

消减气流脉动的机理 及其对计量误差的影响

喻 平 仁

(四川石油管理局川南矿区)

内容提要 在天然气流量测量中常常遇到脉动流的干扰。本文从理论上分析了消减气流脉动的机理,阐述了消减脉动流对计量误差的影响,并指出消减脉动流的最佳方法。

主题词 消减气流脉动 天然气 气体计量 测量误差 最佳方法

消减脉动流的机理

在天然气生产过程中,因气井产水、压缩机运行、用户非均衡用气和管网压力干扰,常产生脉动流,引起压力脉动波沿管长传播。理论上业已证明沿同一轴线相向传播的两压力波遵循叠加原理,即当两波波幅的脉冲方向相同时,互相增强;相反时,互相抵消。

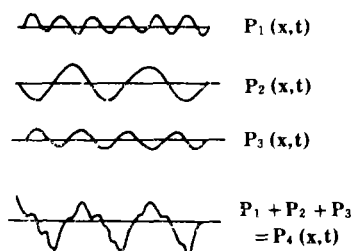


图 1

假设有 $P_1(x,t)$ 、 $P_2(x,t)$ 、 $P_3(x,t)$ 三个波(见图 1),它们在传播时叠加合成后可得到新波 $P_4(x,t)$;反之合成波 P_4 也可以分解成

上述的 P_1 、 P_2 、 P_3 三个正弦波。从天然气流量卡片上看,差压脉动波与 P_4 极相似,这样,我们利用研究正弦压力波取得的成果可以指导天然气脉动流的研究。对于等截面管内气流无阻尼脉动,应用动量方程、连续性方程和声速方程可以推导出:

脉动压力

$$P = (Ae^{ikx} + Be^{-ikx})e^{i\omega t} \quad (1)$$

脉动速度

$$u = -\frac{1}{\rho_0 c} (Ae^{ikx} - Be^{-ikx} - Be^{ikx})e^{i\omega t} \quad (2)$$

式中 ρ_0 ——气体平均密度;

c ——气体声速;

i ——虚数单位, $i = \sqrt{-1}$;

k ——脉动波长常数, $k = \frac{\omega}{c}$;

ω ——脉动圆频率;

t ——时间;

x ——脉动点的座标;

A 、 B ——由管端条件确定的积分常数。

由上式可见,管道内的脉动压力波是取入射波 $Be^{i(\omega t - kx)}$ 和反射波 $Ae^{i(\omega t + kx)}$ 二者叠加的形式。当管道无限长或管道端点不具有反

射条件时,压力波就以单一入射波的形成传播;当管道具有反射条件时,压力波就以入射波和反射波叠加的形式传播。前者称为行波,后者称为驻波。行波的脉动压力复数表达式为:

$$P = Be^{i(\omega t - kx)} \quad (3)$$

取其虚部有

$$P = B\sin(\omega t - kx) \quad (4)$$

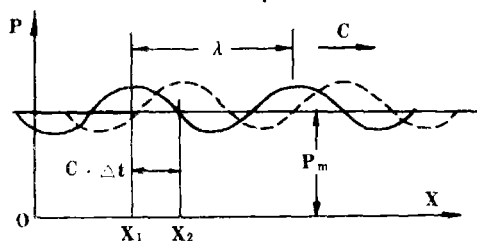


图 2

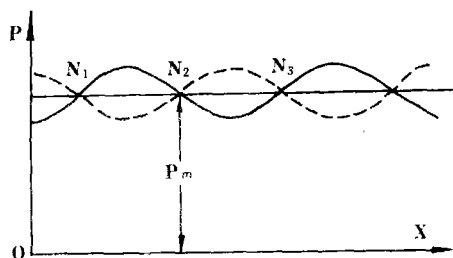


图 3

行波脉动压力随时间和气体质点位置的变化情况见图 2。图 2 表明行波有如下特点:管道各点的压力脉动频率相同而相位不同,行波会从脉动源处沿管长传播。驻波的脉动压力复数表达式为:

$$P = Ae^{i(\omega t + kx)} + Be^{i(\omega t - kx)} \quad (5)$$

取其虚部且由 $A = -B$, 则有

$$P = 2B\cos(kx + \frac{\pi}{2})\sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad (6)$$

驻波的脉动压力波形图见图 3。驻波的特点

是:管道各点以同样的频率、同样的相位作谐振动而振幅却完全不同,其中最大振幅为 $2B$,最小振幅为零。驻波的最大振幅为行波的 2 倍。驻波不再向远处传播。

消减气流脉动的现场实践

我们曾在井 9、中 3、纳 6 等井站作过消减气流脉动的试验,包括缓冲罐、缓冲孔板和阻尼阀的使用以及调节计量下游阀开度等,共录取流量卡片 524 张、技术数据 9120 个。

1. 井 9 井消减脉动流试验

试验工艺流程见图 4:气水自井口流出经针形阀降压后进入分离器,分出的地层水排入污水池,天然气流经缓冲罐后计量,然后流经缓冲孔板或下游阀进汇管。由于气水同产,引起压力脉动。

井 9 井试验时(1985 年 7 月)生产情况:套压 9.6MPa,油压 4.7MPa,产气 $12 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$,产水 $130 \text{m}^3/\text{d}$,输压 3.62MPa;天然气计量装置为:计量管直径 $D=94.31 \text{mm}$,孔板孔径 $d=50.1 \text{mm}$;流量计量程为:差压 $H_m=0 \sim 0.03924 \text{MPa}$,静压 $P_m=0 \sim 5.0 \text{MPa}$;流量计运行情况为:静压 $P=3.6125 \text{MPa}$,差压 $H=0.0106 \sim 0.0166 \text{MPa}$ 。

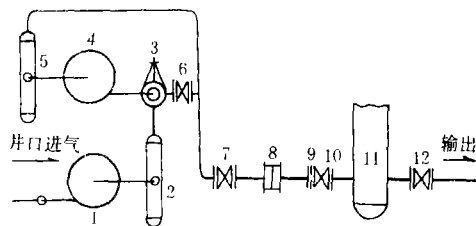


图 4 消减脉动流试验流程图

1、4. 分离器;2、5. 缓冲罐;3. 串联闸阀;6. 旁通阀;7. 上游阀;8. 环室锐孔板;9. 缓冲孔板;10. 下游阀;11. 汇气管;12. 出钻控制阀

使用缓冲罐后,井 9 井差压波动范围就

由 0.0106 ~ 0.0166MPa 降为 0.0114 ~ 0.0146MPa,波动消减率为 38.5%。

井 9 井计量下游阀的通径为 100mm,调节该闸阀的开启度控制气流脉动取得了较好

的效果:静压由 3.613MPa 上升到 3.961MPa,差压波动降为 0.0102 ~ 0.0107MPa。

表 1

序 号	下游阀 开启度 (估算阀板 提升高度) (mm)	流 量 计				差 压 波 动 度		波 动 消 减 率 (%)
		静 压 P		差 压 H		等 分 格 数	折 算 压 力 (MPa)	
		开 方 格 数	折 算 压 力 (MPa)	开 方 格 数	折 算 压 力 (MPa)			
0	全 开	85.0	3.613	52~65	0.0106~0.0166	13	0.0051	
1	使用缓冲装置	85.0	3.613	54~61	0.0114~0.0146	8	0.0031	38.5
2	16	85.8	3.681	52~58	0.0106~0.0132	6.6	0.0026	49.2
3	15	86.3	3.724	53~57	0.0110~0.0127	4.4	0.0017	66.2
4	14	86.5	3.741	52.5~56	0.0108~0.0123	3.8	0.0015	70.8
5	13	87.3	3.811	51.8~54.5	0.0105~0.0117	2.9	0.0011	77.7
6	12	87.8	3.854	52.3~54.5	0.0107~0.0117	2.3	0.0009	82.3
7	11	88.0	3.872	52~54	0.0106~0.0114	2.1	0.0008	84.6
8	10	89.0	3.961	51~52.3	0.0102~0.0107	1.3	0.0005	90.0

对处于生产早中期的气水井,因自喷能力较强,当针形阀前的压力为阀后压力的 2 倍以上(处于临界流动状态)时,在计量管下游阀处损失一点压力对井的生产毫无影响。因为适当增大针形阀开度减少针形阀节流压损可以补偿由于控制下游阀造成的压损。如中 3 井就是这样,该井套压 3.80MPa,油压 7.73MPa,输压 2.95MPa,产气 $6.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,产水 $130 \text{ m}^3/\text{d}$ 。控制计量下游阀后适当增大针形阀开度,使该井不仅获得了消减脉动流的良好效果(差压波动消减率达 71.3%),而且油、套压有所回升,气井带水良好,气产量为 $6.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,生产稳定。

2. 中 11 井试验情况

中 11 井是 1 口纯气井,不产地层水。该井因集输到中 3 井集气站,其计量管与中 3

井计量管并联于汇管上,受到气水井中 3 井的影响,差压发生大幅度波动。经采用控制计量下游阀开度的措施后,波动消减率达到 94.7%,效果极佳。

消减脉动流对计量 误差的影响

1. 降低反射波和相位移引起的误差

由于管道中入射波和反射波的叠加,孔板就检测到与流量无关的分外的差压。脉动越小,分外的差压也越小,故消减脉动可降低反射波和相位移引起的误差。

2. 降低平均误差

差压计和标准孔板检测流量时,流量 Q 与差压 H 的关系式为:

$$Q = c \sqrt{H} \quad (7)$$

即流量与差压的平方根成正比。对于脉动流量的平均值 Q_m 相应地也应与 $\sqrt{H}$ 的平均值成正比;

$$Q_m = c' (\sqrt{H})_{\text{平均}} \quad (8)$$

但在实际计算时,我们总是用平均差压的平方根 $(\sqrt{H_{\text{平均}}})$ 来计算 Q_m ,即

$$Q_m = c' \sqrt{H_{\text{平均}}} \quad (9)$$

$$\text{而 } (\sqrt{H})_{\text{平均}} < \sqrt{H_{\text{平均}}} \quad (10)$$

使得仪表的示值大于实际流量,这种误差叫平均误差。消减脉动的结果,可以降低这种误差。这里仍以正弦脉动波为例讨论。

假如脉动波形如图 5 所示,其流量是在定流量 A 的基础上叠加了振幅为 $2S$ 的正弦波,则平均流量有如下关系:

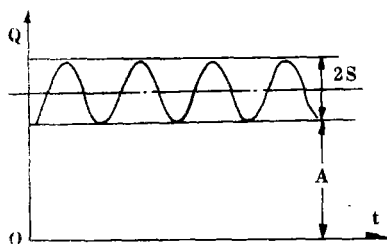


图 5

$$Q_m^2 = \frac{\int_0^{2\pi} Q^2 d(\omega t)}{2\pi}$$

式中 $Q = A + S + S \cdot \sin \omega t$

代入上式积分得

$$Q_m = \sqrt{(A + S)^2 + \frac{S^2}{2}}$$

设 e 为其误差,则有:

$$\begin{aligned} e &= \frac{\sqrt{H_{\text{平均}}} - (\sqrt{H})_{\text{平均}}}{(\sqrt{H})_{\text{平均}}} \\ &= \sqrt{1 + \frac{S^2}{2(A + S)^2} - 1} \quad (11) \end{aligned}$$

由上式可见,平均误差由波形决定,与频率无关。波形振幅越大,平均误差也越大。而且,

波形振幅越大,取值也越不容易取准,由此造成的人为误差也越大。

以阳 45 井为例:该井产气量 $2 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$,差压波动条带宽 15mm,其中心线在卡片上 65 格,若取值时向上或向下移动 1 格,则引起的误差达 $\pm 3076 \text{ m}^3/\text{d}$,年差达 $\pm 112 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。这种情况极易发生。若采取消减脉动措施,使差压波动条带控制在 $1 \sim 1.5 \text{ mm}$,这样取值误差最多达 0.1 格,则产气量误差仅为原来有 $1/10$,即减小到 $\pm 308 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

此外,由于消减脉动还可以避免管道和仪表发生共振,因而也就消除了由共振引起的计量误差。在气田生产的中后期,消除脉动流是非常重要的,因为随着气水井的增多和天然气压缩机组的广泛使用,这个问题将更为突出。对气水井消减脉动流的试验研究成果同样适用于压缩机组使用的环境。

消减气流脉动的最佳方法

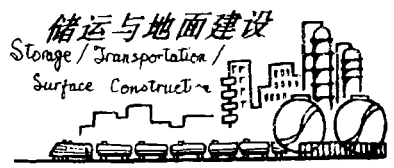
消减气流脉动的方法很多,主要有:

1. 消除或远离脉动源;
2. 利用缓冲装置;
3. 提高差压和孔径比;
4. 适当的节流。

经过长期试验和对比分析,我们认为,以第 4 种方法最佳。诚然,第 1 种方法若能实现,效果会很好,但一般来说是不现实的。气水井的脉动源是水,多数气水井产水将伴随生产的始终,不要水就没有气,低压气井要增压,增压的压缩机也是一个脉动源。单井生产可集中在集气站计量,集气管线对缓冲脉动有一定效果,但集气管线的长短受井、站间距离的制约,效果也就受到影响。

缓冲装置有缓冲器、缓冲罐,它是一种储能器,储存或释放能量。缓冲罐消减脉动的效果主要受其容积的影响。从实验看,由于缓冲罐的容积较小(为 0.063 m^3),脉动消减率仅 $15 \sim 17\%$ 。据文献介绍,缓冲罐的直径可用下式计算:

$$D = 0.0187 \sqrt[3]{\frac{Q}{P}} \quad (12)$$



输气干线 经济设计方案的探讨

郑 清 高

(西南石油学院)

内容提要 本文以一条管线作为研究对象,考虑投资的时间价值和管线的输送条件,用平均单位管长和单位输量的年综合费用作为目标函数,建立输气干线经济设计方案的数学模型,选用网格法确定参数,用 BASIC 语言编制计算机程序,以确定管内气体稳定流动时的经济设计方案。

主题词 输气管道 经济设计方案 数学模型 BASIC

在天然气输送距离远,利用地层压力不能将气体输送到终点时,就需要沿管线安置压缩机站;在进行输气管线设计时,为完成规定的输量,既可采用大管径、小功率,也可采用小管径、大功率,于是有许多不同参数的组

式中 D ——缓冲罐直径, m ;

Q ——流量, m^3/d ;

P ——缓冲罐上的压力, MPa ;

推荐缓冲罐长度 $L=1.75D, m$ 。

对于同一条计量管道,提高差压或孔径比对消减脉动有效果,但二者要同时提高,就必须把计量管换小。显然为了消减脉动而经常换是不可能的,因为这样作既不经济也不可能。计量管通径在 100mm 以下的只有 80mm、65mm 和 50mm 几种。

适当节流是消减脉动的最佳方法。节流有两种方法:一是安装孔板,二是利用计量下游阀。两者相比较,后者最佳。这是因为,随着生产的变化,节流程度要调整,而经常更换孔板不仅操作麻烦,而且不经济。调节下游阀的开度,实际上相当于安置了一块变孔径孔

合方案。这些方案中哪一个经济上最合理,必须通过技术-经济计算才能确定。

经济设计方案的数学模型

如何确定气体管道经济管径和经济流

板,能较方便地调节,以适应生产情况的变化。实践证明,在节流损失压力增加不多的情况下,脉动消脉减率可达 70~90%。

参 考 文 献

〔1〕《天然气流量的标准孔板计量方法》 中华人民共和国石油工业部标准 SY 104-83 1983 年

〔2〕《流量测量技术与仪表》 上海市仪表电讯工业局技术情报所、一机部热工仪表研究所编译 上海科学技术编译馆出版 1963 年 5 月

〔3〕 G. G. 奈斯 《精确的天然气计量需要控制波动》

〔4〕 西安交通大学管道振动组 孔板消减气流脉动的机理、计算与试验研究。

〔5〕喻平仁 天然气计量中的差压波动及控制方法初探 《天然气工业》 第 6 卷第 3 期

(本文收到日期 1989 年 3 月 20 日)

the gas reservoirs are divided into three types. Based on the development practice, the reasonable development procedure and method of various gas reservoirs are preliminarily summarized, possessing guiding significance.

Subject Headings: gas fields in Sichuan, development procedure, gas reservoir types, development plan.

Sun Jiazheng, Wang Minghua

DRILLING/PRODUCTION TECHNOLOGY AND EQUIPMENT

36 Important Progress of the Drilling Technology for Directional and Cluster Wells in Our Country

This article comprehensively and summarily sums up the important progresses of the drilling technology for directional and cluster wells in our country, including having successfully drilled a batch of directional and cluster wells and having handed the optimum design of platform's number and position, the overall design of a group of wells, the track design and control technique for a single well, the assembling technique of drilling tools, the obstacle-avoiding and bump-preventing techniques, the complete technique for mud, cementing, coring, logging, perforating, testing, bit, turbine and screw type drilling tools etc., as well as the application of data base and software system, which reveals a good prospect of overall spreading the directional and cluster wells in our country.

Subject Headings: directional well, cluster well, casing, sidetrack drilling, number of platform, position of platform, optimum design.

Li Kexiang

44 Analysis and Countermeasure of the Accident of Blowout out of Control

The cause and harmfulness of blowout out of control in the oil and gas fields are analyzed in this paper. For getting blowout-controlling done well, the understanding about it must be further deepened and the works in six aspects will be done seriously.

Subject Headings: oil and gas field, drilling, blowout out of control, analysis of accident, countermeasure.

Ni Rongfu, Xu Minghui

47 Mechanism of Eliminating Gas Flow Pulsation and Its Effect on Measurement Error

The interference of pulsating flow is usually meeting in natural gas flow measurement. This article analyzes the mechanism of eliminating gas flow pulsation theoretically, expounds the effect of gas flow pulsation on measurement error and points out the best method for eliminating pulsating flow.

Subject Headings: eliminating gas flow pulsation, natural gas, gas measurement, measurement error, best method.

Yu Pingren