

技术讨论

液压弹簧机构永磁液压阀设计及特性分析

田 阳, 林 莘, 徐建源, 马跃乾

(沈阳工业大学电气工程学院, 辽宁 沈阳 110023)

摘要: 针对液压弹簧机构中电磁液压阀存在的问题,设计了一种新型液压阀-永磁液压阀,给出永磁液压阀的结构并阐明其工作原理,对用于液压阀上的永磁机构进行设计及对永磁液压阀进行特性分析。最后通过以上分析,设计出满足工程需要的永磁液压阀。

关键词: 高压断路器; 液压弹簧机构; 永磁液压阀

中图分类号: TM561

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)01-0040-04

Design and Characteristic Analyze of Permanent Magnetic Hydraulic Valve in Hydraulic Spring Mechanism

TIAN Yang, LIN Xin, XU Jian-yuan, MA Yue-qian

(College of Electrical Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110023, China)

Abstract: A new hydraulic valve, permanent magnetic hydraulic valve, is proposed to solve the problems in the the conventional electromagnetic hydraulic valve of a hydraulic spring mechanism. The structure of the new valve is described and the operating principle is discussed. The permanent magnetic device on hydraulic valve is designed, and the characteristics of the permanent magnetic hydraulic valve are analyzed. The new valve can satisfy the demand for engineering.

Key words: high voltage circuit breaker; hydraulic spring mechanism; permanent magnetic hydraulic valve

0 引言

目前输电线路用断路器的最高工作电压等级通常为 126~1 100 kV, 在此高压等级的断路器上, 大多采用以气体为灭弧介质的高压断路器, 其操动机构分为弹簧操动机构、气动操动机构、液压操动机构、液压弹簧操动机构等。由于液压弹簧操动机构是液压与弹簧机构的组合, 既发挥了液压机构对大、小功率的广泛适用性, 同时又克服了原液压机构的许多缺点而被广泛采用, 其原理结构见图 1^[1]。

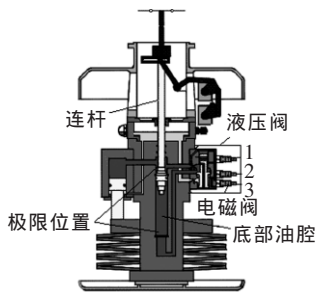


图 1 液压弹簧机构原理结构图

其中液压阀是液压弹簧机构中的重要部件, 图 2 给出图 1 液压弹簧操动机构中液压阀的结构剖面图。图 2 中工作油区 7 与图 1 中底部油腔连通。由图 1、2 可知, 液压阀是利用电磁阀的通断控制油路通道来更换控制油液的流动方向, 进而控制阀芯向左或向右运动, 最终使连杆带动断路器触头做分闸或合闸操作。因此液压阀是液压弹簧操动机构可靠性的关键, 其性能优劣直接影响高压断路器的性能^[2-7]。

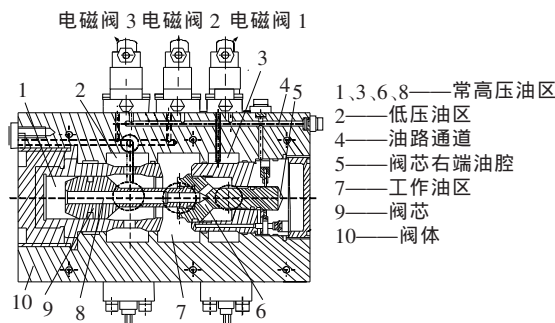


图 2 现有液压阀结构剖面图

根据实际液压阀使用中积累的经验, 现有液压阀在工作时容易出现以下问题: 需要两个电磁阀

收稿日期: 2008-03-05; 修回日期: 2008-09-21

作者简介: 田 阳(1984-), 男, 硕士研究生, 主要从事高压电器方面的研究。

分别控制阀芯向左和向右运动,操作过程和控制油路复杂;电磁阀对介质洁净度有较高要求,含颗粒状的介质不适用,经常会发生有电磁阀拒动的现象,从而影响阀的动作;密封环节多、安全系数低,容易产生外漏油;维修困难,液压油污染物沉积造成的液压阀阀芯动作失常,使液压阀失效^[8,9]。

综上所述,笔者提出了一种新型液压阀——永磁液压阀,它利用永磁机构结构简单、零部件数量少、机械寿命长、可靠性高等特点来替代现有液压阀上的电磁阀和部分油路,使阀的整体结构简化,与液压弹簧机构达到完美配合,进而提高高压断路器的性能(替代电磁液压阀的永磁机构,以下简称为永磁阀)。

1 永磁液压阀的结构设计及工作原理

永磁液压阀结构见图3。

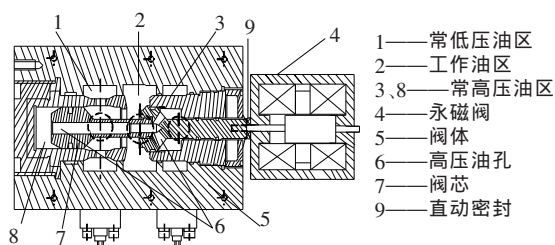


图3 永磁液压阀剖面图

由图3与图2所示液压阀相比,可以看出结构上永磁液压阀去掉了3个电磁阀、控制油路和阀芯右端油腔。在液压阀阀芯右端连接永磁阀4,阀芯与永磁阀连接处加直动密封9,并调整阀芯两端的有效压力面积,使阀芯受到的合力几乎为零,其目的是消除油压对阀芯的作用,使永磁阀可以独立控制阀芯可靠动作。

永磁液压阀的工作原理是:永磁阀控制阀芯向左或向右运动,并使阀芯保持在左或右端部。当阀芯保持在右端部时(如图3所示),高压断路器触头处在分闸位置。为了便于分析,图4给出了图3中永磁阀内部详细结构图。此时永磁阀线圈中没有电流通过,永磁体利用动铁心2和磁轭3、7提供的低磁阻抗通道,将动铁心2及图3中的阀芯保持在右端部。此时工作油区2与常低压油区1接通,工作油区保持低压状态,则液压弹簧操动机构的底部油腔充满低压油,使连杆保持在下极限位置(图1所示),断路器触头保持在分闸位置。

当给永磁液压阀动作信号时,永磁阀的合闸线圈(图4中5所示)通入电流,产生磁动势,动铁心中的磁场由线圈产生的磁场和永磁体产生磁场叠加而成,电流达到一定值时,合闸线圈产生向左的电磁力大于永磁体产生向右的静态保持力,此时动铁心连同驱动杆(图4中2、6所示)在磁场合力的作用下以一定的速度带动永磁液压阀阀芯向左运动。在这个

过程中工作油区2与常低压油区1断开,与常高压油区3接通,工作油区由低压状态变为高压状态。液压弹簧操动机构的底部油腔由低压油变为高压油,使连杆向上运动,进而带动高压断路器触头由分闸位置向合闸位置运动。

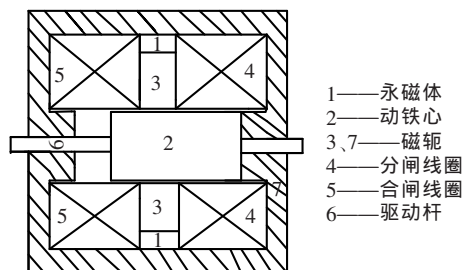


图4 双稳态永磁阀内部结构图

当永磁液压阀阀芯运动到左端部时,高压断路器触头处在合闸位置。永磁阀合闸线圈电流截止,永磁体将动铁心及阀芯保持在左端部,此时工作油区2与常高压油区3接通。工作油区保持在高压状态,液压弹簧操动机构底部油腔充满高压油,使连杆保持在上极限位置(图1所示),断路器触头保持在合闸位置。

从工作原理可知永磁液压阀较现有液压阀具有以下特点:无需液压先导阀(电磁阀),动作特性与压力无关,动作速度快,能防止液压阀的慢分及慢合;液压阀的动作仅需一个永磁阀,永磁阀只需输入向左或向右单一性命令,杜绝了以往机构两个命令同时误入造成的拒动或误动;现有液压阀的结构得到简化,总体体积小,密封点少,仅在阀芯右端与永磁阀的连接处加一个直动密封,防渗漏油性能可靠;永磁阀恒定的动作特性与压力无关;免维护,仅需简单检查,安装维修调试方便。

由以上永磁液压阀的工作原理及特点可知,永磁阀的动作特性影响它的整体性能,因此对于永磁液压阀设计的关键是永磁阀的设计。

2 永磁阀的设计

笔者设计的是双稳态永磁阀,其工作原理是电磁操动动铁心向左或向右,永磁体使动铁心保持在左或右端部^[10,11](永磁阀的线圈控制动铁心运动,来间接控制断路器分、合闸操作,因此文中称永磁阀部件4、5分别为分、合闸线圈)。

如果在现有液压弹簧机构中用永磁阀代替原来的电磁阀,那么受安装条件的限制,对液压阀的尺寸有一定要求。根据目前国内使用的液压弹簧机构的安装位置,原则上要求永磁阀(圆柱体)的尺寸最好为:直径 ≤ 140 mm,高 ≤ 130 mm。

笔者参考了电磁液压阀各项技术参数,并给出永磁液压阀的参数要求,见表1。

表 1 永磁液压阀技术参数

参数	数值
静态保持力/N	≥100
动作时间/ms	合闸 ≤15
	分闸 ≤13
平均动作速度/(m·s ⁻¹)	≥1.5
控制电压/V	200(DC)
额定线圈电流/A	2
阀芯行程/mm	12.6±0.5

对于直流电压激磁下的机构,通过以下各式确定永磁阀各部件机构参数。永磁阀各部件参数见表 2。式(1)为马氏吸力公式,式(2)为磁通公式,式(3)为磁势方程式。

表 2 永磁阀主要部件参数

部件名称	参数种类	尺寸/cm
动铁心	直径	4.40
	高度	9.24
永磁体	高度	1.00
	厚度	0.40
	内径	4.40
	内弧面积	4.50
线圈	长度	68 400.00
	直径	0.05
	匝内径	5.00
	匝外径	10.40
	匝数	2 830.00

$$F = \frac{\phi^2}{4 \cdot 965^2 S} = \frac{B^2 S}{4 \cdot 965^2} \quad (1)$$

$$\phi = BS \quad (2)$$

$$IN = \frac{B\delta\delta_0}{\mu_0} + \sum (IN)_c + \sum (IN)_{fg} \quad (3)$$

式(1)~(3)中, F 为吸力,kgf; B 为气隙磁密,G; S 为极面积,cm²; ϕ 为气隙磁通,Mx; $\frac{B\delta\delta_0}{\mu_0}$ 为工作气隙中磁压降; $\sum (IN)_c$ 为导体各部分磁压降的总和; $\sum (IN)_{fg}$ 为非工作气隙磁压降的总和。

根据表 2 的永磁阀各部件参数,笔者确定永磁阀直径为 120 mm,高为 130 mm,满足永磁阀的尺寸范围。

3 永磁液压阀的特性分析

通过永磁液压阀特性的分析,来验证理论计算的特性参数是否满足永磁液压阀的技术要求,如不满足,则做相应的改进,直到符合要求。

当永磁液压阀阀芯处在左或右端部时,所需保持力仅由永磁阀提供。因此笔者采用有限元的方法对永磁阀动铁心处在左或右端部时的静态保持力进行分析^[12]。

根据表 2 永磁阀主要部件参数,利用 ANSYS 软件建立两种永磁阀动铁心处在右端部的模型见图 5。

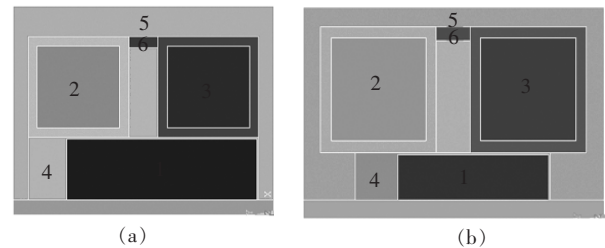


图 5 永磁阀半剖图

模型 5(b)与 5(a)相比较,动铁心的直径减少了 35 mm,通过增加磁轭,使铁心的长度缩短 32 mm。通过对上述两种模型的有限元磁场计算得到静态保持力均为 120 N,符合永磁阀的初始参数要求。

永磁液压阀阀芯动作过程中有较小的反力,包括阀芯及动铁心动作过程中部件之间的摩擦力,油的粘滞阻力。由永磁液压阀的工作原理可知,它的动态特性分析可以转变为分析带负载反力永磁阀的动态特性^[13,14](以下永磁阀动态特性分析都是在带负载反力下进行的)。

永磁阀在动作过程中,线圈中的电流、动铁心中的磁场、位移等都是变化的,其求解是一个电、磁和机械的耦合场问题^[15]。笔者在建立永磁阀动态特性求解数学模型的基础上,采用四阶 Runge-kutta 法及电磁场有限元方法同时求解电路方程、电磁场方程和运动方程来研究永磁阀的动态特性。具体方法利用 C++ 语言编写永磁阀动态计算程序,程序流程图见图 6,其中 Δt 为步长, x_1 为行程长度。

通过计算得到图 5(a)模型运动过程的计算结

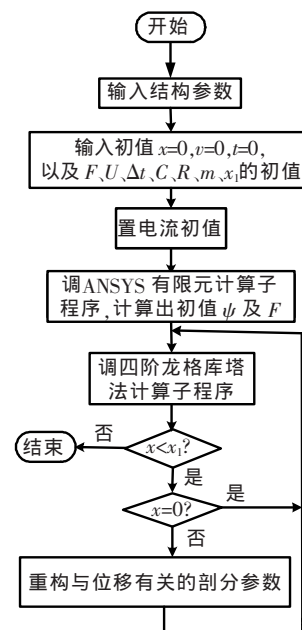


图 6 永磁阀动特性计算主程序框图

果,针对计算结果并结合式(4)、(5)对该模型做局部修改和优化,如图5(b)模型所示。减小动铁心的直径,则工作气隙磁阻增大,线圈静态电感变小,线圈电流上升速度变快,使动作时间变短。减小动铁心的长度,质量变小,使动作速度变快。通过修改和优化,最后得到较合理的设计结果。

$$\text{气隙磁阻 } R_m = \frac{1}{\mu_0 \cdot A} \quad (4)$$

$$\text{线圈电感 } L = N^2 / R_m \quad (5)$$

式(4)、(5)中, μ_0 为真空磁导率; A 为工作气隙截面积, cm^2 ; N 为线圈匝数。

由于永磁阀采用双稳态结构且分、合闸线圈匝数、线径相同,故永磁阀动铁心向左和向右运动计算结果相同,图7、8给出永磁阀模型5(b)动铁心仅向左运动过程的计算结果。

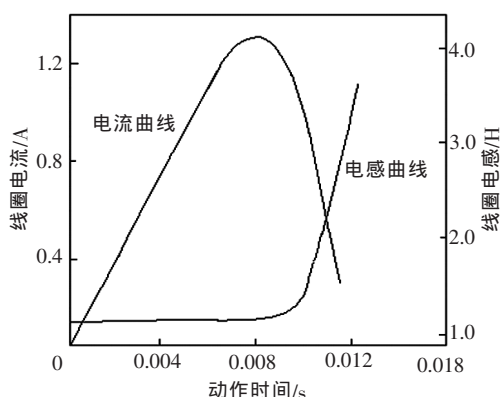


图7 线圈电流、电感随时间变化曲线

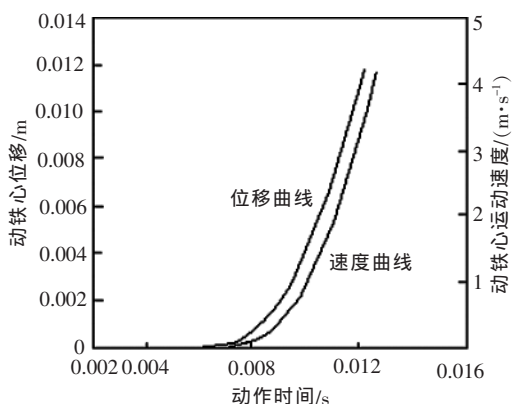


图8 动铁心位移、速度随时间变化曲线

由图7可以看出,当永磁阀电感为恒值1.3 H时,电流呈线性上升;当动作时间为6 ms时,电感值开始增加,电流值开始下降。相对应图8,动铁心的触动时间为6 ms,动作时间为12 ms,同时满足分、合闸的要求。平均速度为2.1 m/s,满足永磁阀技术参数。通过以上特性的分析,永磁阀模型各项技术参数都符合设计要求。

4 结论

(1)笔者给出了永磁液压阀的结构图,在此基础上阐明了永磁液压阀的工作原理。由于永磁液压阀取消了控制油路,仅由永磁阀带动阀芯动作,使结构更加简化,且动作特性与压力无关,提高了液压阀的性能。

(2)在参考了电磁液压阀的各项技术参数的基础上,给出永磁液压阀的参数要求,使设计的永磁阀符合要求。

(3)笔者通过分析永磁液压阀动态特性计算结果,调整和优化永磁阀铁心结构,最终缩短永磁阀动作时间。由于永磁阀动铁心向左和向右运动的动作时间相等,且设计的永磁阀以分闸时间为标准,因而同时满足合闸时间要求,最终满足技术参数要求,可以设计出满足要求的永磁液压阀。

参考文献:

- [1] 林 莘. 现代高压电器技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [2] 卢 芸, 林 莘. 双稳态及单稳态水磁操动机构的研究[J]. 沈阳工业学报, 2002, 34(2): 35-46.
- [3] 游一民, 陈德桂. 方形与圆形永磁机构比较 [J]. 高压电器, 2004, 40(6): 30-45.
- [4] 张维明. 关于永磁机构真空断路器的特点及应用 [J]. 农村电气化, 2002, 24(3): 20-48.
- [5] 付万安, 贾春红. 永磁操动机构的动态分析[J]. 大连铁道报, 1999, 20(3): 32-69.
- [6] 郑 军, 罗文科. 永磁机构及其发展动态 [J]. 高压电器, 2001, 37(1): 27-45.
- [7] 师明义, 左全璋, 郑联喜, 等. 双稳态磁路永磁操动机构控制方法的选择[J]. 高压电器, 2002, 38(4): 56-78.
- [8] 宋述忠, 裴海鹰, 陈网华, 等. 磁力双稳态操动机构优化设计 [J]. 高压电器, 2001, 37(3): 42-56.
- [9] 左全璋, 胡 双, 左才科. 双稳态永磁操动机构结构设计和性能计算[J]. 华通技术, 2006, 21(7): 12-32.
- [10] 左全璋, 胡 双, 左才科. 双稳态永磁操动机构结构设计和性能计算[J]. 华通技术, 2003, 18(4): 45-63.
- [11] 付万安, 宋宝韞. 高压断路器永磁操动机构的研究 [J]. 中国电机工程学报, 2002, 20(8): 21-26.
- [12] 林 莘, 徐建源, 高会军. 永磁机构动态特性计算与分析[J]. 中国电机工程学报, 2002, 20(6): 85-88.
- [13] DULLY E A. Vacuum Circuit-breaker with Permanent Magnetic Actuator for Frequent Operations [C]// IEEE 18Int. Symp. DEIV, Eindhoven, 1998: 688-691.
- [14] JOAN D. Permanent Magnetic Field as a Means of Automation for the Reworking of Composites [J]. Springer Netherlands, 1987, 33(1): 664-676.
- [15] 林 莘. 永磁机构与真空断路器[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.

欢迎投稿! 欢迎订阅! 欢迎评刊! 欢迎刊登广告!