

两相流量计在页岩气及油气田简化流程上的应用

蔡从德¹ 陈哲¹ 李广¹ 唐毅² 林锐²

1 四川长宁天然气开发有限责任公司, 四川 长宁 644300

2 成都安迪生测量有限公司, 四川 成都 610000

[摘要]大多数油气田或页岩气田的产出总是伴随着除主产物之外的第二形态产物, 因此产出物多为两相介质, 油气田两相产出多为油和气, 页岩气田两相产出多为气和水, 他们的共同点为两相产出物均为气液两相。随着我国页岩气及油气田开发进入井喷期, 针对气液两相产出的在线不分离计量具有了广泛的应用场景。基于科里奥利质量流量计可以测量总质量流量、密度等信息, 结合温度、压力即可以计算获得气液两相产出的各自占比, 达到不分离计量气液两相流量的目的。以其结构小巧、成本低廉、非放安全等特点, 在简化页岩气及油气田作业流程上势必会有非常广阔的应用前景。

[关键词]两相流量计; 页岩气; 油气田; 简化流程

DOI: 10.33142/ec.v4i10.4616

中图分类号: TE937

文献标识码: A

Application of Two-phase Flowmeter in Simplified Process of Shale Gas and Oil and Gas Fields

CAI Congde¹, CHEN Zhe¹, LI Guang¹, TANG Yi², LIN Rui²

1 Sichuan Changning Natural Gas Development Co., Ltd., Changning, Sichuan, 644300, China

2 Chengdu Andisoon measure Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract: The output of most oil and gas fields or shale gas fields is always accompanied by the second form products other than the main products. Therefore, the products are mostly two-phase media. The two-phase output of oil and gas fields is mostly oil and gas, and the two-phase output of shale gas fields is mostly gas and water. Their common point is that the two-phase products are gas-liquid two-phase. With the development of shale gas and oil and gas fields entering the blowout period in China, on-line non separation measurement for gas-liquid two-phase production has a wide range of application scenarios. Based on Coriolis mass flowmeter, the total mass flow, density and other information can be measured. Combined with temperature and pressure, the respective proportion of gas-liquid two-phase output can be calculated, so as to achieve the purpose of measuring gas-liquid two-phase flow without separation. Because of its small structure, low cost and non radioactive safety, it is bound to have a very broad application prospect in simplifying the operation process of shale gas and oil and gas fields.

Keywords: two phase flowmeter; shale gas; oil and gas fields; simplify process

1 背景

随着中国油气消费继续快速增长, 国内石油和天然气对外依存度快速攀升^[1]。继 2017 年成为世界最大原油进口国之后, 2018 年又超过日本成为世界最大的天然气进口国。且随着后疫情时代来临, 油气自主开发以及加速油气基础建设已称为必然趋势。面对挑战, 为保障国家能源安全, 油气勘探开发需要简化现有开发流程, 有效控制成本。

目前主流地面开采流程^[2]为除砂器、水套加热炉、分离计量撬, 分别进行加热、节流、气液分离、单相计量、外输。占地面积大, 地面流程复杂, 建设进度无法满足油气产出快速上产需求; 投资较高, 后期维护成本较高, 且多数单井无法满足连续计量需求。

2 两相流量计计量原理

两相流量计采用质量流量计结合差压流量补偿的算法, 具体原理推导如下文。

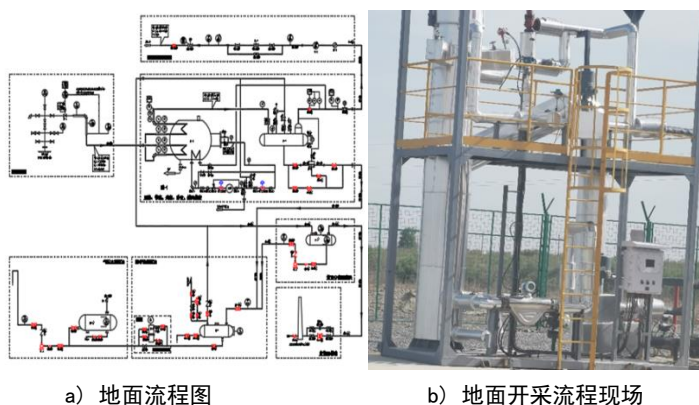


图 1 现阶段主流地面开采流程及实物图

2.1 总流量计量

使用科里奥利质量流量计，可以直接测得两相介质的总质量流量 Q_m ，但根据 GB/Z 35588-2017《用安装在圆形截面管道中的差压装置测量湿气体流量》，此计量结果存在一定的“虚高”现象，需要进行流量补偿，补偿测试在厂内测试环线进行。

2.2 相分率计量

若被测量的介质已知，即其气相标况密度已知，则根据测得的工况压力 P_w 及工况温度 T_w ，利用状态气体方程可计算出气相介质的工况密度 ρ_{gw} 。液相密度 ρ_w 已知且不随压力温度变化。使用科里奥利质量流量计，同样可以测得两相介质的混合密度 ρ_{mix} ，存在如下所示关系。

$$LVF * \rho_w + GVF * \rho_{gw} = \rho_{mix} \quad (1)$$

$$LVF + GVF = 1 \quad (2)$$

根据上式，可计算出体积含液率 LVF ，体积含气率 GVF 。即两相介质的体积相分率。

2.3 单相流量计算

由于密度信息已知，可将体积相分率分别转换为质量相分率 LMF 及 GMF ，同时，经过出厂标定后的总质量流量为 Q_{mc} ，因此，单相流量即可计算得出。

$$Q_l = Q_{mc} * LMF \quad (3)$$

$$Q_g = Q_{mc} * GMF \quad (4)$$

其中， Q_l 为液相流量， Q_g 为气相流量。

3 两相流量计应用

现阶段页岩气及油气田多为丛式井，如图 2 所示，为简化计量流程提供了条件。



图 2 典型丛式井示例

根据单井试采动态分析要求，单井必须连续计量。结合两相流量计产品特性，一种基于气液两相流量计的简化计量流程^[3]被提出，如图 3 所示。

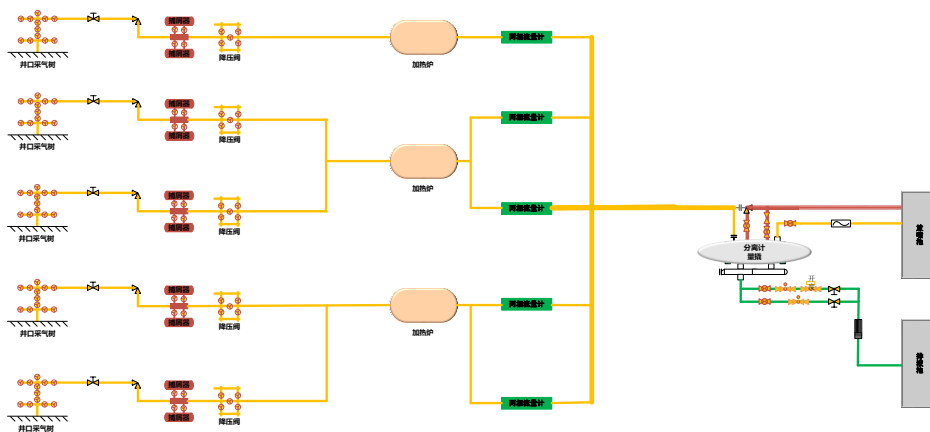


图 3 简化的计量流程

采用此种计量流程，只需在井口进行气液两相单井计量，然后多井汇合后输送至集气站进行分离再计量，此流程既不需要额外增加传输管线，还能减少分离计量撬的使用，可有效降低开采成本。

4 现场试验

如上所述,为验证简化流程的可行性,在油气田和页岩气田分别进行了多日适用性试验。为简化试验流程,直接使用气液两相流量计替换分离器后端的液相单相流量计,并将分离计量撬的气相回路关闭。气液两相流量计计量结果与后端再次分离后单相计量结果进行对比。

4.1 油气田试验

2020年10月至2021年4月,在塔里木的东河9-1井,分别进行了为期9日的对比试验,试验数据及误差如表1所示。其中,在2020年度进行的5日试验中,油气井并无产气。

表1 油气田试验数据对比

试用日期	井号	两相流量计液产量 m ³ /d	分离计量撬液产量 m ³ /d	液相误差	两相流量计气产量 Nm ³ /d	分离计量撬气产量 Nm ³ /d	气相误差
2020/10/17	HA9012	31.9	31	2.90%	无产气		
2020/10/18	HA9013	10.2	11	-7.27%			
2020/10/19	HA9013	8.5	9	-5.56%			
2020/10/20	HA9012	35.1	34	3.24%			
2020/10/21	HA9012	33.0	32	3.13%			
2021/4/27	HA9001	49.2	46	6.96%	2621	2510	4.42%
2021/4/28	HA9001	45.7	42	8.81%	2411	2280	5.75%
2021/4/29	HA9001	44.1	41	7.56%	2548	2440	4.43%
2021/4/30	HA9001	47.4	45	5.33%	2781	2700	3.00%

首先分析误差,其中9日液相流量平均误差为2.79%,均方根误差为5.31%;气相流量平均误差为4.4%,均方根误差为0.97%。

利用回归直线观测测量值与对比值的拟合程度,使用拟合度 R^2 来表示。如图4所示。

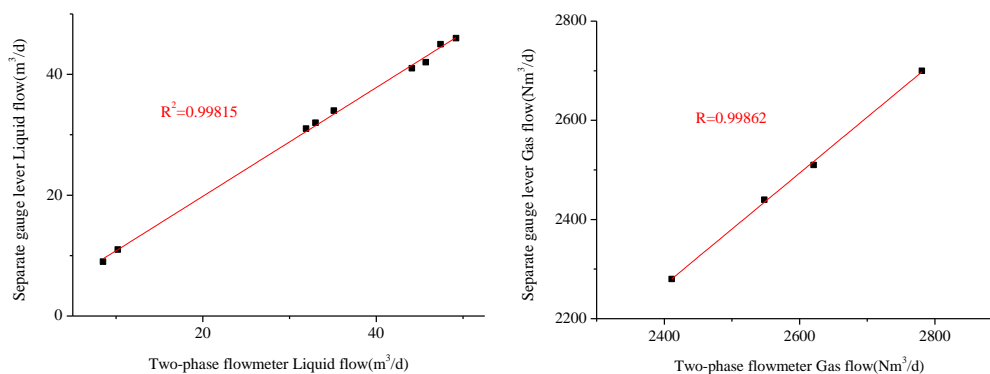


图4 测量值与对比值回归直线及拟合度

从图4可以明显看出,液相拟合度 $R^2=0.99815$,气相拟合度 $R^2=0.99862$,均非常接近于1,因此,使用两相流量计所得测量值来衡量实际产量具有非常高的可信度及可行性。

4.2 页岩气田试验

为验证两相流量计在页岩气开采中的适用性,使用同样的试验方法进行了为期11日的流量计量对比测试,测试数据对比及误差如表2所示。

表2 页岩气田试验数据对比

试用日期	井号	两相流量计液产量 m ³ /d	分离计量撬液产量 m ³ /d	液相误差	两相流量计气产量 Nm ³ /d	分离计量撬气产量 Nm ³ /d	气相误差
2020/9/15	NXXX	304.94	306.7	-0.57%	391293.97	382172.05	2.39%
2020/9/16	NXXX	280.48	291.25	-3.70%	374382.8	361610.05	3.53%
2020/9/17	NXXX	139	138.11	0.64%	157900.89	159582.29	-1.05%

试用日期	井号	两相流量计液产量 m ³ /d	分离计量撬液产量 m ³ /d	液相误差	两相流量计气产量 Nm ³ /d	分离计量撬气产量 Nm ³ /d	气相误差
2020/9/18	NXXX	209.71	217.66	-3.65%	326980.8	313443.55	4.32%
2020/9/19	NXXX	242.55	251.61	-3.60%	398466.73	385687.3	3.31%
2020/9/20	NXXX	178.14	180.39	-1.25%	258255.68	256582.29	0.65%
2020/9/21	NXXX	117.49	115.51	1.71%	143046.66	150623.8	-5.03%
2020/9/22	NXXX	110.09	109.36	0.67%	146346.17	152157.29	-3.82%
2020/9/23	NXXX	101.87	99.54	2.34%	133664.17	141030.8	-5.22%
2020/9/24	NXXX	77.85	77.05	1.04%	105365.54	107521.79	-2.01%
2020/9/25	NXXX	65.93	65.33	0.92%	83273.42	85265.7	-2.34%

其中 11 日液相流量平均误差为-0.5%，均方根误差为 1.64%；气相流量平均误差为 0.49%，均方根误差为 2.87%。同理，利用回归直线观测测量值与对比值的拟合程度，如图 5 测量值与对比值回归直线及拟合扰度所示。

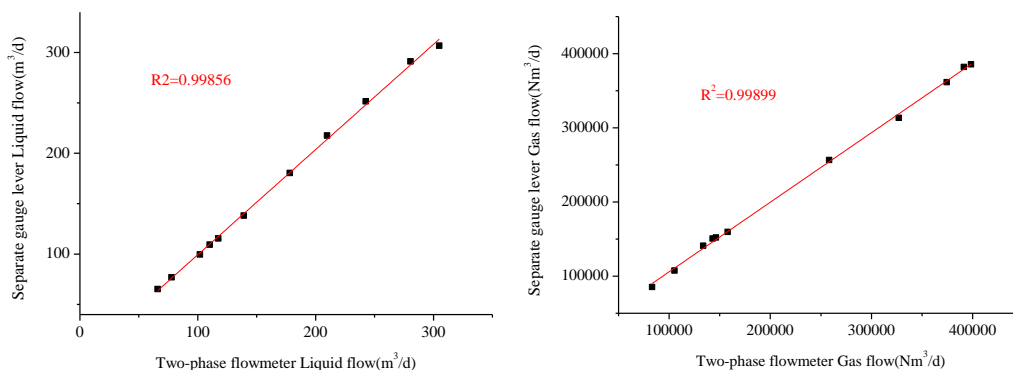


图 5 测量值与对比值回归直线及拟合扰度

可以明显看出，页岩气田气液两相流量计测量结果中，液相拟合扰度 $R^2=0.99856$ ，气相拟合扰度 $R^2=0.99899$ ，亦均非常接近于 1，因此，使用两相流量计所得测量值来衡量页岩气田实际产量具有非常高的可信度及可行性。

5 结论

分离计量撬后端采用的气相单相表为标准孔板流量计，其量程比^[4]一般为 3:1，与同类型其他原理仪表相比并不高，因此需要频繁更换孔板来匹配现场的流量范围。而计量撬后端的液相单相仪表多为涡轮流量计^[5]，流体物性对流量计量存在较大影响，不能保持长期准确性。基于以上两点，标准表必定会引入一定的计量误差。

通过对两相流流量计在油气田试验和页岩气田试验条件下的性能测试结果的分析，可以看出两相流流量计的测量原理和测量方法是有效可行的，计量误差满足要求。

采用两相流流量计计量减少了开采流程，取消了分离计量撬，减小了占地面积，缩减了项目建设时间，投资大幅降低，后期维护成本较低。

因此，基于上述优点，总体上认为两相流流量计计量满足页岩气及油气田生产计量需求。

[参考文献]

- [1] 钱兴坤, 刘朝全, 姜学峰, 等. 全球石油市场艰难平衡发展风险加大—2019 年国内外油气行业发展概述及 2020 年展望[J]. 国际石油经济, 2020, 27(1): 2-9.
- [2] 付红星, 李朋, 侯云鹏, 等. 油田地面建设过程中存在问题 and 应对措施[J]. 中国化工贸易, 2019, 11(30): 173.
- [3] 王新胜. 油气田开发建设项目简化后评价方法研究[J]. 现代经济信息, 2018(27): 363.
- [4] 周方良. 浅析孔板流量计量程比[J]. 冶金自动化, 2010, 34(5): 57-60.
- [5] 向伟君, 曾麟. 涡轮流量计在天然气计量中的应用[J]. 计量与测试技术, 2020, 47(2): 59-61.

作者简介: 蔡从德 (1966.2-), 男, 专业: 机械制造工艺及设备, 毕业院校: 1988 年毕业西南石油学院矿机专业, 职务: 现任四川长宁天然气开发公司地建部长, 职称: 高级工程师, 学历: 大学本科。