

平均温度平均压缩系数法 计算气井井底压力的改进

李治平 赵必荣

(西南石油学院)

内容提要 本文对平均温度平均压缩系数法(以下简称 $\bar{T}\bar{Z}$)计算气井井底压力的方法进行了改进,提出了用加权温度加权压缩系数计算气井井底压力的方法,并用最优化方法计算出了权重值。不管是动气柱还是静气柱,用本文改进方法计算的结果与公认的Cullender-Smith方法计算的结果具有同等精度。

主题词 平均温度 平均压缩系数 气井井底压力 加权温度 加权压缩系数

在气井动态分析和气井测试中,多数情况下需要大量计算井底压力。目前,常用的计算气井井底压力的方法有: $\bar{T}\bar{Z}$ 法,Cullender-Smith方法(以下简称C-S方法),Sukkar-Cornell方法及Aziz方法。在我国石油矿场使用最多的是 $\bar{T}\bar{Z}$ 法。该方法非常简单,但误差较大。公认的精确方法是C-S方法,却由于此法比 $\bar{T}\bar{Z}$ 法复杂且费时,因而在我国矿场较少采用。针对这一情况,文章对 $\bar{T}\bar{Z}$ 法进行了改进,提出了用加权温度加权压缩系数计算气井井底压力的方法,并用最优化理论对权重进行了研究,得出了权重值。通过大量实测井资料的计算表明,不管是动气柱是静气柱,本文方法与C-S方法计算结果具有同等精确度,而计算速度却远快于C-S方法。这无疑将成倍提高试井解释速度。

$\bar{T}\bar{Z}$ 法简介

对于静气柱,井底压力计算公式为:

$$P_{ws} = P_{se}^{e^{2s}} \quad (1)$$

对于动气柱,井底压力计算公式为:

$$P_{wt} = P_{te}^{e^{2s}} + \frac{4.76476 \times 10^{-3} Q^2 \bar{T} \bar{Z} f H \gamma (e^{2s} - 1)}{d^5 s} \quad (2)$$

上两式中:

$$s = 0.03415 \gamma H / \bar{T} \bar{Z} \quad (3)$$

$$\bar{T} = (T_{井口} + T_{井底}) / 2 \quad (4)$$

P_{se} ——静气柱井口压力,MPa;

P_{ws} ——静气柱井底压力,MPa;

P_{te} ——动气柱井口压力,MPa;

P_{wt} ——动气柱井底压力,MPa;

$T_{井口}$ ——井口温度,K;

$T_{井底}$ ——气层中部温度,K;

$\bar{T}$ ——井筒平均温度,K;

$\bar{Z}$ ——井筒平均温度平均压力下的压缩系数,K;

$\bar{f}$ ——井筒平均温度平均压力下的摩阻系数;

H ——井深,m;

Q ——流量, km^3/d ;

γ ——天然气相对密度;

d ——油管直径,cm。

计算时,仅需将井口压力作为井底压力的第一次近似,一般经过2~4次试算即可得

出结果,因而速度很快,计算方法简单,但精度欠佳。

$\bar{T}$ $\bar{Z}$ 法的改进

在实际计算时,发现 $\bar{T}$ $\bar{Z}$ 法计算的井底压力值与公认精确的 C-S 方法计算值差别较大,其原因是:(1)实际井筒中温度随井深的变化不是线性关系;(2)压力沿井深的变化也不是线性关系。为此,这里提出公式(1)、(2)、(3)、(4)中 $\bar{T}$ 和 $\bar{Z}$ 的生成改成由井口和井底值的加权生成,即:

$$\bar{T} = W_t T_{井口} + (1 - W_t) T_{井底} \quad (5)$$

$$\bar{P} = W_p P_{井口} + (1 - W_p) P_{井底} \quad (6)$$

式中 W_t 、 W_p 为权重。

在应用(1)、(2)、(4)式计算井底压力时, $\bar{T}$ 、 $\bar{P}$ 采用(5)、(6)式计算, $\bar{Z}$ 则采用相应 $\bar{P}$ 、 $\bar{T}$ 下的值。

权重 W_t 、 W_p 的确定

由上面可以看出,改进方法的关键是确定权重 W_t 、 W_p 。本文采用最优化方法和统计方法确定权重值,即使下两式成立。

$$\min(P_{ws} - P_{is} e^s)^2 \quad (7)$$

$$\min[P_{wt}^2 - P_{it}^2 e^{2s} - \frac{4.76476 \times 10^{-3} Q^2 \bar{T} \bar{Z} H_2 (e^{2s} - 1)}{d^5}]^2 \quad (8)$$

式中 $\bar{T}$ 、 $\bar{P}$ 由(5)、(6)两式确定, $\bar{T}$ 、 $\bar{P}$ 中含有权重 W_t 、 W_p 。

当用(7)、(8)两式求 W_t 、 W_p 时,需要已知 P_{ws} 和 P_{wt} 值,如果有足够的实测数据,以实测井底压力代入(7)、(8)式中求权重为最佳。由于种种原因,实测井底压力资料极其有限,因而很难找出权重 W_t 、 W_p 的统计规律。为此,本文所采用的方法是:给定井的一组参数值(包括井口压力),先由 C-S 方法计算出井底压力 P_{ws} 或 P_{wt} ,再将其值代入(7)、(8)两式中,用最优化方法(文中采用坐标轮换法^[2])计算出在这一组参数下的权重 W_t 、 W_p 。如此

反复计算多例,找出权重 W_t 、 W_p 的统计规律。

通过50例静气柱和45例动气柱的计算表明,在中低压范围内, W_t 均在0.55左右波动, W_p 在0.41上下摆动,从统计学^[3]的观点出发,取 $W_t = 0.55$ 、 $W_p = 0.41$ 。限于篇幅故未列出各例权重值。

实例计算结果比较

用本文改进方法计算了100多例,并与 $\bar{T}\bar{Z}$ 法及 C-S 方法计算结果进行了比较。

1. 文献资料计算结果比较

这里在有关文献上查找了静气柱21例、动气柱18例作为检验本文改进方法的计算

静气柱各例参数值 表1

天然气 相对密 度(γ)	井 深 (m)	井 口 温 度 (K)	井 底 温 度 (K)	临 界 温 度 (K)	临 界 压 力 (MPa)
0.75	3048.00	275.0	391.7	226.67	4.75
0.608	2438.40	265.0	357.8	230.00	4.82
0.699	2599.94	270.0	388.9	223.33	4.84
0.56	3962.40	288.9	411.1	233.33	4.88
0.73	3048.00	272.2	388.9	225.00	4.72
0.70	2743.20	266.7	390.0	222.22	4.75
0.71	2895.60	277.8	383.3	227.78	4.74
0.66	3078.48	283.3	446.1	227.78	4.77
0.63	3051.05	273.9	391.1	221.67	4.64
0.60	2712.72	247.2	388.3	216.11	4.72
0.58	3078.48	278.3	394.4	233.33	4.84
0.57	3108.96	276.7	393.9	233.89	4.79
0.593	3066.29	283.9	390.0	230.56	4.91
0.589	3657.60	270.6	400.6	228.33	4.79
0.703	3200.40	277.2	407.2	220.00	4.86
0.723	3075.13	281.1	400.1	227.22	4.80
0.719	3358.89	271.1	407.2	214.44	4.85
0.684	2987.04	268.3	390.0	220.55	4.64
0.664	3020.57	278.3	406.7	226.67	4.75
0.643	3444.24	269.4	407.2	226.67	4.758
0.712	3660.65	250.0	380.6	235.00	4.865

结果精度,表1为静气柱各例参数值,表2为静

气柱各例计算结果比较。表3为动气柱各例参数值,表4为动气柱各例计算结果比较。

静气柱各例计算结果比较 表2

井口压力 (MPa)	C-S方法计算结果 (MPa)	T Z法计算结果 (MPa)	T Z法与C-S方法计算结果绝对误差 (MPa)	本文改进法计算结果 (MPa)	本文改进法与C-S方法计算结果绝对误差 (MPa)
17.808	24.449	24.225	-0.224	24.458	0.009
13.534	17.385	17.278	-0.107	17.417	0.032
20.764	26.559	26.471	-0.088	26.574	0.015
10.970	14.637	14.445	-0.192	14.619	-0.018
14.246	19.628	19.375	-0.252	19.615	-0.013
16.739	21.960	21.792	-0.168	22.002	0.041
14.389	19.398	19.202	-0.196	19.405	0.007
19.446	24.633	24.457	-0.176	24.679	0.046
13.427	17.548	17.365	-0.183	17.549	0.001
13.840	17.660	17.479	-0.181	17.700	0.040
18.128	23.282	23.141	-0.141	23.342	0.060
13.050	16.896	16.724	-0.172	16.916	0.020
18.841	24.170	24.053	-0.117	24.225	0.054
14.132	19.211	18.946	-0.265	19.200	-0.011
12.152	16.277	16.055	-0.221	16.248	-0.029
17.986	24.177	23.967	-0.210	24.200	0.023
17.331	23.653	23.364	-0.290	23.617	-0.036
19.945	26.252	26.111	-0.142	26.278	0.026
19.589	25.384	25.234	-0.150	25.445	0.061
15.778	21.406	21.147	-0.259	21.408	0.003
10.329	16.345	15.770	-0.575	16.261	-0.084

2. 实测井计算结果比较

以川南纳50井的试井资料为例来比较本文方法的计算结果。纳50井为一纯气井,基本参数是:气层中部深度为 $H=2715.5\text{m}$,井口温度 290.65K 、气层中部温度 323.37K ,天然气分子量 16.5 ,天然气相对密度 0.57 、临界温度 192.72K ,临界压力 4.817MPa ,选10点来计算,结果列于表5。由表2、表4和表5可以看出,不管是动气柱还是静气柱,本文改进方法计算的结果与C-S方法计算结果相差很小,而T Z法计算的结果与C-S方法计算结果差

动气柱各例参数值 表3

天然气相对密度 (γ)	井深 (m)	井口温度 (K)	井底温度 (K)	临界温度 (K)	临界压力 (MPa)	产量 ($\text{千 m}^3/\text{d}$)	油管直径 (cm)
0.63	3444.24	311.1	394.4	227.21	4.773	141.59	8.89
0.575	4572.0	315.6	411.1	230.61	4.844	113.27	8.89
0.579	3169.92	319.4	393.9	226.67	4.751	84.95	6.35
0.67	3182.11	316.7	388.9	226.11	4.701	141.59	6.35
0.62	3017.52	316.7	383.3	226.67	4.773	56.63	6.35
0.74	3291.84	317.8	394.4	226.67	4.808	113.27	8.89
0.70	3352.80	311.1	380.6	227.22	4.773	99.11	6.35
0.65	3230.88	317.8	395.6	223.89	4.730	113.27	6.35
0.73	3383.28	316.7	394.4	225.00	4.773	70.79	8.89
0.65	4023.36	313.9	388.9	227.22	4.773	73.62	6.35
0.60	4572.0	316.7	411.1	222.22	4.630	84.95	6.35
0.78	3108.96	318.3	394.4	225.00	4.701	90.61	6.35
0.66	4114.80	319.4	393.3	227.22	4.765	73.62	8.89
0.60	3261.36	311.1	397.2	227.78	4.844	70.79	8.89
0.57	4267.20	316.7	400.0	228.89	4.630	107.60	8.89
0.75	3048.00	311.1	391.6	226.67	4.751	139.18	6.35
0.60	3352.80	316.7	394.4	227.22	4.775	141.59	8.89
0.73	2743.20	311.1	377.8	233.33	4.915	155.74	6.35

动气柱各例计算比较 表4

井口压力 (MPa)	C-S方法 (MPa)	平均法 (MPa)	绝对误差 (MPa)	本文改进法 (MPa)	绝对误差 (MPa)
13.178	17.394	17.271	-0.123	17.380	-0.014
13.463	18.557	18.370	-0.187	18.516	-0.042
14.246	18.015	17.923	-0.091	18.000	-0.015
13.534	18.270	18.200	-0.070	18.280	0.010
16.383	20.821	20.675	-0.146	20.801	-0.020
14.460	19.538	19.390	-0.148	19.507	-0.031
15.244	20.970	20.783	-0.188	20.932	-0.039
14.104	18.569	18.472	-0.100	18.558	-0.0109
14.389	19.458	19.305	-0.154	19.424	-0.034
13.534	19.001	18.870	-0.131	19.002	0.001
11.400	15.990	15.916	-0.073	16.025	0.035
13.178	17.569	17.473	-0.096	17.579	0.011
15.315	21.389	21.167	-0.221	21.337	-0.050
16.668	21.165	20.992	-0.173	21.093	-0.072
12.466	16.935	16.795	-0.140	16.921	-0.014
14.246	19.531	19.423	-0.108	19.519	-0.012
12.822	16.584	16.481	-0.104	16.577	-0.007
21.369	28.152	27.801	-0.351	28.044	-0.109

无限传导裂缝井的新导数 图版曲线分析法

匡 建 超

(成都地质学院)

内容提要 本文介绍了无限传导裂缝井的新压力导数理论图版。这种理论图版在曲线拟合时,垂向刻度自动对齐,且以三条曲线控制,提高了拟合的唯一性,对矿场酸化压裂的效果分析具有实际意义。

主题词 无限传导裂缝 新导数图版 曲线拟合 求取参数

近十年来,试井分析中的压力导数曲线引起了国内外许多学者和专家的重视。其主要原因在于:在双对数坐标中,压力导数曲线

与压力曲线相比,前者放大了压力变化特征,起伏明显,特征突出;能较准确地判定无穷径向流直线段的起点,增大了人们对曲线的分

纳50井静气柱井底压力计算结果比较 表5

井口压力 (MPa)	C-S方法 (MPa)	平均法 (MPa)	绝对误差 (MPa)	本文改进法 (MPa)	绝对误差 (MPa)
13.882	17.148	17.001	-0.147	17.138	-0.010
14.084	17.402	17.252	-0.150	17.391	-0.011
14.287	17.655	17.502	-0.153	17.645	-0.010
14.388	17.782	17.627	-0.155	17.771	-0.011
14.591	18.035	17.878	-0.158	18.024	-0.011
15.097	18.667	18.502	-0.165	18.655	-0.012
15.300	18.919	18.751	-0.168	18.907	-0.012
15.503	19.171	19.000	-0.171	19.159	-0.012
15.705	19.423	19.249	-0.174	19.410	-0.013
16.111	19.926	19.745	-0.181	19.912	-0.014

别较大,且全部偏小,这说明本文改进方法较T Z法精确,而又不失后者简单的优点。

对于超高压气井,本文未作讨论。

结 论

1. 本文的改进方法在权重 $W_t = 0.55$ 、 $W_p = 0.41$ 时,计算结果具有 C-S 方法同样的精确度,同时,保持了平均温度平均压缩法计算简单的优点。

2. 本文改进方法原理简单,计算速度快,适用于现场推广应用和气井试井分析解释。

参 考 文 献

- 〔1〕 童宪章等译 《气井试井理论与实践》 石油工业出版社 1988年8月
- 〔2〕 韦鹤平编著 《最优化技术应用》 同济大学出版社 1987
- 〔3〕 浙江大学数学系编 《概率论与数理统计》 高等教育出版社 1979年

(本文收到日期 1989年10月5日)

57 Improvement on Calculating Bottom Pressure of Gas Well by Using a Method of Average Temperature and Average Compression Coefficient

This paper improves the method of calculating gas well bottom pressure by using average temperature and average compression coefficient (latterly called for short as $\bar{T} \bar{Z}$ method), presents a method to calculate it by using the method of weighted temperature and weighted compression coefficient and calculates the weighted value by using optimum method. For the both of dynamic and static gas column, the calculating result by the improved method in this paper has an equivalent precision with that by the generally recognized Cullender-Smith method.

Subject Headings: average temperature, average compression coefficient, bottom pressure of gas well, weighted temperature, weighted compression coefficient.

Li Zhiping, Zhao Birong

60 A New Derivative Chart Analysis Method of Infinite Propagation Fracturing Well

This paper introduces a new pressure derivative theory chart of infinite propagation fracturing well. The vertical graduation of the theory chart may be aligned automatically while fitting with curves, and controlled by three curves, which raises the uniqueness of the fit. This method is of actual significant for analyzing the results of acid-fracturing in field.

Subject Headings: infinite propagation fracture, new derivative chart, curve fit, parameter evaluation.

Kuang Jiunchao

64 STORAGE/TRANSPORTATION/SURFACE CONSTRUCTION

Some Basic Links to Guarantee the Precision of Natural Gas Flow Measurement

Starting from raising the precision of natural gas flow measurement, this paper proposes that strictly executing standards and reasonably selecting integrating method and reinforcing management of modernized meterage are the basic links to guarantee the precision of natural gas flow measurement through experiment and site data analysis.

Subject Headings: natural gas, flow precision, standard, integrating method.

Huang mingchang

GAS PROCESSING AND UTILIZATION

67 Preliminary Research of the Optimum Calculation of Claus Process by Direct Method

Aimed at relevancy chemical equilibrium, material balance and thermal equilibrium of the reaction stove and converter of Claus sulfur recovery by direct method, this paper establishes two nonlinear equations sets, and carries out numerical calculation by use of the Newton-Raphson algorithm for derivation, measures the composition from the mouth of reaction stove and converter, and calculates the optimum air ration and the optimum reaction temperature. The related problems are discussed and some examples calculated are given.

subject Headings: sulfur recovery, Claus process, reaction stove, converter, optimum design, technological calculation.

Lei Bingyi