
PIPESIM 基础功能

培训及练习教材

版本：2008.1

斯伦贝谢 SIS

2008 年 12 月

Schlumberger



Copyright Notice

© 2007 Schlumberger. All rights reserved.

No part of this manual may be reproduced, stored in a retrieval system, or translated in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and recording, without the prior written permission of Schlumberger Information Solutions, 5599 San Felipe, Suite 100, Houston, TX 77056-2722.

Disclaimer

Use of this product is governed by the License Agreement. Schlumberger makes no warranties, express, implied, or statutory, with respect to the product described herein and disclaims without limitation any warranties of merchantability or fitness for a particular purpose. Schlumberger reserves the right to revise the information in this manual at any time without notice.

Trademark Information

PIPESIM and NODAL Analysis are trademarks of Schlumberger. Certain other products and product names are trademarks or registered trademarks of their respective companies or organizations.

目 录

前 言.....	4
第一章 管流知识简介.....	6
练习 1 水管线计算指南.....	7
练习 2 水管线敏感性分析.....	22
练习 3 气管线敏感参数分析.....	25
练习 4 气体流量计算.....	28
练习 5 多相流动管线模拟计算.....	31
第二章 油井特性分析.....	39
练习 1 定义井模型.....	40
练习 2 评估井底流动条件.....	43
练习 3 运行节点分析.....	44
练习 4 高压物性（PVT）校正.....	45
练习 5 流动相关式拟合.....	48
练习 6 运行 IPR（流入动态）拟合.....	49
练习 7 含水率敏感性分析.....	50
练习 8 气举特性分析.....	51
练习 9 多层开采计算.....	52
第三章 气井特性分析.....	56
练习 1 建立简单井模型.....	57
练习 2 流入模型校正.....	61
练习 3 运行井底为节点的节点分析.....	63
练习 4 模拟管线流动及油嘴特性分析.....	64
练习 5 预测产量变化.....	65
练习 6 评价高携液量及流动计算相关式拟合.....	65
练习 7 油藏至出口压力-温度关系剖面.....	67
第四章 水平井设计.....	68

练习 1 优化水平井长度.....	70
练习 2 多段射孔水平井模拟.....	70
第五章 人工举升设计.....	72
电潜泵设计.....	72
练习 1 单井建模及节点分析.....	72
练习 2 选泵及优化设计.....	74
练习 3 不同生产条件下泵特性分析.....	76
气举设计 — 新设计阀距.....	77
练习 1 单井建模及节点分析.....	77
练习 2 气举响应计算.....	79
练习 3 气举优化设计（“IPO Surface Close”方法）.....	80
气举设计 — 已知阀距.....	82
练习 1 安装井下气举阀系统，最下级阀注气.....	82
练习 2 生成气举响应曲线.....	84
练习 3 利用已知阀距进行气举优化设计.....	85
练习 4 气举诊断.....	86
第六章 海管设计.....	88
练习 1 建立组分模型.....	88
练习 2 海管尺寸选择.....	89
练习 3 检查严重段塞流.....	92
练习 4a 选择海管保温层厚度.....	93
练习 4b 甲醇注入量计算.....	93
练习 5 计算段塞流捕集器体积.....	95
第七章 环形输气管线.....	97
设定管网计算边界条件.....	102
运行管网计算并确定集输能力.....	104
管网练习 1：数据汇总.....	106
第八章 注水管网系统.....	109

前言

该培训教材旨在向用户介绍 PIPESIM 应用软件基础功能及操作。PIPESIM 做为采油及集输工程计算、分析及设计工具，在油气工业中有着广泛的应用。

该教材包括节点分析、气举设计及管网模型。

知识背景要求



为顺利完成 PIPESIM 课程，您必须具备如下知识：

- 熟悉 Windows 基础操作
- 熟悉微软 Office 办公软件操作
- 具有基础的采/气油工程及油藏工程知识
- 了解节点分析（流入及流出特性）
- 基本掌握人工举升概念

课程学习目标



通过下面课程的学习，您将掌握如何使用 PIPESIM 进行计算、分析及设计。

- 单相流动介绍
- 井特性分析案例
- 人工举升案例
- 单分枝管线及设备计算案例
- 管网模拟案例

必备软硬件环境



为顺利完成本课程，您需要准备如下软硬件环境：

- 至少 512MB 内存的个人电脑
- 安装 PIPESIM 2008 应用软件
- 训练用数据资料

课程结构

本培训课程材料涵括如下内容：

- 模型简介
- 学习目标
- 指导及联系
- 学习总结

总之

通过本课程学习，您将掌握使用 PIPESIM 完成采油/气工程各项工作，从而对井特性规律进行评价及预测。

第一章 管流知识简介

本章学习目的是通过建立及运行简单模型，让您熟悉 PIPESIM 单分枝功能模块界面。首先，您将手工计算一个水管线压降。随后您将会通过建立的简单管线模型，计算给定入口压力及流量条件下水平管线压降。之后您将学习如何应用该模型进行敏感性分析。

学习目标

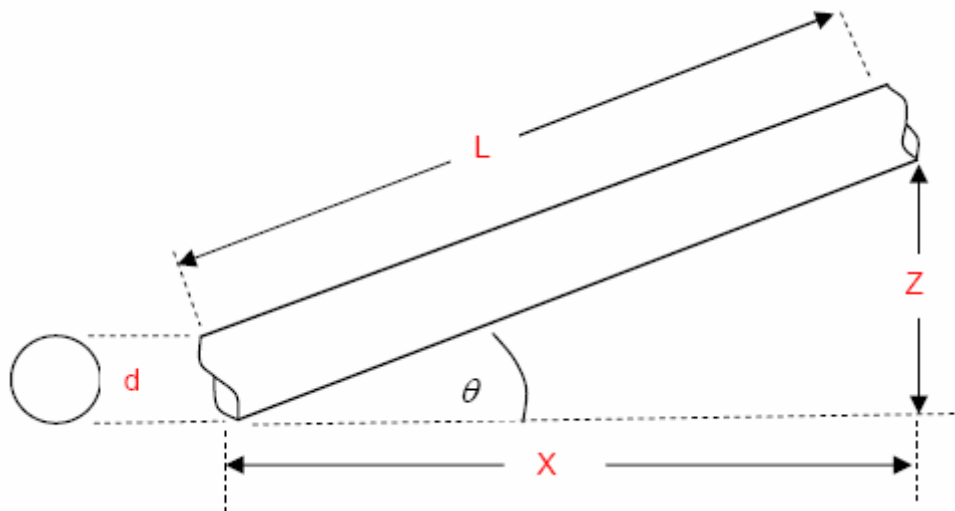


本章中，您将根据下面工作流进行相关操作：

- 建立物理模型
- 建立流体模型
- 选择多相流计算相关式
- 运行功能计算
- 查看及分析结果

练习 1 水管线计算指南

该练习假设通过下图所示管线进行水相输送：



通过下面方程计算得到单相流体通过 L 长距离后压力变化：

$$\left(\frac{dp}{dL}\right)_{total} = \left(\frac{dp}{dL}\right)_{frictional} + \left(\frac{dp}{dL}\right)_{elevational} + \left(\frac{dp}{dL}\right)_{accelerational}$$

通常情况下，加速度项会被忽略不计（除非低压、高速气体流动），但 PIPESIM 中加速度项也被计算出来。在手工计算时，假设加速度项为零，则压力梯度公式变为：

$$\left(\frac{dp}{dL}\right)_{total} = \frac{f\rho v^2}{2gd} \text{ (frictional)} - \rho g \sin \theta \text{ (elevational)}$$

其中：

ρ = 流体密度 (lbm/ft³)

g = 重力加速度

f = Moody 摩擦系数

v = 流体流速 (ft/s)

d = 管线内径 (ft)

第一部分：手工计算

使用表 1 中的数据同时假设流动为等温过程，应用单相流理论计算管线出口压力。

表 1 水相管流计算模型数据

管道数据

直径	d	3	in	(= .25 ft)
长度	L	20,025	ft	
高程差	Z	1000	ft	
水平产度	X	20,000	ft	
环境温度	T_{amb}	60	°F	
倾斜角	θ	2.866	°	
粗糙度	ε	0.0015	in	
相对粗糙度	ε/d	0.0005	in	

流体参数

水相粘度	μ_w	1.2	cp	(=8.06e-4 lb/ft-s)
水相密度	ρ_w	63.7	lbm/ft ³	

流动参数

源温度	T_{inlet}	60	°F	
入口压力	P_{in}	1200	psia	
水流量	Q_w	6,000	BPD	(=.39 ft ³ /s)

常量

重力加速度	g	32.2	ft/s ²	
-------	-----	------	-------------------	--

1. 计算水相流速：

$$v = \frac{Q_w}{\left(\frac{\pi d^2}{4} \right)} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ ft/s} \quad (\text{ans: } 7.9 \text{ ft/s})$$

2. 计算雷诺数:

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} = \underline{\hspace{2cm}} \quad (\text{ans: } \sim 157,000)$$

流态为层流 (laminar) 或紊流 (turbulent)? (见图 1) *(ans: turbulent)*

3. 使用 Colebrook—White 方程计算紊流情况下摩擦系数。

注: 该方程中摩擦系数 f 为隐式变量, 需要迭代求解 (可使用 Excel 中的 Goalseek 功能求解)。同时也可以使用图 1 给出的 Moody 图版查找摩擦系数。

$$f = \frac{1}{\left(1.74 - 2 \log_{10} \left(\frac{2\varepsilon}{D} + \frac{18.7}{Re \sqrt{f}} \right) \right)^2}$$

$$f = \underline{\hspace{2cm}} \quad (\text{ans} = 0.0193)$$

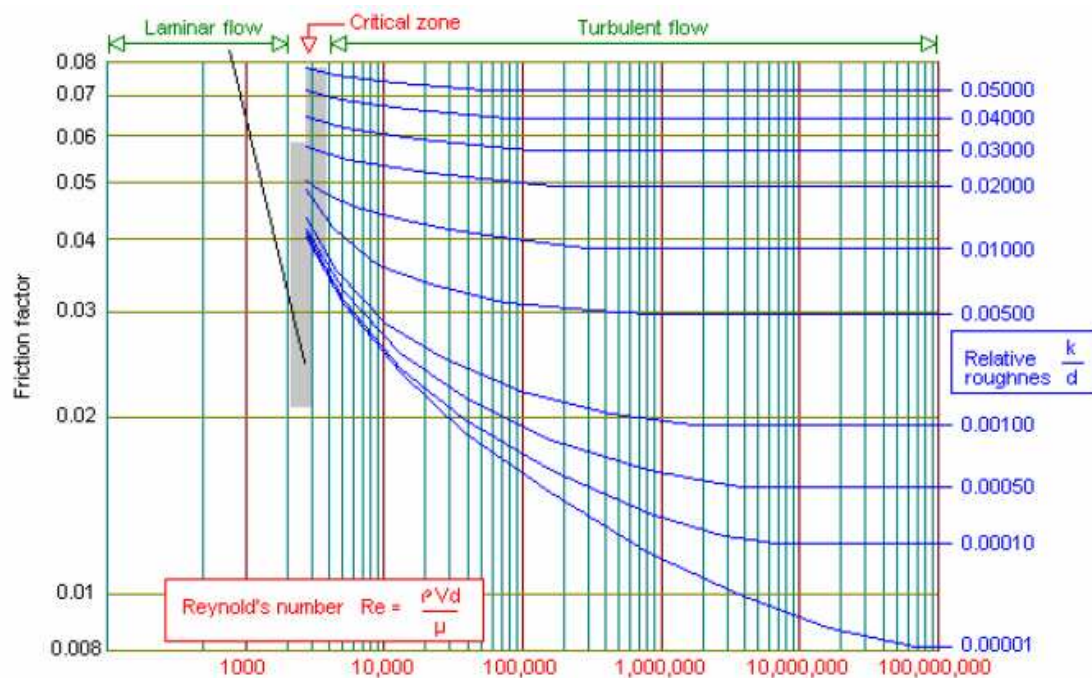


图 1 Moody 图版

4. 计算摩擦压降项, $\frac{f\rho v^2}{2gd}$:

$$\left(\frac{dp}{dL}\right)_{friction} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ psf/ft} /144 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ psi/ft}$$

对于给定的管线长度 L 可得,

$$dp_{friction} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ psi} \quad (\text{ans} = 662 \text{ psi})$$

5. 计算重力压降项, $\rho \sin \theta$:

$$\left(\frac{dp}{dL}\right)_{elevation} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ psf/ft} /144 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ psi/ft}$$

对于给定的管线长度 L 可得,

$$dp_{elevation} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ psi} \quad (\text{ans} = 442 \text{ psi})$$

6. 将摩擦压降与重力压降相加得到总压力降:

$$\left(\frac{dp}{dL}\right)_{total} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ psf/ft} /144 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ psi/ft}$$

对于给定的管线长度 L 可得,

$$dp_{total} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ psi} \quad (\text{ans} = 1106 \text{ psi})$$

7. 根据给定入口压力计算出口压力:

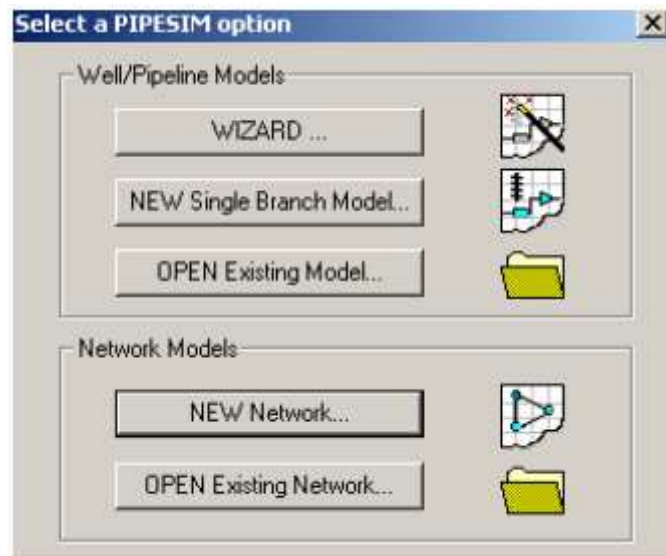
$$P_{out} = P_{in} - dp_{total} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ psia} \quad (\text{ans} = 94 \text{ psia})$$

第二部分：PIPESIM 计算

在本部分，您将学习如何使用 PIPESIM 建立水管线模型。

建模开始

1. 从开始菜单启动 PIPESIM（开始>程序>Schlumberger>PIPESIM）。
2. 选择新建单分枝模型（从 “Select a PIPESIM option” 选择界面）



3. 通过 **Setup>Umits** 菜单选择工程单位制（Eng）。
4. 通过 Setup>Define Output 选项选择输出 “Primary Output” 及 “Auxiliary Output”，其它选项均取消。

建立物理模型（水管线模型）

步骤 1. 定义模型中物理组件





PIPESIM 单分枝模型工具栏包含如下物理模型组件：





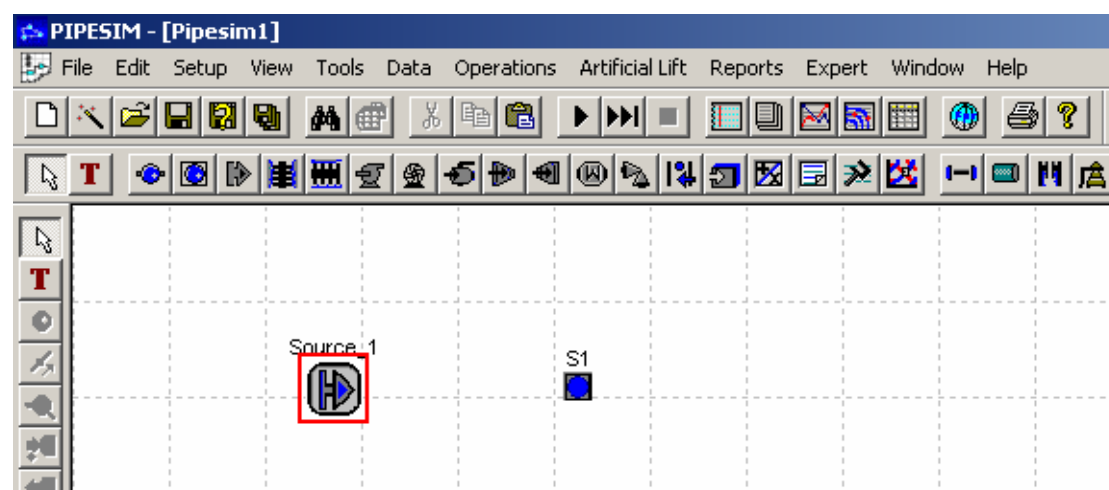
节点组件


	节点		油嘴
	边界节点		注气点
	源点		设备
	垂直完井段		乘法器/加法器
	水平完井段		汇报
	泵		引擎关键字工具
	多相混输泵		节点分析点
	分离器		膨胀机
	压缩机		热交换器

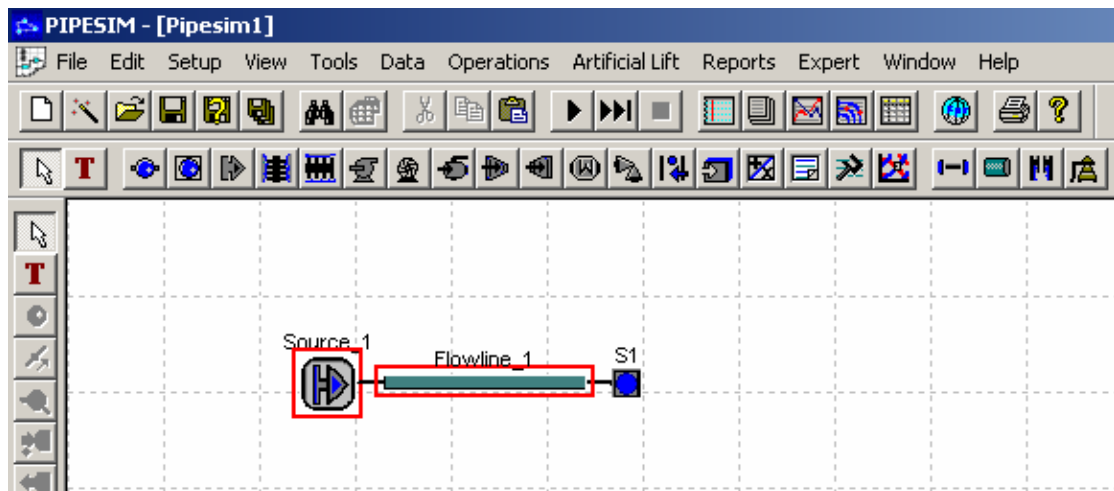
连接组件

	连接线
	水平管道
	油管
	垂直管道

1. 选择源点图标并通过在绘图区单击鼠标将其摆放在合适位置。选择边界节点图标，同时将其摆放在绘图区合适位置。具体如下图所示。

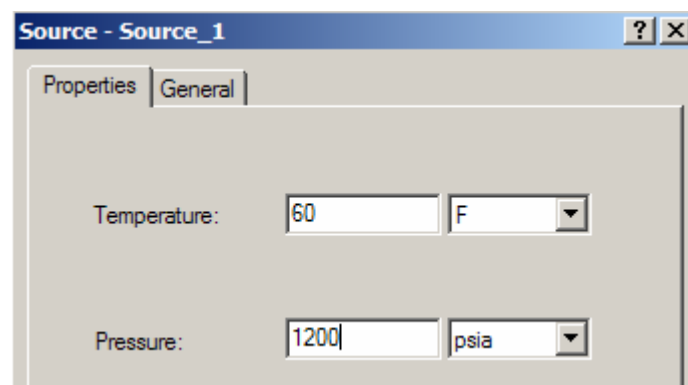


2. 通过选中水平管道组件，按住鼠标左键并从“Source_1”拖至终点节点“S1”完成“Source_1”组件及终点节点“S1”连接。



注意：“Source_1”及“Flowline_1”上的红色边框表示该组件重要参数缺失。

3. 双击“Source_1”弹出用户源点数据输入界面。输入界面如下图所示：



4. 单击“OK”完成数据输入。

5. 双击“**Flowline_1**”弹出用户数据输入界面。数据输入界面如下图所示，在此确保起伏率（the rate of undulations = 0）为零，表示无地形起伏影响。

Flowline - Flowline_1

Properties | **Heat Transfer** | General

Preferred Pipe Description: Simple View [v] [Schematic]

Rate of Undulations: 0 / 1000

Horizontal Distance: 20000 ft

Elevation Difference: 1000 ft

Inner Diameter: 3 inches

Wall Thickness: 0.5 inches

Roughness: 0.0015 inches

Ambient Temperature: 60 F

NOTE: Set a negative elevation difference to model a pipe going DOWN with the flow direction

6. 点击“**Heat Transfer**”项，输入绝热计算参数（如：系统与外界环境无热交换）。数据输入界面如下所示：

Flowline - Flowline_1

Properties | **Heat Transfer** | General

Mode: ☒ Input U value ☐ Calculate U value

U Value (ONLY applicable in simple description):

- ☐ Insulated
- ☐ Coated
- ☐ Bare (in Air)
- ☐ Bare (in Water)
- ☒ User Specified

0 Btu/hr/ft2

Inside Film Coefficient:

- ☒ Include in U value
- ☐ Calculate separately and add to U value

7. 点击“**OK**”完成数据输入。

步骤 2. 建立流体模型（水相）

1. 选择 “**Setup>Black Oil**”，打开黑油流体属性菜单。输入用户黑油物性数据，并点击 “**OK**” 完成数据输入。界面如下图所示：

The screenshot shows the 'DEFAULT - Black Oil Properties' dialog box. It has four tabs: 'Black Oil Properties', 'Viscosity Data (Optional)', 'Advanced Calibration Data (Optional)', and 'Contaminants (Optional)'. The 'Black Oil Properties' tab is selected. At the top right are 'Import...' and 'Export' buttons. Below them are 'Fluid Name' (containing 'water') and 'Optional Comment' (empty) fields. The 'Stock Tank Properties' section contains: 'WCut' (100, %), 'GOR' (0, scf/STB), 'Gas S.G.' (0.64), 'Water S.G.' (1.02), and 'API' (30). The 'Calibration Data at Bubble Point (Optional but Recommended)' section contains: 'Pressure' (psia), 'Temperature' (F), and 'Sat. Gas' (scf/STB). The 'Solution Gas Correlation' section contains 'Rs and Pb' set to 'Lasater'.

2. 选择 “**File > SaveAs**”，保存模型为 “Excercisel_WaterPipe.bps”。

步骤 3. 选择流动相关式

通过选择 “**Setup > Flow Correlations**” 菜单，打开流动相关式选择界面。在单相流计算相关式中选择 “Moody” 方法。如下图所示：

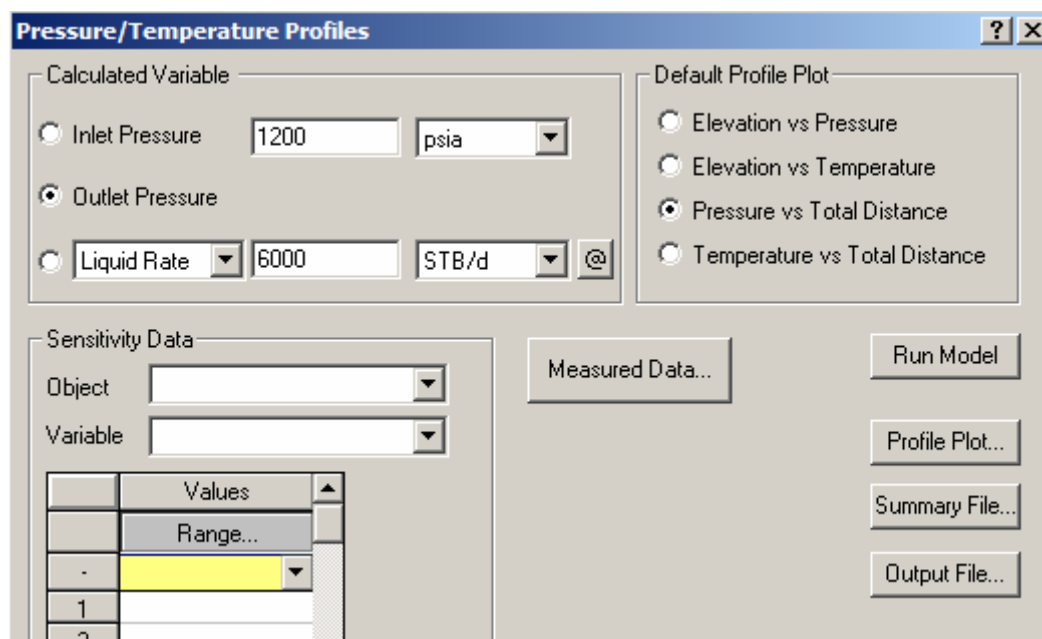
The image shows a software dialog box titled "Global Data" with a "Flow Correlations" tab. It contains settings for vertical, horizontal, and single-phase flow correlations. The "Single Phase" section has a dropdown menu open, showing "Moody" as the selected option.

Flow Type	Source	Correlation	Friction factor	Holdup factor
Vertical Flow (Multiphase)	bja	Hagedorn & Brown	1	1
Horizontal Flow (Multiphase)	bja	Beggs & Brill Revised	1	1
Vertical-Horizontal Flow Correlation Swap Angle	Swap angle: 45 (0-90) degrees from horizontal		45 (0-90) deviation from vertical	
Single Phase	Correlation: Moody (selected from list: Moody, AGA, Panhandle 'A', Panhandle 'B', Hazen - Williams, Weymouth, Cullinder - Smith)			

Buttons: OK, Cancel, Help

步骤 4. 运行功能操作

1. 从“**Operations**”菜单选择“Pressure/Temperature Profile”功能，输入已知流动条件，如下图所示：

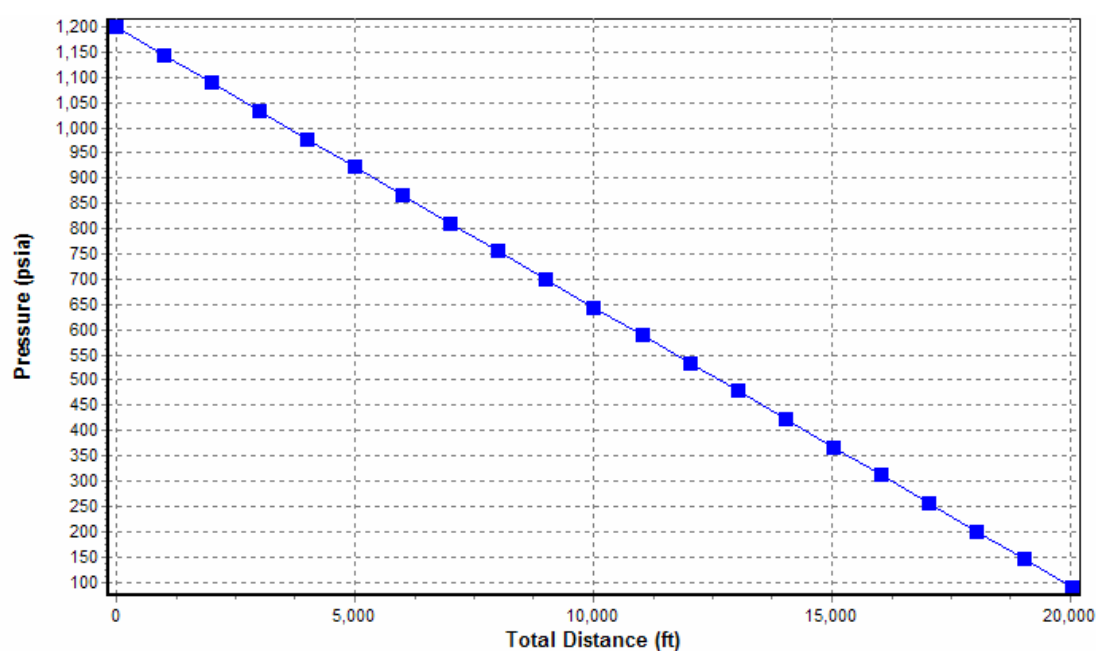


2. 通过点击“**Run Model**”运行模型。将通过 Moody 相关式计算得到压力数据（缺省为单相流计算相关式）。

步骤 5. 查看及分析结果

1. 图形输出

当计算结束，将得到下图所示压力剖面：



2. 点击 “**Data**” 项显示压力/温度剖面计算结果列表。出口压力为 89psia。

	Total Distance (ft)	Pressure (psia)	
3	0.0000	1200.0000	
4	0.0000	1200.0000	
5	1001.2492	1144.4479	
6	2002.4984	1088.8979	
7	3003.7477	1033.3498	
8	4004.9969	977.8038	
9	5006.2461	922.2598	
10	6007.4953	866.7178	
11	7008.7445	811.1778	
12	8009.9937	755.6399	
13	9011.2430	700.1039	
14	10012.4922	644.5699	
15	11013.7414	589.0379	
16	12014.9906	533.5079	
17	13016.2399	477.9799	
18	14017.4891	422.4539	
19	15018.7383	366.9298	
20	16019.9875	311.4077	
21	17021.2367	255.8876	
22	18022.4860	200.3694	
23	19023.7352	144.8531	
24	20024.9844	89.3388	
25	20024.9844	89.3388	

注意：可将这些数据复制到 Excel 中，选中需要复制的数据，利用<Ctrl+C>进行复制，在 Excel 中利用<Ctrl+V>完成粘贴。

3. 汇总文件

在结果汇总文件中将给出简要的输出结果。利用 “**Report**” 菜单中 “**Summary File**” 选项可以打开结果汇总文件。

如可以得到下图所示输出结果：

```

<-Stock Tank->      <----- Flowing ----->
Water  Liquid  Free   Pres.  Temp.  Pressure  Losses  Mixt.  Liquid  Liquid  Slug  Flow
Cut    Flow    Gas    (psia) (F)    (psi)    (psi)  Vel.   Holdup  Holdup  Number Flow
(%)    (bbl/d) (mmscfd) (psia) (F)    Elev.  Frn.  Total (ft/s) frn.   (bbl) (PI-SS)
CASE NO. 1
Flowline_1 100.0 6000.0 0.000000 1200. 60. 0. 0. 0. 7.9 1.0000 0. LIQUID
              100.0 6000.0 0.000000 89. 62. 443. 668. 1111. 7.9 1.0000 175. Huge LIQUID
              443. 668. 1111. 175. Liquid by sphere
  
```

上图中，显示持液量为 175bbl，表明整个管线中总液体体积为该数值。

汇总文件中给出管线中总压力变化、摩擦压力损失、高程压力损失。在填写下表，进而对比 PIPESIM 计算结果与手工计算的差别：

结 果	手工计算	PIPESIM 计算
<i>Liquid Velocity (ft/s)</i>		
<i>dP_{frictional} (psi)</i>		
<i>dP_{elevational} (psi)</i>		
<i>dP_{total} (psi)</i>		
<i>Outlet Pressure (psia)</i>		

4. 输出文件：在 “**Report**” 菜单中选择 “Output File” 选项。

输出文件被缺省分为五个部分：

- 输入数据项（输入数据及输入单位汇总）
- 流体物性数据项（流体模型输入数据）
- 剖面 and 流动相关式项（剖面及选择的流动相关式汇总）
- 主要输出内容
- 附加输出内容

主要输出内容如下所示：

```

***** PIPESIM *****
* (Release 4.20 13/05/07) *
* MULTIPHASE FLOW SIMULATOR *
* 2007.1 *
* Schlumberger *
*
*****

Date : 02/07/07
Time : 21:36:26
PC/Compaq

Case no. 1 Primary Output
Case no. 1 Primary Output
Case no. 1 Primary Output

Project : PIPESIM Project
User : User
Data File : D:\training\2007\Ex1_water.pst

Job : 'PIPESIM Job'
Case 1 :

Dist. Elev. Horiz. Vert. Pres. Temp. Mean Pressure Drop Liquid Free Densities Slug Flow
Line (feet) (feet) (deg) (deg) (psia) (F) Vel. (psi) Flow Gas (lb/ft3) Number Pattern
1 0.0000 0.0000 2.862 87.14 1200.0 60.000 7.9113 0.0000 0.0000 5976.0 0.00000 63.933 4.9994 LIQUID
2 1000.0 50.000 2.862 87.14 1144.4 60.097 7.9128 22.197 33.355 5977.2 0.00000 63.920 4.7200 Huge LIQUID
3 2000.0 100.00 2.862 87.14 1088.9 60.194 7.9144 22.192 33.358 5978.4 0.00000 63.907 4.4442 Huge LIQUID
4 3000.0 150.00 2.862 87.14 1033.3 60.292 7.9160 22.188 33.360 5979.6 0.00000 63.895 4.1722 Huge LIQUID
5 4000.0 200.00 2.862 87.14 977.80 60.389 7.9175 22.184 33.363 5980.7 0.00000 63.882 3.9055 Huge LIQUID
6 5000.0 250.00 2.862 87.14 922.26 60.486 7.9191 22.179 33.365 5981.9 0.00000 63.870 3.6430 Huge LIQUID
7 6000.0 300.00 2.862 87.14 866.72 60.583 7.9206 22.175 33.367 5983.1 0.00000 63.857 3.3853 Huge LIQUID
8 7000.0 350.00 2.862 87.14 811.18 60.680 7.9222 22.170 33.370 5984.3 0.00000 63.844 3.1326 Huge LIQUID
9 8000.0 400.00 2.862 87.14 755.64 60.777 7.9238 22.166 33.372 5985.5 0.00000 63.832 2.8850 Huge LIQUID
10 9000.0 450.00 2.862 87.14 700.10 60.874 7.9253 22.162 33.374 5986.6 0.00000 63.819 2.6424 Huge LIQUID
11 10000. 500.00 2.862 87.14 644.57 60.972 7.9269 22.157 33.377 5987.8 0.00000 63.807 2.4050 Huge LIQUID
12 11000. 550.00 2.862 87.14 589.04 61.069 7.9285 22.153 33.379 5989.0 0.00000 63.794 2.1728 Huge LIQUID
13 12000. 600.00 2.862 87.14 533.51 61.166 7.9300 22.149 33.381 5990.2 0.00000 63.781 1.9457 Huge LIQUID
14 13000. 650.00 2.862 87.14 477.98 61.263 7.9316 22.144 33.384 5991.4 0.00000 63.769 1.7237 Huge LIQUID
15 14000. 700.00 2.862 87.14 422.45 61.360 7.9331 22.140 33.386 5992.5 0.00000 63.756 1.5066 Huge LIQUID
16 15000. 750.00 2.862 87.14 366.93 61.457 7.9347 22.135 33.389 5993.7 0.00000 63.744 1.2944 Huge LIQUID
17 16000. 800.00 2.862 87.14 311.41 61.554 7.9363 22.131 33.391 5994.9 0.00000 63.731 1.0869 Huge LIQUID
18 17000. 850.00 2.862 87.14 255.89 61.651 7.9378 22.127 33.393 5996.1 0.00000 63.719 .88387 Huge LIQUID
19 18000. 900.00 2.862 87.14 200.37 61.748 7.9394 22.122 33.396 5997.3 0.00000 63.706 .68518 Huge LIQUID
20 19000. 950.00 2.862 87.14 144.85 61.845 7.9410 22.118 33.398 5998.5 0.00000 63.694 .49058 Huge LIQUID
21 20000. 1000.0 2.862 87.14 89.339 61.943 7.9425 22.114 33.401 5999.6 0.00000 63.681 .29981 Huge LIQUID

```

其中：可以在“**Setup > Units**”中选择单位制，并重新运行模拟计算，完成输出文件单位制改变。

主要输出结果中包含 16 列指标：

- 1) 节点号：节点处将测试数据以行记录（缺省情况每 1000ft 为一个记录节点）
- 2) 水平距离（组件的累计水平长度）
- 3) 高度（绝对高度）
- 4) 倾斜角（与水平面夹角）
- 5) 倾角（与垂直面夹角）
- 6) 压力
- 7) 温度
- 8) 平均混合速度
- 9) 垂直压力降
- 10) 摩擦压力降
- 11) 节点处压力、温度条件下实际液体流速
- 12) 节点处压力、温度条件下实际自由气体流速
- 13) 节点处压力、温度条件下实际液体密度
- 14) 节点处压力、温度条件下实际自由气体密度
- 15) 段塞流数值
- 16) 流态

注意：随着压力下降，液体密度降低，因为质量守恒，故此流速将增大。

附加输出内容如下所示

```
***** PIPESIM *****
* (Release 4.26 12-95-97) *
* MULTIPHASE FLOW SIMULATOR *
* 2007.1 *
* Schlumberger *
*****

Date : 02/02/07
Time : 21:36:26
PC: C:\Capeq

Case no. 1 Auxiliary Output
Case no. 1 Auxiliary Output
Case no. 1 Auxiliary Output

Project : PIPESIM Project
User : User
Data File : D:\training\2007\Exl_water.pst
Job : 'PIPESIM Job'
Case 1

Dist. Elev. Superficial Mass Flow Rates Viscosities Reynolds No-Slip Slip
(feet) (feet) Vel. (ft/s) (lb/s) (Centipoise) Number Liquid Liquid
Flowline_1 ID= 3 ins Roughness= 0.015 ins Fcn. Holdup Watercut
(%) (Btu/lb) Velocity Rate Corrosion
Rate
Rate
1 0.0000 0.0000 7.9313 0.0000 24.828 0.0000 1.205e6 .6130e7 .1581e6 1.0000 1.0000 100.00 62.4870 .6325e7 0.0000e 0.0000e
2 100.0 50.00 7.9328 0.0000 24.828 0.0000 1.2041e .6129e10 .1566e6 1.0000 1.0000 100.00 62.4230 .6326e3 0.0000e 0.0000e
3 200.0 100.00 7.9344 0.0000 24.828 0.0000 1.2027e .6126e29 .1564e6 1.0000 1.0000 100.00 62.3590 .6326e9 0.0000e 0.0000e
4 300.0 150.00 7.9360 0.0000 24.828 0.0000 1.2012e .6124e6 .1566e6 1.0000 1.0000 100.00 62.2940 .6327e6 0.0000e 0.0000e
5 400.0 200.00 7.9376 0.0000 24.828 0.0000 1.1998e .6122e7 .1568e6 1.0000 1.0000 100.00 62.2300 .6328e2 0.0000e 0.0000e
6 500.0 250.00 7.9391 0.0000 24.828 0.0000 1.1983e .6121e8 .1576e6 1.0000 1.0000 100.00 62.1660 .6328e8 0.0000e 0.0000e
7 600.0 300.00 7.9206 0.0000 24.828 0.0000 1.1969e .6119e9 .1572e6 1.0000 1.0000 100.00 62.1020 .6329e4 0.0000e 0.0000e
8 700.0 350.00 7.9222 0.0000 24.828 0.0000 1.1954e .6118e6 .1574e6 1.0000 1.0000 100.00 62.0370 .6330e1 0.0000e 0.0000e
9 800.0 400.00 7.9236 0.0000 24.828 0.0000 1.1940e .6116e95 1575e1 1.0000 1.0000 100.00 62.9732 .6330e7 0.0000e 0.0000e
10 900.0 450.00 7.9253 0.0000 24.828 0.0000 1.1926e .6115e71 .1578e6 1.0000 1.0000 100.00 62.9090 .6331e3 0.0000e 0.0000e
11 1000.0 500.00 7.9268 0.0000 24.828 0.0000 1.1911e .6114e4 .1580e6 1.0000 1.0000 100.00 62.8447 .6331e8 0.0000e 0.0000e
12 1100.0 550.00 7.9285 0.0000 24.828 0.0000 1.1897e .6112e46 .1582e6 1.0000 1.0000 100.00 62.7800 .6332e5 0.0000e 0.0000e
13 1200.0 600.00 7.9300 0.0000 24.828 0.0000 1.1883e .6112e44 .1583e6 1.0000 1.0000 100.00 62.7150 .6332e2 0.0000e 0.0000e
14 1300.0 650.00 7.9316 0.0000 24.828 0.0000 1.1869e .6111e50 .1585e6 1.0000 1.0000 100.00 62.6520 .6333e6 0.0000e 0.0000e
15 1400.0 700.00 7.9331 0.0000 24.828 0.0000 1.1854e .6110e64 .1587e6 1.0000 1.0000 100.00 62.5880 .6334e4 0.0000e 0.0000e
16 1500.0 750.00 7.9347 0.0000 24.828 0.0000 1.1840e .6109e84 .1589e6 1.0000 1.0000 100.00 62.5230 .6335e0 0.0000e 0.0000e
17 1600.0 800.00 7.9363 0.0000 24.828 0.0000 1.1826e .6108e11 .1581e6 1.0000 1.0000 100.00 62.4580 .6335e2 0.0000e 0.0000e
18 1700.0 850.00 7.9378 0.0000 24.828 0.0000 1.1812e .6108e45 1592e3 1.0000 1.0000 100.00 62.3950 .6336e3 0.0000e 0.0000e
19 1800.0 900.00 7.9394 0.0000 24.828 0.0000 1.1798e .6107e86 1594e4 1.0000 1.0000 100.00 62.3320 .6336e9 0.0000e 0.0000e
20 1900.0 950.00 7.9410 0.0000 24.828 0.0000 1.1783e .6107e35 .1577e6 1.0000 1.0000 100.00 62.2660 .6337e5 0.0000e 0.0000e
21 2000.0 1000.0 7.9425 0.0000 24.828 0.0000 1.1769e .6106e92 .1579e6 1.0000 1.0000 100.00 62.2020 .6338e2 0.0000e 0.0000e
```

附加输出内容包括 20 列指标:

- 1) 节点号
- 2) 水平里程 (累计)
- 3) 垂直高度 (绝对)
- 4) 表面液体流速
- 5) 表面气体流速
- 6) 液体质量流速
- 7) 气体质量流速
- 8) 液体粘度
- 9) 气体粘度
- 10) 雷诺数
- 11) 液体体积系数
- 12) 持液率
- 13) 含水率
- 14) 流体热焓值
- 15) 冲蚀数率
- 16) 冲蚀速度 (如果选择)
- 17) 腐蚀速度 (如果选择)
- 18) 过冷水合物温度
- 19) 温度计算迭代次数
- 20) 压力计算迭代次数

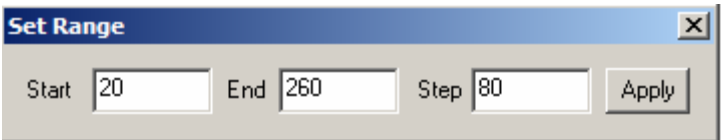
雷诺数值显示流态为紊流（ $N_{re} > 2000$ ），与手工计算结果一致。

练习 2 水管线敏感性分析

继续前一个例子，在此您将了解我们建立的模型是如何受入口温度变化影响。

步骤 1. 修改 压力/温度剖面计算内容

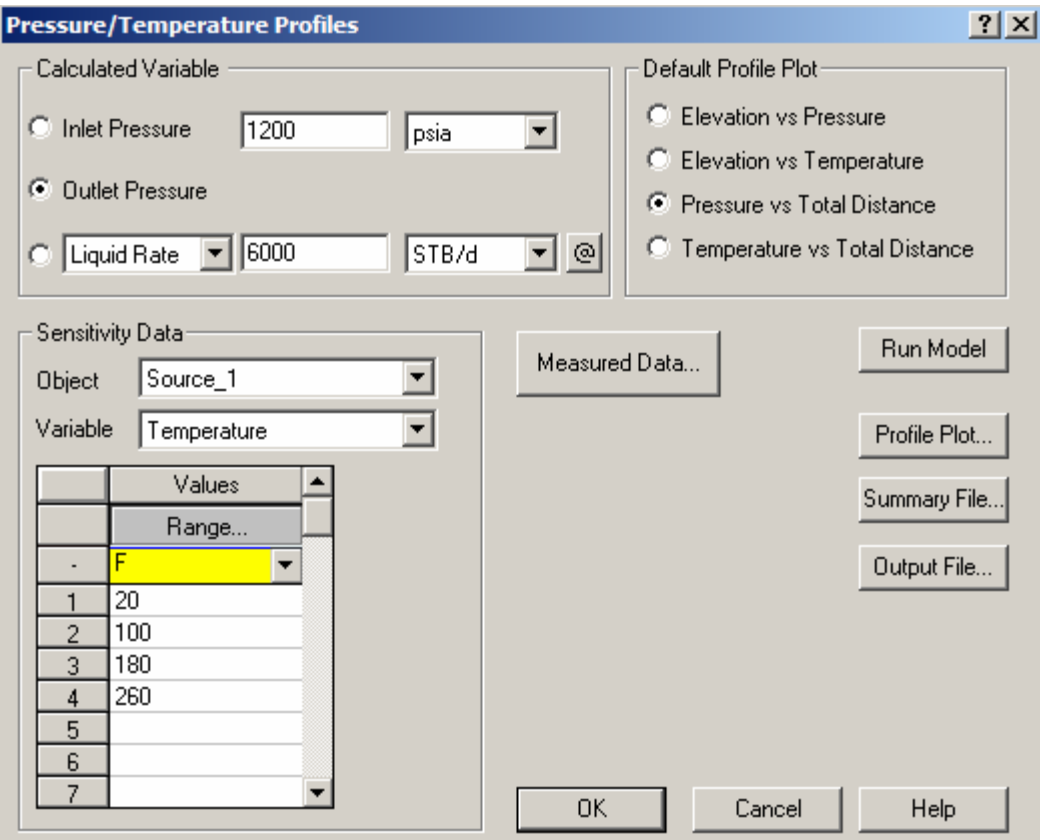
1. 在“**Operations**”菜单中选择“**Pressure/Temperature Profile**”操作。选择“**Source_1**”做为目标，同时选择“**Temperature**”做为变量。
2. 在“**Pressure/Temperature Profile**”界面中点击 ，将弹出输入界面，输入数据范围如下：



Set Range

Start End Step

3. 点击“**Apply**”按钮，关闭数据范围设置窗口。
4. 输入数据后用户界面如下所示：



Pressure/Temperature Profiles

Calculated Variable

☐ Inlet Pressure

☒ Outlet Pressure

☐ Liquid Rate

Default Profile Plot

☐ Elevation vs Pressure

☐ Elevation vs Temperature

☒ Pressure vs Total Distance

☐ Temperature vs Total Distance

Sensitivity Data

Object

Variable

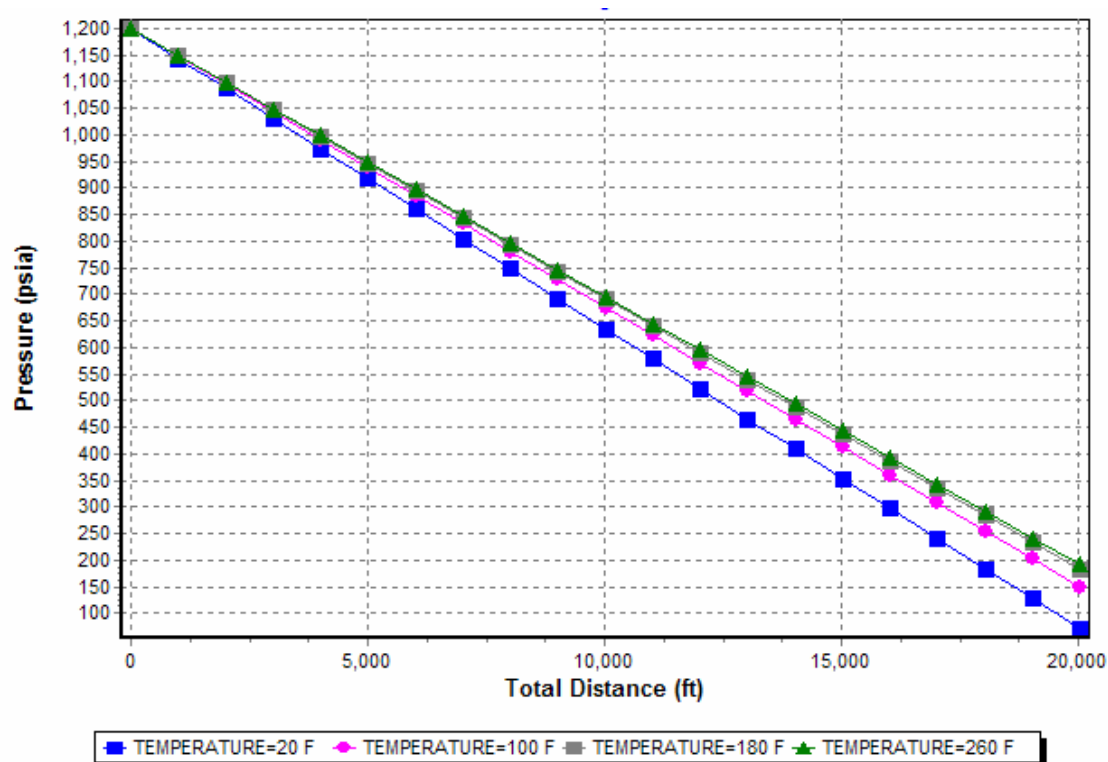
	Values
	Range...
-	F
1	20
2	100
3	180
4	260
5	
6	
7	

步骤 2. 运行模型

点击“Run Model”按钮。将使用 Moody 相关式进行压力计算（缺省为单相流相计算关式）。

步骤 3. 观察 PSPLIT 输出结果

计算结束后将出现下图所示压力剖面。



注意：最高的注入压力得到的压力降最低。因为随着温度增高，粘度降低，因此雷诺数增大，对应的摩擦系数降低，进而使得摩擦压力降减小。

换句话说：

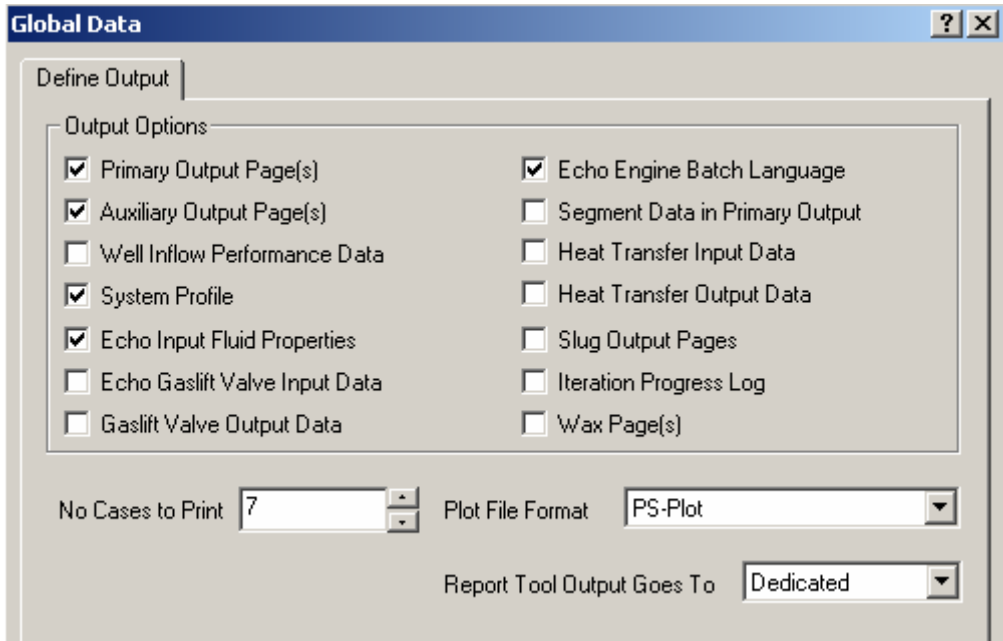
$$T \uparrow \gg \mu \downarrow \gg \text{Re} = \frac{\rho v d}{\mu} \uparrow \gg f \downarrow \gg \left(\frac{dp}{dL} \right)_{\text{friction}} \downarrow$$

对于水相的例子而言，由于水相被假设为不可压缩流体，因此温度对密度的影响可以忽略不计。


在绘图视图选择“Data”项，可以观察不同温度下计算结果。

步骤 4. 查看输出文件

1. 可通过操作（Pressure/Temperature Profiles）对话框中选择“**Output File**”按钮或“**Reports**”菜单中选择输出文件项打开输出文件。其中，输出文件（缺省条件下）包含只第一个敏感参数算例（ $T = 20 \text{ deg F}$ ）相关数据及结果。如希望得到所有敏感参数下的输出结果，则需要通过“**Setup**”菜单选择“**Define Output**”选项设置打印输出案例数（No Cases to Print）为 7。



2. 重新运行计算。

提示：如果您没有改变操作或操作（**Operations**）菜单中的参数，您可以通过点击运行图标  完成计算。

3. 打开输出报告，您就可以看到 7 个敏感案例的计算结果。

4. 回到“**Setup > Define Output**”菜单。选中“**Segment Data in Primary Output**”选项并重新运行。打开输出结果文件，可以看到增加内容已被加载。

	Dist.	Elev.	Horiz.	Vert.	Pres.	Temp.	Mean	Pressure Drop	Liquid	Free	Densities	Slug	Flow	
	(feet)	(feet)	Angle	Devn.	(psia)	(F)	Vel	(psi)	Flow	Gas	(lb/ft ³)	Number	Pattern	
Flowline_1	(feet)	(feet)	(deg)	(deg)	(psia)	(F)	(ft/s)	Elev. Frictn.	(bbl/d)	(mass/d)	Liquid	Gas (PI-SS)		
1	0.0000	0.0000	2.862	87.14	1200.0	40.000	7.8954	0.0000	0.0000	5964.0	0.00000	64.061	5.4066	LIQUID
s001	.99875	.04994	2.862	87.14	1199.9	40.000	7.8954	.02222	.03422	5964.0	0.00000	64.061	5.4066	Huge LIQUID
s002	250.50	12.525	2.862	87.14	1185.8	40.025	7.8956	5.5496	8.5406	5964.2	0.00000	64.060	5.3665	Huge LIQUID
s003	500.00	25.000	2.862	87.14	1171.7	40.050	7.8960	5.5494	8.5407	5964.5	0.00000	64.057	5.2869	Huge LIQUID
s004	749.50	37.475	2.862	87.14	1157.6	40.075	7.8964	5.5491	8.5407	5964.8	0.00000	64.053	5.2076	Huge LIQUID
s005	999.00	49.950	2.862	87.14	1143.6	40.100	7.8967	5.5488	8.5408	5965.1	0.00000	64.050	5.1286	Huge LIQUID
2	1000.0	50.000	2.862	87.14	1143.5	40.100	7.8969	22.241	34.263	5965.2	0.00000	64.049	5.0891	Huge LIQUID
s001	1001.0	50.050	2.862	87.14	1143.4	40.100	7.8969	.02221	.03422	5965.2	0.00000	64.049	5.0888	Huge LIQUID
s002	1250.5	62.525	2.862	87.14	1129.3	40.125	7.8971	5.5485	8.5409	5965.3	0.00000	64.047	5.0494	Huge LIQUID
s003	1500.0	75.000	2.862	87.14	1115.2	40.150	7.8975	5.5483	8.5410	5965.6	0.00000	64.044	4.9711	Huge LIQUID
s004	1749.5	87.475	2.862	87.14	1101.1	40.175	7.8979	5.5480	8.5411	5965.9	0.00000	64.041	4.8932	Huge LIQUID
s005	1999.0	99.950	2.862	87.14	1087.1	40.200	7.8983	5.5477	8.5412	5966.2	0.00000	64.038	4.8157	Huge LIQUID
3	2000.0	100.00	2.862	87.14	1087.0	40.200	7.8985	22.237	34.265	5966.4	0.00000	64.036	4.7769	Huge LIQUID

5. PIPESIM 为每个附加段计算出压力降，从而得到各主要节点处属性精确平均值，例如：持液率、速度等。

练习 3 气管线敏感参数分析

不需对前面例子中的物理组件，接下来您将探讨单相气体流动特性。

步骤 1. 重新定义流体模型

选择 “**Setup > Black Oil**”，在数据输入界面中将含水率改为 100%（将 GOR 改为 LGR），如图所示：

DEFAULT - Black Oil Properties

Black Oil Properties | Viscosity Data (Optional) | Advanced Calibration Data (Optional) | Contaminants (Optional)

Import...
Export

Fluid Name: gas | Optional Comment:

Stock Tank Properties:

- WCut: 100 %
- LGR: 0 STB/mmscf
- Gas S.G.: 0.64
- Water S.G.: 1.02
- API: 30

Calibration Data at Bubble Point (Optional but Recommended):

- Pressure: psia
- Temperature: F
- Sat. Gas: scf/STB

Solution Gas Correlation:

- Rs and Pb: Lasater

步骤 2. 修改 “Pressure/Temperature Profile” 操作并运行模型

1. 按照下图所示修改 “Pressure/Temperature Profile” 界面数据：

Pressure/Temperature Profiles

Calculated Variable

☐ Inlet Pressure 1200 psia

☒ Outlet Pressure

☐ Gas Rate 10 mmscf/d @

Default Profile Plot

☐ Elevation vs Pressure

☐ Elevation vs Temperature

☒ Pressure vs Total Distance

☐ Temperature vs Total Distance

Sensitivity Data

Object: Source_1

Variable: Temperature

	Values
	Range...
-	F
1	20
2	100
3	180
4	260
5	
6	
7	

Measured Data...

Run Model

Profile Plot...

Summary File...

Output File...

OK Cancel Help

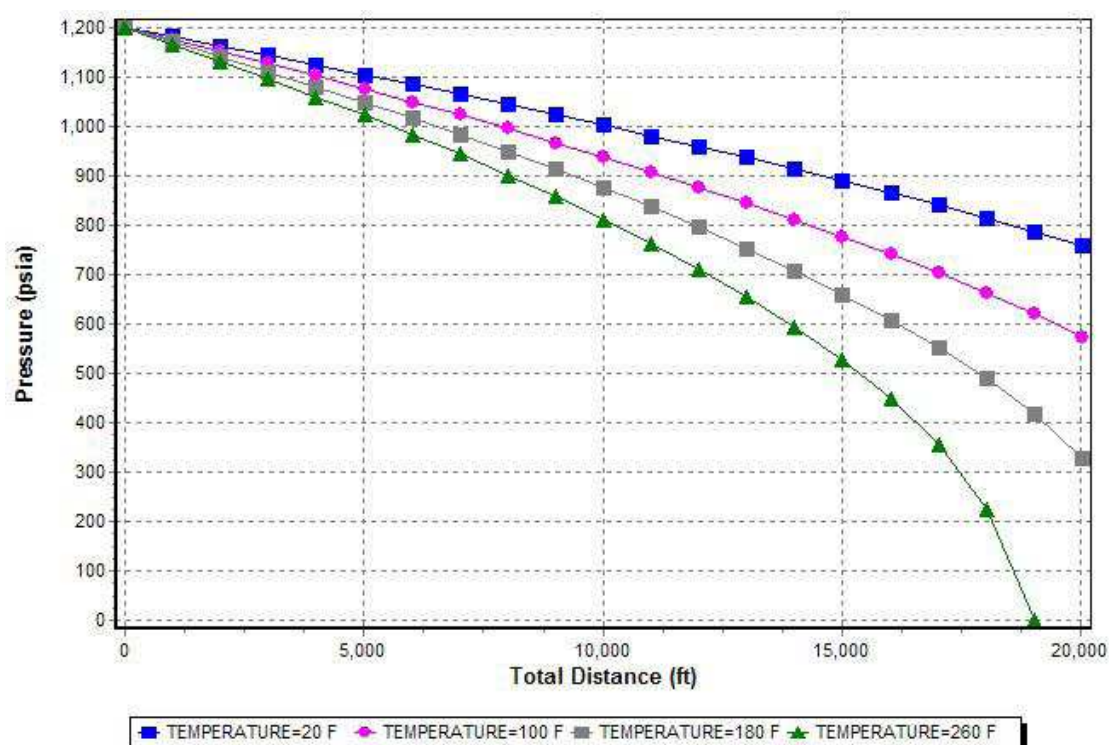
2. 在 “**Setup > Define Output**” 菜单中取消 “Segment Data in Primary Output” 选中状态。

步骤 3. 运行模型

点击 “**Run model**” 按钮。因为模拟单相气体模型，压力计算应用 Moody 相关式。

步骤 4. 查看结果图形

当计算运行结束，压力剖面图将显示如下：



回顾前面水相模型练习，由于假设水是不可压缩，因此密度保持不变。然而，气体是可压缩流体，其密度变化可用理想气体状态方程得到，其表达式如下：

$$\rho_g = \frac{pM}{zRT}$$

其中：

- ρ_g = 气体密度
- p = 压力
- M = 摩尔质量
- z = 气体压缩因子
- R = 理想气体常数
- T = 温度

注意：本例中最高入口温度条件产生最大压降。这是因为随着温度升高，密度降低，因此雷诺数降低。进而摩擦系数升高，因此摩擦压力梯度增高。

换句话说：

$$T \uparrow \gg \rho_g \downarrow \gg \text{Re} = \frac{\rho v d}{\mu} \downarrow \gg f \uparrow \gg \left(\frac{dp}{dL} \right)_{friction} \uparrow$$

依据公式 $\left(\frac{dp}{dL} \right)_{friction} = \frac{f \rho v^2}{2 g d}$ 可知，由于气体膨胀引起的速度增加将会使摩擦压力项呈现指数级数增大。这些导致管线中摩擦压力梯度增大以及压力剖面图中曲线曲率增大。

提示：随着温度增加，气体粘度变化很小，因此对气体密度减小的影响很小。本练习说明需要将管线分为小段进而计算流体物性对压力梯度的影响。由于流体物性本身是压力和温度的函数，因此需要假定更小段管线流体平均物性进而提高整个计算的精度。

练习 4 气体流量计算

在前面的练习中，您学习了在已知入口压力及流量情况下计算出口压力。接下来您将学习如何在已知入口压力及出口压力情况下计算气体流量。

在 PIPESIM 大多数的功能运算操作中，用户需要提供入口温度及两个已知变量，同时指定一个需要计算的变量。这些变量包括：

- 入口压力
- 出口压力
- 流量

PIPESIM 是按照流动方向计算各变量值。因此当出口压力为被计算变量时（如前面例子中所示），在求解过程中不需要应用迭代计算以求取出口压力。

但是，当指定出口压力且被计算变量为入口压力或流量时，求解过程别为迭代过程。通过估算计算变量值，直至计算得到的出口压力与设定值误差在许可范围内为止，此时的估算值为被计算变量的数值。

步骤 1. 修改 Pressure/Temperature Profile 界面数据

假定出口压力为 600psia，同时如下图所示删除温度敏感变量数值（选中网格后使用 Ctrl+X 删除）。计算过程将根据给定压力降求解标准状况下气体流量。

Pressure/Temperature Profiles

Calculated Variable

- ☐ Inlet Pressure: 1200 psia
- ☐ Outlet Pressure: 600 psia
- ☒ Gas Rate

Default Profile Plot

- ☐ Elevation vs Pressure
- ☐ Elevation vs Temperature
- ☒ Pressure vs Total Distance
- ☐ Temperature vs Total Distance

Sensitivity Data

Object: Source_1
Variable: Temperature

	Values
	Range...
-	F
1	
2	
3	
4	

Buttons: Measured Data..., Run Model, Profile Plot..., Summary File..., Output File...

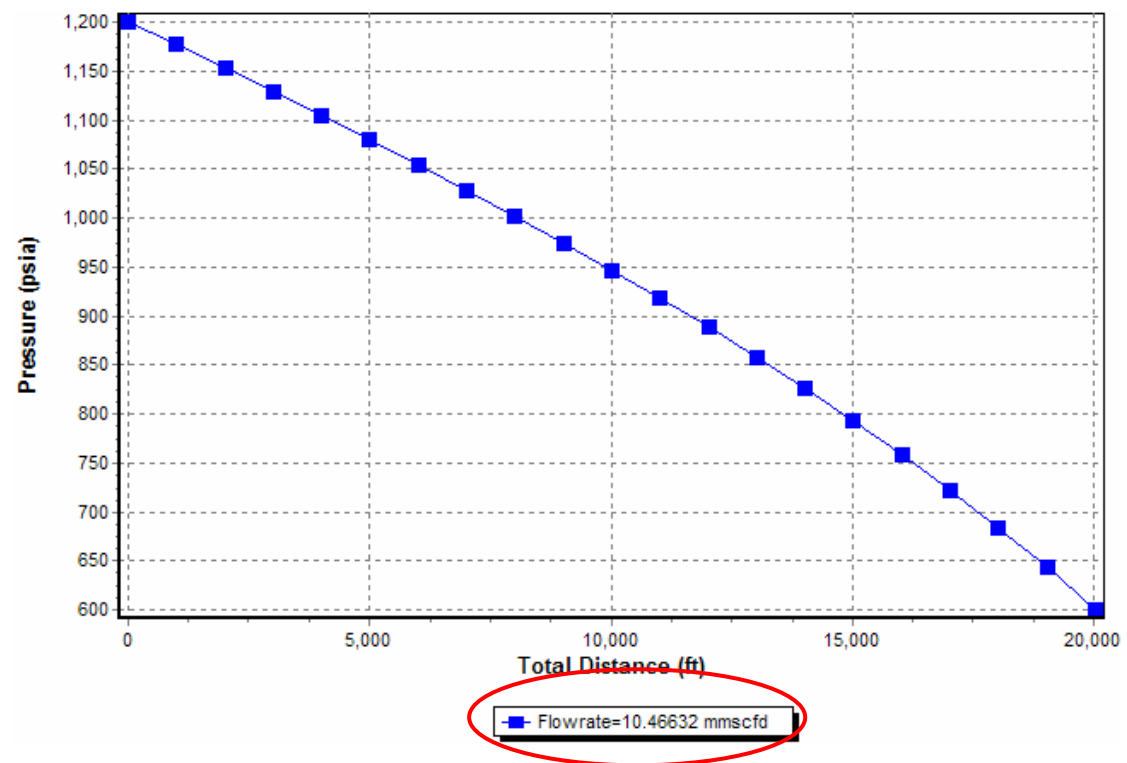
步骤 2. 运行模型

点击界面上的 **Run Model** 按钮进行运算。

压力计算将再次使用 **Moody** 相关式。

步骤 3. 查看 PSPLIT 输出结果

指定压力降下的气体流量计算结果会在剖面图下方的图例中显示出来。



步骤 4. 查看输出文件（.out 文件）

输出文件中可以查看计算过程中每迭代结果，如下图所示。


```
Iteration routine :  
  
Outlet set pressure ..... 600.0000      PSIA  
Estimated flowrate ..... 0.1000000      MMSCFD  
  
Iteration 1: Flowrate= 0.1000000      MMSCFD, outlet pressure= 1165.604      PSIA  
Iteration 2: Flowrate= 0.2500000      MMSCFD, outlet pressure= 1165.361      PSIA  
closest non-zero n1= 2 n2= 1 hi= 2 lo= 0  
overruled 349.57 : too big (maxinc)  
Iteration 3: Flowrate= 0.7500000      MMSCFD, outlet pressure= 1163.279      PSIA  
closest non-zero n1= 3 n2= 2 hi= 3 lo= 0  
overruled 135.99 : too big (maxinc)  
Iteration 4: Flowrate= 2.250000      MMSCFD, outlet pressure= 1145.351      PSIA  
closest non-zero n1= 4 n2= 3 hi= 4 lo= 0  
overruled 47.879 : too big (maxinc)  
Iteration 5: Flowrate= 6.750000      MMSCFD, outlet pressure= 972.4858      PSIA  
closest non-zero n1= 5 n2= 4 hi= 5 lo= 0  
Iteration 6: Flowrate= 14.24604      MMSCFD, outlet pressure= 0.000000      PSIA  
hi & lo binary chop n1= 5 n2= 4 hi= 5 lo= 6  
Iteration 7: Flowrate= 10.49802      MMSCFD, outlet pressure= 594.8118      PSIA  
closest non-zero n1= 7 n2= 5 hi= 5 lo= 7  
Iteration 8: Flowrate= 10.45730      MMSCFD, outlet pressure= 601.4719      PSIA  
closest non-zero n1= 8 n2= 7 hi= 8 lo= 7  
Iteration 9: Flowrate= 10.46632      MMSCFD, outlet pressure= 600.0049      PSIA  
Within outlet pressure tolerance.  
  
Sorted by Flowrate:  
  
Iteration 1: Flowrate= 0.1000000      MMSCFD, outlet pressure= 1165.604      PSIA  
Iteration 2: Flowrate= 0.2500000      MMSCFD, outlet pressure= 1165.361      PSIA  
Iteration 3: Flowrate= 0.7500000      MMSCFD, outlet pressure= 1163.279      PSIA  
Iteration 4: Flowrate= 2.250000      MMSCFD, outlet pressure= 1145.351      PSIA  
Iteration 5: Flowrate= 6.750000      MMSCFD, outlet pressure= 972.4858      PSIA  
Iteration 8: Flowrate= 10.45730      MMSCFD, outlet pressure= 601.4719      PSIA  
Iteration 9: Flowrate= 10.46632      MMSCFD, outlet pressure= 600.0049      PSIA  
Iteration 7: Flowrate= 10.49802      MMSCFD, outlet pressure= 594.8118      PSIA  
Iteration 6: Flowrate= 14.24604      MMSCFD, outlet pressure= 0.000000      PSIA
```

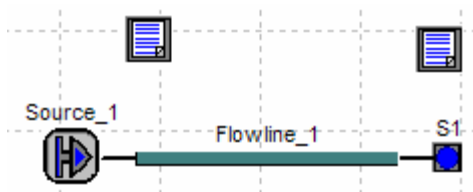
将您建立的模型保存为：exer4.bps

练习 5 多相流动管线模拟计算

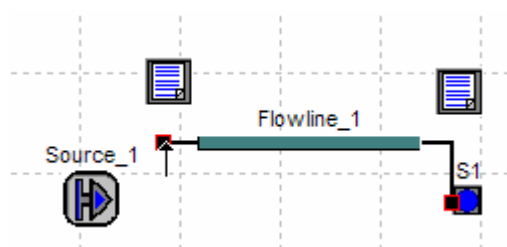
前面的联系里面讲述了以水相及气相为研究对象的单相管流模拟计算。下面我们将建立新的模型，该模型将展示多相管流计算问题。

步骤 1. 建立物理模型

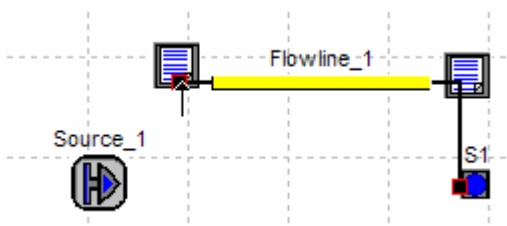
1. 建立如图所示模型，并在管线始端和末端各增加“Report Tool”图标.



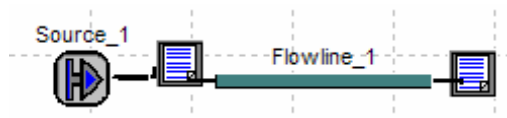
2. 单击选中管线，将与源点连接的管线连接点拖拽至第一各汇报工具图标上，如下图所示：



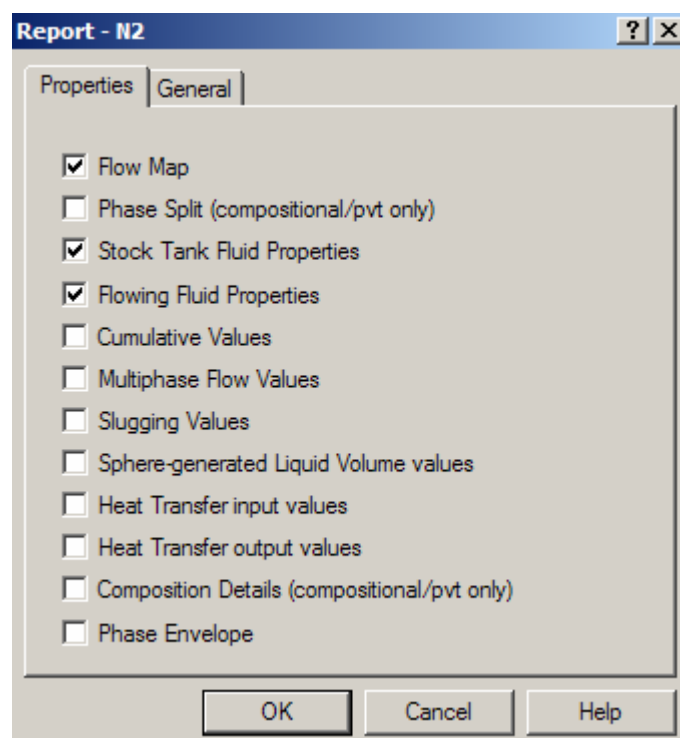
3. 当箭头在“**Report Tool**”图标上时，松开鼠标左键，此时管线将变为黄色。如下图所示：



4. 重复上面操作完成第二个“**Report Tool**”图标与管线连接。选择连接线图标连接第一个汇报工具与源点。选中边界节点并按键盘“**delete**”键删除之。至此，您的模型将如下图所示：

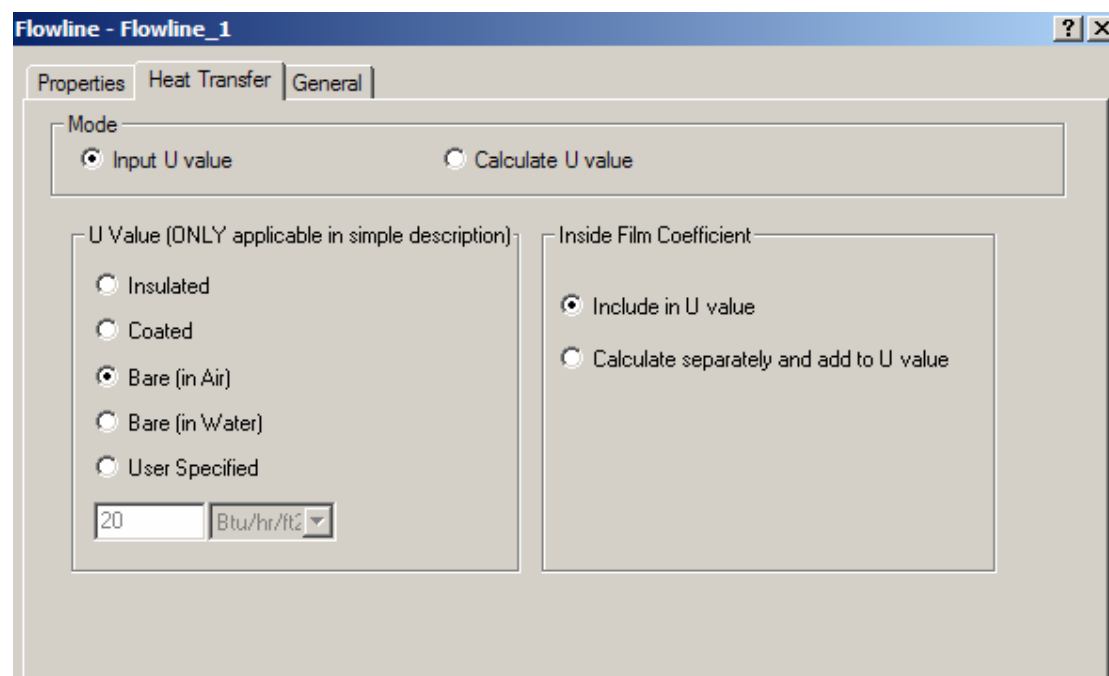


5. 鼠标双击每个“**Report Tool**”图标，输入下图所示选项：



汇报工具选项（两个汇报工具选项相同）

6. 双击管线并选择“**Heat Transfer**”项。选择传热系数典型值大小为管线裸露于空气中情况。



步骤 2. 创建黑油模型

通过“**Setup > Black Oil**”菜单项选择黑油模型流体性质。

DEFAULT - Black Oil Properties [?] [X]

Black Oil Properties | Viscosity Data (Optional) | Advanced Calibration Data (Optional) | Contaminants (Optional)

Import...
Export

Fluid Name: multiphase
Optional Comment:

Stock Tank Properties

WCut: 0 %
GOR: 800 scf/STB
Gas S.G.: 0.64
Water S.G.: 1.02
API: 30

Calibration Data at Bubble Point (Optional but Recommended)

Pressure: psia
Temperature: F
Sat. Gas: scf/STB

Solution Gas Correlation

Rs and Pb: Lasater

步骤 3. 选择流动相关式

1. 通过 “**Setup > Flow Correlations**” 菜单，选择 “Beggs and Brill Revised (Taitel-Dukler Map)” 方法做为水平流动计算相关式，选择 “Hagedorn and Brown” 方法做为垂直流动计算相关式。

The screenshot shows the 'Global Data' window with the 'Flow Correlations' tab selected. The settings are as follows:

- Vertical Flow (Multiphase):**
 - Source: bjb
 - Correlation: Hagedorn & Brown
 - Friction factor: 1
 - Holdup factor: 1
- Horizontal Flow (Multiphase):**
 - Source: bjb
 - Correlation: Beggs & Brill Revised, Taitel Dukler map
 - Friction factor: 1
 - Holdup factor: 1
- Vertical-Horizontal Flow Correlation Swap Angle:**
 - Swap angle: 45 (0-90) degrees from horizontal
 - 45 (0-90) deviation from vertical
- Single Phase:**
 - Correlation: Moody

2. 倾斜角度设置为 45°。该角度为计算过程中垂直及水平流动计算相关式之间切换条件。本例中，管线倾斜角度约为 3°，因此计算过程仅使用水平流动计算相关式。

步骤 4. 运行 “Pressure/Temperature Profile” 操作功能

通过选择 “Operations > Pressure Temperature Profile” 菜单完成，如下所示：

Pressure/Temperature Profiles

Calculated Variable

☐ Inlet Pressure 4800 psia

☒ Outlet Pressure

☐ Liquid Rate 10000 STB/d @

Default Profile Plot

☐ Elevation vs Pressure

☐ Elevation vs Temperature

☒ Pressure vs Total Distance

☐ Temperature vs Total Distance

Sensitivity Data

Object: System Data

Variable: Inlet Pressure

	Values	Range...
-	psia	
1		
2		
3		

Measured Data...

Run Model

Profile Plot...

Summary File...

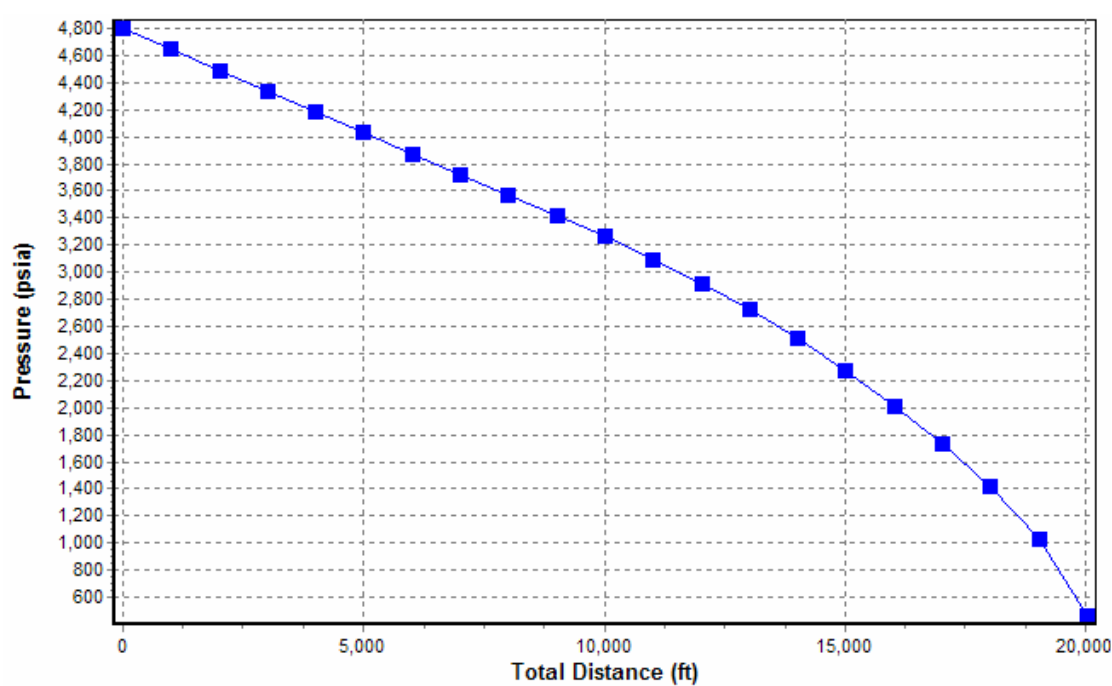
Output File...

提示：如果入口压力文本框为空，则入口压力缺省为 Source_1 的压力值。

压力降通过Moody计算相关式（缺省的单相流计算相关式）及Beggs and Brill Revised 计算相关式进行计算。虽然Taitel-Dukler图版预测的流态并不影响压力降计算结果，但是Taitel-Dukler Flow Regime Map 计算结果仍会被写入报告中。

步骤 5. 运行模型

运行模型。



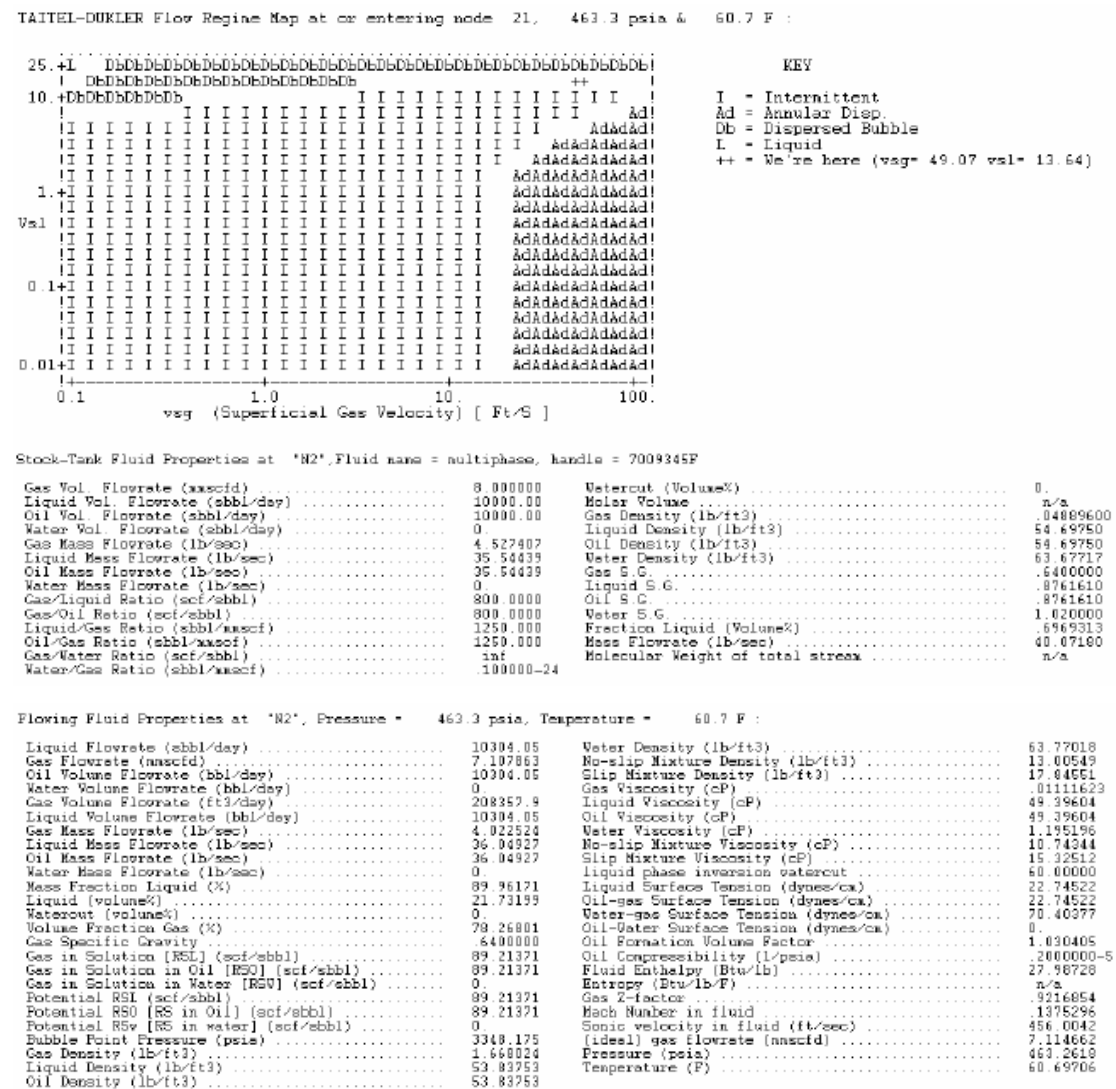
步骤 6. 查看及分析结果

下图显示输出文件中主要输出段内容。

	Dist.	Elev.	Horiz.	Vert.	Pres.	Temp.	Mean	Pressure Drop	Liquid	Free	Densities	Slug	Flow	
	(feet)	(feet)	Angle	Deva.	(psia)	(F)	Vel.	(psi)	Flow	Gas	(lb/ft ³)	Number	Pattern	
			(deg)	(deg)			(ft/s)	Elev. Frictn.	(bbl/d)	(mass/d)	Liquid	Gas (PI-SS)		
Flowline 1	0	0.0000	2.862	87.14	4800.0	60.000	17.469	0.0000	0.0000	0.00000	46.732	17.308	LIQUID	1.2
1	1000	50.000	2.862	87.14	4645.2	60.655	17.488	16.217	138.59	0.00000	46.681	17.047	Base LIQUID	1.2
2	2000	100.00	2.862	87.14	4490.7	61.090	17.506	16.200	136.34	0.00000	46.633	16.785	Base LIQUID	1.2
3	3000	150.00	2.862	87.14	4336.4	61.365	17.523	16.184	136.10	0.00000	46.586	16.519	Base LIQUID	1.2
4	4000	200.00	2.862	87.14	4182.3	61.527	17.541	16.168	137.88	0.00000	46.539	16.246	Base LIQUID	1.2
5	5000	250.00	2.862	87.14	4028.5	61.608	17.559	16.151	137.67	0.00000	46.491	15.963	Base LIQUID	1.2
6	6000	300.00	2.862	87.14	3874.9	61.631	17.578	16.134	137.47	0.00000	46.440	15.668	Base LIQUID	1.2
7	7000	350.00	2.862	87.14	3721.5	61.613	17.598	16.116	137.29	0.00000	46.387	15.354	Base LIQUID	1.2
8	8000	400.00	2.862	87.14	3568.3	61.567	17.620	16.097	137.13	0.00000	46.330	15.016	Base LIQUID	1.2
9	9000	450.00	2.862	87.14	3415.2	61.501	17.644	16.076	136.99	0.00000	46.268	14.648	Base LIQUID	1.2
10	10000	500.00	2.862	87.14	3260.9	61.427	17.713	16.043	138.24	0.00000	46.198	14.239	Base LIQUID	1.2
11	11000	550.00	2.862	87.14	3096.4	61.371	17.844	15.946	146.61	0.00000	46.037	13.754	Base LIQUID	1.2
12	12000	600.00	2.862	87.14	2919.1	61.328	18.025	15.809	161.51	0.00000	45.785	13.167	Base LIQUID	1.2
13	13000	650.00	2.862	87.14	2725.9	61.294	18.283	15.621	177.57	0.00000	45.485	12.451	Base LIQUID	1.2
14	14000	700.00	2.862	87.14	2511.9	61.267	18.667	15.354	198.59	0.00000	45.085	11.567	Base LIQUID	1.2
15	15000	750.00	2.862	87.14	2270.3	61.244	19.270	14.962	226.59	0.00000	44.585	10.464	Base LIQUID	1.3
16	16000	800.00	2.862	87.14	2010.5	61.189	20.205	14.390	245.39	0.00000	43.985	9.1823	Base LIQUID	1.3
17	17000	850.00	2.862	87.14	1729.7	61.106	21.724	13.569	267.21	0.00000	43.285	7.7283	Base LIQUID	1.3
18	18000	900.00	2.862	87.14	1414.6	61.001	24.488	12.365	302.73	0.00000	42.485	6.0786	Base LIQUID	1.4
19	19000	950.00	2.862	87.14	1033.0	60.876	30.777	10.520	370.95	0.00000	41.585	4.1635	Base LIQUID	1.6
20	20000	1000.00	2.862	87.14	463.26	60.697	62.714	8.1271	561.01	0.00000	40.587	2.112	Base LIQUID	2.3

注意：开始时流体为单相液体，当压力降低到泡点以下出现油气两相流。在管道的开始部分使用Moody单相流计算相关式，管线的后面部分一旦出现气体则使用Beggs and Brill计算相关式（各段的持液率在附加输出内容中显示）。最右边数字列为冲蚀速率比（EVR = 实际速率/API 14e 限制值），仅当EVR值大于1后才显示。

指定汇报点输出结果显示如下:



提示: 如果需要在绘图或输出结果中显示SI或用户自定义单位制, 您需要通过选择“**Setup > Units...**”菜单项, 指定单位制, 并重新运行模型。

第二章 油井特性分析

学习目标



本章中，您将学习如何针对下面井特性进行相关操作：

- 评估井底流动条件
- 运行节点分析
- 流体高压物性（PVT）校正
- 流动相关式拟合
- 流入动态（IPR）拟合
- 含水率敏感性分析
- 气举特性分析

开始建模



1. 选择“**File > New > Well Performance Analysis**”。
2. 选择“**Setup > Units**”，设置单位制为工程单位

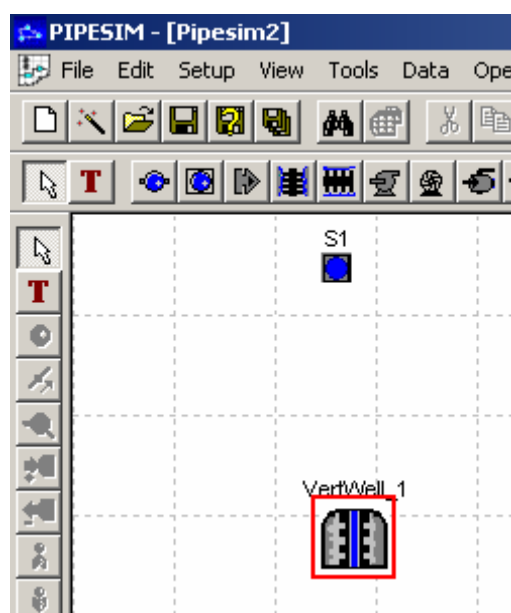
练习 1 定义井模型


步骤 1. 定义模型物理组件

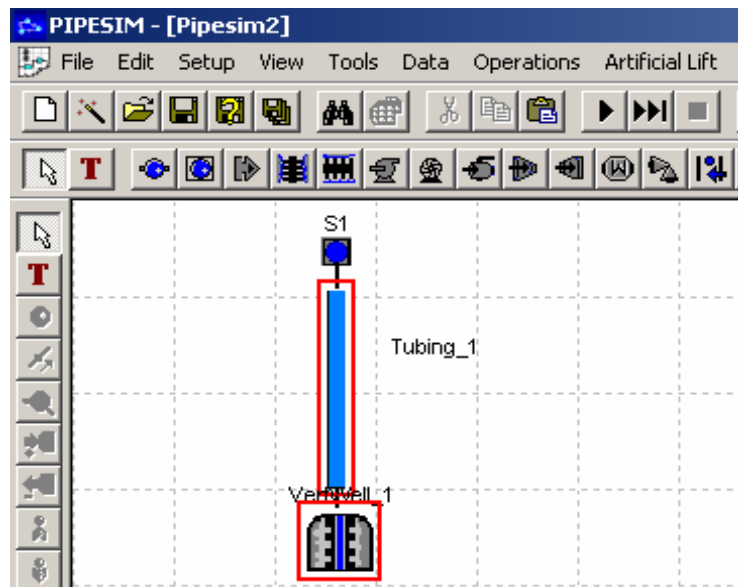
PIPESIM 单分枝模型工具栏如下所示：



1. 选择“**Vertical Completion**”图标, 并将其摆放至单分枝绘图窗口。
2. 选择“**End Node**”图标, 并将其摆放至绘图窗口。



3. 选择“Tubing”图标，按住左键从“VertWell_1”完井段拖拽至边界节点“S1”，进而将“VertWell_1”完井段与边界节点“S1”连接起来：



提示：组件“VertWell_1”和“Tubing_1”红色边框表示重要数据缺乏。

4. 将下表给出的完井段及油管数据输入模型。

油藏及流入数据

流入动态模型 = Well PI

选择“Use Vogel Below Bubble Point”

油藏压力	3600 psia
油藏温度	200 °F
采液指数	8 stb/d/psi

井身轨迹数据

选择详细油管模型（Detail model）

井斜数据

测试深度 (ft)	垂直深度 (ft)
0	0
1000	1000
2500	2450
5000	4850
7500	7200
9000	8550

地温梯度

测试深度 (ft)	环境温度 (°F)
0	50
9000	200

井筒传热系数 = 5 btu/hr/ft²/F (整个井筒均用缺省值)

油管数据

底部测深 (ft)	内径 (inch)
8600	3.958
9000	6.184

步骤 2. 选择黑油模型

选择 “**Setup > Black Oil**”，输入下表流体物性数据。

黑油高压物性 (PVT) 数据

含水率 (Water Cut)	10 %
气油比 (GOR)	500 scf/stb
天然气比重 (Gas SG)	0.8
地层水比重 (Water SG)	1.05
原油 API 度	36 °API

标况下物性

假设使用缺省 PVT 计算公式且没有校正数据

步骤 3. 选择多相流计算方法

1. 选择 “**Setup > Flow Correlation**” 菜单，确定垂直与水平流动缺省计算相关式已经设定（分别为：Hagedorn Brown 和 Beggs-Brill Revised 计算方法）。稍后我们将根据测试数据选择最佳计算相关式。
2. 保存模型为：CaseStudy1_Oil Well.bps。

练习 2 评估井底流动条件

根据给定（如上例）基础数据，建立单井模型（包含：垂直完井段、油管 and 边界节点）以得到如下结果：

- 井底流压
- 井口流温
- 给定井口油压下的产量

操作步骤：

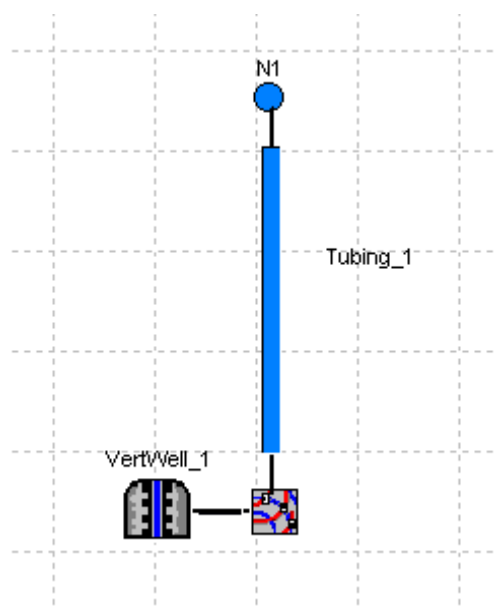
1. 建立模型并输入练习 1 给出的基础数据。
2. 运行 “**Operations > Pressure / Temperature Profile**” 操作。
 - a. 输入出口压力（井口油压）— 300 psia （用于计算日产液量）。
 - b. 将“入口压力”置空（缺省为完井段油藏压力）。
 - c. “敏感性变量”置空。
3. 观察结果曲线图形及汇总结果文件并给出答案

计算结果

井口油压	300 psia
产量	
井底流压	
井口流温	

练习 3 运行节点分析

使用练习 1 的模型，并在井底增加节点分析点。操作方法：在靠近完井段位置增加节点分析组件，在油管上单击鼠标左键，按住油管底部端点不放，并拖至节点分析点组件上。在节点分析点及完井段间增加连接符。



根据给定出口压力（井口油压），运行节点分析操作，求解生产协调点（井底流压及流量），同时求解该井 AOFP（绝对无阻流量）。

操作步骤：

1. 在完井段及油管间增加节点分析点；
2. 选择 “**Operations > Nodal Analysis**” 。
 - a. 输入给定出口压力
 - b. 将流入敏感参数及流出敏感参数置空
 - c. 运行模型
3. 观察结果图形并求解答案。

计算结果

井口油压	300 psia
产量	

井口油压	300 psia
井底流压	
井口流温	

练习 4 高压物性（PVT）校正

为了更准确的预测井生产特性，必须对流体高压物性（PVT）进行校正。以便模拟所有生产条件下压力及温度变化对所有流体物性指标的影响。这些流体物性指标随后将用于单相及多相流中相态计算、流态计算、压力损失计算以及与环境间热交换计算等。

下面的表格中给出了所用流体实验室分析数据。

1. 打开 “**Setup > Black Oil**”，选择 “**Viscosity Data (Optional)**” 项，输入下面校正参数：

- 在 “Dead Oil Viscosity” 中选择 “User Data” 数据，并输入下表中的测试数值。

死油粘度测试数据

高压物性	温度 (° F)	数值
粘度	200	1.5 cp
	60	10 cp

- 活油粘度（Live Oil Viscosity）选择 “Chew and Connally” 相关式。
- 乳化粘度计算方法选择 “Brinkman” 相关式。
- 未饱和原油粘度选择 “Bergman-Sutton” 相关式。

2. 选择 “**Advanced Calibration Data**” 项，点击 “**Single-Point Calibration**” 按钮。输入下表测试数据以校正高压物性模型。

高压物性校正数据

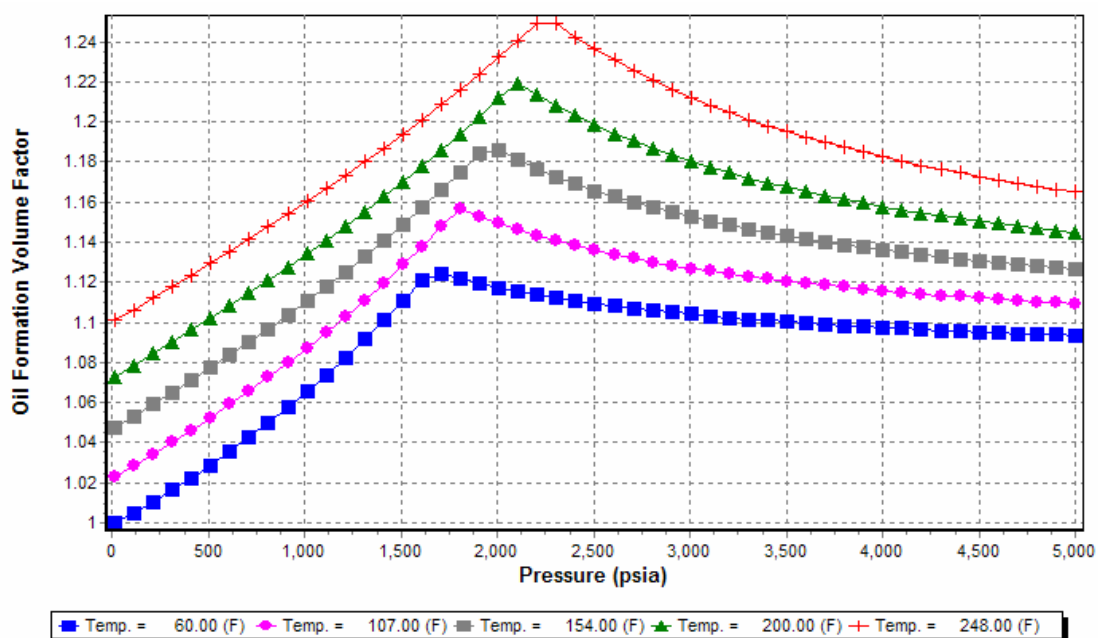
范围	高压物性	数值	压力 (psia)	温度 (° F)
$P > P_b$	OFVF	1.18	3000	200
$P = P_b$	Sat. Gas	500 scf/stb	2100	200
$P \leq P_b$	OFVF	1.22	2100	200
	Live Oil Viscosity	1.1 cp	2100	200
	Gas viscosity	0.029 cp	2100	200
	Gas Z factor	0.8	2100	200

3. 选择如下高压物性计算相关式

高压物性	计算相关式
溶解气油比	Lasater
原油体积系数 ($P \leq P_b$)	Standing
活油粘度	Chew and Connally
天然气压缩因子	Standing

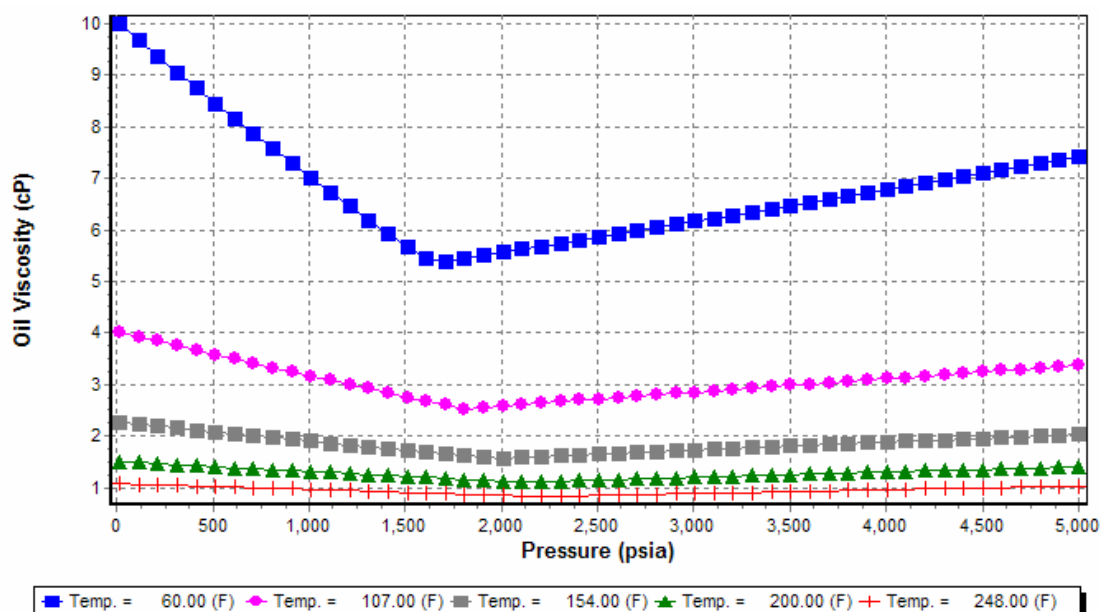
4. 在“**Advanced Calibration Data**”项中，选择“Plot PVT Data (Laboratory Conditions GOR = GSAT)”产生不同压力、温度下流体高压物性曲线图。

- a. 选择“Series”菜单，改变 Y 轴显示内容为“Oil Formation Volume Factor”。根据校正值预测高压物性曲线如下：



b. 重复上面操作，确保原油及天然气粘度预测结果准确。

提示：死油是指压力在 14.7psia 条件下原油。



注意：预测得到 60 ℉ 及 14.7psia 下原油粘度值为 10.0cp，与实验室测试值相同。

提示：可以通过点击对话框下端的“Help”按钮得到标况下流体物性定义及合理范围。

5. 至此流体模型完成校正，重新运行“Pressure-Temperature Profile”。求解给定出口压力下井底流压、井口流温以及产量。与练习 1 比较，对比校正前后结果差异。

6. 观察结果图形并求解答案。

计算结果

井口油压	300 psia
产量	
井底流压	
井口流温	

提示：对泡点压力的校正就是为了校正溶解气油比计算相关式。若设定的标况下气油比高于校验值，则将得到高的泡点压力（例如：气油比与压力曲线将通过该校正值，但泡点压力却不是指定气油比下的计算值）。相反的，如果标况下溶解气油比小于输入的校正值，则使用标况下溶解气油比而非校正值。

练习 5 流动相关式拟合

单井流动梯度测试（FGS）结果往往容易得到。您可以用这些测试数据优选垂直多相流计算相关式。

1. 选择 “**Data > Load/Add Measured Data**” 。
2. 选择 “**New**” 。
3. 输入下面所示测试数据：

	MD	Pressure	Temperature
-	ft	psia	F
1	0	300	
2	1500	560	
3	2500	750	
4	4500	1240	
5	6500	1820	
6	7500	2160	
7	8500	2470	
8			
9			
10			

4. 选择 “**Save Changes**” 。
5. 进入 “**Operations > Flow Correlation Matching**” 。
- a. 指定出口（井口）压力和日产液量，选择入口压力做为被计算变量；
- b. 选择几个垂流流动相关式（例如：Beggs and Brill Revised、Duns and Ros、Hagedorn and Brown、TUFFP aka Zhang），并运行模型；
- c. 运行模型
6. 观察计算结果图形，找出最接近实测值的计算相关式。
7. 进入 “**Setup > Flow Correlations**”，选择拟合效果最好的计算相关式做为以后多相流计算相关式。

计算结果

井口油压	300 psia
垂直接流动计算相关式	
井底流压	

练习 6 运行 IPR（流入动态）拟合

练习 5 中已经选出了最适合的流动计算相关式，给定油藏压力 3600psia，应用练习 4 中给出的测试数据计算 PI 值（采液指数）。计算新 PI 值下的 AOFP 值（绝对无阻流量）。

采液指数估值范围在 5 ~10 stb/d/psi 间。

在此有两种拟合 PI 的方法：

方法 A 系统分析法

1. 进入 “**Operations > System Analysis**”
 - a. 输入出口压力 **Outlet Pressure**（计算日产液量）
 - b. X 轴变量选择垂直完井段做为目标，同时设置采液指数做为变量，变量值为：5，6，7，8，9 及 10。
 - c. 将 “Sensitivity Variable 1” 置空。
2. 运行模型，生成日产液量与采液指数 PI 关系曲线。
3. 观察曲线，找出与日产液量符合的采液指数 PI 值。

方法 B 节点分析法

1. 进入 “**Operations > Nodal Analysis**” 。
 - a. 选择 “**Limits**”，输入输出曲线点数为 30.
 - b. 输入 “**Outlet Pressure**”。
 - c. 对于流入敏感参数，选择垂直完井段做为目标，同时设置采液指数做为变量，变量值为：5，6，7 及 8。
 - d. 将流出敏感参数置空
 - e. 生成节点分析曲线
2. 根据协调点确定采液指数 PI 值。
3. 从流入曲线上读取 AOFP 值（绝对无阻流量）。

计算结果

井口油压	300 psia
采液指数 PI	
绝对无阻流量 AOF	

特别提示：根据拟合数据更新完井段采液指数值。

练习 7 含水率敏感性分析

给定当前井口油压及油藏压力，确定油井生产最大可能含水率。

提示：确定完井段采液指数已经根据练习 6 模型更新过。

同样，这里也有两种方法进行此类敏感性分析。

方法 A 系统分析法

1. 进入 “**Operations > System Analysis**”
 - a. 输入出口压力 **Outlet Pressure**（计算日产液量）。
 - b. X 轴变量选择流体数据（**Fluid Data**）做为目标，同时设置含水率做为变量，变量值为：30%、40%、50%、60% 及 70%。
 - c. 将 “**Sensitivity Variable 1**” 置空。
2. 运行模型，生成日产液量与含水率关系曲线。
3. 观察曲线，用插值修改方法找出日产液量为零时含水率值。

提示：需要多次改变含水率敏感参数值并重新运行模型。

方法 B 节点分析法

1. 进入 “**Operations > Nodal Analysis**”。
2. 输入出口压力 “**Outlet Pressure**”。
 - a. 流入敏感参数 “**Inflow Sensitivity**” 置空。
 - b. 流出敏感参数设置为含水率，其值为 30%、40%、50%、60% 及 70%。
3. 运行模型，生成节点分析图形。
4. 找出无生产协调点时最小含水率值。

提示：需要多次改变含水率敏感参数值并重新运行模型。

计算结果：

井口油压	300 psia
含水率	

练习 8 气举特性分析

在本练习中，我们将分析当在井下测深 8000ft 处增加注气点后，油井生产特性如何变化。

任务：

1. 分析气举生产条件下，含水率为 10% 和 60% 时油井生产特性；
2. 确定不同注气量及含水率下日产液量变化。

气举参数	
井口油压 (psia)	300
注入气比重	0.6
地面注入气温度 (°F)	100

操作步骤

1. 在油管中添加气举注气点。在油管中 “**Downhole Equipment**” 项，选择 “**Properties**” 按钮，输入缺省注气量为：1 mmscf/d。
2. 进入 “**Operations > Artificial Lift Performance**”。
3. 输入出口压力。
 - a. 输入含水率敏感参数分别为：10% 和 60%；
 - b. 对于注气量，选择范围从 1.0 至 10.0，间隔为 0.5。
4. 运行模型，生成不同含水率下日产液量与注气量关系曲线。
5. 观察曲线及输出汇总文件，给出答案。

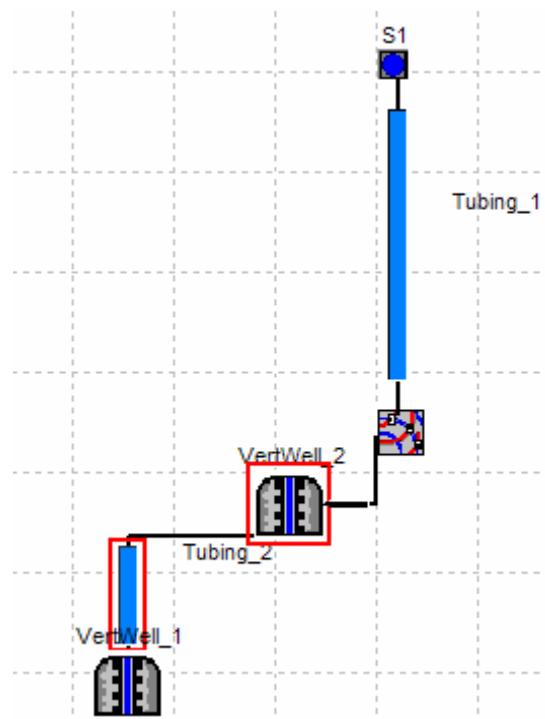
计算结果：

气举注气量 (mmscf/d)	日产液量 (stb/d) @ 10% Wcut	日产液量 (stb/d) @ 60% Wcut

练习 9 多层开采计算

测井解释显示，在垂深 7500ft 处有一薄气层。做为地面注气的替代方式，我们分析打开该气层进而进行该井“自我气举”可行性分析。

1. 如下图所示，在节点分析点与原完井段间增加新垂直完井段，并用另一油管连接两完井段。



2. 将上段油管长度改为上层射孔段顶部高度。

a. 修改“Deviation Survey”数据，垂深至 7200ft，如下图所示：

The screenshot shows the 'Tubing - Tubing_1' window with the 'Deviation Survey' tab selected. The 'Preferred Tubing Model' is set to 'Detailed Model'. The table below shows the deviation survey data:

	MD	TVD	Angle
-	ft	ft	(Deg)
1	0	0	0
2	1000	1000	14.83511
3	2500	2450	16.2602
4	5000	4850	19.94844
5	7500	7200	25.84193
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			

NOTE : Enter the Datum depth in the first row

Dependent Parameter

☐ TVD

☐ MD

☒ Angle

Calculate

b. 修改“Geothermal Survey”数据，测深 7500ft 处环境温度为 180°F

c. 在“**Tubing Configurations**”项，指定油管内径为 3.958，底部测深为 7500 ft

d. 将“**Downhole Equipment**”项中气举阀删除。

3. 定义下部油管柱参数。

a. 在“**Deviation Survey**”项，定义下部油管剖面如下图所示：

The screenshot shows the 'Tubing - Tubing_3' window with the 'Deviation Survey' tab selected. The 'Preferred Tubing Model' is set to 'Detailed Model'. The table below shows the deviation survey data:

	MD	TVD	Angle
	ft	ft	(Deg)
1	7500	7200	25.84193
2	9000	8550	
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			

NOTE : Enter the Datum depth in the first row

Dependent Parameter

☐ TVD

☐ MD

☒ Angle

Calculate

b. 在“**Geothermal Survey**”项，指定环境温度：7500ft 处为 180°F，9000ft 处为 200°F。

c. 在“**Tubing Configuration**”项，指定油管内径及底部测深：

3.958in@8600ft, 6.184in@9000ft。

4. 由于没有测试数据，上部油藏流入动态使用拟稳态（PSS）达西方程进行模拟计算。按照下表所示数据输入相关参数，假定表皮系数（S）为 0。

a. 油藏属性

上部气层参数	
模型	拟稳态模型
是否使用拟稳态？	是
气藏压力	3000 psia
气藏温度	108 °F
有效厚度	5 ft
渗透率	20 md

- b. 流体模型 — 使用局部流体模型，液气比为 1.0 STB/mmscfd，含水率 100%（纯气藏）。天然气比重 0.67。其它流体物性及计算相关式使用缺省值。

5. 为分析上部气层射孔效果（与气举注气比较），我们运行含水率 60% 情况下压力/温度剖面计算。

- a. 通过 “**Setup > Black Oil**”，设置含水率为 60%；
- b. 选择 “**Operations > Pressure/Temperature Profile**”；
- c. 设定出口压力为 300psia，日产液量做为被计算变量；
- d. 运行模型；
- e. 查看输出结果，给出结论。

井口油压	300psia
日产液量 (STBD)	
日产气量 (气层) (mmscfd)	

- f. 与气举结果对比，确定气举气注气量为多少时可以得到气层射空生产相同日产液量？

等值注气量：_____

第三章 气井特性分析

学习目标

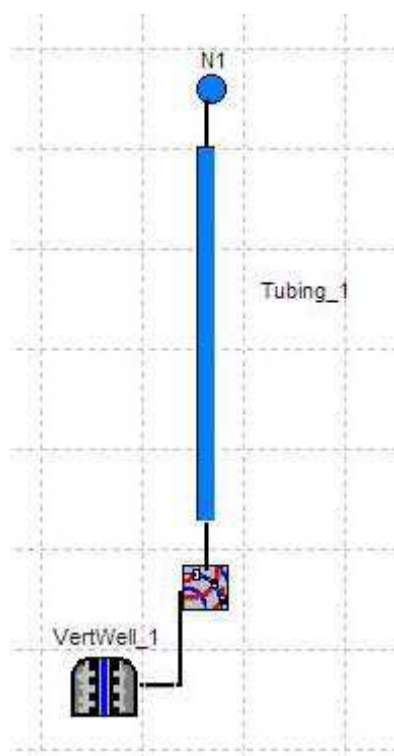


一口气井钻井结束后，同一气层 DST 测试数据和流动梯度测试结果会同时完成。本章中，您将学习如何针对下面气井特性进行相关操作：

- 建立简单井模型
- 校正流入动态模型
- 运行以井底为节点的节点分析
- 运行系统分析
- 模拟管线流动及油嘴特性
- 评价高携液量及流动计算相关式拟合
- 计算持液率和生成流态图
- 油藏至出口压力-温度关系剖面
- 凝析液增加后压降计算
- 闪蒸计算

练习 1 建立简单井模型

使用下面的数据构件井物理模型：



气藏参数	
气藏静压	4,600 psia
气藏温度	280°F
采气指数	1×10^{-6} mmscf/d/psi ²
油管参数	
气层中部垂直深度	11,000 ft
气层中部测试深度	11,000 ft
化境温度	30 °F
完井管柱底部测量深度	10,950 ft
油管内径	3.476 in
套管内径	8.681 in

Vertical Completion - VertWell_1

Properties | Fluid Model | General

Reservoir Data
 Static Pressure: 4600 psia
 Temperature: 280 F

Completion Model
 Model Type: Well PI
☐ Flow Control Valve FCV Properties

Gas PI: 1e-006 mmscf/d/psi2

Calculate/Graph...

Tubing - Tubing_1

Properties | General

Preferred Tubing Model: Simple Model Summary Table

Datum MD: 0 ft
 Ambient Temperature: 30 F

SSSV (Optional)
 MD: ft
 ID: inches

Kick Off MD: 0 ft

Artificial Lift (Optional)
☒ Gas Lift ☐ ESP
 MD: ft Properties...

Angle (deg): 0

Tubing Sections (#1 required, others optional)

	From MD: ft	To MD: ft	ID: inches
Tubing #1...	0	10950	3.476
Tubing #2...	10950	11000	8.681
Tubing #3...	11000		
Tubing #4...			

Perforations
 11000 ft MD
 11000 ft TVD
 280 F Reservoir Temperature

Convert to 'Detailed Model'

OK Cancel Help

1. 通过选择 “**Setup > Compositional**” 打开 “**Compositional Fluid**” 菜单。
 - a. 选择 “**Options**” 项，确定 “**Multiflash**” 计算包被选中（对于 Schlumberger 员工，选择 “**SIS Flash**” 计算包）。
 - b. 选择 “**Component Selection**” 项。增加组分，从组分列表选择需要增加的组分，点击 “**Add >>**”。输入各组分摩尔体积分数。

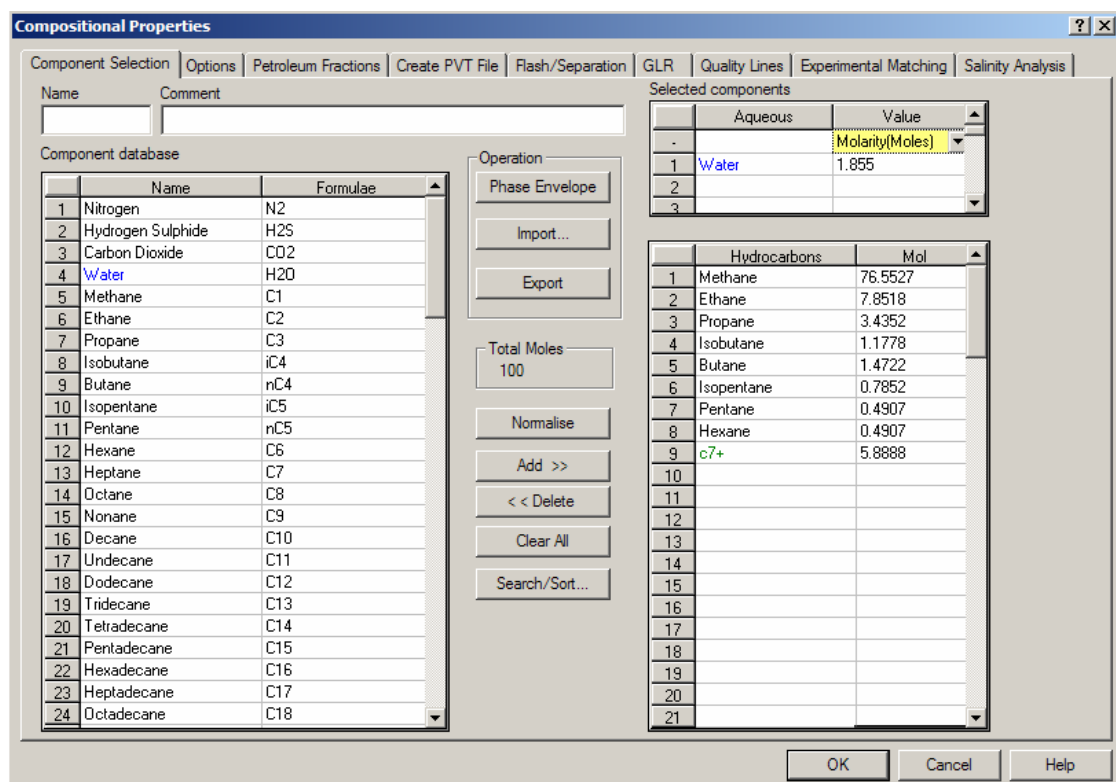
组分 (%)	
Methane	78
Ethane	8
Propane	3.5
Isobutane	1.2
Butane	1.5
Isopentane	0.8
Pentane	0.5
Hexane	0.5

- c. 增加 C7+拟组分，选择 “**Petroleum Fractions**” 项，输入拟组分名以及相关参数，选中该行并点击 “**Add to Composition**”。

标况下拟组分的物性	
C7 ⁺ BP	214 °F
C7 ⁺ MW	115
C7 ⁺ SG	0.683

返回 “**Component Selection**” 项页面，设定 C7⁺摩尔体积分数为 6。

- d. 测定油藏条件下饱和含水量。通过下面步骤确定该饱和值：
 - i. 组分中随意增加一个含水量（如：20 moles）；
 - ii. 选择 “**Flash/Separation**” 项，点击 “**PT**” 按钮，输入油藏压力和温度（4600 psia, 280 °F），运行闪蒸计算，记录下气相中水含量；
 - iii. 包含水相的气态烃组分将被数值化。使用拷贝/粘贴（Ctrl C/Ctrl V）功能将水组分和烃组分复制到组分编辑界面中；



- iv. 点击“**Phase Envelope**”按钮，生成包络相图；
 - v. 在“**Component Selection**”项中，选择“**Export**”，将组分命名为“sat_gas”，并保存。
- e. 进入“**Setup > Flow Correlations**”，选择“Gray Modified”方法做为垂直流动计算相关式；
 - f. 选择“**File > Save As**”，模型保存为“GasWell.bps”文件；
 - g. 选择“**Operations > Pressure/Temperature Profile Operation**”。选择气体产量做为被计算变量，设定出口压力为 800psia，运行模型。结果曲线下方会显示产量。井底流压也可以从图中读出。在绘图菜单中，选择“**Series**”，将 Y 轴变为温度。则在曲线图中可以读出井底及井口温度。

计算结果:

P _{res} = 4,600 psia, T _{res} = 280°F	
饱和情况下水含量	

井口压力 800 psia	
产气量	
井底流压	
井底流温	
井口流温	

练习 2 流入模型校正

在本联系中，您将使用气井拟稳态流入动态回压方程。回压方程表达式如下所示：

$$Q_{sc} = C(p_R^2 - p_{wf}^2)^n$$

其中，

Q_{sc} = 产气量 (mmscf/d)

p_R = 平均气藏压力 (psia)

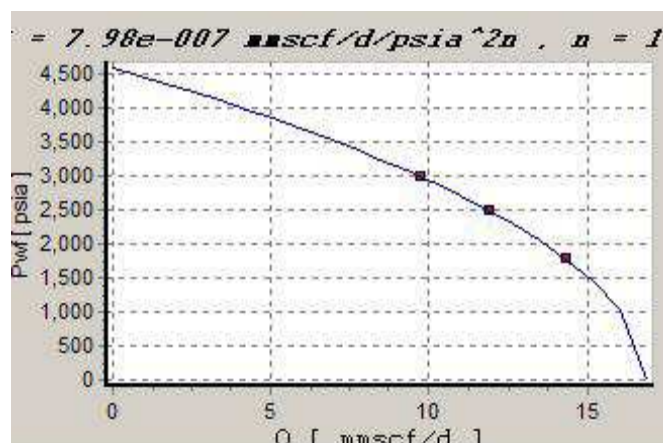
p_{wf} = 井底流压

C = 流动系数

n = 非达西指数

1. 使用下表生产测试数据，拟合出回压方程参数 C 及 n 。通过以下操作完成，双击完井段图标，选择从下拉菜单中选择“Back Pressure Equation”。单击“Calculate/Graph”；输入下表数据。

产气量 (mmscf/d)	井底流压 (psia)
9.7	3000
11.9	2500
14.3	1800



提示：在图形上按住右键拖拽定位数据。

放大图形，选择需要放大部位，按住左键在窗口并向右下角拖拽

选取放大范围；

缩小图形，按住左键向左上角拖拽。

2. 使用新的流入动态模型计算产量、井底流压、井底流温、井口油温。重新运行“Pressure/Temperature Profile”功能。观察图形及结果文件，完成下表。

计算结果：

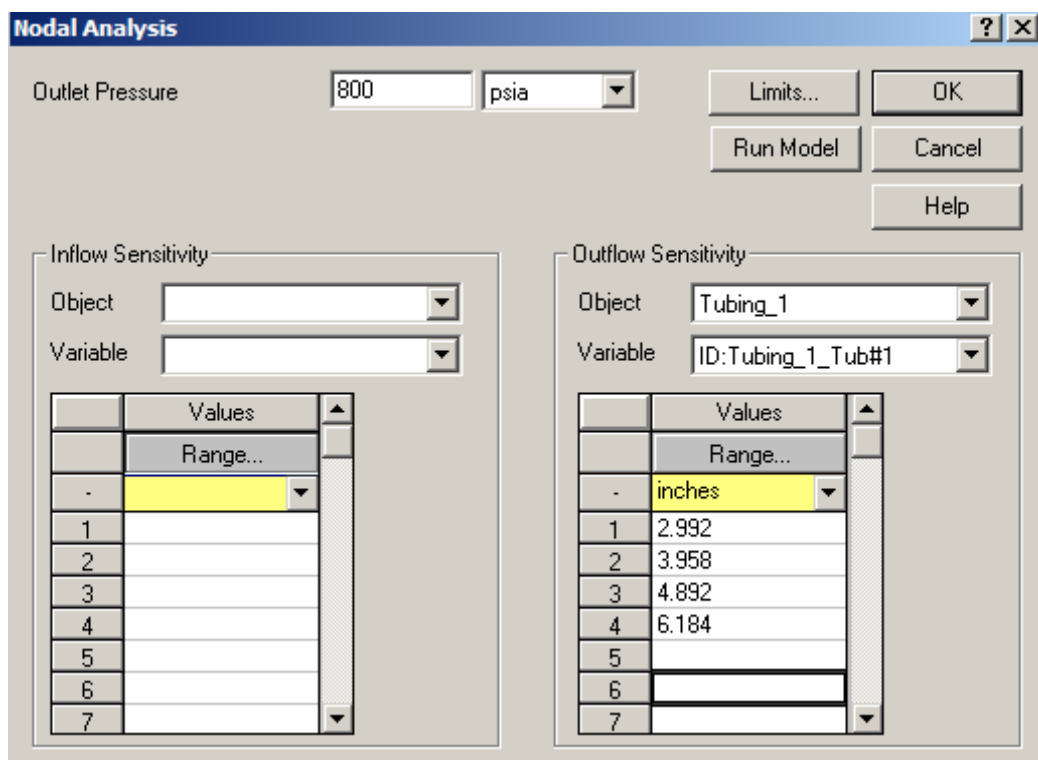
Pres = 4,600 psia, Tres = 280°F	
饱和情况下水含量	

井口压力 800 psia	
产气量	
井底流压	
井底流温	
井口流温	

练习 3 运行井底为节点的节点分析

节点分析可以用来优选油管尺寸。可选油管内径有：2.992”、3.958”、4.892”、和 6.184”。

1. 使用可选油管尺寸运行节点分析。
 - a. 确定在油管及完井段间包含节点分析点；
 - b. 选择 “**Operations > Nodal Analysis**”。输入出口压力 800psia，油管内径做为流出敏感参数并运行模型。



2. 使用油管尺寸做为敏感参数，运行 “Pressure/Temperature profile” 功能。在剖面图界面，通过选择 “**Series**” 选项，将 X 轴变量改为冲蚀速率比（ $EVR = \text{实际流速} / \text{API 14e 限制值}$ ），进而确定最大冲蚀速率比。
3. 在节点分析结果及 EVR 计算结果基础上，选择油管尺寸为：_____
4. 在完成下表，并在以后的练习中使用该油管尺寸。

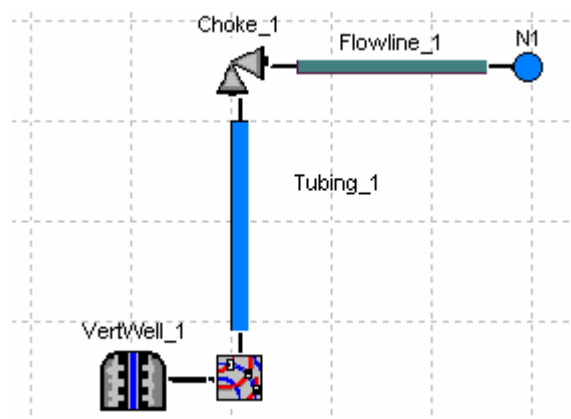
计算结果：

井口压力 800 psia	
产气量	
井底流压	
井底流温	
井口流温	

选中油管尺寸	
最大冲蚀速率比	

练习 4 模拟管线流动及油嘴特性分析

根据下面参数在模型中增加水平管线及油嘴。



管线详细参数	
管线长度	300 ft
管线内径	6 in
管道粗糙度	0.001 in
内壁厚度	0.5 in
环境温度	60 °F

提示： 任意输入油嘴尺寸，其值将被敏感变量参数代替。

任务：

使用“mechanistic”油嘴模型，使用任务 3 中例 3 产气量，计算管汇压力为 710psia（管汇即管线末端）时又作尺寸。油管内径：3.958”。

操作步骤

1. 可以使用系统分析完成本此任务。选择油嘴尺寸（假定油嘴尺寸范围 1”~3”，增量为 $\frac{1}{2}$ ”）做为 X 轴变量。出口压力做为被计算变量。
2. 将油嘴尺寸结果输入油嘴模型中，运行 “Pressure/Temperature Profile”，确定井口油压为 800 psia。
3. 观察图形结果，确定油嘴尺寸保证在出口压力为 710 psia。观察输出文件，得出油藏、油管、油嘴和管线各处的压力降。

计算结果：

管汇压力 710psia	
油嘴尺寸	

系统各处压力损失	
ΔP 油藏	
ΔP 油管	
ΔP 油嘴	
ΔP 管线	

练习 5 预测产量变化

“System Analysis” 功能可以用来预测油藏压力变化对产气量影响。

1. 将油嘴和管线处于非激活状态（组件上右键并单击 “Active”）；
2. 从 “Operations” 下拉菜单中选择 “System Analysis”。将产气量设置为被计算变量。井口油压设为 800 psia。X 周变量设置为油藏静压，压力值分别为：4600、4300、3800 及 3400psia。
3. 运行模型，查看结果曲线。

练习 6 评价高携液量及流动计算相关式拟合

随着生产进行，当地层压力降低到 4300psia 后，由于凝析液产量增加将会出现更高的携液量。

1. 另存模型文件。
2. 双击完井段，将气藏静压设置为 4300psia。

3. 根据下表所示输入重质组分。按照前面所示的单点闪蒸方法确定饱和水含量。确保闪蒸是在 4300psia 下进行。

组分含量 (%)	
C ₁	75
C ₂	6
C ₃	3
iC ₄	1
nC ₄	1
iC ₅	1
nC ₅	0.5
C ₆	0.5
C ₇₊	12

4. 在 “**Data**” 菜单中选择 “Load/Add Measured Data”，输入下表 FGS 数据。

a. 选择 “New” 并输入井名及日期

b. 输入下面的测试数据

深度 (ft)	压力 (psia)
3000	980
6000	1190
9000	1400
11000	1550

c. FGS 测试环境为：

i. 产气量：13.4 mmscf/d

ii. 井口油压：800 psia

5. 选择 “**Operations > Flow Correlation Matching**”。将入口压力做为被计算变量，输入测试产气量及井口油压。选择Ansari、Duns and Ros、Hagedorn and Brown、Gray Modified、TUFFP相关式进行拟合。运行模型并查看输出文件最后给出各相关式得到压力算术平均误差，选出误差最小的相关式。

6. 选择 “**Setup > Flow Correlations**”，输入最适合流动相关式。

计算结果：

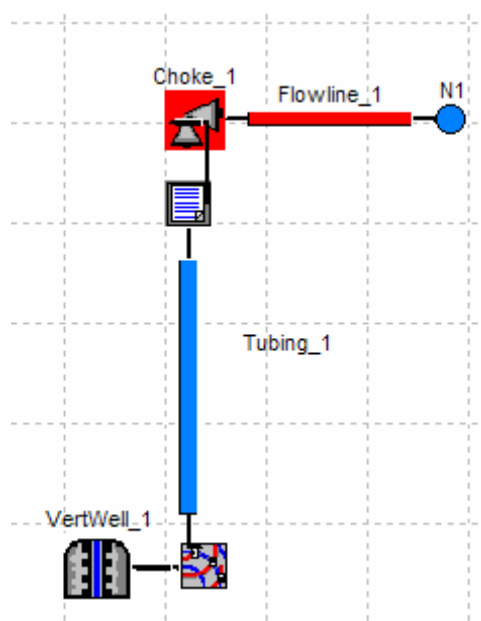
气藏压力：4300psia，气藏温度：280°F	
饱和含水百分比	

井口油压：800psia	
最适合计算相关式	
算术平均误差（%）	
绝对平均误差（%）	

练习 7 油藏至出口压力-温度关系剖面

为判断是否会出现水合物，需要绘制基于相图的从油藏至管线末端的压力-温度关系曲线。

1. 在油嘴前增加“Report Tool”，如下图示



2. 双击“Report Tool”，选中“Phase Envelope”项。
3. 运行“Pressure/Temperature Profile”计算，并将显示结果曲线 Y 轴设置为压力，X 轴设置为温度。
4. 在生成的曲线图上，如果生产 PT 曲线与水合物相图相交，则会生成水合物。

计算结果：

环境温度：30°F	
是否生成水合物	

第四章 水平井设计

通过本章节练习，您将学习如何应用 PIPESIM 进行水平井设计及特性分析。

学习目标

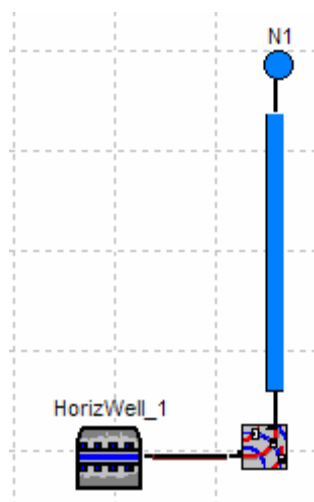


本章中，您将使用 PIPESIM 进行如下相关操作：

- 优化水平井长度
- 计算水平井流入动态
- 对比水平及垂直井特性差异
- 模拟多段射孔水平井特性

建立模型

根据下表参数建立井模型如下：



油管参数

井眼轨迹数据

测量深度 (ft)	垂直深度 (ft)
0	0
7000	7000
7700	7600
8400	8000

9000	8200
9500	8300

地温梯度数据

测量深度 (ft)	环境温度 (°F)	传热系数 U 值 (Btu/hr/ft2)
0	50	2
900	200	2

井下油管结构

油管底部测量深度 (ft)	油管内径 (in)	管道粗糙度 (in)
9500	2.992	0.001

完井段数据	
静压	4600 psia
油层温度	200 ° F
流入动态模型	Distributed PI
模型类型	Distributed PI
分布式采气指数	1.00E-9 mmscf/d/psi2/ft
井眼数据	
长度	10000 ft
内径	2.992 in
环境温度	200 °F

流体模型

组分模型 — 输入下表组分：

组分	摩尔含量 (%)
Methane	0.846
Ethane	0.087
Propane	0.038
Isobutane	0.013
Butane	0.016

水气体积比：2 BBL/mmscf

流动计算相关式选择

选择 Beggs-Brill Revised 做为水平及垂直流动计算相关式。

练习 1 优化水平井长度

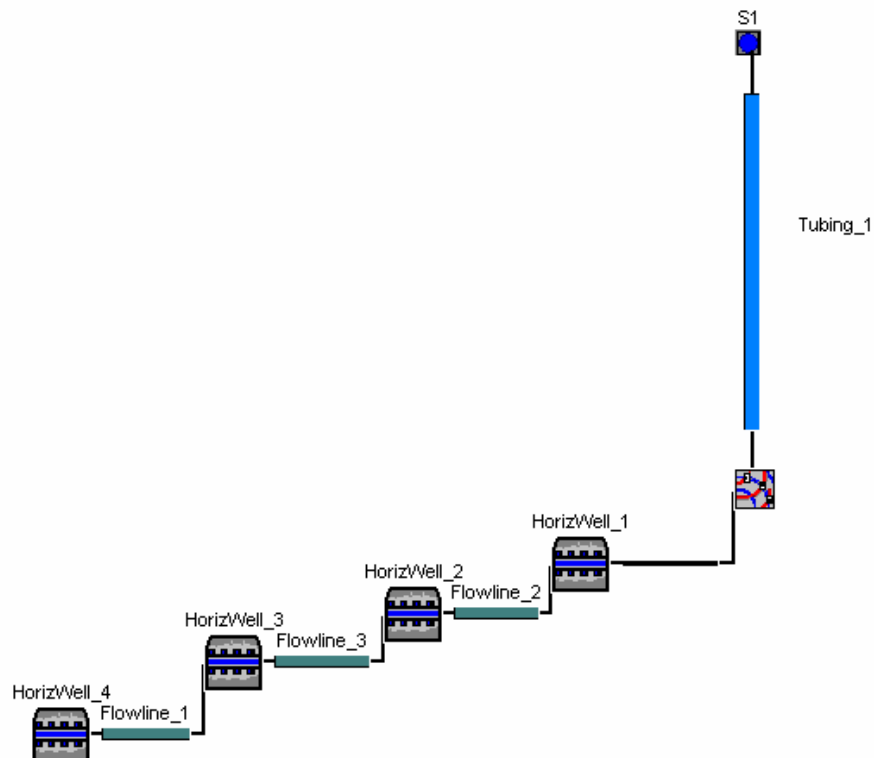
1. 选择 “**Operations > Optimum Horizontal Well Length**”。
2. 计算出口压力为 200psia，长度为 10000ft 水平井水平段最佳长度及水平段压力损失。

优化水平段长度:_____

练习 2 多段射孔水平井模拟

根据地质描述，该油藏包含四个独立砂体分别为 500、400、400 及 500ft 宽。砂体间非渗透带宽度均为 400ft。

1. 各水平完井段间使用管线图件连接，如下图所示。



2. 运行 “Pressure Temperature Profile”，计算产气量，同时出口压力为 200psia。

计算结果:

出口压力: 200psia	
产气量	
水平段起始端压力	

第五章 人工举升设计

电潜泵设计

学习目标

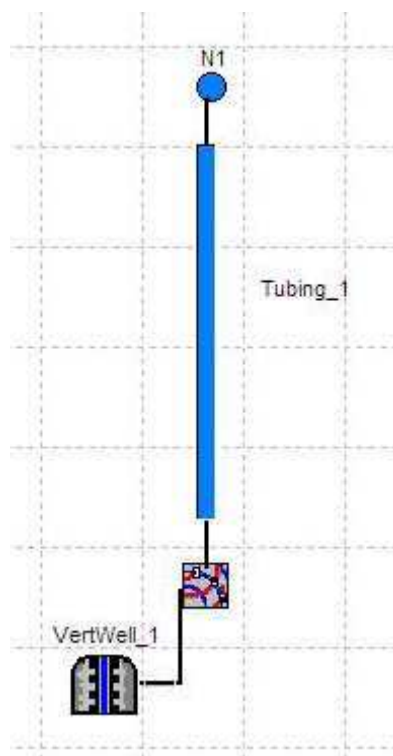


本例将讲述如下相关操作：

- 分析油井是否需要人工举升
- 选择合适电潜泵
- 根据设计调教计算所需电潜泵技术
- 评价不同转速电潜泵特性
- 评价不同油井条件下电潜泵特性

练习 1 单井建模及节点分析

根据下面基础数据，构建井模型并运行节点分析（解节点在井底）。该步计算时井下未增加电潜泵。



流体参数

物性指标 (标况)	值
含水率	90 %
气油比	449 scf/stb
天然气比重	0.984
地层水比重	1.026
原油 API 度	30

高压物性校正数据

范围	物性指标	值	压力 (psia)	温度 (°F)
P = Pb	溶解气油比	449 scf/stb	2216	288
P < Pb	原油体积系数	1.33	2216	288
P < Pb	活油粘度	0.54 cp	2216	288

井筒参数

直井	
射孔深度	9393
油套管参数:	
4½" (3.958" ID) 油管至 8200ft	
9⅝" (8.681" ID) 套管至 9393ft	
注: 下个练习中电潜泵吸入深度为 8300 ft	
地面环境温度: 68 °F	

油藏及流入参数

垂直完井段	
地层压力	3625 psia
地层温度	288 °F
采液指数	12.4 stb/d/psi

任务

使用 *Hagedorn and Brown* 多相流相关式确定该井是否能自喷。

操作步骤

1. 利用上面数据建立单井模型。在井底增加 “**Nodal Analysis**” 图标。
2. 运行 “**Operations > Nodal Analysis**” 。
 - a. 考虑到极限情况，输入出口压力为 1 大气压；
 - b. PIPESIM 将计算产量，上限为绝对无阻流量；
 - c. 将流入敏感参数和流出敏感参数置空；
 - d. 查看图形结果。

练习 2 选泵及优化设计

任务

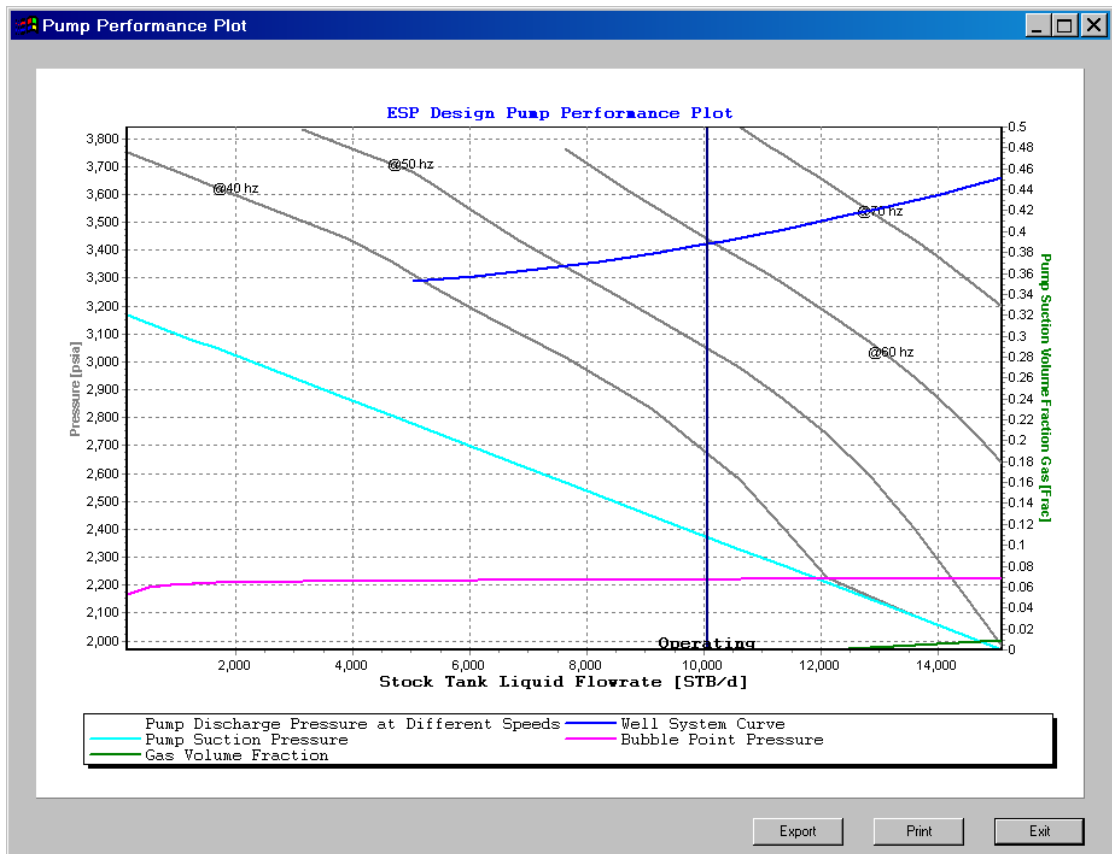
根据下面给出的设计条件，选择合适的电潜泵并计算电泵级数及所需功率。

电潜泵设计条件：	
设计产量	10,060 stb/d
设计井口油压	130 psia
下泵深度	8300 ft (套管尺寸 9 5/8" (8.681" ID))
设计频率	60 Hz
假设：无气体分离器，无粘度校正，压头系数为 1.	

操作步骤

1. 在 “**Artificial Lift**” 菜单中选择 “**ESP > ESP Design**” 。
2. 输入上述给定泵设计参数。
3. 点击 “**Select Pump**” 按钮（将从电泵数据库中根据设计参数优选泵）。
4. 选取厂商为 “Reda” 。
5. 选中 “Reda HN13000” 型号泵，并点击 “**OK**” 。
6. 在泵参数栏点击 “**Calculate**” 按钮（将计算电潜泵参数）。
7. 读取所需电泵级数为：_____
8. 读取所需电机功率为：_____hP
9. 点击 “**Pump Performance Plot**” 按钮。
10. 读出井系统曲线与 50Hz 及 70Hz 泵曲线交点处流量值。

11. 读出泵吸入口压力曲线与泡点压力曲线交点值。



A = 50Hz 时电泵生产协调点（产量和泵出口压力）

B = 70Hz 时电泵生产协调点（产量和泵出口压力）

C = 泵吸入口压力低于泡点压力

计算结果：

电泵级数（HN13000）	
电机功率要求	
产量范围（频率从 50 到 70Hz）	
吸入口压力低于泡点压力时产量	

练习 3 不同生产条件下泵特性分析

通过点击“**Pump Parameters**”界面底部“**Install Pump**”按钮，将所选电泵安装至您建立的井模型中。

任务

确定含水率上升至 95% 后单井产量（假定使用相同泵级数及频率）。

操作步骤

1. 通过点击“**Pump Parameters**”界面底部“**Install Pump**”按钮，将所选电泵安装至您建立的井模型中。
2. 进入“**Operations > System Analysis**”。
3. 输入出口压力（选择被计算变量为日产液量）。
4. 将“X-axis variable”设置为含水率，其值为：90% 和 95%。
5. 将“Sensitivity Variable 1”置空。
6. 生成标况下日产液量与含水率关系曲线图。
7. 读出含水率为 95% 时日产液量。

计算结果：

日产液量（含水率 95%）	
---------------	--

气举设计 — 新设计阀距

学习目标

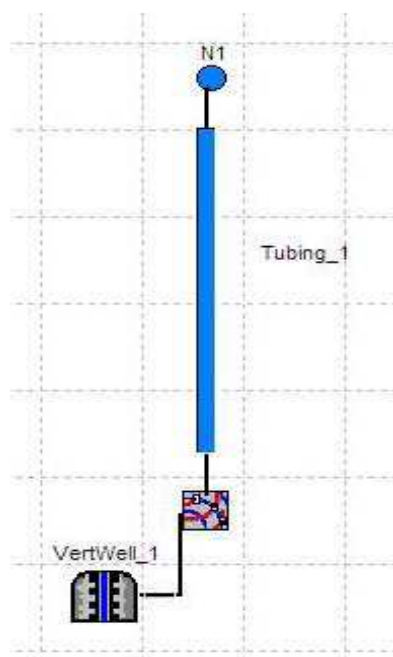


本例将讲述如下相关操作：

- 建立模型并运行节点分析确定是否需要人工举升；
- 气举响应计算；
- 进行气举设计（使用“IPO Surface Close”方法）。

练习 1 单井建模及节点分析

1. 根据下面基础数据，构建井模型并运行节点分析（解节点在井底）。该步计算时井下未增加气举阀。



2. 经验证，该井不能自喷，假设井口油压 110psig。

黑油模型数据

含水率	55%
气油比	300 scf/stb
原油重度	32 °API
天然气重度	0.64
地层水比重	1.05

流动相关式

选择“Hagedorn and Brown”做为垂直多相流计算相关式。

井眼轨迹

测量深度 (ft)	垂直深度 (ft)
0	0
7550	7550
油藏中深 7550ft	

地温梯度

测深 (ft)	环境温度 (F)	传热系数 (Btu/hr/ft ² /F)
0	50	2
7550	175	2

油套管参数

2 7/8 “ (2.441” ID) 油管底部至 7500ft
7 “ (6.184” ID) 套管从 7500ft 至 7550ft

油藏及流入动态

油藏压力	2800 psig
油藏温度	175 °F
采液指数	2.5 stb/d/psi
低于泡点压力使用 Vogel 方程	

操作步骤

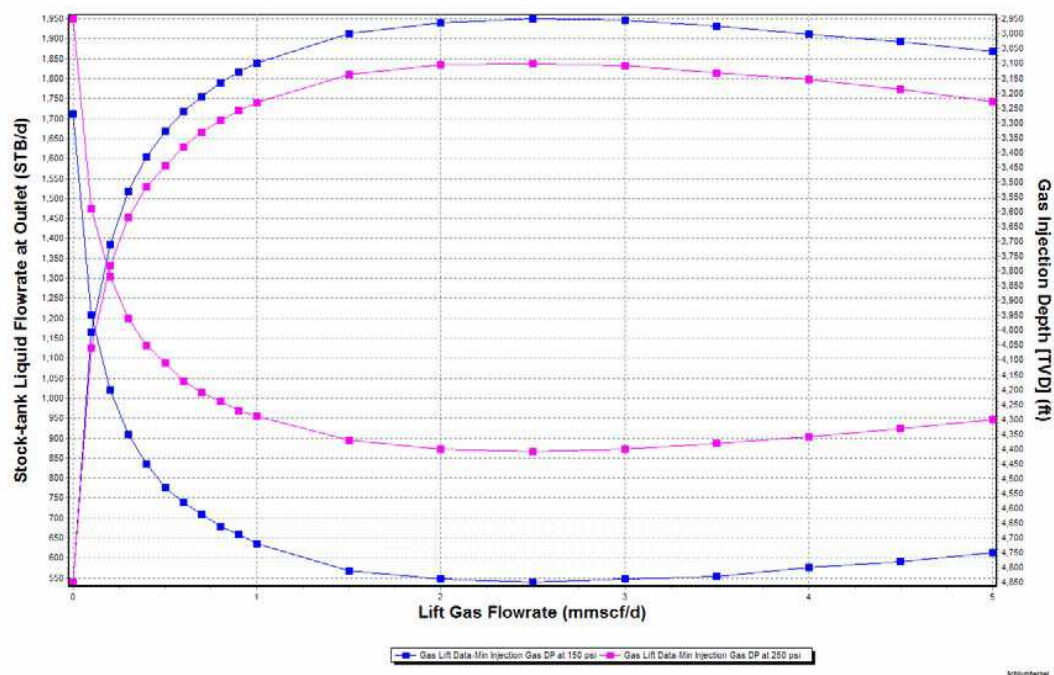
1. 利用上面数据建立单井模型。经节点（**Nodal Analysis** 图标）设置在井底。
2. 运行“**Operations > Nodal Analysis**”。
 - a. 输入出口压力（110psig）；
 - b. 将流入敏感参数和流出敏感参数置空；
 - c. 查看图形结果。

练习 2 气举响应计算

使用“**Lift Gas Response**”功能，估算气举设计时所需注气量。

操作步骤

1. 从“Artificial lift > Gas Lift”菜单中选择“**Lift Gas Response**”。
2. 输入注气量敏感变量，变量值从 0 至 5 mmscf/d，间隔为：
 - a. 1.0 mmscf/d 以内间隔为：0.1 mmscf/d
 - b. 5.0 mmscf/d 以内间隔为：0.5 mmscf/d
3. 输入敏感参数最小注气压差 ΔP 分别为：150 和 250psi。
4. 地面注气压力设为 1000psig，地面注气温度 80°F。
5. 注气深度选择“Optimum Depth of Injection”。



提示：最佳产量下最深注气深度约为 4840ft。将在后面联系中讨论这个问题。

练习 3 气举优化设计（“IPO Surface Close”方法）

根据下面气举设计条件，确定各级阀下入深度及卸载阀调试压力。

设计条件

气举设计控制参数	
Design Spacing:	New Spacing
Design Method:	IPO-Surface Close
Top Valve Location:	Assume Liquid to Surface
Manufacturer:	SLB (Camco)
Type:	IPO
Size:	1" (Tubing size 2 7/8 < 3 1/2)
Series:	BK-1
Min Port Diameter:	None
Unloading Temperature:	Default (Unloading)
Production Pressure Curve:	Production Pressure Model

Design Parameters	
Kickoff Pressure:	1000 psig
Operating Injection Pressure:	1000 psig
Unloading Prod. Pressure:	110 psig
Operating Prod. Pressure	110 psig
Target Injection Gas Flow rate:	1.25 mmscf/d
Injection gas Surface Temp:	80 °F
Inj Gas Specific Gravity:	0.64
Unloading Gradient:	0.465 psi/ft
Minimum Valve Spacing:	Calculated
Minimum Valve Inj DP:	150 psi
Bracketing Options:	Not selected

Safety Factors	
Surface Close Pressure Drop Between Valves:	15 psi
Locating DP at Valve Location:	50 psi
Transfer Factor:	0
Place Orifice at operating valve location:	Yes
Discharge Coefficient for Orifice:	0.865

操作步骤

1. 进入 “**Artificial Lift > Gas Lift > Gas Lift Design**” 。
2. 输入上述气举气举设计参数。
3. 点击 “**Perform Design**” 。
4. 选择 “**Graph**”，显示气举设计结果示意图。

Gas Lift Design - Summary

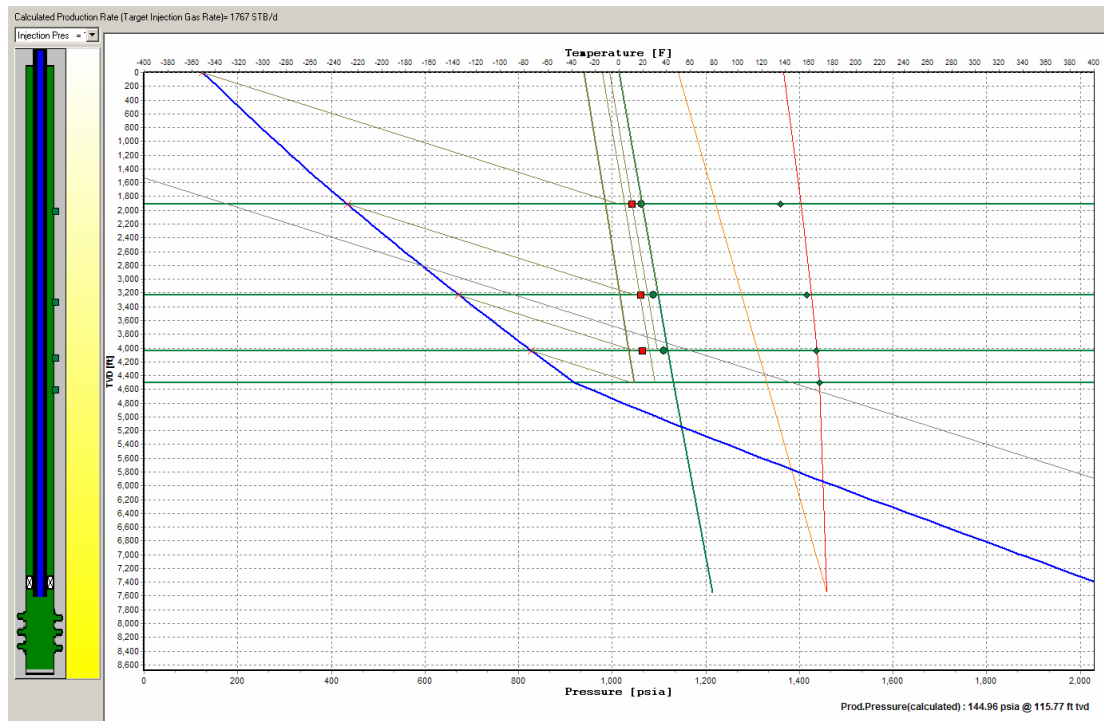
Proposed Design

☒ MD
☐ TVD

Calculated Production Rate at Target Injection Rate = 1767 STB/d

☐ Edit Depth ☐ Edit Valves ☐ Edit Temp

	Valve Depth	Valve Series	Port Size	Ptro	Open Pres at Surface	Close Pres at Surface	Gas Rate (unloading)	Unloading Liq Rate	Max Valve Throughput	Valve Temp
	ft			psig	psig	psig	mmscf/d	STB/d	mmscf/d	F
1	1912.7	BK-1	1/8	911.5	1000	980.8	0.159	1196	0.233	136
2	3232.5	BK-1	3/16	922	990.2	965.8	0.426	1509	0.519	158
3	4037.3	BK-1	1/4	1019	991.5	950.8	0.804	1673	0.893	166
4	4499.6	BKO	5/16	Orifice			1.25	1767	1.36	169
5										
6										
7										
8										
9										
10										



气举设计 — 已知阀距

学习目标



本例中您将学习到在当前气举阀距约束下如何进行气举优化设计。

练习 1 安装井下气举阀系统，最下级阀注气

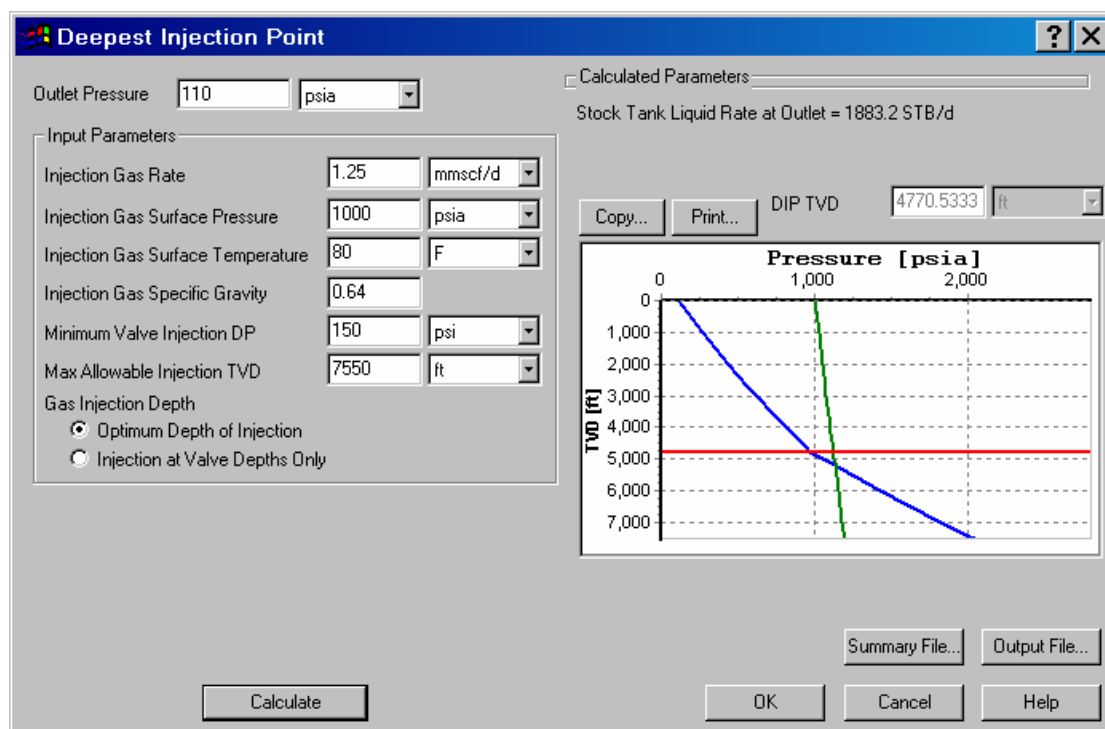
使用前面练习的例子，在油管中增加气举阀：

设备	安装测深	型号	系列
气举阀	1500	IPO-1/8	BK-1
气举阀	2700	IPO-1/4	BK-1
气举阀	3600	IPO-5/16	BK-1
气举阀	4200	IPO-5/16	BK-1
气举阀	4700	IPO-5/16	BK-1
气举阀	5100	IPO-5/16	BK-1

操作步骤

- 在“**Downhole Equipment**”选项（位于详细油管参数对话框），选择“**G/L Valve System**”按钮并选中“**Edit Valve Details**”（仅供气举诊断使用）。
 - 选中表格第一行，点击“**Add...[Valve Lookup]**”按钮；
 - 选择气举阀厂商为SLB (Camco)，类型为IPO，外径为1”，系列号：BK-1，同时点击“**Refresh**”；
 - 通过点击“**Add valve**”，添加上所需气举阀；
 - 在阀系统表中，指定第一级阀深度。
- 重复上面步骤，直至完成所有阀参数。

3. 在“**Artificial Lift > Gas Lift**”菜单中运行“**Deepest Injection Point**”操作。其中注气量为：1.25 mmscf/d，注入压力为：1000psig。然后点击“**Calculate**”按钮。

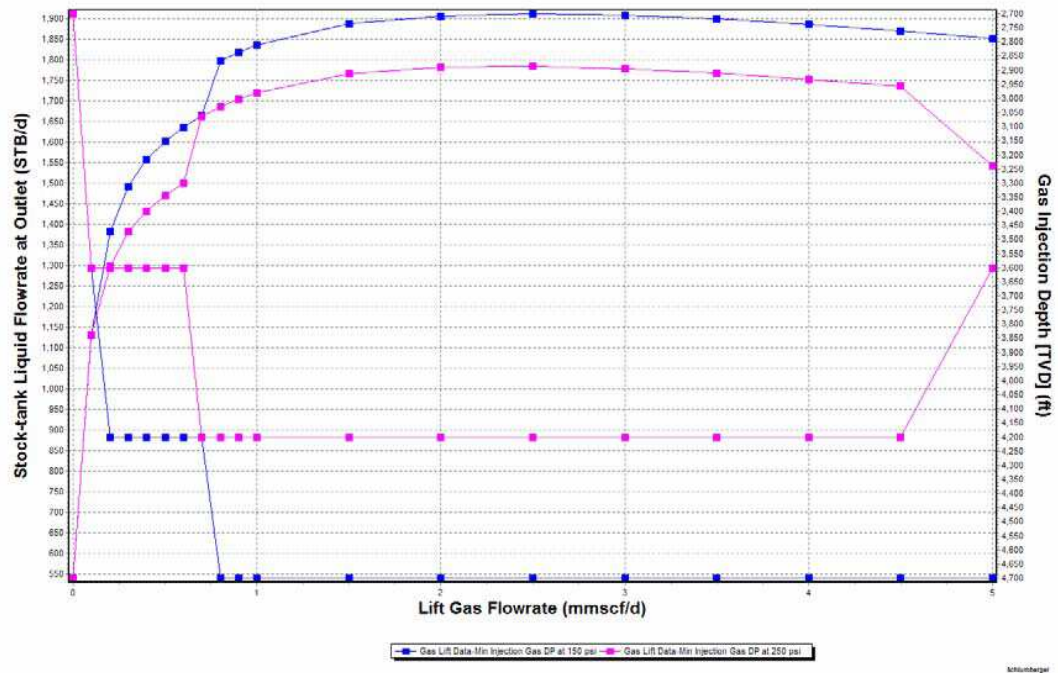


由于最深允许注入深度为4770ft，因此您所能达到的最深操作阀位置为4700ft。
对应的日产油量为1882STBD。

上面结果说明阀深度不能超过DIP位置（最深注气点位置）。

练习 2 生成气举响应曲线

运行“**Gas Lift Response**”操作并产生产量与注气量关系曲线（假定敏感参数最小注入压差为150psi和250psi，注气量从0到5mmscf/d变化，间隔为0.5mmscf/d）。同时选中“**Injection at valve depth only**”项并运行计算。



练习 3 利用已知阀距进行气举优化设计

给出设计条件（前面练习已经给出），指定阀距，并运行气举设计。运行气举设计前选择指定阀距。使用目标注气量：1.25mmscf/d。

Gas Lift Design

Design Control | Design Parameters | Safety Factors (Design Bias) | Project Data

Design Spacing: **Current Spacing [Tubing_1]**

Design Method: **IPO-Surface Close**

Valve Selection Filter

Manufacturer: **SLB (Camco)**

Type: **IPO**

Size: **1**

Series: **BK-1**

Min Port Diameter:

Top Valve Location

☒ Assume Liquid to Surface

☐ Assume Liquid NOT to Surface

☐ Well Absorbs Fluid

Max Allowable Inj. TVD: **7550** **ft**

Unloading Temperature

Top Valve: **Unloading**

Other Valves: **Unloading**

Production Pressure Curve

☒ Production Pressure Model

☐ Equilibrium Curve

Perform Design...

Gas Lift Design - Summary

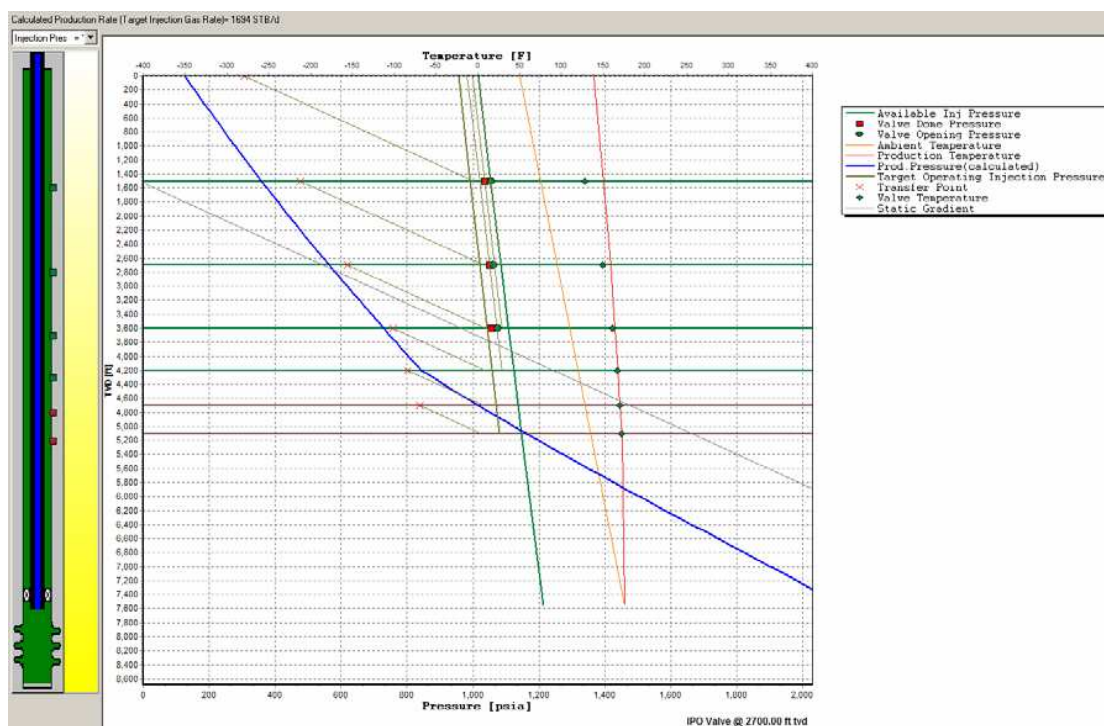
Proposed Design

☒ MD ☐ TVD

Calculated Production Rate at Target Injection Rate = 1694 STB/d

☐ Edit Valves ☐ Edit Temp

	Valve Depth	Valve Series	Port Size	Pto	Open Pres at Surface	Close Pres at Surface	Gas Rate (unloading)	Unloading Liq Rate	Max Valve Throughput	Valve Temporal
	ft			psig	psig	psig	mmscf/d	STB/d	mmscf/d	F
1	1500	BK-1	1/8	918.9	1000	982.2	Not Calc	No Inflow	0.232	128
2	2700	BK-1	1/8	895.4	979.8	967.2	Not Calc	No Inflow	0.231	149
3	3600	BK-1	3/16	911.4	969.7	952.2	0.324	1435	0.483	161
4	4200	BK-D	5/16	Orifice			1.25	1694	1.56	167
5	4700	Dummy	N/A	Dummy						170
6	5100	Dummy	N/A	Dummy						172
7										
8										
9										
10										



值得一提的是没有在4700ft进行注气，而是在4200ft处阀位置注气。产量也不是1871stb/d，而是1708stb/d。这是因为在每级卸载阀处套压压差没有达到15psi的缘故。

另一个值得注意的是进行指定阀距设计时，阀的位置时固定的。各级阀的转换压力是计算得到。当转换压力位于生产油压曲线或平衡曲线左侧，则注入气无法到达下级阀。

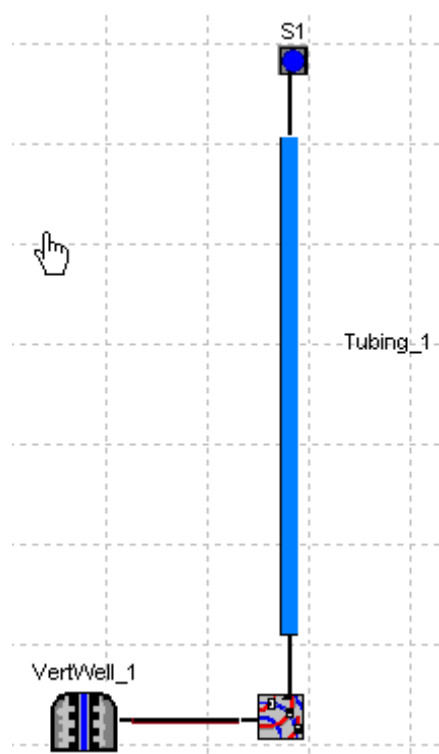
练习 4 气举诊断

假定油井已经气举生产了一段时间，生产条件发生了变化。分离器压力变成100psia同时注气量变为1.5mmscf/d。通过气举诊断来判断新情况下各级阀工况。

操作步骤

1. 进入 “**Artificial Lift > Gas Lift > Gas Lift Diagnosis**” 。

2. 输入生产条件并运行诊断。



3. 打开“Data Sheet”选项，查看各级阀开启状况及通过气量。

Gas Lift Diagnostics - Well : Pipesim1

Options Show Plots... Operations About...

Calculated Production Rate = 970 STB/d

Gas Lift Valves - Well : Pipesim1

	TVD	Model	Port Size	Ptro	Status	Gas Rate
-	[ft]		[inches]	[psia]		[mmcf/d]
1	1500	SLB (Camco) BK-1 1/8	0.120	928.6	Closed	--
2	2700	SLB (Camco) BK-1 1/8	0.120	908.0	Throttling	0.12812
3	3600	SLB (Camco) BK-1 3/16	0.180	925.2	Throttling	0.35007
4	4200	SLB (Camco) BKO 5/16	0.310	--	Submerged	--
5	4700	SLB (Camco) Dummy N	0.000	--	Closed	--
6	5100	SLB (Camco) Dummy N	0.000	--	Closed	--
7						
8						
9						
10						
11						

Export... Print... Close

Calc. 0.470 %Max. 64

☐ Legend ☐ Show Equilibrium Curve

Data Sheet... Export... Print... Close

第六章 海管设计

学习目标



本例中，一个客户计划将 5 口凝析气井产量汇集至海底管汇，之后通过海底管线输送至立管直至平台。并在平台上进行油气分离，油井泵增压后输送上岸，气体则压缩后输送上岸。预计产量达到 14000STBD。系统设计集输能力在 8000~16000STBD 间，以应对井产量变动。

在此您将进行如下操作以完成海管设计：

- 建立烃组分模型
- 海管线及立管尺寸选择
- 监测立管底部严重段塞出现情况
- 分析管线保温需求
- 设计段塞流捕集器

练习 1 建立组分模型

根据下表数据建立组分模型：

烃组分表

组分	摩尔含量
Carbon Dioxide	3
Methane	72
Ethane	6
Propane	3
Isobutane	1
Butane	1
Isopentane	1
Pentane	0.5
Hexane	0.5

石油馏分性质

名称	沸点 (°F)	分子量	比重	摩尔百分数
C7+	214	115	0.683	12

水相组分

组分	体积比 (%bbl/bbl)
水	10

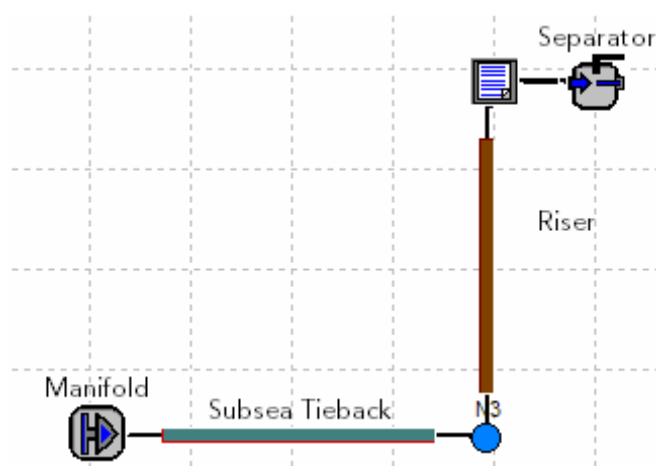
操作步骤

1. 打开“**Setup > Compositional**”菜单输入上述组分参数。从组分库中选择纯烃类组分。通过按住“Ctrl”键可以实现多选。当选择完毕，点击“**Add>>**”。
2. 选择“**Petroleum Fractions**”选项并且通过输入石油馏分名称、BP、MW及SG值完成C7+组分特征化。选中第一列并点击“**Add to composition>>**”。
3. 返回“**Component Selection**”，输入C7+摩尔体积含量。
4. 选择“**Options**”选项并选中“**Multi-flash**”计算包。选择SRK状态方程，粘度计算方法为Pedersen模型。
5. 通过单击“**Phase Envelope**”生成相包络图。

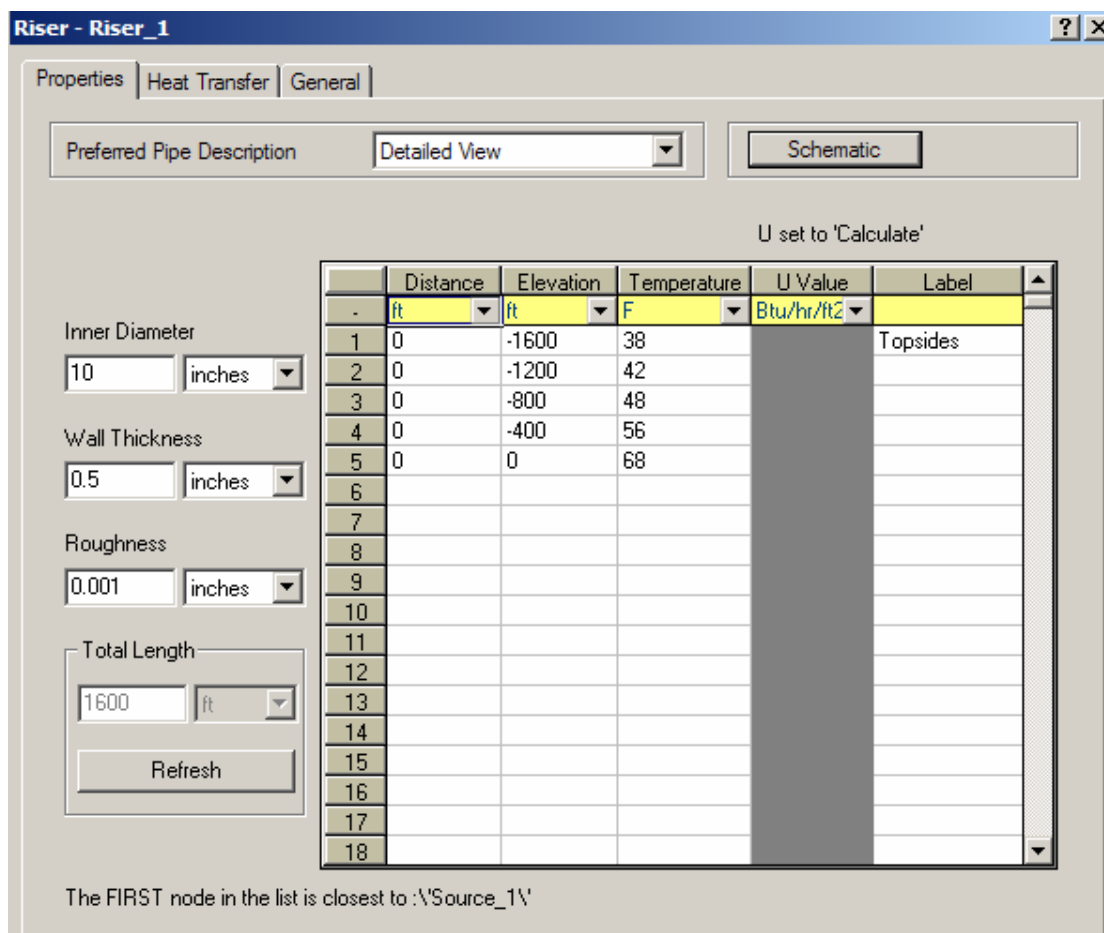
练习 2 海管尺寸选择

根据下面数据建立模型。

提示：为给管线及立管输入详细传热数据，可通过选择“**Heat Transfer**”选项并点击“**Calculate U value**”按钮实现。立管结构如下图所示。



管汇节点	
压力	1500 psia
温度	176 °F
海管参数	
起伏率	0'/1000'
水平长度	6 miles
垂直高程差	0'
适用内径	9,10,11 in
传热计算:	
环境温度	38 ° F
管线热传导率	35 Btu/hr/ft/°F
绝热系数	0.15 Btu/hr/ft/°F
隔热层厚度	0.25" + 0.25" increments
环境流体	水
环境流体流速	1.5 ft/sec
埋深	-5.5 " （未埋地）
土壤传热系数	1.5 Btu/hr/ft/°F
立管参数（使用详细模型）	
水平长度	0'
垂直高程差	1600'
适用内径	9,10,11 in
传热计算:	
立管底部环境温度	38 ° F
立管1200ft处环境温度	42 ° F
立管800ft处环境温度	48 ° F
立管400ft处环境温度	56 ° F
立管顶部环境温度	68 ° F
管线热传导率	35 Btu/hr/ft/°F
绝热系数	0.15 Btu/hr/ft/°F
隔热层厚度	0.50" + 0.25" increments
环境流体	水
环境流体流速	1.5 ft/sec



选取的海管内径的前提条件是保证最大产量下分离器压力不低于400psia。立管与海管内径相同。另外，确保不发生管线冲蚀。

操作步骤

1. 从 “**Setup > Flow Correlations**” 菜单选择流动计算相关式：
 - a. 垂流流动相关式：Hagedorn Brown (Duns & Ros map)
 - b. 水平流动相关式：Beggs-Brill Revised (Taitel-Dukler Map)
2. 以最小、最大及期望流量为X轴敏感参数运行 “System Analysis”。同时将管线内径及立管内径做为敏感变量且使用 “Change in Step” 选项。
3. 确定最小管线内径以保证分离器压力要求及最大产量要求。
4. 结果图形中将Y轴改为 “Erosional Velocity Ratio Maximum”，以确保期望流量下所选尺寸管线不会出现冲蚀速率比大于1.0情况。

计算结果

属性	值
管线和立管内径	
所选管线尺寸下最大冲蚀速率比	
所选管线尺寸下最小分离器压力	
所选管线尺寸下最大分离器压力	

练习 3 检查严重段塞流

任务

基于上面选择的管线下径，判断立管底部出现严重段塞流的可能性。严重段塞流容易发生在包含立管的管线系统，具体有以下情况：

- 长距离下倾管线末端为立管；
- 流态为“层流”或“分异流”（对立干“段塞流”或“间歇流”）
- 段塞系数（PI-SS）小于1.0。

操作步骤

1. 确保系统分析结果曲线Y轴显示为“PI-SS”系数。如此可以得到管线中最大PI-SS系数。
2. 通过“**Reports > Summary File**”，查看汇总报告，得到不同流量下立管底部流态。

计算结果

	8000 stb/d	14000 stb/d	16000 stb/d
立管底部PI-SS系数			
立管底部流态			

练习 4a 选择海管保温层厚度

任务

使用上面选择的海管及立管内径，确定海管和立管保温层厚度，以确保流体温度不低于水合物生成温度。

操作步骤

1. 开始输入保温层厚度0.25”。确定在“Report Tool”（位于分离器上游）中“phase envelope”被选中，运行“Pressure/Temperature Profile”，其中分离器（出口）压力做为被计算变量，流量做为敏感分析参数。
2. 计算图形结果界面中点击“**Series**”菜单，将X轴改为温度，Y轴改为压力以显示相态图。
3. 观察管线中压力温度关系曲线与相图中水合物曲线关系。
4. 如有必要，可以通过每次增加保温层厚度0.25”并计算水合物生成情况，直至满足要求为止。

计算结果

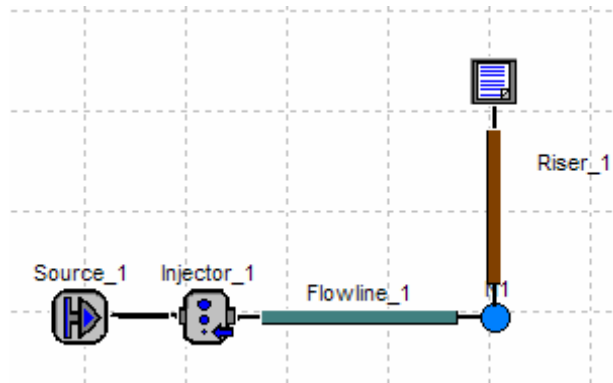
属性	值
需要保温层厚度	

练习 4b 甲醇注入量计算

假设管线保温层厚度仅为0.25”。应用组分模型Multi-Flash计算包计算需要注入多少甲醇以防止生成水合物生成。在管汇后面插入一个注入工具（injection tool）并定义局部注入流体模型为仅包含甲醇的组分模型。

操作步骤

1. 在源点的后面增加以注入装置，如下图示。



2. 双击 “Injector” 选择 “Edit Composition”。指定甲醛组分含量100%。
3. 选择 “**Setup > Engine Options**”。确保 “Enable Hydrate Sub-Cooling Calculation” 被选中。
4. 选择 “**Operations > System Analysis**”
 - a. 指定输液量为8000BPD，入口压力为1500psia，计算出口压力；
 - b. 对于X轴变量，选择 “Injector” 做为目标，流量做为变量。选择 “Range” 且取值范围50~500STBD，间隔为50BPD；
 - c. 所有敏感参数均不设置；
 - d. 运行模型，将结果图形中Y轴改为 “Maximum Hydrate Subcooling Temperature” ；
 - e. 从结果曲线上可以读出必需的甲醛注入量以防止水合物生成。

计算结果

属性	值
所需甲醛注入量 (b/d)	

练习 5 计算段塞流捕集器体积

任务

确定段塞捕集器大小，下述段塞体积乘以乘以安全系数（1.2）：

- 可能出现的最大段塞（出现概率为1/1000的段塞体积）
- 清管器前端液量
- 脉冲流动

操作步骤

1. 将注入装置置于非激活状态，同时根据练习4a重设保温层厚度。
2. 在汇报工具中选中“slugging values”和“sphere generated liquid volume”。
3. 打开“**Setup > Define Output**”，将“case”值改为3。
4. 重新运行“压力-温度剖面”计算，并打开输出报告。该报告提供了“Report Tool”中选中的所有敏感变量的输出结果。对于每一个敏感变量，找到并读出“1/1000 slug volume”和“Total Sphere Generated Liquid Volume So Far”相关内容。
5. 对于脉冲流动例子，应用“System Analysis”功能，计算入口压力为1500 psia，出口压力做为被计算变量，输流量从8000到14000BPD变化，增幅为1000 BPD。注：总持液率的差别可能就是清管体积（需要进行单位转换，将ft³转换为bbl，换算系数5.615 ft³/bbl）。
6. 查看“Output”文件，观察每个敏感参数下流态。
7. 选择段塞流捕集器尺寸，该捕集器可以捕集所有可能情况下最大段塞体积。

清管液量计算提示

当在管线中投球清管作业时，将会将其前方所有液体段塞聚集起来，这些液体段塞流速低于管线中选定段平均液体流速。因此决定清管液量的峰值的因素是滑脱速率（SR），滑脱速率为平均流体速率除以液体速率。

如果气液流速相同，滑脱速率为1（即，流体各相间无滑脱）。在此情况下，投球不能收集到任何液量，因此清管液量为0。通常，液体流速低于气体流速

（即，滑脱速率大于1），因此在管线中将有部分液体被收集起来形成清管液量。决定是否所有管线中液体均为清管液量的条件是液体流速为0（滑脱速率无

限大)。在实际的稳态流中，这种情况是不会发生的，因此清管液量总是小于总持液率。

计算结果

属性	8000 stb/d	14000 stb/d	16000 stb/d
1/1000段塞体积 (bbl)			
投球收集液量 (bbl)			
脉冲液量 (bbl)			
设计段塞捕集器体积 (bbl)			

第七章 环形输气管线

学习目标



本例中，一国内客户对建设集输管网感兴趣。管网是包含 3 口气井的环形管网系统，同时外输至同一终点。

在此您将进行如下管网模拟流程：

- 建立集输管网模型
- 设定管网计算边界条件
- 模型计算以确定输送能力

开始建模

该部分，您将学习如何建立一个环形集输管网。

1. 打开“**PIPESIM**”并选择“**File > New > Network**”建立一个新的管网模型。
2. 选择“**File > Save As**”将模型保存在您的训练目录中（例如：

c:\training\pn01.bpn）。

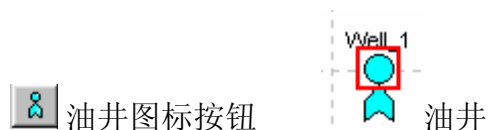
建立管网模型

在该例子末尾，您将使用工程数据。您将进行如下操作过程：

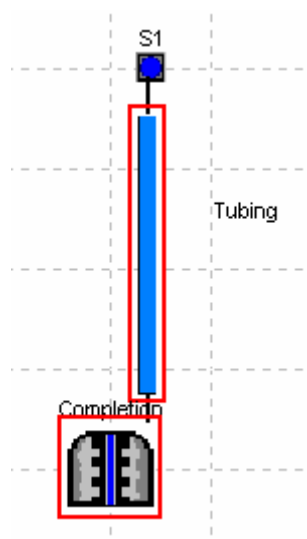
1. 为第一口井输入工程数据；
2. 将数据复制到2、3井；
3. 修改3井的数据；
4. 为每口生产井指定组分模型；
5. 将管网连接起来；
6. 为每个分枝定义工程数据。

步骤 1. 输入第一口井工程数据

1. 点击油井图标按钮并将1井放在工作区内，如下所示。



2. 在井1上双击，组件展示如下：



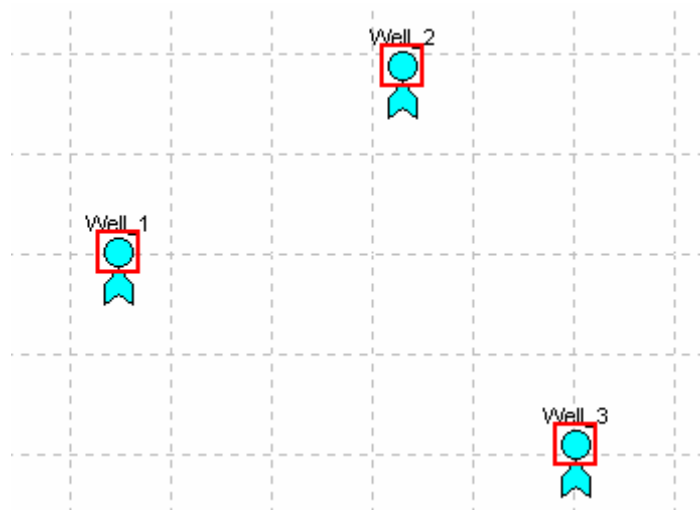
3. 双击垂直完井段并输入流入动态参数。其中采气指数0.0004 mmscf/d/psi²，气藏温度130°F。稍后会在管网边界条件中设定气藏压力。

4. 双击油管并选择“Simple Model”。其中井口垂深 0 ft，射孔垂直及测量深度均为4500ft。气藏中部环境温度130°F，井口环境温度60°F。油管内径2.4”。

5. 通过点击窗口右上角关闭井1视图或选择“**File > Close**”返回管网界面。

步骤 2. 复制数据到2、3井

选中井1。使用命令“**Edit > Copy**”和“**Edit > Paste**”，复制两口井。缺省情况下，复制井被命名为“**Well_2**”和“**Well_3**”。按下图所示摆放井位置：



您将看到井2和3与井1输入的参数相同。

步骤 3. 修改3井数据

1. 在“**Well_3**”双击，修改完井及油管数据。对于垂直完井段，采气指数为：0.0005 mmscf/d/psi²，气藏温度140°F。
2. 定义井口垂深 0 ft，射孔垂直及测量深度均为4900ft。气藏中部环境温度140°F，井口环境温度60 °F。油管内径2.4”。

步骤 4. 定义每口生产井组分模型

下面的步骤是为每口生产井定义组分模型。井1与井2开采相同层系，因此使用相同组分。井3使用与案例最后面提供的不同的组分。最简便的定义组分模型的方法是定义全局组分模型（即为井1和井2），另外为井3定义局部模型。

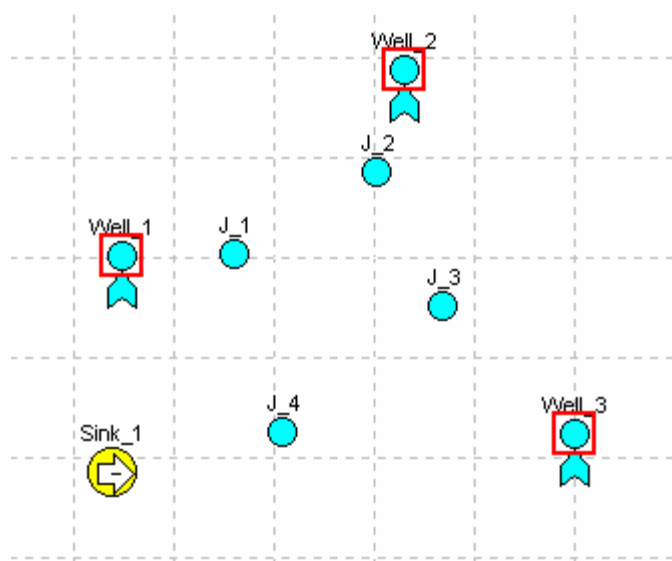
井1和井2的组分模型使用本手册第四部分海管设计案例组分。可以将该组分模型导入以节省时间。另外也可参考练习后面附带的组分数据表。

1. 首先保存现有管网模型。打开海管设计案例（如：*c:\training\lieback.bps*）。打开“**Setup > Compositional**”菜单并选择“**Export**”到文件“*comp1.pvt*”。此时您可以将海管模型关闭。

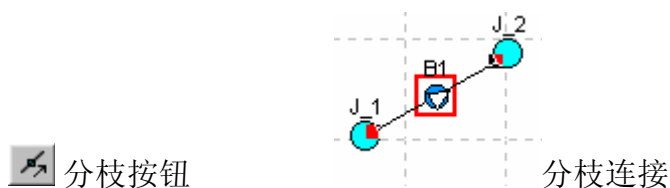
2. 在管网模型中，打开 “**Setup > Compositional**” 并选择 “**Import**” 导入 “comp1.pvt” 为全局变量。
3. 为井3定义局部组分模型，选择 “**Setup > Fluid Models**” 并编辑局部组分。您也可通过导入井1和井2的组分并根据案例后面给出组分进行修正。

步骤 5. 连接管网组件

1. 现在插入汇点和一些连接节点。按住 “**Shift**” 键可以连续添加连接节点。当添加最后一个节点前松开 “**Shift**” 键。此时管网如下图所示：



2. 使用 “**branch**” 组件连接J_1和J_2。为完成连接，点击 “**branch**” 按钮，然后在J_1上按住鼠标左键不放并拖拽至J_2节点。



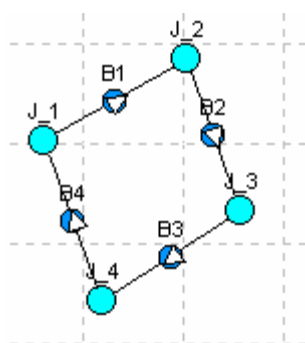
3. 双击B1中心部位的箭头以输入分枝数据。此时双击管线并输入下表数据：

起伏率	10/1000
水平里程	30,000 ft
高程差	0 ft
内径	6"
壁厚	0.5"
粗糙度	0.001"
环境温度	60 °F

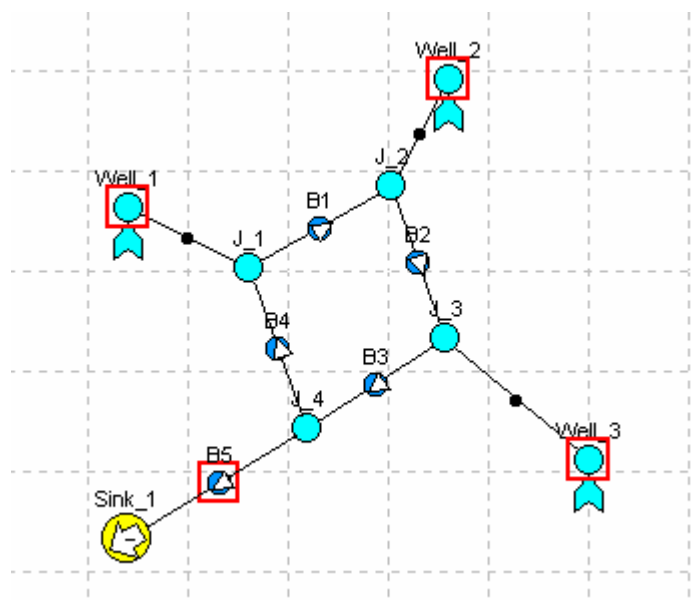
4. 关闭B1窗口界面返回管网主界面。为完成环形集输管线定义，可用B1相关参数定义其它环线。通过选择分枝中部箭头选中B1，使用“**Edit > Copy**”和“**Edit > Paste**”命令，复制B1生成B2、B3和B4。
5. 为连接这些复制得到的分枝，首先点击新分枝中部箭头。您将看到分枝两端出现高亮度方框。将鼠标箭头放置在右侧方框，您将看到鼠标箭头变为“向上箭头”形状（↑），如下图显示。分枝端点可以被拖拽到连接节点上。



6. 新的分枝位置图如下所示：



7. 现在将井和连接节点相连接同时J_4与汇点相连，如下图所示：

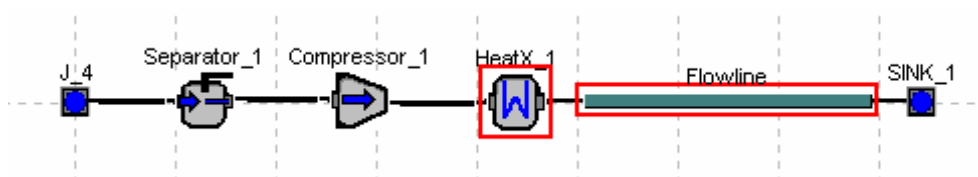


8. 输入每条分枝的工程参数。

9. 此时输入B5组件及相关参数。分枝B5包含一个效率为100%液体分离器、增压幅度400psi的压缩机其效率为70%、出口温度为120°F且压差15psi的冷凝器（热交换器），另外管线书香如下：

起伏率	10/1000
水平里程	10,000 ft
高程差	0 ft
内径	8"
壁厚	0.5"
粗糙度	0.001"
环境温度	60 °F

10. J_4处设备如下所示：



11. 使用连接工具  将设备连接起来。

12. 至此您可以关闭单分枝窗口界面。

计算相关式选择

从 “**Setup > Flow Correlations**” 菜单选择 “*Beggs-Brill Revised*” 做为全局垂直及水平多相流计算相关式。

腐蚀

选择 “**Setup > Erosion and Corrosion Options**”。选中 “deWaard Corrosion” 模型。再 “**Options Control**” 选项，选择 “use network options” 并点击应用。

设定管网计算边界条件

首先，我们来总述下指定管网计算边界条件的原则。管网计算器通过给定的边界条件计算流体压力、温度及流量。

用到以下概念：

单节点 — 单节点是指仅有一个分枝相连，如：生产井、注入井、源点及汇点。

边界条件 — 管网中每个单节点处的流体压力、温度及流量。

用到以下规则：

温度规则

用户必需定义所有源点流体温度和生产井油藏温度。所有汇点流体温度和注入井温度由管网模型计算得到。

压力和流量规则

有以下两个规则用以定义边界条件的压力和流量：

- 为满足自由度要求，指定的流量指标、压力及PQ曲线总数必需等于单节点综合。
- 至少要在一个单节点上指定压力。
- 所有未设定的压力和流量值由管网模型计算。

本案例中，上述规则将在下列操作中体现：

1. 设定所有流体流入温度。
2. 设定流体流入压力和集输末端压力。
3. 进入 “**Setup > Boundary Conditions**” 并设定下列边界条件：

节点	压力	温度
Well_1	2900 psia	130 ℉
Well_2	2900 psia	130 ℉
Well_3	3100 psia	140 ℉
Sink_1	800 psia	被计算变量

所有流量均通过管网解析器求解。

提示：所有在单分枝模型中设定的温度/压力都需要在管网模型中重新设定。同样的，在管网视图中设定的边界压力也不会影响单分枝模型各种操作计算中设定的压力值。

运行管网计算并确定集输能力

有必要在此解释下管网允许误差。当每个节点处压力平衡和质量平衡计算满足指定误差时，管网计算收敛。

在每一分枝流入流出节点的计算压力是平均值。各压力项公差由下式计算：

$$Ptol = (P - P_{ave.}) / P_{ave.} \times 100\%$$

如果所有Ptol值都满足设定的允许误差，则该节点通过压力收敛性测试。每个节点都重复该过程。




流入流出节点的总质量流量与流出节点的总质量流量取平均值。通过下式计算误差：


$$Ftol = (Tot. \text{ mass flow rate in} - Tot. \text{ mass flow rate avg.}) / Tot. \text{ mass flow rate avg.} \times 100\%$$

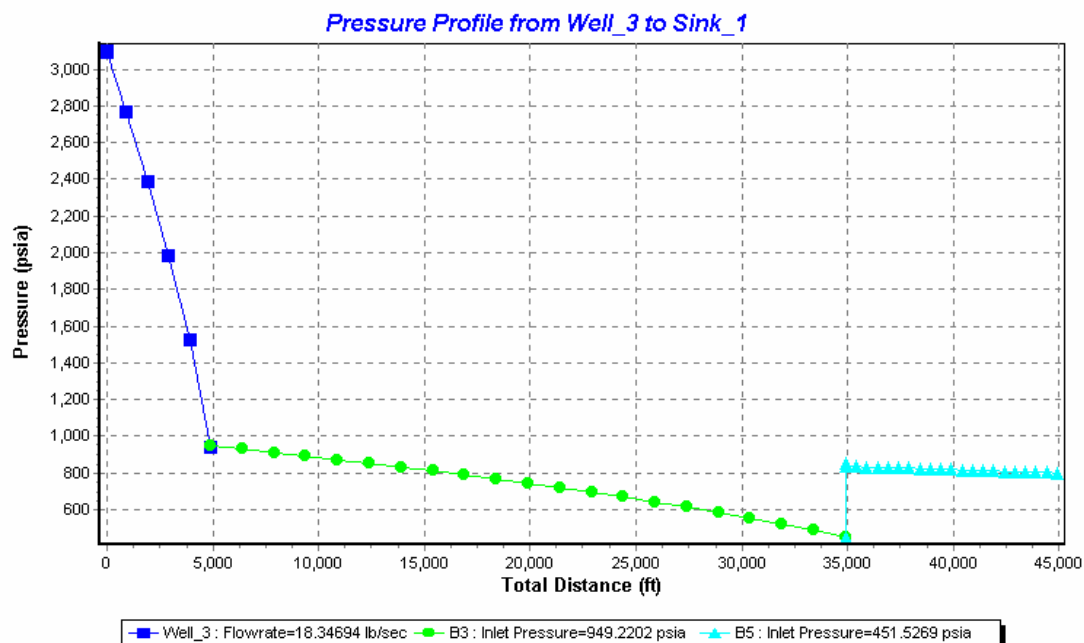
如果Ftol值满足设定的允许误差，则该节点通过质量收敛性测试。每个节点都重复该过程。

当所有上述条件都满足后，管网计算收敛。

操作步骤

1. 打开“**Setup > Iterations**”设置管网允许误差为1%。
2. 保存模型，然后点击“**Run**”按钮
3. 当管网计算结束后，您会得到提示“pn01 – Finished OK”。点击“**OK**”
4. 选择“**Report Tool**”按钮。得出汇点输气总量为：_____mmscfd
(更多报告结果可通过点击“**Summary File**”按钮得到)。

5. 按住“Shift”键，依次选中Well_3、分B3和分枝B5。选择“**Profile Plot**”按钮。将得到下图所示三个分枝的压力剖面图。其中可以看到在J-4节点压缩机对系统压力的影响：



6. 选中“**Series**”并将Y轴改为“Corrosion Rate”以便观察腐蚀速率计算值。

管网中最大腐蚀速度 = _____mm/year

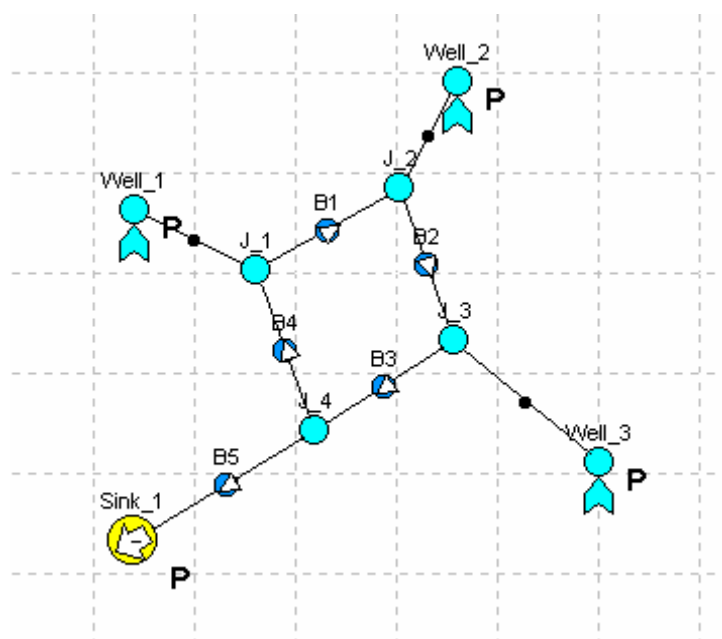
7. 计算关闭压缩机后油田产量。假设有一支旁通管线绕过压缩机，将压缩机置于非激活状态，重新运行模型。

汇点处气体产量： _____mmscfd

提示：编辑PsPlot图例和标题以便用于图形汇报。

管网练习 1：数据汇总

集输管网平面图



完井及油管数据

	Wells 1 and 2	Well 3
Gas PI	0.0004 mmscf/d/psi ²	0.0005 mmscf/d/psi ²
Wellhead TVD	0	0
Mid Perforations TVD	4500 ft	4900 ft
Mid Perforations MD	4500 ft	4900 ft
Tubing I.D.	2.4"	2.4"
Wellhead Ambient Temperature	60 °F	60 °F
Mid Perforations Ambient Temperature	130 °F	140 °F

纯烃类组分（井1及井2）

Component	Moles
Carbon Dioxide	3
Methane	72
Ethane	6
Propane	3
Isobutane	1
Butane	1
Isopentane	1
Pentane	0.5
Hexane	0.5

石油馏分（井1和井2）

Name	Boiling Point (°F)	Molecular Weight	Specific Gravity	Moles
C7+	214	115	0.683	12

水相组分（井1和井2）

Component	Volume ratio (%bbl/bbl)
Water	10

纯烃类组分（井3）

Component	Moles
Carbon Dioxide	2
Methane	71
Ethane	7
Propane	4
Isobutane	1.5
Butane	1.5
Isopentane	1.5
Pentane	0.5
Hexane	0.5

石油馏分（井3）

Name	Boiling Point (°F)	Molecular Weight	Specific Gravity	Moles
C7+	214	115	0.683	10.5

水相组分（井3）

Component	Volume ratio (%bbl/bbl)
Water	5

环形管网管线参数 (B1、B2、B3、B4)

Rate of undulations	10/1000
Horizontal distance	30,000 ft
Elevation difference	0 ft
Inner diameter	6"
Wall thickness	0.5"
Roughness	0.001"
Ambient temperature	60 °F
Overall heat transfer coefficient	0.2 Btu/hr/ft ² /°F

外输管线参数 (B5)

Separator type	Liquid
Separator efficiency	100%
Compressor differential pressure	400 psi
Compressor efficiency	70%
After cooler outlet temperature	120 °F
After cooler delta P	15 psi
Flowline Rate of undulations	10/1000
Flowline Horizontal distance	10,000 ft
Flowline Elevation difference	0 ft
Flowline Inner diameter	8"
Flowline Wall thickness	0.5"
Flowline Roughness	0.001"
Flowline Ambient temperature	60 °F
Flowline Overall heat transfer coefficient	0.2 Btu/hr/ft ² /°F

边界条件

Node	Pressure	Temperature
Well_1	2900 psia	130 °F
Well_2	2900 psia	130 °F
Well_3	3100 psia	140 °F
Sink_1	800 psia	(calculated variable)

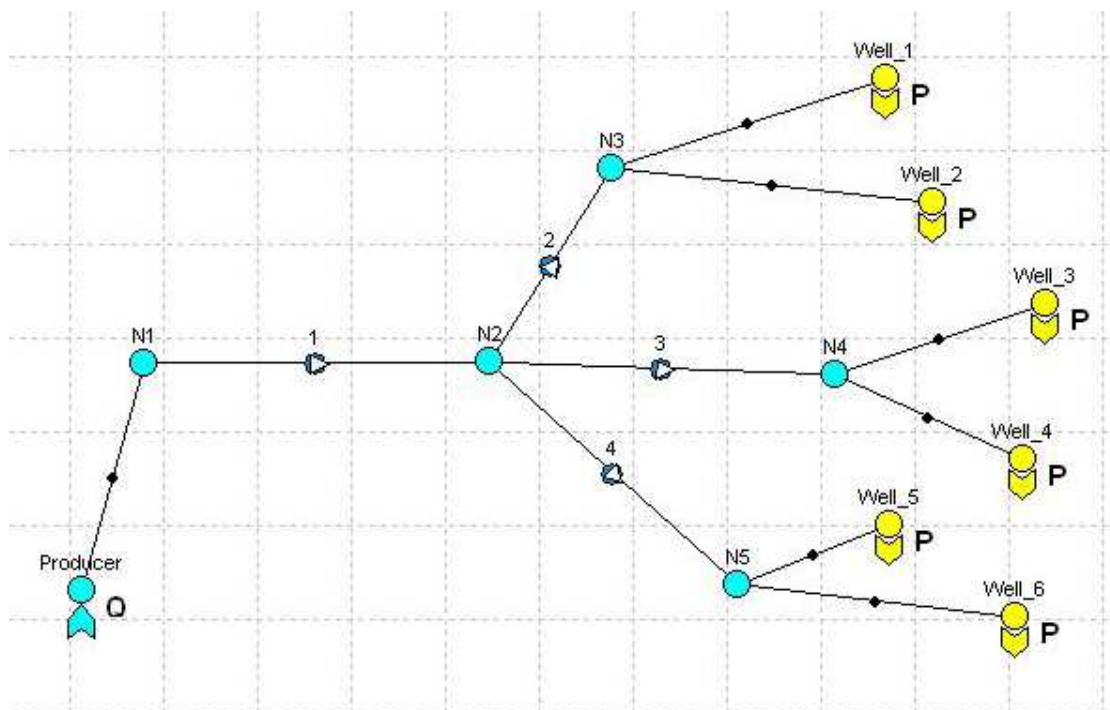
第八章 注水管网系统

要点说明

- 注入管网系统
- 单相流体（水）
- 生产井采用电泵举升

主要问题

一口水井给包含六口注水井的注水系统供水。水通过电泵从水井中采出。下图给出了即将研究的注水系统的平面图。使用含水为100%的全局黑油模型。



基本信息

流体由一口生产井产出，该井使用单相黑油模型且含水率为100%。每个注入点的出口压力不同。整个网络环境温度为50°F。垂直及水平多相流相关式均采用 *Beggs-Brill Revised* 方法。

产水井数据

产水井产量为15000stb/d，地层温度为200°F，地层压力为4000psia。采液指数为：100 stb/d/psi。

产水井中可以通过在简单油管模型中“**Artificial Lift**”项选择“**ESP**”选项来安装井下电泵。

电泵下入垂直深度为2000ft，产水井深度为6000ft。油管总的测量深度为6000ft，使用内径为7”的油管。

通过点击油管参数输入界面“**Artificial Lift**”项的“**Properties**”按钮来输入井下电泵参数。选择电泵厂商和模型为Centrilift Model: IB700。电泵级数为30级，转速为3600 rpm（转/分）。

注水管线参数

选择“**Setup > Flowline Properties**”按下表数据设定管线参数：

管线	距离 ft	高程差 ft	内径 in
1	150	0	8
2	15000	0	6
3	10000	0	6
4	7000	0	4

所有管线为绝热管线（传热系数为0.2 BTU/hr/ft²/F）。

出口端/注水井

所有出口端均为单个注水井，油管内径为1.995”，其它指标如下表：

井号	静压 psia	油藏温度 °F	测深/垂深 ft	吸水指数 stb/d/psi
Well 1	4400	210	7800	2
Well 2	4500	220	7900	4
Well 3	4400	210	7800	6
Well 4	4500	220	7900	8
Well 5	4400	210	7800	3
Well 6	4500	220	7900	5

流体参数

从生产井中流出流体为单相、黑油流体（含水率100%）。在“**Setup**”菜单下选择“**Fluid Models**”，选择产水井，之后选择“**Edit**”并输入黑油模型。

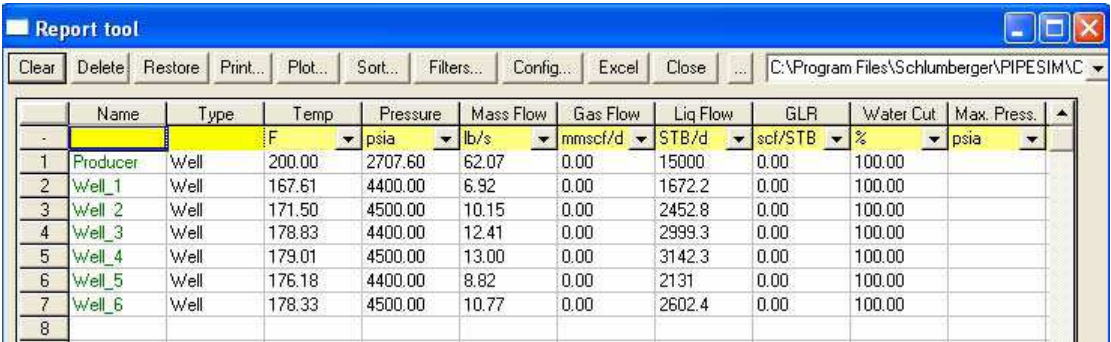
任务

本例的目的是确定从一口产水井产出流体（本例为水）如何在注水系统中进行分配。

提示：所有其它参数均使用缺省值。

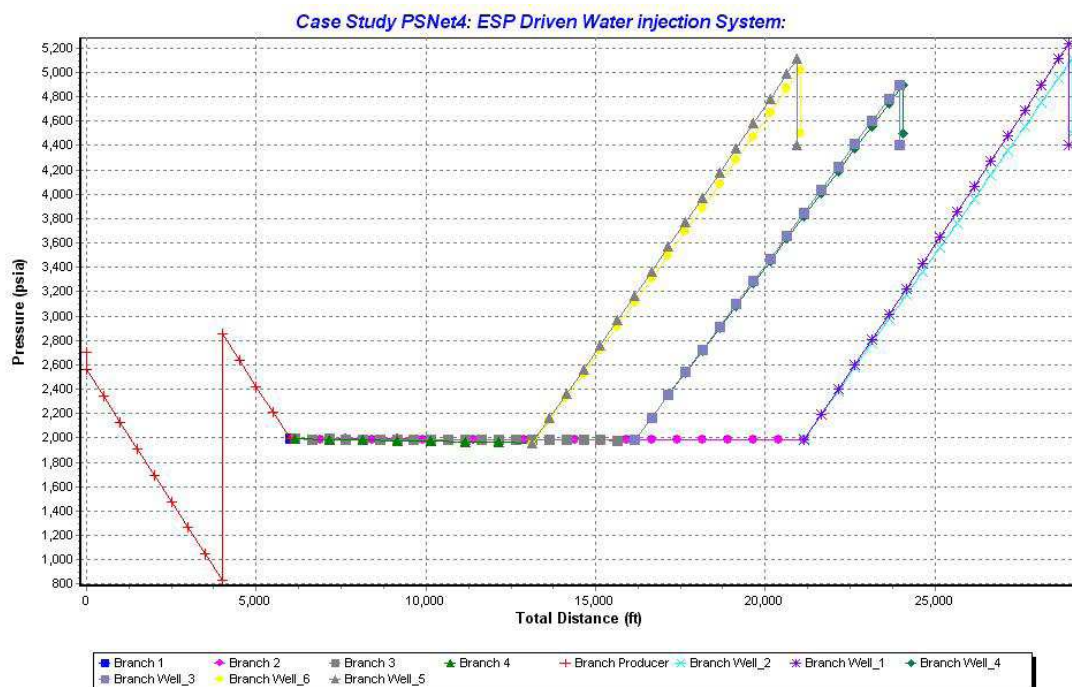
运行模型及查看结果

- 1. 选择“**Run Model**”图标，运行模拟计算。
- 2. 使用“**Report Tool**”来汇总结果。
- 3. 点击“**Report Tool**”图标.
- 4. 选择“**Clear**”。
- 5. 点击产水井及每口注水井。



Report tool										
Clear Delete Restore Print... Plot... Sort... Filters... Config... Excel Close ... C:\Program Files\Schlumberger\PIPESIM\C										
	Name	Type	Temp	Pressure	Mass Flow	Gas Flow	Liq Flow	GLR	Water Cut	Max. Press.
-			F	psia	lb/s	mmscf/d	STB/d	scf/STB	%	psia
1	Producer	Well	200.00	2707.60	62.07	0.00	15000	0.00	100.00	
2	Well_1	Well	167.61	4400.00	6.92	0.00	1672.2	0.00	100.00	
3	Well_2	Well	171.50	4500.00	10.15	0.00	2452.8	0.00	100.00	
4	Well_3	Well	178.83	4400.00	12.41	0.00	2999.3	0.00	100.00	
5	Well_4	Well	179.01	4500.00	13.00	0.00	3142.3	0.00	100.00	
6	Well_5	Well	176.18	4400.00	8.82	0.00	2131	0.00	100.00	
7	Well_6	Well	178.33	4500.00	10.77	0.00	2602.4	0.00	100.00	
8										

通过选取所有管网组件并点击剖面图表绘制整个网络压力剖面图。



提示：点击“Tubing”对话框中“Summary Table”按钮，增加油管柱计算点数。重新运行模型并绘制结果图形。