

引用格式:张晓东,李谨,龚彦. 基于响应面法和正交试验的涡轮流量计优化设计[J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2019,46(5):80-86.

ZHANG XiaoDong, LI Jin, GONG Yan. Optimization of the design of a turbine flowmeter based on the response surface method and orthogonal tests[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science), 2019,46(5): 80-86.

基于响应面法和正交试验的涡轮流量计优化设计

张晓东 李 谨 龚 彦

(西南石油大学 机电工程学院, 成都 610500)

摘 要:为降低流体黏度对涡轮流量计测量精度的影响,将涡轮流量计仪表系数线性度误差最小值作为目标函数,在运用计算流体力学(CFD)仿真的基础上,先通过 Plackett-Burman 设计筛选结构参数,并根据几何结构对目标函数的影响将其划分为两个等级,即显著影响因素和次显著影响因素;再通过 Box-Behnken 设计及响应面法对显著影响因素进行优化设计,分析结构参数间的交互作用,得到参数的最优设计点;最后在响应面分析基础上通过正交试验对次显著影响因素进行优化设计,得到最优参数组合。对最优参数组合的涡轮流量计进行试验研究,试验结果与 CFD 计算值吻合,仪表系数线性度误差由 1.71% 下降至 1.59%,表明优化后的涡轮流量计测量精度得到了显著提高,基于响应面法和正交试验的优化方法可以用于涡轮流量计的结构设计。

关键词: 涡轮流量计; 黏度; 优化设计; 响应面法; 正交试验

中图分类号: TH814 **DOI:** 10.13543/j.bhxbzr.2019.05.012

引 言

涡轮流量计具有精度高、重复性好、结构简单、测量范围广、体积小、质量轻、压力损失小、维修方便等优点,但存在性能会随被测流体黏度增大而变差的问题^[1-2]。目前,国内的涡轮流量计在出厂时,其性能一般都是用水或黏度比较低的柴油进行鉴定,但很多使用者却用涡轮流量计来测量液压油、润滑油等中黏度甚至高黏度液体的流量,导致出现很大的测量误差。因此,提高涡轮流量计在测量黏性介质时的精度具有非常重要的现实意义。

目前关于黏性介质对涡轮流量计影响的研究主要集中在分析流量计内部几何结构和流体介质对其性能的影响^[3-7]以及仪表系数的修正方法^[8-9]等方面,而根据流体性能对流量计进行结构优化的研究较少,在结构优化时考虑到内部几何参数间交互作用的则更少。由于涡轮流量计几何参数较多,作用

的机理各不相同,各个参数之间存在交互作用,因此有必要研究各个参数间的相互关系,确定最优参数组合。本文以 DN40 涡轮流量计为例,从优化几何结构出发,探究几何参数对涡轮流量计性能的影响,分析显著影响因素之间的交互作用,并在计算流体力学(CFD)仿真的基础上通过响应面法和正交试验对结构进行优化设计。

1 模型与仿真

1.1 模型的建立

选择某公司生产的 LWGY 系列 DN40 涡轮流量计,其主要参数为:叶轮叶片数 $N_1 = 6$,叶片顶端半径 $R_1 = 9.5 \text{ mm}$,叶轮轮毂半径 $R_0 = 10 \text{ mm}$,叶轮轮毂长度 $L_h = 8 \text{ mm}$,叶轮导程 $L = 88.5 \text{ mm}$,导流体叶片数 $N_2 = 4$,前导流体轮毂长度 $H_1 = 54 \text{ mm}$,后导流体轮毂长度 $H_2 = 38 \text{ mm}$ 。

按照上述几何参数建立三维模型,如图 1 所示。为了使流体接近充分发展状态从而形成稳定的流速分布,在涡轮流量计前后分别加装 10D 和 5D 长直管段^[10]。

1.2 网格划分

将三维模型导入网格划分软件 ICEM 中,考虑

收稿日期: 2019-04-11

基金项目: 国家重点研发项目(2018YFC0310201)

第一作者: 男,1959 年生,教授,博士生导师

E-mail: Zxd123420@126.com

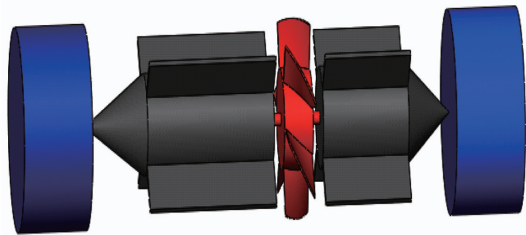


图 1 涡轮流量计三维模型

Fig. 1 3D model of the turbine flowmeter

到流量计叶轮部分和导流件部分结构复杂,而且是仿真计算的关键部件,因此在 ICEM 中均采用非结构化的四面体网格对叶轮流域和导流件流域进行划分;而前、后直管段流域结构相对简单但尺寸较大,采用四面体网格划分会使网格数量大大增加,为了减少仿真时间,采用结构化的六面体网格对该流域进行划分,划分后的网格数为 1 474 621 个,其 Quality 最小值为 0.36。通过增加整体网格数进行网格无关性检验,网格尺度符合计算要求。

1.3 边界条件定义

- 边界条件如下:
- (1) 仿真介质采用实际状况下的原油,其运动黏度为 $2.64 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$,密度为 $887 \text{ kg}/\text{m}^3$,流量范围 $2 \sim 20 \text{ m}^3/\text{h}$;
 - (2) 入口采用速度入口,选取 $2 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $4 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $8 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $14 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $20 \text{ m}^3/\text{h}$ 这 5 个体积流量下的入口速度;出口采用压力出口,设置为 1 个标准大气压;
 - (3) 管壁、上、下导流体和叶轮表面均采用无滑移壁面边界条件;
 - (4) 涡轮流量计叶轮部分流域设置为旋转流域,前后导流件部分设置为固定流域,旋转流域与固定流域之间采用交界面进行连接。

1.4 湍流模型的选择

由于涡轮流量计叶轮在流体中处于高速旋转状态,其表面曲率变化非常大,而雷诺应力模型(RSM)考虑到了流体旋转或流线弯曲所带来的应力张量的急剧变化,可以更好地模拟涡轮流量计在复杂流场状况下的运行规律,因此本文选用 RSM 湍流模型^[11]。

1.5 仿真仪表系数和线性度误差的计算

仪表系数为涡轮感应放大器产生的脉冲数与流过传感器流体体积的比值^[12]。在计算仿真仪表系数之前需要计算流量计叶轮在该流量下的稳定转速 θ 。通过监测发现,当叶轮驱动力矩与阻力矩的差值小于 10^{-8} 时,可认为叶轮所受力矩达到平衡,则此

时的叶轮转速即为稳定转速。叶轮稳定转速确定后,根据叶片个数、入口流速与管道截面积可以得到此时的涡轮流量计仿真仪表系数,其计算公式为

$$K = 3.6 \times \frac{N\theta}{2\pi \times 3600VA} \tag{1}$$

式中, K 为涡轮流量计仿真仪表系数, L^{-1} ; N 为叶轮叶片个数; θ 为叶轮稳定转速, rad/s ; V 为入口流速, m/s ; A 为前直管段入口截面积, m^2 。

仪表系数线性度误差可以反映涡轮流量计的测量精度,仪表系数线性度误差越小,则流量计的测量精度越高,反之则测量精度越低。

通过式(1)计算出 $2 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $4 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $8 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $14 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $20 \text{ m}^3/\text{h}$ 这 5 个点的仿真仪表系数后,便可以得到涡轮流量计仪表系数线性度误差 δ ,其计算公式为

$$\delta = \frac{K_{\max,i} - K_{\min,i}}{K_{\max,i} + K_{\min,i}} \times 100\% \tag{2}$$

式中, $K_{\max,i}$ 为流量计在 5 个流量点处得到的仪表系数最大值; $K_{\min,i}$ 为流量计在 5 个流量点处得到的仪表系数最小值。

2 Plackett – Burman 设计

根据 Plackett – Burman (PB) 试验设计,选取 8 个试验因素(叶轮顶端半径、叶轮叶片数、叶轮轮毂半径、叶轮轮毂长度、叶轮导程、前导流件长度、后导流件长度、导流体叶片数)和 3 个空白因素,每个因素设高、低两个水平,以仪表系数线性度误差为响应值,共计 12 个试验,试验设计因素及水平见表 1。

表 1 PB 设计因素与水平

Table 1 Plackett – Burman design factors and levels

因素	水平	
	-1	1
叶轮顶端半径 R_t/mm	19.3	19.7
叶轮叶片数 N_l	5	7
前导流件长度 H_1/mm	51	57
导流件叶片数 N_2	3	5
叶轮导程 L/mm	83	95
叶轮轮毂半径 R_o/mm	8.5	11.5
后导流件长度 H_2/mm	35	41
叶轮轮毂长度 L_h/mm	6.5	9

对表 1 试验中各因素进行显著性分析,分析结果如表 2 所示,模型显著差异水平 $p = 0.004$,说明

回归方程关系显著;决定系数 $R^2 = 0.9927$,说明回归有效,试验结果可靠。由表 2 还可以看出 8 个因素均对流量计线性度误差影响显著,其中叶轮叶片数 N_1 、叶轮顶端半径 R_t 、叶片轮毂半径 R_o 、叶轮轮毂长度 L_h 这 4 个为显著影响参数,在后文中运用响应面法进行优化;而叶轮导程 L 、前导流件长度 H_1 、后导流件长度 H_2 、导流体叶片数 N_2 这 4 个为次显著影响参数,在后文中运用正交试验进行优化。

表 2 参数显著性分析
Table 2 Parameter significance analysis

项目	平方和	自由度	均方	<i>F</i> 值	<i>p</i> 值
模型	0.84	8	0.1	50.99	0.004
R_t	0.41	1	0.41	201.88	0.0008
N_1	0.11	1	0.11	53.69	0.0053
H_1	0.031	1	0.031	15.11	0.0302
N_2	0.025	1	0.025	12.28	0.0394
L	0.044	1	0.044	21.63	0.0187
R_o	0.085	1	0.085	41.41	0.0076
H_2	0.017	1	0.017	8.22	0.0642
L_h	0.11	1	0.11	53.69	0.0053
残差	6.158×10^{-3}	3	2.053×10^{-3}	—	—
总离差	0.84	11	—	—	—
R^2	0.9927	20	—	—	—

3 结构参数优化

3.1 显著影响参数的响应面法优化

采用 Box-Behnken 中心组合设计方法,以叶轮顶端半径 R_t 、叶片数 N_1 、叶片轮毂半径 R_o 、叶轮轮毂长度 L_h 这 4 个显著影响因素为自变量,仪表系数线性度误差为响应值,其余结构参数保持不变,设计四因素三水平 29 个试验点的响应面优化试验。因素与水平见表 3,试验设计见表 4。

表 3 Box-Behnken 设计因素与水平
Table 3 Box-Behnken design factors and levels

因素	水平		
	-1	0	1
R_t/mm	19.3	19.5	19.7
N_1	5	6	7
R_o/mm	8.5	10	11.5
L_h/mm	6.5	8	9.5

对模型进行方差分析得到的响应面分析结果如

表 4 Box-Behnken 设计结果
Table 4 Box-Behnken design results

试验号	R_t/mm	N_1	R_o/mm	L_h/mm	线性度误差/%
1	19.3	6	8.5	8	2.2
2	19.5	6	10	8	1.76
3	19.5	6	10	8	1.69
4	19.7	5	10	8	2.74
5	19.5	6	10	8	1.73
6	19.5	7	10	9.5	2.64
7	19.5	7	11.5	8	2.76
8	19.5	6	10	8	1.67
9	19.7	6	10	6.5	2.76
10	19.3	6	10	6.5	2.18
11	19.5	6	8.5	9.5	2.44
12	19.5	5	10	6.5	2.48
13	19.7	6	8.5	8	2.78
14	19.5	7	10	6.5	2.94
15	19.5	5	10	9.5	2.28
16	19.7	6	10	9.5	2.65
17	19.5	6	11.5	9.5	1.88
18	19.5	6	11.5	6.5	2.38
19	19.3	7	10	8	2.76
20	19.5	5	11.5	8	1.89
21	19.3	6	10	9.5	1.99
22	19.5	6	8.5	6.5	2.26
23	19.7	6	11.5	8	2.79
24	19.5	6	10	8	1.76
25	19.3	5	10	8	1.88
26	19.5	5	8.5	8	2.35
27	19.5	7	8.5	8	2.67
28	19.7	7	10	8	3.24
29	19.3	6	11.5	8	1.91

表 5 所示, $p < 0.0001 < 0.05$,表明该模型是显著的,具有统计学意义。由表 5 数据可得,自变量 R_t 、 N_1 、 R_o 、 L_h 均显著($p < 0.05$),按照对响应值的影响程度排序为叶轮顶端半径 R_t > 叶轮叶片数 N_1 > 叶轮轮毂长度 L_h > 叶轮轮毂半径 R_o 。失拟项 $P = 0.056 > 0.05$,此值不显著,说明在试验范围内预测值和实测值的拟合度较高,能够选择该回归方程对试验结果进行相关分析,线性度误差 R 的回归方程为

$$R = 17.22 + 3.37R_t + 2.82N_1 - 0.91R_o - 0.93L_h - 0.95R_tN_1 + 0.75R_tR_o + 0.2R_tL_h + 1.38N_1R_o - 0.25N_1L_h - 1.70R_oL_h + 4.22R_t^2 + 5.16N_1^2 + 2.26R_o^2 + 2.97L_h^2$$

表 5 Box-Behnken 设计方差分析

Table 5 Box-Behnken design variance analysis					
方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值
模型	538.08	14	38.43	53.87	<0.000 1
R_i	136.01	1	136.01	190.63	<0.000 1
N_1	95.77	1	95.77	134.22	<0.000 1
R_o	9.9	1	9.9	13.88	0.002 3
L_h	10.45	1	10.45	14.65	0.001 8
$R_i N_1$	3.61	1	3.61	5.06	0.041 1
$R_i R_o$	2.25	1	2.25	3.15	0.097 5
$R_i L_h$	0.16	1	0.16	0.22	0.643 1
$N_1 R_o$	7.56	1	7.56	10.6	0.005 7
$N_1 L_h$	0.25	1	0.25	0.35	0.563 3
$R_o L_h$	11.56	1	11.56	16.2	0.001 3
R_i^2	115.47	1	115.47	161.84	<0.000 1
N_1^2	172.48	1	172.48	241.75	<0.000 1
R_o^2	33.03	1	33.03	46.3	<0.000 1
L_h^2	57.18	1	57.18	80.15	<0.000 1
残差	9.99	14	0.71	—	—
失拟误差	9.32	10	0.93	5.58	0.056
纯误差	0.67	4	0.17	—	—
总和	548.07	28	—	—	—
R^2	0.981 8	—	—	—	—
R^2_{adj}	0.963 5	—	—	—	—

从图 2(a) ~ (f) 可形象地看出影响仪表系数线性度误差的几何参数间交互作用。比较图 2 各个分图可知, 叶轮顶端半径 R_i 对仪表系数线性度误差的影响最为显著, 表现为曲线最陡, 其余因素影响大小顺序为叶轮叶片数 N_1 > 叶轮轮毂长度 L_h > 叶轮轮毂半径 R_o 。这也与表 5 的方差分析结果相吻合。

使用 Design Expert 软件在表 3 变量的高低水平范围内寻优, 以叶轮叶片数是整数为前提, 取其中一个最优组合进行 CFD 仿真计算, 并与显著因素的响应面回归方程预测值进行比较, 比较结果如表 6 所示。可以看出, 对于优化后的流量计模型, 其仪表系数线性度误差拟合公式的预测值与 CFD 计算值非常接近, 误差仅为 0.6%, 说明响应面法可以很好地用于涡轮流量计结构优化。

3.2 次显著影响参数的正交试验设计

在对显著参数进行响应面优化后, 选择叶轮导程 L 、前导流件长度 H_1 、导流体叶片数 N_2 、后导流件长度 H_2 这 4 个次显著影响因素为自变量, 以流量计线性度误差为响应值进行正交试验设计, 根据因素和水平数选择正交表 $L_9(3^4)$, 一共 9 组仿真计算模型, 因素与水平见表 7。

正交试验结果与均值如表 8 所示, 因素 L 对应的均值 2 最小, 表明 L 取第二水平上的值时线性度误差最小, 同理可以得到 H_1 、 N_2 和 H_2 的取值分别为

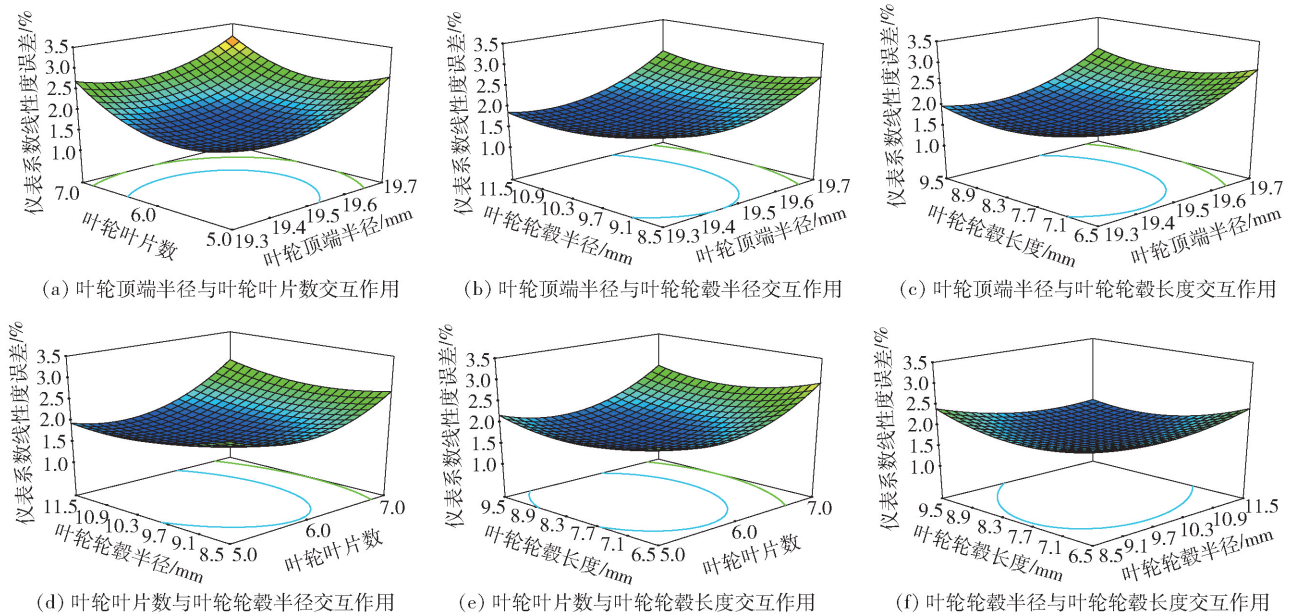


图 2 影响仪表系数线性度误差的几何参数间交互作用

Fig. 2 Interaction of geometric parameters affecting the linearity error for instrument coefficients

表 6 响应面优化前后参数对比

Table 6 Comparison of parameters before and after response surface optimization		
项目	数值	
	原始流量计	优化后流量计
R_t/mm	19.5	19.4
N_1	6	6
R_o/mm	10	10.57
L_h/mm	8	8.42
线性度误差预测值	—	1.618
线性度误差仿真值	1.71	1.624

表 7 正交试验因素与水平

Table 7 Factors and levels of orthogonal tests			
因素	水平		
	1	2	3
L/mm	83	88.5	94
H_1/mm	51	54	57
N_2	3	4	5
H_2/mm	35	38	41

表 8 正交试验结果与均值

Table 8 Results and mean values of orthogonal test					
试验号	L/mm	H_1/mm	N_2	H_2/mm	线性度误差/%
1	83	51	3	35	1.78
2	83	54	4	38	1.71
3	83	57	5	41	1.70
4	88.5	51	4	41	1.62
5	88.5	54	5	35	1.62
6	88.5	57	3	38	1.59
7	94	51	5	38	1.68
8	94	54	3	41	1.68
9	94	57	4	35	1.64
均值 1	1.730	1.693	1.683	1.680	—
均值 2	1.610	1.670	1.657	1.660	—
均值 3	1.667	1.643	1.667	1.667	—

第三水平、第二水平和第二水平,因此理论上的最优水平组合为 $L_2(H_1)_3(N_2)_2(H_2)_2$ 。

图 3 和图 4 分别为原始流量计与优化后流量计的截面速度分布云图。对比图 3 和图 4 可以看出,优化后的流量计在后导流件上下部分的流场速度分布较原始流量计更加均匀,说明优化后流量计的叶

轮结构在流场中的旋转稳定性更好,从而使得测量精度得到提高。

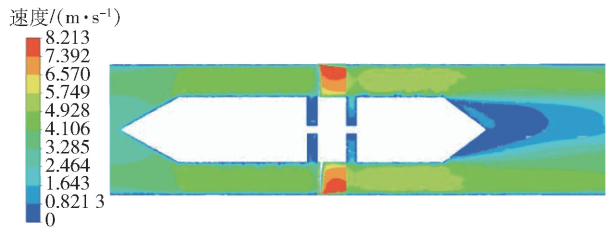


图 3 原始流量计截面速度分布云图

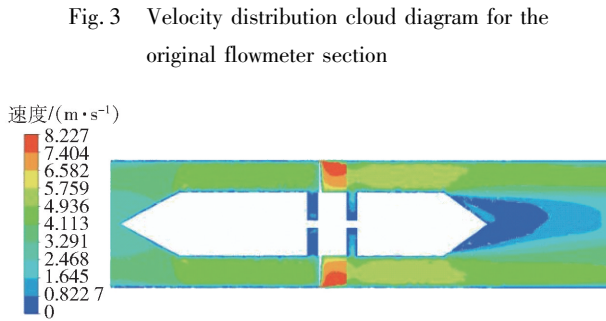


图 4 优化后流量计截面速度分布云图

Fig. 3 Velocity distribution cloud diagram for the original flowmeter section

Fig. 4 Velocity distribution cloud diagram for the flowmeter section after optimization

4 试验验证

将优化前后的涡轮流量计在西南石油大学流量技术检测试验台上进行试验,试验装置如图 5 所示。试验介质采用由机油和柴油按照一定比例混合的密度为 887 kg/m^3 、运动黏度为 $2.64\times 10^{-5}\text{ m}^2/\text{s}$ 的混合液,采用静态容积法原理,利用泵为流体提供动力,流体经过流量控制阀和被测涡轮流量计后直接流回容积池中。分别选取 $2\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $4\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $8\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $14\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $16\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $20\text{ m}^3/\text{h}$ 这 6 个体积流量点,通过计算机控制台采集每个流量点下试验流量计产生的脉冲个数 N ,从而得到涡轮流量计在 6 个流量点下

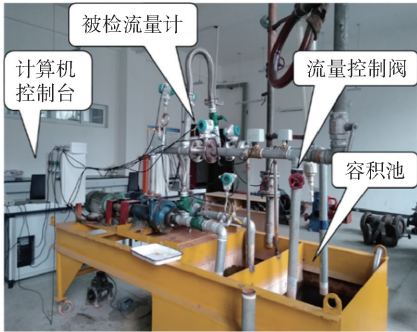


图 5 流量技术检测试验装置

Fig. 5 Flow detection test equipment

的仪表系数 K 。试验中每个流量点分别进行 3 次重复性试验,试验误差均小于 0.025%。

将原始流量计仪表系数与优化后的流量计仪表系数进行对比,结果如图 6 所示。流量计仪表系数 CFD 仿真值与试验值吻合,证明了 CFD 仿真的准确性。对比原始涡轮流量计和优化后涡轮流量计仪表系数试验值曲线得出,优化后的流量计在不同流量处的仪表系数变化情况较原来更为平稳。经计算,仪表系数线性度误差由原来的 1.71% 下降到了 1.59%,显著提高了涡轮流量计的测量精度。

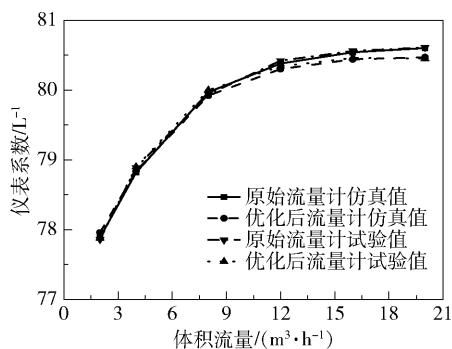


图 6 流量点与仪表系数的关系

Fig. 6 Relationship between the flow point and instrument coefficient

5 结论

(1) Plackett-Burman 设计分析表明,对涡轮流量计测量精度影响显著的参数为叶轮顶端半径、叶轮叶片数、叶轮轮毂半径和叶轮轮毂长度,影响次显著的参数有叶轮导程、前导流件长度、后导流件长度和导流体叶片数。

(2) 运用 Box-Behnken 设计方法对筛选出来的显著影响参数进行试验设计,建立了涡轮流量计线性度误差的多元回归模型,并检验了预测模型的拟合度。结果表明,回归模型对实际情况拟合较好,能够运用响应面法对涡轮流量计结构参数进行优化。

(3) 在响应面法优化的基础上,对筛选出来的次显著影响参数进行正交试验设计,得到了最优结构组合。试验验证结果表明优化后的涡轮流量计测量精度得到了显著提高。

参考文献:

[1] 杨有涛,王子钢. 涡轮流量计[M]. 北京:中国质检

出版社, 2011.

YANG Y T, WANG Z G. Turbine flowmeter[M]. Beijing: Chinese Quality Inspection Publishing House, 2011. (in Chinese)

[2] LI W G. Effects of viscosity on turbine mode performance and flow of a low specific speed centrifugal pump[J]. Applied Mathematical Modelling, 2015, 40(2): 904-926.

[3] 曹广军, 薛敦松. 粘性流体对涡轮流量计仪表系数影响的实验研究[J]. 工程热物理学报, 2002, 23(1): 55-58.

CAO G J, XUE D S. Experiment studying on turbine flowmeters factor with different viscous liquids[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2002, 23(1): 55-58. (in Chinese)

[4] 孙立军, 党士忠, 张涛, 等. 流量计性能受流量稳定性影响实验[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2018, 51(4): 422-432.

SUN L J, DANG S Z, ZHANG T, et al. Experiment on the influence of flow stability on flowmeter measuring performance[J]. Journal of Tianjin University (Science and Technology), 2018, 51(4): 422-432. (in Chinese)

[5] 王俊涛, 桑培勇, 尚增强, 等. 涡轮流量计在不同黏度液体介质中试验分析[J]. 工业计量, 2015, 25(4): 22-25.

WANG J T, SANG P Y, SHANG Z Q, et al. Test and analysis of turbine flowmeter in liquid medium with different viscosity[J]. Industrial Metrology, 2015, 25(4): 22-25. (in Chinese)

[6] 刘正先, 徐莲环. 涡轮流量计前导流器的结构与性能[J]. 机械工程学报, 2008, 44(1): 233-237.

LIU Z X, XU L H. Structure and performance of front oriented-body in turbine flowmeter[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2008, 44(1): 233-237. (in Chinese)

[7] 郭素娜, 张涛, 孙立军, 等. 采用流场分析提高涡轮流量传感器性能的研究[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(11): 2473-2478.

GUO S N, ZHANG T, SUN L J, et al. Research on improving the performance of liquid turbine flow sensor with flow field analysis[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015, 36(11): 2473-2478. (in Chinese)

[8] 吕升, 郭迎清. 基于自动代码生成技术的智能涡轮流量传感器[J]. 仪表技术与传感器, 2017(9): 24-29.

LYU S, GUO Y Q. Intelligent turbine flow sensor based on automatic code generation technology[J]. Instrument Technique and Sensor, 2017(9): 24-29. (in Chinese)

- [9] 高丕发, 李显和, 陈东光. 液体粘度变化对涡轮流量计精度影响的自动补偿装置[J]. 计量技术, 1986(7): 24-28.
GAO P F, LI X H, CHEN D G. Automatic compensation device for influence of liquid viscosity change on accuracy of turbine flowmeter[J]. Measurement Technology, 1986(7): 24-28. (in Chinese)
- [10] 杨芳. 直管段长度对涡轮流量计测量性能的影响[J]. 仪表技术, 2016(9): 24-27.
YANG F. Effects of straight pipe section on the measurement performance of turbine flowmeter[J]. Instrument Technique, 2016(9): 24-27. (in Chinese)
- [11] 王振. 涡轮流量传感器在不同流体条件下测量性能的研究[D]. 天津: 天津大学, 2008.
WANG Z. Research on the performance of turbine flowmeter under different fluid conditions[D]. Tianjin: Tianjin University, 2008. (in Chinese)
- [12] 苏彦勋, 盛健, 梁国伟. 流量计量与测试[M]. 北京: 中国计量出版社, 1992.
SU Y X, SHENG J, LIANG G W. Flow measurement and testing[M]. Beijing: China Metrology Publishing House, 1992. (in Chinese)

Optimization of the design of a turbine flowmeter based on the response surface method and orthogonal tests

ZHANG XiaoDong LI Jin GONG Yan

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China)

Abstract: In order to reduce the errors in a turbine flowmeter influenced by fluid viscosity, the minimum turbine meter instrumental coefficient linearity error was employed as the target function. Firstly, Plackett-Burman design was used to screen out structure parameters by CFD. The influence of the geometrical structure on the target function can be divided into two levels: significant influencing factors and time-significant influencing factors. Secondly, Box-Behnken design and a response surface method were employed to optimize the design of significant influencing factors. The interactions between structural parameters were analyzed in order to obtain the optimal design parameters. Finally, by combining the response surface analysis with orthogonal tests, the sub-significant influencing factors were optimized and the optimal parameter combination was obtained. In an experimental investigation of the optimal combination of parameters for a turbine flowmeter, the instrumental coefficient linearity error in the test results and CFD calculated values, decreased from 1.71% to 1.59%. The optimized turbine flowmeter thus gave significantly higher measuring precision. Our optimization method based on the response surface method combined with orthogonal tests can be used to improve the structural design of turbine flowmeters.

Key words: turbine flowmeter; viscosity; optimization design; response surface method; orthogonal test

(责任编辑: 吴万玲)