じになるということは竊叫出来ないが、大體の傾向は把握出来ると思う。

そこで先づ粘土質頁岩を砕いて凝固していない状態にし、先づ空氣で測定しそれから水に漬けておいて膨潤させた。だが毎回測定する内に粘土分が測定流體の水に洗われて了い實驗を悩ましたので、其の傾向を知る意味に於て實際とは遊離する傾向がないでもないが、セメントを砂に混合して其の影響を調べた。其の結果を Table. 9 に示す。

此の多孔質媒體の化學的變化の研究は實驗しにくく、失敗を重ね良い結果は得られなかつたが、滲透率の違いを生ずる大切な原因である。此の實驗に對しての結論は實驗が少いので出来ないが Table. 9 は大體の傾向を示しているといえよう。即ち $^{1}_{10}$ 位滲透率が減少していることが判る。

第七章 結 語

滲透率測定は油層内の流體運動を研究する上に大切な事であるが、此處に於て同じサンプルの滲透率を測定しても研究者測定者によつて其の値が異なっている原因を追及し、正しい多孔質媒體の滲透率を求めることに努力した。其の方法として測定理論を再検討し、其の理論を基にして三因子を其の原因として挙げ、其れに對する考察を進めた。蛇足ながら附け加えるに、綜合して考えると多孔質媒體の滲透率測定には、特別な場合を除いて流體として水を用うるよりも空氣を用いた方が簡單にして便利である。

最後に筆者が此の研究を爲すに當り、松浦教授並びに藤井助教授の懇切なる御指導を終始戴きました事に深く敬意を表し且つ感謝致す次第であります

圓 型 水 攻 法

佐 藤 久 敬*

Circular flood

by H. Sato

The circular flood is less efficient than the intensive floods such as the five spot and seven spot patterns. But this will be applied to circular or semi-circular reservoirs efficiently. The properties of this type are outlined in this paper.

1 緒 言

圓型水攻法は古い型式の水攻法である。其の方法の概略を述べると先づ中心に壓入井を掘り、壓入井を中心とする圓周上に等間隔に產出井を設け其

* 帝國石油株式會社

の区域の水攻が完了すると今迄の産出井を壓入井とし、さらに周囲の同心圓上に産出井を掘り、遂次水攻して行く方法である。併し此の方法を逆に周圍より水攻するすると圓形或は半圓形油田の端水よりの水攻法に應用される。又小規模な試験的水攻法にも用ひられると考へられるので、本文に於て其の性質に就いて述べる。

2 理 論

一般的な形として第1圖の如く外圓周上に等間隔に n 個の壓入井群を、内圓周上に n 個の産出井群が存在する場合に就いて述べる。

今 Z, W を複素函数とし極座標を以て表せば、

$$Z = re^{ia} \quad W = Re^{iA} \quad (1)$$

然して

$$W = Z^n \quad (2)$$

n …… 坑井數

なる寫像函数⁽²⁾ を用ひるならば

$$R = Y^n, \quad A = na \quad (3)$$

なる關係になり、 Z 平面の動徑 r は W 平面に於て n 乗に、偏角 a は n 倍に擴大される。⁽³⁾

然して n は圓周上に配置されたる坑井數を示す故、各坑井の位置を示す偏角は

$$a_m = \frac{2\pi m}{n} \quad (4)$$

$$m = 0, 1, 2, \dots, n-1$$

となる。故に Z 平面の壓入井、産出井、は夫々 W 平面の X 軸上の一點に寫像される。

依つて一壓入井、一産出井の簡単な問題に歸する。嚴密には Z 平面の座標原點以外の坑井の坑徑は圓に寫像されないが、坑徑は坑井間隔に比し充分小なる故無視される。

(イ) 壓 入 水 量

一つの油田に於て、任意の位置に i 個の坑井が存在し、流れが二次元と考へられる場合は、 j 點に於ける壓力は次式で示される。⁽⁴⁾

$$P_j = i \frac{\mu}{\pi k} \sum_1^i Q_i \log d_{ij} + C \quad (5)$$

P_j …… j 點に於ける壓力

Q_i …… 流出量/單位時間/單位層厚

第1圖 Z 平面

第2圖 W 平面

μ 粘性係数

k 滲透率

d_{ij} 各坑井の中心と j 点との距離

C 常 数

今, Z 平面の壓入井の壓入量を $-Q_n$, 産出井の流出量を $+Q_n$ とし, 油と水の粘性係数を等しいとすると, W 平面 X 軸上の壓力分布は次式で示される。

$$P_{(R,O)} = n p(r,o) = \frac{\mu n Q_n}{2\pi k} \log(R \sim a^n) - \frac{\mu n Q_n}{2\pi k} \log(b^n \sim R) + C \quad (6)$$

P W 平面軸上の壓力

p Z 平面軸上の壓力

n 坑井数

a Z 平面に於ける内圓周の半径

b " 外圓周の半径

C 常 数

(6)式を用ひて壓入井と産出井の壓力差を求むると

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_{\{(b-r_w)^n, 0\}} - P_{\{(a+r_w)^n, 0\}} = n \Delta p \\ &= -\frac{n Q_n \mu}{2\pi k} \log \frac{(b^n - a^n)^2}{\{(a+r_w)^n - a^n\} \{b^n - (b-r_w)^n\}} \quad (7) \\ r_w &\text{..... 坑井半径} \end{aligned}$$

壓入水量は

$$Q_n = \frac{2\pi k \Delta p / \mu}{\log \frac{(b^n - a^n)^2}{n^2 r_w^2 a^{n-1} b^{n-1}}} \quad (8)$$

$$\because a \gg r_w \quad (a+r_w)^n - a^n \doteq n r_w a^{n-1}$$

$a=0$ なる場合, 周圍井の壓入水量は

$$Q_n = \frac{2\pi k \Delta p / \mu}{\log \frac{b^{n+1}}{n r_w^{n+1}}} \quad (9)$$

中心の流出量は

$$Q_n = \frac{2\pi n k \Delta p / \mu}{\log \frac{b^{n+1}}{n r_w^{n+1}}} \quad (10)$$

初めに, 水と油の粘性係数を等しいことおいたのであるが, 滲透率を水に

對する有效滲透率，粘性係數を水に對する値をとれば，一般に通ずる壓入水量の計算式となる。

(ロ) 到達時間

有孔層内を流れる流體の眞の流速は次式で示される。(5)(6)

$$v_n = -\frac{k}{F\mu} \frac{\partial p}{\partial n} \quad (11)$$

$$\because F = f(1 - S_o - S_w)$$

f …… 孔隙率

S_o …… 最小殘油率 (孔隙率に對する比率)

S_w …… 最小間隙水飽和率

(孔隙率に對する比率)

壓入された水が始めて產出井に現はれるのは，最大流速をもつ水が最初に到達する事は明らかである。然して流速は壓入井，產出井を結ぶ直線上に於て最大である。依つて Z 平面軸上に於ける流速は()式より

$$v_r = -\frac{k}{F\mu} \frac{\partial p}{\partial r} = \frac{-nQ_n r^{n-1}(b^n - a^n)}{2\pi F(r^n - a^n)(b^n - r^n)} \quad (12)$$

到達時間は

$a \neq 0$, $a \neq 2$ なる場合

$$t_n = \int_a^r \frac{dr}{v_r} = \frac{\pi F \{n(b^n + a^n)(b^2 - a^2) - 2(b^n - a^n)(b^2 + a^2)\}}{Q_n(b^n - a^n)(n^2 - 4)} \quad (13)$$

$n=2$ なる場合

$$t_2 = \frac{\pi F}{Q_2} \left(\frac{a^2 + b^2}{4} + \frac{a^2 b^2}{b^2 - a^2} \log \frac{a}{b} \right) \quad (14)$$

$a=0$ なる場合

$$t_n = \frac{\pi F b^2}{Q_n(n+2)} \quad (15)$$

(ハ) 浸入面積

壓入された水が始めて產出井に現はれる迄に，圓環帶に於て浸入される面積は

$a \neq 0$, $n \neq 2$ なる場合

$$A_n = \frac{nQ_n t_n}{F} = \frac{\pi n \{n(b^n + a^n)(b^2 - a^2) - 2(b^n - a^n)(b^2 + a^2)\}}{(b^n - a^n)(n^2 - 4)} \quad (16)$$

$n=2$ なる場合

$$A_2 = 2\pi \left(\frac{a^2 + b^2}{4} + \frac{a^2 b^2}{b^2 - a^2} \log a/b \right) \quad (17)$$

$a=0$ なる場合

$$A_n = \frac{n\pi b^2}{n+2} \quad (18)$$

(二) 浸 入 効 率

浸入効率

$$E_n = \frac{A_n}{A_{n \rightarrow \infty}} \quad (19)$$

で示される。依つて

$a \neq 0, \quad n=2$ なる場合

$$E_n = \frac{n\{n(1+m^n) - 2(1-m^n)(1+m^2)/(1-m^2)\}}{(1-m^n)(n^2-4)}$$

但し $m=a/b \dots \dots \dots (20)$

$n=2$ なる場合

$$E_2 = 2 \left(\frac{1+m^2}{4(1-m^2)} + \frac{m^2}{(1-m^2)^2} \log m \right) \quad (21)$$

但し $m=a/b$

$a=0$ なる場合

$$E_n = \frac{n}{n+2} \quad (22)$$

3 諸 性 質

前述の理論算式は産出井，壓入井を逆にしても同一の結果を得る。依つて中心から押す場合にも周囲から押す場合にも，用ひられる

又 $a=0$ なる場合は小規模な試験的水攻法の算式として使用される。(9)(10)式に於て $n=1$ なる場合の算式は，一壓入井より一産出井の水攻法に， $n=2$ なる場合は，二壓入井の中心に産出井がある場合(或ひは其の逆)の算式になる。

第3圖は $a=0$ なる場合，周圍坑井數の變化に對する，中心の壓入井の壓入水量，到達時間，浸入効率の變化を示す。 n が無限大の場合は，一坑井の放射狀流の場合に相當する。

壓入水量は n 無限大にするも， $n=1$ なる場合の二倍より増加しない。

(I 曲線参照)

此の増加は b/r_w によつても變化するが、實際問題として、此による變化は催少である。

I 曲線の場合は l/r_w を 400 とし、計算した。到達時間に於ける變化は、 n が増加するにつれて到達時間が増加する事に注意されたい (II 曲線参照)。

$t_n/t_{n \rightarrow \infty}$ も坑井數のみでなく b/r_w によつて變化するが、此による變化は前同様催少である。

III 曲線は浸入效率の變化を示す。 E_n と $E_n/E_{n \rightarrow \infty}$ は等價である。浸入效率は坑井數のみの函數である。

第3圖

第4圖は(20)式の E_n の坑井

數に對する變化を示す。

m が 1 に近くに従つて E_n が低下するように見られるが、此は別に低下を示すものでなく、浸入されるべき面積の増大による所要坑井數の増加を示すものである。破線で示す I 曲線は、壓入井產出井間 100m、產出井間隔(内圓周上の坑井)を約 60m とした場合の E_n と m 及び坑井數との關係を示す。II 曲線は壓入井產出井間隔、產出井間隔を等しく 60m とおいた場合である。

I, II 曲線とも m が増加するに従つて増加する。そして線型水

攻法(一壓入井列、一產出井列の場合)の場合の效率に近づく。即ち m が 1 に近づく事は線型水攻法に近似して行く事を意味する。

4 結 論

圓型水攻法も線型水攻法と同様、產出井壓入井間隔、產出井間隔の取り方

第4圖

により浸入効率を高くせしめる事が出来るが、此は五點法、七點法と違ひ、計畫面積を逐次水攻して行く爲、壓入水の前進面が均等である事がより重要である。實際問題として、油層はそう均質なものでない爲、全ての點に於ける流速を等しく保つ事は困難である。従つて油を部分的に残す結果になり、論理的浸入効率を低下せしめる結果になる。併し傾斜が急なる油層、油層の壓力を飽和壓力に保つて採油する爲に行ふような水攻法には又端水方向よりの水攻法が採用されねばならぬ。かゝる場合には圓型水攻法は圓形、半圓形油層に對して應用されるであらう。

参 考 文 献

- (1) Uren; Petroleum Production Engineering, 1939, P.453~P.456
- (2)(6) P.J.Jones; Petroleum Production, Vol. II, 1946
- (3) 徳川武定、鬼頭史城共著 等角寫像解説 P. 108
- (4)(5) M. Muskat; The Flow of Homogeneous Fluids through Porous Media, 1937, P.510, P. 456
- (7) P.J.Jones; Oil Production by Water; The Oil Gas Journal, November 2, 1946~February 22, 1947.

雜 錄 ・ 雜 報

統計上より見たる昭和24年の石油鑛業

資源廳長官官房統計課 島 津 矩 久

1 原 油 關 係

(イ) 開 發 會 社

今年も大別して帝國石油(株)及び其の他に二分することが出来る。即ち我が國石油鑛業は非常に變則的であつて帝石は生産量、従業員數、鑛區面積、鑛場數等 凡べての點に於て全體の90%前後を占めてゐる。他に大同石油、日本鑛業(舊日 東石油)不二産業等の諸會社から個人經營に至るまで65社92鑛場(12月末現在生産鑛場)となつてゐる。

鑛場規模から見る時は従業員數30名を界として零細鑛場と資本主義的大經營とは明瞭に區分せられてゐる。(Table II & XI 參照)

尙今年に入つてから新に調査せられるやうになつた會社は長野縣に1社新潟縣に13社、廢止されたもの新潟縣に1社であつた。(Table I 參照)

(ロ) 地質調査並びに試掘及び地質調査補助

昭和22年以來 PEAC 地質部會に於て地表概査から試掘及び開發に至るまで一定の方針に基いて調査が進められて來たが今年6月23日新に米國の反射地震探鑛機が輸入せられ八橋油田の西方土崎地區に新な油層を想定し得るものが發見せられた。(これ