

# 采用 ADAMS 与电磁系统的耦合优化永磁机构

骆 虎<sup>1</sup>, 游一民<sup>1</sup>, 陈德桂<sup>2</sup>, 孙志强<sup>2</sup>, 于文瑛<sup>1</sup>, 李 芳<sup>1</sup>

(1. 西安高压电器研究所有限责任公司, 陕西 西安 710077; 2. 西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049)

摘要: 采用多体动力学软件包 ADAMS 建立了带四连杆的配永磁机构真空断路器的动力学模型。将磁场方程、电路方程和机械运动方程耦合求解, 解决复杂传动方式永磁机构动特性的计算问题。基于永磁机构动特性的计算, 对永磁机构的设计参数和结构进行了优化, 并且将断路器的灭弧室通过四连杆传动来驱动和通过一个杠杆来驱动进行了比较, 结果表明前者的分合闸最大操作电流较小, 即永磁机构通过四连杆传动来驱动真空灭弧室比通过一个杠杆来驱动优化效果更好。

关键词: 永磁机构; 多体动力学; 四连杆传动

中图分类号: TM561

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2008)04-0335-03

## Optimum Design of Permanent Magnet Mechanism by Coupling ADAMS and Electromagnetism System

LUO Hu<sup>1</sup>, YOU Yi-min<sup>1</sup>, CHEN De-gui<sup>2</sup>, SUN Zhi-qiang<sup>2</sup>, YU Wen-ying<sup>1</sup>, LI Fang<sup>1</sup>

(1. Xi 'an High Voltage Apparatus Research Institute Co. Ltd., Xi 'an 710077, China;

2. School fo Electrical Engineering, Xi 'an Jiaotong University, Xi 'an 710049, Cina)

Abstract: A dynamic model of the vacuum breaker with four-bar linkages and permanent magnet mechanism is established with multi-body dynamics software ADAMS. Coupling the magnetic field equations and the circuit equations with the motion equations, the dynamic characteristic of this complex configuration is calculated. Based on the calculations of the dynamic characteristic, the design parameters and the structure of permanent magnet mechanism are optimized. The results show that the opening current of the breaker with four-bar linkages structure is smaller than that with one lever structure, indicating the permanent magnet mechanism with four-bar linkages structure is better than that with one lever structure.

Key words: permanent magnet mechanism; multi-body dynamics; four-bar linkages structure

### 0 引言

近年来, 一种用于中压真空断路器的永磁保持、电子控制的电磁操动机构(简称永磁机构)在户内、户外中压断路器领域得到了广泛应用, 引起了开关行业的关注。其原理、结构特点、性能以及与其相配的免维护真空断路器的开发研制已成为电器制造企业和运行部门的研究热点。

### 1 四连杆模型的建立和计算

文[1~3]所描述的都是永磁机构通过直接传动方式对真空灭弧室进行操动, 永磁机构动特性的计算也主要是对直接传动方式进行计算, 但实际情况中, 经常会遇到采用其他不同结构和不同传动方式配永磁机构的真空断路器, 见图 1<sup>[4, 5]</sup>, 此结构不是用一个杠杆通过一定的传动比将永磁机构的输出功传

递到真空灭弧室, 而是通过了一个四连杆传动即两个直动传动来实现动力的传递, 因此无法采用文[1]中磁系统与动力学方程式(1)、式(2)与式(3)的直接耦合进行整个机械系统动特性的计算。

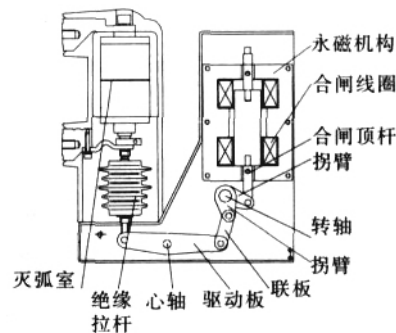


图1 配永磁机构的户内真空断路器(合闸位置)

图1所示为一种配永磁机构的户内真空断路器, 其动作原理为: 断路器进行合闸时, 永磁机构的合闸线圈带电, 驱动永磁机构的动铁心向下运动, 动

收稿日期: 2008-01-17; 修回日期: 2008-05-23

作者简介: 骆 虎(1972-), 男, 工程师, 长期从事开关设备设计工作。

铁心通过合闸顶杆带动拐臂向下运动，拐臂带动转轴顺时针转动，转轴驱动拐臂绕转轴顺时针转动，拐臂通过联板推动驱动板绕心轴进行顺时针转动，驱动板推动绝缘拉杆向上运动，最终推动灭弧室的动触头向上运动完成合闸动作。此运动过程包含有电磁动态的过程、电路的反电势反馈过程和多体动力学运动过程，并且，它的动力学运动过程是无法用一个或者几个动力学的解析式进行表达。

因此，笔者将磁场计算、电路的计算和进行动力学特性计算的 ADAMS 软件进行有机的结合，对永磁机构及其断路器的动力学特性进行计算。

ADAMS 软件包是目前世界范围内最广泛使用的多体系统仿真分析软件。

在 ADAMS 软件环境下，对图 1 所示的系统进行建模，见图 2。

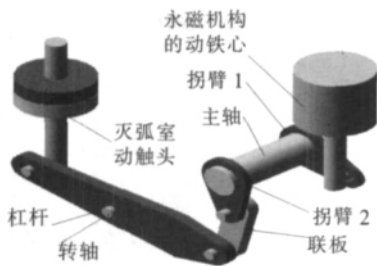


图 2 ADAMS 软件环境下建模的图形

对图 1 所示结构的永磁机构列出电路及动力学特性方程，当机构的线圈施以直流电压  $U$  时，线圈电流由零开始逐渐增加，若线圈电阻为  $R$ ，忽略铁心中涡流，对线圈回路可写出电路微分方程为

$$\frac{d}{dt}i = U - iR \quad (1)$$

式(1)中， $i$  为线圈电流； $\psi$  为线圈磁链； $U$  为直流电压； $R$  为回路电阻。机构运动方程为

$$\frac{d}{dt}x = f(F_{动} - F_{反}) \quad (2)$$

表 1 线圈线径与断路器分、合闸速度的关系(电容器的充电电压  $U=80\text{ V}$ )

d/mm		N/匝		R/		I/A		$v_{1\%}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$		$v_{6\%}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	
分闸	合闸	分闸	合闸	分闸	合闸	分闸	合闸	分闸	合闸	分闸	合闸
1.4	1.2	308	368	0.980	1.59	24.66	30.94	0.82	0.93	0.56	
1.5	1.3	273	315	0.756	1.16	30.74	38.79	0.87	0.99	0.62	
1.6	1.4	240	280	0.538	0.89	38.82	46.60	0.91	1.05	0.70	
1.7		198		0.427		53.25		0.98	1.15		

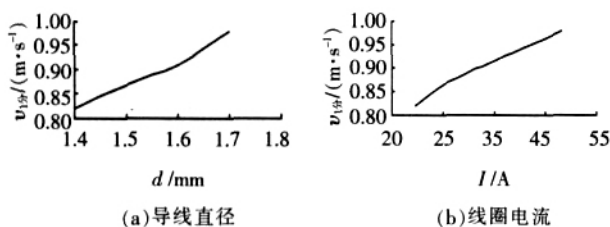


图 4 断路器分闸速度与导线直径、线圈电流的关系

$$\frac{dx}{dt} = \dots \quad (3)$$

式(2)、(3)中， $\frac{dx}{dt}$  为铁心运动速度； $x$  为铁心行程； $F_{动}$  为机构的输出力，是电流  $i$  和行程  $x$  的函数； $F_{反}$  为反作用力，是行程  $x$  的函数。

图 3 为程序计算的框图。

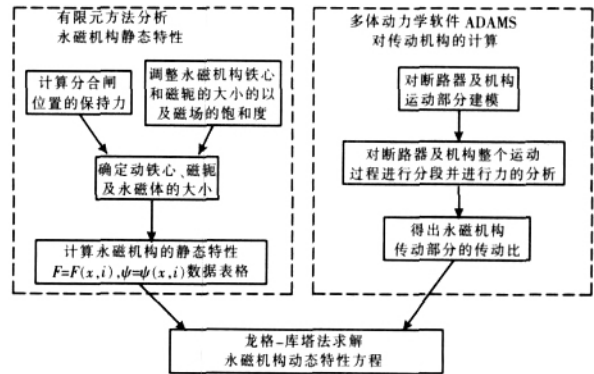


图 3 程序计算的框图

表 1 为利用图 3 程序框图的仿真结果。表 1 中  $d$  为线圈的线径， $N$  为线圈的匝数， $R$  为线圈电阻， $I$  为线圈的峰值电流， $v_{1\%}$  为触头刚分 6 mm 时的平均分闸速度， $v_{6\%}$  为触头分闸全程的平均分闸速度， $v_{\text{合}}$  为触头平均合闸速度。图 4(a)、(b) 分别为开关刚分 6 mm 的平均分闸速度随线圈线径与电流的变化。图 5(a)、(b) 分别为开关的平均合闸速度随线圈线径与电流的关系。从图 4、5 中可以得知，开关的分、合闸速度随着线圈线径的增加而增加，分、合闸速度随着电流的增加而增加。

通过仿真，有利于正确地选取机构的结构参数和线圈的参数，如通过表 1，可以选取分、合闸线圈的参数。

## 2 与直接传动结构的对比

为了对图 1 所示的传动结构与直接传动结构进行比较<sup>[1]</sup>，将图 1 的机构用一个简单的杠杆机构进

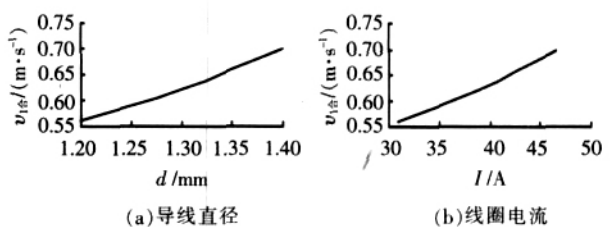


图 5 断路器合闸速度与导线直径、线圈电流的关系

行等效,假设机构的几何尺寸不变,分合闸线圈的窗口面积不变,机构的行程不变。对断路器及灭弧室部分也做如下假设:灭弧室动触头的行程不变,灭弧室的超程及触头弹簧不变。在断路器的分、合闸运动过程中,由于四连杆的作用,图1所示结构的传动比

(灭弧室的行程与机构行程的比值)是变化的,等效后的结构在分、合闸运动过程中,传动比是一个定值,将此结构进行动态计算,计算结果见表2。图6(a)、(b)分别示出了两种结构分合闸速度随分合闸线圈电流的变化曲线。

表2 线圈线径与断路器分、合闸速度的关系(电容器的充电电压  $U=80\text{ V}$ )

d/mm		N/匝		R/		I/A		$v_{1分}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	$v_{2分}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	$v_{合}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$
分闸	合闸	分闸	合闸	分闸	合闸	分闸	合闸	分闸	分闸	合闸
1.4	1.2	308	368	0.980	1.59	30.29	28.88	0.60	0.80	0.60
1.5	1.3	273	315	0.756	1.16	37.08	36.17	0.66	0.88	0.67
1.6	1.4	240	280	0.538	0.89	45.69	43.36	0.71	0.96	0.72
1.7		198		0.427		61.83		0.80	1.08	

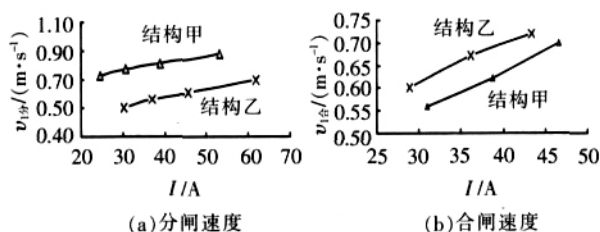


图6 断路器分、合闸速度与线圈电流的关系

表2中d为线圈的线径,N为线圈的匝数,R为线圈电阻,I为线圈的峰值电流, $v_{1分}$ 为触头刚分6 mm时的平均分闸速度, $v_{2分}$ 为触头分闸全程的平均分闸速度, $v_{合}$ 为触头全程的平均合闸速度。结构甲为机构通过一个四连杆来驱动灭弧室;结构乙为机构通过一个杠杆来驱动灭弧室。

显而易见,比较两种结构,当断路器进行分闸时,在分闸线圈电流相同的情况下,结构甲的分闸速度大于结构乙的分闸速度;当断路器进行合闸时,在合闸线圈电流相同的情况下,结构乙的合闸速度大于结构甲的合闸速度。然而断路器的分闸速度要求较高,而对合闸速度要求较低,如,对于结构甲,分闸线圈的线径取  $d=1.6\text{ mm}$ ,  $N=240$  匝,电阻  $R=0.583$  ,线圈的电流  $I=38.82\text{ A}$ ,动触头在刚分6 mm时的分闸速度  $v_{1分}=0.91\text{ m/s}$ ;合闸线圈的线径取  $d=1.2\text{ mm}$ ,  $N=368$  匝,电阻  $R=1.59$  ,线圈的电流  $I=30.94\text{ A}$ ,动触头的合闸速度  $v_{合}=0.56\text{ m/s}$ ,即在保证分合速度要求的情况下,分、合闸线圈的最大电流为  $I=38.82\text{ A}$ 。对于结构乙,分闸线圈的线径取  $d=1.7\text{ mm}$ ,  $N=198$  匝,电阻  $R=0.427$  ,分闸线圈的电流  $I=61.83\text{ A}$ ,动触头在刚分6 mm时的分闸速度  $v_{1分}=0.80\text{ m/s}$ ;合闸线圈的线径取  $d=1.2\text{ mm}$ ,  $N=368$  匝,电阻  $R=1.59$  ,线圈的电流  $I=28.88\text{ A}$ ,动触头的合闸速度  $v_{合}=0.60\text{ m/s}$ ,然而分闸速度  $v_{1分}=0.80\text{ m/s}$  对于断路器而言,速度已经偏低,此时分、合闸线圈的最大电流为  $I=61.83\text{ A}$ 。显然,在满足断路器分、合闸速度的基础上,结构乙的电流大于结构甲的电流。这是由于在开关合闸位置附近,由于四连杆的作用,它的传动比(即灭弧室的行程与机构的行程的比值)较小,而在分闸位置附

近,传动比较大,这正好与真空开关的反力特性(即由于触头弹簧的作用,在合闸位置附近,反力较大,而在分闸位置附近,反力较小)相吻合,因此,在灭弧室的行程与机构的行程不变的情况下,结构甲的操作线圈的峰值电流小于结构乙的操作线圈的峰值电流。

### 3 结语

由于增加了一套四连杆机构,结构甲较结构乙复杂,占用空间也大,因此,在设计断路器时,应根据机构的位置和占用空间综合考虑,选取更合适断路器的结构。

(1) 采用多体动力学软件包 ADAMS 建立了带四连杆的配永磁机构的真空断路器的动力学模型。将磁场方程、电路方程和机械运动方程耦合求解,解决复杂传动方式永磁机构动特性的计算问题。

(2) 在机构的几何尺寸不变、分合闸线圈的窗口面积不变、机构的行程不变、灭弧室的超程与触头弹簧及灭弧室的行程与机构的行程不变,断路器分合闸速度相同的情况下,断路器的灭弧室通过四连杆传动来驱动和通过一个杠杆来驱动相比较,前者的分合闸最大操作电流较小。

### 参考文献:

- [1] YOU Yi-ming, CHEN De-gui. The Optimal Design Parameters Selection of Permanent Actuator for Vacuum Circuit Breaker Based on Dynamic Characteristic Analysis [C]// XXth ISDEIV Proceedings, Tours(France), 2002: 584-587.
- [2] 林 华. 永磁机构与真空断路器[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [3] MCKEAN B A R, REUBER D R C. Magnets & Vacuum-the Perfect Match [C]// Trends in Distribution Switchgear Conference, London, UK, 1998: 73-79.
- [4] 贾申利, 陈德桂, 荣命哲, 等. 基于机构动力学特性仿真的高压断路器优化设计器[J]. 西安交通大学学报, 2002(12): 20-22.
- [5] 贾申利, 陈德桂, 荣命哲, 等. 高压开关柜的在线监测和故障诊断[J]. 电工技术杂志, 2001(3): 20-22.