺乏铝线或必须的连接设备时，则可用同样或较小尺寸的铜线，但需将槽楔加大一些。

9. 交货

此种新系列电动机，列于样本中约有 200 个规格。由于经济上的理由，不可能贮存全部规格，只是最常用规格的电机有存货。不过，不在存货范围内的电动机，也可在短期内交货。

全部机座号电动机的生产周期为 4 个星期。不属存货范围内的电动机，供应日期决定于接到订货单到该机座号的下一批投产日期。加工时间很短，从铁心叠片冲压和轧滚定子机壳开始，到电动机离开试验室共计 4~5 天。由于采用流水线生产，生产准备时间短以及许多新型机床的加工能力大，致使电动机的加工周期缩短。自行制造某些以往在外厂协作供应的零部件，可较好地控制材料，也有利于缩短加工周期。

小型电动机采用 *F* 级绝缘材料

F 级绝缘材料开始应用于电动机制造，但进度缓慢，因为它的价格远比常用的 *E* 级绝缘材料为高，所以，只有在耐温要求较高时，使用才显得合理。另外，由于它可节约贵重的有效材料（即铜与硅钢片），并在较高的允许温度下得到更高的利用率，故动力用电动机已经常采用。所得到的好处是：电动机尺寸较小或寿命较长。故小型电动机，特别是在日用电器上已广泛采用。下面是1973年10月24日杜邦公司召开的 *F* 级绝缘学术讨论会中关于小型电动机采用 *F* 级绝缘材料的三篇论文摘要。

一、小型电动机 *F* 级绝缘的概念（西德）

提高绕组的耐热能力，可由各种原因而引起注意：安装所需功率的电动机的空间地位不够，这是结构上的必要性引起的；也可能是要延长绕组寿命，这与绝缘材料的老化性能有关。

利用绕组的较高耐热性可通过下列两个方面：提高持续负载的温度或采用较低温度而延长寿命。

较高的耐热性也表示更能承受短时热过载。这就涉及到这样的—一个温度范围，它远超出通常探讨绕组寿命或绝缘老化时所用的或预计的界限温度。设想 300~500℃ 的范围，这里适用的规律和普通老化温度下的情况不一样，寿命图表中的直线不能延伸到这样的温度范围，所以就必须进行相应的试验。

绕组绝缘的耐热性能同选择适当的绝缘材料有关。这些材料组合起来，要互相不发生坏影响。在选得恰当时——只有通过相应的系统试验，才可能既求得最佳的答案，又经济合理。但是，为考虑全部主要因素，所花试验费用很大。因此，西德电工标准 VDE0730——日用电力拖动器具的有关规定——新版中已加入

绝缘等级, 欧洲通用标准 CEE10 和国际电工标准 IEC 也有类似规定。现在, 国际标准为日用电器等引用较高耐热级绕组提供了广泛的先决条件。

漆包线、浸渍材料和片状绝缘材料是绝缘的主要组成部分, 应有较长的寿命、较高的适用温度或较好的过载能力。承受较高热负载的片状绝缘材料, 已供应很久。这些材料可以在现有的或新制的自动化设备上加工或改制。目前, 只是简单地改换绝缘材料将导致电动机价格升高, 只有充分利用 F 级绝缘材料的允许温度, 从而缩减有效材料, 才能补偿价格的升高。为着作精确的试验研究, 选出了一个适当的产品型号。在试验研究过程中, 对电动机进行全部试验时选用了下述运行条件:

表 1 E 级和 F 级绝缘电动机材料价格比较表

E 级 绝 缘			F 级 绝 缘		
材 料	数 量	价 格 (马克)①	材 料	数 量	价 格 (马克)
槽绝缘	17克	0.19	槽绝缘	14克	0.62
P/E 薄膜, 0.18			Nomex414, 0.21		
层间绝缘			层间绝缘		
P/E 薄膜, 0.25	11克	0.11	Nomex410, 0.25	8 克	0.35
槽 盖			槽 盖		
P/E 薄膜, 0.35	13克	0.14	Nomex410, 0.30	8 克	0.35
漆包线			漆包线		
PVF	1.46 千克	11.96	聚酯亚胺	1.24 千克	10.00
硅钢片	13.06 千克	10.45	硅钢片	11.36 千克	9.09
浸渍树脂			浸渍树脂		
聚 酯	100克	0.41	改性聚酯	95克	0.40
绝缘套管			绝缘套管		
PVC	50 厘米	0.04	玻璃/Acryl	50 厘米	0.06
绑扎带	16.5 米	0.06	绑扎带	16.5 米	0.06
接线用编织线	0.6 米	0.06	接线用编织线	0.6 米	0.16
			Nomex/聚酯编织		
			Acryl-树脂		
总 价		23.42			21.09

① 1 马克折合人民币约 0.75 元。