

电工钢技术讲座(一)

1 定义

按照 GB/T13304-1991《钢分类》的规定,电工钢属于优质合金钢,是指在生产过程中需要特别控制质量和性能的合金钢。

电工钢是一种含碳量极低的硅铁软磁合金。它包括碳含量很低的 Si 含量小于 0.5% 的电工钢和 Si 含量为 0.5%~6.5% 的硅钢两类,是发展电力、电讯和军事工业不可缺少的重要磁性材料,亦是一种节能的、重要的金属功能材料。电工钢板主要用作各种电机、发电机和变压器的铁芯和各种电讯器材。

2 电工钢的分类、用途及牌号

2.1 电工钢的分类和用途

根据 GB/T221-2000《钢铁产品牌号表示方法》和 GB/T15574-1995《钢产品分类》的规定,电工钢按轧钢生产工艺分为热轧硅钢和冷轧电工钢;热轧硅钢属于无取向硅钢,冷轧电工钢分无取向电工钢和取向硅钢两大类。无取向电工钢又分低碳低硅电工钢和硅钢两类。根据产品中晶粒排列方向性分为晶粒取向硅钢(这类产品中晶粒沿轧制方向排列比沿垂直轧制方向排列有较大的增加电磁感应的性能,并且在两面都有绝缘层)和晶粒无取向硅钢(这类产品可以不涂层,也可以在单面或双面都涂绝缘层)。

取向硅钢和无取向电工钢化学成分的控制方法各不相同。取向硅钢对常规元素的含量要求极为严格,同时对加入的有益夹杂元素要求严格控制在一定的范围之内,从而获得晶粒取向度高、方向性强的高磁感、低铁损的取向硅钢。无取向电工钢要求具有超低碳、超低硫、高铝含量的纯净钢质,从而获得具有各向同性的高磁感、低铁损无取向电工钢。

取向硅钢又分为普通取向硅钢(简称 CGO 钢)和高磁感取向硅钢(简称 Hi-B 钢)两类。主要用于制造各种变压器、镇流器、放大器、稳压器、继电器、整流器、电磁开关等定向磁场电器产品的铁芯。应

用于制作定向磁场铁芯的取向硅钢主要借助其特定的成分降低涡流损耗,利用高斯取向晶粒在轧向上优异的磁化性能,降低磁滞损耗并大幅度提高磁感水平。

无取向电工钢主要用于发电机、电动机以及家用电器如洗衣机、电风扇和电冰箱压缩机等承载旋转磁场的电机类铁芯。因此大体上可以把各种类型电器的铁芯划分成承载定向磁场的变压器类铁芯和承载旋转磁场的电机类铁芯。

电工钢的详细分类、用途和典型牌号见表 1。

2.2 电工钢牌号表示方法

国家标准 GB/T221-2000《钢铁产品牌号表示方法》中,冷轧电工钢的牌号按 GB/T2521-1996《冷轧晶粒取向、无取向磁性钢带片》标准中规定的牌号表示方法为:

电工钢牌号采用分类钢的汉语拼音和阿拉伯数字表示。阿拉伯数字表示典型产品(某一厚度的产品)的厚度和最大允许铁损值(W/kg)。

热轧硅钢,在牌号头部加符号“DR”,之后为表示最大允许铁损值 100 倍的阿拉伯数字。如果是在高频率(400Hz)下检验的,在表示铁损值的阿拉伯数字后加符号“G”。不加“G”的,表示在频率 50Hz 下检验。在铁损值或在符号“G”后加一条横线,横线后为产品公称厚度(单位:mm)100 倍的数字。例如:频率为 50Hz 时,厚度为 0.5mm,最大允许铁损值为 4.40W/kg 的热轧硅钢,其牌号表示为“DR440-50”;频率为 400Hz 时,厚度为 0.35mm,最大允许铁损值为 17.50W/kg 的热轧硅钢,其牌号表示为“DR1750G-35”。

冷轧无取向硅钢和取向硅钢,在牌号中间为分别表示无取向硅钢符号“W”和取向硅钢符号“Q”,在符号之前为产品公称厚度(单位:mm)100 倍的数字,符号之后为铁损值 100 倍的数字。例如:“30Q130”、“35W300”。取向高磁感硅钢,其牌号应在符号“Q”和铁损值之间加符号“G”。例如:“27QG100”。

电讯用取向高磁感硅钢牌号采用“电高”汉语字母“DG”符号和阿拉伯数字表示。阿拉伯数字表示电磁性能级别,从 1 至 6 表示电磁性能从低到

高。例如:“DG5”。

表 1 电工钢的分类、用途和典型牌号

类别			执行标准	SI含量, %	厚度, MM	用途	典型牌号
热轧硅钢板(无取向)	热轧低硅钢		GB/T5212-1985	1.0~2.5	0.50	电机、变压器电器、电工仪表	DR510-50
	热轧高硅钢			3.0~4.5	0.35、0.50		DR440-50
冷轧电工钢板	无取向电工钢	低碳低硅电工钢	GB/T2521-1996	≤0.5	0.50、0.65	家用小电机、镇流器和小型变压器等	
		无取向硅钢		0.5~3.2	0.35、0.50	各种用途的电机	50W310
		无取向硅钢薄带		3.0	0.15、0.20	高频变压器、脉冲变压器、脉冲发电机、大功率磁放大器和通讯用的扼流线圈	
	取向硅钢	普通取向硅钢		2.9~3.3	0.20、0.23、0.27、0.30、0.35	各种用途变压器	
		高磁取向硅钢		2.9~3.3		电讯	
		取向硅钢薄带	YB/T5224-1993	3.0	0.025、0.05、0.10	制造工作频率在400Hz以上的各种电源变压器、脉冲变压器、磁放大器、变换器铁芯	DG3、DG4、DG5、DG6

定。

3 国内外执行标准状况

3.1 我国电工钢标准状况

上世纪 70 年代以前,我国电工钢的标准是以行业标准的形式出现,并且冷热不分,这些标准都是由当时生产冷轧电工钢的太原钢铁公司制定。直到 80 年代,武钢批量生产冷轧电工钢后,受国家委托,武钢制定了我国的电工钢国家标准 GB/T2521-1981 标准,1988 年进行了修订。电工钢标准的演变过程是:YB73-1960→YB73-1963→YB73-1970→GB/T2521-1981→GB/T2521-1988→GB/T2521-1996。

我国电工钢的标准体系基本上是采用了国际电工委员会的标准及体系,但也不完全是。国标 GB/T2521《冷轧晶粒取向、无取向磁性钢带(片)》制定时采用了 IEC 标准,但不完全——对应,而是将 IEC60404-8-7 和 IEC60404-8-4 标准,即取向钢和无取向钢两个标准综合制定而成一个标准。同样,国标 GB/T17951.2《半工艺冷轧无取向电工钢带(片)》是综合修改采用 IEC60404-8-2 和 IEC60404-8-3 标准,即合金和非合金两个标准制定而成。目前我国电工钢测试方法标准共有 6 个,基本上与 IEC、欧共体相同,但没有几何特性测试方法标准,而是将几何测试方法放到产品标准中规

定。

目前,我国冷轧取向、无取向电工钢生产执行的国家标准为:

GB/T 2521—1996《冷轧晶粒取向、无取向磁性钢带(片)》、GB/T 17951.2《半工艺冷轧无取向电工钢带(片)》。

热轧硅钢执行 GB/T 5212—1985《电工用热轧硅钢薄钢板》。

晶粒取向硅钢薄带执行行业标准 YB/T 5224—1993《晶粒取向硅钢薄带》。

GB/T 2521 标准由武钢集团公司起草,非等效采用国际标准 IEC 404-8-7(1988)《晶粒取向磁性钢板(带)技术条件》和 IEC 404-8-4《冷轧无取向磁性钢板(带)技术条件》。

GB/T 2521 标准规定了晶粒取向、无取向磁性钢带(片)的牌号、磁特性、尺寸、外形、力学性能、工艺性能和检验方法等。

GB/T 2521 标准适用于磁路结构中使用的、带有绝缘涂层的全工艺冷轧取向、无取向磁性钢带(片)。

我国电工钢测试方法标准为:

GB/T 3655-2000《电工钢片(带)磁、电和物理性能测量方法》

GB/T 13789-1992《单片电工钢片(带)磁性能测量方法》

GB/T 10129-1988《电工钢片(带)中频磁性能测量方法》

GB/T 2522-1988《电工钢片(带)层间电阻、涂层附着性、叠装系数测试方法》

3.2 国外电工钢标准状况

据资料介绍,国外主要工业化国家的电工钢标准基本上是按国际电工委员会(IEC)的标准制定的。IEC 标准是由英国制定的,所以 IEC、欧洲 EN(英 BS、法 NF、德 DIN)标准同属一个标准体系,并且在技术上等同。其一般产品标准分为:全工艺标准、半工艺标准和薄带标准。全工艺标准又分为:取向钢标准和无取向钢标准,半工艺标准又按照合金含量分为:合金钢标准和非合金钢标准。测试方法标准分为:磁性能测试和工艺技术参数测试,磁性能测试按测试频率分为:工频测试和中频测试,工频测试又分为多片和单片测试。对于工艺技术参数测试,将其几何尺寸的测试单独制定成一个标准。

日本电工钢的标准,从产品标准到测试方法标准基本上都采用了 IEC 的标准,但标准体系又不同于 IEC。没有半工艺标准,只有全工艺标准,但全工艺标准是按取向和无取向分开制定的。除了全工艺型产品标准外,还有一个磁极用标准。对于测试方法标准,只有两个标准,除单片测试方法外,将多片磁性能测试、几何特性测试和工艺技术参数测试都纳入一个标准中,更有利于应用。

美国 ASTM 电工钢的标准自成体系,没有采用 IEC 的标准。其标准数量最多,不但有米制标准还有英制标准,对于全工艺型取向产品标准来讲,按照硅含量的不同而分成两个标准。半工艺型产品标准基本上和 IEC 标准相同,也分合金和非合金两个。对于测试方法标准来讲,其标准非常繁多。

4 电工钢的发展

电工钢的发展已有百年历史。自 1903 年美国哈德菲尔德(R.A.Hadfield)取得电工钢专利使用权,并于同年在德国开始生产热轧电工钢片以来,电工钢经历了三个发展阶段。

4.1 热轧电工钢发展阶段(1882~1955 年)

1886 年美国 Westinghouse 电器公司首先用杂质含量约为 0.4%的热轧低碳钢板制成变压器叠片铁芯。1902 年德国古姆利奇(E.Gumlich)研究指出,

加硅使铁的电导率 ρ 明显增高,涡流损耗 P_e 和磁滞损耗 P_h 降低,磁导率 μ 增高,磁时效现象减轻。据此研究,德国、美国和英国开始大规模地生产热轧硅钢板。各国学者也纷纷对硅钢力学性能、杂质和晶粒尺寸等因素进行了研究,使得电工钢的轧制、热处理以及电机、变压器设计方法不断改进。到 20 世纪五十年代,热轧硅钢的工艺逐渐成熟,这一阶段主要是考虑降低碳含量和提高硅含量来提高磁性,减轻磁时效,进一步降低铁损和改进绝缘膜,以改进产品质量。

4.2 冷轧电工钢发展阶段(1930~1967 年)

此阶段主要是冷轧普通取向硅钢(GO)板的发展阶段。1934 年美国的高斯(Goss)发明了取向电工钢片生产方法的专利。它是高斯在 Armoo 公司一次热轧事故中发现的:由于热轧事故,铸坯在炉内时间延长,板坯温度上升,结果发现这批料的磁性好且稳定。高斯将晶粒取向硅钢沿其轧向[001]方向使用,较热轧无取向硅钢磁性能提高 30%以上,铁损降低一倍,变压器的重量减轻 5%。同年美国的 Armoc 钢铁公司与 Westinghouse 公司合作利用此专利开始了冷轧取向硅钢的生产。1946~1960 年间,Dunn 等详细研究了不同位向的 3%Si-Fe 单晶体的冷轧和退火织构,并提出 3%Si-Fe 多晶体中(110)[001]织构形成的定向生核和择优长大机理,即晶界能作为驱动力的二次再结晶理论。随后的二十年里,随着冷轧、退火和后序工艺的不断改进和各国学者对取向硅钢二次再结晶不断研究和探索,使得普通取向硅钢的产量和性能均有了较大的提高。1957 年前西德 Assmus 等人利用多次冷轧和退火的方法制造出了具有(100)[001]立方织构的 3%Si 双取向硅钢薄带。其特点是沿轧向和横向的磁性能都高,45°方向为[110]方向,磁性能低。双取向硅钢在制作变压器时不需气拼接,可使铁损进一步降低。

取向硅钢的发展与涂层技术的发展紧密相关。最初生产取向硅钢片时,硅钢片表面只涂一层清漆,后来又发展到涂有机绝缘漆。

在研究开发冷轧取向硅钢的同时,美国的 Armco 公司从 20 世纪 40 年代初开始了无取向电工钢的生产,新日铁公司也于 1958 年开始生产冷轧无取向电工钢。无取向电工钢的生产经历了电弧炉炼钢、平炉炼钢和顶底复合吹炼转炉炼钢的历程。20 世纪 50 年代末,由于氧气顶吹转炉和真空

处理等冶炼技术的发展,钢中的 C、N、O 可降至 50×10^{-6} 以下,故无取向电工钢磁时效明显减轻,磁性大幅度提高。从 1978 年,新日铁公司和川崎公司采用顶底吹转炉和三次脱硫工艺来冶炼纯净钢水以后,陆续生产出 H8(RM8)、H7(RM7)、高牌号 3%Si 及 H6(RM6)最高牌号无取向电工钢。

4.3 高磁感取向电工钢发展阶段(1961~2006 年)

在取向硅钢的生产开发中,具有划时代意义的是高磁感取向电工钢(Hi-B)的生产。20 世纪六十年代,日本新日铁公司在引进美国 Armco 公司专利的基础上,田中悟等人对晶粒长大抑制剂、轧制、热处理工艺和玻璃涂层等进行深入研究之后,证明以 $\text{AlN}+\text{MnS}$ 为主要抑制剂和一次大压下率冷轧的工艺可以生产出更高磁性能的取向硅钢,即 Hi-B 钢。Hi-B 钢生产的核心为 AlN 的控制,包括冶炼成分和热轧板退火条件的控制。特点是:以 $\text{AlN}+\text{MnS}$ (以 AlN 为主)作为有利的夹杂来抑制初次晶粒的长大,以 85%的大压下率形成再结晶的织构。在高磁感取向硅钢的发展过程中,新日铁申请了一系列的专利,新日铁的 Hi-B 专利先后卖给美国 Armco(1971 年)、前西德 Thyssen(1972 年)、中国武钢、比利时 Cockerill 和法国 Chatillon(1974 年)及英国 BSC(1975 年)等钢铁公司。1979 年新日铁开始生产 0.27mm 厚 Z6H 高牌号 Hi-B 钢。1987 年川崎公司采用等离子喷射细化磁畴法生产同样的 RGH-PJ 产品。1988 年新日铁采用齿状辊加工法制成耐热的细化磁畴 ZDMH 牌号产品。1992 年川崎公司采用化学浸蚀形成沟槽法制成同样的耐热细化磁畴 RGH-HPDR 牌号。1987 年新日铁和川崎制成 0.18mm 厚 Hi-B 钢产品,自 1968 年到 1983 年期间,0.23mm 厚细化磁畴 Hi-B 钢产品比 0.3mm 厚 GO 钢产品铁损 P_{17} 降低约 30%。其主要原因是:

(1)Hi-B 的取向度比 GO 钢高,磁滞损耗 P_h 明显降低,0.3mm 厚 Hi-B 钢比 0.3mm 厚 GO 钢的 P_{17} 降低约 12%;

(2)产品厚度按以下顺序逐渐减薄:0.35→0.30→0.27→0.23mm,并将硅含量提高到上限(3.3%~3.4%Si),涡流损耗 P_e 明显降低,0.23mm 厚 Hi-B 钢比 0.3mm 厚 Hi-B 钢的 P_{17} 降低约 14%;

(3)采用细化磁畴技术降低反常涡流损耗 P_e ,这使板厚相同的 Hi-B 钢 P_{17} 降低约 10%。

电工钢的发展历史实际上是取向硅钢铁损逐

步降低的历史。从热轧硅钢到取向硅钢,再到以 Hi-B 及 RGH 为代表的超晶粒取向硅钢,铁损逐年降低。到目前为止,CGO 的铁损 $P_{1.7/50}$ 已降到 1.10W/kg 以下,最佳厚度为 0.23mm;由于薄规格产品变压器制造过程中叠片成本高,且磁感低时,变压器尺寸的减小有限,因此进一步减薄板厚的研究不是主要方向,主要是研究降低铁损的方法。通过机械刻痕、激光刻痕、快速加热等降低铁损的技术进步,Hi-B 钢最低铁损 $P_{1.7/50}$ 已降到 0.7W/kg 以下,最高磁感 B800 达到 1.94T 以上,广畑和川崎均做出了磁感 B800 为 2.0T 的试验样品。Hi-B 的发展趋势将是磁感更高, $B800 \geq 2.0T$,铁损 $P_{1.7/50} \leq 0.6W/kg$ 以下,因此,进一步提高磁畴控制水平,开发细化磁畴、张力涂层、表面平滑化(镜面化)、三次再结晶等工艺技术的研究和应用得到进一步的发展,日本采用磁畴控制,现铁损 $P_{1.7/50}$ 、 $P_{1.3/50}$ 分别已达到 0.32W/kg 和 0.18W/kg。

5 国内外电工钢的生产情况

5.1 全球电工钢生产概况

2006 年,全球冷轧电工钢生产线产能为 1255 万吨(其中取向硅钢 207 万吨,无取向电工钢 1048 万吨)。2006 年,亚洲冷轧电工钢生产线产能为 896 万吨(其中取向硅钢 101 万吨,无取向电工钢 795 万吨)。产能居多的公司有:新日铁 120 万吨, JFE110 万吨,浦项 100 万吨,中国台湾省中钢公司 47 万吨,武钢 142 万吨,宝钢 58 万吨。鞍钢 80 万吨,新利佩茨克钢铁公司 107 万吨,美国 AK 钢铁公司 42 万吨,蒂森克虏伯 52.5 万吨。取向硅钢产能居多的公司有:新日铁 20 万吨, JFE 20 万吨,浦项 25 万吨、武钢 20 万吨、新利佩茨克钢铁公司 37 万吨、AK 钢铁公司 22 万吨、美国阿勒格尼技术公司 10 万吨、法国 UGO(蒂森克虏伯)7.5 万吨、德国 EGB(蒂森克虏伯)7.5 万吨。2006 年,全球消耗取向电工钢板 158 万吨,到 2009 年需求量将增加至 180 万吨。

中国 2006 年电工钢产量为 367.5 万吨(取向硅钢产量 20 万吨,无取向电工钢产量 347.5 万吨,无取向电工钢中热轧硅钢产量为 105 万吨)。中国台湾省增加高级电工钢的生产能力,又增建 20 万吨/年的设备,2005 年开工,2007 年完工,产能将达到 42 万吨,产品系列为 400~600 无取向电工钢

板。第一条、第二条 ACL 生产线产能分别为 12 万吨、30 万吨,产品销往中国大陆、日本和东南亚。

日本是世界上冷轧电工钢片产量最多、质量最好的国家。2006 年电工钢产量为 186.22 万吨。2006 年日本出口硅钢 78.214 万吨,进口硅钢 1.7531 万吨。日本除生产硅钢外,还加大非晶合金的生产力度。到 2010 年,10%的配电变压器将改用非晶材料,非晶材料需求量将高达 7 万吨。

欧盟 2006 年上半年电工钢产量为 74.1538 万吨,比上年同期的 94.348 万吨下降 27.2%。2006 年上半年,欧盟进口 CRGO 宽带钢 4.6856 万吨,比上年同期的 2.3194 万吨增长 102.2%。2006 年上半年,欧盟出口 NGO 薄板 9.823 万吨,比 2005 年同期的 13.3902 万吨下降 26.6%。

俄罗斯新利佩茨克钢铁公司 2006 年 8 月称,该公司斥资 55 亿美元,100%收购了俄罗斯第二大电工钢生产厂家 Viz-Saral 公司。Viz-Saral 公司约年产 20 万吨电工钢板。

美国纽柯公司、AK 钢铁公司和阿勒格尼技术公司(ATI)均计划提高硅钢片生产产能。AK 钢铁公司在宾夕法尼亚州 Butler 厂,投资 1400 万美元进行扩建,AK 公司的取向硅钢年产能将增加 12%,

即到 2008 年达到约 33.5 万吨。

波兰 2006 年 Stalprodukt 厂逐渐停止 NGO 供应,同时将 GO 产量从 4 万吨/年提高至 6 万吨/年。

印度 2006 年产电工钢 11 万吨,其余全部依靠进口,主要从蒂森克虏伯、浦项和新日铁等企业进口。印度电力部门预计,到 2010~2011 年,印度电工钢消费量将扩大到目前的 3 倍,因此,印度发展国内电工钢生产迫在眉睫。

巴西 Acesita 公司计划于 2007 年增加电工钢产量 10 万吨,达到 25 万吨,其中晶粒取向硅钢产量将由 2006 年的 4 万吨/年增加至 5 万吨/年,非晶粒取向电工钢产量将由 11 万吨/年增加至 20 万吨/年。

5.2 国内电工钢生产线的基本情况

2006 年我国冷轧电工钢产量约为 262.50 万吨(四大钢厂冷轧电工钢总产量合计),占电工钢总产量的 70%。目前,我国冷轧电工钢的主要生产企业有武钢、宝钢、太钢和鞍钢 4 家。世界上约有 16 个企业生产取向硅钢,而武钢是目前我国唯一一家能够生产冷轧取向硅钢的企业,2006 年取向硅钢产量为 20 万吨。表 2 为 2000~2006 年国内冷轧电工钢产量情况。

表 2 2000~2006 年国内冷轧电工钢产量情况

时间/年	武 钢		宝钢	太钢	鞍钢	冷轧合计	
	取向硅钢	无取向电工钢				无取向电工钢	取向硅钢
2000	11.04	26.08		11.50		37.58	11.04
2001	12.06	26.32	39.16	11.03		76.51	12.06
2002	12.88	29.03	44.00	10.60		83.63	12.88
2003	12.53	29.20	50.00	12.16	1.00	92.36	12.53
2004	12.70	33.80	53.50	14.30	11.10	112.70	12.70
2005	13.00	57.03	68.60	17.14	45.42	188.19	13.00
2006	20.00	68.70	86.00	17.10	70.21	242.01	20.00

注:(1)武钢无取向电工钢含半工艺产品;(2)宝钢、太钢和鞍钢目前都只能生产无取向电工钢。

以下简要介绍我国几条冷轧硅钢生产线的基本情况。

(1)武钢

武钢是国内冷轧电工钢领域品种最全、生产规模最大的大型钢铁联合企业,也是目前国内唯一能生产冷轧取向硅钢和冷轧无取向硅钢的最大专业化企业。1974 年经国务院批准,从日本引进全套设备及工艺技术,成为国内第一家冷轧硅钢片厂,年生产能力 7 万吨(其中取向硅钢 2.8 万吨,无取向电工钢 4.2 万吨),经过 30 多年来的不断引进、消化吸收日本专利,不断进行技术创新,现可生产 9

种厚度规格,75 个牌号的电工钢产品。2003 年四季度冷轧生产线改造后,电工钢生产能力由 40 万吨上升到 62 万吨,其中取向硅钢 12 万吨,高牌号无取向硅钢 6 万吨。

2006 年 9 月武钢二硅钢工程全面投产。至此,武钢已建成我国品种最齐全、规模最大的冷轧电工钢生产基地,冷轧电工钢的年生产能力已达到 142 万吨,其中取向硅钢为 28 万吨。产品规格已达 150 个。2006 年武钢冷轧电工钢产能达到 88.7 万吨。武钢的产品几乎覆盖了所有电工领域用钢,广泛应用于变压器、发电机、电动机和家用电器等领域。由于

电工钢的附加值高、利润大,武钢一直在扩大电工钢的生产规模,满足国家对高等级取向硅钢的需求,推进电力行业的节能降耗,武钢三硅钢工程现已开工。这一工程将突破其他国家在取向硅钢生产领域对我国的封锁,使我国有能力生产顶级的取向硅钢。届时,武钢冷轧电工钢年产量将达到 162 万吨,其中取向硅钢为 40 万吨、无取向电工钢为 122

万吨;其装备和产品质量都将达到世界先进水平,武钢也将成为国内乃至世界上最大的电工钢生产企业。最近,武钢还瞄准了薄板坯连铸连轧生产电工钢的优势,与西马克(SMS)签定了合同,并计划将所有的中低牌号电工钢转移到薄板坯生产线上来生产。武钢冷轧电工钢的主要品种和牌号见表 3。

表 3 武钢冷轧电工钢主要品种牌号

品种		规格	牌号	用途
取向硅钢	高磁感取向硅钢 (Hi-B 钢)	0.3mm、0.27mm Hi-B 钢	30QG100、30QG150、30QG120、30QG130、27QG095、27QG100、27QG105、27QG110、27QG120、27QG130	用做大中型变压器、节能低噪音干式变压器、互感器的铁芯。
	一般取向硅钢	0.27mm、0.23mm 0.2mm、0.15mm Hi-B 钢	23Q110、23Q115、23Q120、23Q125、27Q120、27Q130、27Q140、DGI~DG6(0.20mm)、DG1~DG6(0.15mm)	用做各种节能干式变压器和电讯的铁芯。
无取向电工钢	高牌号无取向硅钢		35WW230、35WW250、35WW270、35WW290、50WW250、50WW270、50WW290、35W250(D)	用于大型电机的铁芯
	中低牌号无取向硅钢		35WD300	用于电表的铁芯。
	家电用无取向硅钢		DGX1-50、DGX2-50、DGX3-50、DGX3-35 WHG-50、WHG-35	用于中小型电机铁芯
			D50WG540、50WG600、50WG700、50WG800、50WG600A、WDG-65、BDG-65、WDG-50、WDGI-50、MW1-50、MW4-50、50WY430、500WY500、WHB-50、WHY-50、65W530、65W800、MW101	用于家电微型电机的铁芯
	电磁开关用无取向硅钢		DWK-65、DWK2-65、DWK2-70、DWK4-70 DWK2-75、DWK2-80、DWK2-85	用于继电器、电磁开关的铁芯等。
	无取向硅钢薄带		WTG200、WTG150	用于中频电机、控制电器的铁芯。
			J23-50、J23G-50	用于高能加速器的铁芯。

(2) 宝钢

宝钢 1550mm 冷轧带钢工程生产的重点产品是中低牌号冷轧无取向电工钢。1996 年从日本川崎制铁所引进的一贯制管理体制及其拥有的先进技术和设备,严格保证了板厚和板型的高控制精度。2 条退火线(湿气线和干气线)具备 20 世纪 90 年代先进水平;宝钢 3 号硅钢机组自 2005 年 6 月 18 日第一卷成品卷下线以来,目前已生产成品卷 800 多卷,3000 余吨,调试完毕四个钢种、两种涂层,产品质量完全达到企业标准,部分指标甚至优于 1 号硅钢机组产品。3 号硅钢机组是由宝钢自主工艺总成的第一条硅钢连续退火涂层机组,设计产量 23.87 万吨。

宝钢通过近年来的改扩建,现已达到 80 万吨的电工钢产能。2006 年冷轧电工钢产量为 86 万吨。今后规划是生产高牌号无取向硅钢和取向硅

钢,现已完成取向硅钢的试制,2008 年拟建 18 万吨取向硅钢生产线。

目前宝钢能够生产 14 个中低牌号冷轧无取向电工钢,厚度为 0.35mm、0.50mm 和 0.65mm,宽度 800~1300mm,是目前国际上的最宽水平。产品工艺类型有全工艺、涂层半工艺和无涂层半工艺。已新开发出低铁损、高磁感的多种产品。凭借着先进设备和良好的产品质量,宝钢产品已进入国内多家压缩机、家用电机及小型变压器制造等行业,并远销海外。

目前宝钢生产的冷轧无取向电工钢的主要牌号有 B50A470、B50A600、B50A700、B50A800、B50A1000、B50A1300。

(3) 太钢

太钢是国内第一家试制和生产热轧硅钢片的厂家。也是最早进行冷轧取向硅钢试制的厂家。太

钢冷轧电工钢项目于 1997 年正式投产。其中,80 吨 RH 真空处理设备从德国引进、20 辊森吉米尔轧机从法国引进,连续退火涂层机组是从法国引进的二手设备并进行了改造。热连轧设备也是从日本引进的二手设备。太钢电工钢生产的主要设备包括:铁水预处理装置、氧气顶吹转炉、RH 真空精炼设备(德国 MESSO)、合金钢板坯连铸机(奥钢联)、1540mm 热连轧机(日本)、20 辊冷轧机(法国 DMS)、退火涂层线(法国 UGINE)、硅钢酸洗线及联合剪切线(国产)。经过多年的科研攻关和生产实践,加上 2006 年建设投产的年产 20 万吨中高牌号无取向硅钢生产线,使得太钢具有年产 35 万吨的冷轧电工钢生产能力(2006 年冷轧电工钢产量为 17.1 万吨),并计划通过加大技术开发力度,提高高牌号冷轧电工钢的生产能力和市场占有率。

目前太钢已能够生产符合标准 GB/T2521-1996 要求的 50W470 以下牌号的冷轧无取向电工钢,其中以 50W470、50W540 和 50W600 为主要生产牌号,也开发出高磁感、低铁损的家电用钢。2005 年又开发出了 50W350、50W400 等高牌号产品。太钢产品主要规格为 0.5mm×1000~1200mm,可以成卷或单片交货。涂层采用 G1、G2 种,其中 G1 涂层是一种不含铬的新型绿色环保涂层,符合国际使用要求。

(4) 鞍钢

鞍钢电工钢厂冷轧硅钢项目于 2003 年 6 月开始建设,2004 年 7 月投产。鞍钢冷轧硅钢生产工艺路线与武钢类似。该项目总投资 22 亿元人民币,设计年产能 100 万 t,其中,中、低牌号冷轧无取向硅钢 80 万 t,冷硬卷 20 万 t。鞍钢冷轧硅钢生产线的主要设备为 1500mm 六辊五机架酸洗连轧机组

1 条、连续退火涂层机组 4 条、重卷机组 4 条、半自动包装机 2 条。目前轧制厚度可达到 0.15mm,同板差为 7 μ m,板宽 750~1250~1380mm 由 1700ASP 生产线为硅钢厂供料。鞍钢 1700ASP 自 2003 年投产以来,已成功生产 50AW470、50AW540、50AW600、50AW800、50AW1000 等牌号的无取向硅钢,进而使鞍钢成为国内首家在前后工序实现短流程工艺生产硅钢的企业。鞍钢 2006 年生产冷轧无取向电工钢 70.21 万 t。鞍钢生产的主要牌号有:50AW600、0AW700、50AW800、50AW1000、50AW470B、50AW540 等。今后研发的重点包括系列化高效材产品、空调压缩机和系列电机用钢、不同厚度及宽度规格产品工艺的开发等。2010 年前拟生产取向硅钢。

(5)除以上“四大家”外,国内珠江钢厂和包钢也正在筹划利用薄板坯连铸连轧工艺生产冷轧无取向电工钢的生产线。据了解,马钢与北京钢铁研究总院、武汉钢铁公司进行了“薄板坯连铸连轧生产硅钢新技术研究”项目的研究,并于 2005 年 3 月 1 日采用薄板坯连铸连轧(CSP)工艺成功轧制出第一批 MG-W600 无取向电工钢热轧卷,首批试制的 3 炉硅钢近 390 吨,各项指标符合要求。这是我国首次应用薄板坯连铸连轧(CSP)工艺生产出无取向电工钢产品,它标志着该项目的研究取得了实质性的进展和突破。目前,包钢无真空精炼设施,短期内很难付诸实施。珠江钢厂也无真空精炼设施,并且电炉短流程的原料和钢水质量以及生产组织不如转炉短流程生产电工钢。2006 年马钢 CSP、鞍钢 ASP、本钢 FTSC 及涟钢薄板坯连铸连轧生产线均生产了部分冷轧中低牌号无取向电工钢。