

第 105 期：无网格井-定义井眼轨迹及射孔的新技术

编写人：李罡

1. 无网格井（Grid Independent Well）定义

井眼轨迹是对穿过地层的井筒路径的描述，由一系列描述空间位置的点组成。每个点都有 xyz 坐标，以及从井口开始的测深（含补心海拔）。井眼轨迹可以包含多个射孔段，定义射孔段时需要射孔段的起始点和终止点的测深以及射孔日期。

无网格井是 CMG 研发的新技术，可直接使用空间坐标和测深定义多分支井井眼轨迹及射孔，与网格无关。与传统定义井眼轨迹的方法不同，该方法操作简单，数据体关键字进一步简化，井眼轨迹及射孔优化更加便捷。

2. 井眼轨迹及射孔定义方法

目前，CMG 定义井眼轨迹及射孔的方法有两种，一种是利用 CMG 前处理 Builder 过程向导，将井眼轨迹与网格地址结合起来，另外一种是利用 CMG 无网格井技术，将井眼轨迹与射孔写入数据体，CMG2022 版也支持 Builder 创建无网格井。

2.1 传统方法

常规的井眼轨迹及射孔数据导入是基于网格的，需要结合前处理 Builder 过程向导，将空间位置及测深数据转换为模型的网格地址，过程相对复杂，具体操作流程可以参考 CMG 第 13 期讲义《如何采用前处理导入井眼轨迹及射孔文件》。

以 CMG-STARs 自带算例 stwwm162.dat 为例，井眼轨迹及射孔数据导入模型后，可在数据体中，查看对应井眼轨迹及射孔的关键字，如下所示，可以看出数据体中井'Well-1'轨迹及射孔的关键字都是基于网格坐标的，并且为了定义这一口井的井眼轨迹及射孔数据，使用 35 行关键字，相对繁琐。

井眼轨迹及射孔关键字：

```

PERF      GEOA  'Well-1'
**UBA          ff  Status  Connection
12 9  1 / 3 1 1      1.0  OPEN  FLOW-FROM 'SURFACE' REFLAYER
12 9  1 / 3 1 2      1.0  OPEN  FLOW-FROM  1
12 10 1 / 3 1 2     1.0  OPEN  FLOW-FROM  2
12 11 1 / 3 1 2     1.0  OPEN  FLOW-FROM  3
12 12 1 / 3 1 2     1.0  OPEN  FLOW-FROM  4
12 13 1 / 3 1 2     1.0  OPEN  FLOW-FROM  5
12 14 1 / 3 1 2     1.0  OPEN  FLOW-FROM  6
12 15 1 / 3 1 2     1.0  OPEN  FLOW-FROM  7
12 16 1 / 3 1 2     1.0  OPEN  FLOW-FROM  8
12 16 1 / 3 1 1     1.0  OPEN  FLOW-FROM  9
12 17 1 / 3 1 1     1.0  OPEN  FLOW-FROM 10
12 17 1 / 3 1 2     1.0  OPEN  FLOW-FROM 11
12 18 1 / 3 1 1     1.0  OPEN  FLOW-FROM 12
12 18 1 / 3 1 2     1.0  OPEN  FLOW-FROM 13
12 19 1 / 3 1 2     1.0  OPEN  FLOW-FROM 14
12 20 1 / 3 1 2     1.0  OPEN  FLOW-FROM 15
LAYERXYZ  'Well-1'
**perf geometric data: UBA, block entry(x,y,z) block exit(x,y,z), length
12  9 1 / 3 1 1  1265.0  1062.5  3016.63  1265.0  1062.5  3022.8   6.1
12  9 1 / 3 1 2  1265.0  1062.5  3022.75  1265.0  1125.0  3023.6   62.5
12 10 1 / 3 1 2  1265.0  1125.0  3023.58  1265.0  1250.0  3019.6  125.1
12 11 1 / 3 1 2  1265.0  1250.0  3019.59  1265.0  1375.0  3018.1  125.0
12 12 1 / 3 1 2  1265.0  1375.0  3018.13  1265.0  1400.0  3020.9  125.0
12 13 1 / 3 1 2  1265.0  1500.0  3020.91  1265.0  1625.0  3027.1  125.2
12 14 1 / 3 1 2  1265.0  1625.0  3027.07  1265.0  1750.0  3034.9  125.2
12 15 1 / 3 1 2  1265.0  1750.0  3034.88  1265.0  1875.0  3041.8  125.2
12 16 1 / 3 1 2  1265.0  1875.0  3041.80  1265.0  1937.5  3042.3   62.5
12 16 1 / 3 1 1  1265.0  1937.5  3042.32  1265.0  2000.0  3040.7   62.5
12 17 1 / 3 1 1  1265.0  2000.0  3040.67  1265.0  2062.5  3043.6   62.6
12 17 1 / 3 1 2  1265.0  2062.5  3043.56  1265.0  2092.3  3043.2   29.8
12 18 1 / 3 1 1  1265.0  2125.0  3040.24  1265.0  2187.5  3037.1   62.6
12 18 1 / 3 1 2  1265.0  2187.5  3037.14  1265.0  2250.0  3032.9   62.6
12 19 1 / 3 1 2  1265.0  2250.0  3032.94  1265.0  2375.0  3020.5  125.6
12 20 1 / 3 1 2  1265.0  2375.0  3020.45  1265.0  2500.0  3008.8  125.5
**

```

2.2 新方法

CMG 研发的新技术无网格井，允许使用空间坐标和测深定义多分支井井眼轨迹及射孔，与网格无关。

关键字*WBRANCH 使用空间坐标和测深定义多分支井眼轨迹。使用关键字*WBSHIFT 和*WBROTATE,可以在不改变井眼轨迹段原始输入坐标的情况下重新定位井主分支和次级分支。井眼射孔和相关指标参数可以用测深(*PERF-MD)来指定,而不是传统的网格地址。在网格反复变化的情况下,不需要重新定义射孔,因为井层(即网格块的交点)将根据给定的井分支和测深自动重建。所有小层控制选项(如*LAYER-CTRL 和*KRPERF)都可以与分支名称和测深间隔的新语法一起使用。

以 CMG-STARs 自带算例 stwwm162.dat 为例,使用 CMG 无网格井技术,在数据体中写入井眼轨迹及射孔数据的关键字,如下所示。在数据体中,井眼轨迹部分的关键字仅仅是空间坐标 (x,y,z) 及测深数据,射孔部分仅仅是与测深段相关的数据,两者都与网格不相关,省略了使用过程向导导入的过程,操作简单。另外,在该算例中,总共使用 23 行关键字定义了井眼轨迹及射孔,与传统方法相比,关键字更加简化整洁。

井眼轨迹及射孔关键字:

```

BRANCH 'WB-1' ATTACHTO 'Well-1'    **定义主井眼轨迹
**      x          y          z          md
1265.0  1062.5  3016.63    0.0
1265.0  1062.5  3022.8     6.1
1265.0  1125.0  3023.6    68.6
1265.0  1250.0  3019.6   193.7
1265.0  1375.0  3018.1   318.7
1265.0  1400.0  3020.9   443.7
1265.0  1625.0  3027.1   568.9
1265.0  1750.0  3034.9   694.1
1265.0  1875.0  3041.8   819.3
1265.0  1937.5  3042.3   881.8
1265.0  2000.0  3040.7   944.3
1265.0  2062.5  3043.6  1006.9
1265.0  2092.3  3043.2  1036.7
1265.0  2187.5  3037.1  1099.3
WBRANCH 'WB-2' ATTACHTO 'WB-1'    **定义分支井眼轨迹
**      x          y          z          md
1265.0  2187.5  3037.1  1099.3
1265.0  2250.0  3032.9  1161.9
1265.0  2375.0  3020.5  1287.5
1265.0  2500.0  3008.8  1413.0
*PERF-MD  GEOA  1  **'Well-1'    **定义射孔

```

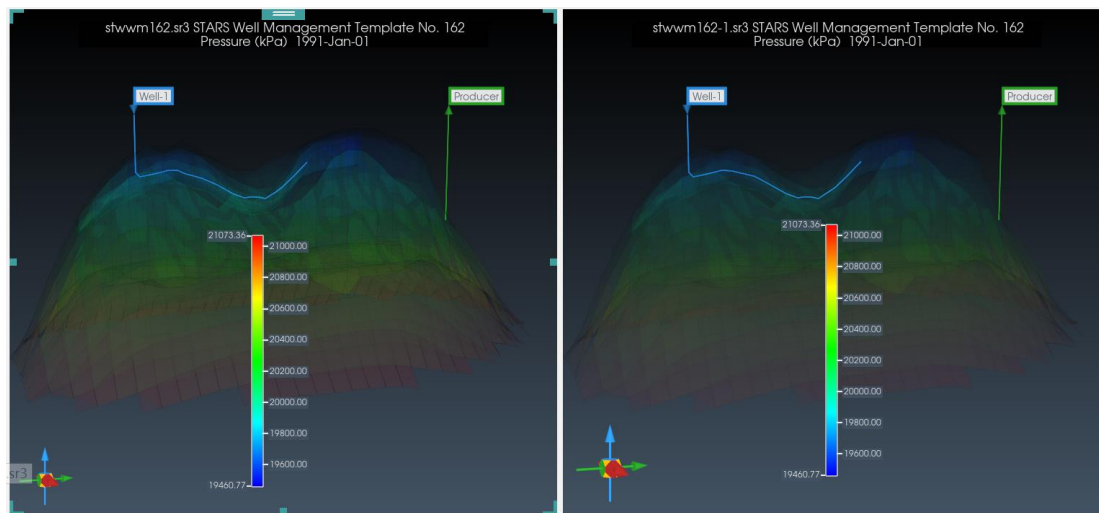
** Branch	MD interval		ff	Status
'WB-1'	0.0 1099.0	MT	1.0	OPEN
'WB-2'	1099.3 1400.0	MT	1.0	OPEN

2.3 新旧方法对比

上述 2.1 和 2.2 小节介绍了 CMG 定义井眼轨迹和射孔的传统方法和新方法，本小节通过对井眼轨迹、产能指标等进行对比，总结 CMG 无网格井新技术优势。

2.3.1 井眼轨迹及产能指标对比

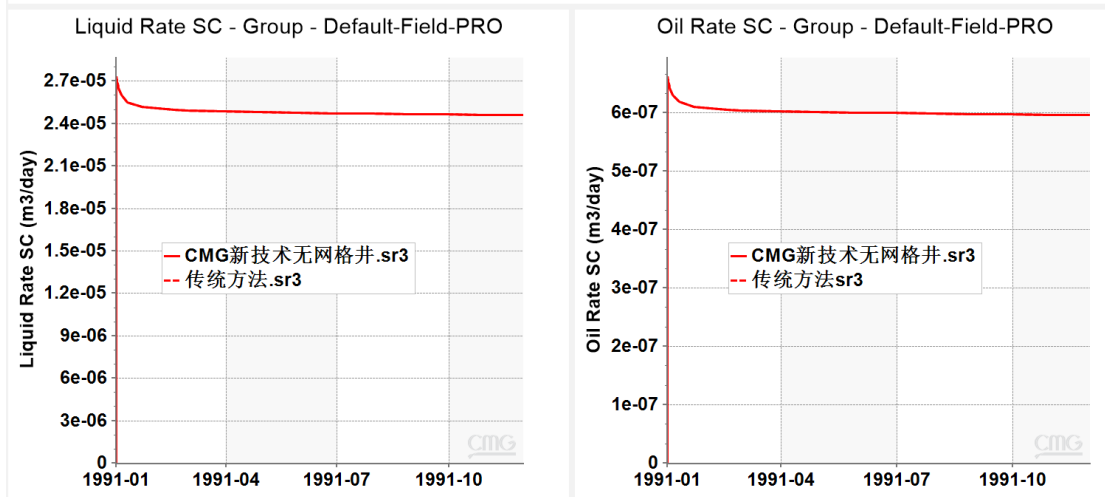
使用两种方法导入井眼轨迹后，在 CMG 后处理模块进行对比，通过下图可以看出，井眼轨迹基本一致，能够满足模拟需求。



新方法

传统方法

使用 CMG 模拟器运算两个模型后，在后处理模块对比两个模型的产液和产油曲线，通过下图可以看出，产液量和产油量曲线重合，模拟结果一致。



新方法与传统方法产液产油量对比曲线

2.3.2 CMG 无网格井技术优点

与传统方法对比，CMG 无网格新技术优点主要表现在以下几个方面：

- (1) 多分支井定义更加便捷；
- (2) 在反复改变网格或优化加密井的情况下，无需重新定义射孔；
- (3) 与 CMOST 结合，优化井眼轨迹及射孔更加方便，如下图所示，创建基于井眼轨迹及射孔的 CMOST 参数更方便。

```

WELL 'Well-1'
WBRANCH 'Well-1-BR-1' *ATTACHTO 'Well-1'
**      x          y          z          md
30      71.4665    -43.755     0.0      0.0
30      71.4665    -43.755     9.0      9.0
30      80.2175    -43.755    15.0    19.610372
30     102.095    -43.755    20.0    42.051963
30     131.265    -43.755    20.0    71.221963
30     160.435    -43.755    20.0   100.391963
30     182.3125   -43.755    20.0   122.269463
30     190.33425  -43.755    20.0   130.291213
WBSHIFT 'Well-1'
      <CMOST>this[10]=x1</CMOST> <CMOST>this[10]=y1</CMOST> 30 ****井眼轨迹移动位置
WBROTATE 'Well-1'
      <CMOST>this[45]=angle1</CMOST> 71.47 -43.76 ****井眼轨迹选择角度
**      rad geofac wfrac skin
GEOMETRY K 0.25 0.249 1.0 0.0
PERF-MD GEOA 'Well-1'
** Branch MD-Start MD-End ff Status Connection
'Well-1-BR-1' <CMOST>this[10.887918]=perf_md_start</CMOST> <CMOST>this[130.171691]=perf_md_end</CMOST>
    
```

3. 无网格井关键字

本小节主要介绍无网格井的相关关键字，包括井眼关键字*WBRANCH、井

眼轨迹移动位置*WBSHIFT、旋转角度关键字*WBROTATE 以及射孔关键字*PERF-MD。

3.1 定义井眼轨迹关键字

*WBRANCH: 使用井眼轨迹定义多分支井

格式:

```
*WBRANCH 'br_name' *ATTACHTO 'parent_name'
      x1 y1 z1 md1
      :
      xn yn zn mdn
```

定义:

'br_name'

分支名称, 用单引号括起来的字母数字字符串(最多 40 个字符), 在数据体中必须是唯一的。

'parent_name'

母分支的名称或主井的井名, 单引号。

x, y, z

分支井眼轨迹空间位置(m | ft | cm)。

md

分支井眼轨迹测深(m | ft | cm)。

缺省:

没有缺省值。

条件:

1. 在*WBRANCH 行中, 通过*ATTACHTO 输入主分支的井名 (well name)。
2. 井名必须在主分支定义之前定义, 母分支必须在子分支定义之前定义。
3. 测深 (md) 必须是单调递增的。
4. 最后一点应该是井筒分支的末端。
5. 一旦使用*WBRANCH 关键字引入一个分支, 它后面不能再出现同名的*WBRANCH, 以重新指定原始点;但是, 可以使用新的*WBRANCH 扩展/附加分支, 以在不同的时间添加新的点。添加的测量深度必须是单调增加的,

并且必须超过先前为分支输入的所有 md 值。

解释：

主井分支是唯一连接到地面的井分支。其余分支通过母井分支或主井分支连接到地面。子分支在第一个分支点与母分支连接，并沿着母分支使用匹配的测量深度。流体可以通过分支传递。

定义多分支井，示例如下：

***WBRANCH 'WB-1' *ATTACHTO 'Well-1'**

**	x	y	z	md
	1265.0	1062.5	3016.6	0.0
	1265.0	1062.5	3022.8	6.1
	1265.0	1125.0	3023.6	68.6
	1265.0	1250.0	3019.6	193.7
	1265.0	1375.0	3018.1	318.7
	1265.0	1400.0	3020.9	443.7
	1265.0	1625.0	3027.1	568.9
	1265.0	1750.0	3034.9	694.1
	1265.0	1875.0	3041.8	819.3
	1265.0	1937.5	3042.3	881.8
	1265.0	2000.0	3040.7	944.3
	1265.0	2062.5	3043.6	1006.9
	1265.0	2092.3	3043.2	1036.7
	1265.0	2187.5	3037.1	1099.3

***WBRANCH 'WB-2' *ATTACHTO 'WB-1'**

**	x	y	z	md
	1265.0	2187.5	3037.1	1099.3
	1265.0	2250.0	3032.9	1161.9
	1265.0	2375.0	3020.5	1287.5
	1265.0	2500.0	3008.8	1413.0

3.2 井眼轨迹移动位置和旋转角度关键字

***WBSHIFT** 和 ***WBROTATE**：移动和旋转井分支位置(可选)

目的：

***WBSHIFT** 和 ***WBROTATE** 允许通过关键字 ***WBRANCH** 定义的井眼分支进行位置移动和旋转。

格式：

```
*WBSHIFT  well_list
           Δx Δy Δz
*WBROTATE well_list
           angle (xo yo)
```

定义：

well_list

由关键字*WELL 和*WELLIST 定义的一个或多个井标识符，与*WBSHIFT 或*WBROTATE 在同一行。如果需要的井列表不适合一行，可以多次使用该关键字。

Δx Δy Δz

由 *well_list* 确定的连接到 wells (s)上的所有井分支的坐标增量。

angle

由 *well_list* 标识的所有井支 XY 坐标的水平旋转角度(角度，顺时针)。

xo yo

井眼轨迹旋转的原点坐标(可选)。

缺省值：

可选的关键词。默认值为 $\Delta x = 0$, $\Delta y = 0$, $\Delta z = 0$, *angle* = 0, *xo* = 0, *yo* = 0。

条件：

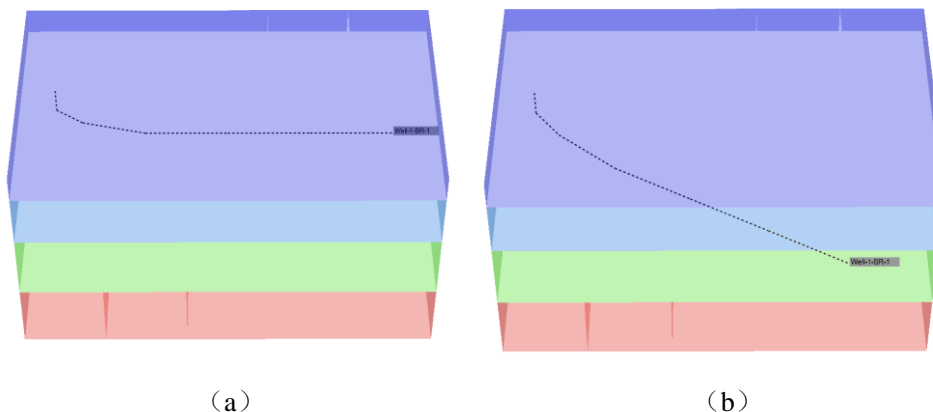
*WBSHIFT 和*WBROTATE 必须位于井和井动态数据部分。

解释：

这些可选关键字允许用户在不改变井眼轨迹段原始输入坐标的情况下，重新定位由*WBRANCH 指定的井眼分支。当指定井的主要分支时，*WBSHIFT 或*WBROTATE 必须在同一日期卡上提供，因此在数据集中对于同一口井只能出现一次。稍后连接到主分支的同一井的任何新的子分支将自动以相同的增量移动或以相同的角度旋转。

例子：

```
*WBSHIFT 'PROD1' 'PROD2'
          50.0  10.0  0.0
*WBROTATE 'PROD1' 'PROD2'
          30.0
```



无网格井旋转30° 对比图

3.3 定义射孔关键字

关键字*PERF-MD 用于定义射孔段，其位置格式：

```
'br_name' md1 md2
```

其中'br_name'是由关键字*WBRANCH 指定的分支名称。md1 和 md2 (md2 > md1)用测深(MD)定义射孔段。射孔段不能超过*WBRANCH 定义的总分支段长度。同一分支在同一*PERF-MD 下的多个 MD 区间不能重叠，且 MD 必须是递增顺序。

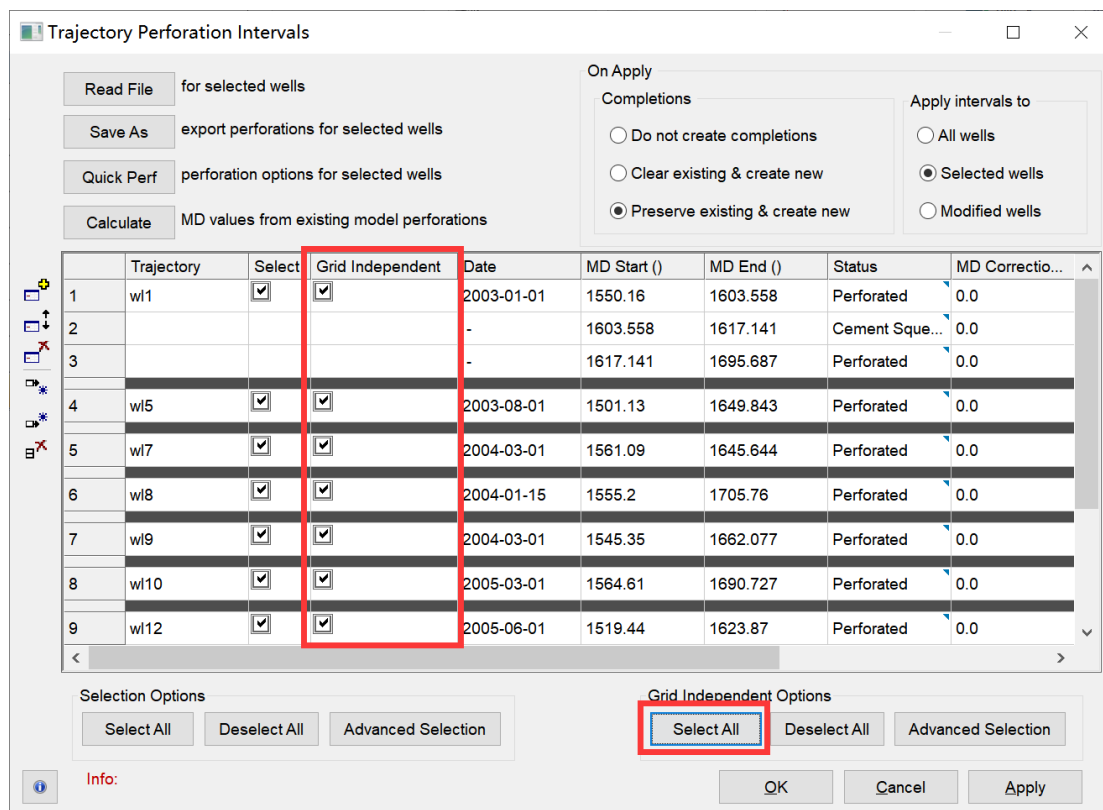
例子：

```
*PERF-MD    GEOA    1  **'Well-1'
** Branch MD interval          ff  Status
'WB-1'      0.0    1099.0 MT    1.0 OPEN
'WB-2'     1099.3 1400.0 MT    1.0 OPEN
```

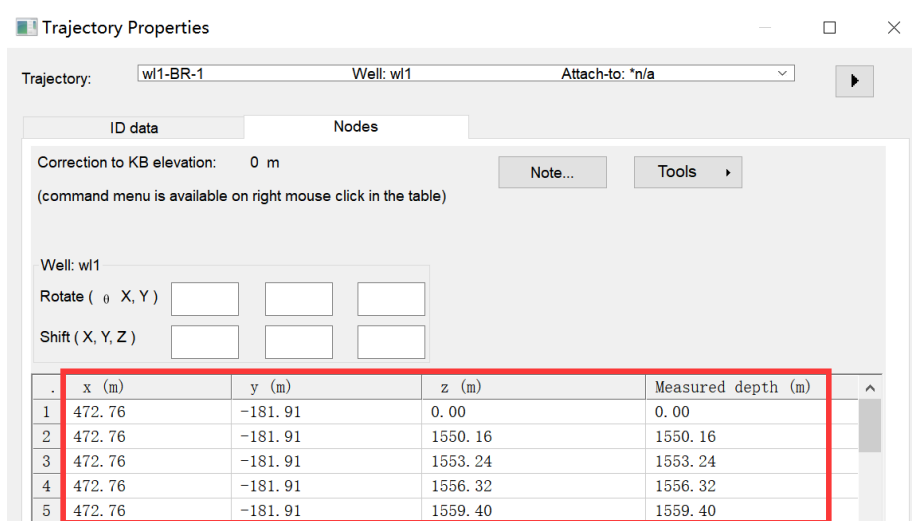
4. 利用 Builder 创建无网格井

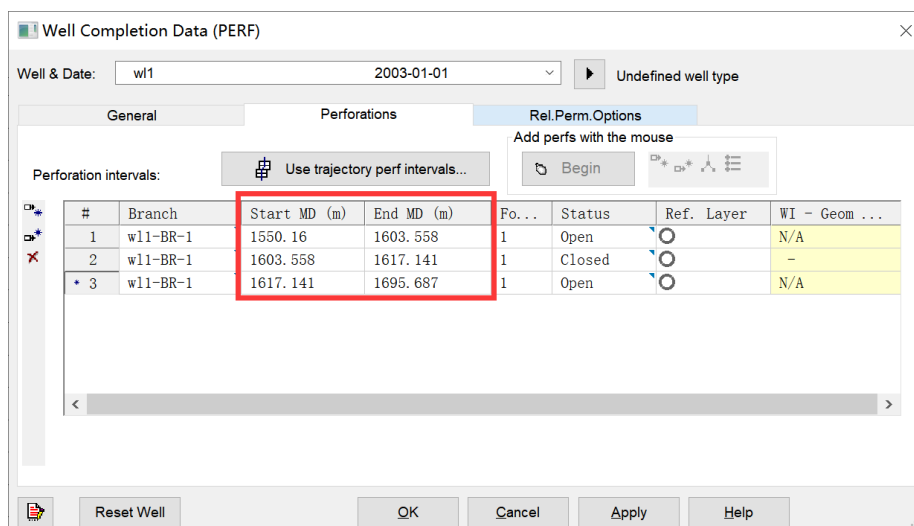
本讲义以自带算例-Gridindependent.dat 为基础，利用 Builder 创建无网格井。将 Gridindependent.dat 模型拖到 Builder，该模型已导入了井眼轨迹数据和射孔数据，操作流程：

- (1) 点击 Well→Well Trajectories→Trajectory Perforation Intervals，如下图所示，在该界面下选择需要创建的无网格井，若所有的井都需要创建无网格井，点击 Select All，如下图所示：



(2) 点击 Apply，确定，然后点击 OK。在井和井动态部分查看井眼轨迹和射孔，如下图所示：





(3) 除了在井和井动态部分外，还可以通过关键字查看无网格井，点击保存按钮

，然后使用 CEDIT 打开模型，查看无网格井井眼轨迹和射孔关键字，如下所示：

```

WELL 'w11'
WBRANCH 'w11-BR-1' *ATTACHTO 'w11'
**      x              y              z              md
472.76      -181.91      0.0              0.0
472.76      -181.91      1550.16      1550.16
472.76      -181.91      1553.24      1553.24
472.76      -181.91      1556.32      1556.32
472.76      -181.91      1559.4       1559.4
472.76      -181.91      1562.48      1562.48
472.76      -181.91      1565.56      1565.56
472.76      -181.91      1568.64      1568.64
472.76      -181.91      1571.71      1571.71
472.76      -181.91      1574.78      1574.78
472.76      -181.91      1577.85      1577.85
472.76      -181.91      1580.92      1580.92
472.76      -181.91      1582.5       1582.5
472.76      -181.91      1584.08      1584.08
472.76      -181.91      1584.09      1584.09
472.76      -181.91      1585.67      1585.67
472.76      -181.91      1587.25      1587.25
472.76      -181.91      1588.83      1588.83
472.76      -181.91      1590.41      1590.41
472.76      -181.91      1590.41      1590.42
472.76      -181.91      1592.0       1592.0
472.76      -181.91      1593.59      1593.59
472.76      -181.91      1595.18      1595.18
    
```

472.76	-181.91	1596.78	1596.78
472.76	-181.91	1600.17	1600.17
472.76	-181.91	1603.56	1603.56
472.76	-181.91	1610.35	1610.35
472.76	-181.91	1617.14	1617.14
472.76	-181.91	1620.53	1620.53
472.76	-181.91	1623.92	1623.92
472.76	-181.91	1627.3	1627.3
472.76	-181.91	1630.69	1630.69
472.76	-181.91	1637.36	1637.36
472.76	-181.91	1644.03	1644.03
472.76	-181.91	1650.68	1650.68
472.76	-181.91	1657.33	1657.33
472.76	-181.91	1663.79	1663.79
472.76	-181.91	1670.25	1670.25
472.76	-181.91	1676.6	1676.6
472.76	-181.91	1682.96	1682.96
472.76	-181.91	1689.32	1689.32
472.76	-181.91	1695.69	1695.69

```
**      rad  geofac  wfrac  skin
GEOMETRY K 0.0762 0.37 1.0 0.0
PERF-MD   GEOA  'w11'
```

```
** Branch MD-Start MD-End          ff      Status Connection
'w11-BR-1' 1550.16 1603.558        1.0 OPEN
'w11-BR-1' 1603.558 1617.141        1.0 CLOSED
'w11-BR-1' 1617.141 1695.687        1.0 OPEN
```

5. 无网格井应用

通过第二章的介绍,可以看出基于网格的井眼轨迹和射孔数据不便于创建 CMOST 参数,与 CMOST 结合存在一定的难度。

无网格井是基于空间坐标和测深,与网格无关,允许使用简单的关键字定义井眼轨迹移动位置 (Δx Δy Δz) 和旋转角度 ($^{\circ}$),另外,射孔段长度也是基于测深(MD)的,使用 CMOST 对其创建参数时非常方便,无网格井与 CMOST 协同作用,是该新技术的一个亮点。

使用关键字*PERF-MD,定义水平井水平段射孔长度为 400 米,如下所示:

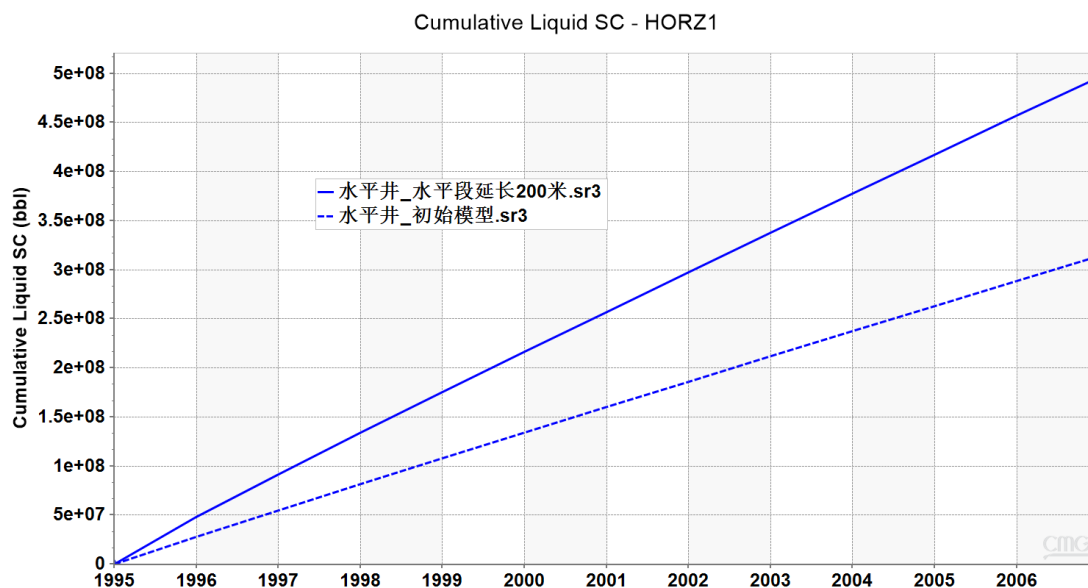
```
*PERF-MD   GEOA  1  **'Well-1'
** Branch MD interval          ff  Status
'WB_a'    0.0    800 MT    1.0 CLOSED
'WB_b'    801    1201 MT    1.0 OPEN
```



将水平段延申 200 米，只需将数字“1201”修改为“1441”即可，如下所示：

```
*PERF-MD      GEOA  1  **'Well-1'
** Branch MD interval      ff  Status
'WB_a'      0.0    800 MT    1.0 CLOSED
'WB_b'      801    1401 MT    1.0 OPEN
```

通过运算两个模型，对比模拟结果，如下所示，可以看出模型延长水平井水平段长度后，其产液量有所增加。



与传统方法相比，无网格井简单易用，方便与 CMOST 协同工作，后续会再推出一期无网格井与 CMOST 相结合，优化水平井井眼轨迹及射孔段的长度的讲义，敬请期待。