

电力变压器发展及能效升级对取向硅钢需求的影响

时永昭

广东明阳电气股份有限公司, 广东 中山 528451

[摘要]随着科技的不断进步和社会的迅猛发展,电力系统的稳定供电已成为现代社会的基石。在这一系统中,电力变压器作为电能传输和分配的核心装置,扮演着关键角色。随着能源效率和环保意识的提高,电力变压器的性能要求正经历着前所未有的挑战。在此背景下,取向硅钢作为电力变压器核心部件的材料,其性能和可靠性备受关注。此文旨在深入研究电力变压器发展对取向硅钢需求的影响,并分析新能效等级标准对这一关键材料的提出要求。

[关键词]能效等级; 变压器; 取向硅钢

DOI: 10.33142/hst.v6i8.10132

中图分类号: TM41

文献标识码: A

Impact of Power Transformer Development and Energy Efficiency Upgrade on the Demand for Oriented Silicon Steel

SHI Yongzhao

Guangdong Mingyang Electric Co., Ltd., Zhongshan, Guangdong, 528451, China

Abstract: With the continuous progress of technology and the rapid development of society, the stable power supply of the power system has become the cornerstone of modern society. In this system, power transformers play a key role as the core device for energy transmission and distribution. With the improvement of energy efficiency and environmental protection awareness, the performance requirements of power transformers are facing unprecedented challenges. In this context, the performance and reliability of oriented silicon steel, as a core component material for power transformers, have attracted much attention. This article aims to conduct in-depth research on the impact of power transformer development on the demand for oriented silicon steel, and analyze the requirements of new energy efficiency level standards for this key material.

Keywords: energy efficiency level; transformer; oriented silicon steel

引言

电力变压器作为电力系统中不可或缺的设备,扮演着电能传输和转换的关键角色。在不断追求能源效率和环保的今天,电力变压器的性能和效率提升变得至关重要。其中,取向硅钢作为电力变压器的核心材料,在变压器的性能和能效方面扮演着关键角色。随着科技的不断进步和社会对能源利用的更高要求,新的能效等级标准正在不断制定和推行,对电力变压器的设计和制造提出了更为严格的要求。

1 变压器的发展推动了取向硅钢的技术进步

随着现代电力系统的不断发展,电力变压器作为至关重要的电气设备,在能源传输和分配中发挥着关键作用。电力变压器通过将电能从一个电路传输到另一个电路,实现电压的升高或降低,以适应不同电气设备的需求。这种技术进步不仅提高了电力系统的稳定性和效率,同时也催生了取向硅钢技术的发展。

取向硅钢是一种特殊的硅钢材料,其制造过程中经过特殊加工,使得晶粒在特定方向上排列,从而提高了材料的电磁性能。这种材料具有较低的磁滞损耗和涡流损耗,因此在电力变压器的铁芯材料中得到广泛应用。随着电力系统的扩展和现代化,变压器的需求逐渐增大。为了提高变压器的效率,降低能源损耗,研究人员开始关注电磁材

料的性能。取向硅钢因其优异的电磁特性备受关注。通过特殊的加工工艺,取向硅钢的晶粒在制造过程中被定向排列,使得其在交变磁场下具有较低的磁滞损耗和涡流损耗。这种特性使得取向硅钢成为制造高效、低损耗变压器的理想材料。

取向硅钢片在变压器原材料成本中占比大,可达到30%。是因为取向硅钢的生产工艺和制造技术较为复杂,技术壁垒较高,因此取向硅钢片的价格也相对较高。此外,由于变压器需要使用高磁导率的取向硅钢片,因此取向硅钢片也是变压器制造中不可或缺的重要原材料之一。电磁线在原材料成本中占比25%。电磁线在变压器的绕组中起到传输电能的作用,因此是变压器制造中的另一种重要原材料。由于其制作工艺复杂,且需要进行精准的加工和对接,因此成本相对较高。绝缘纸在原材料成本中也占据了15%。绝缘纸是变压器的核心部件之一,其制作需要使用大量的绝缘材料和导线,同时还需要考虑其散热性能和机械强度等因素,因此制作成本相对较高。变压器油在原材料成本中占比20%。变压器油在变压器中起到绝缘、散热和消弧等作用,是变压器制造中不可或缺的重要原材料之一。由于其需要经过特殊处理和加工,因此价格也相对较高。具体如图1所示:

成本占比

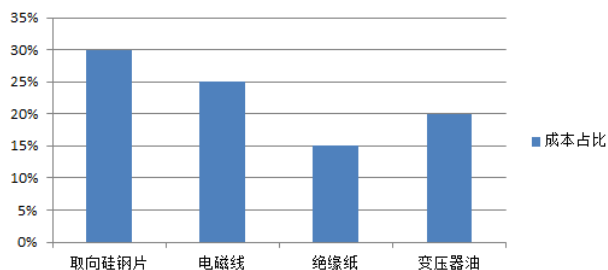


图1 变压器原材料成本构成占比统计

变压器行业的原材料成本构成比较复杂,各种原材料的成本占比均不相同。在变压器制造过程中,不同的原材料在性能和使用上都有不同的要求,因此需要针对具体的使用场合和需求进行选择和使用。同时,为了降低变压器的制造成本,也需要对原材料的成本进行合理的管理。随着新能源技术的发展和能效标准的提高,电力系统对于高效、节能的要求日益增加。传统的电力变压器在满足这些要求方面存在局限性,因此,取向硅钢材料的需求也在不断增加。取向硅钢在新能源电力变压器中发挥着重要。

2 变压器的损耗分析

电力变压器在运行过程中会发生各种损耗,其中主要包括空载损耗和负载损耗。这两种损耗直接影响着变压器的效率和性能。在本章节中,将对空载损耗和负载损耗的比例关系进行分析,同时探讨取向硅钢的电磁性能与变压器铁心损耗之间的关系。

2.1 空载损耗(铁损)、负载损耗(铜损或铝损)的比例关系

在电力变压器的运行过程中,损耗是无法避免的,而空载损耗和负载损耗则是电力变压器损耗的两个主要组成部分。理解和平衡这两者之间的比例关系对于设计和选择变压器至关重要。

2.1.1 空载损耗(铁损)

空载损耗是指在变压器的一侧(通常是高压侧)接通电源但在另一侧(通常是低压侧)无负载的情况下产生的损耗。主要的空载损耗来自于铁心中的铁损耗,这是由于铁芯材料在变化的磁场中发生磁滞和涡流现象引起的。磁滞损耗是由于铁芯在磁场中磁化时,分子磁矩无法即时跟随磁场的变化而产生的能量损耗。涡流损耗则是因为磁场变化时,在铁芯中形成的电流产生焦耳热效应。在空载状态下,负载电流为零,所以铜损耗可以忽略。

2.1.2 负载损耗(铜损或铝损)

负载损耗主要发生在变压器的负载端,即绕组中。当电流通过导体(通常是铜线或铝线)时,由于导体的电阻,电流产生热量。这种热量损耗被称为铜损耗(或铝损耗)。负载损耗的大小与电流的平方成正比,因此在大容量变压器中,负载损耗通常比空载损耗要大。负载损耗直接关系

到变压器的性能和效率。在变压器正常运行时,负载损耗会导致温升,增加绕组和铁心的损耗。因此,在设计和选择变压器时,工程师需要仔细平衡空载损耗和负载损耗,以确保系统的高效运行。尤其是在大容量变压器中,由于电流较大,负载损耗在总损耗中所占的比例较大。在一些特殊应用中,例如需要长时间持续运行的电力系统,即使是大容量变压器,也需要降低负载损耗,以提高系统的整体效率。因此,在实际工程中,工程师需要根据具体需求合理选择变压器的设计参数,以在空载和负载运行状态下获得最佳性能。这种权衡考虑需要综合考虑系统的需求、材料的特性以及变压器的运行环境,以确保电力系统的稳定、高效运行。

2.1.3 比例关系和权衡

在变压器的设计中,工程师需要在空载损耗和负载损耗之间取得平衡。一般来说,在大容量变压器中,由于电流较大,导致绕组中的铜损耗增加,相对而言,铁损耗所占的比例就较小。因此,总的损耗中,负载损耗所占的比例相对较大^[1]。这种情况下,工程师可能会选择特定的铁芯材料,以降低磁滞损耗和涡流损耗,以及优化导体材料和截面,以减小铜损耗。然而,在某些特殊应用中,例如需要持续长时间运行的电力系统,即使是大容量变压器,也需要降低空载损耗。这是因为长时间运行下,即便是相对较小的空载损耗也会积聚成较大的能源损失。在这种情况下,工程师可能需要采用特殊的铁芯材料或设计方案,以降低空载损耗,提高系统的整体效率。

空载损耗和负载损耗的比例关系在变压器设计中至关重要,决定了变压器的性能和效率。根据具体应用需求,工程师需灵活选择合适的设计参数和材料,以实现最佳的性能和能效。

2.2 取向硅钢电磁性能与变压器铁心损耗的关系

在电力变压器的运行中,铁心的材料选择对于系统的性能和效率至关重要。取向硅钢作为一种特殊的硅钢材料,具有卓越的电磁性能,对变压器的铁心损耗产生显著影响。

2.2.1 电磁性能的优越性

取向硅钢材料通过特殊的加工工艺,形成了定向排列的晶粒结构,赋予了它卓越的电磁性能。这种定向排列的晶粒结构具有两个主要优越性。首先,取向硅钢表现出极低的磁滞损耗。在交变磁场中,材料的分子磁矩因为定向排列而减少了定向难度,因此大大降低了磁滞损耗。磁滞损耗是指材料在交变磁场中因分子磁矩定向不完全而导致的损耗。取向硅钢的特殊晶粒结构减小了分子磁矩的定向难度,因此大大降低了磁滞损耗。其次,取向硅钢具有极低的涡流损耗。涡流损耗是因为电流在材料中形成涡流而产生的损耗。取向硅钢的晶粒定向排列减小了涡流的形成,从而显著降低了涡流损耗。涡流损耗是电流通过导体时因电阻产生的损耗。由于晶粒的定向排列减小了涡流的

形成,材料在电流通过时产生的涡流损耗也大幅降低。这两个特性使得取向硅钢在电磁性能方面表现出色。因此,取向硅钢广泛应用于各种领域,特别是在对电力系统要求高效、低损耗的领域中,发挥着关键作用^[2]。它不仅在电力变压器中大幅提高了能源传输效率,同时也在其他电力设备和磁性元件中取得了显著的应用,为现代电力系统的可靠运行提供了重要支持。

2.2.2 应用于变压器的影响

取向硅钢材料在电力变压器领域的应用产生了深远的影响。首先,它显著降低了铁心损耗,得益于其低磁滞和低涡流损耗特性。这一特性使得在变压器运行时,更多的电能够被传导,而不会被转化为热能损耗,从而提高了整个系统的效率。这种提高效率直接转化为了更为高效的电能传输和分配,为电力系统的稳定运行提供了可靠支持。其次,取向硅钢材料的高效性也减少了变压器在电能传输和转换过程中的能源损耗。这进一步提高了系统的整体效率,有助于构建更为节能环保的电力系统。通过减少能源损耗,取向硅钢材料的应用为环境保护作出了积极贡献,符合现代社会对绿色能源的迫切需求。最重要的是,取向硅钢材料被广泛应用于高效、大容量的电力变压器中。这种广泛应用不仅提高了系统的性能,同时也为电力系统的稳定运行和能源节约作出了重要贡献。高效的电力变压器直接影响到供电的稳定性和质量,同时也为能源的合理利用创造了更好的条件。这种推动可持续能源利用的材料应用,为电力工程的可持续发展指明了方向。取向硅钢的应用,不仅提高了电力系统的效率,还为我们迈向更加环保、高效的能源未来奠定了坚实基础。

取向硅钢材料的卓越电磁性能对电力变压器的性能、效率和稳定性具有深远影响。其低磁滞和低涡流损耗特性使其成为高效、节能电力系统中不可或缺的材料,为现代电力工程的发展提供了关键支持。

3 新能效等级标准对取向硅钢的要求及需求预测

3.1 新能效升级标准对取向硅钢的要求

截至 2023 年,随着电力系统的不断完善和新能源技术的广泛应用,电力变压器行业正在经历一场革命性的变革。根据最新修订的《电力变压器能效限定值及能效等级》(GB20052-2020)标准,高效节能变压器(符合 1 级、2 级能效标准的电力变压器)在电网中的运行比例提高 10%。与此同时,当年新增的高效节能变压器占比达到 75%。这一变化不仅引领着电力变压器行业走向更高效、更节能的未来,也对其关键材料提出了更为严格的要求,尤其是取向硅钢。相较于之前的标准《GB 6451—2015 油浸式电力变压器技术参数和要求》,新的标准在能效指标上实现了显著提升。根据新标准,变压器的空载损耗需下降 20%~45%,负载损耗需下降 5%至 10%。这种提高意味着对高等级铁心材料的需求将大幅增加,特别是对取向硅钢的要求

更为严格。

新标准集中关注两个关键性能参数。首先,对取向硅钢的磁滞损耗提出了更低的要求。在交变磁场中,取向硅钢的分子磁矩因定向排列而减少了定向难度,使得磁滞损耗大幅降低。高效率的电力变压器需要在空载状态下降低磁滞损耗,以减小铁芯的空载损耗。其次,新标准对取向硅钢的涡流损耗提出了更高的要求。涡流损耗是由电流在材料中形成涡流而产生的损耗,在变压器的负载状态下占主导地位。为了降低变压器的负载损耗,新能效标准要求取向硅钢必须具有更低的涡流损耗。这可能推动生产厂家采用更先进的冶炼技术和材料处理方法,降低取向硅钢的内部电阻,减小涡流损耗。同时,标准还对取向硅钢的生产工艺和质量控制提出了更高的要求,包括精密的切割工艺、精细的表面涂层技术和高效的退火工艺等,以确保每一批次的取向硅钢都符合标准要求。

随着新的能效等级标准的实施,取向硅钢产业将迎来技术与质量的双重提升。这种提高的标准将推动取向硅钢生产商引入创新技术,以满足电力系统对高效、低损耗电力设备的迫切需求。同时,也将在产业链上推动技术的创新和发展,为电力系统的可持续发展提供更为坚实的支持。

3.2 能效标准实施后取向硅钢的产能变化及预测

随着新的能效标准《电力变压器能效限定值及能效等级》(GB20052-2020)的实施,取向硅钢在电力变压器制造中的需求将迎来爆发性增长,因为它是制造符合新标准的高效电力变压器的核心材料。这种需求激增将在取向硅钢产业中引发一系列产能变化和行业发展趋势。下图展示了 2018-2022 年中国变压器行业销售额、增长率表:

图 2 2018-2022 年中国变压器行业销售额、增长率

	2018	2019	2020	2021	2022
销售额(亿元)	168.0	185.0	199.0	211.0	234.0
年增长率(%)	5.69	16.56	8.69	4.89	9.98

取向硅钢生产厂家将不得不迅速响应市场需求,可能会采取扩大生产线数量和产能的措施。新的生产线将整合先进的生产技术和自动化设备,提高生产效率和材料性能。为确保取向硅钢符合更高标准,厂家可能加大对研发新工艺和技术的投入,提高材料的质量、稳定性和节能性。需求激增将引发各生产厂家间更为激烈的竞争,推动技术创新和产品研发的力度。这种竞争将促使取向硅钢技术不断进步,改进产品性能,降低生产成本,并推动产业向更加绿色、环保方向发展,以满足社会对可持续发展的需求。厂家需要密切关注国内外最新的技术和标准,持续改进生产工艺,以适应不断提高的市场需求。这将促使取向硅钢产业整体提升技术水平,提高产品质量和性能,为电力系统的高效运行提供更可靠的支持。

新能效标准的实施将推动取向硅钢产业的发展,促使产能的扩大、技术的提升和竞争的加剧。这将为整个电力

变压器产业链带来深远的影响,推动行业不断向前发展,以满足未来电力系统对高效、节能电力设备的需求。随着市场需求的提升和技术的不断创新,取向硅钢产业将在新的发展时期迎来更加广阔的前景。

4 结语

在电力变压器领域,取向硅钢作为关键材料,随着新能效等级标准的不断提高,扮演着愈发重要的角色。这些标准的实施推动着取向硅钢材料的不断创新和进步,以满足电力系统对高效、低损耗设备的需求。新标准对取向硅钢的磁滞损耗、涡流损耗以及生产工艺和质量控制等方面提出了更为严格的要求,促使产业不断升级,技术不断突破,产品不断优化。随着取向硅钢材料性能的提高,电力变压器将在更高效、更可靠的状态下运行,为电力系统的稳定

供电和能源的高效利用提供了坚实基础。同时,取向硅钢的不断创新也为电力系统的未来发展提供了更大的空间,推动了整个行业向更加绿色、环保、智能化的方向迈进。

【参考文献】

- [1]沈侃毅,马长松,穆怀晨.宝钢薄规格取向硅钢系列产品及其在电力变压器的应用[J].电工钢,2021,3(4):7-11.
 - [2]关银环,朱庆民,周亮等.浅析新能效配电变压器硅钢选材与应用[J].变压器,2021,58(12):35-37.
 - [3]张学明.非晶合金立体卷铁心干式变压器与硅钢立体卷铁心干式变压器比较[J].电工钢,2023,5(4):43-48.
- 作者简介:时永昭(1980.11—),就职单位:广东明阳电气股份有限公司,职称级别:电气工程师。