



Natural Gas Processing

Presented by:
Nafiseh Binesh

فصل سوم: خواص گاز طبیعی

فهرست:

- ۳-۱: تعیین دما و فشار بحرانی مخلوط گاز طبیعی
- ۳-۲: تعیین ضریب تراکم پذیری مخلوط گاز طبیعی
- ۳-۳: تعیین ویسکوزیته مخلوط گاز طبیعی
- ۳-۴: تعیین گرمای ویژه مخلوط گاز طبیعی

۳-۱: تعیین دما و فشار بحرانی برای مخلوط گاز طبیعی

- برای یک ماده خالص، خواص فیزیکی به سادگی در دسترس است.
- دما و فشار بحرانی برای هر یک از اجزاء خالص گاز طبیعی در جدول ۴-۹ (صفحه ۱۰۸ کتاب کتز) ارائه شده است.
- چالش اصلی، محاسبه دما و فشار بحرانی برای یک مخلوط گاز طبیعی که حاوی اجزاء مختلف با درصدهای مختلف می باشد.

Table 4-9. Critical Properties of Natural Gas Constituents

Constituent	Molecular weight	Critical temperature, °R	Critical pressure, psia
Methane.....	16.04	343.3	673.1
Ethane.....	30.07	549.8	708.3
Propane.....	44.09	666.0	617.4
Isobutane.....	58.12	734.7	529.1
<i>n</i> -Butane.....	58.12	765.3	550.7
Isopentane.....	72.15	829.8	483
<i>n</i> -Pentane.....	72.15	845.6	489.5
Isohexane, 121*.....	72.15	880.9	450.5
Isohexane, 140*.....	84.16	896.5	440.1
<i>n</i> -Hexane, 155*.....	84.16	914.1	439.7
Isoheptane, 174*.....	98.18	937.6	417
Isoheptane, 194.....	98.18	955.9	400
<i>n</i> -Heptane, 209.....	98.18	972.3	396.9
Isooctane, 229.....	114.22	999	379
Isooctane, 240.....	118.22	1019	391
<i>n</i> -Octane, 258.....	114.22	1024.9	362.1
<i>n</i> -Nonane.....	128.25	1071	331
<i>n</i> -Decane.....	142.28	1114	306
Helium.....	4.0	9.4	33.2
Air.....	29.0	238.4	547
Nitrogen.....	28.02	226.9	492
Oxygen.....	32.0	277.9	730
Carbon dioxide.....	44.01	547.7	1073
Hydrogen sulfide.....	34.08	672.4	1306

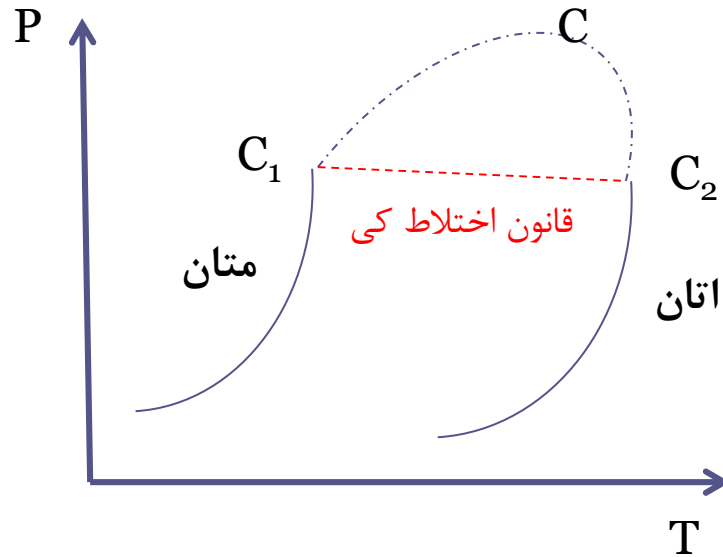
برای محاسبه دما و فشار بحرانی برای مخلوط گاز طبیعی سه روش وجود دارد:

۱- قانون اختلاط کی Kay's mixing rule

۲- روابط تجربی توماس

۳- استفاده از نمودارها

الف. روش اول: قانون اختلاط کی kay's mixing rule



در این قانون، نقطه بحرانی عددی روی خط اتصال دو نقطه بحرانی است که با واقعیت کمی تفاوت دارد، ولی به عنوان یک قانون سرانگشتی قابل قبول است.

قانون اختلاط کی برای مخلوط چند جزء به صورت زیر می باشد:

$$T_c = \sum (y_i \cdot T_{ci}) = y_1 T_{c1} + y_2 T_{c2} + \dots$$

$$P_c = \sum (y_i \cdot P_{ci}) = y_1 P_{c1} + y_2 P_{c2} + \dots$$

که در این رابطه T_{ci} و P_{ci} برای هر جزء از Table 4.9 حاصل می شود.

ب. روش دوم: روابط تجربی توماس

در صورتی می توان از این روش استفاده کرد که در مخلوط گازی میزان H_2S بیشتر از ۳٪ و میزان N_2 بیشتر از ۵٪ نباشد، و یا بطور کلی درصد غیرهیدروکربنها بیشتر از ۷٪ نباشد. این روابط به صورت زیر می باشند:

$$P_c = 709.604 - 58.718 \gamma_g \quad (\text{psia})$$

$$T_c = 170.491 + 307.244 \gamma_g \quad (^\circ R)$$

در این رابطه:

$$\gamma_g = \frac{M_g}{M_{air}} = \frac{\sum y_i M_i}{M_{air}}$$

که مقدار M_i جرم مولکولی هر جزء بوده و از Table 4-9 حاصل می شود.

روش سوم: استفاده از نمودارها

- استفاده از Fig. 4.22 صفحه ۱۱۲ کتاب کتز

- محور افقی $\gamma_g = \frac{M_g}{M_{air}}$ ← اتصال به خط چین ← محور عمودی T_c و P_c

- نکته بسیار مهم: در صورتیکه در مخلوط گازی، مواد غیرهیدروکربنی وجود داشت، با استفاده از نمودارهای تصحیح Fig. 4-108 صفحه ۱۷۷ کتاب کتز، تصحیح لازم را انجام میدهیم. مقدار تصحیح خوانده شده از این نمودار را با مقدار T_c و P_c بدست آمده از Fig. 4-22 جمع می کنیم.

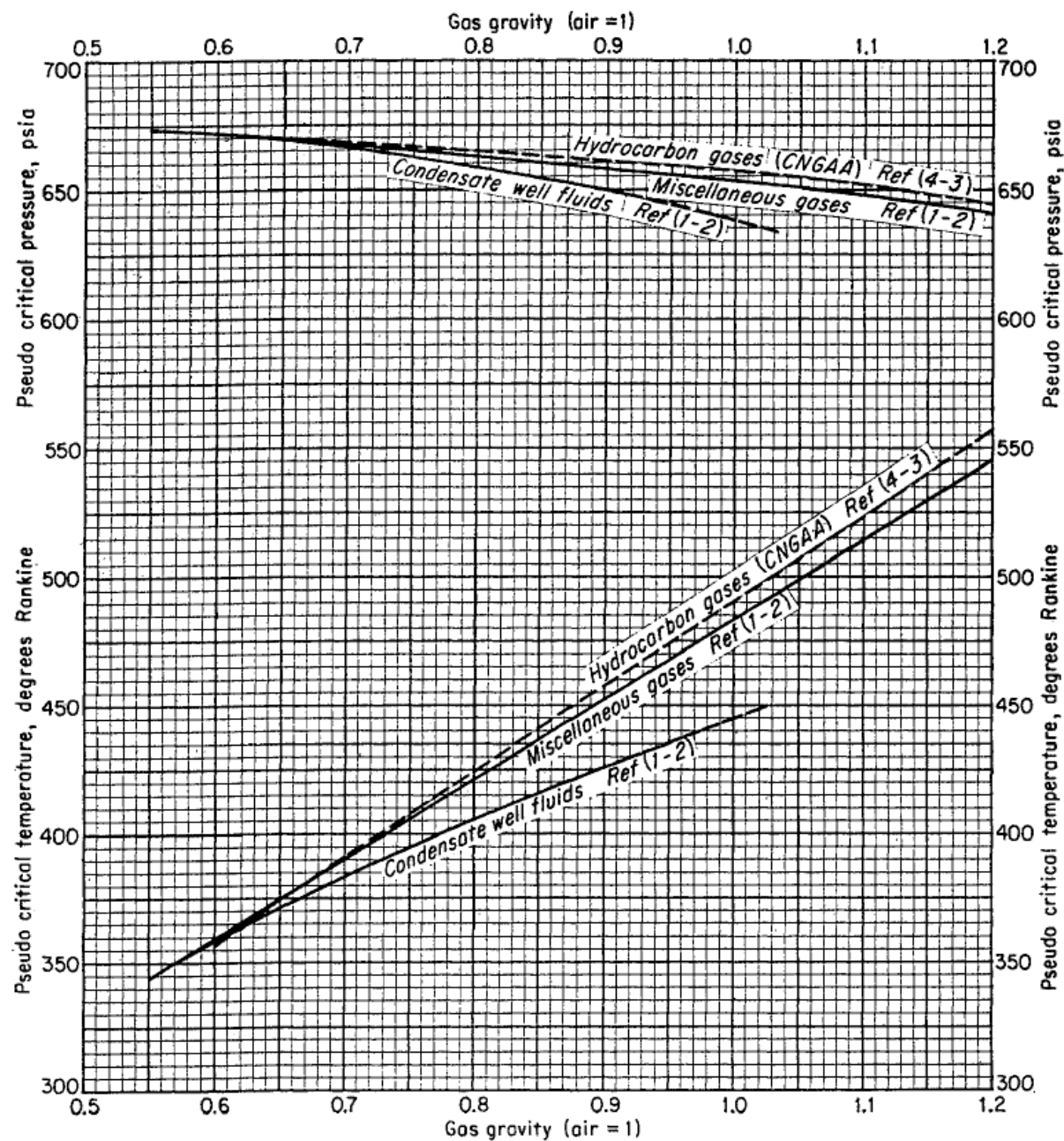


Fig. 4-22. Pseudocritical properties of natural gases. (Brown, Katz, Oberfell, and Alden, 1-2.)

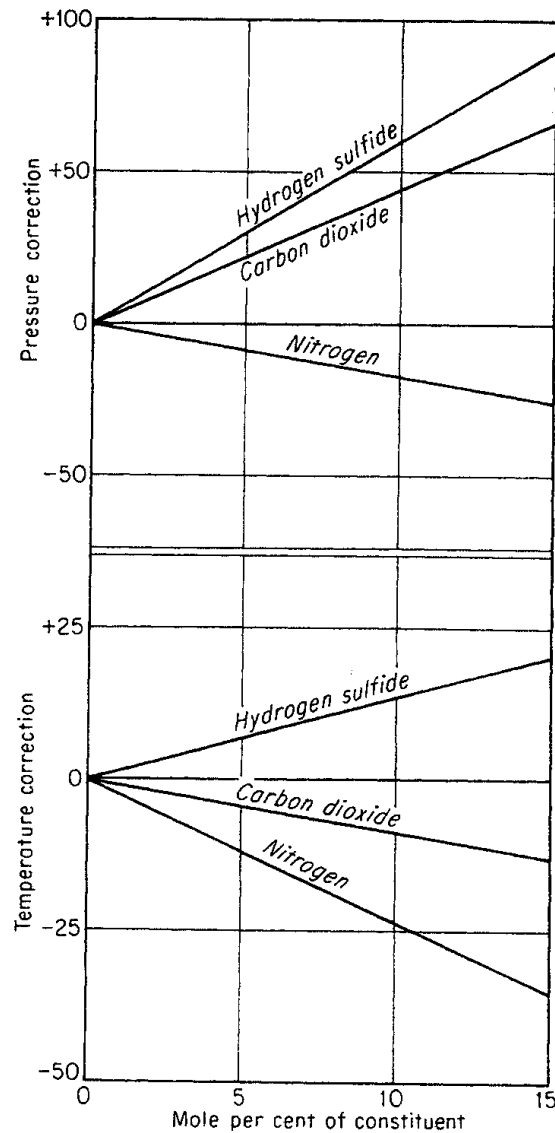


Fig. 4-108. Corrections to pseudocritical conditions as read from Fig. 4-22, to be used when finding viscosity of gases containing N_2 , CO_2 , and H_2S .

مثال: یک مخلوط گاز با ترکیب زیر داریم. برای این مخلوط دما و فشار بحرانی را از سه روش گفته شده محاسبه کنید.

Component	Mole%	y_i	M_i	$P_{ci}(\text{psia})$	$T_{ci}(^{\circ}\text{R})$
N_2	1.4%				
CH_4	93%				
C_2H_6	3.29%				
C_3H_8	1.36%				
$\text{n-C}_4\text{H}_{10}$	0.37%				
$\text{i-C}_4\text{H}_{10}$	0.23%				
$\text{n-C}_5\text{H}_{12}$	0.1%				
$\text{i-C}_5\text{H}_{12}$	0.12%				
C_6H_{14}	0.08%				
$\text{n-C}_9\text{H}_{20}$	0.05%				

• روش اول: قانون اختلاط کی

$$P_c = \sum y_i P_{ci} = (0.014 * 492) + (0.93 * 673.1) + \dots + (0.0005 * 331) =$$

$$T_c = \sum y_i T_{ci} = (0.014 * 226.9) + (0.93 * 343.3) + \dots + (0.0005 * 1071) =$$

• روش دوم: روابط تجربی توماس

$$M_g = \sum y_i M_i = (0.014 * 28.02) + (0.93 * 16.04) + \dots + (0.0005 * 128.25) =$$

$$\gamma_g = \frac{M_g}{M_{air}} = \frac{17.54}{29} =$$

$$P_c = 709.604 - 58.718 \gamma_g =$$

$$T_c = 170.491 + 307.244 \gamma_g =$$

روش سوم: استفاده از نمودارها

در قسمت قبل $\gamma_g = 0.6$ بدست آمد.

✓ محور افقی: $\gamma_g = 0.6$ ← از قسمت پایین Fig. 4-22 ←

✓ محور افقی: $\gamma_g = 0.6$ ← از قسمت بالای Fig. 4-22 ←

✓ با توجه به اینکه مخلوط حاوی 1.4% جزء غیرهیدروکربنی نیتروژن است، از Fig. 4-108

اصلاح لازم را انجام می دهیم:

✓ مقدار تصحیح دما از نمودار پایینی =

✓ مقدار تصحیح فشار از نمودار بالایی =

۳-۲: ضریب تراکم پذیری مخلوط گاز طبیعی Z

- همانطور که می دانیم برای گاز ایده آل : $PV=RT$
- اما مخلوط گاز طبیعی یک گاز ایده آل نبوده و $PV=ZRT$
- در این بخش هدف تعیین ضریب تراکم پذیری Z برای یک مخلوط گاز طبیعی است که در دو حالت باید بررسی گردد.

- حالت اول: گازی که فاقد CO_2 و H_2S است (گاز شیرین)

✓ ابتدا از یکی از روش های گفته شده در بخش قبلی دما و فشار بحرانی را

برای مخلوط گاز طبیعی محاسبه می کنیم.

✓ سپس دما و فشار نقصانی را تعیین می نماییم.

$$P_r = \frac{P}{P_c} \quad ; \quad T_r = \frac{T}{T_c}$$

✓ در انتها با استفاده از یکی از نمودارهای زیر Z را می خوانیم:

➤ Fig. 4-16: گاز طبیعی (صفحه ۱۰۶ کتاب کتز)

➤ Fig. 4-16a: گاز طبیعی در فشار بالا (صفحه ۱۰۷ کتاب کتز)

➤ Fig. 4-17: گاز طبیعی در نزدیک فشار اتمسفر (صفحه ۱۰۸ کتاب کتز)

- روش نمودارخوانی:

- ✓ محور افقی: فشار نقصانی P_r

- ✓ منحنی ها: دمای نقصانی T_r

- ✓ محور عمودی: ضریب تراکم پذیری Z

- اینکه از محور افقی بالا P_r را بخوانیم یا از محور افقی پایین، به محدوده P_r وابسته است.

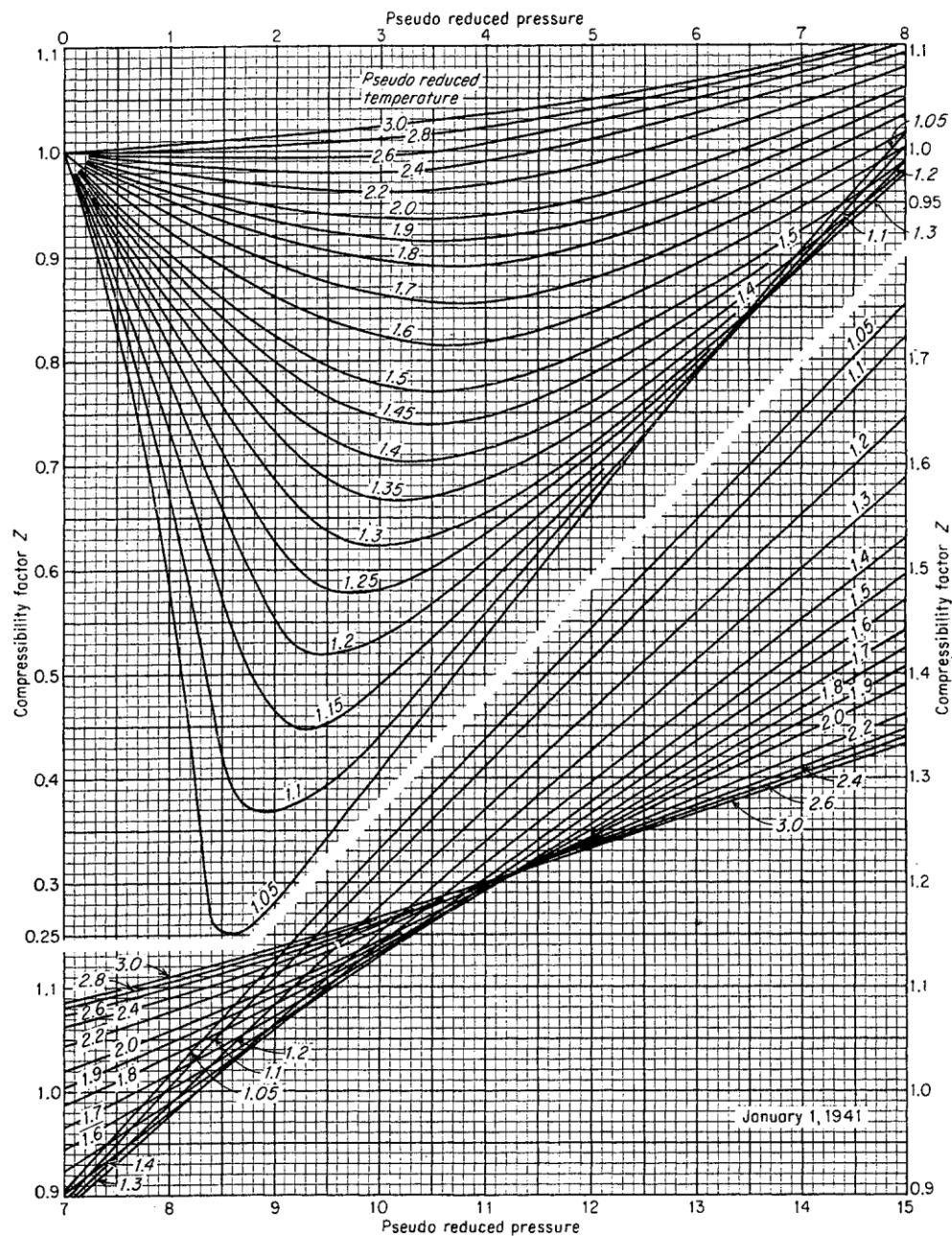


Fig. 4-16. Compressibility factor for natural gases. (Standing and Katz, 4-87. Courtesy AIME.)

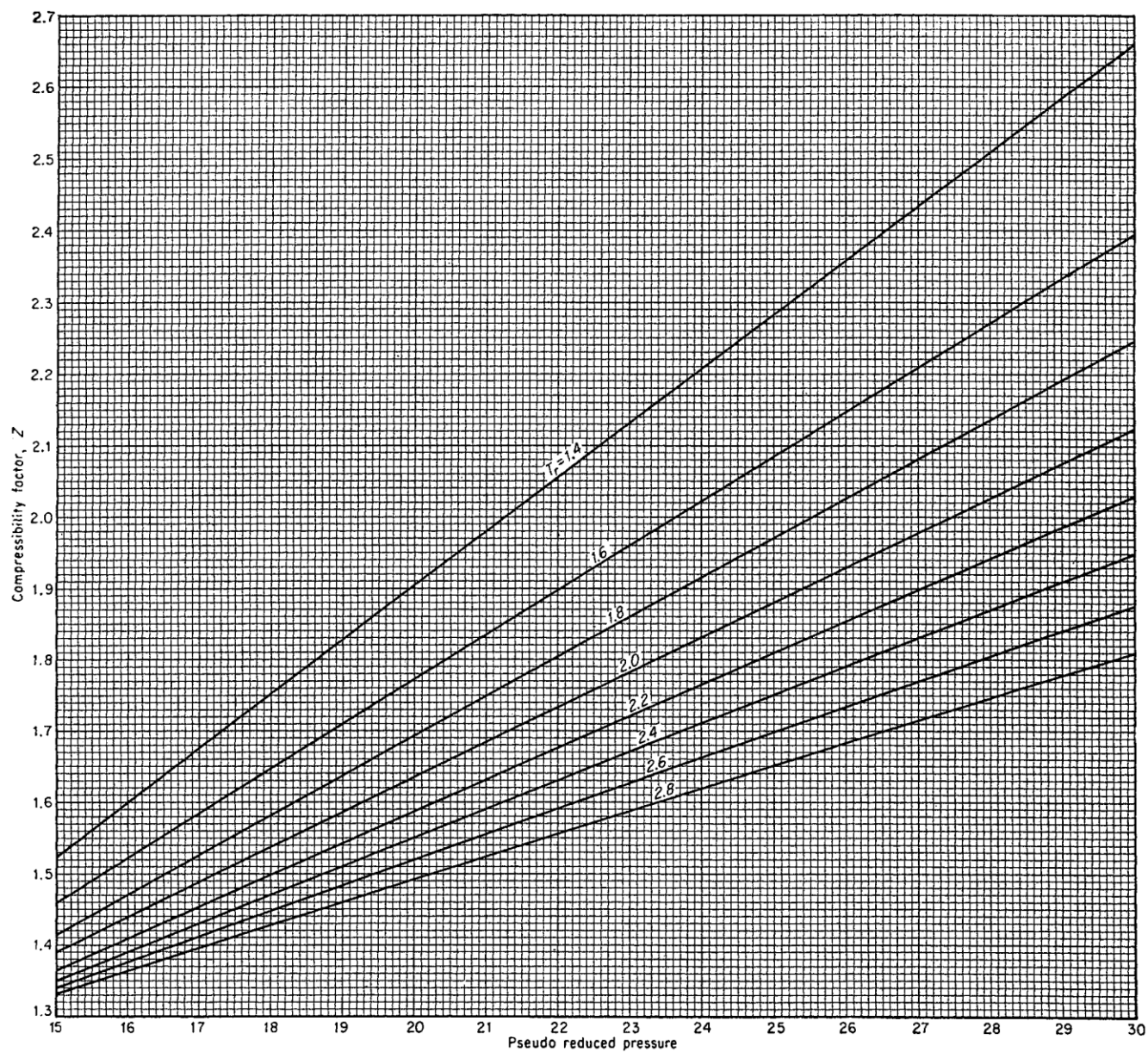


Fig. 4-16a. Compressibility factors for natural gases at pressures of 10,000 to 20,000 psia.

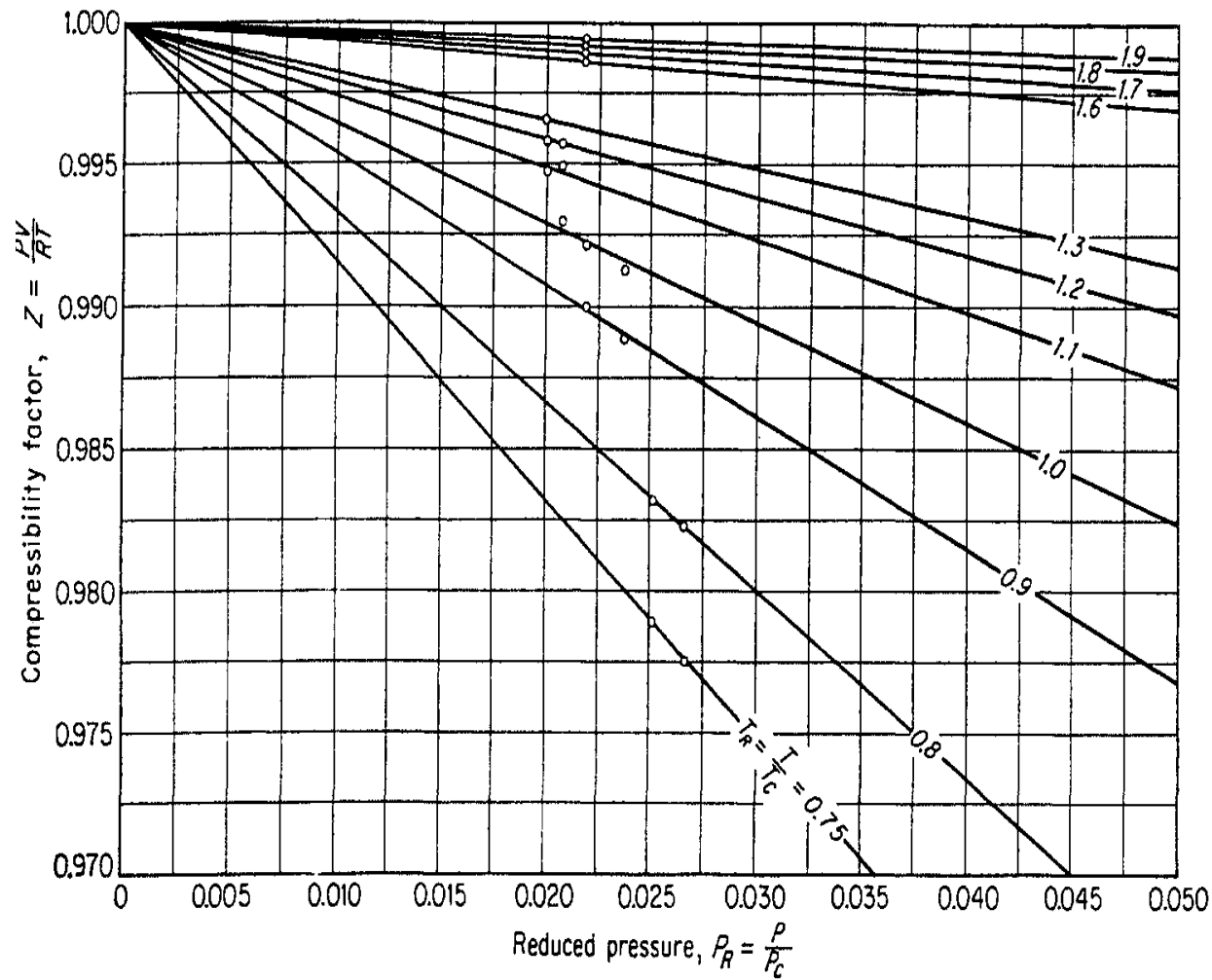


Fig. 4-17. Compressibility factors for natural gas near atmospheric pressure.

حالت دوم: گازی که حاوی CO_2 و H_2S است (گاز ترش)

- در این حالت پارامتر ε را به صورت زیر تعریف می کنیم:

$$\varepsilon = 120(A^{0.9} - A^{1.6}) + 15(B^{0.5} - B^4)$$

A: مجموع کسر مولی CO_2 و H_2S است.

B: کسر مولی H_2S است.

- حال برای محاسبه ضریب تراکم پذیری Z به روش زیر عمل می کنیم:

✓ ابتدا از یکی از روش های گفته شده در بخش قبلی دما و فشار بحرانی را برای مخلوط گاز طبیعی محاسبه می کنیم.

✓ سپس T'_c و P'_c را توسط معادلات زیر محاسبه می کنیم:

$$T'_c = T_c - \varepsilon$$

$$P'_c = \frac{P_c T'_c}{T_c + B \varepsilon (1 - B)}$$

✓ سپس دما و فشار نقصانی را بدست می آوریم:

$$P_r = \frac{P}{P'_c} \quad ; \quad T_r = \frac{T}{T'_c}$$

✓ سپس مشابه با حالت قبل از یکی از نمودارهای Fig 4-16، Fig. 4-16a یا Fig. 4-17 مقدار ضریب تراکم پذیری را می خوانیم.

- مثال: برای مخلوط گازی داده شده در مثال قبل، ضریب تراکم پذیری را در فشار 2000 psia و دمای 200°F بدست آورید.

• حل:

✓ ترکیب گازی داده شده در مثال قبلی یک گاز شیرین است. در مثال قبل دما و فشار بحرانی بدست آمد:

$$P_c = 664.47 \text{ psia}$$

$$T_c = 356.93 \text{ } ^\circ\text{R}$$

✓ در نتیجه دما و فشار نقصانی حاصل می شود.

$$P_r = \frac{P}{P_c} = \quad ; \quad T_r = \frac{T}{T_c} =$$

✓ از Fig. 4-16 مقدار ضریب تراکم پذیری را می خوانیم:

مثال: برای گاز ترش با ترکیب درصد داده شده، در فشار 2500psia و دمای 650°R ، ضریب تراکم پذیری را محاسبه کنید.

Component	Mole%	y_i	$P_{ci}(\text{psia})$	$T_{ci}(^{\circ}\text{R})$
CH_4	89.1%			
C_2H_6	2.65%			
C_3H_8	1.9%			
n- C_4H_{10}	0.3%			
i- C_4H_{10}	0.2%			
N_2	0.65%			
CO_2	1%			
H_2S	4.2%			

- ابتدا پارامتر ε را محاسبه می کنیم:

- سپس با استفاده از قانون اختلاط کی (یا هر روش دیگری) دما و فشار بحرانی را محاسبه می کنیم:

$$P_c = \sum y_i P_{ci} =$$

$$T_c = \sum y_i T_{ci} =$$

✓ سپس T'_c و P'_c را محاسبه می کنیم:

$$T'_c = T_c - \varepsilon =$$

$$P'_c = \frac{P_c T'_c}{T_c + B\varepsilon(1-B)} =$$

✓ سپس دما و فشار نقصانی را بدست می آوریم:

$$P_r = \quad ; \quad T_r =$$

✓ از Fig. 4-16 مقدار ضریب تراکم پذیری را می خوانیم:

۳-۳: تعیین ویسکوزیته مخلوط گاز طبیعی

- ویسکوزیته سیال یک معیار سنجش برای مقاومت سیال در مقابل جریان است.

- ویسکوزیته دینامیکی μ : kg/m.s یا N.s/m^2

- ویسکوزیته سینماتیکی $\nu = \mu/\rho$: m^2/s

- معمولاً ویسکوزیته دینامیکی بر حسب سانتی پواز **cp** بیان می شود:

$$1 \text{ cp} = 0.001 \text{ kg/m.s} = 6.72 \times 10^{-4} \text{ b}_m/\text{ft.s}$$

- سه روش معمول برای اندازه گیری ویسکوزیته مخلوط گاز طبیعی:

✓ روش اول: Carr et al. Correlation

✓ روش دوم: استفاده از داده های هر جزء در مخلوط گازی single-component data

✓ روش سوم: Lee et al. Correlation

روش اول: Carr et al. Correlation

الگوریتم حل:

۱- محاسبه $M_g = \sum M_i y_i$ و سپس $\gamma_g = M_g / M_{air}$

۲- محاسبه p_c و T_c از یکی از سه روش گفته شده و سپس محاسبه p_r و T_r

۳- از Figure 4-98 در دمای خواسته شده و فشار 1 atm، μ_1 را می خوانیم (cp)

۴- در صورت وجود N_2 ، CO_2 و H_2S از نمودارهای تصحیح موجود در Figure 4-98 تصحیح μ_1 را انجام میدهیم. مقدار تصحیح به مقدار μ_1 اضافه می شود.

۵- از Figure 4-102 یا Figure 4-103 با توجه به T_r و p_r مقدار μ/μ_1 را بدست می آوریم که در

نهایت μ قابل محاسبه خواهد بود. در این مرحله در واقع تصحیح فشار انجام می شود.

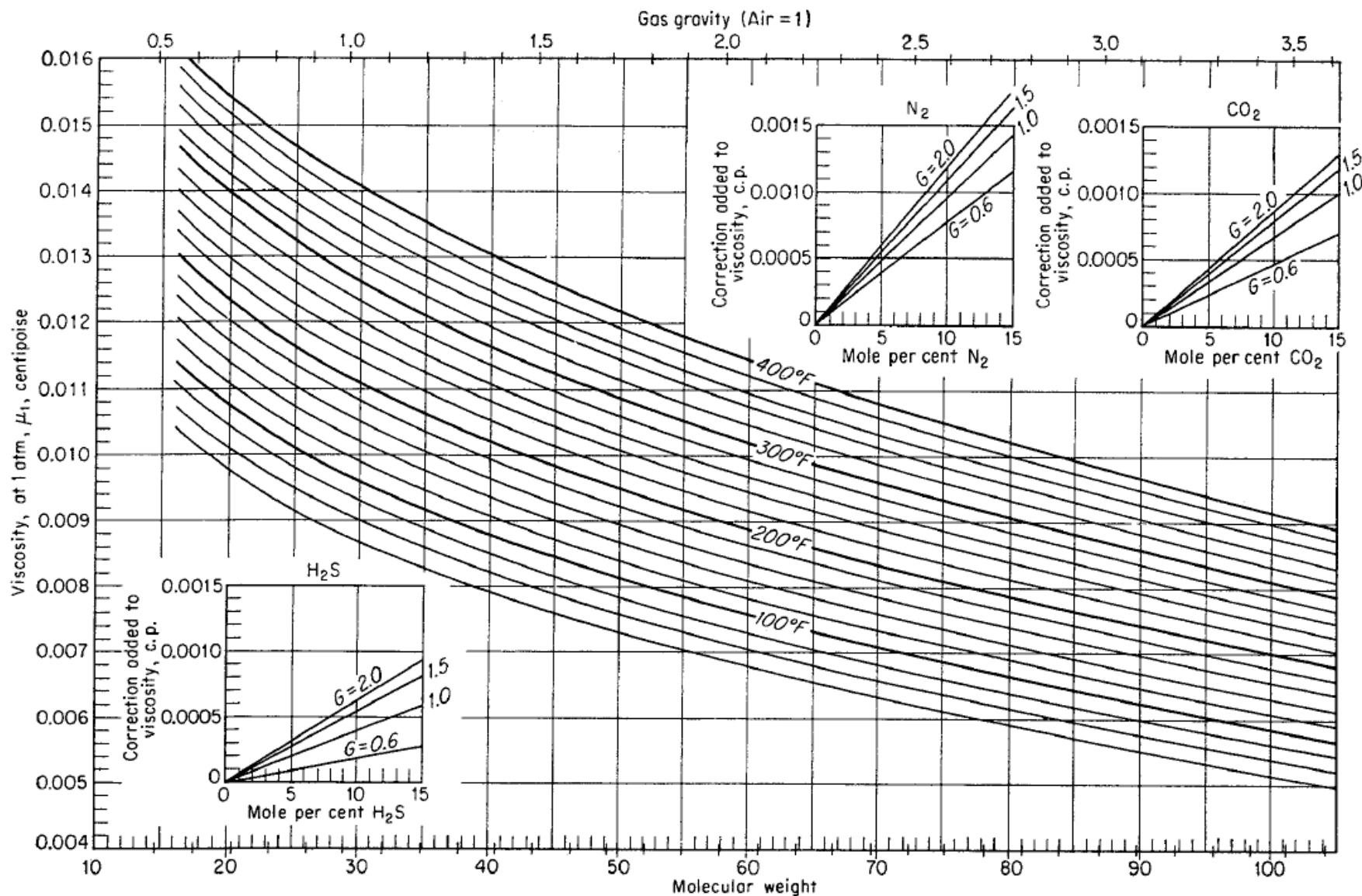
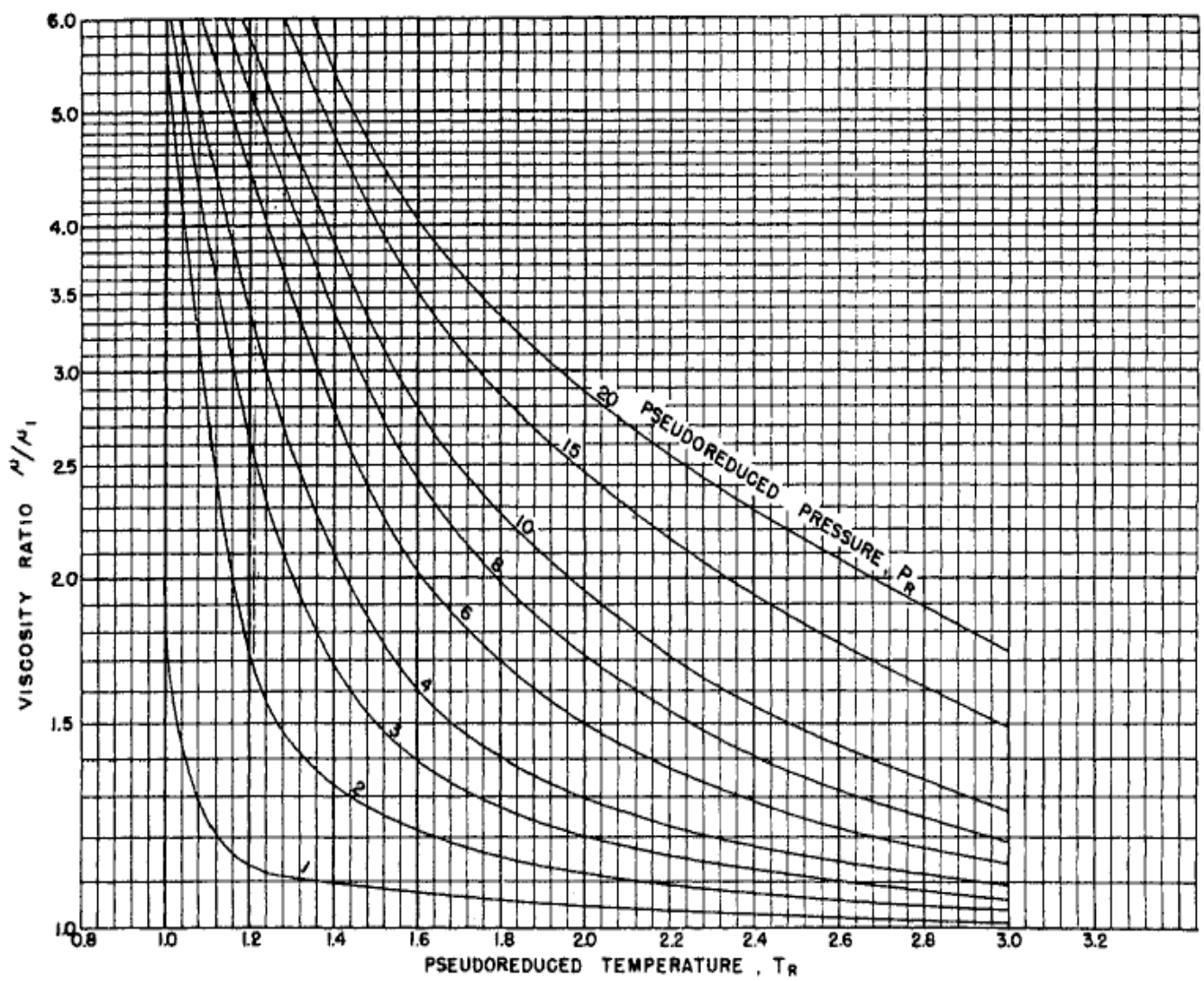


Fig. 4-98. Viscosity of gases at 1 atm pressure. (Carr, Kobayashi, and Burrows, 4-106. Courtesy AIME.)

Fig. 4-102. Correlation of viscosity ratio with reduced temperature. (Carr, 4-106. Courtesy AIME.)



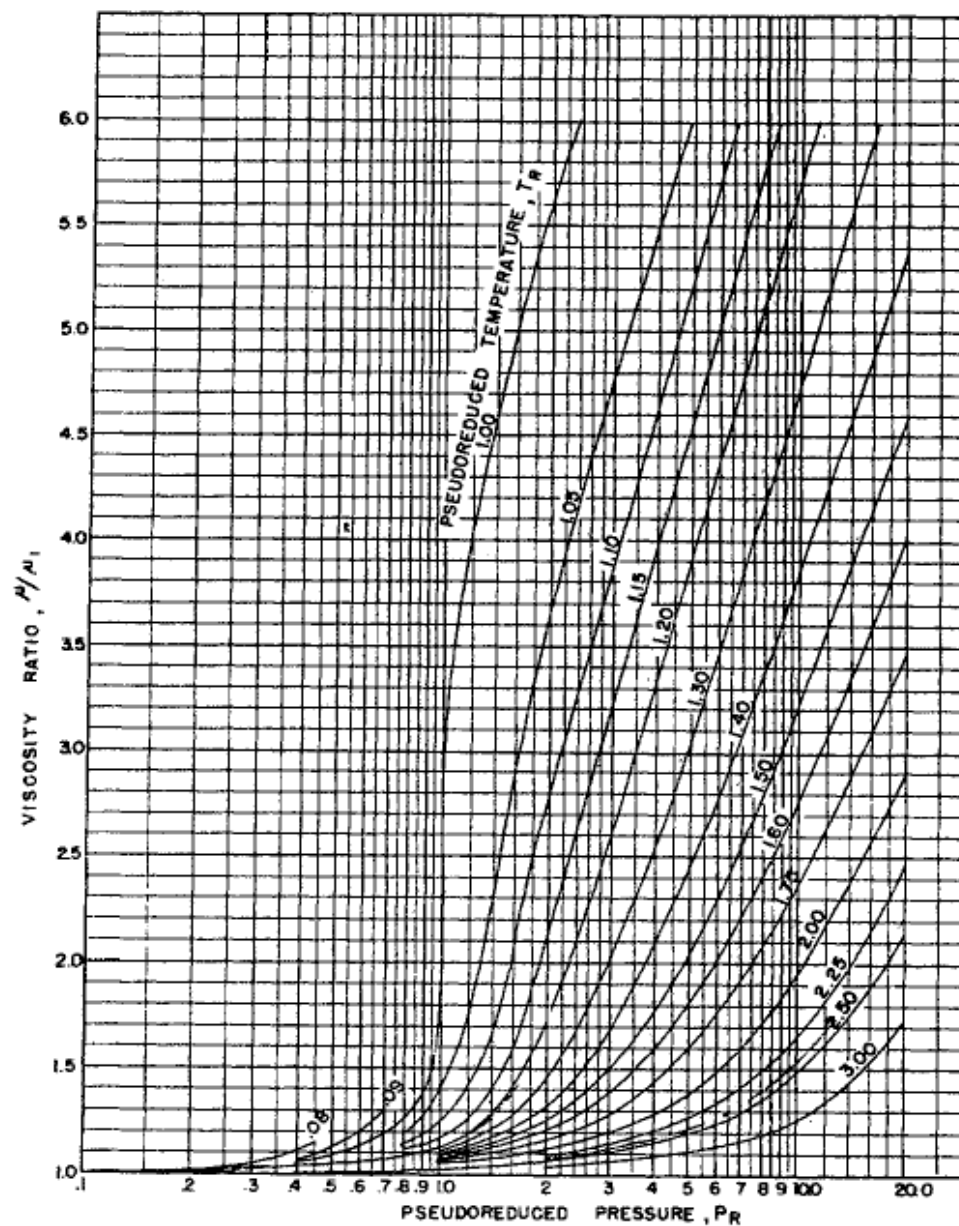


Fig. 4-103. Correlation of viscosity ratio with reduced pressure.
(Carr, Kobayashi, and Burrows, 4-106. Courtesy AIME.)

مثال: ویسکوزیته گاز با ترکیب زیر را در فشار 2000 psia و دمای 200°F بدست آورید.

Component	Mole%	y_i	M_i
N ₂	1.4%		
CH ₄	93%		
C ₂ H ₆	3.29%		
C ₃ H ₈	1.36%		
n-C ₄ H ₁₀	0.37%		
i-C ₄ H ₁₀	0.23%		
n-C ₅ H ₁₂	0.1%		
i-C ₅ H ₁₂	0.12%		
C ₆ H ₁₄	0.08%		
n-C ₉ H ₂₀	0.05%		

- مرحله اول: محاسبه M_g و γ_g

$$M_g = \sum y_i M_i = (0.014 \cdot 28.02) + (0.93 \cdot 16.04) + \dots + (0.0005 \cdot 128.25) =$$

$$\gamma_g = \frac{M_g}{M_{air}} =$$

- مرحله دوم: محاسبه p_c و T_c از روش توماس (یا هر روش دیگری) و سپس محاسبه p_r و T_r

$$P_c = 709.604 - 58.718 \gamma_g =$$

$$\rightarrow p_r = p/p_c =$$

$$T_c = 170.491 + 307.244 \gamma_g =$$

$$\rightarrow T_r = T/T_c =$$

مرحله سوم: تعیین μ_1 از Figure 4-98

✓ محور افقی: $M_g=17.54$ ← منحنی $T=200^\circ\text{F}$ ←

مرحله چهارم: تصحیح μ_1 به دلیل وجود N_2

✓ محور افقی N_2 1.4% ← منحنی ها $\gamma_g=0.6$ ←

✓ اضافه کردن مقدار تصحیح به μ_1 :

مرحله پنجم: تعیین μ/μ_1 از Figure 4-102

✓ محور افقی: $T_r = 1.9$ ← منحنی $p_r = 2.9$ ←

محاسبه μ نهایی:

روش دوم: استفاده از داده های هر جزء گازی

الگوریتم حل:

۱- محاسبه p_c و T_c از یکی از سه روش گفته شده و سپس محاسبه p_r و T_r

۲- تعیین ویسکوزیته هر یک از اجزاء گازی را در فشار اتمسفری: μ_{1gi} : برای این منظور از Figure 4-97 استفاده می کنیم که در دمای مسئله می توان μ_{1gi} را خواند.

۳- محاسبه μ_{1g} برای مخلوط گازی از رابطه زیر:

$$\mu_{1g} = (\sum \mu_{1gi} y_i M_i^{0.5}) / (\sum y_i M_i^{0.5})$$

۴- از Figure 4-102 یا Figure 4-103 با توجه به T_r و p_r مقدار μ/μ_1 را بدست می آوریم که در نهایت μ قابل محاسبه خواهد بود.

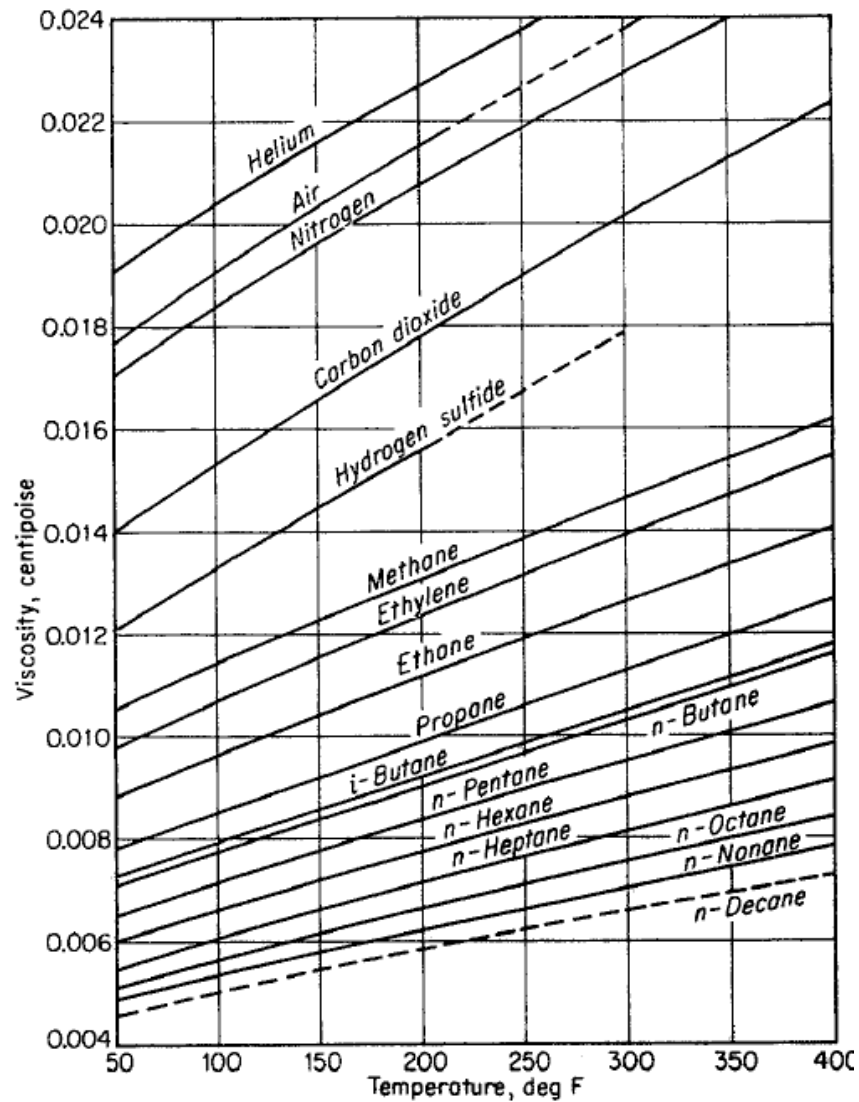


Fig. 4-97. Viscosity of gases at atmospheric pressure. (Can Kobayashi, and Burrows, 4-106. Courtesy AIME.)

مثال: ویسکوزیته گاز با ترکیب زیر را در فشار 3000 psia و دمای 540°R بدست آورید.

Component	Mole%	y_i	M_i	$P_{ci}(\text{psia})$	$T_{ci}(^{\circ}\text{R})$	$M_i^{0.5}$	μ_{1gi}
CH_4	90.5%						
C_2H_6	7.2%						
C_3H_8	2.3%						

- مرحله اول: محاسبه p_c و T_c از قانون اختلاط کی و سپس محاسبه p_r و T_r

$$P_c = \sum y_i P_{ci} \rightarrow p_r =$$

$$T_c = \sum y_i T_{ci} \rightarrow T_r =$$

- مرحله دوم: تعیین ویسکوزیته هر یک از اجزاء گازی را در فشار اتمسفری μ_{1gi} از Figure 4.97 که مقادیر در جدول صفحه قبل وارد شده اند.

مرحله سوم: محاسبه μ_{1g} برای مخلوط گازی:

$$\mu_{1g} = (\sum \mu_{1gi} y_i M_i^{0.5}) / (\sum y_i M_i^{0.5})$$

$$\begin{aligned} \sum \mu_{1gi} y_i M_i^{0.5} &= (0.011 * 0.905 * 4.0054) + (0.0092 * 0.072 * 5.4836) \\ &\quad + (0.0082 * 0.023 * 6.6353) = \end{aligned}$$

$$\sum y_i M_i^{0.5} = (0.905 * 4.0054) + (0.072 * 5.4836) + (0.023 * 6.6353) =$$

$$\mu_{1g} =$$

مرحله چهارم: تعیین μ/μ_1 از Figure 4-102

✓ محور افقی: $T_r = 1.5$ ← منحنی $p_r = 4.5$ ←

محاسبه μ نهایی:

روش سوم: Lee et al. Correlation

- در این روش مستقیماً یک رابطه برای ویسکوزیته مخلوط گاز طبیعی ارائه شده است. از این رابطه ویسکوزیته بر حسب cp بدست می آید.

$$\mu_g = K \exp(X \rho_g^y)$$

که در رابطه فوق:

$$K = \frac{10^{-4}(9.4 + 0.02M)T^{1.5}}{209 + 19M + T}$$

$$X = 3.5 + \frac{986}{T} + 0.01M$$

$$y = 2.4 - 0.2X$$

$$\rho_g = \frac{PM}{ZRT} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

✓ در روابط فوق M جرم مولکولی گاز یا $M_g = \sum y_i M_i$ و T دمای مسئله بر حسب $^{\circ}R$ است.

مثال: ویسکوزیته گاز با ترکیب زیر را در فشار 3000 psia و دمای 540°R بدست آورید.

Component	Mole%	y_i	M_i	$P_{ci}(\text{psia})$	$T_{ci}(^{\circ}\text{R})$
CH_4	90.5%				
C_2H_6	7.2%				
C_3H_8	2.3%				

- ابتدا به منظور محاسبه ρ ، باید ضریب تراکم پذیری Z را محاسبه کنیم (گاز شیرین)

$$P_c = \sum y_i P_{ci} = 669.5 \text{ psia} \rightarrow p_r = 3000/669.5 = 4.48 \sim 4.5$$

$$T_c = \sum y_i T_{ci} = 365.31 \text{ }^\circ\text{R} \rightarrow T_r = 540/365.31 = 1.48 \sim 1.5$$

Figure 4-16 $\rightarrow$

$$\rho_g = \frac{PM}{ZRT} =$$

$$K = \frac{10^{-4}(9.4 + 0.02M)T^{1.5}}{209 + 19M + T} =$$

$$X = 3.5 + \frac{986}{T} + 0.01M =$$

$$y = 2.4 - 0.2X =$$

$$\mu_g =$$

۳-۴: تعیین گرمای ویژه مخلوط گاز طبیعی

- یکی از خواص ترمودینامیکی اساسی، گرمای ویژه است که به اینصورت تعریف می شود:
«مقدار گرمای لازم برای افزایش دمای جرم واحد یک ماده به اندازه یک واحد»
- این خاصیت را می توان هم در فشار ثابت C_p و هم در حجم ثابت C_v اندازه گیری کرد.
- در این بخش هدف تعیین C_p برای مخلوط گاز طبیعی است.

• مراحل تعیین C_p به صورت زیر می باشد:

مرحله اول: ابتدا p_c و T_c را با استفاده از یکی از سه روش گفته شده محاسبه می کنیم. و سپس p_r و T_r را تعیین می کنیم.

مرحله دوم: محاسبه $M_g = \sum y_i M_i$ و سپس $\gamma_g = M_g / M_{air}$

مرحله سوم: C_p^0 (در فشار ۱ اتمسفر) را به یکی از روش های زیر محاسبه می کنیم:

✓ روش اول: روش Hankinson

$$C_p^0 = A + BT + C\gamma_g + D\gamma_g^2 + E(T\gamma_g) + FT^2$$

واحد C_p : $Btu/lbmole.^{\circ}F$ یا $Btu/lbmole.^{\circ}R$ است؛

واحد دما: $^{\circ}F$.

مقادیر ثابت A، B، C، D، E و F به صورت زیر می باشد:

If $0 < T < 200^{\circ}\text{F}$: $A=4.6435$; $B= -0.0079997$; $C=5.8425$;

$D=1.1513$; $E=0.020603$; $F=9.849 \times 10^{-6}$

If $200 < T < 600^{\circ}\text{F}$: $A=3.7771$; $B= -0.0011050$; $C=7.5281$;

$D=0.65621$; $E=0.014609$; $F=0$

✓ روش دوم: استفاده از قانون اختلاط

$$C_p^0 = \sum y_i C_{pi}^0$$

✓ در این رابطه C_{pi}^0 ، C_p^0 هر جزء گازی در فشار اتمسفر است و از Figure 4-49 حاصل می شود.

محور افقی: دما بر حسب $^{\circ}\text{F}$ ← منحنی ها: جزء گازی مدنظر ← محور عمودی C_{pi}^0

✓ نکته مهم: در Figure 4-49، C_{pi}^0 بر حسب $\text{Btu/lb}_m \cdot ^{\circ}\text{F}$ داده شده، بنابراین برای تبدیل واحد

آن به $\text{Btu/lbmole} \cdot ^{\circ}\text{F}$ باید عدد خوانده شده از نمودار در جرم مولکولی آن جزء ضرب شود.

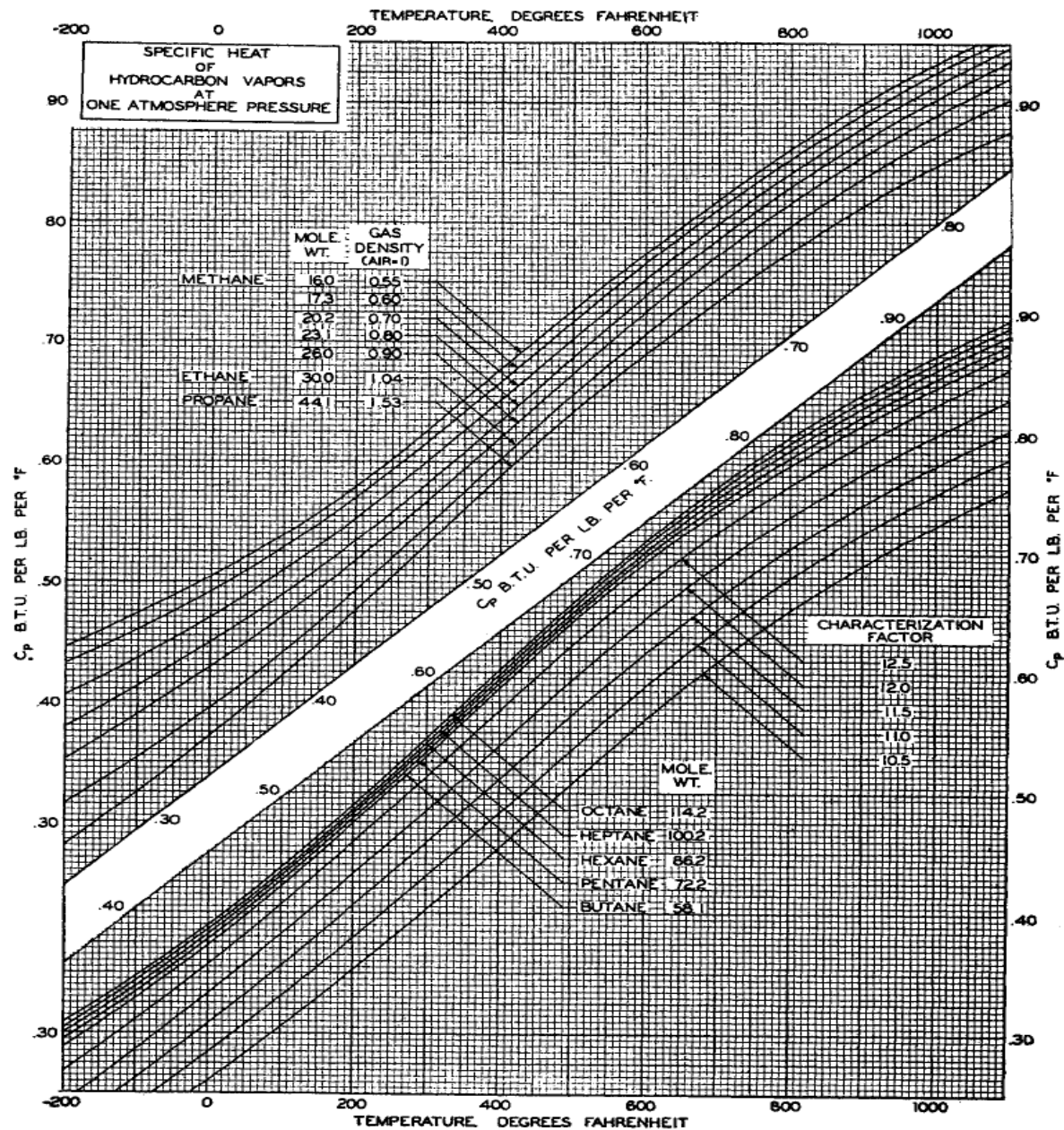


Fig. 4-49. Specific heat of hydrocarbon gases. (Brown, 4-16. Courtesy AIME.)

✓ مرحله چهارم: تصحیح فشار C_p

با استفاده از Figure 4-55 ، مقدار ΔC_p حاصل می شود که $\Delta C_p = C_p - C_p^0$

محور افقی: p_r ← منحنی ها: T_r ← محور عمودی ΔC_p بر حسب Btu/lbmole.°F

در نهایت با داشتن C_p^0 و ΔC_p مقدار C_p به راحتی محاسبه خواهد شد:

$$\Delta C_p = C_p - C_p^0 \rightarrow C_p = \Delta C_p + C_p^0$$

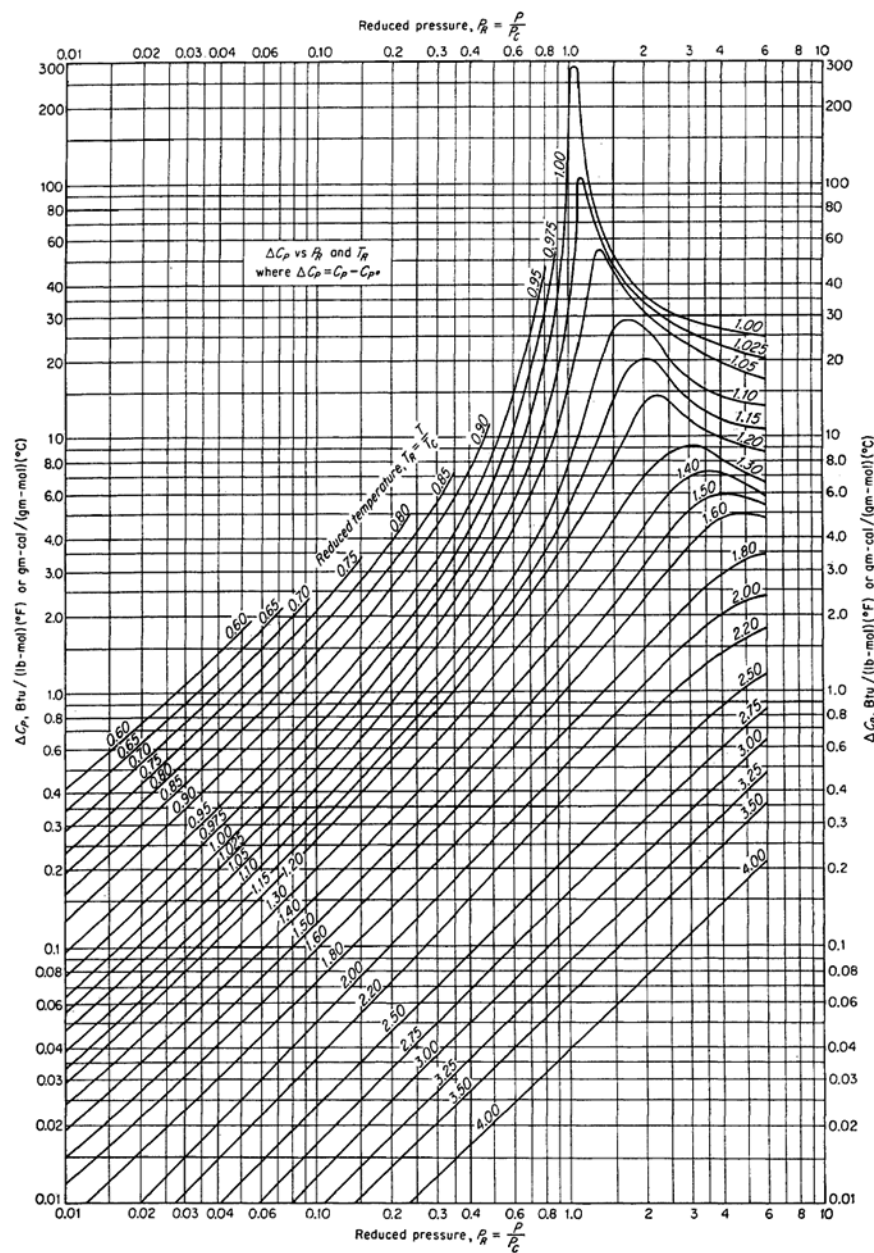


Fig. 4-55. Isothermal pressure correction to heat capacity of vapors. (Edmister, 4-29. Courtesy Petrol. Engr.)

مثال: برای ترکیب گاز داده شده، C_p^0 را در دمای 540°R با استفاده از (۱) روش
Hankinson و (۲) روش قانون اختلاط محاسبه کرده و سپس C_p را در فشار 3000 psia و
دمای 540°R بدست آورید.

Comp.	Mole%	y_i	M_i	$P_{ci}(\text{psia})$	$T_{ci}(^\circ\text{R})$	C_{pi}^0 (Btu/lb _m .°F)	C_{pi}^0 (Btu/lbmole.°F)
CH ₄	90.5%						
C ₂ H ₆	7.2%						
C ₃ H ₈	2.3%						

• مرحله اول: محاسبه p_c و T_c از قانون اختلاط کی و سپس محاسبه p_r و T_r

$$P_c = \sum y_i P_{ci} = 669.5 \text{ psia} \rightarrow p_r = 3000/669.5 = 4.48 \sim 4.5$$

$$T_c = \sum y_i T_{ci} = 365.31 \text{ }^\circ\text{R} \rightarrow T_r = 540/365.31 = 1.48 \sim 1.5$$

• مرحله دوم: تعیین M_g و γ_g :

$$M_g = \sum y_i M_i = 17.697 \rightarrow \gamma_g = 17.697/29 = 0.6$$

مرحله سوم: تعیین C_p^0

الف: روش Hankinson

$$C_p^0 = A + BT + C\gamma_g + D\gamma_g^2 + E(T\gamma_g) + FT^2$$

$$T = 540^\circ R - 460 = 80^\circ F < 200^\circ F$$

$$\begin{aligned} C_p^0 = & 4.6453 + (-0.0079997 * 80) + (5.8425 * 0.6) + (1.1533 * 0.6^2) \\ & + (0.020603 * 80 * 0.6) + (9.849 * 10^{-6} * 80^2) = \end{aligned}$$

- مرحله سوم: تعیین C_p^0

- ب: قانون اختلاط: ابتدا مقادیر C_{pi}^0 را از figure 4-49 تعیین می کنیم. این مقادیر در جدول قرار داده شده اند. در ستون آخر جدول تبدیل واحد انجام شده است.

$$C_p^0 = \sum y_i C_{pi}^0 =$$

مرحله چهارم: تعیین C_p

- با استفاده از Figure 4-55 ، مقدار ΔC_p را می خوانیم:

محور افقی $p_r=4.5$ ← منحنی ها $T_r=1.5$ ←