



针对某款变速器油路中的节流小孔,因工艺影响,现有两种设计结构。运用 CFD 仿真对节流小孔不同结构进行内部流场分析。研究表明,节流小孔入油口端结构为平台或倒角,对压降性能有影响,其中入油口前端加平台,有涡流产生,造成较大局部能量损失,导致流经节流小孔前后端的压降最大。

□ 麦格纳动力总成(江西)有限公司 张倩 钟维 龚祥

节流小孔入油口前端不同结构的压降分析

在液压系统的管路中,装有截面突然收缩的装置,称为节流装置。突然收缩的流动叫节流,一般采用各种形式的孔口来实现节流。流体流经孔口时会产生局部压力损失,使系统发热,油液黏度下降,系统的泄漏增加。在液压传动及控制中,要人为地制造这种节流装置来实现对流量和压降的控制。

液压元件中的孔口按其长度与直径的比值分为三种类型,即薄壁小孔、厚壁孔(或短孔)、细长小孔。这些小孔的流量-压力特性有共性,但也不完全相同。孔口前后的压力差与通过孔口的流量、面积及孔口形式决定的特性系数有关。一般用下式表示,即:

$$q=KA\Delta P^m \quad (1)$$

式中, q 为通过孔口的流量 (m^3/s); A 为孔口截面积 (m^2); ΔP 为孔口前后的压力差 (N/m^2); m 为由孔口形状决定的指数, $0.5 \leq m \leq 1$, 当孔口为薄壁小孔时, $m=0.5$, 当孔口形状为细长孔时, $m=1$; K 为孔口的形状系数, 当孔口为薄壁孔时, $K=c_a\sqrt{2/\rho}$, 当孔口为细长孔时, $K=d^5/(32\mu l)$ 。式(1)在分析不同孔口结构的压降及其特性时使用。

CFD 建模及结果分析

(1) 模型 CFD 模型

根据某款变速器节流小孔在油路中的位置,进行结构简化,建立 CFD 模型,见图 1。

设置边界条件如下:入口为流量 $1\text{ L}/\text{min}$;出口为 1 个标准大气压;油液密度为 $840\text{ kg}/\text{m}^3$;油液动力黏度为 $137\text{ mPa}\cdot\text{s}$ (0°C)。

(2) 结果分析

针对模型中的节流位置,将入油口结构设置为 2 种状态,分别进行仿真模拟。状态 1:节流小孔前

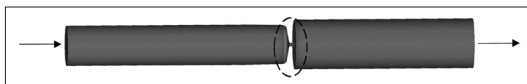


图 1 CFD 模型

端为长度 0.1 mm 的平台。状态 2:节流小孔前端为 50° 的倒角。两种状态的零件 CFD 仿真的计算结果见表 1 (本文中 $1\text{ bar}=100\text{ kPa}$)。根据 CFD 仿真结果,节流小孔入油口端设有平台对压降影响较大。在平台位置,导流效果变差,形成局部涡流,造成能量损失。CFD 结果见图 2 和图 3。根据结果,进一步分析现有两种设计在不同温度下的压降差异,得到结果(表 2)。

表 1 不同状态的节流小孔压降

	节流孔入口端为平台	节流孔入口端为倒角
压降 /bar	13.6	12.8

根据试验数据,绘制曲线,见图 4。结果表明,随着温度升高,两种结构状态的节流小孔压降逐渐变小,这是由于温度升高,油液黏度下降,流阻下降;但两者结构状态的节流小孔的压降差距仍然存在,且随着温度升高,差距有逐渐增大的趋势。

试验分析

针对 CFD 的仿真结果,节流小孔入油孔端为平台、倒角压降有较大差异,且随温度升高,差异有增大趋势。根据 ISO 3968 对两种状态的零件,进行流量压差试验。试验所得数据见表 3。根据试验数据,绘制曲线,如图 5 所示。通过试验台测得的压降均比 CFD 结果偏高;节流小孔入口端为平台的压降均高于入口端为倒角的零件,且差

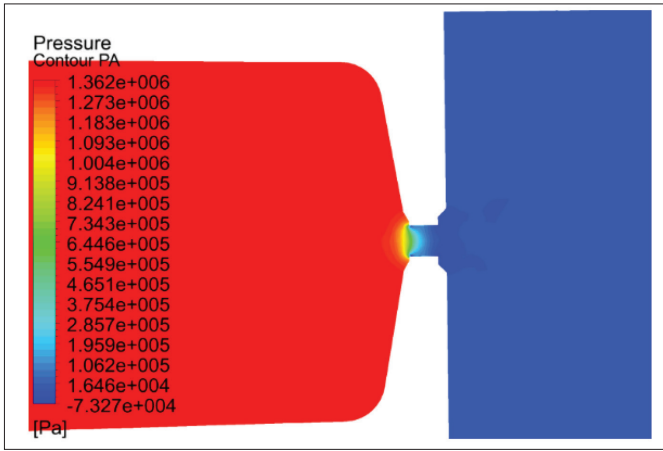


图2 压力

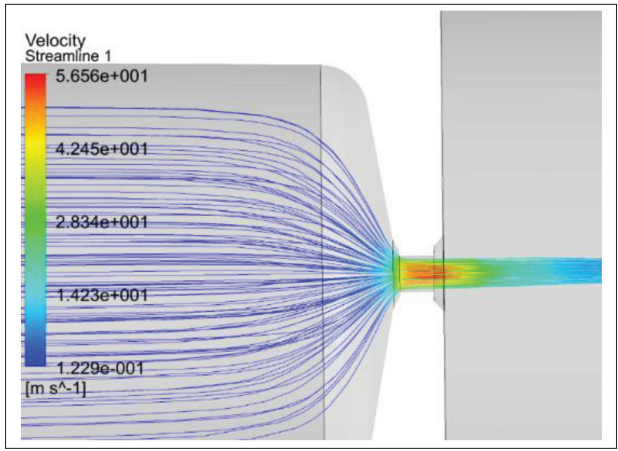


图3 速度云图

表2 不同温度下两种结构小孔的压降

温度 / °C	节流小孔前后的压降 / bar	
	节流孔入口端为平台	节流孔入口端为倒角
-10	16.87	16.1
0	13.6	12.8
10	12.07	11.13
30	10.83	9.38
60	10.1	8.02
90	9.59	7.23
120	9.28	6.86
150	9.04	6.65

表3 两种状态的节流小孔压降

压降 / bar	0 °C		30 °C		60 °C	
	节流孔入口端为平台	节流小孔入口端为倒角	节流孔入口端为平台	节流小孔入口端为倒角	节流孔入口端为平台	节流小孔入口端为倒角
1#	14.479	13.364	14.645	10.746	14.821	9.061
2#	14.194	13.434	14.749	9.978	14.740	9.025
3#	14.281	13.026	14.438	9.868	14.462	8.823
4#	14.243	13.412	14.607	10.558	14.713	9.112
5#	14.423	13.356	14.435	10.859	14.492	9.267

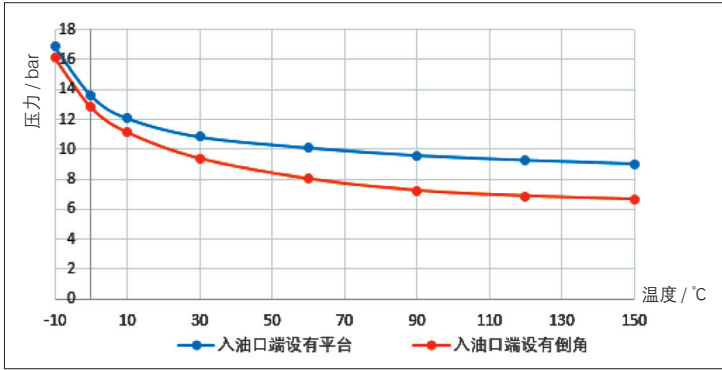


图4 不同温度下两种结构小孔的压降

异也随温度的升高而增大，结果与 CFD 仿真结果保持一致；节流小孔入口端为倒角的零件，压降随温度升高而降低，结果与 CFD 仿真结果保持一致；节流小孔入口端为平台的零件，试验结果随温度升高而增大，与 CFD 结果不同，说明此孔口

结构受油液黏度影响较小，主要受由孔口形式（平台）决定的特性系数的影响。

结束语

CFD 仿真和试验的结果均显示，节流小孔前端的结构对节流小孔前后的压降有影响。相比较

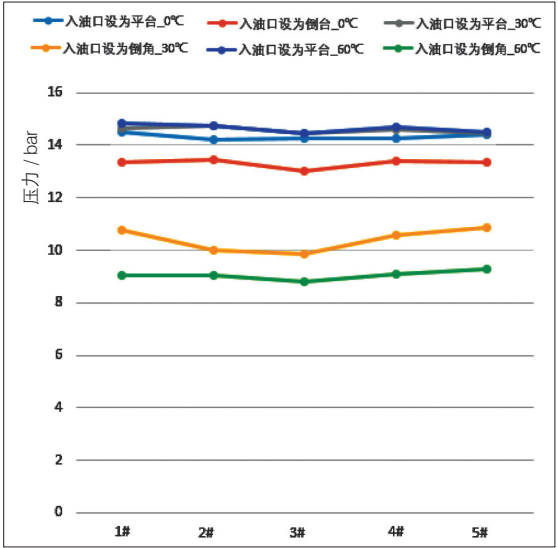


图5 两种状态的节流小孔压降

入口口前端为倒角，前端设有平台，会产生局部涡流，造成额外能量损失，导致压降增大。因此，在设计节流小孔时，应结合系统对流量、压力的需求，选择合理的小孔结构。 AI