

第 103 期：采用过程向导快速建立地热模拟模型 ——以 U 型井为例

编写人：王建国

地热资源是蕴藏在地球内部的一种巨大的能源，也是一种很重要的可再生能源，合理地开发和利用这种资源，可以减少煤炭的使用，对节能减排意义重大。近年来，随着碳减排力度的加大，地热作为一种重要的清洁能源，越来越受到人们的重视。

STARS 作为热采模拟领域不可替代的软件，做地热模拟具有以下优势：

- 1) 机理全面：STARS 具备热场模拟的各种先进技术，可模拟地热开发涉及的各种机理，这些技术包括：
 - a) 热-流-固-化多场耦合模拟技术；
 - b) 气液固相密度粘度计算技术；
 - c) 高精度的相态变化表征技术；
 - d) 井筒压降热损失模拟技术；
 - e) 各类型同井采灌模拟技术；
 - f) 灵活的大地热流模拟技术；
 - g) 天然及人工裂缝模拟技术；
 - h) 强大的多图同步展示技术；
 - i) 先进的智能辅助模拟技术，等。
- 2) 方式多样：可考虑地热开发涉及的各种方式，包括
 - a) 直采热水、回灌冷水开发；
 - b) 取热不取水地热开发；
 - c) CO₂ 羽流地热开采；
 - d) 干热岩系统（HDR）；
 - e) 增强型地热开发系统（EGS）；
 - f) CO₂ 基增强型地热系统（CO₂-EGS）；
 - g) 深层地热同井采灌开发，等。

- 3) 转换简单：常规油藏转地热田，或油井或地热井时，在同一个模型中完成，无需转换模型；
- 4) 稳定快速：基于 40 余年的积累和打磨，软件计算稳定，并且在人工智能提速技术的加持下，计算速度快。
- 5) 操作便捷：新开发的智能建模技术，为新手小白提供了快速建模的利器。鉴于以上原因，STARS 逐渐成为大型地热模拟的首选模拟器。

为了帮助用户降低软件学习的时间成本，进一步提高地热数值模拟工作效率，缩短研究周期，CMG 公司在 2022 版推出了地热模拟的向导建模技术。对于毫无油藏模拟经验的新手用户来说，使用该项技术，通过简单的输入热储深度、压力、井深、油套管尺寸等几个数据，即可快速建立起完整的地热模拟模型，以快速开展地热数值模拟研究。

本文以 U 型井为例，手把手的教你在“一穷二白”（没有任何资料）的情况下，3 分钟快速建立地热模型的操作步骤。

本文操作采用的软件 Builder 版本是 2022.20 版。

1 地热向导建模技术特征

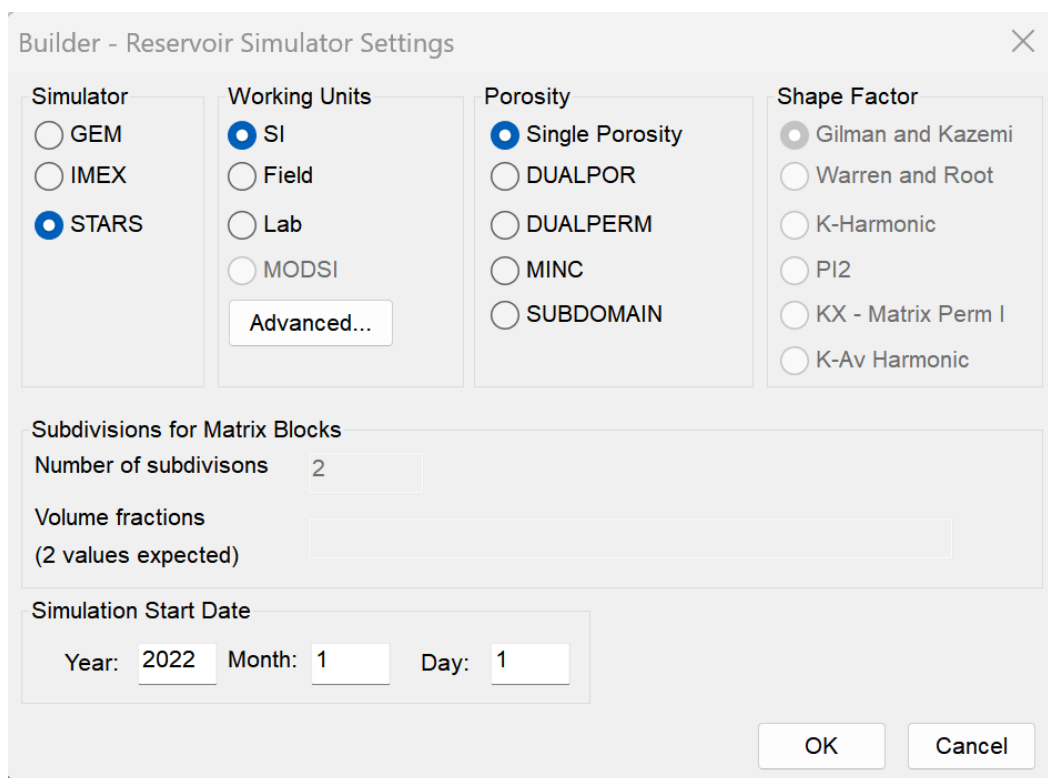
Builder2022.20 的地热向导建模技术具有以下特征：

- 1) 目前的版本支持三种地热开采方式的智能快速建模：
 - a) 常规热储直采热水-回灌冷水
 - b) 同轴单井闭环地热开采
 - c) U 型井闭环地热开采
- 2) 根据项目需求，可以选择新建地热模型，也可以将已有油藏模型改成地热模型；
- 3) 可将源汇井模型方便地转为灵活井模型，或添加具有指定曲率、方向和长度的水平井。
- 4) 建立的是从地面到热储的全流程模型，既可以研究热储内的温度、压力等流场变化，也可以研究井筒内井口到储层的沿程压降及热损失；
- 5) 可通过一键选择油套管型号来确定尺寸，也可单独设置尺寸；

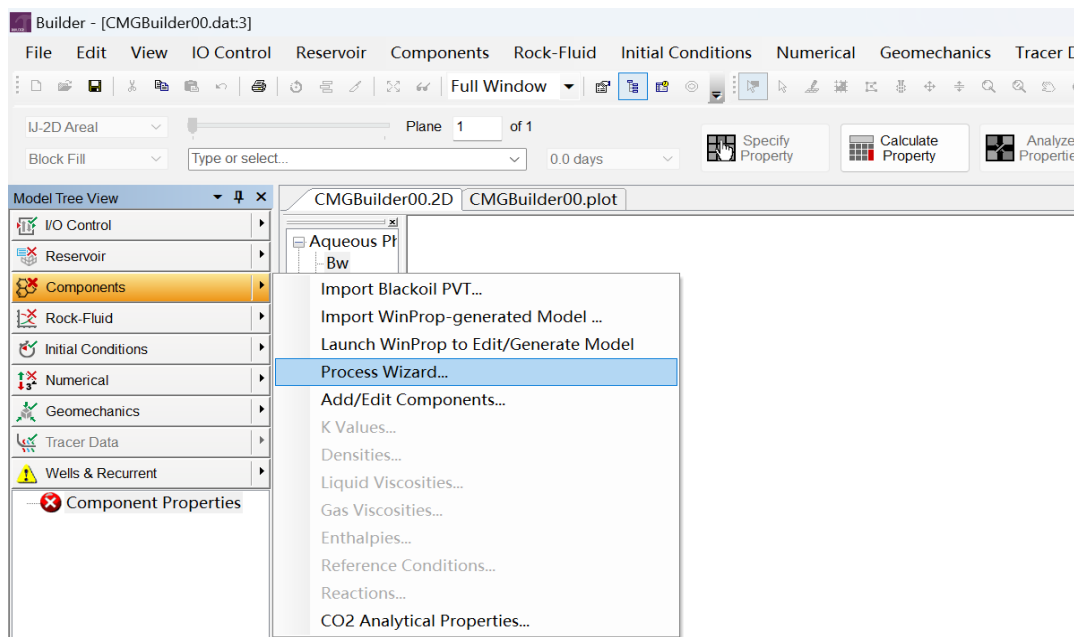
- 6) 用户不需要输入组分、相渗曲线、初始化、数值控制、井定义等部分的参数，软件自动添加，完成整个模型的建立。

2 操作流程

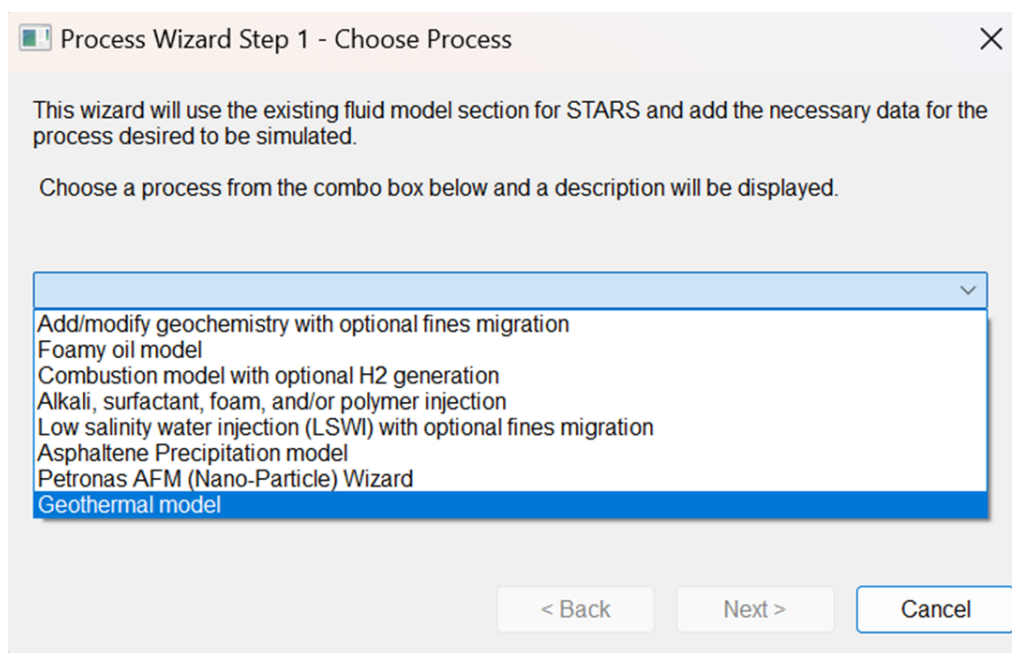
- 1) 启动 CMG Launcher。通过双击桌面图标启动 CMG Launcher，或者点击开始菜单选择应用程序 CMG→Launcher 2022.20。
- 2) 双击 Launcher 中的 Builder 图标 ，打开 Builder2022.20。
- 3) 点击新建文件图标  (New) 创建新的模型。
- 4) 选择：STARS (模拟器)，SI (国际单位制)，Single Porosity (单孔模型)。
- 5) 起始日期：2022-01-01。
- 6) 点击 OK，在弹出的界面再次点击 OK。

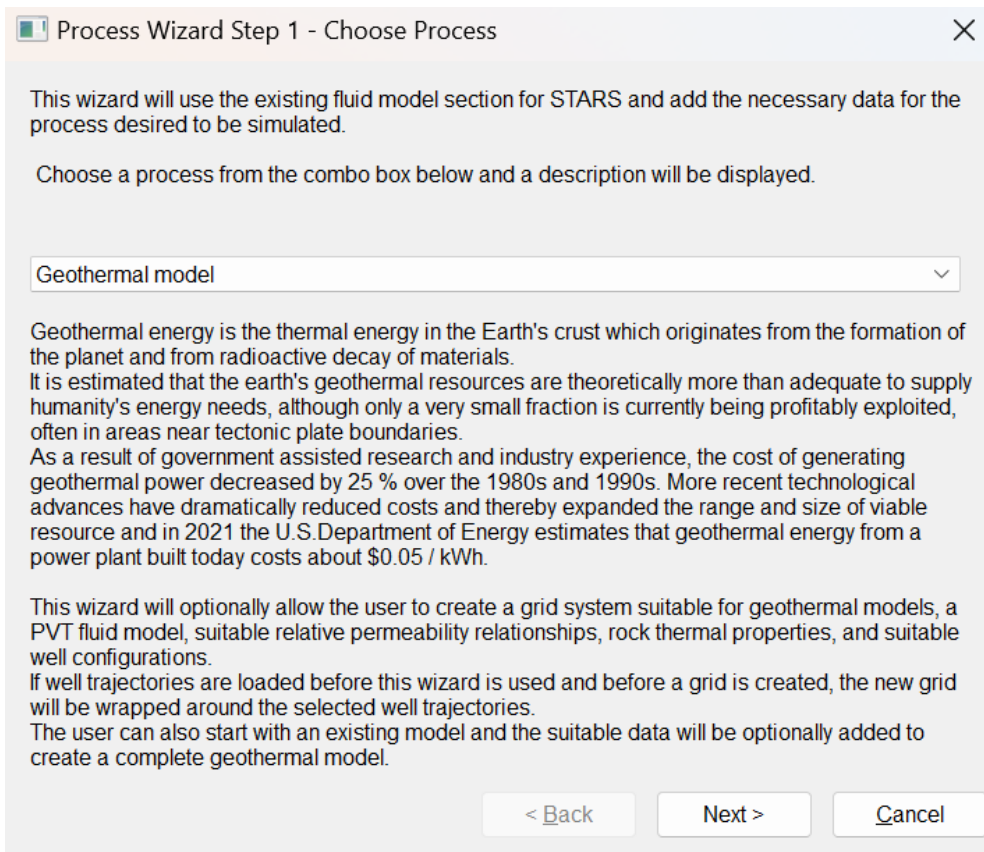


- 7) 点击 Components → Process Wizard，打开过程向导。

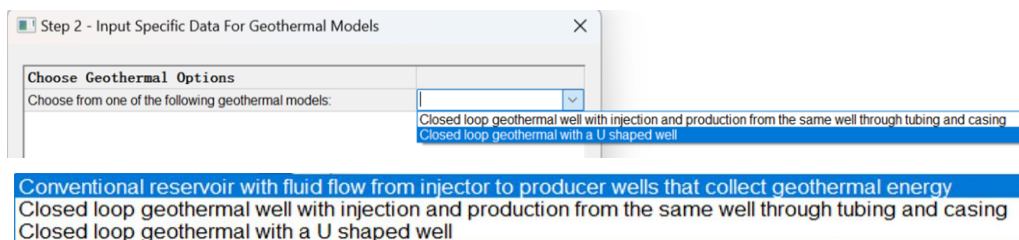


8) 过程向导第 1 步是选择要模拟的开发方式,如下图所示。选择 Geothermal model 后,下方出现关于地热的相关描述。





9) 第 2 步是选择要模拟的地热开发的类型。本次因为是新建模型，只显示 2 个选项，如果是从已有的模型转成地热模型，会显示 3 个选项。

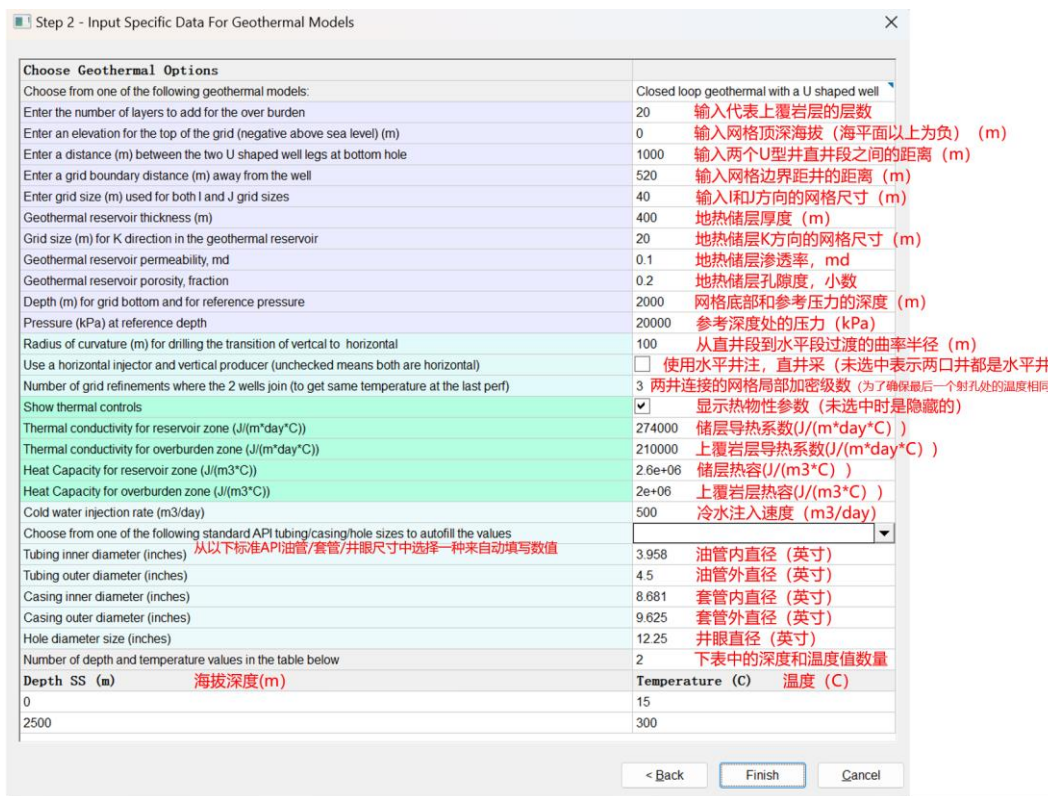


这 3 个选项的含义分别是：

- a) 常规热储直采热水-回灌冷水；
- b) 同轴单井闭环地热开采；
- c) U 型井闭环地热开采。

本次选择最后一项，即建立 U 型井闭环地热开采模型。

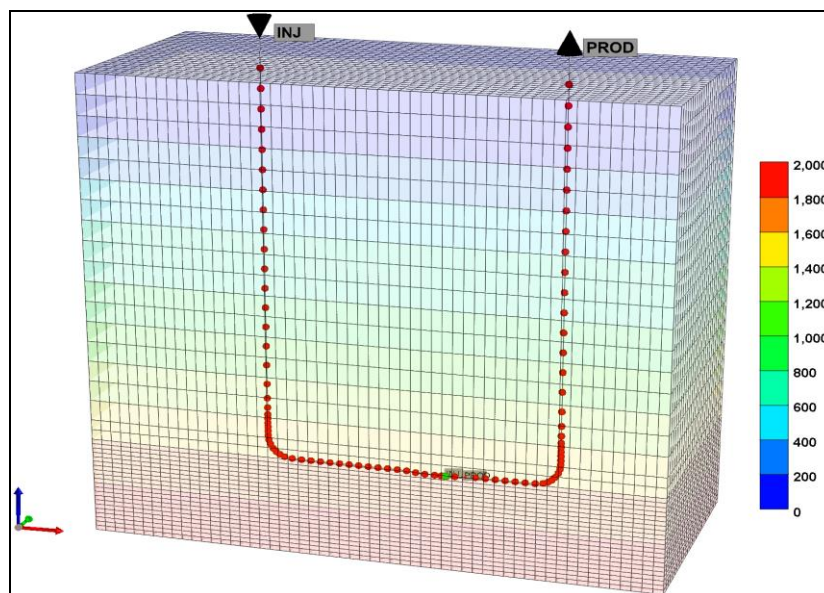
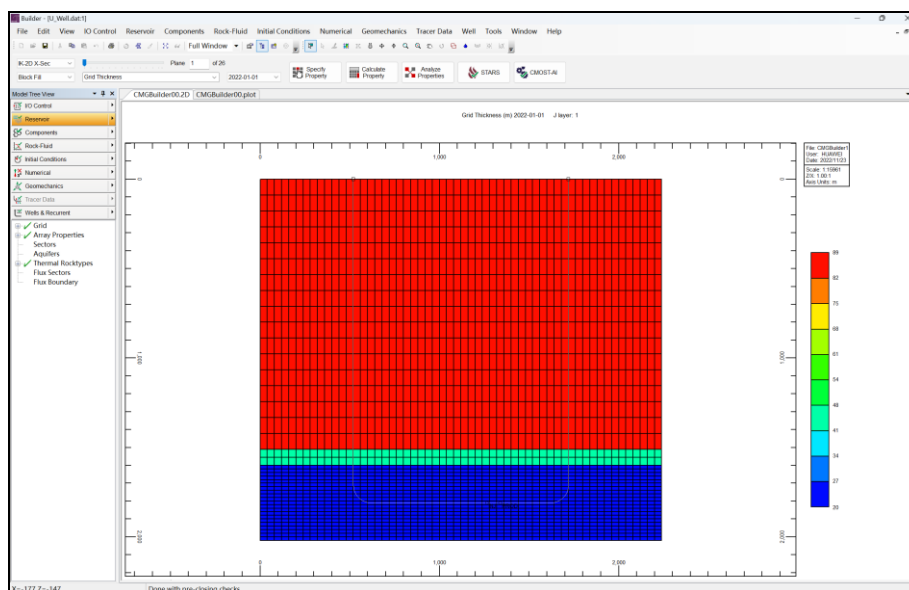
10) 选择地热开采的类型后，即可看到模型相关的参数设置。此处大部分参数都有缺省值，需要我们做的就是检查并修改每项数据，确保符合我们的实际情况。



值得一提的是，在油管/套管/井眼尺寸设置部分，为了方便快速输入数据，软件提供了 13 种标准组合，可以从下列列表中选择。如果这些组合中没有适合自己的选项，可以选择手动输入数据。注意单位是英寸。

- Tubing=2-7/8 inch, Casing=5-1/2 inch, Hole size=7-7/8 inch
- Tubing=2-7/8 inch, Casing=6-5/8 inch, Hole size=8-1/2 inch
- Tubing=2-7/8 inch, Casing=7.0 inch, Hole size=8-3/4 inch
- Tubing=3-1/2 inch, Casing=6-5/8 inch, Hole size=8-1/2 inch
- Tubing=3-1/2 inch, Casing=7.0 inch, Hole size=8-3/4 inch
- Tubing=3-1/2 inch, Casing=8-5/8 inch, Hole size=11.0 inch
- Tubing=3-1/2 inch, Casing=9-5/8 inch, Hole size=12-1/4 inch
- Tubing=4-1/2 inch, Casing=7.0 inch, Hole size=8-3/4 inch
- Tubing=4-1/2 inch, Casing=8-5/8 inch, Hole size=11.0 inch
- Tubing=4-1/2 inch, Casing=9-5/8 inch, Hole size=12-1/4 inch
- Tubing=4-1/2 inch, Casing=10-3/4 inch, Hole size=15.0 inch
- Tubing=4-1/2 inch, Casing=11-3/4 inch, Hole size=17.0 inch
- Tubing=4-1/2 inch, Casing=13-3/8 inch, Hole size=17-1/2 inch

11) 模型参数设置完毕后，点击 Finish 按钮，进入智能建模阶段，等待几秒后即可看到一个完整的地热数值模拟模型。



12) 点击 Save File, 保存文件, 命名为 U_Well.dat。

3 模型解读

13) 在 CEDIT 中打开 U_Well.dat, 可以看到在输入输出控制部分, 设置了地热模拟需要的一些选项, 包括灵活井的所有参数, 注入井和生产井的热能速率和累积量。



```

OUTSRF FLEXLAYER ALL
OUTSRF SPECIAL WELLENERGY 'INJ' RATE
                WELLENERGY 'INJ' CUM
                WELLENERGY 'PROD' RATE
                WELLENERGY 'PROD' CUM
    
```

14) 在岩石类型部分，设置了 4 套岩石类型，分别用于不同深度的储层，以及两井连接处。

```

ROCKTYPE 1
Text Hidden By User...
ROCKTYPE 2
Text Hidden By User...
ROCKTYPE 3
Text Hidden By User...
ROCKTYPE 4
Text Hidden By User...
THTYPE CON          1
*MOD
32:32  14:14  30:30  =  4
1:56   1:26   1:10   =  1
1:56   1:26   11:20  =  2
1:56   1:26   21:40  =  3
    
```

15) 在组分部分，只有一个水组分，其参数为 0 表示采用软件内部的缺省值。

```

MODEL 1 1 1 1
COMPNAME 'Water'
CMM
0.01802
PCRIT
0
TCRIT
0
MOLDEN
0
CP
0
CT1
0
CT2
0
AVISC
0
BVISC
0
    
```

16) 在相渗曲线部分，有一套完整的相渗曲线，但是对于该地热模型而言，相渗曲线对模拟结果没有任何影响。

17) 在初始化部分，根据过程向导第 2 步输入的参数，软件自动生成了不同深度网格的压力和温度数据。模型初始含水饱和度为 1。

```

INITIAL
VERTICAL OFF

INITREGION 1
PRES KVAR
543.4933 1427.88 2312.267 3196.653 4081.04 4965.426 5849.813 6734.2
7618.586 8502.974 9387.36 10271.75 11156.13 12040.52 12924.91 13809.29
14693.68 15356.97 15799.17 16119.76 16318.74 16517.73 16716.72 16915.7
17114.69 17313.68 17512.66 17711.65 17910.64 18109.62 18308.61 18507.6
18706.59 18905.57 19104.56 19303.55 19502.54 19701.52 19900.51 20099.5
TEMP KVAR
20.06667 30.2 40.33333 50.46667 60.6 70.73333 80.86666 90.99999 101.1333
111.2667 121.4 131.5333 141.6667 151.8 161.9333 172.0667 182.2 189.8
194.8667 198.54 200.82 203.1 205.38 207.66 209.94 212.22 214.5 216.78
219.06 221.34 223.62 225.9 228.18 230.46 232.74 235.02 237.3 239.58
241.86 244.14
SW CON          1
SO CON          0

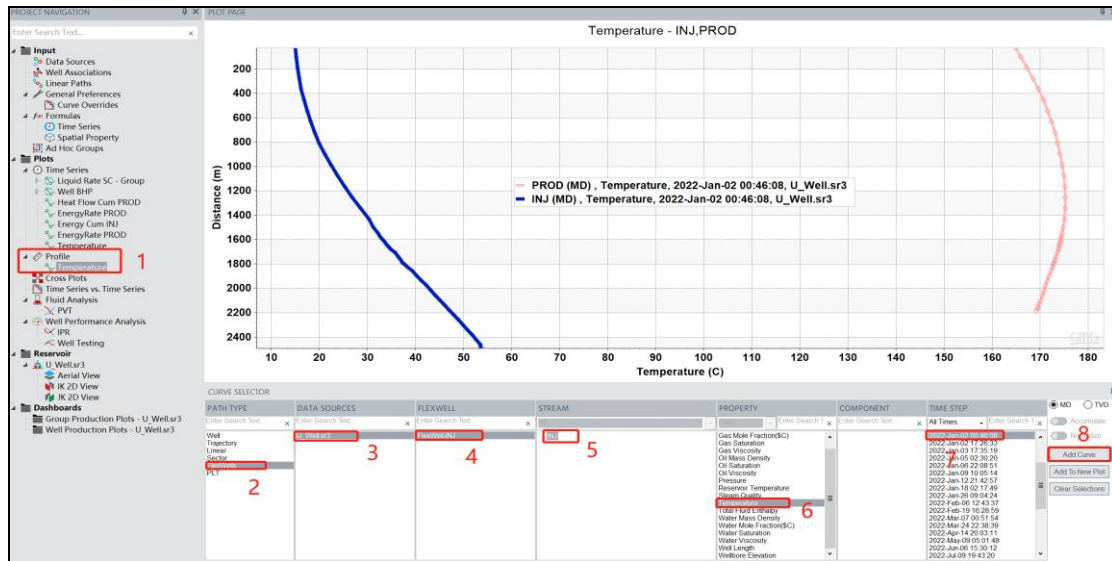
```

- 18) 在数值控制部分，只使用了人工智能加速计算的一个关键字 AUTOTUNE ON。
- 19) 在井和动态数据部分，以灵活井的方式定义了两口水平井。井筒参数都是来自过程向导中设置的数据。模拟时间为 5 年。

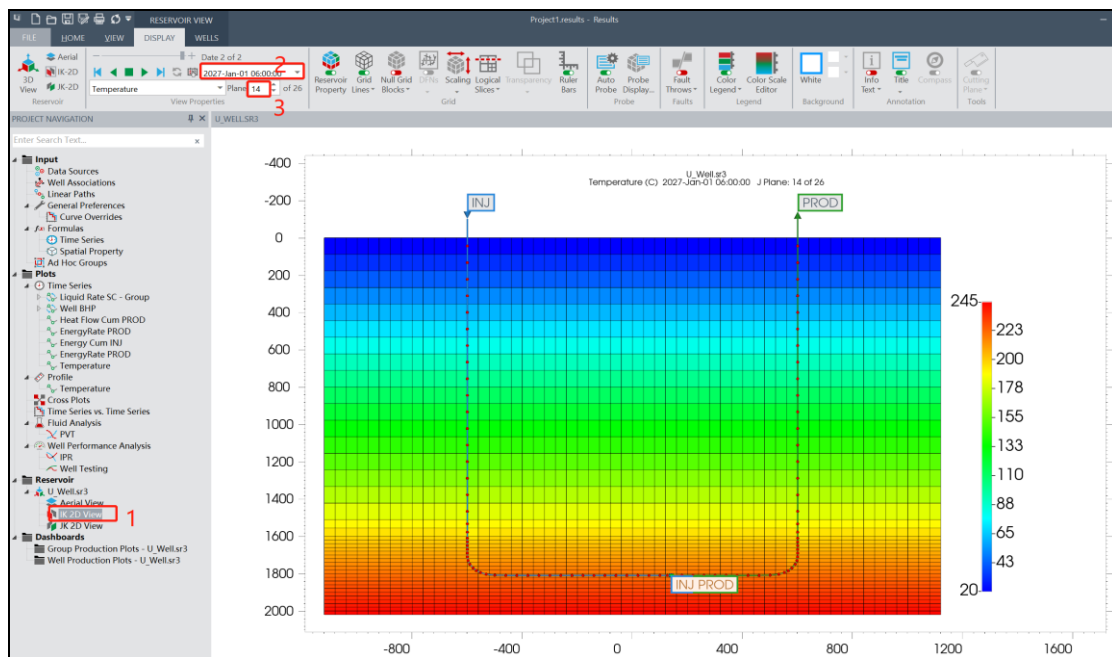
4 模拟结果分析

将 U_Well.dat 文件拖到 STARS 模拟器上进行计算。计算完毕后，将 U_Well.sr3 文件拖到 RESULTS 中进行模拟结果分析。

根据如图所示的操作步骤，将某个时间注入井与生产井井筒内的温度剖面放在一起，可以看到整个 U 型井井筒内沿程温度变化。



此外，可以在 Results 场图中查看采热多年后的温度场变化。此次计算中因为注采速度只有 500m³/d，5 年后温度场的变化不是很明显。试着将注采速度加大，或者延长模拟时间，再看看温度场的变化。



用户还可以根据需要，输出并分析其他参数，在此不一一展示。

需要注意的是，向导建模技术建立的模型不一定十分完美，也不一定完全符合我们的要求，有些参数可以根据需要进行修改。例如模拟时间，程序设置的是 5 年，我们可以根据需要改成 10 年或更长时间。有些特殊机理需要我们人为添加，例如矿化度的影响、CO₂ 羽流地热开采等。这些高级应用要求对软件有更深刻的理解，大家如有需要可以跟我们联系探讨定制培训或咨询服务。