

# 硅钢的开发与电子变压器

The Development of Silicon Steels and Electronic Transformers

方泽民 稿

**摘要：**本文根据电子变压器功能的不同，以及对铁芯材料多样性的要求，从硅钢（电工钢）现有水平出发探讨了对电子变压器的适用性，同时介绍了近几年国内硅钢品种及其质量发展水平，最后希望硅钢企业为满足电子变压器特殊铁芯的需要努力开发新的品种。

**关键词：**电子变压器，硅钢，磁性

**Abstract :** In this paper, the applicability of electronic transformers has been investigated on the basis of core materials which satisfied with varied electronic transformers and according as present silicon steels level. It was also introduced domestic silicon steel species and its quality. Therefore, the new products of silicon steel needed to be developed by manufacturers to satisfy varied functional electronic transformers.

**Key word :** electronic transformers, silicon steel, magnetic properties

中图分类号：TN27 文献标识码：A 文章编号：1606-7517(2015)09-11-133

## 1 前言

“十一·五”期间，我国硅钢产业无论从产量、品种、质量等方面都取得重大进步。特别是，武钢、宝钢、太钢、鞍钢等国有大企业在取向钢、无取向钢等高端品种领域取得重大突破。与此同时，一大批民营企业也在无取向硅钢中、低牌号的产量上取得大幅度增长。截止2010年底，全国硅钢产能已愈900万吨，实际产量达600万吨以上，其中取向钢50万吨以上。无取向钢中、低牌号的产能已形成供大于求的局面，导致无序竞争的状态。

在高端品种技术进步方面，最重要的标志是长江三峡的SFP—840000/500变压器铁芯与700MW级大型水轮发电机定子铁芯均已采用高级取向钢与无取向钢。由此，彻底地打破了自建国以来国外公司在此领域的长期垄断。

但是在电子变压器领域，由于我们对此产品在高新技术发展中的重要地位及其功能多样性的认识不足，导致硅钢生产企业对如何满足电子变压器对硅钢品种的多样性要求一直以来都没有积极响应。此外，我国对近五年开发的新高级品种宣传不够，特别是对适用于电子变压器的某些特性介绍不多，亦影响了供需双方的沟通和理解。

本文目的是凭我们对电子变压器功能的肤浅理解，向电子变压器制造厂家呈现目前硅钢生产企业可以提供的产品，并列出相关数据供大家参考与选择。

## 2 加深对电子变压器在新技术领域重要性的认识<sup>[1]</sup>

自20世纪70年代起，随着电子技术的日新月异，使得电子变压器的内容和其应用范围从原本仅适用于电子电路中的变压器逐步向外扩张，因此对电子变压器的界定可视为除电力变压器、电抗器以外的各种变压器和电感器。其具体功能有电源的整流、逆变、稳压、相数变换、脉冲等。另外还有互感器、电感器、镇流器，以及适用于检测、储能、换向、缓冲等变压器。

由于其功能的多样性，因而在机电一体化、电力传输与安全保护、航天航空、国防建设等诸多方面得以大量使用。目前，电子变压器被广泛应用在很多专业产品中，例如电视机与DVD、CRT显示器、家用电器、音响与放大器、各种信号装置、接收仪、复印机、传真机、打印机、电脑终端、自动交换机、照相机、测量与测试装备、医疗器械、工业设备、机器人等。

### 3 由于电子变压器功能不同因而要求铁芯材料选择的多样性<sup>[2]</sup>

由于电子变压器功能的多样化，因而其选用的材料也是五花八门，如除传统材料硅钢、软磁铁氧体、坡莫合金仍然占据主要地位以外，近年来新发展起来的非晶合金、纳米晶合金、磁性薄膜、复合材料磁芯等由于生产工艺技术的成熟、生产成本降低，使其在高频电子变压器领域得到广泛应用。作为铁芯用材料都必须在以下技术参数上显示出特别的优势才能为用户所采纳，如高的Bs、低Hc、高 $\mu_i$ 、 $\mu_m$ 。在高频磁场下可选择高的Bm，以适应不同频率(Hz)情况下低的损耗Pc(W/kg)。现今，对噪音的降低提出了更高要求，因此具有低磁滞伸缩 $\lambda_s$ 的材料受到特别关注。由于某些使用环境的特殊性，如对有较大温度变化时适应性，故居里转变温Tc亦是重要参数之一。生产磁性材料企业对所提供材料性能的一致性、稳定性亦是用户最迫切的要求。电子变压磁性材料的选择见表1：

从表1所列各项技术参数可以看出不同材料差异颇大，例如Bs最高的是含硅3%的硅钢；Hc最低是钴基非晶合金； $\mu_i$ 最高是Ni80高导磁合金； $\mu_m$ 最高是钴基非晶合金； $\rho$ 最高的是锰锌软磁铁氧体；Tc最高的是含硅3%的硅钢； $\lambda_s$ 最低是Ni80与钴基非晶合金。因此，在设计电子变压器时必须按不同功能要求来对症选择。

### 4 硅钢在电子变压器铁芯中的作用与地位

硅钢用于电子变压器已有多年且其使用量最大，但是由于电子变压器功能的日益提升以及新材料的不断研发，使得硅钢的固有成分、规格、性能不能满足用户需要，且面临着急剧的竞争。八十年代开始，国外就已注意在硅钢基础上开展高性能、新品种的开发，并取得重大成果。开发出主要品种有：

#### 4.1 含3%硅取向钢向减薄规格与高磁感低铁损方向发展

厚度自0.35→0.30→0.27→0.23→0.18→0.15mm，达到降低铁损目的，如P<sub>17/50</sub>由1.45→1.30→1.20→1.0→0.9→0.80W/kg，Br可达1.94T、特高Br可达1.96→1.98T。同时采用多种细化磁畴技术，并可满足用户制成铁芯后消除应力退火。0.18mm、0.15mm可用于自中频至20KHz较高频的变压器。

#### 4.2 开发低铁损高牌号及较高磁感的中、低牌号无取向硅钢：

厚度自0.5→0.35→0.20→0.10mm, 0.35mm, 0.50mm, P<sub>15/50</sub>可降到2.1~2.3W/kg, B<sub>50</sub>≥1.66T, 0.20mm、0.10mm可用于中频至10KHz频率的变压器。另外还开发了较低铁损、高磁感无取向钢，如厚度0.5mm P<sub>15/50</sub>≤5.0W/kg、而B<sub>50</sub>≥1.75T。武钢早年开发的半工艺无取向钢在低场下有较高的B值、 $\mu$ 值，与含3%Si的高牌号无取向钢相当。我们认为适合用于低场的电子变压器。硅钢基本参数与比较见表2：

#### 4.3 超薄取向钢带的开发

超薄带指小于0.1mm的薄带，目前国内市场上可提供的大部分为0.08mm。而国外正式供货标准早在20年前就有0.025mm、0.05mm。国内国企硅钢生产企业至今未涉及这一领域，仅在江苏有民营企业以及北京钢铁研究院有少量产品主要供给用于高频电子变压器的军工企业。大批量且宽度为300mm的产品，来自于日本与俄罗斯，目前苏州高新技术工业园亦正在筹建这类型号钢种的生产工厂。但是，目前国内生产的超薄带性能仍属低档产品，以0.08~0.1mm为例，尽管他们用进口的0.23mm激光刻痕的高导磁低铁损产品作原料，通过冷轧退火得到的超薄带

表1 软磁场材料的代表性直流参数和物理参数

材料	Bs(T)	Hc(Oe)	$\mu_i$ (Oe/Gs)	$\mu_m$ (Oe/Gs)	$\rho$ ( $\mu\Omega\text{cm}$ )	Tc(℃)	$\lambda_s \times 10^{-6}$
取向3%硅钢	2.03	0.05	1500	20000	50	730	3
锰锌软磁铁氧体(PW4)	0.50	0.12	3000	12000	$6.5 \times 10^8$	215	21
Ni <sub>50</sub> 高导磁合金	1.55	0.15	60000	160000	45	480	25
Ni <sub>80</sub> 高导磁合金	0.74	0.008	200000	120000	55	460	≤1
铁基非晶合金(厚20~40 $\mu\text{m}$ )	1.56	0.03	50000	300000	135	370	30
钴基非晶合金(厚~20 $\mu\text{m}$ )	0.58	0.005	160000	1000000	136	205	≤1
微晶铁基合金(厚~20 $\mu\text{m}$ )	1.25	0.008	100000	800000	129	600	2

表2 硅钢基本参数比

材料	厚度(mm)	B8	$\mu m$	$\lambda s$	P1T/50Hz	P1T/400Hz	P0.5T/1kHz	P0.2T/5kHz	P0.1T/10kHz	P0.05T/20kHz
		(T)	Oe/Gs	$10^{-6}$	(W/Kg)	(W/Kg)	(W/Kg)	(W/Kg)	(W/Kg)	(W/Kg)
3%取向硅钢	0.05	1.79		-0.8	0.8	7.2	5.4	9.2	17	5.2
	0.1	1.85	24000	-0.8	0.72	7.2	17.6	19.5	18	13.2
	0.23	1.92	92000	-0.8	0.29	7.8	10.4	33	30	32
	0.35	1.93	94000	-0.8	0.4	12.3	15.2	49	47	48.5
3%无取向硅钢	0.1	1.47	12500	7.8	0.82	8.6	8	16.5	13	
	0.2	1.51	15000	7.8	0.74	10.4	11	26	24	
	0.35	1.5	18000	7.8	0.7	14.4	15	38	33	
铁基非晶合金	0.03	1.38	300000	27	0.11	1.5	1.8	4	3	2.4
锰锌软磁铁氧体	块状	0.37	3500	21				2.2	2	1.8

P1.0T/400Hz 5.0 ~ 8.0W/Kg 其 Bs1.42T~1.72T 质量不稳定。国外的 0.1mm 厚薄带 P1.0T/40Hz 7.2W/kg、B8 ≥ 1.85T。

大家都知道提高 Bs 难度较大。通过三次再结晶的技术制成的超薄带，国内尚未实现工业化。高级超薄带与 0.30mm 取向钢及铁基非晶合金的磁性比较见表 3。

表3 超薄带硅钢的代表性能

材料	厚度 ( $\mu m$ )	Bs(T)	$P_{1.3T/50Hz}$ (W/kg)	$P_{1.7T/50Hz}$ (W/kg)
取向硅钢	300	2.03	0.60	1.02
三次再结晶取向 硅钢	81	2.03	0.19	0.37
	32	2.03	0.13	0.21
铁基非晶合金 (磁场处理后)	20~40	1.50~1.60	0.15~0.25	-

从表 3 可以看出厚度为 0.032~0.081mm 超薄取向钢其  $P_{1.3T/50Hz}$  已与铁基非晶合金相当，且其 Bs 远高于铁基非晶合

金。从而使硅钢进入高频电子变压器领域成为可能，同时，由于 Bs 高  $\lambda s$  低的特点，与同功率变压器相比，可制成体积更小、噪音低的电子变压器。

#### 4.4 含硅 6.5% 的硅钢的开发

含 6.5% 硅的硅钢其特点是：与含硅 3% 取向、无取向钢相比铁损更低，磁滞伸缩  $\lambda s$  为  $0.1 \times 10^{-6}$ ，因此特别适合做高频且要求低噪声的电子变压器。6.5% 硅钢的基本参数、3.5% Si 无取向钢、3% Si 取向钢磁性比较见表 4。

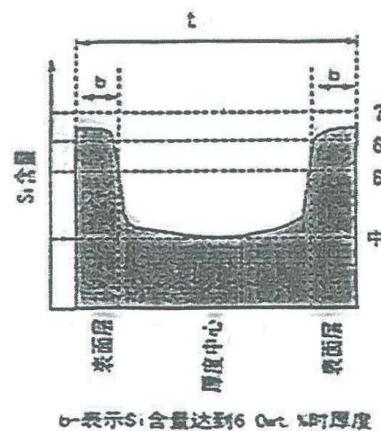
国内至今未开发出含 6.5% 硅的硅钢，其根本原因是冷加工太困难，某些高等院校正在开展 6.5% 硅的工艺研究，如渗硅法、单辊快凝极薄带法、逐步增塑法、薄带铸轧法、中温轧制法、多层浇铸法，但至今未见有转化成工业生产的较为可行的工艺，因此目前还需依靠国外。

表4 含 6.5% 硅钢、3.5% 硅无取向钢与 3% 硅取向钢磁性比较

材料	厚度 (mm)	Bs	$\mu m$	$\lambda S$	P1T/50Hz	P1T/400Hz	P0.5T/1kHz	P0.2T/5kHz	P0.1T/10kHz	P0.05T/20kHz
		(T)	Oe/Gs	$10^{-6}$	(w/kg)	(w/kg)	(w/kg)	(w/kg)	(w/kg)	(w/kg)
6.5% 硅钢	0.01	1.29	23000	0.1	0.51	2.7	5.4	11.3	8.3	6.9
	0.05	1.28	16000	0.1	0.69	6.5	4.9	6.8	6.85.2	4
	0.1	1.22	31000	0.1	0.51	5.98				
	0.2	1.29	31000	0.1	0.44	6.8	17.1	17.8	15.7	13.4
	0.3	1.27	40000	0.1	0.49	10.0	9.17	23.6	20.8	18.5
	0.5	1.27	58000	0.1	0.58	15.6				
							W0.2/1k	W0.2/10k		
	0.1						0.96	32.5		
	0.3						1.80	74.4		
	0.5						2.80	106.0		
3.5% Si 无取向硅钢	0.50	1.42	77000	5.0	1.36	27.1	4.84	180.0		
3.5% Si 无取向硅钢	0.30	1.93	74000	1.3	0.35	10.5	2.70	>150.0		

4.5 带钢断面硅浓度呈梯度分布具有特殊性能硅钢的开发。硅浓度呈梯度分布,以及引起磁性的变化,见图 1,2,3,4,5:

厚度方向硅浓度呈梯度分布(表面高,中间低),磁性表现为表面导磁率高、磁通集中,由于磁化过程磁力线的趋肤效应(高频下表现尤甚)。但因高硅使涡流损耗降低,所以损耗不但低于常规含硅3%的取向钢,亦低于硅含量均匀分布的6.5%硅钢,故可用于20KHz左右的电源技术的电磁器件中。另外:其剩磁Br仅为0.35T,远低于含硅3%Br为1.28T的取向钢,用这种材料最适合做电源技术中的工频和中频领域单向激磁的脉冲变压器和开关电源变压器。硅浓度梯度分布高硅钢性能,见表5:



b-表示Si含量达到6.0wt.%时厚度

图1 涂硅钢表层、中心Si浓度示意图

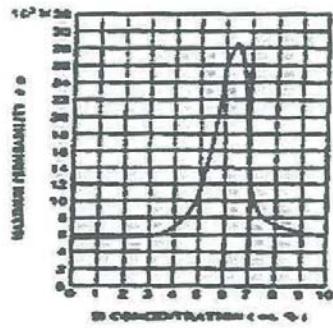


图2 涂硅6.5%Si钢Si浓度与最大磁导率的关系

表5 硅浓度梯度分布高硅钢性能

材料带厚(mm)	损耗Pc(W/kg)					剩磁Br(T)
	Pc1.0T/50Hz	Pc1.0T/400Hz	Pc0.2T/5kHz	Pc0.1T/10kHz	Pc0.05T/20kHz	
0.05	0.9	9.4	7.0	4.2	2.8	
0.10	1.06	10.0	11.5	7.1	4.7	0.55
0.20	1.15	14.5	17.9	12.7	9.8	0.40
0.30	1.02	14.9	26.9	20.4	17.0	0.35

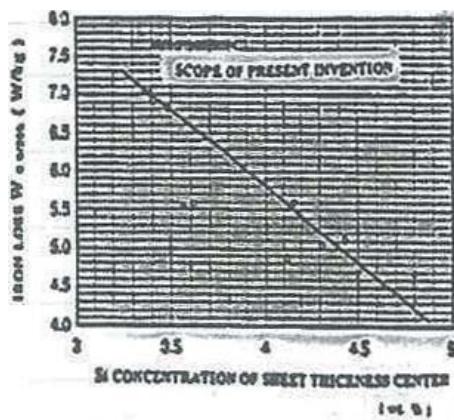


图3 剩磁Br(T)与钢带厚度与中心Si浓度与损耗W.e.的关系

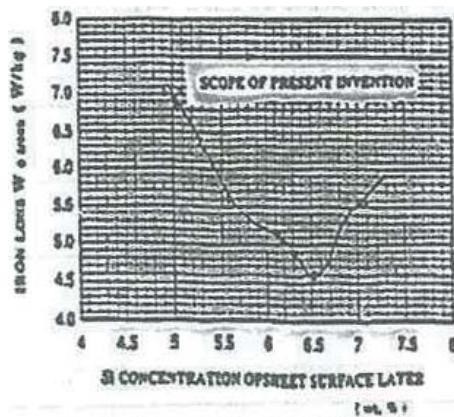


图4 表面Si浓度与钢带厚度与中心Si浓度与损耗W.e.的关系

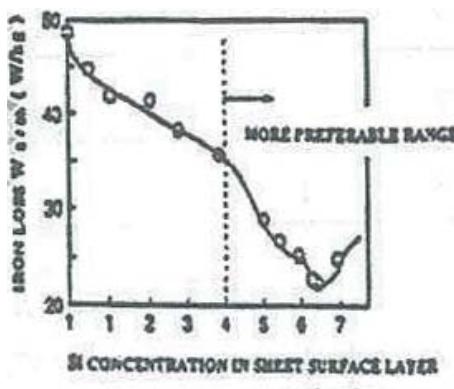


图5 剩磁Br(T)与钢带厚度与中心Si浓度与损耗W.e.的关系

## 5 国内生产的硅钢在电子变压器行业中的主要用途

### 5.1 主要用于工频，且 $B_m$ 较低的电子变压器如 EI 片等

前面已经谈到国内硅钢生产至今仍然是含硅 3% 左右的取向钢（含高磁感取向钢）、及高牌号无取向钢，另外在

无取向钢中开发了含硅 <1% 的较低铁损、较高磁感的硅钢。至于超薄带、含硅 6.5% 以及硅浓度在厚度方向呈梯度分布的硅钢，除能少量供应低档的超薄带外，其它根本没有产品。因此自然在高频领域无法满足市场需求。事实上多年来国产硅钢只能用于工频、中频的变压器。例如：在国内某电子变压行业曾要求供应无取向钢做 EI 片，其磁性与尺寸公差指标见表 6、7：

表6 磁性指标

中国牌号	新日铁牌号	JFE牌号	标准值		供货值	
			$W_{1.5/50}$ (W/Kg)	$B_{50}$ (T)	$W_{1.5/50}$ (W/Kg)	$B_{50}$ (T)
50W1300	50H1300	50JN1300	≤13.0	≥1.70	≤6.5	≥1.75
50W600	50H600	50JN600	≤6.0	≥1.66	≤4.3	≥1.73
50W470	50H470	50JN470	≤4.7	≥1.64	≤3.5	≥1.72

表7 尺寸、公差指标

序号	项目	标准值	供货值
1	公称厚度	0.5mm	0.5mm
2	厚度公差	±0.02	≤±0.01mm
3	同板差	<0.02mm	≤0.01

另外，对涂层要求：

- 1) 不含六种有害物质的环保涂层，且应有 SGS 和 MSDS 检测数据有效证明。
- 2) 具有防锈功能。
- 3) 能经受 800℃ 退火。
- 4) 表面低摩擦系数。

对取向钢磁性提出以下要求：

35G155	$P_{1.7/50} \leq 1.3w/kg$	$B_8 \geq 1.84T$
30G130	$P_{1.7/50} \leq 1.2w/kg$	$B_8 \geq 1.85T$

以上两项技术要求磁性水平并不很高，在今天看来上述指标已属落后和淘汰之列了。

在目前国内不能提供高频用料的情况下，我们只能在降低铁损，提高磁感以及在现有条件下减薄厚度上下功夫，使生产的硅钢不仅适应工频，亦可以适应诸如 P1.0T/400Hz 或 P0.5T/lkHz 的损耗要求。

另外，我们分析了电子变压器行业提供的 EI 型、C 型、RN 型铁芯在 50Hz 下输入电压 (V) 与激磁电流 (mA) 之间的关系，见图 6：

同时用户亦曾向我们提出激磁电流 (mA) 在 100 以下各点  $B$  值越高越好，即要求我们提供在低场下具有高的导磁率  $\mu$ 。为此我们曾测试不同牌号低场下的导磁率，确实

激磁电流特性

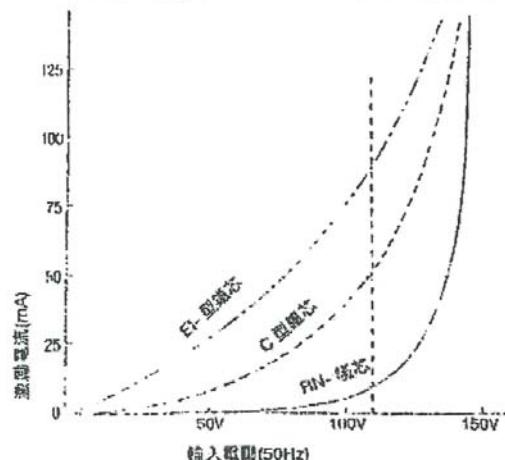


图 6 在 50Hz 下输入电压 (V) 与激磁电流 (mA) 之间的关系

差别很大，首先取向钢远高于无取向钢；在无取向钢中含硅 3% 左右的高牌号、低场下导磁率亦远高于其它无取向钢。从中还发现含硅量仅为 0.5% ~0.7% 的半工艺无取向钢，其低场下的导磁率接近于高牌号无取向钢。从性价比看，选用半工艺无取向钢作为 EI 片或做其它变压器值得用户探讨。现将不同品种在  $B \leq 1.0T$  时  $B-P$ 、 $B-H$ 、 $B-\mu$  曲线列图于下，见图 7、8、9、10、11、12（图中 N 代号为半工艺无取向钢，50wd300 代表电表铁芯用钢）：

### 5.2 不同品种，不同厚度下的频率与铁损磁感的关系

#### 5.2.1 无取向（以 W12-0.35 为例）F-B-H, F-B-P 曲线见图 13、14：

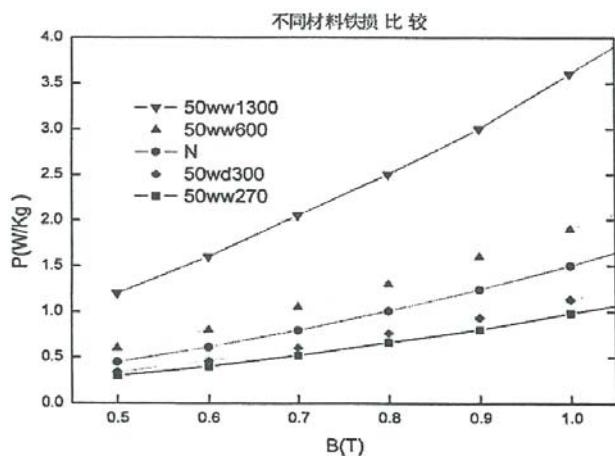


图7 B-P曲线

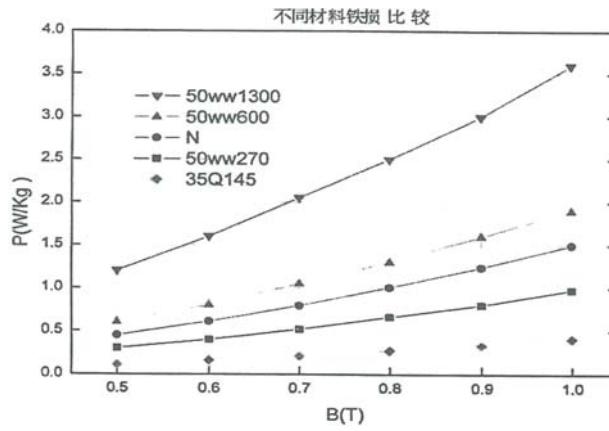


图10 B-P曲线

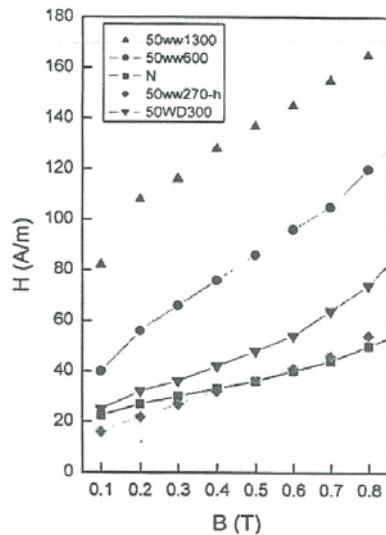


图8 B-H曲线

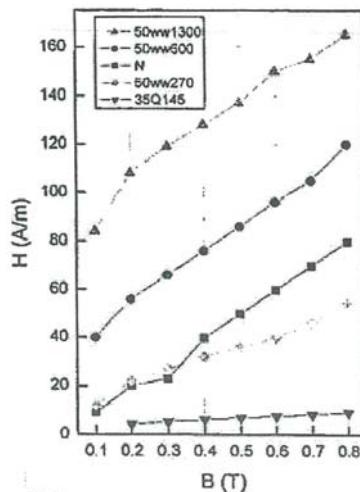


图11 B-H曲线

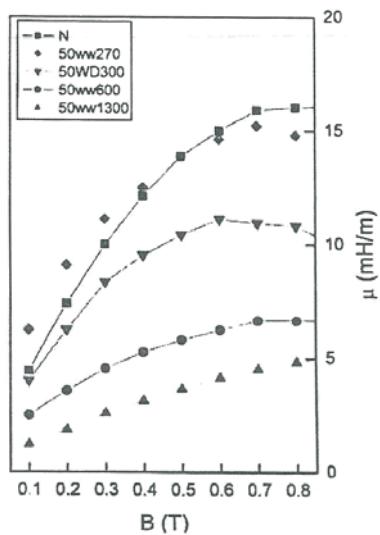


图9 B-μ曲线

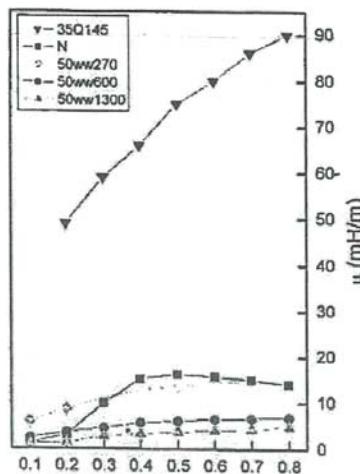


图12 F-B-H曲线

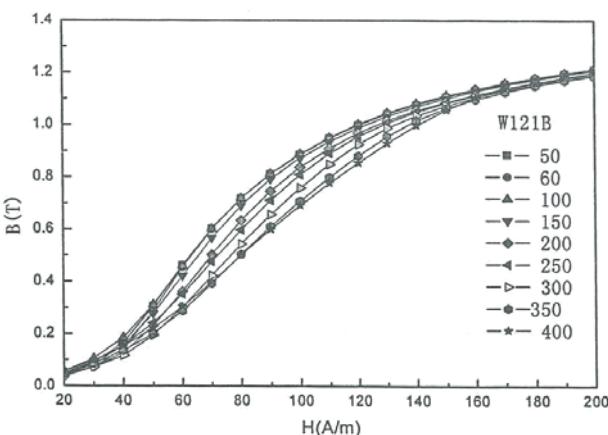


图13 F-B-H曲线

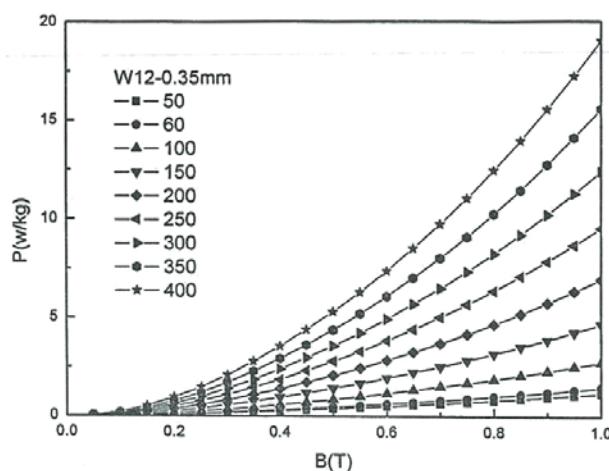


图14 F-B-P曲线

### 5.2.2 取向钢

现提供 30QG105、27QG100、23QG095 三个品种的 F-B-P 曲线供电子变压器行业选材时参考, 见图 15, 16, 17:

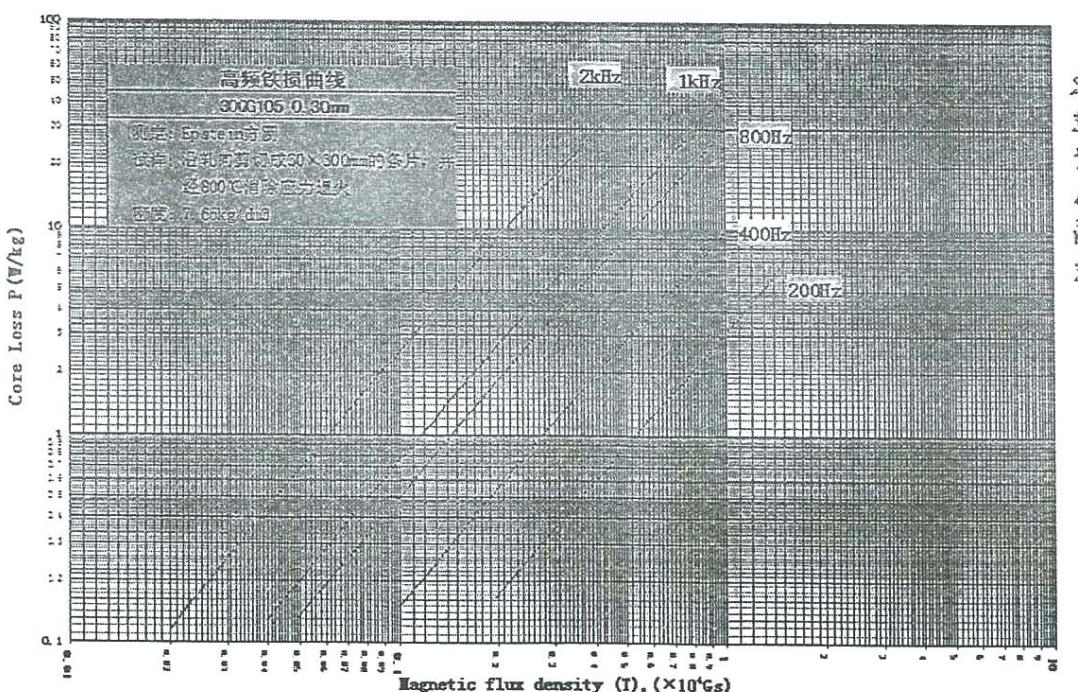
的需要, 亦满足家用电器、微机及中小电机高效率的需要。

在变压器用取向钢方面, 一般取向钢与高磁感取向钢都向薄规格发展, 在磁性方面开始淘汰  $P_{1.7/50} > 1.30 W/Kg$  的产品。因为尽管国家标准所列牌号、磁性水平变动不大, 但实际无取向与取向钢实物交货的磁性水平远好于标准规定, 特别是无取向中低牌号尤为突出。现将无取向钢与取

向钢可达到的实物质量水平分别列表, 供电子变压器生产厂家参考。

## 6 硅钢磁性最新水平的介绍

前面已经谈到“十一·五”期间中国硅钢产业技术进步很快。无取向磁性水平向两极发展即高端的低铁损与低端的高磁感。在电机行业中满足了大型发电机、电动机、低铁损的需要, 亦满足家用电器、微机及中小电机高效率的需要。



30QG105

图15

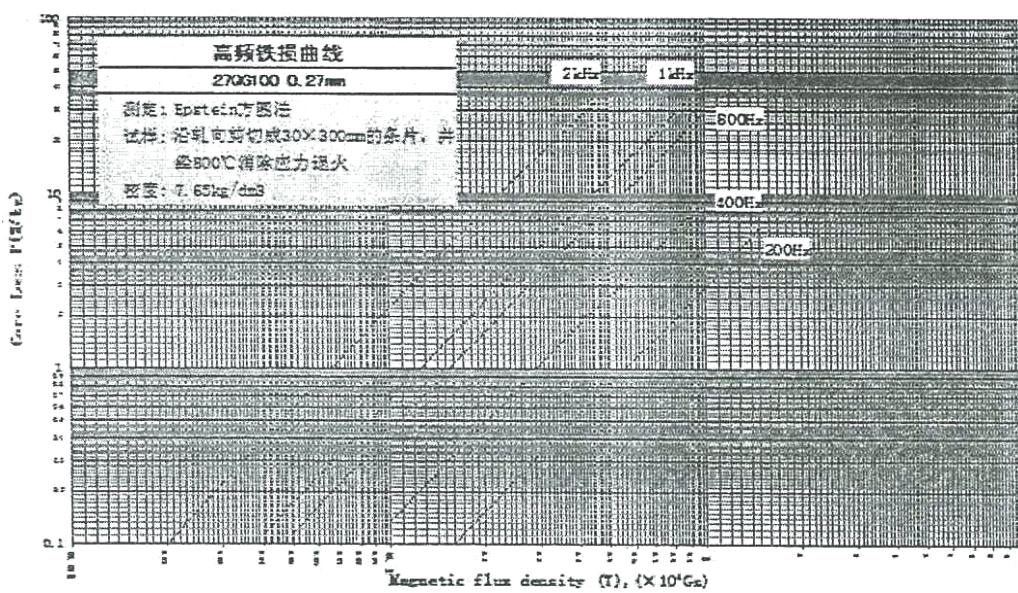


图16

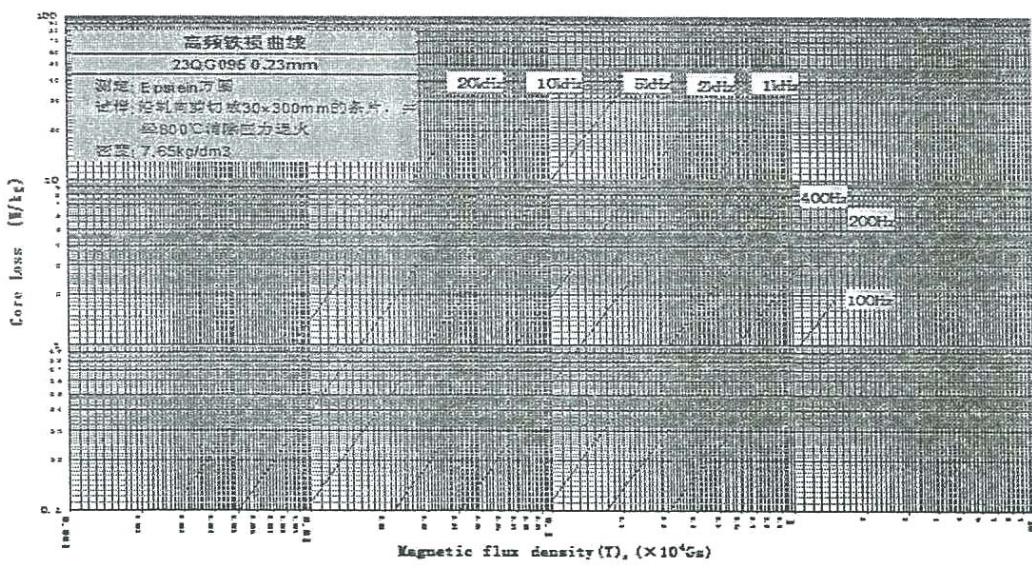


图17

在变压器用取向钢方面，一般取向钢与高磁感取向钢都向薄规格发展，在磁性方面开始淘汰 P1.7/50>1.30W/Kg 的产品。因为尽管国家标准所列牌号、磁性水平变动不大，但实际无取向与取向钢实物交货的磁性水平远好于标准规定，特别是无取向中低牌号尤为突出。现将无取向钢与取向钢可达到的实物质量水平分别列表，供电子变压器生产厂家参考。

## 6.1 无取向钢

6.1.1 一般冷轧无取向电工钢带(片)的磁性和工艺特

性。见表8

6.2.2 高磁感低铁损取向电工钢带(片)的磁特性和工艺特性，见表12(注：RK代表经激光刻痕技术处理，此钢种不适合制造需经消除应力退火的环形变压器)：

## 7 结束语

作为一名长期从事硅钢生产的老技术工作者学习电子变压器专家所介绍有关电子变压器技术知识后，结合自己的多年工作经历有感而发，感到对电子变压器的重要性认

表8 一般冷轧无取向电工钢带(片)的磁性和工艺特性

公称厚度mm	牌号	理论密度kg/dm <sup>3</sup>	最大比总损耗(W/Kg)	最小磁极化强度(T)	最小弯曲次数	叠装系数%
			P1.5/50	B <sub>5000</sub>		
0.35	35W230	7.60	2.27	1.61	2	≥95.0
	35W250	7.60	2.47	1.61	2	
	35W270	7.65	2.67	1.61	2	
	35W300	7.65	2.97	1.61	3	
	35W330	7.65	3.25	1.62	3	
	35W360	7.65	3.55	1.62	5	
	35W400	7.65	3.95	1.63	5	
	35W440	7.70	4.35	1.65	5	
	35W230	7.60	2.07	1.62	2	
	35W250	7.60	2.27	1.62	2	
	35W270	7.65	2.47	1.62	2	
	35W300	7.65	2.67	1.62	5	
	35W360	7.65	3.25	1.63	5	
	35W400	7.65	3.55	1.64	5	
	35W440	7.70	3.95	1.65	5	
0.5	50ww230	7.60	2.07	1.62	2	≥97.0
	50ww250	7.60	2.27	1.62	2	
	50ww270	7.60	2.47	1.62	2	
	50ww290	7.60	2.67	1.62	3	
	50ww310	7.65	2.85	1.62	5	
	50ww350	7.65	3.05	1.62	5	
	50ww400	7.65	3.45	1.63	10	
	50ww470	7.70	3.95	1.64	10	
	50ww600	7.75	4.65	1.66	10	
	50ww700	7.80	5.35	1.67	10	
	50ww800	7.80	5.95	1.68	10	
	50ww1000	7.85	6.95	1.70	10	
	50ww1300	7.85	7.95	1.72	10	

6.1.2 半工艺冷轧无取向电工钢带(片)的磁性和工艺特性。见表9:

表9 半工艺冷轧无取向电工钢带(片)的磁性和工艺特性

公称厚度mm	牌号	理论密度(kg/dm <sup>3</sup> )	最大比总损耗(W/Kg)	最小磁极化强度(T)	抗拉强度MPa	叠装系数%
			P1.5/50	B <sub>50000</sub>		
0.50	50WB340	7.65	3.35	1.62	335~480	≥97.0
	50WB390	7.70	3.85	1.64		
	50WB450	7.75	4.40	1.65		
	50WB500	7.80	4.90	1.67		
	50WB530	7.75	5.20	1.67		
	50WB560	7.80	5.40	1.67		
	50WB600	7.80	5.80	1.68		
	50WB660	7.85	6.40	1.70		

6.1.3 冷轧无取向电工钢薄带的磁性和工艺特性。见表10:

表10 冷轧无取向电工钢薄带的磁性和工艺特性

公称厚度mm	牌号	理论密度(kg/dm <sup>3</sup> )	最大比总损耗(W/Kg)		最小磁极化强度(T) $B_{2000}$	叠装系数%
			P1.5/1000	P1.0/400		
0.15	15WTG1550	7.65	15.00	1.40	1.40	≥91.0
			P1.0/400		$B_{2000}$	
0.20	20WTG1500	7.65	14.50	1.40	1.40	≥92.0
	20WT1700	7.65	16.50	1.40	1.40	

表11 普通级取向电工钢带(片)的磁特性和工艺特性

公称厚度mm	牌号	理论密度(kg/dm <sup>3</sup> )	最大比总损耗(W/Kg)			$B_{1000}$	$B_{300}$	叠装系数%
			P1.7/50	P1.5/400	P1.0/400			
0.15	15Q1600	7.65	—	15.50	—	1.75	—	≥91.0
	15Q1650	7.65	—	16.00	—	1.75	—	
	15Q1700	7.65	—	16.50	—	1.75	—	
	15Q1800	7.65	—	17.50	—	1.70	—	
0.20	20Q760	7.65	—	—	7.40	1.75	—	≥92.0
	20Q820	7.65	—	—	8.00	1.74	—	
	20Q900	7.65	—	—	8.80	1.70	—	
	20Q1000	7.65	—	—	9.80	1.66	—	
0.23	23QR110	7.65	1.08	—	—	—	1.82	≥95.0
	23Q110	7.65	1.08	—	—	—	1.82	
	23Q120	7.65	1.18	—	—	—	1.80	
0.27	27QR120	7.65	1.13	—	—	—	1.85	≥95.0
	27Q120	7.65	1.13	—	—	—	1.85	
	27Q130	7.65	1.20	—	—	—	1.84	
	27Q140	7.65	1.30	—	—	—	1.80	
0.30	30QR120	7.65	1.13	—	—	—	1.85	≥96.0
	30Q120	7.65	1.13	—	—	—	1.85	
0.30	30Q130	7.65	1.20	—	—	—	1.84	≥96.0
	30Q140	7.65	1.30	—	—	—	1.80	
0.35	35Q135	7.65	1.30	—	—	—	1.83	≥96.0
	35Q145	7.65	1.40	—	—	—	1.82	
	35Q155	7.65	1.53	—	—	—	1.80	

识不足，功能理解不深，因此长期以来对电子变压器所需材料的开发缺乏热情，身处国有大企业反而不及民营企业敢为人先，努力介入这个领域的精神。本文另一个目的是想借这个机会向变压器制造业介绍近几年中国硅钢(电工钢)生产技术进步而出现的新品种与新质量水平，便于大家选择及应用。同时亦希望引起业内同仁对电子变压器行业的重视与热情，大家投身到新品种的开发，以优质的铁芯材料为生产高端电子变压器做出贡献。

#### 参考资料：

1. 电子变压器的回顾和展望 徐泽玮《国际电子变压器》
2. 电源技术应用的软磁材料发展回顾和分析 徐泽玮《国际电子变压器》

《转载》

表12 高磁感低铁损取向电工钢带(片)的磁特性和工艺特性

公称厚度mm	牌号	理论密度(kg/dm <sup>3</sup> )	最大比总损耗(W/Kg)		叠装系数%
			P1.7/50	B <sub>800</sub>	
0.23	23RK080	7.65	0.78	1.88	≥95.0
	23RK085	7.65	0.83	1.88	
	23RK090	7.65	0.88	1.88	
	23RK100	7.65	0.98	1.88	
	23QG085	7.65	0.83	1.88	
	23QG090	7.65	0.88	1.88	
	23QG095	7.65	0.93	1.88	
	23QG100	7.65	0.98	1.88	
0.27	27RK085	7.65	0.83	1.89	≥95.0
	23RK090	7.65	0.88	1.89	
	27RK095	7.65	0.93	1.89	
	27RK100	7.65	0.98	1.89	
	27QG095	7.65	0.93	1.89	
	27QG100	7.65	0.98	1.89	
	27QG120	7.65	1.10	1.89	
0.30	30RK095	7.65	0.90	1.89	≥96.0
	30RK100	7.65	0.95	1.91	
	30RK105	7.65	1.00	1.91	
	30RK120	7.65	1.10	1.89	
	30QG100	7.65	0.98	1.89	
	30QG105	7.65	1.02	1.89	
	30QG120	7.65	1.10	1.89	