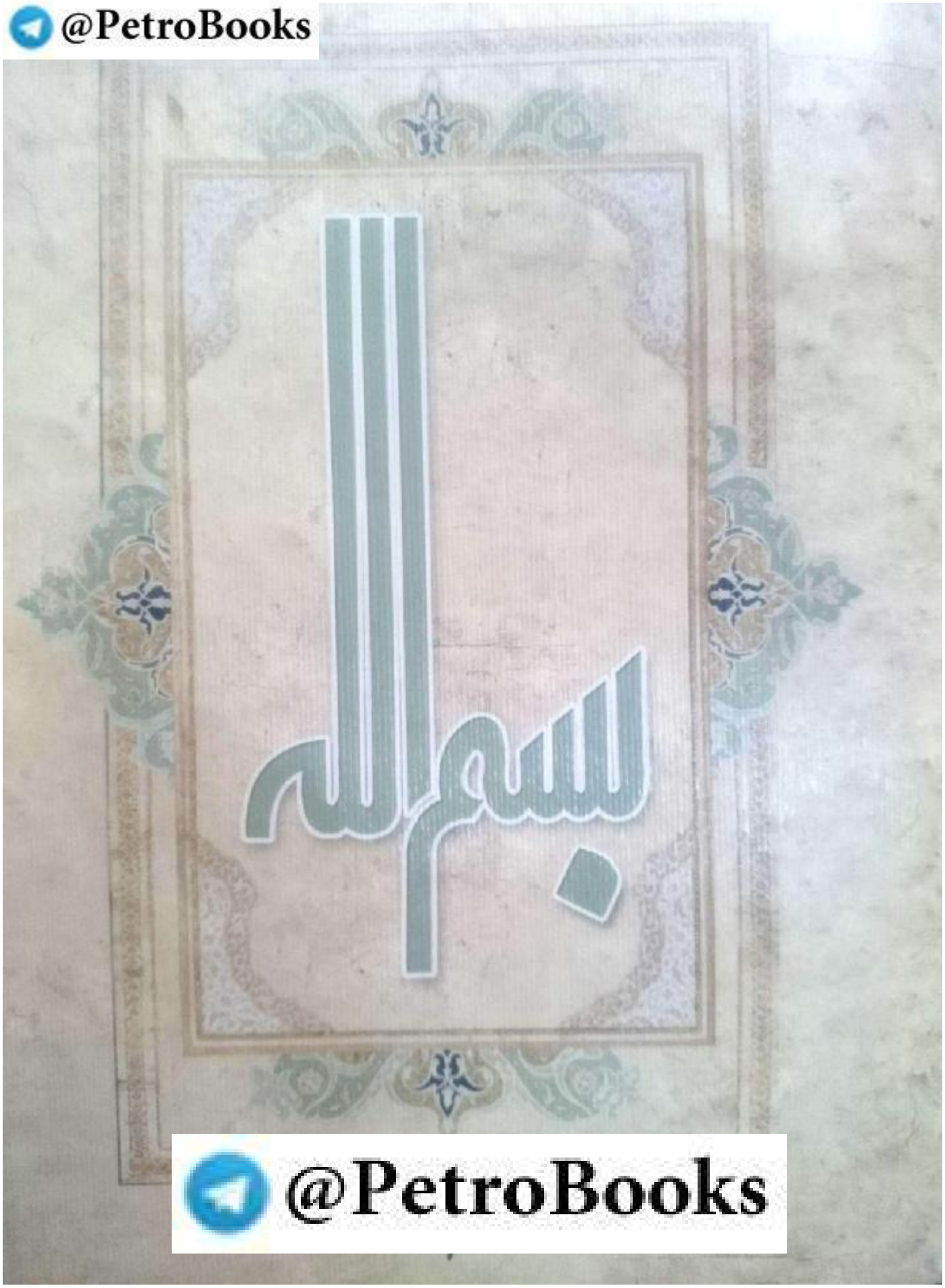
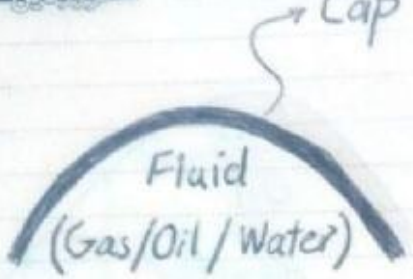
@PetroBooks



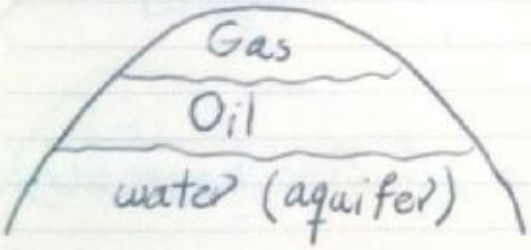
@PetroBooks

@PetroBooks

Reservoir Engineering 1

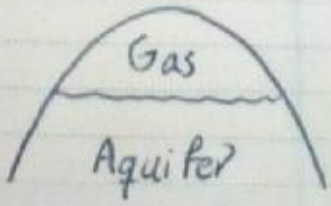


براساس | جنگالی



- در Zone های نفت و گاز ذرات ریز آب با درصد اشباع کم وجود دارند هم چنین در Zone آب مقدار کمی نفت وجود دارد.

• Gas Reservoir:



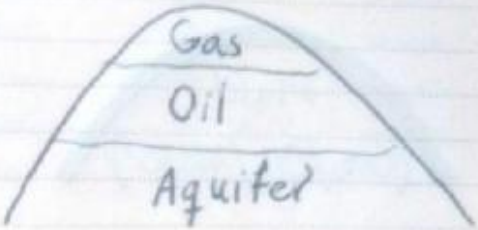
در مخازن گازی یا Zone نفت وجود ندارد یا ضخامت Zone نفتی بسیار کم می‌باشد.

Scanned by CamScanner

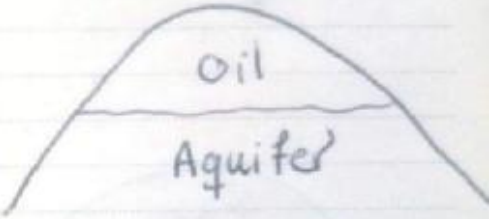
@PetroBooks

Oil Reservoir:

$P < P_b$ → Saturated →



$P > P_b$ → Undersaturated →



- در مخازن نفتی یا Zone گازی وجود ندارد یا ضخامت Zone گازی بسیار کم می‌باشد.

- Types of Reservoirs:

Gas Reservoir →
- Dry Gas
- Wet Gas
- Retrograde Gas

Oil Reservoir →
- Volatile Oil
- Black Oil

Light ↓ Heavy

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

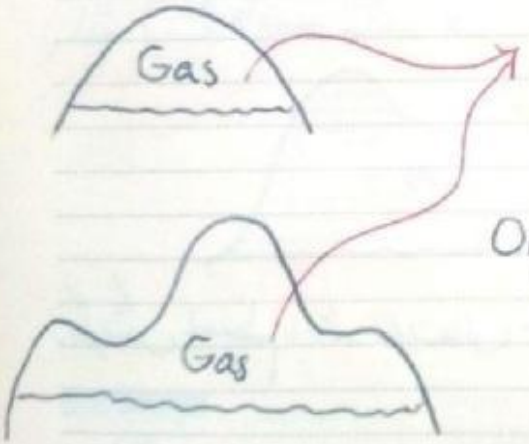
فروردین

_ Initial Hydrocarbon In-Place :

→
- Gas Reservoir : Initial (Original) Gas In-Place
- Oil Reservoir : Initial (Original) Oil In-Place

_ Calculation of Initial (Original) Gas In_Place :

. For Dry Gas Reservoir :



Initial Gas In-Place = IGIP = G (SCF)

or

Original Gas In-Place = OGIP = G (SCF)

- حجم گاز برجا یعنی اینکه تمام گاز درون مخزن را به شرایط استاندارد بیاوریم و بسنجیم چند SCF گاز به ما می‌دهد.

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

IGIP = G →
- Volumetric Method (using exploration data)
- Material Balance Method (using production data)

- اطلاعات بدست آمده از روش موازنه دقیق‌تر از روش حجمی می‌باشد ولی معمولاً با روش حجمی تخمین می‌زنند و با روش موازنه بررسی می‌کنند.

- روش حجمی قبل از تولید مخزن می‌باشد ولی روش موازنه هم از تولید می‌باشد.

. Volumetric Method :

. اگر شکل نامنظم باشد به اشکال منظم تبدیلش می‌کنیم.

→ Bulk Volume = V_b (ft^3)

Pore Volume = $V_p = V_b \times \phi$ (ft^3)

$S_{g_i} = 1 - S_{w_i} - S_{o_i}$

Gas Volume = $V_b \times \phi \times S_{g_i}$ (ft^3) →

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

Gas Volume $= V_b \times \phi \times (1 - S_{wi} - S_{oi})$ (P+3)

- در مخازن Dry Gas داریم:

$S_{oi} = 0 \rightarrow S_{gi} = 1 - S_{wi}$

$\rightarrow$ $IGIP = G = \frac{V_g}{Bg_i}$ (SCF)

$IGIP = G = \frac{V_b \cdot \phi \cdot (1 - S_{wi} - S_{oi})}{Bg_i}$

- به طور کلی در مخازن Dry Gas، $S_{oi} = 0$ می باشد ولی در مواردی که درون مخزن Dry Gas یک Zone نفتی وجود داشته باشد (Zone نفتی نازک) مقدار $S_{oi} \neq 0$ می باشد.

Scanned by CamScanner

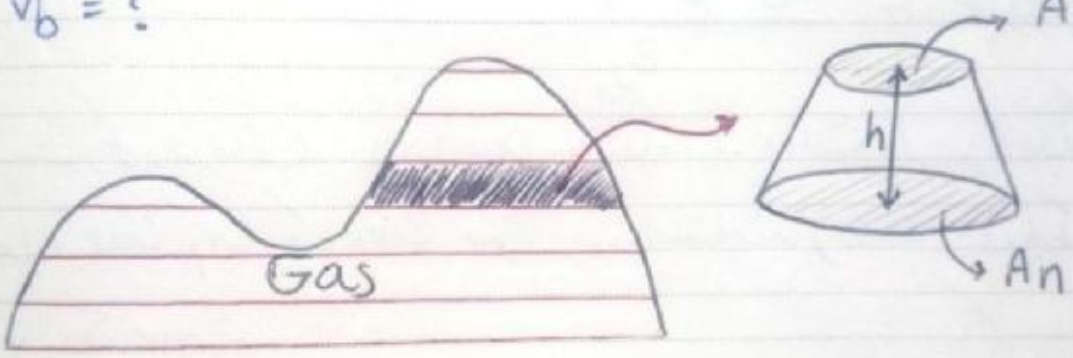
@PetroBooks

ϕ ⟶ Logging , Core Analysis

S_w ⟶ Logging , Core Analysis

$$\therefore \quad B_{g_i} = \frac{P_{sc}}{T_{sc}} \frac{ZT}{P} = 0.0283 \frac{ZT}{P} \quad \left(\frac{ft^3}{SCF}\right)$$

$V_b = ?$



- Pyramide ⇒ $\left(\frac{A_{n+1}}{A_n}\right) < 0.5$

$$V_b = \frac{h}{3}\left[A_n + A_{n+1} + \sqrt{A_n \cdot A_{n+1}}\right]$$

- Trapezoid ⇒ $\left(\frac{A_{n+1}}{A_n}\right) > 0.5$

$$V_b = \frac{h}{2}\left[A_n + A_{n+1}\right]$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- به طور کلی همواره روش pyramide دقیق تری است ولی در صورت وجود شروط پایین می توان از روش trapezoid استفاده کرد (در کنکور)

$$\begin{cases} \text{if } \dfrac{An+1}{An} < 0.5 \longrightarrow \text{Pyramide} \\ \text{if } \dfrac{An+1}{An} > 0.5 \longrightarrow \text{Trapezoid} \end{cases}$$

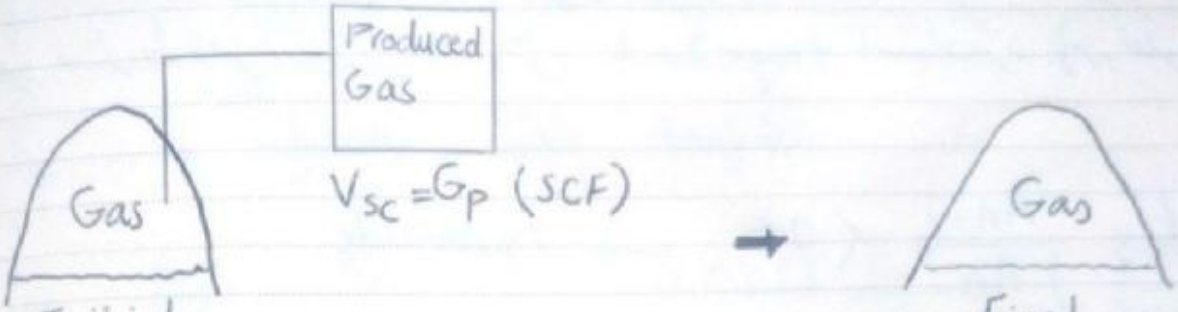
$h \longrightarrow$ Logging

using reservoir engeneering logging $\longrightarrow \begin{cases} \phi \\ S_w \\ h \end{cases}$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

Material Balance Method:



Initial		Final
P_i		P_f
V_i		V_f
n_i		n_f
T_i	$T_i = T_f$	T_f
Z_i		Z_f

منظور از Final، مدت کماه یک سال می‌باشد، نه اینکه گاز مخزن تمام شده باشد.

$G_p \Rightarrow$ منظور مقدار گاز تولیدی در یک دوره Final می‌باشد.

Gas Produced = Initial Gas − Remaining Gas

- M.B →
  - Mass Balance
  - Mole Balance →
    - Overall Mole Balance (O.M.B) — بی کنت و کوی زلف تو دل را می کشد
    - Compositional Mole Balance (C.M.B) — بازلف و خش تو کار دلم می کند

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- در مخازن Dry Gas چون با گذشت زمان، Composition تغییر نمی‌کند، از O.M.B استفاده می‌کنند.

- در مخازن Gas Condensate چون با گذشت زمان، Composition تغییر می‌کند از C.M.B استفاده می‌کنند.

- O.M.B for Dry Gas:

$$n_f = n_i - n_p$$

n_f: moles of gas remaining (final)

n_i: moles of initial gas

n_p: moles of gas produced

$$\rightarrow \frac{P_f V_f}{Z_f R T} = \frac{P_i V_i}{Z_i R T} - \frac{P_{sc} \cdot V_{sc}}{Z_{sc} R T_{sc}}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} Z_{sc} = 1 \\ V_{sc} = G_p \end{cases}$$

$$\rightarrow \frac{P_f \overset{?}{V_f}}{Z_f T} = \frac{P_i \overset{?}{V_i}}{Z_i T} - \frac{P_{sc} G_p}{T_{sc}}$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- در مخازن Dry Gas در روی سطح، liq نمی‌خندد در صورت وجود liq قطعاً این liq، آب می‌باشد و مقدار آن $\frac{1\ lbm}{MMSCF}$ می‌باشد.

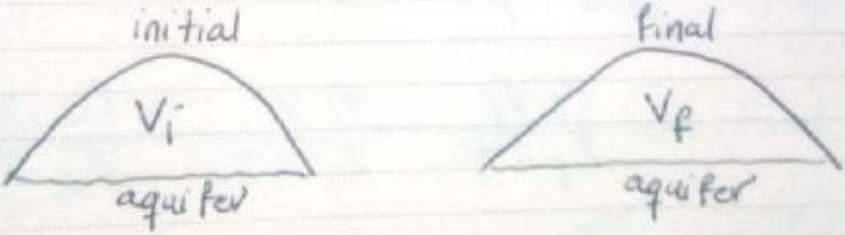
- در رابطه صفحه قبل نیاز به V_i داریم و این V_i همان مقدار اولیه گاز می‌باشد.

$$IGIP = G = \frac{V_i}{Bg_i}$$

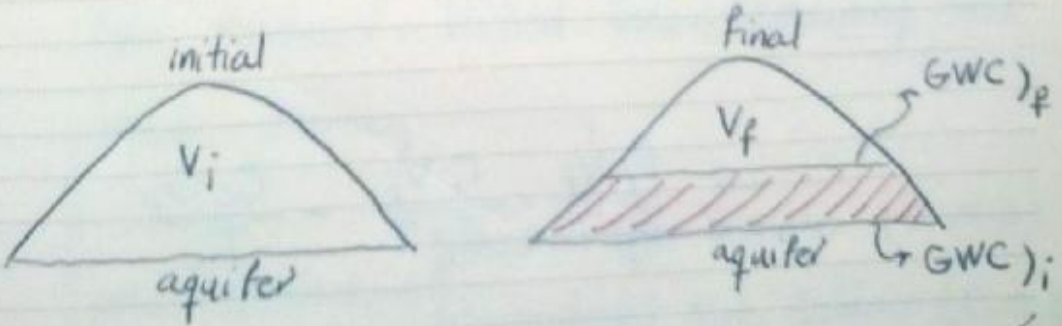
- برای V_f دو حالت در نظر می‌گیریم:

$V_f = ?$

حالت اول: Inactive Aquifer $(V_i = V_f)$



حالت دوم: Active Aquifer $(V_f < V_i)$



Scanned by CamScanner

@PetroBooks

۱۳۹۵/۰۱/۱۲

March 31

فروردین

- فعال بودن Aquifer در مخازن گازی عیب مخزن می باشد چون هنگام بالا آمدن آب مقدار زیادی گاز درون آب به دام می افتد و تولید گاز کم می شود ولی در مخازن نفتی مقدار کمی نفت در آب به دام می افتد و در ضمن اگر این نفت به دام هم نمی افتاد قابل تولید نبود.

- غیر فعال بودن Aquifer بعضی مواقع به این دلیل می باشد که مخزن ترادایی عمودی ندارد و آب نمی تواند بالا بیاید.

جمعه

۲۲ جمادی‌الثانی ۱۴۳۷

April 1 2016

۱۳۹۵/۰۱/۱۳

فروردین

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

Inactive Aquifer → $\frac{P_f V_i}{Z_f T} = \frac{P_i V_i}{Z_i T} - \frac{P_{sc} G_p}{T_{sc}}$

P: Psia

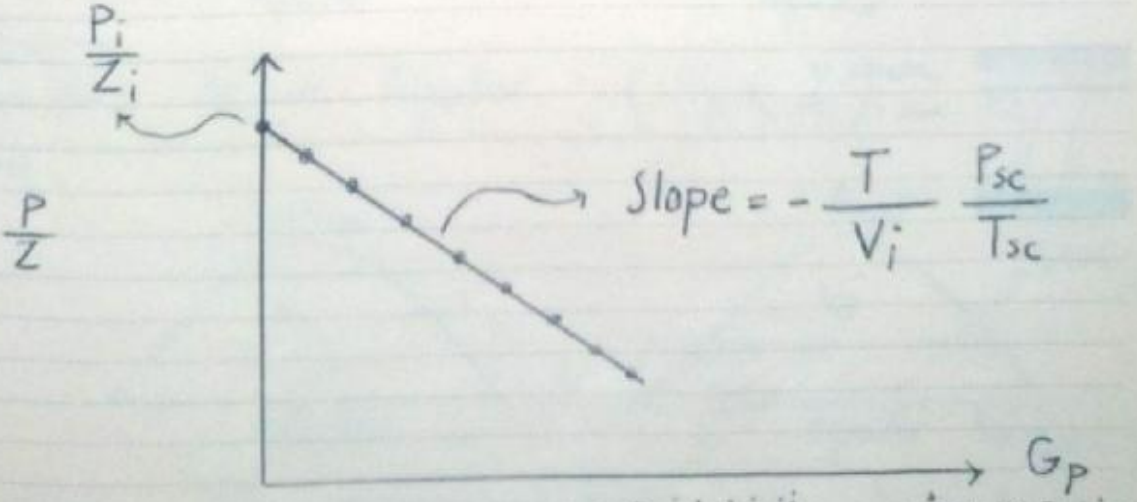
T: $^\circ R$

V_i: ft^3

G_p: SCF

$$\rightarrow \frac{P_f^*}{Z_f^*} = \frac{P_i}{Z_i} - \frac{T}{V_i}\frac{P_{sc} G_p^*}{T_{sc}}$$

P	Z	P/Z	G_p



پیوند عربته عربیت هوش دار نخوار خویش باش غم روزگار چیست

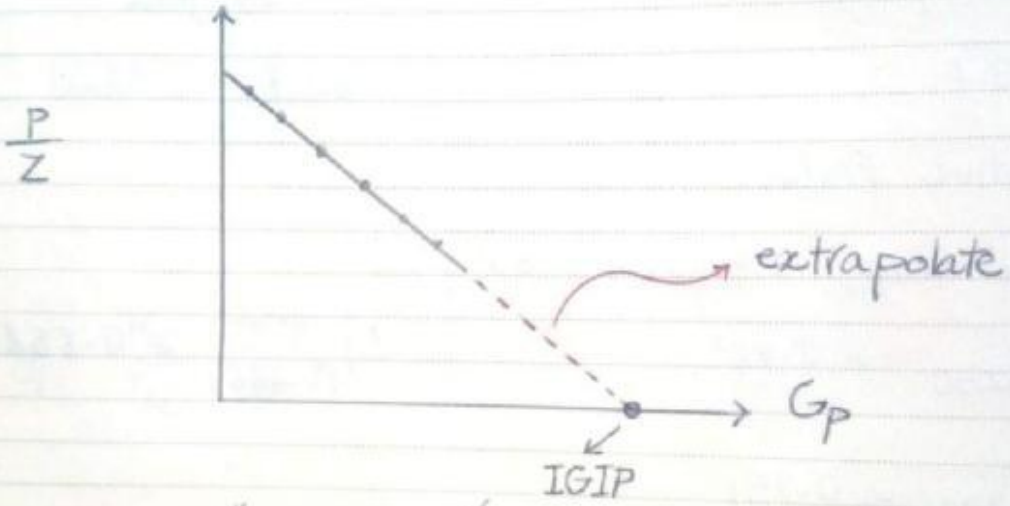
Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- برای مشخص کردن اینکه مخزن Inactive می باشد اگر نمودار صفحه قبل را رسم کنیم به یک خط راست می رسیم اگر خط راست نشد مخزن Active می باشد

- یک روش دیگر برای مشخص کردن Inactive بودن استفاده از لاگ ها می باشد

- برای بدست آوردن IGIP از روش extrapolate استفاده می کنیم:



- محل برخورد نمودار با محور Gp بیانگر این است که همه مول های گازی درون مخزن خارج شده اند و کل حجم تولیدی برابر با مقدار اولیه گاز درون مخزن می باشد

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

Example: Calculate Initial Gas In-Place and remaining gas of a dry gas reservoir from pressure-production data for a volumetric gas reservoir with its abondonment pressure of 500 psia.

Data:

$P_i = 3250$ psia $\qquad P_{sc} = 15.025$ psia

$T_R = 213\,^\circ F$ $\qquad T_{sc} = 60\,^\circ F$

Cumulative Production $= 10^9$ SCF

Average Final Pressure $= 2864$ psia

$Z)_{P=3250} = 0.91$ $\qquad Z)_{P=2864} = 0.888$

$Z)_{P=500} = 0.951$

→
- IGIP $= G = ?$
- Initial Reserve $= ?$
- Remaining $= ?$

Solution

Initial Reserve: مقدار حجمی از گاز که تولید آن اقتصادی می باشد.

IGIP: کل حجم گاز درون مخزن

Volumetric (حجم ثابت) = Inactive

سهو و خطای بنده گرش اعتبار نیست — معنی صنور حمت آمرزگار چیست

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

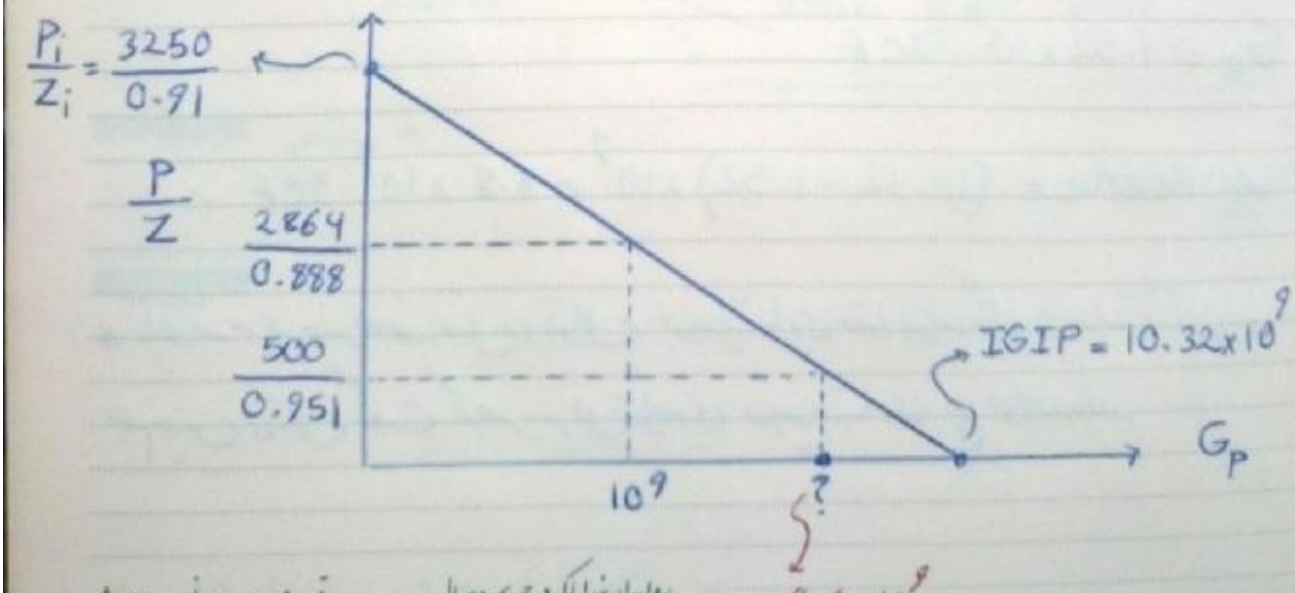
$$n_f = n_i - n_p$$

$$\rightarrow \frac{P_f V_f}{Z_f \cdot T} = \frac{P_i V_i}{Z_i T} - \frac{P_{sc} G_p}{T_{sc}} \xrightarrow{V_i = V_f} \frac{P_f}{Z_f} = \frac{P_i}{Z_i} - \frac{T P_{sc} G_p}{V_i \cdot T_{sc}}$$

$$\rightarrow \frac{2864}{0.888} = \frac{3250}{0.91} - \frac{673 \times 15.025 \times 10^9}{520 \times V_i} \rightarrow V_i = 56.17 \times 10^6 \ ft^3$$

$$\rightarrow IGIP = \frac{V_i}{Bg_i} = \frac{56.17 \times 10^6}{5.445 \times 10^{-3}} = 10.32 \times 10^9 \ SCF \ \checkmark$$

$$Bg_i = \frac{P_{sc}}{T_{sc}} \frac{ZT}{P} = \frac{15.025}{520} \frac{0.91 \times 673}{3250} = 5.445 \times 10^{-3}$$



رقیب محرم و حرمان نصیب من باشد روا مدار خدایا که در حریم وصال

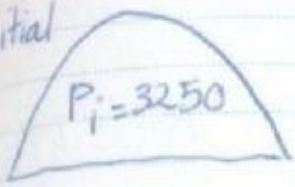
Scanned by CamScanner

@PetroBooks

initial

Reserve

final



$$\frac{P_f}{Z_f} = \frac{P_i}{Z_i} - \frac{T P_{sc} G_p}{V_i T_{sc}} \rightarrow \frac{500}{0.951} = \frac{3250}{0.91} - \frac{673 \times 15.025 G_p}{56.17 \times 10^6 \times 520}$$

$$\rightarrow G_p = 8.8 \times 10^9 \ SCF$$

Alternatively :

$$\text{Remaining } G_{a0} = G_a = \frac{V_i}{Bg_a} \quad \& \quad Bg_a = \frac{P_{sc}}{T_{sc}} \frac{Z_a T}{P_a}$$

$$Bg_a = \frac{15.025}{520} \times \frac{0.951 \times 673}{500} = 3.698 \times 10^{-2} \ \frac{ft^3}{SCF}$$

$$G_a = 1.52 \times 10^9 \ SCF$$

$$\Rightarrow \text{Reserve} = (10.32 - 1.52) \times 10^9 = 8.8 \times 10^9 \ SCF$$

* با توجه به نمودار صفحه قبل می‌توان در هر فشاری مقدار تولید گاز را بدست آورد و هم چنین می‌توان گفت که هر میزان تولیدی در هر فشاری رخ خواهد داد.

بیان شوق چه حاجت که سوز آتش دل — تواند شناخت زسوزی که در سخن باشد

Scanned by CamScanner

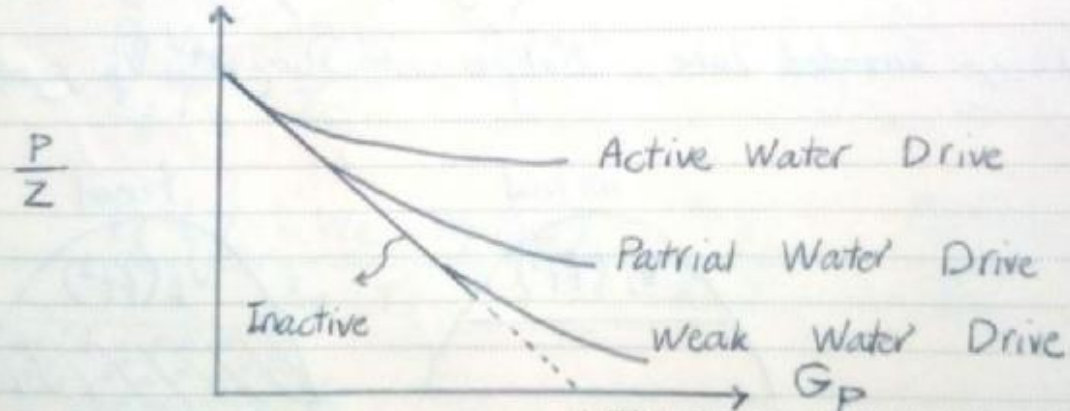
@PetroBooks

- برای مخازن Inactive نمودار به صورت خط راست می باشد برای مخازن Active چون با تولید سطح aquifer بالایی رود مقدار افت فشار را کم می کند.

- برای مخازن Active نمودار آن بالای خط راست می افتد و هرچقدر قدرت aquifer بالاتر باشد نمودار به خط افقی تبدیل می شود.

- خط افقی بیانگر aquifer با قدرت بی نهایت می باشد.

- برای مخازن Active مشکلی که وجود دارد این است که گاز در آب حل می شود.



شهادت آیت‌الله سید محمد باقر صدر و خواهر ایشان بنت الهدی به دست حکومت بعث عراق (۱۳۵۹ هـ ش)

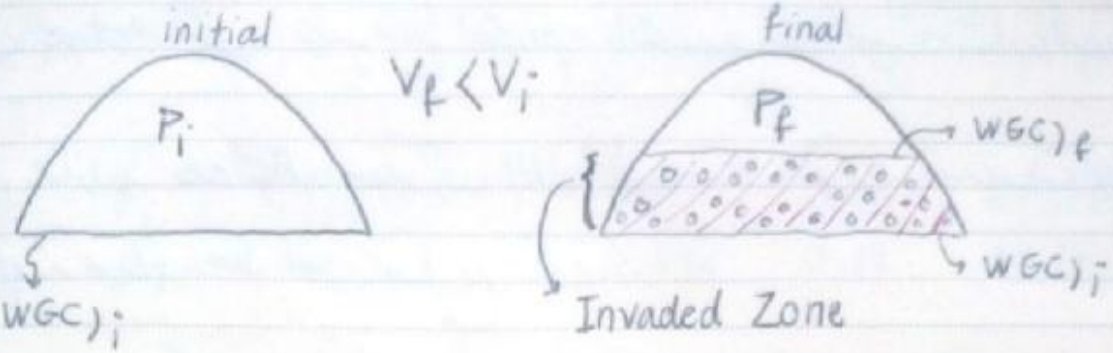
غریب را دل سرگشته با وطن باشد بهای کوی تو از سر نمی رود آری

روز ملی فناوری هسته ای، روز هنر انقلاب اسلامی (سالروز شهادت سید مرتضی آوینی ۱۳۷۲ هـ ش)

Scanned by CamScanner

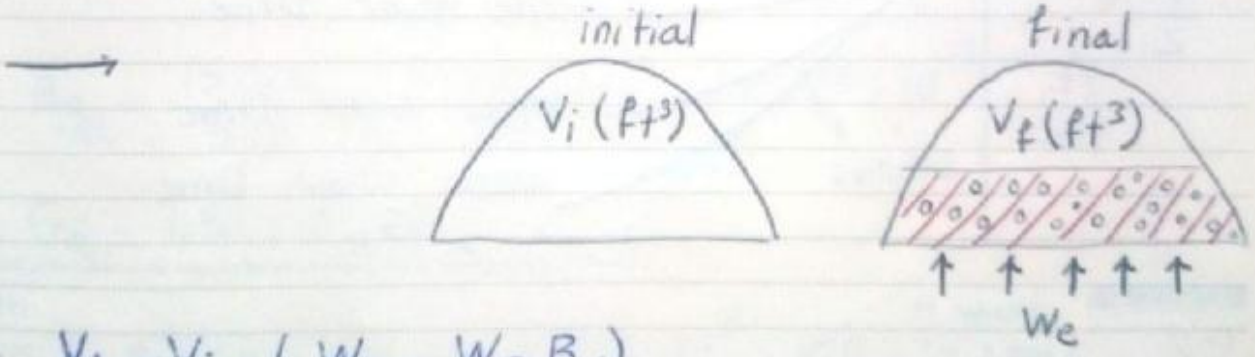
@PetroBooks

- Active Aquifer :



- هم V_i و هم V_f برابر با همان حجم گاز درون مخزن می باشند و با لا آمدن تدریجی آبی به این معنا نیست که همه گاز را به بالایی راند و همواره مقداری گاز در آن به دام می افتد و دارای اشباع می باشد که به آن S_{gr} گویند ($S_{gr} < 0.2$).

در ضمن V_f شامل حباب های به دام افتاده در Invaded Zone نیز می باشد.



$$V_f = V_i - (W_e - W_p B_w)$$

$$\rightarrow V_f = V_i - W_e + W_p B_w$$

$ft^3 \quad ft^3 \quad ft^3 \quad SCF \quad \frac{ft^3}{SCF}$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

W_e: encroached water = water in flux (ft^3)

مقدار آبی که وارد مخزن شده است که ممکن است آب وارد شده به مخزن تولید شود.

W_p: produced water (SCF)

B_w: water formation volume factor $\left(\frac{bbl}{STB} = \frac{ft^3}{SCF}\right)$

* 1 bbl = 1 STB = 5.615 ft^3 = 5.615 SCF

$$\rightarrow \frac{P_f V_f}{Z_f T} = \frac{P_i V_i}{Z_i T} - \frac{P_{sc} G_p}{T_{sc}}$$

$$\rightarrow \frac{P_f (V_i - W_e + W_p B_w)}{Z_f T} = \frac{P_i V_i}{Z_i T} - \frac{P_{sc} G_p}{T_{sc}}$$

$$IGIP = \frac{V_i}{Bg_i}$$

- در روش موارد با استفاده از رابطه بالا می‌توان W_e را حساب کرد (با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی و روش حجمی، V_i را می‌توان تخمین زد و طبق رابطه بالا W_e را تخمین زد)

- در مخازن با سفره آبی فعال معمولاً آب تولیدی طرد یعنی در سطح آب به دست می‌آوریم و اگر از گاری چند سال تولید شود و آب تولیدی نداشته باشیم سفره آبی مخزن غیر فعال می‌باشد.

کل مواقعی است مثبت شدن مثبت که به باغ آمد از این راه و از آن خواهد شد

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

B_w ≃ 0.995 - 0.998 - 1.05 - 1.06 ... عددی نزدیک به یک باز برای محاسبات

$$\frac{P_{sc} G_p}{T_{sc}} = \frac{P_i V_i}{Z_i T} - \frac{P_f}{Z_f T}\left(V_i - W_e + W_p B_w\right)$$

$$\rightarrow G_p = \frac{T_{sc}}{P_{sc}} \cdot \frac{P_i V_i}{Z_i T} - \frac{T_{sc}}{P_{sc}} \cdot \frac{P_f}{Z_f T}\left(V_i - W_e + W_p B_w\right)$$

$$\rightarrow G_p = \frac{V_i}{B_{g_i}} - \frac{1}{B_{g_f}}\left(V_i - W_e + W_p B_w\right)$$

$$\rightarrow G_p = G - \frac{1}{B_{g_f}}\left(G \cdot B_{g_i} - W_e + W_p B_w\right)$$

$$\rightarrow G_p \cdot B_{g_f} = G\left(B_{g_f} - B_{g_i}\right) + W_e - W_p B_w \quad \checkmark$$

- در رابطه بالا انبساط سنگ و آب متصل در نظر گرفته نشده است و چون انبساط گاز خیلی بیشتر از آب و سنگ است از آنها صرف نظر می‌کنیم.

- برای تصحیح رابطه بالا و در نظر گرفتن انبساط آب و سنگ، باید در V_f این انبساط‌ها را در نظر گرفت.

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

* for gas reservoir with inactive aquifer:

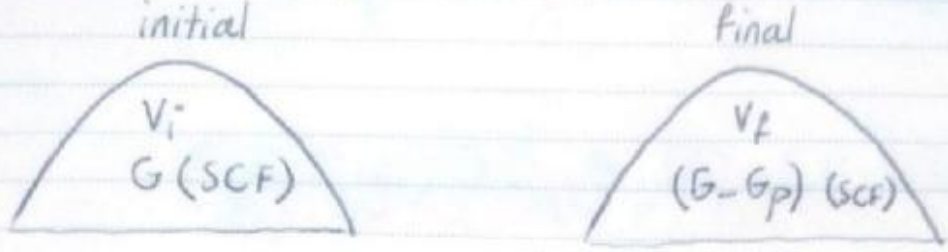
$$\rightarrow \begin{cases} W_e = 0 \\ W_p = 0 \end{cases} \rightarrow G_p \cdot B_{g_f} = G(B_{g_f} - B_{g_i})$$

* $G\,B_{g_i} = V_i$
* $(G - G_p)\,B_{g_f} = V_f$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

* Recovery and Recovery Factor:



Recovery = G_p (SCF)

Recovery Factor (R.F), % = $\frac{G_p}{G} \times 100$

- مخازن گازی به خاطر طبیعتشان تا 75-80 % می‌توانند تولید کنند.

- مخازن نفتی به خاطر طبیعتشان تا 20% می‌توانند تولیدکنند و بعد از آن مخزن به طور طبیعی قدرت تولید ندارد و وارد فاز دوم می‌شود.

. For Volumetric Gas Reservoir:

$$R.F\ \% = \frac{\text{Produced Gas}}{\text{Initial Gas}} \times 100$$

- در مخازن گازی چون بیشتر گاز مخزن (75-80 %) به طور طبیعی تولید می‌شود نیازی به روش‌های ازدیاد برداشت نمی‌باشد و فقط برای مخازن Gas Condensate چون تولید میعانات با افزایش می‌کند مطرح می‌شود.

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

$$R.F\,\% = \frac{\text{Initial Gas} - \text{Remaining Gas}}{\text{Initial Gas}} \times 100$$

$$R.F\,\% = \frac{\frac{V_b \cdot \phi \cdot (1-S_{wi})}{B_{g_i}} - \frac{V_b \cdot \phi \cdot (1-S_{wi})}{B_{g_f}}}{\frac{V_b \cdot \phi \cdot (1-S_{wi})}{B_{g_i}}} \times 100$$

$$R.F\,\% = \frac{\frac{1}{B_{g_i}} - \frac{1}{B_{g_f}}}{\frac{1}{B_{g_i}}} \times 100$$

$$R.F\,\% = \left(1 - \frac{B_{g_i}}{B_{g_f}}\right) \times 100$$

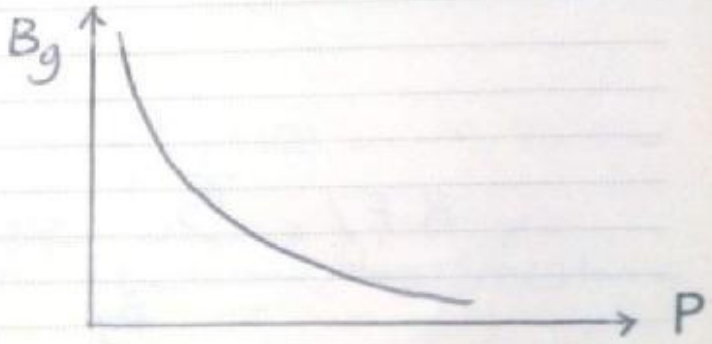
والده و شیدا ست دایم بهر طفل و قص عوعی طبعم زمشق شکر و بادام دوست
۱ ۲ ۳ ۴ ۵ جمعه ۷ ۸ ۹ ۱۰ ۱۱ ۱۲
Scanned by CamScanner

@PetroBooks

$$R.F\% = \left(1 - \frac{\frac{P_{sc}}{T_{sc}} \cdot \frac{Z_i T}{P_i}}{\frac{P_{sc}}{T_{sc}} \cdot \frac{Z_f T}{P_f}}\right) \times 100$$

$$R.F\% = \left(1 - \frac{P_f}{Z_f} \cdot \frac{Z_i}{P_i}\right) \times 100$$

$B_{g_i} < B_{g_f} \Rightarrow$



- اگر به ما ρ را بدهند خواهیم داشت:

$$\rho = \frac{P M_w}{ZRT} \quad \& \quad B_g = \frac{P_{sc}}{T_{sc}} \frac{ZT}{P}$$

$$\rightarrow \frac{ZT}{P} = \frac{M_w}{\rho R} \rightarrow B_g = \frac{P_{sc}}{T_{sc}} \frac{M_w}{\rho R}$$

Dry Gas → ثابت Comporition → $M_{w_i} = M_{w_f}$

$$\rightarrow R.F\% = \left(1 - \frac{B_{g_i}}{B_{g_f}}\right) \times 100$$

گفتم ای مسند جم جام جهان بینت کو — گفت افسوس که آن دولت بیدار بخفت

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

$$R.F\% = \left(1 - \frac{\frac{P_{sc}}{T_{sc}}\frac{M\omega_i}{\rho_i R}}{\frac{P_{sc}}{T_{sc}}\frac{M\omega_f}{\rho_f R}}\right) \times 100$$

$$R.F\% = \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_i}\right) \times 100$$

$$\rightarrow R.F\% = \left(1 - \frac{Bg_i}{Bg_f}\right)\times 100 = \left(1 - \frac{P_f}{P_i}\cdot\frac{Z_i}{Z_f}\right)\times 100 = \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_i}\right)\times 100 \quad \checkmark$$

- For Gas Reservoir with Active Aquifer:

$$R.F\% = \frac{\text{Produced Gas}}{\text{Initial Gas}} \times 100 = \frac{\text{Initial Gas} - \text{Remaining Gas}}{\text{Initial Gas}} \times 100$$

$$R.F\% = \frac{\frac{V_b \cdot \phi \cdot (1-S_{wi})}{Bg_i} - \frac{V_b \cdot \phi \cdot (1-S_{wf})}{Bg_f}}{\frac{V_b \cdot \phi \cdot (1-S_{wi})}{Bg_i}} \times 100$$

$$1 - S_{wf} = S_{gf} = S_{gr} \quad **$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

$$R.F/ = \frac{\frac{1-Sw_i}{Bg_i} - \frac{1-Sw_f}{Bg_f}}{\frac{1-Sw_i}{Bg_i}} \times 100$$

$$R.F/ = \left(1 - \frac{\frac{1-Sw_f}{Bg_f}}{\frac{1-Sw_i}{Bg_i}}\right) \times 100$$

- در این قسمت V_b را ثابت می‌گیریم چون V_b همان حجم اولیه مخزن است و در صورتی که آب‌وارد مخزن شود باز هم V_b ثابت می‌ماند.

- V_b را ثابت می‌گیریم بدین معنی است که از اثر طبقه‌بندی مخزن صرف‌نظر کرده‌ایم.

* Inactive Aquifer :

$$G_p \cdot Bg_f = G(Bg_f - Bg_i) \rightarrow R.F/ = \frac{G_p}{G} \times 100$$

* Active Aquifer :

$$G_p \cdot Bg_f = G(Bg_f - Bg_i) + W_e - W_p B_w$$

*** تمامی محاسبات انجام شده قبل فقط برای مخازن گازی خشک می‌باشد.

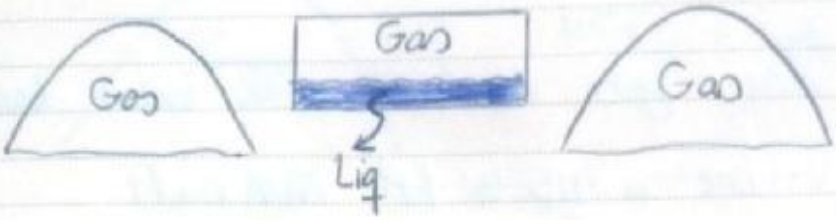
من آن شمع سوزان را با غیر دیده برگردم — کو دلی کز غیر بگسلد محبت یاری آورد

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

فروردین

• For Wet Gas Reservoir :



$$G_p \cdot Bg_f = G(Bg_f - Bg_i) + W_e - W_p B_w$$

G_p = Gas Produced + Gas Equivalent of the Produced Liquid

Gas Equivalent of the Produced Liquid = $GE \times V_{liq}$

$$GE = 133300 \frac{\gamma_L}{Mw_L} \left(\frac{SCF}{STB}\right)$$

- این رابطه مقدار گاز برای حد و مایع را از راه دیگر حساب می‌کنیم.
- B_w به طور کلی تابعی از خارج شده هر liq با فشار و دمای liq ثابت می‌باشد که بسته به رطوبت این پارامترها، B_w می‌تواند بزرگتر یا کوچکتر از یک باشد.

• For Retrograde Gas Reservoir :

- $P > P_d$ → حقیقتاً کنیم به مخازن Wet Gas عمل می‌کنیم

- $P < P_d$

از تنگ چه کوبی که مرا نام زنگ است و نام چه پری که مرا نام زنگ است

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

Example: Calculate water influx and residual gas saturation.

In a water drive gas reservoir, with below data:

Initial Bulk Volume = 415.3 MM cuft

$\phi = 17.2\%$ S_{wi} = Connate Water Saturation = 25%

Initial Gas FVF = 0.005262 $\frac{ft^3}{SCF}$

Initial Pressure = 3200 psia

Final Gas FVF = 0.0057 $\frac{ft^3}{SCF}$

Final Pressure = 2925 psia

Cumalative Gas Production = 935.4 MMSCF

Cumalative Water Production = 15200 STB

$B_w = 1.03$ $\frac{bbl}{STB}$

Bulk Volume Invaded Zone @ 2925 psia = 13.04 MM cuft

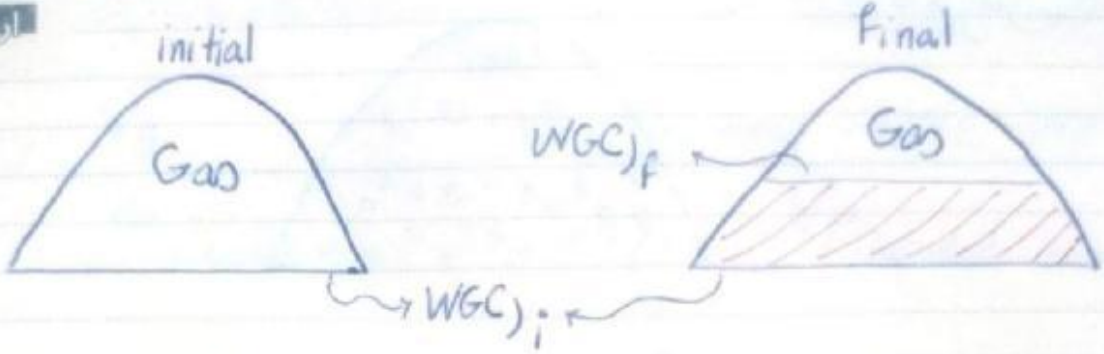
$$\begin{cases} W_e = ? \\ S_{g_r} = ? \end{cases}$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

پنجشنبه
۱۳ رجب
April 21
۱۴۳۷
2016
۱۳۹۵/۰۲/۰۲
اردیبهشت

Solution



$$G_p \cdot Bg_f = \overset{?}{G}\,(Bg_f - Bg_i) + \overset{?}{W_e} - W_p B_w$$

چون G را داریم از اطلاعات مساله IGIP را حساب می‌کنیم:

$$IGIP = G = \frac{V_i}{Bg_i} = \frac{V_b \cdot \phi \cdot (1 - Sw_i)}{Bg_i} = 10.181 \times 10^9 \ SCF$$

$$\rightarrow W_e = 960410.44 \ ft^3 \quad \checkmark$$

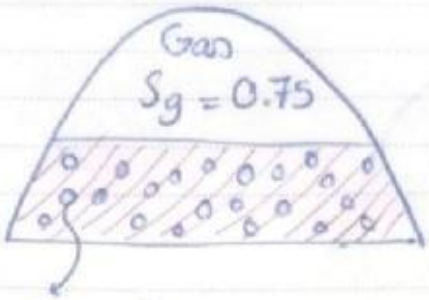
ولادت حضرت امام علی(ع) ۲۳ سال قبل از هجرت (تعطیل) - آغاز ایام البیض (اعتکاف) - تأسیس سپاه پاسداران انقلاب اسلامی (۱۳۵۸ هش) - سالروز اعلام انقلاب فرهنگی (۱۳۵۱ هش) - روز درختکاری

جمعه
۱۴ رجب
April 22
۱۴۳۷
2016
۱۳۹۵/۰۲/۰۳
اردیبهشت

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- $S_{g_p} = ?$



• حجم Invaded Zone را به ماخذه و این حجم مقداری آب اولیه (Connate) دارد:

$$\text{Initial Water} = V_{b_{invaded}} \times \phi \times S_{w_i}$$

$$= 13.04 \times 10^6 \times 0.172 \times 0.25 = 560720 \text{ ft}^3$$

• در ضمن مقداری آب نیز وارد مخزن شده و مقداری از این آب هم تولید شده است:

$$W_e - W_p B_w = 960410.44 - 15200 \times 5.615 \times 1.03 = 872502 \text{ ft}^3$$

پس به طور کلی آب موجود در Invaded Zone عبارت است از:

$$\text{Volume of Water} = V_w = 560720 + 872502 = 1433222 \text{ ft}^3$$

$$\rightarrow S_{w_f} = \frac{V_w}{V_{p_{invaded}}} = \frac{1433222}{13.04 \times 10^6 \times 0.172} = 0.639$$

$$\rightarrow S_{g_p} = 1 - S_{w_f} = 0.361 \checkmark$$

برداشی زیبا خواهین کرد از چشم من دانو — راز این پرده نهان است و نمان خواهد بود

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

یکشنبه ۱۶ رجب ۱۴۳۷
April 24 2016
۱۳۹۵/۰۲/۰۵
اردیبهشت

علاوه بر این حل می‌توان به طور مستقیم اشباع شدگی گاز را حساب کرد:

$$S_{g_2} = \frac{V_g}{V_{P_{invaded\ zone}}} = \frac{\text{Initial Gas} - (We - Wp\,Bw)}{V_{P_{invaded\ zone}}}$$

$$\rightarrow S_{g_2} = \frac{13.04 \times 10^6 \times 0.172 \times 0.75 - 960910 + 15200 \times 5.615 \times 1.03}{13.04 \times 10^6 \times 0.172}$$

$$\rightarrow S_{g_2} = 0.361 \checkmark$$

در این حالت مقدار گاز اولیه درون Invaded Zone را بدست می‌آوریم و آن مقدار گاز را که به خاطر بالا آمدن آب از این Zone خارج شده را از مقدار اولیه گاز کم می‌کنیم.

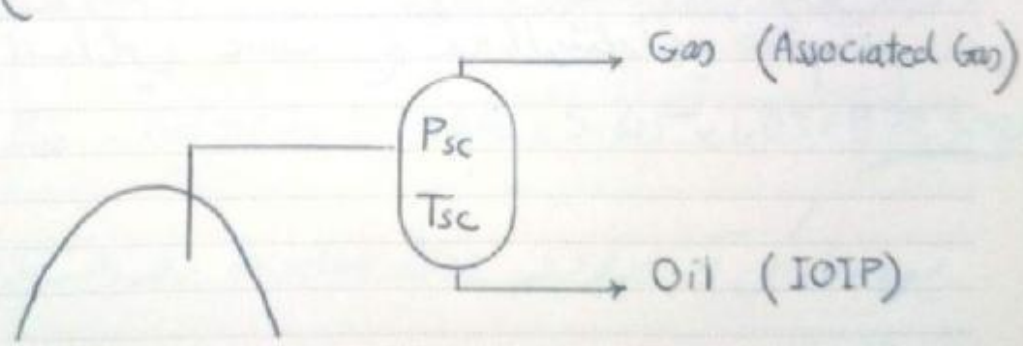
Scanned by CamScanner

@PetroBooks

* Calculation of Oil In-Place (IOIP):

- مفهوم IOIP این است که کل نفت درون مخزن را به SC بیاوریم و ببینیم که چند بشکه نفت استاندارد وجود دارد و همواره برحسب STB می‌باشد.

IOIP → { Volumetric Method
Material Balance Method



- Associated Gas:

• Undersaturated Reservoir → Associated Gas = Dissolved Gas

• Saturated Reservoir → Associated Gas = Free Gas + Dissolved Gas

دوا کرد از آن آهوی سیمین به چشم چون ناوک بسی خون دلم در جگر افتاد

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- Volumetric Method:

V_b = Bulk Volume

- V_b برحسب ft^3 می‌باشد ولی چون نفت می‌باشد باید به bbl تبدیل کرد.

$$\text{Pore Volume} = V_p = V_b \times \phi \quad (bbl)$$

$$\text{Oil Volume} = V_o = V_p \times S_{oi} = V_b \cdot \phi \cdot S_{oi}$$

$$= V_b \cdot \phi \cdot (1 - S_{wi} - S_{gi}) \quad (bbl)$$

- S_{gi} برای فازل undersaturated تقریباً برابر با صفر می‌باشد.

$$IOIP = N = \frac{V_b \cdot \phi \cdot (1 - S_{wi})}{B_{oi}} \quad (STB)$$

Scanned by CamScanner

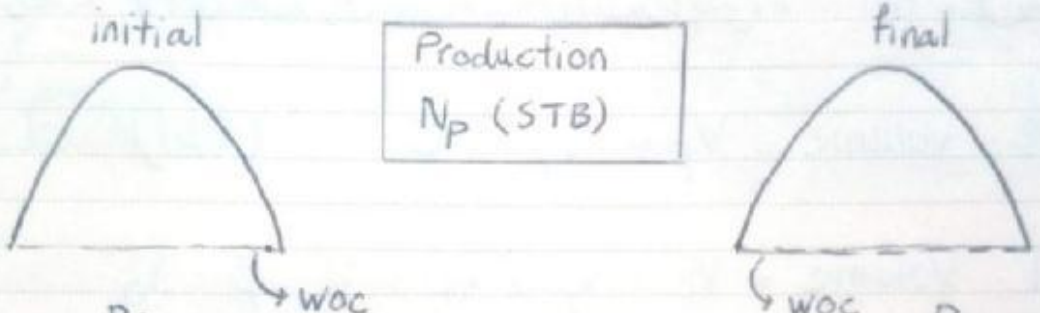
@PetroBooks

۱۴۳۷ ۱۹ رجب
2016 April 27
۱۳۹۵/۰۲/۰۸

چهارشنبه اردیبهشت

- Material Balance Method:

a) For Volumetric oil reservoir which is undersaturated at initial and final conditions:



P_i	P_f
B_{oi}	$B_{of} = B_o$
R_{si}	undersaturated → $R_{sf} = R_{si}$
N (STB)	$(N - N_p)$ (STB)

- اگر از انبساط سنگ مخزن و آب همراه و تغییرات ϕ سنگ مخزن صرف نظر شود خواهیم داشت:

$$V_i = V_f \quad (bbl)$$

درصورت در نظر گرفتن تغییرات سنگ مخزن باید تغییرات را اعمال کرد و برای این صورت:

$$V_i \neq V_f$$

کوهی بلند نظر شهباز سدره نشین تیمین تو زین کنج محنت آباد است

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- در صورتی که از تغییرات صرف نظر شود:

$$V_i = V_f \rightarrow N \cdot B_{oi} = (N - N_p) B_o$$

$$\rightarrow N = \left(\frac{B_o}{B_o - B_{oi}} \right) N_p$$

- N_p نفت تولیدی در ST می باشد به گاز تولیدی شده کاری نداریم.

- چون مخزن Undersaturated می باشد با بدست آوردن N می توان Associated Gas را نیز محاسبه کرد:

$$\text{Associated Gas} = N \cdot R_{si} \quad (SCF)$$

- Recovery Factor:

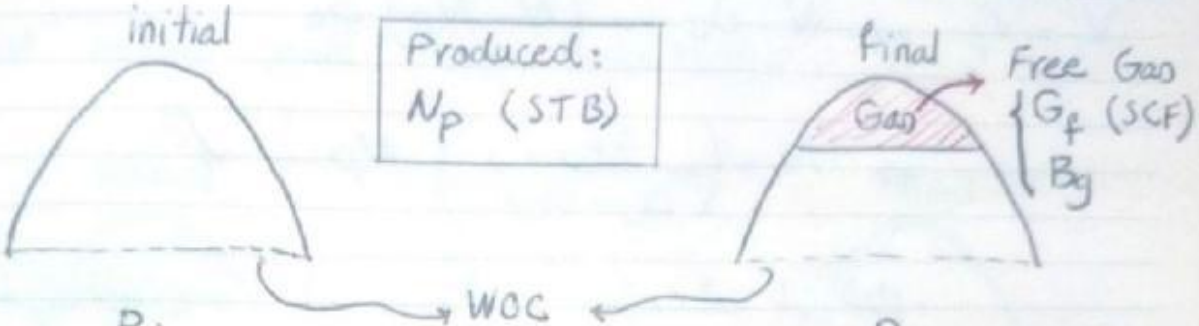
$$R.F\% = \frac{N_p}{N} \times 100 \rightarrow R.F\% = \frac{B_o - B_{oi}}{B_o} \times 100$$

غم جهان مخور و پند من مبر از یاد
که این لطیفه عشقم ز رهروی یاد است

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

b) For volumetric oil reservoir which is undersaturated at initial conditions, but saturated at final condition:



P_i	P_f
B_{oi}	B_o
R_{si}	R_s
N	$(N-N_p)$

- مقدار حجم گاز Gas Cap یا G_f نشان می‌دهد:

$$\text{Gas Cap} \rightarrow \begin{cases} G_f & (SCF) \\ B_g & \left(\frac{bbl}{SCF}\right) \end{cases}$$

- در این حالت نیز چون Aquifer آن نیز فعال می‌باشد: $V_i = V_f$

- در ضمن منظور از V، حجم هیدروکربن درون مخزن می‌باشد (حجم آبی همراه حساب نمی‌شود)

$$V_i = V_f \rightarrow N \cdot B_{oi} = (N-N_p) B_o + G_f \cdot B_g$$

STB — $\frac{bbl}{STB}$ — STB — $\frac{bbl}{STB}$ — $\frac{SCF}{SCF}$ که برابر و واحد اعتبار گشادست

رضا به داده بده و ز جبین گره بگشای

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- برای استفاده از رابطه نیاز به G_f داریم:

G_f = Initial Solution Gas − Final Solution Gas − Produced Gas

$$\Rightarrow G_f = N R_{s_i} - (N - N_p) R_s - N_p R_p \qquad (SCF)$$

- G_f را در رابطه تراز جرمی حجم، N را بدست می‌آوریم:

$$N = \frac{[B_o + (R_p - R_s) B_g]}{[B_o - B_{o_i} + (R_{s_i} - R_s) B_g]} N_p \quad \checkmark$$

- گاز اولیه درون مخزن ← Associated Gas $= N \cdot R_{s_i}$ (SCF)

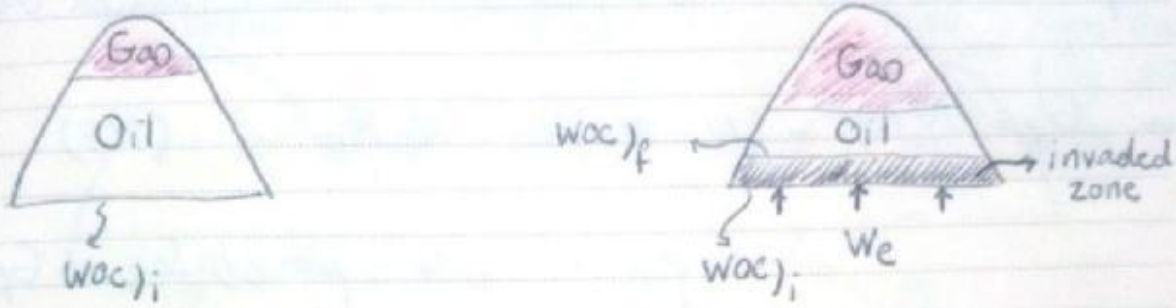
* Recovery Factor:

$$R.F/. = \frac{N_p}{N} \times 100 \rightarrow R.F/. = \frac{[B_o - B_{o_i} + (R_{s_i} - R_s) B_g]}{[B_o + (R_p - R_s) B_g]} \times 100$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

c) General Material Balance :



- با افتادن فشار هم آب همراه و هم سنگ درون مخزن قابلیت انبساط دارند و دراین رابطه در نظر گرفته می‌شود:

انبساطیت همراه — انبساط گاز مخزن — انبساط سنگ و آب مخزن

$$N(B_t - B_{ti}) + N m B_{ti}\left(\frac{B_g}{B_{gi}} - 1\right) + N(1+m)B_{ti}\left(\frac{S_{wi}C_w + C_f}{1 - S_{wi}}\right)\overline{\Delta P} =$$

تولیدی نفت — آب ورودی — آب تولیدی

$$N_p\left[B_t + (R_p - R_{si})B_g\right] - (W_e - W_p B_w)$$

$$m: \frac{\text{Initial volume of gas cap}}{\text{Volume of oil initially in place}} = \frac{GB_{gi}}{NB_{oi}} \quad \left(\frac{bbl}{bbl}\right)$$

C_w: Water Compressibility , psi^{-1}

C_f : Formation Compressibility , psi^{-1}

$\overline{\Delta P}$: Pressure Drop at Reservoir , psi

W_e: Water Influx , $\left(ft^3 \xrightarrow[\text{مخزن نفت}]{\text{تبدیل}} bbl\right)$

ثواب روزه و حج قبول آن کس برد — که خاک میکده عشق را زیارت کرد

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

اردیبهشت

* For Case a)

undersaturated oil reservoir → $m=0$

از اثر ناط آب و سنگ صرف نظر می‌کنیم. → $C_w=0$ & $C_f=0$

$W_e=0$ & $W_p=0$

→ $N(B_t-B_{t_i})=N_p[B_t+(R_p-R_{si})B_g]$

undersaturated oil reservoir → $R_p=R_s=R_{s_i}$

→ $N(B_t-B_{t_i})=N_p B_t$

undersaturated oil reservoir → $B_t=B_o$

→ $N(B_o-B_{o_i})=N_p B_o$ → $N=\left(\frac{B_o}{B_o-B_{o_i}}\right)N_p$ ✓

نظر دو کشان از سر حارت کرد

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

* General Material Balance for Gas Reservoir:

- $N m B_{t_i} = G B_{g_i}$
- $N_p R_p = G_p$

$$\rightarrow N(B_t - B_{t_i}) + \frac{G B_{g_i}}{B_{g_i}}(B_g - B_{g_i}) + (N B_{t_i} + G B_{g_i})\left(\frac{S_{w_i} C_w + C_f}{1 - S_{w_i}}\right)\bar{\Delta P} =$$

$$N_p B_t + (G_p - N_p R_{s_i}) B_g - (W_e - W_p B_w)$$

* نکته: در مخازن گازی چون حجم Gas Cap بزرگ و حجم Oil Zone کوچک می باشد:

$$m = \infty$$

- For Gas Reservoir: $N = 0$ & $N_p = 0$

$$G(B_g - B_{g_i}) + G B_{g_i}\left(\frac{S_{w_i} C_w + C_f}{1 - S_{w_i}}\right)\bar{\Delta P} = G_p B_g - (W_e - W_p B_w)$$

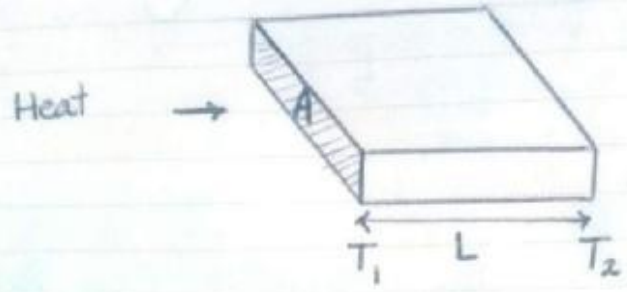
به روی یار نظر کن ز دیده منت دار
که کار دیده نظر از سر بصارت کرد

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

* Fundamentals of Fluid Flow in Porous Media:

- Fourier's Law:



Q: Heat Rate $(\frac{J}{S})$

A: Cross Section Area (in^2)

L: length, m

T_1 & T_2: Temperature $(^\circ k)$

k: Thermal Conductivity

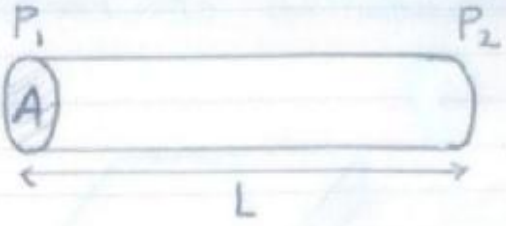
$$\left.\begin{array}{l} Q \propto A \\ Q \propto \Delta T \\ Q \propto \frac{1}{L} \end{array}\right\} \rightarrow Q \propto \frac{A\Delta T}{L} \Rightarrow Q = -kA\frac{\Delta T}{L}$$

$\frac{\Delta T}{L}$ = Temperature Gradient

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- Darcy's Law:



q: Flow rate

P_1 & P_2 : Pressure

A: Total Cross Section Area, Apparent Cross Section Area

L: Length

k: Fluid Conductivity, Permeability

→

$q \propto A$

$q \propto \Delta P$

$q \propto \frac{1}{L}$

$q \propto \frac{1}{\mu}$

$\rightarrow q \propto \frac{A \Delta P}{\mu L} \rightarrow q = -k \frac{A \Delta P}{\mu L}$

- Darcy's Unit System: (نسبت زیادی به CGS دارد.)

k: Darcy, d

μ: cp

L: cm

$A: cm^2$

ΔP: atm

time: s

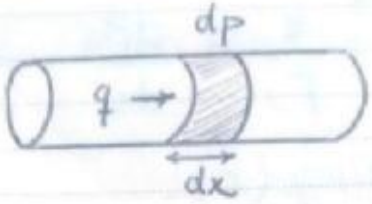
$q: \frac{cm^3}{s}$

هنگام وداع تو زبس گریه کردم — دور از رخ تو چشم مرا نور نماند

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

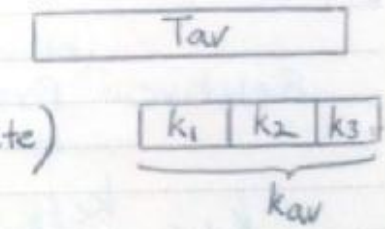
* Darcy's Law in Differential Form:



$$q = -\frac{k}{\mu} A \frac{dP}{dx} \qquad \frac{dP}{dx} < 0 \text{ (Pressure Gradient)}$$

* Darcy's Law Assumption:

- Horizontal System
- Isothermal System (T = cte)
- Isotropic System (k = cte & ϕ = cte)
- Steady State System
- Laminar Flow



- داری آزمایش را با شرایط بالا در آزمایشگاه انجام داد و رابطه بالا برای سیستم های با شرایط بالا مرتبط می باشد و برای استفاده از این رابطه برای سایر سیستم ها باید تغییرات در آن ایجاد شود.

- Oil Field Unit System: (. دارد British ، شهت زیادی)

k: md	A: ft^2	q: $\frac{bbl}{day}$
μ: cp	ΔP: psia	
L: ft	time: hr	

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- اگر در فرمول داربی از واحدهای میدانی استفاده کنیم خواهیم داشت:

$$q = -1.127 \times 10^{-3} \frac{k}{\mu} A \frac{dP}{dx} \qquad (k : md)$$

- Absolute Permeability (k):

زمانی که سنگ 100٪ از یک نوع سیال اشباع باشد و فقط تابع سنگ باشد نه سیال

- Effective Permeability (k_{eff}):

k_o , k_w , k_g

- Relative Permeability (k_r):

$$k_r = \frac{k_{eff}}{k}$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

اردیبهشت

* Classification of Flow System (Porous Media):

- Geometry of Porous Media:
  a) linear
  b) Radial
  c) Spherical or Hemispherical
- Type of Fluid in Porous Media:
  a) Incompressible Fluid ($C \simeq 0$)
  b) Slightly Compressible Fluid (Liquid)
  c) Highly Compressible Fluid (Gas)
- Flow Regime in Porous Media:
  a) Steady State
  b) Pseudo steady State
  c) Unsteady State

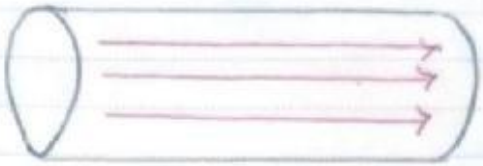
* با توجه به تقسیم بندی بالا می توان به تعداد $3 \times 3 \times 3 = 27$ مورد طبقه بندی کرد.

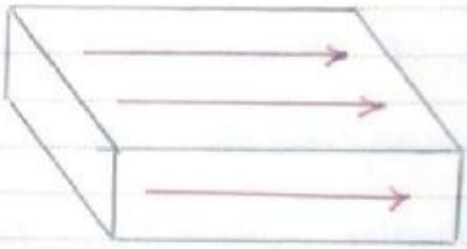
Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- Linear :

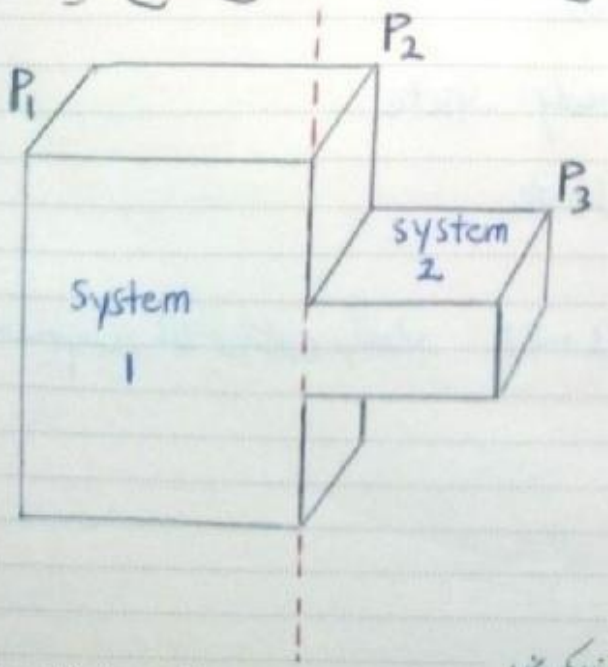
• سیستم‌های خطی سیستم‌هایی هستند که خطوط جریان (Stream Lines) در یک جهت باشند.





• سیستم‌های خطی در زیر زمین وجود ندارند و بیشتر در آزمایشگاه‌ها می‌باشند.

• معمولاً در سیستم‌های خطی سطح مقطع ثابت می‌ماند ولی اگر سطح مقطع تغییر کرد آن را به چند سیستم تقسیم می‌کنیم.



$$P_2 - P_1 \neq P_3 - P_2$$

&

$$q_1 = q_2$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

پنجشنبه
اردیبهشت

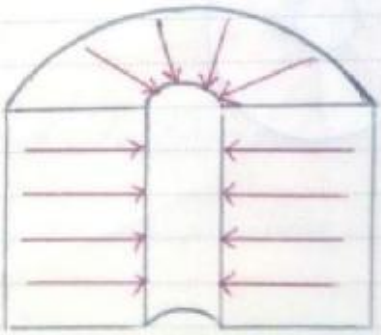
۵ شعبان ۱۴۳۷
May 12 2016
۱۳۹۵/۰۲/۲۲

- Radial :

• در سیستم های شعاعی، جریان سیال از مخزن به دهانه چاه به صورت خطوطی در امتداد شعاع می باشد که به سمت یک محور مرکزی در یک استوانه همگرا می باشند.

• در این سیستم، مخزن و سیم از نوع شعاعی می باشد.

• جریان شعاعی زمانی اتفاق می افتد که چاه به طور کامل در مخزن نفوذ کرده باشد که به آن Fully Penetrated گویند و به طور کامل مشبک کاری شده باشد (Fully Perforated)



جمعه
اردیبهشت

۶ شعبان ۱۴۳۷
May 13 2016
۱۳۹۵/۰۲/۲۳

به کوی میکده هر سالکی که ره دانست — دری دگر زدن اندیشه تبه دانست

فتوا امتیاز تنباکو به فتوای آیت الله میرزا حسن شیرازی (۱۳۰۷ه.ش)

جمعه ۳۰ ۲۹ ۲۸ ۲۷ ۲۶ ۲۵ جمعه ۲۳ ۲۲ ۲۱ ۲۰ ۱۹ ۱۸ جمعه ۱۶ ۱۵ ۱۴ ۱۳ ۱۲ ۱۱ جمعه ۹ ۸ ۷ ۶ ۵ ۴ جمعه ۲ ۱

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

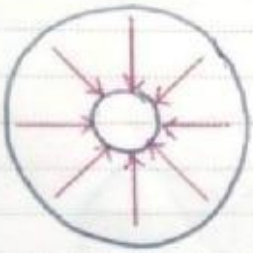
۷ شعبان
May 14
2016
۱۳۹۵/۰۲/۲۵

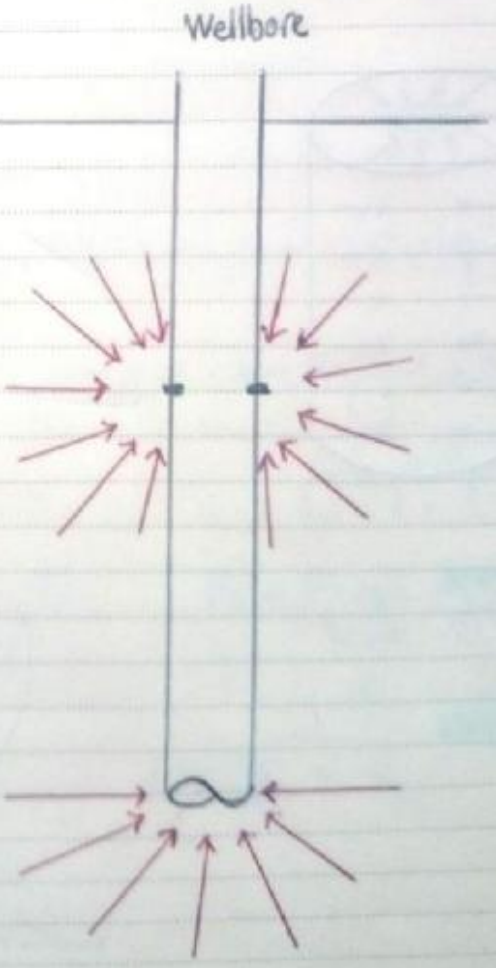
شنبه ۲۵ اردیبهشت

- Spherical or Hemispherical:

• در سیستم های کروی خطوط جریان به همانند چاه در راستای شعاع های یک کره (از بیرون به سمت مرکز کره) متمرکز می باشند.

• سیستم های کروی زمانی ایجاد می شوند که حدود مخزن مشبک کاری نداشته باشیم (چاه های اکتشافی) یا فاصله سوراخ ها آنقدر زیاد باشد که سیستم کروی می شود (Partial Perforation)





زمانه افسر رندی نداد جزبه کسی که سرفرازی عالم در این کلاه دانست

روز بزرگداشت حکیم ابوالقاسم فردوسی

جمعه ۳۰ ۲۹ ۲۸ ۲۷ ۲۶ ۲۵ جمعه ۲۳ ۲۲ ۲۱ ۲۰ ۱۹ ۱۸ جمعه ۱۶ ۱۵ ۱۴ ۱۳ ۱۲ ۱۱ جمعه ۹ ۸ ۷ ۶ ۵ ۴ جمعه ۲ ۱

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- Type of Fluid:

سیالات مخزن براساس تراکم پذیری هم دما (Isothermal Compressibility) تقسیم بندی می‌گردند:

- Incompressible Fluid:

$$C = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T \quad (psi^{-1})$$

$$\rightarrow C = 0 \rightarrow \frac{\partial V}{\partial P} = 0 \rightarrow V = cte \ \& \ P = cte$$

سیال تراکم ناپذیر به سیالی گفته می‌شود که حجم آن با تغیرات فشار تغییر نکند.

سیال تراکم ناپذیر وجود خارجی ندارد ولی برخی از سیالات آنقدر C کوچکی دارند که جزاین دسته از سیالات هستند مانند: نفت خام سنگین

- Slightly Compressible Fluid:

برای مایعات که در اثر تغیرات فشار، دچار تغیرات محدودی می‌شوند تعریف می‌شود.

$$C = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T \rightarrow -C\int_{P_{ref}}^{P} dP = \int_{V_{ref}}^{V} \frac{dV}{V}$$

$$\rightarrow V = V_{ref}\, exp[C(P_{ref} - P)]$$

$$* \ e^x \simeq 1 + x$$

$$\rightarrow V = V_{ref}\left[1 + C(P_{ref} - P)\right]$$

Scanned by CamScanner

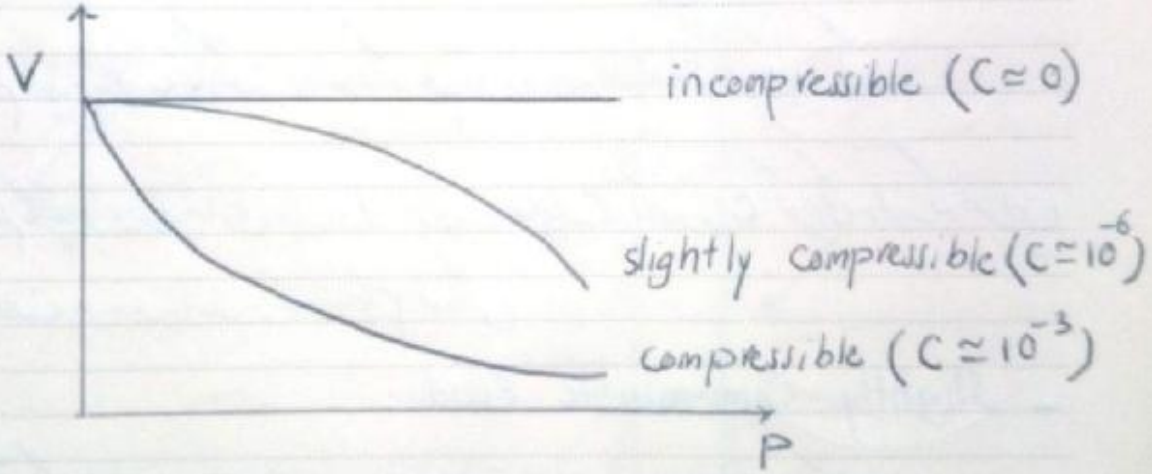
@PetroBooks

- Compressible Fluid:

برای گازهائکه در مقابل تغیرفشار دچار تغیر حجم زیادی میشوند تعریف میشود.

$$C_g = \frac{1}{P} - \frac{1}{Z}\left(\frac{\partial Z}{\partial P}\right)_T$$

به طور کلی داریم:



Scanned by CamScanner

@PetroBooks

اردیبهشت

Types of Flow Regime:

- برای توصیف رفتار جریانی سیالات و همچنین تغییرات فشار مخزن بر حسب زمان، سه نوع رژیم (حالت) جریانی تعریف می‌شود که عبارتند از:

- Steady State Flow:

جریان پایدار به جریانی گفته می‌شود که فشار مخزن در هر نقطه از مسیر جریان نسبت به زمان ثابت و بدون تغییر باشد به عبارت دیگر، هنگام تولید چاه با دبی ثابت، فشار هد مخزن و دیواره چاه با زمان تغییر نمی‌کند:

$$\frac{dP}{dt} = 0$$

این چنین حالتی زمانی رخ می‌دهد که پس از رسیدن Radius of Investigation به مرزهای مخزن، مخزن دارای آبده بسیار قوی (Strong Aquifer) و یا کلاهک گازی قوی (Strong Gas Cap) باشد و یا اینکه مخزن مرزبسته بوده و بوسیله عملیات تزریق دارای فشار ثابت باشد.

- Pseudo Steady State Flow:

جریان شبه پایدار به جریانی گفته می‌شود که تغییرات فشار در هر نقطه از مخزن نسبت به تغییرات مشخصی از زمان ثابت باشد:

$$\frac{dP}{dt} = cte$$

با توجه به معادله فوق تغییرات فشار با زمان خطی است و فشار در مخزن و دیواره چاه به طور

هر آن که راز دو عالم زخط ساغر خواند — رموز جام جم از نقش خاک رو دانست

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

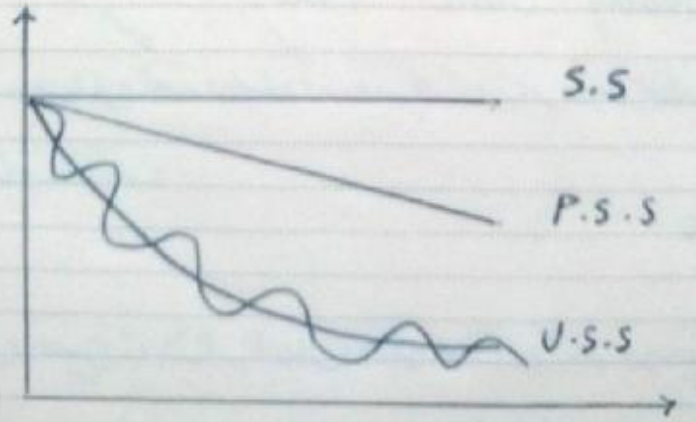
ثابت بازمان کاهش می‌یابد. در این نوع مخازن یا مرزهای مخزن بسته است و یا این از رسیدن Radius of Investigation به مرزهای مخزن هیچ گونه سیالی از طریق مرز وارد مخزن نمی‌شود که در این حالت در مخزن، مرزبون جریان (No Flow Boundary) داریم و مخزن به صورت محدود عمل می‌کند و یا یک آبده ضعیف (Weak Aquifer) وجود دارد که مقداری سیال وارد مخزن می‌کند ولی نمی‌تواند به طور کامل افت فشار ناشی از تولید را جبران کند.

- Unsteady State Flow:

جریان ناپایدار به جریانی گفته می‌شود که تغییرات فشار در هر موقعیت از مخزن صفر یا ثابت نباشد بلکه دائماً نسبت به زمان متغیر باشد:

$$\frac{dP}{dt} = F(x,t)$$

این حالت جریان که اولین حالت جریان برای سیال جاری به سمت چاه تولیدی می‌باشد مادامی رخ می‌دهد که Radius of Investigation یا اثرات فشار ناشی از تولید به مرز مخزن نرسیده باشد.

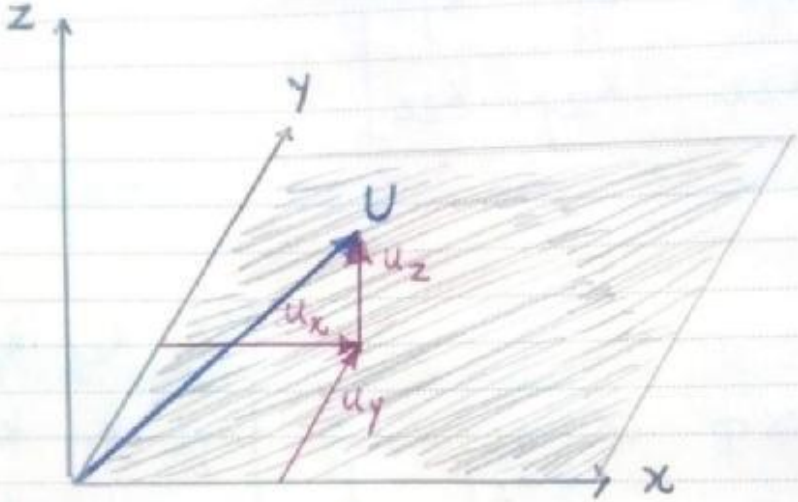


Scanned by CamScanner

@PetroBooks

* Darcy's Law in Higher Dimension:

قانون دارسی برای توان به دو بعد و سه بعد نیز با استفاده از تصویر بردار سرعت در هر جهت تعمیم داد:



$$U = \frac{q}{A}$$

$$u_x = -\frac{k_x}{\mu}\frac{\partial P}{\partial x} \quad , \quad u_y = -\frac{k_y}{\mu}\frac{\partial P}{\partial y} \quad , \quad u_z = -\frac{k_z}{\mu}\left(\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g\right)$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

به طور کلی با توجه به جریان Permeability را می‌توان در سه بعد با ۹ درایه نشان داد:

$$k = \begin{bmatrix} k_{xx} & k_{xy} & k_{xz} \\ k_{yx} & k_{yy} & k_{yz} \\ k_{zx} & k_{zy} & k_{zz} \end{bmatrix}$$

بنابراین:

$$u = -\frac{k}{\mu} \Delta\phi \quad \text{or} \quad \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{bmatrix} = -\frac{1}{\mu} \begin{bmatrix} k_{xx} & k_{xy} & k_{xz} \\ k_{yx} & k_{yy} & k_{yz} \\ k_{zx} & k_{zy} & k_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{d\phi}{dx} \\ \frac{d\phi}{dy} \\ \frac{d\phi}{dz} \end{bmatrix}$$

- در شبیه‌سازی به طور معمول از درایه‌های غیر قطری صرف نظر می‌شود:

$$k = \begin{bmatrix} k_x & 0 & 0 \\ 0 & k_y & 0 \\ 0 & 0 & k_z \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{bmatrix} = -\frac{1}{\mu} \begin{bmatrix} k_x \frac{d\phi}{dx} \\ k_y \frac{d\phi}{dy} \\ k_z \frac{d\phi}{dz} \end{bmatrix}$$

- معادلات بالا نمایش دهنده ترادایی یک سنگ anisotropic یا ناهمسانگرد می‌باشد.

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

*

Isotropic Reservoir ⇒ $k_{x_i} = k_{y_i} = k_{z_i}$

یعنی تراوایی در جهت های مختلف یک نقطه از سنگ یکسان است.

Anisotropic Reservoir ⇒ $k_{x_i} \neq k_{y_i} \neq k_{z_i}$

Homogeneous Reservoir ⇒ $k_{x_i} = k_{x_j}$

$[k_x, k_y, k_z]_i = [k_x, k_y, k_z]_j$ ← به شکلی دیگر $k_{y_i} = k_{y_j}$

$k_{z_i} = k_{z_j}$

یعنی تراوایی در همه نقاط مختلف مسیر جریان یکسان است.

Heterogeneous Reservoir ⇒ $k_{x_i} \neq k_{x_j}$

$[k_x, k_y, k_z]_i \neq [k_x, k_y, k_z]_j$ ← به شکلی دیگر $k_{y_i} \neq k_{y_j}$

$k_{z_i} \neq k_{z_j}$

* نرخ حد نقطه مختلف از مخزن می باشند.

کمن که آن گل خندان برای خویشتن است جوری مشق زدی با تو گفتم ای بلبل

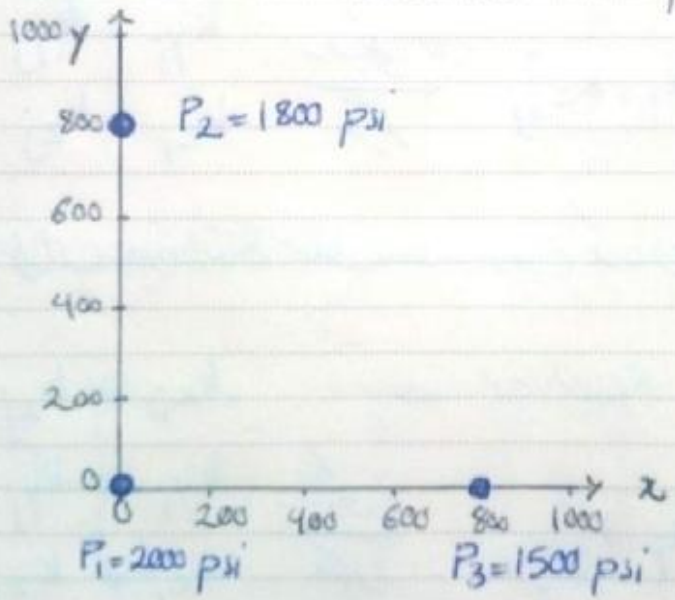
Scanned by CamScanner

@PetroBooks

Example: Consider a single phase steady state liquid (whith viscosity of 1 cp). Flow in the following 2-D anisotropic reservoir where the pressure of three points are known. The rock permeability tensor is given by

$$k = \begin{bmatrix} 200 & -50 \\ -50 & 500 \end{bmatrix} \text{ md}.$$

Calculate the darcy velocity and sketch the flow direction and the direction of pressure gradient.



Scanned by CamScanner

@PetroBooks

Solution

$$\frac{dP}{dx} = \frac{P_3 - P_2}{x} = \frac{1500 - 2000}{800} = -\frac{5}{8} \quad psi/ft$$

$$\frac{dP}{dy} = \frac{P_2 - P_1}{y} = \frac{1800 - 2000}{800} = -\frac{1}{4} \quad psi/ft$$

$$\Delta P = -\frac{5}{8} i - \frac{1}{4} j$$

$$|\Delta P| = \sqrt{\left(-\frac{5}{8}\right)^2 + \left(-\frac{1}{4}\right)^2} = 0.673 \quad \frac{psi}{ft}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{-\frac{1}{4}}{-\frac{5}{8}}\right) = 21.8$$

$$\begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix} = \frac{-0.001127}{\mu} \begin{bmatrix} k_{xx} & k_{xy} \\ k_{yx} & k_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{dP}{dx} \\ \frac{dP}{dy} \end{bmatrix} = -0.001127 \begin{bmatrix} 200 & -50 \\ -50 & 500 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.625 \\ -0.25 \end{bmatrix} =$$

$$\rightarrow \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1267875 \\ 0.10565625 \end{bmatrix} \times 5.615 = \begin{bmatrix} 0.712 \\ 0.593 \end{bmatrix} \quad ft/day$$

$$|u| = \sqrt{u_x^2 + u_y^2} = 0.927 \quad ft/day$$

سرشک من که ز طوفان نوح دست نبرد — زلوح سینه نیارست نقش مهر تو شست

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

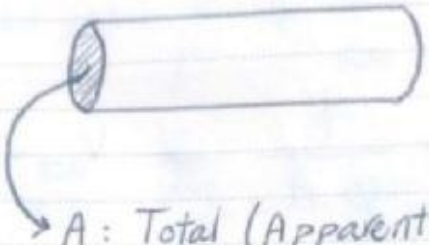
$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{u_y}{u_x}\right) = 39.8$$

* همانطور که مشاهده می‌کنیم به طور کلی برای Anisotropic Reservoir بردار سرعت داری و بردار گرادیان فشار در یک راستا نیستند.

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

* Velocity in Porous Media:



A: Total (Apparent) Cross Section Area

در رابطه داری بایستی A یا مساحت کل سطح مقطع را در نظر گرفت.

$$q = -\frac{k}{\mu} A \frac{dP}{dx}$$

* Velocity →
  - Apparent (Darcy) Velocity: $V_{app} = \frac{q}{A}$
  - Actual Velocity: $V_{act} = \frac{q}{A_{pore}}$

چو لاف عشق زدی سربباز چابک و چست
دلا طمع مبر از لطف بی نهایت دوست

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

$$\phi = \frac{V_{pore}}{V_{bulk}} = \frac{A_{pore} \times L}{A \times L} \rightarrow A_{pore} = \phi \cdot A$$

$$V_{act} = \frac{q}{A_{pore}} = \frac{q}{\phi \cdot A} \rightarrow V_{act} = \frac{V_{app}}{\phi} \checkmark$$

حواره: $\phi < 1 \rightarrow V_{act} > V_{app}$

$\phi = \phi_{absolute}$ ـ اگر سیستم فقط از یک نوع سیال اشباع شده باشد:

ـ اگر سیستم دوفازی باشد:

→ Oil
→ Water

$$V_{app})_o = \frac{q_o}{A} \qquad V_{act})_o = \frac{V_{app})_o}{\phi_o}$$

$$V_{app})_w = \frac{q_w}{A} \qquad V_{act})_w = \frac{V_{app})_w}{\phi_w}$$

* Note:

$$\phi_o = \phi \cdot S_o$$
$$\phi_w = \phi \cdot S_w$$
$$\phi_g = \phi \cdot S_g$$

به صدق کوش که خورشید زاید از نفست که از دوغ سیه روی کشت صبح نخست

۱ ۲ ۳ ۴ ۵ ۶ جمعه ۸ ۹ ۱۰ ۱۱ ۱۲ ۱۳ جمعه ۱۵ ۱۶ ۱۷ ۱۸ ۱۹ ۲۰ جمعه ۲۲ ۲۳ ۲۴ ۲۵ ۲۶ ۲۷ جمعه ۲۹ ۳۰ ۳۱

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

_ In Oil Field Unit System:

$$q = -1.127 \times 10^{-3} \frac{k}{\mu} A \frac{dP}{dx}$$

$$V_{app} = \frac{q}{A} \qquad \text{unit: } \frac{\frac{bbl}{day}}{ft^2} = \frac{bbl}{day \cdot ft^2} \times \frac{5.615\ ft^3}{1\ bbl} = 5.615 \frac{ft}{day}$$

$$\rightarrow V_{app} = -1.127 \times 10^{-3} \frac{k}{\mu} \frac{dP}{dx} \quad \left(\frac{bbl}{day \cdot ft^2}\right)$$

$$\rightarrow V_{app} = -1.127 \times 10^{-3} \frac{k}{\mu} \frac{dP}{dx} \left(\frac{bbl}{day \cdot ft^2} \times \frac{5.615\ ft^3}{1\ bbl}\right)$$

$$\rightarrow V_{app} = -6.328 \frac{k}{\mu} \frac{dP}{dx} \quad \left(\frac{ft}{day}\right) \checkmark$$

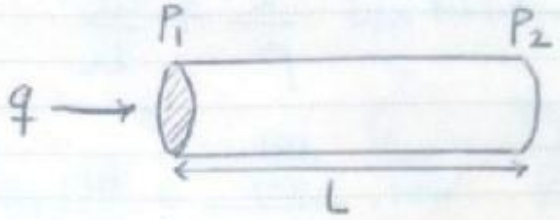
- اگر V بدون اندیس باشد منظورمان V_{app} می‌باشد.

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

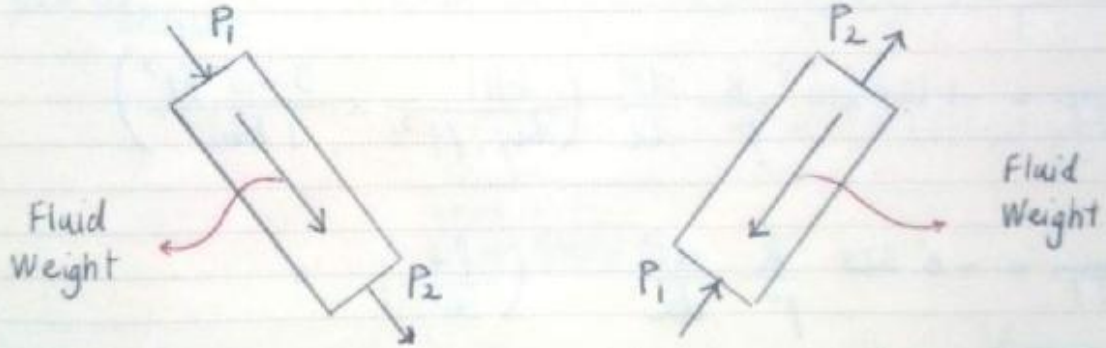
- Darcy's Law Modification for Inclined System:

• Horizontal System:



$$q = -1.127 \times 10^{-3} \frac{k}{\mu} A \frac{dP}{dx} \qquad k: md$$

• Inclined System:



$$P \longrightarrow \Phi$$

Pressure (psi) — Potential (psi)

$$\rightarrow q = -1.127 \times 10^{-3} \frac{k}{\mu} A \frac{d\Phi}{dx}$$

$$\Phi = P \pm \frac{\rho h}{144}$$

Scanned by CamScanner

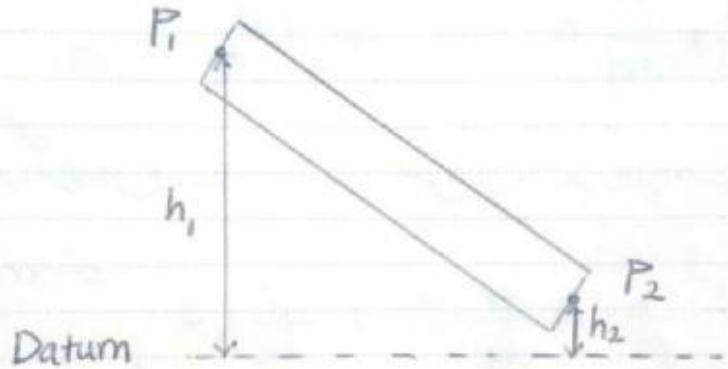
@PetroBooks

ρ: Fluid density (lbm/ft^3)

$\frac{\rho}{144}$: hydraulic pressure gradient (Psi/ft)

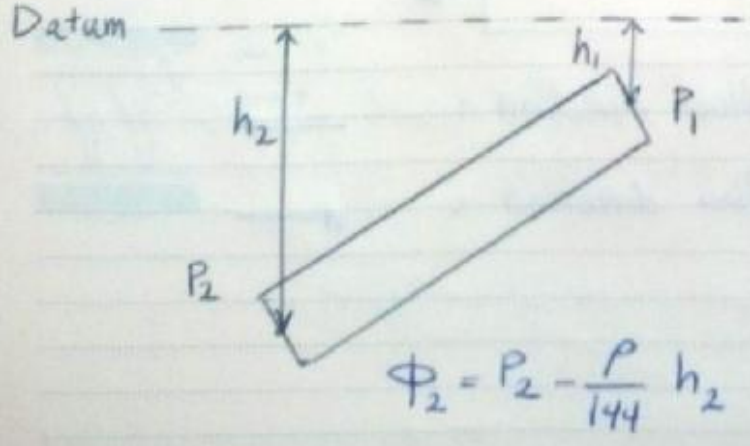
h: distance to datum

* اگر سیستم بالای خط مبنا باشد:



$$\Phi_1 = P_1 + \frac{\rho}{144} \cdot h_1 \qquad \Phi_2 = P_2 + \frac{\rho}{144} \cdot h_2$$

** اگر سیستم زیر خط مبنا باشد:



$$\Phi_1 = P_1 - \frac{\rho}{144} h_1$$

$$\Phi_2 = P_2 - \frac{\rho}{144} h_2$$

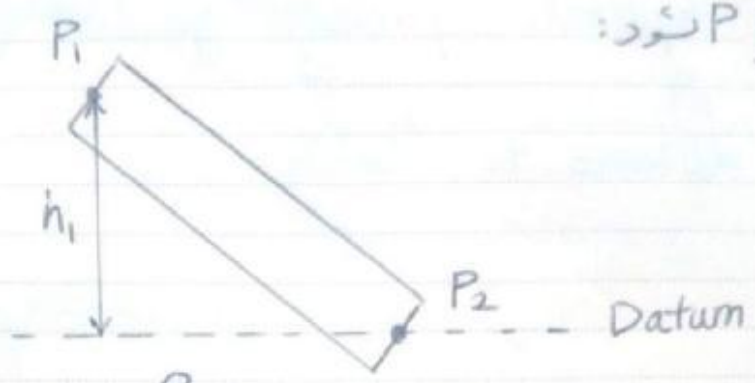
همین که سایه زرین خورشان کردید — حلال میدید دور قلع انشارت کرد

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- انتخاب Datum دلخواه می باشد و ما طوری آن را انتخاب می کنیم که ...

از Φ ها برابر با P شود:

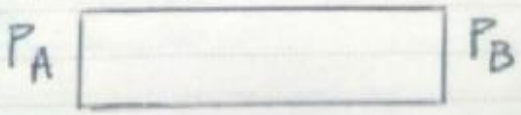


$$\Phi_1 = P_1 + \frac{\rho}{144} h_1 \qquad \Phi_2 = P_2$$

* نکته: همواره گرادیان فشار و پتانسیل منفی می باشد و اگر مثبت بدست آوردیم جهت حرکت برعکس می شود.

$$q = -1.127 \times 10^{-3} \frac{k}{\mu} A \frac{dP}{dx} \quad , \quad \frac{dP}{dx} < 0$$

$$q = -1.127 \times 10^{-3} \frac{k}{\mu} A \frac{d\Phi}{dx} \quad , \quad \frac{d\Phi}{dx} < 0$$

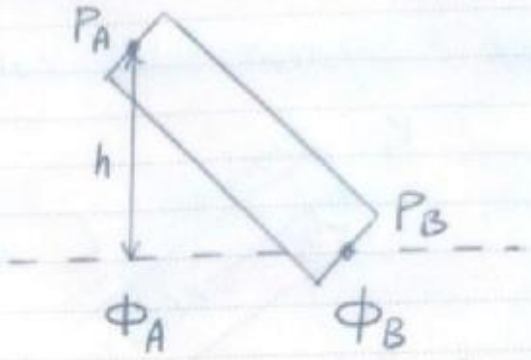


if $P_A > P_B$ → Flow direction : →

if $P_A < P_B$ → Flow direction : ←

Scanned by CamScanner

@PetroBooks



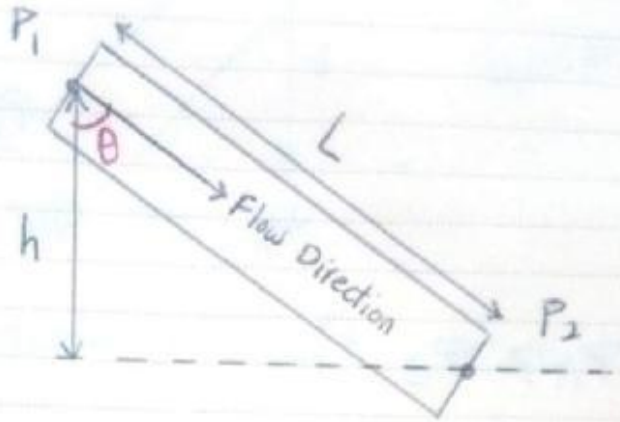
if $\Phi_A > \Phi_B$ → flow direction: ↘

if $\Phi_A < \Phi_B$ → flow direction: ↖

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- For Inclined System:



$$\Phi_1 = P_1 + \frac{\rho}{144} h \qquad \Phi_2 = P_2$$

$$q = -1.127 \times 10^{-3} \frac{k}{\mu} A \frac{d\Phi}{dx}$$

$$q = -1.127 \times 10^{-3} \frac{k}{\mu} A \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{L}$$

$$q = -1.127 \times 10^{-3} \frac{k}{\mu} A \left[\frac{P_2 - P_1 - \frac{\rho}{144} h}{L} \right] \quad \& \quad h = L\cos\theta$$

$$q = -1.127 \times 10^{-3} \frac{k}{\mu} A \left[\frac{P_2 - P_1}{L} - \frac{\rho}{144} \cos\theta \right]$$

$$\rightarrow q = -1.127 \times 10^{-3} \frac{k}{\mu} A \left[\frac{dP}{dx} - \frac{\rho}{144} \cos\theta \right] \rightarrow \text{Differential Form}$$

θ: زاویه بین جهت جریان با امتداد قائم رو به پایین

$\frac{dP}{dx}$: external pressure gradient (فشار که توسط سیالی خارجی مثل پمپ و... ایجاد میشود)

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

$\frac{\rho}{144}\cos\theta$: hydraulic pressure gradient $\left(\frac{psi}{ft}\right)$

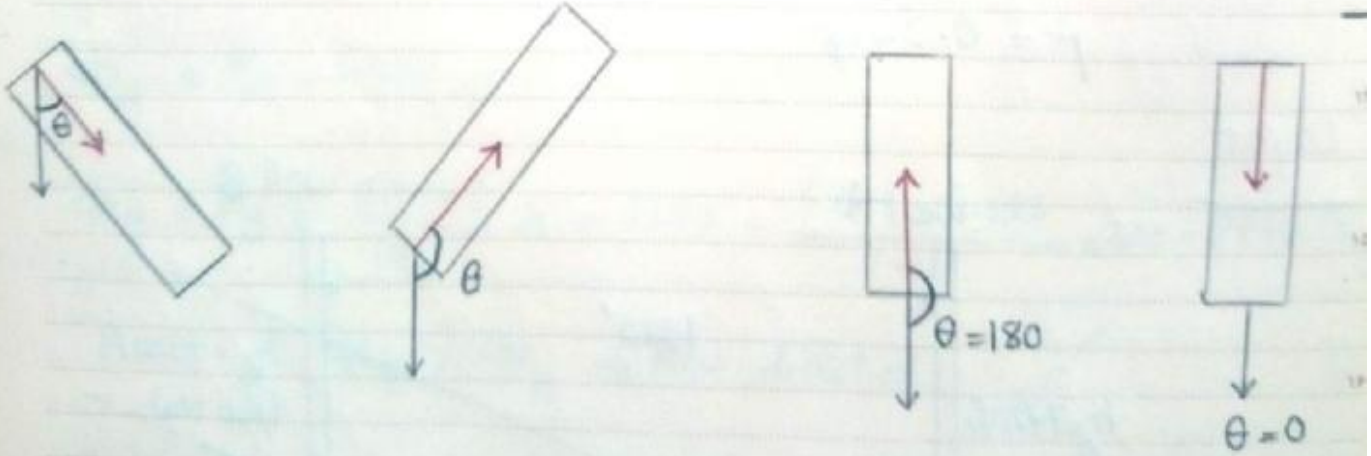
$\frac{dP}{dx} - \frac{\rho}{144}\cos\theta = \frac{d\Phi}{dx}$: total pressure gradient

(fluid pressure gradient)

$$\rightarrow q = -1.127\times10^{-3}\frac{k}{\mu}A\left[\frac{dP}{dx} - 0.433\,\gamma\cos\theta\right]$$

* $\gamma = \frac{\rho}{\rho_w} = \frac{\rho}{62.4} \rightarrow \rho = 62.4\,\gamma$

$\frac{62.4}{144}$ = water pressure gradient



کتاب من به جهان طره فلانی داد

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

Example: An inclined underground porous media can be assumed like a cylinder with 183′ diameter. Two wells are drilled into this media for pressure recording. Using below data and layout calculate hydraulic pressure gradient, external pressure gradient, fluid (total) pressure gradient, flow rate through the porous media and velocity.

Data

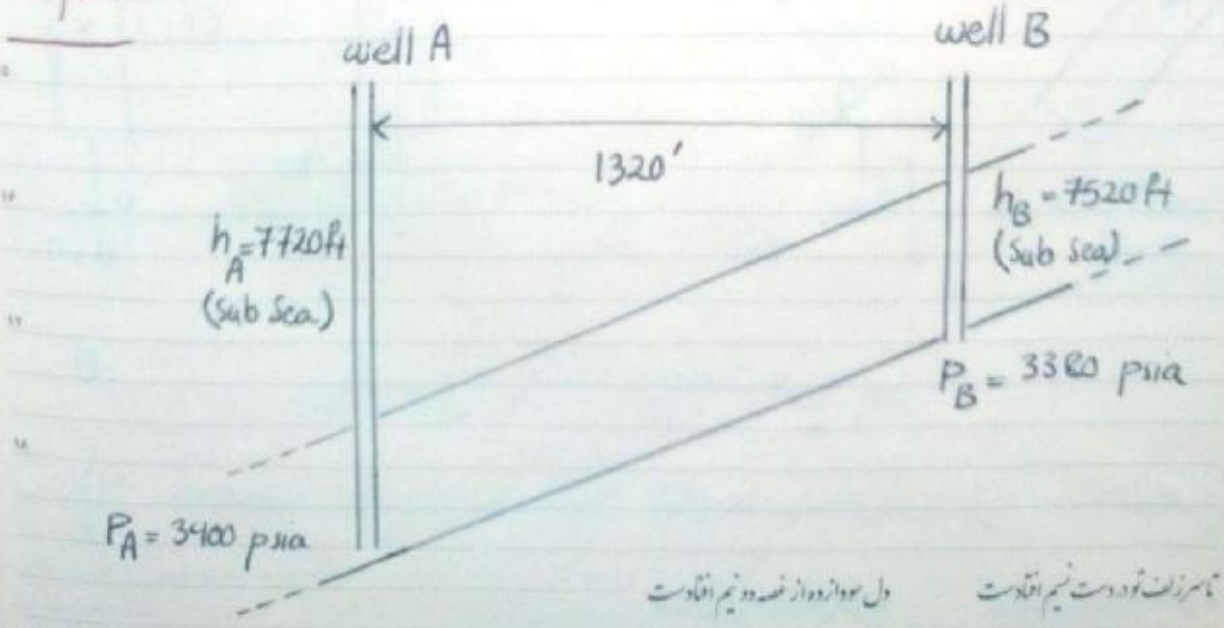
Dip of the medium = $8°37'$

$\gamma_{Fluid} = 0.693$

$k = 145$ md

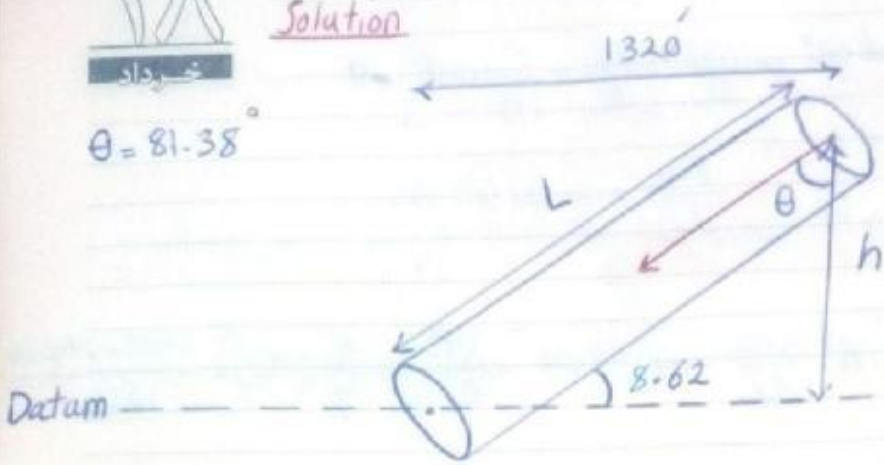
$\mu = 0.32$ cp

Layout



Scanned by CamScanner

@PetroBooks



$P_A = 3400$ psia

$\theta = 8^\circ, 37'$ هر درجه معادل 60 دقیقه می باشد.

$\rightarrow 37' = 0.62^\circ$

$\rightarrow \theta = 8,62^\circ \rightarrow L = \frac{1320}{\cos(8.62)} \rightarrow L = 1335'$

$\Phi_A = P_A = 3400$ psia

$\Phi_B = P_B + \frac{62.4\,\delta}{144} h = 3380 + \frac{62.4 \times 0.693}{144} \times 200 = 3440.06$ psia

$\Phi_B > \Phi_A \rightarrow$ Flow direction: ↙

Hydraulic Pressure Gradient $\rightarrow \frac{\rho}{144} \cos(81.38) = 0.04501$

External Pressure Gradient $\rightarrow \frac{dP}{dL} = \frac{P_A - P_B}{L} = 0.01498$

چشم بدبودی تو خود مین بود عراست لیکن این ست که این نسخه نیتیم افتاست

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

Total Pressure Gradient → $\frac{d\Phi}{dx} = \left[\frac{dP}{dx} - \frac{\rho}{144}\cos\theta\right]$

$\Rightarrow \frac{d\Phi}{dx} = -0.03001$

Flow Rate:

$$q = -1.127\times10^{-3}\frac{k}{\mu} A \frac{d\Phi}{dx} = -1.127\times10^{-3}\times\frac{145}{0.32}\times\frac{\pi}{4}(183)^2\times\frac{3400-3440.06}{1335}$$

$$A = \frac{\pi}{4}(183)^2$$

$$\rightarrow q = 404 \ \frac{bbl}{day}$$

Velocity:

$$V = V_{app} = \frac{q}{A} = \frac{404}{\frac{\pi}{4}(183)^2} = 0.0154\left(\frac{bbl}{day\cdot ft^2}\right) = 0.086\ \frac{ft}{day}$$

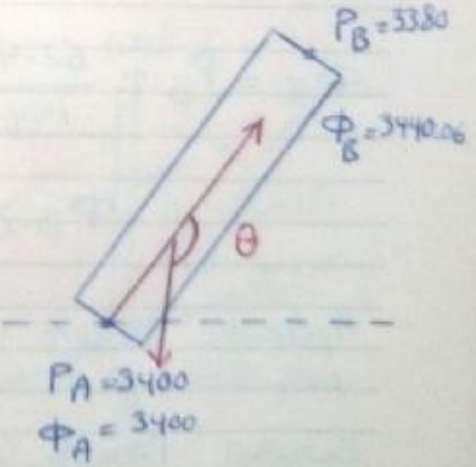
*Alternativly: $\theta = 98.62^\circ$

$$q = -1.127\times10^{-3}\frac{k}{\mu} A\left[\frac{dP}{dx} - \frac{\rho}{144}\cos\theta\right]$$

$$\frac{dP}{dx} = \frac{P_B - P_A}{L} = -0.01498$$

$$\frac{\rho}{144}\cos(98.62) = -0.04501$$

$\rightarrow q = -404\ \frac{bbl}{day}$ →



Flow direction ✓ ✗

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

پنجشنبه ۲۰ خرداد

۳ رمضان
June 9
۱۴۳۷
2016
۱۳۹۵/۰۳/۲۰

*** توجه تکنوری مهم:

- در کلیه روابط درس مخزن (۱)، k برحسب d و در روابط درس چاه آزمایی، k برحسب md وارد می‌شود.
- پس در ادامه هزوه k را برحسب d وارد می‌کنیم.

جمعه ۲۱ خرداد

روز صنایع دستی - شهادت آیت الله سعیدی به دست مأموران رستم شاهی پهلوی (۱۳۴۹ه.ش)

۴ رمضان
June 10
۱۴۳۷
2016
۱۳۹۵/۰۳/۲۱

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- باتوجه به انواع سیالات مخزن، رژیم های جریانی و هندسه مخزن، 27 نوع مختلف جریان تک فازی در مخازن هیدروکربوری قابل بررسی می باشد که تمامی آنها از قانون بقای ماده یا معادله پیوستگی (Continuity Equation) به عنوان روابط حاکم بر جریان سیال در محیط متخلخل پیروی می کنند.

* Case 1:

Geometry: Linear

Type of Fluid: Incompressible

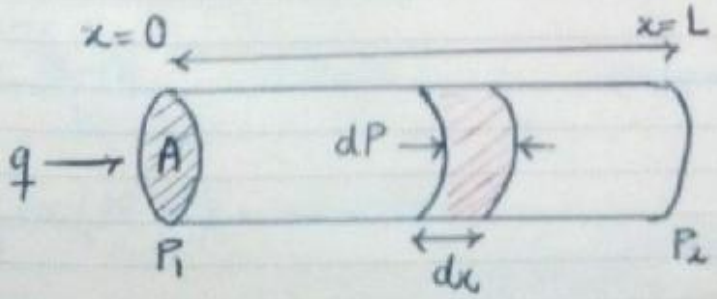
Flow Regime: Steady State

- در همه Case ها ما به دنبال دو چیز می گردیم:

Flow equation → $q = \cdots$

Pressure equation or pressure distribution equation → $P = \cdots$

- در سیستم های linear باید دستگاه مختصات در نظر گرفته شود و معمولاً سراً مختصات را در ورودی سیال به سیستم در نظر می گیریم.



هیچ گره ای بین آن خاکی نتواند برخاست از سر کوی تو زان رو که غنیم افتاده است

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

خرداد

شکل نشان دهنده جریان خطی با سطح مقطع ثابت می باشد که در آن جریان در سطح ابتدایی وارد و از انتها خارج می گردد و هیچ گونه جریانی از سطوح دیگر وارد یا خارج نمی گردد

Flow Equation:

$$q = -1.127 \frac{k}{\mu} A \frac{dP}{dx} \rightarrow \int_0^L q\,dx = \int_{P_1}^{P_2} -1.127 \frac{k}{\mu} A\,dP$$

- μ با P رابطه دارد ولی توان تغییرات μ را برحسب P نوشت و انتگرال گرفت ولی برای راحتی کار از $\bar{\mu}$ استفاده می کنیم.

$$\rightarrow q(L-0) = -1.127 \frac{k}{\bar{\mu}} A (P_2 - P_1)$$

$$\rightarrow q = 1.127 \frac{k}{\bar{\mu}} A \frac{P_1 - P_2}{L} \quad \checkmark$$

$q: \frac{bbl}{day}$ $\quad A: ft^2$ $\quad P_1 \& P_2: psia$

$k: d$ $\quad \bar{\mu}: cp$ $\quad L: ft$

- دبی را در سیستم میدانی برحسب $\frac{STB}{day} = STBD$ (استاندارد) بیان می کنند که ما نیز

از B_o استفاده می کنیم: $B_o = \frac{V_o)_R}{V_o)_{ST}} = \frac{q_o)_R}{q_o)_{SC}}$ $\quad \left(\frac{bbl}{STB}\right)$

$$\rightarrow q_o)_{ST} = \frac{q_o)_R}{B_o} = 1.127 \frac{kA}{\mu B_o} \frac{P_1 - P_2}{L} \quad (STBD)$$

خدا چو صورت بهروی دلگشای توبست — کشادکار من اندر گره‌گشای توبست

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- به طور کلی در Flow Equation ها اگر B وجود داشته باشد؛ q برحسب استاندارد می باشد.

- چون μ و B هردو خواص سیالی هستند معمولاً در روابط هرکدام قرارمی گیرند.

Pressure Equation:

- برای بدست آوردن فشار در حالت خطی کافیست حدود انتگرال را تغییر دهیم:

$$q = -1.127 \frac{k}{\mu} A \frac{dP}{dx} \rightarrow \int_0^x q\,dx = \int_{P_1}^{P} -1.127 \frac{k}{\mu} A\,dP \quad *$$

or

$$\int_x^L q\,dx = \int_P^{P_2} -1.127 \frac{k}{\mu} A\,dP \quad **$$

$$* \quad qx = -1.127 \frac{k}{\mu} A (P - P_1) \rightarrow P = P_1 - \frac{q\bar{\mu}}{1.127kA} \cdot x \,, \; q: \frac{bbl}{day}$$

or

$$P = P_1 - \frac{q\bar{\mu}B_o}{1.127kA} \cdot x \,, \; q: STBD$$

$$** \quad q(L-x) = -1.127 \frac{k}{\mu} A (P_2 - P) \rightarrow P = P_2 + \frac{q\bar{\mu}}{1.127kA}(L-x), \; q: \frac{bbl}{day}$$

or

$$P = P_2 + \frac{q\bar{\mu}B_o}{1.127kA}(L-x) \,, \; q: STBD$$

مراد سرو چمن را به خاک راه نشاند نفذ تا قصب نرگس قبای تو بست

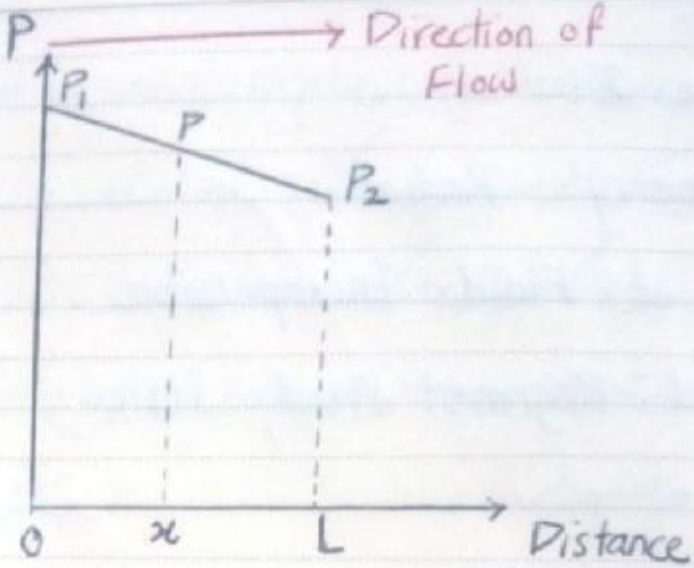
Scanned by CamScanner

@PetroBooks

سه‌شنبه ۲۵ خرداد

۸ رمضان

June 14



Scanned by CamScanner

@PetroBooks

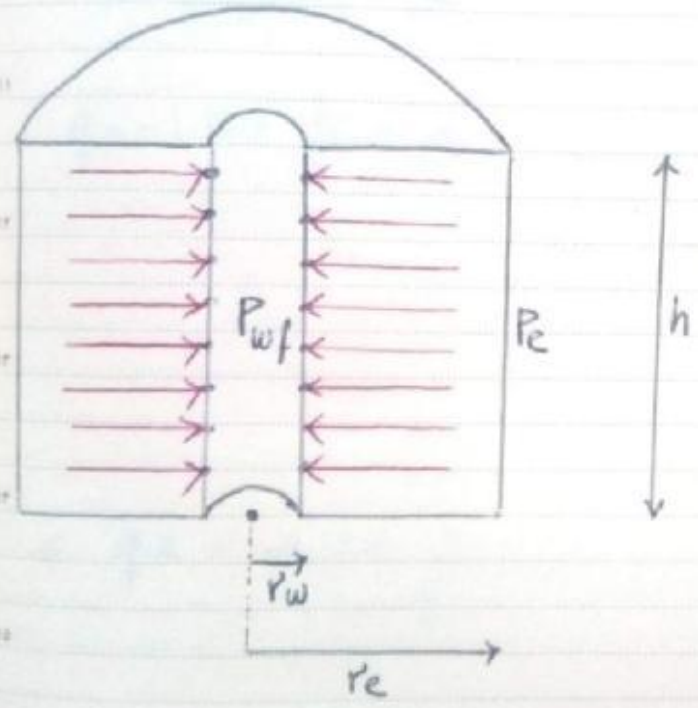
* Case 2:

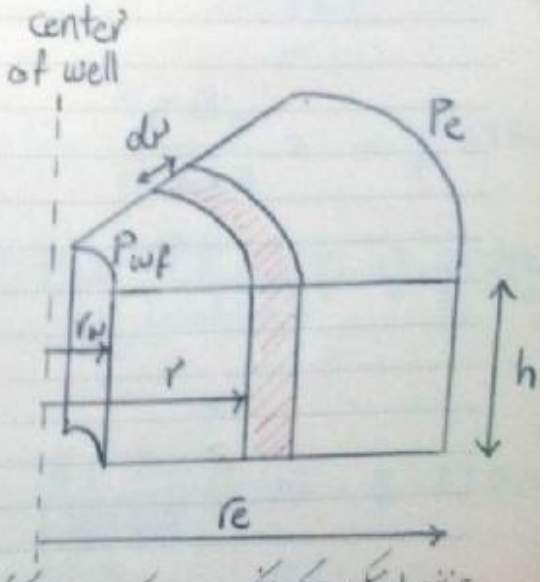
Geometry: Radial

Type of Fluid: Incompressible

Fluid Regime: Steady State

- مبدأ مختصات در مرکز استوانه می باشد.





چون فرض بر دال مسکین من کره مکمل

که صد با سر زلف کره گشای تو بست

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

۱۳۹۵/۰۳/۲۷

خرداد ۱۷

- در جریان شعاعی سیال از تمام جهات و به صورت افقی به سمت دیواره چاه حرکت می کند لازمه چنین حرکتی وجود اختلاف فشار بین دیواره چاه و نواحی دورتری باشد و با توجه به این که جریان به سمت دیواره چاه می باشد فشار دیواره چاه از نواحی دورتر آن کمتری باشد در این حالت، با افزایش شعاع، فشار جریان نیز افزایش خواهد یافت ولذا خواهیم داشت:

$$\frac{dP}{dr} > 0$$

- حرا این صورت که گرادیان فشار در طول مسیر مثبت می باشد، علامت منفی رابطه داری حذف می شود و همچنین جریان های شعاعی برخلاف جریان های خطی، سطح مقطع عمود بر جریان با تغییرات شعاع تغییر می کند.

$$dx \rightarrow dr$$

$$A \rightarrow 2\pi r h$$

$$\frac{dP}{dr} > 0 \Rightarrow - \rightarrow +$$

۱۱ رمضان ۱۴۳۷

June 17 2016

۱۳۹۵/۰۳/۲۸

جمعه ۲۸ خرداد

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

P_{wf}: well bore (bottom hole flowing) pressure

P_e: external (drainage) pressure

r_w: well bore radius

r_e: external (drainage) radius

h: reservoir thickness (Net Pay thickness)

- باید توجه داشت که منظور از ارتفاع h، حجم‌های حفره باز ارتفاع زون تولیدی و حجم‌های مسدود کاری شده، ارتفاع قسمت مشبک می‌باشد.

Flow Equation:

$$q = 1.127 \frac{k}{\mu} (2\pi r h) \frac{dP}{dr} \rightarrow q = 7.08 \frac{khr}{\mu} \frac{dP}{dr}$$

$$q \int_{r_w}^{r_e} \frac{dr}{r} = \int_{P_w}^{P_e} 7.08 \frac{kh}{\mu} dP \rightarrow q = \frac{7.08 \frac{kh}{\mu} (P_e - P_w)}{Ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)} \left(\frac{bbl}{day}\right)$$

$$\rightarrow q_{sc} = 7.08 \frac{kh}{\mu B_o} \frac{P_e - P_w}{Ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)} \quad (STBD)$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

خرداد

Pressure Equation:

$$q = 7.08 \frac{kh r}{\mu} \frac{dP}{dr} \rightarrow q\int_{r_w}^{r} \frac{dr}{r} = \int_{P_w}^{P} 7.08 \frac{kh}{\mu} dP \quad *$$

or

$$q\int_{r}^{r_e} \frac{dr}{r} = \int_{P}^{P_e} 7.08 \frac{kh}{\mu} dP \quad **$$

$$* \quad q \ln\left(\frac{r}{r_w}\right) = 7.08 \frac{kh}{\mu}(P - P_w) \rightarrow P = P_w + \frac{q\mu}{7.08kh} \ln\left(\frac{r}{r_w}\right)$$

$$P = P_w + \frac{q\mu B_o}{7.08kh} \ln\left(\frac{r}{r_w}\right), \quad q: STBD$$

$$** \quad q \ln\left(\frac{r_e}{r}\right) = 7.08 \frac{kh}{\mu}(P_e - P) \rightarrow P = P_e - \frac{q\mu}{7.08kh} \ln\left(\frac{r_e}{r}\right), \quad q: \frac{bbl}{day}$$

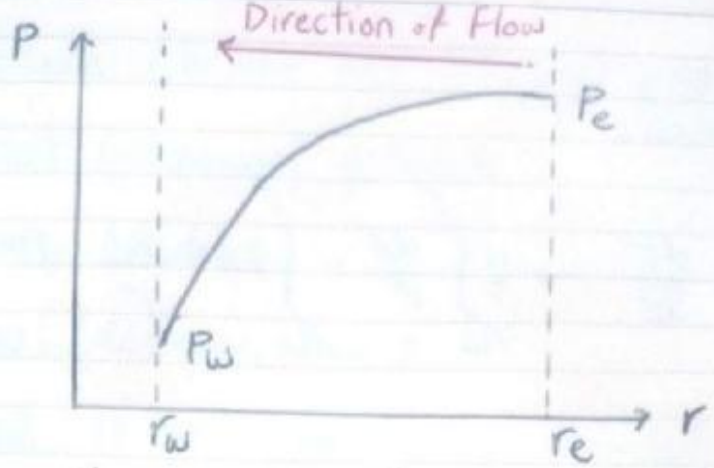
$$P = P_e - \frac{q\mu B_o}{7.08kh} \ln\left(\frac{r_e}{r}\right), \quad q: STBD$$

$$- \quad \frac{\partial P}{\partial r} = \frac{q\mu B_o}{7.08kh} \cdot \frac{1}{r} \quad ?$$

$$\frac{\partial^2 P}{\partial r^2} = -\frac{q\mu B_o}{7.08kh} \cdot \frac{1}{r^2}$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks



• از شکل بالا نتیجه می‌شود که افت فشار در نزدیکی دهانه چاه به حداکثر خودی رسد و هرچه از چاه دور می‌شویم افت فشار کمتری داریم.

• برای کاهش فشار باید بیرون مناطق کار کنیم که افت فشار حداکثری باشد (در مناطق نزدیک چاه)

* نکته:

$$\pi r_e^2 = 43560\ A$$

A: مساحت حاصل از چاه ، acre

* نکته: چهار تعریف مهم در مهندسی مخزن

Flow Capacity = kh

Mobility : $M = \frac{k}{\mu}$

Transmissibility = $\frac{kh}{\mu B_o}$

Storage Capacity = $\phi . C_t$ that: C_t = Total Compressibility

خواهم شدن به کوی مغان آستین فشان — زین قصه کوتاه دامن آخر زمان کرفت

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

* Case 3:

Geometry: Spherical

Type of Fluid: Incompressible

Flow Regime: Steady State

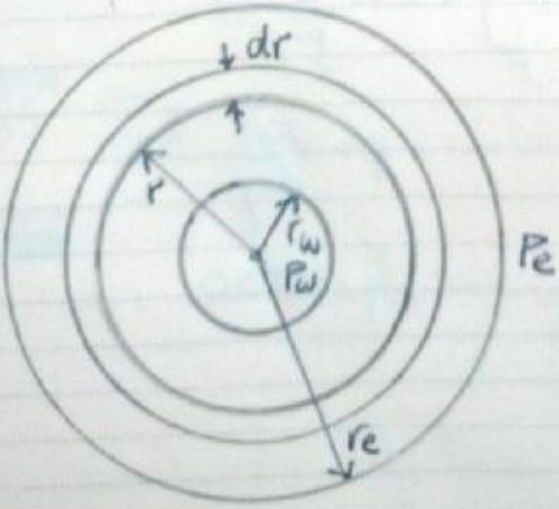
- در جریان نرمی سیال به صورت متمرکز به سمت قسمت محدود مشبک کاری شده دهانه چاه وارد می‌گردد لازمه چنین حرکتی همانند جریان شعاعی وجود گرادیان فشاری مثبت به سمت دهانه چاه می‌باشد که باعث حذف علامت منفی از رابطه داری می‌شود.
هم چنین سطح مقطع عمود بر جهت جریان با تغییرات شعاع تغییر می‌کند.

$dx \rightarrow dr$

$A \rightarrow 4\pi r^2$

$\frac{dP}{dr} > 0 \Rightarrow - \rightarrow +$

- مبدأ مختصات را مرکز کره در نظر می‌گیریم.



Scanned by CamScanner

@PetroBooks

Flow Equation:

$$q = 1.127 \frac{k}{\mu} (4\pi r^2) \frac{dP}{dr} \rightarrow q = 14.16 \frac{kr^2}{\mu} \frac{dP}{dr}$$

$$\rightarrow q \int_{r_w}^{r_e} \frac{dr}{r^2} = \int_{P_w}^{P_e} 14.16 \frac{k}{\mu} dP \rightarrow q = -14.16 \frac{k}{\bar{\mu}} \frac{P_e - P_w}{\frac{1}{r_e} - \frac{1}{r_w}} \left(\frac{bbl}{day}\right)$$

$$\rightarrow q_{sc} = -14.16 \frac{k}{\bar{\mu} B_o} \frac{P_e - P_w}{\frac{1}{r_e} - \frac{1}{r_w}} \quad (STBD)$$

Pressure Equation:

$$q = 14.6 \frac{kr^2}{\mu} \frac{dP}{dr} \rightarrow q \int_{r_w}^{r} \frac{dr}{r^2} = \int_{P_w}^{P} 14.16 \frac{k}{\mu} dP \; *$$

or

$$q \int_{r}^{r_e} \frac{dr}{r^2} = \int_{P}^{P_e} 14.16 \frac{k}{\mu} dP$$

$$* \; P = P_w - \frac{q\bar{\mu}}{14.16k} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_w}\right) \quad , q : \frac{bbl}{day}$$

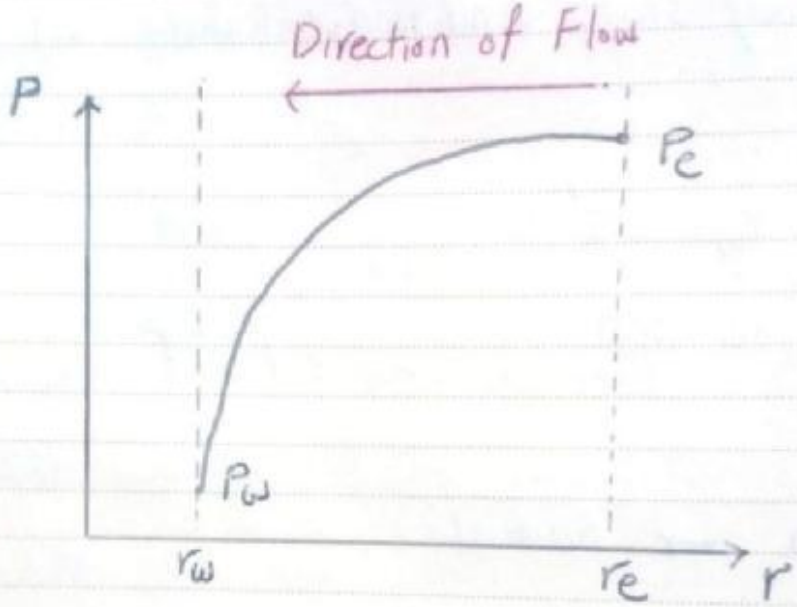
$$P = P_w - \frac{q\bar{\mu} B_o}{14.16k} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_w}\right) \quad , q : STBD$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

پنجشنبه ۳ تیر
۱۷ رمضان
June 23
۱۴۳۷
2016
۱۳۹۵/۰۴/۰۲

- افت فشار در نزدیکی چاه بسیار شدیدتر از حالت Radial می‌باشد ولی دبی آن از حالت Radial کمتر می‌باشد.



جمعه ۴ تیر
۱۸ رمضان
June 24
۱۴۳۷
2016
۱۳۹۵/۰۴/۰۳

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

Example: The pressure gradient at the wellbore radius for a well producing oil at a rate of 150 $\frac{bbl}{day}$ is 100 $\frac{Psi}{ft}$. Assuming steady state condition, calculation oil effective permeability.

Data: $r_w = 0.5'$ $h = 10'$

$r_e = 500'$ $\mu = 2cp$

Solution

$P_w, r_e, h \rightarrow$ Radial

Steady State

Incompressible

Flow Equation: $q = 7.08 \frac{kh}{\mu} \frac{\bar{P}_e - \bar{P}_w}{Ln(\frac{r_e}{r_w})}$ → مجهول بی مناب نیست

Pressure Equation: $P = \bar{P}_w + \frac{q\mu}{7.08kh} Ln(\frac{r}{r_w})$ → دو مجهول بی نامناب

$\rightarrow \left(\frac{\partial P}{\partial r}\right)_{r_w} = \frac{q\mu}{7.08kh} \cdot \frac{1}{r_w} \rightarrow 100 = \frac{150 \times 2}{7.08 \times 10 \times k} \times \frac{1}{0.5}$

$\rightarrow k = 0.0847\ d = 84.7\ md$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

June 26

Alternatively:

به طور مستقیم از رابطه دارسی نیز می‌توان استفاده کرد:

$$q = 7.08 \frac{khr_w}{\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial r}\right)_{r_w} \rightarrow k = 84.7 \text{ md}$$

Example: An oil well is flowing 250 STBD oil from a uniform reservoir with 25′ thickness and 200 md permeability at steady state condition. Oil viscosity is 0.65 cp and oil FVF is 1.62 $\frac{bbl}{STB}$ and static bottom hole pressure (BHP) is 3000 psia. Porosity and connate water saturation are 16% and 24%.

a) What is the pressure at 10′ radius if drainage radius is assumed 400′.

b) What is the pressure at 10′ radius if drainage radius is assumed 600′.

c) What is the pressure gradient at 10′ radius if drainage radius is assumed 600′.

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

Solution

Static → $P_w = P_e = 3000$ psia

a)

$$P = P_w + \frac{q\mu B_o}{7.08kh} \ln\left(\frac{r}{r_w}\right)$$

or

$$P = P_e - \frac{q\mu B_o}{7.08kh} \ln\left(\frac{r_e}{r}\right) \quad \checkmark$$

$$\rightarrow P = 3000 - \frac{250 \times 0.65 \times 1.62}{7.08 \times 0.2 \times 25} \ln\left(\frac{400}{10}\right) = 2972.6 \text{ psia}$$

b)

$$\rightarrow P = 3000 - \frac{250 \times 0.65 \times 1.62}{7.08 \times 0.2 \times 25} \ln\left(\frac{600}{10}\right) = 2969.6 \text{ psia}$$

c)

$$\frac{\partial P}{\partial r} = \frac{q\mu B_o}{7.08kh} \cdot \frac{1}{r} = \frac{250 \times 0.65 \times 1.62}{7.08 \times 0.2 \times 25} \times \frac{1}{10} = 0.74$$

* طبق رابطه $\frac{dP}{dr}$ فقط تابع r می‌باشد و در حالی که r_w و r_e مقادیر دوم چنین مشخص می‌باشند که $\frac{dP}{dr}$ (افت فشار) در نزدیکی دهانه چاه شدیدتر می‌باشد

Scanned by CamScanner

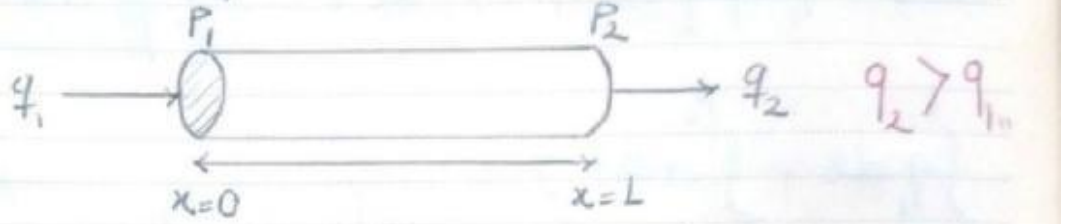
@PetroBooks

* Case 4:

Geometry: Linear

Type of Fluid: Slightly Compressible

Flow Regime: Steady State



$q_2 > q_1$

- چون سیال مایع تراکم پذیر در حضور امواج و غیره دچار افت فشار شده و سیال مقداری منبسط می‌شود در نتیجه دبی خروجی بیشتر از دبی ورودی است. هم چنین با افزایش C_o اختلاف دبی‌ها نیز افزایش می‌یابد.

Flow Equation:

$$q = -1.127 \frac{k}{\mu} A \frac{dP}{dx} \rightarrow q\,dx = -1.127 \frac{k}{\mu} A\,dP$$

* سیالات کم تراکم پذیر علاوه تغییرات فشار چندان تغییرات ناچیزی در حجم می‌گردند بنابراین q ثابت نمی‌باشد بنابراین بایستی q را یا برحسب P یا برحسب x بدست آوریم که برحسب P خواهیم داشت:

$$C_o = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T \rightarrow C_o = -\frac{1}{q}\left(\frac{\partial q}{\partial P}\right)_T$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

$$\int_{P_1}^{P} C_o\, dP = \int_{q_1}^{q} -\frac{dq}{q} \rightarrow \bar{C}_o(P-P_1) = -\ln\left(\frac{q}{q_1}\right)$$

$$\rightarrow q = q_1 \exp\left[\bar{C}_o(P_1-P)\right] \quad \circ\circ$$

$$\circ \,\&\, \circ\circ \longrightarrow q_1 \exp\left[\bar{C}_o(P_1-P)\right] dx = -1.127\frac{k}{\mu} A\, dP \rightarrow$$

$$\int_0^L q_1\, dx = \int_{P_1}^{P_2} -1.127\frac{k}{\mu} A \frac{dP}{\exp\left[\bar{C}_o(P_1-P)\right]}$$

$$\rightarrow q_1 L = -1.127\frac{kA}{\mu \bar{C}_o}\exp\left[\bar{C}_o(P-P_1)\right]_{P_1}^{P_2}$$

$$\rightarrow q_1 = -1.127\frac{kA}{\mu \bar{C}_o L}\left\{\exp\left[\bar{C}_o(P_2-P_1)\right]-1\right\} \quad \surd\surd \left(\frac{bbl}{day}\right)$$

- برای بدست آوردن q_2 ، اگر دبی خروجی را دبی منفی و فشار خروجی را فشار مساوی در روابط $\circ$ و $\circ\circ$ قرار دهیم خواهیم داشت:

$$q_2 = -1.127\frac{kA}{\mu \bar{C}_o L}\left\{1-\exp\left[\bar{C}_o(P_2-P_1)\right]\right\} \quad \surd\surd \left(\frac{bbl}{day}\right)$$

به تنگ چشمی آن ترک لشکری نازم — که جور بر من درویش یک قبا آورد

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

پنجشنبه
۲۴ رمضان
June 30
۱۴۳۷
2016
۱۳۹۵/۰۴/۱۰

$$\rightarrow e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \cdots$$

$$\Rightarrow e^x \simeq 1 + x \quad \text{if} \quad x \ll$$

$$\rightarrow q_1 = -1.127 \frac{kA}{\bar{\mu} \bar{C}_0 L} \left\{ 1 + \exp\left[\bar{C}_0 (P_2 - P_1) \right] - 1 \right\}$$

$$\Rightarrow q_1 = -1.127 \frac{kA}{\bar{\mu}} \frac{P_2 - P_1}{L} \checkmark$$

- متوصری شوم که به رابطه Case 1 تبدیل شد و مفهوم آن این است که کوچک بودن مقدار C تأثیر چندانی بر معادله نمی گذارد ولی بایستی دقت کرد که این نرمال باز هم q_1 در وردی را به ما می دهد.

جمعه
۲۵ رمضان
July 1
۱۴۳۷
2016
۱۳۹۵/۰۴/۱۱

روز جهانی قدس (آخرین جمعه ماه رمضان) ـ شهادت آیت الله صدوقی چهارمین شهید محراب به دست منافقان (۱۳۶۱ هـ ش)

نگویم از سن بی دل به سوگ دی یاد — که در حساب خرد نیست سهو هرگز

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

Alternativly:

$$q = q_1 \exp\left[\bar{C}_o (P_1 - P)\right] \xrightarrow{\text{تقریب}} q = q_1\left[1 + \bar{C}_o (P_1 - P)\right]$$

$$\rightarrow \int_0^L q_1 \, dx = \int_{P_1}^{P_2} -1.127 \frac{kA}{\mu} \frac{dP}{1 + \bar{C}_o (P_1 - P)}$$

$$\Rightarrow q_1 = 1.127 \frac{kA}{\mu \bar{C}_o L} \ln\left[1 + \bar{C}_o (P_1 - P_2)\right] \checkmark\checkmark$$

$$* \; e^x = 1 + x \rightarrow x = \ln(1 + x)$$

$$\rightarrow q_1 = 1.127 \frac{kA}{\mu} \frac{P_1 - P_2}{L} \checkmark$$

- از این طریق نیز مشاهده شد که q_1 شبیه Case 1 بدست می‌آید.

- هرچقدر C_o بیشتر شود درصد خطای معادلات بالا افزایش می‌یابد.

* نکته:

دین حرمی ثابت : if $P_1 > P_2 \rightarrow V_1 < V_2 \rightarrow q_1 < q_2$

Pressure Equation → H.W

حمله ده منشانه نیروهای آمریکایی حامی تروریسم به هواپیمای مسافربری جمهوری اسلامی ایران (۱۳۶۷ هـ.ش)
کوه دانشگاه علوم پزشکی تهران
مراد دلیل گردان به شکر این نعمت

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

تمرین

* Case 5:

Geometry: Radial

Type of Fluid: Slightly Compressible

Flow Regime: Steady State

Flow Equation:

- درصورت قرارگرفتن دبی جریان در دیواره چاه، q_w به عنوان دبی مشارکتی چاه، P_w به عنوان فشار مبنا خواهیم داشت:

$$q = 7.08 \frac{khr}{\mu} \frac{dP}{dr} \quad \& \quad q = q_w \exp\left[\bar{C}_o (P_w - P)\right]$$

$$\rightarrow q_w = 7.08 \frac{kh}{\bar{\mu} \bar{C}_o \ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)} \left\{\exp\left[\bar{C}_o (P_e - P_w) - 1\right\} \quad \left(\frac{bbl}{day}\right)\right.$$

* $e^x = 1 + x$

$$\rightarrow q_w = 7.08 \frac{kh}{\bar{\mu} \ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)} (P_e - P_w) \rightarrow \text{Similar Case 2}$$

Alternative:

$$q = q_w \exp\left[\bar{C}_o (P_w - P)\right] \xrightarrow{\text{یا}} q = q_w \left[1 + \bar{C}_o (P_w - P)\right]$$

$$\Rightarrow q_w = -7.08 \frac{kh}{\bar{\mu} \bar{C}_o \ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)} \ln\left[1 + \bar{C}_o (P_w - P_e)\right]$$

چو بشنوی سخن اهل دل مگو که خطاست — سخن شناس نه‌ای جان من خطا این جاست

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

* $\ln(1+x) = x$

→ $q_w = 7.08 \frac{kh}{\mu \ln(\frac{r_e}{r_w})} (P_e - P_w)$ → Similar Case 2

- خطای معادلات exp کمتر از معادلات ln می باشد ولی در کل اعداد خیلی بهم نزدیک می باشند.

Pressure Equation → H.W

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

* Case 6:

Geometry : Spherical

Type of Fluid: Slightly Compressible

Flow Regime: Steady State

- در صورت قرار دادن دبی چاه، q_w به عنوان دبی مبنا و فشار چاه به عنوان فشار مبنا خواهیم داشت:

Flow Equation:

$$q = q_w \exp\left[\bar{C}_o (P_w - P)\right] \quad \& \quad q = 14.16 \frac{kr^2}{\mu} \frac{dP}{dr}$$

$$\rightarrow q_w = -14.16 \frac{k}{\bar{\mu} \bar{C}_o \left(\frac{1}{r_e} - \frac{1}{r_w}\right)} \left\{\exp\left[\bar{C}_o (P_e - P_w)\right] - 1\right\}$$

* $e^x = 1 + x$

$$\rightarrow q_w = -14.16 \frac{k}{\bar{\mu} \left(\frac{1}{r_e} - \frac{1}{r_w}\right)} (P_e - P_w) \rightarrow \text{Similar Case 3}$$

Alternative:

$$q = q_w \exp\left[\bar{C}_o (P_w - P)\right] \xrightarrow{\text{همان}} q = q_w \left[1 + \bar{C}_o (P_w - P)\right]$$

$$\rightarrow q_w = -14.16 \frac{k}{\bar{\mu} \bar{C}_o \left(\frac{1}{r_w} - \frac{1}{r_e}\right)} \ln\left[1 + \bar{C}_o (P_w - P_e)\right]$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

* $\ln(1+x) = x$

$$\rightarrow q_w = -14.16 \frac{k}{\bar{\mu}\left(\frac{1}{r_e} - \frac{1}{r_w}\right)} (P_e - P_w) \rightarrow \text{Similar Case 3}$$

Pressure Equation $\rightarrow$ H-W

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

* Case 7:

Geometry: Linear

Type of Fluid: Compressible

Flow Regime: Steady State

- به دلیل اینکه C_g ($\simeq 10^{-3}$) خیلی بزرگتر از C_o ($\simeq 10^{-6}$) می‌باشد در نتیجه خواهیم داشت:

$$q_2 \gg q_1$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

Flow Equation:

$$q = -1.127 \frac{k}{\mu} A \frac{dP}{dx} \rightarrow q\,dx = -1.127 \frac{k}{\mu} A\,dP \quad (1)$$

- چون q ثابت نمی‌باشد بایستی تغییرات آن را برحسب P یا برحسب x بدست آوریم نه برحسب P

خواهیم داشت:

$$PV = ZnRT \rightarrow Pq = Z\dot{n}RT \rightarrow q = \frac{Z\dot{n}RT}{P} \quad (2)$$

V: ft^3, n: $lbmole$, q: $\frac{ft^3}{day}$, $\dot{n}$: $\frac{lbmole}{day}$

- اگر معادله 2 را با معادله 1 ترکیب کنیم q حذف می‌شود برای جلوگیری از این کار خواهیم داشت:

$$P_{sc} q_{sc} = \dot{n} R T_{sc} \rightarrow \dot{n} = \frac{P_{sc} q_{sc}}{R T_{sc}} \quad (3) \qquad (Z_{sc} = 1)$$

$$\xrightarrow{2\&3} q = \left(\frac{P_{sc}}{T_{sc}}\right)\left(\frac{ZT}{P}\right) q_{sc} \quad \left(\frac{ft^3}{day}\right) \quad \text{that: } q_{sc}\,(SCFD)$$

$\rightarrow$ قانون گازها: $q = \left(\frac{P_{sc}}{T_{sc}}\right)\left(\frac{ZT}{P}\right)\left(\frac{q_{sc}}{5.615}\right)$ (4) $\left(\frac{bbl}{day}\right)$ that: $q_{sc}\,(SCFD)$

$$\xrightarrow{4\&1} \left(\frac{P_{sc}}{T_{sc}}\right)\left(\frac{ZT}{P}\right)\left(\frac{q_{sc}}{5.615}\right) dx = -1.127 \frac{k}{\mu} A\,dP$$

$$\rightarrow \int_0^L q_{sc}\,dx = -1.127 \times 5.615 \left(\frac{T_{sc}}{P_{sc}}\right)\left(\frac{kA}{T}\right) \int_{P_1}^{P_2} \frac{P}{\mu Z}\,dP$$

چنین کرم بوده شود ز خون دلم — کرم بباده بشوید حق بدست ثبات

Scanned by CamScanner

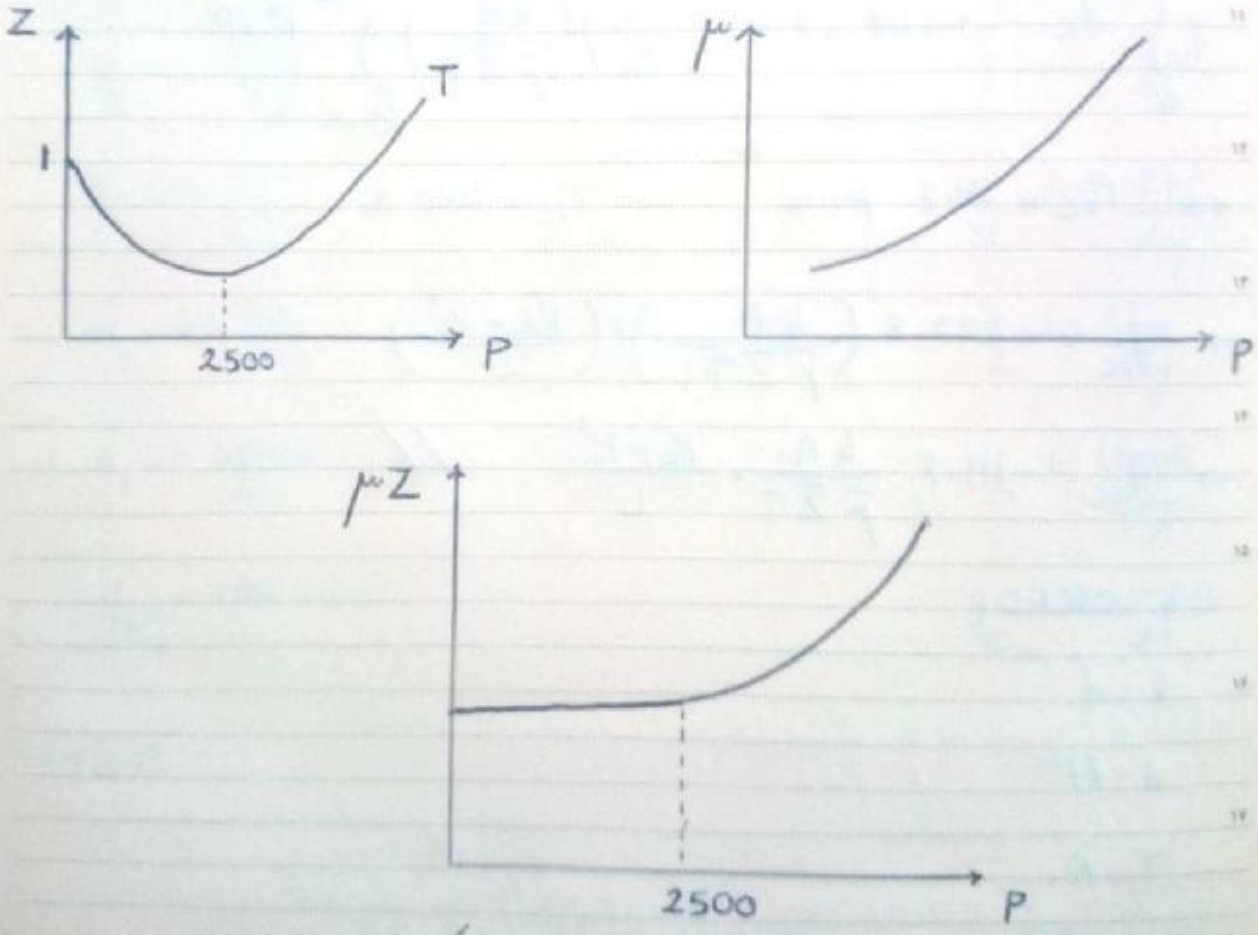
@PetroBooks

- از آنجایی که μ و Z تابعی از فشار و دما هستند داخل انتگرال قرار می‌گیرند و نمی‌توان این مقادیر را از انتگرال خارج نمود لذا برای محاسبه انتگرال $\int \frac{P}{\mu Z} dP$ سه روش:

- روش میانگین μZ (یا استفاده از $\bar{\mu}\bar{Z}$)

- استفاده از تابع شبه فشار (Real Gas Potential Method = Pseudo Pressure Method)

که برای محاسبه انتگرال طبق خواص سیالات داریم:



- همانطور که از شکل مشاهده می‌کنیم μZ در فشارهای پایین (کمتر از 2500) ثابت می‌باشد.

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- $\bar{\mu}\bar{Z}$ Method:

با توجه به دماهای مختلف، Z در یک فشاری کمترین مقدار خودش را دارد (تقریباً 2500) که در آن دماها و فشارهای کمتر از آن می‌توانیم از روش $\bar{Z}$ سر استفاده کنیم - عبارت حقیر از آنجایی که Z سر در فشارهای پایین (کمتر از 2500) ثابت است لذا با میانگین گیری از مقادیر عددی Z سر در خارج کردن آن از انتگرال خواهیم داشت:

$$q_{sc}\int_0^L dx = -1.127 \times 5.615 \left(\frac{T_{sc}}{P_{sc}}\right)\left(\frac{kA}{\bar{\mu}\bar{Z}T}\right)\int_{P_1}^{P_2} P\,dP$$

** $P_{sc} = 14.7$ psia $\qquad T_{sc} = 520\ ^\circ R$

$$\rightarrow q_{sc} = -223.8\left(\frac{kA}{\bar{\mu}\bar{Z}TL}\right)\left(\frac{P_2^2 - P_1^2}{2}\right)$$

$$\rightarrow q_{sc} = -111.9\ \frac{kA}{\bar{\mu}\bar{Z}T}\cdot\frac{P_2^2 - P_1^2}{L}$$ ✓✓

q_{sc} : SCFD

k : d

A : ft^2

T : $^\circ R$

L : ft

$\bar{\mu}$: cp

P_1 & P_2 : psia

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

* نکته: چون در محدوده فازی ($P<2500$) محدوده تغییرات Z نیز خطی است کافی است از مقدار فاز میانگین $\bar{P}$ برای بدست آوردن $\bar{Z}$ استفاده کرد:

$$\bar{P} = \sqrt{\frac{P_1^2 + P_2^2}{2}}$$

* نکته: q_{sc} همواره ثابت می‌ماند و دلیل آن این است که $\dot{n}$ ثابت می‌ماند. برای مثال:

$q_1 = 100 \frac{ft^3}{day}$ $\quad$ $q_2 = 140 \frac{ft^3}{day}$

$\dot{m}_1 = 20 \frac{Lbm}{day}$ $\quad$ Mass Flow Rate = Cte $\quad$ $\dot{m}_2 = 20 \frac{Lbm}{day}$

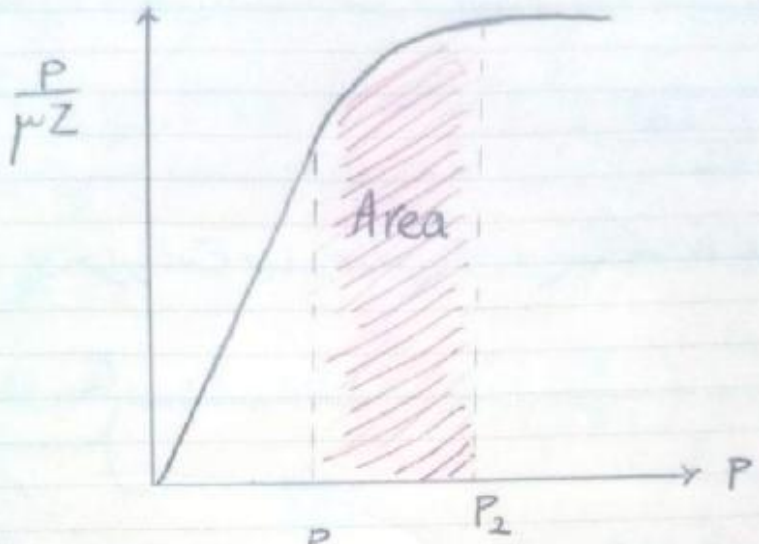
$\dot{n}_1 = 1 \frac{Lbmole}{day}$ $\quad$ Mole Flow Rate = Cte $\quad$ $\dot{n}_2 = 1 \frac{Lbmole}{day}$

$q_{sc_1} = 380$ SCFD $\quad$ $q_{sc_2} = 380$ SCFD

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- Real Gas Potential Method (Pseudo Pressure Method)



همانطور که از شکل مشاهده می‌شود رفتار منحنی $\frac{P}{\mu Z}$ در فشارهای میانی (ناحیه مشخص شده) خطی است بنابراین برای این ناحیه یک تابع با نام پتانسیل گاز یا تابع شبه فشار گاز حقیقی تعریف می‌شود. البته به طور کلی این روش برای همه فشارها قابل قبول است.

$$Area = \int_{P_1}^{P_2} \frac{P}{\mu Z}\, dP$$

$$\Psi = m(P) = 2\int_{P_{ref}}^{P} \frac{P}{\mu Z}\, dP$$

$$q_{sc}\int_0^L dx = -1.127 \times 5.615 \left(\frac{T_{sc}}{P_{sc}}\right)\left(\frac{kA}{T}\right)\int_{P_1}^{P_2} \frac{P}{\mu Z}\, dP$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

$$\rightarrow \int_{P_1}^{P_2} \frac{P}{\mu Z}\,dP = \int_{P_{ref}}^{P_2} \frac{P}{\mu Z}\,dP - \int_{P_{ref}}^{P_1} \frac{P}{\mu Z}\,dP = \frac{\Psi_2 - \Psi_1}{2}$$

$$\rightarrow q_{sc} = -111.9\,\frac{kA}{T}\cdot\frac{\Psi_2 - \Psi_1}{L} \quad //$$

* اگر $\mu Z = Cte$ باشد خواهیم داشت:

$$\Psi_1 = 2\int_{P_{ref}}^{P_1} \frac{P}{\mu Z}\,dP = \frac{2}{\bar{\mu}\bar{Z}}\cdot\frac{P_1^2 - P_{ref}^2}{2}$$

$$\Psi_2 = 2\int_{P_{ref}}^{P_2} \frac{P}{\mu Z}\,dP = \frac{2}{\bar{\mu}\bar{Z}}\cdot\frac{P_2^2 - P_{ref}^2}{2}$$

$$\rightarrow q_{sc} = -111.9\,\frac{kA}{\bar{\mu}\bar{Z}T}\,\frac{P_2^2 - P_1^2}{L} \quad //$$

Scanned by CamScanner

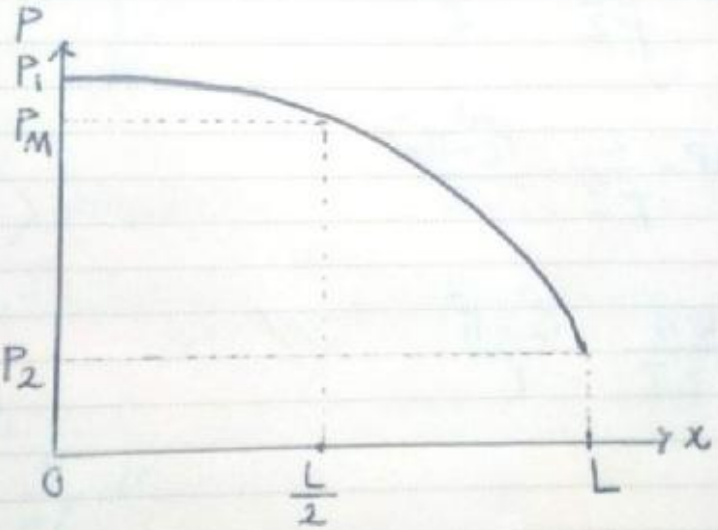
@PetroBooks

Pressure Equation:

- $\bar{\mu}\bar{Z}$ Method:

$$q_{sc}\int_0^x dx = -1.127\times5.615\left(\frac{T_{sc}}{P_{sc}}\right)\left(\frac{kA}{\bar{\mu}\bar{Z}T}\right)\int_{P_1}^{P} P\,dP$$

$$\Rightarrow P=\sqrt{P_1^2-\frac{q_{sc}\bar{\mu}\bar{Z}T}{111.9\,kA}\cdot x}$$ //



- با توجه به نمودار بالا، به دلیل تغییرات با تقعر رو به پایین منفی افت فشار در طول مسیر هم چنین افزایش سرعت ناشی از رشد نرخ افت فشار در انساط سیال و نهایتاً افزایش بی در پایانی در طول مسیر، تغییرات فشار در نیمه دوم مسیر بیشتر از نیمه اول آن (قبل از Midpoint) می باشد.

- به طور کلی نمودار P-x سیال Compressible و Slightly Compressible به صورت منفی

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

می‌باشد که هرچه C بزرگتر باشد انحنای منحنی بیشتر می‌شود و برای گازها حداکثر انحنا را دارد.

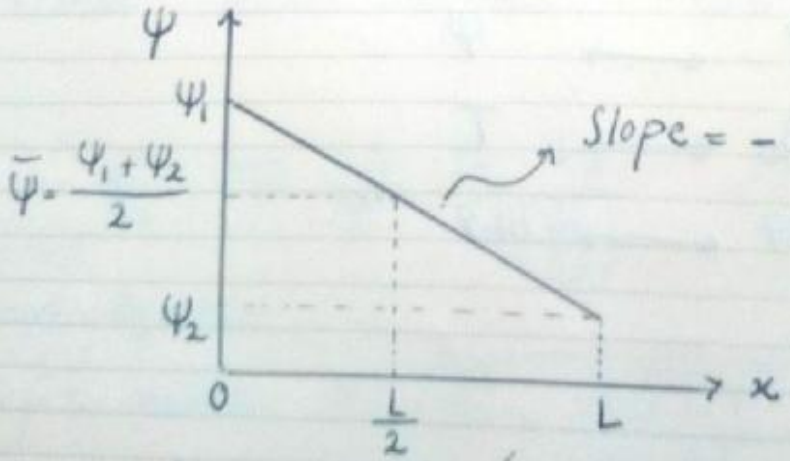
- Pseudo Pressure Method:

$$\rightarrow \int_{P_1}^{P} \frac{P}{\mu Z}\,dP = \int_{P_{ref}}^{P} \frac{P}{\mu Z}\,dP - \int_{P_{ref}}^{P_1} \frac{P}{\mu Z}\,dP = \frac{\psi - \psi_1}{2}$$

$$\rightarrow q_{sc} \int_0^x dx = -1.127 \times 5.615 \left(\frac{T_{sc}}{P_{sc}}\right)\left(\frac{kA}{T}\right) \int_{P_1}^{P} \frac{P}{\mu Z}\,dP$$

$$\rightarrow q_{sc} \cdot x = -111.9 \frac{kA}{T} (\psi - \psi_1)$$

$$\rightarrow \psi = \psi_1 - \frac{q_{sc} T}{111.9\, kA} \cdot x \quad \checkmark\checkmark$$



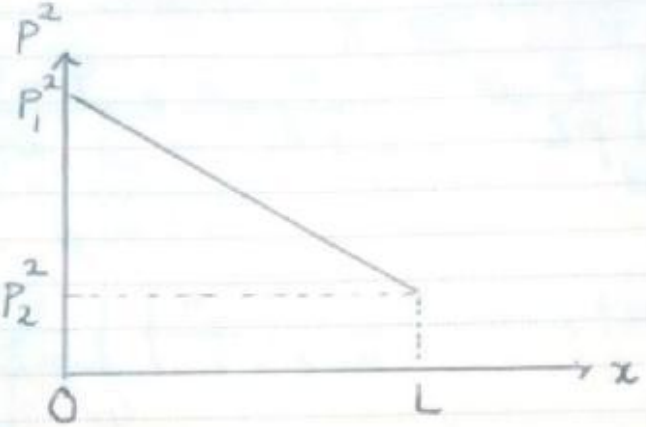
همانطور که مشاهده می‌شود تغییرات شبه فشار با مکان کاملاً خطی می‌باشد.

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

* اگر $\mu Z = ct$ باشد خواهیم داشت: $\Psi = \frac{P^2}{\mu Z}$

$$P^2 = P_1^2 - \frac{q_{sc}\,\bar{\mu}\bar{Z}\,T}{111.9\ kA}\cdot x \quad //$$



* نکته: استفاده از Ψ در Case 7 دقت محاسبات را بالا می‌برد.

* نکته کنکوری بسیار مهم: به آسانی می‌توان با اعمال سه تغییر روابط حالت اول را به حالت هفتم تبدیل کرد:

$$P \longleftrightarrow \Psi$$
$$\mu B_o \longleftrightarrow T$$
$$1.127 \longleftrightarrow 111.9$$

دو چشم شوخ تو برهم زده خط و خیش — به چین زلف تو ما چین و بند داده خراج

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

* Case 8:

Geometry : Radial

Type of Fluid: Compressible

Flow Regime : Steady State

Flow Equation:

قانون طرفها →

$$q = \left(\frac{P_{sc}}{T_{sc}}\right)\left(\frac{ZT}{P}\right)\left(\frac{q_{sc}}{5.615}\right)$$

→

$$q = 7.08\,\frac{khr}{\mu}\,\frac{dP}{dr}$$

→ $\bar{\mu}\bar{Z}$ Methd:

$$q_{sc} = 703\,\frac{kh}{\bar{\mu}\bar{Z}T}\,\frac{P_e^2 - P_w^2}{Ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}$$ //

→ Pseudo Pressure Method:

$$\psi = \frac{P^2}{\bar{\mu}\bar{Z}}$$

→

$$q_{sc} = 703\,\frac{kh}{T}\,\frac{\psi_e - \psi_w}{Ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}$$ //

Pressure Equation:

→ $\bar{\mu}\bar{Z}$ Method:

$$P = \sqrt{P_w^2 - \frac{q_{sc}\bar{\mu}\bar{Z}T}{703\,kh}\cdot Ln\left(\frac{r}{r_w}\right)}$$ //

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

→ Pseudo Pressure Method: $\psi = \frac{P^2}{\bar{\mu}\bar{Z}}$

$$\psi = \psi_w + \frac{q_{sc} T}{703\, kh} \cdot \ln\left(\frac{r}{r_w}\right)$$ //

* نکته تکنیکی بسیار مهم: به آسانی می‌توان با اعمال سه تغییر روابط حالت دوم را به حالت هشتم تبدیل کرد.

$$P \longleftrightarrow \psi$$

$$\mu B_o \longleftrightarrow T$$

$$7.08 \longleftrightarrow 703$$

*

$$1.127 \times 2\pi = 7.08$$

$$111.9 \times 2\pi = 703$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

July 21

* Case 1:

Geometry: Spherical

Type of Fluid: Compressible

Flow Regime: Steady State

Flow Equation:

قانون گازها

$$q = \left(\frac{P_{sc}}{T_{sc}}\right)\left(\frac{ZT}{P}\right)\left(\frac{q_{sc}}{5.615}\right)$$

$$\rightarrow \quad q = 14.16 \frac{kr^2}{\mu} \frac{dP}{dr}$$

$$\rightarrow \bar{\mu}\bar{z} \text{ Method:} \quad q_{sc} = -1406 \frac{k}{\bar{\mu}\bar{z}T} \frac{P_e^2 - P_w^2}{\frac{1}{r_e} - \frac{1}{r_w}}$$

$$\rightarrow \text{Pseudo Pressure Method:} \quad \psi = \frac{P^2}{\bar{\mu}\bar{z}}$$

$$q_{sc} = -1406 \frac{k}{T} \frac{\psi_e - \psi_w}{\frac{1}{r_e} - \frac{1}{r_w}}$$

جمعه

۱۷ شوال

July 22

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

Pressure Equation:

→ $\bar{P}\bar{Z}$ Method: $P = \sqrt{P_w^2 - \frac{q_{sc}\bar{P}\bar{Z}T}{1406\,k}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_w}\right)}$ //

→ Pseudo Pressure Method: $\psi = \frac{P^2}{\bar{P}\bar{Z}}$

$$\psi = \psi_w - \frac{q_{sc}T}{1406k}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_w}\right)$$ //

نکته: بسیار مهم: به آسانی می‌توان با اعمال سه تغییر روابط حالت سوم را به روابط حالت نهم تبدیل کرد:

$P \longleftrightarrow \psi$

$\mu B_o \longleftrightarrow T$

$14.16 \longleftrightarrow 1406$

Scanned by CamScanner

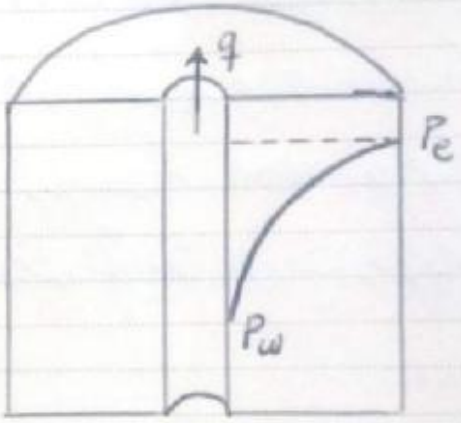
@PetroBooks

* Pressure Drop in Reservoir (Case 2):

$$P = P_w + \frac{q\mu B_o}{7.08\,kh} \ln\left(\frac{r}{r_w}\right)$$

ΔP = Initial Pressure - Current Pressure

$$\Delta P = P_e - P$$



افت فشار در دیواره چاه $= \Delta P = P_e - P_w = \frac{q\mu B_o}{7.08\,kh} \ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)$

$$\rightarrow \Delta P = P_e - P = P_e - P_w - \frac{q\mu B_o}{7.08\,kh} \ln\left(\frac{r}{r_w}\right) =$$

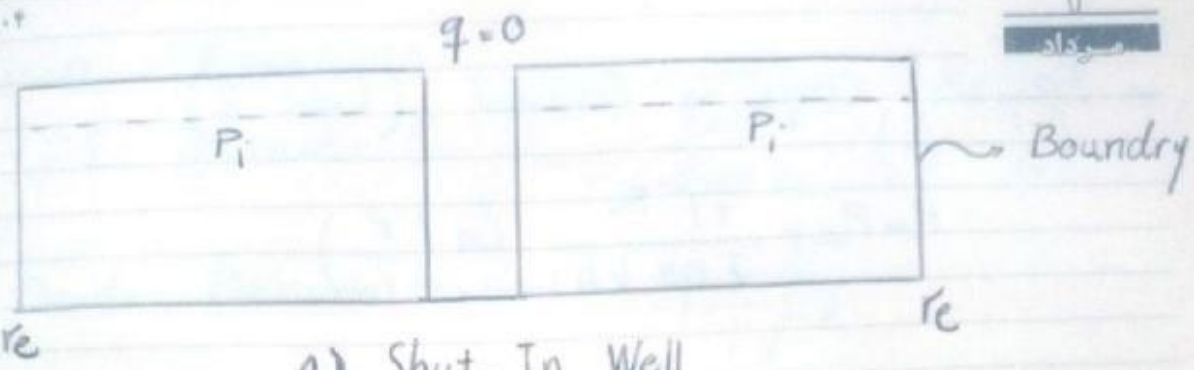
$$\frac{q\mu B_o}{7.08\,kh}\left[\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - \ln\left(\frac{r}{r_w}\right)\right] = \frac{q\mu B_o}{7.08\,kh} \ln\left(\frac{r_e}{r}\right)$$

* $r = r_e \rightarrow \Delta P = 0 \rightarrow @\, r = r_e \rightarrow \frac{dP}{dr} = 0$

* $r = r_w \rightarrow \Delta P = \Delta P_{max} \rightarrow @\, r = r_w \rightarrow \frac{dP}{dr} = max$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks



A) Shut-In Well

برای درک جریان unsteady طبق شکل بالا یک چاه بسته را فرض کنید که دارای مخزن استوانه‌ای همگن با شعاع r_e و فشار یکنواخت P_i باشد که این شرایط مخزن بیانگر این موضوع می‌باشد که در لحظه $t=0$ از چاه تولیدی صورت نمی‌گیرد چون سیال ساکن می‌باشد در نتیجه فشارهای P_e و P_{wf} با هم برابری باشند و در صورتی که valve سرچاهی باز شود و به چاه اجازه تولید با دبی ثابت ($q=cte$) داده شود با گذشت زمان فشار در دیواره چاه، P_{wf} کاهش می‌یابد.

بلافاصله بعد از باز شدن valve، Pressure Disturbance (تغییرات فشار) از دیواره چاه آغاز می‌شود که تابع عوامل زیری می‌باشد:

1- t، زمان

2- k، تراوایی

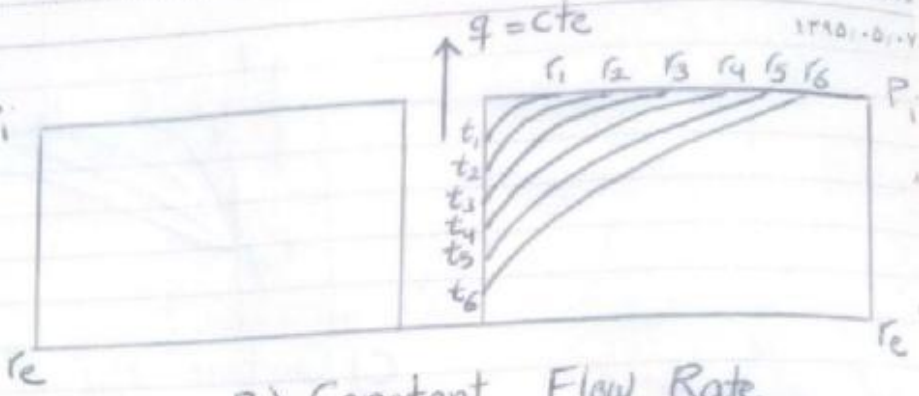
3- ϕ، تخلخل

4- μ، ویسکوزیته

5- c_t، تراکم پذیری سنگ و سیال

Scanned by CamScanner

@PetroBooks



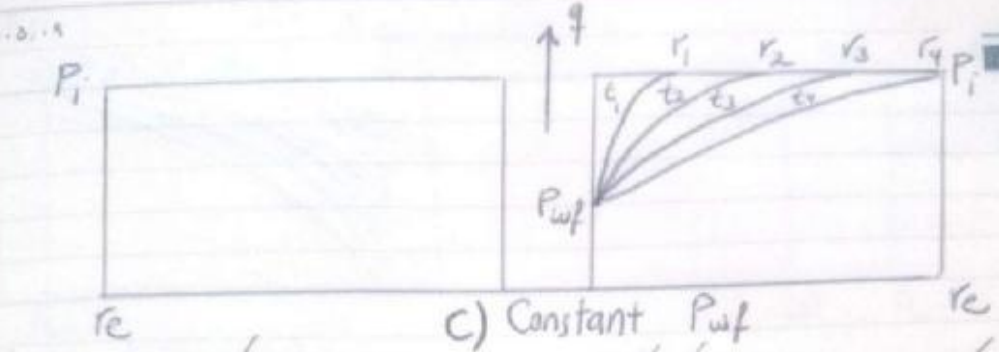
B) Constant Flow Rate

- در شکل بالا Pressure Distrubance را در زمان های مختلف نشان می دهد برای مثال در زمان t_1 ، تا شعاع r_1 از مخزن پیش می رود که هرچه از زمان تولیدی گذرد افت فشار در مخزن بیشتر شده و هم چنین در شعاع های بزرگتری پیش می رود که این شعاع را شعاع کاوش (Radius of Investigation) گویند و با r_{inv} نشان می دهند.

این موضوع اهمیت دارد که تا زمانی که شعاع های کاوش به مرز مخزن که همان شعاع r_e می باشد نرسیده باشد به عبارتی دیگر تا زمانی که Pressure Distrubance به تاثیری مخزن در r_e نرسیده باشد چون از نظر ریاضی r_e دست نیافتنی می باشد که به آن infinite می گویند مخزن را infinite acting گویند و حریان در مخزن unsteady و ناپایدار است.

Scanned by CamScanner

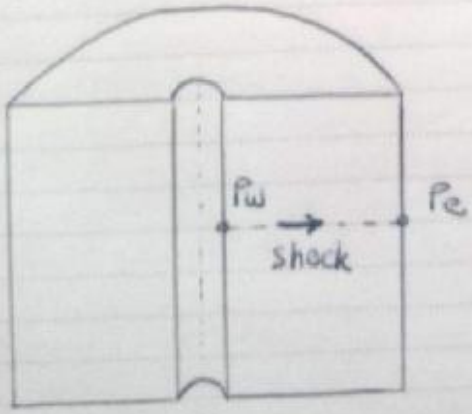
@PetroBooks



C) Constant P_{wf}

- بحث دیگری که وجود دارد این است که اگر چاه با فشار ته چاهی ثابت تولید کند همان طور که از شکل مشاهده می کنیم شعاع نفوذ فشار در زمان t_4 به مرز مخزن می رسد ($r_{inv}=r_e$) که باعث می شود دبی و فشار تغییر کند.

- طبق بحث های انجام شده Transient (Unsteady State) Flow مدت زمانی است که در طول آن مرز مخزن تأثیری روی رفتار فشار در مخزن نداشته باشد و مخزن مانند یک مخزن infinite عمل کند. به عبارتی دیگر طبق شکل پایین، مدت زمانی که طول می کشد تا Shock مربوط به Pressure Disturbance از r_w به r_e برسد یعنی از باز کردن valve سر چاهی برسد را transient گویند. (شکل D)



D)

تلاش وقت پیر مغان می دهند باز — این سالکان نگر که چه با پیر می کنند

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

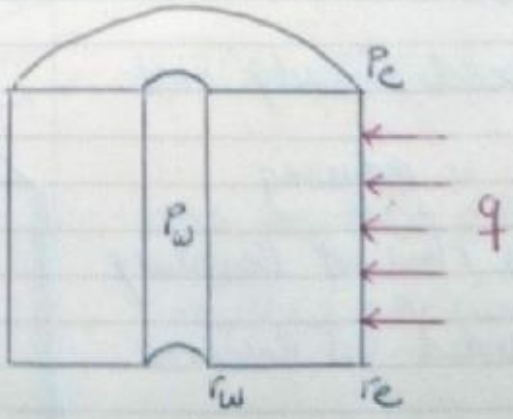
- شکل B نشان می‌دهد transient flow در طول بازه $0<t<t_t$ برای تولید بادی ثابت رخ می‌دهد.

- شکل C نشان می‌دهد transient flow در طول بازه $0<t<t_4$ برای P_{wf} ثابت رخ می‌دهد.

* نکته: در لحظه $t=0$ ← unsteady state

- اگر زمانی که Pressure Disturbance به مرز مخزن (شعاع یا دخار P_e) برسد و P_e ثابت بماند و تغییر نکند همانطور که گفتیم رفتار تغییر می‌کند و به steady state تبدیل می‌شود در چنین شرایطی به دلیل وجود strong aquifer در مرز مخزن افت فشار در P_e جبران می‌شود و باعث می‌شود که ثابت بماند و عملکرد مخزن به صورت infinite acting باشد که تحت چنین شرایطی مقدار سیال سیستم از طریق مرزها معادل مقدار سیال خروجی از چاه می‌باشد. (شکل E)

- steady state
- P_e = cte
- Flow cross the boundary
- Unbounded oil reservoir
- infinite acting

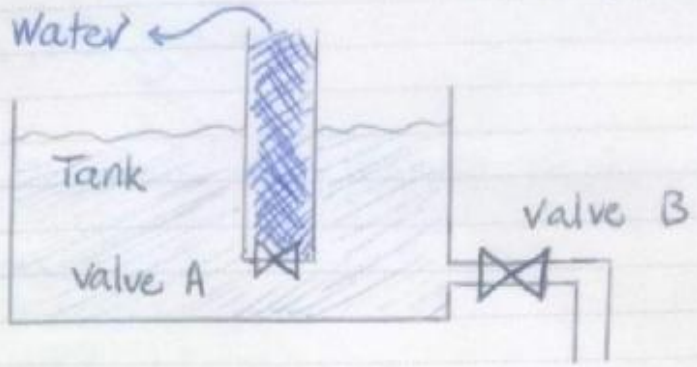


E) S.S

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

* نکته: برای فهم بهتر Steady State شکل زیر را در نظر بگیرید:

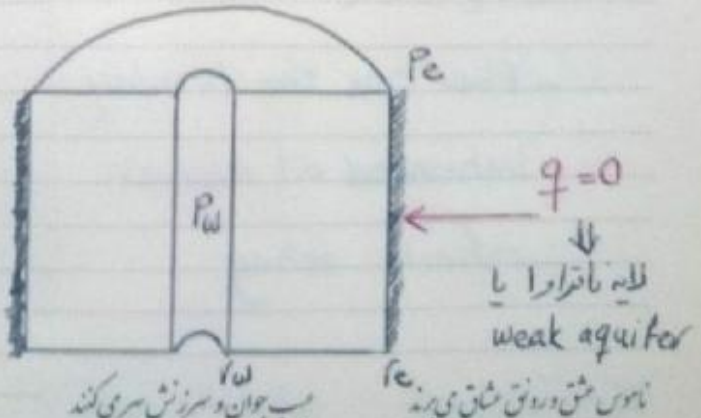


Valve B Opened $\xrightarrow{if}$ Open Valve A $\rightarrow$ S.S

- زمانی که Pressure Disturbance به مرز محرک (شعاع تاثیر فشار P_e) برسد و P_e کاهش یابد رفتار فشار تغییر کرده و به Pseudo Steady State تبدیل می‌شود در این شرایط به دلیل نبود جریان در مرز محرک یا وجود Weak Aquifer فشار P_e جبران نمی‌شود و سیر نزولی می‌گیرد. (شکل F)

• در حالت P.S.S افت فشار با یک rate ثابت می‌یابد مگر اینکه خواص سیال محرک تغییر کند

- Pseudo Steady State
- Pe is reducing
- No Flow at Boundary
- Bounded Oil Reservoir
- Finite Acting

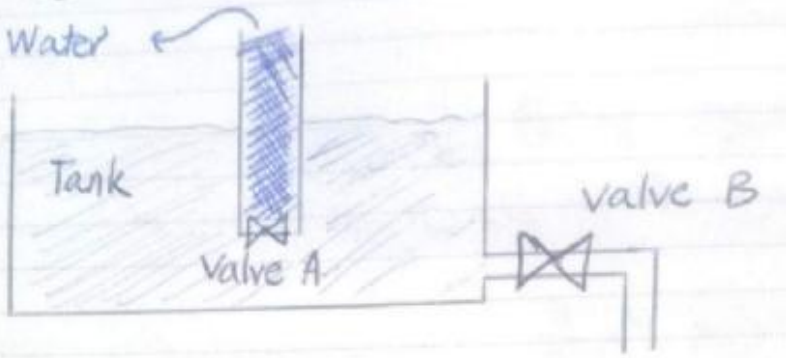


F) P.S.S

Scanned by CamScanner

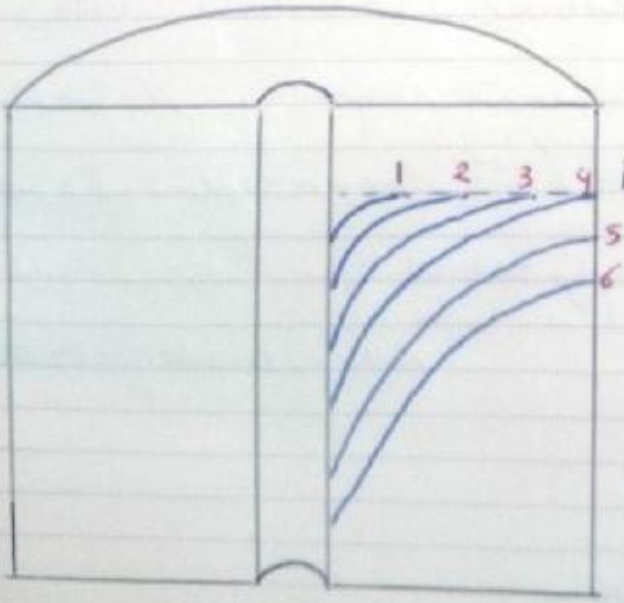
@PetroBooks

* نکته: برای حجم بیتر Pseudo Steady State شکل زیر را در نظر بگیرید



Valve B Opened if Close Valve A ⇒ P.S.S

* نکته: همه مخازن در هنگام شروع تولید تا زمانی که Pressure Disturbance بروز Shock به مرز حالت U.S.S می باشد بعد از آن اگر به حالت Unbounded باشد S.S تبدیل می شود و اگر به حالت Bounded باشد P.S.S تبدیل می شود.



U.S.S ← 1, 2, 3

S.S ← 4

P.S.S (با rate ثابت) ← 5, 6

* U.S.S → $0 < t < t_4$

پس t_4 را مدت زمان U.S.S می گویند.

از قلب تیروپیچ شده حاصل دهنده باطل و این خیال که اکسیری کنده

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- در سیستم های P.S.S هم زمانی که شعاع کارش به r_e می رسد چون Flow به درون مخزن نداریم تولید در اثر expansion می باشد.

- در سیستم های S.S طبق رابطه $q = 7.08 \frac{kh}{\mu B} \frac{P_e - P_w}{\ln(\frac{r_e}{r_w})}$ چون همه پارامترها ثابت می باشند q نیز ثابت می ماند پس مکانیزم تولید آن بر اثر Flow سیال می باشد.

* نکته: اگر Valve سر چاهی را بدهیم طبق رابطه: $P = \frac{F}{A}$ چون P با A رابطه عکس دارد پس مساحت مانگزیمم مقدار خودی شود و P_{wf} به کمترین مقدار خود می رسد ولی طبق رابطه: $q = VA$ چون q با A رابطه مستقیم دارد q مانگزیمم می شود ولی مقدار q بالا باعث می شود که سیال وارد Wellbore سود چاه Block شود و اینکه هرچقدر اختلاف فشار بیشتر شود، Damage چه نیز افزایش می یابد.

- در حالت Unsteady چون Pressure Disturbance به P_e نرسیده است پس تولید منحصر اثر expansion می باشد و در شرایط ناپایدار مقداری جریان ورودی به مخزن المان مخزن با مقداری جریان خروجی از آن یکسان نیست.

- فرمول های مربوطه transient Flow جریان ترکیب سه معادله مستقل و خصوصیات initial و boundary زیر می باشد:

- Continuity Equation
- Transport Equation
- Compressibility Equation

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- Initial Condition → @ t=0 → $P = P(r,0) = P_e = P_i$ = Uniform Pressure

- Boundary Conditions → $\begin{cases} \cdot q = cte \\ \& \\ \cdot r_e = \infty \end{cases}$ → جمع Flow در r_e وجود ندارد بدین معنا که مخزن بی نهایت است ($P = P(\infty, t)$)

- علاوه بر عوامل موثر بر Steady State تغییرهای جزیی نیز بر Unsteady State تاثیر گذارند که عبارتند از:

1- t ، زمان

2- ϕ ، تخلخل

3- C_t ، تراکم پذیری کلی

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- در یک المان حجمی از مخزن بر اثر گذر زمان و اثرات افت فشار dP و انبساط سیال در درون آن المان به مقدار dq به دبی جریانی در المان مذکور اضافه می‌گردد. مقدار تغییرات dq ایجاد شده به دلیل افزایش حجم سیال موجود در المان حجمی می‌باشد که به صورت دبی از آن خارج می‌گردد. در نتیجه بر اساس تعریف ضریب تراکم پذیری هم داریم:

$$C = -\frac{1}{V}\left(\frac{dV}{dP}\right)_{T=cte}$$

که به دلیل علامت در نظر گرفته شده برای افت فشار داریم:

$$dV = CV\,dP$$

با تقسیم طرفین رابطه بر زمان داریم:

$$dq = CV\frac{dP}{dt}$$ ✓

با توجه به رابطه بالا در این موضوع که عامل اصلی تولید در حالت انبساط، Unsteady سیال می‌باشد و تنها در صورت وجود سیال Slightly Compressible, Compressible به وجود خواهد آمد در نتیجه حالت‌های دهم و یازدهم و دوازدهم که به شرح زیر می‌باشند:

*Case 10:

Geometry: Linear

Type of Fluid: InCompressible

Flow Regime: Unsteady State

چندان کریم که هر کس که برگذشت — دانک پاچویده روان کشت کاین پر بوست

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

* Case 11:

Geometry: Radial

Type of Fluid: Incompressible

Flow Regime: Unsteady State

* Case 12:

Geometry: Spherical

Type of Fluid: Incompressible

Flow Regime: Unsteady State

حذف خواهند گردید زیرا:

Incompressible $\rightarrow C = 0 \rightarrow dq = 0$

Scanned by CamScanner

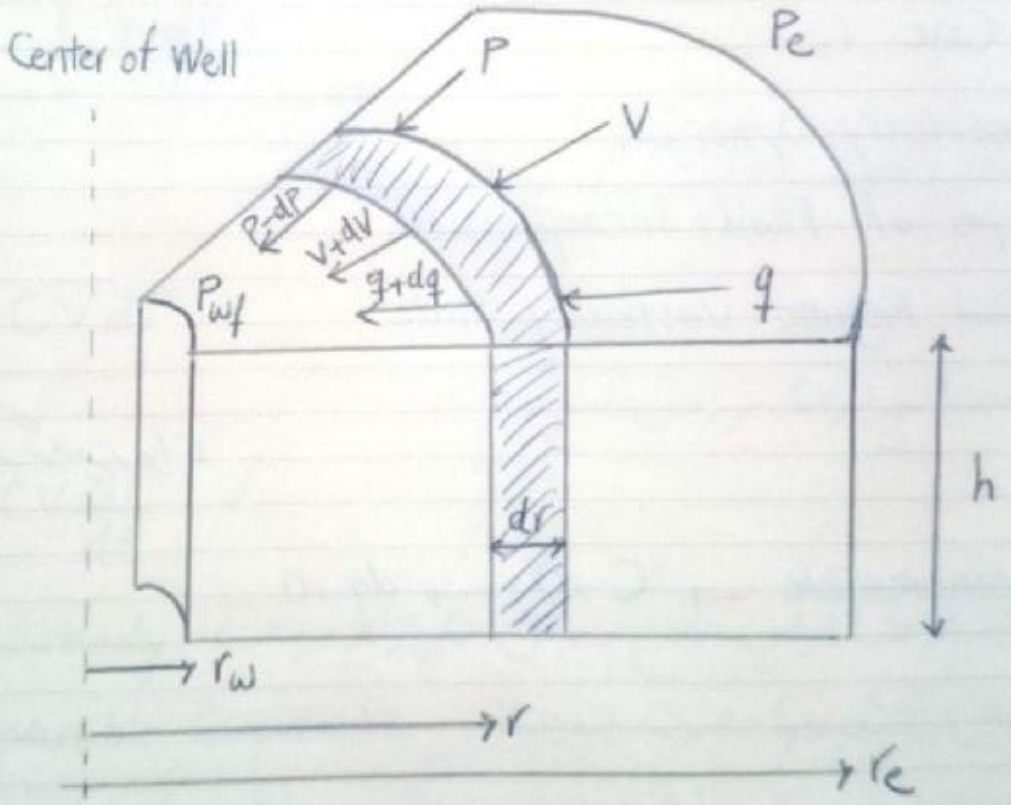
@PetroBooks

* Case 14:

Geometry: Radial

Type of Fluid: Slightly Compressible

Flow Regime: Unsteady State



- چون سیال انبساط دارد حجم به اندازه dV افزایش می‌یابد زمانی که فشار به اندازه dP از روی آن برداشته می‌شود.

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

Flow & Pressure Equation → { Shortcut Method / Material Balance Method

Radial Flow → $q = 7.08 \frac{khr}{\mu} \frac{dP}{dr}$

Volume of Element → $V_{Ring} = \frac{2\pi r dr h\phi}{5.615}$ (bbl)

$\Rightarrow dq = CV \frac{dP}{dt} \rightarrow dq = C\left(\frac{2\pi r dr h\phi}{5.615}\right) \frac{dP}{dt} \rightarrow$

$\frac{dq}{dr} = \frac{2\pi r\ h\phi C}{5.615} \frac{dP}{dt} \rightarrow \frac{d}{dr}\left(7.08 \frac{khr}{\mu} \frac{dP}{dr}\right) = 1.119\, rhC\phi \frac{dP}{dt}$

$\rightarrow 7.08 \frac{kh}{\mu}\left[\frac{dP}{dr} + r\frac{d^2P}{dr^2}\right] = 1.119\, rhC\phi \frac{dP}{dt} \rightarrow$

$\frac{1}{r}\left[\frac{dP}{dr} + r\frac{d^2P}{dr^2}\right] = \frac{1.119\, C\phi\bar{r}}{7.08\, k} \frac{dP}{dt} \rightarrow$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

$$\rightarrow \frac{d^2P}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{dP}{dr} = \frac{\bar{\mu} C \phi}{6.328\, k}\frac{dP}{dt} \quad //$$

- معادله بالا را Partial Differential Equation می‌نامند که:

PDE → { Second Order for r
First Order for t

$$\eta = \frac{6.328\, k}{\bar{\mu} C \phi}$$ → Diffusivity Coefficient

→ Radial Flow Diffusivity Equation for Case 1 & 4:

$$\frac{d^2P}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{dP}{dr} = \frac{1}{\eta}\frac{dP}{dt}$$ (معادله انتشار)

k : d & t : day & C_t : total compressibility

- فرضیات و محدودیت‌های معادله انتشار به شرح زیر می‌باشد:

- Homogeneous and isotropic
- Uniform thickness
- Single phase flow ($k_{eff} = k_{abs}$)
- Laminar flow
- Rock and fluid properties independent of pressure. ($C, \mu \rightarrow$ cte)

بگین به بیب زخمان که چاره‌ی او است کجا می‌روی ای دل بدین شتاب کجا

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- برای حل معادله انتشار دو Solution وجود دارد :

1- Constant-terminal-pressure solution

2- Constant-terminal-rate solution ✓✓

* روش اول برای محاسبات Water Influx در مخازن نفت و گاز استفاده می‌شود.

* از روش دوم برای حل معادله انتشار استفاده می‌کنیم که شامل دو Solution می‌باشد:

1- The E_i-function solution ✓✓

2- The dimensionless pressure P_D solution

- The E_i-function solution of diffusivity equation:

با توجه به شرایط اولیه و مرزی زیر معادله انتشار را حل نمودند: Russell و Matthews

initial condition: @ $t=0 \rightarrow P=P_e=P_i$ or $P_i=P(r,0)$

Boundary condition: * $r_e=\infty \rightarrow P_e=P(\infty,t)$

** $q=cte \rightarrow \left(\frac{dP}{dr}\right)_{r=r_w} = \frac{q\bar{r}B_o}{7.08khr_w}$

اگر دوست، حتی نی خرد ما را ... عالی نفرد شهر هوی از سر دوست

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

با توجه به شرایط اولیه و مرزی معادله انتشار به صورت زیر ارائه گردید:

$$P(r,t) = P_i + \frac{q\bar{\mu}B_o}{14.16\,kh} E_i\left(-\frac{r^2}{4\eta t}\right)$$

$P(r,t)$: Pressure at any radius at any time, psia

P_i or P_e: Initial or external pressure, psia

q: Production flow rate, STBD

μ: Viscosity, cp

B_o: FVF, $\frac{bbl}{STB}$

h: Net pay thickness, ft

k: Permeability, d

r: any radius, ft

t: any time, day

η: Diffusivity coefficient

- مرز صول بالا E_i تابع انتگرال نمایی (Exponential Integral Function) نامیده می‌شود و به صورت صفحه بعد تعریف می‌گردد:

شبیه‌ام سخنی خوش که پیر کنعان گفت — فراق یار نه آن می‌کند که بتوان گفت

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

$$\rightarrow E_i(-x) = -\int_x^{\infty} \frac{e^{-u}}{u}\, du$$

→ Solution of $E_i(-x)$ ⇒
- Table
- Figure
- Nisle Method

* Table :

Table 6-1 (Page: 387) ⇒
- For any $x \rightarrow E_i(-x) < 0$
- @ $x = 10 \rightarrow E_i(-x) = 0$

* Figure :

Figure 6.19 (Page: 388)

* Nisle Method :

$$E_i(-x) = -\int_x^{\infty} \frac{e^{-u}}{u}\, du = \ln(x) + 0.5772 - x + \frac{x^2}{2\times 2!} - \frac{x^3}{3\times 3!} + \frac{x^4}{4\times 4!} - \dots$$

$$\rightarrow E_i(-x) = \ln(x) + 0.5772 + \sum_{i=1}^{n} \frac{(-x)^n}{n\times n!}$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- برای حل تابع انتگرال نمایی با توجه به حدود x خواهیم داشت:

* $x<0.02 \Rightarrow E_i(-x) = Ln(x) + 0.5772$

* $0.02<x<10 \Rightarrow E_i(-x) = Ln(x) + 0.5772 + \sum_{i=1}^{n} \frac{(-x)^n}{n \times n!}$

« باید به ترتیب n را زیاد کنیم تا جایی که تغییر محسوسی در جواب حاصل نشود ادامه می‌دهیم »

* $x>10 \Rightarrow E_i(-x) = 0$

- اگر در مورد شعاع های کوچک یا t های بحث شود x کوچک می‌شود یعنی:

$x<0.02 \Rightarrow E_i(-x) = Ln(x) + 0.5772$

- m تابعی از فشار می‌باشد ولی چون در مورد مایعات m تغییر چندانی با فشار ندارد از m استفاده می‌کنیم.

- Pressure Drop in Reservoir for Case 1 :

$$\Delta P = P_e - P = P_i - P = -\frac{q\bar{\mu}B_o}{14.16\,kh} E_i\left(-\frac{r^2}{4\eta t}\right) \quad \& \quad \Delta P > 0$$

* هر چقدر مقدار r بزرگتر باشد مقدار E_i کوچکتر می‌شود و در نتیجه ΔP کم می‌شود و اگر r از مقداری بزرگتر شود و $E_i(-10)$ حاصل شود ΔP صفر می‌شود جایی که ΔP صفر شود یعنی افت فشار به آنجا نرسیده است.

گفتم هوای میکده غم می برود ز دل گفتا خوش آن کسان که دلی شادمان کنند

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- چون مکانیزم تولید U.S.S تراوش Expansion می‌باشد و سیالات تراکم ناپذیر مقدار $C=0$ می‌باشد پس معادله ای برای آبخوان بدست می آید:

دلیل اول: $dq = CV\frac{dP}{dt} \xrightarrow{C=0} dq = 0$

دلیل دوم: $C=0 \rightarrow \eta=\infty \rightarrow \frac{1}{\eta}\frac{dP}{dt}=0 \rightarrow \frac{d^2P}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{dP}{dr}=0$

چون شرط U.S.S این است که نسبت به زمان متغیر باشد ولی چون $\eta=\infty$ می‌باشد $\frac{1}{\eta}\frac{dP}{dt}$ که عامل زمان است را صفری کند و زمان را از بین می‌برد پس حالت‌های 10، 11، 12 به طور کلی وجود خارجی ندارند.

- Diffusivity Equation for Case 2:

$$S.S \rightarrow \frac{dP}{dt}=0 \rightarrow \frac{1}{\eta}\frac{dP}{dt}=0 \rightarrow \frac{d^2P}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{dP}{dr}=0$$

$$\xrightarrow{2B.C \,\&\, 1I.C} P=P_w+\frac{q\bar{\mu}B_o}{7.08kh}\ln\left(\frac{r}{r_w}\right)$$

- برای حل کردن از معادله P مشتق‌های اول و دوم را می‌گیریم و در معادله دیفرانسیل قرار می‌دهیم

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- تراکم‌پذیری کل، C_t به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$C_t = S_w C_w + S_o C_o + S_g C_g + C_f$$

- بنابراین با توجه به تعریف معادلات را برای سایر حالت‌های ناپایدار خواهیم داشت.

* General Formula for Unsteady State, Slightly Compressible:

$$\frac{d^2P}{dr^2} + \frac{\alpha}{r}\frac{dP}{dr} = \frac{1}{\eta}\frac{dP}{dt}$$

For Linear $\Rightarrow \alpha = 0 \longrightarrow \frac{d^2P}{dx^2} = \frac{1}{\eta}\frac{dP}{dt}$ (case 13)

For Radial $\Rightarrow \alpha = 1 \longrightarrow \frac{d^2P}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{dP}{dr} = \frac{1}{\eta}\frac{dP}{dt}$ (case 14)

For Spherical $\Rightarrow \alpha = 2 \longrightarrow \frac{d^2P}{dr^2} + \frac{2}{r}\frac{dP}{dr} = \frac{1}{\eta}\frac{dP}{dt}$ (case 15)

* نکته: حالت سیزدهم یکی از مهم‌ترین معادلات موجود در مهندسی نفت را تا انتهای خط حرون تشکیل می‌دهد.

چو کفتش کو دلم را نگاه دارد چه کفت — دوست بنده چه خیرها خدا نگه دارد

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

* General Formula for Unsteady State, Compressible:

$$\frac{d^2\Psi}{dr^2} + \frac{a}{r}\frac{d\Psi}{dr} = \frac{1}{\eta}\frac{d\Psi}{dt}$$

For Linear $\Rightarrow a=0 \rightarrow$ $\frac{d^2\Psi}{dx^2} = \frac{1}{\eta}\frac{d\Psi}{dt}$ (Case 16)

For Radial $\Rightarrow a=1 \rightarrow$ $\frac{d^2\Psi}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{d\Psi}{dr} = \frac{1}{\eta}\frac{d\Psi}{dt}$ (Case 17)

For Spherical $\Rightarrow a=2 \rightarrow$ $\frac{d^2\Psi}{dr^2} + \frac{2}{r}\frac{d\Psi}{dr} = \frac{1}{\eta}\frac{d\Psi}{dt}$ (Case 18)

- برای Cases 17, 14 داریم:

Case 14

$$\frac{d^2P}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{dP}{dr} = \frac{1}{\eta}\frac{dP}{dt}$$

$$P(r,t) = P_e + \frac{q\bar{r}B_o}{14.16\,kh}\,Ei\left(-\frac{r^2}{4\eta t}\right)$$

Case 17

$$\frac{d^2\Psi}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{d\Psi}{dr} = \frac{1}{\eta}\frac{d\Psi}{dt}$$

$$\Psi(r,t) = \Psi_e + \frac{qT}{1406\,kh}\,Ei\left(-\frac{r^2}{4\eta t}\right)$$

if $\bar{\mu}\bar{z} = cte$

$$P^2(r,t) = P_e^2 + \frac{q\bar{r}\bar{z}T}{1406\,kh}\,Ei\left(-\frac{r^2}{4\eta t}\right)$$

So:
- $P \longleftrightarrow \Psi$
- $\bar{r}B_o \longleftrightarrow T$
- $14.16 \longleftrightarrow 1406$

دل جو پرگار به هر دوری می گردد وانگه آن دایره سرگشته پیدا می شود

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

Example: An oil well is producing 200 STBD oil. What are the pressure at radius of 1000' and 10000' after 10 days of production?

Data

$\mu = 0.72$ cp

$B_o = 1.475 \frac{bbl}{STB}$

$C_o = 15 \times 10^{-6}$ psi^{-1}

$P_e = 3000$ psia

$r_w = 0.5$ ft

$k = 0.1$ d

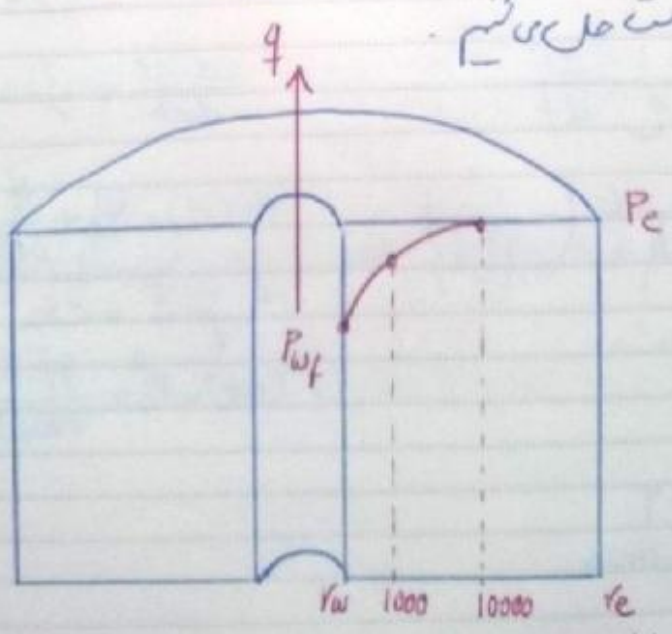
$h = 15$ ft

$\phi_o = 23.4\%$

$r_e = 15000'$

Solution

چون هر دو شعاع داده شده در مسأله به r_e نزدیک‌اند پس مسأله را با فرض اینکه چاه به حالت Steady State رسیده است حل می‌کنیم.



از لبت شیرو دان بودکه من می گفتم

این شکر گرو نگذاران تو بی چیزی نیست

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

• چون در مخزن نفت را به ما داده است C_o & ϕ_o

• پس فقط نفت داریم $\phi_t = \phi_o$ & $C_t = S_o C_o$

• اگر در مخزن گاز را می‌داد C_g & ϕ_g

• اگر در مخزن آب را می‌داد C_w & ϕ_w

$$\rightarrow P(r,t) = P_e + \frac{q\bar{\mu}B_o}{14.16\,kh} E_i\left(-\frac{r^2}{4\eta t}\right)$$

$$\eta = \frac{6.328\,k}{\bar{\mu} C_t \phi_t} = \frac{6.328 \times 0.1}{0.72 \times 15 \times 10^{-6} \times 0.234} = 25 \times 10^4$$

$$P(r_w, 10) = 3000 + \frac{200 \times 0.72 \times 1.475}{14.16 \times 0.1 \times 15} E_i\left(-\frac{0.5^2}{4 \times 25 \times 10^4 \times 10}\right) = 2830 \text{ psia}$$

$$x = 2.5 \times 10^{-8} \xrightarrow{\text{جدول}} E_i(-x) = -16.93$$

$$P(1000, 10) = 2982 \text{ psia}$$

$$x = 0.1 \xrightarrow{\text{Table}} E_i(-x) = -1.82292$$

$$P(10000, 10) = 3000 \text{ psia}$$

$$x = 10 \longrightarrow E_i(-x) = 0$$

به قصد جان من زار ناتوان انداخت نمی‌که ابروی شوخ تو در کمان انداخت

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

Example: Calculate the time needed to obtain a pressure drop of 227.5 psia, 600′ away from a well which is drilled in a huge reservoir?

Data

$q = 18000$ STBD

$k = 0.1$ d

$P_i = 3000$ psia

$C_{av} = 6 \times 10^{-6}$ psi^{-1}

$\phi = 0.0695$

$h = 141'$

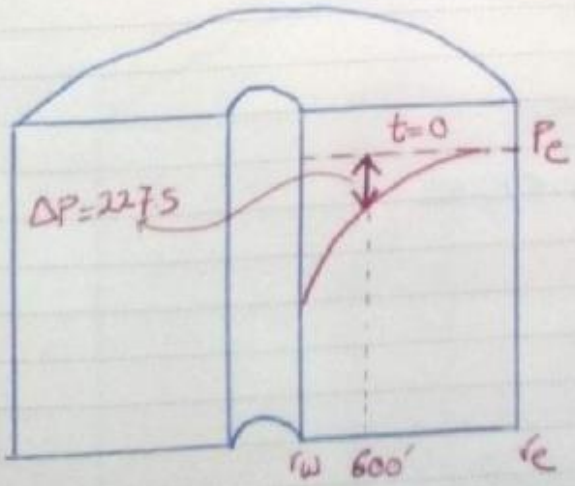
$r_w = 0.5'$

$B_o = 1.39$ $\frac{bbl}{STB}$

$\mu_o = 0.4$ cp

Solution

چون r_e را نداریم فرض می‌کنیم U.S.S می‌باشد ولی اگر نتوانستیم حساب کنیم باید حکم کردیم که حالت S.S می‌باشد و بیان



Scanned by CamScanner

@PetroBooks

پنجشنبه

۲۲ ذی‌القعده
August 25

۱۴۳۷
2016
۱۳۹۵/۰۶/۰۴

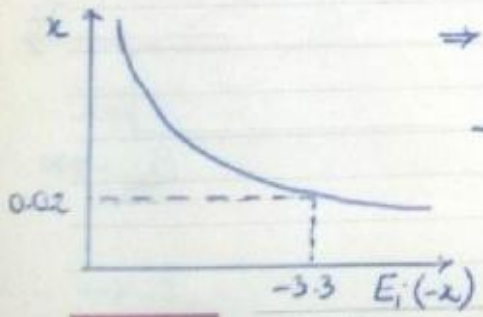
$$\Delta P = -\frac{q r B_o}{14.16\, kh} E_i\left(-\frac{r^2}{4\eta t}\right)$$

$$\eta = \frac{6.328\, k}{\mu C \phi} = \frac{6.328 \times 0.1}{0.4 \times 6 \times 10^{-6} \times 0.0695} = 3793765$$

$$227.5 = -\frac{18000 \times 0.4 \times 1.39}{14.16 \times 0.1 \times 141} E_i\left(-\frac{600^2}{4 \times 3793765 \times t}\right)$$

$$-4.5385 = E_i\left(-\frac{0.0237}{t}\right)$$

From Figure $\longrightarrow$ $E_i(-x) = -4.5385 < -3.3 \rightarrow x < 0.02$



$\Rightarrow E_i(-x) = \ln(x) + 0.5772$

$\rightarrow t = 3.95 \simeq 4$ days

جمعه

۲۳ ذی‌القعده
August 26

۱۴۳۷
2016
۱۳۹۵/۰۶/۰۵

کنون به آب می‌لعل خرقه می‌شویم — نصیب ازل از خودنی توان انداخت

۱ ۲ ۳ ۴ جمعه ۶ ۷ ۸ ۹ ۱۰ ۱۱ جمعه ۱۳ ۱۴ ۱۵ ۱۶ ۱۷ ۱۸ جمعه ۲۰ ۲۱ ۲۲ ۲۳ ۲۴ ۲۵ جمعه ۲۷ ۲۸ ۲۹ ۳۰ ۳۱

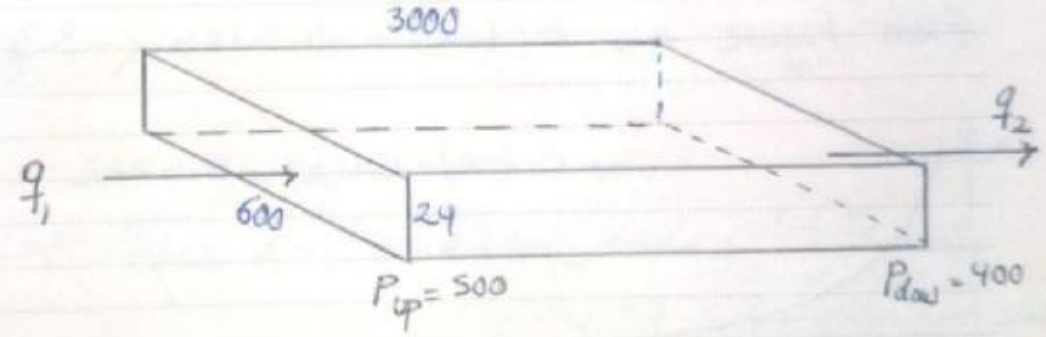
Scanned by CamScanner

@PetroBooks

Example: A porous media with $3000' \times 600' \times 24'$ dimension has a permeability of 400 md, a gas with 0.031 cp viscosity and 0.95 deviation factor is flowing in a temperature of 180 °F.

Upstream and downstream pressure are 500 and 400 psia.

-What are the actual flow rate in upstream and downstream section of this medium?



Solution

$$\text{Flow Rate} \rightarrow \begin{cases} \text{Actual} \rightarrow \left(\frac{ft^3}{day}\right) \\ \text{Standard} \rightarrow (SCFD) \end{cases} \rightarrow q_{act.} = q_{sc} \cdot B_g$$

$$B_g = \frac{V_g)_R}{V_g)_{sc}} = \frac{q_g)_R}{q_g)_{sc}} \rightarrow q_g)_R = B_g \cdot q_g)_{sc}$$

خم زلف تو دام کفر و دین است نگارستان او یک شهر این است

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

$$q_{sc} = -111.9 \frac{kA}{T} \frac{\psi_2 - \psi_1}{L} = -111.9 \frac{kA}{\bar{\mu}\bar{Z}T} \frac{P_2^2 - P_1^2}{L}$$

$$\rightarrow q_{sc} = -111.9 \times \frac{0.4 \times 600 \times 24}{0.031 \times 0.95 \times 640} \times \frac{400^2 - 500^2}{3000}$$

$$q_{sc} = 1025908.319 \quad SCFD$$

$$B_g = 0.0283 \frac{ZT}{P} \quad \left(\frac{ft^3}{SCF}\right)$$

$$B_g \rightarrow \begin{cases} \text{Upstream} \rightarrow B_g = 0.0283 \times \frac{0.95 \times 640}{500} = 0.0344 \\ \text{Downstream} \rightarrow B_g = 0.0283 \times \frac{0.95 \times 640}{400} = 0.0430 \end{cases}$$

$$\rightarrow q_{g)upstream} = 35291 \quad \frac{ft^3}{day}$$

$$\rightarrow q_{g)downstream} = 44114 \quad \frac{ft^3}{day}$$

$$\rightarrow \begin{cases} \text{upstream}: V_{app} = \frac{q}{A} = 2.45 \frac{ft}{day} \\ \text{downstream}: V_{app} = \frac{q}{A} = 3.06 \frac{ft}{day} \end{cases}$$

* چون سرعت در downstream بیشتر است پس احتمال رسوب در downstream به طور کلی در نفت دوم بیشتر است.

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

* مشابه جریان Pseudo Steady State در حالت جریان Unsteady State نیز انبساط سیال موجود در مخزن دلیل اصلی تولیدی باشد زیرا هیچ گونه منبع خارجی مانند آبده قوی و یا سیال تزریقی در پشت مرزهای جریان که باعث حرکت سیال شوند وجود ندارد و در نتیجه در حالت های 19, 20, 21 به دلیل تراکم ناپذیر بودن سیال آب و عدم قابلیت انبساط آن امکان رسیدن به رابطه مشخصی وجود ندارد. بنابراین این حالت ها به شرح زیر می باشد:

* Case 19:

Geometry: Linear

Type of Fluid: Incompressible

Flow Regime: Pseudo Steady State

* Case 20:

Geometry: Radial

Type of Fluid: Incompressible

Flow Regime: Pseudo Steady State

* Case 21:

Geometry: Spherical

Type of Fluid: Incompressible

Flow Regime: Pseudo Steady State

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

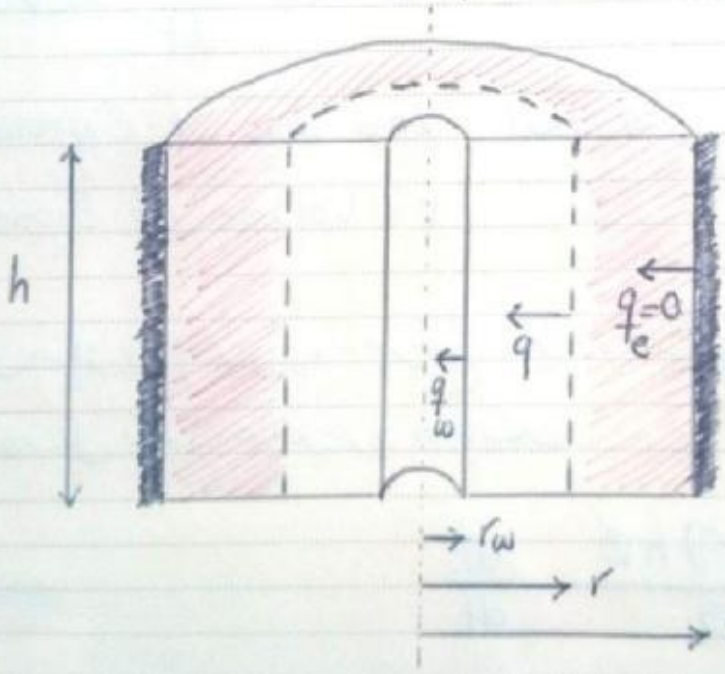
حذف می‌گویند هرآنکه تراکم پذیری سیال برابر صفر است و اساساً هیچ گونه جریانی وجود ندارد و نتیجتاً رابطه‌ای برای توصیف دبی آن‌ها وجود نخواهد داشت.

* Case 23 :

Geometry : Radial

Type of Fluid: Slightly Compressible

Flow Regime: Pseudo Steady State



$$\left.\frac{dP}{dr}\right)_{r=r_e} = 0$$

$$\frac{dP_e}{dt} = cte$$

همانطور که در شکل مشاهده می‌کنیم در جریان های شبه‌پایدار اساس تولید در هر مقطعی مشخص از مسیر جریان، انبساط حجم سیال موجود در پشت آن مقطع می‌باشد.

مگر کشایش حافظ در این خرابی بود که بخشش از لش و می سخن انداخت

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

Radial Flow → $q = 7.08 \frac{kh r^2}{\mu} \frac{dP}{dr}$

$$\rightarrow q \frac{dr}{r^2} = 7.08 \frac{kh}{\mu} dP$$

* باستی رابطه‌ای بین q و r یا q و P بدست آوریم.

$$C = -\frac{1}{V}\frac{dV}{dP} \rightarrow dV = -CV\,dP \rightarrow \frac{dV}{dt} = -CV\frac{dP}{dt}$$

$$\rightarrow q = -CV\frac{dP}{dt}$$

that: dt = Time of Expansion

V = Volume of Expanded Fluid

- لذا دبی جریان، q ورودی به هر مقطع استوانه‌ای شکل فرضی به شعاع r برابر انبساط سیال قسمت حائل خورده می‌باشد:

$$q = -C \frac{\pi(r_e^2 - r^2)h\phi}{5.615} \frac{dP}{dt}$$

- مقدار دبی جریان بوجود آمده در دیواره چاه ($r = r_w$) برابر است با:

$$q_w = -C \frac{\pi(r_e^2 - r_w^2)h\phi}{5.615} \frac{dP}{dt}$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

حال با تقسیم دو معادله بر هم داریم:

$$\frac{q}{q_w} = \frac{r_e^2 - r^2}{r_e^2 - r_w^2} \to 0$$

با ناچیز فرض کردن r_w در برابر r_e ($r_w^2 \ll\ll r_e^2$) خواهیم داشت:

$$\frac{q}{q_w} = 1 - \frac{r^2}{r_e^2} \quad \to \quad q = \left(1 - \left(\frac{r}{r_e}\right)^2\right) q_w$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

Flow Equation:

$$\int_{r_w}^{r_e} q_w\left[1-\left(\frac{r}{r_e}\right)^2\right]\frac{dr}{r} = \int_{P_w}^{P_e} 7.08\,\frac{kh}{\bar{\mu}}\,dP$$

$$q_w\left[\ln r - \frac{r^2}{2r_e^2}\right]_{r_w}^{r_e} = 7.08\,\frac{kh}{\bar{\mu}}\,(P_e-P_w)$$

$$q_w\left[\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - \frac{r_e^2}{2r_e^2} + \frac{r_w^2}{2r_e^2}\right] = 7.08\,\frac{kh}{\bar{\mu}}\,(P_e-P_w) \qquad \left(\frac{r_w^2}{2r_e^2}\to 0\right)$$

$$\rightarrow\quad q_w = 7.08\,\frac{kh}{\bar{\mu}}\,\frac{P_e-P_w}{\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)-\frac{1}{2}} \qquad //\ \left(\frac{bbl}{day}\right)$$

Pressure Equation:

$$\int_{r_w}^{r} q_w\left(1-\frac{r^2}{r_e^2}\right)\frac{dr}{r} = \int_{P_w}^{P} 7.08\,\frac{kh}{\bar{\mu}}\,dP$$

$$q_w\left[\ln\left(\frac{r}{r_w}\right) - \frac{r^2}{2r_e^2} + \frac{r_w^2}{2r_e^2}\right] = 7.08\,\frac{kh}{\bar{\mu}}\,(P-P_w) \qquad \left(\frac{r_w^2}{2r_e^2}\to 0\right)$$

$$\rightarrow\quad P = P_w + \frac{q_w\bar{\mu}}{7.08kh}\left[\ln\left(\frac{r}{r_w}\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{r}{r_e}\right)^2\right] \qquad //$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

- در معادله جریان P.S.S زمان به طور مستقیم در رابطه وجود ندارد ولی $\frac{dP_e}{dt}$ باید مشخص گردد تا در حین استفاده از معادله، P_e صحیح را وارد کنیم به طور کلی:

$$P_e = F(t) \qquad P_w = F(t)$$

* Rate of Pressure Drop

$$q_w = -C \frac{\pi(r_e^2 - r_w^2)h\phi}{5.615} \frac{dP}{dt}$$

$$\Rightarrow \frac{dP}{dt} = -\frac{1.78\, q_w}{C\phi r_e^2 h} \qquad \left(\frac{psi}{day}\right)$$

صورت داریم: $\frac{dP}{dt}$ = constant & Negative

• با توجه به فرمول بالا هرچقدر دبی تولیدی از مخزن بیشتر باشد نرخ کاهش فشار مخزن بیشتر می‌شود.

• نرخ کاهش فشار مخزن با C رابطه عکس دارد مثلاً در مخازن نفت سنگین ($C \approx 0$) $\frac{dP}{dt} = -\infty$ می‌شود یعنی با شروع تولید مخزن فشار به شدت می‌افتد و دیگر تولید نداریم.

• نرخ کاهش فشار در مخزن با ϕ رابطه عکس دارد.

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

U.S.S Eq → $\frac{d^2P}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{dP}{dr} = \frac{1}{\eta}\frac{dP}{dt}$

@ P.S.S → $\frac{dP}{dt} = cte \rightarrow \frac{dP}{dt} = A$

Pressure Eq → $P = P_w + \frac{q_w \bar{\mu}}{7.08kh}\left[\ln\left(\frac{r}{r_w}\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{r}{r_e}\right)^2\right]$

→ $\frac{dP}{dr} = \frac{q_w \bar{\mu}}{7.08kh}\left[\frac{1}{r} - \frac{r}{r_e^2}\right]$

→ $\frac{d^2P}{dr^2} = \frac{q_w \bar{\mu}}{7.08kh}\left[-\frac{1}{r^2} - \frac{1}{r_e^2}\right]$

$\xrightarrow[Eq]{U.S.S}$ $\frac{q_w \bar{\mu}}{7.08kh}\left(-\frac{1}{r^2} - \frac{1}{r_e^2} + \frac{1}{r^2} - \frac{1}{r_e^2}\right) = \frac{A}{\eta}$

→ $-\frac{2 q_w \bar{\mu}}{7.08kh r_e^2} = \frac{A}{\eta}$ & $\eta = \frac{6.328k}{\bar{\mu} C \phi}$

→ $A = \left(-\frac{2 q_w \bar{\mu}}{7.08kh r_e^2}\right)\left(\frac{6.328k}{\bar{\mu} C \phi}\right)$

→ $A = \frac{dP}{dt} = -\frac{1.78 q_w}{C\phi r_e^2 h}$

شوخی مکن که مرغ دل بی‌قرار من سودای دام عاشقی از سر به در نکرد

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

* به آسانی می‌توان با اعمال سه تغییر حالت 26 را از حالت 23 به دست آورد:

$$P \longleftrightarrow \psi$$

$$\mu B \longleftrightarrow T$$

$$7.08 \longleftrightarrow 703$$

* برای مشاهده سایر حالت‌های جریان شبه پایدار به کتاب راهنما مراجعه شود.

Scanned by CamScanner

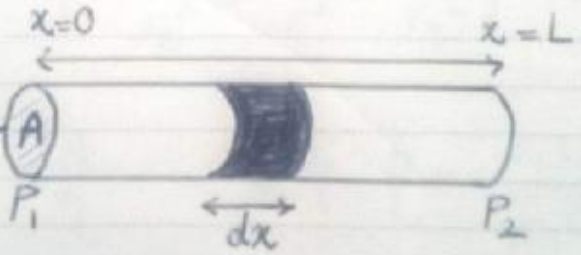
@PetroBooks

- Average Pressure in Reservoir:

در کلیه حالات مدیریت آمده از روابط معادله حالت برای معادله انتشار جهت توصیف حرکت سیال در محیط متخلخل، خواص سیال ($\bar{\mu}$ و $\bar{B}$) را ثابت فرض کرده و از انتگرال خارج می‌نمودیم برای توجیه علمی این فرض باید خواص سیال جاری به عنوان پارامترهای ثابت با مقداری متوسط در فشار میانگین مخزن محاسبه گردد. به همین منظور برای مدیریت آوردن فشار میانگین کل فضای مخزن از میانگین حجمی استفاده می‌گردد که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\bar{P} \text{ or } P_{ave} = \frac{\int_0^V P\,dV}{\int_0^V dV} \Rightarrow \bar{\mu} \;\&\; \bar{B} \;\checkmark$$

* For Case 1:



$$dV = \frac{A\,dx\,\phi}{5.615} \quad (bbl)$$

$$\rightarrow P_{ave} = \frac{\int_0^L P\left(\frac{A\phi}{5.615}\right)dx}{\int_0^L \left(\frac{A\phi}{5.615}\right)dx} \rightarrow P_{ave} = \frac{\int_0^L P\,dx}{\int_0^L dx}$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

$$* \quad P = P_1 - \frac{q\mu B_o}{1.127 k A} \cdot x \qquad \text{(Pressure Equation)}$$

$$\rightarrow P_{ave} = \frac{1}{L} \int_0^L \left(P_1 - \frac{q\mu B_o}{1.127 k A} \cdot x \right) dx$$

$$\rightarrow P_{ave} = \frac{1}{L} \left[P_1 x - \frac{q\mu B_o}{1.127 k A} \cdot \frac{x^2}{2} \right]_0^L$$

$$\rightarrow P_{ave} = P_1 - \frac{q\mu B_o}{2 \times 1.127 k A} L \quad \bullet$$

$$* \quad \frac{P_1 - P_2}{L} = \frac{q\mu B_o}{1.127 k A} \quad \bullet\bullet \qquad \text{(Flow Equation)}$$

$$\bullet \& \bullet\bullet \rightarrow P_{ave} = P_1 - \frac{P_1 - P_2}{2L} \cdot L \rightarrow P_{ave} = P_1 - \frac{P_1 - P_2}{2}$$

$$\rightarrow P_{ave} = \frac{P_1 + P_2}{2} \quad //$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

* For Case 4:

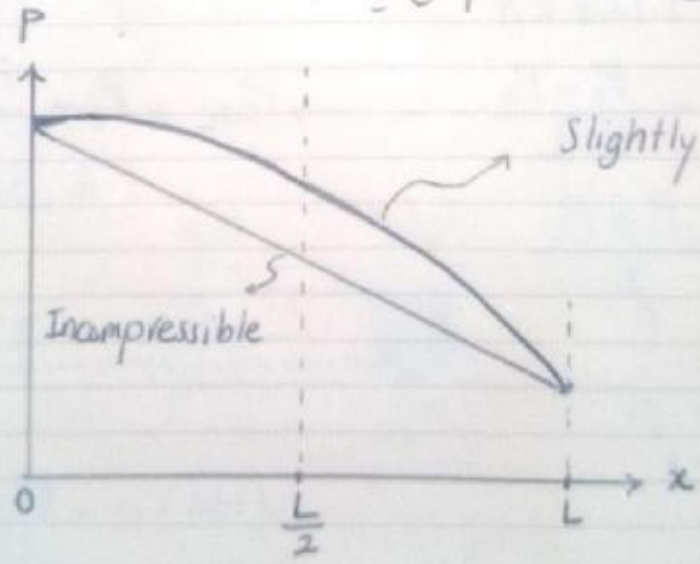
با توجه به تقریب ریاضی زیر داریم:

$$e^x \simeq 1+x$$

در روابط نهایی داری برای حرکت سیال تراکم پذیر در حالت پایدار را جایگزین این حالت شبیه حالت اول می‌باشد:

$$P_{ave} = \frac{P_1 + P_2}{2}$$

* بدیهی است که فشار میانگین سیال تراکم پذیر (به دلیل قابلیت ارتجاع سیال) بیشتر از فشار میانگین همان سیال تراکم ناپذیر است.



Scanned by CamScanner

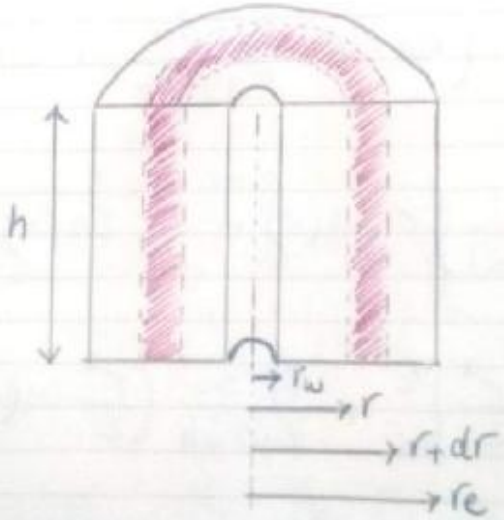
@PetroBooks

* For Case 7:

$$\Psi_{ave} = \frac{\Psi_1 + \Psi_2}{2} \quad // \quad \& \quad \Psi_{ave} = \frac{P_{ave}^2}{\bar{\mu}\bar{z}}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \Psi_1 = \dfrac{P_1^2}{\bar{\mu}\bar{z}} \\ \Psi_2 = \dfrac{P_2^2}{\bar{\mu}\bar{z}} \end{cases} \Rightarrow P_{ave}^2 = \frac{P_1^2 + P_2^2}{2} \quad //$$

* For Case 2:



$$V = \frac{\pi r^2 h \phi}{5.615}$$

$$\frac{dV}{dr} = \frac{2\pi r h \phi}{5.615}$$

$$\rightarrow \quad dV = \frac{2\pi r\, dr\, h \phi}{5.615}$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

$$P_{ave} = \frac{\int_{r_w}^{r_e} P\left(\frac{2\pi r\,dr\,h\phi}{5.615}\right)}{\int_{r_w}^{r_e}\left(\frac{2\pi r\,dr\,h\phi}{5.615}\right)} \Rightarrow P_{ave} = \frac{\int_{r_w}^{r_e} P r\,dr}{\frac{1}{2}(r_e^2 - r_w^2)}$$

$$\rightarrow P_{ave} = \frac{2}{r_e^2}\int_{r_w}^{r_e} P r\,dr$$

$$\star\ P = P_w + \frac{q\mu B_o}{7.08kh}\ln\left(\frac{r}{r_w}\right) \quad \text{(Pressure Equation)}$$

$$\rightarrow P_{ave} = \frac{2}{r_e^2}\int_{r_w}^{r_e}\left(P_w r + \frac{q\mu B_o}{7.08kh}\cdot r\ln\left(\frac{r}{r_w}\right)\right)dr$$

Note: $$\int r\ln(r) = \frac{r^2}{2}\ln(r) - \frac{r^2}{4}$$

$$\rightarrow P_{ave} = \frac{2}{r_e^2}\left[P_w\frac{r^2}{2}\Big|_{r_w}^{r_e} + \frac{q\mu B_o}{7.08kh}\left(\frac{r^2}{2}\ln\left(\frac{r}{r_w}\right) - \frac{r^2}{4}\right)_{r_w}^{r_e}\right]$$

$$\rightarrow P_{ave} = \frac{2}{r_e^2}\left[P_w\left(\frac{r_e^2 - r_w^2}{2}\right) + \frac{q\mu B}{7.08kh}\left(\frac{r_e^2}{2}\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - \frac{r_e^2}{4} + \frac{r_w^2}{4}\right)\right]$$

$$\rightarrow P_{ave} = P_w + \frac{q\mu B_o}{7.08kh}\left[\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - \frac{1}{2}\right]$$

Scanned by CamScanner

@PetroBooks

$$\frac{P_e - P_w}{\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)} = \frac{q\bar{\mu}B_o}{7.08kh} \quad \text{(Flow Equation)}$$

$$\xrightarrow{\text{\&}} \quad P_{ave} = P_w + \frac{P_e - P_w}{\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}\left[\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - \frac{1}{2}\right]$$

* نکته: عدد $-\frac{1}{2}$ در رابطه P_{ave} بیانگر سیستم‌های Unbounded می‌باشد.

* نکته: در این حالت داریم:

$$P_e - P_{ave} = \frac{1}{2} \times \frac{q\bar{\mu}B_o}{7.08kh}$$

* For Case 5:

$$e^x \simeq 1 + x$$

$$\rightarrow P_{ave} = P_w + \frac{P_e - P_w}{\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}\left[\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - \frac{1}{2}\right]$$

* For Case 8:

$$\psi_{ave} = \psi_w + \frac{\psi_e - \psi_w}{\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}\left[\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - \frac{1}{2}\right]$$

شب ظلمت بیابان بگذار تا بدانی / کز آن که شمع رویت بر هم چراغ دارد

Scanned by CamScanner