

如何提高数值模拟计算性能（1）

本期内容是如何诊断较差的数值模拟计算性能，以及相关的建议和改进方法。

1、如何读计算记录信息？

除了常规写入输出结果文件 (*.OUT文件) 的模拟结果信息外，STARS将每个模拟步长的计算信息写到屏幕上（采用前台运行，即用“Run Immediately”的方式提交任务）如下图；或者将计算信息直接写入日志文件 (*.log) 中（采用后台运行，即用“Submit to Scheduler”的方式提交任务）。

STARS TIME STEP SUMMARY																
STARS Horizontal Well Template #8																
LIAOHE SAGD PROJECT - PHASE 3																
3D DISCRETIZED WELLS WITH DIP																
Time Step		C		Time		Production				Injection		Mat		Maximum Changes		
No.	Size	IT	U	days	yy/mm/dd	Oil	Gas	Water	GOR	Mat. Cut	Gas	Water	Bal Err	Pres	Sat	Temp
	days					m3/d	m3/d	m3/d	/m3	%	m3/d	m3/d	%	kPa	w/o/g	deg C
141	.9889	2	94.14	1996/04/04	11.62		77.42		86.95		100.0		.1577	91.22	-.0269g	18.41
142	1.548	1	95.69	1996/04/05	13.82		84.38		85.93		100.0		.1572	78.38	-.0560g	30.00
143	2.006	2	97.70	1996/04/07	12.90		79.15		85.98		100.0		.1574	140.4	0.0718g	39.57
144	2.278	5	99.97	1996/04/09	13.53		83.00		85.99		100.0		.1574	133.8	0.1449g	43.26
145	.4113	2	100.4	1996/04/10	13.59		83.50		86.00		100.0		.1573	76.73	0.0151g	8.205
146	.7642	5	101.1	1996/04/11	13.63		84.07		86.05		100.0		.1573	103.6	0.0175w	14.94

整个记录信息分为：Time Step (时间步)、Time (时间)、Production (生产)、Injection (注入)、Mat Bal Err (物质平衡误差) 以及Maximum Changes (最大变化) 六大部分。

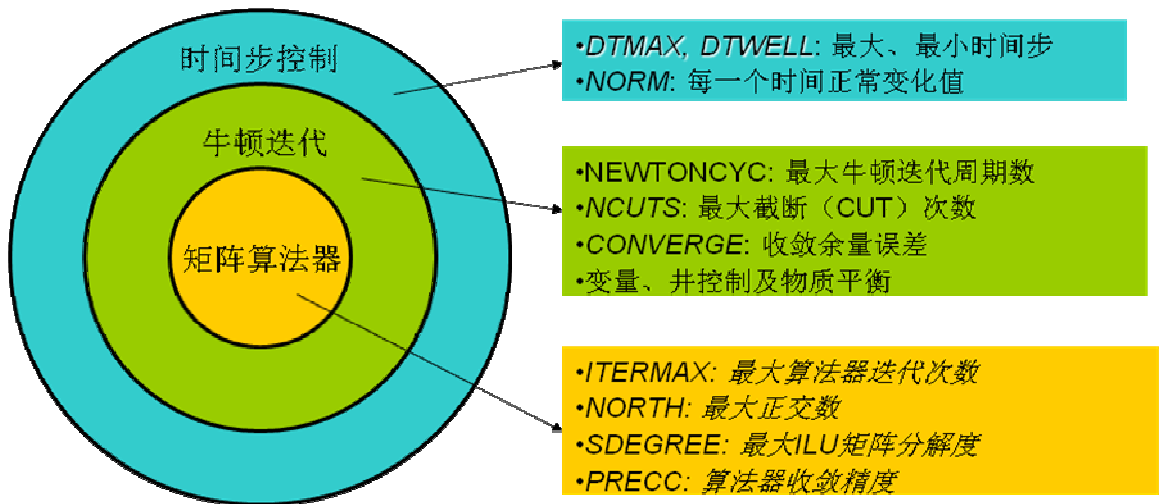
- 1) Time Step (时间步)：本部分共有四列，分别是No. (timestep number时间步数)，Size Days (时间步长)，IT (迭代次数)，CUT (截断数-收敛失效的次数)；
- 2) Time (时间)：主要是写明本时间步的时间及日期；
- 3) Production (生产)：显示油、气、水的产量以及气油比 (GOR) 和含水率 (Wat Cut) 指标；
- 4) Injection (注入)：显示注气量、注水量；
- 5) Mat Bal Err (物质平衡误差)：以百分数形式表示本步长内物质平衡误差；
- 6) Maximum Changes (最大变化量) 显示本步长内压力、饱和度 (油、气、水三相) 及温度的最大变化值。

2、数值模拟计算是怎么一回事？

数值模拟计算是用计算机数学模型来表示、表达及模拟地下油藏的物理模型。数学

模型模拟物理模型，不但需要精准的数学计算能力，还需要对物理过程的准确描述。这个过程就是将物理模型用数学模型进行时空离散，也就是说用网格去离散空间，用时间步去离散时间。一个成熟的商业化数值模拟软件是经过多年的开发、测试及改进逐渐形成的，就STARS而言，内部有数百万行的源程序。对于使用者来说，我们无需知道软件内部复杂的程式，而只需要了解它如何为我们工作的就足够了。

首先，达西定律、控制方程及边界条件是模拟软件的基础，这些方程都是非线性化的偏微分方程，模拟器需要在每一个时间步做三件事情，1) 确定时间步控制，确定步长；2) 用牛顿迭代将非线性方程组线性化，实际也就是去微分的过程，我们称之为外循环，形成线性的大规模矩阵；3) 利用核心算法器（SOLVER）求解矩阵，例如STARS的普通版算法器是AIMSOL，并行版的算法器是Parasol，算法器的速度及稳定性是衡量一个数模软件性能的重要指标。



3、每一个时间步长（Timestep Size）是如何确定的？

每一个时间步的步长大小是由模拟器自动确定的，通常由受下几个因素影响：

a) 本时间步与上一个时间步压力、饱和度及温度等值的最大变化量

如果在两个时间步内，压力饱、和度剧烈变化，会导致步长变小。这可以通过很多经验证明，例如，我们通常在注入井开井时要把时间步缩小到DTWELL（最小步长），是因为此时井所在网格内的压力、饱和度会剧烈变化。另外，这对建模的模型质量提出了要求，就是说相邻网格的空隙体积（PV）尽量不要变化太大，保持和谐、均匀的变化。如果一个网格的PV是1000立方米，附件的另一个网格是1立方米，当流体从大PV网

格向小PV网格驱替时，会导致小PV网格的1立方米空隙体积内压力、饱和度剧烈变化，进而使整个模型的步长变小，计算速度变慢。其它物性参数（孔、渗、饱）以及流体参数（密度、粘度等）定义的不合理也会导致小步长。

b) *DTMAX（最大步长）的约束

如果在Numerical部分有*DTMAX控制，则每一个计算步长不能超过*DTMAX，这类似于高速公路的限速，以保证模型计算平稳运行。

c) 如果一个时间步内收敛失败，模拟器会将步长减半重新计算，也就是所说的截断（CUT），连续收敛失败（CUT）会导致的较小步长。

4、当我的计算遇步长非常小的情况，应该如何检查原因？

1) *NORM值的原因（没有CUT时）

首先，我们认识一下什么是NORM关键字？

*NORM Normal Variation in Variables per Timestep (Optional)
 每一个时间步变量最大变化值 (可选关键字)

目的: *NORM 定义一个步长内基础变量的变化值

格式: (具体说明参见用户手册)

```
*NORM { *PRESS x | *SATUR x | *TEMP x | *Y x
         | *X x | *W x | *FLUIDH x
         | *ZO x | *ZNCG x | *ZAQ x }
```

举例: *NORM *PRESS 145.0 *SATUR 0.08

表示规定一个时间步内，压力的最大变化值为145.0KPa，饱和度的最大变化值为0.08。

- NORM值在软件中有默认值，所以提高NORM值可以放大步长，前提是不能有CUT。

2) 怎样去调整CUT

每一次CUT会一定程度地减小时间步长（第一次减小1/2，下一次1/3等）。所以当CUT太多时，要降低NORM的值，类似于上坡时要用抵挡，而不是高档。另外，还要检

查模型的质量，如是不是有的网格PV不合理。

3) 最小步长 (D T W E L L) 不要太小

如果最大变化值 (maximum changes) 很小，并且没有 C U T，尽量不要使用太小的 D T W E L L，除非特殊情况。从定义的最小步长 (D T W E L L) 加速到正常步长需要很多步，S T A R S 通常定义的加速比为 2 . 3 倍。打个比方，如果汽车的起步速度较快，能够在很短时间达到正常行驶速度。

3) 只有在需要的时候使用 *DTMAX

DTMAX限定的最大步长，也就是在平稳运行的情况下，不要人为地限速，高速公路能跑110公里/小时，不要限制在70公里/小时，否则，你到达目的的时间会延长。

关于物质平衡误差、算法器等问题影响数值模拟计算性能的解决方案，以及如何读OUT文件数值计算部分会在后续的讲义中继续讲解。