

高性能软磁材料之非晶合金行业研究

1. 非晶合金—软磁材料新星

磁性材料根据功能通常可划分为永磁材料、软磁材料和功能性磁材。其中，永磁材料可分为铁氧体永磁材料、稀土永磁材料、其他永磁材料，软磁材料可分为铁氧体软磁材料、金属软磁材料、其他软磁材料等。

磁材性能主要的衡量指标为稳定性、抗磁退性、抗温性，其中衡量稳定性的主要参数是剩余磁化强度和最大磁能积，其值越高表示磁场强度越高，磁体越能保持磁性；衡量抗退磁性的主要参数为内禀矫顽力，其值越大代表磁体的抗退磁能力越强；抗温性的衡量参数主要为工作温度和居里温度，其值越高表示在高温下磁材的性能更稳定。永磁材料难磁化、难退磁、剩磁高、矫顽力大，主要作为磁场源储藏和供给磁能，应用于各种电机、仪表、设备等，软磁材料在磁场作用下易磁化，且取消磁场后又容易退磁，具有较高的磁导率、较高饱和磁感应强度、较小的矫顽力，磁滞损耗小，应用于变压器、继电器、电感铁芯、继电器和扬声器磁导体、磁屏蔽罩、电机定子转子等。

软磁材料因具有磁电转换的功能，广泛应用于变压器、电感电容、逆变器等领域，下游包含电力电网、新能源车、新能源发电、消费电子、5G通讯、家电等诸多行业。在电力工业中，从电能产生（发电机）、传输（变压器）到利用（电动机）的过程中，软磁材料起能量转换作用；在电子工业中，从5G通讯（无线充电）、自动控制（继电器、磁放大器、变换器）到广播电视和电影（声音图像的录、放、抹磁头），再到电子计算技术（各种铁磁性微波器件），软磁材料起着信息变换、传递与存储等重要作用。

软磁材料经历了金属软磁、铁氧化物软磁、非晶、纳米晶合金的不断创新与迭代。按照软磁材料成分划分，可分为金属软磁、铁氧化物软磁、非晶、纳米晶合金。金属软磁材料最早使用，包括硅钢、坡莫合金等，铁氧化物软磁为以氧化铁为主要成分的磁性氧化物，包括锰锌系，镍锌系铁氧化物等。非晶软磁主要包含铁基、铁镍基、钴基非晶材料、纳米非晶材料等。按照软磁材料产品形态划分，可分为合金类、粉芯类、铁氧化物类。衡量软磁材料性能的指标主要有饱和磁感、导磁率、矫顽力、铁损等，其中饱和磁感率越高磁芯工作磁感的最高限度越大，磁性能越强；导磁率越高，表明磁化的灵敏性越好，矫顽力低反应磁化的阻力更小，能量的损失主要取决于材料的电阻率，电阻率越高，铁损越低。

金属软磁材料以硅钢为代表，由于电阻率较低，在高频下会产生较大的涡流损耗，高频损耗较大，随着使用频率的提高，应用逐步受到限制，目前主要用于电动机和发电机等低频应用场景。铁氧化物软磁为第二代软磁材料，电阻率高，在高频段下损耗较金属软磁大幅降低，但铁氧化物软磁饱和磁感应强度大幅低于金属软磁材料，且初始磁导率较低，在磁能密度较高的低频强电领域应用受到限制。

纳米晶是在非晶态合金制备工艺之后，再经过高度控制的退火环节，形成的具有纳米级微晶体和非晶混合组织结构的材料。纳米晶软磁相较前述三者具备更加优异的综合性能：相较于非晶合金，可具有更高的饱和磁感应强度和初始磁导率，同时也更加适应小型化、集成化的发展趋势，相较于铁基非晶，损耗通常还可继续降低，为高频电力电子应用的理想材料。

非晶合金种类主要包含铁基、铁镍基、钴基非晶合金以及铁基纳米晶合金。其中铁基非晶合金广泛应用于节能配电变压器；铁镍基非晶合金应用范围与镍坡莫合金对应，但其在能量损耗和机械强度方面更

加优越，应用于漏电开关、磁屏蔽等，钴基非晶合金在非晶合金中具有最高的磁导率，且具有优异的耐磨性和耐蚀性，应用于要求严格的军工电源中的变压器、电感等，可替代坡莫合金、铁氧体等；纳米晶合金为目前综合性能最优的软磁材料，广泛应用于大功率电源开关、逆变电源、高频变压器、共模电感等领域，可替代铁氧体。

目前非晶合金中应用最广泛的主要为铁基非晶和铁基纳米非晶合金，其中铁基非晶合金主要应用于工频（中低频）环境的配电变压器、电机材料，下游包括电力配送、轨道交通变压器等相对传统的电力行业领域；纳米晶合金较非晶合金整体具有更高的磁导率和更低的损耗，传输效率更高，体积更小，主要应用于中、高频环境的电子磁性元器件，下游包括消费电子、新能源汽车、变频家电、粒子加速器等领域。

2. 中国非晶带材已取得头部地位，纳米晶加速追赶

国内非晶、纳米晶参与者众多，头部企业已建立领先优势。国内目前基本实现非晶合金产业全覆盖，主要参与者包括安泰科技、云路股份、中研非晶、兆晶科技、江苏国能、河南中岳等，海外竞争对手主要为日本的日立金属和德国 VAC。中国非晶带材产业化应用自 2010 年以来已经有 10 多年时间，业内生产企业众多，但规模化量产的企业数量较少，企业之间产能利用率差距较大，呈现两极分化格局，坚持技术创新、产品升级的企业不仅继续占据市场主要份额，且在不断创新中保持着行业龙头地位。纳米晶材料企业生产规模普遍较小，生产较为分散。

中国非晶带材起步晚，发展迅速，已成为全球最大的产业基地。非晶带材产业技术主要由非晶材料设计、低成本原材料、生产过程的自动化信息化控制、非晶带材连续化大生产工艺装备组成。非晶带材最早发展于美国，1982 年美国安装了首台非晶配电变压器，1989 年美国

86.58%，干式变压器比例为 13.42%，与国内变压器用量中干式和油浸式应用比例相似。

3.1 配电变压器，变压器能耗标准升级带动非晶需求

中国输配电环节损耗较大，其中变压器损耗占比 40%。据中研网，2020 年中国输配电损耗占全国发电量 6.6%，变压器损耗约占输配电损耗的 40%，即占全国发电量的约 2.6%。变压器是电力输配中关键的节点，起到连接电网各环节的作用，输配电过程中变压器产生的较大的电力损耗引起严重的电量浪费，在节能减排趋势下，升级改造变压器意义重大。非晶变压器较传统硅钢材料，可大幅降低空载损耗。变压器损耗分为空载损耗和负载损耗，其中空载损耗约占变压器总损耗的 50%-80%。硅钢和非晶合金为制作变压器铁芯的两种核心材料，非晶合金为继取向硅钢后的新一代变压器材料。由于非晶合金具有更高的电阻率，其空载损耗较硅钢可大幅降低，根据 JB/T3837-2016 变压器类产品型号编制方法显示，相同容量的非晶合金变压器比硅钢变压器的空载损耗下降 50%左右，配电网中特别是农网中很多变压器的负载率低于 20%，使用非晶合金变压器节能效果显著。

价格与硅钢变压器差距较小，甚至略低。早期非晶变压器由于量产规模较低，技术工艺成熟度较低等原因，价格高于相同容量的硅钢变压器，近年来，随着非晶带材制造工艺的不断成熟，国内企业逐步打破日立金属在中国非晶带材市场的垄断地位，随着国产化率的逐步提高，市场供应逐步增加，国内非晶带材的市场价格逐年降低。此外，随着硅钢变压器导磁材料逐步由碳素钢，演变为节能效果更好的热轧硅钢片、冷轧硅钢片、取向冷轧硅钢片等，硅钢成本亦有所提升。目前非晶带材做一级变压器相较于取向硅钢已经具备成本优势，根据扬电科技招股说明书，2019-2020 年度，公司非晶带材采购均价逐年降低，

非晶铁芯采购均价均略低于硅钢，预计目前在节能变压器领域，硅钢节能变压器价格优势已经弱化。

非晶变压器与硅钢变压器相互补充，工艺均在不断进步。非晶合金的生产工艺流程显著短于硅钢产品，硅钢采用传统钢铁冶金制备工艺制成，产品制备经过热轧、冷轧等多道工艺，而非晶采用的是急速冷却工艺制成，从钢液到非晶合金薄带制品一次成型，根据云路股份招股说明书，生产 1 公斤非晶合金薄带比生产 1 公斤硅钢约可节省 1 升石油；废旧的非晶铁芯可通过中频炉重熔后制成非晶合金薄带，非晶铁芯中的硅、硼元素基本可以实现回收再利用，回收性能更优。非晶合金由于硬度高、脆性大、耐受应力能力较差，其剪切和加工难度更大，产生碎屑易导致变压器故障；此外磁致伸缩系数大导致非晶合金变压器噪声增大。非晶合金磁感应强度通常低于取向硅钢，因此导致非晶合金铁芯变压器体积更大、相同规格负载损耗略高。目前非晶变压器主要用于农村电网和发展中地区等长期低负载地区，硅钢变压器主要应用于城市电网等长期高负载地区，二者相互补充。

国内国网、南网变压器采购呈现以硅钢变压器为主、非晶合金变压器为辅的结构。目前非晶带材由于产品规格限制，主要用于小型变压器，从采购金额角度来看，非晶变压器占比较小。从采购数量的角度来看，国家电网、南方电网等电网系统的招投标量决定配电变压器的需求量，根据国家电网和南方电网的招标数据情况，2020 年两网非晶合金变压器的采购数量比例为 27.33%，其中国网非晶变压器采购占比为 15.49%，南网为 58.82%，南方电网的非晶变压器招标采购数量占比更高，主要由于南方电网主要覆盖广东、广西、贵州、海南、云南等地区，上述区域用电负荷和集中度相对偏低，非晶变压器节能降耗的作用更为明显。

在电力需求较为旺盛的海外市场，非晶合金变压器的采购数量整体呈现增长的趋势。非晶变压器已在多国得到应用和发展，国际市场中非晶变压器的需求和发展，始终受非晶原材料供应的限制。美国、印度、日本等国家均早于中国发展和使用非晶变压器，但由于缺少相关制造企业，非晶带材的供应主要依赖于日立金属公司，非晶变压器的生产和制造也主要集中于国外大型公司。北美地区，美国、墨西哥、加拿大等国家的知名变压器企业一直稳定生产非晶变压器，除使用日立金属在美国工厂提供的带材及本土铁芯外，考虑到中国非晶带材生产、非晶变压器制造等已成长为全球第二大供应链，已开始从中国采购性价比更高的非晶带材及非晶铁芯。欧洲地区缺乏非晶带材生产企业和非晶铁芯的生产配套能力，非晶变压器的制造依赖进口，生产周期长，成本高，发展缓慢。

从区域来看，亚太将成为全球配电变压器最大的区域市场，主要受该地区输配电基础设施、工业投资加大以及老化的配电设备替换等驱动，其中印度、韩国、日本对非晶变压器的需求稳定，菲律宾、越南、中国台湾等国家和地区，受其地方电力系统的产业政策支持，对非晶变压器的需求有明显增加，并从中国引进非晶变压器技术、设备以及进口非晶变压器。根据韩国电力公司（KEPCO）的数据统计，2019年韩国电力公司招标配电变压器约7万台，其中硅钢变压器占比约70%，非晶变压器占比接近30%；2020年，韩国电力公司招标配电变压器数量进一步增长至约11.6万台，其中硅钢变压器约7万台、占比约60%，非晶变压器约4.6万台、占比上升至接近40%，非晶变压器的采购数量 and 市场份额呈上升趋势。

配电投资力度不减，非晶变压器增量需求有保证。随着中国用电量的持续增长，叠加重大工程的建设实施，将促进电力投资保持较高水平，目前配电网领域的建设投资占比逐年上升，且部分早期装配的输

配电设备进入更新换代周期，配电网领域产生持续的建设投资需求。根据 2022 年 1 月 13 日国家电网召开的年度工作会议，计划 2022 年电网投资达到 5012 亿元，投资额历史首次突破 5000 亿元，同比增长 8.84%。伴随着“十四五”规划的推出、特高压电网陆续投运、新能源充电桩及光伏风电等项目的建设完工，预计电网投资额有望迎来增长期。

从变压器产量来看，2016-2018 年受输配电价格下降等因素影响，国内变压器产量小幅减少，2019 年总产量规模有所回升，2020 年受新冠疫情影响，中国变压器总产量规模略微下降，降至 17.4 亿千伏安，但较之前年份有所回升。根据前瞻产业信息网，随着中国各地特高压项目相继落地，未来几年中国电力变压器市场将呈现出阶段性的新增长趋势，预计全国变压器产量将继续保持 2.5% 的增长势头，到 2026 年中国变压器产量规模将突破 20 亿 KVA 预计变压器产量的稳步增长会对非晶合金变压器不断带来新增需求。

考虑到非晶变压器更适用于农村电网等长期低负载地区，基于以下假设，对农网建设中非晶变压器需求空间进行测算： 1) 2020 年国网、南网投资总额中，农网投资额占比 34%，粗略估算，以此作为每年农网变压器采购量占整体采购量比例； 2) 南方电网非晶变压器采购份额较高，主要由于所覆盖地区农村面积占比更高，可以看出，农村电网中非晶变压器渗透率较城市电网会有明显提升，预计未来农村电网中非晶变压器渗透率将达到 60%。3) 2019 年中国非晶带材产量为 9.97 万吨，对应变压器容量约为 0.26 亿千伏安，占据 2019 年中国变压器总产量规模 17.6 亿千伏安的比例约为 1.5%，由此可知，按照变压器容量计算，目前非晶变压渗透率较低，考虑到双碳目标下，农网节能潜力较大，预计农网建设中，非晶变压器渗透率将稳步提升。

3.2 用户工程变压器：新基建建设推进，增量需求可期

阔。“新基建”主要涉及 5G 基站及其应用、光伏电网、城际轨道交通、新能源车及充电桩、大数据中心等领域，相关领域投资建设将带动大批量用户工程端干式变压器需求。考虑到新基建项目大多用电量较大，且用电不均衡、运行负载率低，带来电源能量变换上的高效率需求，非晶干式变压器能大幅降低供电系统能耗，契合相关需求，预计相关投资建设可对非晶变压器需求形成有效拉动。在轨道交通领域，降低配电变压器的空载损耗有利于降低轨道交通运营成本。根据 QYResearch 研究报告，2016 年-2020 年，中国轨道交通变压器市场规模从 40.87 亿元增长至 71.11 亿元，复合增长率为 14.85%，装机容量从 0.54 亿千伏安增长至 0.95 亿千伏安，复合增长率为 15.17%，保持稳定增长，预计 2021 年至 2027 年轨道交通变压器市场规模仍将保持持续增长趋势，2027 年市场规模有望超过 200 亿元，装机容量有望达到 2.8 亿千伏安。

根据 QYResearch 研究报告，2016 年-2020 年中国数据中心变压器市场规模从 47.23 亿元增长至 170.77 亿元，复合增长率为 37.89%，装机容量从 0.63 亿千伏安增长至 2.28 亿千伏安，年复合增长率为 37.93%，预计 2021 年至 2027 年数据中心变压器市场规模仍将保持高速增长，2027 年市场规模有望超过 1100 亿元，装机容量接近 15 亿千伏安。机房电费占据数据中心运营总成本的一半以上，非晶合金变压器相较普通干式变压器的相关技术参数，空载损耗可下降 65%~70%，高速增长的数据中心领域有望为非晶合金变压器带来增量的市场空间。目前，百度、京东等多家知名企业已经开始使用非晶合金变压器来替代原硅钢变压器，随着中国对数据中心等新型基础设施建设力度的加大和建设进度的加快，应用于数据中心的非晶变压器市场需求有望持续增长。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/117116123014006041>