

磁 钢

磁钢最原始的定义即是铝镍钴合金（磁钢在英文中 AlNiCo 即铝镍钴的缩写），磁钢是由几种硬的强金属，如铁与铝、镍、钴等合成，有时是铜、铌、钽合成，用来制作超硬度永磁合金。

铝镍钴磁钢

磁钢最原始的定义即是铝镍钴合金(磁钢在英文中 AlNiCo 即铝镍钴的缩写), 磁钢是由几种硬的强金属, 如铁与铝、镍、钴等合成, 有时是铜、铌、钽合成, 用来制作超硬度永磁合金 (Any of several hard, strong alloys of iron, aluminum, nickel, cobalt and sometimes copper, niobium, or tantalum, used to make strong permanent magnets.). 其金属成分的构成不同, 磁性能不同, 从而用途也不同, 主要用于各种传感器、仪表、电子、机电、医疗、教学、汽车、航空、军事技术等领域。铝镍钴磁钢是最古老的一种磁钢, 被人们称为天然磁体, 虽然他最古老, 但他出色的对高温的适应性, 使其至今仍是最重要的磁钢之一。铝镍钴可以在500℃以上的高温下正常工作, 这是他最大的特点, 另外抗腐蚀性能也比其他的磁体强。

铁氧体磁钢

简介

是应用最广泛的的一种永磁材料，以粉末冶金法制造，主要分为钡料(Ba)和锶料(Sr)两种，并分为各向异性和各向同性两类，是不易退磁不易腐蚀的一种永磁材料，最高工作温度可达250℃，较坚硬且脆，可用金刚石沙等工具切割加工，用合金钢加工之模具一次成型。此类产品大量应用于永磁[电机](#)(Motor)和[扬声器](#)(Speaker)等领域。

主要特性

是由粉末冶金法制造

化学组合为 - Ba/Sr 06 FeO

较坚硬和脆

不易退磁

非常好防蚀性

价格低廉，来源丰富

温度稳定性佳 最广泛性用之永磁

钕铁硼磁钢

而近几年来，钕铁硼磁钢作为节能环保的朝阳产业，已广泛用于[信息技术](#)、汽车、核磁共振、风力发电和电机等领域，预计未来3-5年的复合增长率在20%左右。由于[中国](#)具有明显的资源、成本和市场优势，世界钕铁硼产业正在向中国转移，2005年中国钕铁硼产量已经占到全球产量的70%以上。钕铁硼磁钢分烧结钕铁硼与粘接钕铁硼两种。

烧结钕铁硼

术语定义

主要磁性能:

包括永磁材料的剩磁 (B_r), [磁极化强度](#) 矫顽力 (内禀矫顽力) (H_{c_j}) 磁感应强度矫顽力 (H_{c_b}), 最大磁能积 ($(BH)_{max}$)

辅助磁性能:

包括永磁材料的相对回复磁导率 (μ_{rec})、[剩磁温度系数](#) ($\alpha(B_r)$)、磁极化强度矫顽力温度系数 ($\alpha(H_{c_j})$)、居里温度 (T_c)

分类牌号

材料分类:

烧结钕铁硼永磁材料按磁极化强度矫顽力大小分为低矫顽力 N, 中等矫顽力 M, 高矫顽力 H, 特高矫顽力 SH, 超高矫顽力 UH, 极高矫顽力 EH 六类产品

牌号:

每类产品按最大磁能积大小划分若干个牌号

N35—N52, N35M—N50M, N30H—N48H, N30SH—N45SH, N28UH—N35UH, N28EH—N35EH

数字牌号:

牌号示例: 048021 表示 $(BH)_{max}$ 为 $366 \sim 398 \text{ kJ/m}^3$, H_{c_j} 为 800 kA/m 的烧结钕铁硼永磁材料。

字符牌号:

烧结钕铁硼永磁材料的牌号由主称贺2种磁特性三部分组成, 第一部分为主称, 由钕元素的化学符号 ND, 铁元素的化学符号 FE 和硼元素的化学符号 B 组成, 第二部分为线前的数字, 是材料最大磁能积 $(BH)_{max}$ 的标称值 (单位为 kJ/m^3), 第三部分为斜线后的数字, 磁极化强度矫顽力值 (单位为 kA/m) 的十分之一, 数值采用四舍五入取整。

牌号示例: NdFeb380/80 表示 $(BH)_{max}$ 为 $366 \sim 398 \text{ kJ/m}^3$, H_{c_j} 为 800 kA/m 的烧结钕铁硼永磁材料。

化学成分

钕铁硼永磁材料是以[金属间化合物](#) $\text{RE}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 为基础的永磁材料。主要成分为

稀土 (RE)、铁 (FE)、硼 (B)。其中稀土 ND 为了获得不同性能可用部分镝 (Dy)、镨 (Pr) 等其他稀土金属替代，铁也可被钴 (Co)、铝 (Al) 等其他金属部分替代，硼的含量较小，但却对形成四方晶体结构金属间化合物起着重要作用，是的化合物具有高[饱和磁化强度](#)，高的单轴各向异性和高的居里温度。

制造工艺

烧结钕铁硼永磁材料采用的是粉末冶金工艺，熔炼后的合金制成粉末并在磁场中压制成药胚，药胚在惰性气体或真空中烧结达到致密化，为了提高磁体的矫顽力，通常需要进行时效热处理。

材料应用

烧结钕铁硼永磁材料具有优异的磁性能，广泛应用于电子、电力机械、医疗器械、玩具、包装、五金机械、航天航空等领域，较常见的有永磁电机、扬声器、[磁选机](#)、计算机磁盘驱动器、磁共振成像设备仪表等。

粘接钕铁硼

简介

产品简介：由粉末冶金法制造。

化学组成：Nd₂Fe₁₄B

高剩磁、高矫顽力、高磁能积、高性能价格比。

表面涂层或电镀抗蚀性较低。

容易加工各种尺寸及最小规格，广泛应用于各个领域。

NdFeB 粘结永磁材料是由 NdFeB 磁粉加入粘合剂而制成。[日本](#)自1988年成功地开发此材料以来其发展相当的声速、产量成倍地增长，它作为一种高性能的永磁材料，符合当代电子产品期短、小、轻、薄方向发展的潮流。

应用

粘结钕铁硼永磁材料的生产及应用开发较晚，应用面不广，用量较小，主要用于[办公室自动化](#)设备、电装机械、视听设备、仪器仪表、小型马达和计量机械、在手机、[CD-ROM](#)、DVD-ROM 驱动电机、硬盘主轴电机 HDD、其他微特直流电机和自动化仪器仪表等领域应用广泛。近年我国粘结钕铁硼永磁材料的应用比例为：计算机占62%，电子工业占7%，办公室自动化设备占8%，汽车占7%，器具占7%，其他占9%。与烧结磁比较，它可一次成形，无需二次加工、可以做成各种形状复杂的磁体，这也是烧结磁体所无法相比的，应用它可大大减少电机的体积及重量。

相关资料

简介

永磁材料 (permanent magnetic material) 具有宽磁滞回线、高矫顽力、高剩磁，一经磁化即能保持恒定磁性的材料。又称硬磁材料。实用中，永磁材料工作于深度磁饱和及充磁后磁滞回线的第二象限退磁部分。常用的永磁材料分为铝镍钴系永磁合金、铁铬钴系永磁合金、永磁铁氧体、[稀土永磁材料](#)和复合永磁材料。

①铝镍钴系永磁合金。以铁、镍、铝元素为主要成分，还含有铜、钴、钛等元素。具有高剩磁和低温度系数，磁性稳定。分铸造合金和粉末烧结合金两种。20世纪30~60年代应用较多，现多用于仪表工业中制造磁电系仪表、流量计、[微特电机](#)、[继电器](#)等。

②铁铬钴系永磁合金。以铁、铬、钴元素为主要成分，还含有钼和少量的钛、硅元素。其加工性能好，可进行冷热塑性变形，磁性类似于铝镍钴系永磁合金，并

可通过塑性变形和热处理提高磁性能。用于制造各种截面小、形状复杂的小型磁体元件。

③永磁铁氧体。主要有钡铁氧体和锶铁氧体，其电阻率高、矫顽力大，能有效地应用在大气隙磁路中，特别适于作小型发电机和电动机的永磁体。永磁铁氧体不含贵金属镍、钴等，原材料来源丰富，工艺简单，成本低，可代替铝镍钴永磁体制造磁分离器、磁推轴承、扬声器、微波器件等。但其最大磁能积较低，温度稳定性差，质地较脆、易碎，不耐冲击振动，不宜作测量仪表及有精密要求的磁性器件。

④稀土永磁材料。主要是稀土钴永磁材料和钕铁硼永磁材料。前者是稀土元素铈、镨、镝、钬等和钴形成的金属间化合物，其磁能积可达碳钢的150倍、铝镍钴永磁材料的3~5倍，永磁铁氧体的8~10倍，温度系数低，磁性稳定，矫顽力高达800千安/米。主要用于低速转矩电动机、启动电动机、传感器、磁推轴承等的磁系统。钕铁硼永磁材料是第三代稀土永磁材料，其剩磁、矫顽力和最大磁能积比前者高，不易碎，有较好的机械性能，合金密度低，有利于磁性元件的轻型化、薄型化、小型和超小型化。但其磁性温度系数较高，限制了它的应用。

⑤复合永磁材料由永磁性物质粉末和作为粘结剂的塑性物质复合而成。由于其含有一定比例的粘结剂，故其磁性能比相应的没有粘结剂的磁性材料显著降低。除金属复合永磁材料外，其他复合永磁材料由于受粘结剂耐热性所限，使用温度较低，一般不超过150℃。但复合永磁材料尺寸精度高，机械性能好，磁体各部分性能均匀性好，易于进行磁体径向取向和多极充磁。主要用于制造仪器仪表、通信设备、旋转机械、磁疗器械及[体育用品](#)等。

分类

第一大类是：合金永磁材料，包括稀土永磁材料（钕铁硼 Nd₂Fe₁₄B）、钐钴（SmCo）、铝镍钴（AlNiCo）

第二大类是：铁氧体永磁材料（Ferrite）

按生产工艺不同分为：烧结铁氧体、粘结铁氧体、注塑铁氧体，这三种工艺依据磁晶的取向不同又各分为等方性和异方性磁体。

这些就是目前市面上的主要永磁材料，还有一些因生产工艺原或成本原因，不能大范围应用而淘汰，如 Cu-Ni-Fe（铜镍铁）、Fe-Co-Mo（铁钴钼）、Fe-Co-V（铁钴钒）、MnBi（锰铋）

1，稀土永磁材料（钕铁硼 Nd₂Fe₁₄B）：按生产工艺不同分为以下三种

（1）、烧结钕铁硼（Sintered NdFeB）——烧结钕铁硼永磁体经过气流磨制粉后冶炼而成，矫顽力值很高，且拥有极高的磁性能，其最大磁能积(BH_{max})高过铁氧体(Ferrite)10倍以上。其本身的机械性能亦相当之好，可以切割加工不同的形状和钻孔。高性能产品的最高工作温度可达200摄氏度。由于它的物质含量容易导致锈蚀，所以根据不同要求必须对表面进行不同的涂层处理。（如镀锌、镍、环

保锌、环保镍、镍铜镍、环保镍铜镍等)。非常坚硬和脆,有高抗退磁性,高成本/性能比例,不适用于高工作温度(>200℃)。

(2) (2)、粘结钕铁硼(Bonded NdFeB)——粘结钕铁硼是将钕铁硼粉末与树脂、塑胶或低熔点金属等粘结剂均匀混合,然后用压缩、挤压或注射成型等方法制成的复合型钕铁硼永磁体。产品一次成形,无需二次加工、可直接做成各种复杂的形状。粘结钕铁硼的各个方向都有磁性,可以加工成钕铁硼压缩模具和注塑模具。精密度高、磁性能极佳、耐腐蚀性好、温度稳定性好。

(3) (3)、注塑钕铁硼(Zhusu NdFeB)——有极高之精确度、容易制成各向异性形状复杂的薄壁环或薄磁体

2, 烧结铁氧体(Sintered Ferrite)的主要原料包括BaFe12O19和SrFe12O19,依据磁晶的取向不同分为等方性和异方性磁体。由于其低廉的价格和适中的磁性能而成为目前应用较为广泛的一种磁体。铁氧体磁铁是通过陶瓷工艺法制造而成,质地也比较坚硬,也属脆性材料,由于铁氧体磁铁有很好的耐温性及价格低廉,已成为应用较为广泛的永磁体。

3, 橡胶磁(Rubber Magnet)是铁氧体磁材系列中的一种,由粘结铁氧体料粉与合成橡胶复合挤出成型、压延成型、注射成型等工艺而制成的具有柔软性、弹性及可扭曲的磁体。可加工成条状、卷状、片状及各种复杂形状。橡胶磁体由磁粉(SrO6Fe2O3)、聚乙烯(CPE)和其它添加剂(EBSO、DOP)等组成,通过挤出、压延制造而成。橡胶磁材可以是同性的或异性的,它由铁氧体磁粉、CPE和某些微量元素制成,可弯、可捻、可卷。它无需更多机械加工即可使用,也可以按所需尺寸修整形状,橡胶磁也可以根据客户要求复PVC,背胶,上UV油等。它的磁能积在0.60至1.50 MG0e之间。橡胶磁材的应用领域:冰箱、讯息告示架、将物件固定于金属体以用作广告等的紧固件,用于玩具、教学仪器、开关和感应器的磁片。主要应用于微特电机、电冰箱、消毒柜、厨柜、玩具、文具、广告等行业。

4, 铝镍钴(AlNiCo)是最早开发出来的一种永磁材料,是由铝、镍、钴、铁和其它微量金属元素构成的一种合金。根据生产工艺不同分为烧结铝镍钴(Sintered AlNiCo)和铸造铝镍钴(Cast AlNiCo)。产品形状多为圆形和方形。铸造工艺可以加工生产成不同的尺寸和形状;与铸造工艺相比,烧结产品局限于小的尺寸,其生产出来的毛坯尺寸公差比铸造产品毛坯要好,磁性能要略低于铸造产品,但可加工性要好。在永磁材料中,铸造铝镍钴永磁有着最低可逆温度系数,工作温度可高达600摄氏度以上。铝镍钴永磁产品广泛应用于各种仪器仪表和其他应用领域。

5, 钐钴(SmCo)依据成份的不同分为SmCo5和Sm2Co17,分别为第一代和第二代稀土永磁材料。由于其原材料十分稀缺,价格昂贵而使其发展受到限制。钐钴(SmCo)作为第二代稀土永磁体,不但有着较高的磁能积(14-28MG0e)和可靠的矫顽力,而且在稀土永磁系列中表现出良好的温度特性。与钕铁硼相比,钐钴更适合工作在高温环境中(>200℃)。

发展历程

随着社会的发展，磁铁的应用也越来越广泛，从高科技产品到最简单的包装磁，目前应用最为广泛的还是钕铁硼强磁和铁氧体磁铁。

从永磁材料的发展历史来看，十九世纪末使用的碳钢，磁能积 $(BH)_{\max}$ (衡量永磁体储存磁能密度的物理量) 不足 1MG0e (兆高奥)，而目前国外批量生产的 Nd-Fe-B 永磁材料，磁能积已达 50MG0e 以上。这一个世纪以来，材料的剩磁 B_r 提高甚小，能积的提高要归功于矫顽力 H_c 的提高。而矫顽力的提高，主要得益于对其本质的认识和高磁晶各向异性化合物的发现，以及制备技术的进步。二十世纪初，人们主要使用碳钢、钨钢、铬钢和钴钢作永磁材料。二十世纪三十年代末，AlNiCo 永磁材料开发成功，才使永磁材料的大规模应用成为可能。五十年代，钕铁氧体的出现，既降低了永磁体成本，又将永磁材料的应用范围拓宽到高频领域。到六十年代，稀土钴永磁的出现，则为永磁体的应用开辟了一个新时代。1967年，[美国](#) Dayton 大学的 Strnat 等，用粉末粘结法成功地制成 SmCo_5 永磁体，标志着稀土永磁时代的到来。迄今为止，稀土永磁已经历第一代 SmCo_5 ，第二代沉淀硬化型 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ ，发展到第三代 Nd-Fe-B 永磁材料。此外，在历史上被用作永磁材料的还有 Cu-Ni-Fe、Fe-Co-Mo、Fe-Co-V、MnBi、AlMnC 合金等。这些合金由于性能不高、成本不低，在大多数场合已很少采用。而 AlNiCo、FeCrCo、PtCo 等合金在一些特殊场合还得到应用。目前 Ba、Sr 铁氧体仍然是用量最大的永磁材料，但其许多应用正在逐渐被 Nd-Fe-B 类材料取代。并且，当前稀土类永磁材料的产值已大大超过铁氧体永磁材料，稀土永磁材料的生产已发展成一大产业。