

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.07.001

特高压断路器连杆传动机构效率优化研究*

孟凡刚, 巫世晶*, 张增磊, 张 凡
(武汉大学 动力与机械学院, 湖北 武汉 430072)

摘要:针对特高压断路器连杆传动机构效率低下、传动可靠性不高的问题,通过对特高压断路器连杆传动机构的组成原理进行分析,建立了特高压断路器连杆传动机构的运动微分方程,并根据能量守恒原理建立了该传动机构的效率计算模型,对模型进行求解后得到该传动机构效率随行程的变化规律;然后在保证特高压断路器连杆传动机构满足特定运行要求的基础上,根据机构效率模型的求解结果,通过改变连杆传动机构的铰接点位置和杆件长度,设计出了新的连杆传动机构优化方案,传动角接近 90°,传动效率提高 6% 以上,使连杆机构达到更好的传动效果。研究表明,所建立的机构效率计算模型和优化设计方案可有效提升特高压断路器传动机构的传动效率和工作性能。

关键词:传动机构;优化设计;效率;特高压断路器

中图分类号:TH113;TM561

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2014)07-0819-05

Efficiency optimization of the connecting rod drive mechanism of the ultra-high voltage circuit breaker

MENG Fan-gang, WU Shi-jing, ZHANG Zeng-lei, ZHANG Fan

(School of Power and Mechanical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Aiming at the low efficiency and reliability of the ultra-high voltage circuit breaker transmission mechanism, the kinematic differential equations of the mechanism was built based on analyzing the mechanism's composition principle, and the efficiency calculation model of the mechanism was built according to the conservation of energy. By solving this model, efficiency curves changing with stroke were obtained. Meanwhile, a new optimal scheme was designed according to the efficiency calculation model by changing the articulated point position and length of the connecting rod, considering the certain needs of the transmission mechanism were met. Better was the transmission performance that the transmission angle was close to 90 degree and the transmission efficiency was improved more than 6%. The results indicate that the transmission efficiency and performance of the mechanism could be effectively improved and optimized by adopting the model, which calculates the organization efficiency and optimizes the design method of high voltage circuit breaker transmission mechanism.

Key words: transmission mechanism; optimization design; efficiency; ultra-high voltage circuit breaker

0 引 言

在国内外工程实际应用中,机构的高传动效率和高可靠性是现代机械产品、尤其是特种高速重载机构设计的重要保证^[1]。例如特高压断路器从操动机构到动触头之间配有连杆传动机构,其传动过程复杂、运行条件苛刻,它的机械性能和传动效率对断路器的正

常高效工作有很大影响,会直接影响断路器的分合闸速度特性,进而影响断路器的开断能力、关合能力、机械寿命等。因此,传动机构是使断路器各部分相互联系和协调工作、并保证断路器性能的重要环节。

当今的机械传动正朝着大功率、高效率、小体积、以及长寿命的方向发展,机械工业各领域中都非常重视对传动机械效率的研究^[2-4],其效率的高低直接影响

收稿日期:2014-02-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51375350);湖北省科技厅重点资助项目(2011132094);国家电网公司科技资助项目(208239881)。

作者简介:孟凡刚(1988-),男,河北清苑人,主要从事机械动力学方面的研究。E-mail:76811886@qq.com

通信联系人:巫世晶,男,教授,博士生导师。E-mail:wsj@whu.edu.cn

到整个设备运行的效率,进而影响到整个设备的成本和企业的经济效益^[5]。因此,本研究以特高压断路器的连杆传动机构为对象,研究机构的传动效率及其影响因素,并进行机构效率的优化设计,在保证机构可靠性的基础上提高其传动效率。

1 特高压断路器连杆传动机构

根据特高压断路器传动机构的行程要求,绝大部分断路器的触头都是作直线运动,即直线运动机构^[6]。为研究特高压断路器传动机构,应首先对于一些直线机构进行特性分析。其研究思路如图 1 所示。

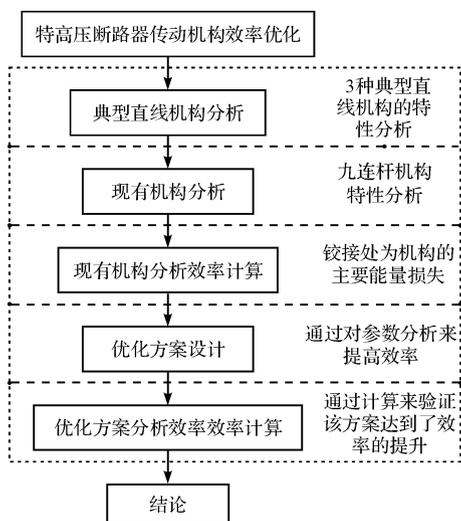


图 1 传动机构优化设计思路

1.1 典型直线机构

直线机构种类繁多,典型直线传动机构的分类主要为带滑块(导向装置)的连杆机构和准确椭圆直线机构等^[7-9]。

1.1.1 摇杆滑块机构

摇杆滑块机构如图 2(a)所示。摇杆滑块机构由一根摇杆(作旋转运动)、一根连杆和一个在导轨中移动的滑块(在动力机械中是活塞和汽缸)组成。摇杆和连杆以及连杆和滑块,均是铰接的。当摇杆摆动时,滑块在导轨中作直线运动。高压开关的触头连接在滑块上,因此触头具有直线运动的特性。

摇杆滑块机构特性:动触头具有较大的行程,主轴转角较大,对导向要求高,当 α 大而 γ 小时,机构具有较高的效率。但在运动过程中实际上是作不到这一点的,当 α 大时 γ 也要增大,所以这个机构的效率是提不高的。它的优点是具有二死点位置,利用死点的特性,可以获得较大的机械利益,起到省力的作用。

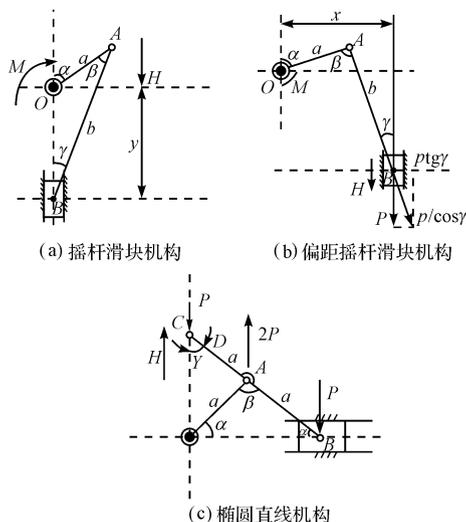


图 2 典型直线机构机构

1.1.2 偏距摇杆滑块机构

摇杆滑块机构的偏角 γ 太大,会引起过大的摩擦,降低机构的效率。将摇杆的转轴偏置于导轨中线一侧时,可以适当增大 α 值以及减小偏角 γ 值,从而获得较高的机械效率,这种机构称之为偏距摇杆滑块机构,如图 2(b)所示。

偏距摇杆滑块机构特性:偏距摇杆滑块机构是广泛使用的,它不但用作触头行程机构,同时又用作一般的机械传动适用于多种高压断路器中。从图 3 中可以看出,这种布置直线机构所占的尺寸极小、零件最少,这是偏距摇杆—滑块机构的优点。

1.1.3 准确椭圆直线机构

椭圆直线机构如图 2(c)所示。该机构的摇杆与连杆之铰接点为 A 点,连杆在导轨中的端点为 B 点,另一端点为 C 点,该机构的连杆上任意一点的轨迹均为椭圆,因而其为准确椭圆机构。

准确椭圆直线机构特性:动导电杆不需要导向,不受弯曲,随着 α 变大效率就会越高,摩擦损失就会越少,但对于扩大行程需求时 α 会在较小的范围内运动,从而致该机构的效率比较低。

1.2 特高压断路器传动机构分析

特高压断路器传动机构主要作用为传递运动、改变力的方向,通过液压操动机构控制断路器的动触头的运动,实现电流的切断与接通^[10],其具体结构如图 3 所示。对于特高压断路器来说,为保证有效地切断、接通电流,传动机构一般均采用双断口结构,因此该机构上部分具有一定的对称性,对该传动机构的组成进行分析,该传动机构可以看成是由 4 组偏距—摇杆滑块机构组成。

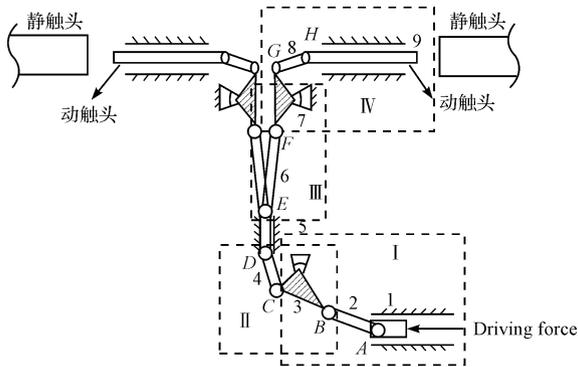


图3 特高压传动机构结构示意图

1—接头;2—连杆;3—下拐臂;4—连板;5—密封杆;
6—绝缘拉杆;7—主拐臂;8—连板;9—动触头

2 现有机构效率计算

下面对图3的4组机构进行效率分析计算。第I组机构如图4(a)所示。

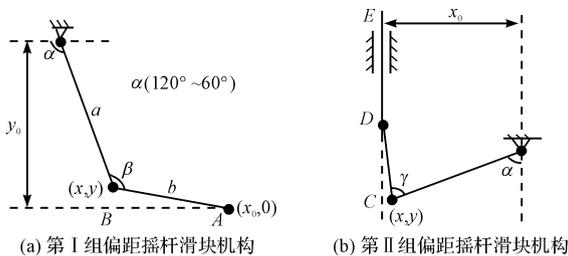


图4 第I、II组偏距摇杆滑块机构

$$y_0 - y - b \sin \gamma = 0 \quad (1)$$

$$x_0 - x - b \cos \gamma = 0 \quad (2)$$

$$-z - dx_0 = 0 \quad (3)$$

$$dH + dx + z = 0 \quad (4)$$

式中: z — y 坐标变化而 x 左边不变的行程增量, H —连接 A 端液压缸活塞杆的行程。

联立式(1~4),通过微积分方法可求解:

$$H = a(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) + \frac{a}{b} y_0 (\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1) + \frac{a^2}{4b} (\cos 2\alpha_2 - \cos 2\alpha_1) \quad (5)$$

式中: α_1, α_2 — α 的起始角度和终止角度。

以活塞杆 A 端作为原动力,根据能量守恒定律有:

$$M_a \cdot d\alpha = p \cdot dH + dw \quad (6)$$

$$dw = p\rho (|d\beta| + |d\gamma| + k_1 \rho_a |d\alpha|) \quad (7)$$

$$\eta = \frac{M_a \cdot d\alpha}{p dH} \quad (8)$$

式中: M —力矩,其中 k_1 可通过合力的方法求得; p —施加的恒力; ρ, ρ_a —摩擦圆半径; η —传动效率; dw —摩擦损耗,由转销的摩擦损耗组成^[11]。

联立式(5~8)可得:

$$\eta_1 = 1 - \frac{k\rho + k_1 \rho_a}{a \sin \alpha + a \cos \alpha \tan \gamma} \quad (9)$$

$$k = \frac{|d\beta| + |d\gamma|}{|d\alpha|} \quad (10)$$

$$\rho = f\varphi \quad (11)$$

第II组机构如图4(b)所示。建立数学模型时能量损失除了转销的摩擦损耗还有与连杆与密封腔的摩擦损耗。同上述分析方法可得:

$$\eta_2 = \frac{1}{(1 + f \tan \gamma) + \frac{k\rho}{\cos \gamma [a \sin \alpha + \lambda \cos \alpha (x_0 - a \sin \alpha)]}} \quad (12)$$

式中: γ 与 $x_0 - a \sin \alpha$ 均极小,则公式可简化为:

$$\eta_2 = \frac{1}{1 + \frac{k\rho}{a \sin \alpha}} \quad (13)$$

表1 各组机构参数

参数	第I组	第II组	第III组	第IV组
Φ/mm	40	40	30	30
Φ_a/mm	80	—	55	—
k_1	1.48	—	1.11	—
k	1	1	1	1
$\alpha_1/^\circ$	120~60	60~120	120~60	60~120
a/mm	230	180	180	280
f	0.3	0.3	0.3	0.3

通过表1的参数可得各组机构的效率:

$$\eta_1 = 1 - \frac{0.1}{\sin \alpha_1} \quad (14)$$

$$\eta_2 = \frac{1}{1 + \frac{0.03}{\sin \alpha_2}} \quad (15)$$

$$\eta_3 = 1 - \frac{0.076}{\sin \alpha_3} \quad (16)$$

$$\eta_4 = \frac{1}{1 + \frac{0.016}{\sin \alpha_4}} \quad (17)$$

因为该特高压连杆传动由这4组偏距摇杆机构串联组成,可知其总效率为:

$$\eta_{\text{总}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \quad (18)$$

各组机构效率随液压缸行程变化的关系如图5所示,每组的偏距摇杆滑块机构均保持在0.85以上的较高效率。该传动机构效率随行程的最高效率为0.7945,最低的效率为0.7657。

3 机构优化设计

从图5可知,偏距摇杆滑块机构形式具有较高的效率,所以该传动机构设计是采用不改变机构的形式,

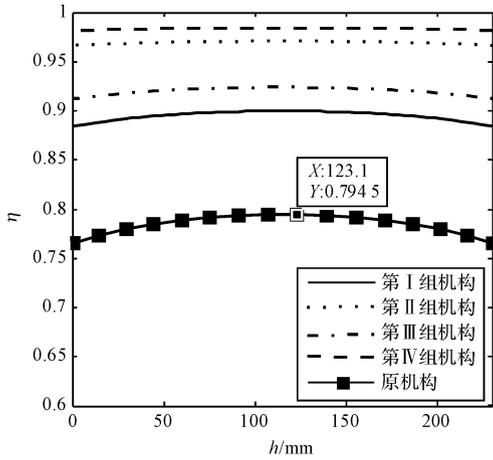


图 5 各组机构及原机构效率随液压缸行程变化的关系

4 组机构依然均是偏距-摇杆滑块机构,在满足输入 230 mm 行程输出 280 mm 行程的前提下,通过改变各构件的位置和结构参数来进行优化设计。

通过对原传动机构分析,为使传动效果更好,效率更高,设计第 I、II 偏距滑块机构的运行轨迹如图 6 所示,即在起始与终了位置时连杆与滑块的传动角达到最大 90°。在传动机构整个运动过程中,该运动轨迹可满足连杆与滑块、连杆与摇杆的传动角均接近 90°,从而达到理想的传动效果。

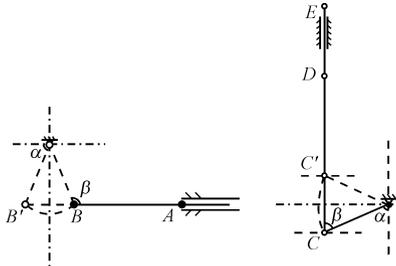


图 6 第 I、II 组偏距摇杆滑块机构优化运动轨迹

根据图 6 的设计轨迹,在满足要求输入行程 230 mm,输出行程 280 mm,保证实际工况的零件尺寸要求的基础上,优化后机构的机构参数如表 2 所示。

表 2 优化前后机构参数对比

参数	原机构	新机构
α (拐臂转角)/°	60	45
L_{AB} /mm	248	500
L_{BC} /mm	294	440
L_{CD} /mm	110	500
L_{DE} /mm	492	380
L_{EF} /mm	900	500
L_{FC} /mm	333	477
L_{CH} /mm	180	500

根据表 2 参数进行优化的特高压断路器连杆传动机构结构如图 7 所示。

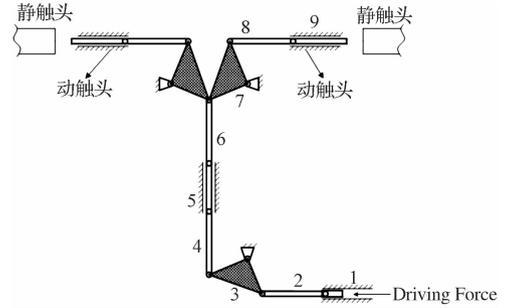


图 7 优化的特高压断路器连杆传动机构结构示意图

4 组偏距摇杆滑块机构的效率公式及行程公式为:

$$\eta_1 = 1 - \frac{0.074}{\sin\alpha_1} \quad (19)$$

$$\eta_2 = \frac{1}{1 + \frac{0.018}{\sin\alpha_2}} \quad (20)$$

$$\eta_3 = 1 - \frac{0.047}{\sin\alpha_3} \quad (21)$$

$$\eta_4 = \frac{1}{1 + \frac{0.012}{\sin\alpha_4}} \quad (22)$$

通过式(16)可得优化后机构的总效率,优化后的新机构总效率与原机构总效率随液压缸行程变化关系图如图 8 所示。从图 8 中可知,优化传动机构满足输入行程要求,最高效率由原先的 0.794 5 提高到 0.856 5,最低效率由 0.765 7 提高到 0.845 4;优化前、后效率提高 6% 以上。

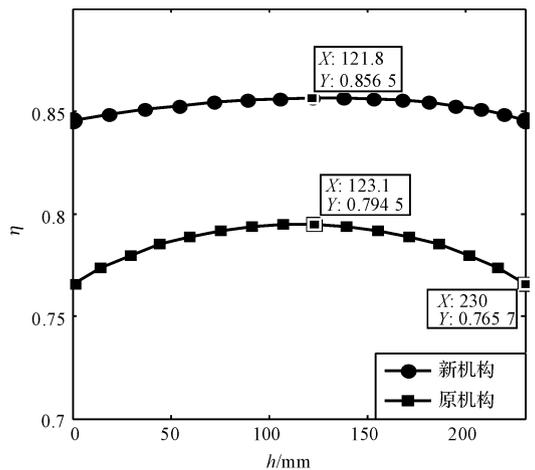


图 8 优化前、后传动机构效率随液压缸行程变化的关系 (下转第 843 页)

本文引用格式:

孟凡刚,巫世晶,张增磊,等. 特高压断路器连杆传动机构效率优化研究[J]. 机电工程,2014,31(7):819-822,843.

MENG Fan-gang, WU Shi-jing, ZHANG Zeng-lei, et al. Efficiency optimization of the connecting rod drive mechanism of the ultra-high voltage circuit breaker [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014,31(7):819-822,843.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

5 结束语

本研究规划了四足机器人的步态,通过 Pro/E 和 ADAMS 软件建立虚拟样机,并利用 ADAMS 软件进行了步态仿真、运动学和动力学分析,论证了步态规划的可行性和利用 7 次位移曲线对液压缸进行位置控制的优越性。基于理论分析结果,笔者在四足机器人原理样机上进行调试试验。仿真与试验结果表明,本研究通过采用 7 次位移曲线消除了液压缸运动加速度和加加速度的突变,液压缸的动作冲击大大减小,四足机器人具有良好的稳定性。

参考文献(References):

- [1] 王吉岱,卢坤媛,徐淑芬,等. 四足机器人研究现状及展望[J]. 制造业自动化,2009,31(2):4-6.
- [2] 马东兴,王延华,岳林. 新型四足机器人步态仿真与实现[J]. 机械制造与自动化,2008,37(3):30-33.
- [3] ZHANG Ru-xiang, VADAKKEPAT P. An Evolutionary Algorithm for Trajectory Based Gait Generation of Biped Robot [D]. Kent Ridge: Department of Electrical and Computer Engineering, National University of Singapore. ,1999.
- [4] 黄博. 四足机器人行走步态及 CPG 控制研究[D]. 哈

尔滨:哈尔滨工业大学机电工程学院,2007.

- [5] 陆卫丽,卞新高,焦建,等. 四足爬行机器人步态分析与运动控制[J]. 机电工程,2012,29(8):886-889.
- [6] XV T, CHEN Q. Learning gait of quadruped robot without prior knowledge of the environment[J]. **Chinese Journal of Mechanical Engineering**,2012,25(5):1068-1074.
- [7] 陈伟华,张铁,崔敏其. 基于五次多项式过渡的机器人轨迹规划的研究[J]. 煤矿机械,2011,32(12):49-50.
- [8] 谭胜龙. 轨迹快速实现机器人设计[J]. 机电工程技术,2012,11(1):64-67.
- [9] 徐铁群,万隆君. 四足步行机器人稳定性步态分析[J]. 制造业自动化,2001,23(8):5-7.
- [10] 张碧陶,高伟强,沈列,等. S 曲线加减速控制新算法的研究[J]. 机床与液压,2009,37(10):27-29.
- [11] 晏祖根,王瑞泽,孙智慧,等. 四自由度并联机器人运动学分析[J]. 包装与食品机械,2014(2):34-36,57.
- [12] 刘宏伟. 基于 ADAMS 的五自由度机器人运动学仿真[J]. 制造业自动化,2009,31(3):73-75.
- [13] 黄克亚,陈庆. 基于数字 PID 算法的机器人运动控制[J]. 自动化应用,2012(12):73-75.
- [14] 于蓬,张为春,裴宝浩. 抢险机器人手臂液耦合仿真分析[J]. 液压气动与密封,2011,39(6):29-33.

[编辑:张豪]

本文引用格式:

殷勇华,卞新高,陆卫丽. 液压驱动四足机器人步态规划和运动控制[J]. 机电工程,2014,31(7):839-843.

YIN Yong-hua, BIAN Xin-gao, LU Wei-li. Gait planning and motion control on the hydraulic pressure actuated quadruped robot[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014,31(7):839-843.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第 822 页)

4 结束语

为了提高特高压断路器传动机构的性能,本研究对传动机构进行了效率优化分析,主要结论如下:

(1) 对于复杂的机构进行分解简化,该特高压断路器传动机构可分解为由 4 组偏距-摇杆滑块机构串联组成。

(2) 通过对特高压断路器机构进行分析,建立效率计算模型,通过对其进行优化,可将其效率提高 6% 以上。

(3) 特高压断路器传动机构的连杆与摇杆的夹角在 90° 附近范围内变化时效率较高;使铰接处旋转的角度变小可提高效率,但是在满足行程的要求下,不可避免地要增加杆件的尺寸,需要综合考虑。

参考文献(References):

- [1] THOMPSON B. An Experimental and Analytical Study of the Dynamic Response of a Linkage Fabricated From A Unidirectional Fiber-reinforced Composite Laminate [C]// American Society of Mechanical Engineers, Design and Production Engi-

neering Technical Conference. Washington, DC: [s. n.], 1982:526-533.

- [2] 杨侠,宋晶. 四连杆抽油机传动机构的结构计算与优化[J]. 机电工程,2013,28(9):89-92.
- [3] 周仲荣. 摩擦学发展前言[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [4] 张策. 弹性连杆机构的分析与设计[M]. 北京:机械工业出版社,1989.
- [5] 吕庸厚. 按机构效率设计直动从动杆的凸轮机构[J]. 食品与生物技术学报,1983,2(1):38-39.
- [6] 徐国政,张节容. 高压断路器原理和应用[M]. 北京:清华大学出版社,2008.
- [7] 张策. 机械动力学[M]. 北京:高等教育出版社,2008.
- [8] 王志明. 八连杆振动机构振动特性理论的研究[J]. 机械工程学报,1999,35(4):135-141.
- [9] 王松. 双曲柄连杆机构柴油机的摩擦损失分析[J]. 哈尔滨工程大学学报,2002,23(5):42-46.
- [10] 陈杰. 特高压断路器连杆传动机构非线性特性研究[D]. 武汉:武汉大学动力与机械学院,2013.
- [11] 周仲荣. 摩擦学发展前言[M]. 北京:机械工业出版社,2006.

[编辑:张豪]