

# Optimization of the Structural Parameters of the Magnetic Coupling Transmission Gate Valves

Zhi Niu<sup>1\*</sup>, Kaikai Zhou<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Mechanical Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian Liaoning

<sup>2</sup>School of Mechanical Engineering, Zhengzhou Technology University, Zhengzhou Henan

Email: \*[598674775@qq.com](mailto:598674775@qq.com)

Received: Aug. 6<sup>th</sup>, 2015; accepted: Aug. 21<sup>st</sup>, 2015; published: Aug. 28<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Based on Magnetic Coupling Transmission Gate (Magnetic Coupling Transmission Gate Valves, MCTGV) operation mechanism, this paper established the finite element model, and analyzed the electromagnetic torque characteristics of MCTGV. The relationship between these parameters of MCTGV including the logarithm of magnet, the thickness of permanent magnet, air gap length and the torque characteristics is analyzed in detail by using the control variable method, and the above parameters are optimized one by one. The results show that these structure parameters of MCTGV have a great influence on torque performance, and the output torque has been greatly improved by optimizing.

## Keywords

Magnetic Coupling Transmission, The Control Variable Method, Electromagnetic Torque, Structural Optimization

---

## 磁力耦合传动闸阀的结构参数优化

牛志\*, 周凯凯

<sup>1</sup>大连交通大学机械工程学院, 辽宁 大连

<sup>2</sup>郑州科技学院机械工程学院, 河南 郑州

Email: \*[598674775@qq.com](mailto:598674775@qq.com)

---

\*通讯作者。

文章引用: 牛志, 周凯凯. 磁力耦合传动闸阀的结构参数优化[J]. 机械工程与技术, 2015, 4(3): 187-192.  
<http://dx.doi.org/10.12677/met.2015.43020>

收稿日期: 2015年8月6日; 录用日期: 2015年8月21日; 发布日期: 2015年8月28日

## 摘要

基于磁力耦合传动闸阀(Magnetic Coupling Transmission Gate Valves, MCTGV)运行机理建立其有限元模型, 对MCTGV的电磁转矩特性进行分析。通过控制变量法对MCTGV永磁体极对数、隔离套厚度、永磁体厚度及气隙长度等参数与传递转矩的关系进行仿真分析, 并对上述参数逐一优化。结果表明: MCTGV中的各结构参数对转矩影响较大, 经优化后可较大提高其输出转矩。

## 关键词

磁力耦合传动, 控制变量法, 电磁转矩, 结构优化

## 1. 引言

磁力耦合传动闸阀(Magnetic Coupling Transmission Gate Valves, MCTGV)是通过磁力间相互作用来直接在阀门承压边界的外部转动阀杆来实现阀门的启闭来调节介质的管路输送。MCTGV 中阀杆密封于承压腔内部, 取代了传统闸阀阀杆与填料之间的动密封, 而是通过阀体与阀盖之间的静密封实现阀门整体无外漏, 同时具有体积小、结构简单、使用寿命长等特点, 而 MCTGV 能否对介质的流量进行精确调节取决于其电磁转矩的大小, 而其转矩特性受其结构制约, 因此, 对 MCTGV 结构参数的优化便尤为重要。

磁力传动技术是自 1940 年英 Charles 和 Geoffrey Howard 通过利用磁传动密封技术解决了输送危险性介质泄漏问题后得到快速发展[1]。我国于 20 世纪 80 年代初开始对磁力传动驱动技术进行应用研究。1978 年严可镜研制出了磁力耦合式高压釜, 具有可靠的密封性, 能对一些粘稠物料进行搅拌等特点[2] [3]。1999 年王玉良介绍了磁力传动在阀门中的应用, 设计出了磁传动截止阀、闸板阀、球阀, 介绍了磁传动闸阀可实现绝对密封[4] [5]。经过不断的实验和研究, 我国的磁力传动技术已逐步应用于石油、化工、军事工程、精密机械等多个领域。

目前大多数文献仅对 MCTGV 的运行机理、设计应用等进行了研究分析[6]-[8], 而较少有对其结构参数优化分析的文献。本文基于 MCTGV 运行机理建立其有限元模型, 通过控制变量法对 MCTGV 永磁体极对数、隔离套厚度、永磁体厚度及气隙长度等参数与传递转矩的关系进行仿真分析, 并逐一进行优化, 以提高 MCTGV 的电磁转矩。

## 2. MCTGV 工作原理

如图 1 所示, MCGTV 机械结构包括三部分。第一部分为电动装置; 第二部分由磁力传动装置组成, 包括外永磁转子、隔离套、内永磁转子、阀杆螺母等。其中外永磁转子安装在隔离套的外部, 内永磁转子安装在隔离套的内部, 并使内永磁转子中的阀杆螺母与阀杆连接。第三部分为阀体。

开启电动装置, 使其带动外永磁转子一起旋转, 通过磁力的作用使内外永磁转子作同步旋转运动, 并驱动阀杆螺母一起转动, 从而驱动阀杆和阀板的升降运动, 实现阀门的开启和关闭的功能。

## 3. 模型设计参数初选

根据磁力阀电磁转矩计算公式:  $M_{\max} = \left[ \frac{1}{5000} \right]^2 K (BH)_{\max} \left( 1 - \frac{E}{\sqrt{E^2 + b^2}} \right) 2\pi R^2 L h \sin\left(\frac{n\phi}{2}\right)$  对 MCTGV

进行了参数初选, 利用 ansoft 软件分析结构参数对转矩的影响, 进而优化结构参数使其达到最优的电磁转矩。由于磁力传动装置与气隙有关, 而气隙又与隔离套厚度有关, 因此, 需确定隔离套的直径大小, 而隔离套直径可按所设计的传动转矩大小初步确定, 由此可得表 1 所示的磁力传动装置结构参数, 其机械结构简图如图 2 所示。

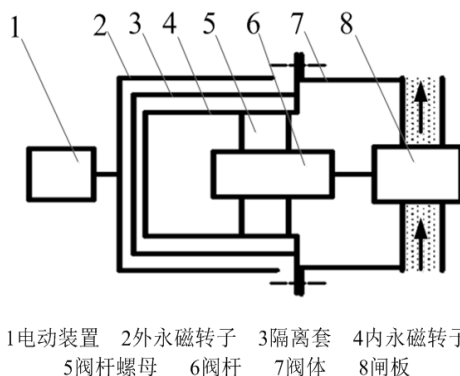


Figure 1. The basic structure diagram of the MCTGV  
图 1. MCTGV 的基本结构示意图

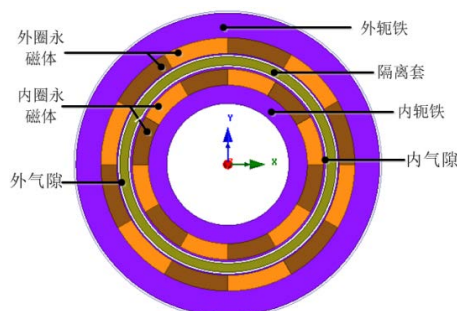


Figure 2. The structure diagram of the magnetic transmission  
图 2. 磁力传动装置的结构简图

Table 1. The structural parameters of magnetic transmission device  
表 1. 磁力传动装置的结构参数

| 符号          | 描述           | 数值    |
|-------------|--------------|-------|
| $N$         | 内、外圈永磁体极数    | 12    |
| $R_{ein1}$  | 内轭铁内径/(mm)   | 30    |
| $R_{pin1}$  | 内圈永磁体内径/(mm) | 37.75 |
| $R_{pin2}$  | 内圈永磁体外径/(mm) | 46.75 |
| $R_{yin1}$  | 内磁包封套外径/(mm) | 47.75 |
| $R_1$       | 隔离套内径/(mm)   | 48.75 |
| $R_2$       | 隔离套外径/(mm)   | 52.75 |
| $R_{yout2}$ | 外磁包封套内径/(mm) | 53.75 |
| $R_{pout1}$ | 外圈永磁体内径/(mm) | 54.25 |
| $R_{pout2}$ | 外圈永磁体外径/(mm) | 63.25 |

## 4. 结构参数优化

转矩是磁力传动重要的参数之一, 也是设计、分析磁力传动装置的关键。下面通过控制变量法对 MCTGV 永磁体极对数、隔离套厚度、气隙长度及永磁体厚度等参数与转矩的关系进行仿真分析。

### 4.1. 永磁体极对数与转矩关系

参照表 1 保持其它参数不变, 只改变永磁体极对数, 通过采用 ansfot 软件进行有限元分析得图 3 所示永磁体极对数与转矩之间的关系。

由图 3 可知: MCTGV 所传递的转矩随着永磁体磁极对数的不断增加先上升后逐渐减小, 而当极对数增大到 10 时, 传递转矩达到最大值。也就解释了极对数多储存的静磁能多, 有利于转矩的传递, 而极对数太多磁块间漏磁也多, 不利于传递转矩, 可见永磁体磁极对数的选取应适中。

### 4.2. 隔离套厚度与转矩关系

隔离套与阀体组合构成闸阀的压力边界, 从而实现闸阀的完全密封。因此隔离套需要起承受内部压力的作用, 必须选择强度高的材料。且由于磁力须通过隔离套传递, 必须得选择非磁性的隔离套材料。另外, 隔离套需要耐腐蚀性并具有好的抗冲击、抗震性能。综上考虑, 可选择哈氏合金作为隔离套的材料。

由图 4 可知: 随着  $h$  的增加, 机构产生大量的涡流损耗消耗了轴功率并降低传动效率使其转矩逐渐减小。优化隔离套厚度, 可提高传动效率, 提高输出转矩。但为了保证承压隔离套的机械强度,  $h$  不应

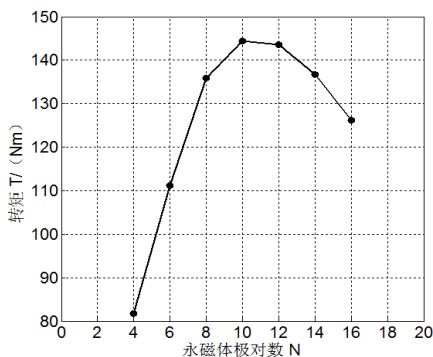


Figure 3. The relationship between the logarithm of magnet and the torque

图 3. 永磁体极对数与转矩的关系

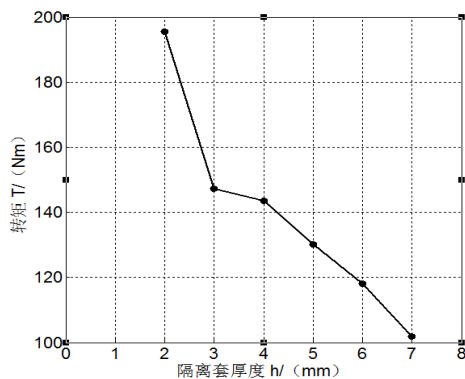


Figure 4. The relationship between the thickness of sleeve and the torque

图 4. 隔离套厚度与转矩的关系

太薄, 在满足要求的条件下, 隔离套厚度  $h$  选 3 mm~4 mm。

### 4.3. 气隙长度与转矩的关系

图 5 为内、外气隙长度与转矩之间的关系图。其中  $h_{q1}$ 、 $h_{q2}$  分别为内、外气隙长度。

由图 5 可知: 随着气隙长度  $h_{q1}$  和  $h_{q2}$  的增大, 转矩却急速下降, 而当气隙长度增加到一定程度时, 永磁转子将沿最小磁阻路径通过而发出的磁感线不能相互产生作用, 从而不能输出转矩使其降低至零。但由于永磁体的磁性很强, 气隙太小会增大装配难度, 因此气隙长度的选择要适中。

### 4.4. 永磁体厚度与转矩关系

永磁体是设计磁力传动装置的主要部分, 也是整个 MCTGV 的核心存在, MCTGV 主要就是通过内、外永磁体产生磁力相互作用而实现闸阀的启闭, 因此为了充分利用永磁材料, 选择最佳厚度, 使得利用最少的永磁材料而产生最大的磁能, 传递最大的转矩。

由图 6(a)和图 6(b)可知: 随着磁力传动装置的永磁体厚度的不断增大, 转矩也逐渐增大, 而当其厚度增加到一定程度时, 转矩却不再增大。由于永磁体的磁通势会随着其厚度增大而增大, 但相应的磁阻和漏磁也会增大, 而  $h$  太大会使增加的磁通势基本都消耗在增大的磁阻和漏磁上, 使其对磁路的作用却很小, 所以出现了  $h$  增大到一定程度, 而转矩却基本保持不变。

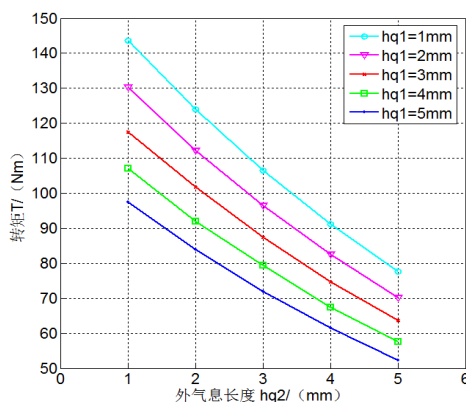


Figure 5. The relationship between the inside and outside the air gap length and the torque  
图 5. 内外气隙长度与转矩关系

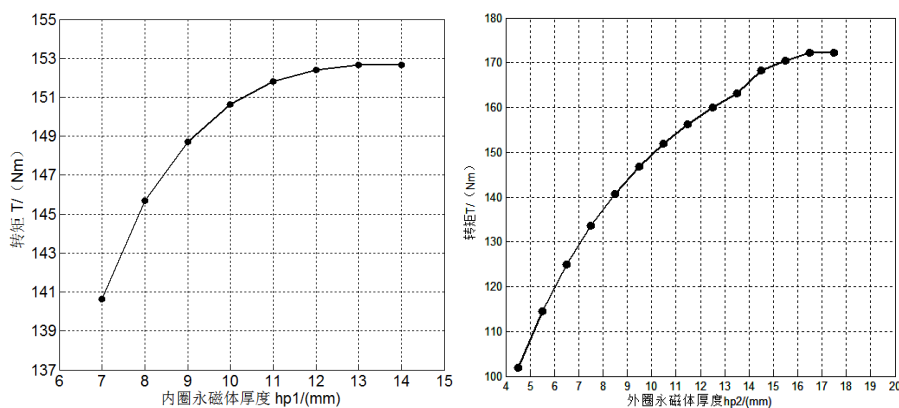


Figure 6. (a) The relationship between the inner permanent magnet thickness and the torque; (b) The relationship between the outer permanent magnet thickness and the torque  
图 6. (a) 内圈永磁体厚度与转矩的关系; (b) 外圈永磁体厚度与转矩的关系

**Table 2.** The optimized structure parameters of magnetic transmission device  
**表 2.** 优化后的磁力传动装置结构参数

| 符号                 | 描述           | 数值    |
|--------------------|--------------|-------|
| N                  | 内、外圈永磁体极数    | 10    |
| R <sub>pin2</sub>  | 内圈永磁体外径/(mm) | 49.75 |
| R <sub>yin3</sub>  | 内磁包封套外径/(mm) | 50.75 |
| R <sub>1</sub>     | 隔离套内径/(mm)   | 51.75 |
| R <sub>2</sub>     | 隔离套外径/(mm)   | 55.75 |
| R <sub>yout3</sub> | 外磁包封套内径/(mm) | 56.75 |
| R <sub>pout1</sub> | 外圈永磁体内径/(mm) | 57.25 |
| R <sub>pout2</sub> | 外圈永磁体外径/(mm) | 73.25 |

综上所述, 得表 2 结构参数的优化最终值。

将表 2 中优化后的结构参数进行转矩仿真计算得到 260.6192 Nm, 比按表 1 未优化前所列参数得到的转矩值(176.1786 Nm)增大 47.9%。而在体积大小保证不变的条件下, 通过优化各个结构参数而使得转矩大幅度提高, 而传动转矩是磁力传动传动机构最重要的性能指标之一, 因此可使得 MCTGV 在工程实践中得以更好的应用。

## 5. 总结

利用 ansoft 软件分析了 MCTGV 主要结构参数对转矩的影响, 通过数据图表可以发现 MCTGV 的输出转矩可通过优化结构参数而大幅度提高。因此设计 MCTGV 时, 应综合考虑上述参数的影响, 通过选择最优结构参数来获得高的电磁转矩并使材料得到充分利用。

## 参考文献 (References)

- [1] Twyford, D. (1997) 英国 HMD 公司无泄漏磁力驱动泵的开发和研制. *化工装备技术*, **3**, 50-53.
- [2] 袁丹青, 何有泉 (2011) 磁力泵的研究现状与发展前景. *磁性材料及器件*, **2**, 1-3, 8.
- [3] 邓文娟, 巴德纯 (2014) 永磁传动与真空密封技术研究现状与发展. *真空科学与技术学报*, **10**, 1081-1086.
- [4] 段伟山 (2008) 磁力传动机构的分析与研究. 硕士学位论文, 天津大学, 天津.
- [5] 赵克中, 徐成海 (2004) 磁力驱动阀门的结构原理与试验研究. *化工机械*, **1**, 9-13.
- [6] 陈士清, 施光明 (2013) 磁力驱动搅拌器的发展和应用. *化工机械*, **4**, 415-419.
- [7] 赵克中, 徐成海, 等 (2003) 磁力驱动真空动密封技术的发展和运用. *真空*, **1**, 21-24.
- [8] 廖伟强, 张斌, 曾德长 (2007) 磁力传动及其应用与设计. *机械设计与制造*, **5**, 44-47.