圧入ガスチャンネリングとガス比重および産出ガス油比の実験的關係*

眞 貝 耀 一**

(昭和29年6月1日受理)

Relationship between Specific Gravity of Gas and Gas Oil Ratio

By

Yōichi SHINGAI

Abstract: Measurement of specific gravity of gas of a well which is producing under high gas oil ratio is used for assuming the amount of channelled gas in gas injection method.

緒 言

八橋油田第VIII層、第IX層では、圧力維持の立場から、構造上頂部の高野 R. 61 および外旭川 R. 43 の両井を圧入井とし、ガス圧入を実施している。しかも近時油層状況は逐次変化して、圧入ガスがチャンネリングしていることが明白になった。従つてプールの産出ガス油比にチャンネリングせるガスを加えて評価する懸念がある。しかれば、チャンネリングガス量がどの位存在するかということは、マテリアルバランスの計算過程を回収量と油層圧力とからたえずチェックして、油層状況が今いかなるステージにあるのかを克明に精度よく研究してゆくことから、およその判定はつくけれども、量的なチャンネリングガス量を決定する確定的な手段にはならない。そこで圧入せるドライガスが、ある特定の層に、シャープなチャンネリングを生じているという前提にもとづいて、油層そのもののヘビーなガスの比重と、ドライガスの比重、これ等の2者がある割合で混合した場合の産出ガスの比重から、チャンネリングガス量を推定計算したところ、量的に把握できると思われるに至つたので、その実測の過程を報告して諸賢の批判を得たい。

計算の根拠

今簡単に圧入ガスが地下でチャンネリングを生じて、

* 昭和29年5月6日第19回石油技術協会總會個人講演

** 帯石本社生産部

1) このことは後に高野 R. 79 において実施した温度調査の結果、シャープなチャンネリングゾーンが判明した。

このゾーンをスクリーンするとガス油比は低下した。

油層中の溶解ガスと混合した場合に、産出したガスの比重は溶解ガスそのものの比重より軽くなるはずである。従つて次の関係が生ずるであろうと考えられる。

$$\begin{cases} xg_1 + yg_2 = zg_3 \cdots \cdots \cdots (1) \\ x + y = z \cdots \cdots \cdots (2) \end{cases}$$

ここで x: 全産出ガス中の溶解ガスの量。

y: 全産出ガス中のチャンネリングせるガスの量。

z: 全産出ガス量。

g₁: 溶解ガスの比重。

g₂: 圧入ガスの比重。

g₃: 産出ガスの比重。

これは次の如く表わし得る。すなわち

$$\frac{y}{z}(g_2 - g_1) + g_1 - g_3 = 0 \cdots \cdots \cdots (3)$$

$$\text{今 } \frac{y}{z} = X, g_2 - g_1 = A, -g_3 = Y, g_1 = C \text{ とおけば (3)}$$

$$\text{式は } AX + Y + C = 0$$

となり X, Y について直線の方程式を示す。しかして圧入ガスの比重の平均値は 0.63²⁾、溶解ガスの比重はほとんど 1³⁾ であるから、そのグラフは第1図の如き簡単な形で表わし得る。従つて各坑井の油層状態を表わすガスサンプルについて、それぞれの比重測定を実施し、第1図からチャンネリングガスの全産出ガス量に対する100分率を読みとれば、坑井個々にチャンネリングガス

2) この値は圧入ガスの比重を高圧壓縮機の出口で實測した結果から判明した。

3) この値は低ガス油比坑井および坑底試料の實驗結果から判明した。

量が計算できることになる。かつ圧入ガスのチャンネリング現象が進行すれば、ますますガス油比が高くなることが考えられるので、このことは採取方法およびチャンネリングの断定についての根本的な現象であるはずであるから、このことについての観測も併せて実施した結果、ガス比重との相関的關係があることが見出された。もちろん坑井を個々にパフォーマンスカーブから検討し、坑井の成功当初から油層状況の異常なもの等も考察の基礎として、試料採取および判定に資した。

ガス試料採取および試験方法⁴⁾

ガス試料の採取方法を第2図に示す。セパレーターAからガスフローラインを通つたガスはオリフスメーターCで計量されて、プラントに入る。そこでフローラインを図示の如く別口にひいて、その先端にオリフィスを附す。オリフィスの直前から一方はUゲージ、他方はサンプル捕収瓶に通ずるゴムホースがある。従つて産出ガスはオリフィスによつて制限されたセパレーター圧力で捕収される。今回の採取に際してはUゲージの水銀柱が1吋になるようにして採取した。採取瓶は5リットルである。採取する前には約10分間ガスを放散し、坑井のガスの流動を正常にし、またパイプライン中の重質分その他を排出した後、水銀柱1吋をたえず保ちつゝ採取した。採取には約5分を要した。この試料はシーリングボトル⁵⁾によつて得た結果で計算した。ストップウォッチによる時間の読みは、3回測定の数術平均値をとつた。特に多数坑井の実験であるために、採取状況・測定方法には可能な限り状況を同一ならしむる如く努めた。

観 察 結 果

高ガス油比で密閉中の坑井についてのガス比重 外旭川 R. 18 井(第VIII層)は高ガス油比のために密閉中の坑井である。密閉当時ガス油比は1,000以上であつた(溶解ガス油比は約100前後である)。

従つて採油を開始した場合のガス試料を採取すれば、当然ガス油比がドライガスの比重に接近するであろうという想定にもとづいて、採取にあつた。

第3図に開放後の時間と、その時のガ

第1図 Amount of Channelling Gas vs Sp. Gr. of Produced Gas

第2図

第3図 Sp. Gr. of Produced Gas vs Time (S.R 18—VIII, Bean 5)

4) ガス試料採取方法にはまだ研究の余地が充分あり、今後成るべく入手を要しない方法をとるために、ガス比重連続自動測定装置を研究中である。

5) シーリングボトルによる実測値は米國から輸入したエドワードガス比重計とほとんど差異はない。兩者とも±0.1%位の誤差範囲にある。

ス比重の関係を示す。開放後の時間とガス比重の一覧表は第1表の如くである。

第 1 表

試料採取月日及経過時間	ガ ス 比 重
昭和 28 年 10 月 30 日 午前 10 時開放	
開放直後	1.080
1 時間後	0.991
2 "	1.035
3 "	0.969
5 "	0.762
8 "	0.747
11 "	0.761
14 "	0.773
17 "	0.736
20 "	0.732
23 "	0.741
26 "	0.790
29 "	0.708
32 "	0.767
35 "	0.745
38 "	0.768
41 "	0.772
44 "	0.749
47 "	0.725
50 "	0.793
53 "	0.736
56 "	0.754
59 "	0.719
62 "	0.715
65 "	0.754
68 "	0.694
71 "	0.751
74 "	0.729
77 "	0.819
80 "	0.747
83 "	0.705
86 "	0.712
89 "	0.688
92 "	0.740

第3図および表1の如くマンスリーテスト井は開放当初はバイブラフィン・セパレーター等の残留分のためか、ガス比重は大となり、4~5時間後におよそコンスタントの値を示し、0.7~0.8の間で波型を示しているように見受けられる。この時のガス油比は平均1,200であった。このテストで明瞭であるように、かゝる坑井のガスが実際の油層状況を評価するに足る値を現出するに至るには、開放後数時間を要することが明瞭である。従つて8月実測した値が0.966~1.063であつた原因は、開放直後の採取の結果であつたことが判然とした。従つてガス比重を測定する際には、特にマンスリーテスト井等の密閉井では余程の慎重を要する。

正常な採油を続けている坑井についてのガス比重 高野 R. 67 井 (VIII 層) はビーン $\frac{8}{64}$ 高野 R. 75 井 (VIII 層) はビーン $\frac{4}{64}$ にて1日連続採油を行つている。ガス油比はそれぞれ平均440, 230である。これ等

第 4 図 Sp. Gr. of Produced Gas vs Time (K.R 67—VIII, Bean 6)

第 5 図 Sp. Gr. of Produced Gas vs Time (K.R. 75—VIII, Bean 4)

第 2 表

経過時間	KR 67(28-11-2, 10 時 50 分 a.m. 採集開始)	KR 75(28-10-31, 9 時 30 分 a.m. 採 取開始)
	ガス比重	ガス比重
採取開始時	0.795	0.916
3 時間後	0.795	0.892
6 "	0.818	0.876
9 "	0.856	0.844
12 "	0.810	0.832
15 "	0.818	0.884
18 "	0.818	0.856
21 "	0.810	0.844
24 "	0.825	0.859
27 "	0.807	0.869
30 "	0.820	0.867
33 "	0.827	0.840
36 "	0.831	0.832
39 "	0.790	0.795
42 "	0.812	0.810
45 "	0.809	0.821
48 "	0.816	0.897

の坑井の時間とガス比重の関係は第4図・第5図の如くであり、前記外旭川 R. 18 井と 同様のイレギュラリティーを示しているが、67 井においては0.8近辺、75 井

第 6 図 Gas Sp. Gr. vs Gas-Oil Ratio, VIII Zone

第 7 図 Gas Sp. Gr. vs Gas-Oil Ratio, IV Zone

は0.85近辺に集つてゐることがわかる。これ等の値を表にすれば第2表の如くなる。

以上高ガス油比のため密閉中の坑井と、正常な採油を続けている坑井についての比重測定の結果から、ガス油比とガス比重の間には一定の關係があることがわか

る。今第VIII層・第IX層の全坑井につき、比重測定を行つた結果、ガス油比とガス比重の關係をプロットすれば第6図・第7図の如くなる。これ等によつてガス油比とガス比重の間の關係がおおよそ推定できる。すなわち高ガス油比の坑井は圧入ガスの比重0.63に近づき、低

ガス油比の坑井は溶解ガス比重 1 に近づくことが判明する。ただしこれ等の関係は直線的ではなく、VIII 層においての高ガス油比坑井外旭川 R. 41 (ガス油比 1496) は 0.762, 外旭川 R. 18 (ガス油比 1400) は 0.744, IX 層にては高野 R. 74 (ガス油比 ∞) は 0.707, 高野 R. 45 (ガス油比 1200) は 0.837, 外旭川 R. 27 (ガス油比 2080) は 0.773 であつて、いずれも 0.7 より大きい。すなわちガス油比 400 以上位からは曲線の傾向がブレイクして、ガス油比の横軸にはほぼ平行な傾向を示している。

チャンネリングガスの計算結果

以上のデーターから第 VIII 層・第 IX 層の全坑井についてガス比重の測定を実施して、チャンネリングガス量を計算する。今その例として外旭川 R. 6 についての昭和 28 年 8 月 12 日のデーターは次の如くである。

測定比重	0.829
産出ガス油比	200
油 量	0.70 kl/d
ガス量	142 cu. m/d

この比重測定値 0.829 を第 1 図上で読みとれば、対応するチャンネリングガスの 100 分率は 46 % となる。従つてチャンネリングガス量は

$$142 \times 0.46 = 65 \text{ (cu. m)}$$

となり、油層からのガス量は

$$142 - 65 = 77$$

となる。従つて真のガス油比は

$$77/0.70 = 110$$

である。

このような考え方を基礎として、各データーを整理すれば次の如きリストが得られる。

坑井名	産出油量	産出ガス量	チャンネリングガス量	ガス量
1	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁
2	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂
3	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃
4	A ₄	B ₄	C ₄	D ₄
5	A ₅	B ₅	C ₅	D ₅
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	A _n	B _n	C _n	D _n

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{産出ガス油比} = \frac{\sum_{i=1}^n B_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \\ \text{ガ ス 油 比} = \frac{\sum_{i=1}^n B_i - \sum_{i=1}^n C_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \end{array} \right.$$

以上の如き簡単な計算を坑井個々について行つた結果は次の如くである。

	産出ガス油比	ガ ス 油 比
VIII 層	224.4	147.1
IX 層	200.9	147.0

特に各坑井のプロダクションヒストリー等を詳細に検討し、開発当初から異常な高ガス油比を示す坑井等を除外して計算すれば次の如くなる。

	特殊坑井除外 産出ガス油比	特殊坑井除外 ガス油比
VIII 層	184.4	135.7
IX 層	166.0	130.5

すなわちガス油比の産出ガス油比に対する 100 分率は VIII 層では 74 %, IX 層では 79 % となる。従つて VIII 層においては 26 %, IX 層においては 21 % のチャンネリングせるガス量が、現状として存在するということが考えられる。

結 論

これ等の実験結果を総合してみると、シャープなガスチャンネリング層がある場合、次のことが結論づけられる。

(1) ガス油比とガス比重には一定の相関関係が発見された。

(2) ガス比重の測定から、油田のステージの早期な場合に限りチャンネリングガス量を定量できるが、ガス試料の採取、ガス比重の測定に慎重さを必要とする。

(3) 採取および測定方法については、なお今後の研究を必要とする。

(4) 油層が逐次枯渇して、油層圧力降下のため原油中から溶解ガスが放出された場合の溶解ガスの比重の変化、およびドライガスが油層原油中を通過する場合、いかなる割合で溶解ガスと混合するかは、この実測の場合の考慮にいれていない。従つてこの問題は今後の phase behavior の研究にまつこと大である。

(5) プールガス油比を評価する場合は、あくまで油層の連続性が必要であるから、個々の坑井についての各方面からの油層特性を、充分正確に把握しておかねばならない。

(6) チャンネリング層の発見は温度調査その他によつて発見し、発見後の採油試験に際しても各層のガス比重を測定し、綿密にチェックする要がある。

(7) 今後採油のステージが進行した場合、チャンネリングガス量の決定にガス比重測定法が適用できるか否か

は、相当疑問の余地がある。

なお圧入ガスチャンネリングについては、われわれがたえずプロダクションヒストリーを検討していた結果、かなり以前からその徴候が見出されていたことであり、正常なガス油比と解釈される量以外は、すべてチャンネリング量とするという考え方を基調として計算した結果と、今回のガス比重測定からの計算結果は、ほとんど近い値を示したことをここに書き添えておく。

次に以上のような試験結果からの結論は、圧入ガスのチャンネリング量を一応ある面から研究したという消極的な方法であり、むしろわれわれとしては、いかにして

圧入ガスチャンネリングを防止するかということに意をそゝぐべきであり、従つてチャンネリングゾーンの改修作業を第1義的な技術的問題としてとりあげており、圧入方法についても研究中であることを強調しておく。

謝意 この試験を実施するに際して助言を与えられた東大淵田教授・帝石本社中沢生産部長・牛島同副部長・中島油層課長、現場実測に便宜を与えられた帝石秋田鉱業所浦井生産課長代理・小倉試験室長、御多忙にかかわらず比重測定にあたられた秋鉦試験室庭山・庄司両社員、採取にあたられた諸氏、データー整理・計算等に盡力された帝石本社油層課綱島社員に深甚の謝意を表する。