



电机中常用永磁材料

永磁材料	Br(T)	Hc(kA/m)	Hjc(kA/m)	(BH) max(kj/m ³)	Δb(%/c)	Te(°C)
钕铁硼	1.26	967	955	310	-0.12	350
钐 钴	1.00	746	796	210	-0.03	850
铝镍钴	1.08	120	---	85	-0.02	850
铁氧体	0.41	300	325	32	-0.18	450

马氏体钢

1880 年发现，其矫顽力和磁能积均低，可进行各种机加工，很少使用；

铁氧体永磁材料

非金属永磁材料，电机中常用的有 1962 年发现的钡铁氧体 ($BaO \cdot 6Fe_2O_3$) 和 1965 年发现的锶铁氧体 ($SrO \cdot Fe_2O_3$)，二者磁性能接近。锶铁氧体的 Hc 值略高于钡铁氧体，更适合在电机中应用。主要优点包括矫顽力高 (Hc 范围为 128~320 160kA/m)、价格便宜、不含稀土元素及贵金属成分、比重相对较小 ($4.6 \sim 5.1g/cm^3$)、退磁曲线 (或曲线中很大一部分) 接近直线，回复线基本与退磁曲线的直线部分重合，不需要进行工作性能稳定处理。

其缺点是剩磁感应不大 ($0.2 \sim 0.44T$)、磁能积 (BH) 最大仅为 $6.4 \sim 40kj/m^3$ ；环境温度对磁性能的影响较大、剩磁温度系数 α_{Br} 为 $-0.18 \sim -0.20\%/K^{-1}$ ， α_{Hjc} 的温度系数为 $0.4 \sim 0.6\%/K^{-1}$ ，易碎。需要特别注意的是 α_{Hjc} 为正值，其矫顽力随温度的升高而增大，随温度的降低而减小，所以必须进行最低环境温度下的最大去磁工作点的校核计算，以防止在低温时产生不可逆退磁。该材料一般适合设计成扁平状。铁氧体原料为 FeO_3 和金属盐类 (碳酸盐、硫酸盐等) 及添加剂 (高岭土 Ca_2O_3) 等。经处理，再混合、预压、预热、粉碎成一定粒度，在 0.7T 以上磁场中取向，然后在 $1200 \sim 1240C^\circ$ 下烧结 1~2 小时成型。

铝镍钴 (AlNiCo) 永磁材料

由铝镍铁合金发展而来，分铸造型和粘结型两类。铸造型铝镍钴 (1940 年发现) 和铝镍 (1931 年发现) 系永磁合金：以 Fe-Ni-Al-Co 和 Fe-Ni-Al 为基础的高矫顽力和磁能积合金，缺点是材料硬而脆，除磨削和电加工外，不能进行机加工。

可塑性变形永磁合金

可进行机加工。现有铁基合金、铁钴钒和铁锰钛合金等。其中铁钴钒合金是目前可塑性变形永磁材料中电磁性能较好的一种，应用最广。铜基合金是在铁镍钴中，加入铜和硅的新型永磁合金，大多用在磁滞电机中；分为铸造和粉末烧结两种。铸造型磁性能较高，电机中常用。粉末压制的铝镍和铝镍钴系永磁合金，工艺更简单，磁性能更低。

其显著特点是温度系数较高， α_{Br} 仅为 $-0.02\%/K^{-1}$ 左右，因此随温度的改变磁性能变化很小。剩余磁感应强度 Br 较高 ($1 \sim 1.40T$)，但矫顽力 Hc 很低，仅为 $40 \sim 160kA/m$ ，最大磁能积可达 $100Kj/m^3$ ，相对磁导率在 3 以上。其退磁曲线非线性，回复线与退磁曲线不重合，所以必须对永磁体进行稳磁处理。而电机一旦拆卸、维修之后重新装配时，还必须进行再次整体饱和和充磁和稳磁处理，否则永磁体工作点将会下降，磁性能大大降低。

由于其矫顽力低，所以在使用时严禁与其它任何铁器接触，以免造成局部的不可逆退磁。在实际生产中，往往设计成长柱体。

钐钴永磁材料

主要有两种材料，1:5 钐钴 (1969 年研制成功) 和 2:17 钐钴 (1981 年研制成功)。

钕铁硼永磁材料

1983 年 6 月研制成功。磁能积 (BH) 最大可达 $400kj/m^3$ 是铁氧体的 12 倍，是铝镍钴的 8 倍，是钐钴的 2 倍，剩磁 (Br，可达 1.48T，特斯拉) 和矫顽力 (Hjc，可达 2300kA/m) 很高。钕在稀土中含量是



钐的十几倍，资源丰富，铁、硼价格便宜，不含战略物资钷，因此钕铁硼永磁材料的价格比稀土钴永磁材料便宜很多。

钕铁硼永磁材料的缺点是居里温度较低（310~410°C）；温度系数较高， α_{Br} 可达 $-0.13\%/K^{-1}$ ， α_{HjC} 可达 $-0.6\sim-0.7\%/K^{-1}$ ，因而在高温下使用时磁损失较大。由于含有大量的铁和钕，所以容易锈蚀。使用普通的钕铁硼永磁材料，必须要校核永磁材料的最大去磁工作点，以增强其可靠性。

钕铁硼由于磁能积高，可以提高气隙磁通密度，减少电机线圈匝数，使电机的上升时间加快，伺服特性好。

钕铁硼容易氧化，应提高密度以减少残留气隙来提高抗腐蚀能力，同时在表面涂敷保护层。

稀土永磁材料：有粉末冶金和铸造两种制造工艺，不能进行机加工。由不同的稀土族元素和钴组成的金属间化合物，具有理想的综合磁性能。

FAULHABER 的 SR、CR 等新系列电机，全部采用了钕铁硼磁性材料。

单畴微粉永磁材料（微粉磁铁）

可直接压制成型，并能进行机加工。

粉末永磁材料是将合金粉末化后，采用粉末冶金法（烧结法）或粉末压制法（粘结法）制成的永磁材料，包括粉末烧结铝镍和铝镍钴系永磁合金，可直接压制成型，工艺简单但磁性能较低。

目前常用的有铝镍钴、铁氧体和稀土材料三种，而稀土材料又分为第一代 1:5 钐钴、第二代 2:17 钐钴及第三代钕铁硼。