

新型捻线锭子中磁力耦合传动设计的探讨

梅顺齐 向新柱 赵延雯 赵 健

吕亚魁 曹彬余

(武汉纺织工学院)

(浙江新亚纺机厂)

【摘要】 介绍磁力耦合传动设计的一般原则,对倍捻、三捻锭子中采用的同轴径向、平面轴向磁力耦合传动的设计进行了分析。

关键词: 捻线 锭子 磁力 耦合传动 力矩 机械设计

中图分类号: TS 101.32

磁力耦合传动(又称磁力联轴器或磁力传动器)能实现非机械接触传动,且具有过载保护性能,随着近些年来高性能永磁材料生产和应用技术的发展,磁力耦合传动在现代轻工、纺织机械中得到了越来越广泛的应用,本文分析介绍磁力耦合传动在新型捻线锭子中的应用并探讨其设计方法。

一、磁力耦合传动设计一般原则

捻线锭子中常见的磁力耦合传动有平面轴向式、同轴径向式两大类,分别如图 1(a)、(b)所示。在主动、被动磁转子上分别均匀装有极性 N、S 交错排列的永磁体,主动、被动磁转子间相距一定间隙,中间是非磁性或弱磁性物质如空气、不锈钢等,当主动磁转子转动时,通过磁力的作用带动被动转子一同回转,实现动力(扭矩)的传递。一般来说,磁力耦合传动的设计包括磁性材料的选择,磁路设计及耦合系统力学性能的计算等几方面的内容。

近些年来高性能稀土永磁材料的开发和应用得到了很大发展,目前我国已能大量生产钕铁硼、钕钴等稀土永磁,如典型钕铁硼 NF30 剩磁 B_r 可达 $1.1 \sim 1.3T$ ($11 \sim 13 \text{ kGs}$),磁能积 $(BH)_m$ 可达 $223 \sim 255 \text{ kJ/m}^3$ ($28 \sim 32 \text{ MGOe}$),矫顽力 H_{cb} 可达 796 kA/m (10.0 kOe) 以上,典型钕钴的上述三项性能也可分别达到 $0.92T$ (9.2 kGs)、 183 kJ/m^3 (23 MGOe)、 525 kA/m (6.6 kOe)。钕钴比钕铁硼更宜在高温下工作,它们的最高工作温度分别可达 350°C 、 120°C ,上述二种材料最宜制作磁力耦合传动机械,能达到磁性材料用量少,磁力耦合机械体积小、重量轻,能传递力矩大,不易退磁等目的。另外,对于某些所需传递力矩小、耦合系统动态性能(如同步性)要求低的磁力耦合传动也可采用性能价格比较好的永磁铁氧体(如铁氧体 Y30 的 $B_r = 0.38 \sim 0.42T$ ($3.8 \sim 4.2 \text{ kGs}$), $(BH)_m = 26 \sim 29 \text{ kJ/m}^3$ ($3.3 \sim 3.7 \text{ MGOe}$), $H_{cb} = 159 \sim 215 \text{ kA/m}$ ($2.0 \sim 2.7 \text{ kOe}$))。

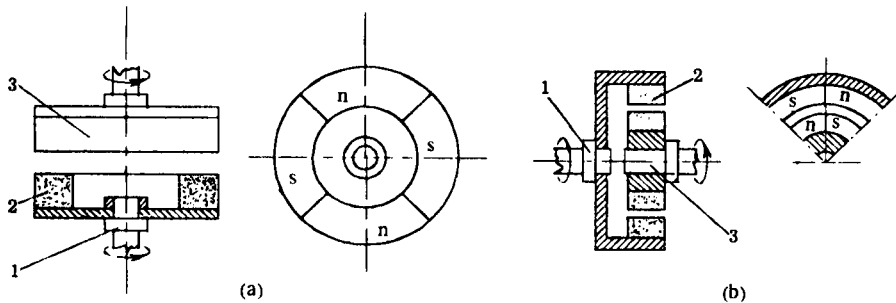


图 1 磁力耦合传动示意图:

(a)平面轴向式 1. 主动磁转子 2. 永磁体 3. 被动磁转子 (b)同轴径向式 1. 外磁转子 2. 永磁体 3. 内磁转子

磁力耦合传动的磁路型式可有磁体按一定间距分散排列的磁路(磁体间可用非磁性物质隔开)或磁体紧密排列的磁路(磁体间没有隔距),二种型式的磁路中磁体的数目呈偶数,相邻磁体按极性相反排列(见图1)。采用后一种磁路可以增大磁场强度和传递扭矩的能力,是现今同轴径向和平面轴向磁力耦合传动较理想的磁路;当负载力矩不大时,也可采用前一种磁路,以减少永磁体的用量。综合过去的实践经验,磁极数按12至24的偶数布置时,传递的力矩较大^[1]。

至于磁力耦合传动系统的其它参数(包括工作气隙、永磁体的尺寸等)则要根据系统整体结构条件及所要求的力学性能(这里主要指所要传递的力矩大小及耦合传动的同步性能)来进行设计,一般说来,减小气隙长度、增大磁转子半径或磁体总体积均可提高传递力矩的能力,但这些参数都要受到具体结构的限制。目前,关于磁力耦合传动传递力矩的计算,尚没有一套完整的较为满意的方法,许多方面还依赖于经验数据和经验公式^[2]。下文中将结合倍捻锭子、三倍捻锭子分别分析、介绍此二种磁力耦合传动的应用及其传递力矩的工程计算方法。

二、倍捻锭子同轴径向磁力耦合传动的分析与设计

图2所示为新型倍捻锭子磁力耦合部分示意图。托纱盘(材料为铝合金)侧面和机架上分别装有几对极性交错排列的永磁体,构成一同轴径向磁力耦合器,由于外磁环与机架固定,通过磁力的耦合作用,使得锭子工作时锭罩和卷装克服锭套和锭杆的摩擦力矩(实际是锭杆对锭套、卷装的驱动力矩)保持静止,而加捻盘和锭杆高速回转,完成对纱线的加捻。由于气圈纱线(非磁性物质)要在锭罩外高速回转,因此这里利用平面径向磁力耦合传动的非接触传动原理来实现锭罩和卷绕的静止就是最佳的可行的选择。

这里的同轴径向磁力耦合传动的工作扭力矩较小,只要保证能克服锭套和锭杆间轴承的

摩擦力矩即可,且实际上内、外磁转子是静止的,不存在同步性方面的问题,因此可选用我国大量生产的性能价格比较优的永磁铁氧体,采取磁体极性交错、间隔排列的磁路,如图所示。磁路工作气隙愈小,传递扭矩的能力越大,但气隙尺寸选择应保证纱线气圈不碰撞外磁环,且内磁转子的直径也应小于此处纱线气圈的直径。

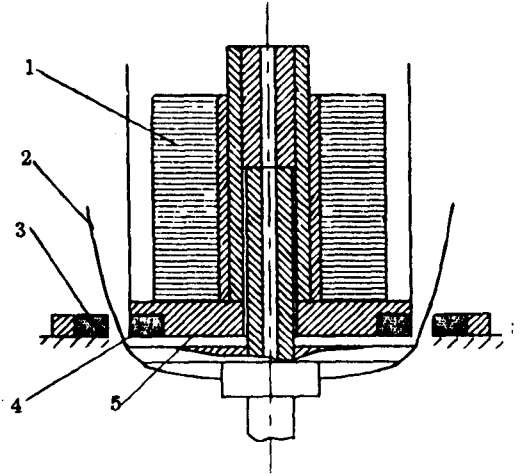


图2 倍捻锭子示意图

1. 卷装 2. 纱线气圈 3. 外磁环
4. 内磁环 5. 托纱盘

目前关于同轴径向磁力耦合传动传递力矩的计算还没有十分有效的方法,国内这方面的研究报道也很少见,作为工程设计可按式进行估算^[3]:

$$M = n \cdot B^2 \cdot S \cdot R / (2\mu_0) \quad (1)$$

式中 M : 所能传递的力矩(Nm); B : 据磁路计算求得的工作气隙中的磁感应强度(T); S : 在力传递方向气隙的面积(m^2); R : 气隙平均半径(m); n : 磁极个数; μ_0 : 磁常数; $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ 。

设计时,可据锭罩、卷装等的重量及锭套及锭杆的支承力情况估算锭套与锭杆的摩擦力矩 M_f (即锭罩的驱动力矩),再选取合适的磁路参数,据磁路理论计算气隙磁感应强度,按上式计算所能传递的力矩,应保证 $M > M_f$ 方能使卷装、锭罩在工作时保持静止。

以浙江新亚纺机厂生产的倍捻锭子磁力耦合传动为例：磁极数 $n=12$ ，材料为铁氧体， $B_r=0.4\text{T}(4.0\text{kGs})$ ， $H_{cb}=175\text{kA/m}(2.2\text{kOe})$ ，磁体平均长度 $L_m=0.017\text{m}$ ，工作气隙长度 $L_g=0.013\text{m}$ ， $R=0.0745\text{m}$ ， $S=1.3\times 10^{-4}\text{m}^2$ ，进行磁路分析可求出 $B=0.0886\text{T}(886\text{Gs})$ ，代入式(1)求得传递最大力矩 $M=0.358\text{Nm}$ ，实测最大耦合力矩(对锭罩施加力矩，直到锭罩相对外磁环转过一定角度而发生滑脱)为 0.333Nm ，二者相差 6.5% ，比较接近。该锭子及其磁力耦合系统工作良好。

三、三倍捻锭子平面轴向磁力耦合传动的分析与设计

由于近些年来轴承技术及永磁材料生产应用技术的发展，三倍捻锭子获得技术突破，逐渐走向工业应用，图3是其示意图，其工作原理可见文献[4]，其结构设计的关键是采用平面轴向磁力耦合原理由带轮(主动磁转子)传动内锭(被动磁转子)，解决了内锭传动的难题。我们已完成新型三倍捻锭子的研制*，设计的具体锭子结构专利技术已被授予国家专利。

设计三倍捻锭子中的平面轴向磁力耦合传动时，应保证耦合传动有良好的同步性能，即主动磁转子(带轮)启动时，被动磁转子(内锭)应立即启动，当主动磁转子减速制动时，被动磁转子也应立即减速制动，否则会造成纱线的捻度差异和不匀，这就要求此磁力耦合系统有合理的磁路结构，适当的极限耦合力矩。过大的极限耦合力矩不仅浪费永磁材料，还会引起过大的轴向力。这里磁力耦合系统的负载力矩应是内锭与锭杆的摩擦转矩及内锭启动或制动时的惯性力矩，负载力矩较小，故可采用磁体极性交错间隙排列的磁路。为减轻回转件质量，节省磁性材料，宜采用高性能的永磁材料如钕铁硼、钕钴或铁氧体等。带轮、外锭盘、内锭应采用弱磁性材料如铝合金、不锈钢等，滚动轴承也宜采用不锈钢轴承。设计气隙尺寸时还要保证外锭底与主动磁转子及被动磁转子之间有足够的回转间隙。

据文献[2]平面轴向磁力耦合传动的传递力矩 $M(\text{Nm})$ 可用下式描述：

$$M = \frac{1}{2} \frac{V_m B_r^2}{\mu_0} \frac{r}{L_g} \frac{L_m}{L_g} \frac{K_f}{K_r} \frac{\sin\varphi \cos^2\varphi}{[1 + (K_f/K_r) \cdot (L_m/L_g) \cos\varphi]^2} \quad (2)$$

式中 V_m ——主动轴和被动轴上全部永磁体的体积(m^3)， $V_m=2A_m L_m$ ， L_m ——永磁体平均轴向高度(m)； A_m ——永磁体轴向截面积(m^2)； L_g ——主、被动轴的轴向间隙，即气隙长度(m)； r ——永磁体分布的平均半径(m)； B_r ——永磁体剩磁(T)； K_f 、 K_r ——分别为主动轴、被动轴间产生相对转动时的漏磁系数和磁阻系数； $t g\varphi=r\theta/L_g$ ， θ 为主、被动轴的相对转角(弧度)。

上式直观反映了传递力矩同耦合系统各参数间的关系，具有重要的实用价值，可作为确定耦合系统各参数的依据。显然，增大磁体体积、磁体平均回转半径、减小气隙长度均有利于提高传递力矩 M ，并且，对于圆环式的磁体，增大磁环的径向宽度比增大磁环内径好^[1]。

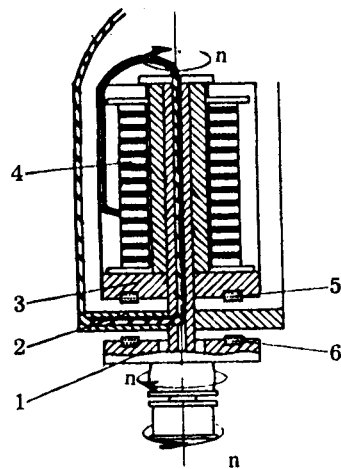


图3 三倍捻锭子示意图

1. 带轮 2. 外锭盘 3. 内锭
4. 卷装 5. 被动磁转子
6. 主动磁转子

式(2)还表明，当磁力耦合系统的各参数一定时，传递力矩 M 是 φ 的函数，也即是主动磁转子和被动磁转子相对转角的函数。这是因为传递的力矩是和一定的负载力矩相对应的。但当负载力矩大到一定程度超过耦合系统的耦合能力时，主动磁转子

就和被动磁转子“脱扣”。由式(2)可确定磁力耦合系统所能传递的最大力矩，为此令 $dM/d\varphi=0$

可得:

$$P\cos^3\varphi + 3\cos^2\varphi - 2 = 0 \quad (3)$$

式中 $P = (K_f/K_r)(L_m/L_g)$ 。

当耦合系统参数一定时, P 值即可确定 (K_f/K_r 可据磁路计算求得), 解方程(3)即可得与系统 P 值对应的 $\cos\varphi$ 值, 代回式(2)即可求出此磁力耦合系统所能传递的最大力矩。这样, 设计时可根据锭子轴向、径向尺寸的限制, 适当选取 L_m 、 L_g 、 r 、 V_m 等参数, 按上述方法验算此磁力耦合系统传递的最大力矩, 直到满意为止。以我们试制的三倍捻锭子模型为例, $r = 0.037\text{m}$, $L_g = 0.012\text{m}$, $B_r = 4000\text{Gs} = 0.4\text{T}$, 主动轴、被动轴上分别装有 16 块小磁体, 磁体总体积 $V_m = 1.584 \times 10^{-6} \times 32 = 5.07 \times 10^{-5}\text{m}^3$ 。实测最大传递力矩为 1.17Nm 。据上述结构尺寸初步算得漏磁系数 $K_f = 2.14$, 取磁阻系数 $K_r = 1.25$, 按上述方法编程上机算得最大力矩 1.2274Nm , 如不考虑漏磁的影响(即设 $K_f/K_r = 1$), 则可算得最大力矩为 1.2333Nm , 两种计算结果与实测值都很接近。实际上, 对于小气隙和 L_m/L_g 值不大(但须保证 $L_m/L_g > 1$)的平面轴向磁力耦合传动, 忽略漏磁的影响对计算结果无显著的影响, 但可使计算大为简化^[5]。试验表明, 该锭子模型之磁力耦合传动系统运转良好。

上述计算中没有考虑转子摩擦系数等因

素, 因而极限力矩的计算值与实测值有一定差异, 同时也为使耦合系统有较好的同步性, 应使耦合系统的极限传递力矩大于负载力矩, 至于大多少, 则需据经验确定或试验验证, 理论上尚需进一步探讨。另外, 在制造装配三倍捻锭子时应保证主动磁转子(带轮)与被动磁转子(内锭)有较高的同轴度, 二者相对的端面有较高的平行度, 以使磁力耦合传动工作在良好状态。目前三倍捻锭子的设计制造及其生产应用在国内还处于探索阶段, 尚需不断优化结构(特别是其磁力耦合传动系统)设计, 以使锭子获得良好的动力学性能, 提高捻线质量。

四、结束语

目前磁力耦合传动系统设计方法的研究在我国还处于起步阶段, 本文的分析探讨, 不仅可为设计倍捻、三倍捻等新型锭子也可为磁力耦合系统的其它应用设计提供帮助, 特别是关于平面轴向磁力耦合传动极限力矩的计算方法方便、可行, 具有实际价值。

参 考 资 料

- [1] 《机械科学与技术》, 1998(1), P. 12~13.
- [2] 钟文定:《铁磁学》, 科学出版社, 1987.
- [3] 《磁性材料与器件》, 1985(1), P. 1~5.
- [4] 《国际纺织导报》, 1998(4), P. 8.
- [5] 《机械设计与制造》, 1999(3), P. 31~35.