

屏蔽层一般都采用很薄的铜皮。在变压器初级绕组绕完之后，垫上一层绝缘纸，包上一层铜皮，铜皮外再包上一层绝缘纸，然后再把次级线圈绕上去。在铜皮上要事先焊上引线，和一般线圈引线一样引出来（见图3·9）。

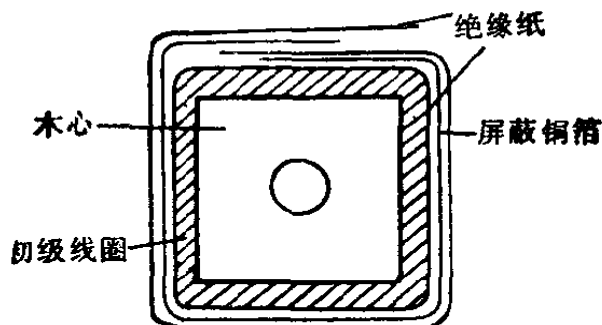


图 3·9

加屏蔽层要注意的是铜皮首尾不能接触。虽然铜皮很薄（例如0.02—0.03毫米），但是面积大，头尾相接将产生很大的短路电流，烧坏变压器。

如果一时搞不到铜皮，也可以用香烟盒里的锡纸，坏纸介电容中的锡箔等等代替。不过引线无法焊接，只能压在锡箔中用下一层线圈压紧。压在锡箔中的引线头要弯一个180°的弯，否则绕好变压器后引线很易抽掉。

假若手头上没有这些材料，也可以用细导线在初级线圈外边绕上一层线圈，一端引出来，另一端就空在层间不接。不过这种方法效果不如前者。

屏蔽层引出的导线一般都应接地，如果变压器是装在金属底盘上，很多是把引线就夹在铁心当中。

附带说明一点，在有些高精度或高增益的电子设备里，电源变压器有多层屏蔽，并且屏蔽层的引线按不同工艺要求，连接法也不同。如遇到重绕这些变压器时，要随拆随记它的结构特点，绕成后按原样连接，以保证原来的工作质量。

## 六、经常遇到的几个特殊问题

(1) 接线：绕细线时很容易断线，需要重接，绕粗线时也常有需要接线的时候。接线时要先仔细刮掉两线头的漆皮（10毫米左右），然后镀锡，再摆好相互搭焊。焊好后，把接线的焊头包上一段纸片就可以继续绕下去。最好把接头都掌握在有引出线的那一侧面。

假若搭焊掌握不好，可以绕接后再焊，但是接头部分必须放在有引出线的一侧面（或对面一侧），且占导线直径三倍的空间。

(2) 破皮：遇漆包线破皮要在破皮部位压上一层纸，使破皮处左右绝缘。绝缘要求只是线圈一圈的电压差，所以可以用很薄的纸，不影响排线整齐。

(3) 多线并绕：遇到没有合适线径的导线，可以计算一下用两根或多根并绕。双线并绕最好两线线径相同，至少要非常相近，除非铁心窗口有足够余量，否则要浪费很多的空间。在不得已的情况下，两股或多股不同线径的线可以各绕一个绕组，绕好后再并接使用。但要注意各绕组的位置应对称，数要保持一致，并把较粗的一组绕在里层。当然这种方法效果不很好。

## 七、使用绕线机绕线

使用绕线机绕线，要先把绕线机固定在工作台上，然后把线框和带有中心孔的木心套在绕线机转轴上，上好夹紧螺母，并注意个位计数盘和百位计数盘都要先调到零。一般绕线机手柄转一圈，线圈转四圈，在绕粗线时不易绕紧，可把手柄卸下来直接装在机轴上，转一圈绕一圈，虽然速度慢了但是绕线的拉力却强了。

绕线时要注意计数盘，百位计数盘每小格就是100圈，很容

易看错，特别是齿轮松动已经磨损的绕线机更要注意。

为了计数准确，夹紧螺母一定要旋紧，在整个绕制过程中不能松脱而使绕线机有空转现象。一旦遇有断线也不要急于接线而忽略了圈数，往往这时线圈松散，要根据情况估计好圈数后再处理断头。

### 八、检验

变压器线包绕好后要进行检验，以免装上铁心以后有问题再返工。要检验的内容有线圈的通断、圈数、绝缘和线间短路等等。

在没有专用仪器的情况下，检验圈数很困难，只有绕制时多注意计数，待装好变压器后再测量电压。检验通断比较容易，用万用表电阻档就能测量。对一些断头较多，或使用旧线的线圈最好一边测一边轻轻敲打，给它一些振动看是否可靠。各线圈之间要有很好的绝缘性能，如果没有专用仪器，可按图3·10所示的简单电路进行测量。测量时万能表置于500伏直流电压档，两测量端短路电表约指300多伏。用这两端去测量两线圈间的绝缘电阻表针应不摆动或稍有摆动。如果表针有指数，

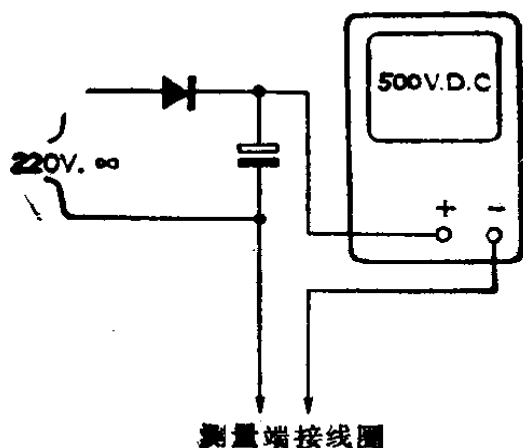


图 3·10

根据指出的电压数可以用下式计算一下大约的绝缘电阻值

$$R = \left( \frac{300}{V} - 1 \right) \times \frac{R_m}{2}$$

式中  $R_m$ : 万能表内阻 ( $\Omega/V$ )

$V$ : 万能表电压读数 ( $V$ )

$R$ : 绝缘电阻 ( $k\Omega$ )

由于线圈没有经过绝缘处理, 这时测出的线圈间绝缘电阻, 一般不会很高。但有两种情况要注意: 一种是表针读数逐渐上升, 甚至测量时间稍长就出现突然上摆, 这都是耐压不足的击穿现象。再一种情况是读数太大, 计算后绝缘电阻只有几兆欧或几百千欧, 这样差的绝缘, 经处理后也不可靠, 应该检查原因给予解决。

检查匝间短路需要有专用设备。绕制时使用旧线较多的线圈, 检验匝间短路更为必要, 没有条件时可以按图3·11所示电路自制简单设备。

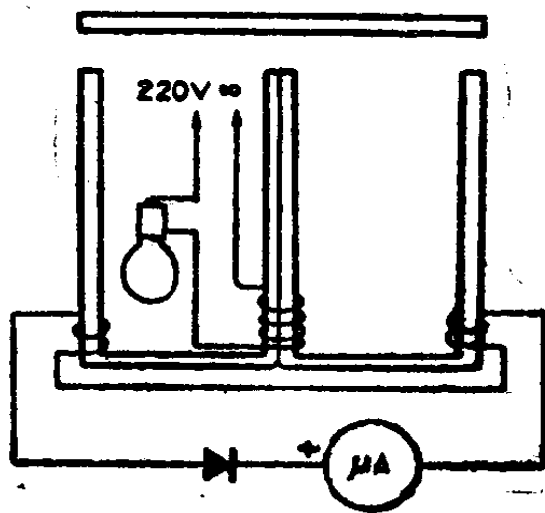


图 3·11

用两条扁铁条, 例如  $5 \times 20\text{cm}$  的扁铁, 弯成两个U形, 并排成“山”字, 在中间的双层扁铁上绕200至300圈的线圈, 两

侧的扁铁上也各绕100至200圈，并反方向串接起来，再用一条扁铁平放在“山”字头上。把二极管和微安表（可用万能表弱电流档）按图接好，在中间线圈上加上6伏左右的交流电压，或串接一只220伏60至100瓦的灯泡接在220伏交流电源上，这时微安表应无读数。把变压器线包套在左右两侧的任一扁铁上，如微安表有读数或反转都说明有线圈短路。

这个简单设备的工作原理是利用中间线圈通电后使铁片产生的磁通通过两侧线圈产生电压，两线圈反接电压差等于零，微安表无指示。一旦在两侧任一柱上套一短路线圈，这线圈中的短路电流破坏了两侧磁通的平衡，也就使电压差不等于零，微安表就有了读数。

具体制作时往往出现不套线圈也有读数或套不套线圈读数都不变等现象。这是在制作上或材料上没有满足完全平衡的条件。可以适当增减某一侧的线圈使读数最小。再用一个短接的线圈套上，试验一下表针的变化。如果制作得合适不加上面的铁片就能测试。

铁片截面过小时要增加中间线圈圈数。若用220伏交流电，线圈发热，应换接小瓦数灯泡或换粗线绕中间线圈。

## 第四节 变压器的装配与浸渍处理

绕好了线包已经完成了变压器制作的大部分工作。而铁心的装配和处理也是不可轻视的工序，如果稍不小心将会影响变压器的质量，甚至功亏一篑，把绕好的线包搞坏。

### 一、装铁心

变压器的电磁感应作用主要是借助于磁力线回路，磁回路

是否畅通无阻，关系着变压器效率的高低。装铁心就是给变压器提供良好的闭合磁路。硅钢片或C型铁心都是事先早已加工成形的成品，装铁心时就要注意在拼接处不要有空隙。E型硅钢片和三角型硅钢片有三个磁路接口，心式铁心和CD型铁心有二个磁路接口，还有些用两种剪切尺寸的硅钢片拼凑的心式铁心（图3·12）和ED型铁心都有四个接缝处。装铁心时在这些地方不能有油漆、蜡屑或其他污物而使磁路闭合不严，增加

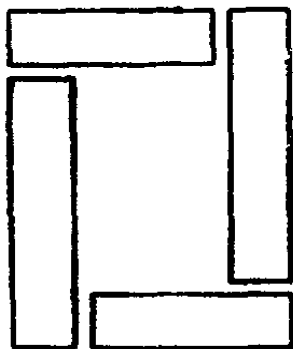


图 3·12

磁回路的磁阻，或造成漏磁现象。功率较小的电源变压器在浸渍处理时往往连同铁心一起浸渍，希望接缝处最好密合到不被浸渍溶液渗入的程度。

装铁心时还要注意的是不要划破线包绝缘层，包括最外层和铁心心柱部分的线包内侧。在线包绕得比较大，硅钢片窗口紧张，或者线包框架做得比较薄的情况下更要小心。

### 1. 插片式铁心

为了弥补接缝处可能有的漏磁现象，插片式铁心都方向交替地叠累，使接缝两侧紧靠的都是整片硅钢片。当装入E型铁心时，首先从线包一侧插入E型片，再从对侧插入I型片，下一次从对侧先插E型片而从这一侧插入I型片，这样反复地一直插到要求的叠厚尺寸。为了方便，插片时可以一次插二、三片。体积很小的变压器插入片数不多，最好一次只插一片。但

不论一次插几片，E型片和I型片都必须对应相等。

具体操作时往往是交替地由两侧先插进E型片，最后在相反方向插入I型片。当插片至将近插满时，线框中空隙已很小，已插入的硅片又都是松散状态，很不容易再把应插的其余硅钢片插入并插得很紧。这时可以把已插好的任意两片相同方向的E型片，从片间撬开一点缝隙，将一片待插的E型片挤进缝隙，轻轻地以木棒敲进。可以用这种方法连续在不同部位插完全部应插的硅钢片。

为了使用这种中间夹片的插片法，开始插片时就可以有意识地在铁心中间位置安排好几组两片方向相同的E型硅钢片，以备最后插片使用。

应当注意的是在敲进夹片时，必须保持夹片的垂直以及两侧与已插好的硅钢片对齐。假若偏斜插入，硅钢片的舌片可能会划破线框内侧的绝缘层，严重时可能会切断线圈。

在翻修旧电源变压器时，可能还会遇到三角形的硅钢片。插这类铁心时要同时对插，不能先插某一侧，并注意斜口方向要每层交替变换。中心舌片上下层之间容易交替，插片时应注意。这类铁心也能用中间夹片的方法插紧。

如果线圈框架制作得过于宽裕，全部铁心片插完还有空隙或铁心还很松动，应该再设法插入一些充填用的胶木片等耐热的绝缘物质。

翻修或制作剪切硅钢片心式变压器时，装铁心前要把应装入线包的硅钢片上下错开一个硅钢片宽度叠至要求的尺寸，设法夹紧后捆上布条或厚纸条（如图3·13），这样制作两个，然后分别装入两个线包，再把上下的横片逐片或左或右地插进两个装好线包的铁心上。最后再用木棒敲打整齐。

## 2. C型铁心

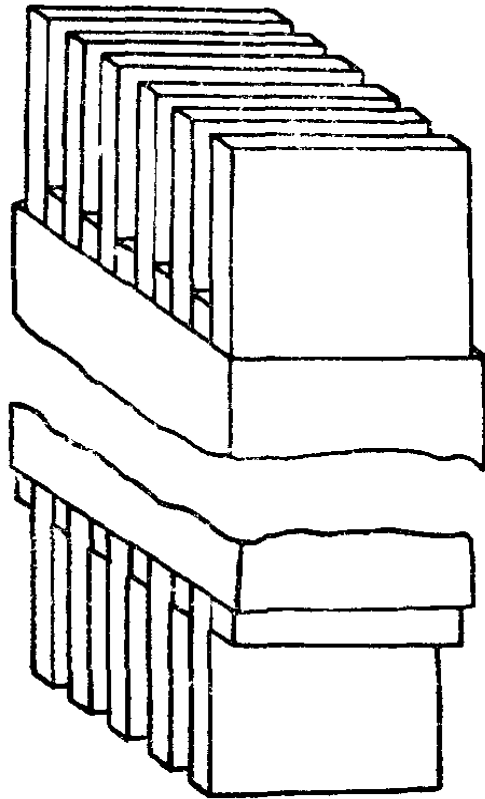


图 3·13

C型铁心的硅钢片都已粘合在一起，形成了两块(CD型)或四块(ED型)“C”字形的铁块，装配的关键是要求铁心的密合。C型铁心是用硅钢带卷起来再从中切断的，原则上要使用切开时成对的两块进行装配，以避免接缝处不能密合。组装时先要把接口处清理干净，检查一下对接后接缝处有没有空隙。组装后要用一片钢质的长带穿过线包把两块(CD型)或直接把四块(ED型)C型铁心紧紧的捆在一起。成批生产的变压器都用专用的工具捆紧钢带，再把钢带两端互相折叠扣紧。偶尔绕制一个或对成品修理重绕时，收紧钢带就成为不好解决的问题。在很多情况下，可以把钢带的长度适当截短少许，两端各打一孔，把打孔部分各向上折90°角，穿入长螺钉套上螺帽旋紧。虽然外表不如成品整齐，但应用效果却是一样的。



## 二、装紧固架

给变压器装上紧固架可以把插在线包里的硅钢片夹紧，使它在通电后不因磁场的变化而振动。硅钢片振动的变压器会发出嗡嗡的噪声，同时空载电流增大，使得变压器在满负荷使用时温度升高，甚至烧坏。紧固架的另一作用是便于把变压器装入使用的设备。

紧固变压器的方法很多，体积较小的小功率电源变压器最好不采用在硅钢片四角打孔再用螺钉夹紧的方法。因为在冲孔的部位磁力线被割断，其周围的磁通密度增加，会使铁心增加损耗。一般小功率变压器在浸渍处理时都连同铁心一起处理，烘干后铁心已粘为一体，不存在松动现象，紧固架只作为装机的支撑架，一般用护罩式或紧固架式。

护罩是用厚0.5~1.0毫米的铁片做成，如图3·14所示。铁片按虚线折转再包在变压器上，有关尺寸根据变压器大小决定。装好后要卡紧。

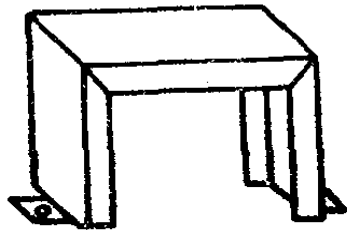
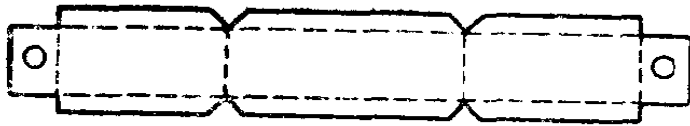


图 3·14

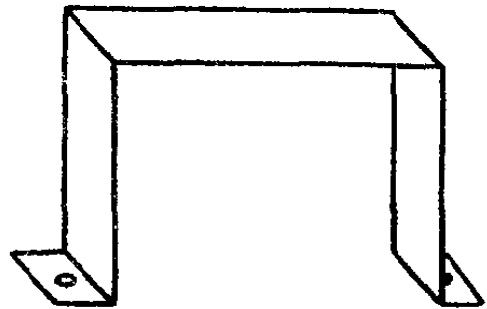


图 3·15

紧固架是以1.0厘米左右宽的铁片长条做成，用它在变压器两侧夹紧，以便能装在使用设备的底板上（如图3·15）。

较大功率（例如200瓦以上）的电源变压器，体积较大，可以用硅片四角冲孔的方法紧固。穿过四个孔的螺钉最好加上套管，两端加上绝缘垫片不使铁钉接触硅钢片。这样可以避免有不必要的涡流产生。

### 三、浸渍处理

变压器装好经过简单测试无误后，就可以进行浸渍处理了。

过去有些变压器包括工业生产的变压器都不做防潮处理。经过长时间的使用证明，不经浸渍处理的线包是不能耐久的。常见的故障是导线发霉，长绿绣，以至霉断。再有的现象是绝缘强度降低，漏电加剧。随着工业的发展，浸渍溶液的不断改进，浸渍后的变压器寿命可以大大提高。

浸渍的作用首先是增加防潮性能，提高绝缘强度。变压器中使用的绝缘材料大部分是纸张，纸张能吸收空气中的潮气，于是绝缘材料就有了漏电的可能。当变压器长时间地通电后，由于漏电流的存在；使铜导线和漏电层之间产生了近似电解的作用，逐渐地腐蚀铜线，这种现象恶性循环地发展下去，会把铜线腐蚀断。经过良好的浸渍处理后，浸渍溶液渗透到线圈间缝隙和纸张纤维里，避免外界环境中的潮气甚至更严重的沿海盐雾或其他带腐蚀性的气体侵入。在正常状态下使用这样的变压器，其寿命是很长的。

浸渍处理的另一个作用是加固线包的机械强度。经过良好的浸渍并烘干的变压器，其内部线圈都粘合在一起，不会因外加的各种震动冲击而移动脱落。如果有设备条件，或变压器体积不大，最好连同铁心一起浸渍，这不仅增加了线包和铁心间的绝缘效果，也使硅钢片之间互相粘合，在使用中不致产生噪

声。另外，由于经浸渍又烘干后的变压器已成为一个整体，其散热性能远超过不加处理的变压器。

### 1. 浸渍溶液的准备

第一章表1·2列出了几种常用的绝缘漆，而在实际应用中还有很多其他的种类，如果变压器的工作电压不高，也可考虑使用其他代用的材料。从一些老资料中可以发现，过去曾使用过凡立水、蜡克漆、松节油、虫胶酒精溶液（漆片）、石蜡、变压器油等等材料，现在看来都各有长短。如果当前找不到要求的绝缘漆，只要变压器工作时温升不高，不妨使用融化的石蜡，或者试用木工使用的酚醛清漆和醇酸清漆。

### 2. 烘干

偶尔绕制一个变压器时，往往容易忽略烘干这一个工序。通常在浸渍前要先烘干线包绝缘材料中的潮气，浸渍后再烘干绝缘漆。

如果一个线包潮气未干就浸进绝缘漆，它的效果反而不好。必须先把线包放在85℃左右的干燥空气中烘烤4—5小时，较大的线包还要时间长些。烘干需要烘箱，如果不具备条件，可以根据变压器大小，找一个适当的木箱把变压器挂在中央，四周装几个大瓦数灯泡，用白炽灯的温度去烘干线包。如能有小电炉当然更好，不过要注意不能把线包烤焦。

浸漆后的变压器应该再次烘干。正规的工艺要求是先用较低温度烘一段时间再用较高温度烘一定时间。这样可避免由于线包外皮先被高温烘成硬皮而影响线包内部的干燥。在条件不具备的情况下可以用同一种温度烘烤，时间加长些，一般5—6小时。具体的时间还要根据浸液的性质和变压器大小来决定。

浸漆后的变压器要滴漆后再烘烤，若使用电炉应注意安

全。

浸蜡后的变压器不需要再烘干，冷却后就能使用。

### 3. 浸渍

已烘干的变压器或线包最好还未冷却就浸入浸渍溶液里，以免潮气浸入，并且热的线包也容易被渗透。

#### (1) 浸漆

为了使绝缘漆稀一些，可以先对它稍稍地加一点温度，这样已加热烘干的变压器或线包浸入时也可不至骤然冷却。变压器要全部浸没在漆里，这时会看见有不少气泡从变压器中冒出，这是绝缘漆渗入线包挤出了其中的空气。使绝缘漆保持着一定温度，并不断摆动被浸没的变压器或线包，直到没有气泡再继续冒出，几十瓦的变压器至少需要半小时。不冒泡后再浸十几分钟才能取出滴干余漆去烘干。

大批生产的变压器都用真空浸漆，以求绝缘漆渗得更深更透。浸渍处理个别变压器只能靠加长浸泡时间和不断晃动来争取浸透。

曾有人把盛有浸泡着变压器的绝缘漆的小铁桶放进做饭的高压锅里，加盖后用不回气的自行车气筒从锅盖气孔向锅内打气，使锅内气压增高（实际上不会很高），打一阵后开锅一次，然后再打。每次开锅特别是开始几次开锅能看见很多气泡冒出。往复几次后效果比只简单浸泡好。

#### (2) 浸蜡

这是很简单的浸渍处理，如果所绕变压器使用一段时间还有重绕的可能，最好采用浸蜡处理，因为它不会损伤漆包线，也容易拆卸。

各种石蜡的熔点有所不同，硬度也不一样，使用时可以根据需要加入一些混合物。如果要求硬度强一些可以加入些松

香，例如用于浸渍线框。如果希望浓度稀可以加入一些凡士林。

把准备好的蜡先完全融化，再把烘干仍带有温度的变压器放入融蜡中，这时会有很多气泡冒出来，保持温度再不断翻动变压器，直到没有气泡逸出，再泡几分钟就可提出凉干冷却使用。

要注意的是不要把线包煎糊。

## 第四章 几种特殊电源变压器的设计

### 第一节 自耦变压器

自耦变压器和普通电源变压器比较起来有很多优点，可是由于它的次级不能和供电电网隔离，在很大程度上限制了其使用。长期以来它一般只用于电压调节或在实验室中使用。

与普通相同功率的电源变压器比较，自耦变压器使用的材料，包括铜线、铁心和绝缘材料等都比较少，因而成本低价格便宜。在采用相同的硅钢片和相同的磁通密度条件下，自耦变压器的磁化电流较小，损耗较低，因而效率高。特别在初级和次级电压相差不很大时这些优点越为明显。

普通电源变压器至少有初级和次级两个线圈，次级线圈通过电磁感应才有电压输出。而自耦变压器只有一个线圈，在输出和输入之间不仅有电磁感应的耦合还直接有电的联系。负载上的很大一部分功率直接取于电源，所以变压器的功率可以减少很多。

例如现在需要有242伏 1 安的交流电来供给某一设备，而供电电压只有220伏。如果使用普通电源变压器，并假设其效率为10%，则需要242瓦的功率。

现在绕制一个初级220伏次级22伏电流 1 安的22瓦普通电源变压器(见图4·1(a))。然后把初次级串接起来(图4·1(b))，这就等于把变压器的次级电压22伏又串联在供电电源220伏上，形成自耦变压器。可以认为供给负载的电压有220伏取自电源，有

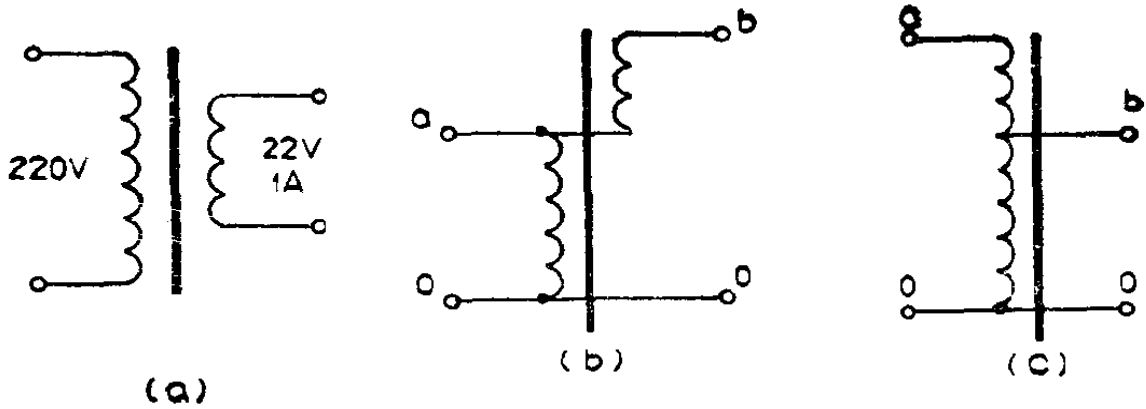


图 4·1

22伏取自变压器次级。串接后供电电流有1安供给负载，另有0.1安供变压器在次级感应出22瓦电功率。变压器的使用功率是 $242V \times 1A = 242W$ ，比不串接前增加了十倍。

应要注意的是变压器的使用功率增加了十倍，但不等于取自供电电源的功率有所节约。例中变压器初级线圈中只有0.1安的电流动，但是还有1安的电流动过次级线圈，由于供电电源与次级线圈和负载连接则全部供电电流共为1.1安，消耗的电功率仍为 $220 \times 1.1 = 242$ （瓦）。

由上面的举例可以看到，同样标称功率的自耦变压器的体积、重量和功率损耗都要比普通电源变压器小得多。但是由于自耦变压器初次级电路直接连接，在使用中接地不便，因而影响了它的广泛使用。

### 一、自耦变压器的设计

设计普通电源变压器时，它的结构尺寸取决于标称功率，而自耦变压器的结构尺寸主要决定于它的传递功率 $P_t$ 。在计算其它数据前先决定传递功率是很必要的。

对于降压自耦变压器（图4·1（c））

$$P_t = (1 - x) \cdot P_2 \quad (4-1)$$

式中  $x$  —— 自耦变压器转换系数,  $x = \frac{u_2}{u_1}$ 。

升压自耦变压器 (图4·1 (b) )

$$P_t = \left(1 - \frac{1}{x}\right) \cdot P_2 \quad (4-2)$$

由以上两式可以看出, 自耦变压器的转换系数  $x$  越接近于 1, 也就是输出电压越接近于输入电压, 自耦变压器的传递功率越小。

在设计自耦变压器时传递功率  $P_t$  相当于普通电源变压器的标称功率  $P_0$ 。一般仍把输入端接连的那部分线圈作为初级线圈, 见图4·1 (b) 和 (c) 中的  $ao$  段线圈, 而输出接负载的那部分线圈作为次级线圈, 见图4·1 (b) 和 (c) 中的  $bo$  段。由图中可以发现, 不论升压变压器或降压变压器都有初次级共用的一段线圈, 如图4·1 (b) 中的  $ao$  段和图4·1 (c) 中的  $bo$  段, 和共用线圈接连的还有一段串接线圈, 如图4·1 (b) 中的  $ba$  段和图4·1 (c) 中的  $ab$  段。

设计计算时可以分别计算初级电流和次级电流, 初次级的共用部分线段中, 由于初级电流和次级电流方向相反, 可按两者的差来计算其电流。其余算法和普通电源变压器一样。

## 二、设计举例

有一设备需要250伏100瓦的供电, 而电网电压只有220伏, 设计一个自耦变压器。

(1) 先按 (4-2) 式计算传递功率

$$P_t = \left(1 - \frac{1}{\frac{250}{220}}\right) \times 100 = 12(\text{W})$$



设磁钢片磁通密度  $B = 12500\text{T}$ , 电流密度  $j = 2.5\text{A}/\text{mm}^2$ , 变压器效率忽略不计。

(2) 按 (2-4) 式计算铁心尺寸

$$S_0 S_c = \frac{(P_1 + P_2) \times 10^6}{4.44f \cdot B \cdot j \cdot km}$$

考虑  $P_1 = P_0$ , 而  $P_0 = \frac{P_1 + P_2}{2}$  (式2-6)

$$\begin{aligned} \therefore S_0 S_c &= \frac{12 \times 2 \times 10^6}{4.44 \times 50 \times 12500 \times 2.5 \times 0.25} \\ &= 13.8(\text{cm}^4) \end{aligned}$$

选用GE—16型铁心, 舌宽16mm, 窗口面积 $2.8\text{cm}^2$ 。计算叠厚31mm, 取32mm。心柱截面 $5.12\text{cm}^2$ , 应做线框内径为 $16 \times 32 \times 28\text{mm}$ 。

(3) 按 (2-9) 式计算圈数

自耦变压器线圈的压降较小, 取3%, 并且升压变压器次级圈压降只算ab段 (图4.1 (b))。

$$\text{初级圈数 } N_1 = \frac{45 \times 220}{5.12 \times 1.25} \times 0.97 = 1500(\text{圈}) \text{ (ao段)}$$

$$\text{次级圈数 } N_2 = \frac{45 \times 250}{5.12 \times 1.25} = 1758(\text{圈}) \text{ (bo段)}$$

$$\text{ba段圈数为 } (1758 - 1500) \times 1.03 = 266(\text{圈})$$

(4) 按 (2-8) 式计算线径

$$\text{先计算次级电流 } I_2 = \frac{P_2}{u_2} = \frac{100}{250} = 0.4(\text{A})$$

$$\text{初级电流 } I_1 = \frac{P_1}{u_1} \times 1.05 = 0.48(\text{A})$$

初级线圈ao段为初级次级共用, 通过的电流是两者之差即  $I'_1 = I_1 - I_2 = 0.48 - 0.4 = 0.08(\text{A})$

∴ a<sub>o</sub>段线径为  $0.7\sqrt{0.08} = 0.2$  (mm)

ba段线径为  $0.7\sqrt{0.4} = 0.45$  (mm)

### (5) 验算

线框高度  $h = 28\text{mm}$ , 取  $28 \times 0.9 = 25$  (mm)

a<sub>o</sub>段每层圈数  $Q_{a_o} = \frac{25}{0.2} = 125$

需要层数  $Z_{a_o} = \frac{1500}{125} = 12$

层间用0.05mm厚绝缘纸

a<sub>o</sub>段厚度  $M_{a_o} = 12 \times (0.2 + 0.05) = 3$  (mm)

ba段每层圈数  $Q_{b_a} = \frac{25}{0.45} = 55.6 \approx 55$

需要层数  $Z_{b_a} = \frac{266}{55} = 4.8 \approx 5$

ba段厚度  $M_{b_a} = 5 \times (0.45 + 0.05) \approx 3$  (mm)

取框架厚度和与铁心的间隙  $M_0 = 2\text{mm}$ , 则

$$\begin{aligned} \text{总厚度 } M_t &= M_{a_o} + M_{b_a} + M_0 \\ &= 3.0 + 3 + 2 = 8.0 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

铁心窗口厚度为10mm, 能容得下。

## 三、调压变压器

调压用自耦变压器是当前使用得比较广泛的设备, 由于它的输出电压连续可调, 所以在电压有变化或者需要不断变换电压的场合应用很广。

调压变压器的结构相当于一个有活动抽头的自耦变压器, 原理图见图4·2。它是使用一适当宽度的硅钢片卷成一定厚度的圆筒, 再把漆包线沿内外筒壁逐圈排在圆筒上而绕制成的。

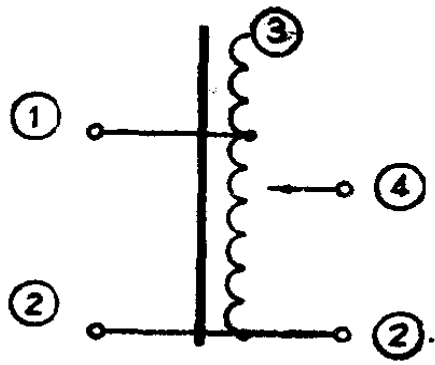


图 4·2

筒壁的厚和高由线圈所需铁心的截面积决定。在圆筒式铁心的一个端面上绕制前先垫上一层平整的绝缘材料，以便线圈绕好后有一个端面表面很平。用粘合强度高的绝缘材料，如环氧树脂等等，把线圈粘牢后，再把这一端面的漆包线漆皮平整地磨去，露出铜线。这样，用一只碳刷在铜线上滑动就可以引出一个连续变化的输出电压。示意图见图4·3。

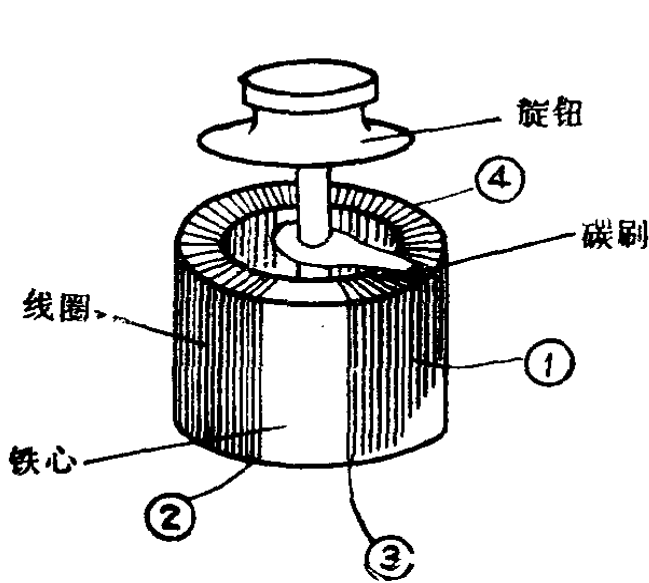


图 4·3

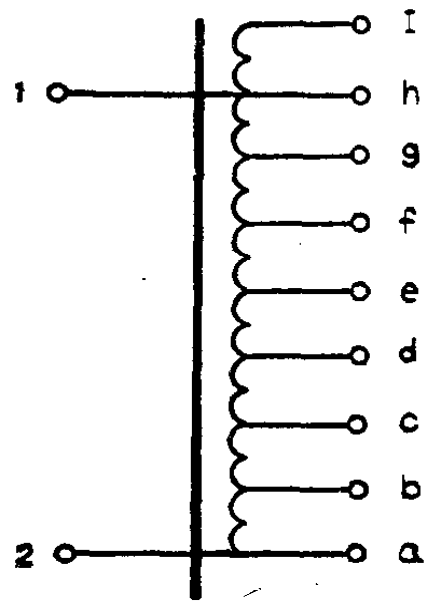


图 4·4

设计这种变压器时，因为它输出的电压连续可调，前面所讲的计算方法都不能使用了。可先假设连续可调电压有若干段，如图4·4所示，从1、2两端输入电压，由ad输出，形成

一个降压自耦变压器。不难看出1、2是初级线圈，ad段是次级线圈。在自耦变压器里总是有一段初次级共用的线段，如ad段；还有一段和共用线圈串接的线段，如dh线段。在降压式变压器里串接线圈接在初级里，因此串接线圈电流 $I_s$ 等于初级电流 $I_1$ 。在升压变压器里串接线圈接在次级线圈中，因此在串接线圈中的电流 $I_s$ 等于次级电流 $I_2$ （参看图4·1(b)）。不论升压或降压的自耦变压器，其共用线圈里的电流 $I_p$ 不管初次级电流谁大谁小，永远等于两者之差。归纳起来：

升压变压器：

$$I_s = I_2$$

降压变压器：

$$I_s = I_1$$

不论升压或降压：

$$|I_p| = I_1 - I_2$$

在图4·4中有很多线段可以选用，其中除1、2为初级线圈外，只有ab段永远是共用线圈，hI段永远是串接线圈，其余各段都有可能做串接线圈也可能做共用线圈。只要改变输出的接头，不但有的线段要改变串接或共用的性质，并且全部线段的电流都要引起变化。这种变压器是允许任意选用接点的，必须让变压器适应各种可能的情况，这就给设计工作带来了麻烦。

设计计算主要是先决定它的传递功率 $P_t$ ，其它的数据可以按普通电源变压器的计算去进行。经过一些数学推算可以证明，当输出的最大电流决定以后，则可调变压器的传递功率可按每个线段可能的最大功率总和的一半来计算。对于滑动接点的变压器，可以认为是由无数个很短的线段组成。经推算后可得传递功率为

$$P_t = \frac{3}{8} I_m u_1$$

式中  $I_m$ ——次级输出的最大电流 (A)

决定 $P_t$ 以后其他参数都与普通电源变压器一样计算。因为滑动接点可以在任何位置，线径就必须按最大电流计算，线圈只用一种规格漆包线从头绕到尾。这种变压器的散热条件较好，电流密度尽可取得大一些，一般可取至 $j = 5 \text{ A/mm}^2$ 或 $j = 6 \text{ A/mm}^2$ 。

还应指出当用手工绕制或修复这类变压器时要相当地注意，因为在筒形铁心端面排线必须平整，而圆筒铁芯内径和外径周长不同，内径的排线会有重叠而外径每圈还稍有间隙。如果遇到一个调压变压器有部分线圈烧坏，可以小心的用相同线径的导线绕好，再把端面磨光，如果全部烧坏或重新设计制作，以手工绕制是非常困难的。

#### 四、调压变压器的非正规使用

当前国内生产的调压变压器的规格一般为输入220伏/110伏，输出0—250伏。但是在某些地方有时供电电压很低，按正常方法使用调压变压器调至最高输出，电压还不足220伏，不能满足一般设备使用。此时就涉及到调压变压器的非正规使用。

##### (1) 输出输入反接

在供电电压很低时，可以先把旋钮顺时针拧至最大，然后在原来0—250伏的输出端接上输入电压，把原来220伏的输入端作为输出接上负载。这时负载上获得的电压是供电电压的0.88倍。逆时针旋转调节旋钮，就可在负载上获得所需的更高的电压。

之所以能够这样使用，其道理由图4·2中不难看出。从输出端送入电压，在输入端接负载仍然可构成升压式的自耦变压器。由于绕制调压变压器的铜线线径都是按最大允许电流计算得到的，且线圈是用这同一种线径的铜线绕成的，所以输出、输入对换也无影响。所不同的只是原来输出端接滑动接点，现改为输入端接滑动接点，原来滑动点向上滑输出电压增高，反之降低。现在向上滑负载电压降低，向下滑负载电压升高。但是过分向下滑动会造成严重事故。所以使用这种接法的调压变压器时有几个问题一定注意到。

首先必须有电压表等电压监视设备，防止由于不慎而把旋钮扭动过多，烧坏变压器，也损坏使用设备。

其次，调整电压时必须非常缓慢，因为正常使用时输出电压的增减和旋钮的角度成线性关系，而反接以后旋钮的角度不再和输出电压增减保持正比，滑动点越滑到线圈下部，电压变化越大。

还有，不能使用这种办法把电源电压提高过多。要注意所用调压变压器规定的最大电流，不论整个线圈中的任何部分在串接或初次级共用时都不要达到电流极限，应保持一定余量。并且要有安全保护装置，例如安培数恰当的熔丝（保险丝）等，以防一旦供电电源恢复正常时因电压过高烧坏设备。

## （2）调压变压器串用

在条件许可的情况下，遇到供电很低时，可以把两台调压变压器串起来使用。就是把第一台的输出接在第二台的输入，再由第二台的输出接负载。这种作法比前一种安全得多，但是每台变压器升压不多，大约是14%，两台串用也只30%。若供电电压低于170伏时，两台调压变压器串接输出也达不到220伏。

## 第二节 适应多种供电电压的变压器

由于各种原因往往需要电源变压器能接用不同的电源供电电压，例如电压长时间地偏高偏低，使用设备的环境范围里供电电压不同于供电标准等等。另外在一些进口的设备里，厂家为了争取国际市场，给变压器输入端设置了多种电压接头，在维修或重绕这种变压器时就需要多做些计算。

这种变压器的复杂接头只设置在初级一侧，次级接负载的功率没有变化，因此既要变换变压器的输入电压又要保持变压器的输出功率不变，就必须满足在初级线圈中每种电压对应的那一线段的电流各不相同，其线径也要有差别。图 4·5 的变压器线圈各线段的电流和应使用的线径如下表：

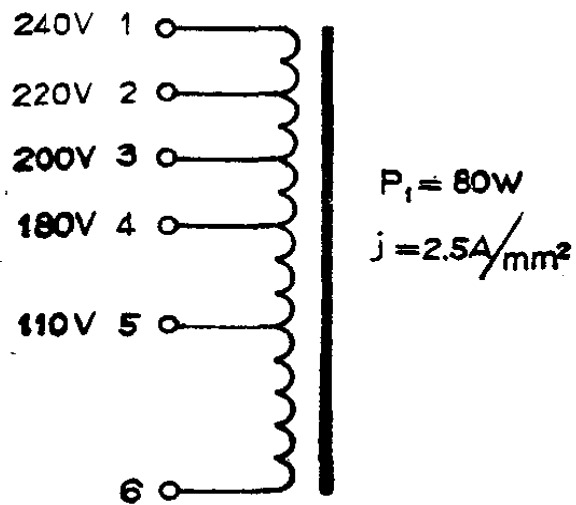


图 4·5

线 段	1 ~ 2	2 ~ 3	3 ~ 4	4 ~ 5	5 ~ 6
电 流 (A)	0.33	0.36	0.4	0.44	0.73
线 径 (mm)	0.4	0.42	0.44	0.46	0.6

绕线时可以用线径较粗的代替较细的，以求减少铜线的种类。甚至可用最粗线一直绕完，但要注意铁心窗口是否容纳得下。一些进口设备里的变压器多是使用为该产品而专门设计的铁心，余量很小，如果再加上重绕的绕制工艺问题，很可能造成线包过大。遇到这种情况时，如果可能，只须按使用变压器的环境电源电压绕制，而不必再设置多种电压接头。

在早期国产的电源变压器里有适合110伏和220伏电源的接头，它的初级线圈绕成两组，见图4.6。当使用220伏电源时把2、3端连接，电源接在1、4端上；当使用110伏时把1、2

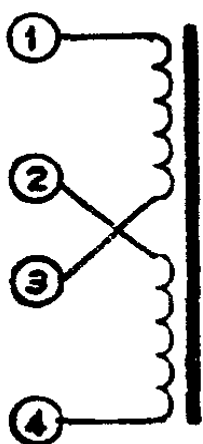


图 4.6

端连接，3、4端连接，然后分别接在电源上。这样安排既节约了铜线，也减少了线圈所占的空间。绕制这种线圈时应注意两组圈数应一样或相差很少，再有要注意绕线方向，不要弄错了接头。

### 第三节 次级线圈复合使用的变压器

有时为了简化电源变压器结构，可把电路中需要的各种不同电压绕组，复合起来绕成一个次级线圈，再用各种电路整流



出所需的不同电压，这样可以减少很多线圈绕组，简化绕制工艺。使用这种变压器的电路要有通盘的安排，不能因各种电压有公共端而影响电路的功能。不能使用公共端的电路部分仍需另绕线圈。

设计这种电源变压器要先把每个线段的电流电压分别计算，然后再把复合部分的电流叠加起来，以求出各线段的电流和圈数。绕制时按各线段的电流选用合适线径的漆包线。

例如，图4·7是一种小型示波器的电源变压器原理图，为了清楚，把它的整流部分也一并画了出来。

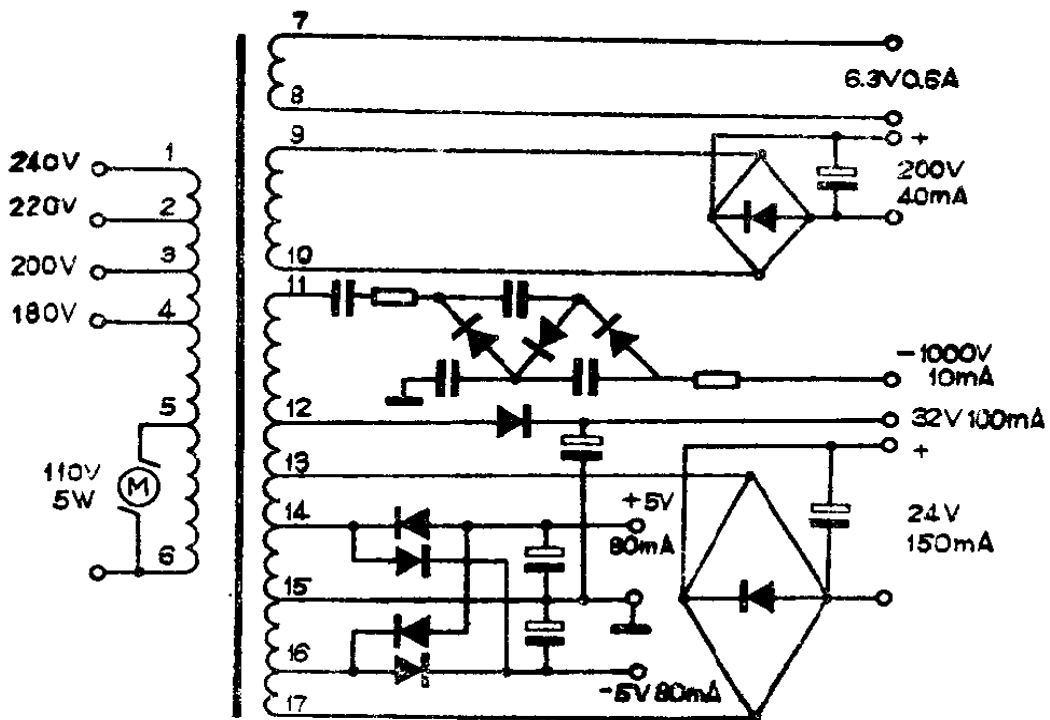


图 4·7

### (1) 计算功率

线圈线段	工作性质	功率(W)	注
7、8	纯阻	$6.3 \times 0.6 = 3.78$	
9、10	桥式整流容性负载	$(200 + 1.4) \times 0.06 = 12.1$	$I_{\sim} = 1.5I_0$
11、17	三次倍压容性负载	$300 \times 0.06 = 18$	$I_{\sim} = 6I_0$
12、17	半波整流容性负载	$(32 + 0.7) \times 0.2 = 6.54$	$I_{\sim} = 2I_0$
13、17	桥式整流容性负载	$(24 + 1.4) \times 0.225 = 5.7$	$I_{\sim} = 1.5I_0$
14、15、16	正、负全波整流容性负载	$(10 + 0.7) \times 0.09 = 0.94$	$I_{\sim} = 1.1I_0$
5、6	降压自耦	$(1 - 0.5) \times 5 = 2.5$	
	总功率	49.5	

取 $\eta = 85\%$ ,  $P_1 = 58.2 \approx 60(W)$

## (2) 计算各线段电流和线径

线圈线段	电流(A)	线径( $j = 2.5A/mm^2$ ) (mm)
1、2	$60/240 = 0.25$	0.35
2、3	$60/220 \approx 0.27$	0.37
3、4	$60/200 = 0.3$	0.38
4、5	$60/180 \approx 0.33$	0.40
5、6	$0.33 - 5/110 \approx 0.28$	0.37
7、8	0.6	0.54
9、10	0.06	0.18
11、12	0.06	0.17
12、13	$0.06 + 0.2 = 0.26$	0.36
13、14	$0.06 + 0.2 + 0.225 = 0.485$	0.49

续表

14,15	$0.06 + 0.2 + 0.22 + 0.09 = 0.57$	0.53
15,16	$0.09 + 0.225 = 0.315$	0.39
16,17	0.225	0.33

### (3) 各线段电压

线圈线段	1,2	2,3	3,4	4,5	5,6	7,8	9,10	11,12	12,13	13,14 16,17	14,15 15,16
电压(V)	20~	20~	20~	70~	110~	6.3~	201.4~	268~	7.3~	19~	5.7~

## 第四节 超小型电源变压器

在有些使用电池的电子设备中，有时希望接用一个由交流供电的接续器。这些设备一般耗电很少，功率很低，再加上要求接续器做得体积小美观，因而对电源变压器也提出了必须体积小的要求。另外，有些业余爱好者为了满足自己设计的需要，往往用音频变压器使用的小铁心来绕制电源变压器，这种小铁心的截面积小至一、二平方厘米，甚至更小。此时如果仍按前面有关章节介绍的方法来绕制就很不方便了。

在制作超小型电源变压器时，首先要考虑的是绝缘性能一定要可靠，以保证使用的安全。其次要考虑的是线包绕成后是否小铁芯窗口能容纳得下。通常可按以下步骤设计制作：

(1) 按前面介绍的方法计算功率、铁芯截面和线径。

(2) 初级线圈导线很细，绕线时不用逐圈排线，但要尽量绕平。也不用每层都垫绝缘纸，可以每绕一阶段后垫一层薄纸。如果漆包线可靠，并且估计窗口面积余量不大也可不垫纸。

因为层间不垫纸又不排线，制作线框时必须要在两端加上护板，见图4·8。护板还要坚硬一些，免得绕线绕得很厚时把护板挤弯。

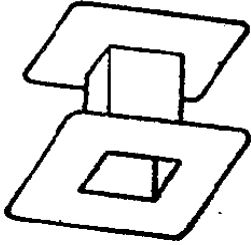


图 4·8

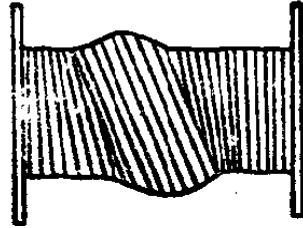


图 4·9

(3) 由于初级线圈圈数很多，线又很细，如果没有绕线机，用第三章的手绕方法要很耐心。最好不要像绕棉线球那样，缕着导线向线框里绕，那样每绕一圈铜线在轴向扭转一圈，并且也很容易绕成图4·9的形状，又难以绕平。这时最好想些其他代用的办法。例如把木心固定在手摇钻头上；固定在缝纫机头上；或者用方形带孔木心，把它穿在一个相当粗细的长棒上，再转动线框来绕线等等。

(4) 如遇断线，当然可以按前面介绍的搭焊方法焊接。因为线很细，也可以把应焊在一起的两线头擦干净，不必刮漆，扭在一起，用火柴烧热，使线头熔化成小圆珠而把两根线接在一起。操作时最好用钳子夹住，只留出少许要熔接部分，以免受热部分太长影响绝缘。初次熔接可能掌握不好，试两三次会成功的。

(5) 绕制小型电源变压器，计算圈数要考虑线圈电阻造成的电压降。特别是初级线圈，一般圈数都很多，铜线线径都很细，直流电阻也很大，所以比起正规计算所得的圈数可以少绕很多。表4-1列出了一些实验数据可供参考。表中所列数据

表4-1

铁心截面 cm <sup>2</sup>	1 以下	1~1.5	1.5~2.5	2.5~3
电压降	>35%	35~25%	25~20%	20~17%

是供电电压220伏，按正规方法计算出线径，考虑电压降初级线圈可少绕的百分数。

(6) 由于使用铁心质量的不同，表4-1中所列数据是有余量的，绕制后可以根据试验再把圈数作些增减。试验的方法可以测量满负荷工作后的温升（参考第五章）。

(7) 最后要指出，这类变压器的电压调整能力很差，负载大小要影响电压变化。只能应用于负载变化不大或者在电路上有特殊安排的场合。

## 第五章 电源变压器损耗的校核

前面几章介绍了小功率电源变压器的一些基本设计和绕制方法。这一章将介绍有关变压器损耗的估算。为了避免繁杂的计算，将给出几组数据曲线。

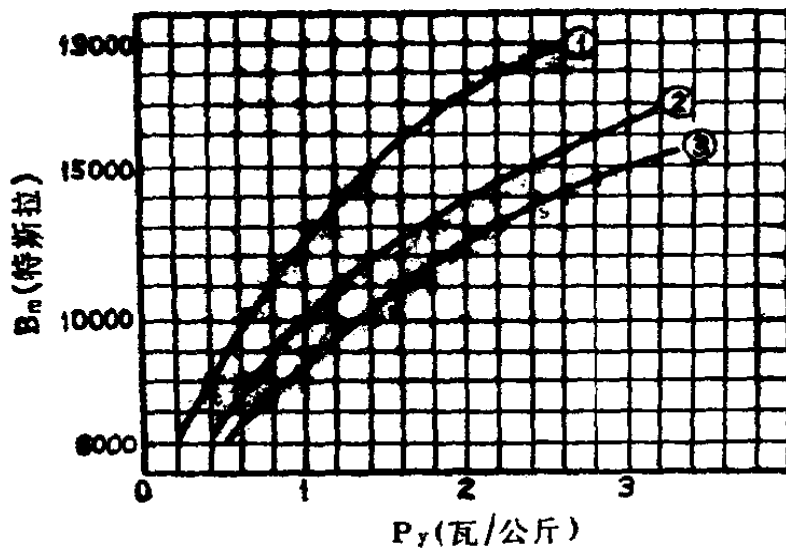
在设计过程中有关变压器损耗的参数数值都不是计算值而是经验数据，这些数据一般都有余量。特别是在已掌握了硅钢片的性能参数时，这些经验数据更不一定是最佳值。对变压器的损耗进行校核的目的就是印证一下所取的数据是否恰当，误差过大的还可以修正。这里介绍的方法是在已经完成了设计计算之后根据已得出的结果来核算的。如果在设计计算一开始就把校核中使用的各种条件都考虑进去当然也可以，但是这样会把简单的设计弄得繁杂得多。为使设计简便易行，一般常把这

步也可忽略不做的校核步骤单列出来。

## 第一节 变压器的铁损和磁化电流

### 一、片状铁心的损耗

变压器铁心的损耗，主要包括涡流损耗和磁滞损耗。计算方法可先从图5·1中按磁通密度查出每公斤铁心的损耗，再从



①—D310—0.35；

②—D42—0.35；

③—D41—0.35；

图 5·1

附录的标准铁心规格表中查出或估算出铁心重量，两数的乘积就是在负载状态下铁心的损耗功率。其计算公式为

$$P_I = G_I \cdot P_y \quad (5-1)$$

式中， $P_I$ ——铁心损耗功率 (W)

$G_I$ ——铁心重量 (kg)

$P_y$ ——每公斤铁心的损耗功率 (W/kg)

在空载时，铁心的损耗还要高些，计算方法是先计算出空

载时的磁通密度，用 $B_0$ 表示，公式为

$$B_0 = B(1 + m)$$

式中， $B_0$ ——空载时的磁通密度 (T)

$m$ ——设计计算时因线圈内阻而增加的电压百分比 (如 5%~10%)

求出 $B_0$ 后，再按 $B_0$ 的数值查图5·1曲线，得出新的 $P_{y0}$ ，计算空载时的铁心损耗功率 $P_{I0}$ ，

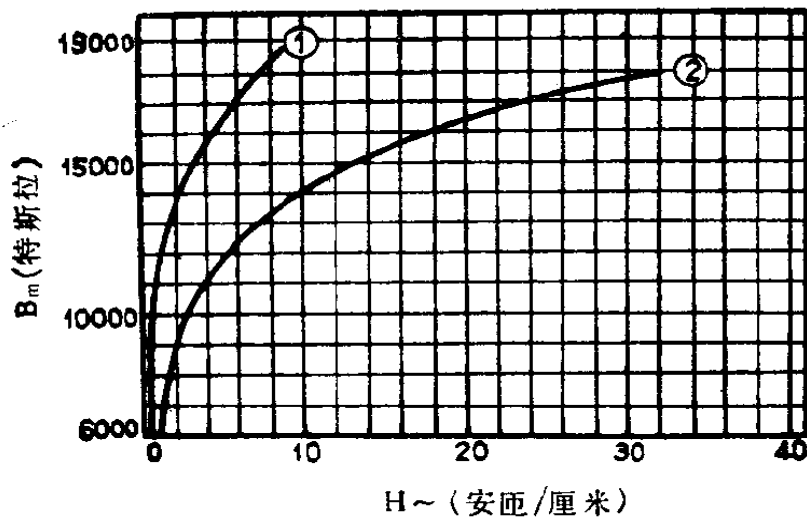
$$P_{I0} = G_I \cdot P_{y0}$$

## 二、片状铁心的磁化电流

变压器接通电源后，铁心的磁化电流在负载状态和空载状态也不一样。负载状态时的磁化电流用 $I_u$ 表示，公式为

$$I_u = \frac{H \cdot l_c}{\omega_1}$$

式中， $H$ ——磁场强度(A/cm)，在图5·2中按磁通密度对应



①—D310—0.35 (已热处理)

②—D41、D42—0.35(已热处理)

图 5·2

查得

$l_c$ ——铁心平均磁路长度(cm)，在附录标准铁心表中查得

$\omega_1$ ——变压器初级线圈圈数

空载时的 $I_0$ 和计算铁损时的方法一样，用空载时的磁通密度 $B_0$ 去查表，计算出

$$I_{u0} = \frac{H_0 \cdot l_c}{\omega_1}$$

式中， $H_0$ 是用 $B_0$ 在图5·2中查得的H值。

下面试校核第二章设计举例中例一的变压器铁心损耗。

例中所用硅钢片近似附表1中的GEB22型，估算铁心重量为1.1公斤。

空载时磁通密度 $B_0 = 10000 \times (1 + 0.05) = 10500(T)$

查图5·1可得：

在空载时， $D_{310}$ 硅钢片 $P_{y0}$ 为0.65（瓦/公斤），

$D_{41}$ 硅钢片 $P_{y0}$ 为1.44（瓦/公斤）

有负载时， $D_{310}$ 硅钢片 $P_y$ 为0.6（瓦/公斤）

$D_{41}$ 硅钢片 $P_y$ 为1.3（瓦/公斤）

使用 $D_{310}$ 硅钢片的空载铁损和负载铁损分别为：

$$P_{I0} = 0.65 \times 1.1 = 0.715(W)$$

$$P_I = 0.6 \times 1.1 = 0.66(W)$$

而使用 $D_{41}$ 硅钢片时，

$$P_{I0} = 1.44 \times 1.1 = 1.584(W)$$

$$P_I = 1.3 \times 1.1 = 1.43(W)$$

可见，选取磁通密度同为10000特斯拉时，由于硅钢片的质量不同铁损将有近一倍的差异。

查图5·2得到，



使用D<sub>310</sub>硅钢片时，H<sub>0</sub>约为0.6安匝/厘米

H约为0.55安匝/厘米

使用D<sub>42</sub>硅钢片时，H<sub>0</sub>约为2.8安匝/厘米

H约为2.6安匝/厘米

查附表1得到平均磁路长度为12.6厘米，则使用D<sub>310</sub>的磁化电流，

$$\text{空载时, } I_{u0} = \frac{0.6 \times 12.6}{1106} = 0.0068(\text{A})$$

$$\text{负载时, } I_u = \frac{0.55 \times 12.6}{1106} = 0.0063(\text{A})$$

使用D<sub>41</sub>的磁化电流，

$$\text{空载时, } I_{u0} = \frac{2.8 \times 12.6}{1106} = 0.0319(\text{A})$$

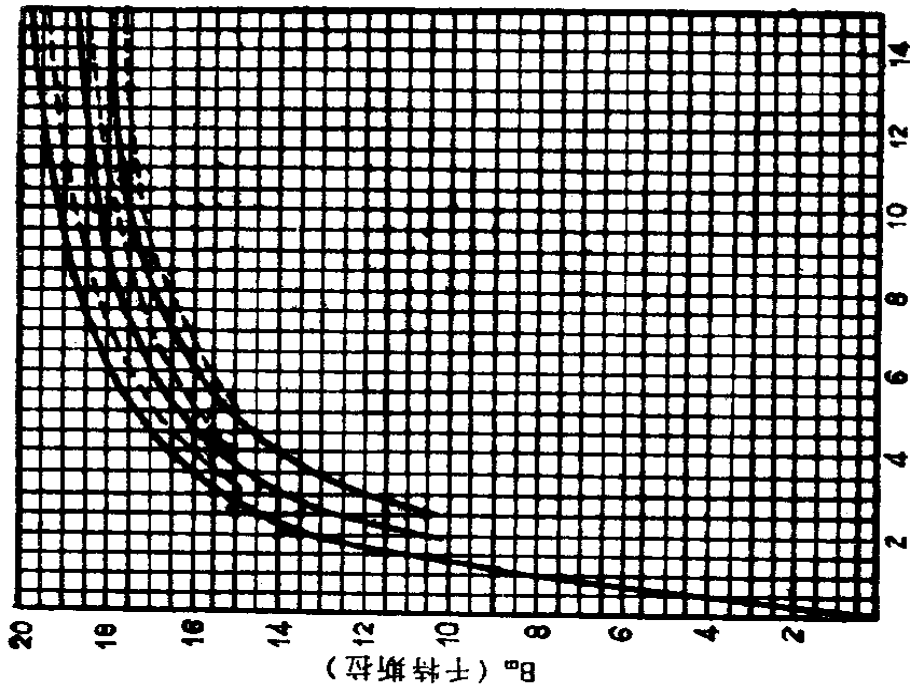
$$\text{负载时, } I_u = \frac{2.6 \times 12.6}{1106} = 0.0296(\text{A})$$

在第二章的举例一中P<sub>1</sub>为45.62瓦，计算其初级电流时按经验增加了5%到15%作为损耗补偿。这里把所增加的补偿电流作为磁化电流折合为0.01至0.032安。而从校核看出按设计数据使用D<sub>310</sub>和D<sub>41</sub>硅钢片，其磁化电流在0.007至0.0319安之间，所以5%至15%的数据是可利用的。

### 三、C型铁心的损耗

C型铁心损耗的计算方法和片状铁心一样，不过是查图5.3和图5.4两组曲线。

I 级品  
II 级品  
III 级品



H~(安匝/厘米)

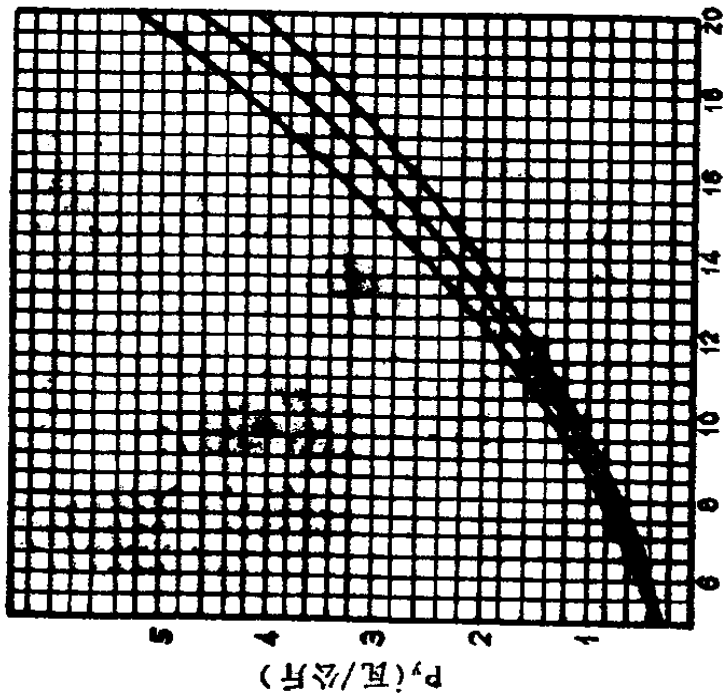
(D310至D340—0.35)

.....ED10、ED12、CD10、CD12.5×16†

——ED16至ED40、CD12.5×25至CD40。

图 5.4

III 级品  
II 级品  
I 级品



B~(千特斯拉)

(D310至D340—0.35)

图 5.3

## 第二节 变压器的铜损和效率

铜线的损耗功率为

$$P_c = I^2 \cdot R$$

铜线的电阻 $R$ 又与它的线径、长度和温度有关，因此要计算铜损，首先要计算的是各线圈铜线的长度。线圈的厚度每层不同，因而线圈每圈的长度也每层不一样。要计算一组线圈的长度必须先计算出这一组线圈每圈的平均长度。

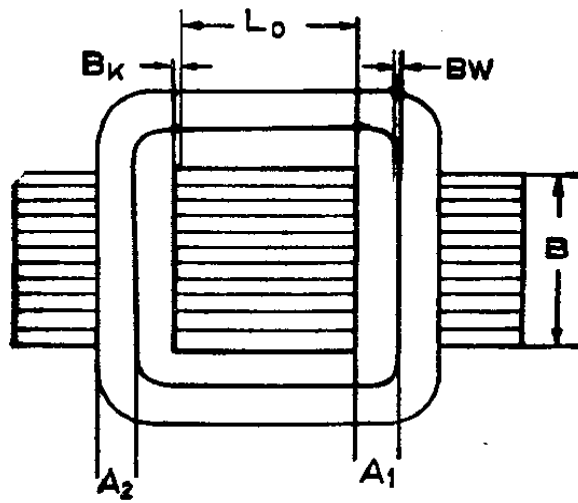


图 5.5

参照图5.5，最内一组线圈的平均长度 $L_{m1}$ 应为

$$L_{m1} = 2(L_0 + B + 4B_k) + \pi A_1$$

式中， $L_0$ ——铁心舌宽 (mm)

$B$ ——铁心叠厚 (mm)

$B_k$ ——线框厚度和与铁心的间隙 (mm)

$A$ ——线圈的厚度 (mm)

上式是把第一组线圈最内一层的周长和最外一层的周长相加再取平均值。当计算其他各组线圈时，也都是把它最外层的

周长和最内一层周长平均。但自第二组起，计算最内层周长时不能忽略各组线圈的组间绝缘纸厚度。例如，第二组线圈的平均匝长应为

$$L_{m2} = 2(L_0 + B + 4B_1) + \pi[2(A_1 + B\omega_1) + A_2]$$

式中， $B\omega$ ——组间绝缘层厚度 (mm)

第二章例一中有三组线圈，它们各自的平均匝长是

$$L_{m1} = 2 \times (22 + 39 + 4 \times 1.5) + 4.3\pi = 147.5 \text{ (mm)}$$

$$\begin{aligned} L_{m2} &= 2 \times (22 + 39 + 4 \times 1.5) + \pi[2 \times (4.3 + 0.2) + 3.3] \\ &= 172.6 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{m3} &= 2 \times (22 + 39 + 4 \times 1.5) + \pi[2 \times (4.5 + 3.3 + 0.2) + 1] \\ &= 187.4 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

导线长度

$$L_1 = L_{m1} \times 1106 = 147.5 \times 1106 = 163.135 \text{ (m)}$$

$$L_2 = L_{m2} \times 108 = 172.6 \times 108 = 18.641 \text{ (m)}$$

$$L_3 = L_{m3} \times 35 = 187.4 \times 35 = 6.559 \text{ (m)}$$

铜线的电阻随温度升高而增长。从 $20^\circ\text{C}$ 到 $75^\circ\text{C}$ ，电阻将增加22%，所以在校核计算时都取 $75^\circ\text{C}$ ，以求它更接近于变压器的工作状态。由附表3的铜线表中，可以查到不同线径的千米电阻，由此可算出

$$R_{L1} = 163.14 \times 322 = 52.53 \text{ } (\Omega)$$

$$R_{L2} = 18.64 \times 36 = 0.67 \text{ } (\Omega)$$

$$R_{L3} = 6.56 \times 104 = 0.68 \text{ } (\Omega)$$

各线圈损耗的功率为

$$P_{C1} = 0.22^2 \times 52.53 = 2.54 \text{ (W)}$$

$$P_{C2} = 1.8^2 \times 0.67 = 2.17 \text{ (W)}$$

$$P_{C3} = 0.6^2 \times 0.68 = 0.24 \text{ (W)}$$

变压器总的铜损为

$$P_{CH} = P_{C1} + P_{C2} + P_{C3}$$

$$= 2.54 + 2.17 + 0.24 = 4.95 \approx 5 \text{ (W)}$$

变压器的效率应为

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_C + P_1}$$

在本例中 $P_2$ 为38.78瓦，则

$$\eta = \frac{38.78}{38.78 + 5 + 0.66} = 0.87$$

在第二章设计计算时取 $\eta$ 为85%，接近于校核数据。

每个线圈的电压降为

$$u_{L1} = 0.22 \times 52.53 = 11.5 \text{ (V)}$$

$$u_{L2} = 1.8 \times 0.67 = 1.2 \text{ (V)}$$

$$u_{L3} = 0.6 \times 0.68 = 0.4 \text{ (V)}$$

在第二章设计时各组线圈按经验估计增加了5%的电压补偿量，三组线圈分别为11伏，0.97伏和0.3伏，与校核结果相差都在允许范围以内。

一般情况下按第二章设计的变压器是可以应用的。如果经过校核后有的数据相差很大，可以把选取的有关系数修正一下，再进行计算，直到符合要求为止。

关于温升的计算，涉及的条件很多，也难以准确，所以就不做校核计算了。

### 第三节 空载电流

变压器的空载电流是当变压器次级不接任何负载时的初级电流，它是铁心损耗电流和磁化电流的向量和。例中，

使用D<sub>310</sub>硅钢片的空载电流为

$$\sqrt{\left(\frac{0.715}{220}\right)^2 + 0.0068^2} \approx 0.0075 \text{ (A)}$$

使用D<sub>42</sub>硅钢片的空载电流为

$$\sqrt{\left(\frac{1.584}{220}\right)^2 + 0.0319^2} \approx 0.0327 \text{ (A)}$$

应该附带指出，以上数据只是计算值，很多属于工艺上的问题都没有考虑，所以当装好变压器测量空载电流时，只要超出不很多，应该是正常的。

## 第六章 小功率电源变压器的 测试和常见故障

### 第一节 小功率电源变压器的测试

自己绕制的小功率电源变压器完成后，必须进行一些必要的测试，才能放心地使用。工业生产变压器的测试项目很多，但是自己绕制个别变压器就很难有条件按正规要求去测试了。为了满足使用的要求，这里只介绍几项影响使用的性能的测试方法。

#### 一、绝缘电阻

这是一项必须测量的项目，它影响到变压器的安全使用。一般要求各线圈之间和线圈与铁心之间的绝缘电阻要大于150兆欧。假若没有兆欧表等设备，仍可用第三章所介绍的自制设备测量，但最好能用一只内阻较高的万能表。测量时读数在电阻无穷大处。

如果出现最内一层线圈对铁心绝缘电阻低的现象，应检查线框的绝缘程度，是否仍有潮气，插入铁心时是否划破线框，以及这一层线圈有无线圈脱落，导线是否接触了铁心等现象。

假若有其它几层对铁心绝缘不好的现象，主要检查线包两端的导线是否接触了铁心。如果线包两端绝缘很好，而对铁心绝缘电阻不高，那么第一层线圈的绝缘和绕组之间的绝缘都要重新检查。

## 二、空载电流

当变压器次级不接负载时，接通电源，在初级线圈中流通的电流最大不应超过额定功率所要求电流的15%。通常可以参照前章变压器损耗校核中空载电流的计算。但是理论计算往往要求过高，其结果只要超出的数值不大，都应属正常。

小功率电源变压器在满负荷时功率就不大，电流也很小，空载的电流将要更小。要测量这微小的交流电流又要涉及到条件问题，除了一部分数字式万用表外，普通指针式万用表都不能测量交流的小电流。

简便的方法是在变压器初级电路里串进一个瓦数和变压器功率相似的电灯泡，接通电源后，变压器空载时，灯泡最多只能暗红，不应过亮。然后在变压器次级接上负载，或者把次级的低电压绕组做一次很短时间（例如半秒钟）的短路，这样串接在初级的电灯应有明显的亮暗变化。当然这只能作为条件不足情况下的定性测试。

## 三、输出电压

当规定的输入电压加到变压器初级后，在各次级线圈上的输出电压要求和设计计算时的要求相符。一般在规定负荷下，输出电压应在规定值的 $\pm 5\%$ 范围以内。空载输出电压要高一些，并随着变压器的功率不同而有差异。

如果有两组次级线圈需要串接或并接时，先要分辨绕组的极性。一般可把要串或并的两线圈任意串接起来，测量其余两个未相接的线端，电压高出任一次级线圈时，是串接状态。量不出电压时，可以把被测的两端接起来构成并接状态。

有时用这种方法去分辨极性而并接两线圈时，会测量出很



低的电压（例如 1 伏或更低），这是因两组线圈输出电压高低不同而造成的。输出电压不同的两线圈不能并接使用。但是在绕组电压较高时，或者由于变压器的结构以及线圈层次的分布等等原因，两组圈数一样的绕组也可能在输出电压上略有差异。这时并不影响并接。

#### 四、温升

在业余条件下绕制的变压器，投入使用前检验一下温升是很有必要的。往往自己绕制的变压器只要有足够的绝缘性能来保证安全，再能在规定的负载和使用环境下不产生很高的温度，其他电气性能标准就都成次要条件了。

测变压器的温升要在全负荷下工作一段时间，然后再测量它的温度。通常我们都习惯于用手摸变压器的外皮来判断它是否发热。虽然变压器表面温度低于线包内部的温度，可是当手摸没有发热的感觉或只有微温时，也就无需再做进一步的测量了。

使用温度计来测变压器的温度比较直观，能看出温度逐步增长的过程，但是仍然不能测出线圈内部的温度。用电阻法来测算线圈温度是比较好的方法。

漆包线的电阻值随着温度的增加也逐渐增大，并且它的电阻温度系数相当稳定。在变压器接上电源和负载以前，线圈的电阻值对应于室内温度。当加负荷通电一段时间后，由于线圈的温度升高，线圈的电阻也要增加。测量出这两种电阻值就可以计算出温升。温度每增加  $1^{\circ}\text{C}$ ，电阻的变化是很小的，且又随铜线的质量而有差异。例如，书末附录中漆包线规格数据表里所列的漆包线，在  $20^{\circ}\text{C}$  和  $75^{\circ}\text{C}$  的每千米电阻，就是按每摄氏度增加  $0.00392$  米计算的。为了便于计算，我们不妨取电阻温

度系数为0.004，虽然误差大些，可是计算起来能方便许多。具体计算可按下式

$$\Delta t = 250 \times \frac{R_t - R_0}{R_0} \quad (6-1)$$

式中， $\Delta t$ ——升高的温度（℃）

$R_t$ ——温度升高后的电阻值（Ω）

$R_0$ ——未加电源以前的电阻值（Ω）

在测线圈电阻时有几个问题要注意。首先，变压器有了温升，停电测电阻要迅速一些，否则它会很快散热而测不准；其次，最好测线圈圈数比较多，也就是电阻比较大的线圈，它的电阻变化大，便于读数，也容易得出更接近于实际的结果。另外，测得的结果仍应视为线包中的平均温升，因为被测的这一组线圈不一定有最高温升。

如果有条件使用电阻电桥或其他高精度的测量设备，可以用以下方法测出精确的温升数据。

先测出使用的漆包线或变压器的某一线圈在室温下的电阻值。然后设法把环境温度提高，并用温度表测量提高的度数，这样持续一段时间使漆包线都升至环境温度，再测一下电阻，就可以用下式计算出所用漆包线的电阻温度系数K

$$K = \frac{R_t - R_0}{R_0 \times \Delta t} \quad (6-2)$$

用自己测出的系数K按前面介绍的方法，用下式代替（6-1）式，就可得出比较精确的结果。

$$\Delta t = \frac{R_t - R_0}{R_0 \cdot K} \quad (6-3)$$

计算出的温升 $\Delta t$ 是变压器工作后温度提高的数值，它的绝对温度还要加上环境温度。

## 第二节 常见的故障

### 一、温度过高

按照前几章设计方法绕成的变压器如果出现接通电源后发烫，可能有以下几种原因：

#### (1) 有短路线圈

如果变压器线圈里有短路现象，不论在初级线圈里或在次级线圈里，都会造成温升过高。线圈短路后在短路处电流很大，温度也将升高，持续时间稍长不但线圈的绝缘材料被烤焦，相邻的漆包线也将被破坏，恶性循环下去，不要多久这只变压器会因温度过高而烧毁。有这种故障的变压器不论是在负载状态还是在空载状态都会有发热的现象。解决的办法只有拆开线包检查，把产生高温而变色的漆包线截除，换上新的绝缘材料再重新绕好。

也可能在功率很小的变压器里，一组圈数很多的线圈，有相邻漆包线短路，但由于它匝间的电压较低，线又很细，温度一时传不到变压器外表来，可是这个变压器是不能耐久使用的。

有短路线圈的变压器，空载电流都大于正常值。

#### (2) 磁通密度 $B$ 取得过高

当使用不知道最高磁通密度的硅钢片时，假若把  $B$  值取得过高，按正规计算后，每伏圈数就会有偏少的结果。初级线圈圈数过少，会使空载电流过大，增加了变压器的温度。即使次级不接负载变压器温度也会升高。

有这种故障的变压器假若把电源电压降低，当降低到某一限度，它会恢复正常工作不再产生过高的温度。当然此时次级各线圈的输出电压也都按比例降低。如果是因为短路线圈而造成

成的温度过高，降低电源电压也不能消除高温。

### (3) 额定功率偏低或漆包线过细

额定功率偏低的变压器在空载时一切正常，当满负荷工作时就有温度迅速升高的现象。这主要是负载功率超过了设计计算的功率。

把导线的电流密度 $j$ 取得太大，以致选用漆包线线径过细，也是温度升高的另一个原因。

以上现象在变压器空载时是不能发现的。

## 二、摸触变压器铁心有麻电感觉

当变压器绕好并投入使用后，用手轻轻摸触铁心有时会有麻电的感觉，这种现象使使用者很不安心。这时，用高内阻万用表的交流电压挡测量变压器铁心对地的电压也可能会有一定的读数指示，当改变万用表的量程再分别测量时会发现各档的读数不一样，而表针偏转的角度却差不多。例如用500V AC档量得100伏，再用100V档量得20伏左右，再换10V档量得2伏左右。这种现象是由线圈和铁心间的寄生电容所造成。把变压器装在有接地线的底盘上或把铁心加一根地线就会消除麻电现象，不影响使用。

## 三、漏磁

变压器接通电源后，线圈产生的磁力线应该沿着铁心形成回路，并要求在这个磁路里阻力很小，变压器才能有较高的效率。但是往往由于各种原因，造成磁路不能畅通，使得一部分磁力线漏出铁心穿过空气形成回路，产生了漏磁。例如铁心的接缝处毛刺很多，有油漆或其它污物影响插片时的密合，以及线框或层间垫纸太宽，使铁心的E型片和I型片压不紧等等。

当这只变压器只单独作电压变换时，有少许漏磁现象也无妨害，并且也不易发现。但是当把它组装在元器件密集、装配很紧凑的电子设备里时，就要考虑漏磁的影响了。例如在电声设备里如果漏磁的电源变压器靠近了输出变压器、功放管等等，都会产生交流声，在示波器里会造成示波管的偏转失真甚至把显示的波形破坏。

检查所绕好的变压器有无严重的漏磁现象，可以用高内阻的耳机接上一个绕在粗铁螺钉上二三百圈的线圈，把这个线圈靠近已接电源又有漏磁的变压器，耳机里就会发出明显的交流声。

为避免变压器出现漏磁现象，首先要求硅钢片的接缝要密合，特别是使用用绝缘漆浸渍过的旧硅钢片时要注意接缝部位的整洁。在制作线框和裁层间垫纸时不要过宽，这不但对插片时铁心密合有利，而且对提高绝缘程度也有好处。再有设计计算时不要把磁通密度选得过于接近极限。

已经绕好的变压器为了减少漏磁对周围环境的影响，可以紧贴变压器外表再包上一层铜片，见图6·1。如果没有铜片也可以用较粗的漆包线并排绕好把头尾相接。在变压器有磁力线穿

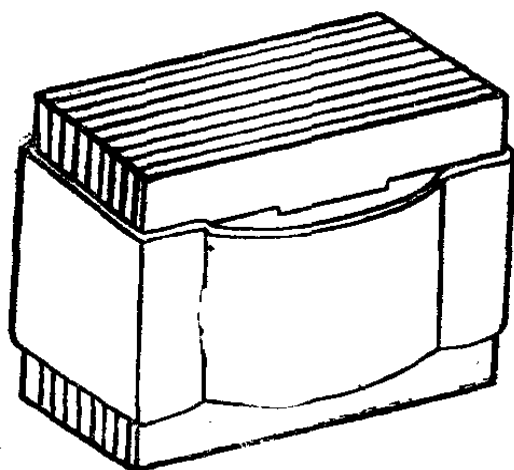


图 6·1

过空气形成回路时，这个短路的铜片或线圈切割磁力线，产生了短路电流形成磁场而抵消了由变压器外溢的磁力线。这种方法能把漏磁现象减小到相当程度。

电源变压器的漏磁是有方向性的。如果变压器装入电子设备里有干扰，只要条件允许，还可以一边转动一边试验，选择一个满意的位置。

#### 四、噪声

变压器投入使用后有“嗡嗡”的噪声出现，这是硅钢片没有夹紧的缘故。经过良好浸渍的变压器一般不会出现这种现象。除非还有其他的故障原因。

当变压器有比较严重的短路现象发生时，线圈中有大电流流过，再加上原来硅钢片就不紧，于是强大电流造成的磁场能冲开浸渍的粘合作用而使硅钢片振动发声。并且随着短路电流的大小而音调不同。伴随而来的是变压器发热。

再有可能是插片时不小心造成了硅钢片中心舌片和邻片有交错现象（图6·2），这时很难再把它夹紧。用E型硅钢片插好铁心，可以仔细查对E型片端面的缝隙来发现有无交错，当用三角型硅钢片时，舌片有了交错，在插好后是不能发现的，只有在组装时注意。使用翘偏不平的旧硅钢片时，特别要注意。

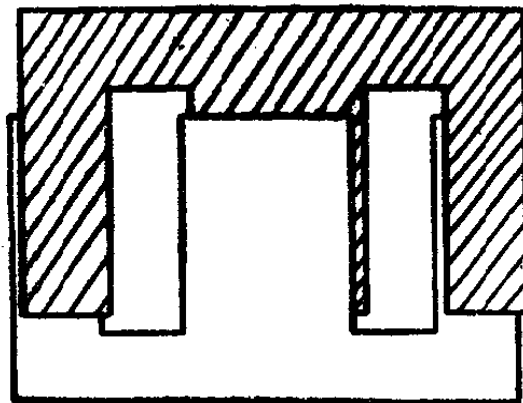


图 6·2

## 第七章 旧变压器的翻修和利用

翻修旧变压器或者利用旧变压器的材料重新设计绕制新的电源变压器是经常要遇到的事。对于能够正常工作只是输出电压不合要求而需要重绕的变压器，最好先测量好各组线圈的电压，然后再拆开。一般在新变压器要求的功率和原来变压器的功率相当时就不必重绕初级圈。它的功率可以在拆开以后根据线径粗细推算出来。这样可以省去很多事。对于利用一个不了解用途的旧变压器只好从头做起了。

### 第一节 旧变压器的拆卸

一个组装得很好的变压器要把它拆开，把硅钢片无损伤地抽出来也不是很简单的工作。用石蜡浸渍的变压器比浸渍绝缘漆的变压器易于处理一些，片与片间的粘合不像浸漆变压器那样牢固。浸漆的变压器在拆卸前最好先加一定的温度，只要不影响手工操作，温度多高没有关系。加温的目的是使绝缘漆能变软一些便于拆开铁心。拆硅钢片最好先把靠边上的几片I型片先撬下来，再仔细在最外一片E型片的相对方向用一片较硬的铁片，例如断锯条等顶住中心舌片用锤敲打，把它顶出线框。当最外这一片开始移动，硬铁片已不能再敲，否则线框将完全破坏。可用虎钳甚至台虎钳夹紧这一片，慢慢抽出来。第一片抽出后，线框里已较松，可以逐片撬开再抽出来。第一片可能要损坏，其他各片最好保持平整以备再次利用。

如果旧变压器线包已无再利用的价值，可直接用钢锯把线包锯开，把硅钢片取出来。如果需要查点原来变压器某一绕组的圈数，锯开的断线头不要弄零乱，断线的根数就是这一组的圈数。

## 第二节 旧硅钢片的利用

在大多数的情况下，拆卸旧变压器主要是为了利用硅钢片。浸蜡的变压器因为好拆，所以硅钢片一般不易受损伤，而浸漆的变压器硅钢片上已经粘附了干涸的绝缘漆，再利用起来往往出现夹不紧，接缝不严等等毛病，必须把它做些加工处理。

### 一、旧硅钢片的去污整平

旧硅钢片上干涸的绝缘漆残迹很难去掉，可以把它浸泡在香蕉水里，过一段时间绝缘漆泡软了，再逐片擦拭干净。不到不得已，不要用小刀等去刮。

浸蜡的变压器不存在以上问题，可是太旧的浸蜡变压器会出现硅钢片生锈的现象，重新利用时要把锈擦掉。这类硅钢片上原有的绝缘层已都不存在，最好在使用前涂上一层很稀的绝缘漆，至少把每片都浸一下熔点低些的蜡。

多次拆装的硅钢片不很平整，甚至弯曲，必须把它尽量整平。不平的硅钢片装成的变压器很难夹紧，也影响质量。

质量好的硅钢片，如果拆片时被弄弯，由于它质地较脆，整平很费时间，只能用手轻轻扳平，不要用锤敲打。有硬弯的硅钢片已没有使用的价值，除非质量很差的片子质地较韧可以再弯直它。



## 二、旧硅钢片磁通密度的估计

拆用旧变压器的硅钢片最好能知道旧变压器原来的输出电压。拆开以后数清它的圈数，再根据它的铁心截面按(7-1)式计算出它实际应用的磁通密度B来。如果不具备这个条件，就要按铁心情况重新估计了。

$$B = \frac{45 \times E}{S \cdot T} \times 10000 \quad (7-1)$$

式中 E —— 某线圈输出电压 (V)

T —— 某线圈圈数

S —— 铁心截面积 (cm<sup>2</sup>)

硅钢片的质量可以由其韧性和颜色去粗略地分辨。当然要判断得比较准确，对初次进行辨认的人是有些困难的。在要求不太严格的应用条件下，B值不要取得过高，一般的硅钢片可取B=10000特斯拉左右。如果硅钢片的质量很差，像黑褐色的断面，手弯几次不断不裂，剪刀能剪出整齐的边沿等等，应把B值取得低些，太差的甚至可低至6000特斯拉左右。

如果所绕变压器的工作条件要求较高，例如相对于功率来讲要求体积较小，所用硅钢片的窗口不大，不能绕很多线圈，或者硅钢片的质量很好，恐怕一般的估算不能充分利用它的优越性能等等，而又没有专用测量设备的情况下，可以用试验的方法取得近似的B值。

首先把所用硅钢片的B值作较低的估计，例如估计为8000特斯拉。再按此值根据铁心截面绕成初级线圈。因为是试验用，只要线圈不散，可以不必排线，也不用垫纸。线圈绕好插齐铁心，接通电源测量一下初级电流，如果它小于式(7-2)的计算值，可以抽掉几片铁心再测，再低再抽，直到所测电流

值和 (7-2) 式所得结果近似为止。

$$I = S^2 \times 0.00035 \quad (7-2)$$

式中  $I$  —— 电流值 (mA)

$S$  —— 铁心截面积 ( $\text{cm}^2$ )

达到上述要求后，量出现有的铁心截面积，再按公式 (7-1) 计算出近似的  $B$  值来。这时 (7-1) 式中的  $E$  为电源电压。

应注意的是每次试验都要把铁心夹紧，如果铁心处于松动状态，通电后要有噪声，并且按前述方面测得的  $B$  值要偏低。

### 第三节 旧漆包线的利用

使用旧漆包线要注意检查漆膜有无破裂，稍有几处破皮还能在绕制时补救，如果破皮过多就不应使用。要想利用旧变压器的漆包线，在拆开垫纸倒下铜线时，最好让整个旧变压器线包一起旋转，这样可避免铜线扭绞，使漆皮扭破。如果旧线包不动，从一端把旧线拉下来，必然使铜线每拉一圈扭转一周。旧线漆皮已不坚固，这样很容易扭坏，特别是较粗的漆包线更不要这样做。

经过绝缘漆浸渍又烘干的变压器线包最好先加温到  $60^\circ\text{C}$  左右，使绝缘漆发软，然后再慢慢拆线。即便这样较细的铜线也不易完整无损地拆下来。为了可靠，较细的铜线，例如线径在 0.15 毫米以下经过绝缘漆处理的旧线包，一般就不再使用了。

拆下来的旧线上往往粘着一些残余的干绝缘漆和垫纸的碎片，用这样的线是不能再绕出平整的线包的。可以趁旧线包还有一定温度的时候，一边拆线一边用浸有汽油的纱布擦拭。

如果需要使用烧坏的变压器里的漆包线，要观察漆膜是否已经变色，除检查有无掉漆外，还应折几次小弯看看漆皮是否

已经变脆。一般受高温变色的漆皮韧性很差不能再用了。

再有整理旧线时常常出现导线搭扣现象（图 7·1a），此时要顺势弯直，不要强拉或缕直。强拉直的漆包线形成一个不再好复原的疙瘩（图 7·1b），影响排线。也有人用小木棒等把已结疙瘩的漆包线强行缕直，其实仔细观察，铜线形成了（图 7·1c）的形状，扭弯部分韧性很差，也常常会扭破漆皮。

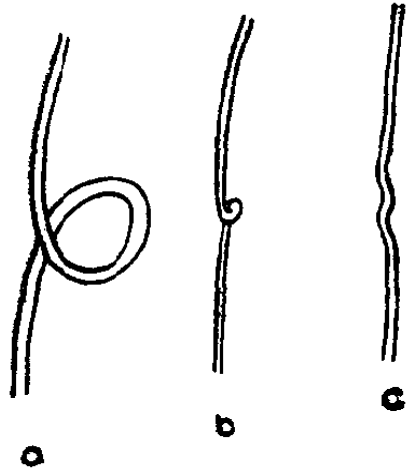


图 7·1

用旧漆包线再绕的新线包，排线不可能像使用新线那样紧凑，因此设计验算时每层圈数要少算一些。具体绕线时因为旧线上附着有绝缘漆，比新线发粘，绕细线时拉松了绕不紧，拉紧了又容易断，所以要格外多地注意。

# 附录

## 附录表格的说明

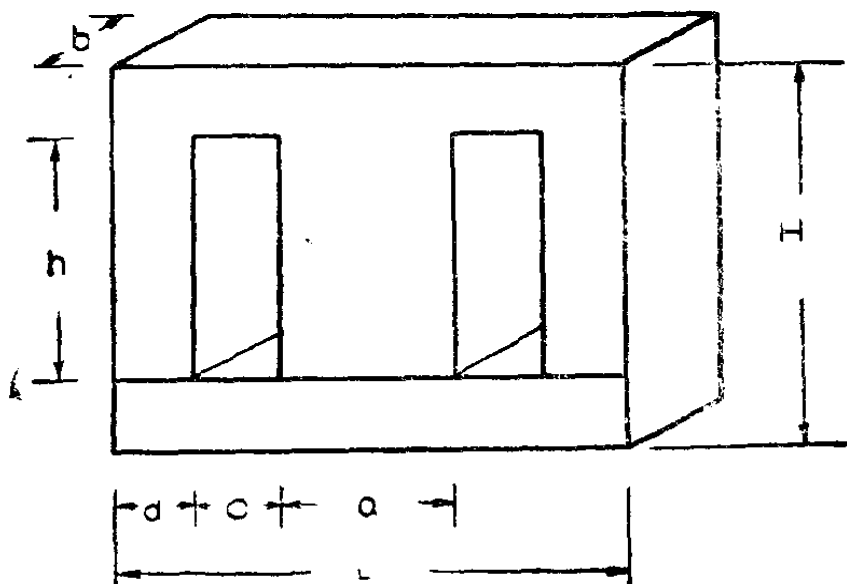
附表（1）：

附表（1）里列出了EI型硅钢片的标准规格。其中附表（1-a）列出了GEI型硅钢片标准规格，附表（1-b）列出了KEI型硅钢片标准规格。

在附表（1-a）和（1-b）里，第一栏“铁心尺寸”中每格列出了四行和六行数据。每行第一个数是铁心的舌宽  $a$ ，第二个数是叠厚  $b$ ，单位都是毫米。表里列出了相同舌宽的硅钢片的四种和六种建议使用的尺寸。后面的几栏里对应着这些尺寸列出了各种设计计算用的参考数据。

在表的第二栏“铁心片型号”中，每格列出了两种和四种型号。凡在同一格中的型号，硅钢片的尺寸都相同。

第三栏“尺寸”中各符号的含意见附图1。



附图1

第四栏“参考数据”中,第一项是“磁路平均长度”,这是硅钢片中磁力线回路的平均长度。由于硅钢片有一定宽度,外围的磁路和内圈的磁路长度不一样,为了计算的方便,表中给出了标准硅钢片的磁路平均长度。这个数据还考虑了磁力线在硅钢片中的分布不均匀,靠内圈和靠边沿的密度不同的影响,所以所列的数据不完全是由硅钢片几何尺寸所计算的平均值。

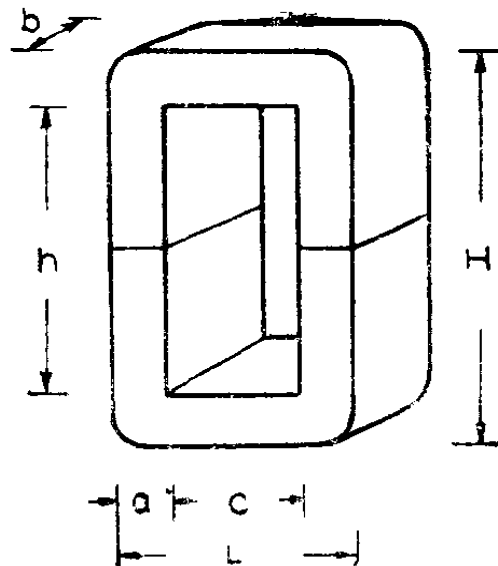
如果选用的硅钢片不属于标准尺寸,可以按(附-1)式计算平均磁路长度。不过计算是按几何尺寸求平均值,其值都略大于表中所列的数值。

$$l_c = 2(c + h) + d\pi \quad (\text{附-1})$$

参考数据第二项“铁心面积乘窗口面积”是按铁心舌片叠厚面积(不是净面积)计算的。

附表(2):

在附表(2-a)里列出了CD型变压器铁心标准尺寸和参数。第一栏“铁心型号”列举了九组,每组截面积相同的铁心分列四种高度。参阅第二栏“尺寸”中的符号并对照附图2,可以了解铁心型号的含意和它所代表铁心的具体尺寸。

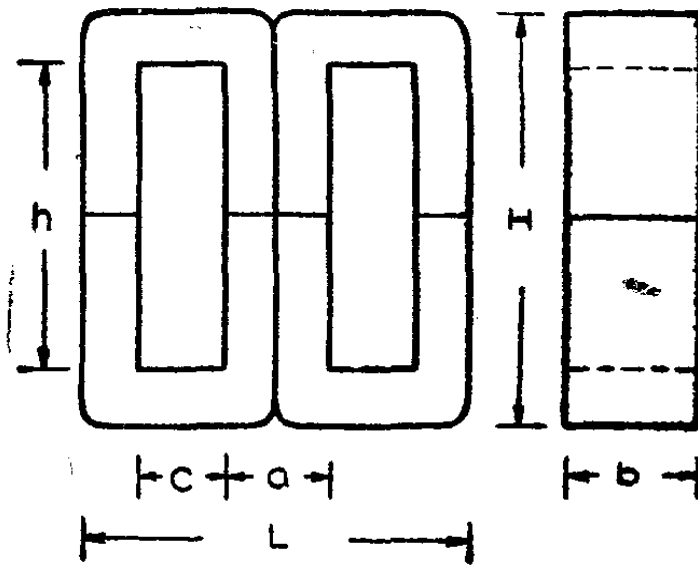


附图 2

参数栏里“铁心面积乘窗口面积项内的数据是按： $a \times b \times c \times h$ 计算出来的。不是按净截面积计算的。

“散热表面积”中FC是铁心散热面积，它是一定尺寸的铁心，除去被线圈包裹起来不能散热的部分以外，暴露在空气中的面积。Fm是线包的表面面积。

附表（2-b）和（2-a）相似，只是“铁心型号”比附表（2-a）简单，参阅附图3就不难了解它的含意了。



附图3

附表（3）：

附表（3）列出了漆包线的规格数据。其中第一栏“铜心公称直径”是指不包括漆皮在内的直径。第五栏和第六栏中“漆包线最大直径”是指包括了漆皮在内的漆包线最大外径。如果精确计算线圈每层圈数或厚度，应按包括漆皮的最大外径计算。

# 附表 (1) EI型硅钢片规格

## 附表 (1-a) 最低价格铁心 (EI片交迭, 铁心片标准SJ99-65)

铁心尺寸 $a \times b$	铁心片 型号	尺 寸 (毫米)						参 考 数 据						
		磁路平 均长度 (厘米)		铁心面 积乘窗 口面积 (厘米 <sup>4</sup> )	中间舌片净截面积 (厘米 <sup>2</sup> )		参考输 出功率 50(赫) (瓦)	铁心净重 (公 斤)						
		a	c		d	L			H	h	b	铁心片厚 (毫米)	铁心片厚 (毫米)	
10×12.5	GE10	10	6.5	6.5	36	31	18	12.5	1.46	1.06	1.14	1	0.0706	0.0756
10×15								15	1.76	1.28	1.37	1.5	0.0848	0.0908
10×17.5	GI10	10	6.5	6.5	36	31	18	17.5	2.05	1.49	1.59	1.8	0.0990	0.106
10×20								20	2.34	1.70	1.82		0.113	0.121
12×15	GE12	12	8	8	44	38	22	15	3.17	1.53	1.64	2	0.127	0.136
12×18								18	3.80	1.84	1.97	3	0.152	0.163
12×21	GI12	12	8	8	44	38	22	21	4.44	2.14	2.28	4	0.178	0.190
12×24								24	5.07	2.45	2.62		0.203	0.217
14×18	GE14	14	9	9	50	43	25	18	5.67	2.14	2.29		0.197	0.211
14×21								21	6.62	2.50	2.68	5	0.230	0.246
14×24	GI14	14	9	9	50	43	25	24	7.56	2.86	3.06		0.263	0.281
14×28								28	8.82	3.33	3.57		0.306	0.327

铁心尺寸 $a \times b$	铁心片 型号	尺寸 (毫米)						磁路平 均长度 (厘米)				参考数 据			
		a	c	d	L	H	h	b	铁心面 积乘窗 口面积 (厘米 <sup>4</sup> )	中间舌片净截面积 (厘米 <sup>2</sup> )		参考输 出功率 50(赫) (瓦)	铁心净重 (公 斤)		
										铁心片厚	铁心片厚			0.2 (毫米)	0.35 (毫米)
16 × 20	GE16						20	8.96	2.72	2.91	6	0.273	0.293		
16 × 24							24	10.75	3.26	3.49	8	0.340	0.364		
16 × 28	GI16	16	10	10	56	48	28	12.54	3.81	4.08	10	0.396	0.424		
16 × 32							32	14.34	4.35	4.66		0.453	0.485		
19 × 24	GEC19						24	18.33	3.88	4.15	12	0.464	0.496		
19 × 28	GIC19						28	21.39	4.52	4.84	16	0.538	0.576		
19 × 32	GEB19	19	12	12	67	57.5	32	24.44	5.17	5.53	20	0.617	0.660		
19 × 38	GIB19						38	29.02	6.14	6.57	33	0.732	0.783		
22 × 28	GEC22						28	33.63	5.25	5.62		0.730	0.781		
22 × 33	GIC22						33	39.64	6.17	6.61		0.860	0.920		
22 × 38	GEB22	22	14	14	78	67	38	45.65	7.11	7.61	45	0.991	1.06		
22 × 44	GIB22						44	52.85	8.23	8.81		1.15	1.23		



续表

铁心尺寸 $a \times b$	铁心片 型号	尺寸 (毫米)							参考数据						
		a	c	d	L	H	h	b	磁路平均长度 (厘米)	铁心面积乘积 H面积 (厘米 <sup>4</sup> )	中间舌片净截面积 (厘米 <sup>2</sup> )		参考输出功率 50(赫) (瓦)	铁心净重 (公斤)	
											铁心片厚				铁心片厚
											0.2 (毫米)	0.35 (毫米)			
26 × 32	GEC26	26	17	17	94	81	47	33	68.55	7.07	7.57	1.22	1.31		
26 × 39	GIC26	26	17	17	94	81	47	39	81.02	8.62	9.23	1.49	1.50		
26 × 45	GEB26	26	17	17	94	81	47	45	93.48	9.95	10.7	1.71	1.83		
26 × 52	GIB26	26	17	17	94	81	47	52	108.02	10.5	12.3	1.98	2.12		
30 × 38	GEC30	30	19	19	105	91	53	38	114.80	9.72	10.4	1.83	1.96		
30 × 45	GIC30	30	19	19	105	91	53	45	135.95	11.5	12.3	2.17	2.32		
30 × 52	GEB30	30	19	19	105	91	53	56	169.18	13.3	14.2	2.51	2.68		
30 × 60	GIB30	30	19	19	105	91	53	60	181.26	15.3	16.4	2.89	3.09		
35 × 44	GEC35	35	22	22	123	103	61.5	44	208.36	13.1	14.0	2.92	3.12		
35 × 52	GIC35	35	22	22	123	103	61.5	52	246.25	15.5	16.6	3.42	3.65		
35 × 60	GEB35	35	22	22	123	103	61.5	60	284.13	17.9	19.1	3.95	4.22		
35 × 70	GIB35	35	22	22	123	103	61.5	70	331.49	20.8	22.3	4.61	4.92		
40 × 50	GEC40	40	26	26	144	124	72	50	374.40	17.0	18.2	4.52	4.84		
40 × 60	GIC40	40	26	26	144	124	72	60	449.28	20.4	21.8	5.43	5.80		
40 × 70	GEB40	40	26	26	144	124	72	70	524.16	23.8	25.5	6.35	6.78		
40 × 80	GIB40	40	26	26	144	124	72	80	599.04	27.7	29.1	7.24	7.75		

附表 (1-b) 最轻量化铁心 (EI片交插, 铁心片标准SJ98-65)

铁心尺寸 a × b	铁心片 型号	尺寸 (毫米)										参考数据								
		a		c		d		L		H		h		磁路平均长度 (厘米)	铁心面积乘窗口面积 (厘米 <sup>4</sup> )	中间舌片净截面积 (厘米 <sup>2</sup> )		参考输出功率 50(赫) (瓦)	铁心净重 (公斤)	
		a	c	c	d	d	L	L	H	H	h	h	0.2 (毫米)			0.35 (毫米)	0.2 (毫米)		0.35 (毫米)	
10 × 8	KE10 KI10													8	2.00	0.680	0.728		0.0463	0.0490
10 × 10														10	2.50	0.850	0.910		0.0577	0.0618
10 × 12														12	3.00	1.02	1.09	0.9	0.0693	0.0742
10 × 16		10	10	5	40	35	25							16	4.00	1.36	1.46	1.6	0.0925	0.0991
10 × 20														20	5.00	1.7	1.82	2.6	0.116	0.124
10 × 25													25	6.25	2.23	2.28		0.145	0.155	
12 × 10	KE12													10	4.32	1.02	1.09		0.0832	0.089
12 × 12														12	5.18	1.22	1.31		0.100	0.107
12 × 16	KI12													16	6.91	1.63	1.75		0.133	0.142
12 × 20		12	12	6	48	42	30							20	8.64	2.04	2.18	3.7	0.166	0.178
12 × 25														25	10.80	2.55	2.73	5.7	0.208	0.223
12 × 32													32	13.82	3.26	3.49		0.266	0.285	

续表

铁心尺寸 $a \times b$	铁心片 型号	尺寸 (毫米)						参 考 数 据				铁心净重 (公斤)	
		a	c	d	L	H	h	磁路平 均长度 (厘米)	铁心面 积乘窗 口面积 (厘米 <sup>4</sup> )	中间舌片净截面积 (厘米 <sup>2</sup> )		参考输 出功率 50(赫) (瓦)	铁心片厚 (毫米)
										0.2 (毫米)	0.35 (毫米)		
16 × 12	KE16							12.29	1.63	1.75		0.174	0.186
16 × 16	KI16							16.38	2.18	2.33		0.232	0.248
16 × 20	KEB16	16	16	8	64	56	40	20.48	2.72	2.91	6.6	0.290	0.310
16 × 25	KIB16							25.60	3.40	3.64	10.2	0.362	0.388
16 × 32								32.77	4.35	4.66	16.8	0.462	0.496
16 × 40								40.96	5.44	5.82		0.579	0.620
20 × 16	KE20							32.00	2.72	2.90		0.362	0.387
20 × 20	KI20							40.00	3.40	3.64		0.452	0.484
20 × 25	KEB20	20	20	10	80	70	50	50.00	4.25	4.55	26	0.565	0.604
20 × 32	KIB20							64.00	5.44	5.82	40	0.723	0.774
20 × 40								80.00	6.80	7.28		0.904	0.968
20 × 50								100.00	8.50	9.10		1.13	1.21

铁心尺寸 $a \times b$	铁心片 型号	尺寸(毫米)							参考数据						
		a	c	d	L	H	h	b	磁路平 均长度 (厘米)	铁心面 积乘窗 口面积 (厘米 <sup>2</sup> )	中间舌片净截面积 (厘米 <sup>2</sup> )		参考输 出功率 50(赫) (瓦)	铁心净重 (公斤)	
											0.2 (毫米)	0.35 (毫米)		0.2 (毫米)	0.35 (毫米)
25 × 20	KE25						20		78.125	4.25	4.55		0.713	0.764	
25 × 25	KI25						25		97.66	5.31	5.68		0.891	0.954	
25 × 32		25	25	12.5	100	87.5	32	21.4	125.00	6.80	7.28	41	1.14	1.22	
25 × 40	KEB25						40		156.25	8.50	9.10	64	1.43	1.53	
25 × 50	KIB25						50		195.31	10.6	11.4	100	1.78	1.92	
25 × 63							63		234.38	13.4	14.3		2.28	2.44	
32 × 25	KE32						25		204.80	6.80	7.28		1.46	1.6	
32 × 32	KI32						32		262.14	8.70	9.32		1.87	2.00	
32 × 40		32	32	16	128	112	40	27.4	327.68	10.9	11.7	104	2.34	2.50	
32 × 50	KEB32						50		409.60	13.6	14.6	164	3.92	3.12	
32 × 63	KIB32						63		516.10	17.1	18.3	260	3.08	3.94	
32 × 80							80		655.36	21.8	23.3		4.67	5.00	

续表

铁心尺寸 a × b	铁心片 型号	尺寸 (毫米)							参 考 数 据							
		a	c	d	L	H	h	b	磁路平 均长度 (厘米)	铁心面 积乘窗 口面积 (厘米 <sup>4</sup> )	中间舌片净截面积 (厘米 <sup>2</sup> )		参考输 出功率 50(赫) (瓦)	铁心净重 (公斤)		
								0.2 (毫米)			0.35 (毫米)	0.2 (毫米)		0.35 (毫米)	铁心片厚	
40 × 32								32		512.00	10.9	11.7		2.94	0.2	0.35
40 × 40								40		640.00	13.6	14.6		3.66		
40 × 50	KE40							50		800.00	17.0	18.2		4.59		
40 × 65	KI40	40	40	20	160	140	100	63	34.3	1008.00	21.5	22.9	400	5.77		
40 × 80	KEB40							80		1280.00	27.2	29.1	650	7.33		
40 × 100	KIB40							100		1600.00	34.0	36.4		9.17		

附表 (2) C型硅钢片规格

附表 (2-a)

CD型、C形

铁心型号	尺寸 (毫米)						铁心净截面积 (厘米 <sup>2</sup> )		
	a	h	c	L	H	b	0.35	0.2	0.08
							(毫米)	(毫米)	(毫米)
CD8 × 12.5 × 12.5	8	12.5	10	26	28.5	12.5	—	0.890	0.850
16	8	16	10	26	32	12.5	—	0.890	0.850
20	8	20	10	26	36	12.5	—	0.890	0.850
25	8	25	10	26	41	12.5	—	0.890	0.850
CD10 × 12.5 × 20	10	20	12.5	32.5	40	12.5	1.15	1.11	1.06
25	10	25	12.5	32.5	45	12.5	1.15	1.11	1.06
32	10	32	12.5	32.5	52	12.5	1.15	1.11	1.06
40	10	40	12.5	32.5	60	12.5	1.15	1.11	1.06
CD12.5 × 16 × 25	12.5	25	16	41	50	16	1.84	1.78	1.70
32	12.5	32	16	41	57	16	1.84	1.78	1.70
40	12.5	40	16	41	65	16	1.84	1.78	1.70
50	12.5	50	16	41	75	16	1.84	1.78	1.70
CD12.5 × 25 × 30	12.5	30	20	45	55	25	2.88	2.78	2.66
40	12.5	40	20	45	65	25	2.88	2.78	2.66
50	12.5	50	20	45	75	25	2.88	2.78	2.66
60	12.5	60	20	45	85	25	2.88	2.78	2.66
CD16 × 32 × 40	16	40	25	57	72	32	4.71	4.56	4.35
50	16	50	25	57	80	32	4.71	4.56	4.35
65	16	65	25	57	97	32	4.71	4.56	4.35
80	16	80	25	57	112	32	4.71	4.56	4.35
CD20 × 40 × 50	20	50	32	72	90	40	7.36	7.12	6.80
60	20	60	32	72	100	40	7.36	7.12	6.80
80	20	80	32	72	120	40	7.36	7.12	6.80
100	20	100	32	72	140	40	7.36	7.12	6.80
CD25 × 50 × 65	25	65	40	90	115	50	11.5	11.1	—
80	25	80	40	90	130	50	11.5	11.1	—
100	25	100	40	90	150	50	11.5	11.1	—
120	25	120	40	90	170	50	11.5	11.1	—
CD32 × 64 × 80	32	80	50	114	144	64	18.8	18.2	—
100	32	100	50	114	164	64	18.8	18.2	—
130	32	130	50	114	194	64	18.8	18.2	—
160	32	160	50	114	224	64	18.8	18.2	—
CD40 × 80 × 100	40	100	64	144	180	80	29.4	28.5	—
126	40	120	64	144	200	80	29.4	28.5	—
160	40	160	64	144	240	80	29.4	28.5	—
200	40	200	64	144	280	80	29.4	28.5	—

# 铁 心 系 列

平均磁 路长度 (厘米)	参 考 数 据							
	铁心重量 (公斤)			铁心面积 乘窗口面积 (厘米 <sup>4</sup> )	散热表面积 (厘米 <sup>2</sup> )		输出功率(瓦)	
	0.35 (毫米)	0.2 (毫米)	0.08 (毫米)		F <sub>c</sub>	F <sub>m</sub>	400(赫)	50 (赫)
6.84	—	0.047	0.044	1.25	16	22.7	24.9	
7.54	—	0.051	0.049	1.60	16	27	35.8	
8.34	—	0.057	0.054	2.00	16	31.8	41.9	
9.34	—	0.064	0.061	2.50	16	38	51.9	
9.47	0.0832	0.080	0.077	3.125	22.2	40.5	58.9	1.27
10.5	0.0925	0.089	0.085	3.90	22.2	47.8	71.9	1.68
11.9	0.105	0.101	0.096	5.00	22.2	58	92.2	2.4
13.5	0.119	0.114	0.109	6.25	22.2	69.7	113	3.15
11.9	0.168	0.162	0.155	8.00	35.5	62.7	119	5.67
13.3	0.188	0.181	0.173	10.24	35.5	75.4	148	7.6
14.9	0.210	0.202	0.193	12.80	35.5	90	180	10
16.9	0.238	0.230	0.219	16.00	35.5	108	221	13
13.7	0.302	0.291	0.279	18.75	49.4	95.4	218	17.8
15.7	0.346	0.334	0.319	25.00	49.4	118	279	25.8
17.7	0.390	0.376	0.360	31.25	49.4	140	342	33.5
19.7	0.434	0.418	0.400	37.50	49.4	163	388	40.3
17.8	0.641	0.620	0.592	51.20	80	161	464	71.5
19.8	0.713	0.690	0.659	64.00	80	190	566	94.6
22.8	0.821	0.795	0.759	83.20	80	233	706	129
25.8	0.930	0.900	0.858	102.40	80	276	818	161
22.4	1.26	1.22	1.17	128.0	126.6	258	714	192
24.4	1.37	1.33	1.27	153.6	126.6	295	839	225
28.4	1.60	1.55	1.48	204.8	126.6	367	1058	297
32.4	1.82	1.77	1.69	256.0	126.6	440	1287	364
28.5	2.51	2.43	—	325.0	198	416	1414	435
31.5	2.77	2.68	—	400.0	198	485	1683	514
35.5	3.12	3.02	—	500.0	198	576	2014	634
39.5	3.48	3.36	—	600.0	198	667	2362	743
35.7	5.15	4.98	—	819.2	321	655	2796	968
39.7	5.72	5.54	—	1024.0	321	770	3349	1157
45.7	6.57	6.37	—	1331.2	321	943	4090	1446
51.7	7.45	7.21	—	1638.4	321	1114	4820	1757
45.0	10.1	9.81	—	2048.0	506	1050	5453	2062
49.0	11.0	10.7	—	2457.6	506	1196	6295	2424
57.0	12.8	12.4	—	3276.8	506	1486	7831	3097
65.0	14.6	14.2	—	4096.0	506	1780	9493	3741

铁心型号	尺寸 (毫米)						铁心净截面积 (厘米 <sup>2</sup> )			平均磁 路长度 (厘米)
	a	b	c	L	H	b	0.35 (毫米)	0.2 (毫米)	0.08 (毫米)	
	ED 8 × 8	8	20	8	32	28	8	—	0.570	0.544
10	8	20	8	32	28	10	—	0.712	0.680	6.68
12.5	8	20	8	32	28	12.5	—	0.890	0.850	6.68
16	8	20	8	32	28	16	—	1.14	1.09	6.68
ED10 × 10	10	25	10	40	35	10	0.92	0.890	0.850	8.40
12.5	10	25	10	40	35	12.5	1.15	1.11	1.08	8.40
16	10	25	10	40	35	16	1.47	1.42	1.36	8.40
20	10	25	10	40	35	20	1.84	1.78	1.70	8.40
ED12 × 12.5	12	30	12	48	42	12.5	1.38	1.34	1.28	10.1
16	12	30	12	48	42	16	1.77	1.71	1.63	10.1
20	12	30	12	48	42	20	2.21	2.14	2.04	10.1
25	12	30	12	48	42	25	2.76	2.67	2.55	10.1
ED16 × 16	16	40	16	64	56	16	2.36	2.28	2.18	13.5
20	16	40	16	64	56	20	2.95	2.85	2.72	13.5
25	16	40	16	64	56	25	3.68	3.56	3.40	13.5
32	16	40	16	64	56	32	4.71	4.56	4.35	13.5
ED20 × 20	20	50	20	80	70	20	3.68	3.56	3.40	17.0
25	20	50	20	80	70	25	4.60	4.45	4.25	17.0
32	20	50	20	80	70	32	5.89	5.70	5.44	17.0
40	20	50	20	80	70	40	7.36	7.12	6.80	17.0
ED25 × 25	25	63	25	100	88	25	5.75	5.56	—	21.3
32	25	63	25	100	88	32	7.36	7.12	—	21.3
40	25	63	25	100	88	40	9.20	8.90	—	21.3
50	25	63	25	100	88	50	11.5	11.10	—	21.3
ED32 × 32	32	80	32	128	112	32	9.42	9.11	—	27.2
40	32	80	32	128	112	40	11.8	11.4	—	27.2
50	32	80	32	128	112	50	14.7	14.2	—	27.2
64	32	80	32	128	112	64	18.8	18.2	—	27.2
ED40 × 40	40	100	40	160	140	40	14.7	14.20	—	34.0
50	40	100	40	160	140	50	18.4	17.8	—	34.0
64	40	100	40	160	140	64	23.6	22.8	—	34.0
80	40	100	40	160	140	80	29.4	28.5	—	34.0



# 铁 心 系 列

参 考 数 据							
铁心重量公斤			铁心面积 乘窗口面积 (厘米 <sup>4</sup> )	散热表面积 (厘米 <sup>2</sup> )		输出功率(瓦)	
0.35 (毫米)	0.2 (毫米)	0.08 (毫米)		F <sub>c</sub>	F <sub>m</sub>	400(赫)	50(赫)
—	0.0292	0.0278	1.02	17.5	17.5	17.3	
—	0.0364	0.0348	1.28	20	17.5	25.6	
—	0.0455	0.0434	1.60	23	17.5	29	
—	0.0583	0.0557	2.05	27	17.5	36	
0.0591	0.0572	0.0547	2.50	27.4	28	41	0.8
0.0739	0.0714	0.0682	3.13	31.2	28	49	1.2
0.0945	0.0914	0.0874	4.00	36.5	28	60	1.87
0.118	0.115	0.109	5.00	42.7	28	71	2.67
0.107	0.104	0.099	5.40	40.3	41	70	2.69
0.137	0.132	0.126	6.91	46.9	41	80	4.17
0.171	0.165	0.158	8.64	54	41	94	6.16
0.214	0.206	0.197	10.80	63.3	41	106	8.78
0.244	0.236	0.226	16.38	70	80	178	13.3
0.305	0.295	0.281	20.48	82	80	208	19.6
0.380	0.368	0.351	25.60	92	80	242	28.7
0.487	0.472	0.450	32.77	109	80	286	43.1
0.479	0.462	0.442	40.00	110	121	288	41.6
0.598	0.578	0.552	50.00	125	121	333	61.3
0.765	0.740	0.708	64.00	146	121	394	92.9
0.957	0.925	0.884	80.00	171	121	454	134
0.937	0.905	—	98.44	172	191	542	128
1.20	1.16	—	126.00	199	191	636	172
1.50	1.45	—	157.50	229	191	740	215
1.87	1.81	—	196.90	268	191	853	270
1.96	1.90	—	262.14	281	309	1118	317
2.46	2.37	—	327.68	320	309	1282	390
3.06	2.96	—	409.60	368	309	1487	485
3.91	3.78	—	524.29	437	309	1759	607
3.82	3.70	—	640.00	439	488	2106	688
4.79	4.63	—	800.00	500	488	2452	840
6.14	5.94	—	1024.00	586	488	2895	1064
7.65	7.41	—	1280.00	684	488	3348	1268

附表 (3)

漆包线规格

铜心 称直径 mm	铜心 截面积 mm <sup>2</sup>	直流电阻值		最大电流密度			油性漆包线		高强度漆包线		漆包线重量 kg/km	
		20℃	75℃	δ(A/mm <sup>2</sup> )		漆包线 最大 直径 mm	每cm 可绕 圈数	漆包线 重量 kg/km	漆包线最 大直径 mm	每cm可 绕圈数		
				2.0	4.0							6.0
2.44	4.676	3.75	4.56	9.36	18.7	28.08	2.54	3.9	42.1	2.57	3.89	42.2
2.02	3.205	5.47	6.65	6.42	12.84	19.26	2.120	4.7	28.9	2.14	4.67	29.0
1.88	2.776	6.31	7.67	5.56	11.12	16.68	1.97	5.1	25.0	2.00	5.00	25.2
1.74	2.378	7.37	8.96	4.76	9.52	14.28	1.83	5.5	21.4	1.85	5.41	21.4
1.62	2.061	8.50	10.30	4.12	8.24	12.36	1.71	5.8	18.5	1.73	5.78	18.6
1.45	1.651	10.6	12.88	3.30	6.60	9.9	1.53	6.5	14.9	1.56	6.41	15.0
1.30	1.327	13.2	16.05	2.66	5.32	7.98	1.38	7.2	12.0	1.41	7.09	12.1
1.20	1.131	15.5	18.80	2.23	4.52	6.78	1.28	7.8	10.2	1.31	7.63	10.4
1.08	0.9161	19.1	23.25	1.83	3.66	5.50	1.16	8.6	8.27	1.19	8.40	8.32
1.00	0.7854	22.4	27.10	1.57	3.14	4.71	1.07	9.4	7.10	1.11	9.01	7.14
0.90	0.6362	27.5	33.50	1.27	2.54	3.82	0.96	10.4	5.75	0.99	10.10	5.78
0.80	0.5027	34.8	42.40	1.01	2.01	3.02	0.86	11.6	4.55	0.89	11.24	4.58
0.72	0.4072	43.0	52.35	0.814	1.63	2.44	0.78	12.8	3.67	0.80	12.50	3.70
0.67	0.3526	49.7	60.40	0.704	1.408	2.11	0.72	13.9	3.19	0.75	13.33	3.21
0.62	0.3019	58.0	70.60	0.604	1.21	1.812	0.67	14.9	2.73	0.69	14.49	2.76
0.55	0.2376	73.7	89.70	0.476	0.95	1.43	0.60	16.7	2.16	0.62	16.13	2.17
0.51	0.2043	85.9	104.10	0.408	0.82	1.224	0.56	17.9	1.86	0.58	17.24	1.87
0.44	0.1521	115	140.09	0.304	0.61	0.912	0.49	20.4	1.38	0.50	20.00	1.39
0.41	0.1320	133	161.40	0.264	0.53	0.792	0.45	22.2	1.20	0.47	21.28	1.21
0.38	0.1134	155	187.80	0.226	0.45	0.678	0.42	23.8	1.03	0.44	22.73	1.04

续表

铜心公称直径	铜心截面积 mm <sup>2</sup>	电流电阻值		最大电流密度				油性漆包线			高强度漆包线		
		20℃	75℃	δ(A/mm <sup>2</sup> )		漆包线最大直径 mm	每cm可绕圈数	漆包线重量 kg/km	漆包线最大直径 mm	每cm可绕圈数	漆包线重量 kg/km		
				2.0	4.0							6.0	漆包线最大直径 mm
0.35	0.09621	182	221.80	0.192	0.384	0.576	0.39	25.6	0.876	0.41	24.39	0.884	
0.31	0.07548	232	282.30	0.150	0.300	0.45	0.35	28.6	0.689	0.36	27.78	0.693	
0.29	0.06605	265	322.30	0.132	0.264	0.396	0.33	30.3	0.601	0.34	29.41	0.608	
0.27	0.05726	306	372.00	0.114	0.23	0.342	0.31	32.3	0.522	0.32	31.25	0.529	
0.25	0.04909	357	434.20	0.098	0.20	0.295	0.275	36.4	0.446	0.30	33.33	0.454	
0.23	0.04155	422	512.50	0.083	0.166	0.25	0.255	39.2	0.378	0.28	35.71	0.386	
0.21	0.03464	506	615.00	0.069	0.138	0.21	0.235	42.6	0.316	0.25	40.00	0.321	
0.19	0.02838	618	715.50	0.057	0.114	0.17	0.21	47.6	0.259	0.23	43.48	0.264	
0.17	0.02270	773	939.00	0.0454	0.091	0.136	0.19	52.6	0.208	0.21	47.62	0.213	
0.15	0.01767	993	1206	0.035	0.071	0.106	0.17	58.3	0.162	0.19	52.63	0.167	
0.13	0.01327	1322	1606	0.027	0.053	0.078	0.15	66.7	0.122	0.16	62.50	0.125	
0.12	0.01131	1551	1883	0.023	0.045	0.068	0.14	71.4	0.104	0.15	66.67	0.108	
0.11	0.009498	1846	2241	0.019	0.038	0.057	0.13	76.9	0.088	0.14	71.43	0.092	
0.10	0.007854	2237	2712	0.016	0.032	0.048	0.12	83.3	0.073	0.13	76.92	0.076	
0.09	0.006362	2758	3343	0.013	0.026	0.038	0.105	95.2	0.059	0.12	83.33	0.063	
0.08	0.005027	3487	4238	0.0101	0.020	0.030	0.095	105.3	0.047	0.11	90.91	0.050	
0.07	0.003848	4556	5535	0.0076	0.0152	0.023	0.085	117.6	0.036	0.10	100.00	0.039	
0.06	0.002827	6198	7533	0.0056	0.0112	0.017	0.075	133.3	0.027	0.09	111.10	0.029	
0.05	0.001963	8949	10848	0.0039	0.0078	0.0118	0.065	153.8	0.019	0.07	142.90	0.022	