

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2018.05.008

# 非圆周节流槽在叉车多路阀上的应用

谢建伟,刘怡辰,陈寅,袁晓鹏,于锦

(浙江华昌液压机械有限公司,浙江杭州 311305)

**摘要:**针对叉车多路阀微动特性性能的要求,对目前叉车多路阀上几种常见非圆周节流槽过流面积进行了分析。对阀芯位移与油口通断时形成的压力与流量特性参数进行了研究,运用 MathCAD 计算软件对现有 U 形节流槽进行了仿真计算,利用试验设备对 U 形节流槽的开启闭合进行了数据采集,并将仿真、计算所得数据与实际试验数据进行了对比,建立了较为准确的仿真模型。研究结果表明:通过模拟仿真可有效对叉车多路阀阀芯所需节流槽种类和分布状况进行设计研究,通过试验试制测试叉车新阀阀芯微动特性,可大大改善叉车多路阀阀芯的控制特性,减少研发时间。

**关键词:**多路阀;微动特性;阀口面积;节流槽;试验验证

中图分类号:TH137

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2018)05-0486-04

## Application of non-circular throttling grooves on multi-way valve of forklift

XIE Jiang-wei, LIU Yi-chen, CHEN Yin, YUAN Xiao-peng, YU Jin

(Zhejiang Huachang Hydraulic Machinery Co., Ltd., Hangzhou 311305, China)

**Abstract:** Aiming at the requirements of the micro-dynamic characteristics of forklift's multi-channel valve, the flow area of non-circular throttling grooves was analyzed on some kind of forklift multi-way valves, referred to the characteristic parameters of the pressure and flow which formed by the valve core displacements and oil openings, the existing U-notch was simulationed and analyzed by MathCAD software, date of the U-notch opened and closed were got by test equipment, the data of simulated and calculated were compared with the actual theoretical testing data, it created a more accurate simulation model. The results indicate that the types and distribution of throttling slots for forklift multi-valve core could be designed and studied rapidly by simulated. The micro-dynamic characteristics of forklift's multi-channel valve was got by equipments, it could improve the control characteristics of forklift's multi-channel valve, reduce the research times, develop more kind of throttle grooves.

**Key words:** multi-way valve; micro-dynamic characteristics; orifice area; notches; experimental verification

## 0 引言

滑阀节流槽广泛应用于液压执行机构的多路阀阀芯中,其流量特性满足执行机构在不同工况下的流量要求,进而控制执行元件的运动方向和速度<sup>[1-3]</sup>。同时,合理设计节流槽能使多路阀在换向过程中的流量特性平稳,减小压力变动对多路阀以及执行元件的冲击。国内外学者对节流槽过流面积的计算及阀口优化设计等方面都有很多研究<sup>[4-9]</sup>,对于叉车多路阀节流槽的设计分析并不多。然而,一般叉车节流槽的设计多依赖于设计

者的经验,为了能获得符合实际工况的阀口,需不断调整节流阀类型和结构尺寸,通过多次估算及样件加工测试才能满足要求,使得其工作效率低且设计成本普遍偏高。

本文将通过对常见叉车多路阀上节流槽的过流面积分析计算,采用仿真分析<sup>[10-11]</sup>,并与实际试验多路阀微动特性项目压力流量数据进行对比。

## 1 几种叉车多路阀常见滑阀节流槽过流面积分析计算

非圆周开口滑阀阀口均布置了不同形状的节流槽

收稿日期:2017-09-12

作者简介:谢建伟(1986-),男,浙江绍兴人,工程师,主要从事液压元件方面的设计工作。E-mail:15868156168@163.com

和其组合。节流槽滑阀阀口具有水力半径大、抗阻塞性能良好、面积梯度容易控制、流量调节范围宽等优点,可以通过合理配置节流槽,获得丰富的多级阀口面积曲线,实施对流量的多级节流控制,满足不同工况下叉车液压执行机构对运动速度的要求。本文简单分析 3 种叉车多路阀上常见节流槽。

### 1.1 U 形节流槽

U 形节流槽为圆柱形铣刀沿阀芯轴线方向旋转切割阀芯凸肩而成,具有二级节流的典型特征,前半段为半圆槽,后半段为等截面流道。

U 形节流槽阀口面积计算简图如图 1 所示。

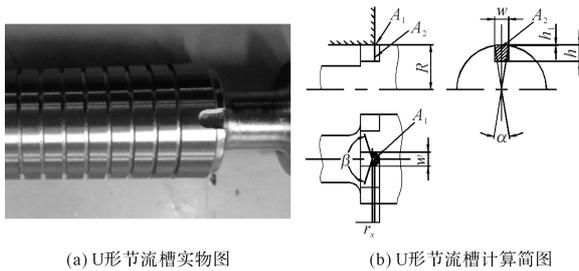


图 1 U 形节流槽阀口面积计算简图

确定 U 形节流槽的阀口面积  $A_u$  按两个节流面  $A_1$  和  $A_2$  的串联等效计算。

(1) 流量方程:

$$q_v = C_d A_u \sqrt{\frac{2g\Delta p}{\rho}} \quad (1)$$

(2) 压力方程:

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 \quad (2)$$

由式(1,2)可得出:

$$\frac{q_v^2}{C_{d1}^2 A_u^2} = \frac{q_v^2}{C_{d1}^2 A_1^2} + \frac{q_v^2}{C_{d2}^2 A_2^2} \quad (3)$$

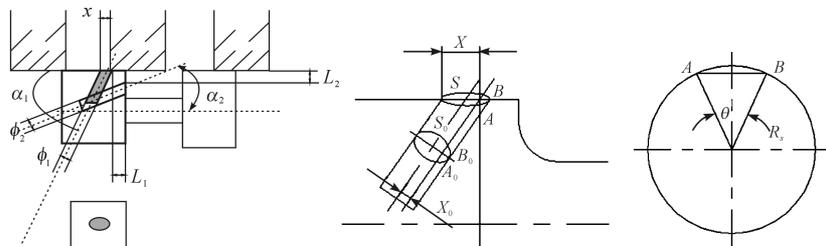
取:  $C_{d1} = C_{d2} = C_{d2}$ , 则可得出 U 形槽的阀口面积为:

$$A_u = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2}}} \quad (4)$$

当  $0 \leq x \leq r$  时,半弦长  $W/2 = \sqrt{r^2 - (r-x)^2}$ ,  $\alpha = 2\arccos((r-x)/r)$ ,  $\beta = 2\arcsin(W/(2R))$ ,  $h_1 = R - \sqrt{R^2 - (W/2)^2}$ , 则有:



(a) RL形节流槽实物图



(b) RL形节流槽计算简图

图 3 RL 形节流槽阀口面积计算简图

$$A_1 = \frac{1}{2}r^2 \cdot \alpha - (r-x) \cdot \frac{W}{2} \quad (5)$$

$$A_2 = (h-h_1) \cdot W + R^2 \cdot \beta - (R-h_1) \frac{W}{2} \quad (6)$$

当  $x > r$  时  $W = 2r$ ,  $\beta = 2\arcsin(r/(2R))$ ,  $h_1 = R - \sqrt{R^2 - (W/2)^2}$ , 则:

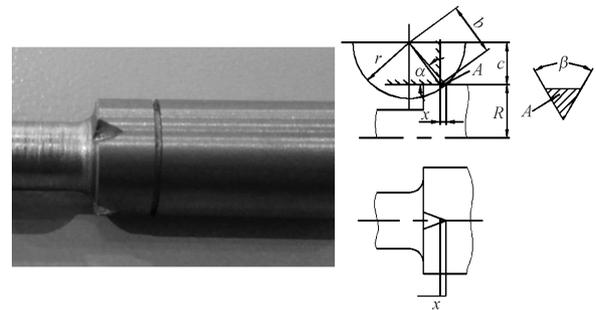
$$A_1 = \frac{1}{2}r^2 \cdot \pi - 2r(x-r) \quad (7)$$

$$A_2 = 2r(h-h_1) + R^2 \cdot \beta - (R-h_1)r \quad (8)$$

式中:  $R$ — 阀杆半径;  $r$ — U 形槽半径;  $h$ — U 形槽深度。

### 1.2 V 形节流槽

V 形节流槽为角度铣刀沿圆弧轨迹旋转切割阀芯凸肩而成,面积与三角形极接近,V 形节流槽阀口面积计算简图如图 2 所示。



(a) V形节流槽实物图

(b) V形节流槽计算简图

图 2 V 形节流槽阀口面积计算简图

可用三角形面积来计算 V 槽的节流面积。

$$\text{角度: } \alpha = \arcsin \frac{c}{r},$$

$$\text{长度: } b = \sqrt{r^2 + x^2 - 2rx \cos \alpha},$$

由此可得出:

$$A_v = (r-b) \cdot \tan \frac{\beta}{2} (r-b) \quad (9)$$

式中:  $r$ — 铣刀半径;  $c$ — 铣刀轴中心与阀杆半径  $R$  相减而得;  $\beta$ — 铣刀的道具夹角。

### 1.3 RL 形节流槽

RL 形节流槽为两个小孔组合而成,RL 形节流槽阀口面积计算简图如图 3 所示。

由图3可得知,RL形节流槽的节流面积计算公式如下:

$$x_0 = xg\sin\alpha_1 \quad (10)$$

$$AB = A_0B_0 = 2\sqrt{\left(\frac{\varphi_1}{2}\right)^2 - \left(\frac{\varphi_1}{2} - x_0\right)^2}$$

$$= 2\sqrt{\left(\frac{\varphi_1}{2}\right)^2 - \left(\frac{\varphi_1}{2} - xg\sin\alpha_1\right)^2} \quad (11)$$

$$\theta = 2g\arcsin\left(\frac{AB}{2gR_s}\right)l_{AB} = \theta gR_s \quad (12)$$

$$a = \int_0^x l_{AB} dx \quad (13)$$

$$b = \frac{1}{4}\pi g\phi_2^2 \quad (14)$$

经参数赋值后,通过计算软件计算可得出其过流面积与开启位移之间的曲线关系,如图4所示。

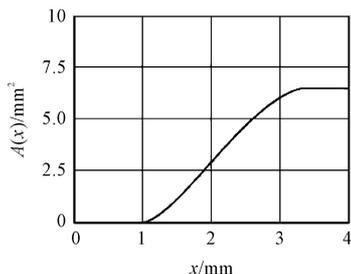


图4 RL形节流槽过流面积与开启位移关系

阀口初始开启阶段过流面积梯度为0,在开启位移1 mm ~ 3 mm处过流面积梯度最大,开启位移超过3 mm后面积梯度恢复0值。可见,该类型阀口节流槽适用于阀口对开启闭合阶段控制要求不高的阀口,一般用在叉车下降阀口处。

## 2 U形节流槽微动特性试验数据及结果分析

在微动特性试验规定:P → A(B)流量微动特性时,要求进油口通以公称流量,将滑阀由中立缓慢移动到换向位置,同时保持A(B)油口加载负荷为公称压力的75%。本文设阀杆直径19 mm、公称流量120 L/min、公称压力20 MPa、出口负载15 MPa、出口水利直径28 mm、阀杆行程8.1 mm,U形槽节流从阀杆行程1.9 mm到4.2 mm,4.2 mm到7.1 mm节流槽部位为U形节流槽与环形面共同作用,之后至8.1 mm节流槽部位由阀杆小径与阀体组成的环形面。

U形节流槽特征参数决定了其过流面积为分段函数,运用软件MathCAD计算得出过流面积A(x)如图5所示。

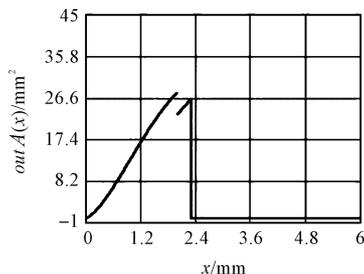


图5 U形节流槽过流面积

根据节流口流量计算公式: $q_x = C_d A_x \cdot \sqrt{(2\Delta p)/\rho}$ ,本文 $C_d$ 取0.62, $\rho$ 取889 kg/m<sup>3</sup>, $\Delta p$ 由流量仿真所得数据计算,得出 $(q/Q)\%$ 与 $(x/X)\%$ 的仿真结果曲线关系,如图6所示。

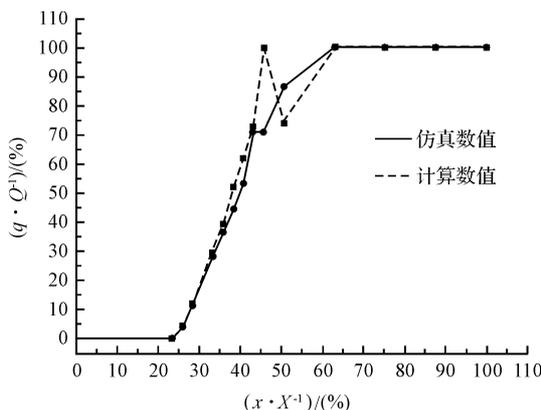


图6  $(q/Q)\%$ 与 $(x/X)\%$ 计算与仿真关系曲线

由图6曲线关系可知:U形节流槽的过流面积在阀口开度小于节流槽圆弧半径时,面积梯度变化较大,阀口开度大于节流槽圆弧半径时,面积增长较缓,综上所述理论计算与仿真数值趋势基本一致,只有在某个点上有些差异。

利用叉车多路阀试验平台来测试实际阀杆微动特性曲线,台架结构如图7所示。

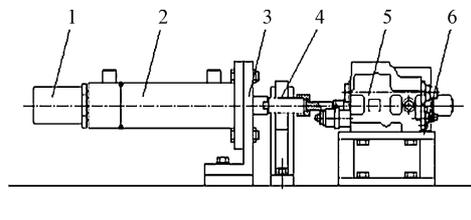


图7 微动特性试验台架

1—位移传感器;2—油缸;3—油缸固定架;4—微调机构;5—试验阀;6—阀固定架

试验中,各个工作口都配有压力传感器及流量传感器,对其压力和流量进行检测,同时通过计算机实时记录并绘制微动特性曲线,如图8所示。

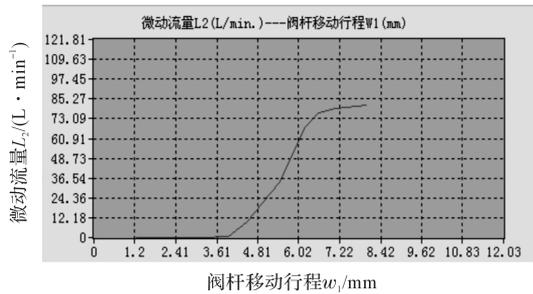


图8 试验微动特性曲线

比较图(6,8)可知:仿真与实际曲线基本趋势一致,只是仿真参数在开口开启段设置还需进一步的改善。

两图显示:U形节流槽在阀口开度较小时,流量增长较大,阀口开度较大时,流量比较平稳,该特性有利于提高叉车液压缸起动力灵敏度和快速稳定性。

### 3 结束语

本文首先从理论分析了3种叉车多路阀普遍应用的阀口节流槽,通过理论计算可以得出:在同一宽度、深度、长度以及遮盖量条件下计算3种节流槽过流面积,U形节流槽在阀口开度较小时( $x < r$ ),阀口面积梯度较大,阀口开度较大时( $x > r$ ),阀口面积增长较缓,一般用于叉车普通属具换向联中;V形节流槽阀口面积随阀口开度增大呈线性增大趋势,且V形槽截面形状越大,其阀口面积增加梯度也越大,一般用于叉车起升过程中;RL形节流槽阀口初始开启阶段过流面积梯度为0,在开启位移1 mm ~ 3 mm处过流面积梯度最大,开启位移超过3 mm后面积梯度恢复0值,一般用于叉车下降过程中。

再结合仿真分析U形节流槽曲线与理论计算曲线以及实际微动特性试验曲线的对比,本文验证了3

者趋势的统一性,说明目前简单节流槽基本可以通过理论计算与仿真分析来设计研究叉车多路阀节流槽微动特性曲线,大大减少了试制加工环节;对于微动特性要求较高的环境,可将不同形式和结构的节流槽相组合,设计出较为丰富的多级阀口面积曲线来控制流量特性,大大改善叉车多路阀阀芯的控制特性。

### 参考文献(References):

- [1] 焦宗夏,彭传龙,吴帅. 工程机械多路阀研究进展与发展展望[J]. 液压与气动,2013(11):1-6.
- [2] 雷天觉. 新编液压工程手册[M]. 北京:北京理工大学出版社,1998.
- [3] 叶小华,刘健,闵玉春,等. 阀口形状对多路阀静态性能的影响研究[J]. 液压与气动,2013(8):54-57.
- [4] 冀宏,王东升,丁大力,等. 非全周开口滑阀阀口面积计算方法[J]. 兰州理工大学学报,2008,34(6):48-51.
- [5] 强红宾,张立杰,王帅,等. 滑阀非典型阀口过流面积计算与仿真分析[J]. 液压与气动,2016(7):56-60.
- [6] 冀宏,王东升,刘小平,等. 滑阀节流槽阀口的流量控制特性[J]. 农业机械学报,2009,40(1):198-202.
- [7] 易迪升,彭勇,兰秋华,等. 典型滑阀节流槽的优化设计[J]. 液压与气动,2015(11):35-40.
- [8] 冀宏,傅新,杨华勇. 几种典型液压阀口过流面积分析及计算[J]. 机床与液压,2003(5):14-16.
- [9] 周永飞,初长祥,郭小龙,等. 几种常见液压阀节流槽过流面积估算及分析[J]. 液压气动与密封,2016(4):45-47.
- [10] 王晓娟. 小型液压挖掘机多路阀阀芯节流槽研究及应用[D]. 成都:西南交通大学机械工程学院,2010.
- [11] 陆海娇. 多路阀主阀口流量控制特性及液控单向阀启闭过程的研究[D]. 兰州:兰州理工大学能源与动力工程学院,2013.

[编辑:周昱晨]

#### 本文引用格式:

谢建伟,刘怡辰,陈寅,等. 非圆周节流槽在叉车多路阀上的应用[J]. 机电工程,2018,35(5):486-489.

XIE Jiang-wei, LIU Yi-chen, CHEN Yin, et al. Application of non-circular throttling grooves on multi-way valve of forklift[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2018,35(5):486-489.

《机电工程》杂志;http://www.meem.com.cn