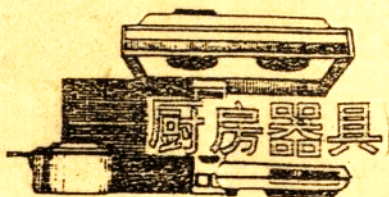
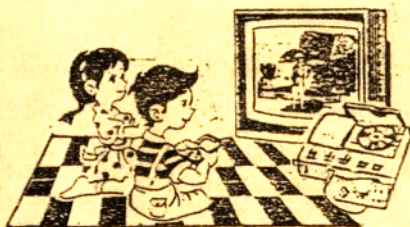
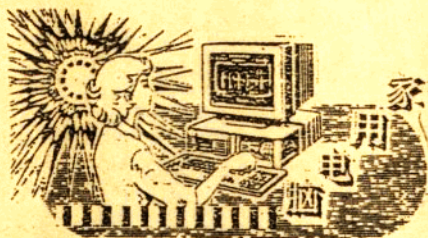


磁性材料新应用文集



磁



全国磁性材料与器件行业协会

磁性材料新应用文集

目 录

前言 (1)

基于库仑力定律的应用 (2)

罗盘仪及其它转矩产生器件 (2)

永磁材料在海洋探测仪中的应用实例 (3)

永磁材料在航空仪表中应用 (5)

永磁材料的机械力应用 (7)

稀土永磁在起重设备上的应用 (13)

大吨位永磁吊的磁路 (15)

稀土永磁悬挂带式除铁器 (17)

NTP Φ 100型钕铁硼磁辊 (18)

系列起重永磁铁的磁路设计 (20)

高梯度磁分离 (22)

高梯度磁分离处理石油化工废水的试验 (27)

用高梯度磁分离机处理炼钢厂废水 (29)

用水基磁流体处理油淤泥 (32)

新型磁力表座 (32)

强力永磁吸盘 (36)

磁翻转显示系统 (37)

中场强磁选机 (40)

隔栅式永磁强磁浆料除铁器 (42)

排斥力方式器件 (43)

电磁轴承 (45)

电子水平-垂直仪的制作 (47)

电度表磁推轴承的磁路设计 (49)

同步转矩耦联 (50)

同步永磁耦合器在海洋工程装备中的应用 (52)

基于法拉第定律的应用 (55)

橡胶磁体用永磁发电机 (60)

话筒 (62)

涡流电流器件 (62)

基于洛仑兹力定律的应用 (66)

扬声器 (67)

用于计算机外部设备的永磁铁直线力器件 (70)

钕铁硼材料对计算机外部设备的影响 (75)

直流电动机 (84)

稀土永磁在小型电机方面的应用 (91)

稀土永磁在OA机器方面的应用 (101)

稀土永磁在线性电机方面的应用 (114)

伺服电动机 (122)

交流电动机 (124)

电换向电动机 (127)

磁滞电动机 (131)

钕铁硼磁体在电气设备中的应用 (134)

径向取向铁氧体在步进马达中的应用 (152)

电气测量仪表 (153)

基于自由电子荷的洛仑兹力的应用 (155)

钕铁硼磁体在同步加速器自由电子激光器和加速器中的应用 (162)

永磁四极透镜 (170)

混合型扭摆磁铁模型 (171)

基于各种物理原理的其它应用(172)

钕铁硼磁体在MRI上的应用(175)

钕铁硼磁体在MRI上的应用-永磁体方式的开发(184)

铁氧体材料在核磁共振成像扫描仪中的应用(189)

永久磁体在运输业中的应用(191)

磁性理疗应用(194)

磁疗器具和材料(201)

抗癌剂的磁感应(208)

钐钴磁体在牙科中的应用(215)

磁性细菌(217)

磁性防尘口罩的研制(219)

经穴磁疗按摩理疗器(220)

磁传感器应用(222)

磁性接近传感器(222)

数字磁性传感器(227)

数字输出传感器(228)

多位置传感器(229)

WIEGAND效应速度传感器(230)

霍尔效应传感器(GT系列)(233)

霍尔效应传感器(234)

TACHSYN传感器(235)

磁性回转编码器(237)

磁桥型调色传感器(238)

薄膜磁致电阻传感器磁强计(240)

一种新型的钳形表用磁电式传感器(242)

磁阻敏感器及其在人体重心摇摆计中应用(243)

一种汽车点火系统用磁力传感器的制作(247)

热敏磁性材料及其应用(248)

磁路补偿(250)

保护架空明线、防止冰雪为害(252)

温度控制(252)

过电流保护继电器(253)

热簧片开关(254)

过热监视器(254)

恒温电烙铁(254)

温度精密计测(254)

能量转换(256)

检测漏油船只(258)

构成自动冷却系统(259)

感温铁氧体在家用电炊具上的应用(260)

热敏磁性开关(262)

局部温热法治疗肿瘤的热敏铁氧体材料(263)

磁性流体(266)

磁性流体密封(266)

磁性流体润滑剂(267)

高精密度测量仪(268)

理想的分离器(268)

其它应用(268)

磁性流体选矿技术(270)

磁性流体扬声器(273)

流体磁处理装置(278)

流体磁处理器 (278)

磁除垢与磁防蜡 (282)

流体磁化处理器 (284)

高性能的汽车磁化净化节油器 (291)

燃料气体磁化节能器 (292)

磁化汽油的研究 (295)

钕铁硼磁体在汽车中应用 (295)

磁性材料新应用文集

前言

据历史记载，我国是应用磁性材料最早的国家之一。中国古代三大发明之一——指南针就是应用磁性材料的最好例子。现今，磁性材料已经广泛应用于工业、农业、医疗及日常生活各个领域。在发达国家，平均每人用磁约5公斤，而我国人均用磁重量不足0.5公斤。我国磁性材料应用研究还十分薄弱。应用产品很少，使用范围较窄，没有受到应有的重视。我们一贯比较重视磁性材料产品的性能开发，很少注意它的应用；比较重视电子工业方面的应用，不够注意其它方面的应用。近年来，有少数企业扩大了磁性材料应用产品的开发，使企业走出困境，成为磁性材料行业中的大户。根据企业的要求，协会收集了国内外的一些应用实例，汇编成此书，希望能对各企业磁性材料应用开发方面给予启发和帮助。

磁性材料的应用技术大有可为，应用领域相当广阔。从每个家庭的日常用品、娱乐玩具到汽车、工业自动化、磁浮高速列车以及电磁炮、隐身飞机、超导潜艇等军事方面，处处都要使用磁性材料。

我国的磁性材料应用技术与国外相比还有相当差距，需要我们努力工作，大力开发。我们在图1，图2给出磁性材料最大众化的应用领域示意图，从中也可以看出磁性材料开发前景。

为进一步推动磁性材料的应用研究，促进应用产品的开发和生产，协会还将积极配合宣传和介绍磁性材料国内外新应用技术。

对永磁体应用的分类有多种选择，可以按主要市场或产业成分，按能量转换类型分，或者按所涉及的物理原理分类。按物理原理分类能了解物理原理与磁特性之间的关系，将使我们领会到如何改善磁特性以用于特定的器件，主要的按照物理定律和原理的分类如下：

- 1, 基于库仑力原理的应用；
- 2, 基于感生电压的法拉第定律的应用；
- 3, 基于对固态导体的洛仑兹力原理的应用；
- 4, 基于对自由电子电荷的洛仑兹力原理的应用。

为了方便制造和直观地理解，在各种物理定律的应用范围内，再按市场细分具体应用。

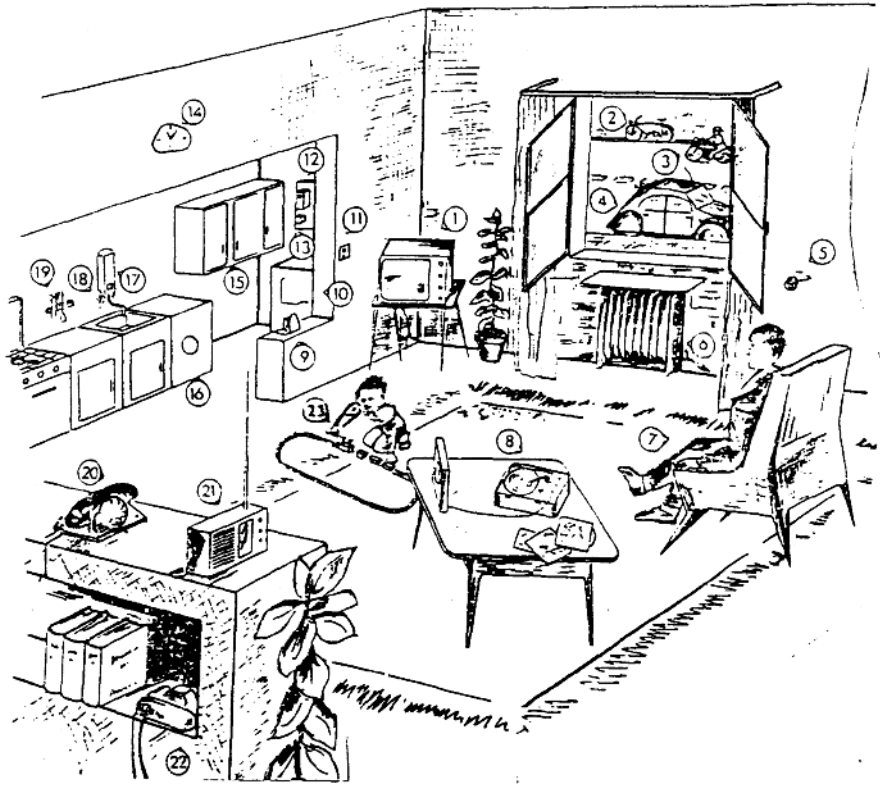


图1 永磁体在家庭中的应用

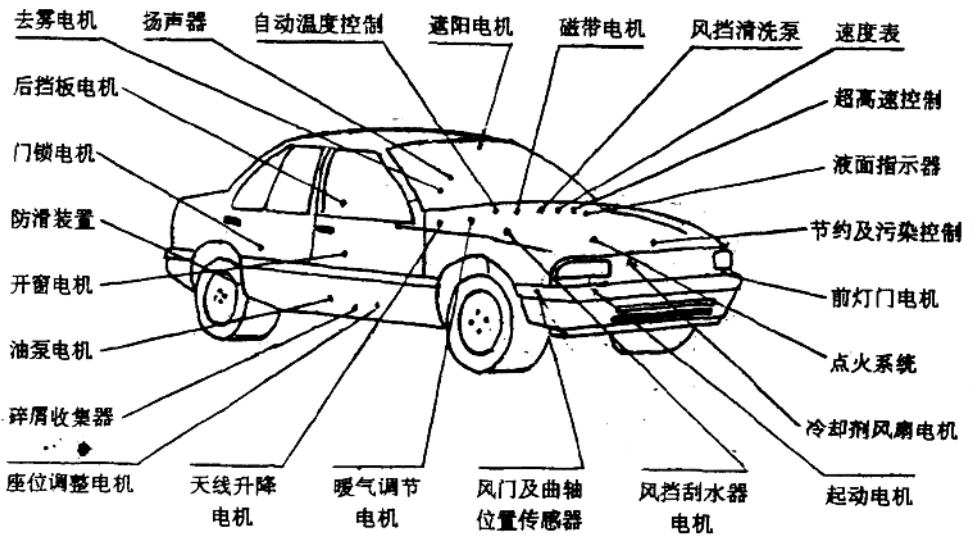


图2 永磁在汽车上的应用

1 基于库仑力定律的应用

库仑力定律是有关静磁能转换为机械功的原理。利用吸持及起重磁铁、磁耦联器、磁轴承及磁分离所产生的力都是依赖于库仑力的。这些力在带磁荷的物体之间起作用。在永久磁体之间可以依赖于极性而得到吸引力的或排斥力。而在高导磁率磁体的感生磁极的情况中，只可能存在吸引力。这种库仑力与转矩是与固有磁化 B_i 成正比的。

1.1 罗盘仪及其它转矩产生器件

指示地磁场水平分量的罗盘仪通常被认为是永久磁铁的最古老的应用。在罗盘仪中，转矩被表达为 $B_i H V_m \sin \theta$ 。当磁针与地磁场成 90° 时，转矩最大；当磁针与地磁场成一直线时，转矩为零。如果要获得最高灵敏度，罗盘仪磁针将工作在近于 B_r 的条件下。由于制作一根细长的磁针的机械上的问题，早期的磁钢和烧结铝镍钴5是最常用的材料。

罗盘仪在原理上是磁场极性指示器及确定铁磁性物体方位的器件；在高斯计中可以允许用 B_r 较低的材料，因为被测的较高的磁场补偿了低的 B_r 。矫顽力对于避免磁化反转是非常重要的。铁氧体、银锰铝合金及稀土永磁是测量高磁场可以选用的材料。

1.1.1. 永磁材料在海洋探测仪中的应用实例

ZD—3直读式海洋计

这是测量海流流向的仪器。主要构件有磁钢、电位器、电桥、微安表、带导流板的壳体。壳体由于自身是流线形且带导流板，所以在海流中，壳体方向即是海流方向。而磁钢始终按地磁指向，这样壳体方向与磁钢方向的夹角即表示了海流的流向。

该夹角的度量是由磁钢（磁罗径）带动流向发讯电位器 R_1 ， R_1 做为电桥的一臂，当流向 0° （磁正北）时，电桥平衡；当流向为其它夹角时，电桥即输出相应不平衡

电压，由用作流向指示器的微安表给出指示，图 1.1.1.1、图 1.1.1.2 机芯结构和线路示意图。

振弦式加速度计

这是用来测量海浪参数的仪器。主要构件有磁钢、弦丝、膜片、重块、放大器频率计。由磁钢和弦丝组成的振荡槽路与相应放大器组成振荡器(见图 1.1.1.3、图 1.1.1.4)。

重块在海浪作用下，其加速度随之变化。当重块的重力加速度为 g 时，频率计显示为 M (亦即弦丝在磁场中的振荡频率)。当重块的重力加速度小于 g 时，由于弦丝松弛，弦丝振动频率降低 Δ ，则频率计显示为 $M - \Delta$ 。当重块的重力加速度大于 g 时，由于弦丝紧张，弦丝振动频率增加 Δ ，则频率计显示为 $M + \Delta$ 。可以从频率计的标值变化，测得海浪的变化情况。

振弦式深度计

这是用于测水深的仪器。主要构件是磁钢、弦丝、膜片、放大器、频率计(见图 1.1.1.5、图 1.1.1.6)。

图工作原理与振弦式加速度计基本相同，仅是无重块，膜片直接与海水相接触，随着海水深度变化，压力亦变化，膜片受率也随之变化。

当仪器在海水上空时，频率计显示为 M (亦即弦丝在磁场中的振荡频率)。当仪器进入海水中某一深度，膜片受到压力，使得弦丝松弛，弦丝振动频率减少，即 $M - \Delta$ 。深度愈，膜片受力愈大， Δ 值也愈大。由此从频率计的标值可测得水深。

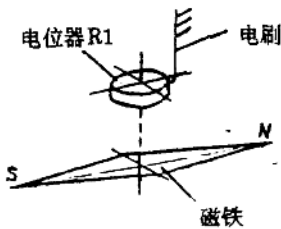


图1.1.1.1 机芯结构示意图

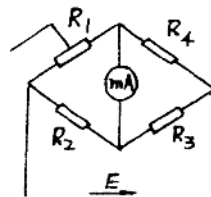


图1.1.1.2 线路示意图

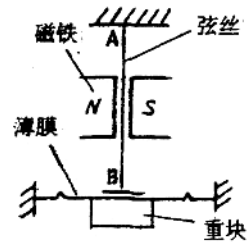


图1.1.1.3 机芯结构示意图

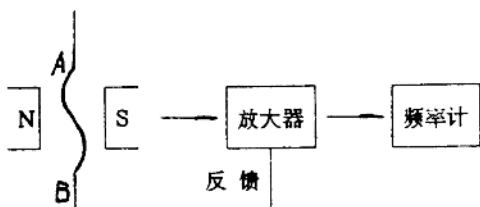


图1.1.1.5 线路示意图

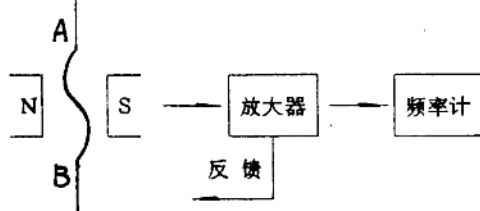


图1.1.1.6 线路示意图

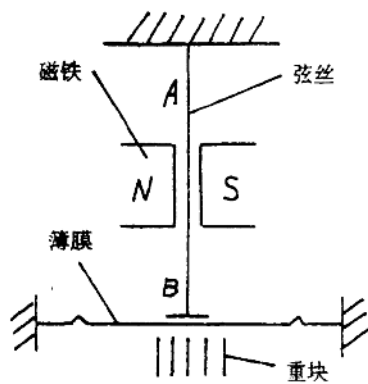


图1.1.1.4 机芯结构示意图

1.1.2 永磁材料在航空仪表中应用

挠性陀螺力矩器用永磁体

挠性陀螺是用于航天、航空及航海惯性导航系统中重要的新型部件。

1. 平台式挠性陀螺力矩器用永磁体

用XGM-F型稀土钴永磁作为平台式挠性陀螺力矩器中的永磁体部件,构成永磁式力矩器。力矩器性能的优劣,直接影响挠性陀螺的性能。力矩器及挠性陀螺的性能测试表明XGM-F型稀土永磁具有较好的性能,其结果如下:

(1) 磁环径向辐射充磁,测量磁环内表面磁通密度950~1100Gs,合格率达充磁磁环总数的90%。

(2) 沿磁环内侧表面360°圆周磁通密度 B_s 分布不均匀性 $\leq 5\%$ 的达到了75%。

(3) 可逆温度系数 $\alpha < -4 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ 。

(4) 装入挠性陀螺测试长期稳定性,性能变化 $< 0.09\% / \text{月}$,说明XGM-F型稀土钴永磁材料的长期稳定性优良。

试验证明,XGM-F型稀土钴永磁材料的性能达到了提出的技术指标,满足了挠性陀螺预研的性能要求,而且获得了良好效果。

2, 捷联式挠性陀螺力矩器用永磁体

捷联式挠性陀螺力矩器不但要求具有很高的精度, 即要有高的线性度、对称性及长期稳定性; 而且需要产生足够大的力矩能使陀螺产生 $400^\circ / \text{秒}$ 的进动速度。目前平台式挠性陀螺力矩器向陀螺提供的最快进动速度为 $3^\circ / \text{秒}$ 。若要实现 $400^\circ / \text{秒}$ 的进动速度就必须要求陀螺的进动系数达到 $500^\circ \sim 1000^\circ / \text{小时} / \text{毫安}$; 相应要求力矩器系数必须大于 $600 \sim 1200 \text{毫克} \cdot \text{公分} / \text{毫安}$ 。而平台式挠性陀螺的进动系数为 $50^\circ / \text{小时} / \text{毫安}$, 相应力矩器力矩系数为 $60 \text{毫克} \cdot \text{公分} / \text{毫安}$ 。所以, 目前所采用的力矩器磁路结构及所用的永磁体来达到上述要求是相当困难的。因为除了有限的增加力矩器线圈内电流、合理选择最佳磁路结构、减小转子角动量外必须大大增加力矩器的输出力矩。按照载流体在工作气隙磁密 B_δ 中所受力 $F = B_\delta I$ 。所受力 $F = B_\delta I$ 可推导出力矩器的力矩 M 和力矩系数 K_M 的表达式:

$$\begin{aligned} M &= 0.24 \times 10^{-3} n w r L B_\delta I \\ &= K_M I (\text{克} \cdot \text{厘米}) \end{aligned} \quad (1)$$

$$K_M = 0.204^3 \times 10^{-3} n w r L B_\delta (\text{克} \cdot \text{厘米} / \text{安}) \quad (2)$$

式中: n ——力矩器动圈只数; w ——每个线圈匝数; r ——线圈有效边相对转动轴的平均旋转半径(厘米), L ——每个线圈有效边的平均长度(厘米), B_δ ——工作气隙中平均磁感应强度(特斯拉), I ——输入线圈的直流电流(安)。

由上述(1), (2)表达式看出, 要提高力矩器的力矩 M , 就必须提高力矩系数 K_M 。而力矩系数 K_M 与气隙磁密 B_δ 成正比关系, 也与 n 、 w 、 r 、 L 成正比。但是在其结构参数及结构有效空间严格限制的情况下, 增大力矩器力矩系数的途径主要靠增大 B_δ 值来实现。因此, 对挠性陀螺力矩器用永磁体提出更高的要求才能进一步提高平台式挠性陀螺的精度, 研制出用于捷联式惯性导航系数中的挠性陀螺仪。其要求如下式:

整体式稀土永磁辐射环的近期要求:

$$(1) B_r > 7000 \text{Gs}$$

$$H_c > 7000 \text{Oe}$$

$$(BH)_{\max} > 17 \times 10^6 \text{G} \cdot \text{Oe}$$

$$(2) \text{温度系数, } \alpha < -1 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C};$$

- (3) 磁感应强度长期稳定性 $<1 \times 10^{-6}/90$ 天;
- (4) 沿内侧面 360° 磁通不均匀性小于 $1 \sim 2\%$;
- (5) 在 $+130^\circ\text{C} \sim -60^\circ\text{C}$ 循环十次后磁性能变化 $<4\%$;

研制捷联式挠性陀螺力矩器用高磁性能、高稳定性的稀土永磁体(由九块拼成辐射环)的远期要求:

- (1) $B_r > 11000 \sim 12300 \text{Gs}$
 $H_c. 11000 \sim 12300 \text{Oe}$
 $(BH)_{\max} > 23 \sim 38 \times 10^{-6} / \text{G} \cdot \text{Gs};$
- (2) 磁温度系数 $\alpha -1 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C};$
- (3) 磁感应强度长期稳定性 $<0.1 \times 10^{-6} / 90$ 天;
- (4) 拼块之间的磁性不一致性 $<1\%$;
- (5) 经 $+150^\circ\text{C} \sim -60^\circ\text{C}$ 高低温时效十次循环, 磁性能变化 $<4\%$ 。

1.2 永磁材料的机械力应用

永久磁铁在吸引及吸持铁磁物体方面得到了广泛多样的应用。其应用领域从一些简单的产品直到重要的工业用途, 如象用于机床操作的磁性吸盘。“吸持”、“起重”和“吸引”这些词的应用相当广, 但却经常是不够确切的。区别开以下两种情况是非常重要的, 一种是磁铁施加一个力在与它相接触的材料上, 另一种是磁铁隔着一段距离施力在磁性物体上。对这两种目的的设计是相当不同的, 如果我们对最大的接触吸持力进行设计, 则要用到公式:

$$F = KB^2A \quad (1)$$

使 B^2 最大的通常做法是利用尖锥形的磁铁磁极, 或者增加铁制磁极块, 以驱使磁通密度达到高的数值。但是若要对隔一段距离吸引磁性体进行设计, 我们关心的却是最大的功, 它等于力与距离的乘积。在后一种情况下, 我们需要一些允许强磁场分布存在的结构。那些磁极必须是远离的。图 1.2.1 给出了 4 种铝镍钴 5 磁路结构。在每种情况中的磁性材料的重量是相同的。在棒状磁铁的情况, 磁极间有最大的间距, 因此在大的气隙下有最大的力。C 类和 D 类都使用了铁制磁极块, 把 B 集中到接

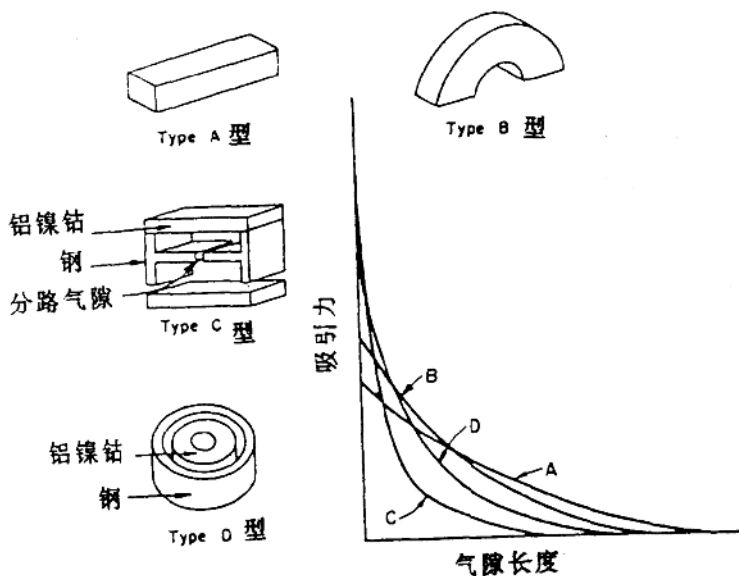


图1, 2, 1 机械工作应用的不同形状永磁体比较

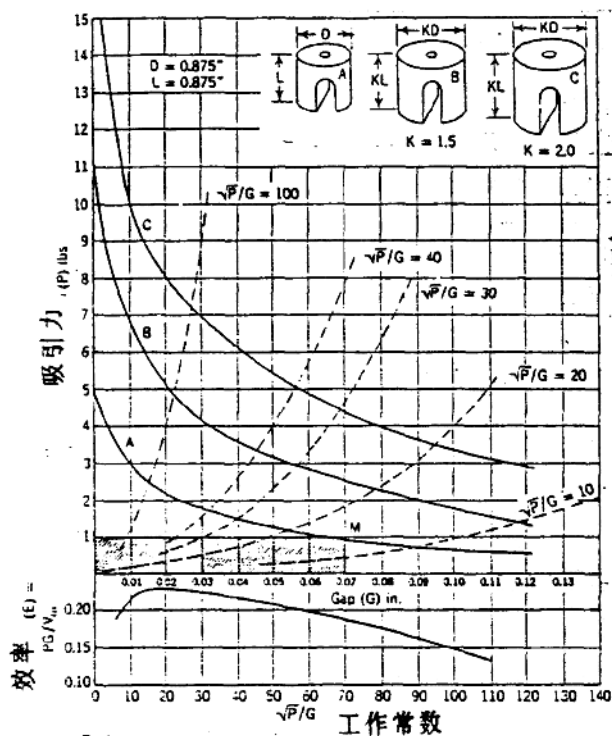


图1, 2, 2 永磁体种类性能与机械工作关系

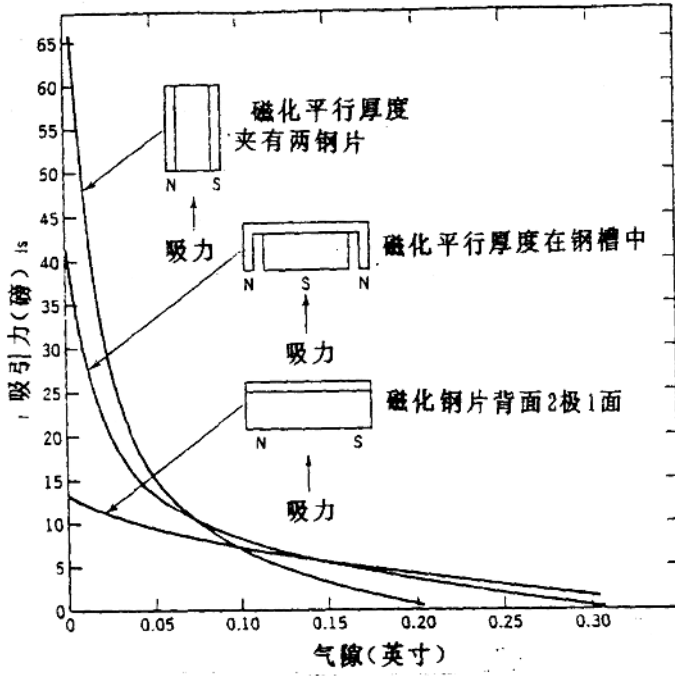


图 1.2.3 不同极片的铁氧体磁体磁力距曲线

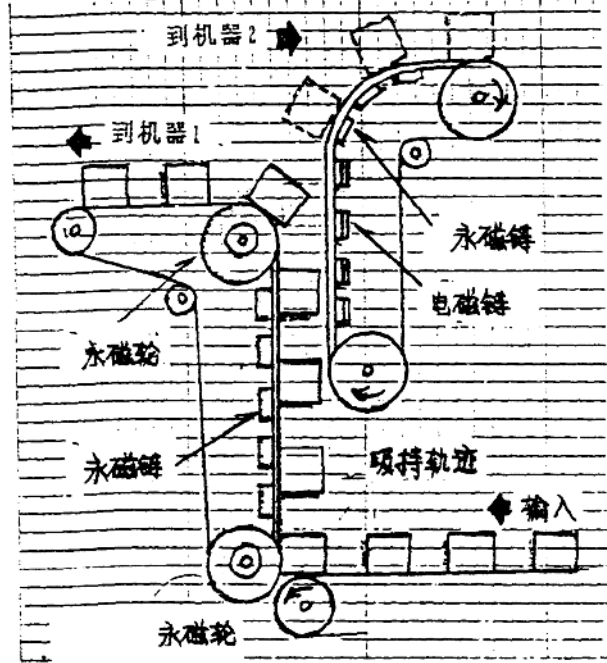


图 1.2.4 磁输送

触点，因此这些设计结构给出了高的接触力，但是功或能却非常小。在C类组件中的分路气隙是在高B值下装配磁铁的有趣方法，而且当衔铁移动时，它将保持B值不变。

在吸引力——气隙曲线下的总面积相当于把磁铁从衔铁移开所做的总功。这个面积正比于磁铁体积和负载导磁率改变引起的势能变化。零气隙时的力的大小正比于 $B^2 A$ ，这里的A是磁铁或极铁块接触两个磁极的总面积。在每条力—距离曲线上有一个代表最大功的点。它是用一个可以在曲线下面画出的最大的矩形来代表的。曲线的形状依赖磁导率的变化率，或者说依赖于漏磁通和(或)分路磁通被转移到衔铁上的比率，在这里，衔铁被作为气隙变化的函数，对于怎样设计一个在特定气隙下具有最大效率的磁力系统必须重视。

图1.2.2示出了比例定律怎样用于比较各类起重磁铁的特性。磁铁B和C被按比例放大为A的形式。因数K表示线性尺寸的变化。因为吸引力曲线形状是几何形状的函数，所以我们知道这类磁铁的吸引力曲线形状都是相同的。在曲线A上，我们看到最大功点是M点，所以磁铁效率可以表达成 $(P)(G)/V_m$ (磁铁材料每单位体积的功)。所有的这类磁铁都有相同的效率，这是因为P正比于 K^2 ，气隙G正比于K，而磁铁体积 V_m 正比于 K^3 。但是，最大功点将发生在不同的G值处。因为力正比于 K^2 ，而气隙正比于K，所以我们可以定义 P/G 比，作为对于任何给定几何形状都具有的一个恒定功因子。

在机械力应用中，铁氧体永磁必然能处于主导地位，因其单位能量的成本低。除了有小型化的需要外，可以用取向铁氧体、粘结铁氧体或橡胶铁氧体永磁来实现低成本。在图1.2.3中示出了铁氧体永磁的三种体积相同的极片结构。通过选取磁路可以在宽范围内改变接触吸引力和最大功点。

永久磁铁广泛用于工厂选矿及搬运钢件。一种曲型的磁选矿系统示于图1.2.4。

另一种广泛用于工厂的磁系统是磁分离。永久磁铁被用在工业生产过程中，从矿砂、煤炭和石油中分离磁性异物。在铁矿砂生产中，磁铁用来从矿物中分离铁氧化物。磁铁通常被排列成如图1.2.5所示的滚筒或别的形状，滚筒用固定的磁铁系统来运载分离。精矿砂被滚筒磁铁吸引住，而非磁性材料落下去。一个好的磁分离装置设计，要求在筒表面吸持力和对离筒有一段距离的颗粒的吸引力之间实现准确的平衡。作用在一个小颗粒上的力的近似关系式如下。

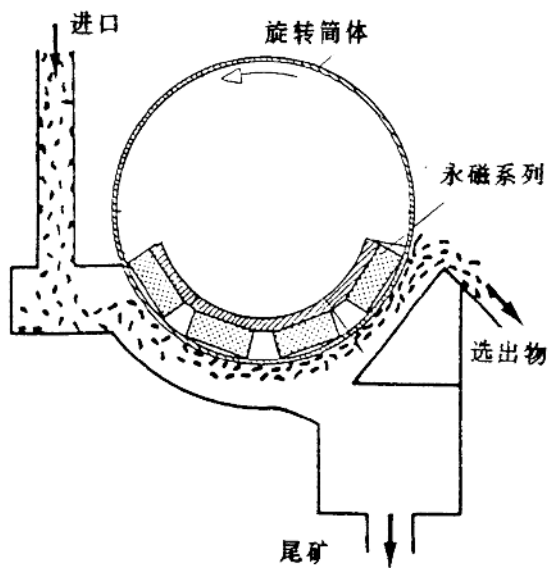


图1, 2, 5 永磁滚筒分离器

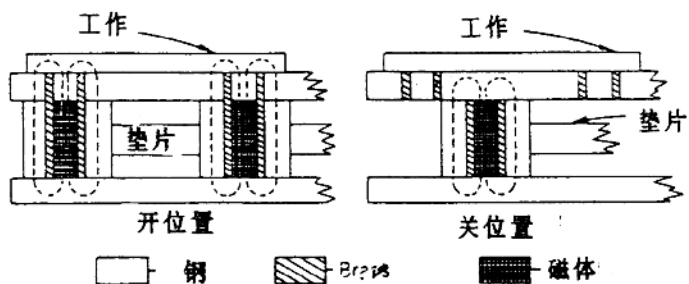


图1, 2, 6 吸持开关永磁体排列