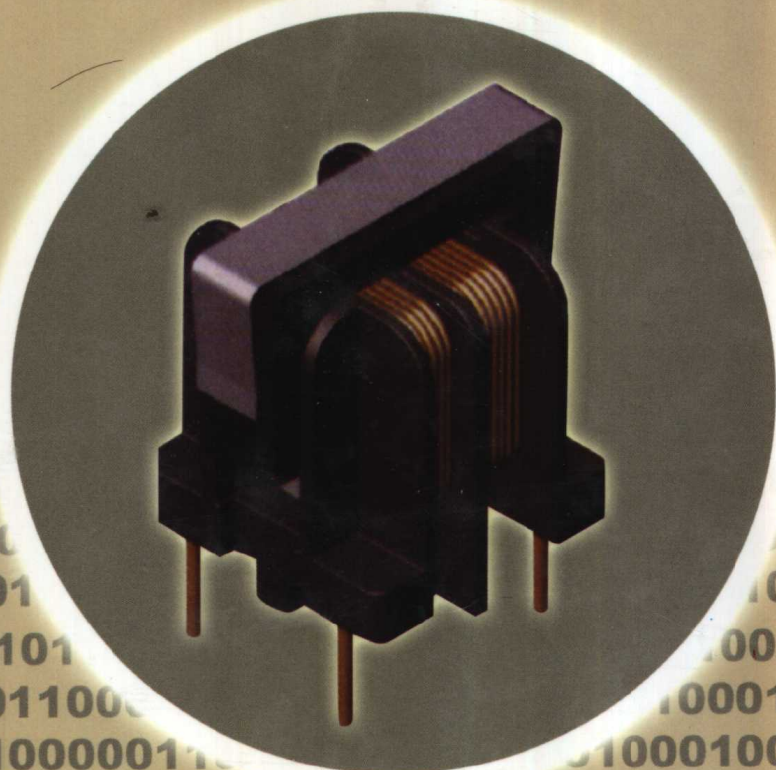


实用电子变压器

材料器件手册

◎ 王全保 主编



实用电子变压器 材料器件手册

王全保 主编

辽宁科学技术出版社
·沈阳·

© 2003 版权归辽宁科学技术出版社所有

图书在版编目(CIP)数据

实用电子变压器材料器件手册/王全保主编. —沈阳:辽宁科学技术出版社, 2003.5
ISBN 7-5381-3794-7

I. 实… II. 王… III. ①变压器-电子材料-技术手册
②变压器-电子器件-技术手册 IV. TM4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 078556 号

出 版 者:辽宁科学技术出版社

(地址:沈阳市和平区十一纬路 25 号 邮编:110003)

印 刷 者:沈阳新华印刷厂

发 行 者:各地新华书店

开 本:787mm × 1092mm 1/16

字 数:670 千字

印 张:29

插 页:4

印 数:1 ~ 4 000

出版时间:2003 年 5 月第 1 版

印刷时间:2003 年 5 月第 1 次印刷

责任编辑:枫 岚 素 馨

封面设计:庄庆芳

版式设计:于 浪

责任校对:苏 欣

定 价:68.00 元

联系电话:024-23284360

邮购咨询电话:024-23284502

E-mail:lkzsb@mail.lnpgc.com.cn

http: // www.lnkj.com.cn

《实用电子变压器材料器件手册》

编 写 组

主 编 王全保

编写人员 王全保 陈国钧 王耕福
何中维 王卫红 朱道文
虞维扬 张静波 奚 慧

内 容 提 要

本手册汇集了电子变压器使用的三大材料——软磁性材料、导电材料和绝缘材料的国内外品种、规格，最新的有关国际、国家和行业标准及发展动态。重点介绍了高磁感应低损耗硅钢、精密软磁合金、铁粉芯、非晶和超微晶合金、软磁铁氧体材料的特性、产品性能、应用和发展情况，给出了数千种国内外铁心系列的性能参数；较详细地介绍了漆包线、丝包线、丝漆包线，圆线、扁线和束线等各种规格、特性及国外产品型号和常用的引出线；详细介绍了应用于电子变压器中的各种纸类、胶粘带、薄膜及复合材料、绝缘漆、环氧树脂等绝缘材料，特别是F和H级绝缘材料的性能、品种、规格。本手册还介绍了电子变压器线圈骨架和底筒，以及常用配件等。

前 言

电子变压器是电子设备、通讯设备和家用电器具必不可少的器件之一，在信息化时代的今天，更得到迅速的发展。电子变压器由各种材料和元件组成。电子变压器的技术进步，离不开组成电子变压器的材料和元件的发展。

近年来，材料技术得到了很大的发展，高磁感、低铁损硅钢，非晶、超微晶合金，贴装型铁氧体磁芯等材料和元件的问世，为电子变压器的节能化、小型化及平面变压器的发展提供了性能优良的软磁性材料及元件。F、H级绝缘材料的工业化生产也为高温变压器的应用创造了良好的条件。电子变压器在结构、工艺上的创新基于材料技术的进步。为使读者全面地了解电子变压器使用的材料和元件的最新发展，推动电子变压器行业的技术进步，特编写了本手册。

本手册汇集了电子变压器使用的三大材料——软磁性材料、导电材料和绝缘材料的国内外品种、规格、性能、最新标准和发展动态。同时，介绍了电子变压器材料及元件的选用原则、设计计算。

在软磁性材料方面，详细介绍了高磁感应低损耗硅钢、精密软磁合金、铁粉芯、非晶和超微晶合金及软磁铁氧体材料的特性和产品性能，还介绍了国内外铁心元件规格系列、应用范围和发展情况。详细阐述了变压器铁心主要参数的计算，铁心片、环形卷绕铁心、C型铁心、R型铁心，铁镍、铁钴、铁铝系软磁合金及铁心的选用、供货方式。重点介绍了非晶和超微晶合金等新材料的供货方式、应用情况，还与传统晶态软磁合金作了对比。

在导电材料方面，对漆包线、丝包线、丝漆包线，以及圆线、扁线和束线等各种规格及国外型号的产品作了详细介绍，并介绍了电子变压器常用的引出线。

在绝缘材料方面，详细介绍了应用于电子变压器中的各种纸类、胶粘带、薄膜、纤维纸及复合材料、玻璃漆布、绝缘漆、环氧树脂等绝缘材料的性能、品种、规格，特别对F和H级绝缘材料作了大量的介绍。此外，本手册还介绍了电子变压器线圈骨架和底筒、常用配件等。

本手册采用了最新的有关国际、国家和行业标准，内容广泛，反映了电子变压器材料领域的最新动态。为方便读者应用，本手册突出了对材料的选择、测试及供货等实用性内容。因此本手册对从事电子变压器的设计、制造、应用的技术人员、管理人员和工人，具有极大的使用价值，对电子变压器材料及元件制造领域的有关人员也有很大的参

考价值。本手册与《电子变压器手册》一书互为补充，相得益彰。

本手册第1、2、6章由王全保同志编写；第3章和第2章的精密软磁合金部分由陈国钧同志编写；第4章由王耕福同志编写；第8、9章由何中维同志编写；第5章由王卫红同志编写；第6章的绝缘漆部分由朱道文同志编写；第2章的金属磁粉芯部分由虞维扬同志编写；第7章由张静波、奚慧同志编写。全书由王全保同志审核、统编。本手册编写过程中，得到了陈培康同志的大力协助，在此表示感谢！

对本书的错误和不足之处，敬请广大读者批评指正。

编者
2002年5月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 电子变压器用材料及器件的主要分类	1
1.1.1 磁性材料	1
1.1.2 导电材料	2
1.1.3 绝缘材料	3
1.2 电子变压器用材料及器件的选择原则	4
1.2.1 磁性材料选用	4
1.2.2 导电材料选用	4
1.2.3 绝缘材料选用	5
第 2 章 金属磁性材料及器件	6
2.1 硅钢带 (片)	6
2.1.1 硅钢带 (片) 的分类	6
2.1.2 硅钢带 (片) 的基本特性	8
2.1.3 冷轧硅钢带 (片) 的主要性能	8
2.1.4 晶粒取向硅钢薄带	9
2.1.5 国际电工委员会 (IEC) 所推荐的冷轧硅钢带 (片) 性能	11
2.1.6 国外冷轧硅钢带 (片)	14
2.1.7 硅钢带 (片) 的应用及发展	19
2.2 铁心片	20
2.2.1 GB11441 铁心片系列	20
2.2.2 GE、GEB 型铁心片	27
2.2.3 小型铁心片系列	29
2.2.4 国外铁心片系列	30
2.2.5 铁心片迭厚系列	35
2.2.6 小型插片铁心变压器主要参数计算	74
2.3 环形卷绕铁心	100
2.3.1 环形卷绕铁心的尺寸比	100
2.3.2 BOD 型环形卷绕铁心	100
2.3.3 国外环形卷绕铁心	101
2.3.4 IEC635 推荐的环形卷绕铁心系列	103
2.4 C 型铁心	103

2.4.1 CD、ED 型铁心	103
2.4.2 XCD、XED 型铁心	110
2.4.3 BCD 型铁心	114
2.4.4 三相 E 型铁心	116
2.4.5 IEC329 推荐的卷绕切割铁心系列	122
2.4.6 国外 C 型铁心	135
2.5 R 型铁心	141
2.5.1 R 型铁心产品	141
2.5.2 R 型铁心用材料	141
2.6 精密软磁合金	142
2.6.1 概述	142
2.6.2 铁镍系软磁合金	142
2.6.3 铁钴系软磁合金	167
2.6.4 铁铝系软磁合金	168
2.6.5 不锈软磁合金	170
2.6.6 精密软磁合金的供货方式及铁心系列	172
2.7 金属磁粉芯	181
2.7.1 金属磁粉芯的分类	181
2.7.2 金属磁粉芯的特性	181
2.7.3 金属磁粉芯的应用	186
2.7.4 国产金属磁粉芯	186
2.7.5 美国微金属公司生产的金属磁粉芯	187
第 3 章 非晶和超微晶 (纳米晶) 软磁材料	204
3.1 概述	204
3.2 非晶态软磁合金	205
3.2.1 分类	205
3.2.2 铁基非晶软磁合金	205
3.2.3 铁镍基非晶软磁合金	217
3.2.4 钴基非晶软磁合金	218
3.3 铁基超微晶软磁合金	227
3.4 非晶、超微晶合金的供货方式及铁心系列和主要应用范围	231
3.4.1 半成品供货	231
3.4.2 铁心成品	231
3.4.3 非晶和超微晶软磁合金的主要应用范围	232
3.5 非晶和超微晶软磁合金与传统晶态软磁合金发展情况对比	233
3.5.1 近年主要进展	233
3.5.2 基本磁参数	235
3.5.3 技术磁参数	238

3.5.4 根据性能要求选择合金材料	238
第4章 软磁铁氧体材料及磁芯	247
4.1 软磁铁氧体材料的分类和命名	247
4.1.1 软磁铁氧体材料的分类	247
4.1.2 软磁铁氧体材料牌号命名方法	250
4.2 软磁铁氧体材料的基本磁特性参数及测试方法	255
4.2.1 磁化曲线和磁滞回线	255
4.2.2 软磁铁氧体的磁导率	255
4.2.3 软磁铁氧体的损耗	259
4.2.4 稳定性	262
4.2.5 电性能和物理性能	266
4.3 电子变压器用磁芯的主要规格及应用	267
4.3.1 E型磁芯	267
4.3.2 U型磁芯	268
4.3.3 罐型磁芯	269
4.3.4 其他形状的磁芯	270
4.4 电子变压器磁芯设计及选择	273
4.4.1 功率变压器磁芯的设计	273
4.4.2 宽带变压器磁芯的设计	280
4.4.3 其他变压器磁芯的设计	285
4.5 电子变压器用软磁铁氧体材料的发展前景	288
4.5.1 功率铁氧体材料	288
4.5.2 高磁导率铁氧体材料	289
4.5.3 高频铁氧体材料	289
第5章 电子变压器用导线	292
5.1 导线的分类和特性	292
5.2 漆包圆绕组线	292
5.2.1 155级改性聚酯漆包圆铜线	296
5.2.2 缩醛漆包圆铜线	297
5.2.3 直焊性聚氨酯漆包圆铜线	297
5.2.4 聚酯亚胺漆包圆铜线	298
5.2.5 聚酰亚胺漆包圆铜线	299
5.2.6 聚酯漆包圆铜线	300
5.2.7 热粘合聚酯漆包圆铜线	300
5.2.8 热粘合直焊性聚氨酯漆包圆铜线	302
5.2.9 聚酯亚胺 / 聚酰胺复合漆包圆铜线	303
5.2.10 聚酯亚胺 / 聚酰胺酰亚胺复合漆包圆铜线	304
5.3 漆包扁绕组线	305

5.3.1 一般规定	305
5.3.2 高强度缩醛漆包铜扁线	307
5.3.3 温度指数 155 的聚酯漆包铜扁线	307
5.3.4 温度指数 180 的漆包铜扁线	308
5.3.5 温度指数 220 的漆包铜扁线	308
5.4 玻璃丝包绕组线	308
5.4.1 双玻璃丝包圆铜线	311
5.4.2 单玻璃丝包漆包圆铜线	312
5.4.3 双玻璃丝包扁铜线	312
5.4.4 玻璃丝包漆包扁铜线	312
5.5 丝包铜绕组线	313
5.5.1 一般规定	313
5.5.2 丝包单线	313
5.5.3 丝包束线	314
5.6 美国电磁线产品	318
5.6.1 品种	318
5.6.2 规格	319
5.6.3 性能	321
5.7 引出线	322
5.7.1 常用引出线品种	322
5.7.2 镀锡圆铜线	323
5.7.3 铜软绞线	323
5.7.4 聚氯乙烯绝缘安装软线	323
5.7.5 铜芯乙丙橡皮绝缘引接线	324
5.7.6 铜芯硅橡皮绝缘引接线	324
5.7.7 丁腈聚乙烯绝缘引接线	325
5.7.8 聚四氟乙烯绝缘引接线	325
5.7.9 AVX105、AEX125 型辐照交联阻燃绝缘线	326
5.7.10 JY105、JY125 型辐照交联聚烯烃绝缘引接线	326
5.7.11 GRVZ 型阻燃电视高压线	326
第 6 章 电子变压器用绝缘材料	328
6.1 电气绝缘材料的分类及用途	328
6.1.1 电气绝缘材料的分类	328
6.1.2 绝缘材料的用途	329
6.2 电绝缘纸	329
6.2.1 电绝缘纸的用途	329
6.2.2 电力电缆纸	330
6.2.3 电话纸	330

6.2.4 电容器纸	331
6.2.5 电绝缘纸板	332
6.3 绝缘薄膜、胶粘带	333
6.3.1 绝缘薄膜、胶粘带的用途	333
6.3.2 聚酯薄膜	333
6.3.3 聚酰亚胺薄膜	334
6.3.4 聚四氟乙烯薄膜	335
6.3.5 聚酯薄膜胶粘带	336
6.3.6 聚酰亚胺薄膜胶粘带	336
6.4 纤维纸、柔软复合材料	337
6.4.1 纤维纸、柔软复合材料的用途	337
6.4.2 聚芳酰胺纤维纸	337
6.4.3 聚酯薄膜绝缘纸柔软复合材料	339
6.4.4 聚酯薄膜聚酯纤维非织布柔软复合材料	340
6.4.5 聚酯薄膜聚芳酰胺纤维纸柔软复合材料	341
6.4.6 聚酰亚胺薄膜聚芳酰胺纤维纸柔软复合材料	341
6.5 玻璃漆布	342
6.5.1 玻璃漆布的用途	342
6.5.2 醇酸玻璃漆布	342
6.5.3 聚酯玻璃漆布	343
6.5.4 有机硅玻璃漆布	344
6.6 电工用层压制品、绝缘管	344
6.6.1 层压制品、绝缘管的用途	344
6.6.2 环氧玻璃布层压板	345
6.6.3 聚胺—酰亚胺层压玻璃布板	346
6.6.4 NOMEX 芳香聚酰胺纤维压板	347
6.6.5 环氧层压玻璃布管	348
6.6.6 丙烯酸酯玻璃漆管	349
6.6.7 硅橡胶玻璃纤维软管	350
6.6.8 聚四氟乙烯套管	351
6.7 绝缘漆	351
6.7.1 电子变压器浸渍绝缘漆的目的和要求	351
6.7.2 电子变压器对绝缘漆的要求	352
6.7.3 绝缘漆的分类	352
6.7.4 绝缘漆的主要技术要求	354
6.7.5 国内主要生产企业产品介绍	356
6.7.6 绝缘漆的选择和使用	360
6.7.7 绝缘漆的发展	365

第7章 环氧树脂	367
7.1 环氧树脂分类及命名	367
7.1.1 环氧树脂分类	367
7.1.2 环氧树脂命名	367
7.2 环氧树脂产品特性	369
7.2.1 机械性能	370
7.2.2 电气、化学性能	370
7.2.3 工艺性能	370
7.3 固化剂	371
7.3.1 环氧树脂固化剂分类	371
7.3.2 固化剂的固化温度和耐热性	372
7.3.3 几种常用的固化剂	372
7.4 增韧剂	376
7.4.1 惰性增韧剂	376
7.4.2 活性增韧剂	377
7.4.3 几种常用的活性增韧剂	377
7.5 稀释剂	378
7.5.1 非活性稀释剂	378
7.5.2 活性稀释剂	379
7.6 填料	379
7.6.1 填料的种类及用途	380
7.6.2 填料的改性效果	381
7.6.3 偶联剂在填料中的应用	382
7.7 环氧树脂固化物的性能测定方法	383
7.7.1 环氧树脂固化物吸水率的测定	383
7.7.2 环氧树脂固化物体积收缩率的测定	383
7.7.3 环氧树脂固化物耐热性测定	384
7.7.4 冲击强度	385
7.7.5 抗张强度	385
7.7.6 抗压强度	385
7.7.7 抗剪强度	386
7.7.8 抗电强度	386
7.8 环氧树脂在电子变压器中的应用	386
7.8.1 绝缘浸渍	386
7.8.2 裹覆	387
7.8.3 端封	389
7.8.4 灌封	390
7.9 环氧树脂材料的发展	392

7.9.1 高纯度环氧树脂	392
7.9.2 阻燃型环氧树脂	393
7.9.3 氟化环氧树脂	395
7.9.4 环氧树脂泡沫塑料	395
7.9.5 环氧树脂自动压力凝胶 (APG) 技术	395
7.9.6 环氧树脂基无机纳米复合材料	396
第 8 章 电子变压器用线圈骨架和底筒	397
8.1 E 型、XEI 型小型变压器骨架	397
8.2 插片铁心变压器线圈骨架	398
8.2.1 工字形骨架	398
8.2.2 王字形骨架	400
8.2.3 抽屉式骨架	402
8.2.4 直插式骨架	406
8.3 R 型变压器线圈骨架	408
8.4 变压器用底筒	409
8.5 电子变压器线圈用骨架、底筒的结构特点及材料选择	416
8.5.1 骨架的结构特点	416
8.5.2 底筒	417
8.5.3 常用线圈骨架材料及特性	417
第 9 章 电子变压器常用配件	419
9.1 温度保护器	419
9.1.1 热熔断器	419
9.1.2 PTC 热敏电阻	420
9.2 插片铁心变压器用夹框	421
9.3 C 型变压器常用配件	423
9.3.1 底座	423
9.3.2 底板	425
9.4 适配器常用配件	428
9.4.1 铁心为 EI35 的适配器外壳	428
9.4.2 铁心为 EI41 的适配器外壳	431
9.4.3 铁心为 EI48 的适配器外壳	434
9.4.4 铁心为 EI57 的适配器外壳	441
9.4.5 铁心为 EI60 的适配器外壳	445
9.4.6 铁心为 EI66 的适配器外壳	445
9.4.7 铁心为 EI86 的适配器外壳	449

第1章 概 述

1.1 电子变压器用材料及器件的主要分类

电子变压器是电子和通讯设备必不可少的器件之一，在信息化时代的今天，更得到迅速的发展。电子变压器由各种材料和器件组成。电子变压器的技术进步，离不开组成电子变压器的材料和器件的发展。

电子变压器是一种应用电磁感应原理在电器中传递能量和信息的电磁装置。组成电子变压器的材料主要有三大类，即磁性材料、绝缘材料和导电材料。磁性材料组成变压器的磁路，导电材料组成变压器的电路，绝缘材料形成变压器的绝缘系统。上述材料若成为变压器的一个独立的、适合于组合使用的零件或部件，或变压器使用的配件等，可称为元件。如用硅钢带卷绕成环形、C型的铁心，模压并烧结成型的铁氧体磁芯，用绝缘材料制成的线圈骨架和底筒，变压器用的底板、底座、夹框、热继电器等等。在电子变压器的三大材料中，最主要是两大材料，即磁性材料和绝缘材料。这是因为导电材料的特性除了其本身的特性（导电性）外，其他主要特性都取决于绝缘材料。

1.1.1 磁性材料

磁性材料分为软磁材料和硬磁材料两种，电子变压器用的磁性材料为软磁材料。所谓软磁材料就是在外磁场的作用下产生磁性，外磁场消失其磁性随之基本消失的材料。

软磁材料的分类如下：

1. 按材料的性质分类

软磁材料按其性质可分为金属软磁性材料和金属氧化物软磁性材料。

①金属软磁性材料

金属软磁性材料的种类很多，用于电子变压器的有：

- a. 硅钢带（板）；
- b. 精密软磁合金；
- c. 磁性粉末；
- d. 非晶态合金；
- e. 超微晶合金。

②金属氧化物软磁性材料

金属氧化物软磁性材料即铁氧体材料。

2. 按结晶状态分类

软磁材料可分为如下几种：

- a.晶态合金，如硅钢、坡莫合金等；
- b.非晶态合金；
- c.尖晶石型结构，如铁氧体。

3. 按磁滞回线形状分类

软磁材料分如下三种（参见图 2-75）：

- a.R 形即普通形磁滞回线（图 2-75（a））；
- b.Z 形即矩形磁滞回线（图 2-75（b））；
- c.F 形即扁平形磁滞回线（图 2-75（c））。

4. 按化学成分分类

软磁材料又有如下几种：

对金属软磁性材料而言有：

- a.铁硅合金；
- b.铁镍合金；
- c.铁硅铝合金；
- d.铁钴合金；
- e.其他。

对铁氧体材料而言有：

- a.锰锌系铁氧体；
- b.镍锌系铁氧体；
- c.镁锌系铁氧体。

1.1.2 导电材料

电子变压器用导电材料包括绕组用导线和引出线两部分。

1. 绕组用导线

①按导线的绝缘分类有：

- a.漆包线；
- b.丝包线；
- c.丝漆包线；
- d.纸包线。

②按导体的形状分类有：

- a.圆线；
- b.扁线。

③按导体的材质分类有：

- a.铜线；
- b.铝线。

2. 引出线

①按导线的绝缘分类有：

- a.裸线；

b.塑料绝缘线;

c.橡胶绝缘线。

②按导体的结构分类有:

a.单线;

b.束线。

③按导体的材质分类有:

a.铜线;

b.铝线。

电子变压器使用铜导线。导线的特性取决于外包或外涂的绝缘材料的特性,因此,电子变压器在选用绕组线和引出线时,选择导线的主要依据是导线的绝缘材料性能。由此可见,导线的绝缘材料性能决定了导线的应用性能。

1.1.3 绝缘材料

绝缘材料是电子变压器重要材料之一,电子变压器的使用寿命和可靠性等在很大程度上取决于变压器的绝缘系统和所使用的绝缘材料的性能。

①按耐热等级分,绝缘材料分如下几类:

a.A 级绝缘材料;

b.B 级绝缘材料;

c.F 级绝缘材料;

d.H 级绝缘材料;

e.其他。

②按材料状态分,绝缘材料有如下几种:

a.固体绝缘材料;

b.液体绝缘材料;

c.气体绝缘材料。

③按材料成分分,绝缘材料有如下几种:

a.无机类绝缘材料;

b.有机类绝缘材料。

④按材料的类别分,绝缘材料又分如下几类:

a.树脂浸渍纤维类绝缘材料;

b.纸类绝缘材料;

c.薄膜、粘带及复合制品类绝缘材料;

d.层压制品类绝缘材料;

e.漆、可聚合树脂和胶类绝缘材料;

f.模塑类绝缘材料;

g.绝缘油;

h.其他。