

# 冀中北部油区原油计量误差影响因素及对策

杨树莲<sup>1</sup>, 许旭华<sup>1</sup>, 米立和<sup>1</sup>, 薛亚琴<sup>2</sup>, 赵睿<sup>1</sup>, 陶曙亮<sup>1</sup>

1. 中国石油华北油田公司第四采油厂 河北廊坊 065000  
2. 中国石油华北油田公司河北储气库分公司 河北廊坊 065000

通讯作者: Email: cy4\_xsh@petrochina.com.cn

项目支持: 中国石油华北油田公司第四采油厂科研项目“采油四厂提高单井产量技术对策研究与实施”(2022-CS-11)。

引用: 杨树莲, 许旭华, 米立和, 等. 冀中北部油区原油计量误差影响因素及对策[J]. 油气井测试, 2023, 32(6): 60-64.

Cite: YANG Shulian, XU Xuhua, MI Lihe, et al. Influence factors and countermeasures for oil metering error in northern Central Hebei oil province [J]. Well Testing, 2023, 32(6): 60-64.

**摘要** 冀中北部油区立式分离器单井计量方式的减少, 用于标定示功图算产的修正系数不全面, 造成原油计量误差较大。通过对现有的计量工艺与计量结果的相关数据分析, 开展 Standing 经验公式法标定示功图算产中原油体积系数, 液面法计算产液量对比示功图算产的方法研究, 建立系统单井计量方式优选标准, 形成了一套适用于冀中北部油区原油计量的方法。现场成功应用 Standing 经验公式法和液面法, 测取计量 155 口油井产量, 原油误差降低到 4.8%。该方法能够有效降低单井计量误差, 为地质分析提供精准数据, 有效保证油田的开发效果, 为冀中北部油区油井原油精确计量提供一些新的思路和方法。

**关键词** 冀中油区; 计量误差; 影响因素; 示功图算产; Standing 方法; 液面法; 标定

**中图分类号:** TE863 **文献标识码:** B **DOI:** 10.19680/j.cnki.1004-4388.2023.06.010

## Influence factors and countermeasures for oil metering error in northern Central Hebei oil province

YANG Shulian<sup>1</sup>, XU Xuhua<sup>1</sup>, MI Lihe<sup>1</sup>, XUE Yaqin<sup>2</sup>, ZHAO Rui<sup>1</sup>, TAO Shuliang<sup>1</sup>

1. The Fourth Exploit Factory of PetroChina Huabei Oilfield Company, Langfang, Hebei 065000, China  
2. Hebei Gas Storage Branch of PetroChina Huabei Oilfield Company, Langfang, Hebei 065000, China

**Abstract:** In the northern Central Hebei oil province, less modes of vertical-separator single-well metering and incomplete correction factors for calibrating the indicator diagram production calculation lead to big error in oil metering. Through analysis of existing metering processes and results, it was proposed to use the Standing empirical formula to calibrate the oil formation volume factor in indicator diagram production calculation and apply the liquid-level method for liquid production calculation in contrast to the indicator diagram production calculation. Correspondingly, the criteria for systematic selection of single-well metering process were established, and an approach of oil metering suitable for the northern Central Hebei was formed. The Standing empirical formula and liquid-level method were applied on site to measure the oil productions of 155 wells, reflecting a decline of error to 4.8%. It is concluded that the approach can effectively reduce the error in single-well oil metering, thereby contributing accurate data for geological analysis and ensuring the performance of oilfield development. This study provides additional idea and method for accurate metering of oil production in the northern Central Hebei oil province.

**Keywords:** northern Central Hebei oil province; metering error; influence factor; indicator diagram production calculation; Standing empirical formula; liquid-level method; calibration

在油田开发过程中, 油井计量对于动态分析、生产管理等发挥着重要作用<sup>[1-2]</sup>。冀中北部油区以作业区为单元, 地质产量计量管理各自独立, 但是受地面工艺流程的简化优化, 最早采用立式分离器量油的方式已日趋减少<sup>[3-4]</sup>, 统计计量井数占比 20.3%; 随着油井自动化程度的提高, 示功图算产井数占比达

到 83.3%, 是冀中北部油区当前主要计量方式。在实际操作中, 存在示功图算产中未考虑体积系数<sup>[5-6]</sup>, 井口计量与井筒计量没有对比等问题, 导致计量误差较大。计算 2022 年 YQ、BGZ、HPY、LD、LN 作业区平均计量误差为 10.4%, 其中 BGZ、HPY 和 LD 作业区计量误差均超过 10%, YQ 与 LN 作业

区计量误差在 5% 以下。针对计算原油体积系数的方法问题,谢龙等采用经验公式 Standing 方法、Vazquez-Beggs 方法与状态方程法进行对比<sup>[7-10]</sup>, Standing 方法计算的误差处于中间水平,更适用于现场。针对井筒内流体计量监测问题,孟庆萍等采用液面恢复法计算油井产液量<sup>[11]</sup>,并与翻板式液位计量油、模拟井口回压法量油做对比,得出满足计量精确度示功图的要求。另外,根据误差计算中的地产与实产,可以得出提高井口产量计量的精准是降低误差的关键。本文在综合研究成果的基础上,将经验公式 Standing 方法计算体积系数,用于算产当中,去修正示功图算产产量;通过自动连续液面监测数据,求取液面恢复曲线切线的斜率,计算出单井产液量,对比示功图算产、立式分离器量油、称重式计量产量,平均计量误差能够控制在 5% 以内,为降低计量误差工作提供了新的思路和方法。

### 1 计量误差影响因素

结合冀中北部油区在用计量方式的实际情况,重点针对立式分离器与示功图算产所产生的计量误差进行影响因素分析。

#### 1.1 立式分离器计量误差分析

该计量方式是油井通过集油管线集输至计量站,采用立式分离器进行计量。其产量计量公式为

日产液量=分离器量油常数/量油时间 (1)

式中:日产液量,t;量油时间,s。

立式分离器计量原理是单井来液进入分离器内部被隔板撞击分散,使溶解在液体中的天然气分离出来,依靠重力作用实现气液分离。利用容积法与连通器平衡原理,观测液位计液位高度,通过单位时间内进入分离器罐体内的液量来计算单井的产液量。

立式分离器计量误差受油井生产情况影响较

大,产液量平稳井,计量误差相对较小;产液量波动大、低产液间歇出油井,计量误差相对较大。该计量方式也会因来液物性、底水密度不同、人工读取数据差别等因素产生系统随机误差<sup>[12-13]</sup>。

#### 1.2 示功图算产计量误差分析

示功图算产是借助于安装在抽油机井光杆上的负荷和位移传感器来完成示功图数据测取,基于示功图测试数据正确的基础上进行泵功图分析,计算出油井产液量。示功图算产公式为

$$Q=1\,440\times n s \pi D^2/4B$$

式中:Q 为日产液量,t;n 为冲次,次/min;s 为冲程,m;ρ 为混合液密度,kg/m<sup>3</sup>;D 为抽油泵直径,mm;B 为体积系数。

分析示功图算产误差原因,一是功图传感器长期暴露在室外,受环境影响,负荷传感器容易发生漂移,造成采集功图失真,影响到最终计算准确度;二是示功图算产公式未考虑混合液密度、体积系数值,导致计量结果偏高;三是油井井筒参数改变后,未做到及时更新,同样会出现计算结果偏差<sup>[14-15]</sup>。

### 2 计量误差应对措施

根据立式分离器与示功图算产等计量方式的特点,采取有针对性降低计量误差的措施。引入液面法计产标定方式,进一步验证修正体积系数的必要性与意义。

#### 2.1 立式分离器降低计量误差

降低分离器计量误差措施:(1)量油常数定期标定,定期更换分离器内底水;(2)分离器液位计等安装考克部位定期清洗,防止油井出砂、异物堵塞;(3)针对间歇出油、产量波动变化较大油井,尽量采用连续计量方式,加密量油次数;(4)按照地质资料录取标准,制定不同产量区间量油计划,指导监督计量标定工作(见表 1)。

表 1 冀中北部油区油井产液情况分布表  
Table 1 Distribution table of fluid production from oil wells in the Northern Hebei oil region

液量区间	日产液量≥ 50 t 井数/口	20 t≥日产液 量<50 t 井数/口	10 t≥日产液 量<20 t 井数/口	5 t≥日产液 量<10 t 井数/口	2 t≥日产液 量<5 t 井数	日产液量<2 t 井数/口	合计井数/ 口
BGZ 作业区	3	26	32	42	47	22	172
YQ 作业区	0	0	8	17	22	28	75
HPY 作业区	0	2	24	33	53	52	164
LD 作业区	0	0	2	7	26	41	76
LN 作业区	0	1	7	16	25	13	62
合计	3	29	73	115	173	156	549

2.2 示功图算产标定系数降低计量误差<sup>[16-17]</sup>

由功图算产公式： $Q = 1\,440 \times n s p \pi D^2 / 4 B$  得出  
油井产液量，而现场实际得出的产液中体积系数  
与混合液密度值均未考虑，如果要削减误差风险，  
应得到体积系数与混合液密度值。

混合液密度计算方法为

$$\rho_{混} = \rho_{油} \times (1 - f_w) + f_w \times \rho_{水} \quad (3)$$

式中： $\rho_{混}$  为混合液密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ； $\rho_{油}$  为油密度，  
 $\text{kg}/\text{m}^3$ ； $\rho_{水}$  为水密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ； $f_w$  为含水率，%。

体积系数的获取有两种形式，即油井所属断块  
原始体积系数和经验公式 Standing 方法。原始体积  
系数在油田地质基础数据表中可查到，经验公式  
Standing 方法为

$$B_{ob} = 0.972 + 1.1213 \times 10^{-2} F^{1.175} \quad (4)$$

其中  $F = 0.1404 R_s \left[ \frac{r_g}{r_o} \right]^{0.5} + 5.625 \times 10^{-2} T + 1$

式中： $B_{ob}$  为体积系数； $R_s$  为溶解气和油的体积比，  
 $\text{t}/\text{m}^3$ ； $r_o$  为地面脱气原油相对密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ； $r_g$  为分离  
器气体相对密度（取空气的密度为  $1.0\text{ kg}/\text{m}^3$ ）； $T$   
为地层温度，K。

2.3 液面法计算产量标定

在油井既无分离器，又无示功图算产计量情况  
下，选择液面法计产，其原理就是当油井保持某一  
套压连续生产时，若工作制度不变，则地层出液与  
抽油泵排液处于一种动平衡状态。测试动液面后

对其停抽，由于“续流”现象，地层内液体继续流入  
井筒，使油井环形空间液面上升，随停井时间的延  
长，液面恢复幅度增加，测试不同停井时间下的液  
面恢复数值。在油井现场操作方法：首先测 3 次  
动液面，确保深度差值在 5% 以内；其次正常稳定  
生产情况下监测 10 min 动液面，最后关井液面恢  
复监测 120 min，采样间隔为 10 min 测试，以此获  
取监测数据。根据液面恢复曲线二项式进行计算  
如下

$$Q = 1\,440 \times \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \frac{dH}{dt} \frac{r}{B} \quad (5)$$

式中： $Q$  为产液量， $\text{t}$ ； $B$  为原油体积系数； $D$  为套管  
内径， $\text{mm}$ ； $d$  为油管外径， $\text{mm}$ ； $r$  为井筒内液体平均  
比重， $\text{t}/\text{m}^3$ ； $dH/dt$  为液面恢复曲线切线的斜率。

3 现场应用

利用冀中北部油区油井计量资料，通过示功图  
算产中原始体积系数与经验公式 Standing 方法修正  
体积系数进行计产对比，同时在油井生产现场，采  
用液面恢复的方式，绘制恢复曲线后计算油井产  
量，将两种方式做出计量误差对比分析，得出结果。

3.1 原始体积系数与经验公式 Standing 方法对比

按照油井不同产液量区间，利用 Standing 方法  
求取体积系数与原始体积系数计算产液量对比（见  
表 2）。

表 2 原始体积系数与 Standing 方法计算体积系数对比误差分析

Table 2 Error analysis of comparison between original volume coefficient and standing method for calculating volume coefficient

产液量 区间/t	井号	相关参数					量油 标定/t	原始体积系数		Standing 计算 体积系数		示功图算 产与原始 体积系数 修正误差 对比	Standing 计算体积 系数与原始 体积系数 修正误差 对比
		地面相对 密度/ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	有效冲 程/m	冲次/ (次/ min)	泵径/ mm	混合液 密度/ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )		断块原 始体积 系数	计算产 液量/ t	Standing 计算体 积系数	计算产 液量/t		
≤2 t	J9-25x	0.92	1	1.63	32	0.980 8	1.31	1.208	1.53	1.448	1.28	-16.79	2.29
≤2 t	Q241-50nx	0.848	0.8	2	38	0.872 2	1.25	1.265	1.91	1.647 6	1.38	-52.80	-10.40
≤2 t	J720	0.859	2	1.3	32	0.937 5	1.62	1.208	2.34	1.576	1.79	-44.44	-10.49
2~5 t	A105-1x	0.813 3	3.8	1.63	32	0.937 5	3.67	1.450 5	4.63	1.895	3.55	-26.16	3.27
5~10 t	Z16-2	0.849	4	2.7	38	0.921 5	9.71	1.371	11.85	1.696	9.58	-22.04	1.34
≥10 t	J502	0.859	3.25	4	56	0.993 4	14.66	1.208	17.45	1.576	13.38	-19.03	8.73
合计							32.22		39.71		30.96	-23.25	3.91

通过两组数据对比，采用原始体积系数算产无  
论产液量区间，误差都在 15% 以上。而 Standing 方  
法求取的体积系数算产，不同产液量区间误差在  
10% 以下。分析原因原始体积系数是在油田开发初

期获得，伴随着开发过程延长及措施实施，油井物  
性发生改变。Standing 方法相对于原始体积系数是  
考虑物性参数变化，因此，计算出来的产量与原始  
体积系数相比，计量误差呈现大幅度下降。

### 3.2 液面法计算产量

引入分布式动液面监测仪,该系统可以实现动液面在线测量,包括动液面深度数据、原始曲线、动液面变化曲线和套压变化曲线等<sup>[18-20]</sup>。

以 J22-40 井、J59-18 井现场测试为例:正常开井时测取动液面值,关井 120 min,每 10 min 测取一个静液面值,根据测取的数值绘制成曲线,求取出液面恢复曲线切线斜率,见图 1、图 2 所示。

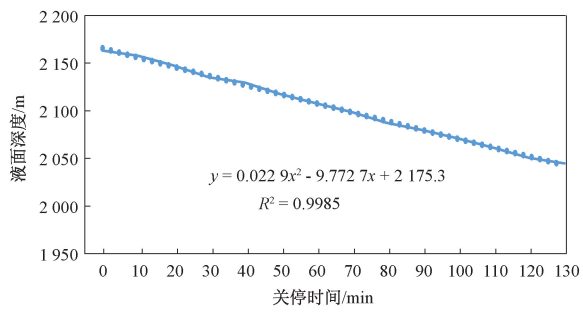


图 1 J22-40 井液面恢复曲线

Fig. 1 The liquid level recovery curve of well J22-40

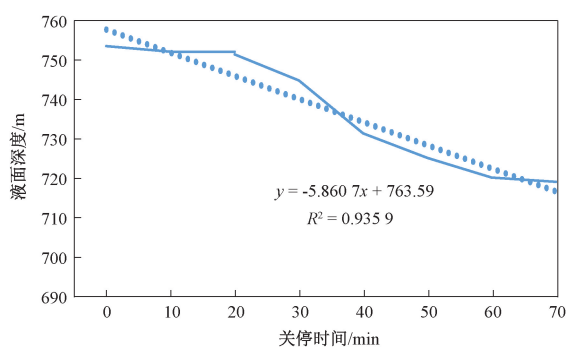


图 2 J59-18 井液面恢复曲线

Fig. 2 The liquid level recovery curve of well J59-18

根据液面计产公式,计算出 J22-40 井的日产液量 9.31 t,采用示功图算产加入混合液密度与体积系数修正后的日产液量为 9.8 t,两者对比计量误差为 5%,若不考虑体积系数与混合液密度,J22-40 井的日产液量 14.8 t,与液面法计算产量误差为 37%。J59-18 井液面法计算得出的日产液量 4.63 t,采用示功图算产加入混合液密度与体积系数修正后的日产液量 4.37 t,两者对比计量误差为 5.6%。由此说明,示功图算产中体积系数值的标定是非常有必要的。

### 4 结论

(1)冀中北部油区 155 口示功图算产油井采用经验公式 Standing 方法标定的体积系数值,通过与实产对比,计算系统平均计量误差 4.8%,与之前相比下降 5.6%,说明该方法可以有效降低计量误差,

同样在其他油田的单井计量均可适用。

(2)液面法计算产量更接近于实际产量,实现了井筒内流体的变化监测,具备可操作与可对比性,为单井计量方式的多样性提供了技术支持。

**致谢:**感谢华北油田公司第四采油厂的领导和同事在数据可行性分析、论文修改等方面的支持和帮助。

### 参考文献

[1] 杨巍. 单井计量技术的现状及发展[J]. 油气田地面工程, 2009, 28(9): 49-50.  
YANG Wei. Current situation and development of single well measurement technology [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2009, 28(9): 49-50.

[2] 邹凌川. 原油计量技术的研究[D]. 西安: 西安石油大学, 2015: 42-44.  
ZOU Lingchuan. Crude oil metering technology [D]. Xi'an: Xi'an University of Petroleum, 2015: 42-44.

[3] 胡松华, 张佳民, 栾义国. 油井采出液称重计量应用评价[J]. 油气田地面工程, 2017, 36(5): 11-15.  
HU Songhua, ZHANG Jiamin, LUAN Yiguo. The application evaluation of produced fluid weighing metering [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2017, 36(5): 11-15.

[4] 文长明, 巩利. 基于翻斗流量计自动称重的油气分离系统[J]. 石油仪器, 2006, 20(6): 30-31.  
WEN Changming, GONG Li. Oil gas separation system based on automatic weighing of tipping bucket flowmeter [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2006, 20(6): 30-31.

[5] 张乃禄, 赵岐, 张钰哲, 等. 示功图法计算油井产液量的影响因素[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2011, 26(4): 53-55.  
ZHANG Nailu, ZHAO Qi, ZHANG Yuzhe, et al. Factors affecting the calculation of oil well liquid production using indicator diagram method [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2011, 26(4): 53-55.

[6] 杨瑞, 黄伟, 辛宏, 等. 功图法油井计量技术在长庆油田的应用[J]. 油气田地面工程, 2010, 29(2): 55-57.  
YANG Rui, HUANG Wei, XIN Hong, et al. Application of work diagram method in oil well measurement technology in Changqing oilfield [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2010, 29(2): 55-57.

[7] 谢龙, 郭绪强, 陈光进, 等. 计算原油体积系数的状态方程法[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2007, 31(3): 137-138.  
XIE Long, GUO Xuqiang, CHEN Guangjin, et al. A new method predicting volume factor of formation crude oil [J]. Journal of China University of Petroleum (Natural Science Edition), 2007, 31(3): 137-138.

[8] 康志勇, 陈洋, 刘曙光, 等. 原油体积系数理论方程推导及应用[J]. 天然气与石油, 2020, 38(6): 61-63.





- KANG Zhiyong,CHEN Yang,LIU Shuguang, et al. Derivation and application of crude oil volume factor theoretical equation [J]. Natural Gas and Oil,2020,38(6):61-63.
- [9] 李爱芬,王守龙,吕姣,等. 地层原油组成差异对高压物性参数的影响[J]. 新疆石油地质,2014,35(3):299-302.
- LI Aifen,WANG Shoulong,LYU Jiao, et al. Effect of the composition of formation crude oil on PVT data [J]. Xinjiang Petroleum Geology,2014,35(3):299-302.
- [10] 李玉蓉. 提高地层原油体积系数计算精度的方法[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2012,39(4):434-437.
- LI Yurong. Method of enhancing calculation precision of crude oil volume factor[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science& Technology Edition), 2012, 39(4):434-437.
- [11] 孟庆萍. 油井产量计量方式及其应用[J]. 吐哈油气,2008,13(1):36-38.
- MENG Qingping. Methods and application of oil well production metering[J]. Tuha Oil and Gas,2008,13(1):36-38.
- [12] 李玉柱,孙秋菊. 油品计量中不规范操作引起的误差分析[J]. 计量科学与技术,2022,66(1):70-72.
- LI Yuzhu, SUN Qiuju. Analysis of major errors caused by non-standard operations in crude oil measurement [J]. Metrology Science and Technology,2022,66(1):70-72.
- [13] 王超. 原油计量误差分析及损耗控制[J]. 石化技术,2021,28(10):189-190.
- WANG Chao. Analysis of crude oil measurement error and loss control[J]. Petrochemical Industry Technology,2021,28(10):189-190.
- [14] 李丽,安淑凯,刘怀庆. 功图算产适用性及关联因素分析[J]. 信息系统工程,2017(3):152-153.
- LI Li, AN Shukai, LIU Huaiqing. Analysis of the applicability and related factors of power graph calculation [J]. China CIO News, 2017,(3):152-153.
- [15] 丁煜晖,李兵元,李国荣,等. 某油田功图量液技术应用适应性分析[J]. 中国管理信息化,2021,24(24):132-133.
- DING Yuhui, LI Bingyuan, LI Guorong, et al. Adaptability analysis of the application of fluid measurement technology in a certain oilfield[J]. China Management Informationization, 2021,24(24):132-133.
- [16] 刘丽莉. 原油计量中存在的问题及解决对策研究[J]. 中国设备工程,2021,9(17):241-242.
- LIU Lili. Research on the problems and solutions in crude oil measurement [J]. China Plant Engineering, 2021, 9(17):241-242.
- [17] 杨茹冰. 提高原油计量交接准确性的措施[J]. 化工设计通讯,2021,47(4):20-21.
- YANG Rubing. Measures to improve the accuracy of crude oil measurement handover [J]. Chemical Engineering Design Communications, 2021,47(4):20-21.
- [18] 翁雷,杨光道. 油井产量计量新技术发展情况综合分析[J]. 天然气与石油,2013,31(2):84-87.
- WENG Lei, YANG Guangdao. Analysis on development situation of new metering technologies for oil well output [J]. Natural Gas and Oil,2013,31(2):84-87.
- [19] 潘兆柏,俞萍,郑琦. 国外油井计量技术评价[J]. 国外油田工程,2000(11):23-26.
- PAN Zhaobai,YU Ping,ZHENG Qi. Evaluation of foreign oil well metering technology [J]. Energy Conservation in Petroleum & Petrochemical Industry,2000(11):23-26.
- [20] 鄢雨,石彦,冯小刚,等. 单井在线计量技术及装置的研究与应用[J]. 新疆石油天然气,2019,15(2):95-100.
- YAN Yu, SHI Yan, FENG Xiaogang, et al. Research on single well online measurement technology and device including their applications [J]. Xinjiang Oil & Gas, 2019,15(2):95-100.

编辑 吴志力

**第一作者简介:**杨树莲,女,1982年出生,本科,助理工程师,2005年毕业于河北大学新闻专业,现主要从事油气田监测技术研究工作。电话:0317-2552794;Email:cy4\_yangsl@pet-rochina.com.cn。通信地址:河北省廊坊市广阳区华北油田公司第四采油厂地质研究所,邮政编码:065000。