

隧道式电动机

郭德顺

电动机问世百多年来,设计理论与制造工艺日臻完善,欲在传统模式下进一步发展已非易事。本文提出的“隧道式电动机”试图从结构模式上寻求突破,以便革故鼎新、拓宽思路,为研制新型电机创造条件。

一、隧道式电动机的磁路系统

隧道式电动机是一种结构十分简单的直流电机,其磁路系统的关键件是“管形磁钢”。将若干管形磁钢组合起来,便可构成隧道电动机所需的磁路系统。

1. 管形磁钢及其磁场

所谓“管形磁钢”系指一种空心柱状硬磁材料沿其轴向磁化后所得到的磁钢(图1a)。

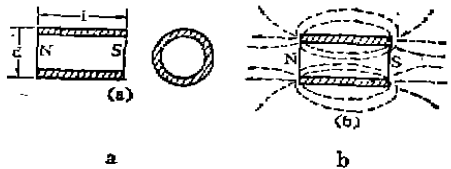


图1 管形磁钢及其磁场

管形磁钢的磁场分布如图1b所示。其周围空间磁力线分布状态与通电螺线管基本相同,内部空间却不尽然。应指出,管形磁钢端面内外磁场方向相反。实验证明,不同半径比(l/d)的管形磁钢,其内外(空间)磁力线形状虽有差异,但“端面内外磁场方向相反”这一物理特性不变。该特性是构思“隧道式”电动机的基本依据。

2. 管形磁钢的均匀间置

将若干个管形磁钢以其长度(l)为间距,以相吸关系排列起来,称为管形磁钢的均匀间置。间置后的合成磁场是隧道式电动机赖以运行的基本条件。均匀间置后的合成磁场如图2。

在间距处,磁力线近似平行并排列成空心柱结构,间距中部磁密最小。在磁钢内部(空



图2 均匀间置与合成磁场

间)磁场方向与间距处相反,磁力线近似平行并充满管内空间,靠近中部磁密最大。

二、合成磁场中的通电线圈

如果在合成磁场中放入一个与磁钢等长,含有铁芯的柱状线圈,并假设线圈可沿轴向自由移动,则分析可知,当线圈中有电流通过时,将受到磁场力的作用并在磁场中运动起来。

1. 有载情况下的磁场状态

当合成磁场中放入含铁芯的线圈时,磁场状态便会立即发生变化。



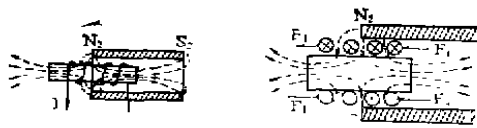
图3 有载时的磁场状态

与图2所示空载情况不同,有载时合成磁场在间距处的磁力线不再呈空心柱状分布。在磁钢内部,磁力线亦不再充斥全部空间,而是集中于铁芯之中,亦沿其轴向从端面传入传出(图3)。磁力线在向铁芯汇聚过程中,必然要改变方向,即由水平方向变为垂直方向(与线圈轴向垂直),然后再恢复为水平方向沿铁芯左右传导。磁力线垂直方向部分分布着通电导体(导体必然受力),铁芯中水平方向的磁力线则与导体无关。

2. 受力分析

以图3为例,含铁芯的线圈正处于磁极 N_1 下。 N_1 发出的磁力线在向铁芯汇聚的过程中,先横穿线圈(导体),尔后进入铁芯。换言之,磁力线在进入铁芯之前垂直于轴线(与导体正交),进入铁芯之后平行于轴线并分成左右两束从端面传导出。 N_1 磁极下通电线圈受力情况可用左手定则结合图4予以判定。

由图4b可看出,在磁极 N_1 附近,不论导体处于间距中或磁钢内,都会受到水平向左的



a 电流方向与磁场状态 b 导体受力方向
图4 通电线圈受力分析

磁场力。

设 N_1 磁极下导体匝数为 n ，且第1匝受力为 F_1 ，第2匝受力为 F_2 ……

$$\text{则 } F_1 \approx F_2 \approx \dots \approx F_n = BIL \sin \theta \quad (1)$$

式中， B ——磁密 (wb/m^2)； I ——电流强度 (A)； L ——每匝导体平均长度 (m)； θ —— B 、 I 之夹角。

设线圈的平均半径为 r ，则 $L = 2\pi r$

又∵ 磁力线与导体正交

$$\therefore \theta = \pi/2 \quad \sin \theta = 1.$$

(1)式可表示为

$$F_1 \approx F_2 \approx \dots \approx F_n = 2\pi B I r$$

$$\text{合力 } F = F_1 + F_2 + \dots + F_n$$

$$= n B I L$$

$$= 2n\pi B I r \quad (\text{N}) \quad (2)$$

由此可见，通电线圈在 N_1 磁极下始终受到水平向左的磁场力 F ， F 的大小与磁密 B 、电流强度 I 、有效匝数 n 及线圈直径 $2r$ 成正比。

线圈受到磁场力，将沿水平方向左移。当线圈越过间距进入磁极 S_1 时，只要及时改变电流方向，它将继续受到水平向左的磁场力(图5)。如此周而复始，线圈便可在合成磁场中运动起来。

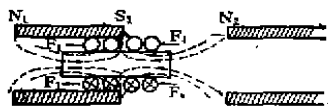


图5 S_1 磁极下线圈受力情况

不难看出，当线圈完全处于间距中或完全处于磁钢内部时即线圈端面与磁极端面重合时，横向穿入穿出线圈的磁力线相等，二者相互抵消，线圈所受合力 F 为零(中性面)。

三、隧道式电动机模型

综上所述，若将管形磁钢均匀间置在一条直线上便可设计成直线电动机，如将若干个管

形磁钢均匀间置在某一圆周上，便可设计成旋转式电动机。现以旋转式为例，介绍一种隧道式电动机的典型结构，供参考。

图6为总体结构示意图。其中定子部分采用管形磁钢(圆管或方管)，分9段(9对磁极)以相吸关系均匀间置在半径为 R 的机壳内圆上，构成环形磁路系统。这种磁钢主要特点是轴向磁化，侧开口，开口面向圆心，以便轮毂从中通过。

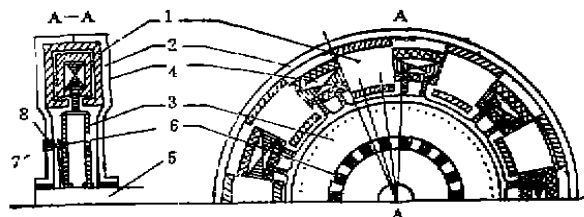


图6 隧道式电动机结构示意图

1—管形磁钢(粘结铁氧体)；2—铝合金外壳；
3—轮毂；4—转子线圈(含铁芯)；5—不锈钢
主轴；6—换向片；7—刷握；8—电源线

转子线圈的骨架是用I型硅钢片迭成柱形铁芯，其上平绕几层导线，线包连同铁芯一起形成柱体(圆柱或方框)。其外径略小于磁钢内径，长度与磁钢相等，并与磁钢一一对应，均匀间置在轮毂外沿。

与线圈连成一体的轮毂(转子)和管形磁钢共处同一平面，磁钢与线圈轴线重合，且沿径向曲率相同 [$\rho = 1/(R-r)$]。运行时，转子线圈不断地从磁钢内穿出穿入，带动轮毂旋转，通过主轴输出动力。

由(2)式可知，每段线圈的受磁场力

$$F = 2n\pi B I r \quad (\text{N})$$

这里共9段线圈，即 $N = 9$

∴ 输出力矩

$$\begin{aligned} M &= F \cdot (R-r) \cdot N = NF(R-r) \\ &= 2n\pi N B I r (R-r) \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \end{aligned}$$

电动机的换向器做成扁平形，固定在轮毂正面，刷握装在机壳上，直接与电源相接。全部线圈串联后与换向片连通，碳刷与换向片采取端面接触方式，以减小电动机轴向尺寸。

为提高可靠性，减少火花，延长寿命，亦可采用霍尔开关集成电路做成位置(下转第27页)

然后两组分液体通过三通阀送到各自的称重槽。三通阀由简单的齿轮齿条副气动控制器来操纵。液体在槽内稳定后称重，由计算机读出。根据产品大小，选择二次以上常用的注射持续时间，并将注射时间、重量和异氰酸酯与多元醇的近似的瞬时比例打印输出。

注射程序完成后，装置自动用增压法将称重槽内已校准的组分通过回料管返回日耗槽。在两槽完成卸载后，排放逾量压力，使槽内又回复到10~15磅/英寸² (0.069~0.103MPa) 表压的衬垫压力。当卸载和排气操作时，控制计算机可用一元线性回归分析的 BASIC-II 程序计算并打印输出真实的流率、两组分比例和相关系数，以及两种组分在背压控制阀出口处的温度（它相当于组分进入混合头混合室的温度）。对于弹簧压力式混合头系统，每个组分喷嘴开启的滞后时间（即时间轴截距）也要计算和打印出来。

对于无流量情况或遇到任何故障——两槽内高压、高液面或过重——就打印出错误信息。这些故障并不能靠称重槽自动卸载来校正。只有当故障一旦被检测出时，校准装置才可着手卸载并继续校准程序。无流量时应检查各阀。整个校准循环时间是依赖于化学物的性质、卸载用空气的压力以及卸载和排气管道的长度，一般约2分钟。

磅秤的精度很高，为称量的±0.05%。换

（上接第10页）

传感器，代替上述机械式换向器，以达到无触点换向，可进一步提高整机质量。

四、特点与用途

1. 特点 a. 结构简单、容易制造、省工省料、成本低廉。b. 电枢绕组利用率100%，热阻小、效率高、节约能源。c. 电动机轴向尺寸小、转矩大、噪声低、调速方便、适应性强。

2. 用途 a. 驱动用 由于隧道式电动机所具有的特性，可望用作电动自行车、童车、电动轮椅等轻便交通工具的动力装置。采

用多极低速隧道式结构，可直接传动，简化设计、无级变速、操作方便。若附加整流元件，用于洗衣机、吸尘器、冷暖风机、空调器及各类电风扇等民用电器亦很相宜。b. 控制用 在自控系统、自动化仪表中，用作伺服电动机，可替代直流力矩电动机。用正负脉冲信号激励，可省去换向机构，输入一个脉冲，电动机前进一个步距，调控方便、准确可靠。隧道式电动机仅以一种新的结构模式对中小型直流电动机乃至微特电动机提出一条新的探索途径。尚有一系列课题需要进一步深入探讨和研究，使之不断完善，以期取得应有的效益。

向阀电磁线圈使用的是60Hz交流电，电磁阀的触发时间为一个变量，可达到1秒钟注射的0.8%（即半周）。然而，多次注射（特别是电冰箱箱体注射时间远大于1秒钟）和回归分析使真实流率的理论重复性远小于±0.4%。而两组分的换向器是用一个简单的控制器，故计算出的两料比例是仅凭称重系统的精度和计量装置的重复性得出的。两料比例也是一个间接测量量，根据误差传递公式分析，其相对系统误差是很小的。

综上所述，新的闭环校准系统能很方便地连接到现有的电冰箱箱体高压发泡线的配料系统中。可用于弹簧压力式或液压操纵式的混合头系统。它能在混合头操作条件下，对计量泵或配料缸进行很精确的校准，并能将测试结果打印输出。用计算机控制能对结果进行统计学上的分析，以说明校准的再现性。计算出的相关系数与所测流量的稳定性有关，它可用来发现或预示计量装置的故障或者判断配料系统其他的潜在问题。与人工校准相比，这套装置的基本优点是：快速、精确、方便，可改善安全性以及减少化学物质的损耗。优于流量计的基本优点是：装置安装在管线外（即脱离主机单独工作），不会对反应组分附加任何恒定的流体阻力，而且维修时不影响生产，能提供流率（用称量法）和混合室温度的硬记录可读副本，便于分析研究。

用多极低速隧道式结构，可直接传动，简化设计、无级变速、操作方便。若附加整流元件，用于洗衣机、吸尘器、冷暖风机、空调器及各类电风扇等民用电器亦很相宜。b. 控制用 在自控系统、自动化仪表中，用作伺服电动机，可替代直流力矩电动机。用正负脉冲信号激励，可省去换向机构，输入一个脉冲，电动机前进一个步距，调控方便、准确可靠。隧道式电动机仅以一种新的结构模式对中小型直流电动机乃至微特电动机提出一条新的探索途径。尚有一系列课题需要进一步深入探讨和研究，使之不断完善，以期取得应有的效益。