

第十九期：利用 SAM 模型计算井筒压降及热损失

注蒸汽开发稠油油藏过程中，需要预测沿井深和随时间变化的蒸汽温度分布、干度分布和压力分布、套管和地层温度分布，以及焖井、开井生产过程中温度、压力的变化。CMG STARS 软件中的 SAM (Semi Analytical Model) 半解析模型运用传热学、热力学及流体力学等学科知识综合考虑了蒸汽流动过程中压 力、温度、干度和热损与压降的相互影响，对注蒸汽开发稠油油藏有一定的指导作用。具体有以下几个方面的应用：

- 1) **已知井口求井底：**已知井口注汽参数（温度、干度及压力）和注汽管柱参数，求取井底注汽参数；
- 2) **已知井底求井口：**设定井底要达到的注气参数要求，反求井口的注汽参数指标；
- 3) **井筒隔热参数计算：**已知井口注汽参数和井底的注汽参数指标，计算井筒隔热参数指标，例如隔热油管的热传导率等；
- 4) **采油井井口（泵深处）流体温度：**对于采油井，SAM 模型可以计算井口（自喷）或泵深处（下泵人工举升）的流体温度，从而为计算出产出流体（油）的粘度，选择合适的举升方式；
- 5) **SAM 模型计算的是从井口到第一个射孔上方（或反之）的温度、干度及压 力变化，即该模型是完全管流计算，不能计算射孔段。而对于射孔段的温度、干度及压力变化可以用*GRAV-FRIC-HLOS 方法（适用源汇模型的直井或水 平井）或 DW 离散井模型/FW 灵活井模型（适用于水平井）。SAM 模型可以 与 DW 模型或 FW 模型一起使用。关于*GRAV-FRIC-HLOS 方法、DW 模型 以及 FW 模型的使用方法，会在后续的课程中继续讲解。**
- 6) **SAM 模型计算时有油藏模拟器同步求解，会增加模拟时间，建议用于小模 型的机理研究，而不要用于全油藏规模的热采模拟。全油藏模拟在计算出典 型井的压降及热损失的情况下，直接给出井底注入参数。**

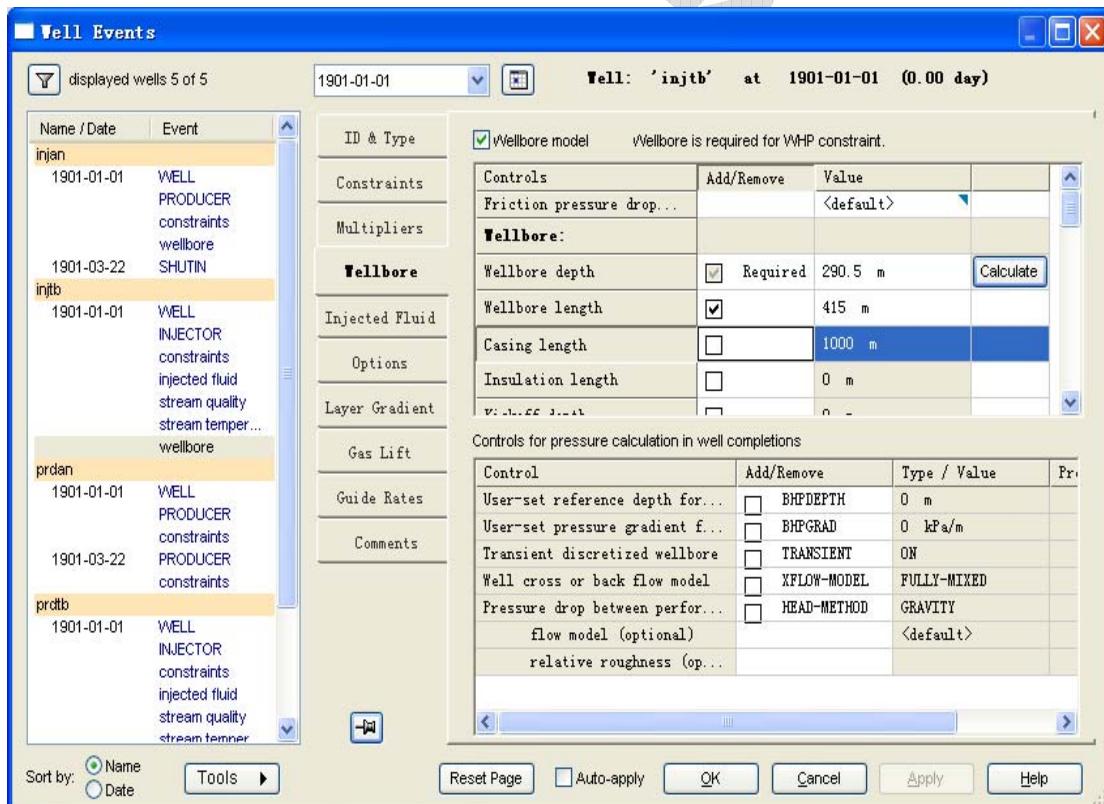
STARS 软件是使用关键字*PHWELLBORE 及*HEATLOSS 开启压降及热 损失计算功能的，用户可以搜索手册中相关关键字查看参数设置信息。

SAM 模型采用半解析的方法来计算沿着井筒的压力降以及径向热损失, 基本的思路来自于: J. P. Fontanilla, K. Aziz, 'Prediction of bottom-hole conditions for wet steam injection wells.' JCPT, March-April 1982, p.82-88。SAM 可以用于汇/源井和离散井, 井能以任意角度进入目的层, 从井眼的深度和长度数据可以计算出井眼的角度。当钻一口水平井时, 角度将从 90°变化到另外的一个值。可以采用 *KICKOFF_DEPTH (造斜点深度) 指示角度改变的深度。

下面就以 CMG-STARS sttst69.dat 算例讲解井筒压降以及热损失计算时参数如何设置及进行结果分析。

1、用 BUILDER 打开 sttst69.dat 文件。

点击 Wells, 发现有两口井已经添加了井筒 (Wellbore) 选项。这两口井分别为 injan、injtb。注: 可以在不同的时间定义不同的 Wellbore 参数。



2、井筒部分参数设置

点击需要计算井筒压降以及热损失的井, 点击 Wellbore。点击 Wellbore Model 之前的复选框, 之后需要输入一系列的参数。

- ① 摩擦压力降模型: REGIME 以及 DUKLER-BANKOFF 两种计算方法。详

详细内容请查看手册。本例中采用的是模型默认的模型。

② 井筒参数输入：

Wellbore depth 井筒深度，可以通过点击参数值后的 Calculate 软件自动计算。Wellbore length 井筒长度、Casing length 套管长度等值可以采用默认值或者用户输入。只有井筒的深度为必须输入。

③ 半径输入

包括油管的内外径以及套管的内外径参数，水泥环空参数，井眼大小。

④ 热传导

需要输入的是套管、油管、水泥、环空、地层的热传导系数。如果没有输入，软件将采用默认的值。

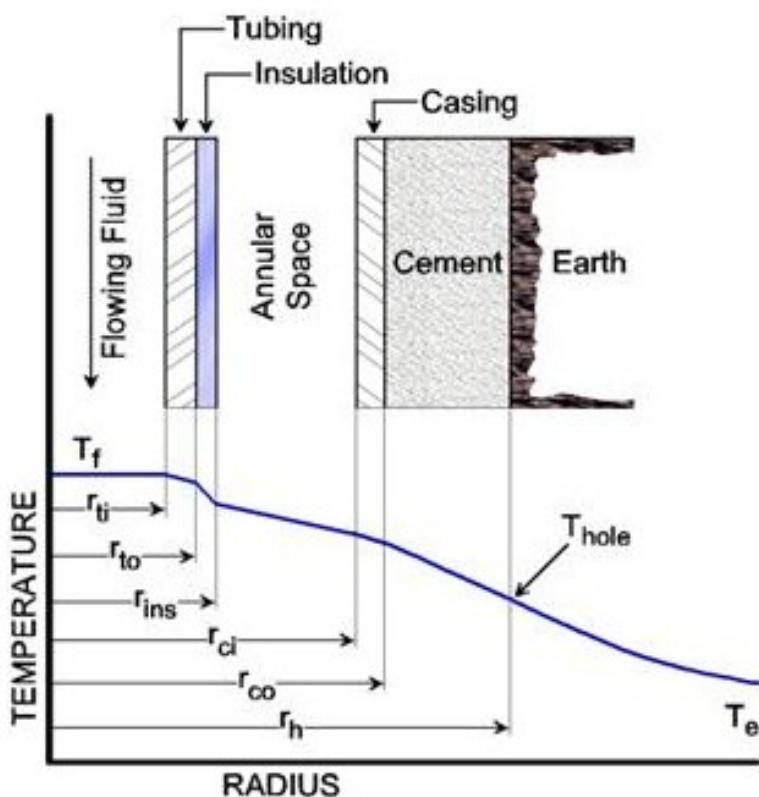
⑤ 热辐射

用于计算套管、油管、环空、地层的热辐射。

⑥ 地层

需要输入地层的热容、平均地温梯度、地表温度、起泵的深度以及压力值、井筒部分等。

具体定义请参考下图：



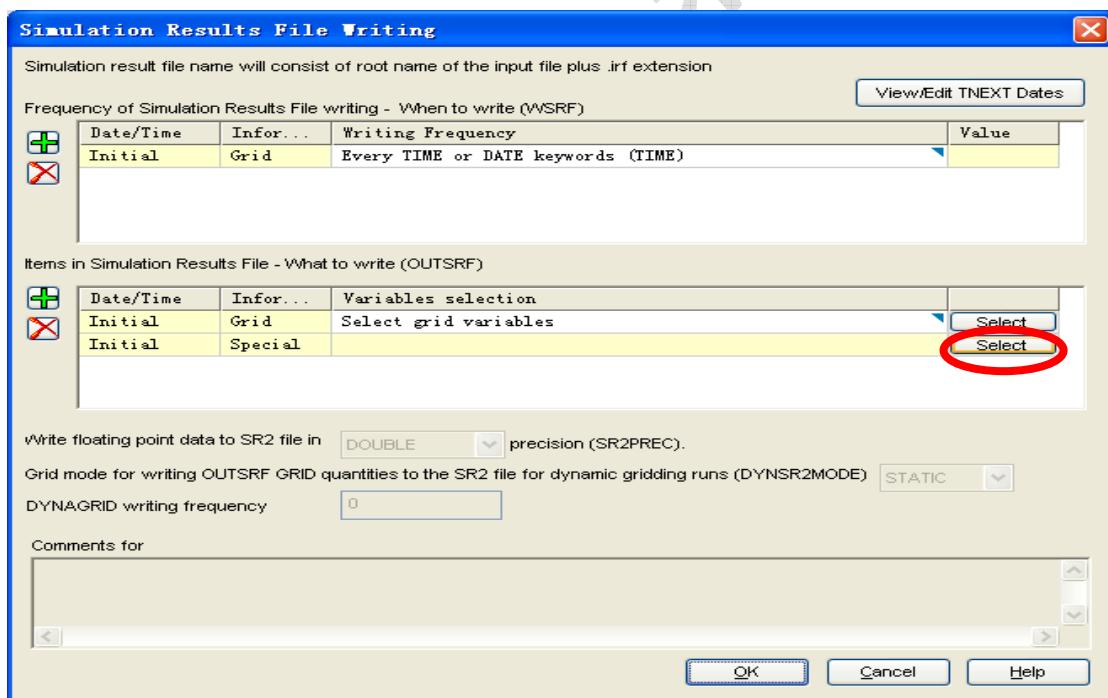
3、完井压力计算控制

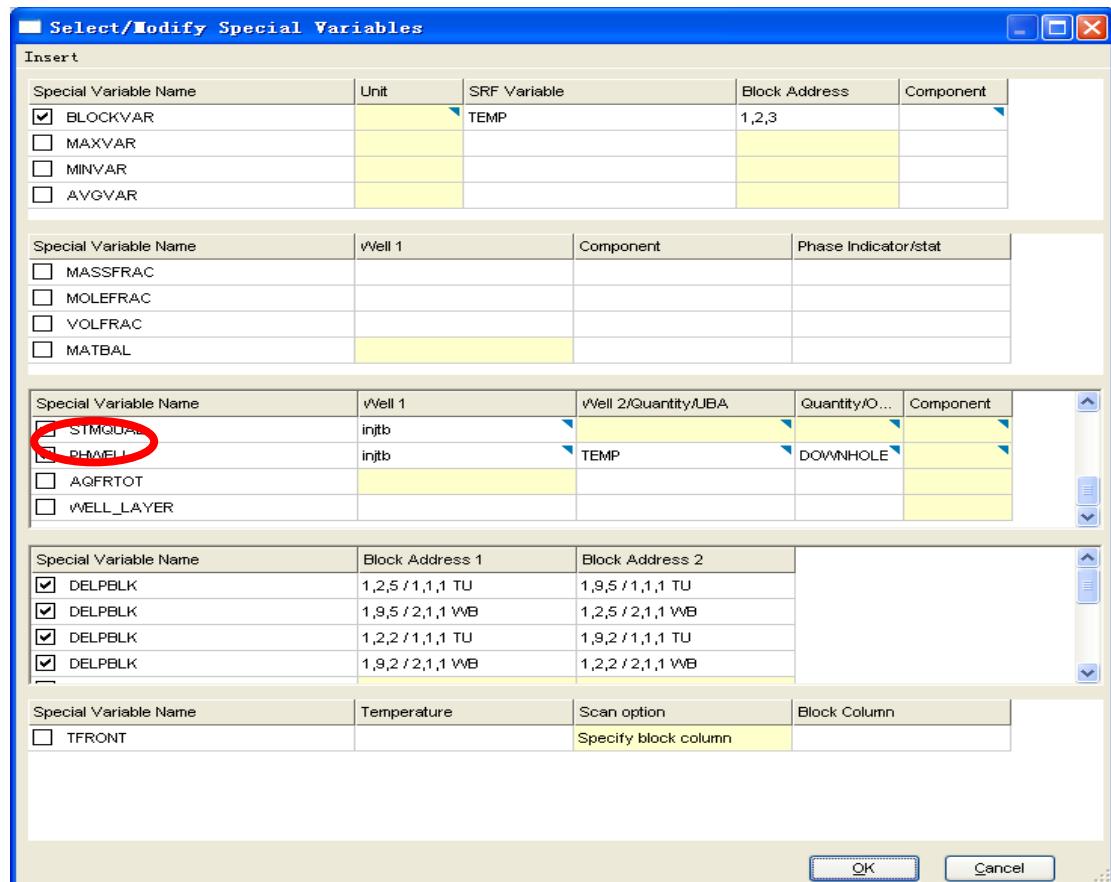
用户可以在这部分定义 BHP (井底压力) 时指定的参考深度、压力梯度、瞬时离散化井筒、井眼流动模型、油藏各小层之间的压力降、流动模型、相对摩擦系数。

该部分可以采用软件默认值。

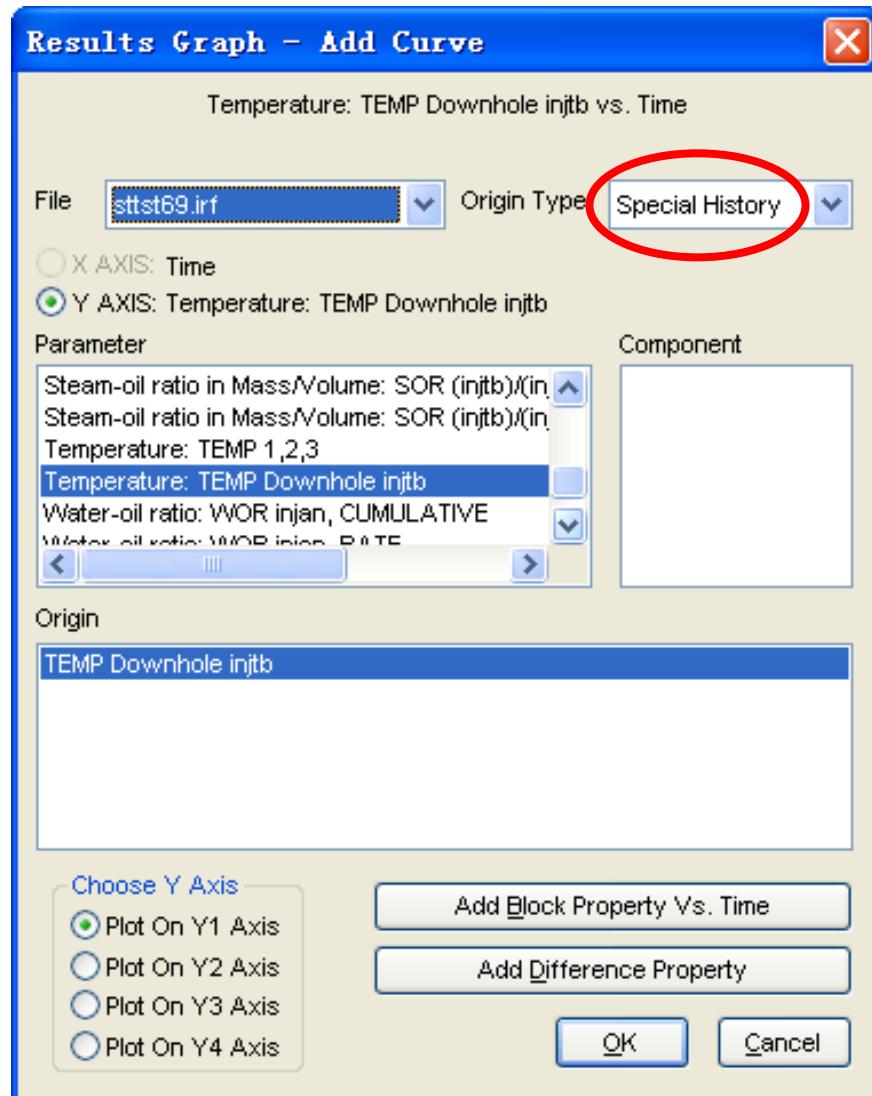
4、输入输出控制设置

点击 I/O Control → Simulation Results Output, 出现上述界面, 在 OUTSRF 中点击选择 Special, 出现第二个界面, 选择 PHWELL, 这样压降以及热损失的数据将被写入到 out 以及 irf 文件中, 并保存文件。

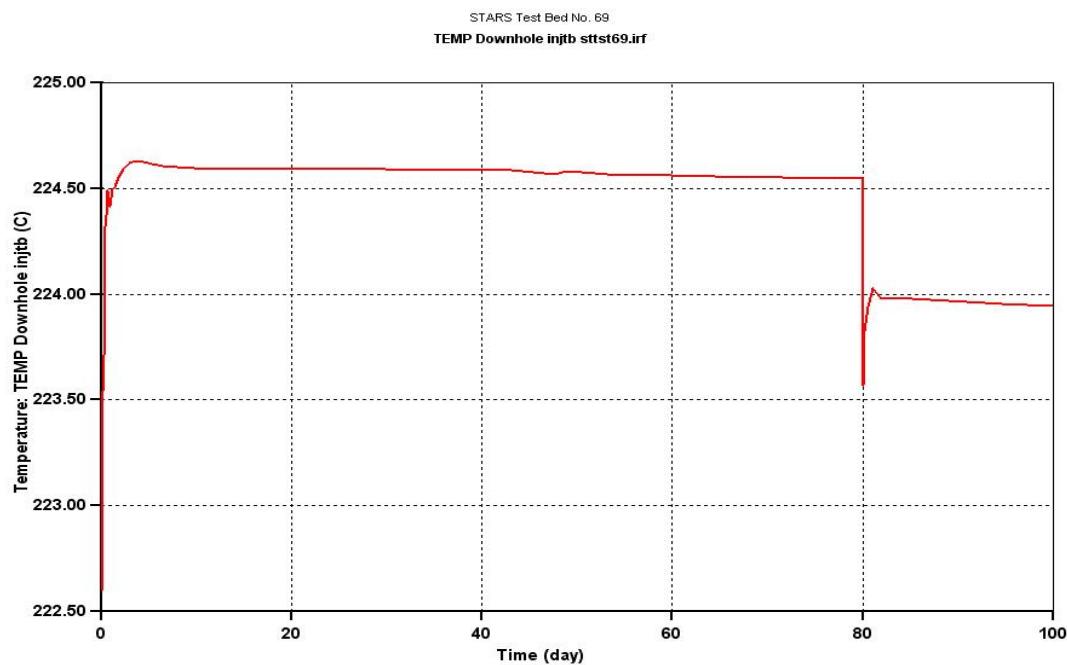




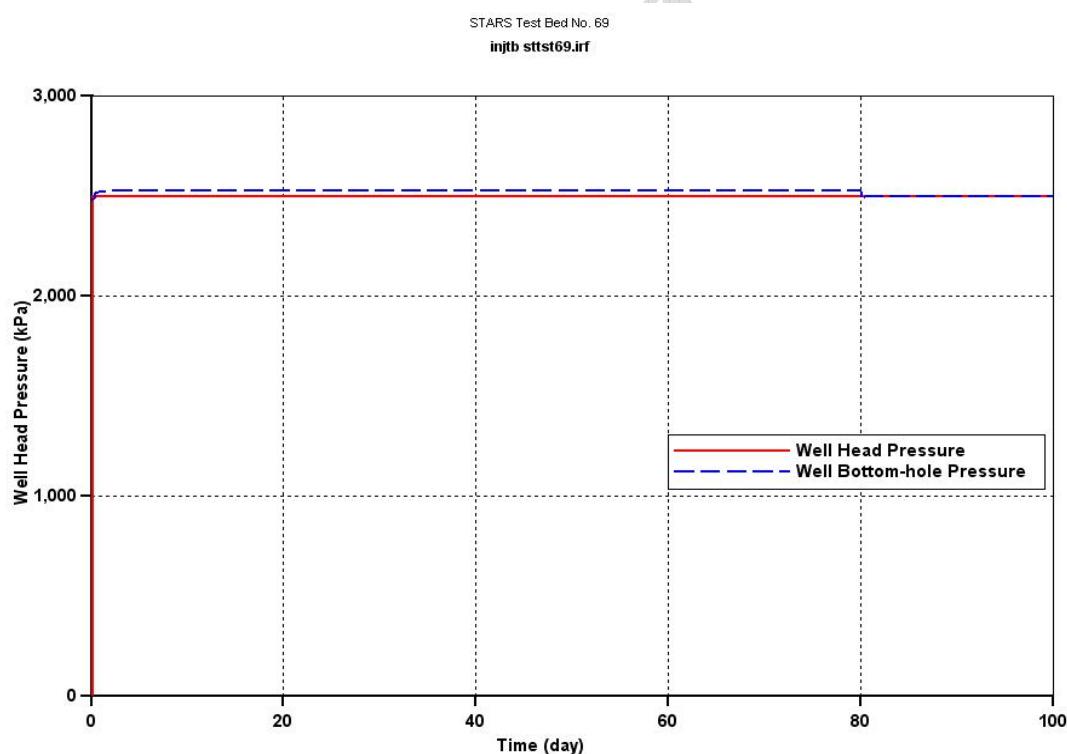
5、计算 sttst69.dat 文件，得到 sttst69.irf 计算结果文件。将结果文件采用 Results Graph 打开。



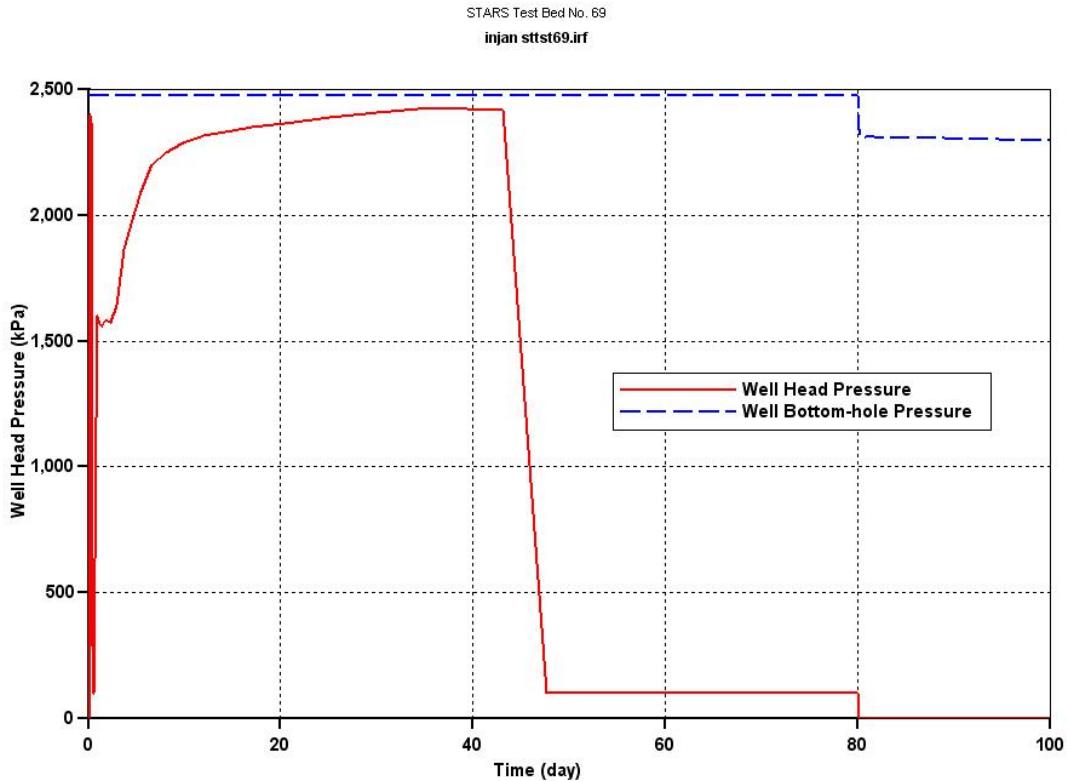
在 Results Graph 中，点击 Add curve，在出现的上述界面中选择 Special History，下方选择 injtb 井底温度，即可以画出 injtb 井的井底温度随时间的变化。



井底温度随时间变化图



注入井井底及井口压力随时间变化图



生产井井底及井口压力随时间变化图

对于生产井 injan，在已知井口压力的条件下通过压降计算从而得到井底压力（Well Bottom pressure）。而对于生产井 injan 而言，在已知井底压力的条件下通过压降计算从而得到井口压力（Well head pressure）。

6、OUT 文件查看

用户可以在 out 文件中搜索“heatloss”，查看不同井的热损失随井筒变化的计算数据。

下图即为井 injtb 的干度、温度、热晗等数据随井筒的变化。

深度	干度	压力	流体温度	比焓	地层温度	热损失	流态	摩阻
----	----	----	------	----	------	-----	----	----

Pressure drop and heatloss for well injtb.

Depth (m)	Quality (gas frac.)	Pressure (kPa)	Fluid Temperature (C)	Enthalpy (J/kg)	Formation Temperature (hole) (C)	Heatloss (J/kg)	Flow pattern	Friction (kPa)
0.0 D	90.0	2544.995	224.0	2.5089E+06				
24.4 L	90.0	2543.633	224.0	2.5052E+06	17.03	158.0	ANNUALAR MIST	-3.49
48.8 L	89.8	2542.284	224.0	2.5015E+06	17.03	157.8	ANNUALAR MIST	-3.47
73.2 L	89.6	2540.949	223.9	2.4978E+06	17.02	157.7	ANNUALAR MIST	-3.46
97.6 L	89.4	2539.626	223.9	2.4941E+06	17.01	157.5	ANNUALAR MIST	-3.45
122.1 L	89.2	2538.316	223.9	2.4905E+06	17.01	157.3	ANNUALAR MIST	-3.44
146.5 L	89.0	2537.020	223.9	2.4868E+06	17.00	157.2	ANNUALAR MIST	-3.43
170.9 L	88.8	2535.736	223.8	2.4831E+06	16.99	157.0	ANNUALAR MIST	-3.41
195.3 L	88.6	2534.466	223.8	2.4795E+06	16.98	156.9	ANNUALAR MIST	-3.40
219.7 L	88.4	2533.208	223.8	2.4758E+06	16.98	156.7	ANNUALAR MIST	-3.39
244.1 L	88.2	2531.964	223.7	2.4722E+06	16.97	156.5	ANNUALAR MIST	-3.38
268.5 L	88.0	2530.732	223.7	2.4685E+06	16.96	156.4	ANNUALAR MIST	-3.37
292.9 L	87.8	2529.513	223.7	2.4649E+06	16.96	156.2	ANNUALAR MIST	-3.36
317.4 L	87.6	2528.308	223.7	2.4612E+06	16.95	156.0	ANNUALAR MIST	-3.34
341.8 L	87.4	2527.115	223.6	2.4576E+06	16.94	155.9	ANNUALAR MIST	-3.33
366.2 L	87.2	2525.935	223.6	2.4540E+06	16.93	155.7	ANNUALAR MIST	-3.32
390.6 L	87.0	2524.768	223.6	2.4503E+06	16.92	155.5	ANNUALAR MIST	-3.31
415.0 L	86.6	2523.614	223.5	2.4467E+06	16.92	155.3	ANNUALAR MIST	-3.30

附关键字定义：

INJECTOR MOBWEIGHT EXPLICIT 'injtb' **注入井定义
PHWELLBORE SAMODEL **压降及热损失计算
 DEPTH 290.5 **\$ (m) **深度
 WLENGTH 415. **\$ (m) **长度
 RTUBIN 0.0635 **\$ (m) **油管内径
 RCASIN 0.14 **\$ (m) **套管内径
 RHOLE 0.3 **\$ (m) **井眼内径
 SURFACE_TEMP 10. **\$ (C) **地表温度
 INCOMP WATER 1. 0. 0. **注入流体定义
 TINJW 224. **蒸汽温度
 QUAL 0.9 **蒸汽干度
 OPERATE MAX WHP 2500. CONT REPEAT **约束条件 井口压力
 OPERATE MAX STW 400. CONT REPEAT **约束条件 定注汽量
 **\$ rad geofac wfrac skin
 GEOMETRY J 0.11 0.229 1. 0. **井指数定义
 PERF GEO 'injtb'
 **\$ UBA ff Status Connection **射孔数据
 1 2 5 / 1 1 1 1. OPEN FLOW-FROM 'SURFACE'
 saminfo time **将井筒压降及热损失计算结果写入.out 文件。