



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

# 地理信息系统教程

Dili Xinxi Xitong Jiaocheng

(第二版)

主编：汤国安



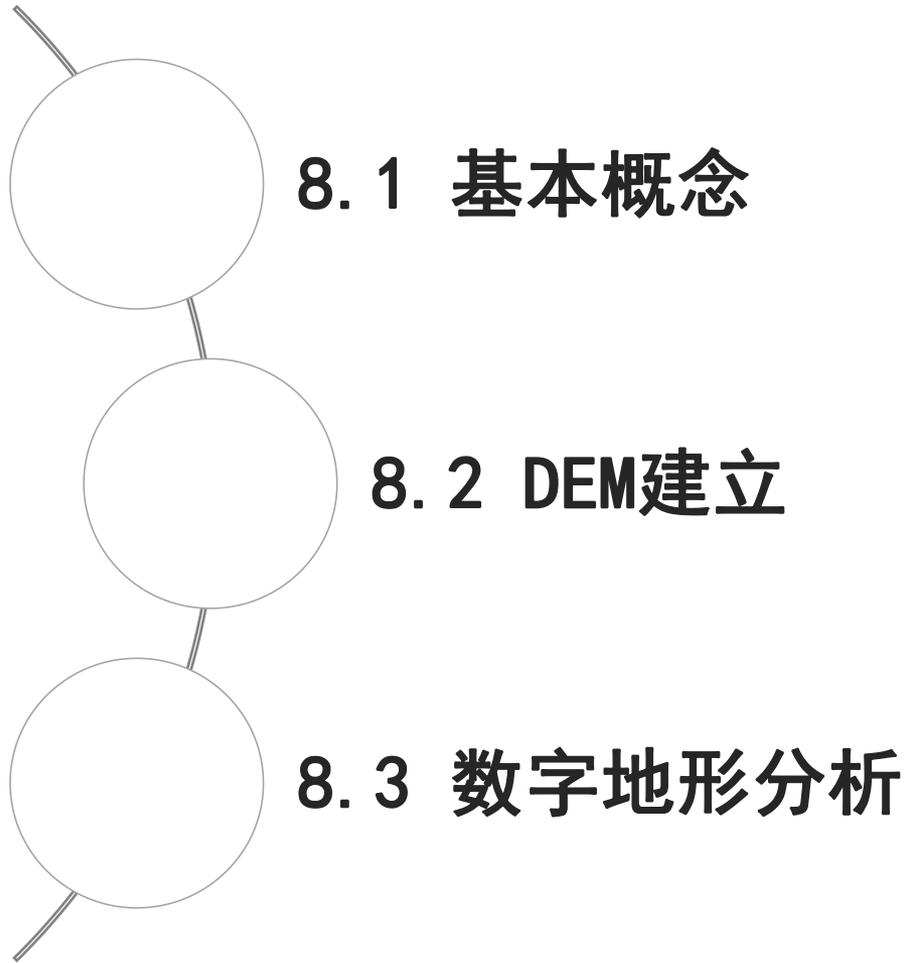
编著：汤国安 刘学军 闫国年  
盛业华 王 春 张海平

高等教育出版社



# 第八章：DEM与数字地形分析

# 本讲大纲





# 8.1 基本概念

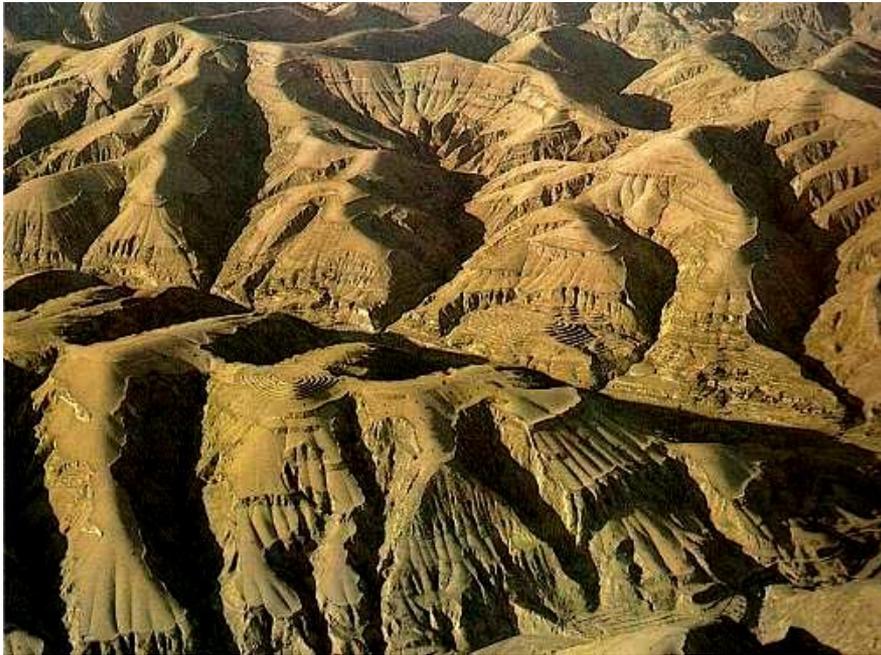
## 当前大纲

8.1.1 数字高程模型

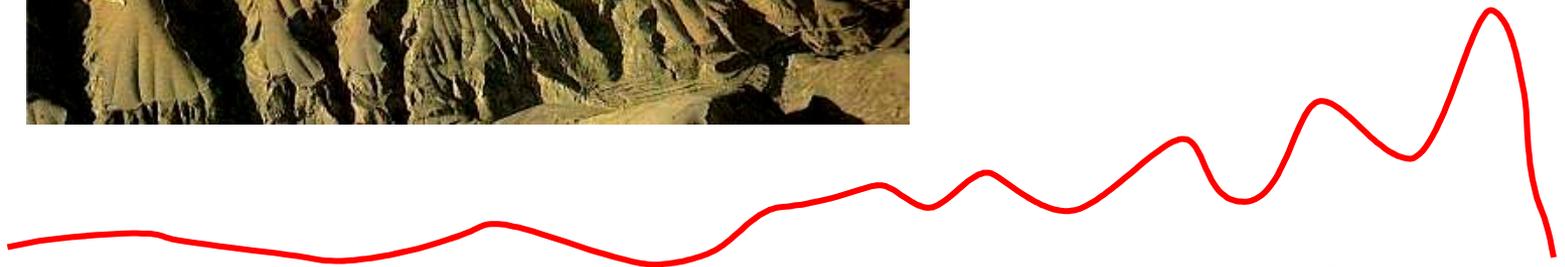
8.1.2 数字地形分析

# 8.1 基本概念

## 8.1.1 数字高程模型



$$Z = F(X, Y) \quad ?$$



$$Y = F(X) \quad ?$$

# 8.1 基本概念

## 8.1.1 数字高程模型

**数字高程模型** (Digital Elevation Model, DEM) 是通过有限的地形高程数据实现对地形曲面的数字化模拟 (即地形表面形态的数字化表示), 它是对二维地理空间上具有连续变化特征地理现象的模型化表达和过程模拟。

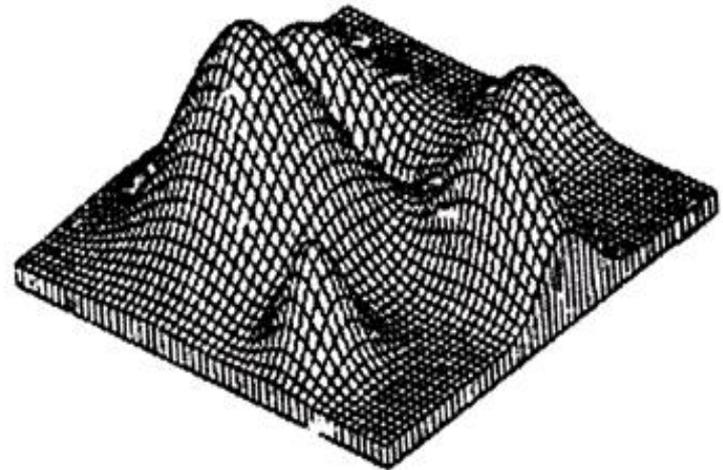
# 8.1 基本概念

## 8.1.1 数字高程模型

数字高程模型在数学中被定义为二维空间的连续函数

$$H = f(x, y)$$

$$DEM = \{M_i = \zeta(P_j) \mid P_j(x_j, y_j, H_j) \in D, j = 1, \dots, n, i = 1, \dots, m\}$$



# 8.1 基本概念

## 8.1.1 数字高程模型

<b>DEM:概念扩展</b>	数字地面模型、数字高程模型的定义
Miller (1958)	数字地面模型是利用一个任意坐标场中大量选择的已知X、Y、Z的坐标点对连续地面的一个简单的统计表示。
Doyle (1978)	数字地面模型是描述地面诸特性空间分布的有序数值阵列，在一般情况下，所记录的地面特性为高程值，它的空间分布由x、y平面坐标系统来描述，也可通过经度和纬度进行描述海拔分布。在新近文献中，称上述高程或海拔分布的数字地面模型为数字高程模型，以与描述其他地面特性的数字地面模型有所区别。DTM可以是每三个三维坐标值为一组的散点结构，也可由多项式或傅里叶级数确定的曲面方程。另外数字地面模型可以包含除高程外的其他地面特性，如地价、土地权属、土壤类型、岩层深度等。
王之卓 (1979)	数字地面模型是地形表面用X、Y、Z坐标的数字形式的一种表达。
Burrough(1986)	A Digital Elevation Model is a quantitative model of a part of the earth' s surface in digital form. Also digital terrain model (DTM).
Weibel (1991)	A DTM is a digital representation of a portion of the earth' s surface.
龚健雅 (1993)	数字地面模型DTM是定义在二维区域上地形特征空间分布及关联信息的一个有限 $n$ 维向量系列 $\{X_i\}$ ，数字高程模型DEM是DTM的一个子集，它表示地形空间分布的一个有限三维向量系列 $\{X,Y,Z\}$ ，其中X,Y表示地形点的平面位置，Z表示相应点的高程。

# 8.1 基本概念

## 8.1.1 数字高程模型

数字地面模型有关术语		
术语	全称	特点与含义
DEM	Digital Elevation Model	以绝对高程或海拔表示的地形模型
DHM	Digital Height Model	以任意高程表示的地形模型，包括绝对高程和相对高程，为德国所使用
DGM	Digital Ground Model	具有连续变化特征的地表实体模型，为英国所使用
	Digital Geomorphology Model	除高程外的其他地貌形态模型，如坡度、坡向等
DTM	Digital Terrain Model	泛指地形表面自然、人文、社会景观模型
DTED	Digital Terrain Elevation Model	为美国国防制图局所使用的地形模型，强调模型的网格结构特征

# 8.1 基本概念

## 8.1.1 数字高程模型

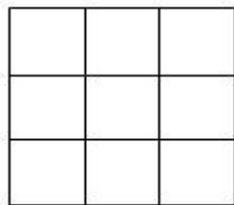
### □ DEM的类型

数字高程模型	范围	局部DEM		
		地区DEM		
		全局DEM		
	连续性	不连续DEM		
		连续DEM		
		光滑DEM		
	结构	面	规则结构	正方形格网结构
				正六边形格网结构
				其他格网结构
		不规则结构	不规则三角网	
			四边形	
		线	等高线结构	
断面结构				
点		散点结构		

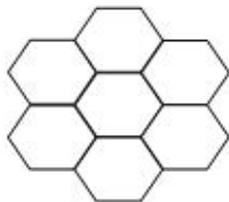
# 8.1 基本概念

## 8.1.2 数字高程模型

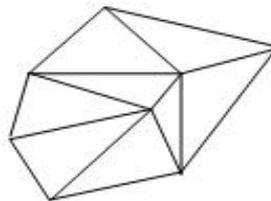
DEM的类型：按照数据的组织方式分



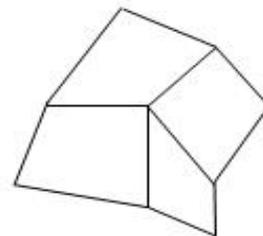
(a) 规则格网 DEM



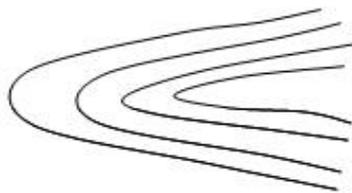
(b) 正六边形  
DEM



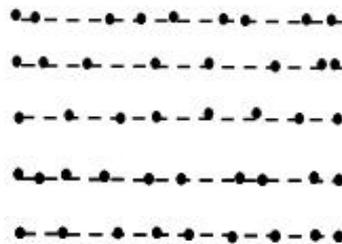
(c) TIN



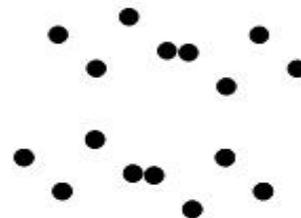
(d) 四边形 DEM



(e) 等高线 DEM



(f) 断面 DEM

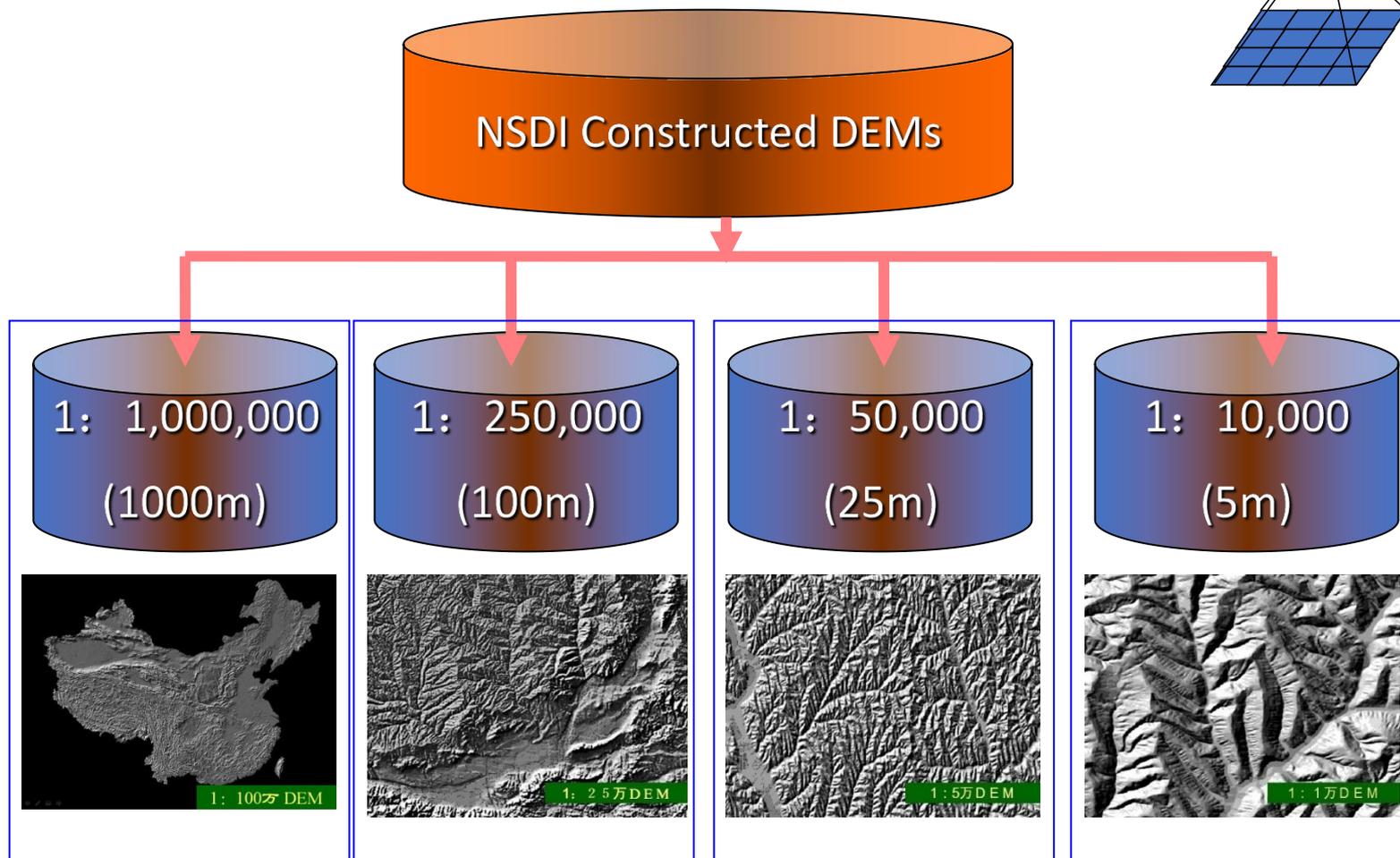
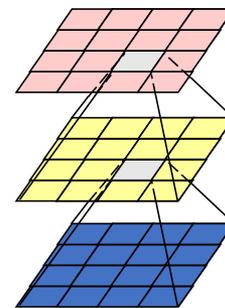


(g) 散点 DEM

# 8.1 基本概念

## 8.1.2 数字高程模型

DEM的类型：按照数据的尺度分



# 8.1 基本概念

## 8.1.2 数字地形分析

**数字地形分析** (Digital Terrain Analysis, DTA) , 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。

DTA技术是各种与地形因素相关空间模拟技术的基础。

**地形属性**根据地形要素的关系特征和计算特征, 可以归纳为**地形曲面参数** (parameters)、**地形形态特征** (features)、**地形统计特征** (statistics) 和**复合地形属性** (compound attributes) 。

# 8.1 基本概念

## 8.1.2 数字地形分析

**地形曲面参数**具有明确的数学表达式和物理定义，并可在DEM上直接量算，如坡度、坡向、曲率等。

**地形形态特征**是地表形态和特征的定性表达，可以在DEM上直接提取，其特点是定义明确，但边界条件有一定的模糊性，难以用数学表达式表达，如在实际的流域单元的划分中，往往难于确定流域的边界。

**地形统计特征**是指给定地表区域的统计学上的特征。

**复合地形属性**是在地形曲面参数和地形形态特征的基础上，利用应用学科（如水文学、地貌学和土壤学）的应用模型而建立的环境变量，通常以指数形式表达。

# 8.1 基本概念

## 8.1.2 数字地形分析

### □ 主要内容

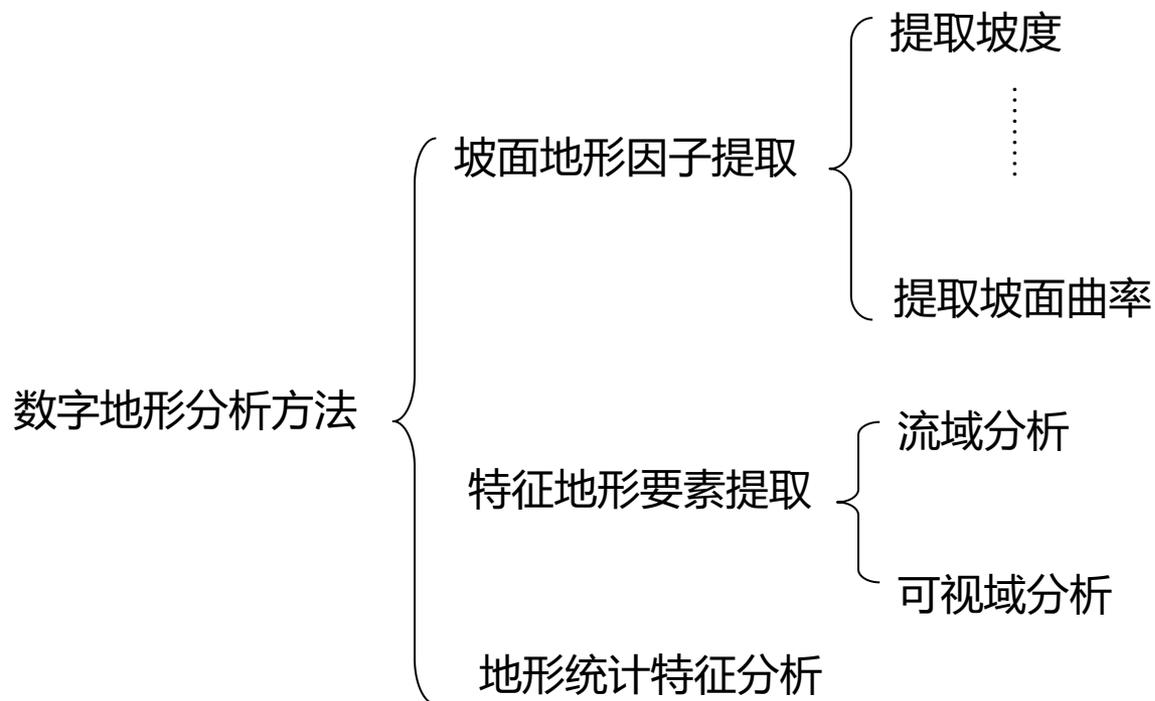
一是提取描述地形属性和特征因子，并利用各种相关技术分析解释地貌形态、划分地貌形态等。

二是DTM的可视化分析。

# 8.1 基本概念

## 8.1.2 数字地形分析

### □ 数字地形分析方法



# 8.1 基本概念

## 8.1.2 数字地形分析

### □ 数字地形分析方法

#### 1. 提取坡面地形因子

地形定量因子是为有效地研究与表达地貌形态特征所设定的具有一定意义的参数或指标。

从地形地貌的角度考虑，地表是由不同的坡面组成的，而地貌的变化，完全源于坡面的变化。常用的坡面地形因子有坡度、坡向、平面曲率、坡面曲率、地形起伏度、粗糙度、切割深度等。

# 8.1 基本概念

## 8.1.2 数字地形分析

### □ 数字地形分析方法

#### 2. 提取特征地形要素

##### (1) 流域分析

流域分析主要是根据地表物质运动的特性，特别是水流运动的特点，利用水流模拟的方法来提取水系、山脊线、谷底线等地形特征线，并通过线状信息分析其面域特征。

##### (2) 可视域分析

可视性分析包括两方面内容，一个是两点之间的通视性(Intervisibility)，另一个是可视域(ViewShed)，即对于给定的观察点所覆盖的区域。

# 8.1 基本概念

## 8.1.2 数字地形分析

### □ 数字地形分析方法

### 3.地形统计特征分析

地形统计分析是应用统计方法对描述地形特征的各种可量化的因子或参数进行相关、回归、趋势面、聚类等统计分析，找出各因子或参数的变化规律和内在联系，并选择合适的因子或参数建立地学模型，从更深层次探讨地形演化及其空间变异规律。



# 8.2 DEM建立

## 当前大纲

8.2.1 DEM建立的一般步骤

8.2.2 格网DEM的建立

8.2.3 TIN的建立

8.2.4 等高线的建立

8.2.5 DEM内插方法

## 8.2 DEM的建立

### 8.2.1 DEM建立的一般步骤

- ❑ 数字高程模型的建立过程是一个模型建立过程。从模型论角度讲，就是将源域（地形）表现在另一个域（目标域或DEM）中的一种结构，建模的目的是对**复杂的客体进行简化和抽象**，并把对客体（源域，DEM中为地形起伏）的研究转移到对模型的研究上来。
- ❑ 模型建立之初，首先要为模型构造一个合适的**空间结构**（spatial framework）。空间结构是为把特定区域内的空间目标镶嵌在一起而对区域进行的划分，划分出的各个空间范围称为位置区域或空间域。空间结构一般是规则的（如格网），或不规则的（如不规则三角网TIN）。

# 8.2 DEM的建立

## 8.2.1 DEM建立的一般步骤

### □ 构筑模型的一般内容与过程

- ①采用合适的空间模型构造空间结构;
- ②采用合适的属性域函数;
- ③在空间结构中进行采样, 构造空间域函数;
- ④利用空间域函数进行分析。

# 8.2 DEM的建立

## 8.2.1 DEM建立的一般步骤

### □ DEM数据模型与数据结构

#### 1. DEM 数据模型

DEM 数据模型是一个地貌的抽象模型，它为地形的存储、处理和应用建立了一个数据记录与组织的基础，一个DEM的数据模型明确的决定了DEM数据的结构。

#### 2. DEM 数据结构

DEM 数据结构是在计算机中存储与组织表面高程数据的特定方法，因此它能够有效的使用。

# 8.2 DEM的建立

## 8.2.1 DEM建立的一般步骤

### □ DEM数据模型与数据结构

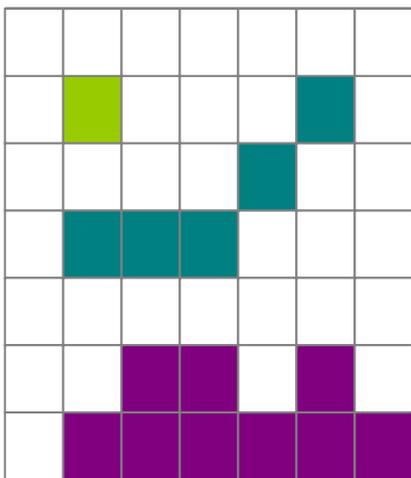
1. Regular Grid-Based DEM (规则格网)
2. TIN Based DEM (不规则三角网)
3. Contour-Based DEM
4. Points-Based DEM
5. Profile-Based DEM
6. Hybrid-Based DEM
7. String-Based DEM

# 8.2 DEM的建立

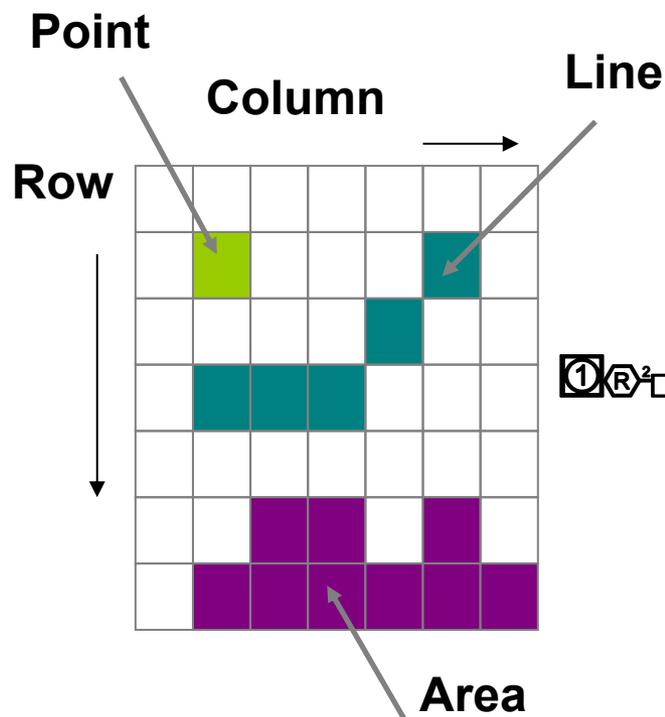
## 8.2.2 格网DEM的建立

### □ Regular Grid-Based DEM (规则格网)

二维矩阵的格网分割



Vector data model



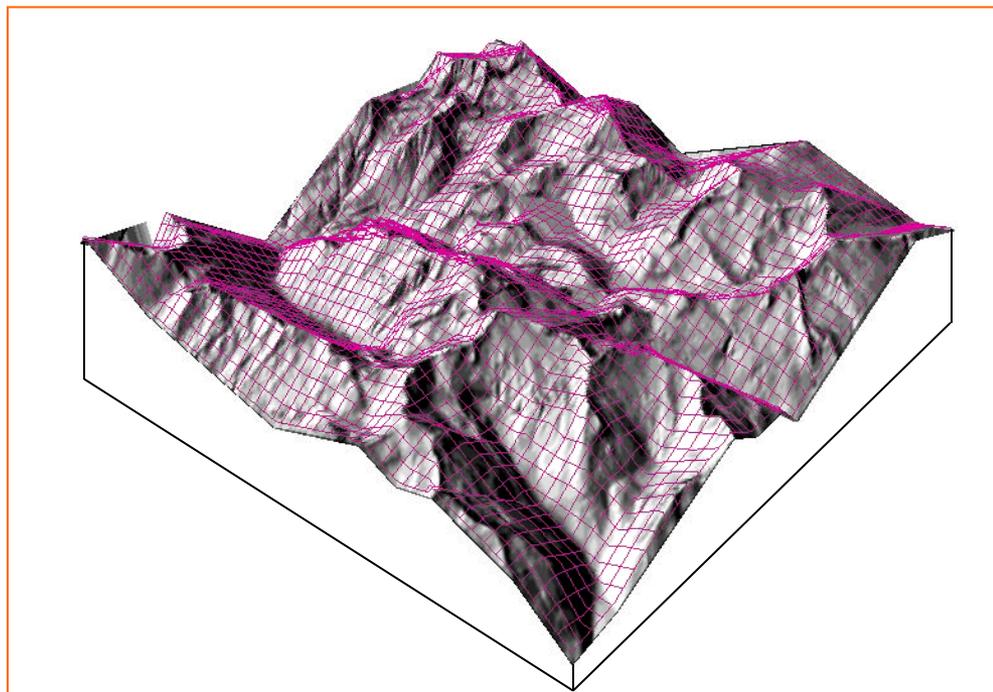
Raster data model

# 8.2 DEM的建立

## 8.2.2 格网DEM的建立

### □ Regular Grid-Based DEM (规则格网)

地形表面被分为一序列的格网单元，每个网格存储一个高程值。



# 8.2 DEM的建立

## 8.2.2 格网DEM的建立

### □ Regular Grid-Based DEM (规则格网)

#### • 特点

- 简单存储结构 (二维矩阵)
- 易于与RS图像结合
- 数据冗余
- 不能明确表达地形结构的详细信息

#### • 存储结构

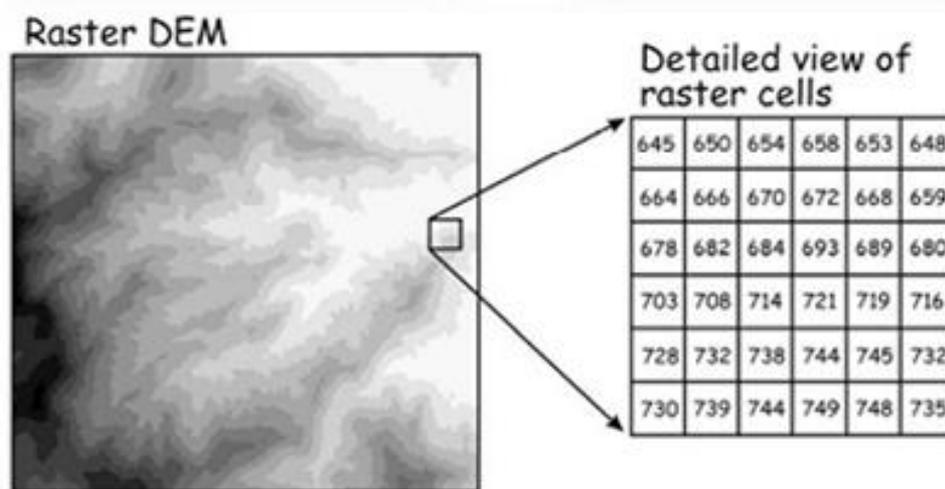
- 直接
- 压缩

# 8.2 DEM的建立

## 8.2.2 格网DEM的建立

### □ Regular Grid-Based DEM (规则格网)

- 栅格数据结构中，数据被存储在格网的行列中。
- 行列相交的栅格单元带有其属性值。
- 每个栅格的行列号代表真实地表的位置，而行列号所对应的Z值代表高程值或者其他的属性值。

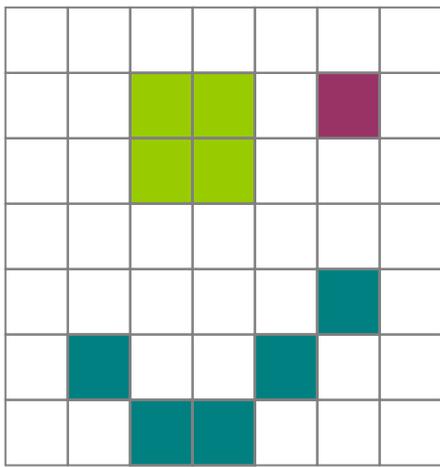


# 8.2 DEM的建立

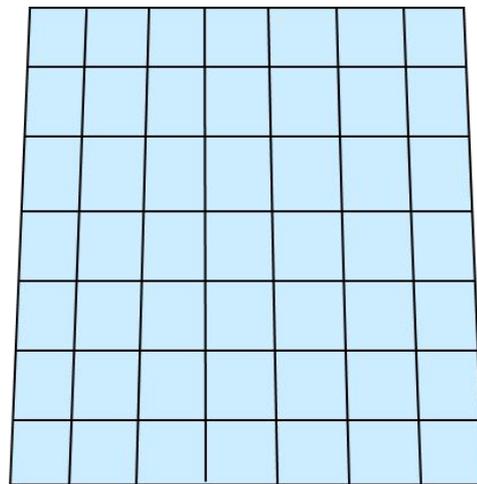
## 8.2.2 格网DEM的建立

### □ Regular Grid-Based DEM (规则格网)

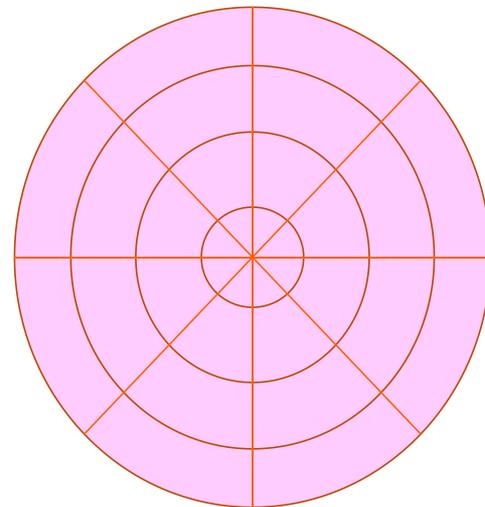
DEM格网参数：形状，分辨率，位置，方向



正方形格网



分级格网



同心圆格网

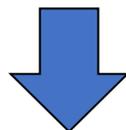
# 8.2 DEM的建立

## 8.2.2 格网DEM的建立

### □ Regular Grid-Based DEM (规则格网)

DEM格网参数：形状，分辨率，位置，方向

$$DEM = \begin{pmatrix} H_{11} & H_{12} & \cdots & H_m \\ H_{21} & H_{22} & \cdots & H_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ H_{n1} & H_{n2} & \cdots & H_{nm} \end{pmatrix}_{n \times m}$$



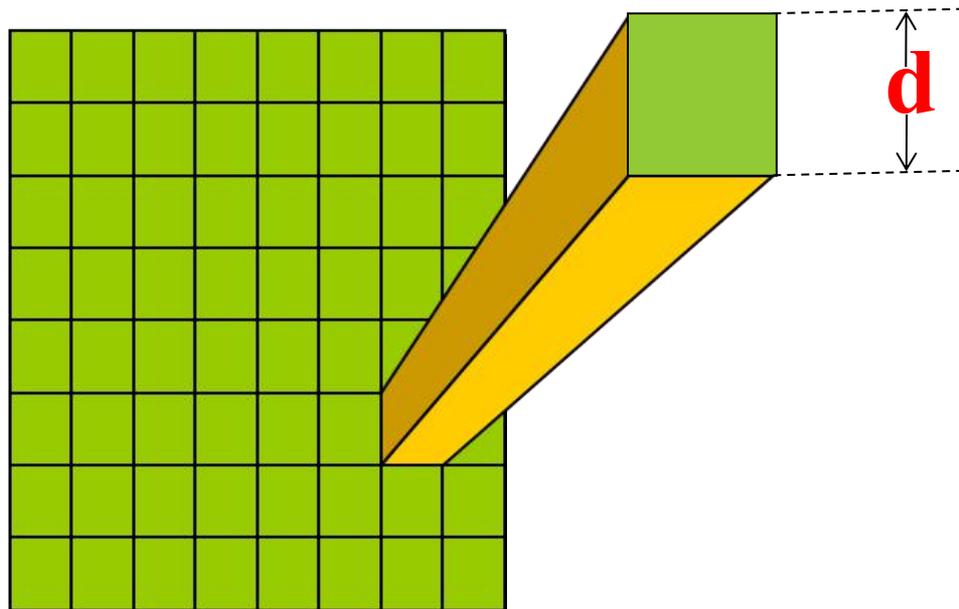
**DEM (i, j)**

# 8.2 DEM的建立

## 8.2.2 格网DEM的建立

### □ Regular Grid-Based DEM (规则格网)

DEM格网参数：形状，分辨率，位置，方向



**d**选择的原则：

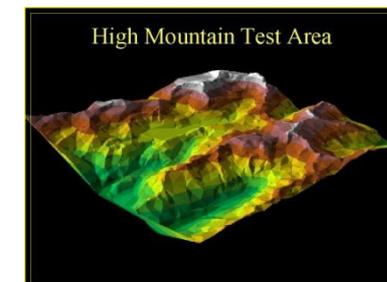
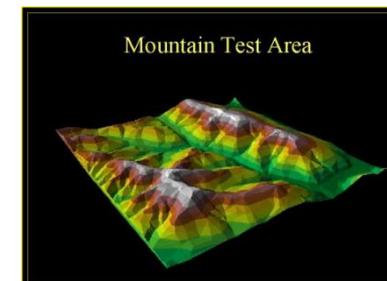
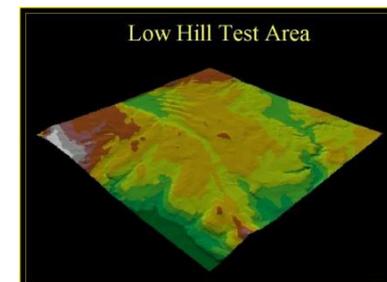
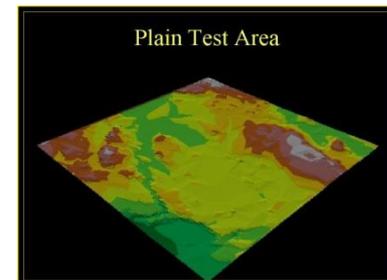
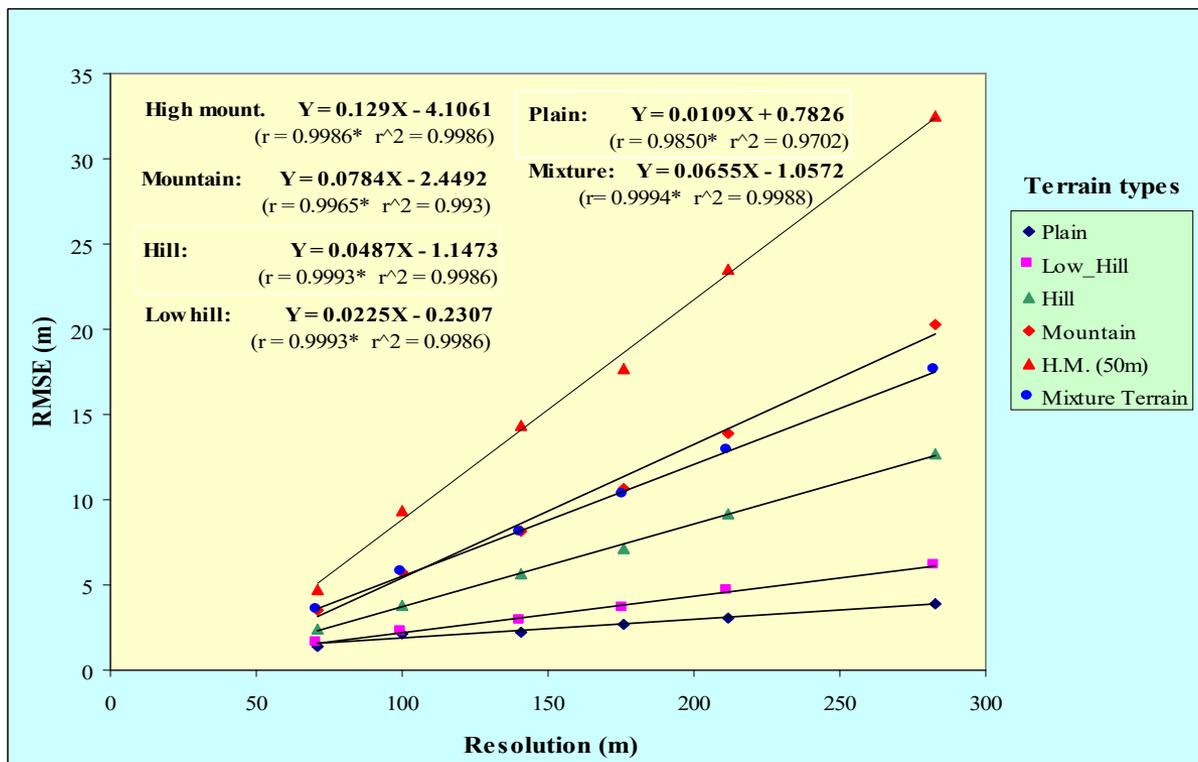
1. 保证精度
2. 避免数据冗余
3. 符合标准

# 8.2 DEM的建立

## 8.2.2 格网DEM的建立

### □ Regular Grid-Based DEM (规则格网)

DEM格网参数：形状，分辨率，位置，方向

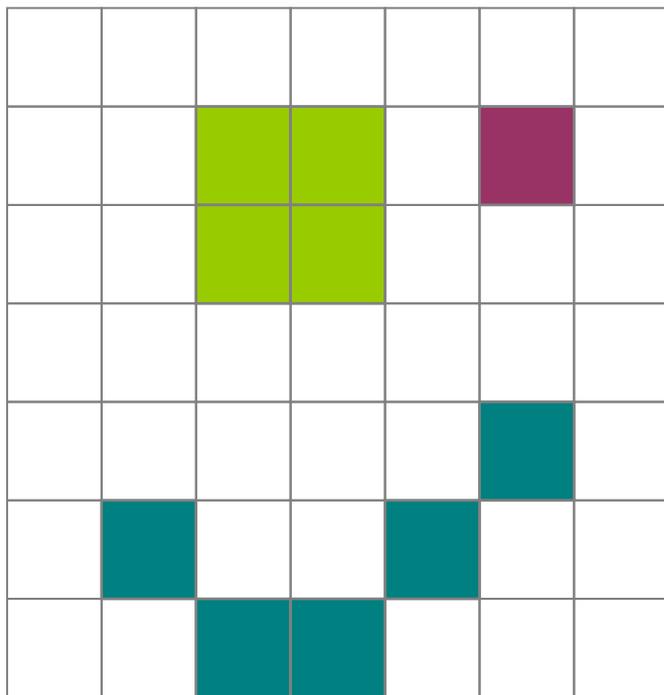


# 8.2 DEM的建立

## 8.2.2 格网DEM的建立

### □ Regular Grid-Based DEM (规则格网)

DEM格网参数：形状，分辨率，位置，方向

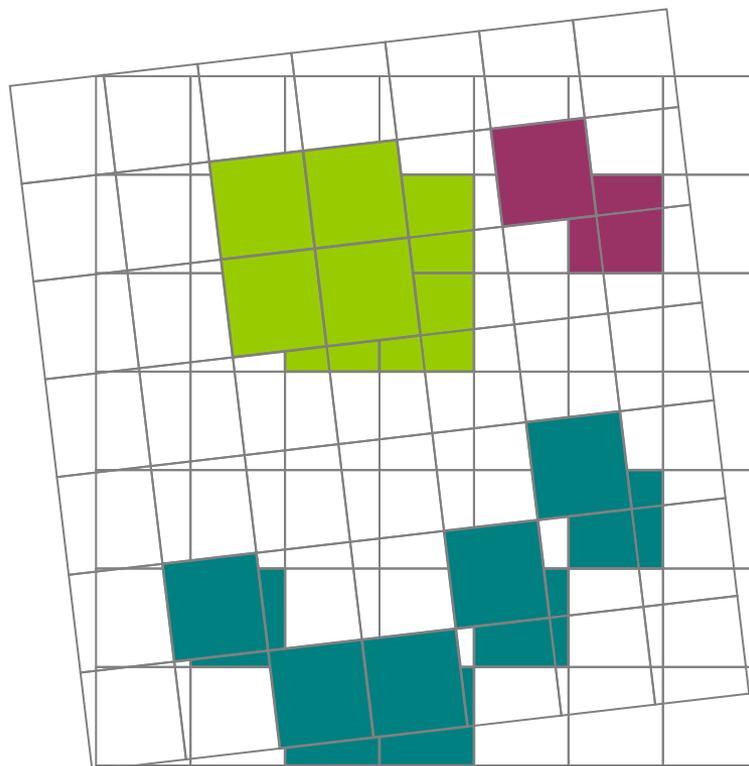


# 8.2 DEM的建立

## 8.2.2 格网DEM的建立

### □ Regular Grid-Based DEM (规则格网)

DEM格网参数：形状，分辨率，位置，方向



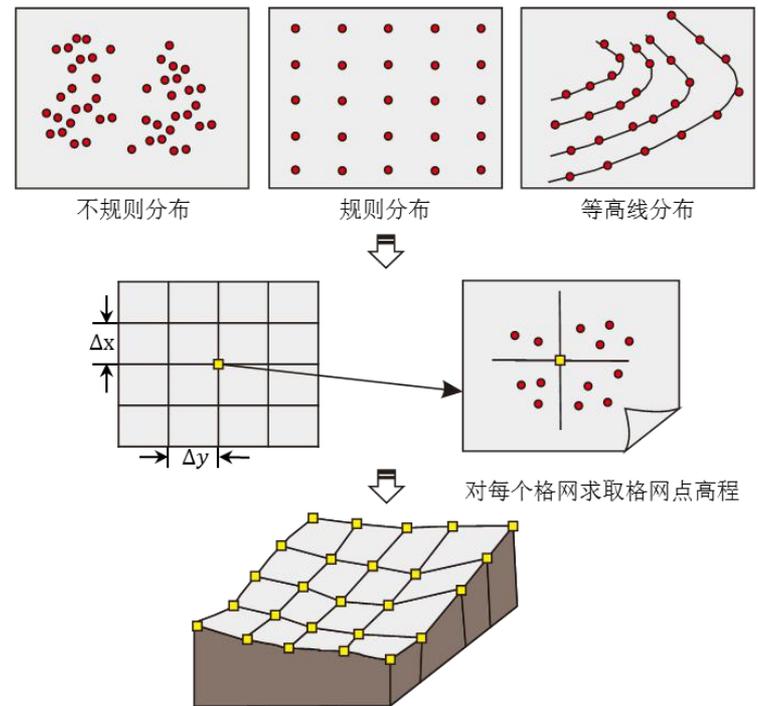
# 8.2 DEM的建立

## 8.2.2 格网DEM的建立

### □ Regular Grid-Based DEM (规则格网)

DEM是在二维空间上对三维地形表面的描述。

构建DEM的整体思路是首先在二维平面上对研究区域进行格网划分（格网大小取决于DEM的应用目的），形成覆盖整个区域的格网空间结构，然后利用分布在格网点周围的地形采样点内插计算格网点的高程值，最后按一定的格式输出，形成该地区的格网DEM。

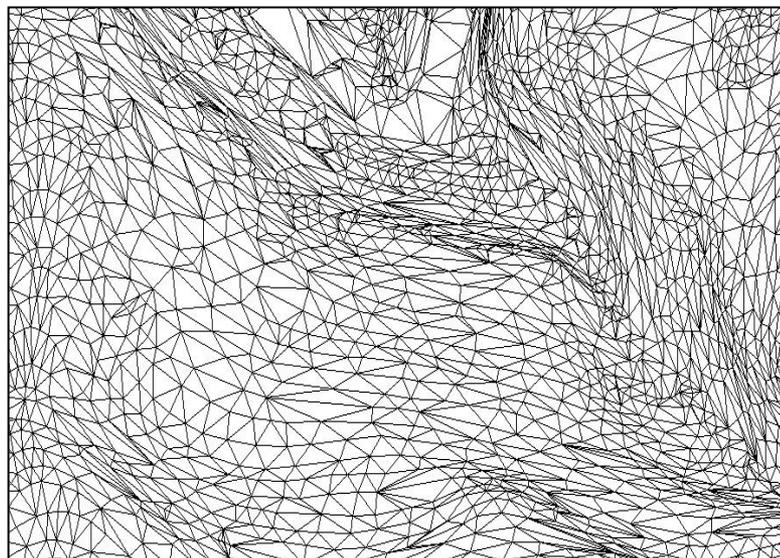


# 8.2 DEM的建立

## 8.2.3 TIN的建立

### □ TIN

- 概念: 将离散的点连接成连续的最优结构三角面
- Triangulated Irregular Network (TIN)。
- 特性
  - 可变的分辨率
  - 顾及地形结构
  - 存储复杂



# 8.2 DEM的建立

## 8.2.3 TIN的建立

### □ TIN

三角形作为TIN的主要元素，可以通过多种方法构建。这些方法都必须符合一定的剖分准则。

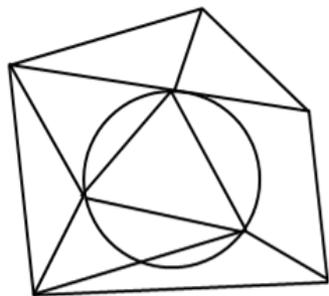
一般必须满足的要求包括：

- 1) 使三角形形状最佳，即尽量接近正三角形。
- 2) 保证最近的三个点在同一三角形上。
- 3) 三角网络是唯一的（不能出现四点共线）。

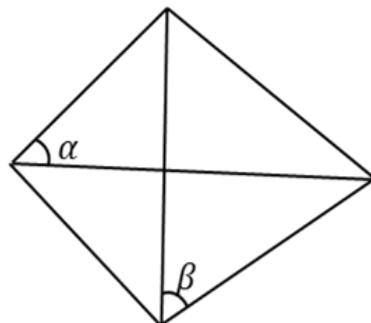
# 8.2 DEM的建立

## 8.2.3 TIN的建立

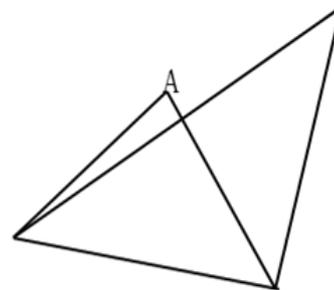
### □ TIN---三角剖分准则



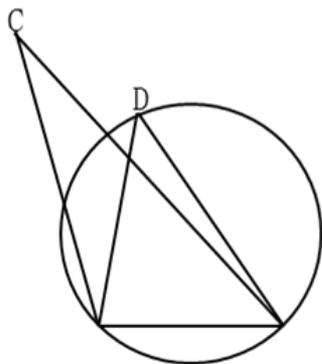
(a) 空外接圆准则



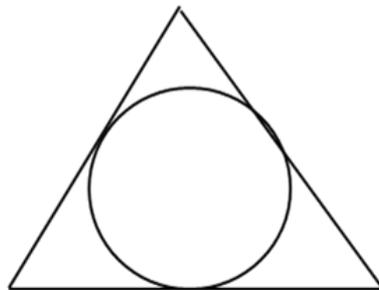
(b) 最大最小角准则



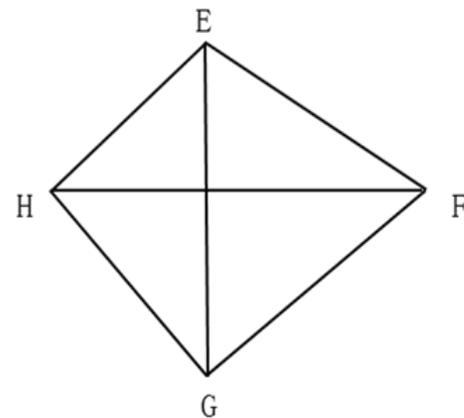
(c) 最短距离和准则



(d) 张角最大准则



(e) 面积比准则

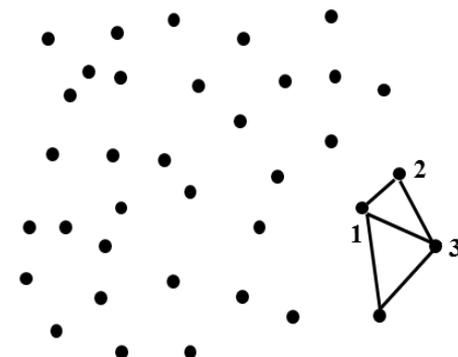
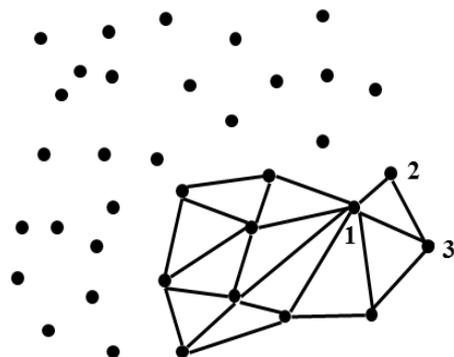
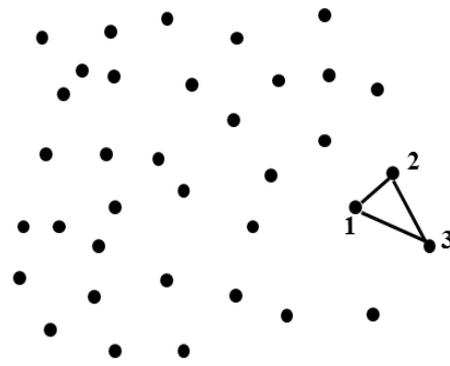
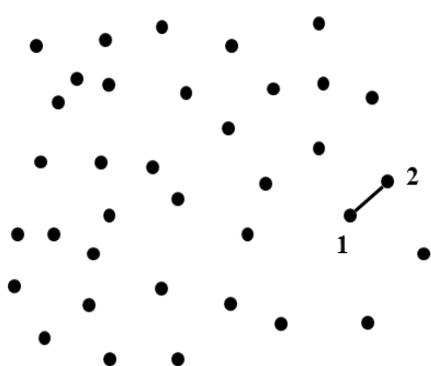


(f) 对角线准则

# 8.2 DEM的建立

## 8.2.3 TIN的建立

### □ TIN---不规则三角网构建过程



## 8.2 DEM的建立

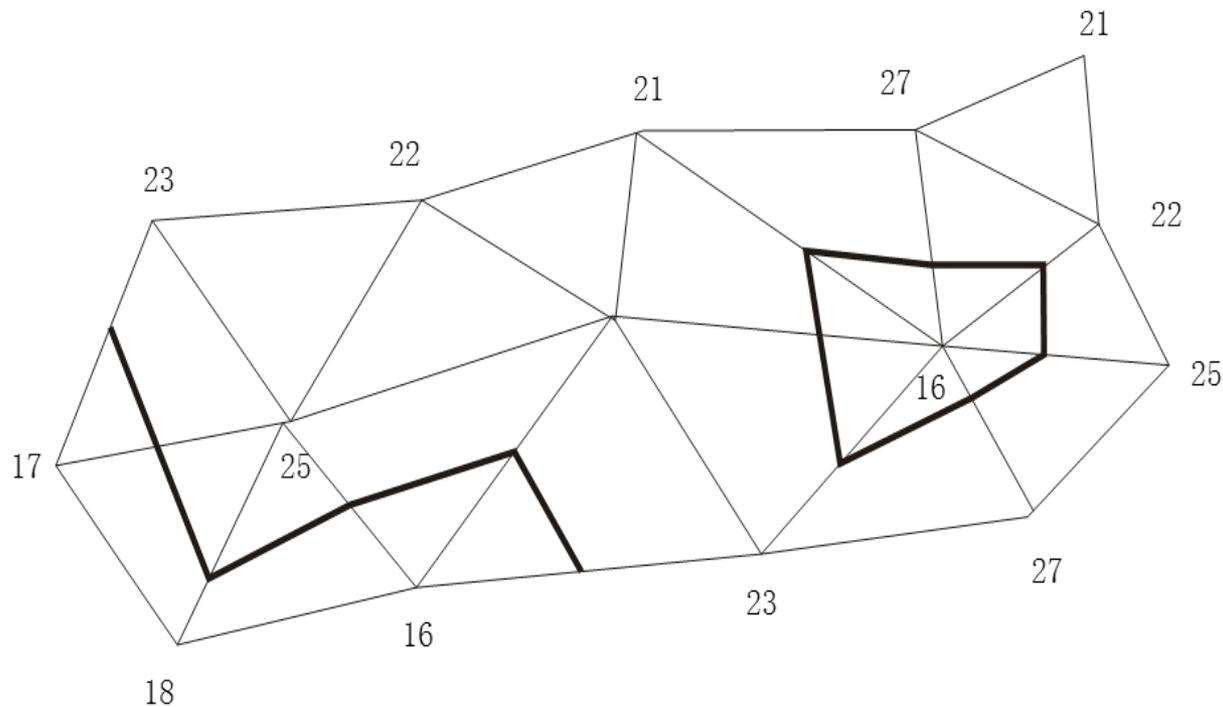
### 8.2.4 等高线的建立

- 等高线DEM的建立实际上将数据源转换为特定DEM结构的过程。
- 该过程包含了以下几个步骤：首先选取合适的空间模型，如规则格网或不规则格网TIN；其次，确定空间域函数，即内插函数；最后，利用空间域函数进行分析，即求取指定点上的函数值。

# 8.2 DEM的建立

## 8.2.4 等高线的建立

### □ 基于TIN的等高线生成方法



## 8.2 DEM的建立

### 8.2.5 DEM内插方法

- ❑ 格网DEM的构建方法是将原始离散点转换为规则分布的格网点的数学变换过程。
- ❑ 空间内插是构建栅格DEM不可或缺的方法。

# 8.2 DEM的建立

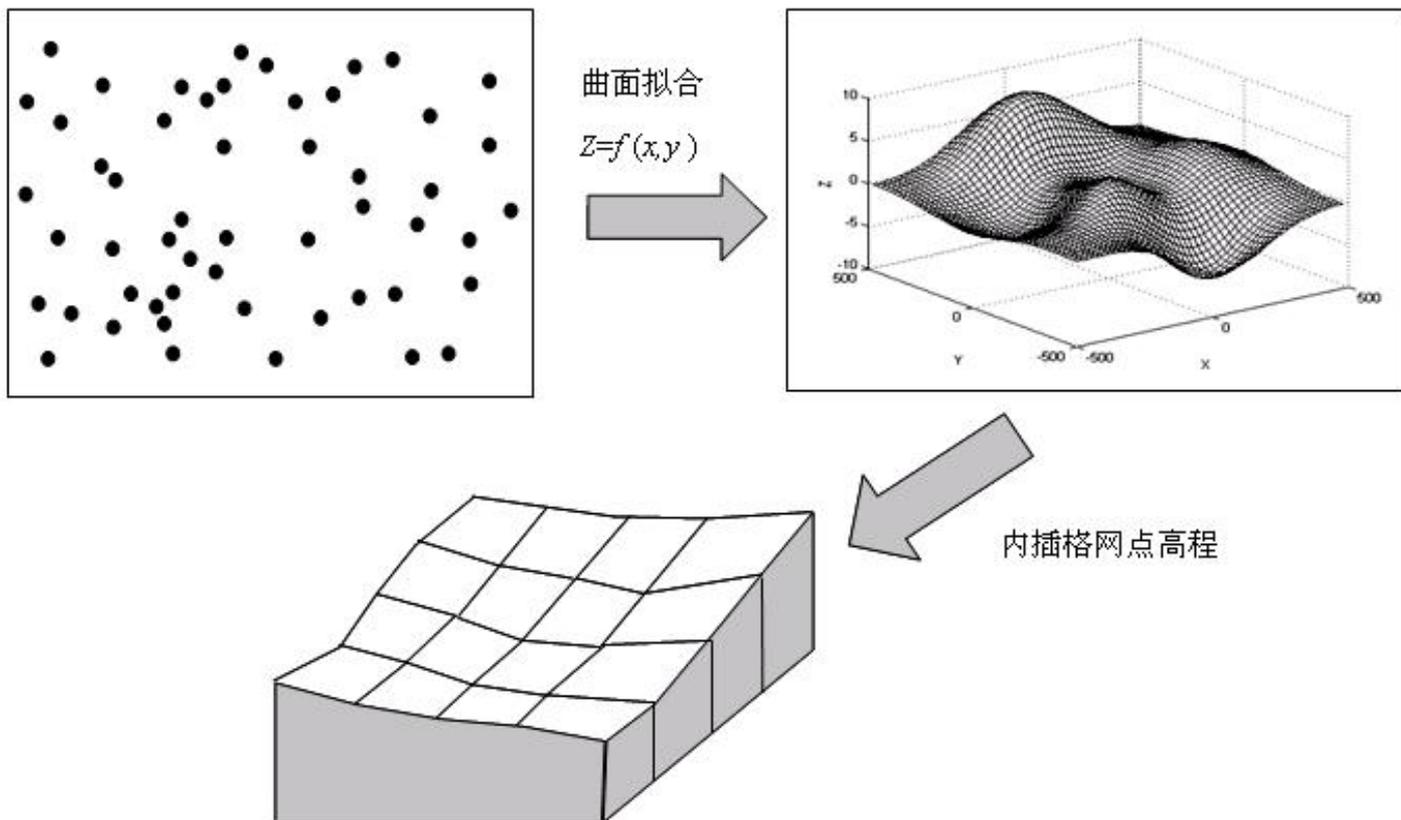
## 8.2.5 DEM内插方法

DEM 内插	数据分布	规则分布内插方法	
		不规则分布内插方法	
		等高线数据内插方法	
	内插范围	整体内插方法	
		局部内插方法	
		逐点内插方法	
	内插曲面与参考点关系	纯二维内插	
		曲面拟合内插	
	内插函数性质	多项式内插	线性插值
			双线性插值
			高次多项式插值
		样条内插	
		有限元内插	
		最小二乘配置内插	
		地形特征理解	克立金内插
	多层曲面叠加内插		
	加权平均值内插		
分形内插			
傅立叶级数内插			

# 8.2 DEM的建立

## 8.2.5 DEM内插方法

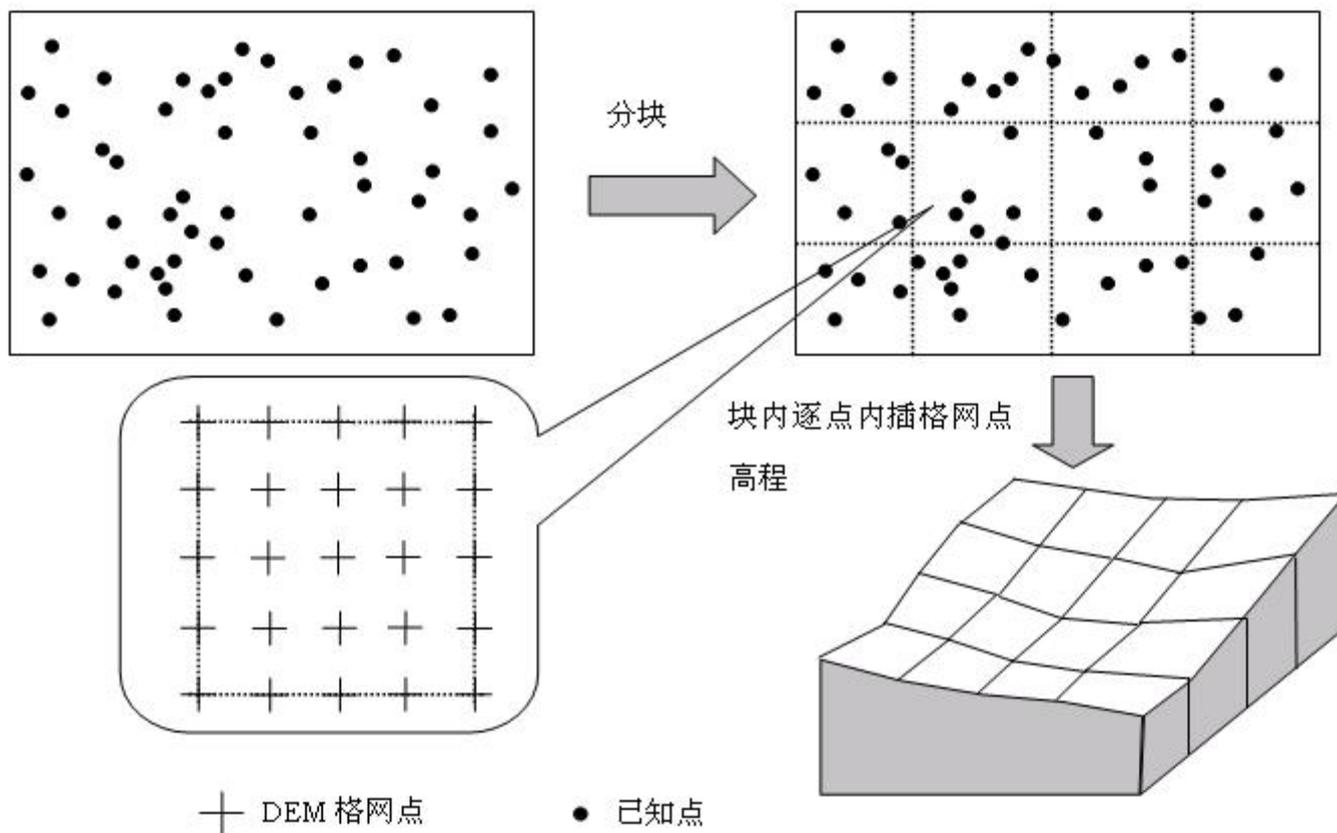
### □ 整体内插



# 8.2 DEM的建立

## 8.2.5 DEM内插方法

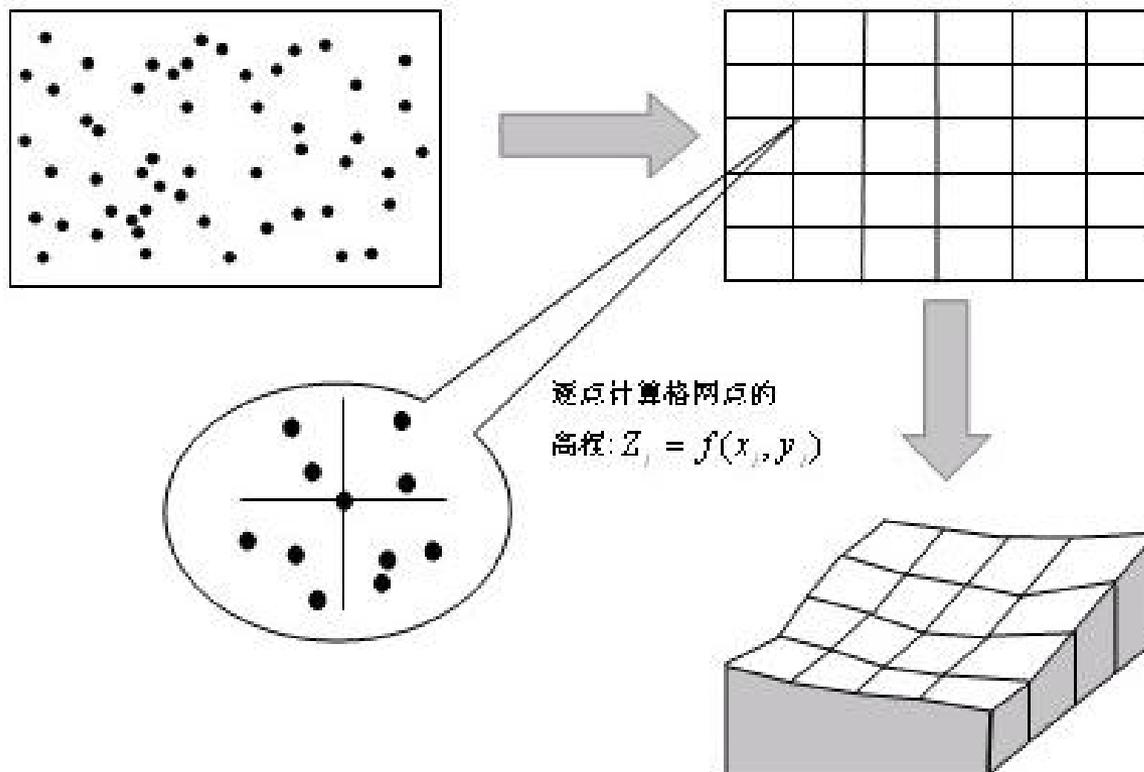
### □ 局部分块内插



# 8.2 DEM的建立

## 8.2.5 DEM内插方法

### □ 逐点内插法



# 8.2 DEM的建立

## 8.2.5 DEM内插方法

### □ 内插类型

- 反距离加权内插 Inverse Distance Weighting (IDW)
- 自然邻近法 Natural Neighbors
- 克里金 Kriging
- 样条内插 Splines
- TIN

# 8.2 DEM的建立

## 8.2.5 DEM内插方法

### □ 不同内插方法的结果对比

- 速度 (IDW – Spline – Krig)
- 细节程度 (Krig – Spline – IDW)
- 光滑程度 (IDW – Spline – Krig)
- 整体精度 (Spline – Krig – IDW)
- 异常值 (IDW – Krig – Spline)



# 8.3 数字地形分析

## 当前大纲

8.3.1 基本因子分析

8.3.2 地形特征分析

8.3.3 流域分析

8.3.4 可视性分析

8.3.5 黄土高原建模与分析

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.1 基本因子分析

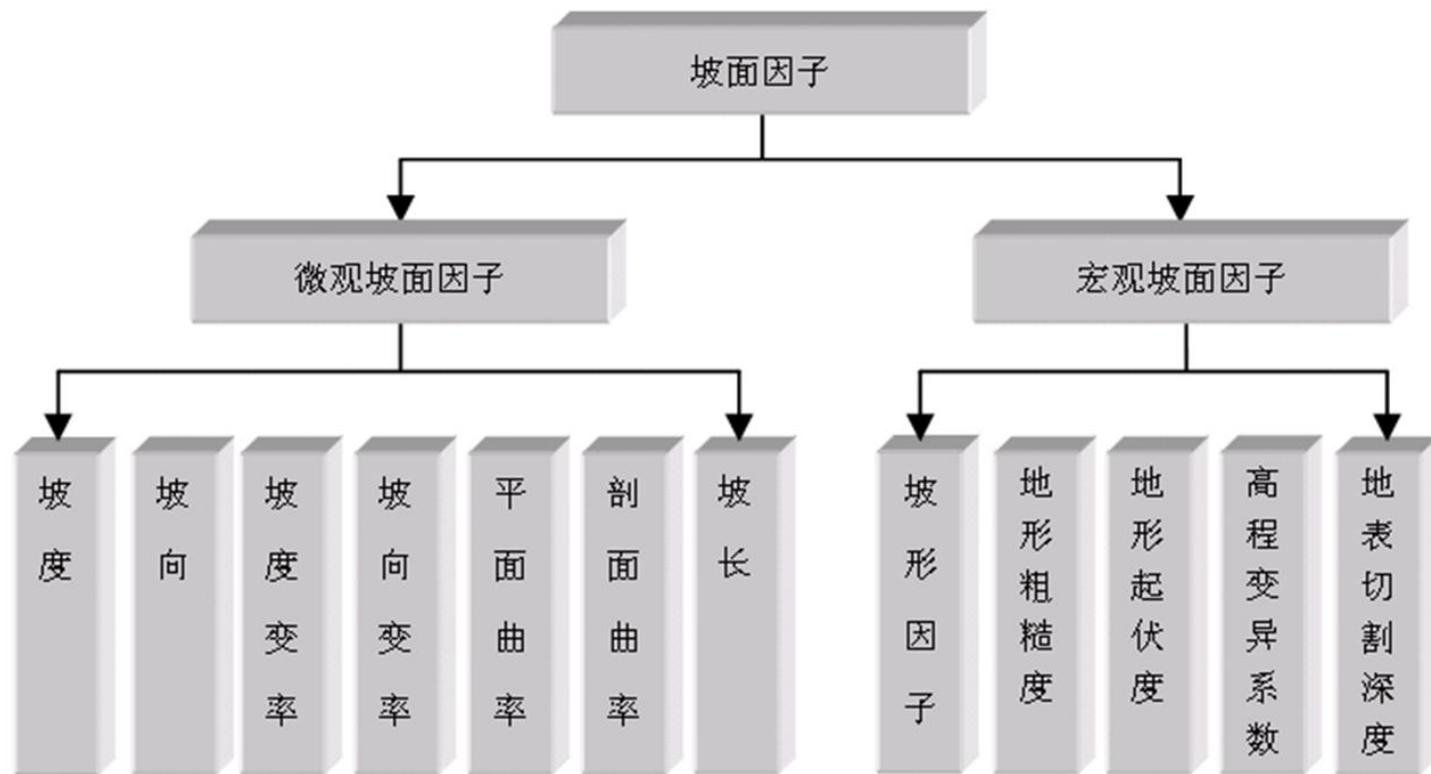


图 7.1 依据空间区域范围的坡面因子分类体系

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.1 基本因子分析

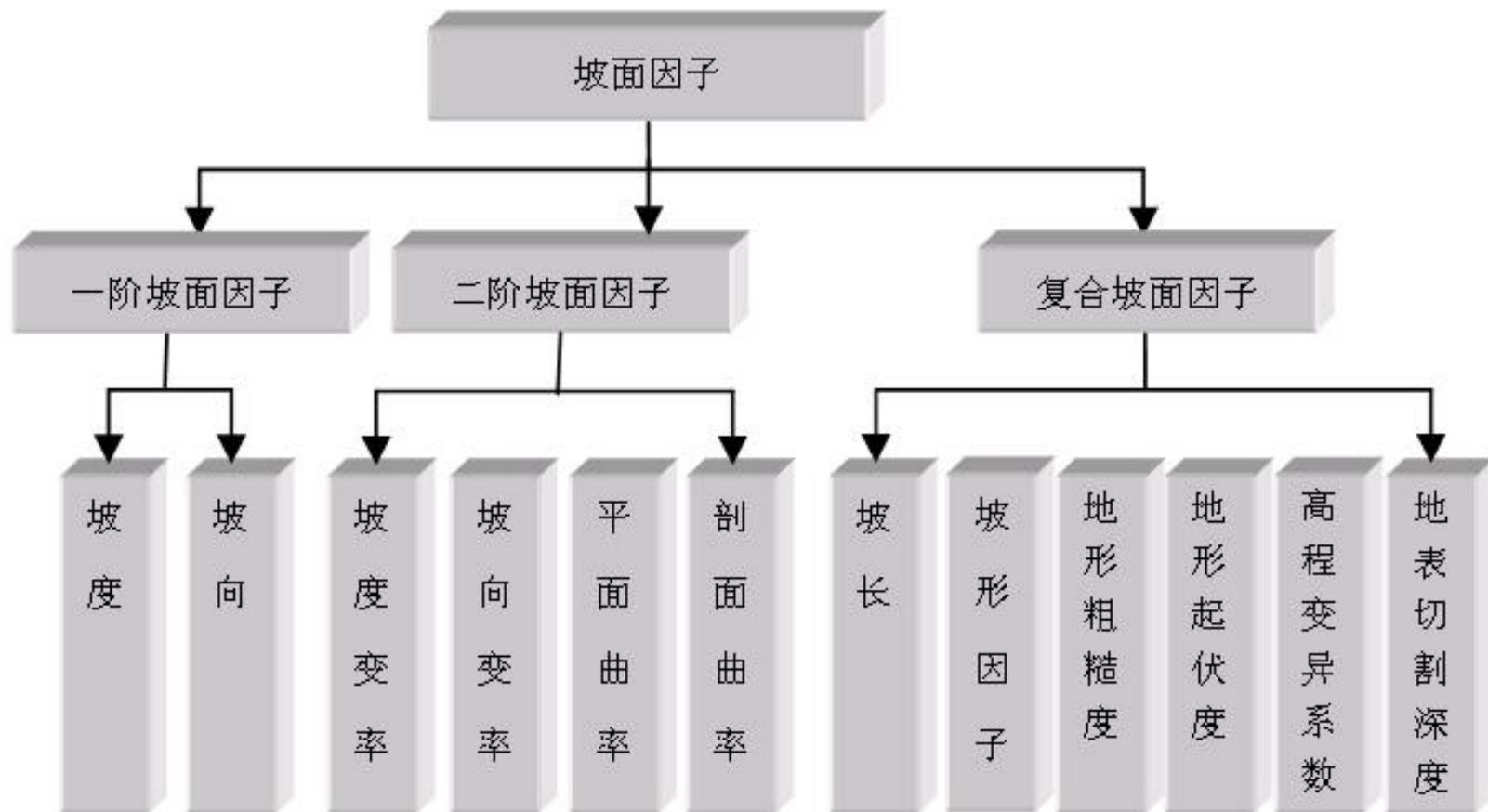


图 7.2 基于提取算法的坡面因子分类体系

# Slope = arctan $\sqrt{f_x^2 + f_y^2}$

## 8.3 数字地形分析

### 8.3.1 基本因子分析

#### □ 坡度

**定义：**法线与铅垂线夹角

**单位：**

度：反正切

百分数：每百米上升或下降的高程

**表达式：**

$$Slope = \arctan \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

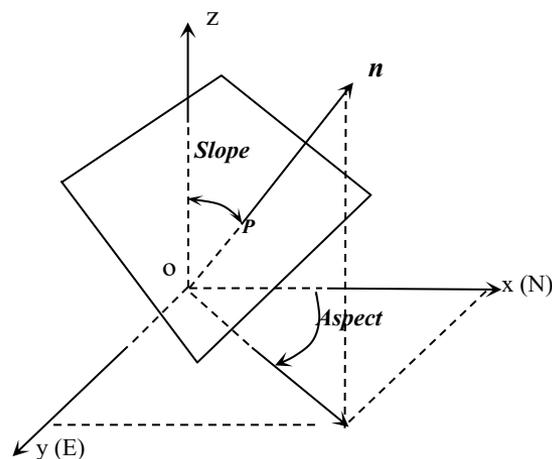


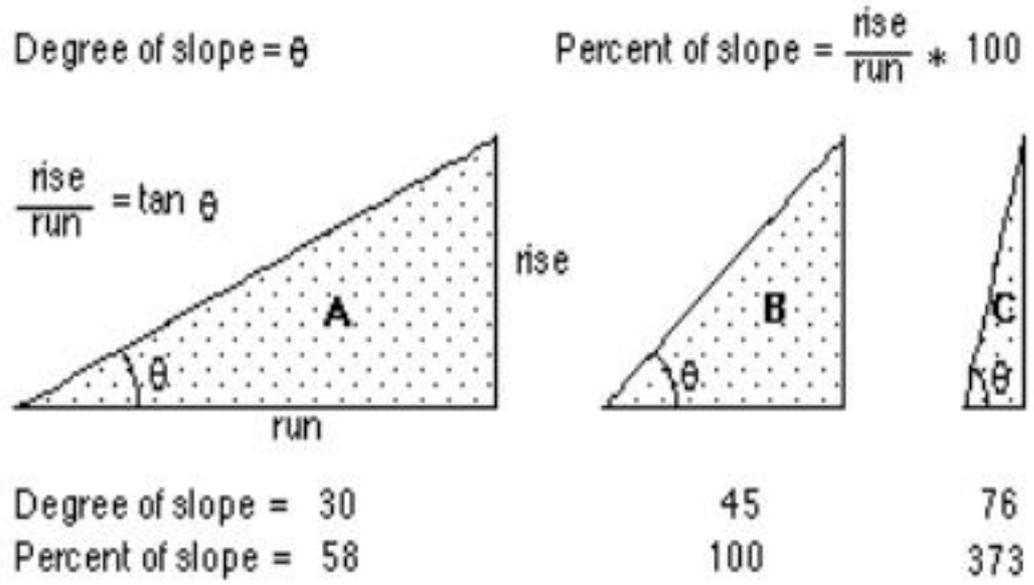
图8.6 地表单元坡度示意图

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.1 基本因子分析

### □ 坡度

坡度的两种表示方法



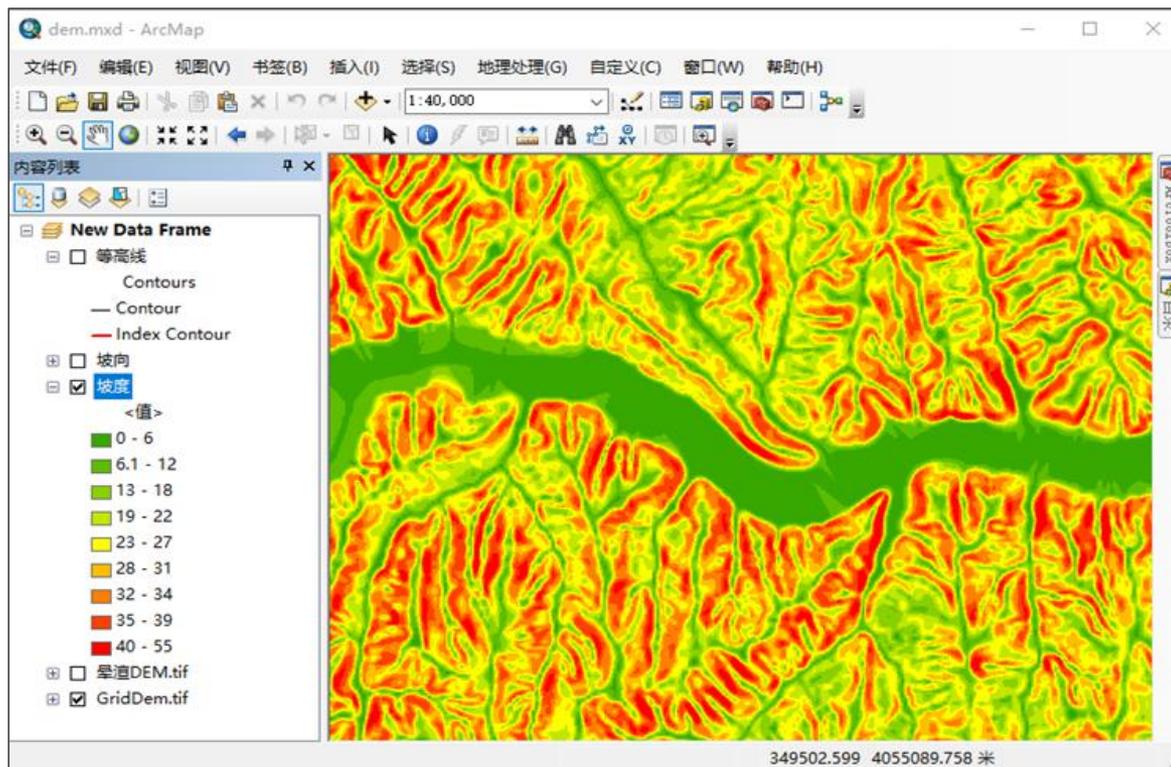
$$\text{Slope} = \arctan \sqrt{f^2 + f^2}$$

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.1 基本因子分析

### □ 坡度

基于Grid DEM提取的坡度图



# Slope = arctan( $\sqrt{f_x^2 + f_y^2}$ )

## 8.3 数字地形分析

### 8.3.1 基本因子分析

#### □ 坡向

定义：法线在水平面上的投影与正北方向之间的夹角（顺时针度量）

单位：度

表达式：

$$\text{Aspect} = \arctg\left(\frac{f_y}{f_x}\right)$$

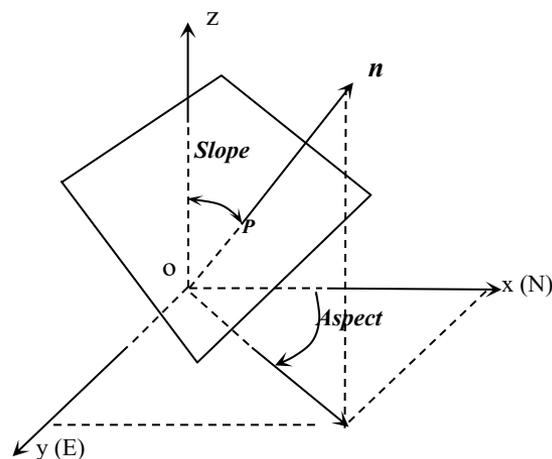


图8.6 地表单元坡度示意图

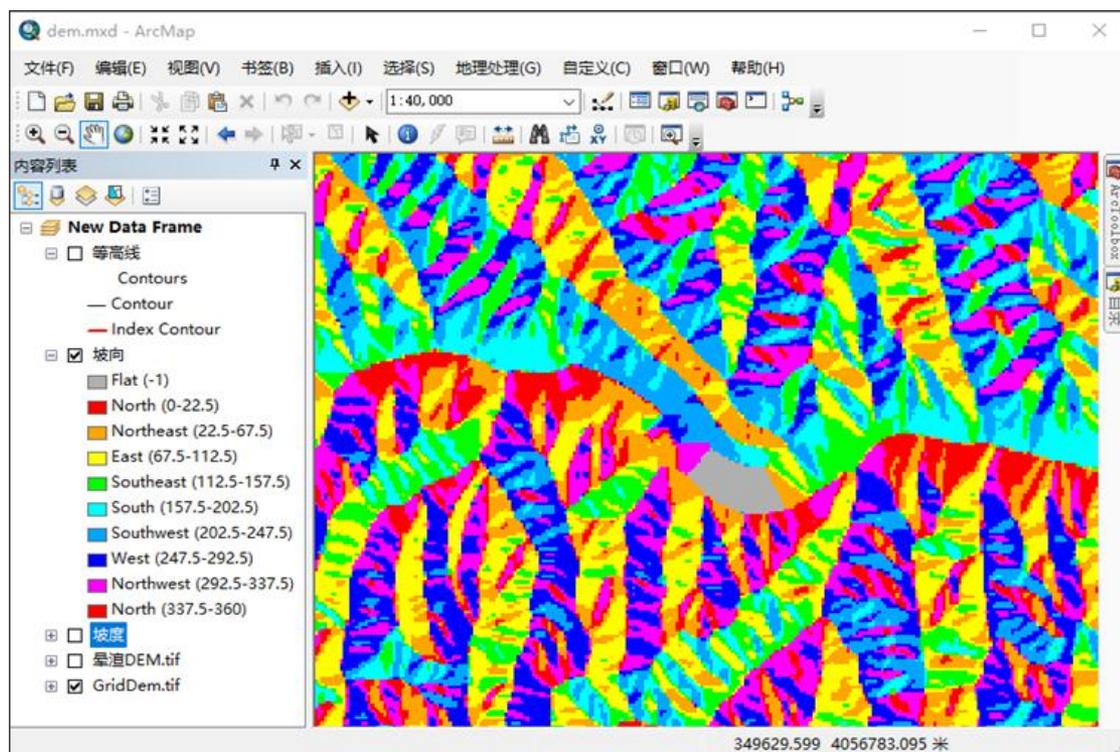
$$\text{Slope} = \arctan \sqrt{f^2 + f^2}$$

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.1 基本因子分析

### □ 坡向

基于Grid DEM提取的坡向图



# 8.3 数字地形分析

## 8.3.1 基本因子分析

### □ 曲率

**曲率**是对地形表面一点扭曲变化程度的定量化度量因子，地面曲率在垂直和水平两个方向上分量分别称为**平面曲率**和**剖面曲率**。地形表面曲率反映了地形结构和形态，同时也影响着土壤有机物含量的分布，在地表过程模拟、水文、土壤等领域有着重要的应用价值和意义。

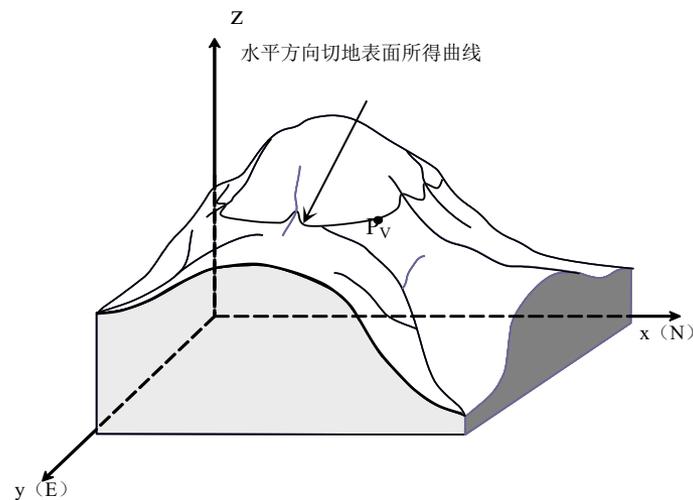


图8.12平面曲率示意图

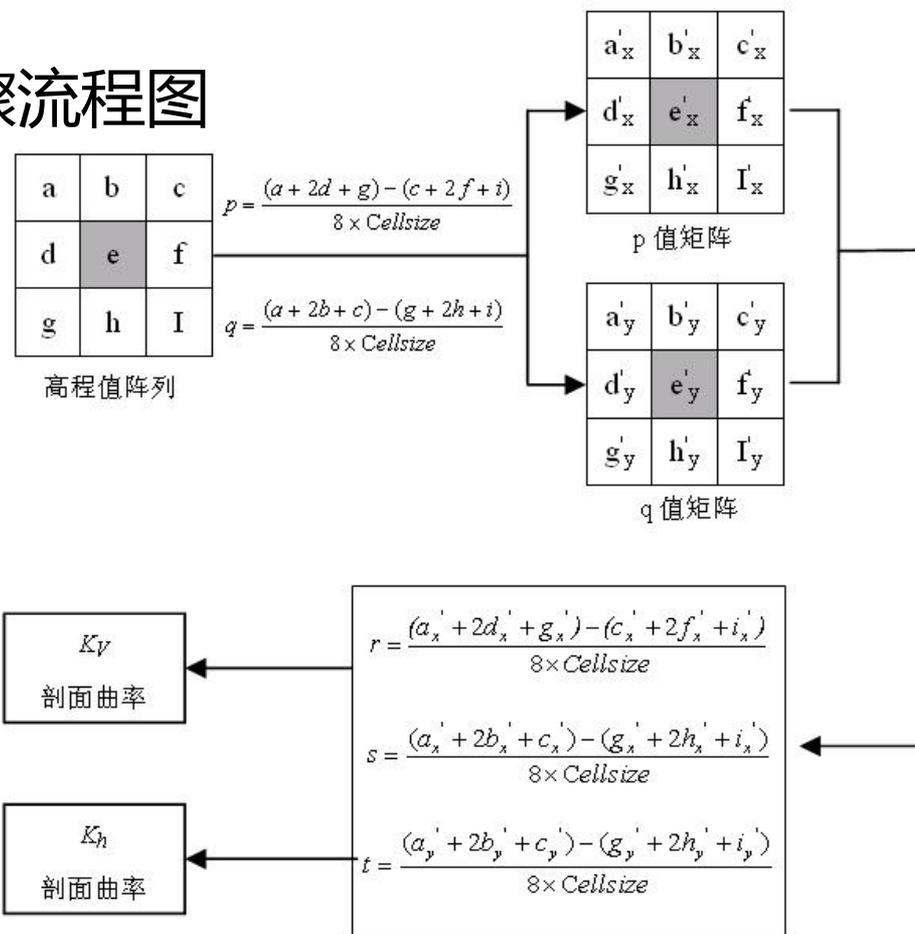
$$K_h = -\frac{q^2 r - 2 p q s + p^2 t}{(p^2 + q^2) \sqrt{1 + p^2 + q^2}}$$

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.1 基本因子分析

### □ 曲率

#### 地面曲率提取步骤流程图



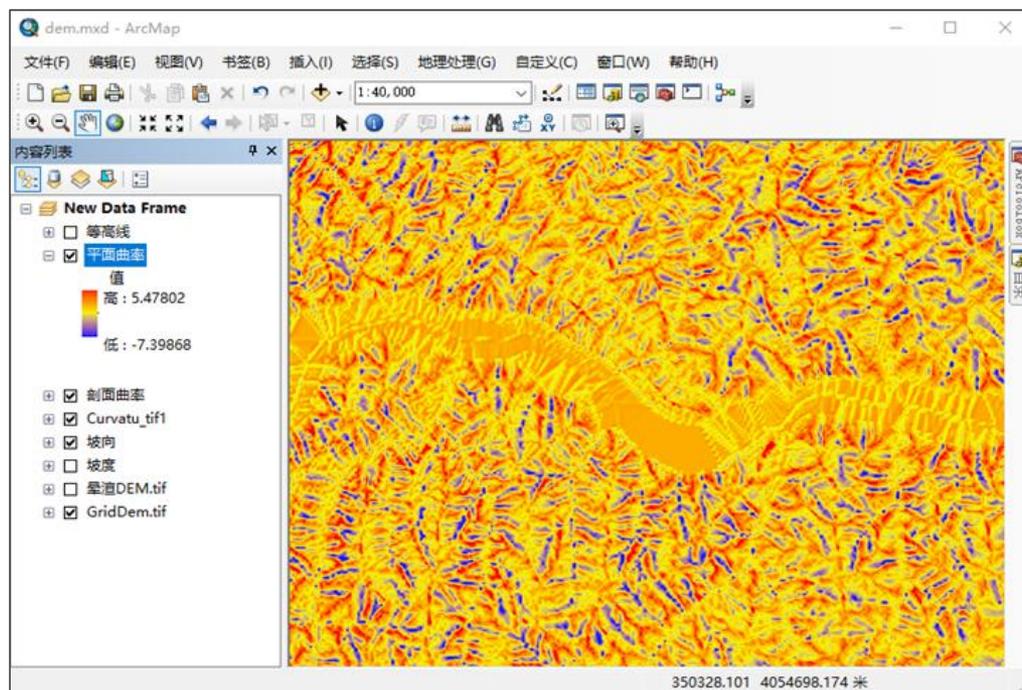
# Slope = $\arctan \sqrt{f^2 + f^2}$

## 8.3 数字地形分析

### 8.3.1 基本因子分析

#### □ 曲率

基于Grid DEM提取的剖面曲率



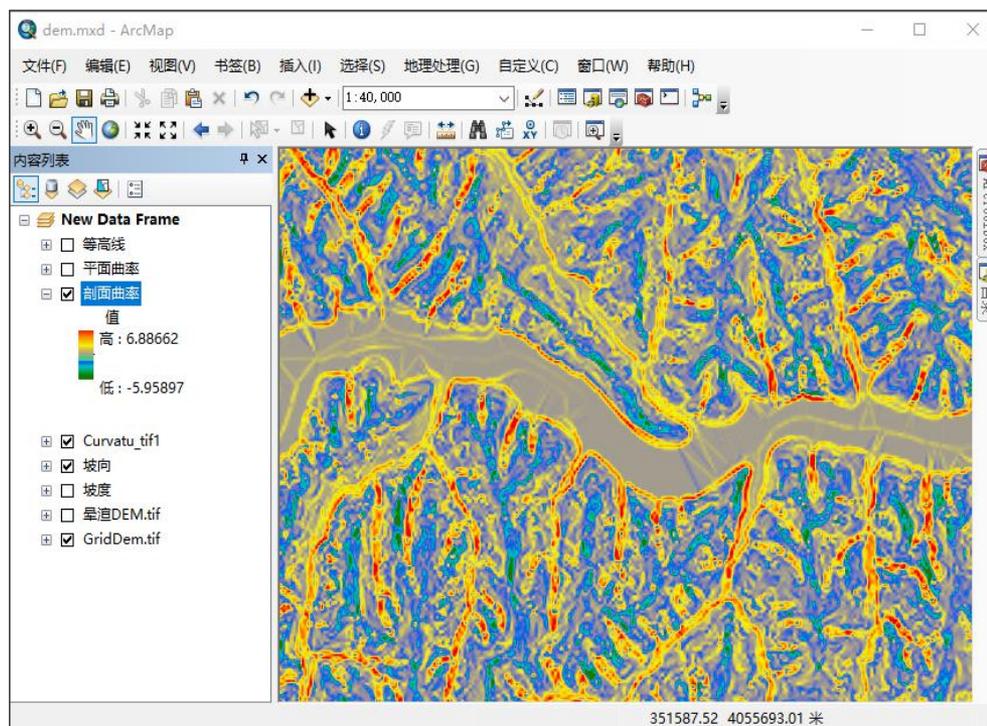
$$\text{Slope} = \arctan \sqrt{f^2 + f^2}$$

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.1 基本因子分析

### □ 曲率

基于Grid DEM提取的平面曲率



## Slope = $\arctan \sqrt{f^2 + f^2}$ 8.3 数字地形分析

### 8.3.1 基本因子分析

#### □ 宏观地形因子

##### 地形起伏度

地形起伏度是指，在所指定的分析区域内所有栅格中最大高程与最小高程的差。

地形起伏度是反映地形起伏的宏观地形因子，在区域性研究中，利用DEM数据提取地形起伏度能够直观的反映地形起伏特征。在水土流失研究中，地形起伏度指标能够反映水土流失类型区的土壤侵蚀特征，比较适合区域水土流失评价的地形指标。

# Slope = $\arctan \sqrt{f^2 + f^2}$

## 8.3 数字地形分析

### 8.3.1 基本因子分析

#### □ 宏观地形因子

##### 地表粗糙度

地表粗糙度，一般定义为地表单元的曲面面积 $S_{\text{曲面}}$ 与其在水平面上的投影面积 $S_{\text{水平}}$ 之比。用数学公式表达为：

$$R = S_{\text{曲面}} / S_{\text{水平}}$$

地表粗糙度能够反映地形的起伏变化和侵蚀程度的宏观地形因子。在区域性研究中，地表粗糙度是衡量地表侵蚀程度的重要量化指标，在研究水土保持及环境监测时研究地表粗糙度也有很重要的意义。

## Slope = $\arctan \sqrt{f^2 + f^2}$ 8.3 数字地形分析

### 8.3.1 基本因子分析

#### □ 宏观地形因子

##### 地表切割深度

地表切割深度是指地面某点的邻域范围的平均高程与该邻域范围内的最小高程的差值。可用以下公式表示：

$$D_i = H_{mean} - H_{min}$$

地表切割深度直观的反映了地表被侵蚀切割的情况，并对这一地学现象进行了量化，是研究水土流失及地表侵蚀发育状况时的重要参考指标，其提取算法可参照地表起伏度的提取。

## 8.3 数字地形分析

### 8.3.2 地形特征分析

#### □ 地形特征点提取

- 山顶点 (peak)
- 凹陷点 (pit)
- 脊点 (ridge)
- 谷点 (channel)
- 鞍点 (pass)
- 平地点 (plane) 等

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.2 地形特征分析

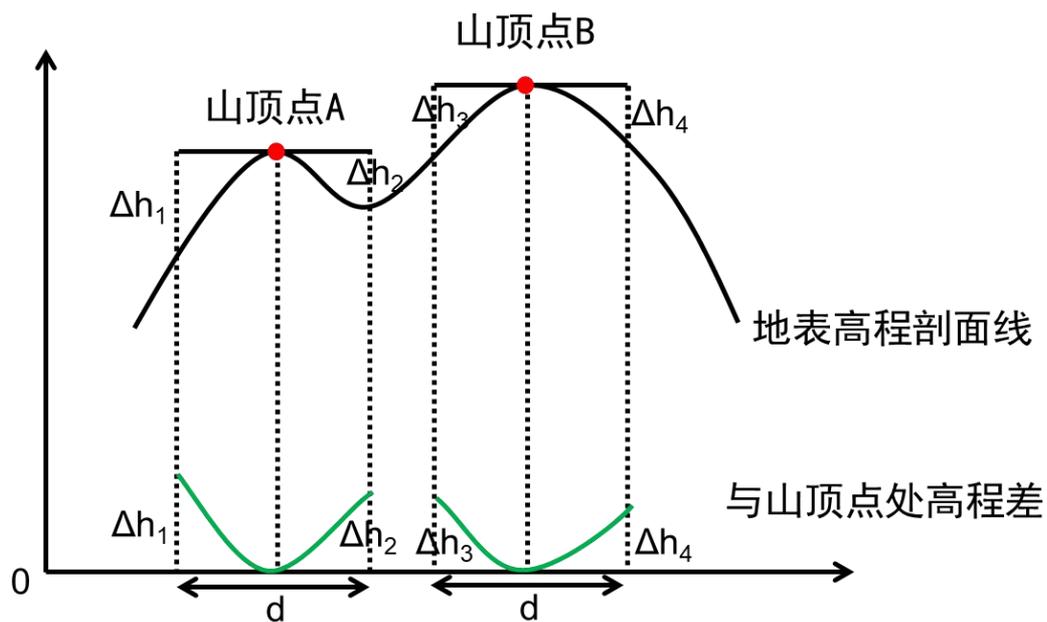
### □ 地形特征点提取

名称	定义	领域高程关系
山顶点 (peak)	指在局部区域内海拔高程的极大值点，表现为在各方向上都为凸起。	$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} < 0, \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} < 0$
凹陷点 (pit)	指在局部区域内海拔高程的极小值点，表现为在各方向上都为凹陷。	$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} > 0, \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} > 0$
脊点 (ridge)	指在两个相互正交的方向上，一个方向凸起，而另一个方向没有凹凸性变化的点。	$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} < 0, \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = 0$ 或 $\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = 0, \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} < 0$
谷点 (channel)	指在两个相互正交的方向上，一个方向凹陷，而另一个方向没有凹凸性变化的点。	$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} > 0, \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = 0$ 或 $\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = 0, \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} > 0$
鞍点 (pass)	指在两个相互正交的方向上，一个方向凸起，而另一个方向凹陷的点。	$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} < 0, \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} > 0$ 或 $\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} > 0, \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} < 0$
平地点 (plane)	指在局部区域内各方向上都没有凹凸性变化的点。	$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = 0, \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = 0$

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.2 地形特征分析

### □ 地形特征点提取---山顶点的提取

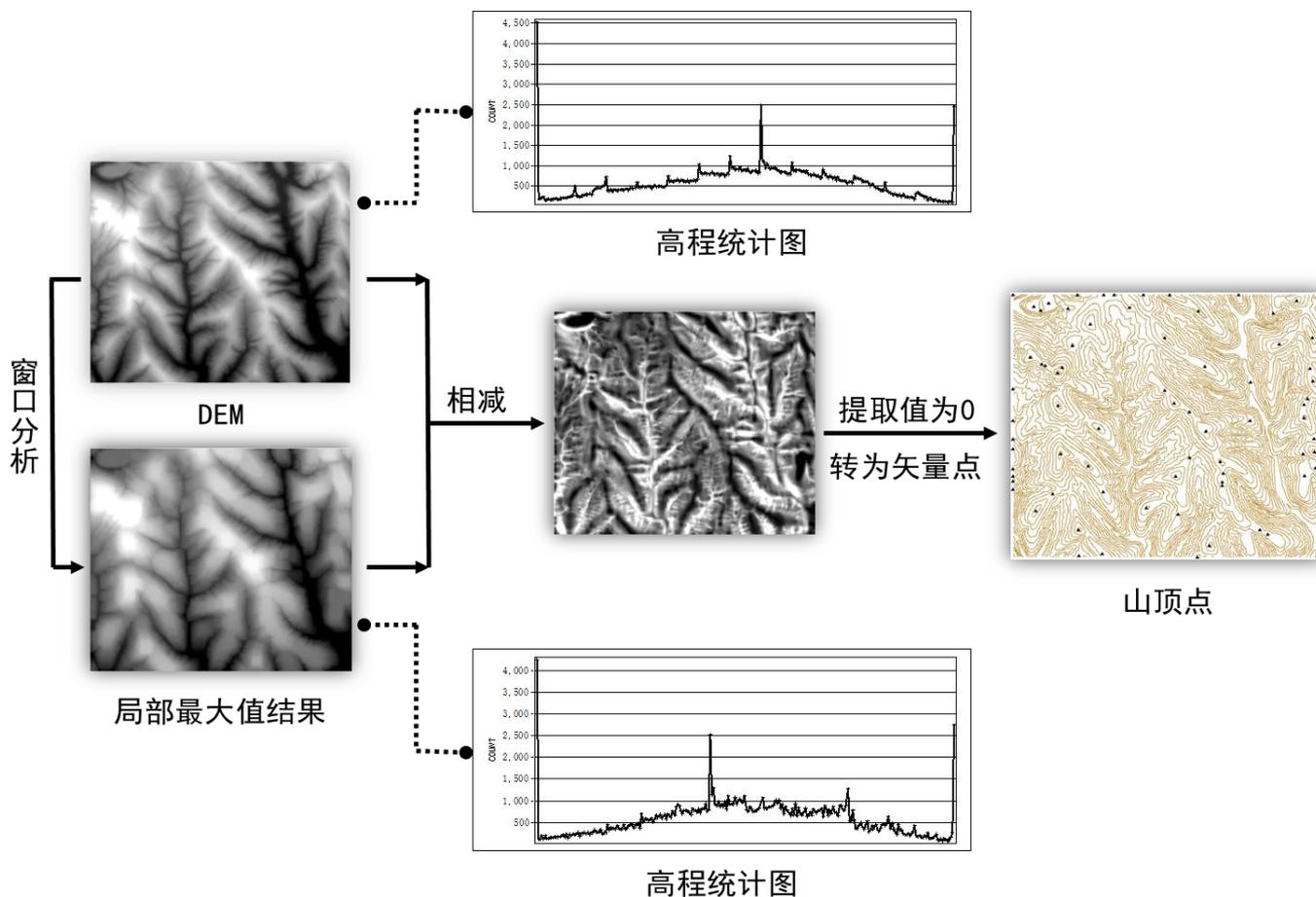


依据此局部最大值判别法，可以提取出山顶点。

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.2 地形特征分析

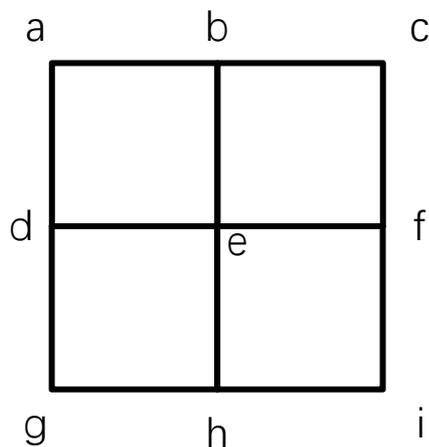
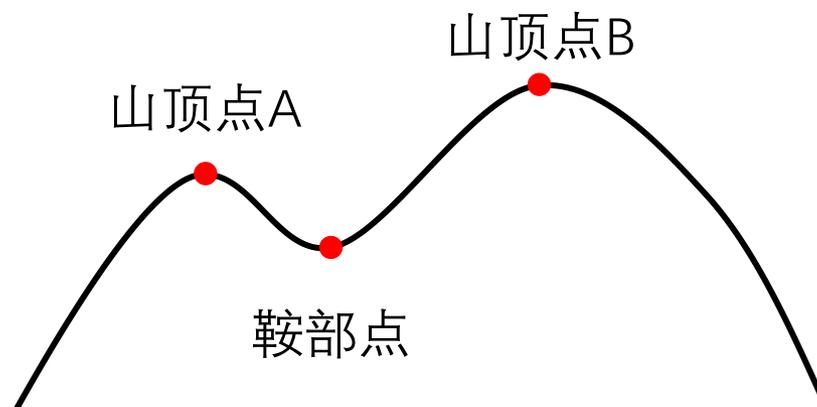
### □ 地形特征点提取---山顶点的提取



# 8.3 数字地形分析

## 8.3.2 地形特征分析

### □ 地形特征点提取---鞍部点的提取



如果满足以下条件之一:

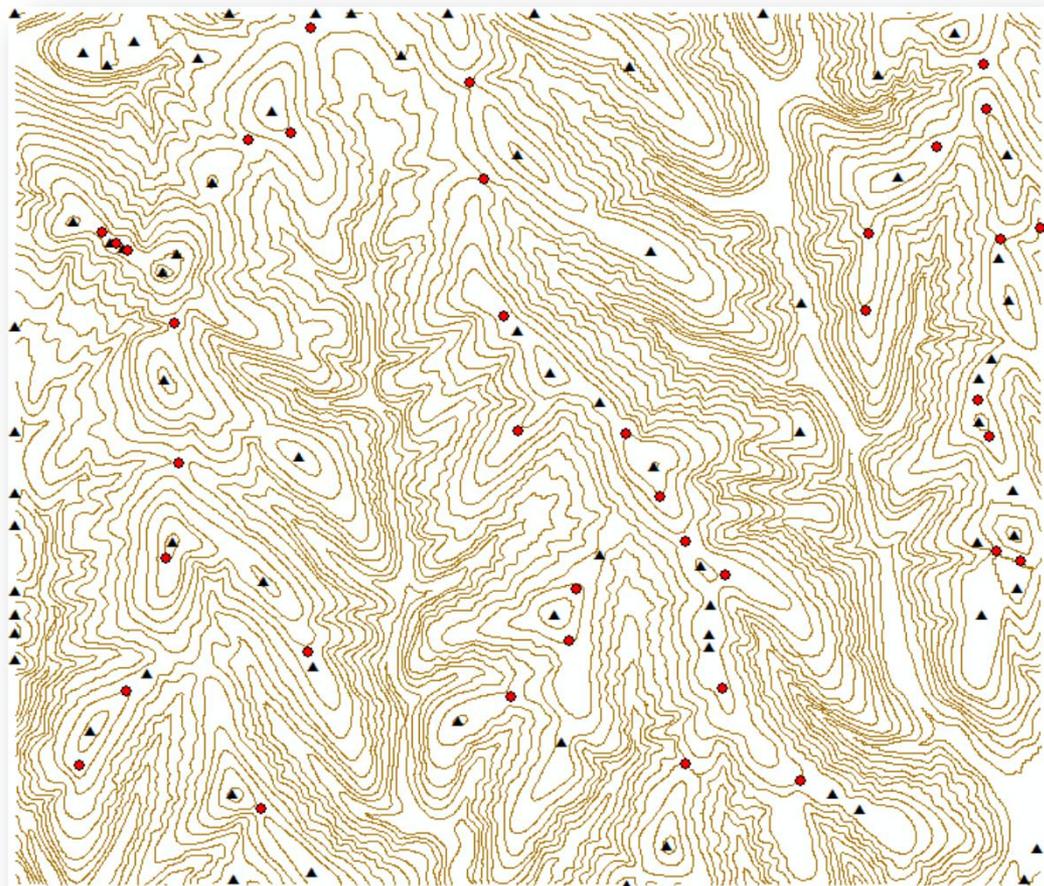
1.  $\{(Z_d < Z_e) \& (Z_f < Z_e)\} \& \{(Z_b > Z_e) \& (Z_h > Z_e)\}$
2.  $\{(Z_d > Z_e) \& (Z_f > Z_e)\} \& \{(Z_b < Z_e) \& (Z_h < Z_e)\}$

则, e点为鞍部点。

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.2 地形特征分析

### □ 地形特征点提取---鞍部点的提取



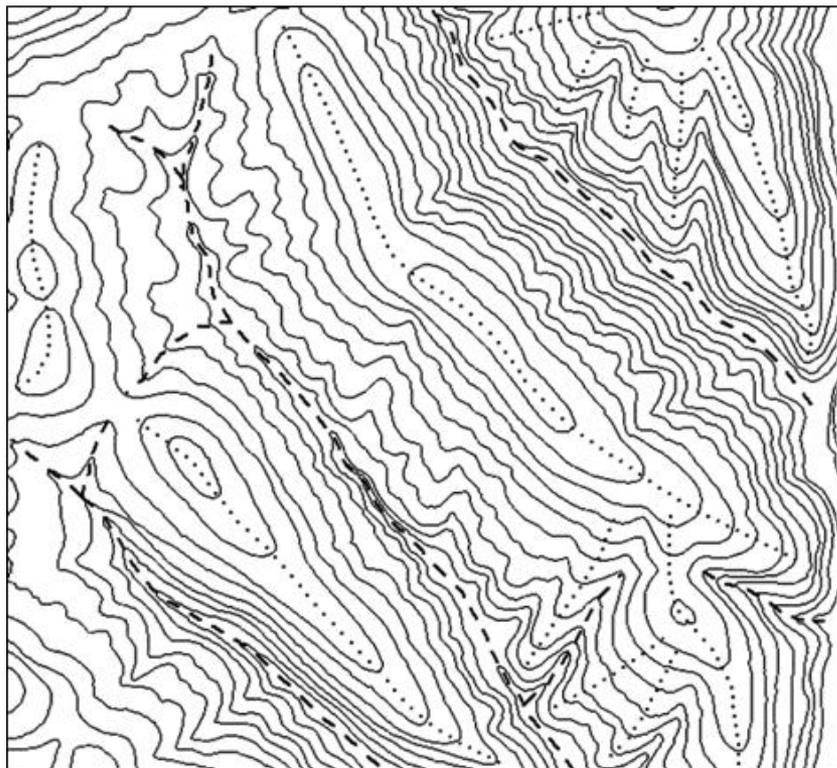
- ▲ 山顶点
- 鞍部点
- 等高线

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.2 地形特征分析

### □ 山脊线和山谷线提取

山脊线和山谷线构成了地形起伏变化的分界线（骨架线）



--- 山谷线

..... 山脊线

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.2 地形特征分析

### □ 山脊线和山谷线提取

提取方法:

1. 基于图像处理技术的原理
2. 基于地形表面几何形态分析原理
3. 基于地形表面流水物理模拟分析原理
4. 基于地形表面几何形态分析和流水物理模拟分析相结合
5. 平面曲率与坡位结合法

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.2 地形特征分析

### □ 山脊线和山谷线提取

基于图像处理技术的原理

边缘提取

- 首先提取地形特征点（山脊点、山谷点、鞍点等）；
- 将特征点连成地形特征线（山脊线、山谷线）。

简单移动窗口的算法

- 设计一个 $2 \times 2$ 窗口以对DEM格网阵列进行扫描；
- 第一次扫描中，将窗口中的具有最低高程值的点进行标记，自始至终未被标记的点即为山脊线上的点；
- 第二次扫描中，将窗口中的具有最高高程值的点进行标记，自始至终未被标记的点即为山谷线上的点。

## 8.3 数字地形分析

### 8.3.2 地形特征分析

#### □ 山脊线和山谷线提取

基于地形表面几何形态分析原理

- 找出DEM的纵向与横向的两个断面上的极大、极小值点，作为地形特征线上的备选点；
- 根据一定的条件或准则将这些备选点划归各自所属的地形特征线。

## 8.3 数字地形分析

### 8.3.2 地形特征分析

#### □ 山脊线和山谷线提取

基于地形表面流水物理模拟分析原理

按照流水从高至低的自然规律，顺序计算每一栅格点上的汇水量，然后按汇水量单调增加的顺序，由高到低找出区域中的每一条汇水线。根据得到的汇水线，通过计算找出各自汇水区域的边界线，就得到了分水线。

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.2 地形特征分析

### □ 山脊线和山谷线提取

基于地形表面几何形态分析和流水物理模拟分析相结合

- 概略DEM的建立
- 地形流水物理模拟
- 概略地形特征线提取
- 地形几何分析
- 地形特征线精确确定。

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.2 地形特征分析

### □ 山脊线和山谷线提取

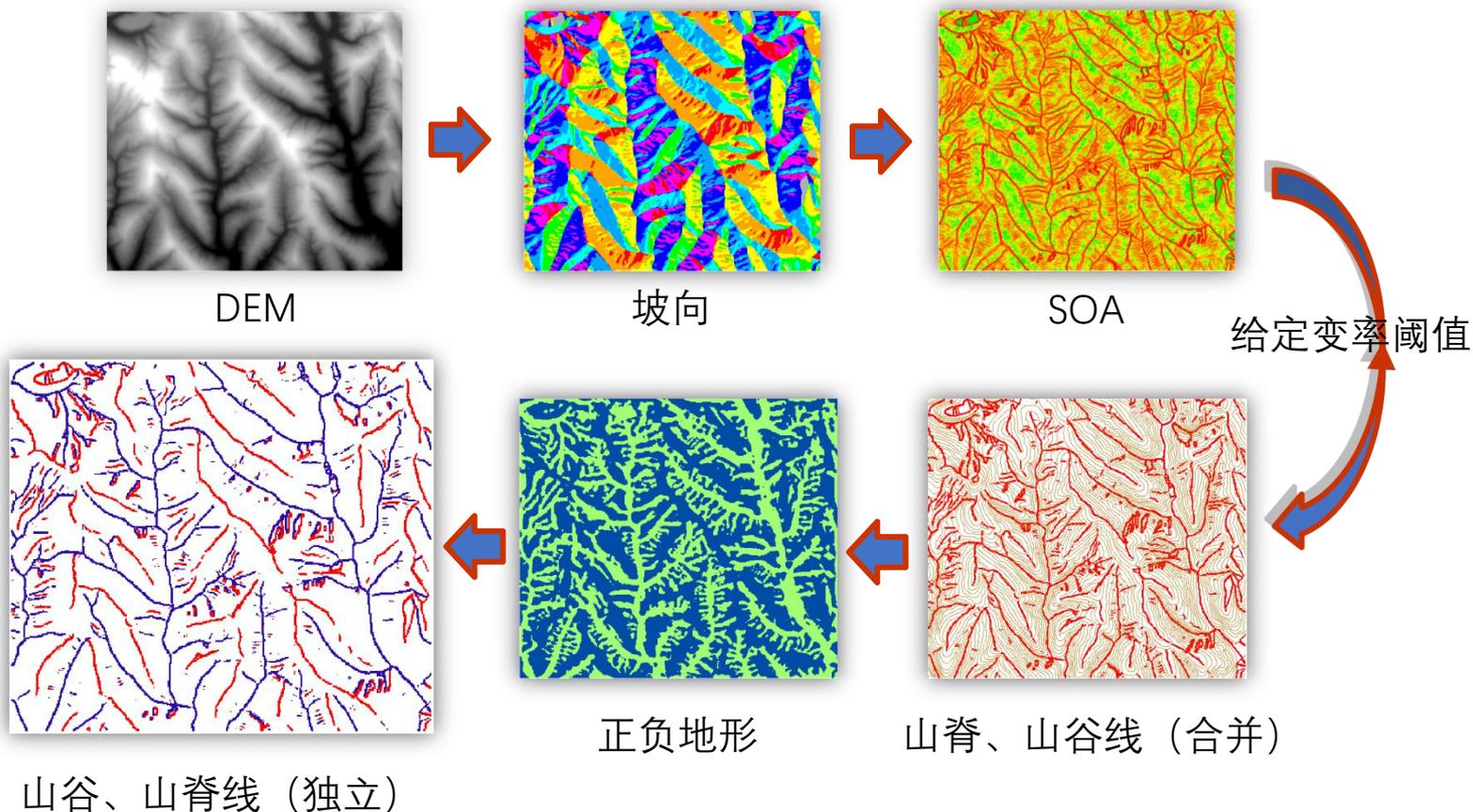
#### 平面曲率与坡位结合法

- 利用DEM数据提取地面的平面曲率，可同时提取得到山脊线和山谷线。
- 根据已有的正负地形特征，负地形中的为山谷线，正地形中的为山脊线。

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.2 地形特征分析

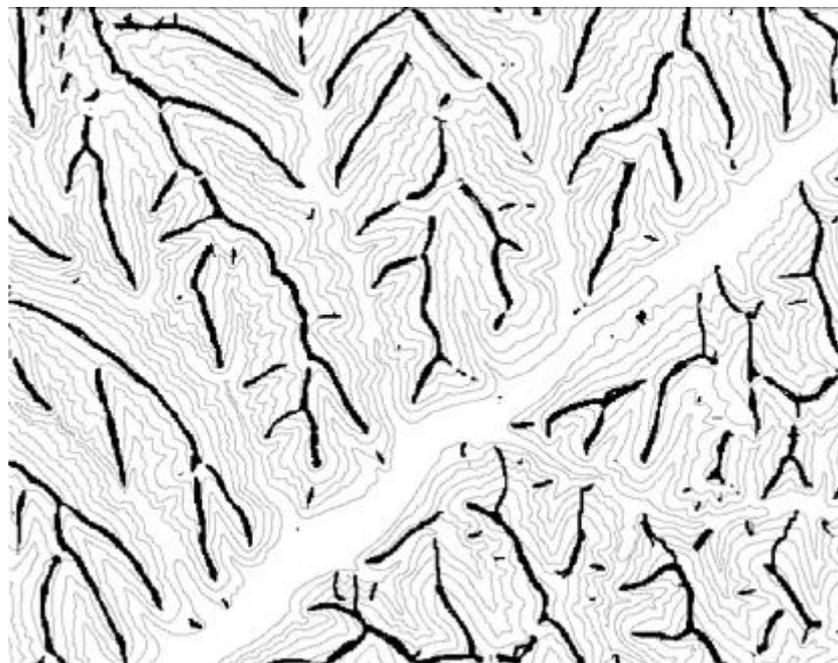
### □ 山脊线和山谷线提取



## 8.3 数字地形分析

### 8.3.2 地形特征分析

#### □ 山脊线和山谷线提取

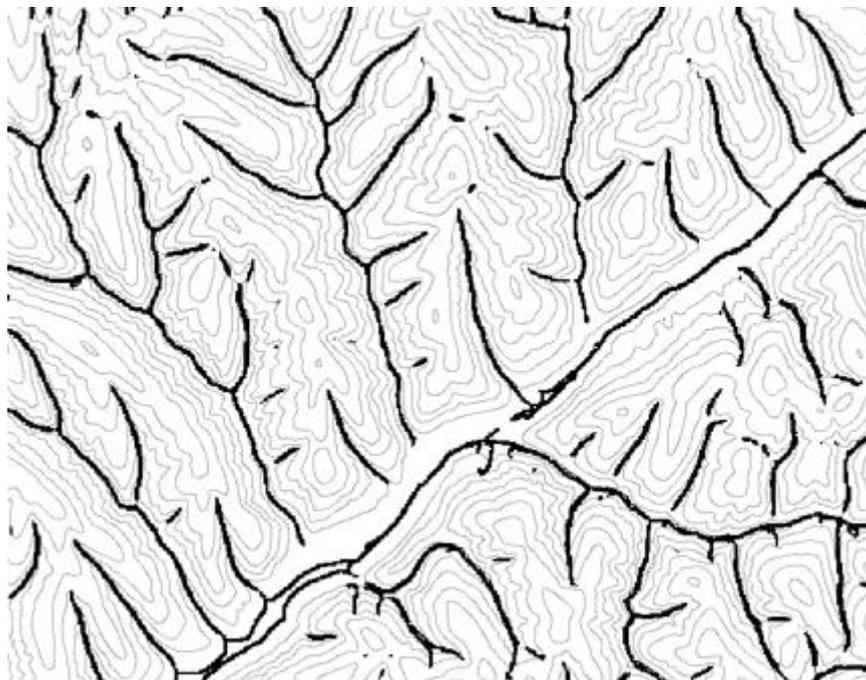


DEM提取的山脊线

## 8.3 数字地形分析

### 8.3.2 地形特征分析

#### □ 山脊线和山谷线提取



DEM提取的山谷线

## 8.3 数字地形分析

### 8.3.3 流域分析

#### □ 流域定义

降水汇集在地面低洼处，在重力作用下经常或周期性地沿流水本身所造成的槽形谷地流动，形成所谓的河流。河流沿途接纳很多支流，水量不断增加。**干流**和**支流**共同组成水系。每一个河流或每一个水系都从一部分陆地面积上获得补给，这部分陆地面积就是河流或水系的流域，也就是河流或水系在地面的**集水区**。把两个相邻集水区之间的最高点连接成的不规则曲线，就是两条河流或水系的**分水线**，因此，流域也可以说是河流分水线以内的地表范围。

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.3 流域分析

### □ 流域提取

➤ 洼地填平

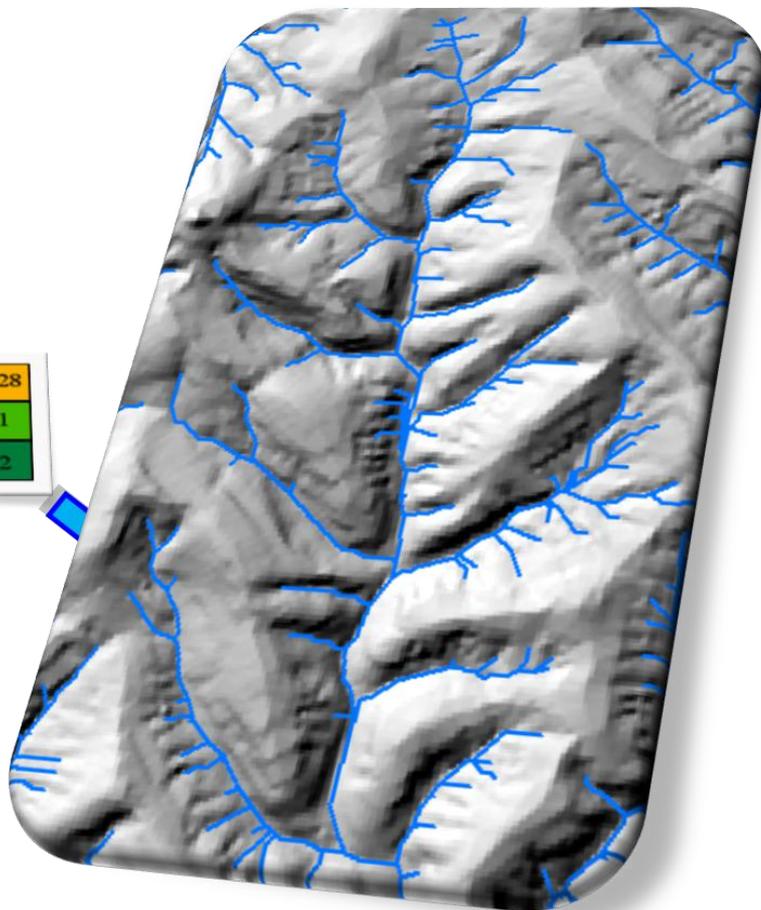


➤ 流向提取



➤ 汇流量提取

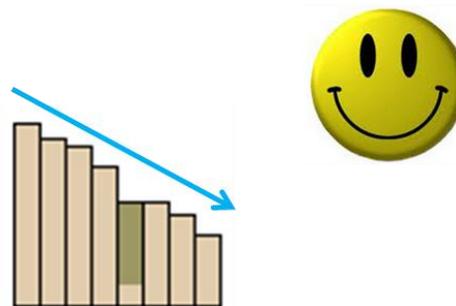
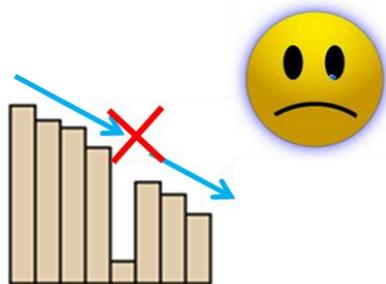
➤ 沟谷网络提取



# 8.3 数字地形分析

## 8.3.3 流域分析

### □ 流域提取---洼地填平



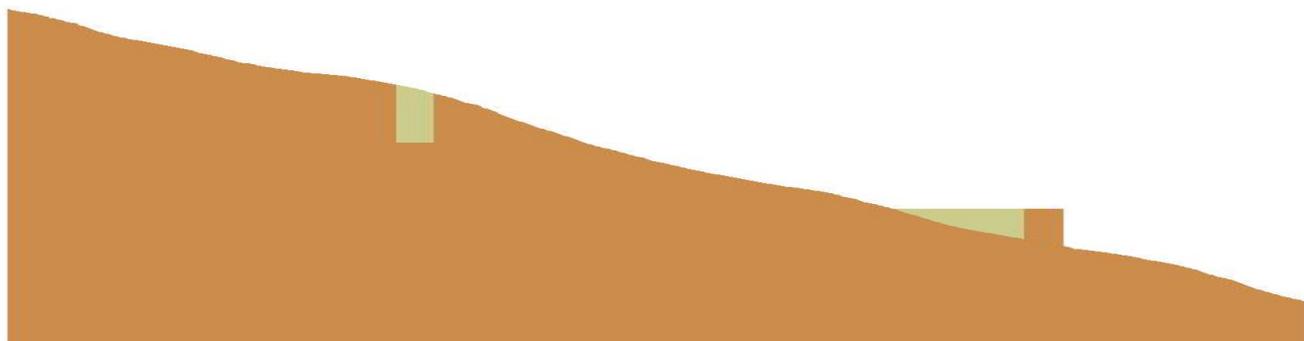
1	1	3	4	5	5	7	5	4
1	2	4	4	4	4	6	5	3
4	4	3	4	3	3	6	7	5
3	3	1	3	2	2	4	6	7
1	2	2	2	1	2	3	4	5
3	3	2	1	1	2	3	6	6
2	3	3	1	1	2	5	7	8
1	2	3	3	3	3	4	8	6
1	1	2	3	3	4	5	7	8

1	1	3	4	5	5	7	5	4
1	2	4	4	4	4	6	5	3
4	4	3	4	3	3	6	7	5
3	3	2	3	2	2	4	6	7
1	2	2	2	2	2	3	4	5
3	3	2	2	2	2	3	6	6
2	3	3	2	2	2	5	7	8
1	2	3	3	3	3	4	8	6
1	1	2	3	3	4	5	7	8

## 8.3 数字地形分析

### 8.3.3 流域分析

#### □ 流域提取---洼地填平

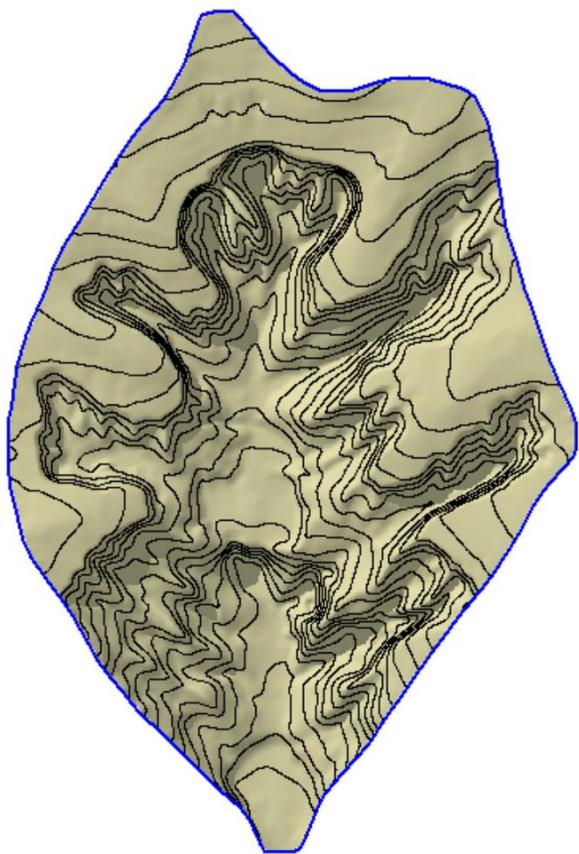


基本原理：增加洼地点高程值，使其高程值提高至邻域内其他8个栅格的最小值。

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.3 流域分析

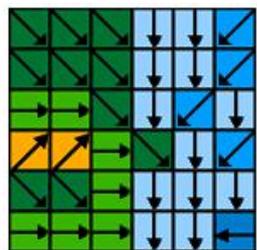
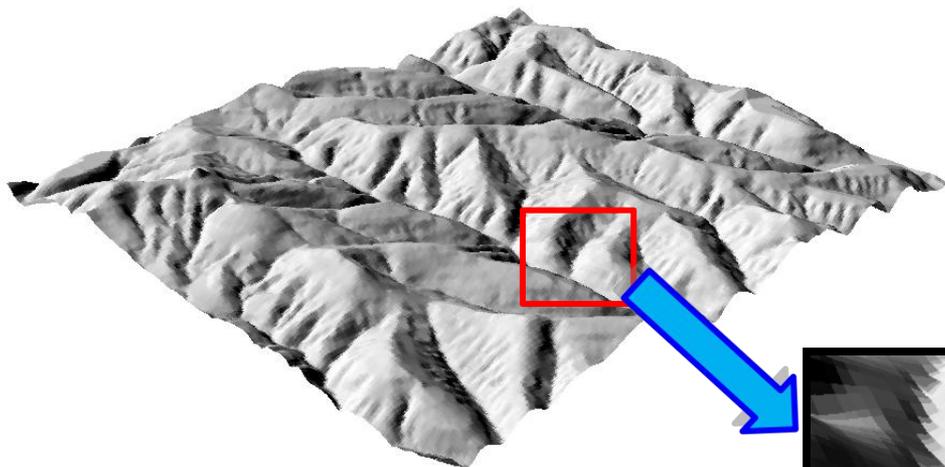
### □ 流域提取---流向提取



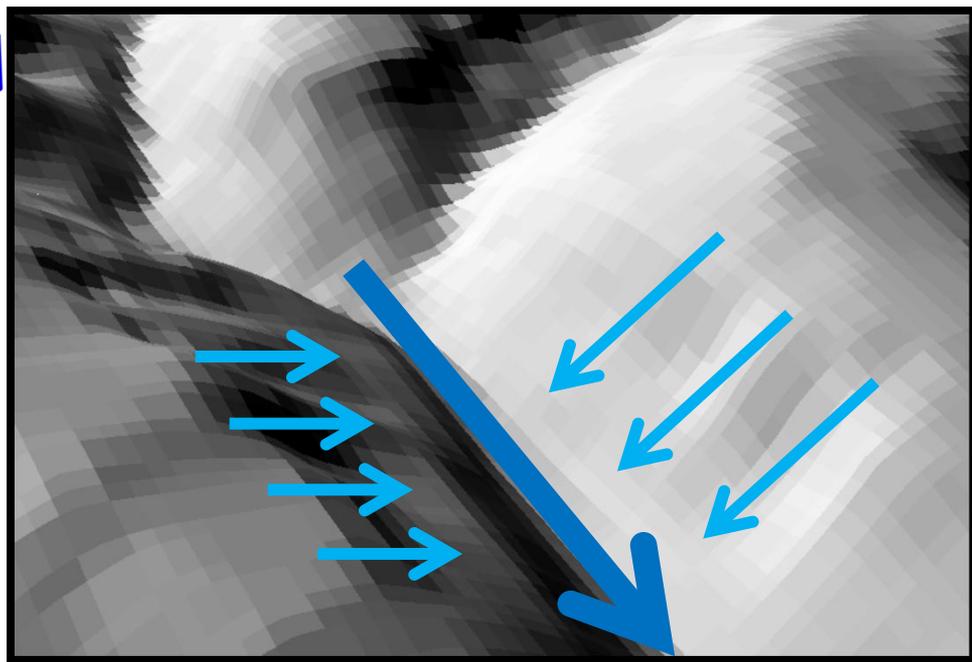
# 8.3 数字地形分析

## 8.3.3 流域分析

### □ 流域提取---汇流量提取



0	0	0	0	0	0
0	1	1	2	2	0
0	3	7	5	4	0
0	0	0	20	0	1
0	0	0	1	24	0
0	2	4	7	35	2

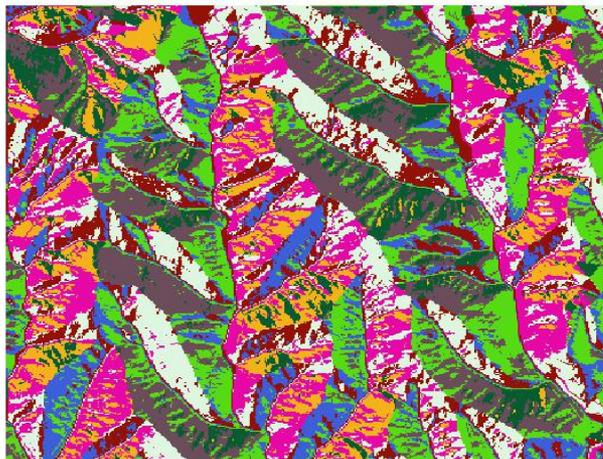


原理：沿流向方向对各栅格处的汇流量逐步进行累加

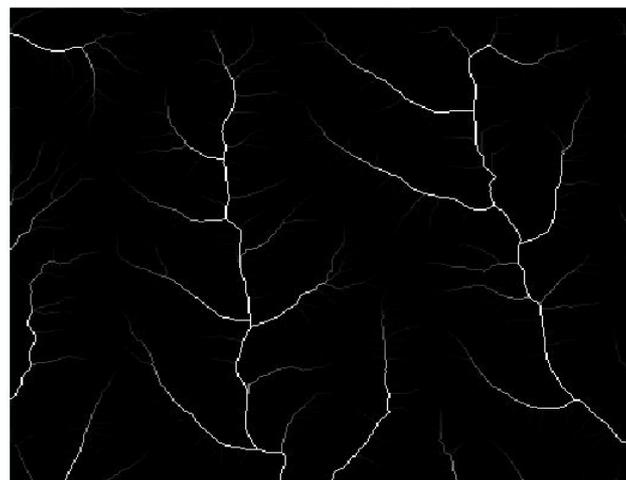
# 8.3 数字地形分析

## 8.3.3 流域分析

### □ 流域提取---汇流量提取



流向矩阵



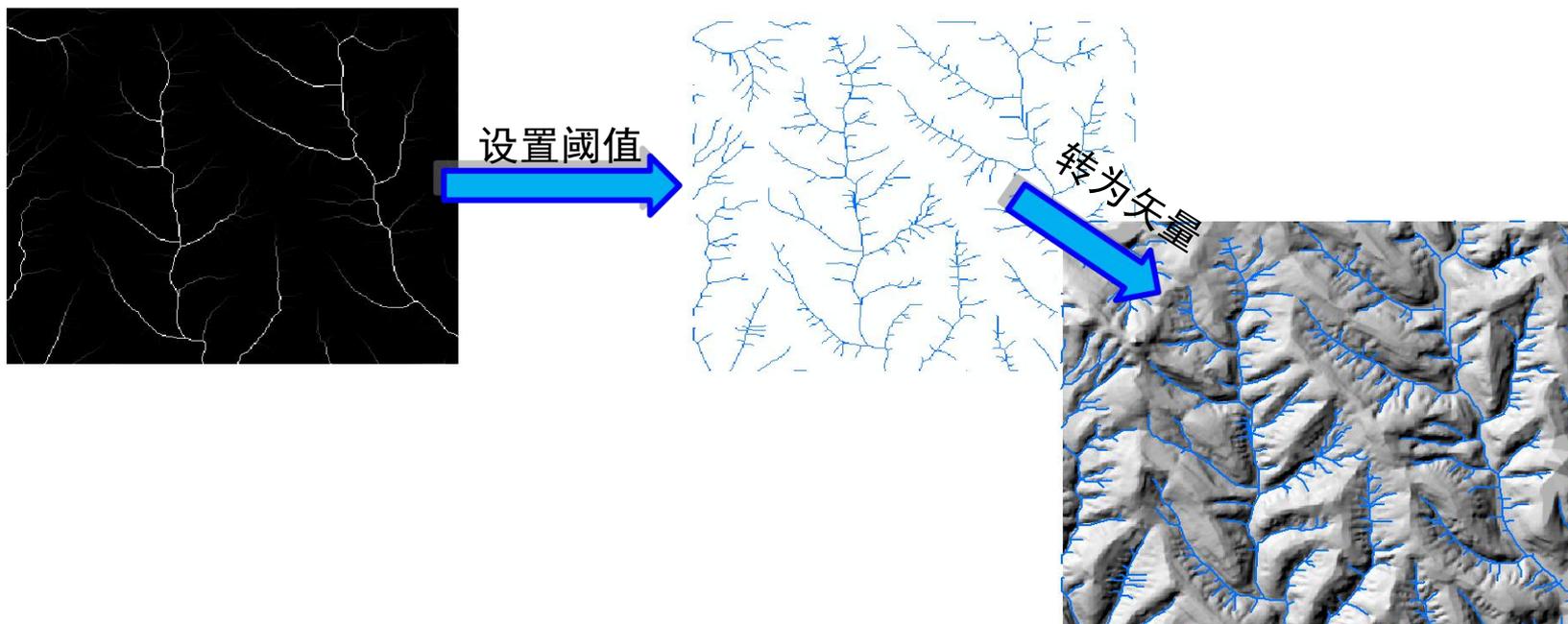
汇流量矩阵

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.3 流域分析

### □ 流域提取---沟谷网络提取

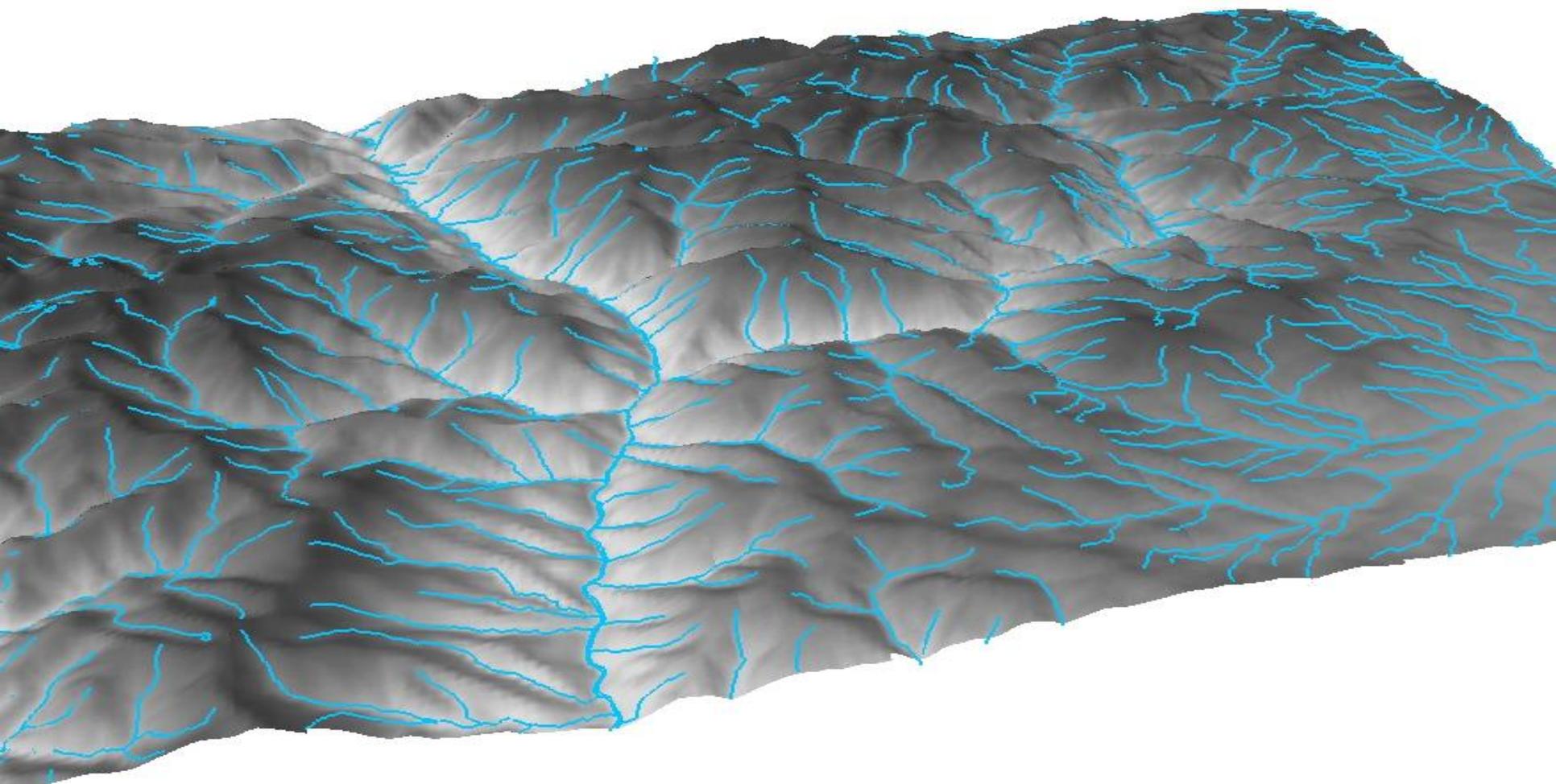
对**汇流累积矩阵**采用一定的**阈值**来提取沟谷网络，大于阈值的位置赋值为1，即为沟谷网络，可进一步将栅格沟谷网络转换为矢量沟谷线文件。



## 8.3 数字地形分析

### 8.3.3 流域分析

□ 流域提取---沟谷网络提取



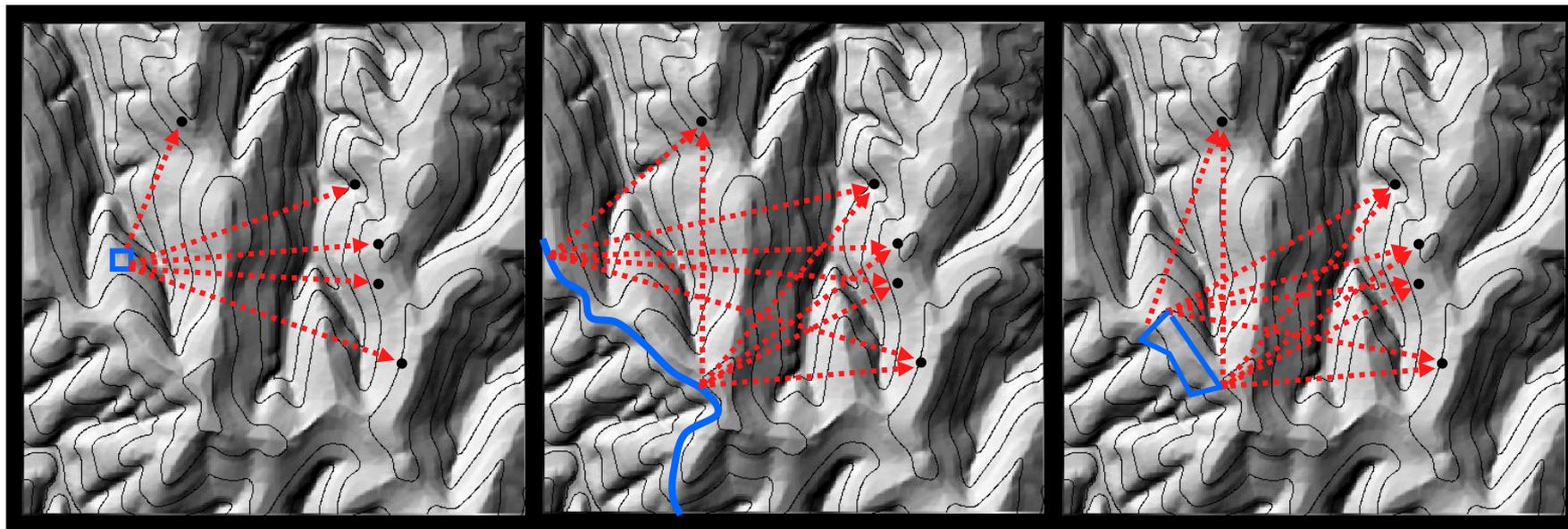
## 8.3 数字地形分析

### 8.3.4 可视性分析

- ❑ 可视性分析也称通视分析，它实质属于对地形进行最优化处理的范畴。
- ❑ 可视性分析的基本因子有两个，一个是两点之间的通视性，另一个是可视域，即对于给定的观察点所覆盖的区域。

## 8.3 数字地形分析

### 8.3.4 可视性分析



点到点可视

点到线可视

点到区域可视

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.4 可视性分析

### □ 可视性分析影响因素

- 地形及环境特点
- 基础高程数据（地球曲率）
- 观察点的选择
- 非数据点的定位高程
- 观察者、目标和LOS的特点
- 数据的不确定度
- 计算的特点、范围限制
- 可视性的可逆性
- 可视相关参数

## 8.3 数字地形分析

### 8.3.4 可视性分析

#### □ 判断两点之间的可视性的算法

1.比较常见的一种算法基本思路如下

- ①确定过观察点和目标点所在的线段与XY平面垂直的平面S;
- ②求出地形模型中与平面S相交的所有边;
- ③判断相交的边是否位于观察点和目标点所在的线段之上, 如果有一条边在其上, 则观察点和目标点不可视。

## 8.3 数字地形分析

### 8.3.4 可视性分析

#### □ 判断两点之间的可视性的算法

##### 2. 另一种算法是“射线追踪法”

这种算法的基本思想是对于给定的观察点V和某个观察方向，从观察点V开始沿着观察方向计算地形模型中与射线相交的第一个面元，如果这个面元存在，则不再计算。显然这种方法既可用于判断两点相互间是否可视，又可以用于限定区域的水平可视计算。

## 8.3 数字地形分析

### 8.3.4 可视性分析

#### □ 计算可视域的算法

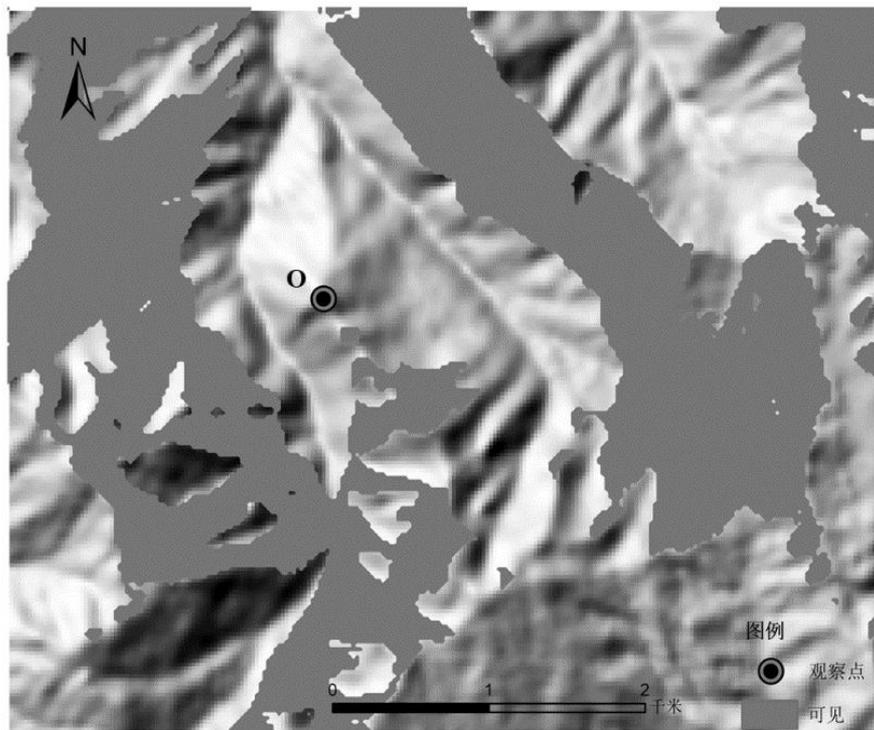
基于规则格网DEM的可视域算法在GIS分析中应用较广。在规则格网DEM中，可视域经常是以离散的形式表示，即将每个格网点表示为可视或不可视，这就是“**可视矩阵**”。

在ArcGIS中分析在某区域内基于观察点的可视范围。可视区分析不仅显示了在一个区域内从一个或多个观察点可以观察到的区域范围，而且显示了对于一个可视位置，有多少观察点可以看到此位置。在输出的Viewshed数据中，可视的栅格赋值为1（深灰色），不可视的栅格赋值为0（透明）。

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.4 可视性分析

### □ 计算可视域的算法



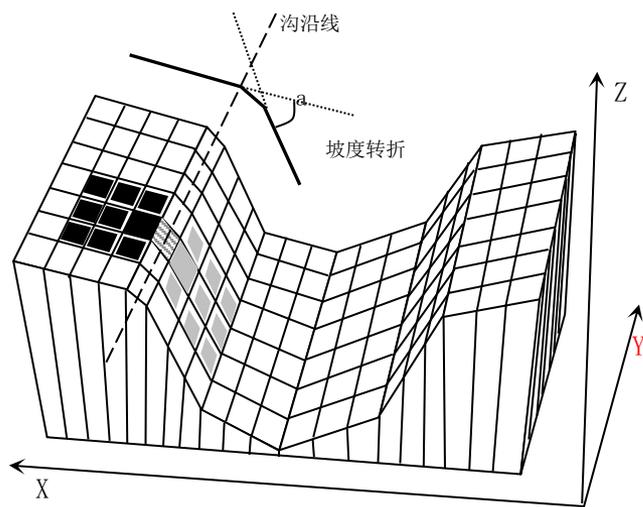
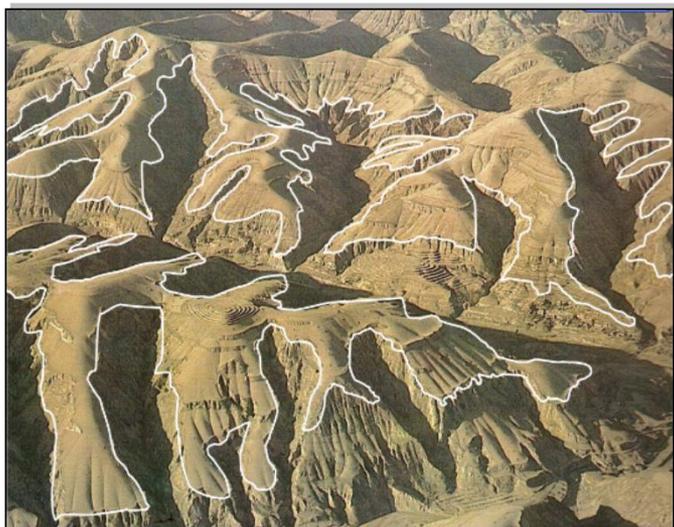
可视域分析

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.3 黄土高原建模与分析

### □ 沟沿线的定义

**沟沿线**是正地形的沟间地和负地形的沟谷地的分界线，通常情况下是黄土坡面上坡度明显转折的地方。沟沿线不仅是重要的地形特征线，也是明显的土壤侵蚀类型和土地利用分界线。



## 8.3 数字地形分析

### 8.3.5 黄土高原建模与分析

#### □ 沟沿线的提取

##### 基于DEM的沟沿线提取方法

1. 基于地形因子的方法，通过分析沟沿线以上区域与沟沿线以下区域的各项地形因子（如：坡度、坡度变率、曲率等）的差异识别沟沿线。
2. 基于数字图像处理的方法，将DEM类比遥感影像，通过边缘检测或影像分类等图像处理方法识别沟沿线。
3. 基于可视性分析的方法，通过可视域分析或者模拟光照，识别沟沿线以上区域和沟沿线以下区域形成的可视性差异提取沟沿线。

## 8.3 数字地形分析

### 8.3.5 黄土高原建模与分析

#### □ 沟沿线的提取

##### 基于地形因子的方法

基于地形因子的方法主要根据沟间地和沟谷地在坡度、坡度变率、曲率等方面的差异性进行提取，也是几种方法中较为简单、易于实现的一种。

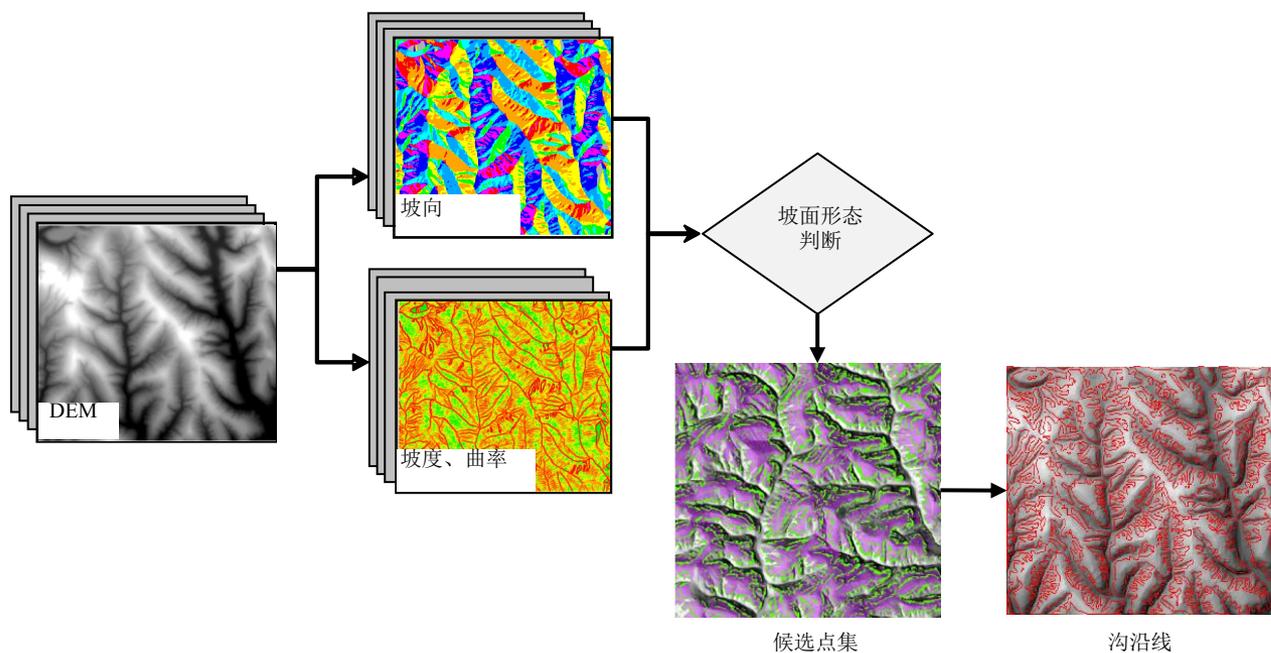
沟沿线两侧在地面坡度的变化上最为明显，呈现由沟间地的一般 $<25^\circ$ 到沟坡间地的一般 $>35^\circ$ 的明显转折变化；另一方面，在沟沿线上，地面的剖面曲率值呈现区域极值。这就可以通过对DEM的坡度与曲率图像的分析，提取沟沿线的候选点集，然后再通过形态学处理得到连续的沟沿线。

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.5 黄土高原建模与分析

### □ 沟沿线的提取

基于地形因子的方法



## 8.3 数字地形分析

### 8.3.5 黄土高原建模与分析

#### □ 基于沟沿线的黄土地貌分析

由于沟沿线与地形地貌特征和侵蚀过程密切相关，因此，其**时空分异规律**是黄土地貌研究中重要的研究内容之一。其中的典型应用之一是通过**对沟沿线特征指标空间分异情况的统计**，评价研究区沟蚀情况并制作沟蚀程度分区图。

# 8.3 数字地形分析

## 8.3.5 黄土高原建模与分析

### □ 基于沟沿线的黄土地貌分析

基于沟沿线特征的沟蚀程度量化指标

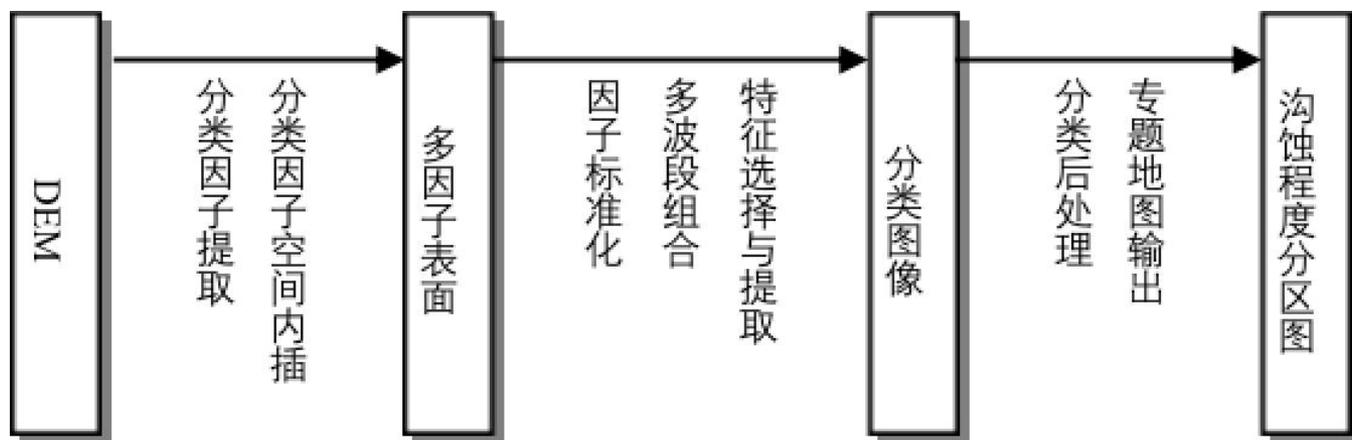


## 8.3 数字地形分析

### 8.3.5 黄土高原建模与分析

#### □ 基于沟沿线的黄土地貌分析

**沟蚀程度分区图制作流程：**首先提取均匀分布于黄土高原的若干样区的各类沟蚀量化指标（沟沿线特征指标），然后内插生成多因子表面，将每个因子表面作为一个单波段合成一幅多波段图像，提取主成分并应用非监督分类方法分类。最后得到黄土高原沟蚀程度分区图。

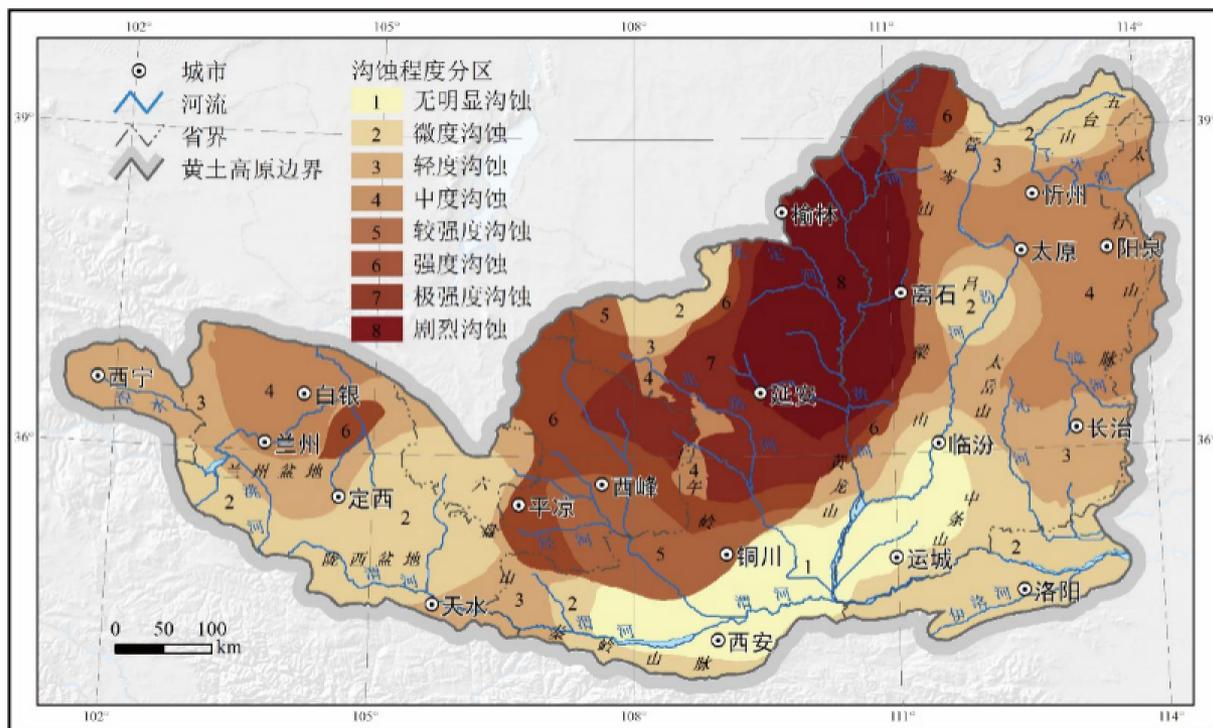


# 8.3 数字地形分析

## 8.3.5 黄土高原建模与分析

### 基于沟沿线的黄土地貌分析

#### 黄土高原沟蚀程度分区



# 专业术语与思考题

## 专业术语

数字高程模型、数字地形分析、视域分析、流域分析、规则格网DEM、不规则格网DEM、坡度、坡向、曲率、地形内插。

## 复习思考题

### 一、思考题（基础部分）

- 1、不同类型地理信息描述地形起伏特征分别采用什么方法，各有何优缺点？
- 2、说明数字高程模型（DEM）的分类体系。
- 3、DEM在GIS空间数据与空间分析中的地位与作用是什么？
- 4、简述DEM数据源及其特点。
- 5、说明坡度、坡向、剖面曲率、平面曲率的概念、提取方法及地学意义。
- 6、简述规则格网DEM和TIN的数字地形分析的主要内容，并比较它们的异同。

## 复习思考题

### 二、思考题（拓展部分）

- 1、编程实现基于规则格网DEM的坡度、坡向的提取。
- 2、设有以下信息源：地形图、航空像片、土壤普查资源、降雨强度分布图、土地利用现状图，要求：  
①写出该信息源涉及地区 $>25$ 度以上坡耕地可退耕地的面积与分布工程方案。  
②如果地面的侵蚀模数可表达为 $E=(A+b)c*\ln D*E$ ，其中  
A—坡度；B—植被盖度；C—土地利用参数（梯田=0.7；坡耕地=1.5；其他=0.8）；D—土壤抗蚀参数（武成黄土=1；马兰黄土=2；离土黄土=2.6；全新世黄土=3.1）；E—降雨侵蚀力（0—1），编程求算该地区总侵蚀量。
- 3、给定某小流域的野外实测的高程离散数据，请思考选择合适的内插模型，构建该流域数字高程模型，在此基础上，选用自己熟悉的地理信息系统软件，求算其沟壑密度，并画出流程图。
- 4、说明格网DEM通视分析的概念，试编程实现格网DEM的点对点通视。