

# Petrel 构造建模流程

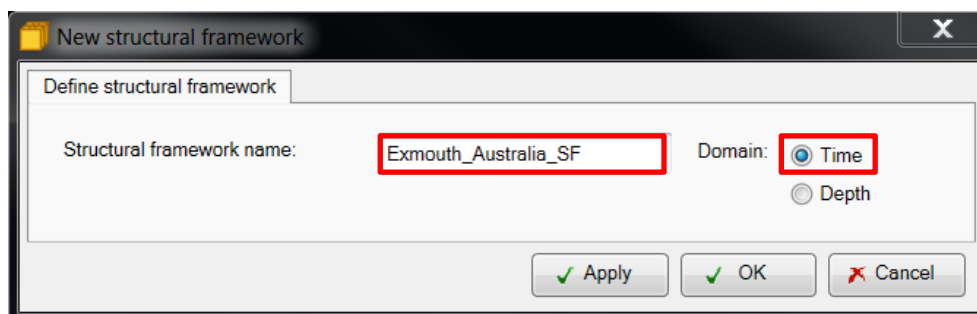
基于地震和地质构造解释成果，通常需要建立一个构造模型验证构造解释的正确性，同时基于构造模型做进一步的地质储层特征研究。在 Petrel 中构造建模主要有两种方法，分别为：Structural framework 构造框架构造建模和 Corner point gridding 角点网格构造建模，下面依次介绍这两种构造建模方法的具体操作流程。

## 第一步：Structural framework 构造框架建模

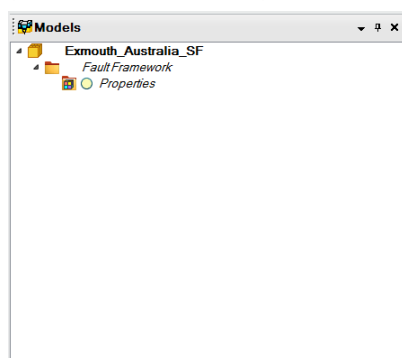
这种方法适用于构造复杂的地区，断层发育且数量多，断层接触关系复杂。在构造建模之前需要准备断层解释数据、层位解释数据。SF 构造建模步骤如下：

1. 选择相应的工作流：在 home→perspective→下选择 geology and geophysics 工作流。
2. 建立构造框架模型 structural framework: Structural modeling→Structural framework



组，点击 structural framework 图标 ，弹出窗口下，在 structural framework name 右边空格处命名，domain 处选择相应的域，ok 即可，如下图：

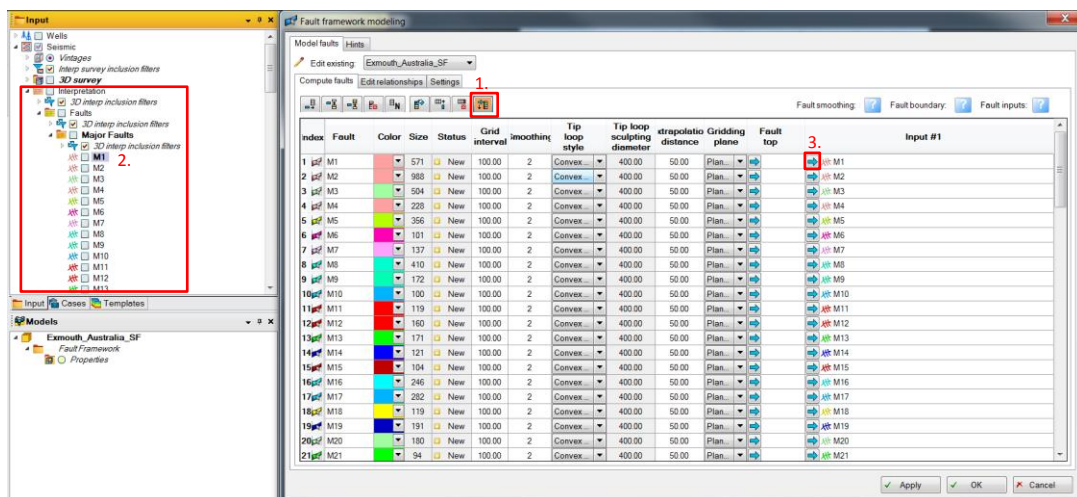



在 home→view→pans 下，点一下 models，则在窗口左边的面板区可以看到 models 面板，点击 models 面板，在其下面可以看到生成的模型文件夹，如下图：

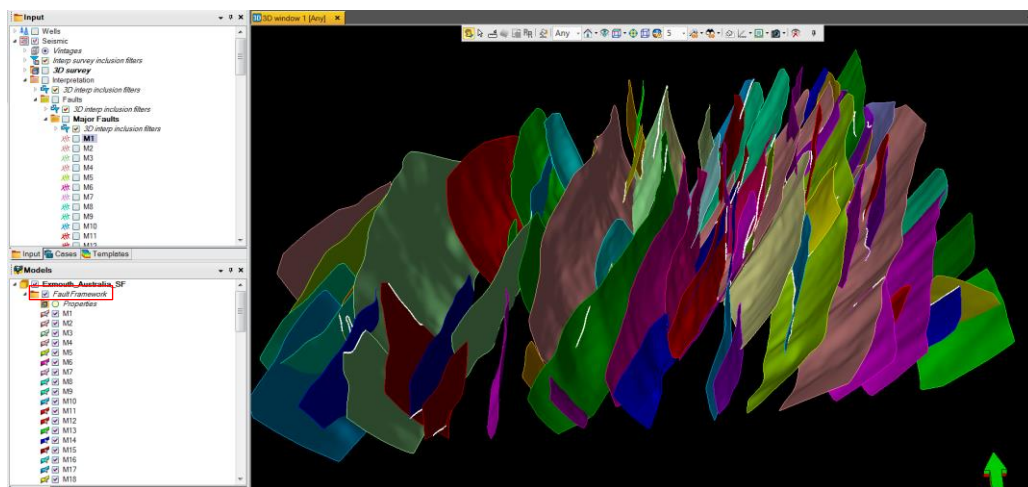


3. 建立断层网络模型 fault framework: Structural modeling→structural framework 组→点

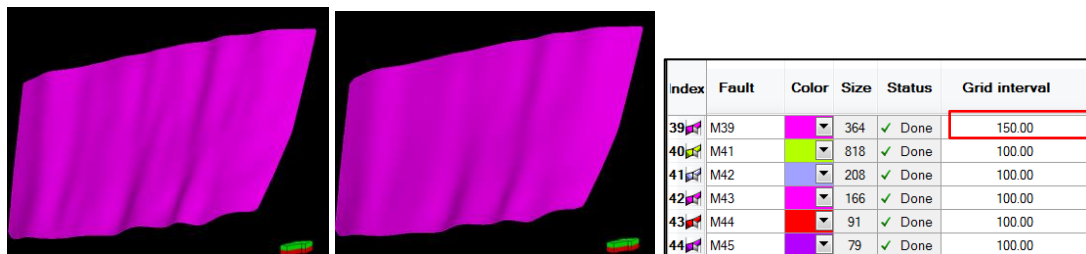
击图标 fault framework ，弹出窗口下，点击图标栏的最右边图标 enable multiple drop ，然后到 input 面板下选择解释断层文件夹下的第一条断层，到窗口中点击 input#1 列第一行的蓝色向右箭头，则断层就全部添加进来了，如下图红框顺序：



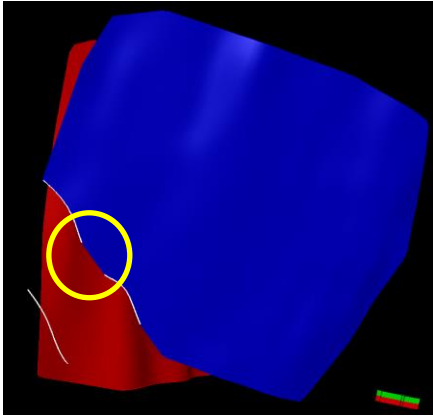
然后点击 ok，计算完后点击窗口上方的图标  选择 3D window，然后到 models 标签下勾选 fault framework 前面的方框，在三维窗口下查看生成的断层结果，如下图：




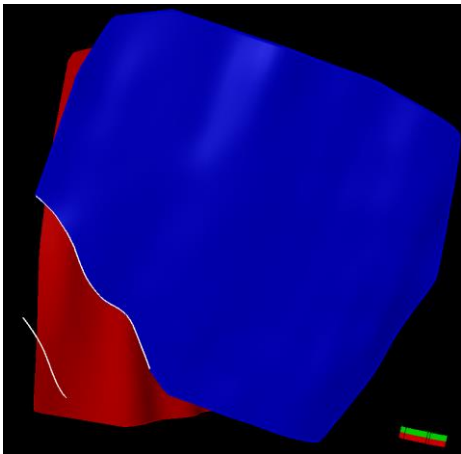
- QC 断层网络模型：检查生成的断层是否有问题，对有问题的断层进行调整，如 F39 断层面不光滑，波状起伏明显，可以修改网格间距 grid interval 得到一个更光滑的断层面，在 fault framework modeling 窗口下→compute faults 标签下修改单个断层的 grid interval，把 M39 的 grid interval 由 100 修改为 150，ok 之后则断层面就变得圆滑一些。如下图所示：



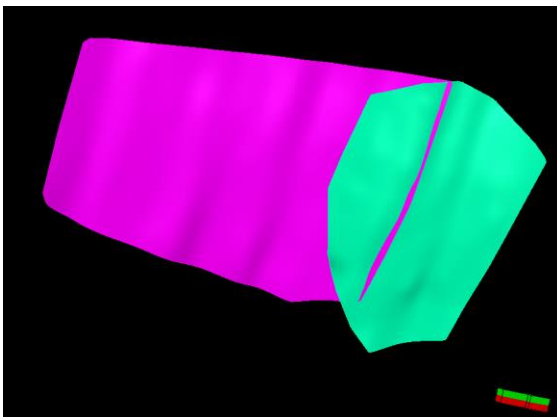
检查断层之间的交接关系是否正确，对有问题的断层交接关系进行调整。比如 M15 和 M19，交接关系处理得不完整，如下图：





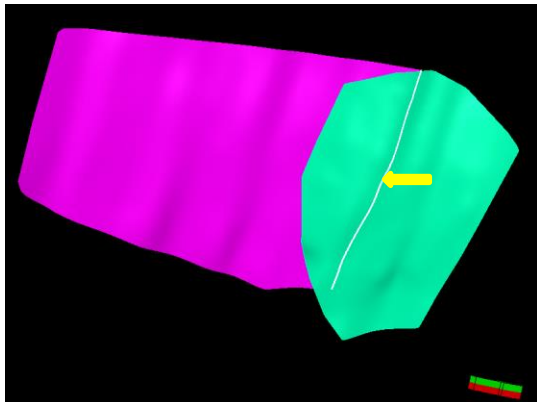
鼠标切换成 select 模式 ，在 M19 蓝色断层上点击右键，弹出菜单下选择 extrapolation distance 为 100，原来的外推距离为 50，窗口下的 M19 与 M15 交接就完整且顺畅了，如下图：



处理断层之间截断，如 M35 和 M39，经分析玫红色断层 M39 被青色断层 M35 所截断，但断层模型里处理成了交叉关系，需要做断层关系调整，如下图：




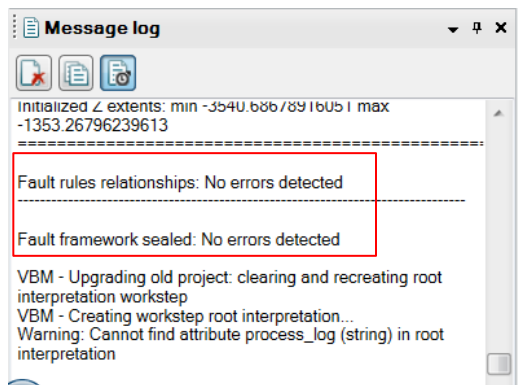
鼠标切换成 select 模式，在要处理的断层一边点鼠标右键，弹出的右键工具栏上选择 remove fault patch 图标，然后在断层上点击鼠标左键，就把 M39 的一边截断了。如下图：




依次方法检查所有的断层，确认没有错误的断层面和断层交接关系存在。

5. 验证断层模型 validate fault model: 在 3D window 下的任何一个显示断层上点击右键选

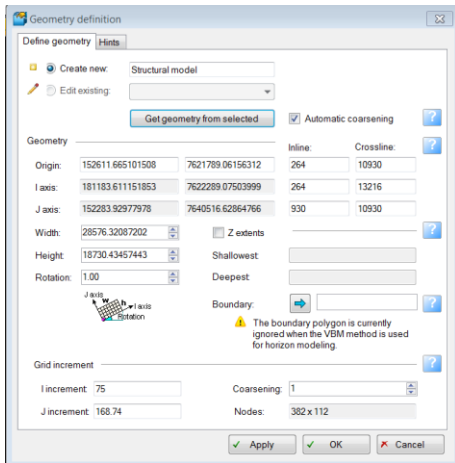
择右键上面的工具栏上的 validate fault model 图标，验证断层模型中算法和断层封闭性问题，验证结束后没有弹出对话框，同时在 message log 窗口中显示 fault rules relationships: **no errors detected**, fault framework sealed: **no errors detected**，则表明断层模型没有大的错误，能继续进行下一步工作。如下图：





6. 定义构造框架边界 Boundary definition: Structural Modeling→Structural framework 组，

点击图标 Boundary definition，弹出窗口 Geometry definition 下，create new 处定义一个构造模型的名字，点击 get geometry from selected 选择构造模型的范围，从 input 下选择研究区域的 seismic survey 或解释层位，然后点击图标

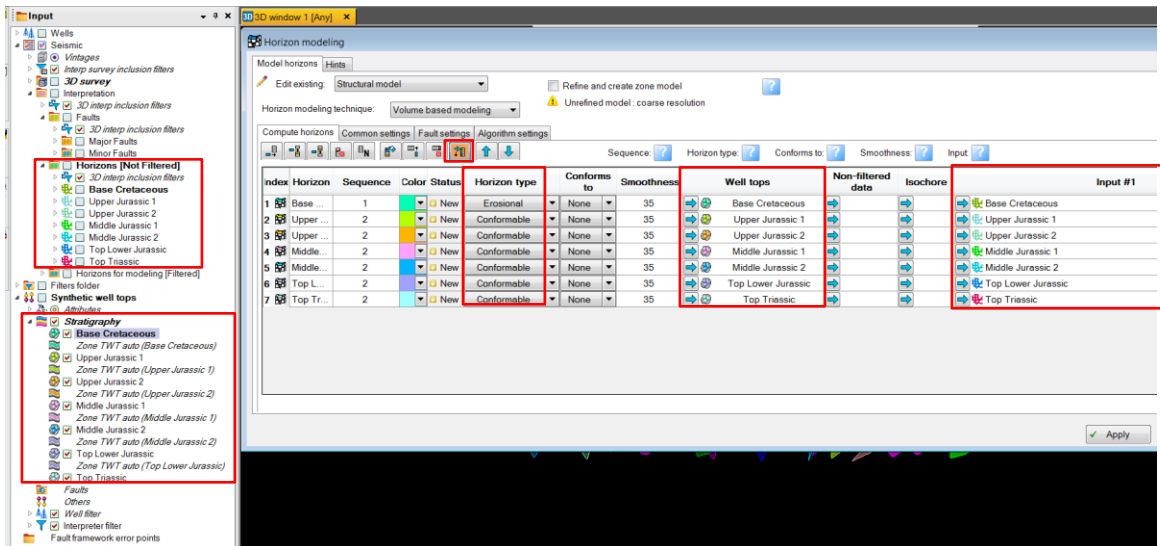
，则 Geometry 区域就有了读取出来的范围，ok 即可。如下图：



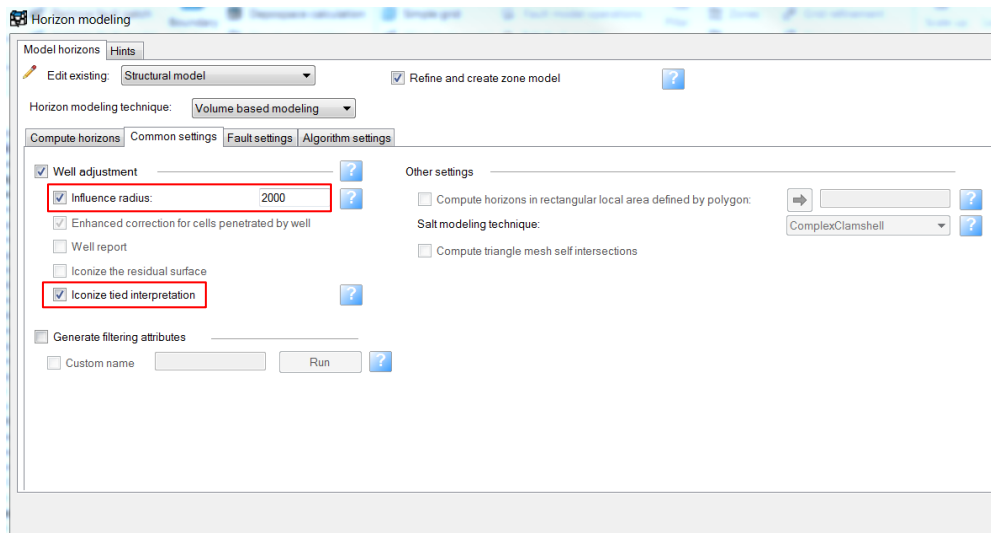
7. 建立地层模型 Horizon modeling: Structural modeling→Structural framework 组，点击图

标 Horizon modeling ，弹出 horizon modeling 窗口下，点击图标 enable multiple drop，激活批量加载图标，在 input 下选上用于构造建模的解释文件夹里最上部的层位，在窗口的 compute horizons 标签下，input#1 列下点击向右的蓝色箭头 ，则解释层位就从浅到深批量加进来了。

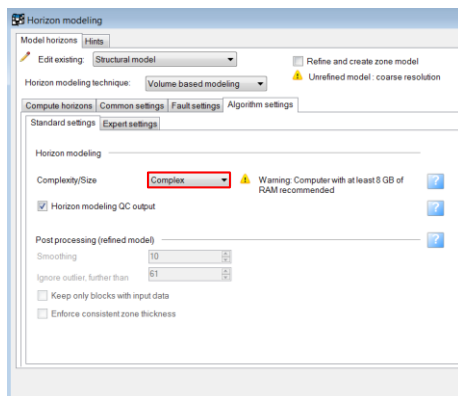
并分层做矫正：在 input 下找到分层文件夹 well tops 下 stratigraphy 下对应的分层数据，点击 horizon modeling 窗口→compute horizons 标签下的 well tops 列下的第一个蓝色向右箭头，则分层数据就加进来了。如果地层有剥蚀，在 horizon type 列切换地层类型为 erosional，默认的地层类型为整合接触 comfortable。在 common settings 标签下勾选 Influence radius 井的影响半径，设为 2000，勾选 Iconize tied interpretation，在 input 下生成一个点集，记录解释数据和井分层的校正结果。在 Algorithm settings 标签下可以设置构造模型的复杂程度，默认的选项 complexity/size 为正常 normal，若工区断层数量众多，可选择 complexity/size 为 complex，则模拟的 horizon 和已知数据匹配程度更好、更准确。如下图 Compute horizons 标签下设置：



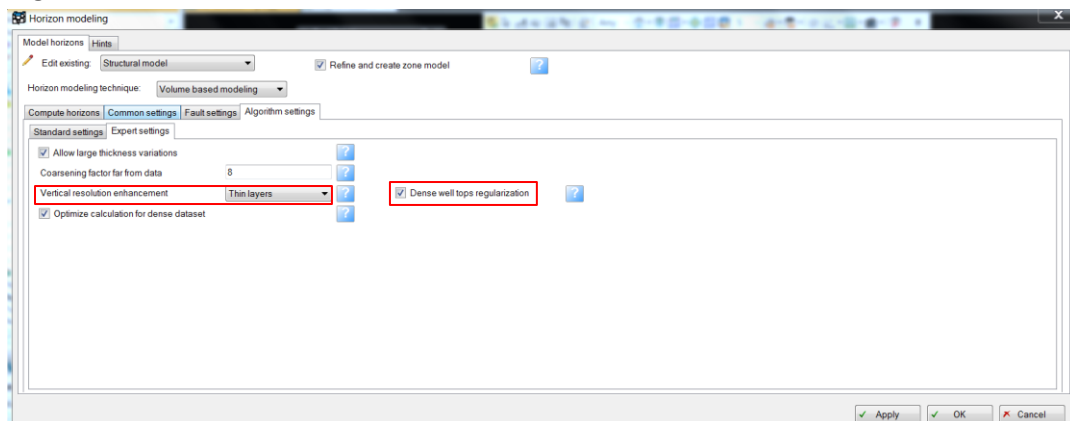
在 common settings 标签下设置井影响半径和生成解释层位和井分层的残差点，如下图：



Algorithm settings 标签→standard Settings 下设置如下图：

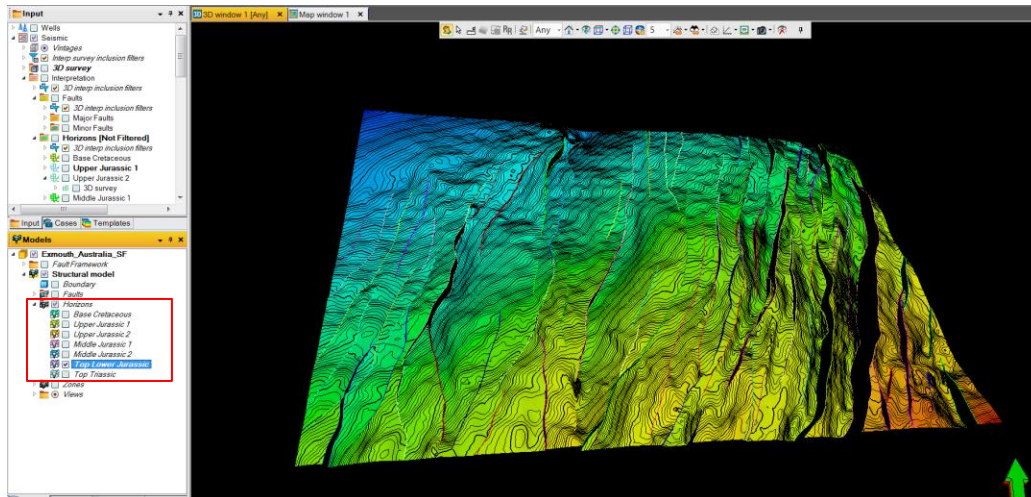


Algorithm settings 标签→Expert settings 下可以根据层位发育情况，设置相应参数。通常情况下，Vertical resolution enhancement 默认的设置 average layers，如果解释层段很薄，可以设置 Vertical resolution enhancement 为 Thin layers，此时 Dense well tops regularization 会自动选上，优化计算过程。如下图：



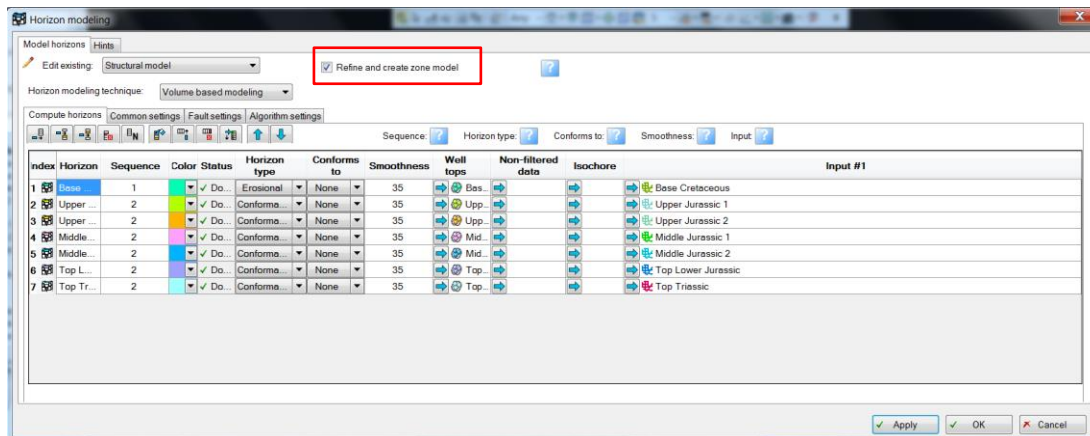


在 horizon modeling 窗口下完成所有相关的设置后，点击 apply，生成初步的层位模型，如下图：

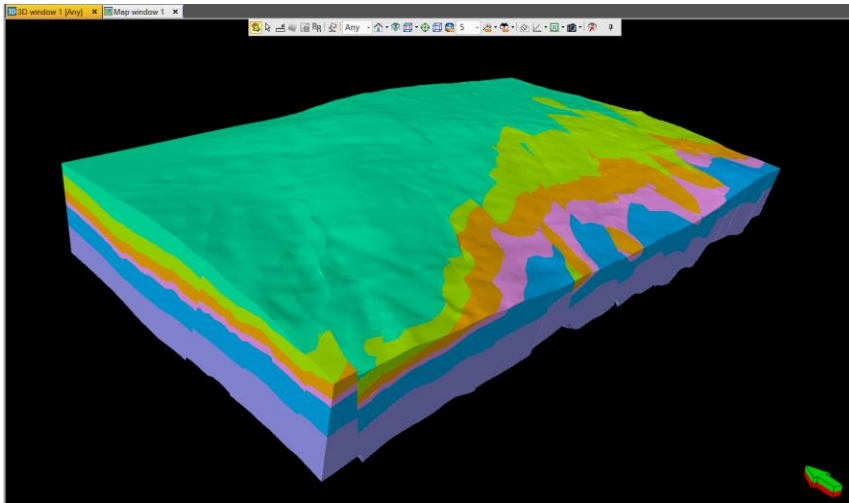


如果构造模型很大，计算过程需要消耗许多物理内存。计算完成后，需要释放一下内存，在 file→system→点击 free framework memory，则完成后物理内存就明显增加了。

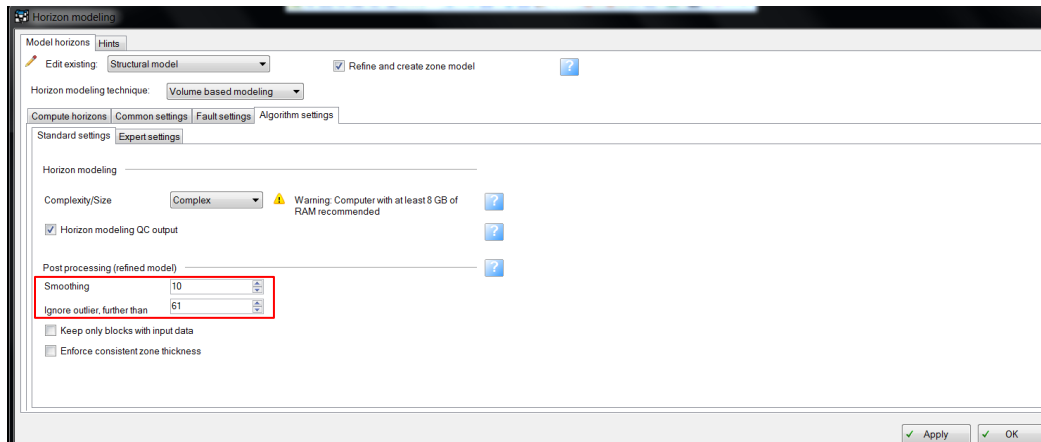
8. 细化并创建层段模型 refine and create zone model: 检查初步的构造模型结果，是否有构造不匹配的情况出现，如果有，需要调整修改断层，直到所有的构造都没有问题，在 horizon modeling 窗口下勾选 refine and create zone model 选项，点击 ok 生成层段构造模型，如下图：



计算完成后，生成的层段构造模型如下：

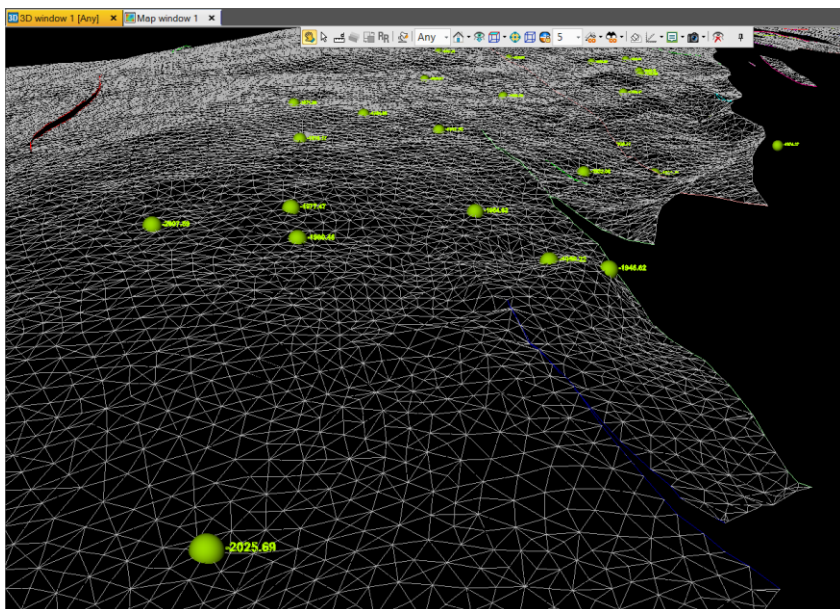


如需调整 horizon 等值线网格的圆滑度，在 horizon modeling→Algorithm settings→Standard settings 下，在 post processing(refined model)下，调整 smoothing 的参数，默认为 10，最大圆滑参数可调到 100；Ignore outlier, further than 可以调整忽略异常值的距离，大于这个距离的数据可以不参与等值线计算，通过上面两项参数的调整，确保得到一个满意的地层网格结果。如下图红框部分：



QC 构造模型结果，在 input 标签→well tops 下选上相应的地质分层，在 3D window 下投上模型里对应的层位，在 3D window 窗口中的空白处点击右键选择 draw style→hidden line，如下图所示，可以检查井分层和模型地层的对应效果：



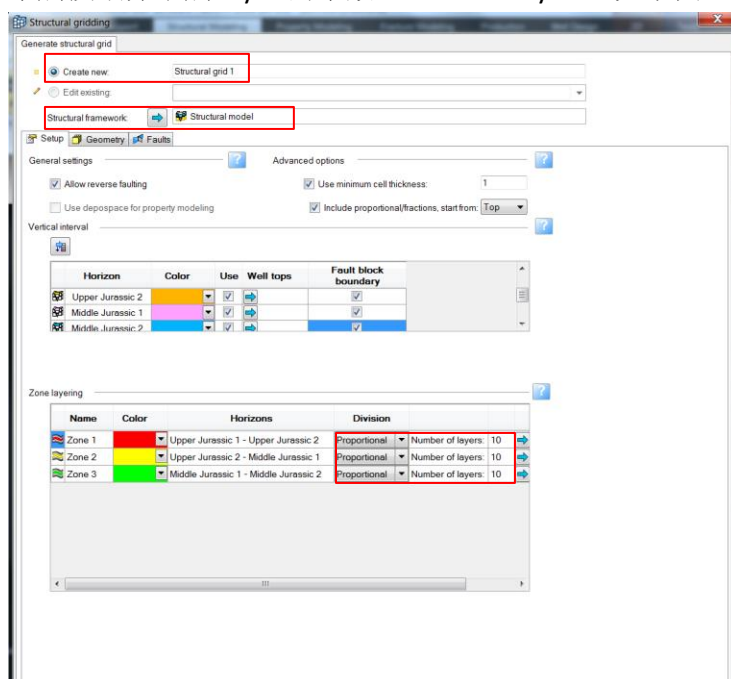


上述图中，如果井分层被正确地考虑进计算过程，井分层的位置应该在地层三角网眼的节点上。

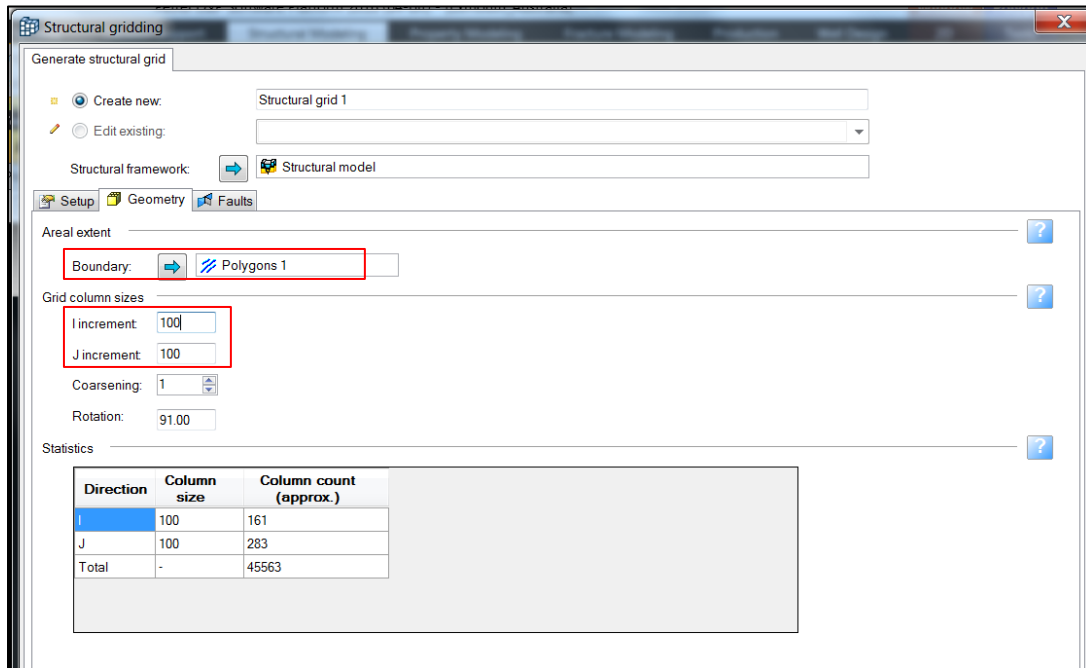
#### 9. 构造框架网格化的过程 Structural gridding:

此过程把构造框架模型进行网格化，建立阶梯状网格，快速产生阶梯状 stair-stepped 断层可以用于后面的地质建模和数模研究。在 structural modeling→structural

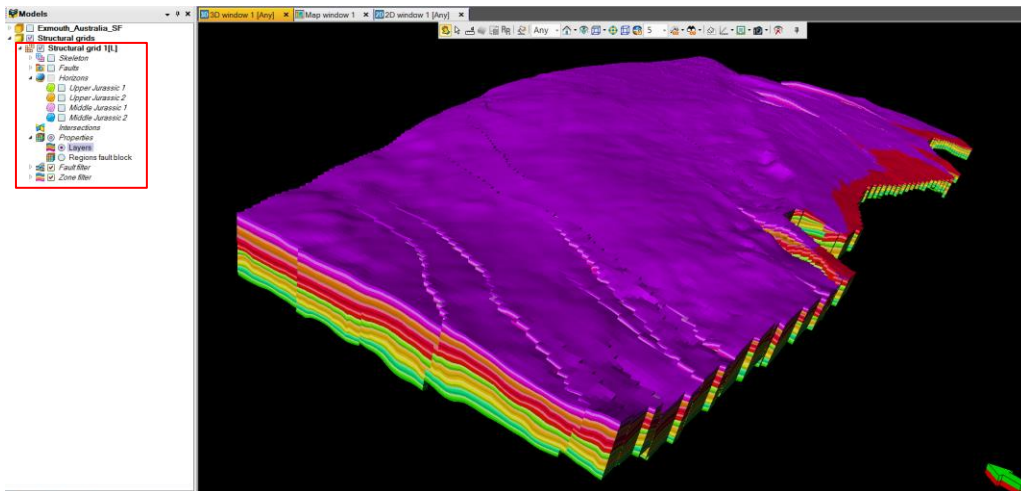
framework→点击 structural gridding 图标  Structural gridding，弹出窗口下，create new 处定义一个构造网格的名字，确认 structural framework 处选择的是你建立的 structural framework 模型，setup 标签下→zone layering 区域，在 Division 列设置每一个层段细分小层 layer 的个数 number of layers，如下图：



在 geometry 标签下，boundary 处可以输入一个 project polygon，限制网格化范围，在 grid column sizes 区域设置网格化 I、J 增量，如下图：



设置完成后，点击 apply 得到三维构造网格模型，如下图：

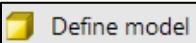


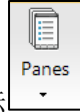
至此，structural framework 构造框架建模流程全部完成，下面就可以进行断层封堵性、岩性、物性分析等研究了。

## 第二步：Corner point gridding 角点网格构造建模

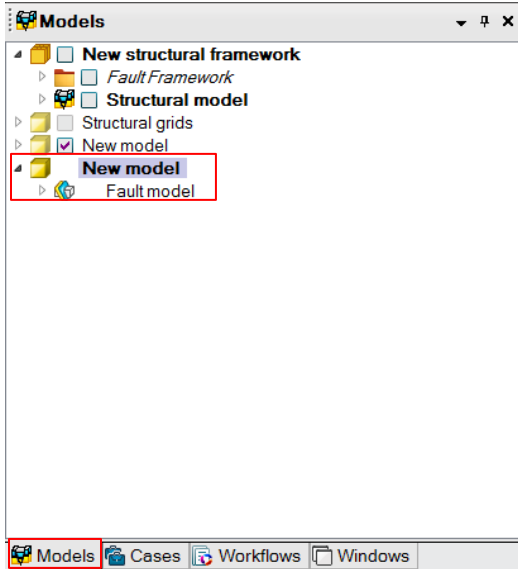
主要分为三大步完成：fault modeling、pillar gridding、layering。详细步骤包括：define model→fault modeling→pillar gridding→make horizons→make zones→layering 六小步组成角点网格建模流程。具体执行如下：

10. 定义一个模型 define model: structural modeling→corner point gridding→点击 define

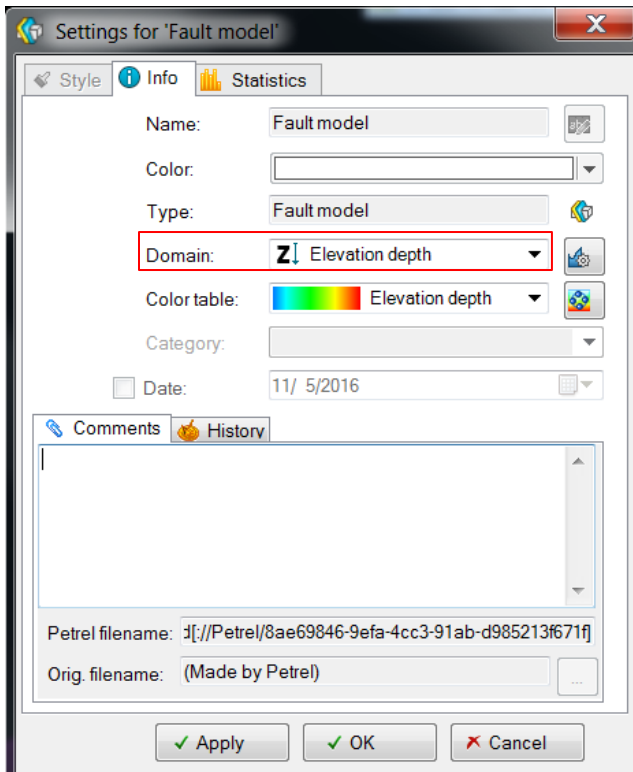
model 图标 ，弹出窗口下，定义 model name 处定义一个模型名字，点



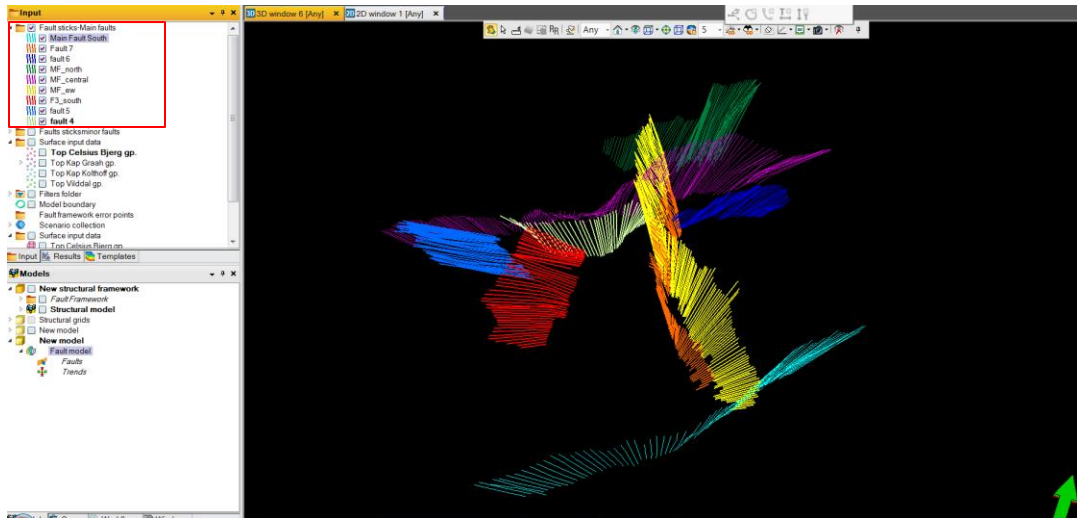
击 ok。到 home→view→点击 pans 图标下的小箭头，下拉菜单选择 models，则在窗口左边面板区域可以看到 models 面板，点击 models 面板，则在 models 面板下可以看到新产生的 new model 文件夹，如下图：



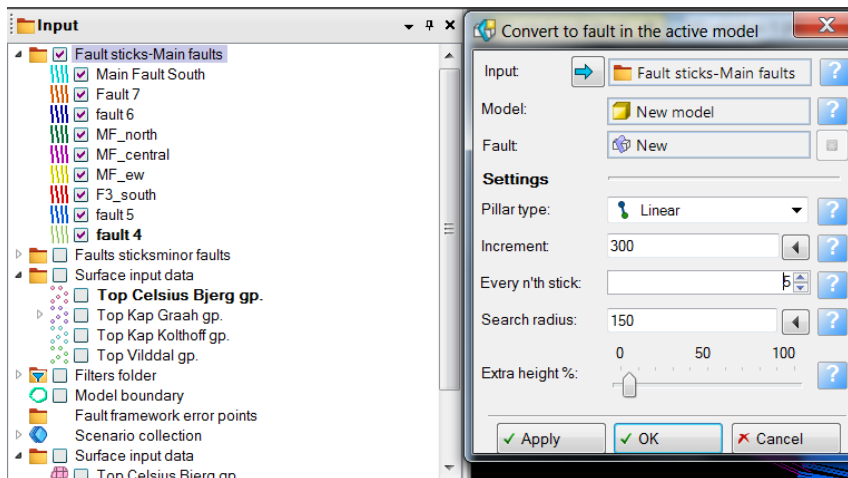
双击 fault model 子文件夹，在 settings 下默认的 domain 是 elevation depth，如果建立模型的断层和层位都是 time 域的，需要在此把 domain 切换成 elevation time。如下图：



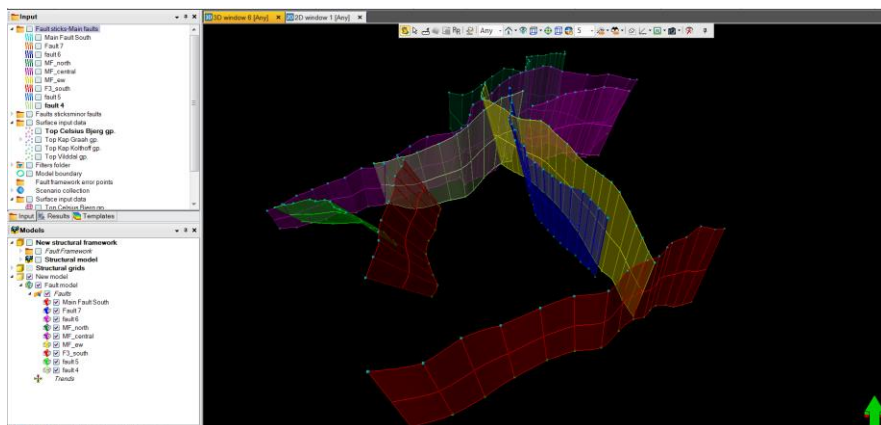
11. 建立断层模型 fault modeling: 断层数据可以是解释的断层文件、解释后转成的 fault sticks 文件、fault polygon 文件都可。本工区的断层数据为 fault sticks 格式，如下所示:



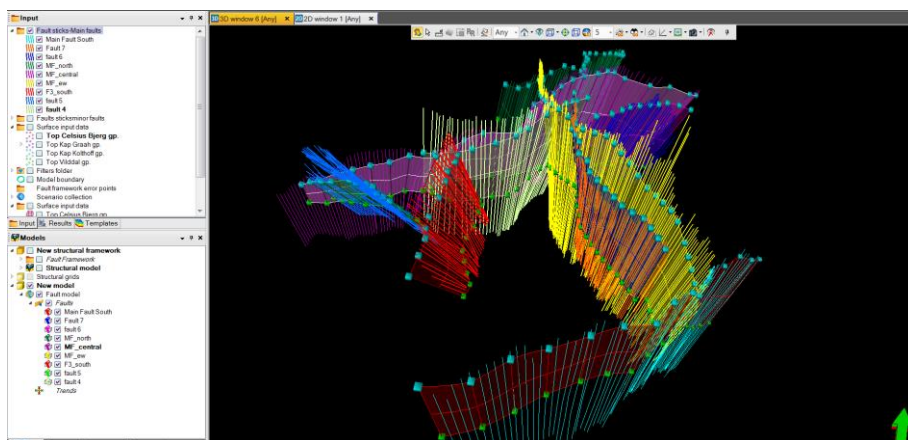
在 input 面板→fault sticks 文件夹上点右键菜单选择 convert to faults in fault model，弹出窗口下用默认参数，ok 即可，如下图:



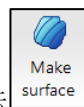
打开一个 3D window，在 models 面板→new model 下勾选 fault model，生成的 fault model 显示在 3D window，如下图:



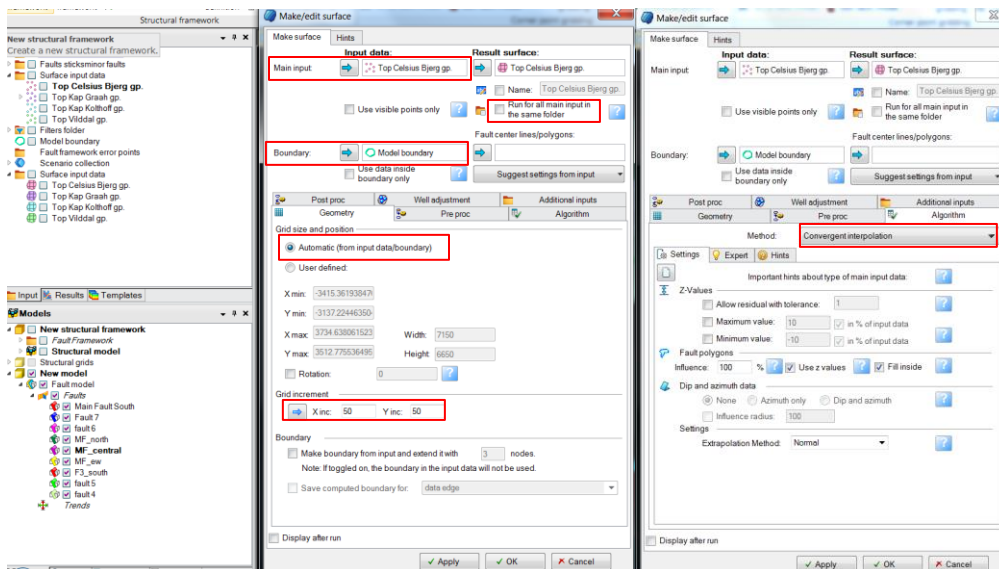
在 input 面板→勾选原始断层数据 fault sticks，查看生成的 fault 是否符合原始数据的形态，如下图：



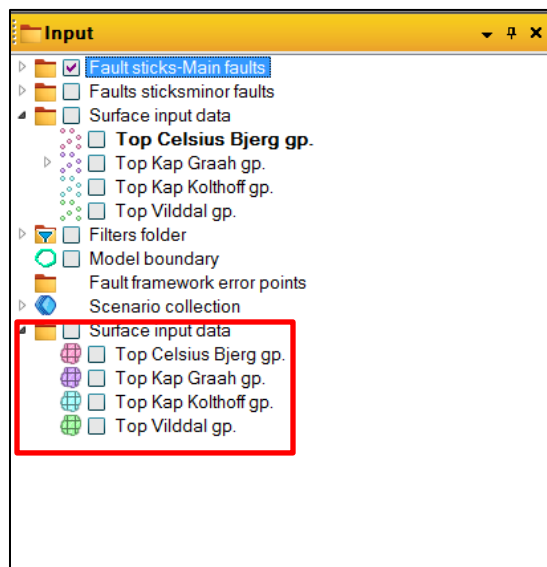
12. 修改 fault model 的垂向范围：通过层位网格限制断层在断层垂向上的范围，保证所有断层垂向上网格的一致性。本工区层位数据为一组点数据，通过 make surface 模块建



立各层段的网格。Structural modeling→utilities→点击 make surface 图标，弹出窗口下，main input 处输入层位数据，boundary 处输入网格化边界，如果想要批量计算一个文件夹下的所有层位，勾选 run for all main input in the same folder，在 Geometry 标签下选择 automatic 按照已知数据自动定位网格范围，在 grid increment 下设置网格大小，在 Algorithm 下选择算法，一般为 convergent interpolation，设置参数如下：

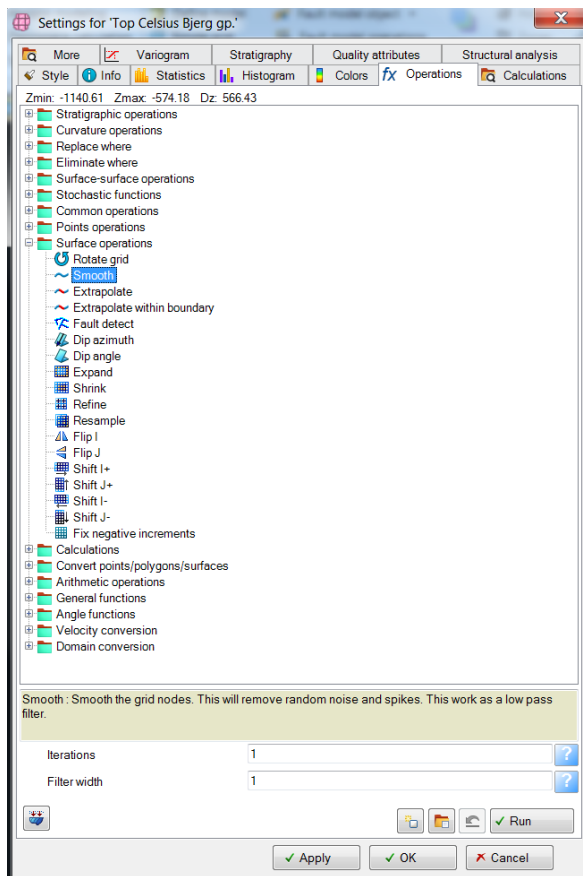


执行 apply 之后，在 input 面板下产生一个 grid 的文件夹，如下图：

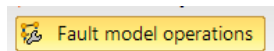


在 3D window 下显示每一个 grid，如果对每一个 grid 需要做整体圆滑，执行如下：比如在上图红框中 surface input data 文件夹下的 top Celsius Bjerg gp.上双击  
→settings→operations→surface operations 下，选择 smooth，设置迭代次数 iterations 和过滤宽度 filter width，点击 run 运行，默认参数都是 1，可以重复点多次 run 对 grid 进行圆滑，知道满意为止。如下图：

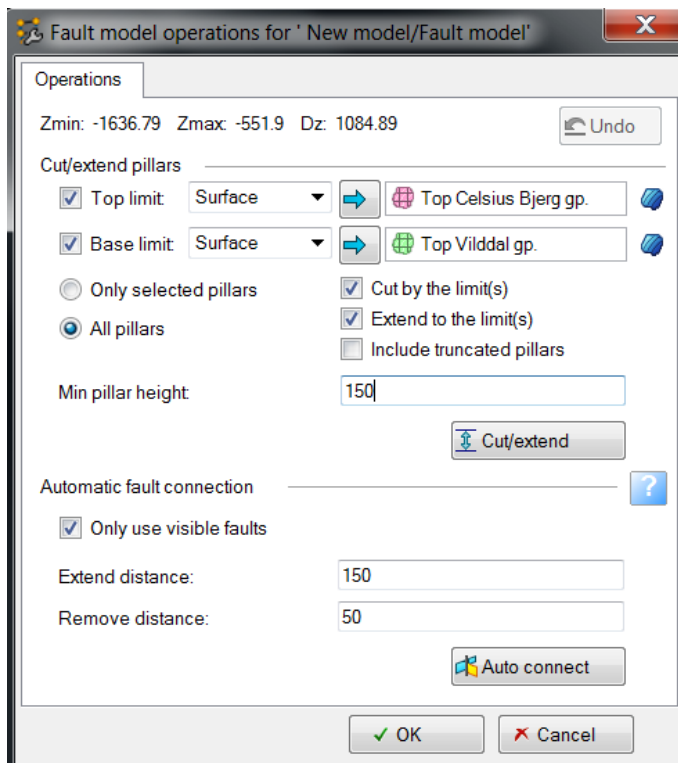




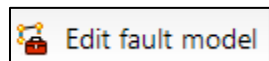
然后对所有断层进行截断，保留目的层之间的断面，保持断层网络的一致性，执行步骤如下:structural modeling→corner point gridding→点击图标 fault model operations



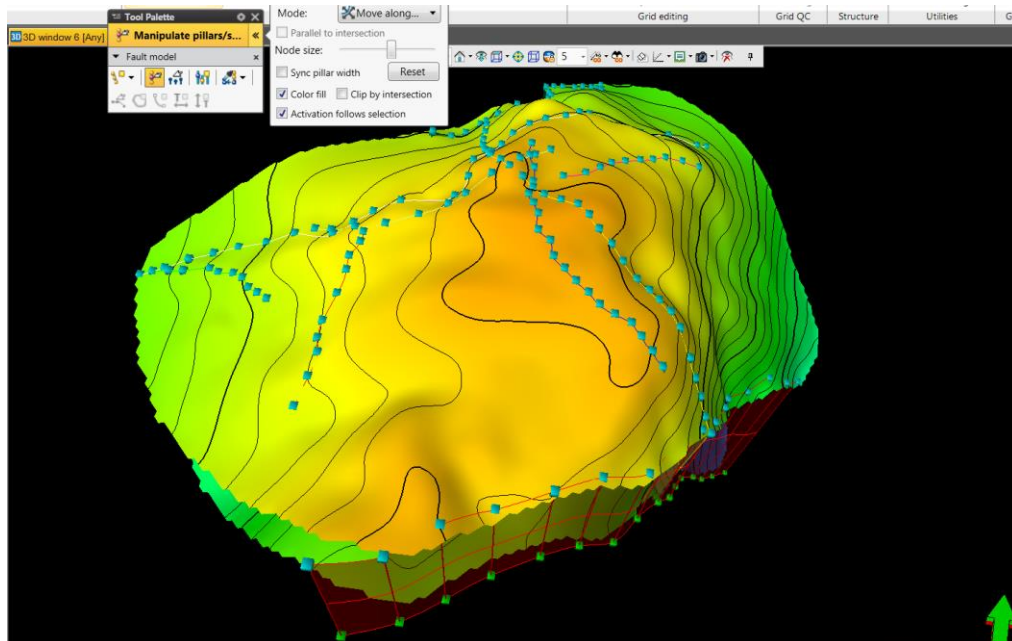
，弹出窗口下，在 top limit 右边选择 surface，输入顶层 grid，在 base limit 右边选择 surface，输入底层 grid，勾选 cut by the limit 和 extend to the limit，在 min pillar height 处根据实际顶底地层厚度设置数值，然后点击 cut/extend 图标，如下图所示：




执行完成后，对局部没有切掉的断层，在 3D window 下显示所有处理完的断层结果，然后在 structural modeling→corner point gridding→点击图标 edit fault model

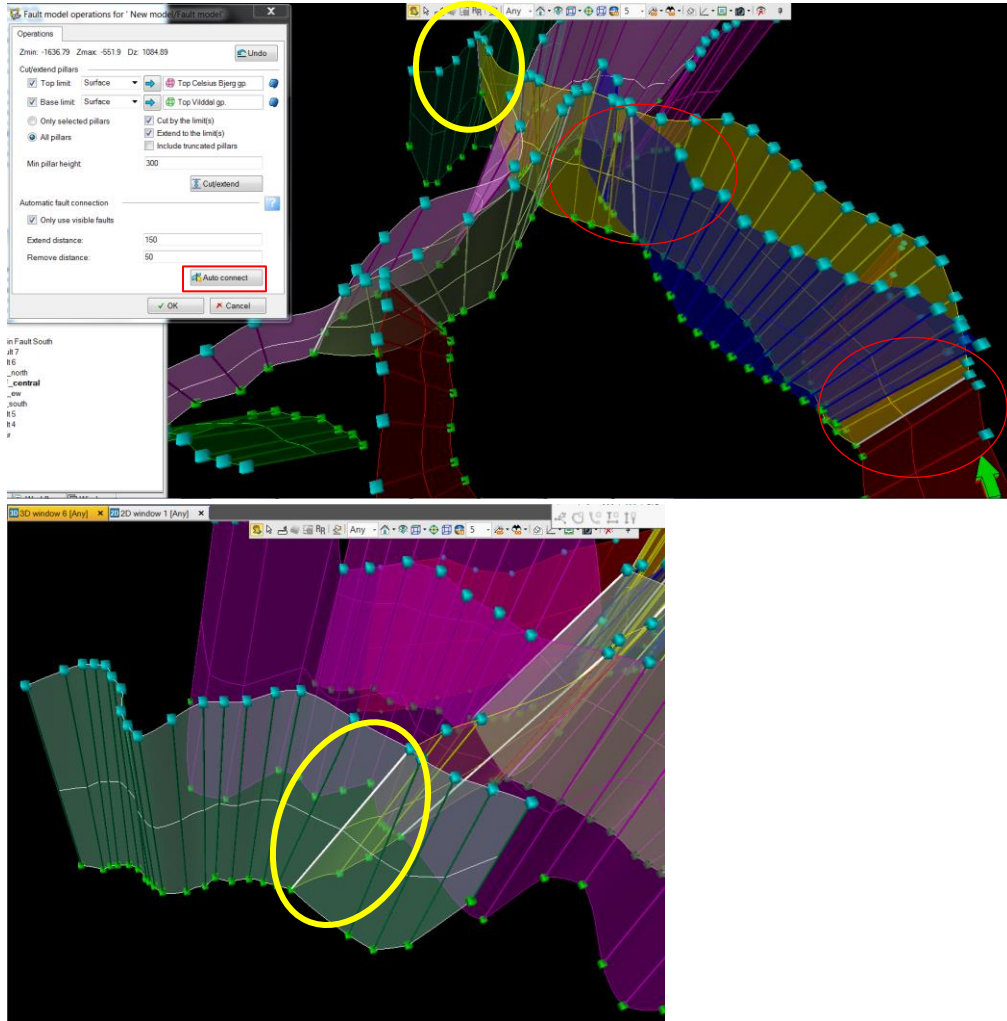


，激活 manipulate pillars，鼠标左键选上 fault 上的 point 进行调整，直到所有的断层都和顶底层面保持一致，如下图：

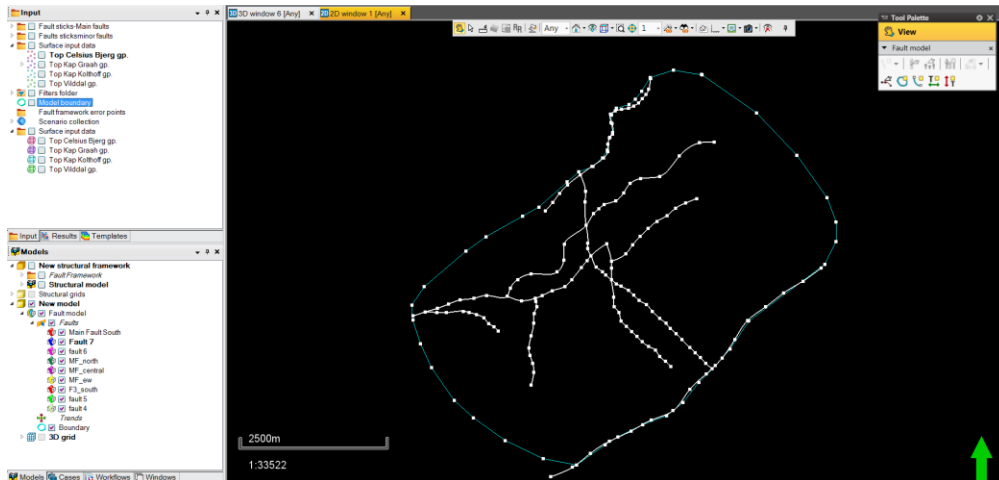


13. 处理断层之间的交接关系：在 3D window 下显示 fault model 下有连接关系的断层，  
structural modeling→corner point gridding→点击图标 fault model operations

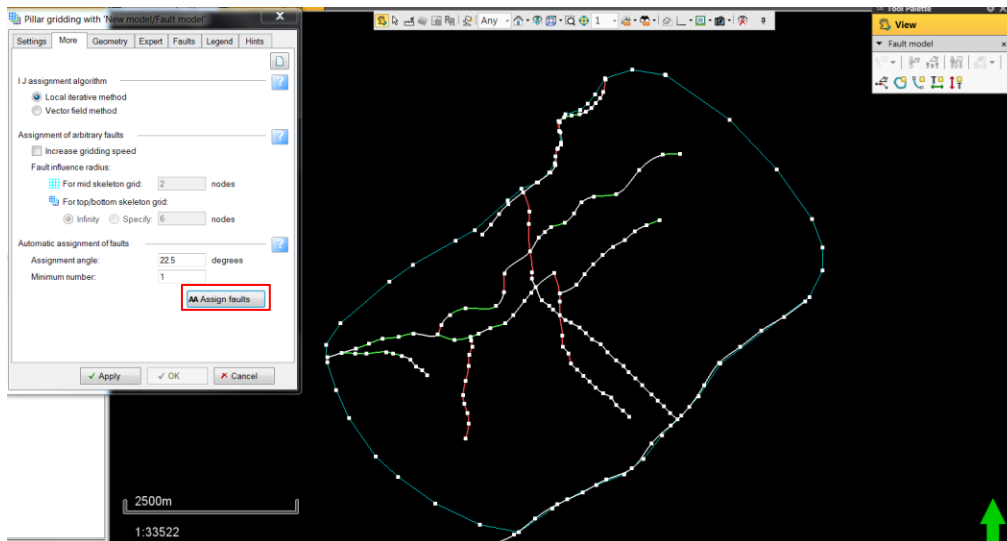
 Fault model operations，弹出窗口下，在窗口下部的 automatic fault connection 区域点击 auto connect 图标，则 3D window 下的断层的交接关系就自动生成了，检查生成结果的有效性，对连接不好的断层删除自动生成的连接线，做手动处理，保证最终断层交接关系的正确性，如下图红圈内交接关系自动处理的比较好，黄圈内自动处理的断层关系不好，需要手动处理调整，下面第二张图上为处理好的黄圈断层接触关系：



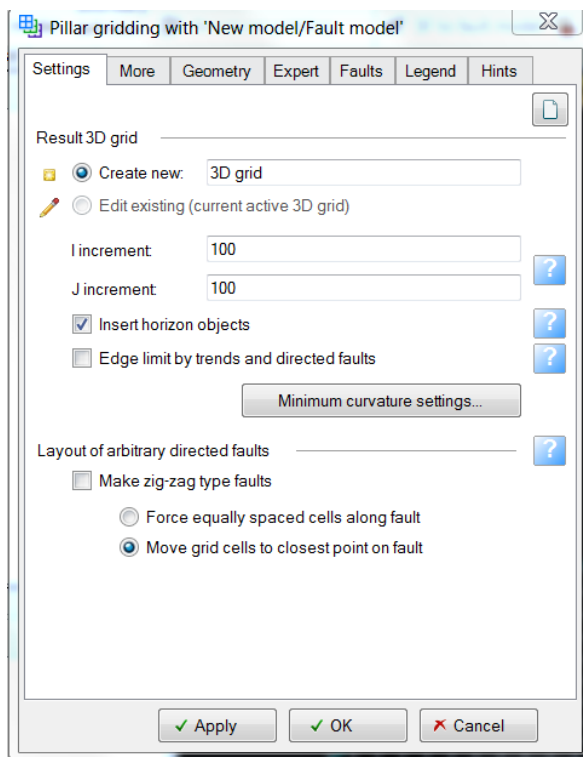
14. 网格化过程 Pillar gridding: 打开一个 2D window, models 标签→new model→fault model→faults, 勾选 faults, 在 input 标签→model boundary 右键菜单上选择 convert to grid boundary, 在 2D window 下可以看到转换的网格边界和断层，如下图：



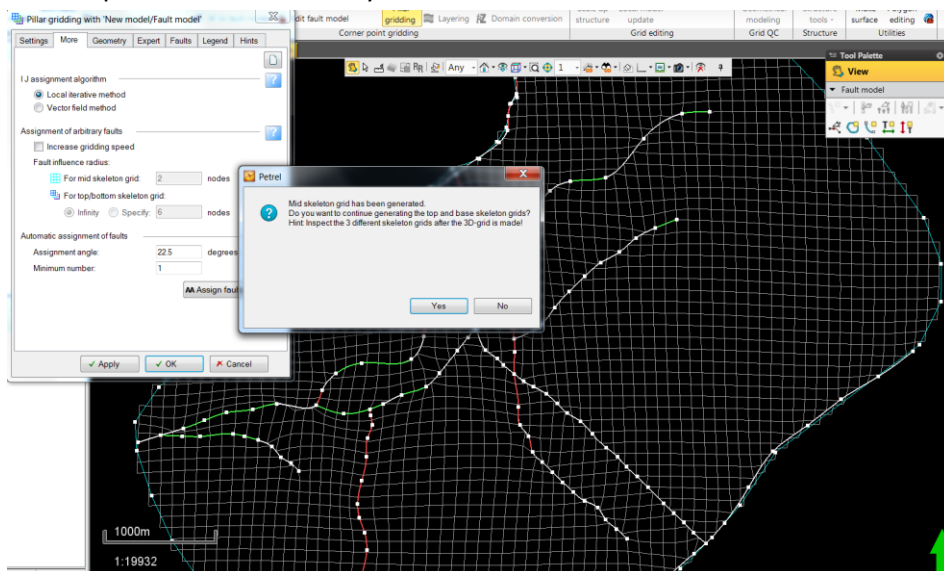
在 structural modeling→corner point gridding→点击图标 pillar gridding，弹出窗口下→more 标签下，在 automatic assignment of faults 区域，点击 AA assign faults，则按照 I、J 方向设置断层，保证断层附近网格质量，如下图：



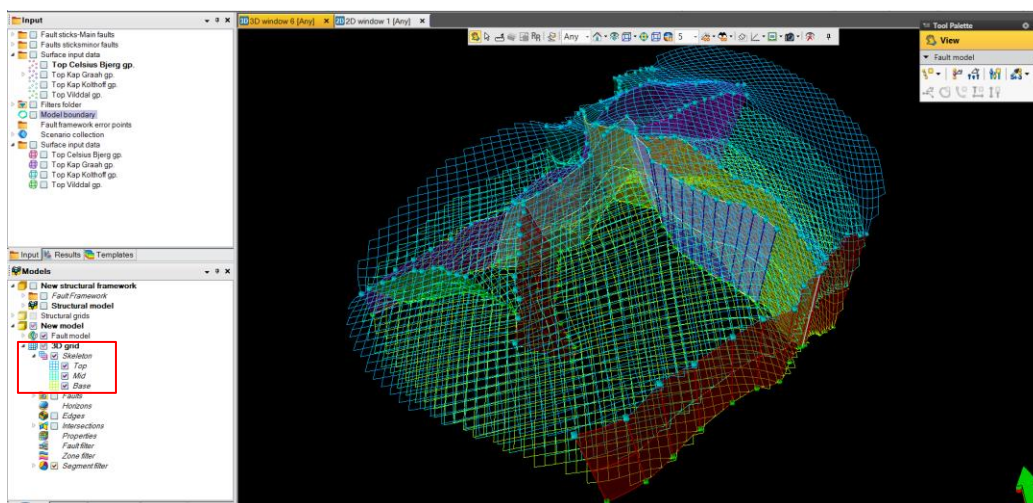
Pillar gridding 窗口→settings 标签下，在 create new 处命名一个网格，在 I Increment 和 J Increment 处设置网格大小，然后 apply 运行，生成中间网格，如下图：



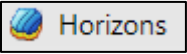

当弹出 petrel 小窗口，点击 yes 生成顶底网格。如下图：

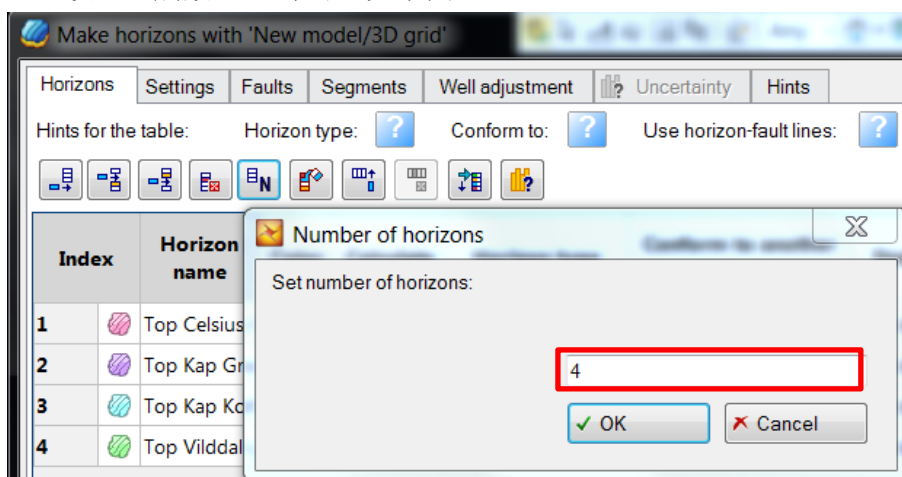


在 models 标签下新生成一个 3D grid 文件夹，展开勾选 skeleton，在 3D window 下查看顶、中、底网格的质量，有没有扭曲变形现象，如下图：




15. Make horizons 过程：在 structural modeling→corner point gridding→点击图标 horizons

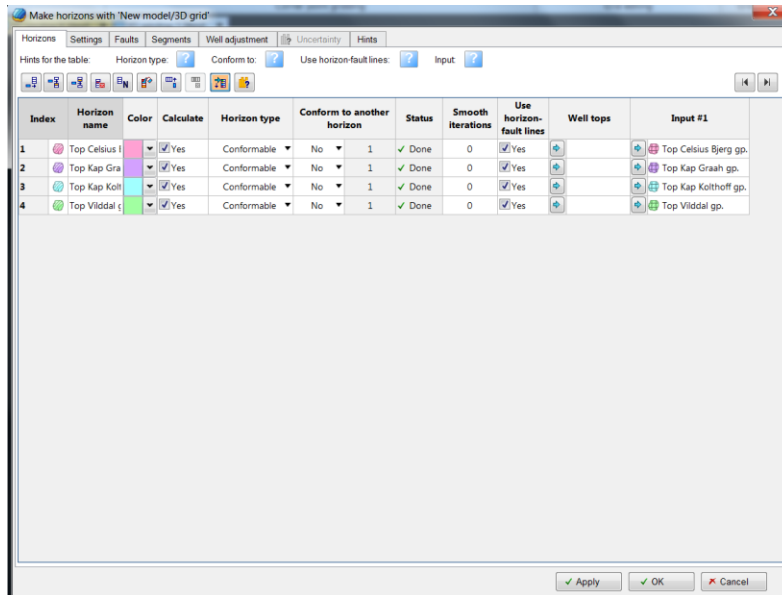
，弹出窗口下→horizons 标签下，点击图标 ，弹出设置地层数量窗口，设置地层数，ok 即可，如下图：



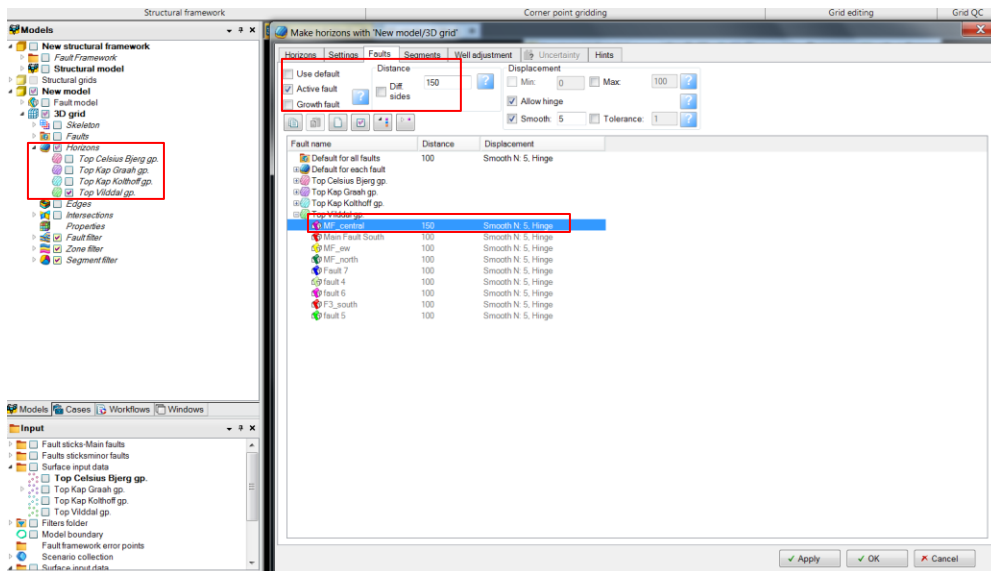
然后在 input 面板下选上前面做好的地层 grid，到 make horizons 窗口→horizons 标签

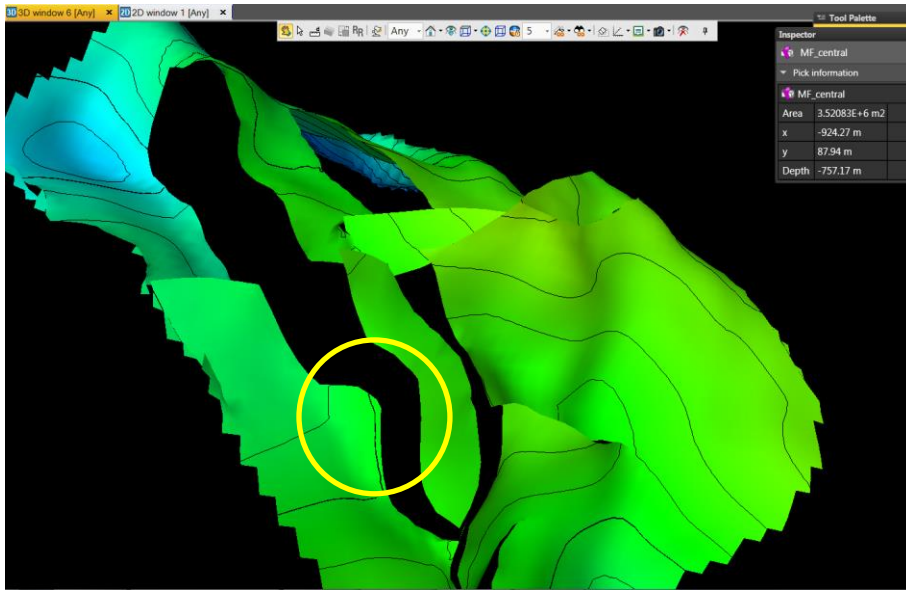
下，激活批量加载图标 ，点击 input#1 列下的蓝色箭头，则四个地层就全部加进来了，设置地层类型 horizon type，默认都是整合接触 comfortable，点击 ok，如下图：



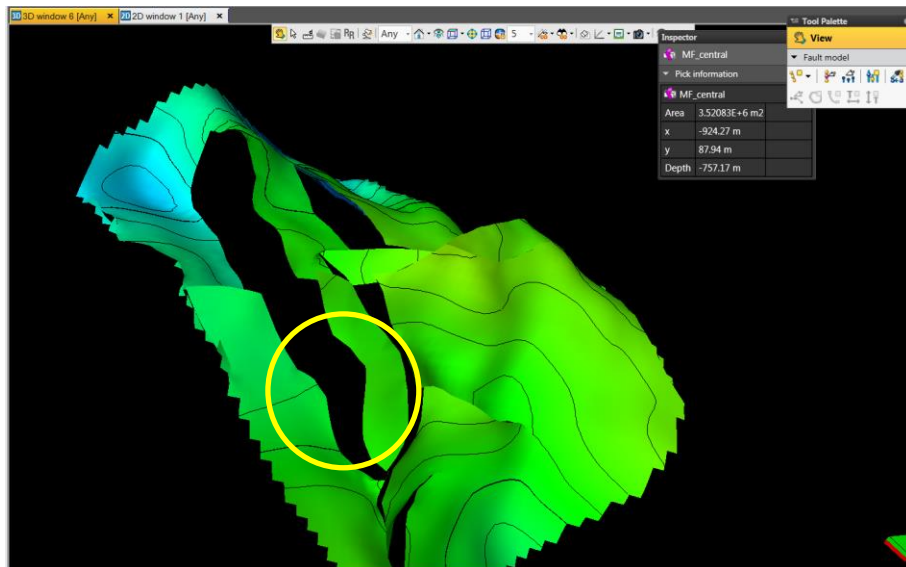


计算完成后，查看模型里计算的层位结果：打开一个 3D window，在 models 面板下勾选 3D grid→horizons 下的层位，查看模拟的层位，对于有问题的地方可以通过设置 make horizons 界面下→faults 标签下，调整有问题断层附近的 distance，来过滤掉层位异常值，重新点击 ok，修正构造面，如下图：





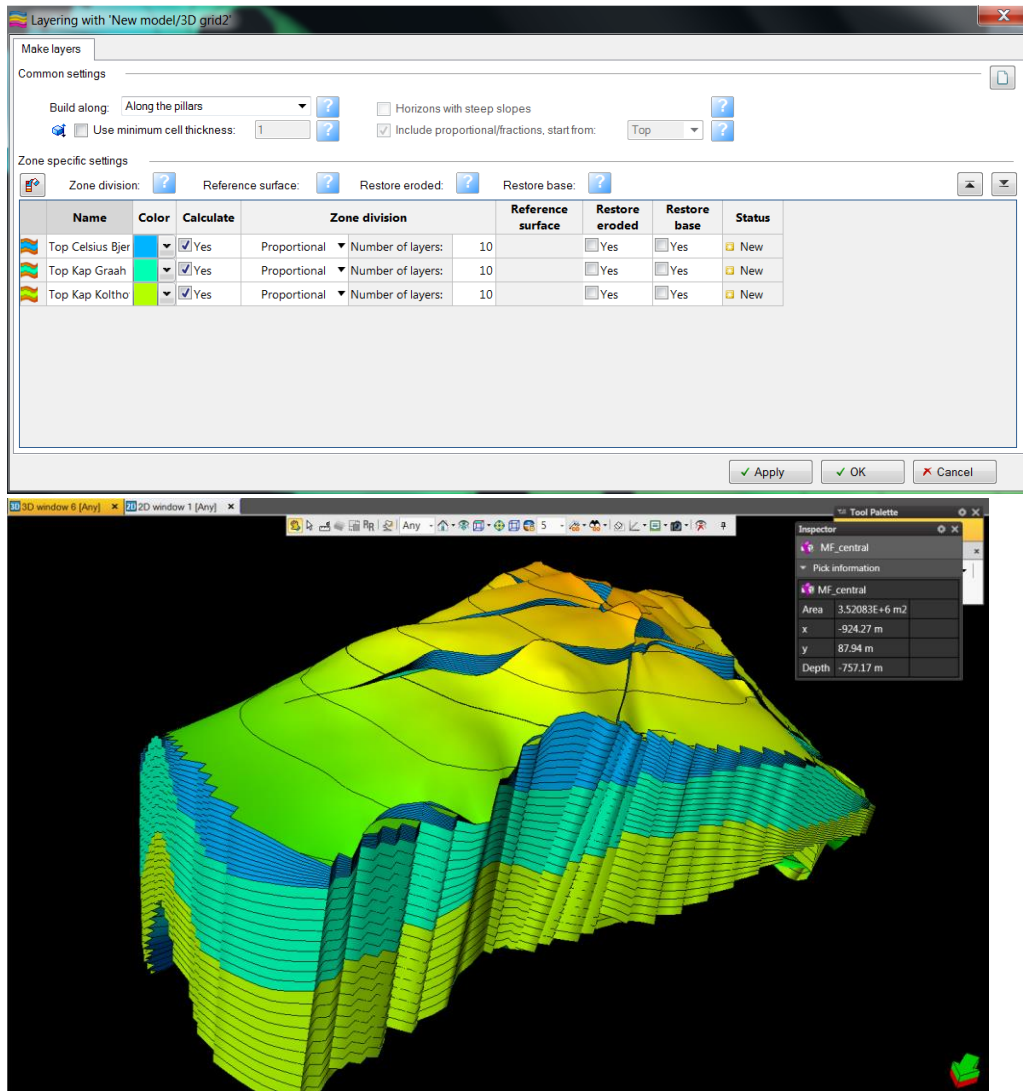
修改之后的模型如下：



16. 构造模型细分 Layering: 在 structural modeling→corner point gridding→点击图标



，弹出窗口下，在 zone division 列设置等分数值，比如每个层段 zone 设为等分为 10 等分，如下图：



至此角点网格构造建模流程结束。