



全国中等职业技术学校电工类专业一体化精品教材

Quanguo Zhongdeng Zhiye Jishu Xuexiao **Diangonglei**
Zhuanye Yitihua Jingpin Jiaocai

电机变压器设备 安装与维护

教师用书



中国劳动社会保障出版社

全国中等职业技术学校电工类专业一体化精品教材

电机变压器设备安装与维护

(教师用书)

人力资源和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

电机变压器设备安装与维护：教师用书 / 人力资源和社会保障部教材办公室组织编写.
—北京：中国劳动社会保障出版社，2011

全国中等职业技术学校电工类专业一体化精品教材

ISBN 978 - 7 - 5045 - 9017 - 6

I. ①电… II. ①人… III. ①变压器-安装-专业学校-教学参考资料②变压器-维修-专业学校-教学参考资料 IV. ①TM40

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 072470 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码：100029)

出版人：张梦欣

*

北京金明盛印刷有限公司印刷装订 新华书店经销
787 毫米×1092 毫米 16 开本 6.75 印张 156 千字
2011 年 5 月第 1 版 2011 年 5 月第 1 次印刷

定价：14.00 元

读者服务部电话：010 - 64929211/64921644/84643933

发行部电话：010 - 64961894

出版社网址：<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话：010 - 64954652

如有印装差错，请与本社联系调换：010 - 80497374

目 录

课题一	单相变压器的检修	(1)
课题二	三相变压器的维护与故障处理	(14)
课题三	特殊变压器的认识与检修	(26)
课题四	直流电动机的检修	(38)
课题五	三相异步电动机的安装与检修	(52)
课题六	单相异步电动机	(71)
课题七	同步电机运行与维护	(82)
课题八	特种电机维护	(90)

课题一

单相变压器的检修

一、课时分配

课时分配见表 1—1。

表 1—1 课时分配

课题内容	课时
任务 1 小型变压器的检修与制作	18
任务 2 单相变压器的故障检修	12

二、教学指南

- 1. 在工作任务的组织上，采用任务驱动的教学模式，以先做再理解的形式安排教学内容，在完成实训任务的基础上探究问题，讨论变压器的结构、种类、原理，在满足够用、实用的基础上尽可能降低理论知识的难度。
- 2. 单相变压器的工作原理、极性以及绕组的接法是学习变压器的重点和难点内容。教学中应注意提醒学生了解变压器空载运行原理图中标出的各交流量方向为参考方向，各交流量的参考方向之间有一定联系，一般不像“电工基础”等课程中那样任意假设其参考方向。
- 3. 为加强实用性，所制作的变压器要结合相关课程的需要设计，如稳压电源用小型变压器，根据实际需要确定变压器的输出电压，使制作的变压器在将来的学习过程中能够被使用，这样既可避免浪费，又能加强训练任务之间的联系。
- 4. 故障排除的实践教学受实习条件的限制，教师应根据现实条件组织好教学，灵活采用多媒体教学等多种教学方式。
- 5. 实训过程中，要注意强调安全用电和文明操作，特别要强调以下两点：
 - (1) 通电检查和测试必须有人监护并经过指导教师的许可。
 - (2) 使用兆欧表、万用表和电桥测量电阻时一定要断电并验电后进行，确保人身及设备仪器的安全。

三、教学设计建议

任务 1 小型变压器的检修与制作

本任务的主要内容是对单相小型变压器进行测试、拆装并重新绕制绕组，是电工必须掌握的基本技能之一。技能操作的具体内容较多，涉及材料的识别、试验测试、拆装、绕组绕制、绝缘处理等，在教学中应具体注意以下几点：

第一，做好工具、仪器和材料的准备，并使学生逐步认识各种材料，明确它们的用途；教师通过示范操作，具体指导学生如何使用工具、仪器。

第二，通过课件或教师的示范操作，给学生明确的指导和规范，注意巡回指导学生的具体操作。

第三，对于理论知识的处理，一是使学生带着问题在实践操作中探究；二是在操作的基础上，教师进行归纳，使学生由感性认识上升到理性认识，由实践到理论，再由理论指导实践，进而巩固学习的效果。

教学设计建议如下：

环节	教学过程和内容
新课引入	本任务可从日常生活中常见的变压器设备引入，如手机充电器等，引导学生列举生活中在哪些地方见过变压器并讨论变压器的作用。还可引导学生复习“电工基础”课程中所学的磁性材料的相关知识，包括磁性材料的概念、种类等，为理论知识的学习做好准备。
任务实施	制作前的准备工作 1. 标准变压器及漆包线 (1) 指导学生根据实物认识标准变压器，熟悉标准变压器的铭牌，为拆卸操作做好准备。 (2) 向学生介绍漆包线的绝缘用途。 2. 绝缘材料的选择 向学生展示常见的小型变压器绝缘材料，包括青壳纸和牛皮纸等并介绍其特点。 3. 检查工具及仪表 (1) 电工工具 1 套、绕线机 1 台、木锤等其他专用工具。 (2) 仪表仪器：万用表、兆欧表、千分尺、钢直尺各 1 只（把）。 (3) 设备：烘干设备 1 台。 4. 操作准备 (1) 提醒学生操作前必须断开电源，拆除变压器与外部电源的连接线并做好标记。 (2) 指导学生检查绕制的专用工具是否齐全。 (3) 指导学生做好相应的标记。如一次侧、二次侧首尾端标记，外壳和铁心上做好记号，以便于装配。 (4) 指导学生测量线径，选择导线。 标准变压器的参数测量 1. 兆欧表的开路试验 引导学生学习操作方法及要点，注意强调兆欧表使用时正常转速约为 120 r/min，即每秒 2 圈。

环节	教学过程和内容
任务实施	2. 兆欧表的短路试验 引导学生复习操作方法及要点, 强调操作注意事项: 轻摇一下即可, 当指针指向刻度 0 后就不允许继续摇动, 否则此时的短路电流可能会将兆欧表的电流线圈烧毁。 3. 一次绕组、二次绕组间绝缘电阻的测试 引导学生掌握操作方法, 注意强调测量结果的评判标准: 400 V 以下的变压器其绝缘电阻值应不低于 90 MΩ。 4. 一次绕组、二次绕组与铁心间绝缘电阻的测试 用兆欧表测量一次绕组对铁心 (外壳) 的绝缘电阻, 强调其阻值应接近 ∞, 否则说明绝缘性能差。 5. 空载电压的测试 指导学生用万用表测量空载电压, 重点在于如何选择挡位、正确读数和正确判断电压是否正常, 并要注意安全保护等。 单相变压器产品拆卸 操作中指导学生注意以下操作要点: 对有卷边和弯曲的硅钢片, 可用木锤敲直展平后继续使用。注意不可用铁锤敲打, 以免造成延展变形。若硅钢片表面发现锈蚀, 应用汽油浸泡掉锈斑和旧有绝缘漆膜, 重刷绝缘漆。 千分尺的使用在“电工电子基本技能”中已学习过, 这里注意带领学生复习操作方法和操作要点。 绕组制作 首先由教师进行示范操作, 带领学生归纳操作步骤, 示范中注意提示学生绕线的要领: 绕线时将导线稍微拉向绕线前进的相反方向约 5°。拉线的手顺绕线前进方向移动, 拉力大小根据导线粗细掌握, 导线就容易排列整齐, 每绕完一层要垫层间绝缘。然后分组进行训练, 教师进行巡回指导并小结。 硅钢片的安装 首先由教师进行示范, 然后让学生进行实训练习, 注意重点讲解演示紧片的处理方法。 测试 测试的方法与前面参数测量的过程相同, 可引导学生讨论, 然后自行总结测试步骤。注意首先让学生明确进行测试的目的。

环节	教学过程和内容
任务实施	绝缘处理 引导学生讨论：为什么要进行绝缘处理？通过教师演示操作或多媒体资料，引导学生归纳处理步骤，然后进行实际操作练习。
理论讲授	单相变压器的主要功能及应用 带领学生学习教材相关内容，通过观看多媒体课件或实物，让学生总结单相变压器的主要功能，可概括为以下几方面： 1. 变压作用 (1) 用于电源电压调节以适用于不同电压等级的用电场合。 (2) 产生高压电场以实现特殊的需要。 2. 变流作用 根据变压器的电流变换原理制造的电流互感器（特殊变压器）将电流按一定比例变为小电流信号进行测量或控制。如电流互感器等。 3. 变换阻抗作用 实现阻抗匹配，使负载获得最大的功率。如音频信号放大器。 变压器的基本结构 通过观看多媒体课件或实物，结合操作实训内容，总结变压器的主要组成。这里注意应使学生能够准确辨别变压器的种类，如单相和三相、芯式和壳式等。

任务2 单相变压器的故障检修

单相变压器的故障检修是维修电工必须掌握的基本技能之一，故障检修的具体方法内容较多，故障原因和处理方法多种多样，本任务是本课题的重点内容，也是难点内容。理论知识和故障检修技能的教学各有难度，不好组织，例如八大类故障的处理受教学条件的限制，不能一一设置故障，学生不一定都能进行训练，这部分内容的教学应注意以下几方面：

第一，充分备课，做好工具、仪器和材料的准备，例如准备好因各种故障损坏的单相变压器，为完成本任务做好硬件的准备。

第二，本任务的技能要求较高，如何使用万用表、电桥及兆欧表去测试，进而判断故障是重要的操作技能，而八大类故障的原因和解决方法又多种多样，加之受实习条件的限制，为保证教学质量及教学任务的完成，一定要做好示范操作。

第三，充分利用先进的教学设备和手段完成该教学任务，例如通过视频、教学课件，给

学生以大量的感性认识,并使学生通过观察视频、教学课件,充分理解产生单相变压器故障的各种原因和排除方法。

第四,单相变压器的工作原理是本任务的重点和难点内容,所占的篇幅较大,至少要安排4个学时来完成。在授课中注意新旧知识的衔接,做好复习,如电磁感应的概念、法拉第电磁感应定律、相量形式的基尔霍夫第二定律等,进而教会学生列出变压器一次绕组、二次绕组的回路电压平衡方程式,对于公式 $U_1 = E_1 = 4.44fN\Phi_m$ 的推导,可视学生的基础由任课教师取舍。

第五,单相变压器绕组的极性判别至关重要,一旦极性接反,轻者不能工作,重者导致绕组和设备的严重损坏,教学中应对这一重要性予以强调。

教学设计建议如下:

环节	教学过程和内容
新课引入	本任务教学中,可首先带领学生复习巩固上一任务所学的小型变压器的结构、制作步骤等知识,为本任务内容做好准备。
任务实施	制作前的准备工作 1. 设置故障 根据实际设备情况和教学需要,设置适当的故障。 2. 检查工具及仪表 (1) 电工工具1套,木锤等其他专用工具。 (2) 仪表仪器:万用表、兆欧表、千分尺、钢直尺各1只(把)。 3. 操作准备 (1) 提醒学生必须断开电源,拆除变压器与外部电源的连接线,并做好标记。 (2) 提醒学生检查万用表、兆欧表及工具是否齐全。 变压器故障的检查方法 首先介绍各类变压器绕组、铁心、机械故障的判断与检测程序分为两大步骤,即先采用看、闻、听、摸的方法初步判断,然后利用仪器仪表对故障变压器的故障部分进行测量,找出故障点。 介绍用万用表测量变压器直流电阻值时,通过操作使学生认识:小型变压器高压侧的直流电阻较大,而低压侧的直流电阻较小。 用兆欧表摇测绕组间和绕组对地间的绝缘电阻值时,应强调正常的变压器的绝缘电阻值大概在几十兆欧。 变压器故障的处理 根据教学设备的情况组织故障的检修练习,操作之前由教师做好示范操作。

环节	教学过程和内容
理论讲授	首先复习“电工基础”课程中所学的相关知识： 1. 什么是电磁感应现象？ 2. 什么是法拉第电磁感应定律？ 单相变压器的工作原理 让学生回忆任务 1 所学的单相变压器的结构，引出单相变压器的工作原理。 明确单相变压器的基本工作原理是电磁感应。变压器的运行可分为空载运行和负载运行。 1. 单相变压器的空载运行 通过讲解铁耗和铜耗的知识，引出理想变压器的概念，即忽略各种损耗的变压器称为理想变压器。 此部分内容有一定理论难度，应注意让学生掌握以下几个知识要点： (1) 当电源电压不变时，变压器磁路上的磁通的幅值是不会变化的。 (2) 空载电流的作用是产生主磁通。 (3) 二次绕组上输出电压大小等于感应电动势，即 $U_{02} = E_2$；并且 $\dot{U}_{02}$ 与 $\dot{E}_2$ 同相位。 (4) 空载运行时变压器的功率因数 $\cos\alpha$ 很小。 2. 单相变压器的负载运行 播放关于单相变压器负载运行的多媒体资料或让学生观察实验，提出思考问题：一次侧、二次侧的电流将怎样变化？ 让学生观察后总结：一次侧、二次侧的电流将增大。 进一步设疑： (1) 接上负载后为什么一次侧、二次侧的电流将增大？ (2) 一次侧、二次侧的能量是如何传递的？ 引导学生共同分析工作原理，学习教材中的相应内容。 直流电源的极性 注意讲清直流电源极性的特点：直流电源两端的极性是恒定不变的。 交流电源的极性 通过教材图 1—10 所示波形进行讲解，让学生掌握以下要点： 1. 交流电路中，正弦交流电源两端不存在恒定极性，但在任一瞬间仍存在瞬时极性。 2. 正弦交流电源两端只存在瞬时极性。而电位的高与低是相对的，极性也是相对的、可变的、暂时的，随时间而变化。

环节	教学过程和内容
理论讲授	单相变压器的极性 1. 同名端的概念 这部分内容应重点让学生明确：没有被同一个交变磁通所贯穿的线圈之间就不存在同名端的问题。 2. 同名端的判断 主要讲解以下两种判断方法： (1) 利用已知电位的高低进行判断，教材中例 1—2 即采用的这种方法。 (2) 利用右手定则和楞次定律进行判断。 绕组的连接 在此应注意强调极性判别的重要性。 1. 绕组的串联 教师在讲解连接形式时，可通过实物进行连接演示，使学生更加直观地进行认识。 教学中注意说明此接法的应用：因为正、反向串联的总电动势叠加后数值很大，所以常用此法来判别两个绕组的同名端。 2. 绕组的并联 重点强调错误接法的危害。

四、学生指导用书自我检测参考答案

任务 1

一、选择题

1. D 2. A 3. B 4. B 5. A 6. D 7. B 8. A

二、判断题

1. √ 2. √ 3. √ 4. × 5. √ 6. ×

三、填空题

1. 静止 电磁感应
2. 交流电流 阻抗 相位 频率 直流电
3. 铁心 绕组
4. 壳式 芯式
5. 木料 铝材

任务 2

一、选择题

1. D 2. D 3. B 4. B

二、判断题

1. $\checkmark$ 2. $\checkmark$ 3. $\times$ 4. $\times$ 5. $\times$ 6. $\times$

三、填空题

1. 静止 电磁感应
2. 空载运行 负载
3. 大于 0 小于 1
4. 36 V 60 Hz
5. 无功分量 有功分量 电感性
6. 同名端
7. 首尾相接 异名端 之和 越来越大

四、计算题

1. 解：根据电磁感应公式 $E_1 = 4.44fN_1\Phi_m$ 得

$$E_1 = 4.44fN_1\Phi_m = 4.44 \times 50 \times 2\,200 \times 0.015 = 7\,326 \text{ V}$$

$$K = \frac{E_1}{E_2}$$

$$E_2 = \frac{E_1}{K} = \frac{7\,326}{30} = 244.2 \text{ V}$$

2. 解：根据变压器的变比公式

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2}$$

$$U_2 = \frac{U_1}{K} = \frac{380}{10.5} = 36.19 \text{ V}$$

$$K = \frac{I_2}{I_1}$$

$$I_1 = \frac{I_2}{K} = \frac{21}{10.5} = 2 \text{ A}$$

3. 解：根据变压器的变比公式可得

$$Z_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{KU_2}{I_2/K} = K^2 \frac{U_2}{I_2} = K^2 Z_2$$

$$K = \sqrt{Z_1/Z_2} = \sqrt{450/8} = 7.5$$

五、简答题

1. 答：(1) 外观检查。检查引线有无断线、脱焊，绝缘材料有无烧焦，有无机械损伤，然后通电检查有无焦糊味或冒烟。如果有，则应排除故障后再做其他检查。

(2) 线圈开路、短路的检查。用万用表电阻挡检查绕组的通断，以判断绕组是否开路；检查线圈是否短路时，可将绕组与一只灯泡串联后接在电源上，通过观察灯泡的亮暗程度，

检查绕组内部有无短路。灯泡的额定电压和功率可根据电源电压和变压器容量确定。

(3) 测量绝缘电阻。用绝缘电阻表测试各绕组之间、各绕组与铁心之间的绝缘电阻,冷态时应在 $50\text{ M}\Omega$ 以上。

(4) 测额定工作电压。在待测变压器一次绕组接上额定电压时(例如 220 V),测定二次侧输出的空载电压。一般误差要求在 $\pm(3\% \sim 5\%)$ 。

(5) 测量变压器温度。在变压器上接入额定负载,通电 1 h ,温度不得超过允许温度。允许温度是指变压器的绝缘材料所允许的温度。

2. 答:将高压绕组一端用导线与低压绕组一端相连接,同时将高压绕组及低压绕组的另一端接交流电压表,如图 1—1 所示。在高压绕组两端接入低压交流电源,测量 U_1 和 U_2 值,若 $U_1 > U_2$,则 A、a 为同名端;若 $U_1 < U_2$,则 A、a 为异名端。

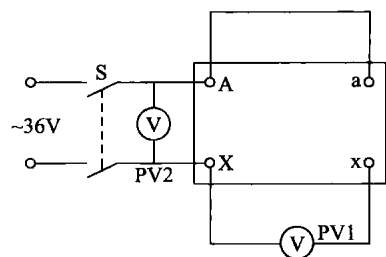


图 1—1 习题图

3. 答:(1) 如果一次回路有电压而无电流,一般是一次绕组出线端头断裂。如果断裂的线头处在绕组的外层,可剥开绝缘层,找出绕组上的断头,焊上新的引出线,包扎好绝缘层即可。如果断裂的线头在绕组内层,一般无法修复,只能拆除重绕。

(2) 若一次回路有较小的电流,而二次回路既无电压也无电流,则一般是二次绕组的出线端头断裂,处理方法同上。

(3) 如果接上电源后,一次回路既无电压,又无电流,则是由于电源线开路所致,应检查电源接线,并进行修复或更换。

4. 答:(1) 一次绕组匝数不足。解决的方法是增加一次绕组的匝数,同时按比例增加二次绕组的匝数,以保持变压比不变。这种情况,一般需要拆除重新绕制,若铁心窗口不够,还要换大一号的铁心。另外一种方法就是不增加变压器绕组,而是将铁心硅钢片更换成质量更高的牌号。

(2) 铁心叠厚不足。解决的方法是在可能的情况下增加铁心厚度,无法增加时则要重新设计制作。也可以更换更高质量的硅钢片。

(3) 铁心质量太差。解决的方法是更换质量高的硅钢片,或对铁心作加厚处理。

5. 答:(1) 一次或二次绕组对地短路。这种故障多发生在无骨架绕组两边的沿口处、绕组最内层的四角处,绕组最外层也会发生。通常由于绕组外形尺寸过大而与铁心窗口配合过紧,或由于内绝缘裹得不好,或由于机械碰撞等原因造成,修理方法可参照匝间或层间短路的有关内容。

(2) 引出线头碰触铁心。仔细检查各引出线头对铁心的绝缘情况,排除引出线头与铁心的短路点。

(3) 长期运行的绕组对铁心绝缘老化。绝缘严重老化会造成绕组对铁心之间出现漏电现象,应重新浸漆或更换绕组。

(4) 绕组受潮或环境湿度过高。由绕组受潮引起的漏电可使铁心带电。应烘烤绕组加强绝缘,或将变压器置于通风干燥的环境中使用。

五、教学参考材料

1. 公式 $U_1 = E_1 = 4.44fN\Phi_m$ 的推导

设 $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$

则:

$$\text{平均感应电动势 } e = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

$$\text{瞬时感应电动势 } e = -N \frac{d\Phi}{dt} = -N\omega\Phi_m \cos \omega t = N\omega\Phi_m \sin (\omega t - 90^\circ)$$

感应电动势的有效值:

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{N\omega\Phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi Nf\Phi_m}{\sqrt{2}} = 4.44Nf\Phi_m$$

2. 图算法

除计算法外,在工程上,还常用图算法来设计小型单相变压器,它可代替烦琐复杂的计算,用法简单,比较适用于 $1 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 以下的小型变压器。图算法有一个较突出的优点,即对于线圈全部烧毁的变压器,在无法得到线圈匝数和线径等参数时,可根据铁心的尺寸,得出变压器的有关数据。这种方法也很适于维修电工在日常维修工作中运用,必要时,可让学生学习使用。如掌握了两种计算方法,可对所需的变压器绕制数据做到相互验证。

$1 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 以下小型变压器图算表如图 1—2 所示。

3. 小型变压器绕制前的准备工作

对于小型变压器绕制前如何选择漆包线和绝缘材料的知识,可根据教学实际需要,补充以下内容:

(1) 导线的选择

根据计算的匝数和导线的截面积选用相应规格的漆包线。对于 500 V 以下的变压器,当一次、二次绕组裸导线的截面积乘以对应的匝数所得总面积占铁心窗口面积的 50% 左右时,一般是能够绕得下的。若导线总面积超过占窗口面积的 30% 时,应考虑把匝数多的那个绕组改用小一号的导线,或都改用性质较好的绝缘材料,这样绕好的线包(绕好的全部绕组简称)不会因装不进铁心而返工。

(2) 绝缘材料的选择

绝缘材料的选择必须考虑耐压要求和允许厚度,表 1—2 列出的是常用绝缘材料的性能和用途。层间绝缘厚度应按两倍层间电压的绝缘强度选用。对于 1000 V 以下要求不高的变压器也可用电压的峰值,即两倍层间电压为选用标准。对铁心绝缘及绕组间的绝缘,按对地电压的两倍来选用。

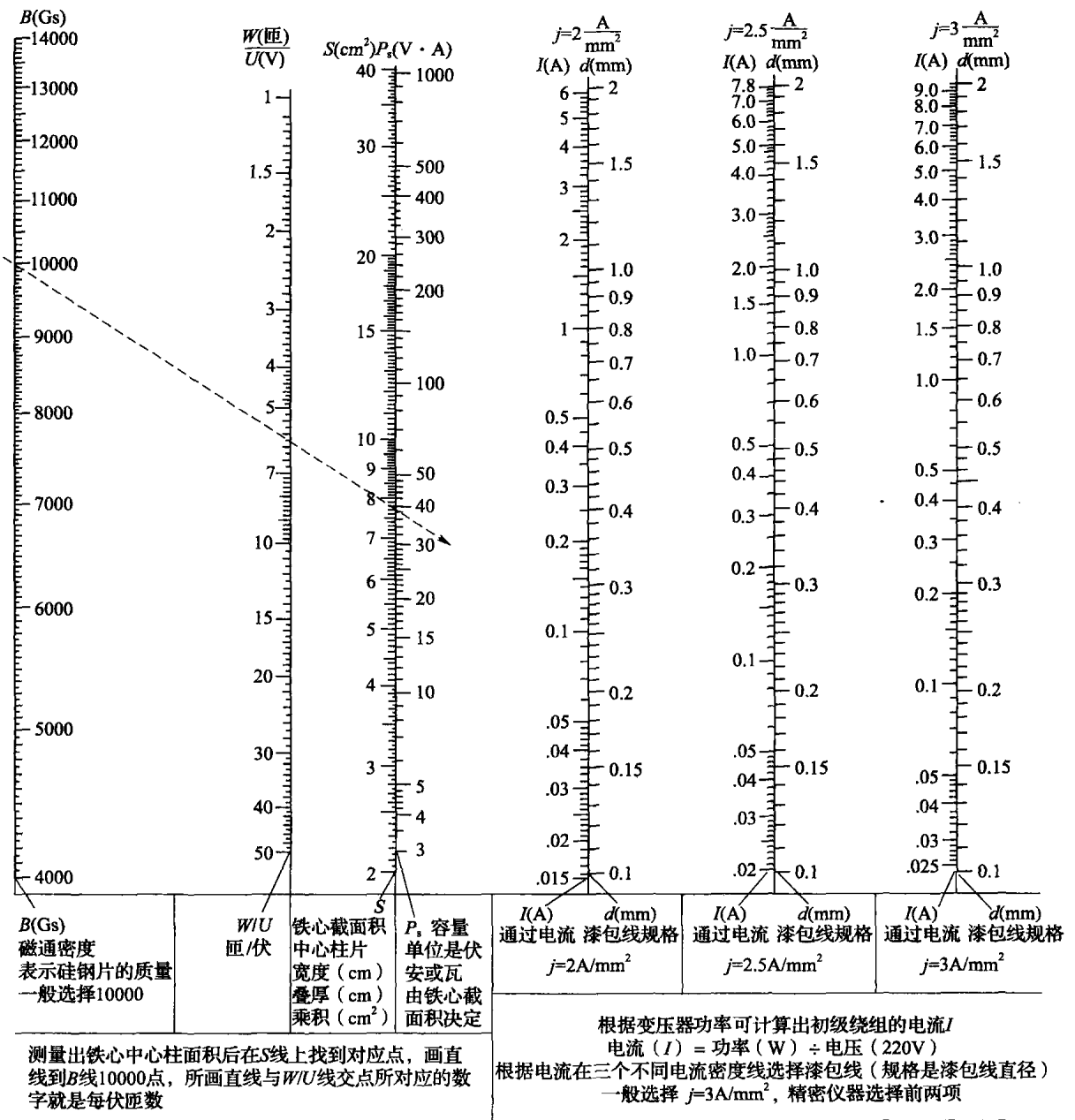


图 1—2 1 kV · A 以下小型变压器图算表

表 1—2

常用绝缘材料的性能和用途

品名	颜色	常用规格		特点	用途	备注
		厚度 (mm)	耐压强度 (V)			
电话纸	白色	0.04 0.05	400	坚实, 不易破 碎	线径小于 0.4 mm 的漆包线的层间绝 缘垫纸	代用品: 相当厚度 的打字纸

续表

品名	颜色	常用规格		特点	用途	备注
		厚度 (mm)	耐压强度 (V)			
电缆纸	土黄色	0.08 0.12	300 ~ 400 800	柔顺, 耐拉力强	线径大于 0.5 mm 的漆包线的层间绝缘	代用品: 牛皮纸
青壳纸	青褐色	0.25	1 500	坚实耐磨	线包外层绝缘 (2 ~ 3 层)	
电容器纸	白色、黄色	0.03	475	薄, 密度高	同电话纸	
聚酯薄膜	透明	0.04 0.05 0.10	3 000 4 000 9 000	耐温 140℃	层间绝缘	
玻璃漆布	黄色	0.15 0.17	2 000 ~ 3 000	耐湿好	绕组间绝缘	
聚四氟乙烯薄膜	透明	0.030	6 000	耐温 280℃ 耐酸碱	层间绝缘	
压制板	土黄色	1.0 1.5		坚实, 易弯曲	线包骨架	又称弹性纸
黄蜡布	糖浆色	0.14 0.17	2 500	光滑, 耐高压	高压绕组间绝缘	
黄蜡绸	糖浆色	0.08	400	细薄, 少针孔	高压绕组的层间绝缘 高压绕组间绝缘 (2 ~ 3 层)	
高频漆				粘料	粘合绝缘纸、压制板、黄蜡布和黄蜡绸	又称洋干漆
清喷漆	透明			粘料	粘合绝缘纸、压制板、黄蜡布和黄蜡绸等	又称罩光漆

(3) 制作木芯

木芯是用来套在绕线机转轴上支撑绕组骨架的, 以便进行绕线。通常用杨木或杉木按铁心中心柱截面 $a \times b$ 稍大些的尺寸 $a' \times b'$ 制成, 如图 1—3 所示。木芯的长应比铁心窗口高度 h 大一些, 木芯的中心孔径为 10 mm, 孔必须钻得平直, 木芯的四边必须相互垂直, 否则绕线时会发生晃动, 绕组不易平齐。木芯的边角用砂纸磨成略有圆角, 以便套进或抽出骨架。

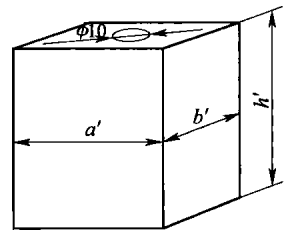


图 1—3 木芯

(4) 制成绕线芯子及骨架

绕线芯子除起支撑作用外，还起对铁心的绝缘作用，并具有一定的机械强度与绝缘强度。小型变压器可选用绝缘纸板制成无框纸质骨架，如图 1—4 所示。纸质无框绕线芯子一般是用弹性纸制成的。弹性纸的厚度根据变压器的容量选用，纸板的宽度等于木芯的长度 h' ，弹性纸的长度 L 为：

$$L = 2(b' + t) + a' + 2(a' + t) = 3a' + 2b' + 4t$$

按照图 1—4b 中虚线用裁纸刀划出浅沟，沿沟痕把弹性纸折成方形。第 5 面与第 1 面重叠，用胶水粘合。

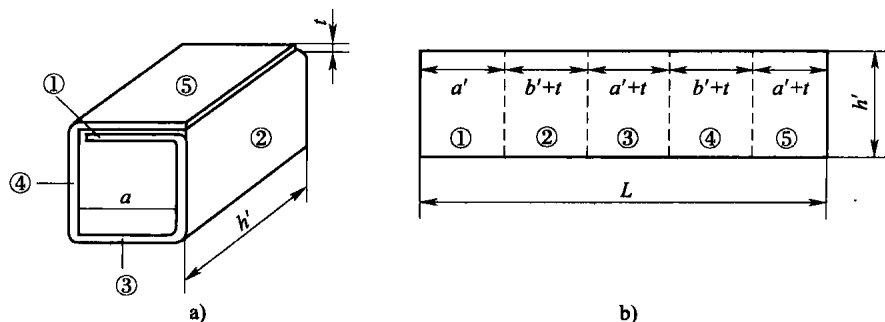


图 1—4 纸质无框绕线芯子

a) 绕线芯子外形 b) 展开图

要求较高的变压器都采用有框骨架。框架可用钢纸（又称反白）或玻璃纤维等材料做成，活络框架的结构如图 1—5 所示。框架的两端用两块框板支住，两侧采用两种形状的夹板，拼合成为一个完整的框架，如图 1—5d 所示。

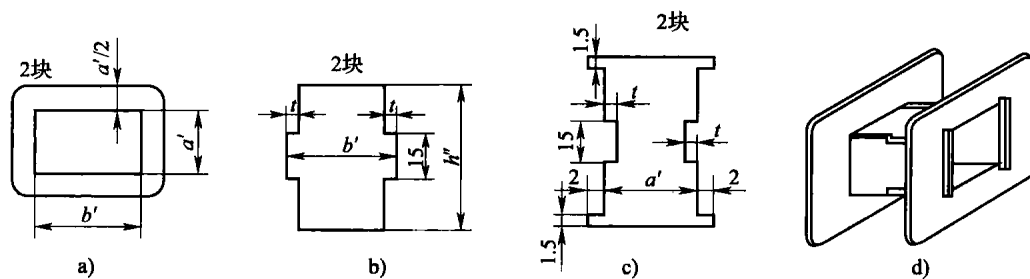


图 1—5 活络框架的结构

a) 上下边框架 b) 夹板 c) 活络框架组成 d) 完整的框架