

# 集流伞开度对涡轮流量计校准精度的影响分析

姜兆宇

中国石油大庆油田有限责任公司测试技术服务分公司 黑龙江大庆 163153

项目支持: 大庆油田有限责任公司科研项目“精准压裂增产改造关键技术研究”(25DQYTSG002-62-04)

引用: 姜兆宇. 集流伞开度对涡轮流量计校准精度的影响分析[J]. 油气井测试, 2026, 35(1): 73-78.

Cite: JIANG Zhaoyu. Analysis of the impact of collector umbrella opening on the calibration accuracy of turbine flow meters[J]. Well Testing, 2026, 35(1): 73-78.

**摘要** 为了提高涡轮流量计校准效率与精度, 实现量值精准传递, 研究集流伞开度对校准结果的影响规律。采用现场边校准边调整开度的方式, 选用不同伞布宽度(185~187 mm、190~193 mm)的仪器, 在实验室测试开度20~50 mm范围内的启动排量、误差及曲线形态, 分析标准流量和被测转速的校准曲线和拟合曲线误差, 获得最优的伞布宽度为190~193 mm, 开度为30~50 mm; 其中30~40 mm精度最高, 曲线接近直线。在大庆油田10口井进行现场验证, 结果表明, 开度35 mm时仪器P033误差仅0.68%, 启动排量低于3 m<sup>3</sup>/d。优化后的集流伞参数显著提升了涡轮流量计低流量段的测量可靠性, 为现场校准提供了理论依据和技术指导。

**关键词** 产出剖面; 涡轮流量计; 集流伞开度; 校准精度; 伞布宽度; 误差; 启动排量

**中图分类号**: TE863.1 **文献标识码**: B **DOI**: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2026.01.010

## Analysis of the impact of collector umbrella opening on the calibration accuracy of turbine flow meters

JIANG Zhaoyu

Logging and Testing Services Company of PetroChina Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing, Heilongjiang 163153, China

**Abstract:** To improve the calibration efficiency and accuracy of turbine flowmeters and ensure the accurate transfer of measurement values, the impact of flow diverter opening degree on calibration results was systematically investigated. Utilizing a method of simultaneous calibration and opening adjustment on site, instruments with varying diverter fabric widths (185~187 mm and 190~193 mm) were selected. Under laboratory conditions, the starting flow rate, measurement error, and curve morphology were tested across an opening degree range of 20~50 mm. By analyzing the errors between the calibration curves and fitting curves of the standard flow rate and the measured rotational speed, the optimal diverter fabric width was determined to be 190~193 mm, paired with an optimal opening degree of 30~50 mm. Notably, peak accuracy was achieved within the 30~40 mm opening range, where the response curve closely approximated a linear relationship. Field verifications conducted across 10 wells in the Daqing Oilfield demonstrated that at a 35 mm opening degree, the measurement error of the instrument P033 was merely 0.68%, with a threshold flow rate below 3 m<sup>3</sup>/d. These optimized parameters for the flow diverter can significantly enhance the measurement reliability of turbine flowmeters in the low-flow range, providing a robust theoretical foundation and technical guidance for calibration operations on site.

**Keywords:** production profile; turbine flowmeter; flow diverter opening degree; calibration accuracy; diverter fabric width; error; threshold flow rate

测井用涡轮流量计因结构简单、零部件少、重量轻、维修方便、流通能力大和可适应高参数等特点被广泛用于油井井下流量测试<sup>[1-4]</sup>, 然而, 涡轮流量计的测量精度易受流体物性、机械磨损及安装条件等因素影响, 因此校准技术对于保证其计量准确性至关重要。张永胜等<sup>[5]</sup>针对涡轮流量计动态响应特性, 建立了液体阶跃流量试验装置, 采用内啮合齿轮泵与高速电磁阀控制实现阶跃流量, 研究了

时间常数校准技术, 发现涡轮流量计时间常数并非固定值, 且随前平台流量增大而减小, 最大扩展不确定度约为10 ms( $k=2$ )。肖远欢等<sup>[6]</sup>针对涡轮流量计流量响应时间测量结果的不确定度评定问题, 采用统计分析方法, 研究了测量重复性与系统误差来源, 为校准过程的质量控制提供了理论依据。郑再峰<sup>[7]</sup>针对涡轮流量计计量误差量化分析问题, 采用实验测试与理论建模相结合的方法, 研究了不同

工况下的误差分布规律,提出了误差修正方法。季伟<sup>[8]</sup>针对气体涡轮流量计测量不确定度问题,采用GUM法进行不确定度评定,分析了温度、压力等环境因素的影响权重。王永强等<sup>[9]</sup>、徐林等<sup>[10]</sup>针对涡轮流量计研究现状,采用文献综述方法,系统梳理了近年来涡轮流量计在结构设计、信号处理和智能化方面的发展趋势。

在产出剖面测井领域,井下涡轮流量计的校准面临更为复杂的挑战。现有研究主要集中于测量模型构建,王雪飞等<sup>[11]</sup>分别通过豁免源多相流量计与稠油分离计量系统的技术改进,建立了基于软测量与统计模型的解决方案,以应对多井合采混输和稠油测试中三相流参数测量的复杂性与精度难题。周道禧<sup>[12]</sup>则揭示了回流现象的影响机理。集流伞作为关键配套装置,其开度调节对集流效果和校准精度至关重要<sup>[13-16]</sup>,但现有研究对集流伞结构参数(伞布宽度、电机行程)与校准结果的定量关系及耦合影响缺乏系统性实验依据,现场实时调整以实现量值精准传递仍是技术难题。

本文通过边校准边调整集流伞开度的方式,系统研究开度对校准性能的影响规律,重点分析伞布宽度、电机行程与开度的耦合关系及开度变化对校准曲线形态、启动排量和测量误差的影响机制<sup>[17-19]</sup>,为提高校准效率和精度、实现量值精准传递提供理论依据和技术指导。

## 1 集流伞开度的影响因素

集流伞开度主要由伞布宽度和电机行程来决

定。通过测量,目前的伞布宽度主要集中在185~187 mm和190~193 mm两种尺寸范围内。通过安装试验,185~187 mm的伞布开度小于30 mm时,在124.5 mm套管中基本不密封,导致漏失,失去集流效果。当伞布开度大于50 mm时,集流伞张开后,集流伞严重变形,不密封,失去集流效果;190~193 mm的伞布开度小于30 mm,由于伞布宽度增加,电机行程增大,当开度大于20 mm小于30 mm,集流伞也能密封,有一定集流效果,伞布宽度为190~193 mm开度可以达到60 mm不变形。并非集流伞宽度越大越好,当伞布宽度超过193 mm时,电机的行程有限,不能调节,导致集流伞撑不开,与套管壁之间存在空隙,密封效果不好。经过多年的室内标定和现场使用,最终确定190~193 mm宽度的伞布比较合适。

## 2 集流伞开度对校准结果的影响

在实验室通过流量计检定装置对P001、P002、P032、K001、K018等五支仪器进行边校准边调整集流伞开度的试验,分析不同开度下校准曲线的形态、启动排量、误差及涡轮转速变化,探索开度对校准精度的影响规律。

### 2.1 开度为20 mm时P001的校准表现

P001仪器型号为HK-ZS-80,采用186 mm伞布宽度。在开度20 mm条件下进行校准,数据见表1,校准曲线见图1。该开度下伞布与套管壁间隙较大,流体漏失严重,涡轮在低流量时难以启动密封失效,为后续开度优化提供对比基准。

表1 P001开度为20 mm校准数据

Table 1 P001 calibration data with an opening of 20mm

循环次数	第一测试点		第二测试点		第三测试点		第四测试点		第五测试点	
	标准流量 /( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	被测转速 /( $\text{r} \cdot \text{s}^{-1}$ )	标准流量 /( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	被测转速 /( $\text{r} \cdot \text{s}^{-1}$ )	标准流量 /( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	被测转速 /( $\text{r} \cdot \text{s}^{-1}$ )	标准流量 /( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	被测转速 /( $\text{r} \cdot \text{s}^{-1}$ )	标准流量 /( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	被测转速 /( $\text{r} \cdot \text{s}^{-1}$ )
一次循环	79.999	87.223	59.978	67.102	39.985	44.425	20.000	20.223	3.000	0.002
二次循环	79.958	87.003	59.986	67.720	40.045	44.841	19.897	20.119	3.000	0.003
三次循环	79.714	87.000	59.985	67.150	39.978	44.521	20.002	20.244	3.000	0.004
平均值	79.890	87.075	59.983	67.324	40.003	44.596	19.966	20.195	3.000	0.003
平均K值/[ $(\text{r} \cdot \text{d})/(\text{s} \cdot \text{m}^3)$ ]			1.143			精度/%			2.02	

此时伞布与套管壁之间未能形成有效密封,3  $\text{m}^3/\text{d}$ 流量下冲击力小,集流伞几乎未被撑大,导致大部分流体从伞布与套管壁之间的空隙漏失,涡轮几乎未启动。当流量达到80  $\text{m}^3/\text{d}$ 时,伞布被撑大,通过涡轮的相对流量增大。校准曲线中间部分略低于拟合直线,呈现下凹形态,误差为2.02%合格,但启动排量未能满足要求, $R^2$ 值为0.9985。

### 2.2 开度为30 mm时P001的校准表现

在开度30 mm条件下,P001的校准数据见表2,曲线见图2。此时伞布开始形成一定密封效果,流体漏失显著减少,涡轮启动排量得到满足。校准曲线与拟合直线基本重合,呈现良好线性, $R^2$ 值达0.9999,误差为0.73%。相较于20 mm开度,涡轮转速明显提高,表明集流效果增强。

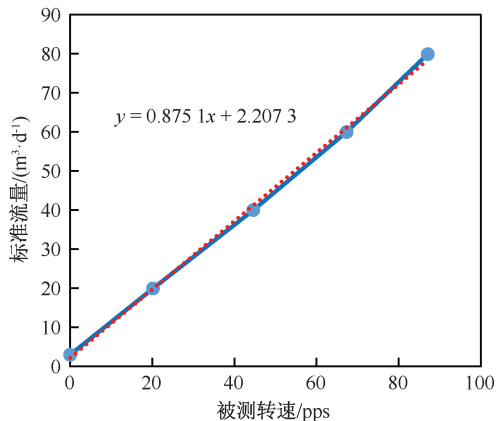


图 1 P001 开度为 20 mm 校准曲线

Fig. 1 P001 calibration curve with an opening of 20 mm

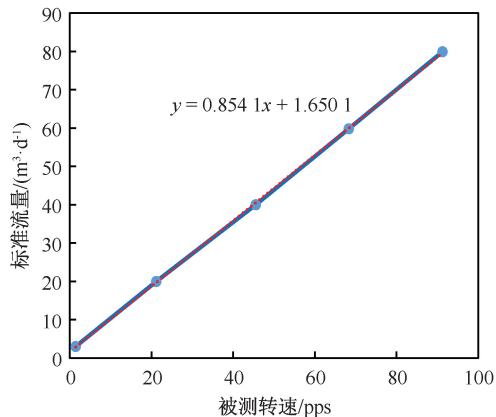


图 2 P001 开度为 30 mm 校准曲线

Fig. 2 P001 calibration curve with an opening of 30 mm

表 2 P001 开度为 30 mm 校准数据

Table 2 P001 calibration data with an opening of 30 mm

循环次数	第一测试点		第二测试点		第三测试点		第四测试点		第五测试点		
	标准流量 $\text{/(m}^3 \cdot \text{d}^{-1}\text{)}$	被测转速 $\text{/(r} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	标准流量 $\text{/(m}^3 \cdot \text{d}^{-1}\text{)}$	被测转速 $\text{/(r} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	标准流量 $\text{/(m}^3 \cdot \text{d}^{-1}\text{)}$	被测转速 $\text{/(r} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	标准流量 $\text{/(m}^3 \cdot \text{d}^{-1}\text{)}$	被测转速 $\text{/(r} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	标准流量 $\text{/(m}^3 \cdot \text{d}^{-1}\text{)}$	被测转速 $\text{/(r} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	
一次循环	79.909	91.224	59.748	68.097	39.982	45.425	20.010	21.123	3.000	1.245	
二次循环	79.948	91.224	59.725	68.675	40.047	45.641	19.877	21.119	3.000	1.025	
三次循环	79.946	91.306	59.985	68.150	39.978	45.521	20.002	21.244	3.000	2.006	
平均值	79.934	91.251	59.819	68.307	40.002	45.529	19.963	21.162	3.000	1.425	
平均 K 值/ $\text{[(r} \cdot \text{d)]/(s} \cdot \text{m}^3\text{)}$				1.162		精度/%				0.73	

2.3 开度为 40 mm 时 P001 的校准表现

在开度 40 mm 条件下, P001 的校准数据见表 3, 曲线见图 3。集流效果进一步增强, 涡轮转速

继续上升。校准曲线略呈下凹形态, 但整体线性良好,  $R^2$  值为 0.999 9, 误差为 1.2%, 仍满足校准要求。与 30 mm 开度相比, 误差略有上升。

表 3 P001 开度为 40mm 校准数据

Table 3 P001 calibration data with an opening of 40mm

循环次数	第一测试点		第二测试点		第三测试点		第四测试点		第五测试点		
	标准流量 $\text{/(m}^3 \cdot \text{d}^{-1}\text{)}$	被测转速 $\text{/(r} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	标准流量 $\text{/(m}^3 \cdot \text{d}^{-1}\text{)}$	被测转速 $\text{/(r} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	标准流量 $\text{/(m}^3 \cdot \text{d}^{-1}\text{)}$	被测转速 $\text{/(r} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	标准流量 $\text{/(m}^3 \cdot \text{d}^{-1}\text{)}$	被测转速 $\text{/(r} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	标准流量 $\text{/(m}^3 \cdot \text{d}^{-1}\text{)}$	被测转速 $\text{/(r} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	
一次循环	79.741	95.089	59.745	70.774	39.992	48.276	20.012	23.260	3.000	2.628	
二次循环	79.869	95.333	59.972	70.702	40.004	47.659	20.007	22.548	3.000	2.383	
三次循环	79.788	95.354	59.887	70.697	40.001	47.412	20.014	22.216	3.000	2.176	
平均值	79.799	95.259	59.868	70.724	39.999	47.782	20.011	22.675	3.000	2.396	
平均 K 值/ $\text{[(r} \cdot \text{d)]/(s} \cdot \text{m}^3\text{)}$				1.21		精度/%				1.2	

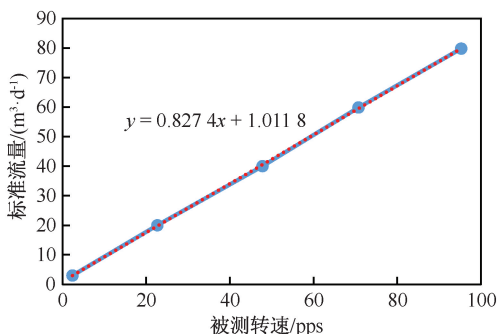


图 3 P001 开度为 40 mm 校准曲线

Fig. 3 P001 calibration curve with an opening of 40 mm

2.4 开度为 50 mm 时 P001 的校准表现

在开度 50 mm 条件下, P001 的校准数据见表 4, 曲线见图 4。集流效果达到最强, 涡轮转速最高。但校准曲线下凹程度加剧, 误差为 1.75%,  $R^2$  值为 0.999 8。虽然误差仍在合格范围内, 但曲线形态偏离线性趋势, 表明开度过大可能导致流动不稳定。

2.5 开度为 50 mm 时 K018 的校准表现

K018 仪器在 50 mm 开度下的校准曲线见图 5。其曲线呈现明显上凹形态, 分析认为与解卡装置末

表4 P001 开度为 50 mm 校准数据  
Table 4 P001 calibration data with an opening of 50 mm

循环次数	第一测试点		第二测试点		第三测试点		第四测试点		第五测试点	
	标准流量 $/(m^3 \cdot d^{-1})$	被测转速 $/(r \cdot s^{-1})$	标准流量 $/(m^3 \cdot d^{-1})$	被测转速 $/(r \cdot s^{-1})$	标准流量 $/(m^3 \cdot d^{-1})$	被测转速 $/(r \cdot s^{-1})$	标准流量 $/(m^3 \cdot d^{-1})$	被测转速 $/(r \cdot s^{-1})$	标准流量 $/(m^3 \cdot d^{-1})$	被测转速 $/(r \cdot s^{-1})$
一次循环	79.888	96.194	59.990	71.983	40.030	49.707	19.956	24.174	3.000	3.070
二次循环	79.881	98.226	59.826	73.780	40.002	49.847	20.002	24.319	3.000	3.095
三次循环	79.907	98.533	59.972	73.805	39.999	49.875	20.008	24.319	3.000	3.103
平均值	79.892	97.651	59.929	73.189	40.010	49.810	19.989	24.271	3.000	3.089
平均 K 值/ $[(r \cdot d)/(s \cdot m^3)]$				1.23				精度/%	1.75	

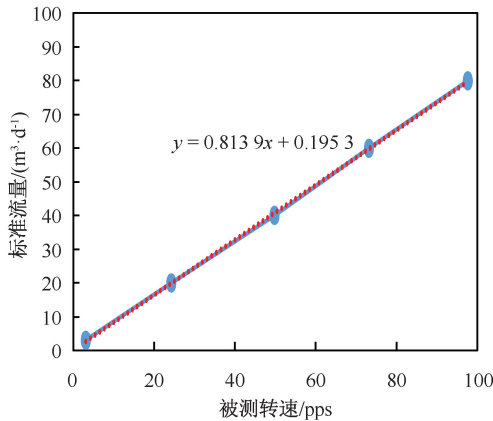


图4 P001 开度为 50 mm 校准曲线

Fig. 4 P001 calibration curve with an opening of 50 mm

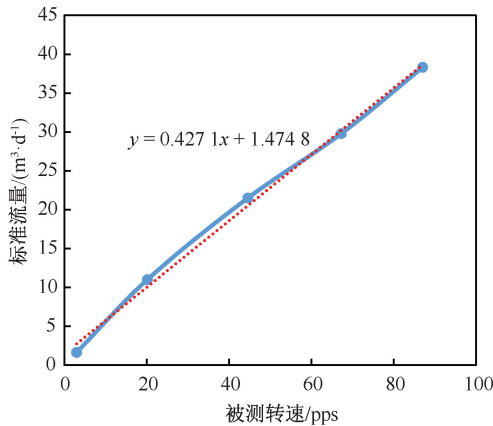


图5 K018 开度为 50 mm 校准曲线

Fig. 5 K018 calibration curve with an opening of 50 mm

端磁钢引起的启动阻力增大有关。该校准结果虽然满足基本要求,但曲线形态异常提示在结构设计上存在影响流动特性的因素。

### 3 集流伞电机行程对校准结果的影响

在研究集流伞电机行程对校准结果的影响过程中,发现电机行程的结构设计上的限制影响集流伞的开度调节能力<sup>[20]</sup>。由于固定限位开关的触电间距不足(见图6),当伞布宽度大于193 mm时,电

机行程无法完全展开,达到预定位置,导致集流伞无法完全打开,影响集流效果。固定限位开关所使用的螺丝为铜制材质,硬度较低,在频繁调节中易出现螺纹损伤甚至脱落的现象,出现了限位开关无法可靠固定,限位功能失效。这些结构设计上的不足,导致了集流伞在宽幅伞布(宽度大于193 mm)条件下的适应性,也间接影响了校准过程中流量控制的准确性与一致性。因此,优化限位开关的触点间距与紧固螺丝材料,是提升宽幅伞布条件下集流伞开度调节可靠性的必要措施。

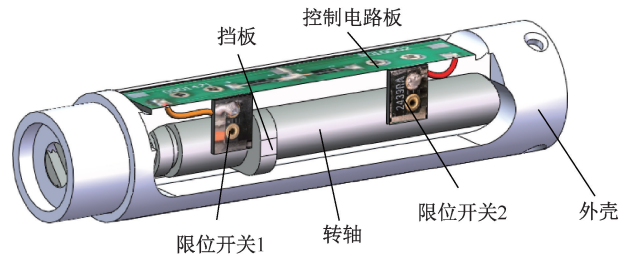


图6 集流伞内部电机部分结构示意图

Fig. 6 Schematic diagram of the motor section inside the flow collection umbrella

### 4 现场应用

为验证实验研究成果的现场适用性,将优化后的集流伞开度参数(30~50 mm)及伞布宽度(190~193 mm)应用于大庆油田采油X厂的涡轮流量计现场校准任务中。在该区块选取了10口油井,使用P系列和K系列共15支涡轮流量计进行产出剖面测试。测试前,所有仪器均按照实验推荐的参数进行调整与校准。当集流伞开度控制在30~50 mm范围内时,所有仪器的启动排量均能满足测试要求,经过汇总测试数据曲线呈现良好的线性特征( $R^2 \geq 0.999$ )。其中,开度为35 mm时,仪器P033在杏X井的测试中表现尤为突出,其校准误差仅为0.68%(见表5),启动排量低于 $3 m^3/d$ ,显著提升了低流量段的测量可靠性。现场应用结果表明,推荐参数具

有良好的普适性和稳定性,可有效支撑涡轮流量计在低产液井中的精准校准。

表5 P033开度为35mm校准数据  
Table 5 P033 calibration data with an opening of 35mm

循环次数	第一测试点		第二测试点		第三测试点		第四测试点		第五测试点		
	标准流量 /( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	被测转速 /( $\text{r} \cdot \text{s}^{-1}$ )	标准流量 /( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	被测转速 /( $\text{r} \cdot \text{s}^{-1}$ )	标准流量 /( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	被测转速 /( $\text{r} \cdot \text{s}^{-1}$ )	标准流量 /( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	被测转速 /( $\text{r} \cdot \text{s}^{-1}$ )	标准流量 /( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	被测转速 /( $\text{r} \cdot \text{s}^{-1}$ )	
一次循环	79.809	91.224	59.848	68.097	39.982	45.425	20.010	21.123	3	1.245	
二次循环	79.848	91.224	59.825	68.675	40.627	45.441	19.977	21.119	3	1.025	
三次循环	79.846	91.306	59.988 5	68.150	39.988	45.521	19.902	21.244	3	2.006	
平均值	79.830	91.250	59.890	68.310	40.200	45.460	19.960	21.160	3	1.430	
平均K值/[ $(\text{r} \cdot \text{d})/(\text{s} \cdot \text{m}^3)$ ]				1.17		精度/%				0.68	

## 5 结论

(1)集流伞开度主要由伞布宽度和电机行程共同决定,其中伞布宽度优选推荐190~193 mm,可兼顾张开幅度与密封性。

(2)当开度处于30~50 mm范围内时,校准结果合格,能够满足排量要求;且随着开度从30 mm增至50 mm,集流效果逐步增强,涡轮转速相应上升。特别地,在30~40 mm区间内,校准精度最高,拟合曲线接近直线。

(3)校准曲线形态上主要分为下凹型、上凹型与直线型,其中上凹型曲线与解卡装置末端磁钢引起的启动阻力增大有关。

**致谢:**感谢大庆油田有限责任公司测试技术服务分公司同意本文公开发表。感谢测试第五大队在论文修改、数据分析和总结归纳方面做出的贡献。

## 参考文献

- [1] 贺莉莉,李宏燕. 涡轮流量计研究综述[J]. 西北工程技术学报, 2025, 24(3): 274-280.  
HE Lili, LI Hongyan. Research review on turbine flowmeters [J]. Journal of Northwest Engineering Technology, 2025, 24(3): 274-280.
- [2] 庞振力,季鹏,张小玲,等. 豁免源多相流量计在多井合采混输单井计量中的应用[J]. 油气井测试, 2022, 31(4): 18-22.  
PANG Zhenli, JI Peng, ZHANG Xiaoling, et al. Application of exempt source multiphase flowmeters in single-well measurement for multi-well combined production and mixed transportation[J]. Well Testing, 2022, 31(4): 18-22.
- [3] 姚宇光. 涡轮、涡街流量计示值误差的一种改进算法[J]. 计量与测试技术, 2025, 51(12): 78-81.  
YAO Yuguang. An improved algorithm for indication error of turbine and vortex flowmeters [J]. Metrology and

- Measurement Technique, 2025, 51(12): 78-81.
- [4] 边海龙,黄冬虹,董新利,等. 涡轮流量计示值相对误差影响因素分析及实验[J]. 煤气与热力, 2025, 45(7): 53-55.  
BIAN Hailong, HUANG Donghong, DONG Xinli, et al. Analysis and experiment on influencing factors of relative indication error of turbine flowmeters [J]. Gas & Heat, 2025, 45(7): 53-55.
- [5] 张永胜,党静,于小丽. 涡轮流量计时间常数校准技术研究[J]. 计测技术, 2023, 43(6): 92-99.  
ZHANG Yongsheng, DANG Jing, YU Xiaoli. Research on calibration technology of time constant of turbine flowmeters [J]. Metrology & Measurement Technology, 2023, 43(6): 92-99.
- [6] 肖远欢,薛蕾,彭亮. 涡轮流量计流量响应时间测量结果的不确定度评定[J]. 中国标准化, 2025, (18): 203-208.  
XIAO Yuanhuan, XUE Lei, PENG Liang. Uncertainty evaluation of measurement results of flow response time of turbine flowmeters [J]. China Standardization, 2025, (18): 203-208.
- [7] 郑再峰. 涡轮流量计计量误差量化分析[J]. 上海煤气, 2025, (4): 1-3.  
ZHENG Zaifeng. Quantitative analysis of measurement error of turbine flowmeters [J]. Shanghai Gas, 2025, (4): 1-3.
- [8] 季伟. 气体涡轮流量计测量不确定度分析[J]. 仪器仪表标准化与计量, 2023, (4): 43-45.  
JI Wei. Analysis of measurement uncertainty of gas turbine flowmeters [J]. Instrument Standardization & Metrology, 2023, (4): 43-45.
- [9] 王永强,张凯权,汪建伟,等. 使用科式力质量流量计的多相流量计的研制[J]. 油气井测试, 2021, 30(3): 20-24.  
WANG Yongqiang, ZHANG Kaiquan, WANG Jianwei, et al. Development of a multiphase flow meter using coriolis mass flowmeters [J]. Well Testing, 2021, 30(3): 20-24.
- [10] 徐林,胡金海,杨长河,等. 光纤探针-阻抗三相流测井仪在三相流中的试验及分析[J]. 石油管材与仪器, 2022, 8(3): 60-65.

- XU Lin, HU Jinhai, YANG Changhe, et al. Experiment and analysis of optical fiber probe-impedance three-phase flow logging tool in three-phase flow [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2022, 8(3): 60-65.
- [11] 王雪飞, 谭忠健, 张金煌, 等. 稠油测试中油气分离与产量计量方法[J]. 油气井测试, 2019, 28(2): 33-39.
- WANG Xuefei, TAN Zhongjian, ZHANG Jinhui, et al. Methods for oil-gas separation and production measurement in heavy oil testing[J]. Well Testing, 2019, 28(2): 33-39.
- [12] 周道禧. 产出剖面测井回流现象的影响因素及解释方法[J]. 化工设计通讯, 2023, 49(7): 45-47.
- ZHOU Daoxi. Influencing factors and interpretation method of backflow phenomenon in production profile logging [J]. Chemical Engineering Design Communications, 2023, 49(7): 45-47.
- [13] 于航. 伞式集流器总承零件标准化现状分析[J]. 石油管材与仪器, 2017, 3(4): 63-65.
- YU Hang. Analysis on standardization of umbrella current collector parts [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2017, 3(4): 63-65.
- [14] 孟繁磊. 用于油、气、水分相流量测量的气液分离装置的研究[D]. 大庆: 东北石油大学, 2012.
- MENG Fanlei. The research of gas/liquid separator based on oil-water-gas split-phase flow measurement [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2012.
- [15] 牟海维, 孟繁磊, 于向江, 等. 自力式油气水三相流气液分离装置的设计与实验[J]. 光学仪器, 2012, 34(6): 76-80.
- MU Haiwei, MENG Fanlei, YU Xiangjiang, et al. Design and experiment of a self-gas/liquid separator with oil-gas-water three-phase flow [J]. Optical Instruments, 2012, 34(6): 76-80.
- [16] 刘兴斌, 胡金海, 黄春辉, 等. 气相介入对伞集流涡轮流量计及阻抗含水率计响应影响[J]. 测井技术, 2017, 41(6): 648-651.
- LIU Xingbin, HU Jinhai, HUANG Chunhui, et al. On response of umbrella collecting turbine flowmeter and impedance water-cut meter to gas phase intervention [J]. Well Logging Technology, 2017, 41(6): 648-651.
- [17] 郝志强, 伏荣超, 郭永红, 等. 多源距示踪流量组合测井仪设计及试验分析[J]. 油气井测试, 2025, 34(01): 62-68.
- HAO Zhiqiang, FU Rongchao, GUO Yonghong, et al. Design and experimental analysis of multi-spacing tracer flow combination logging tool [J]. Well Testing, 2025, 34(1): 62-68.
- [18] 庞振力, 季鹏, 张小玲, 等. 豁免源多相流量计在多井合采混输单井计量中的应用[J]. 油气井测试, 2022, 31(04): 18-22.
- PANG Zhenli, JI Peng, ZHANG Xiaoling, et al. Application of exempt source multiphase flowmeter in single well metering of multi-well combined production and mixed transportation [J]. Well Testing, 2022, 31(4): 18-22.
- [19] 刘仁勇. 过环空测调控一体化分层配产测试技术改进[J]. 油气井测试, 2022, 31(01): 57-61.
- LIU Renyong. Improvement of integrated testing and control technology for layered production allocation through annular space logging [J]. Well Testing, 2022, 31(1): 57-61.
- [20] 王永强, 张凯权, 汪建伟, 等. 使用科式力质量流量计的多相流量计的研制[J]. 油气井测试, 2021, 30(03): 20-24.
- WANG Yongqiang, ZHANG Kaiquan, WANG Jianwei, et al. Development of a multiphase flowmeter using Coriolis mass flowmeter [J]. Well Testing, 2021, 30(3): 20-24.

编辑 陈志杰

第一作者简介: 姜兆宇, 男, 1988年出生, 硕士, 高级工程师, 2013年毕业于东北石油大学仪器仪表工程专业, 现主要从事油水井测试研究工作。电话: 15164571158, Email: dlts\_jiangzy@petrochina.com.cn。通讯地址: 黑龙江省大庆市红岗区测试五大队, 邮政编码: 163000。