採油井附近の流體の壓力分布*

藤 井 清 光**

(昭和26年4月2日受理)

Pressure Gradient of Fluids in the Vicinity of an Oil Well

by Kiyomitsu Fujii

This paper represents the results of calculations and considerations on pressure gradients of gas-saturated oil in the vicinity of an oil well : (1) Although a larger diameter of a well gives rise to a lower resistance to flow, this fact is not prominent in case of producing a well with a small pressure difference between an oil well and a reservoir. (2) Interference phenomenon between producing oil wells hardly occurs if a distance between the wells is not extremely small.

I. 油層の條件

砂層の中に高壓の下に於てガスを飽和した石油があり、これに採油井が掘られた場合のこの流體の示す壓力、特に採油井附近の壓力分布について考察する。砂層は平面的に圓形でありその中央に採油井があり壓力を受けた流體が定常的に外側の圓周から中央に向つて流れるものと假定する。實際の油層では外部から遮斷されている場合が多く、上の假定と一致しないが、流體の示す壓力分布に関しては實際の油層と同じであると考えられる。

壓力分布に關する計算方法は既に發達したものと同一である。ガスを飽和した油の流れに關する計算結果を第1表と第2表に示す。これと比較するため均質な流れの壓力分布を第3表と第4表に示す。これに使用した常數は以下の通りである。

第1表 採油井に於る壓力	$p_w = 60 \text{ kg/cm}^2$
第2表	$p_w = 80 \text{ kg/cm}^2$
第1表と第2表に共通のもの	
外側の壓力	$p_e = 100 \text{ kg/cm}^2$
採油井の半径	$r_w = 10 \text{ cm}$

* 昭和25年度文部省科學研究費による研究

** 東京大學助教授

第1表 ガスを飽和した油の壓力
分布 kg/cm^2
 $p_e=100 \quad p_w=60$

$r \backslash r_e$	100m	200m	300m	500m
.1m	60.0	60.0	60.0	60.0
.2	76.2	75.5	75.0	74.5
.3	79.7	79.0	78.4	78.0
.4	81.5	80.8	80.3	79.7
.5	82.7	81.9	81.4	80.8
.6	83.6	82.8	82.3	81.8
.8	85.0	84.0	82.6	83.0
1.0	86.0	85.0	84.5	83.9
2	88.8	87.8	87.2	86.5
3	90.3	89.2	88.6	87.9
5	92.1	90.7	90.2	89.5
7	93.2	92.0	91.2	90.5
10	94.3	93.0	92.3	91.5
15	95.4	94.0	93.4	92.4
20	96.2	94.8	94.1	93.3
25	96.7	95.3	94.7	93.8
30	97.2	95.8	95.1	94.3
40	97.9	96.5	95.8	94.9
50	98.4	97.1	96.3	95.4
60	98.8	97.5	96.7	95.8
80	99.5	98.1	97.3	96.4
100	100.0	98.6	97.8	96.8
120	—	99.0	98.2	97.2
150	—	99.4	98.7	97.7
200	—	100.0	99.2	98.3
250	—	—	99.6	98.7
300	—	—	100.0	99.1
400	—	—	—	99.6
500	—	—	—	100.0

第2表 ガスを飽和した油の壓力
分布 kg/cm^2
 $p_e=100 \quad p_w=80$

$r \backslash r_e$	100m	200m	300m	500m
.1m	80.0	80.0	80.0	80.0
.2	83.2	82.9	82.7	82.6
.3	84.9	84.5	84.2	84.0
.4	86.0	85.5	85.2	85.0
.5	86.8	86.2	86.0	85.7
.6	87.4	86.9	86.6	86.3
.8	88.4	87.8	87.5	87.1
1.0	89.1	88.4	88.1	87.7
2	91.2	90.4	90.0	89.6
3	92.3	91.5	91.0	90.5
5	93.6	92.7	92.2	91.7
7	94.5	93.5	93.0	92.4
10	95.4	94.3	93.8	93.1
15	96.2	95.2	94.6	94.0
20	96.9	95.8	95.2	94.6
25	97.3	96.3	95.7	95.0
30	97.7	96.6	96.0	95.4
40	98.3	97.2	96.6	96.0
50	98.8	97.6	97.0	96.4
60	99.1	97.9	97.3	96.7
80	99.6	98.5	97.8	97.2
100	100.0	98.9	98.2	97.6
120	—	99.2	98.5	97.9
150	—	99.6	98.9	98.2
200	—	100.0	99.3	98.6
250	—	—	99.7	99.0
300	—	—	100.0	99.3
400	—	—	—	99.7
500	—	—	—	100.0

外側の半徑

$r_e = 100\text{m}, 200\text{m}, 300\text{m}$ 及び 500m

p_e に於て油 (1 kg/cm^2 に於る容積) に對して存在しているガス量 (1 kg/cm^2 に於る容積) の倍率 $R=50$

油に對するガスの溶解率

$\alpha = 0.5/\text{kg/cm}^2$

油の膨脹率

$\beta = 0.0008/\text{kg/cm}^2$

第3表 均質な流體の壓力分布

kg/cm²p_e = 100 p_w = 60

$\frac{r}{r_e}$	100m	200m	300m	500m
.1m	60.0	60.0	60.0	60.0
.3	66.4	65.8	65.5	65.2
.5	69.3	68.5	68.0	67.6
1.0	73.3	72.1	71.5	70.8
3	79.8	78.0	77.0	76.0
5	82.7	80.6	79.5	78.4
10	86.7	84.2	83.0	81.6
20	90.7	87.9	86.5	84.9
30	93.0	90.0	88.5	86.8
50	96.0	92.7	91.0	89.2
100	100.0	96.4	94.5	92.4
150	—	98.5	96.5	94.3
200	—	100.0	97.9	95.7
250	—	—	99.0	96.7
300	—	—	100.0	97.6
400	—	—	—	99.0
500	—	—	—	100.0

相對的滲透率

相對的粘性

第3表 p_w = 60kg/cm²第4表 p_w = 80kg/cm²

第3表と第4表に共通のもの

外側の壓力

採油井の半径

外側の半径

第4表 均質な流體の壓力分布

kg/cm²p_e = 100 p_w = 80

$\frac{r}{r_e}$	100m	200m	300m	500m
.1m	80.0	80.0	80.0	80.0
.3	83.2	82.9	82.7	82.6
.5	84.7	84.2	84.0	83.8
1.0	86.7	86.1	85.8	85.4
3	89.8	89.0	88.5	88.0
5	91.3	90.3	89.8	89.2
10	93.3	92.1	91.5	90.8
20	95.3	93.9	93.2	92.4
30	96.5	95.0	94.2	93.4
50	98.0	96.4	95.5	94.6
100	100.0	98.2	97.3	96.2
150	—	99.2	98.3	97.2
200	—	100.0	99.0	97.8
250	—	—	99.5	98.4
300	—	—	100.0	98.8
400	—	—	—	99.5
500	—	—	—	100.0

Botset の實驗の固つた砂の値²⁾Hocott 及び Buckley の實驗の Curve 3 の値³⁾p_e = 100kg/cm²r_w = 10cmr_e = 100m, 200m, 300m 及び 500m

II. 壓力分布の一般の傾向

第1表及び第2表よりガスを飽和した油が油層の中を流れる場合の壓力分布の一般の傾向を知ることができる。油層に於る油の流れの著しい特色は採油井附近に於て壓力が急に低下していること、即ち壓力分布曲線が採油井に接近していることである。このことは均質な流れである第3表及び第4表と比較することにより特に明かとなる。而してガスを飽和した油の流れと均質

な流れの差は流れの壓力差が大きい場合に著しく（第1表及び第3表）、流れの壓力差が小さい場合には餘り大きくない（第2表及び第4表）。以上の計算結果を基礎として採油に關する2つの問題、即ち採油井の直徑の問題及び採油井間の干涉の問題に關して考察する。

III. 採油井の直徑と流れの抵抗の關係

採油を能率よく行おうと計畫する場合に、採油井の直徑を大きくすると油の流れの抵抗はどうなるかと云うことが問題になる。これはライナー管の大きさを決定する問題であり、特に砂利充填に深い關係がある。ライナー管附近の壓力分布に關しては既に研究が發表されているが⁹⁾、これは流體を均質な流れとして取扱つているのでその結果をそのまま油層に於る流れに適用することは不適當である。著者による研究では流體をガスを飽和した油として計算しているが、ライナー管自身の流れに對する抵抗等に關しては考察に入っていない。

第1表及び第2表の計算では採油井の直徑を10cmとして計算したのであるが、これを20cm, 30cm, 50cm及び80cmにした場合に抵抗がどうなるかに關して考察する。この際 $r_w=10\text{cm}$ の時の流れの壓力分布はそのまま變らず、單に直徑が大きくなったものとして抵抗を計算する。即ち例えば第1表の $r_e=200\text{m}$ に於て $r=20\text{cm}$ に於ては $p_w=75.5\text{kg/cm}^2$ に保つものとする。

第1表に於る $r_w=20\text{cm}$, 30cm, 50cm及び80cmの場合の抵抗係數¹⁾の値を求め、これを $r_w=10\text{cm}$ の場合の抵抗係數(1.70)に對する百分率として表わしたものが第5表である。同様の關係を第2表の結果より求めたものが第6表である。これより流れの抵抗の減少の程度を知ることができ、從つ

第5表 抵抗の比率 ($p_w=60$)

$r_e \backslash r_w$	20cm	30cm	50cm	80cm
100m	69.2%	61.5%	53.2%	47.3%
200	70.9	62.6	56.0	49.0
300	71.8	64.4	56.4	52.4
500	72.6	64.8	58.4	52.6

第6表 抵抗の比率 ($p_w=80$)

$r_e \backslash r_w$	20cm	30cm	50cm	80cm
100m	84.3%	74.8%	65.9%	59.5%
200	85.6	76.2	69.3	60.8
300	86.4	77.1	70.3	63.8
500	86.8	78.4	71.0	66.3

て採油の能率の割合を知ることができる。即ち採油井の直徑を大きくする程流體の流れに對する抵抗は小さくなつていゝ。例えば $r_w=80\text{cm}$ の場合の抵抗を $r_w=10\text{cm}$ の場合の抵抗に比較すれば第5表に於ては大體50%になつており、第6表に於ては大體60%になつていゝ。これで判る様にライナー管の直徑の大きさを増加することの利益は壓力差を大きくして採油する場合に大きくなる。逆に云えば壓力差を小さくして採油する場合、例えば油層の壓

力が低くなつてからポンプにより採油する場合には採油井の直径を大きくしても効果は餘り上らないことが推定される。

IV. 採油井間の干渉に對する考察

油層に2本以上の採油井を掘つた場合に採油井間に干渉なる現象が起るがこれには2つの意味がある。廣い意味の干渉は例えば採油井Aのある油層に採油井Bを掘つた時に、Bがなければある時間の後にAに流れて行くべき油がBに流れて行く様な現象のことである。このことは連続した1つの油層の中にABがあれば、AB間の距離に無關係に必ず起ることである。次に狭い意味の干渉は連続した1つの油層にAとBがある場合、(短い時間的間隔のみを考慮した時)BがAより遠い場所にあればAに影響がないが、BがAに近く位置するためにAの産額が少くなる様な現象のことである。一般には狭い意味に於て干渉を云い表わすことが多い。こゝに於ても後者について考察することにする。

先に示した第1表及び第2表の表わす事實は、油が油層内を流れる時には流れに對する抵抗は採油井より遠い處では非常に小さいが採油井の近くでは急に増大することを意味している。従つて採油井附近の流體の壓力分布曲線は r_e の大きさに餘り影響されない。例えば元來の油層の壓力が 100kg/cm^2 である時に、 90kg/cm^2 の壓力を示す半径を第1表及び第2表より求めると第7表の様になる。これより壓力分布曲線は採油井に非常に接近しており、

第7表 壓力 90kg/cm^2 を
示す半径(m)

r_e Pw	100m	200m	300m	500m
60kg/cm^2	2.8	3.8	4.7	5.8
80 //	1.3	1.7	2.1	2.5

従つて實用的意味に於ては r_e の大きさを餘り考慮する必要のないことを知るのである。以上の事實は實際の油層に於ては油層の大きさに餘り關係なく、ある瞬間の產出量に對する採油井間の干渉が表われ難いことを

示す。即ち採油井の距離を近ずけても各採油井の採油量に及ぼす影響は非常に小さい。

この問題に關しては更に實際の油田の採油井の產出狀態について記す必要がある。各採油井の單位時間に於る產出能力に對する單位時間に於る實際の產出量の割合を各採油井の採油能率と云う。即ち

$$\text{採油能率}\% = \frac{\text{產出量 kl/單位時間}}{\text{產出能力 kl/單位時間}} \times 100$$

こゝに記した產出能力とは採油井が水や砂等の障害を受けず、ある一定の採油方法に於て示す最大の產出量のことである。實際の油田に於る採油能率の値を調べてみると大部分の採油井は40~60%程度の値となる。この事實と第7表を考慮するならば採油井間の距離が20m程度以上となれば實際問題とし

て干渉の現象は起らないと云つてよい。但し流體の流れの抵抗以外の項目、例えば掘鑿中に油層に泥水を流しこむことや、採油中に油層を崩壊させる様なことはないものとして論じているのである。

我が國では以前は1つの油田に對し2つ以上の會社が鑛區を持ち競争して開發し、従つて採油井間の距離が非常に近い例が多い。この場合でも狭い意味の干渉が起つた實例を發見することはなかなか困難であるが、この原因は以上示した理由による。但し競争した結果井戸仕上げが不完全となり又は採油方法が不適當となりその爲に採油井の壽命が非常に短くなつた例は澤山あるが、この事は此處で論じていることとは全く無關係である。

次に傾斜掘により油井を完成することがあるが、この場合でも油層に於る採油井間の距離を遠く離すことが無意味であることは以上の説明で明かである。

V. 結 論

砂層の中をガスを飽和した油が流れる場合の壓力分布に關して計算し、特に採油井附近の状態につき考察した結果次の様な結論を得た。

- (1) 油層内の壓力分布曲線は採油井に非常に接近している。
- (2) 採油井に於る壓力と元來の油層の壓力の差を大きくする程、油の流れの壓力分布曲線は均質な流れの壓力分布曲線より遠ざかる。
- (3) 採油井の直径を大きくすれば流れに對する抵抗は小さくなる。但しこの傾向は油層の壓力と採油井の壓力との差を小さくして採油する場合には顯著ではない。
- (4) 採油井間の(狭い意味の)干渉の現象は採油井間の距離が20m程度以上離れていれば明瞭に認め得る程度には起らない。

参 考 文 献

1. 藤井清光, 石油技術協會誌第15卷第6號 (1950)
2. H. G. Botset, Trans. AIME (1940)
3. C. R. Hocott and S. E. Buckley, Trans. AIME (1941)
4. F. C. Miller, Trans. AIME (1941)