

## 第二节 地形分析



# 知识点



地形分析概述

地形制图

地形指标计算

流域分析

# 地形分析

## 基本概念

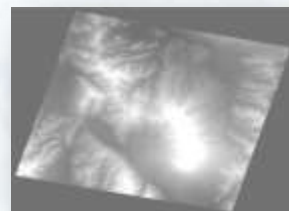
数字地形分析是指在数字高程模型上进行地形属性计算和特征提取的数字信息处理技术。

### 地形分析概述

高程  
矩阵



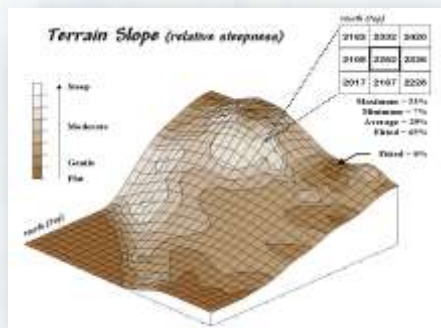
- STRM DEM 数据 90米分辨率
- GDEM数据 30米分辨率
- 我国1:2000、1:5000、1:1万、1:5万、1:25万、1:50万、1:100万 DEM 数据



不规则  
三角网

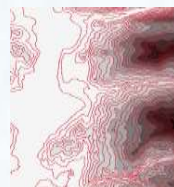
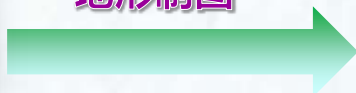


- 使用ArcGIS软件生成

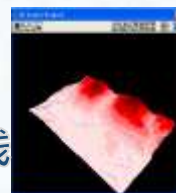


数字高程模型

地形制图

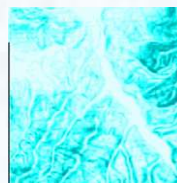


等高线

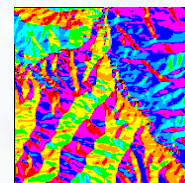


透视图 .....

地形指标的  
计算



坡度



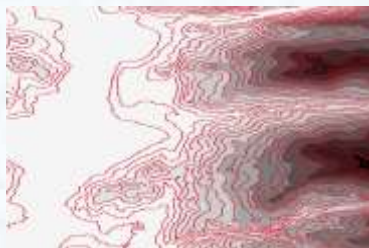
坡向 .....

# 地形分析

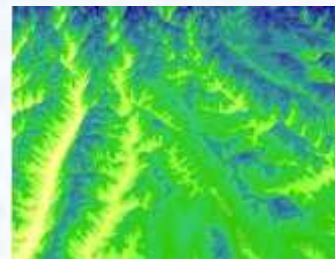
## 地形制图

### 等高线的生成

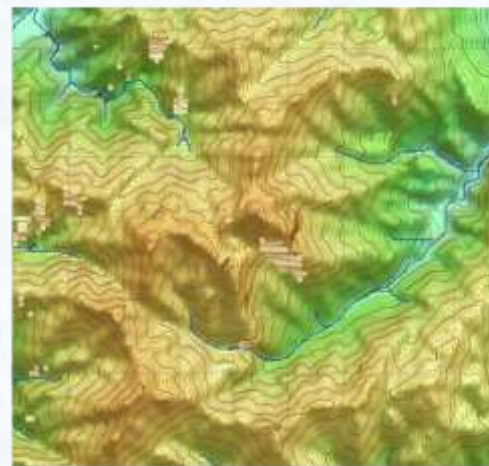
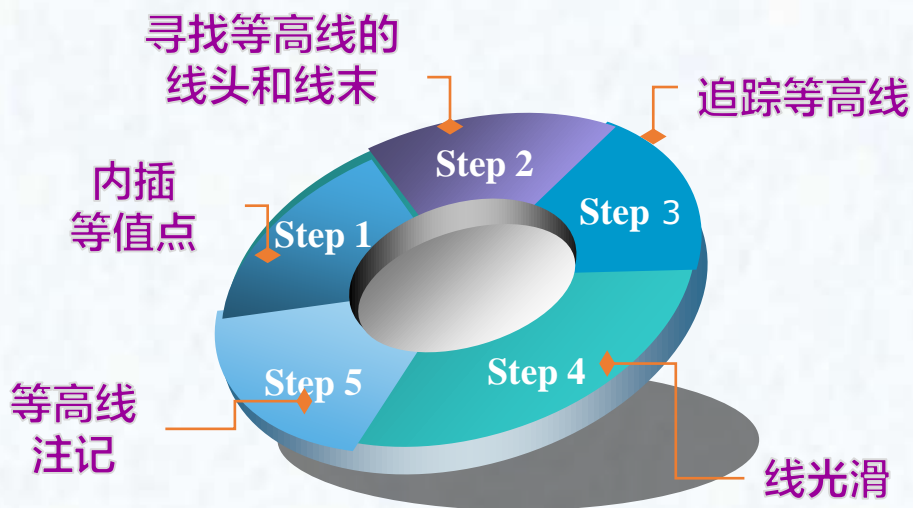
- 等高线指的是地形图上高程相等的各点所连成的闭合曲线。



可利用数字  
高程模型生成  
等高线



DEM上等高线制作原理---以TIN为例。

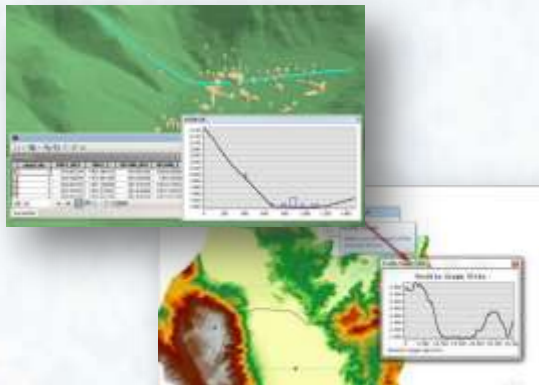




# 地形分析

## 地形制图

### 剖面图法



- 剖面图是假想用**一个剖切平面**将物体剖开，移去介于**观察者和剖切平面**之间的部分，对于剩余的部分向投影面所做的**正投影图**。

### 地貌晕渲法

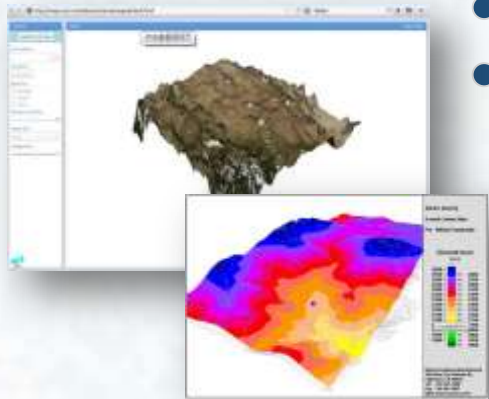


- 晕渲就是用水墨或颜色**渐次浓淡**烘染物象，使分出**阴阳向背**的绘画技法。
- 晕渲法就是把**地形数据**渲染成**立体图**，从而模拟实际地形的起伏变化。

# 地形分析

## 地形制图

### 透视图法

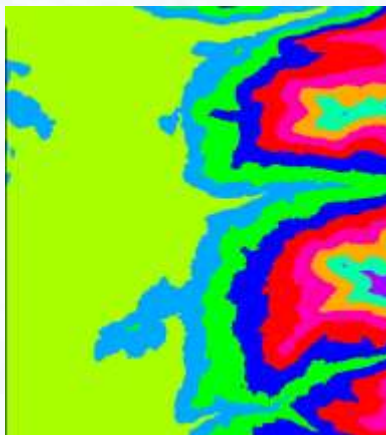
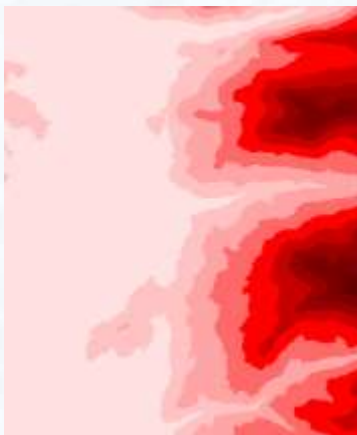


- 准确地将**三维空间**的景物描绘到**二维空间**的平面上称为透视。
- 在平面上得到相对稳定的**立体特征**的画面空间，就是“**透视图**”。

#### 实现步骤：

- 将地形模型分割成**三角形片面**；
- 确定**视点位置**和**观察方向**，对地面进行图形变换；
- **可见面识别**；
- 根据**光照模型**计算可见表面亮度和色彩；
- **纹理映射**；
- 显示可见**三角形表面**（消隐）。

### 分层设色法



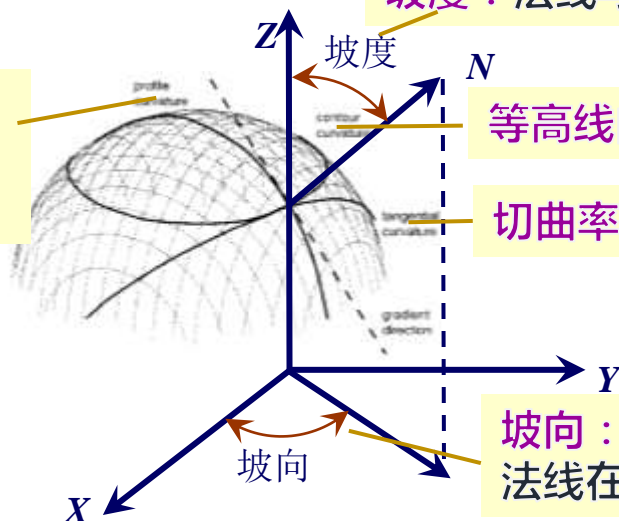
对于数字地形模型，按照不同的**高度**和**深度**进行分层，并使用深浅不同的颜色，鲜明地表示**地面**和**海底**起伏的形态。

# 地形分析

## 地形分析指标

### 地形指标计算

剖面曲率：  
与等高线垂直  
的曲线曲率



坡度：法线与垂直方向之间夹角

等高线曲率：等高线水平曲线曲率

切曲率：与法线方向垂直的曲线曲率

坡向：  
法线在水平面投影与正北方向之间夹角

## 地形分析指标的数学表达

设地形曲面为： $z = f(x, y)$

$$\text{剖面曲率: } ProfileCurvature = -\frac{f_{xx}f_x^2 + 2f_{xy}f_xf_y + f_{yy}f_y^2}{(f_x^2 + f_y^2)(f_x^2 + f_y^2 + 1)^{3/2}}$$

$$\text{等高线曲率: } ContourCurvature = -\frac{f_{yy}f_x^2 - 2f_{xy}f_xf_y + f_{xx}f_y^2}{(f_x^2 + f_y^2)^{3/2}}$$

$$\text{坡度: } Slope = \arctg \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

$$\text{坡向: } Aspect = 180 - \arctg \frac{f_y}{f_x} + 90 \frac{f_x}{|f_x|}$$

$$\begin{aligned} \text{切曲率: } TangentialCurvature \\ = -\frac{f_{xx}f_y^2 - 2f_{xy}f_xf_y + f_{yy}f_x^2}{(f_x^2 + f_y^2)(f_x^2 + f_y^2 + 1)^{1/2}} \end{aligned}$$

# 地形分析

## 基于DEM的坡度、坡向以及曲率的算法表达

- 坡度、坡向的算法表达： $Z_i$ 代表高程值  $g$ 代表栅格大小。

### 地形指标计算

	7	8	9
4		5	6
1		2	3

$f_x = (z_8 - z_2)/2g$ $f_y = (z_6 - z_4)/2g$	二阶差分、 矢量算法、 不完全四次曲面
$f_x = (z_7 - z_1 + z_8 - z_2 + z_9 - z_3)/6g$ $f_y = (z_3 - z_1 + z_6 - z_4 + z_9 - z_7)/6g$	三阶不带权差分、 线性回归平面、 非限制二次曲面、 限制二次曲面
$f_x = (z_7 - z_1 + 2(z_8 - z_2) + z_9 - z_3)/8g$ $f_y = (z_3 - z_1 + 2(z_6 - z_4) + z_9 - z_7)/8g$	三阶反距离平方权差分 带权限制二次曲面、 带权非限制二次曲面

- 曲率的算法表达： $Z_i$ 代表高程值， $GridCell$ 代表栅格大小。

### The Evans method

$$f_x = \frac{z_7 - z_1 + z_8 - z_2 + z_9 - z_3}{6 \times GridCell}$$

$$f_y = \frac{z_3 - z_1 + z_6 - z_4 + z_9 - z_7}{6 \times GridCell}$$

$$f_{xx} = \frac{z_7 + z_9 + z_4 + z_6 + z_1 + z_3 - 2(z_2 + z_5 + z_8)}{3 \times GridCell^2}$$

$$f_{yy} = \frac{z_1 + z_2 + z_3 + z_7 + z_8 + z_9 - 2(z_4 + z_5 + z_6)}{3 \times GridCell^2}$$

$$f_{xy} = \frac{z_9 + z_1 - z_3 - z_7}{4 \times GridCell^2}$$

- The Zevenbergen and Thorne method
- The Sharpy's method
- The Moore's method

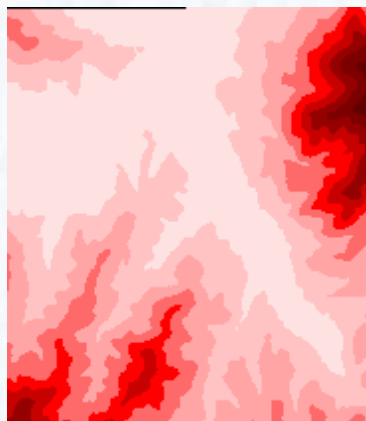


# 地形分析

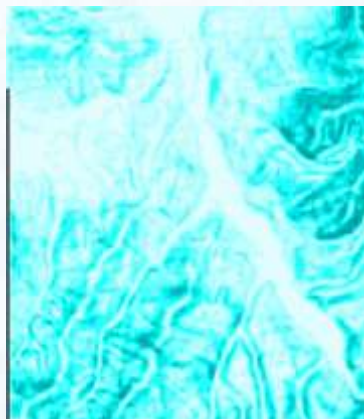
坡度、坡向、剖面曲率、平面曲率的计算实现

地形  
指标  
计算

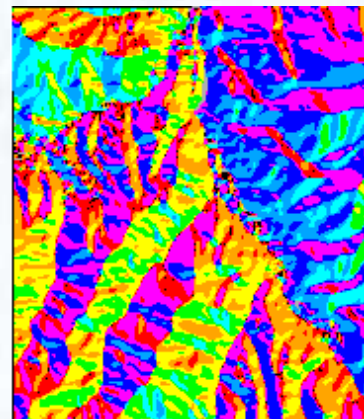
DEM



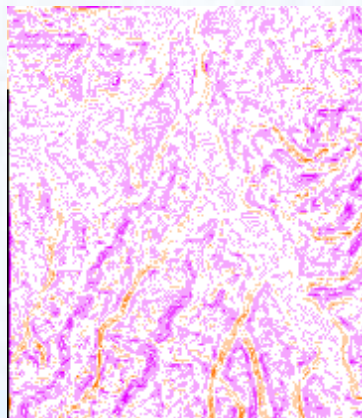
坡度



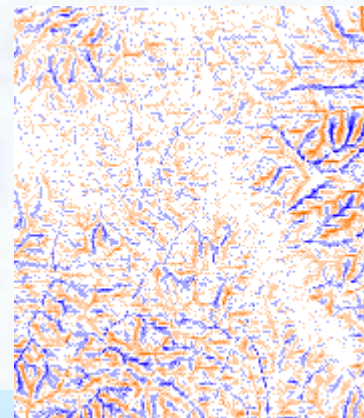
坡向



剖面曲率



平面曲率



# 地形分析

## 应用领域

### 地形分析概述

**采矿工程** - 亚表面模拟和抽取规划

**军事上** - 导弹导航

**市政工程** - 土木工程、建筑和道路规划

**地质学** - 亚表面模型、断层模型

**城乡规划** - 视觉影响分析、设施选址

**地貌学** - 侵蚀和流量模型、排水盆地和分水岭识别、排水网络和运河、水文学的函数模拟

**测深学/水道学** - 近岸建筑物的设计、小比例尺图表



应用领域

# 地形分析

## 基本概念

### 流域分析

流域

- 指由分水线所包围的河流集水区。

分水线

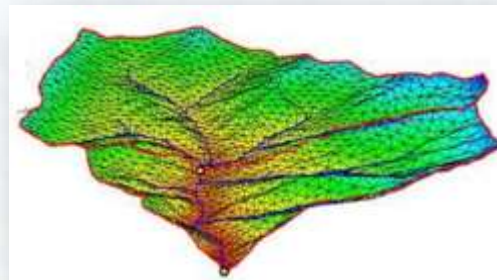
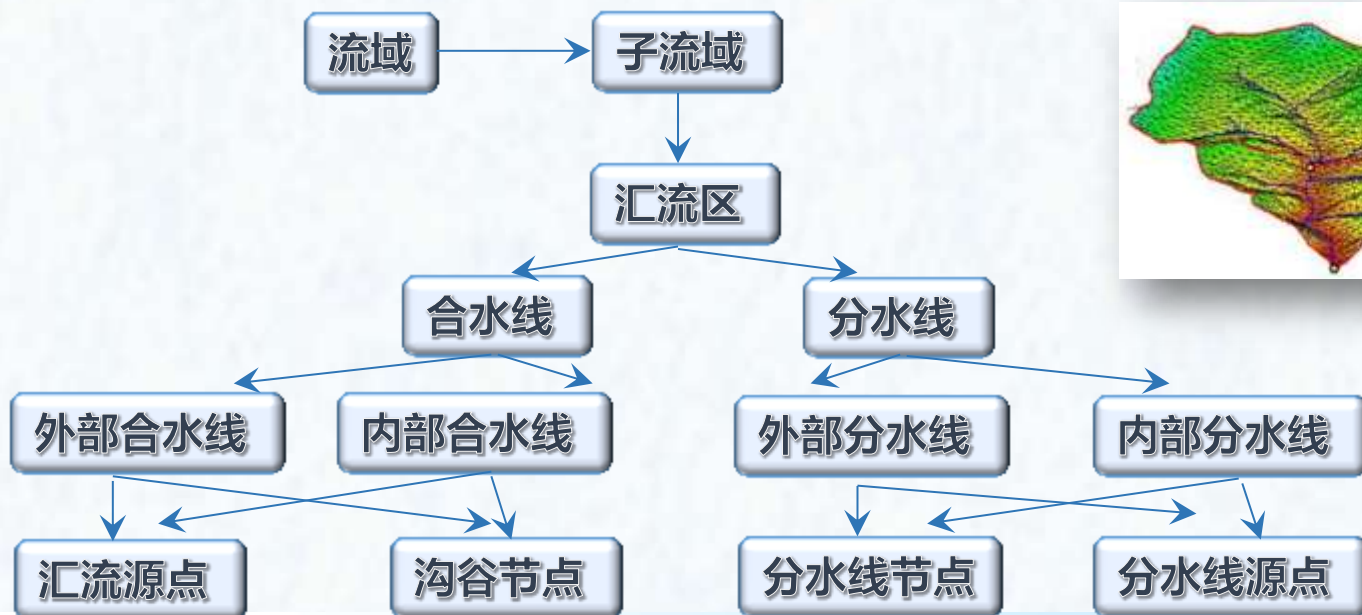
- 分水岭最高点的连线，降落在分水线两侧的降水分别注入两个流域。

集水线

- 山谷最低点的连线称为“山谷线”或“集水线”。

汇流区域

- 地表径流或其他物质汇聚到一共同的出水口的过程中所流经的地表区域，它是一个封闭的区域。



# 地形分析

## 基于DEM流域分析流程

流域分析

DEM

无洼地DEM生成

水流方向确定

水流累计矩阵计算

特征地貌分析

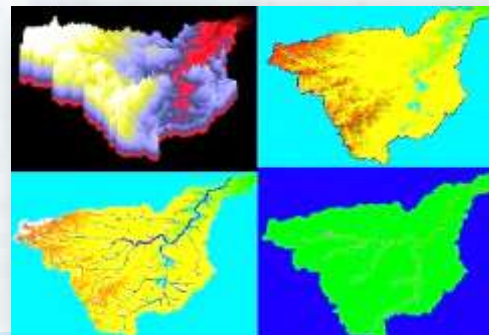
山脊线、山谷线提取

流域特征分析

流域网络提取

流域分割

流域参数统计计算





# 地形分析

## 流域分析

### 无洼地DEM生成

#### 什么是洼地？

近似封闭的比周围地面低洼的地形

#### 为什么要填平洼地？

完整的流域网络  
逆流，流线提取困难

#### 洼地产生的原因？

自然存在  
数据和内插误差  
等高线数据误差



### 洼地填平方法

- 数据平滑法
- 抬高法
- 多因素综合法
- 基于现象方法
- .....

66	62	49
64	48	53
67	64	64

72	66	63	57	52	50	44
68	65	60	53	49	47	50
66	62	49	49	52	57	58
64	48	53	59	60	62	67
67	64	64	66	69	71	75

- 修改高程:
- 等同于周围最低点或周围高程的平均值

# 地形分析

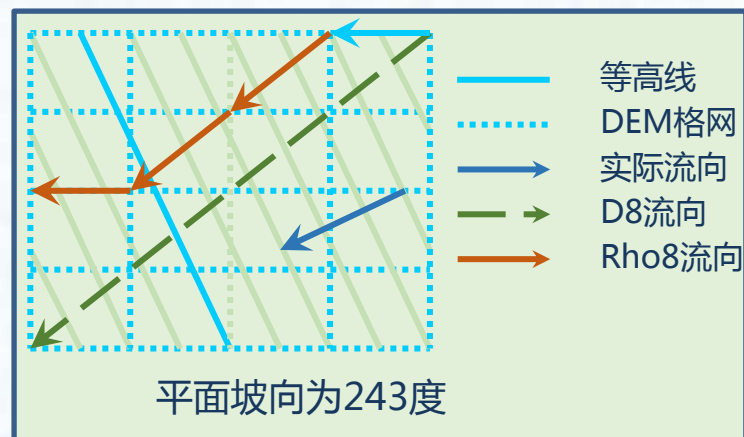
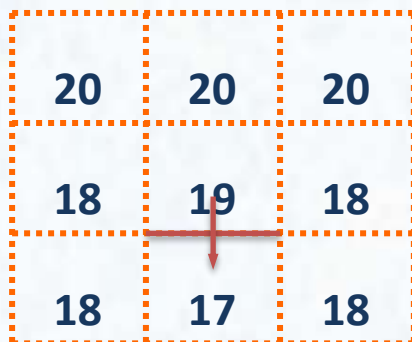
## 流量累计矩阵计算

主要问题：确定当前单元的流向；流量分配比例

### 流域分析

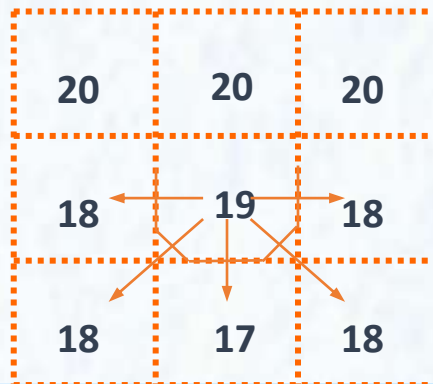
#### 单流向算法

特点：  
位于最陡下游方向上的格网接受全部上游格网流量。



#### 多流向算法

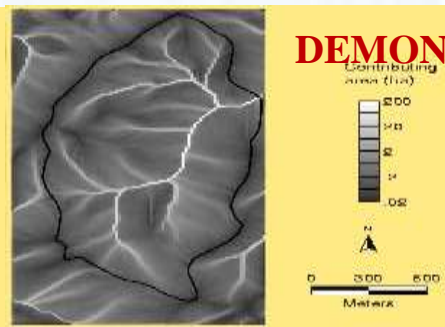
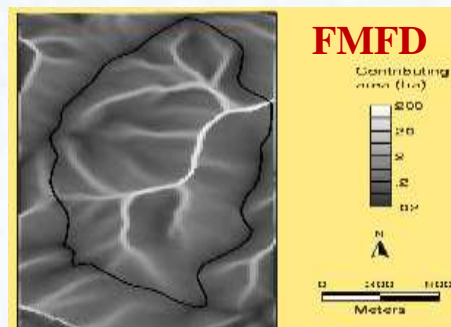
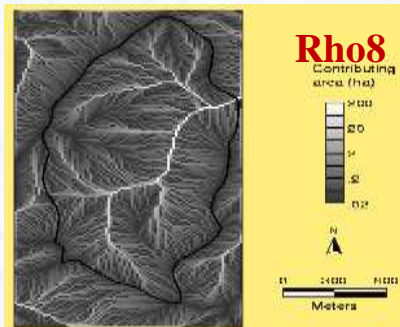
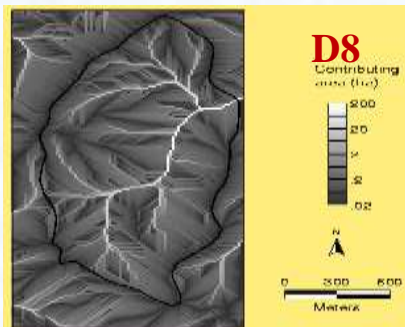
特点：  
所有下游单元格网接受上游格网流量  
根据最陡方向的角度比例分配格网流量  
根据坡向与高程值计算流向



# 地形分析

## 多流向与单流向算法对比

### 流域分析



### 单流向算法

### 多流向算法

	D8	Rho8	FMFD	DEMON
	O'Callaghan and Mark	Fairfield and Leymarie	Freeman	Costa-Cabral and Burges
格网结构影响坡向计算精度	大	大	小	小
存储结构	简单	简单	一般	复杂
健壮性	好	好	好	较差
时间效率	高	高	较高	较低
算法设计	简单	简单	简单	复杂



# 谢谢大家！

