

CMG 示踪剂数值模拟操作流程

IMEX 2024. 40 版

编写人: 孙明月

数值模拟示踪剂的意义在于通过模拟技术对流体流动和示踪剂运移过程进行精确分析, 为实际应用提供理论支持和实践指导。在油田开发中, 数值模拟示踪剂可用于验证模型的可靠性, 通过与现场监测数据对比, 优化注水方案, 提高采收率。此外, 模拟技术还能弥补现场施工复杂、监测周期长、成本高的缺点, 为长期监测提供支持。

在实际应用场景中, 示踪剂技术广泛应用于油田开发、地下水资源管理、环境监测等领域。例如, 在油田开发中, 示踪剂可用于监测注入流体的流动方向、速度和波及范围, 优化注水策略。

本文第一部分, 旨在设置模型中的示踪剂, 研究其在运移过程中的特征以及初始组成。首先, 将探讨水相中示踪剂的四种情况: (1) 注入井中的示踪剂; (2) 含水层中的示踪剂; (3) 不同储层区域的两种示踪剂; (4) 岩石对示踪剂的吸附作用。

在第二部分, 将研究示踪剂在油相和水相之间的分配效应, 并考虑分子扩散的影响。具体将分析注入示踪剂 “trcr2” 的三种情况: (1) 油相和水相之间无分配; (2) 油相和水相之间有分配; (3) 油相和水相之间无分配, 但包括分子扩散机制。

目 录

1、水相中添加示踪剂.....	3
1.1 注入井中的示踪剂.....	3
1.2 含水层中的示踪剂.....	6
1.3 不同储层区域的两种示踪剂.....	7
1.4 岩石对示踪剂的吸附.....	9
2 油相和水相之间分配的示踪剂.....	12
2.1 油相和水相之间无分配的示踪剂.....	12
2.2 油相和水相之间有分配的示踪剂.....	14
2.3 分子扩散机理的示踪剂.....	18

1、水相中添加示踪剂

本练习的目的是在模型中设置示踪剂、其传输阶段以及示踪剂的初始组成。将考虑水相中示踪剂的四种情况:

- 注入井中的示踪剂
- 含水层中的示踪剂
- 不同储层区域的两种示踪剂
- 岩石对示踪剂的吸附

1.1 注入井中的示踪剂

水相中的示踪剂注入“Pozo-Iny002”井，并通过其浓度监测到达生产井的情况。

1、在 launcher 中，打开“Exercise1”的文件夹，并在 Builder 中打开“Exercise1.dat”。熟悉模型，特别是注入井相对于生产井的位置，然后关闭它。

2、在 CEDIT 中打开“Exercise1.dat”。转到“Numerical”部分，并在最后一行下方添加关键字：

*TRACER

注意: TRACER-表示示踪剂数据部分的开始。

3. 在 TRACER 关键字后添加以下命令：

*TRCR-DEF 'trcr1' *W

注意: TRCR-DEF: 定义示踪剂及其相关参考相。

(*W / *O / *G)：分别表示水、油或气作为示踪剂的参考相。

如果参考相指示符 (*W / *O / G) 不存在，则假定为水 (W)。

4. 在该部分内添加以下关键字

TRCR-UNITBASE *MASS

注意: TRCR-UNITBASE: 指定示踪剂属性的单位。

5. 在该部分内添加以下关键字

TRCR-INICONCW 'trcr1'

CON 0

注意: *TRCR-INICONCW: 指定示踪剂在水相中的初始浓度 (kg/m^3 / lb/ft^3 / g/cm^3)。

*TRCR-INICONCO : 指定示踪剂在油相中的初始浓度(kg/m^3 / lb/ft^3 / g/cm^3)。

*TRCR-INICONCG: 指定示踪剂在气相中的初始浓度(kg/m^3 / lb/ft^3 / g/cm^3)。

示踪剂部分应如下所示(图 1) :

NUMERICAL

```
*TRACER
*TRCR-DEF 'trcr1' *W
TRCR-UNITBASE *MASS
TRCR-INICONCW 'trcr1' CON 0
```

图 1

6、命名为 trcr1 的示踪剂将于 2019 年 10 月 1 日注入。名为“Pozo-Iny002”的注入井。转到循环部分，并在相对于 2019 年 10 月 1 日添加以下命令：

```
*TRCR-INJCONC 'Pozo-Iny002'
'trcr1' 1.0
```

注意: TRCR-INJCONC: 指定注入井中示踪剂的浓度。

添加到 2019 年 10 月 1 日的信息应如下所示：

```
DATE 2019 10 1.00000
*TRCR-INJCONC 'Pozo-Iny002'
'trcr1' 1.0
```

图 2

7、另存为 Exercise1_trcr1_W.dat 并关闭它。

8、转到 launcher，并用 IMEX 2024.40 拖放并运行它。

9、运行结束后，打开：Exercise1_trcr1_W.sr3 在结果中。选择生产井并绘制名为 trcr1 的示踪剂的累计浓度累计示踪剂（见图 3 和图 4）。



图 3



图 4

注意到只有在“Pozo10”和“Pozo-11”井中存在名为 trcr1 的示踪剂。

1.2 含水层中的示踪剂

在这种情况下，将在含水层区域（图 5）放置一种名为“trcr-aqu1”的水相示踪剂，设置初始浓度，并在生产井中对其进行监测。

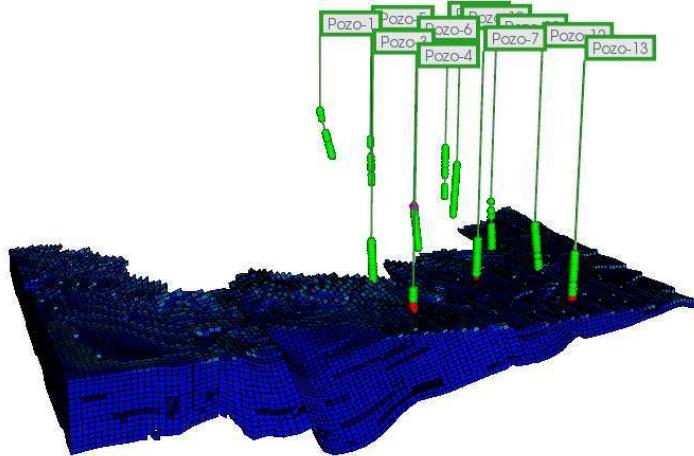


图 5

10、转到 **Launcher**，在 CEDIT 文本编辑器中打开 Exercise1_trcr1_W.dat。

11、转到示踪剂部分，定义一个新的示踪剂，命名为“trcr-aqu1”并将其放置在水相中。示踪剂定义如下：

```
TRACER
*TRCR-DEF
'trcr1' *W
'trcr-aqu1' *W
*TRCR-UNITBASE *MASS
*TRCR-INICONCW 'trcr1' CON 0
```

12、添加 0.1 lb/ft³ 作为新示踪剂“trcr-aqu1”的初始浓度：

```
*TRCR-AQUIFER
'trcr-aqu1'      1   0.1
```

13. 另存为 Exercise1_trcr1_W_aquifer.dat 并用 IMEX 2024.40 运行它。

14. 运行完成后，打开名为 Exercise1_trcr1_W_aquifer.sr3 的文件在结果中。

选择生产井并分别绘制 trcr1 和 trcraqu1 示踪剂的累计浓度累计示踪剂。如图所示：（图 6 和图 7）。

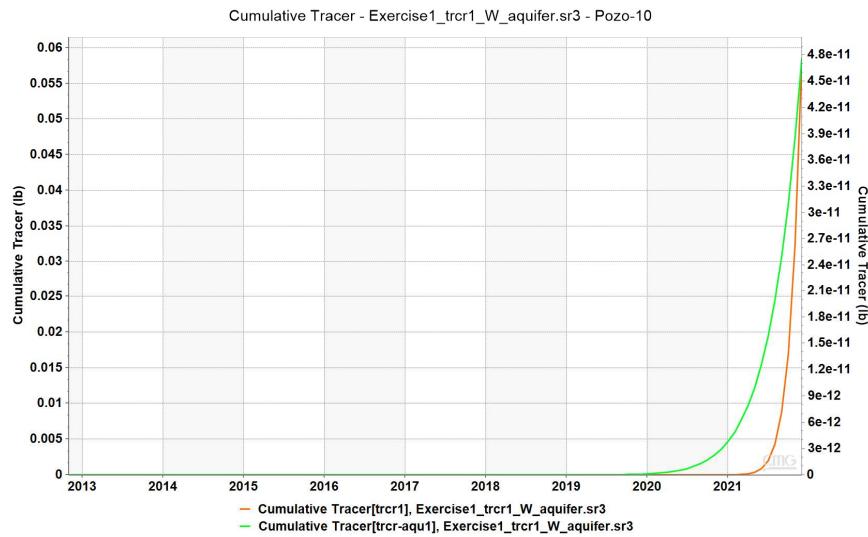


图 6



图 7

15、将结果中的图保存到一个项目中，名为 tracer.results 并关闭它。

1.3 不同储层区域的两种示踪剂

两种新示踪剂“trc2”和“trc3”从不同储层区域到达生产井的情况。最初，这些示踪剂分别放置在模型的两个区域：上层(HS)和下层(HI)（图 8）。

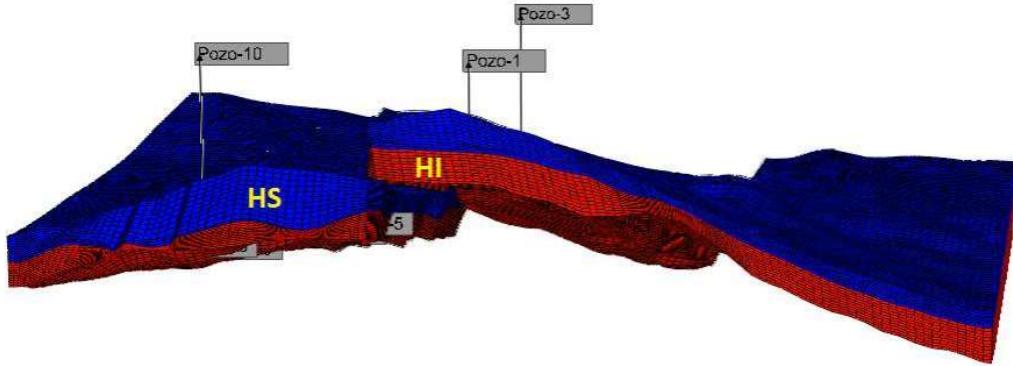


图 8

- 16、转到 launcher，在 CEDIT 文本编辑器中打开 Exercise1_trcr1_W.dat 。
- 17、在水相中添加两个示踪剂，名称分别为“trc2”和“trc3”。
- 18、添加这两个示踪剂的初始浓度值为 0.1 lb/ft³:

示踪剂区域 “trc2”- 1:77 1:117 1:12

示踪剂区域 “trc3”- 1:77 1:117 13:23

示踪剂部分应如下所示（图 9）:

```

NUMERICAL
*TRACER
*TRCR-DEF
'trcr1' *W
'trcr2' *W
'trcr3' *W
TRCR-UNITBASE *MASS
TRCR-INICONCW 'trcr1' CON 0
TRCR-INICONCW 'trcr2' CON 0
MOD 1:77 1:117 1:12 = 0.1
TRCR-INICONCW 'trcr3' CON 0
MOD 1:77 1:117 13:23 = 0.1

```

图 9

- 19、另存为 Exercise1_trcr1_W_R.dat 并在 IMEX 2024.40 中运行它。
- 20、在 launcher 中，将 Exercise1_trcr1_W.R.sr3 文件拖到 Results 2024.40。然后选择生产井并绘制“trc2”和“trc3”示踪剂速率。

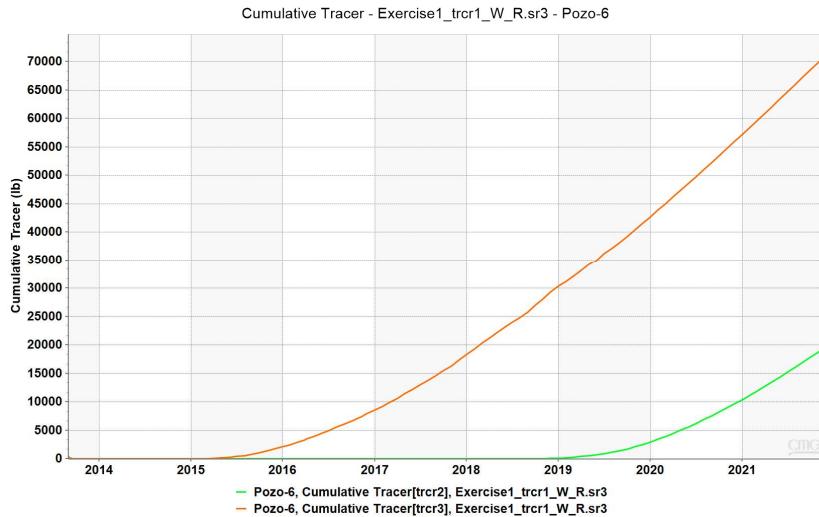


图 10

1.4 岩石对示踪剂的吸附

考虑岩石对示踪剂的吸附机理。考虑三个具有不同程度岩石对示踪剂吸附的区域。名为“trcr1”的示踪剂注入注入井“Pozo-Iny002”，并将其在生产井中的突破情况与不考虑此效应的情况进行比较。

21. 转到 launcher，在 CEDIT 的文本编辑器中打开

Exercise1_trcr1_W_aquifer.dat 文件。

22. 吸附区域与模型中设置的相对渗透率区域相关联。转到示踪剂部分并使用以下关键字添加三个吸附区域：

*TRCR-ADSROCK 3

注意：TRCR-ADSROCK：表示示踪剂吸附岩石区域的数量。

23、使用以下命令添加三个吸附区域的平均岩石密度：

*TRCR-ADSRDEN

*rckden1 rckden2 rckden3

*165.4 155.00 149.0

注意：TRCR-ADSRDEN：指定吸附岩石区域的平均岩石密度。

23. 使用以下关键字在整个储层中输入三个示踪剂吸附岩石区域的图，包括在名为“adsotionrock.inc”的文件中：

*TRCR-ADSRTYP ALL

*INCLUDE 'adsotionrock.inc'

注意: TRCR-ADSRTYP: 将吸附岩石区域分配给储层网格块。此命令使用与定义其他储层参数(例如孔隙度、渗透率等)相同的 ARRAYS 格式。

图 11 显示了这三个区域的分布。

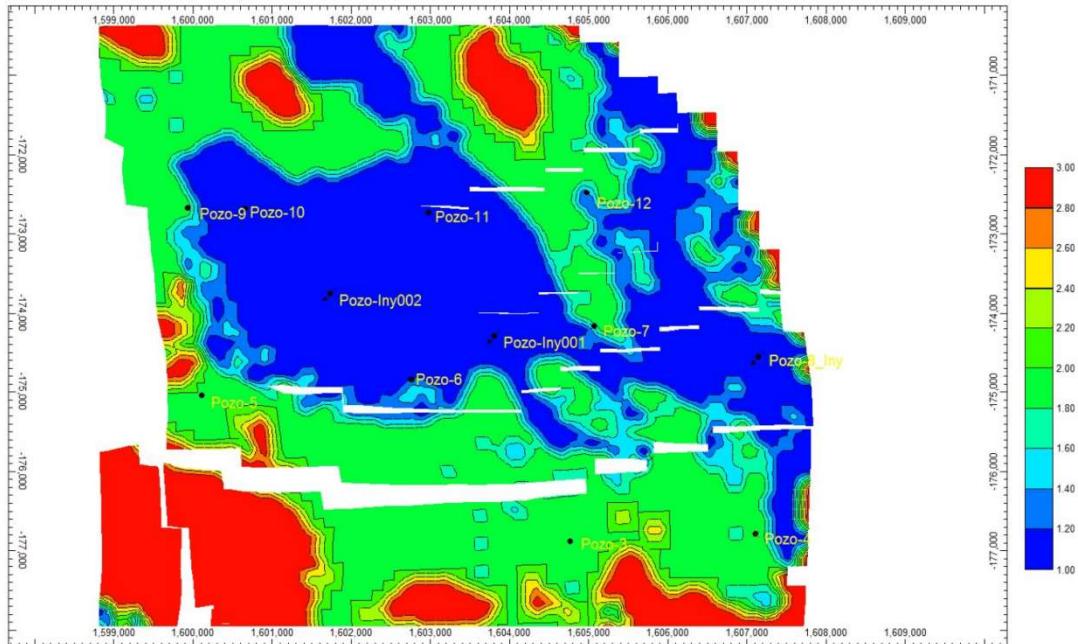


图 11

24、使用以下关键字添加三个吸附区域的吸附系数:

*TRCR-ADSCOEF 'trcr1' *WATER

*ADSMAXA

3.0e-3 6.0e-2 6.0e-2

注意: TRCR-ADSCOEF: 指定相关示踪剂的吸附系数数据。

*ADSMAXA: 示踪剂示踪剂名称在岩石区域 i 中的最大吸附系数 (lb tracer/lb rock | kg tracer/kg rock | gr tracer/gr rock)。它必须是非负的。

26. 使用以下关键字添加用于计算吸附系数的 Langmuir 相关系数:

*ADSLANG

6.0e-3 1.

其中是根据定义的浓度指示符的示踪剂浓度。

示踪剂部分应如下所示(图 12):

```

NUMERICAL
TRACER
*TRCR-DEF 'trcr1'      *W
'trcr-aqu1' *W
*TRCR-UNITBASE *MASS
*TRCR-INICONCW 'trcr1' CON 0
TRCR-AQUIFER
'trcr-aqu1'    1    0.1
TRCR-ADSROCK 3
TRCR-ADSRDEN
165.4 155.00 149.00
TRCR-ADSRTYP ALL
INCLUDE 'adsorptionrock.inc'
*TRCR-ADSCOEF 'trcr1' WATER
ADSMAXA
3e-3 6e-2 6e-2
ADSLANG
6e-3 1

```

图 12

27 另存为 Exersice1_trcr1_W_aquifer_Ads.dat 并在 IMEX 2024.40 中运行它。

28、在 launcher 中，将 tracer.result 文件拖到 Results 2024.40。打开后，添加文件 Exersice1_trcr1_W_aquifer_Ads.sr3。

29、比较两个文件中示踪剂的行为，一个有吸附(Exersice1_trcr1_W_aquifer_Ads.sr3)，一个没有吸附(Exersice1_trcr1_W_aquifer.sr3)



图 13



图 14

2 油相和水相之间分配的示踪剂

本练习展示了示踪剂在油相和水相之间分配的效果。此外，还考虑了分子扩散的影响。

将考虑注入示踪剂“trcr2”的三种情况：

- 油相和水相之间无分配。
- 油相和水相之间有分配。
- 油相和水相之间无分配，但包括分子扩散机理。

2.1 油相和水相之间无分配的示踪剂

示踪剂“trcr2”注入注入井“Pozo-Iny001”，不分配到油相（图 15）。

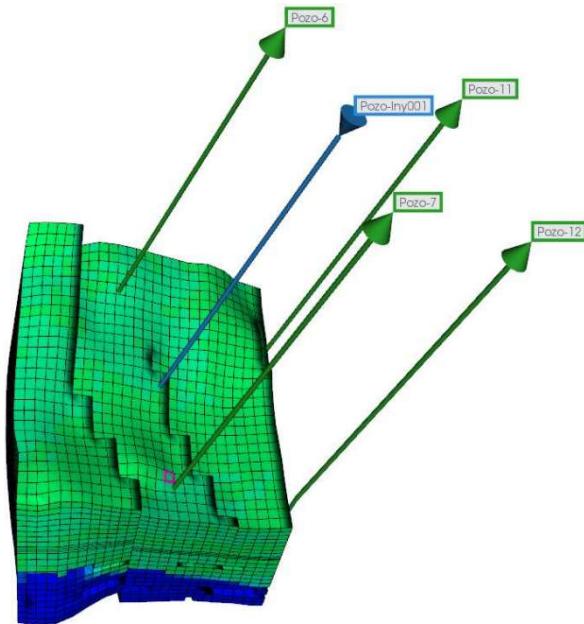


图 15

30、在 CEDIT 中打开 Exersice1_trcr1_W_aquifer_Ads.dat。

31、转到 * TRACER 部分，在水相中添加一个名为“trcr2”的新示踪剂。

*TRCR-DEF

'trcr1' *W

'trcr-aqu1' *W

'trcr2' *W

TRCR-DEF：定义示踪剂及其参考相。

参考相指示符定义了示踪剂的主要载体相，因为如果定义为分配示踪剂，示踪剂可能会转移到其他相。参考气相的示踪剂不能存在于水相和油相中。同样，参考油相的示踪剂不能存在于水相中。如果示踪剂打算在所有三个相之间转移，则必须参考水相。

32. 添加新示踪剂“trcr2”的初始浓度值为 0.0 lb/ft³。

*TRCR-INICONCW 'trcr1' CON 0

*TRCR-INICONCW 'trcr-aqu1' CON 1

*TRCR-INICONCW 'trcr2' CON 0

示踪剂部分应如下所示（图 16）：

```

NUMERICAL
TRACER
*TRCR-DEF
  'trcr1' *W
  'trcr-aqu1' *W
  'trcr2' *W
*TRCR-UNITBASE *MASS
*TRCR-INICONW 'trcr1' CON 0
*TRCR-INICONW 'trcr2' CON 0
*TRCR-AQUIFER
  'trcr-aqu1' 1 1
TRCR-ADSROCK 3
TRCR-ADSRDEN
165.4 155.00 149.00
TRCR-ADSRYP ALL
INCLUDE 'adsotionrock.inc'
*TRCR-ADSCOEF 'trcr1' WATER
ADSMAXA
3e-3 6e-2 6e-2

```

图 16

33、转到 2019 年 10 月 1 日的循环部分, 为注入井 “Pozo-Iny001” 指定示踪剂 “trcr2” 的注入浓度为 1.0。

```

*TRCR-INJCONC 'Pozo-Iny001'
  'trcr2' 1.0

```

添加到 2019 年 10 月 1 日 的信息应如下所示 (图 17):

```

DATE 2019 10 1.00000
*TRCR-INJCONC 'Pozo-Iny002'
  'trcr1' 1.0
*TRCR-INJCONC 'Pozo-Iny001'
  'trcr2' 1.0

```

图 17

34、另存为 Exercise_2_trcr2_WO_Part.dat, 然后在 IMEX 2024.40 中运行它。

2.2 油相和水相之间有分配的示踪剂

示踪剂 “trcr2” 注入注入井 “Pozo-Iny001”, 在油相和水相之间有分配。

35. 在 CEDIT 中打开文件 Exercise_2_trcr2_WO_Part.dat。转到 TRACER 部分并添加 * TRCRPARCTBL 'trcr2' LL, 然后添加下表。关键字 TRCR-PARCTBL 指定油相和水相之间的压力相关分配系数。

```
*TRCR-PARCTBL 'trcr2' *LL
15.0 0.14393537
265.0 0.14285060
515.0 0.14179261
1015.0 0.13975436
2015.0 0.13597124
2515.0 0.13421690
3015.0 0.13254812
4015.0 0.12945076
5015.0 0.12664815
6000.0 0.12414602
```

注意: *TRCR-PARCTBL: 以表格形式分配分配系数。

*TRCR-PARCTBL

tracer_name (*LL | *LG)

*TABLE

pres1 pres1 parc11

...

presm presm parcm1

tracer_name: 示踪剂名称。

(*LL | *LG) 表示表格类型, 即液-液 (*LL) 或液-气 (LG)。

*TABLE: 表示压力-分配系数表的开始。

pres1... presm: 压力值 (kPa | psi | kPa)。每个压力值对应压力-分配系数表中的一行分配系数。

parcij: 对应于第 i 行压力和第 j 列温度的分配系数值。

此外, 还可以使用相关性通过关键字 TRCR-PARCCOR 定义 LG 分配系数。

示踪剂部分应如下所示 (图 18) :

```

NUMERICAL
TRACER
*TRCR-DEF
  'trcr1' *W
  'trcr-aqu1' *W
  'trcr2' *W
*TRCR-UNITBASE *MASS
*TRCR-INICONW 'trcr1' CON 0
*TRCR-INICONW 'trcr2' CON 0
*TRCR-AQUIFER
  'trcr-aqu1' 1 1
TRCR-ADSRock 3
TRCR-ADSRDEN
165.4 155.00 149.00
TRCR-ADSRtyp ALL
INCLUDE 'adsotionrock.inc'
*TRCR-ADSCOEF 'trcr1' WATER
ADSMAXA
3e-3 6e-2 6e-2
ADSLANG
6e-3 1
*TRCR-PARCTBL 'trcr2' *LL
  15.0 0.14393537
  265.0 0.14285060
  515.0 0.14179261
  1015.0 0.13975436
  2015.0 0.13597124
  2515.0 0.13421690
  3015.0 0.13254812
  4015.0 0.12945076
  5015.0 0.12664815
  6000.0 0.12414602

```

图 18

36、另存为 Exercise_2_trcr2_W_Part.dat 并在 IMEX 2024.40 中运行它。

37、在结果中打开 Exercise_2_trcr2_WO_Part.sr3

和 Exercise_2_trcr2_W_Part.sr3 文件。如图所示（图 19、图 20 和图 21）。



图 19

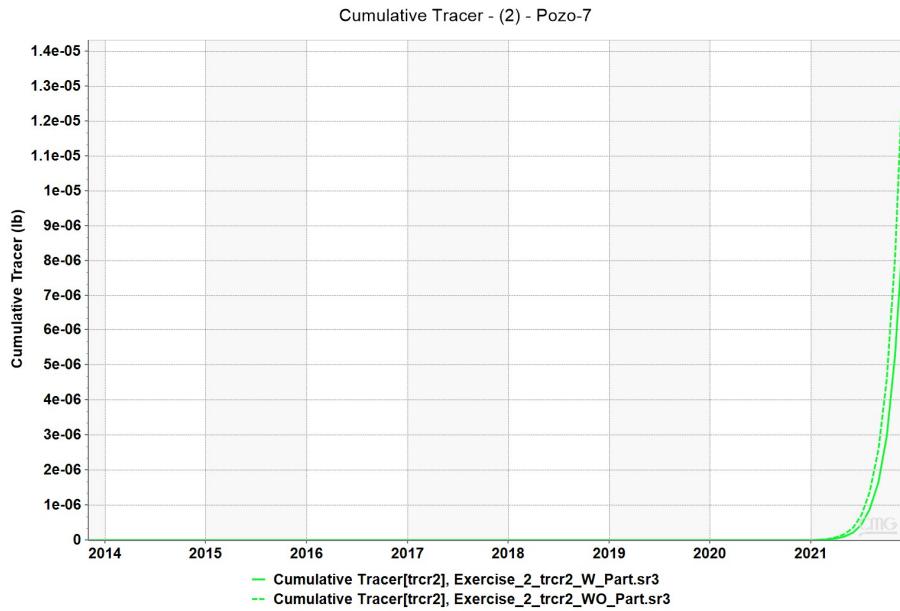


图 20



图 21

还要注意，分区运行在示踪剂到达“Pozo-6”和“Pozo-7”井时表现出延迟时间。这是由于示踪剂在水相和油相之间的分配。然而，对于“Pozo-11”，我们看到两种运行中示踪剂的到达情况相似，表明示踪剂与油相接触很少。

2.3 分子扩散机理的示踪剂

示踪剂“trcr2”注入井“Pozo-Iny001”（见图 15）。它在水相中传输，不分配到油相，并考虑分子扩散机理。

38. 在 CEDIT 中打开 Exercise_2_trcr2_WO_Part.dat。转到 *TRACER 部分并添加以下关键字：

TRCR-DIFCOEF

'trcr2' 9.3E-4 0 0

TRCR-TORTU 1.001

注意：TRCR-DIFCOEF：指定示踪剂在水、油和气相中的分子扩散系数。

TRCR-TORTU：指定多孔介质的曲折度参数。

示踪剂部分应如下所示（图 22）：

```

NUMERICAL
TRACER
*TRCR-DEF
  'trcr1' *W
  'trcr-aqu1' *W
  'trcr2' *W
*TRCR-UNITBASE *MASS
*TRCR-INICONW 'trcr1' CON 0
*TRCR-INICONW 'trcr2' CON 0
*TRCR-AQUIFER
  'trcr-aqu1'    1    1
TRCR-ADSROCK 3
TRCR-ADSRDEN
165.4 155.00 149.00
TRCR-ADSRTYP ALL
INCLUDE 'adsotionrock.inc'
*TRCR-ADSCOEF 'trcr1' WATER
ADSMAXA
3e-3 6e-2 6e-2
ADSLANG
6e-3 1
TRCR-DIFCOEF
'trcr2' 9.3E-4 0 0
TRCR-TORTU 1.001

```

图 22

39、另存为 Exercise_2_trcr2_WO_Part_Diff.dat 并在 IMEX 2024.40 中运行它。

40、在结果中打开文件 Exercise_2_trcr2_WO_Part.sr3

和 Exercise_2_trcr2_WO_Part_Diff.sr3。绘制生产井中示踪剂“trcr2”的“累计示踪剂,然后将时间轴间隔更改为从 2020 年 1 月 1 日开始。浏览不同的井,注意到在“Pozo-6”、“Pozo-7”和“Pozo-11”井中存于此示踪剂(图 23、图 24 和图 25)。

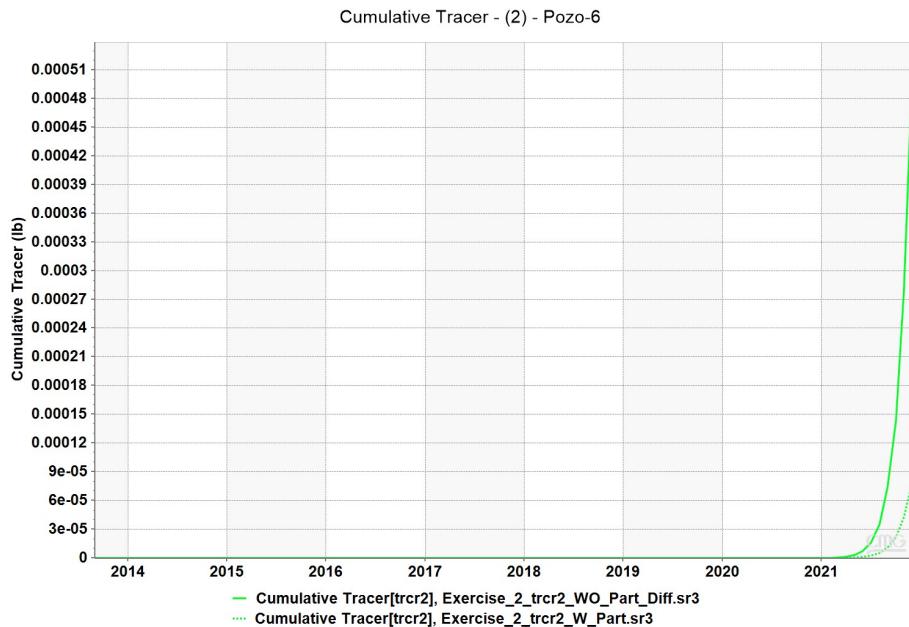


图 23

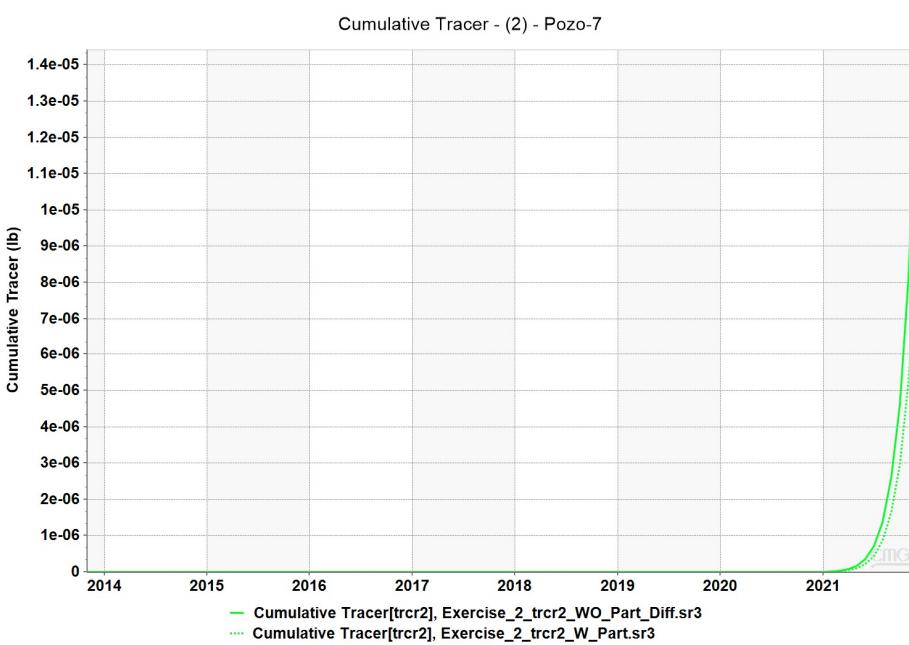


图 24



图 25

在包含分子扩散机理的运行 (Exercise_2_trcr2_WO_Part_Diff.dat) 中, 与不包含此机理的运行相比, “pozo-6” 和 “pozo-7” 井中示踪剂 “tcr2”的量略有增加。这是因为分子扩散产生的浓度梯度对示踪剂流入的影响大于水力梯度。