

ENVIFUSION

环境地学数据融合平台线上直播课

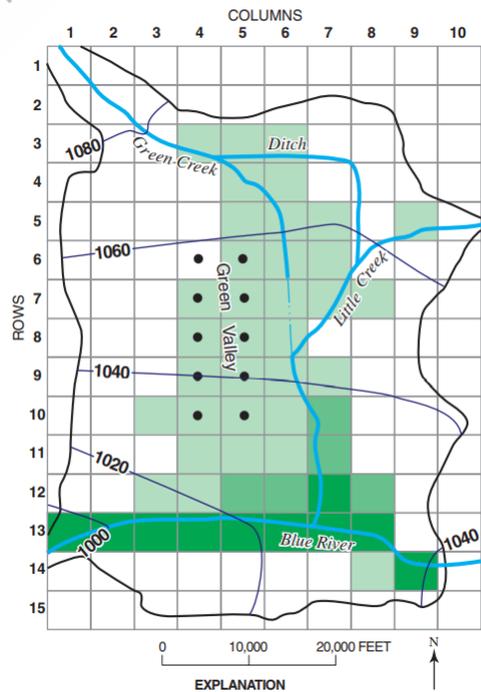
MODFLOW-SFR

地表地下水交互模拟

2021年10月

地表地下水交互模拟场景

- 模拟目标：模拟该区域地下水位分布
- 研究区域有多条区段(Segment)构成的河网，考虑河流对地下水的补给与排泄；
- 考虑不同区段 (Segment) 之间的水量分配，河流流经过程中的地表径流、降水补给与蒸发；
- 河道形状与河床岩性对河流水位的影响。



SFR——Streamflow Routing

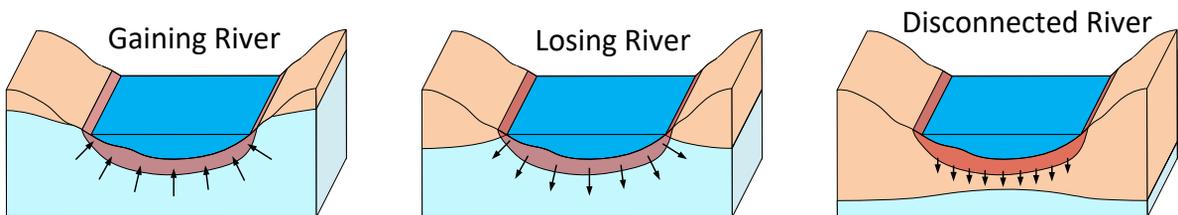
- SFR是一个MODFLOW的程序包，可以用于模拟河网与地下水之间的水量交换。
- 与River模块相同，SFR程序包根据地表水与地下水位位置确定两者之间的补排关系。
- 不同于River模块，SFR程序包中，河网中水位不是给定的值，而是考虑河流在地表流经过程和与地下水水量交换后拟合所得。
- 最新SFR2程序包还考虑地表水通过非饱和带进入地下水的过程。

河网与地下水的关系

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

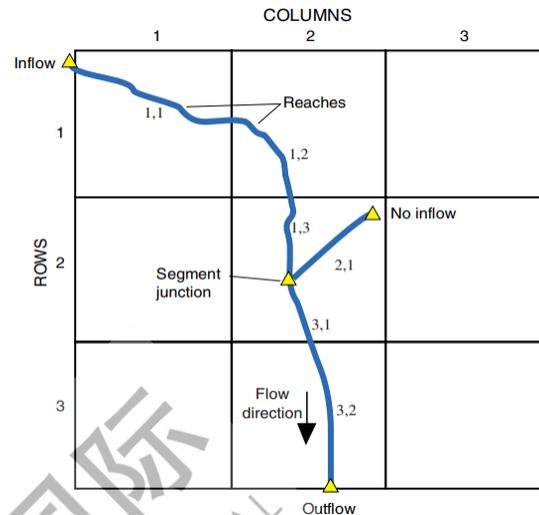
➤ 通过地表水与地下水水位确定两者之间的补排关系

- 两者的水力交换过程受水位差、河床和非饱和带渗透系数等参数影响



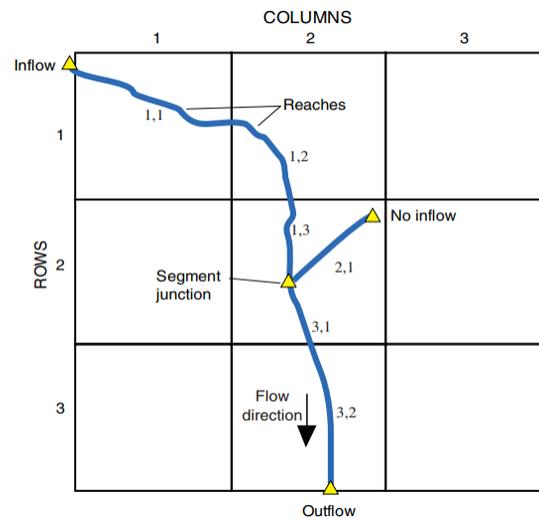
地表水流动过程

- SFR可以模拟多支流的河网。在模拟中，需要首先使用区段（Segment）定义河网的空间位置
- 其次，使用MODFLOW网格对河网的区段（Segment）进行切割，从而生成河段（Reach）。
- 根据河流的流向和水量分配，从上游向下游为每个区段和河段依次进行编号，构建河网拓扑结构。



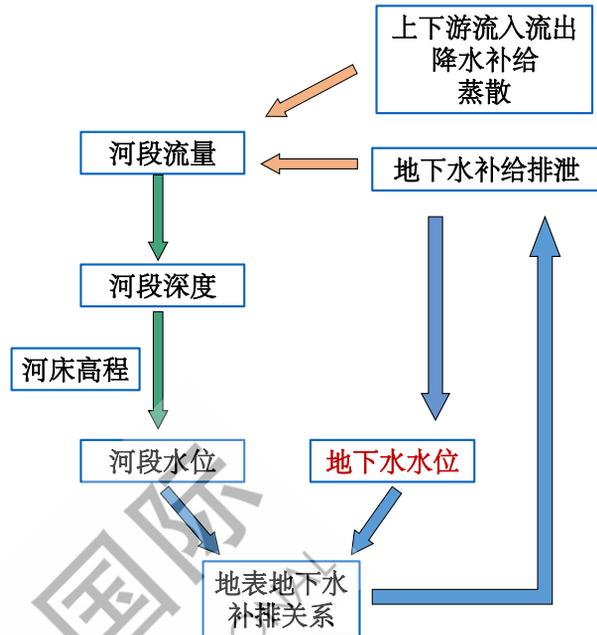
地表水流动过程

- 对于每个河段（Reach），其控制方程为**总流入量=总流出量**
- 总流入量=上游河段流入+地表径流+降水-**地下水流入河流**
- 总流出量=流入下游河段+地表径流+蒸散+**河流渗漏至地下水**



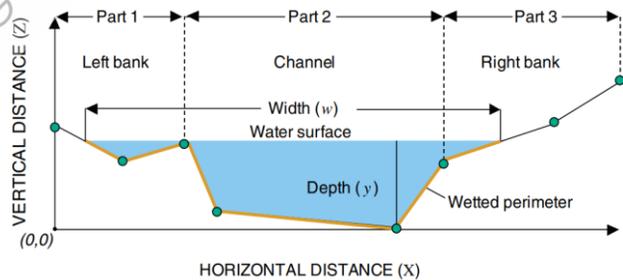
地表水流动过程

- 对于每个Reach，根据河段中心点的流量计算河流深度，进而计算河流水位。
- 从Reach1.1开始，对于每个Reach，均进行地表水流量与地下水位的迭代计算，计算收敛后进入下一个Reach的计算。



地表水流动过程

- 根据河段流量计算河流深度有5种计算方式 (ICALC)
 - 0指定深度
 - 1曼宁公式—矩形剖面河道
 - 2曼宁公式—自定义剖面河道
 - 3经验公式 (幂函数) 计算深度
 - 4使用水文



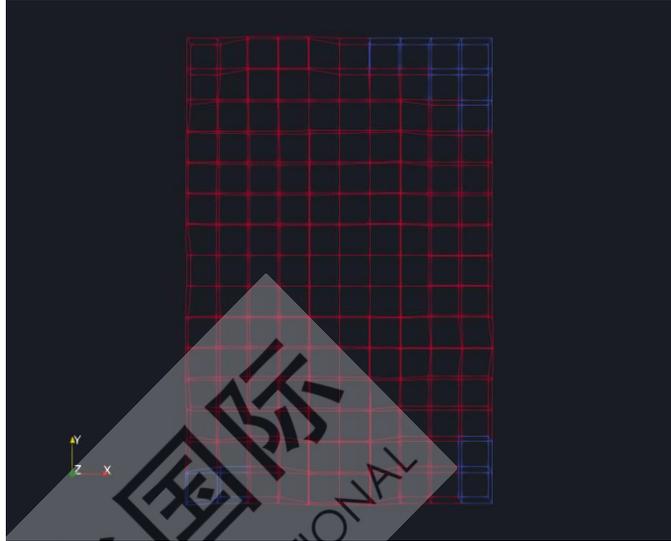
$$y = cQ^f \quad w = aQ^b,$$

		Eleven values (NSTRPTS; see Appendix 1) were used to define the relation of stream depth and width to flow										
Units		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Flow	ft ³ /s	0.5	1.0	2.0	4.0	7.0	10.0	20.0	30.0	50.0	75.0	100.0
Depth	ft	0.25	0.4	0.55	0.7	0.8	0.9	1.1	1.25	1.4	1.7	1.8
Width	ft	3.0	3.5	4.2	5.3	7.0	8.5	12.0	14.0	17.0	20.0	22.0

地表地下水交互模拟实例

MODFLOW水流模型

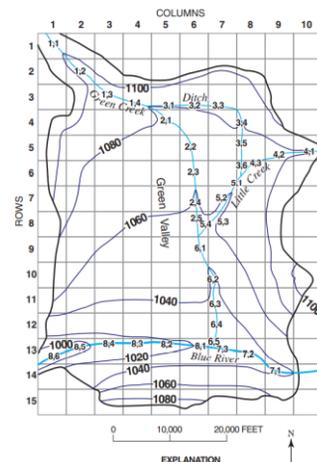
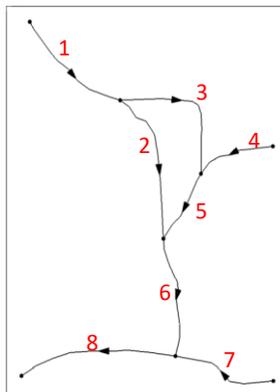
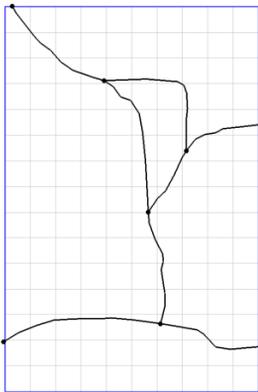
- 活动区域Ibound值
- 顶底高程
- 渗透系数、给水度
- 降水补给、蒸散
- 初始水头、应力期



地表地下水交互模拟实例

创建SFR模块

- 定义河网编号与方向：河段ID、流向、引水工程、上游河段ID、下游河段ID



地表地下水交互模拟实例

定义区段属性

- **河床参数**: 上游与下游河床渗透系数、河床厚度、河床高程
- **ICALC**
 - 0: 上下游河宽、河深
 - 1: 上下游河宽、河道曼宁粗糙系数
 - 2: 河道与河岸曼宁粗糙系数
 - 3: CDPATH、FDPATH、AWDTH、BWDTH
 - 4: 节点数



地表地下水交互模拟实例

SFR链接MODFLOW

- 解释运行

