

SimDTA (1.0 版本) 软件使用手册

软件开发 : 秦承志

手册撰写 : 秦承志 , 包黎莉

中国科学院地理科学与资源研究所
资源与环境信息系统国家重点实验室

2008 年 11 月 31 日

目 录

1、运行环境	4
2、SimDTA 软件概述	5
3、菜单项及其功能.....	7
3.1 文件 (File) 菜单	7
3.2 工具 (Tools) 菜单.....	7
3.2.1 棚格统计 (Grid Statistics)	8
1) 单一棚格文件统计 (Single GRID)	8
2) 棚格集统计 (GRIDs in Folder)	9
3.2.2 重新赋值(Resign Grid Value Range)	11
3.2.3 按值域侵蚀 (Erose Cell within Value Range)	12
3.2.4 最近邻插值 (Nearest Interpolation)	12
3.2.5 数值抽稀 (Make GRID Value Sparse)	13
3.2.6 点位数值提取 (Add Point Field with Grid)	14
3.3 DEM 预处理(DEM Preprocessing)菜单.....	14
3.4 局部地形属性 (Primary Topo. Attr.) 菜单	16
3.4.1 坡度计算 (Slope/Max Downslope)	17
3.4.2 坡向 (Aspect)	18
3.4.3 曲率 (Curvatures)	19
3.4.4 起伏度 (Relief)	20
3.4.5 地形粗糙指数 (Terrain Ruggedness Index)	21
3.4.6 高程百分比指数 (Elevation Percentil Index)	23
3.4.7 高程-起伏比 (Elevation-Relief Ratio)	24
3.4.8 表面曲率指数 (Surface Curvature Index)	25
3.4.9 景观部位指数 (Landscape Position Index)	26
3.4.10 地形部位指数 (Topographic Position Index(TPI))	27
3.4.11 地表面积 (Surface Area, Surface-Area Ratio)	28
3.4.12 开放角 (Openness Angles)	29

3.4.13 上方指数 (UPNESS Index)	30
3.4.14 下坡指数 (Downslope Index)	31
3.4.15 山脊提取 (Extract Ridge)	32
3.4.16 沟谷提取 (Extract Drainage Networks)	33
3.4.17 山-坡-谷指数 (Hill/Hillslope/Valley Index)	34
3.5 区域地形属性 (Second Topo. Attr.) 菜单	35
3.5.1 汇流面积 (Flow Accumulation/Specific Catchment Area(SCA))	35
3.5.2 地形湿度指数 (Topographic Wetness Index, TWI)	37
3.5.3 地形特征指数 (Terrain Characterization Index)	38
3.5.4 水流动力指数 (Stream Power Index)	39
3.5.5 坡长 (Slope Length)	40
3.5.6 多流向坡长 (Flow Length based on MFD)	41
3.5.7 相对位置指数 (Relative Position Index)	42
3.6 坡位坡形定量描述 (Slope Descrip.) 菜单.....	43
3.6.1 模糊坡位 (Fuzzy Slope Position)	43
3.6.1.1 模糊定量化 (Fuzzy Quantification)	43
3.6.1.2 坡位硬化分类 (Harden Slope Position)	47
3.6.2 坡形 (Slope Shape)	49
1) 步骤 1 : 搜索上坡 (Step1 : Search Upslope)	49
2) 步骤 2 : 搜索下坡 (Step2 : Search Downslope)	50
3) 步骤 3 : 计算坡形 (Step3 : Calculate slope shape)	50
3.7 帮助 (Help) 菜单	52
4、 实际应用的操作流程.....	53
5、 ASCII 码格式的栅格数据文件.....	54

1、运行环境

本软件的开发环境为 Microsoft Visual Studio 6.0 ,所用的程序设计语言为 Visual Basic 语
言 , 运行于 Windows XP 或以下的操作系统中。

程序所使用的控件均为 Microsoft Visual Studio 6.0 开发环境包含的标准控件 (Microsoft
Common Dialog Control 6.0、 Microsoft FlexGrid Control 6.0、 Microsoft Tabbed Dialog Control
6.0、 Microsoft Windows Common Controls 6.0) , 除此之外无需安装 , 可直接运行。

2、SimDTA 软件概述

目前关于定量地形属性的大量算法停留于发表的文章上，难以在相关领域进行实际应用；同时，应用领域所经常使用的少数地形属性大多是使用商业 GIS 软件中的地形分析功能计算得到，而这些商业软件中所集成的地形分析算法大多不适用于平缓或是复杂的地形条件，难以体现数字地形分析领域的研究进展。

为了更准确地定量描述地形特征、体现数字地形分析领域的研究进展、克服目前应用领域中常用商业软件的局限性，开发者在进行数字地形分析模型与方法研究的同时，基于栅格数字高程模型（DEM）开发了 SimDTA 软件，主要用于计算一系列定量地形属性，以精细刻画地形特征。

在上述背景之下，SimDTA 具有以下几个特征：

- 1) DEM 采用目前数字地形分析中广泛使用的栅格数据结构，以便于实际应用；
- 2) 数据文件格式采用标准的 ASCII 文件格式（本手册以下简称栅格文件），以便与相关的其它常用 GIS 或数字地形分析软件进行快捷的数据转换；
- 3) 目前版本在设计和实现中，尽量不使用第三方控件，并且暂不提供可视化功能，以关注于核心算法的模块化实现，同时降低软件的运行环境要求。栅格数据的可视化可通过用户正在使用的其他商业 GIS 软件来完成；
- 4) 软件以模块化的地形分析算法为核心。对于一些存在多种算法计算的地形属性，通常选择开发者通过研究认为最优的算法来实现，同时实现目前应用最广的算法，以供用户参照、对比。同时，尝试模拟生成一些人造 DEM，供用户进行数字地形分析算法的定量评价。因此，本软件具有明显的研究色彩，在软件相应功能的界面上以及软件手册中，我们列出了相应的参考文献。

随着数字地形分析领域研究成果的不断丰富，以及开发者在此领域中的不断深入，软件的功能将不断扩充。目前，SimDTA 软件的主要功能包括以下方面：

- 1) 计算描述地形局部特征的一系列定量地形属性；
- 2) 计算描述地形区域性特征的一系列定量地形属性；
- 3) 计算描述地形部位信息的一系列定量地形属性；
- 4) 地形属性计算中所涉及的栅格数据的预处理及后处理方法。

SimDTA 的基本框架如图 2-1 所示。



图 2-1、SimDTA 的基本框架

SimDTA 软件的主界面如图 2-2 所示。

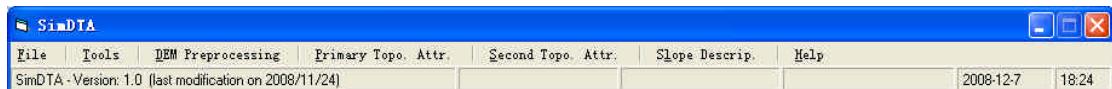


图 2-2、SimDTA 软件的主界面

主界面包括两个区域：菜单和状态条。

状态条的内容包括：SimDTA 的版本信息、当前日期、时间。

3、菜单项及其功能

主菜单包括：1) 文件 (File) 2) 工具 (Tools) 3) DEM 预处理 (DEM Preprocessing) 4) 局部地形属性 (Primary Topo. Attr.) 5) 区域地形属性 (Second Topo. Attr.) 6) 坡位坡形定量描述 (Slope Descip.) 7) 帮助 (Help)。

3.1 文件 (File) 菜单

Quit 菜单项功能：退出软件。

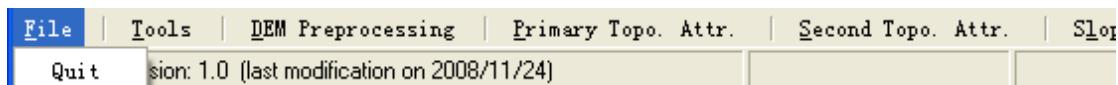


图 3-1、文件 (File) 菜单

3.2 工具 (Tools) 菜单

本菜单主要包括如下菜单项(图 3-2):栅格统计(Grid Statistics)、重新赋值(Resign Grid Value Range)、按值域侵蚀(Erode Cells within Value Range)、最近邻插值(Nearest Interpolation)、数值抽稀(Make Grid Value Sparse)、点位数值提取(Add Point Field with Grid)。

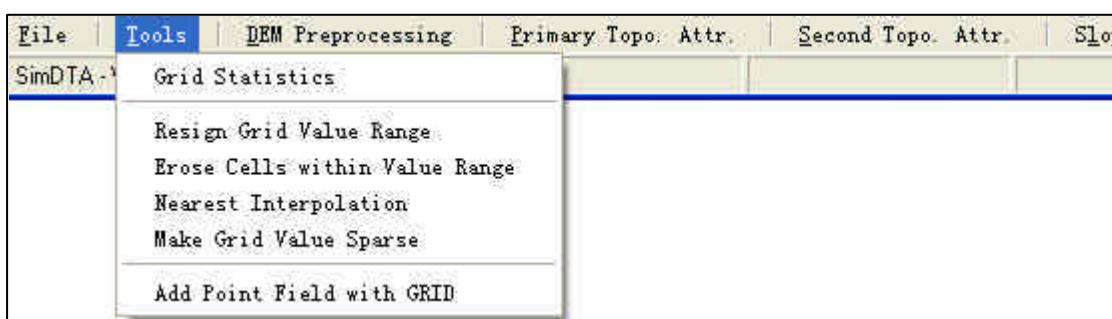


图 3-2、工具 (Tools) 菜单

3.2.1 棚格统计 (Grid Statistics)

点击本菜单项，在弹出的对话框中可进行“单一棚格文件统计”(Single GRID)或是“棚格集统计”(GRIDs in Folder)。

1) 单一棚格文件统计 (Single GRID)

“单一棚格文件统计”功能是计算一个棚格文件的常用统计量，以概述全局数据特征。计算的统计量包括：

(1) 均值 (Mean)

$$Mean = \sum_{i=1}^n z_i / n$$

式中， z_i 为棚格 i 上的数值， n 为参加统计的棚格数。

(2) 均方差 (SD)

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z_i)^2}{n} - Mean^2}$$

(3) 样本标准偏差 (STDEV)

$$STDEV = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z_i)^2 - n \cdot Mean^2}{n-1}}$$

(4) 偏度 (Skew)

$$Skew = \sum_{i=1}^n \left(\frac{z_i - Mean}{SD} \right)^3 / n$$

(5) 峰度 (Kurt)

$$Kurt = \sum_{i=1}^n \left(\frac{z_i - Mean}{SD} \right)^4 / n$$

在弹出界面的单一棚格文件统计 (Single GRID) 功能页面中 (图 3-3)，点击“源数据”(Source) 面板中的“源数据”(Src GRID) 按钮，指定待统计的棚格文件，“文件头”(File Head) 面板中相应显示所指定棚格文件的文件头信息。在“参数”(Parameters) 面板中通过

勾选相应的复选框可指定统计中是否包括空值区(Cells with NoData) 边界像素(Edge Cells) 或是空值区的八邻域像素 (NoData-neighboring Cells)，点击“执行统计”(Do Statistics) 按钮，完成统计后将在“结果”(Output) 面板中显示用户指定的统计量计算结果。

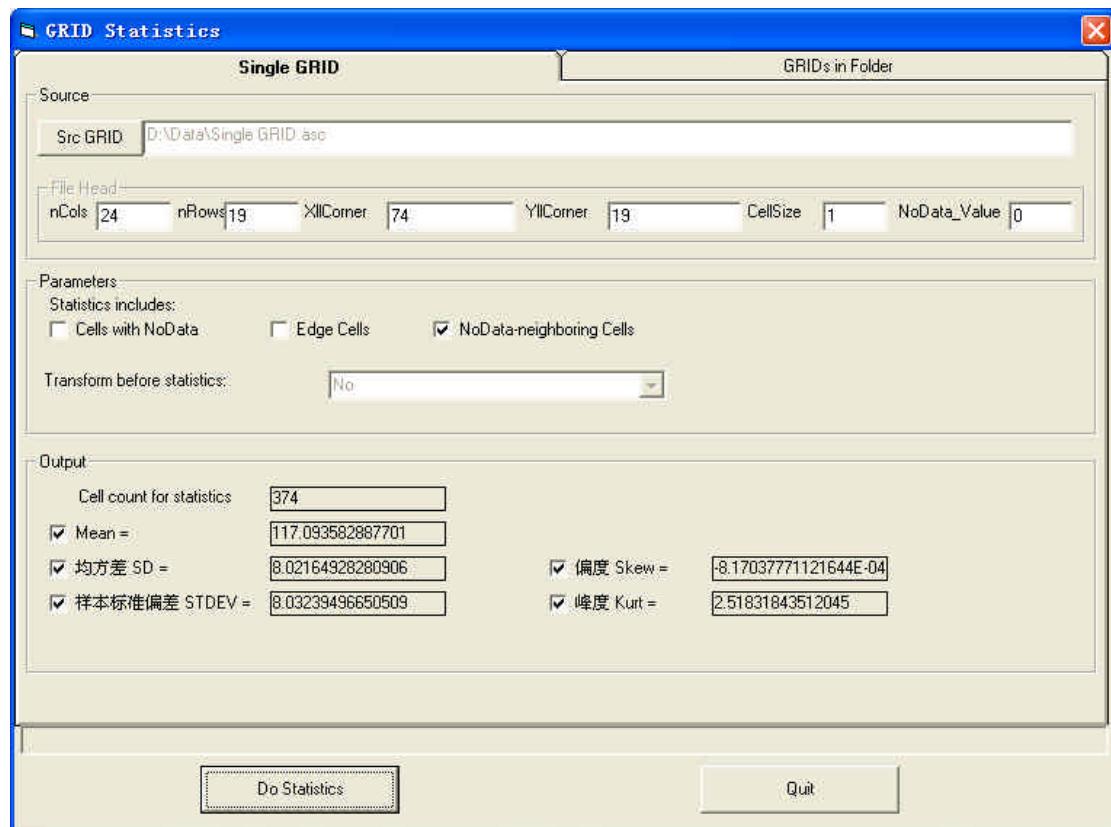


图 3-3、单一栅格文件统计 (Single GRID)

2) 栅格集统计 (GRIDs in Folder)

“栅格集统计”功能是对指定路径下、指定文件名特征、数据内容为相同区域范围的一组栅格文件进行按位置统计，统计量包括均值、均方差、样本标准偏差、最大值、最小值、顺序四分位数等，每一个统计量的结果输出为一个相同区域范围的栅格文件（图 3-4）。

该功能相当于 ArcInfo 中空间分析模块中的“Cell Statistics”功能。

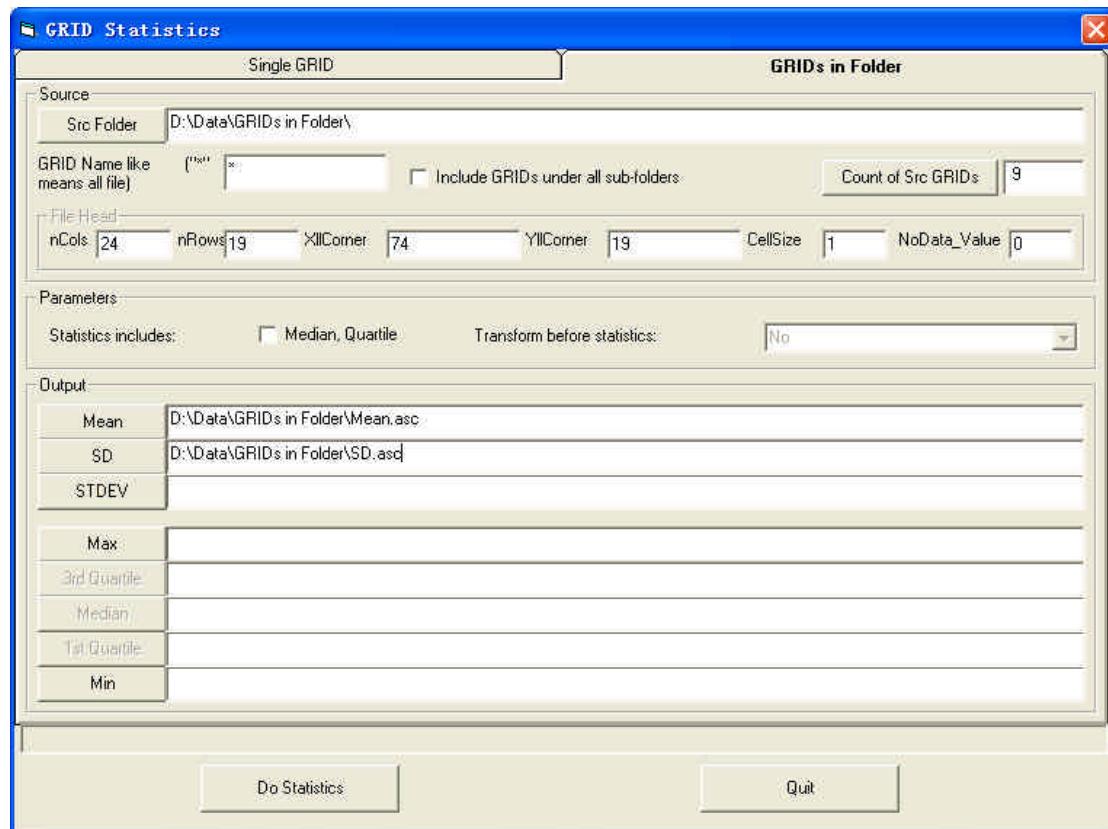


图 3-4、栅格集统计 (GRIDs in Folder)

3.2.2 重新赋值(Resign Grid Value Range)

本菜单项功能是对栅格文件中一定值域内的数值进行重新赋值。

在弹出的对话框 (图 3-5) 中，在“参数”(Parameters) 面板中设置需要重新赋值的值域 (即最小值 (Min) 和最大值 (Max)) 和新值 (New Value)。点击“重新赋值”(Assign Range-value [Min,Max] as New Value) 按钮，运行后将输出一个重新赋值后的栅格文件。

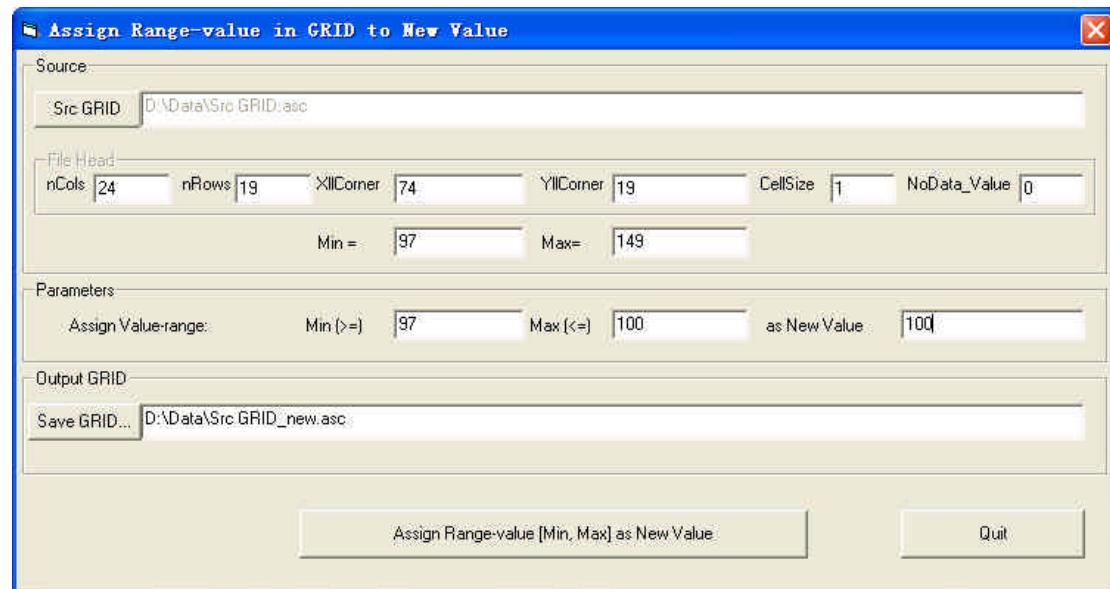


图 3-5、重新赋值(Resign Grid Value Range)

3.2.3 按值域侵蚀 (Erode Cell within Value Range)

本菜单项功能是对栅格文件中一定值域内的格网进行数学形态学中的“侵蚀”处理。

在弹出的对话框 (图 3-6) 中，在“参数”(Parameters) 面板中指定按 8 邻域像素 (by 8-neighboring-cell) 或 4 邻域像素 (by 4-neighboring-cell) 侵蚀，设置侵蚀循环次数 (Count (Erosion Loop)) 侵蚀的值域 (Value Range) 和侵蚀后的newValue (New value after erosion)。

点击“运行”(Run) 按钮，运行后除输出一个按值域侵蚀后的栅格文件，还会在“参数”(Parameters) 面板中显示侵蚀的格网数 (Cell count with value changed)。

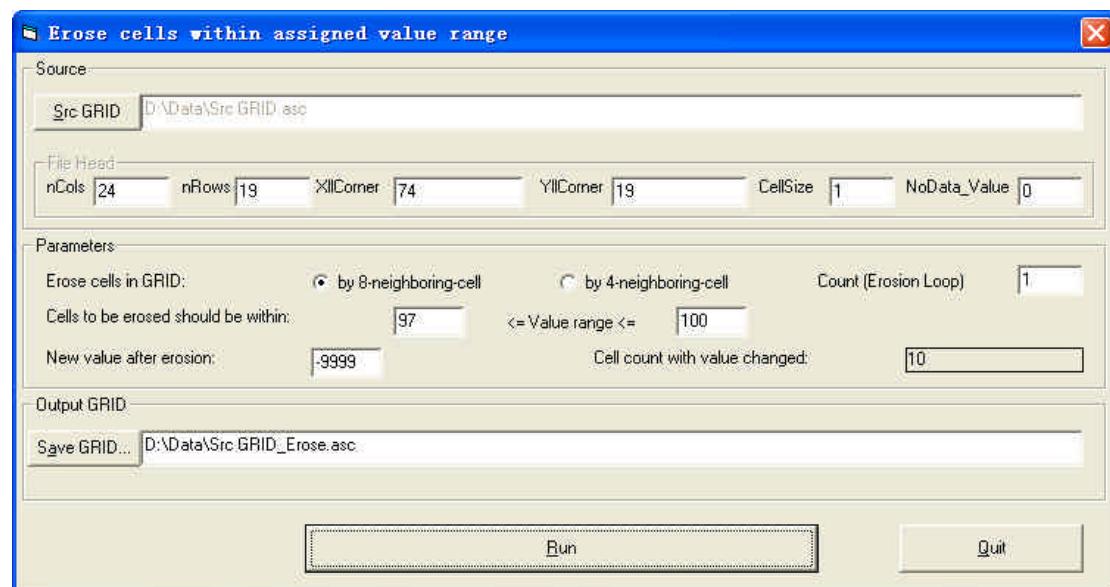


图 3-6、按值域侵蚀 (Erode Cell within Value Range)

3.2.4 最近邻插值 (Nearest Interpolation)

本菜单项可以完成对栅格文件中无数值的格网进行最近邻插值的功能 (图 3-7)。

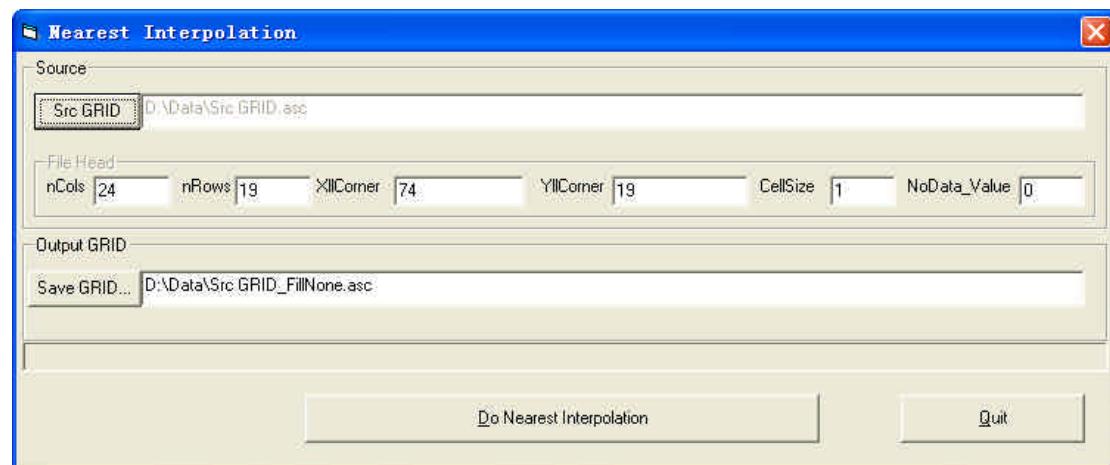


图 3-7、最近邻插值 (Nearest Interpolation)

3.2.5 数值抽稀 (Make GRID Value Sparse)

本功能是进行数据点抽稀处理，按一定的抽稀比例对指定值域内的像素进行重采样，并将未被采样的像素设置为一个新值，以减少特征点数。

在“参数”(Parameters)面板中设置抽稀比例 (Sparse ratio) 待抽稀值域 (Value before made sparse) 被抽稀掉的点所赋予的新数值 (Value after made sparse) 点击“运行”(Run) 按钮，运行后除输出一个数值抽稀后的栅格文件，还会在“参数”(Parameters) 面板中显示指定待抽稀值域内的处理前后的格网数 (Cell count in value range , Cell count with value changed)(图 3-8)。

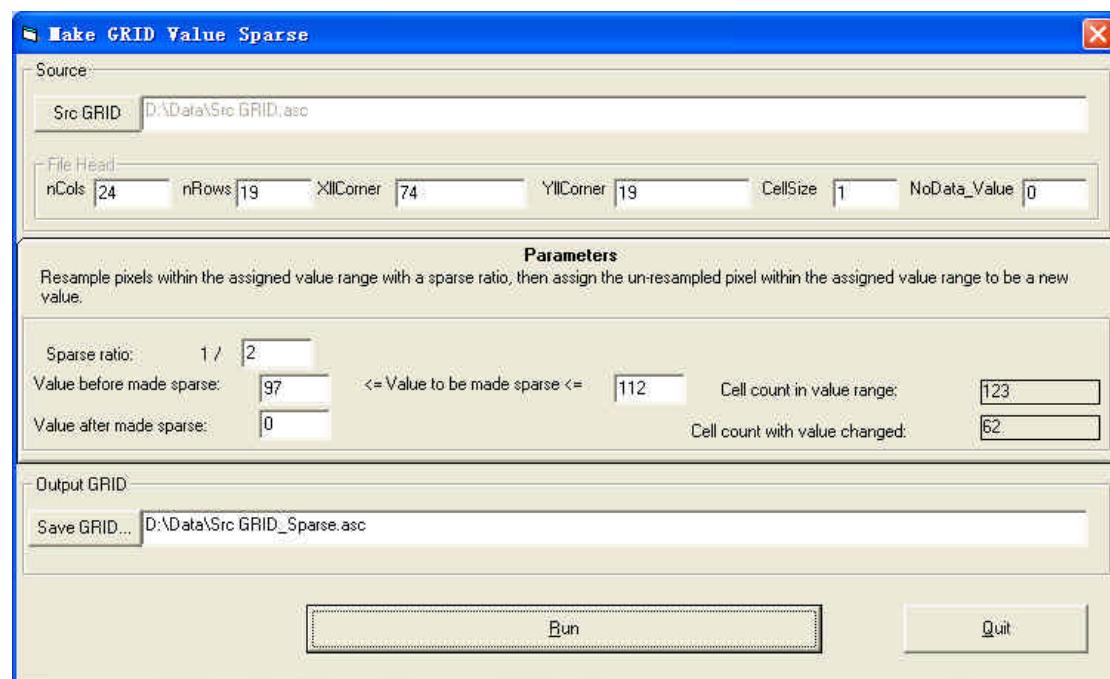


图 3-8、数值抽稀 (Make GRID Value Sparse)

3.2.6 点位数值提取 (Add Point Field with Grid)

本功能是将用户指定的栅格文件中对应于指定的一系列点位置上的数值写入点数据文件中 (图 3-9)。点数据文件为文本文件，前两列为 X、Y 坐标，该文件可通过 ArcInfo 软件中的 ArcToolbox 与点 Shapefile 文件格式进行交换。

在操作中，点数据的源文件和结果文件不能重名。

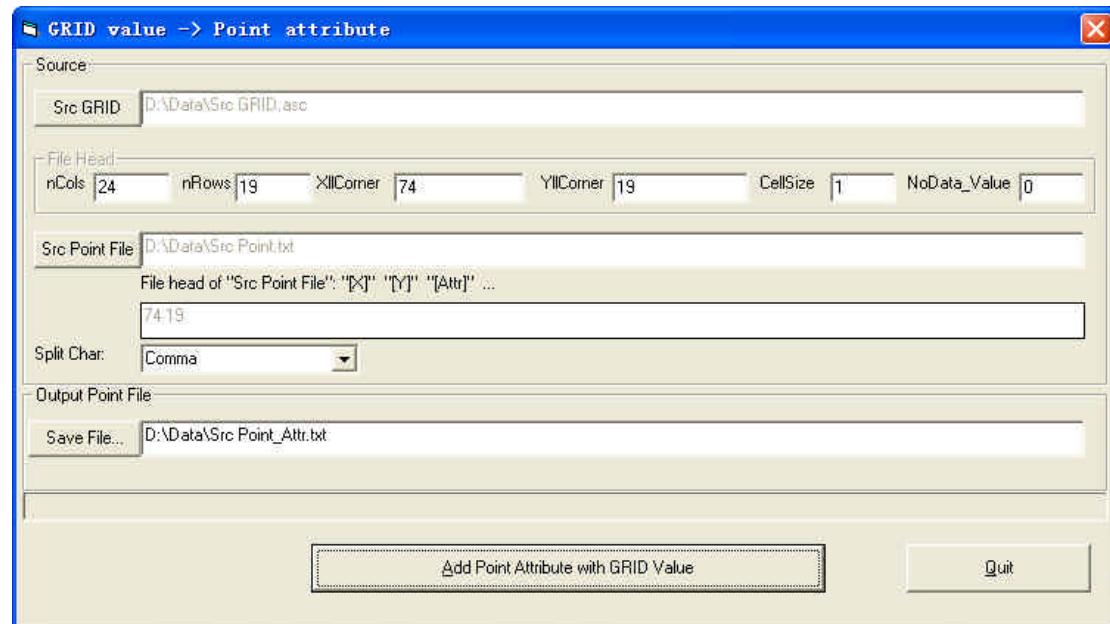


图 3-9、点位数值提取 (Add Point Field with Grid)

3.3 DEM 预处理(DEM Preprocessing)菜单

本菜单项仅有洼地平区处理 (Remove Pit and Flat) 一个子菜单 (如图 3-10)。

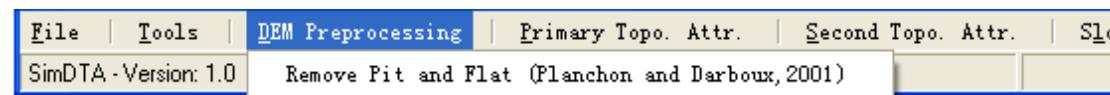


图 3-10、DEM 预处理(DEM Preprocessing)菜单

在应用多流向算法计算汇流面积之前，需对 DEM 进行预处理以去除其中的洼地与平区，以避免 DEM 误差对多流向算法应用的错误影响。本功能实现的是 Planchon 和 Darboux (2001) 所建立的洼地与平区预处理方法，通过对一个假定淹没整个 DEM 的水层进行逐步排水的过程，可将 DEM 中的洼地平区修正为具有轻微坡度的坡面，是目前在思路上适合

MFD 应用的 DEM 洼地平区预处理方法 (秦承志等, 2006)

点击该选项，在弹出的对话框中（图 3-11），点击“栅格文件输入”(Input GRID) 面板中的“DEM”按钮，指定待处理的栅格 DEM 文件，“文件头”(File Head) 面板中相应显示所指定栅格文件的文件头信息。在“参数”(Parameters) 面板中设置填洼去平处理时的高程增量 (Delta.Elev.)。点击“运行”(Run) 按钮，运行后将输出一个洼地平区处理后的栅格文件。

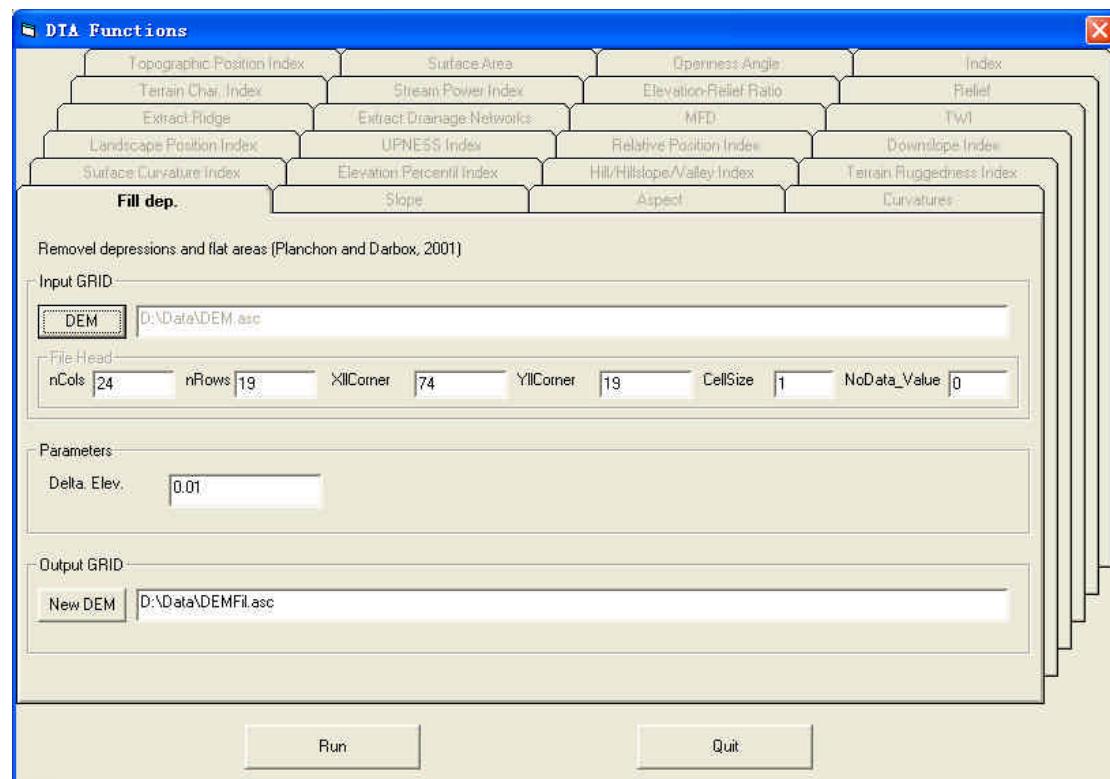


图 3-11、洼地平区处理 (Remove Pit and Flat)

参考文献：

Planchon O, F Darboux,. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. Catena, 2001, 46(2-3): 159-176.

秦承志, 朱阿兴, 李宝林, 等. 基于栅格 DEM 的多流向算法述评. 地学前缘, 2006, 13 (3): 91-98.

3.4 局部地形属性 (Primary Topo. Attr.) 菜单

局部地形属性在本软件中是指通过指定的规则邻域范围计算得到的地形属性。这些地形属性主要反映了局部的地形信息。

本菜单 (图 3-12) 包括坡度计算 (Slope/Max Downslope)、坡向 (Aspect)、曲率 (Curvatures)、起伏度 (Relief)、地形粗糙指数 (Terrain Ruggedness Index)、高程百分比指数 (Elevation Percentil Index)、高程-起伏比 (Elevation-Relief Ratio)、表面曲率指数 (Surface Curvature Index)、景观部位指数 (Landscape Position Index)、地形部位指数 (Topographic Position Index(TPI))、地表面积 (Surface Area, Surface-Area Ratio)、开放角 (Openess Angles)、上方指数 (UPNESS Index)、下坡指数 (Downslope Index)、山脊提取 (Extract Ridge)、沟谷提取 (Extract Drainage Networks) 和山-坡-谷指数 (Hill-Hillslope-Valley Index) 等子菜单。

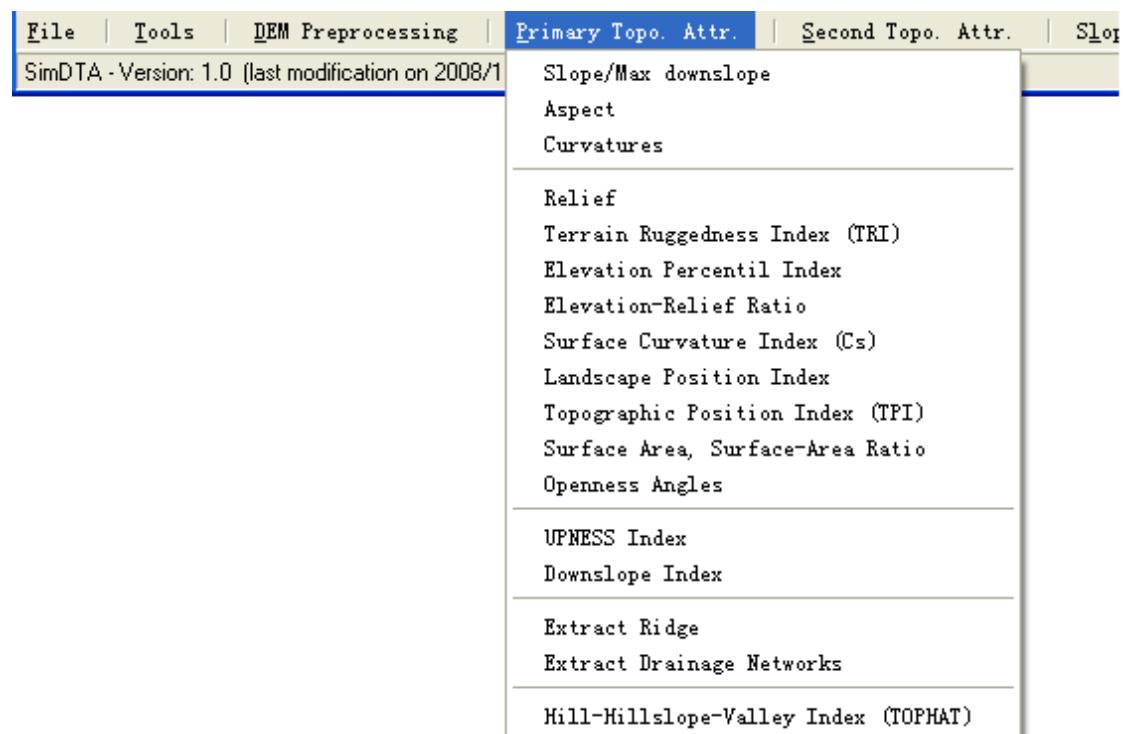


图 3-12、局部地形属性 (Primary Topo. Attr.) 菜单

3.4.1 坡度计算 (Slope/Max Downslope)

本功能是对栅格 DEM 在 3*3 邻域中计算坡度，用以反映曲面的倾斜程度。

在弹出对话框中 (图 3-13)，点击“栅格文件输入”(Input GRID) 面板中的“DEM”按钮，指定待统计的栅格文件，“文件头”(File Head) 面板中相应显示所指定栅格文件的文件头信息。在“参数”(Parameters) 面板中坡度类型 (Slope type) 的下拉框中选择相应算法：ArcInfo 中所采用的坡度算法 (Slope in ArcInfo) 或最大下坡度 (Max Downslope)，结果可输出为坡度的正切值 (in Tan (.)) 或是角度数 (in degree)。

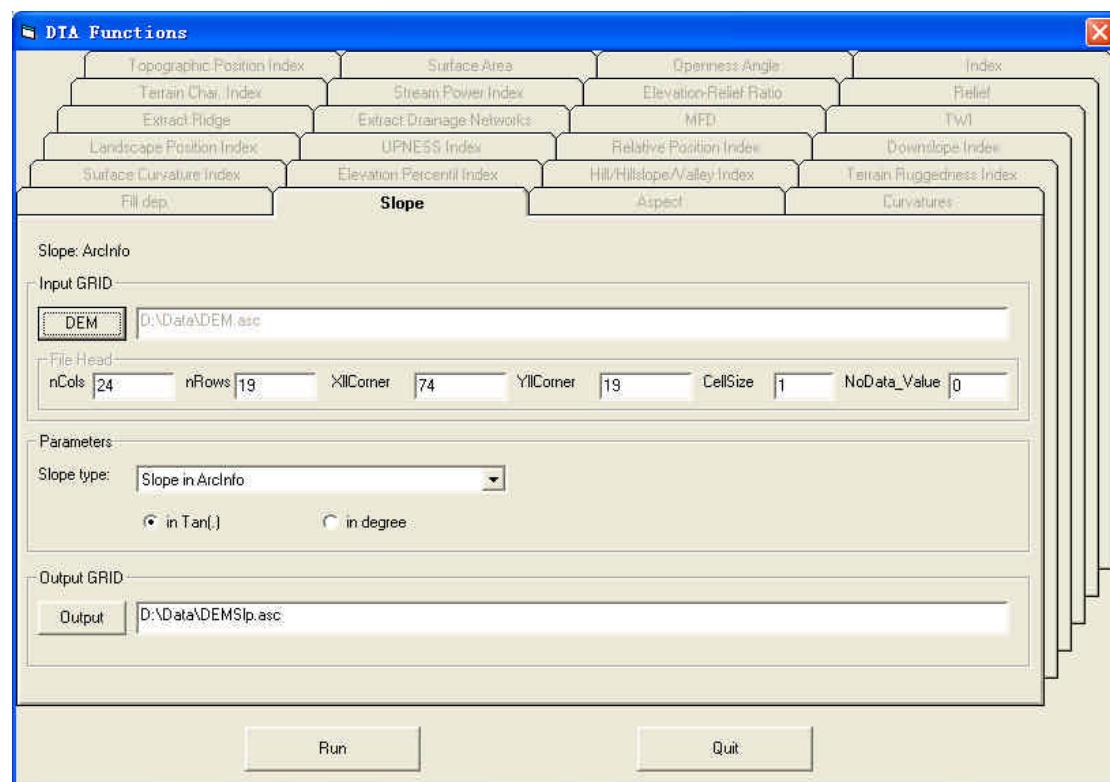


图 3-13、坡度计算 (Slope/Max Downslope)

3.4.2 坡向 (Aspect)

本功能是对栅格 DEM 在 3*3 邻域中计算坡向。

运行后的结果可按照用户需求输出为以下 4 种形式的栅格文件 :1)坡向角度数(Aspect)
 坡向角度是从正北开始顺时针表示为 [0°,360°] , 绝对平区处标记为 -1 ; 2) ArcInfo 中的坡向
 算法结果 (ArcInfo Aspect) , 从东向开始顺时针将 8 个方位角分别标记为 1 、 2 、 4 、 8 、 16
 32 、 64 、 128 , 无法定义坡向处 (绝对平区) 标为 0 ; 3) 坡向角的正弦值 (Sin(Aspect)); 4)
 坡向角的余弦值 (Cos(Aspect))(图 3-14)

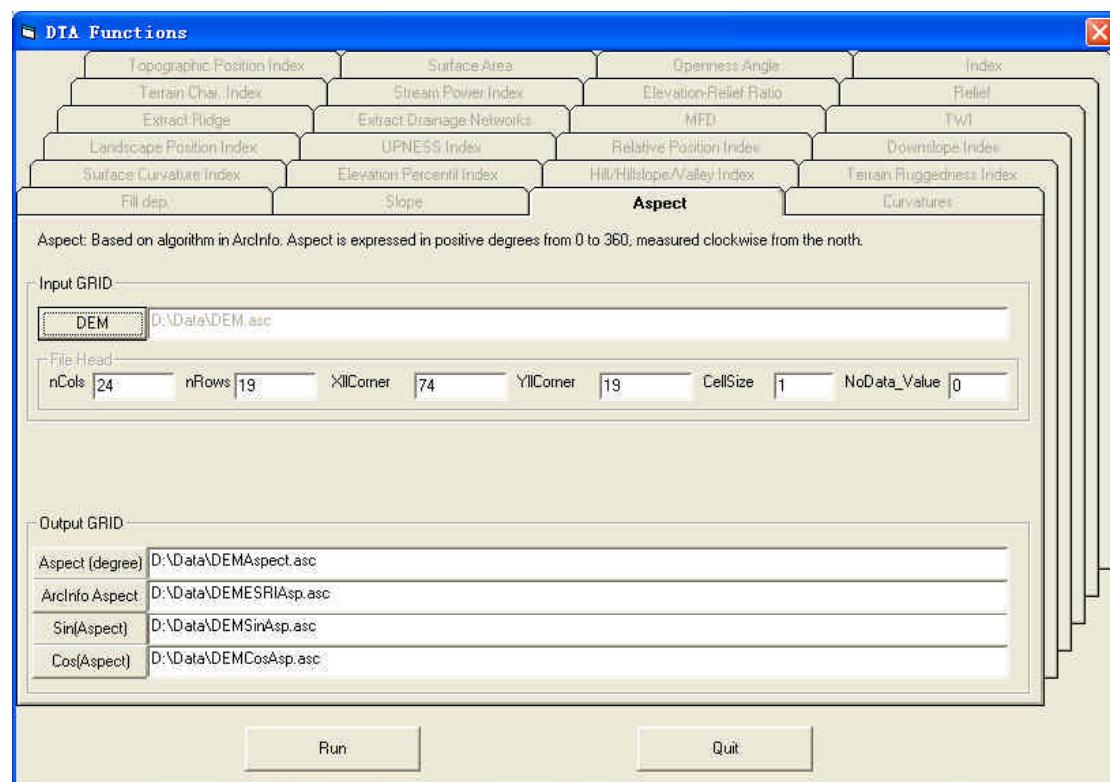


图 3-14、坡向 (Aspect)

3.4.3 曲率 (Curvatures)

本功能按照 Shary et al. (2002) 算法对栅格 DEM 在 3*3 邻域中计算曲率，以反映局部地形曲面在各个截面方向上的形状、凹凸变化。

可计算的曲率包括：沿剖面曲率 (profile curvature) 沿等高线曲率 (或称平面曲率 , plan curvature) 水平曲率 (horizontal curvature) 平均曲率 (mean curvature) 非球形曲率 (unsphericity curvature) 最小曲率 (minimal curvature) 最大曲率 (maximal curvature)(图 3-15)。

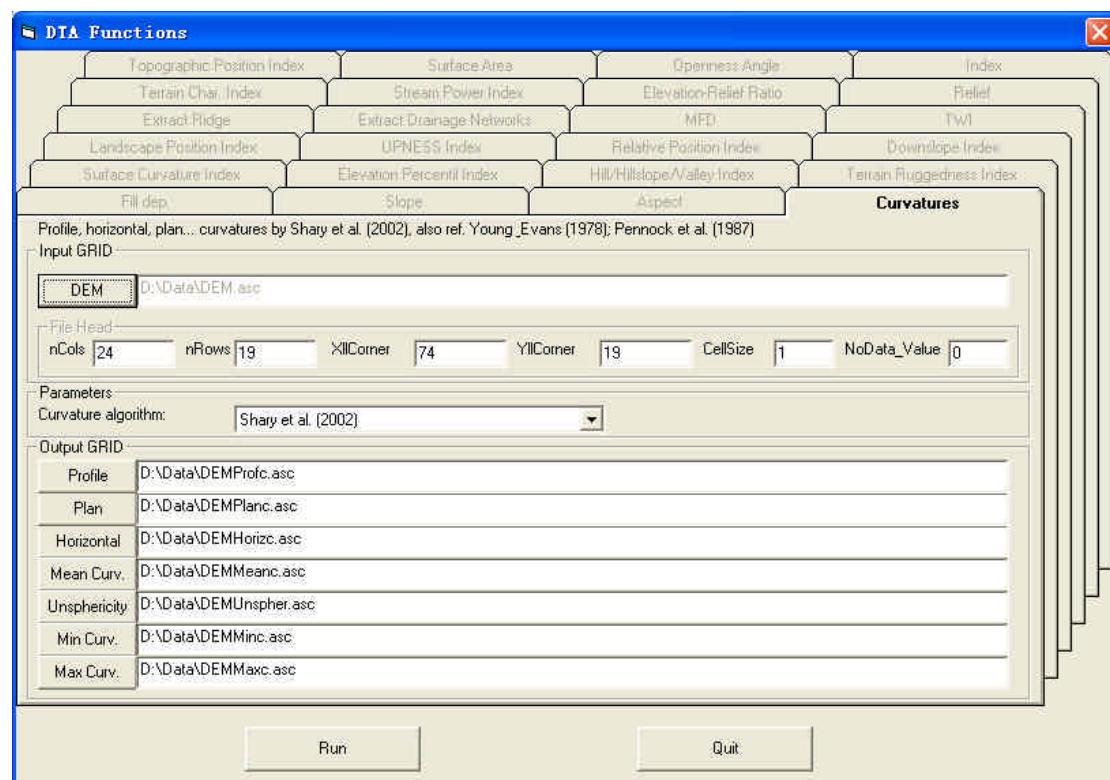


图 3-15、曲率 (Curvatures)

参考文献：

Shary P A, L S Sharaya, A V Mitusov. Fundamental quantitative methods of land surface analysis. Geoderma, 2002, 107: 1-32.

3.4.4 起伏度 (Relief)

本功能按照用户指定的计算邻域对栅格 DEM 进行起伏度 (即高差) 的计算。

$$\text{relief} = \text{Max}(\text{elev}) - \text{Min}(\text{elev})$$

计算邻域可为方形 (Square) 或圆形 (Circle)，用户通过设定正方向上计算域的最远端像素到中心像素的距离 (单位为像素数目 , 不计中心像素 , 例如 2 对应于 5*5 邻域) 来指定邻域窗口的大小 (图 3-16)。

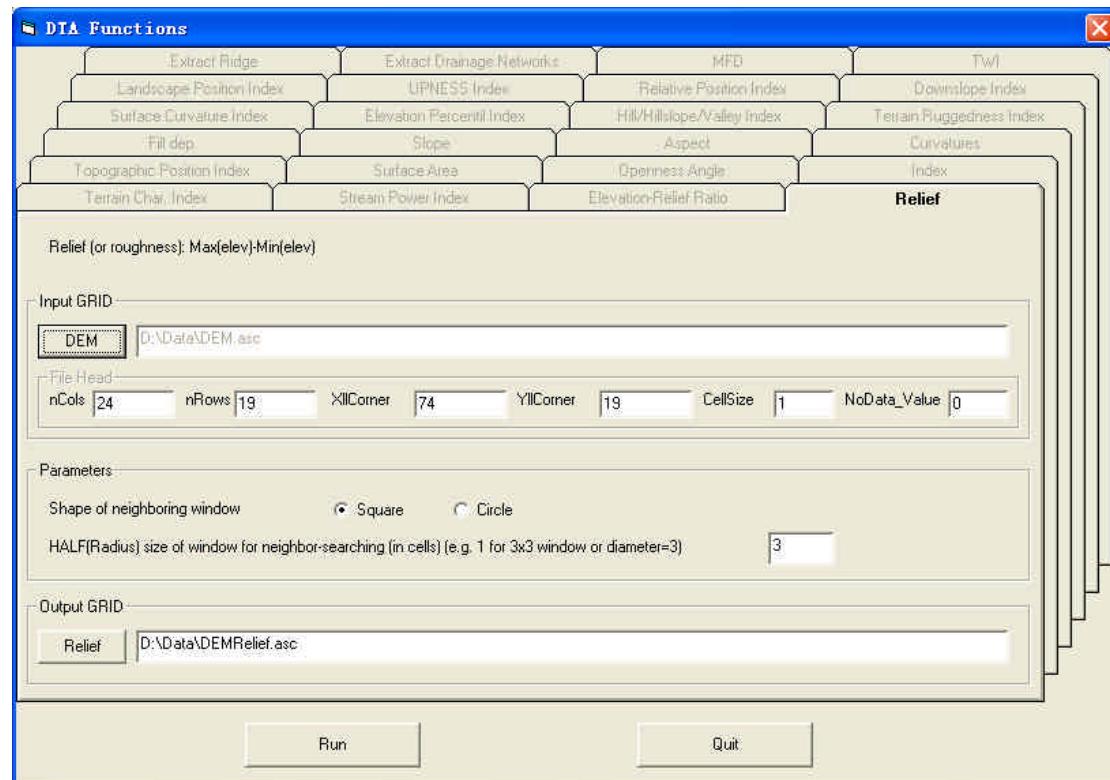


图 3-16、起伏度 (Relief)

3.4.5 地形粗糙指数 (Terrain Ruggedness Index)

本功能对栅格 DEM 按照用户指定的计算邻域进行地形粗糙指数的计算。

地形的粗糙度常用来刻画一个单位地表单元地势起伏的复杂程度。最初 Riley et al. (1999) 提出地形粗糙指数是在 3*3 邻域中进行计算：

$$TRI = \sqrt{\frac{\text{Sum}(Z_i - Z_c)^2}{8}}$$

式中， z_i 为邻域栅格 i 上的高程值， z_c 为中心栅格的高程值。

Wilson et al. (2007) 将计算域的范围进行了扩展，但同时受到 Valentine et al. (2004) 的误导，对计算公式进行了不必要的改动。本软件按照最初的计算公式进行了计算邻域的扩展。计算邻域可为方形 (Square) 或圆形 (Circle)，用户通过设定正方向上计算域的最远端像素到中心像素的距离 (单位为像素数目，不计中心像素，例如 2 对应于 5*5 邻域) 来指定邻域窗口的大小 (图 3-17)。

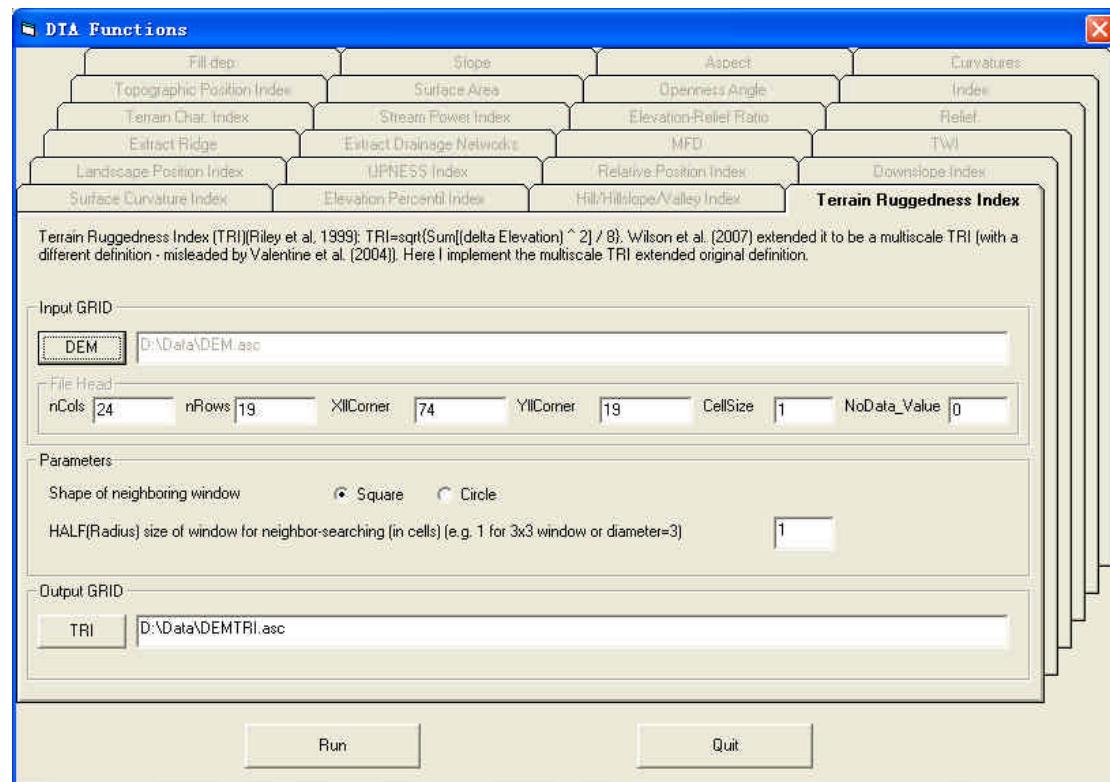


图 3-17、地形粗糙指数 (Terrain Ruggedness Index)

参考文献：

Riley S J, S D de Gloria, R Elliot. A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences*, 1999, 5(1-4).

Valentine P C, S J Fuller, L A Scully. Terrain ruggedness analysis and distribution of boulder ridges in the Stellwagen Bank National Marine Sanctuary Region (poster). 5th International Symposium on Marine Geological and Biological Habitat Mapping (GeoHAB), Galway, Ireland, May, 2004.

Wilson M F J, B O'Connell, C Brown, J C Guinan, A J Grehan. Multiscale terrain analysis of multibeam bathymetry data for habitat mapping on the continental slope. *Marine Geodesy*, 2007, 30: 3-35.

3.4.6 高程百分比指数 (Elevation Percentil Index)

本功能对栅格 DEM 按照用户指定大小的圆形计算邻域进行高程百分位指数的计算。高程百分位指数是指邻域内低于中心栅格高程值的栅格数目占邻域栅格总数的百分数 , 可反映中心栅格在邻域中的相对位置 (Gallant and Wilson, 2000)。其计算公式为 :

$$pctl = \frac{100}{N_c} * count(Z_i < Z_c)$$

式中 , z_i 为邻域栅格 i 上的高程值 , z_c 为中央栅格的高程值 , N_c 为邻域中的栅格数目 (不计空值区)。

圆形邻域窗口的大小由用户通过设定圆形半径 (单位为像素数目 , 不计中心像素) 来指定 (图 3-18)。

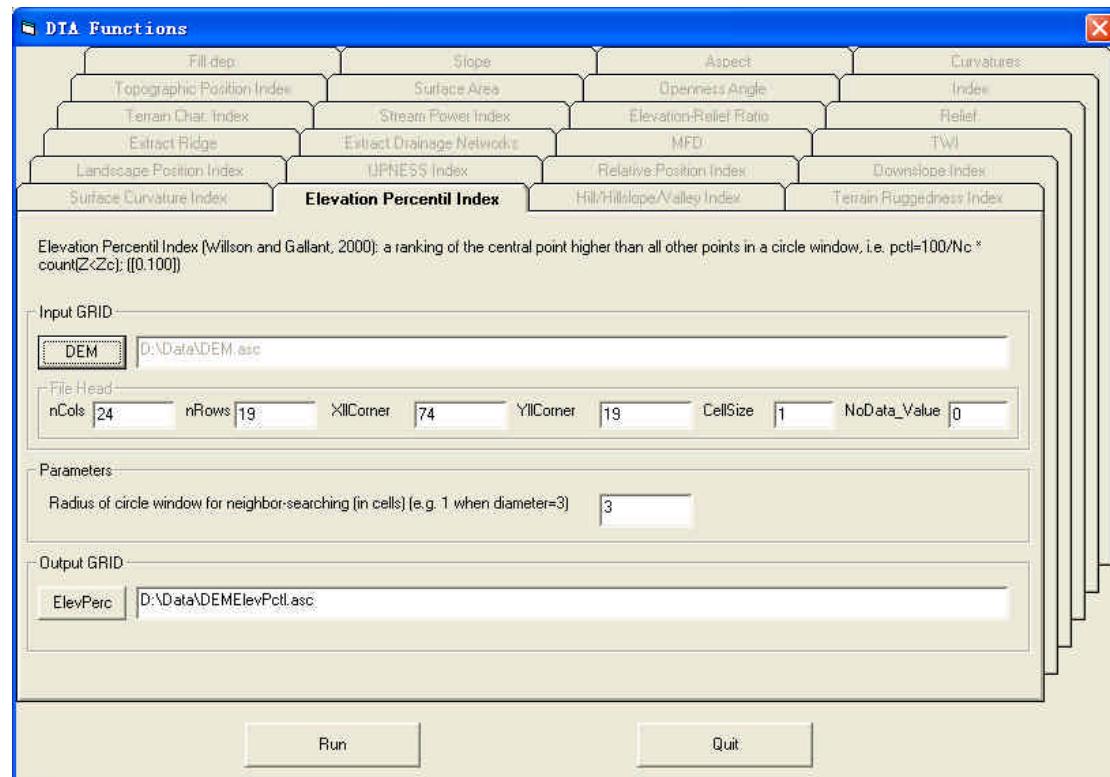


图 3-18、高程百分比指数 (Elevation Percentil Index)

参考文献 :

Gallant J C, J P Wilson. Primary topographic attributes. In: Willson J P, J C Gallant. eds. Terrain Analysis: Principles and Application. New York: John Wiley & Sons Inc., 2000, pp. 51-85.

3.4.7 高程-起伏比 (Elevation-Relief Ratio)

本功能对栅格 DEM 按照用户指定大小的圆形计算邻域进行高程-起伏比的计算。高程-起伏比的计算式为 (Mark, 1975) :

$$ER = [Mean(elev) - Min(elev)] / [Max(elev) - Min(elev)]$$

圆形邻域窗口的大小由用户通过设定圆形半径 (单位为像素数目, 不计中心像素) 来指定 (图 3-19)。计算域为绝对平区时, 结果中对应栅格标记为-1。

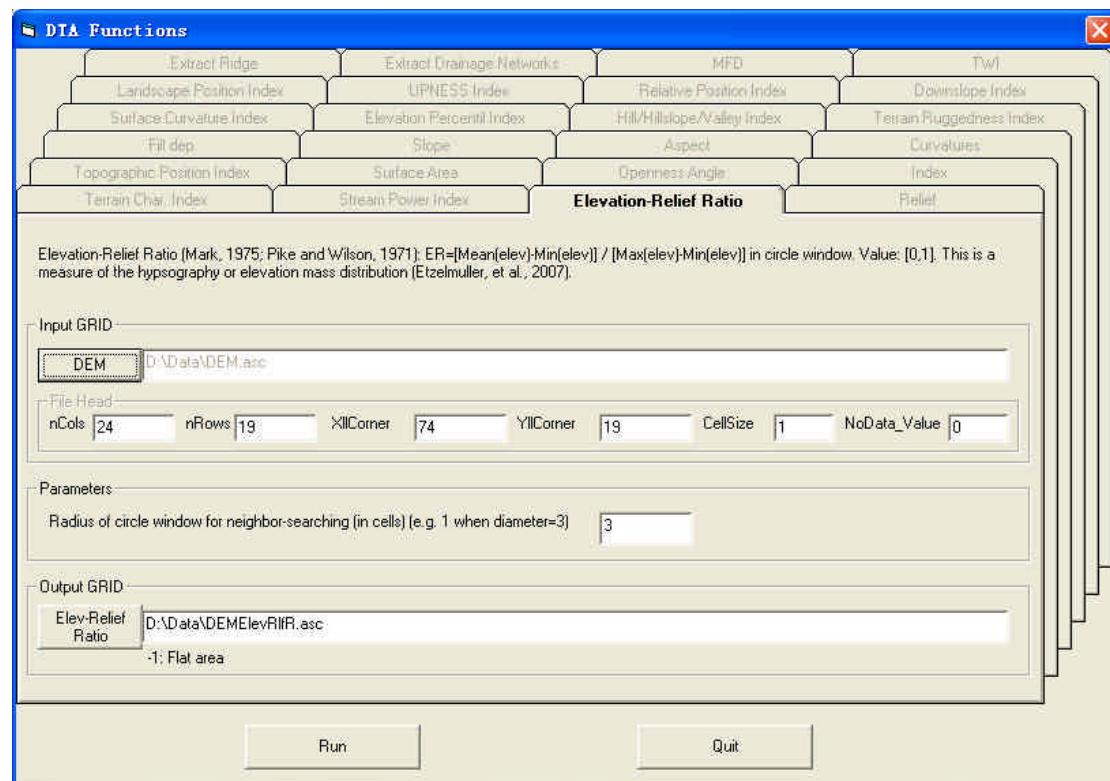


图 3-19、高程-起伏比 (Elevation-Relief Ratio)

参考文献：

Mark D M. Geomorphometric parameters: a review and evaluation. *Geografiske Annaler*, 1975, 57A: 165-177.

3.4.8 表面曲率指数 (Surface Curvature Index)

本功能对栅格 DEM 按照用户指定的计算邻域进行表面曲率指数的计算，计算式为：

$$Cs = \frac{\text{Sum}[(Z_i - \bar{Z}) / \text{dist}]}{n}$$

式中， Z_i 为邻域栅格 i 上的高程值， \bar{Z} 为邻域窗口中的高程平均值，dist 为 Z_i 到中心点的距离， n 为参加统计的栅格数。Cs 反映了地表形态的两个特点：坡度大小，以及三维地表形态的曲率。正的 Cs 表明一个以凸坡为主的坡面，负的 Cs 表明一个以凹坡为主的坡面，Cs 为 0 则表明局部地形的高差很小或为直坡 (Park and van de Giesen, 2004)。

计算邻域可为方形 (Square) 或圆形 (Circle)，用户通过设定正方向上计算域的最远端像素到中心像素的距离 (单位为像素数目，不计中心像素，例如 2 对应于 5*5 邻域) 来指定邻域窗口的大小 (图 3-20)。

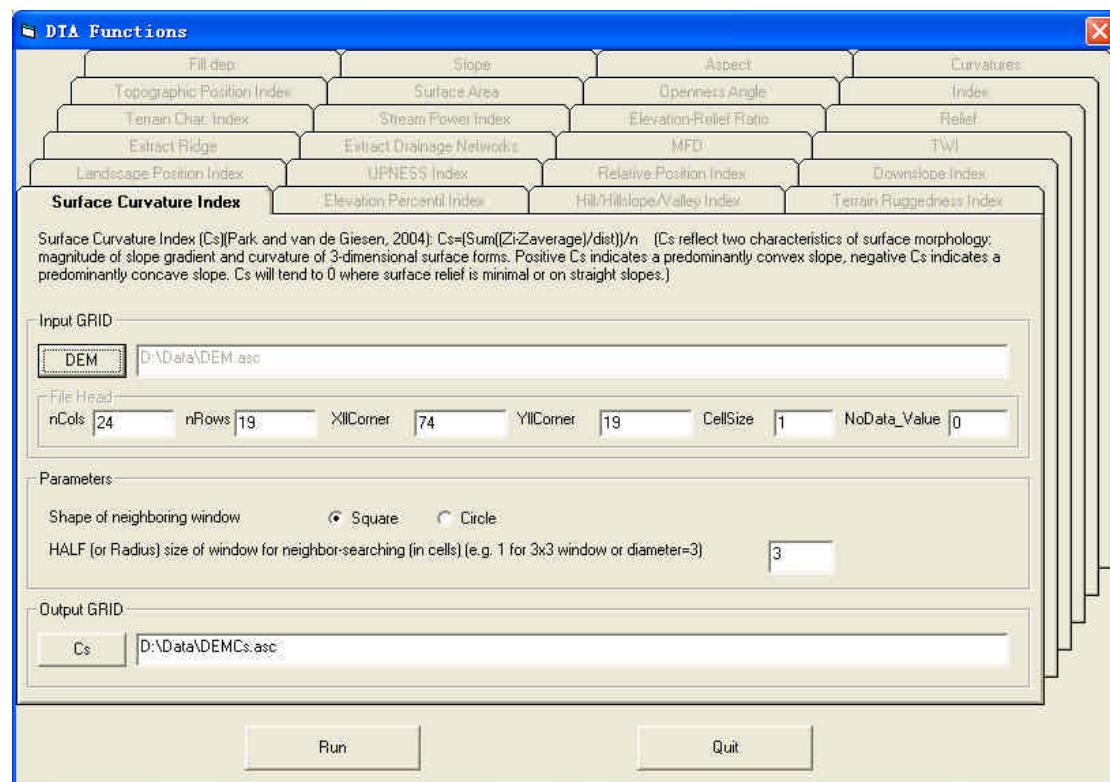


图 3-20、表面曲率指数 (Surface Curvature Index)

参考文献：

Park S J, N van de Giesen. Soil-landscape delineation to define spatial sampling domains for hillslope hydrology. Journal of Hydrology, 2004, 295: 28-46.

3.4.9 景观部位指数 (Landscape Position Index)

本功能对栅格 DEM 按照用户指定大小的圆形计算邻域进行景观位置指数 (Fels and Matson, 1996) 的计算 (图 3-21)。计算公式为：

$$LPos = \frac{\text{Sum}(z_i - z_c) / dist_i}{n}$$

式中， z_i 为邻域栅格 i 上的高程值， z_c 为中心栅格的高程值， $dist_i$ 为 z_i 到中心点的距离， n 为参加统计的栅格数。

原则上，搜寻半径应该取为景观的分形维数的一半，即景观中的山脊到沟谷距离的一半 (Fels and Matson, 1996)。

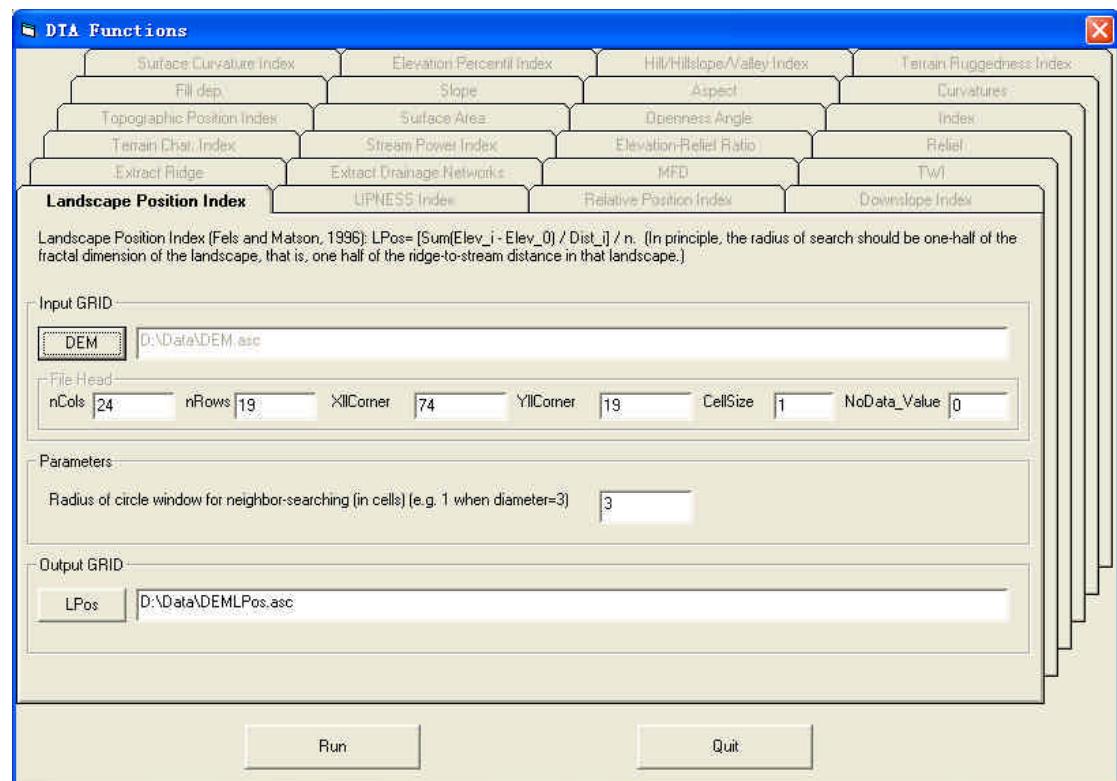


图 3-21、景观部位指数 (Landscape Position Index)

参考文献：

Fels J, K Matson. A cognitively-based approach for hydrogeomorphic land classification using digital terrain models. NCGIA-National Center for Geographic Information and Analysis. Third International Conference/Workshop on Integration GIS and Environmental Modeling, Santa Fe, NM, USA, 21-25 January, 1996.

3.4.10 地形部位指数 (Topographic Position Index(TPI))

本功能对栅格 DEM 按照用户指定的计算邻域进行地形部位指数 (Weiss, 2001; Jenness, 2005) 的计算。地形部位指数在深海测量学的应用中也被称为深海位置指数 (Bathymetric Position Index) (Lundblad et al., 2006), 其计算公式为：

$$TPI = z_c - \text{focalmean}(z_i)$$

式中, z_c 为中央栅格的高程值, $\text{focalmean}(z_i)$ 为邻域窗口中高程的均值。

计算窗口可为方形 (Square) 圆形 (Circle) 或环形 (Annulus), 用户通过设定正方向上计算域的最远端像素到中心像素的距离 (单位为像素数目, 不计中心像素, 例如 2 对应于 5*5 邻域) 来指定邻域窗口的大小 (图 3-22)。如果计算窗口是环形的话, 还需指定内环的半径。

TPI 是与尺度相关的。一般来说, TPI 值接近 0 意味着局部平区或坡中部, $TPI > 0$ 意味着靠近山脊, $TPI < 0$ 意味着靠近山谷。

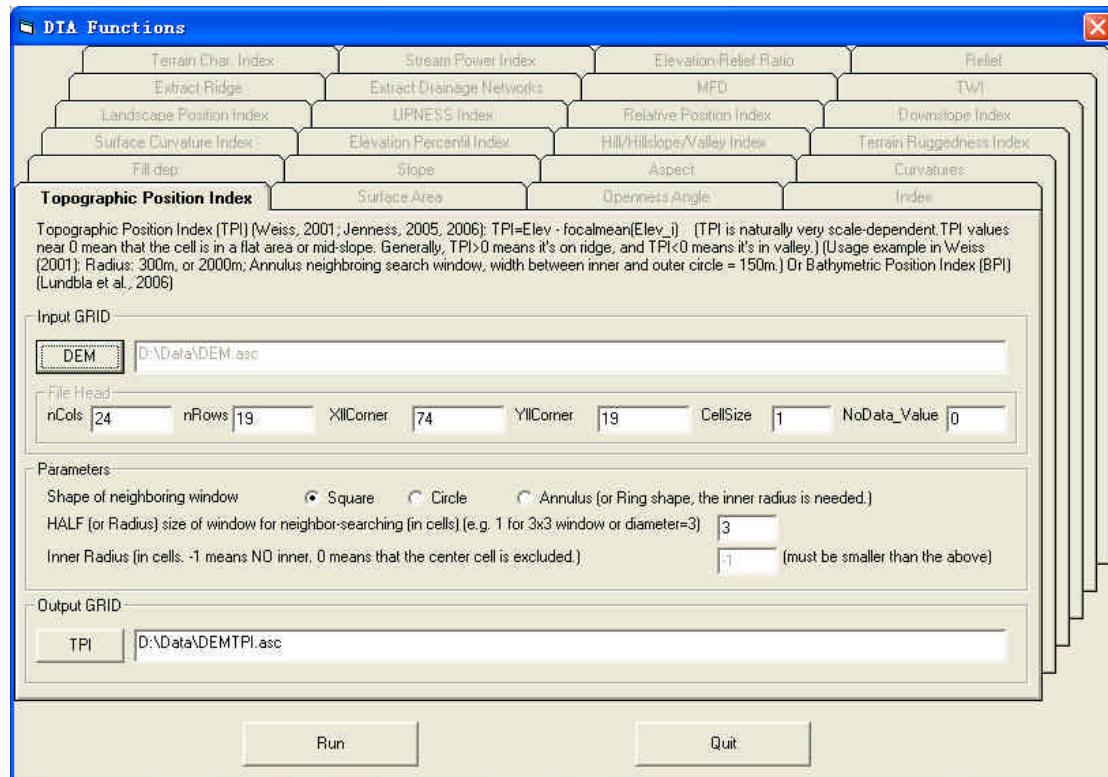


图 3-22、地形部位指数 (Topographic Position Index(TPI))

参考文献：

Jenness J. Topographic Position Index (tpi_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.2. Jenness

Enterprises. Available at: <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>.

Lundblad E R, D J Wright, J Miller, et al. A benthic terrain classification scheme for American Samoa. Marine Geodesy, 2006, 26(2): 89-111.

Weiss A D. Topographic positions and landforms analysis (Conference Poster). ESRI International User Conference, San Diego, CA, July 9-13, 2001.

3.4.11 地表面积 (Surface Area, Surface-Area Ratio)

本功能按照 Jenness (2004) 的算法对栅格 DEM 在 3*3 邻域中计算地表面积。

输出的结果可以为地表面积和/或地表面积-投影面积比值 (图 3-23)。

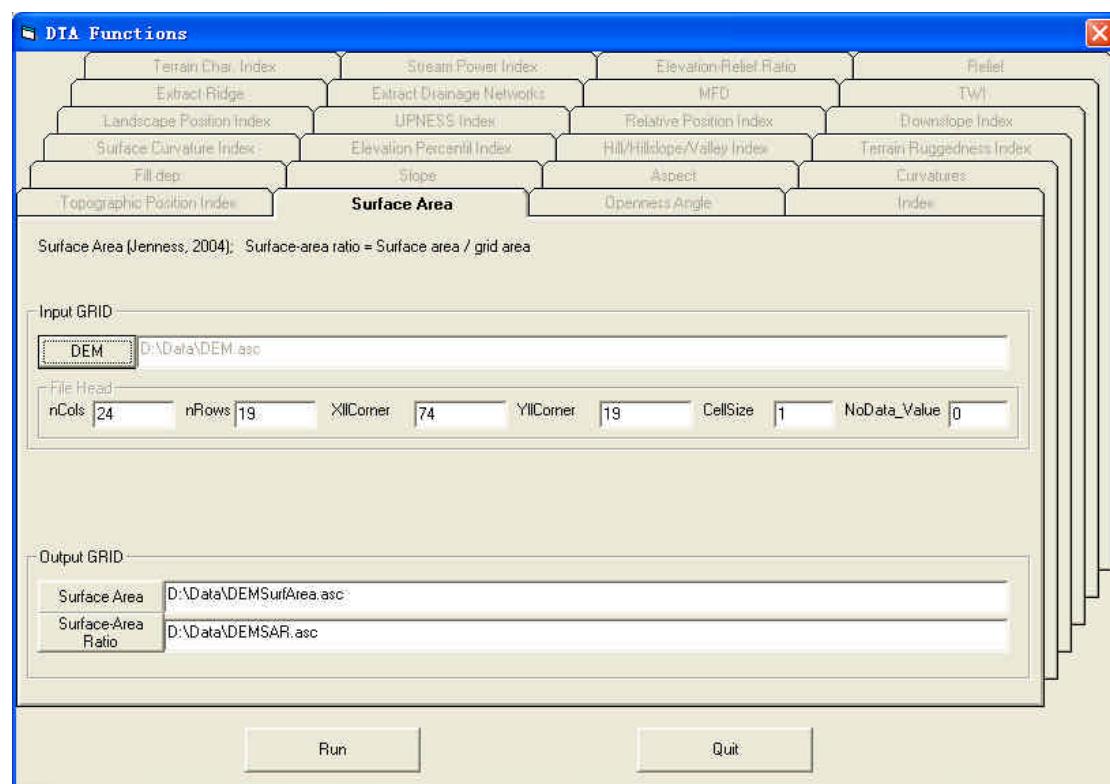


图 3-23、地表面积 (Surface Area, Surface-Area Ratio)

参考文献：

Jenness J. Calculating landscape surface area from digital elevation models. Wildlife Society Bulletin, 2004, 32(3): 829-839.

3.4.12 开放角 (Openness Angles)

本功能对栅格 DEM 按照用户指定大小的圆形计算邻域计算开放角 (以度为单位) (Yokoyama et al., 2002)。开放角被设计用于地形可视化，正向开放角=8个方位角上的最大天顶角度之和/8；负向开放角=沿8个方位角的最小天底角之和/8。

用户通过设定的圆形半径(单位为像素数目,不计中心像素)来指定圆形邻域窗口的大小(图 3-24)。

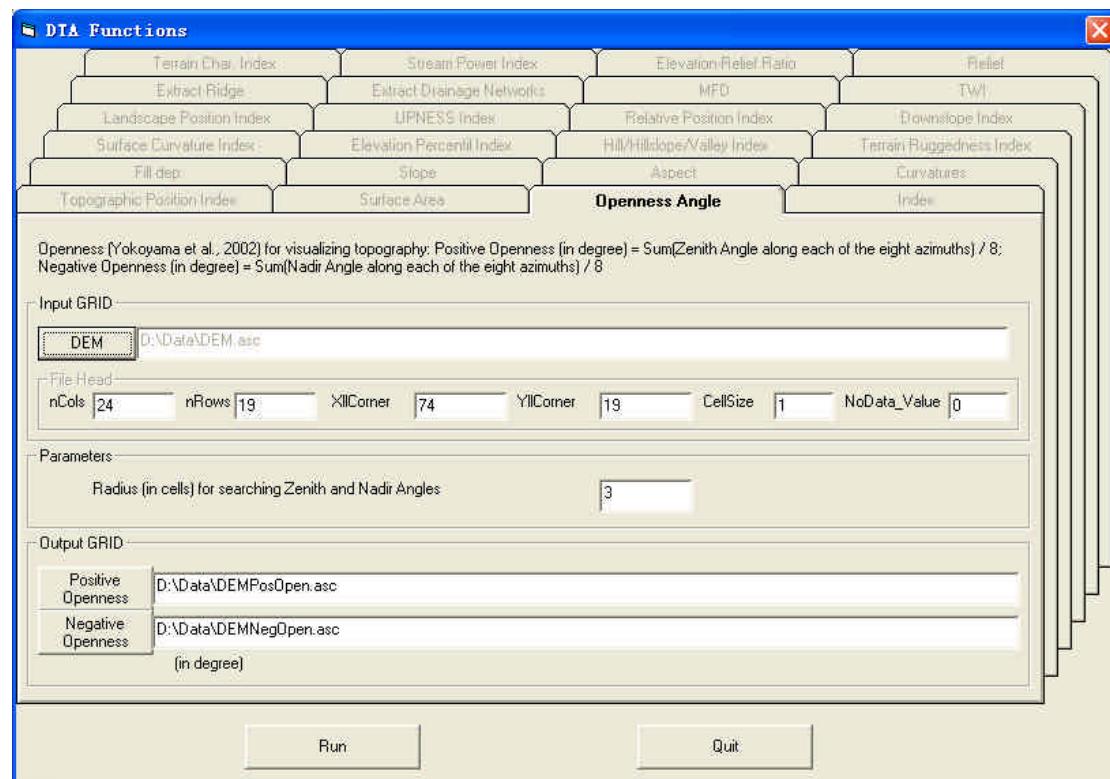


图 3-24、开放角 (Openness Angles)

参考文献：

Yokoyama R, M Sirasawa, R Pike. Visualizing topography by openness: a new application of image processing to digital elevation models. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2002, 68(3): 257-265.

3.4.13 上方指数 (UPNESS Index)

本功能对栅格 DEM 计算上方指数 (图 3-25)。

一个栅格上的上方指数是指该栅格按照单调上山路径所能连接到的所有栅格的总数 (Summerell et al., 2004)。在应用时通常使用上方指数的自然对数。

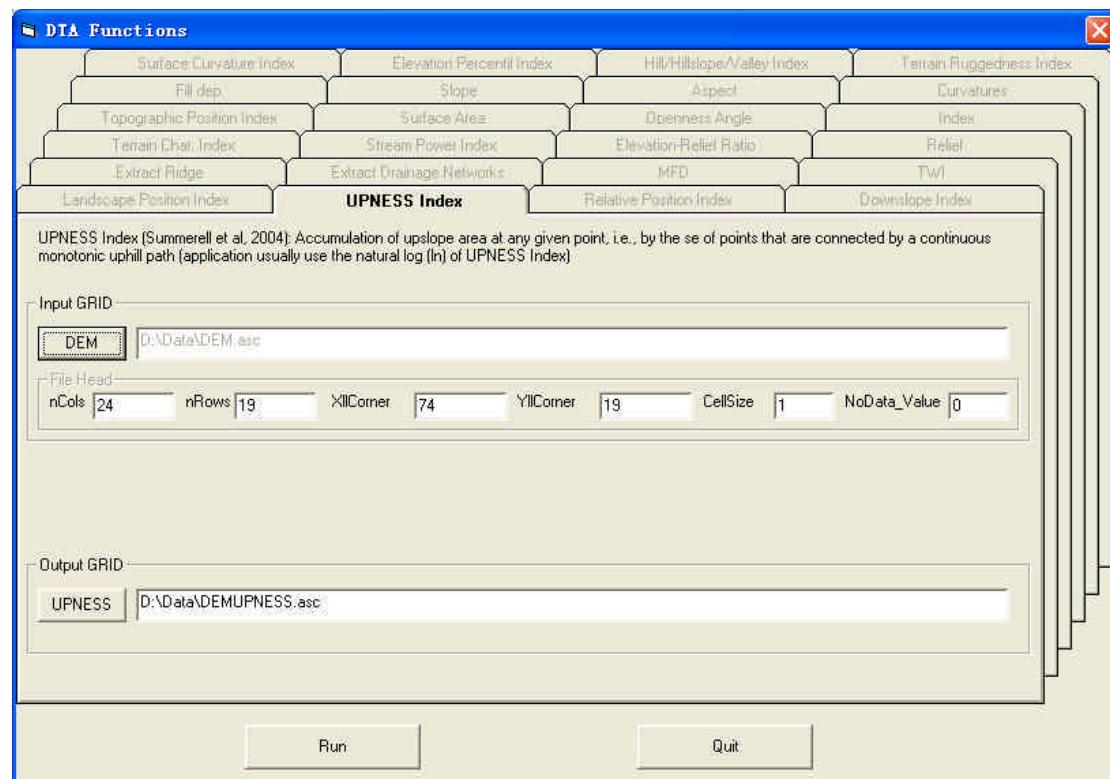


图 3-25、上方指数 (UPNESS Index)

参考文献：

Summerell G, T Dowling, J Wild, G Beale. FLAG UPNESS and its application for mapping seasonally wet to waterlogged soils. Australian Journal of Soil Research, 2004, 42.: 155-162.

3.4.14 下坡指数 (Downslope Index)

本功能是根据用户提供的栅格 DEM 以及通过 ArcInfo 相应得到的单流向结果，按照用户指定的高程下降阈值来计算下坡指数（图 3-26）。

下坡指数 (Hjerdt et al., 2004) 的定义是：

$$\tan \alpha_d = d / L_d$$

式中， d 是用户设定的高程下降阈值， L_d 沿着最陡下坡方向垂直距离降低 d 时的水平距离。

下坡指数的用途是在地形湿度指数的计算公式中代替传统采用的局部梯度 $\tan b$ 。高程下降阈值控制着水力梯度与地表梯度之间的偏差，以更好地表示下坡对地下水导水的影响。计算时需要确定 d 值，Hjerdt et al. (2004) 应用于 50m 栅格大小的 DEM 时分别选用 2 米、5 米作为高程下降阈值。

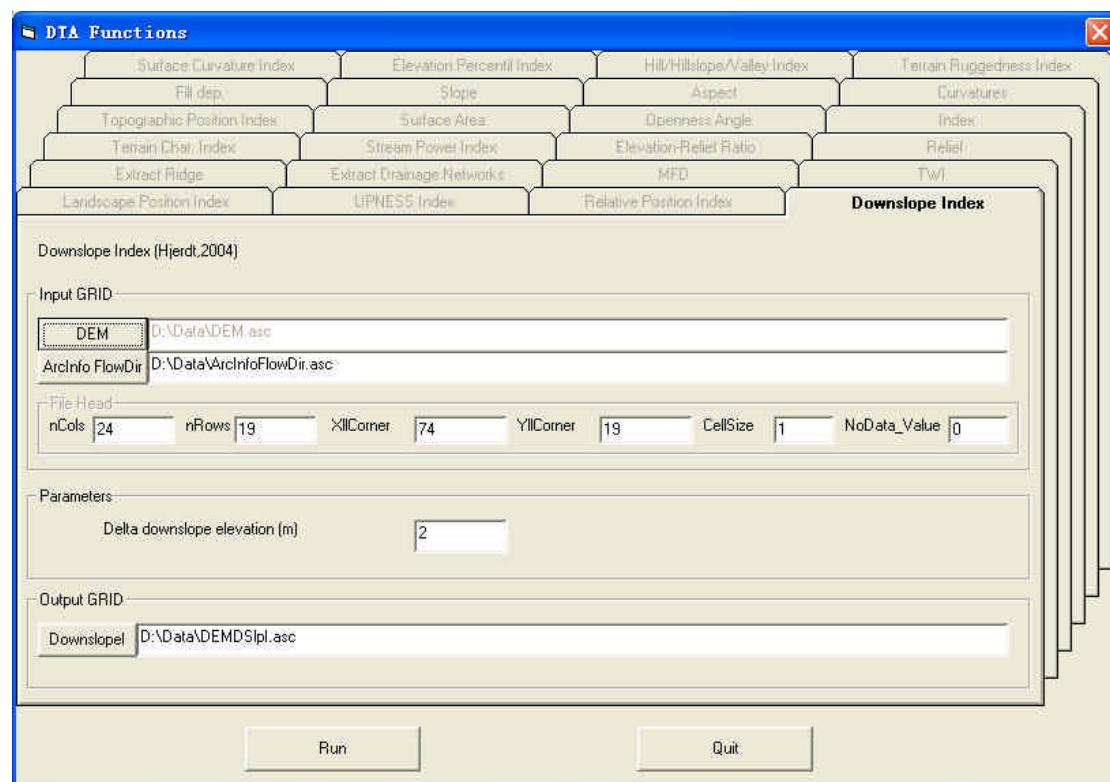


图 3-26、下坡指数 (Downslope Index)

参考文献：

Hjerdt K, J McDonnell, J Seibert, A Rodhe. A new topographic index to quantify downslope controls on local drainage. Water Resources Research, 2004, 40, W05602, doi: 10.1029/2004WR003130.

3.4.15 山脊提取 (Extract Ridge)

本功能是采用 Peucker and Douglas (1975) 算法对栅格 DEM 提取山脊。该算法通过滑动比较四邻域，标示最低单元，遍历后剩下未标识的单元即为凸点，这些点表示了潜在的山脊位置。算法简单，但结果容易出现孤立的山脊。

为减少低海拔地区提取出不合理的山脊，可以在对话框中的“参数”(Parameters) 面板中设置山脊出现的高程下限 (Lowest elevation for ridge)(图 3-27)。提取结果中，山脊点用标为 1。

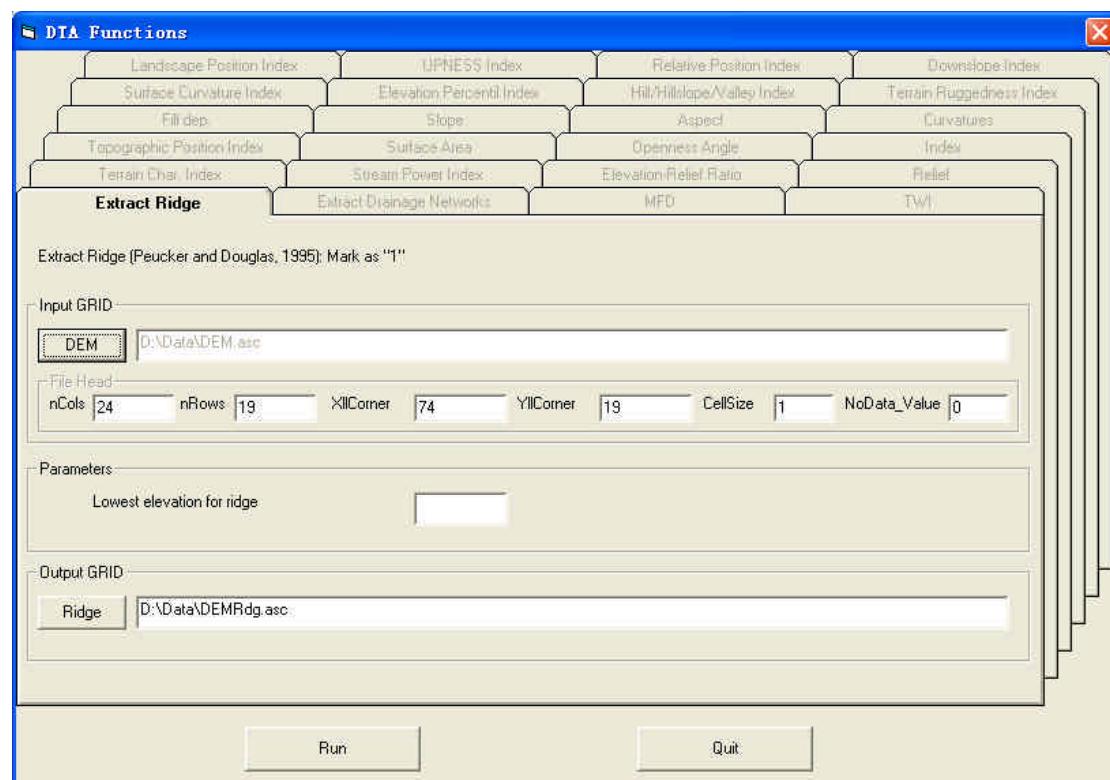


图 3-27、山脊提取 (Extract Ridge)

参考文献：

Peucker T K, D H Douglas. Detection of surface-specific points by local parallel delineation from digital elevation data. Computer Graphics and Image Processing, 1975, 4, pp. 375-387.

3.4.16 沟谷提取 (Extract Drainage Networks)

本功能是采用 Peucker and Douglas (1975) 算法对栅格 DEM 提取沟谷。该算法通过滑动比较四邻域，标示最高单元，遍历后剩下未标识的单元即为凹点，这些点表示了潜在的沟谷位置。算法简单，但结果容易出现孤立的沟谷，使整个河网不连续，并会产生非单网格宽的河网。

为减少高海拔地区提取出不合理的沟谷，可以在对话框中的“参数”(Parameters) 面板中设置沟谷出现的高程上限 (Uppest elevation for valley)(图 3-28)。提取结果中，沟谷点用标为 1。

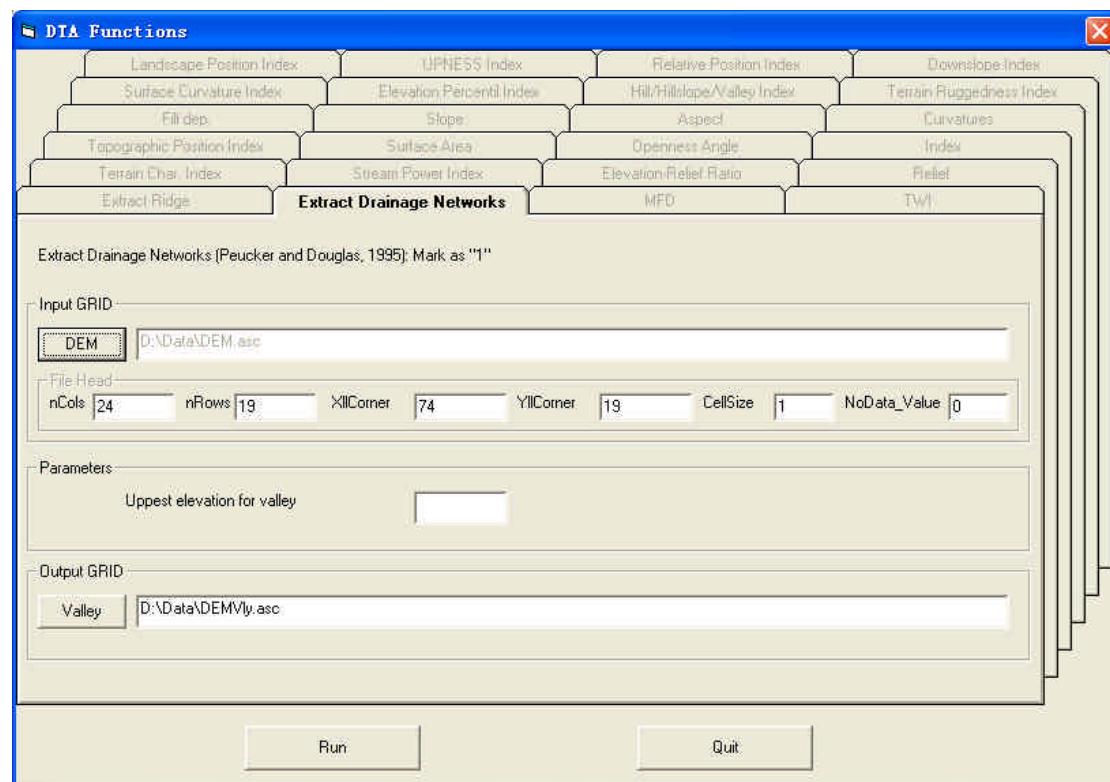


图 3-28、沟谷提取 (Extract Drainage Networks)

参考文献：

Peucker T K, D H Douglas. Detection of surface-specific points by local parallel delineation from digital elevation data. Computer Graphics and Image Processing, 1975, 4, pp. 375-387.

3.4.17 山-坡-谷指数 (Hill/Hillslope/Valley Index)

本功能对栅格 DEM 按照用户指定大小的方形计算邻域来计算山-坡-谷指数。

山-坡-谷指数 (Schmidt and Hewitt, 2004) 是借鉴数学形态学中的开/闭运算的思想对 DEM 进行变换 (称为 TOPHAT 变换), 对变换后的结果结合规则判断每一栅格相对处于山脊、坡中、沟谷的情况。

在对话框中的 “ 参数 ”(Parameters) 面板中 , 需要设置高程阈值 (Elev. threshold)(图 3-29), 以决定变换后的高程值在多大范围内可判别为山脊或沟谷。设定正方向上计算域的最远端像素到中心像素的距离 (单位为像素数目 , 不计中心像素 , 例如 2 对应于 5*5 邻域) (图 3-29), 以指定方形邻域窗口的大小。

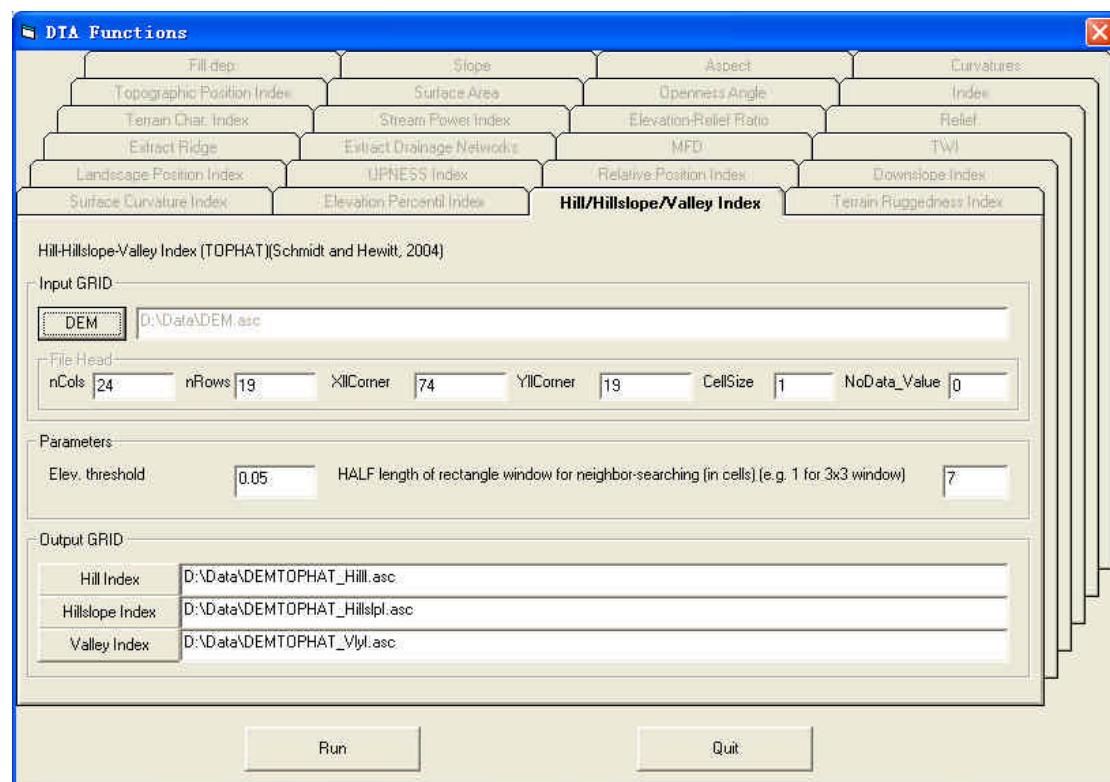


图 3-29、山-坡-谷指数 (Hill/Hillslope/Valley Index)

参考文献 :

Schmidt J, A Hewitt. Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position. Geoderma, 2004, 121: 243-256.

3.5 区域地形属性 (Second Topo. Attr.) 菜单

区域地形属性反映的是区域地形信息。每一栅格上区域地形属性值的获得都依赖于区域地形特征，对应的计算域无法限定于某一个预设的邻域计算窗口，这是与局域地形属性的主要区别。

本菜单主要包括：汇流面积 (Flow Accumulation/Specific Catchment Area(SCA)) 地形湿度指数 (Topographic Wetness Index) 地形特征指数 (Terrain Characterization Index) 水流动力指数 (Stream Power Index) 坡长 (Slope Length) 多流向坡长 (Flow Length based on MFD) 和相对位置指数 (Relative Position Index) 子菜单，如图 3-31 所示。

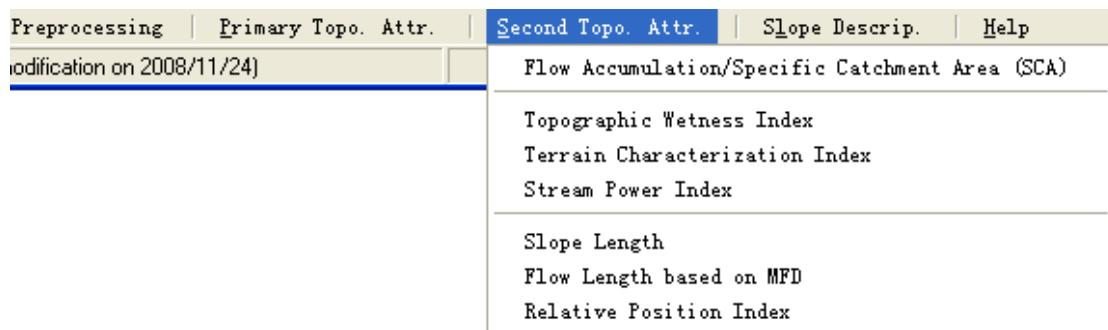


图 3-30、区域地形属性 (Second Topo. Attr.) 菜单

3.5.1 汇流面积 (Flow Accumulation/Specific Catchment Area(SCA))

本功能是采用多流向算法对用户指定的栅格 DEM 进行汇流面积的计算。汇流面积定量指示了地表水流受地形控制下的空间分配。在分布式水文模型、土壤侵蚀等领域中，当需要获取与流向直接相关的水文参数(如汇流面积、地形指数等)的详细空间分布时，多流向算法明显优于目前应用中常用的单流向算法。

可选的算法包括 MFD 算法 (Quinn et al.,1991) 和 MFD-md 算法 (Qin et al.,2007)，MFD-md 算法对于水流分配权重的确定能够自适应于局域地形特征的变化 (秦承志等 , 2006)。

结果可保存为汇流面积 (Accumulation , 以像素为单位) 和/或单位等高线上的汇流面积 (Specific Catchment Area, SCA ; 单位 : m^2/m) 文件 (图 3-31)。从数值上而言，后者是前者与栅格边长的乘积。

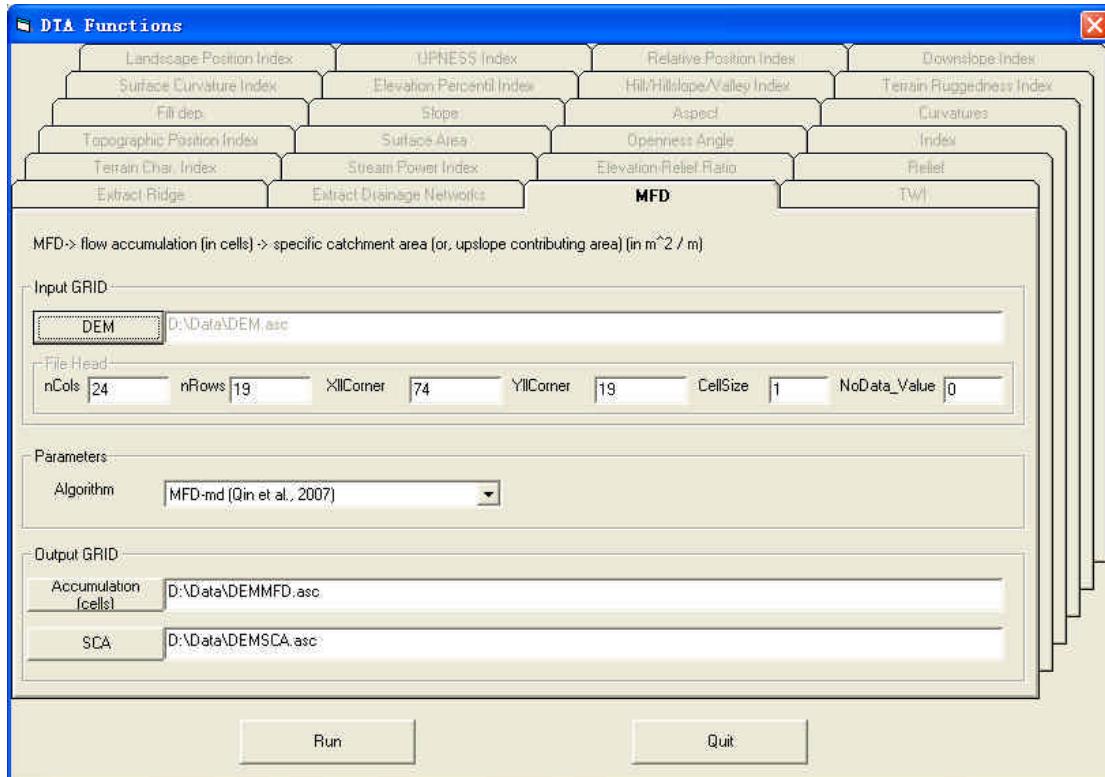


图 3-31、汇流面积 (Flow Accumulation/Specific Catchment Area(SCA))

参考文献：

秦承志，朱阿兴，李宝林，裴韬，周成虎. 基于栅格 DEM 的多流向算法述评. 地学前缘, 2006, 13 (3): 91-98.

Qin C, A-X Zhu, T Pei, et al. An adaptive approach to selecting a flow-partition exponent for a multiple-flow-direction algorithm. International Journal of Geographical Information Science, 2007, 21(4): 443-458.

Quinn P, K Beven, P Chevalier, O Planchon. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models. Hydrological Processes, 1991, 5: 59-79.

3.5.2 地形湿度指数 (Topographic Wetness Index, TWI)

地形湿度指数可定量模拟流域内土壤水分的干湿状况，具有相同地形湿度指数的不同空间位置对降雨的水文响应相同，地形湿度指数频率分布相同的不同流域具有水文相似性。地形湿度指数是分布式水文模型 **TOPMODEL** 的核心概念。

本功能根据用户指定的单位等高线上的汇流面积以及对应的坡度比降来计算地形湿度指数（图 3-32），计算公式为单位等高线上汇流面积与对应坡度比降之间比值的自然对数：

$$TWI = \ln(SCA/Tan(Slope))$$

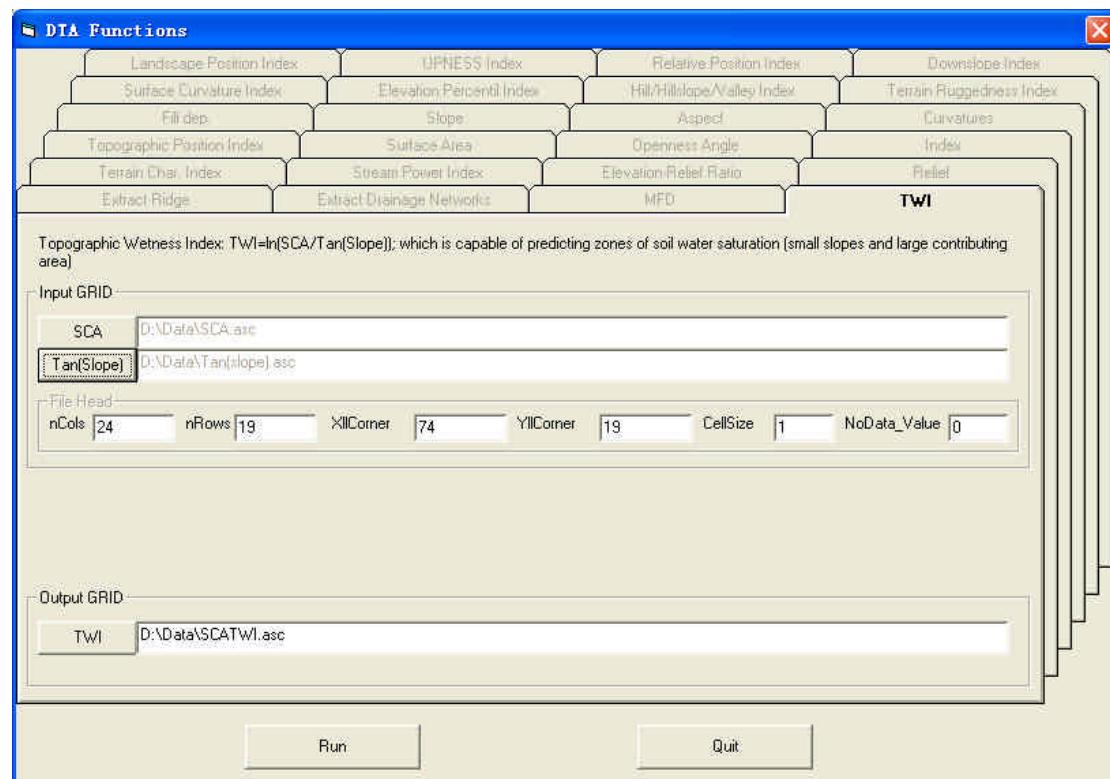


图 3-32、地形湿度指数 (Topographic Wetness Index, TWI)

参考文献：

秦承志, 杨琳, 朱阿兴, 李宝林, 裴韬, 周成虎. 平缓地区地形湿度指数的计算方法. 地理科学进展, 2006, 25 (6): 87-93, 图版 I.

Ambroise B, K J Beven, J Freer. Towards a generalization of the TOPMODEL concepts: Topographic indices of hydrologic similarity. Water Resour. Res., 1996, 32(7): 2135-2145.

Quinn P, K J Beven, R Lamb. The $\ln(a/\tan\beta)$ index: how to calculate it and how to use it within the TOPMODEL frame-work. Hydrological Processes, 1995, 9: 161-182.

3.5.3 地形特征指数 (Terrain Characterization Index)

本功能根据用户指定的单位等高线上的汇流面积以及相应的地表曲率指数来计算地形特征指数 (图 3-33)，其计算公式为单位等高线上汇流面积的常用对数与地表曲率指数的乘积：

$$TCI = Cs * \lg(SCA)$$

地形特征指数 (TCI) 可用于土壤景观单元的划定、以及对景观中水/物质流潜力的定量估计 (Park and van de Giesen, 2004)。

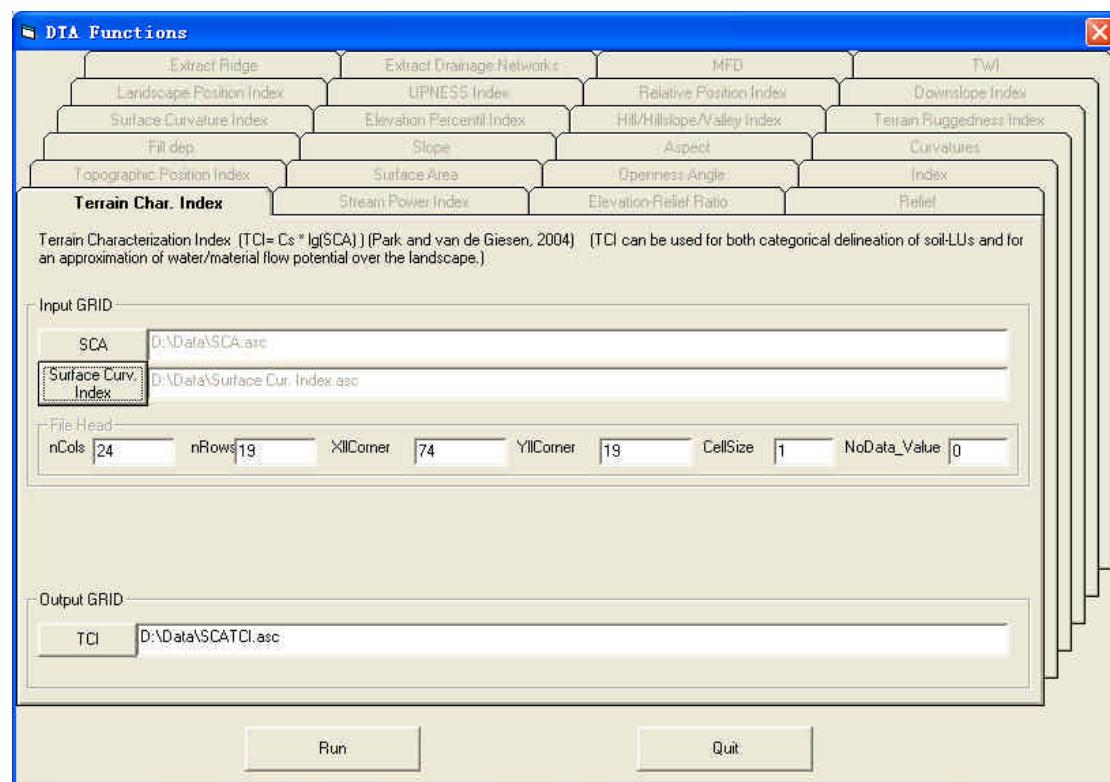


图 3-33、地形特征指数 (Terrain Characterization Index)

参考文献：

Park S J, N van de Giesen. Soil-landscape delineation to define spatial sampling domains for hillslope hydrology. Journal of Hydrology, 2004, 295: 28-46.

3.5.4 水流动力指数 (Stream Power Index)

水流动力指数定量描述了地表水流的侵蚀力。本功能根据用户指定的单位等高线上的汇流面积以及对应的坡度比降来计算水流动力指数 (图 3-34), 其计算公式为两者的乘积 :

$$SPI = SCA * \tan(Slope)$$

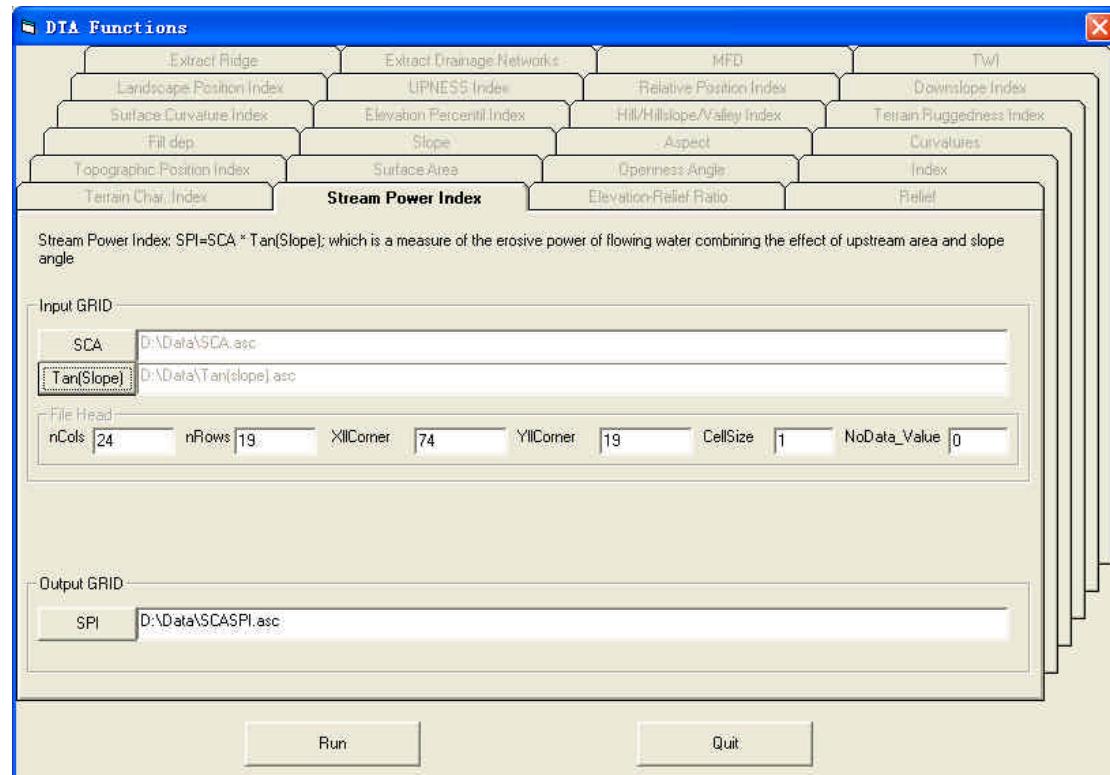


图 3-34、水流动力指数 (Stream Power Index)

参考文献 :

- Moore I, P Gessler, G Nielsen, G Peterson. Soil attribute prediction using terrain analysis.
Soil Sci. Soc. Am. J., 1993, 57(2): 443-452.

3.5.5 坡长 (Slope Length)

坡长定义为在坡面上，由给定点逆流追溯到水流起点之间轨迹的最大水平投影长度(周启鸣和刘学军，2006)。坡长定量指示了坡面的长度，是水土保持、土壤侵蚀等研究中的重要因子之一。当其他外在条件相同时，物质沉积量、水力侵蚀和冲刷得强度依据坡面的长度来决定。坡面越长，汇聚的流量越大，侵蚀力和冲刷力就越强。同时坡长也直接影响地面径流的速度，进而影响对地面土壤的侵蚀力。

本功能根据用户指定的栅格 DEM 以及相应采用 ArcInfo 得出的单流向结果计算坡长(图 3-35)。用户可选择指定对应的沟谷文件以及沟谷标记值 (Valley Tag)，沟谷中的路径不参与坡长计算中的逆流追溯过程。运行结果可输出为坡长 (Slope Length，长度单位) 和上坡格网数 (Upslope Cells) 的栅格文件。

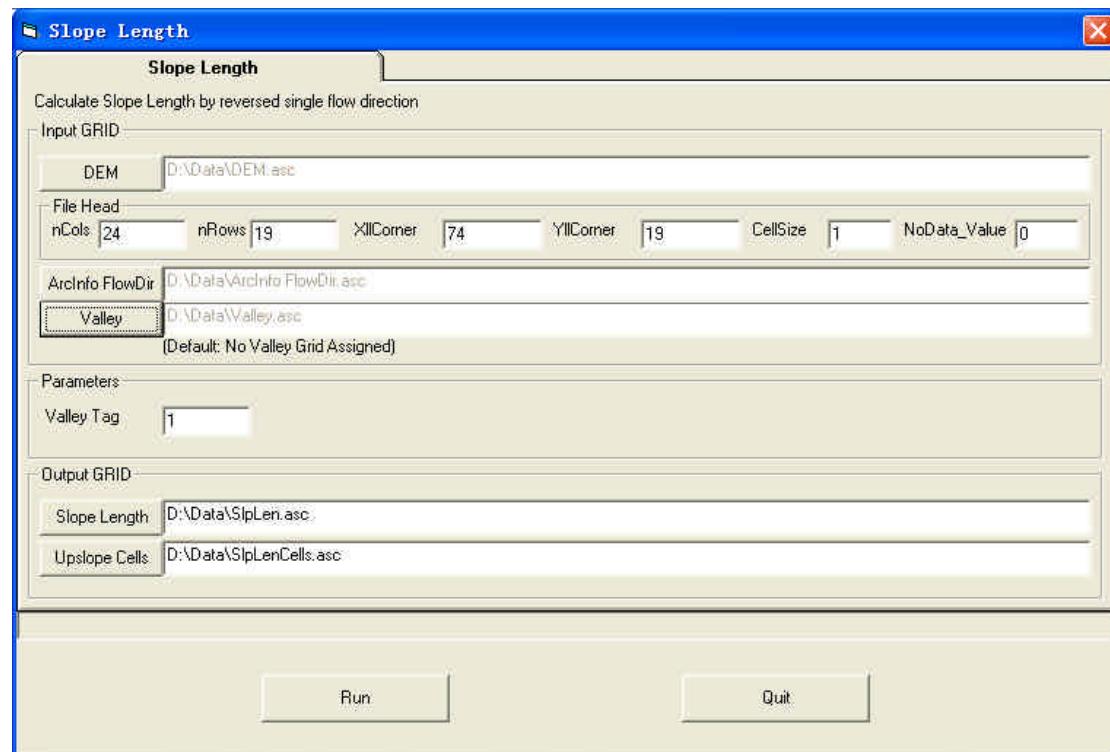


图 3-35、坡长 (Slope Length)

参考文献：

周启鸣，刘学军. 数字地形分析. 北京：科学出版社，2006.

3.5.6 多流向坡长 (Flow Length based on MFD)

本功能是基于**多流向计算坡长**，以克服通常采用单流向计算坡长时的问题，可用于获得更合理的**坡宽度函数** (hillslope width function) (Bogaart and Troch, 2006)。

所采用的多流向可为 MFD 算法(Quinn et al.,1991)或 **MFD-md 算法**(Qin et al.,2007)：用户可选择指定对应的沟谷文件以及沟谷标记值 (Valley Tag)，沟谷中的路径不参与坡长计算中的逆流追溯过程。运行结果输出为多流向坡长 (长度单位) 的栅格文件 (图 3-36)。

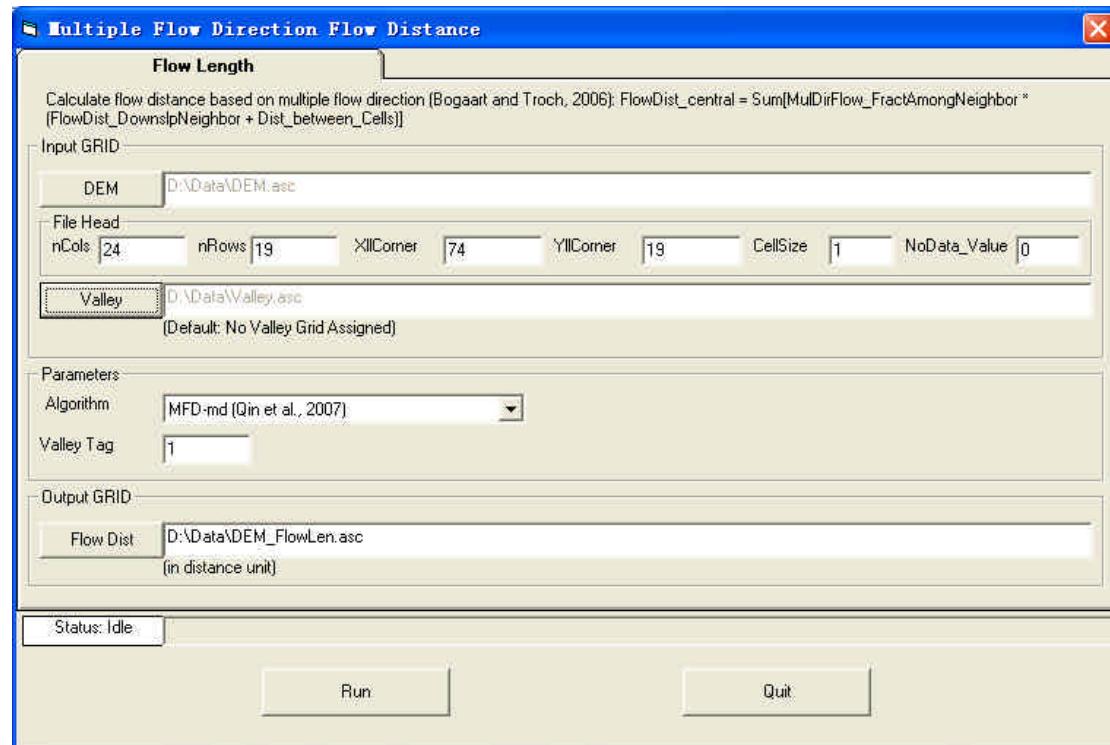


图 3-36、多流向坡长 (Flow Length based on MFD)

参考文献：

Bogaart P W, P A Troch. Curvature distribution within hillslope and catchments and its effect on the hydrological response. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2006, 3: 1071-1104.

Qin C, A-X Zhu, T Pei, et al. **An adaptive approach to selecting a flow-partition exponent for a multiple-flow-direction algorithm**. *International Journal of Geographical Information Science*, 2007, 21(4): 443-458.

Quinn P, K Beven, P Chevalier, O Planchon. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models. *Hydrol. Processes*, 1991, 5: 59-79.

3.5.7 相对位置指数 (Relative Position Index)

相对位置指数被用于对从山脊至沟谷的相对位置进行定量估计。坡面上任一点的相对位置指数定义为该点到沟谷的最短欧氏距离除以该点到山脊及沟谷的最短欧氏距离之和 (Skidmore, 1990)。

用户需指定山脊、沟谷的栅格文件以及对应的山脊、沟谷标记值 (图 3-37)。

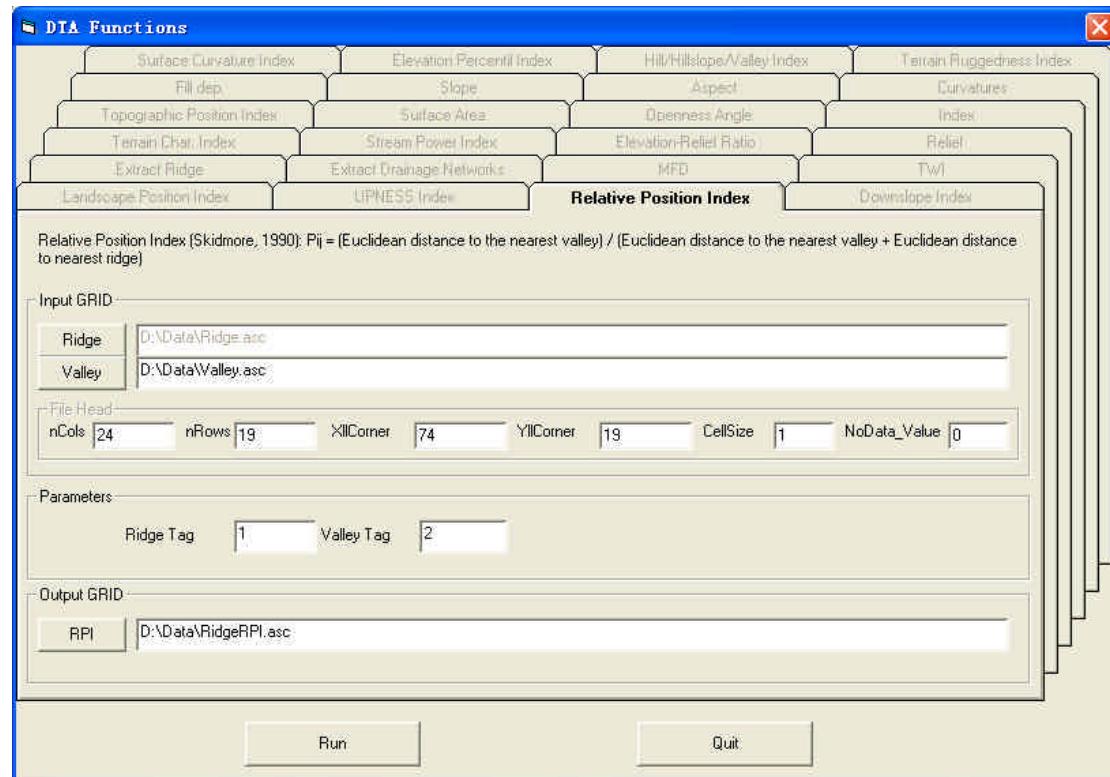


图 3-37 : 相对位置指数 (Relative Position Index)

参考文献 :

Skidmore A K. Terrain positions mapped from a gridded digital elevation model. International Journal of Geographical Information Systems, 1990, 4(1): 33-49.

3.6 坡位坡形定量描述 (Slope Descrip.) 菜单

本菜单主要包括：模糊坡位 (Fuzzy Slope Position) 和坡形 (Slope Shape) 两个子菜单。其中模糊坡位子菜单包括模糊量化化 (Fuzzy Quantification) 和坡位硬化分类 (Harden Slope Position) 等两个子菜单项两项 (图 3-38)。



图 3-38、坡位坡形定量描述 (Slope Descrip.) 菜单

3.6.1 模糊坡位 (Fuzzy Slope Position)

坡位的空间变化通常是渐变的，因此较通常所用的确定性坡位空间分布图而言，将坡位作为模糊对象进行模糊表达更为合理。

3.6.1.1 模糊量化化 (Fuzzy Quantification)

本功能是采用基于典型位置相似度的模糊推理方法，通过计算坡面上任一位置与各类坡位的典型位置在属性域与空间域上的相似度，对坡位的空间渐变信息进行定量描述 (Shi et al., 2005；秦承志等，2007；秦承志等，待刊)。

步骤 1：计算某点和某个典型位置之间在某个地形属性上的相似度。设坡位类型 C 在区域中有 m 个典型位置，有 n 个地形属性参与计算。待推理像素 P_{ij} 和典型位置 T_t ($t \in [1..m]$) 之间在地形属性 A_v ($v \in [1..n]$) 上的相似度 $S_{ij,t}^v$ 为 (Shi 等, 2005)：

$$\begin{cases} S_{ij,t}^v = e^{(z_{ij}^v - z_t^v)/w_1} \ln(k_1) & , \quad z_{ij}^v < z_t^v \\ S_{ij,t}^v = 1 & , \quad z_{ij}^v = z_t^v \\ S_{ij,t}^v = e^{[(z_{ij}^v - z_t^v)/w_2]^r_2 \ln(k_2)} & , \quad z_{ij}^v > z_t^v \end{cases} \quad (1)$$

式中， z_{ij}^v 是 P_{ij} 上 A_v 的值； z_t^v 是 T_t 上 A_v 的值； w_1 、 k_1 、 r_1 (w_2 、 k_2 、 r_2) 参数用于控制

在 $z_{ij}^v < z_t^v$ ($z_{ij}^v > z_t^v$) 范围内的模型形状。为简便起见，可令 $r_1=r_2=2$ ，用户通过设置其余参数，可使公式(1)成为三种情况之一：(1) 钟形函数 ($w_1=w_2$, $k_1=k_2=0.5$)，即 z_{ij}^v 越偏离 z_t^v 时 $S_{ij,t}^v$ 越小；(2) Z 形函数 ($k_1=1$ 、 $k_2 \neq 1$)，即 z_{ij}^v 越大于 z_t^v 时 $S_{ij,t}^v$ 越小， $z_{ij}^v = z_t^v$ 时 $S_{ij,t}^v = 1$ ；(3) S 形函数 ($k_1 \neq 1$ 、 $k_2=1$)，即 z_{ij}^v 越小于 z_t^v 时 $S_{ij,t}^v$ 越小， $z_{ij}^v = z_t^v$ 时 $S_{ij,t}^v = 1$ 。

步骤 2：综合该点与此典型位置在所有地形属性上的相似度，采用生态学中的限制因子原则，取 $S_{ij,t}^v$ ($v \in [1..n]$) 的最小值作为 P_{ij} 相对于 T_t 的综合相似度 $S_{ij,t}$ (Zhu 和 Band, 1994)。

步骤 3：综合该点与所有典型位置的相似度，以反距离函数计算 P_{ij} 相对于该类坡位的模糊隶属度 S_{ij} ：

$$S_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^m (d_{ij,t})^{-r} S_{ij,t}}{\sum_{t=1}^m (d_{ij,t})^{-r}} \quad (2)$$

式中， $d_{ij,t}$ 是 P_{ij} 与 T_t 之间的欧氏距离； r 是距离衰减因子，根据实验取为 8 (Shi 等, 2005)。

步骤 4：对每一类坡位在研究区所有像素上重复上述步骤，可获得各类坡位在研究区中的相似度图。

点击本菜单，在弹出的对话框中，含有“栅格文件输入”(Input GRID) 和“参数设置，输出”(Parameters, Output) 两个页面。

在弹出界面的栅格文件输入 (Input GRID) 的页面 (图 3-39) 中，点击“原型栅格文件”(Prototype GRID) 面板中的“原型栅格文件”(Prototype GRID) 按钮，指定待推理坡位类别的典型位置栅格文件，“文件头”(File Head) 面板中相应显示所指定栅格文件的文件头信息。

在“参数栅格文件”(Parameter GRIDs) 面板中，点击“添加栅格文件”(Add GRID) 按钮 **指定相应的参数栅格文件** (即典型位置的栅格文件)，点击“删除现有栅格文件”(Delete Current GRID) 按钮，可以删除已指定的参数栅格文件，点击“设置参数”(Set Parameters) 按钮，则转到“参数设置，输出”(Parameter, Output) 的页面以设置推理参数。

在弹出界面的“参数设置，输出”(Parameters, Output) 的页面 (图 3-40) 中，点击在“参数设置”(Parameter Setting) 面板中的“相似度曲线形状”(Func. Shape) 上 (即图 3-40 中的红框区域)，弹出“相似度曲线形状”对话框 (图 3-41)，可以指定相似度曲线形状。点

击在“参数设置”(Parameter Setting) 面板中的某一推理参数区域 (如图 3-40 中的蓝框内的 w_1 参数区域) 可在弹出对话框中指定参数 (图 3-42)。

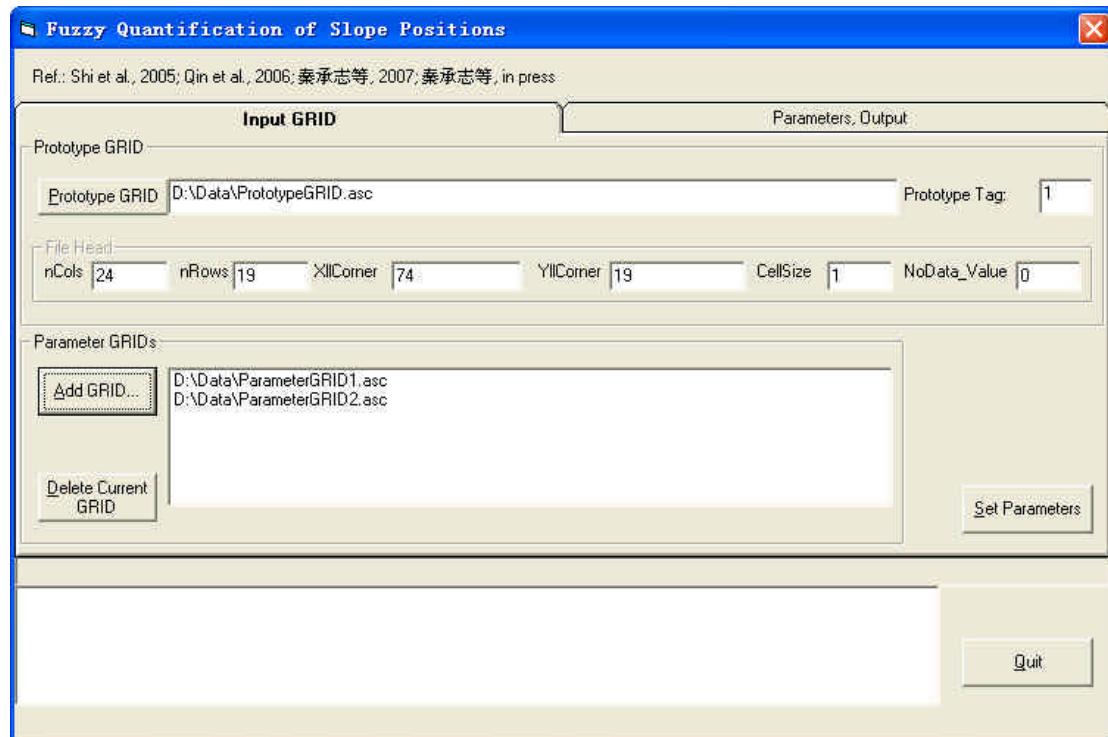


图 3-39、栅格文件输入 (Input GRID) 页面

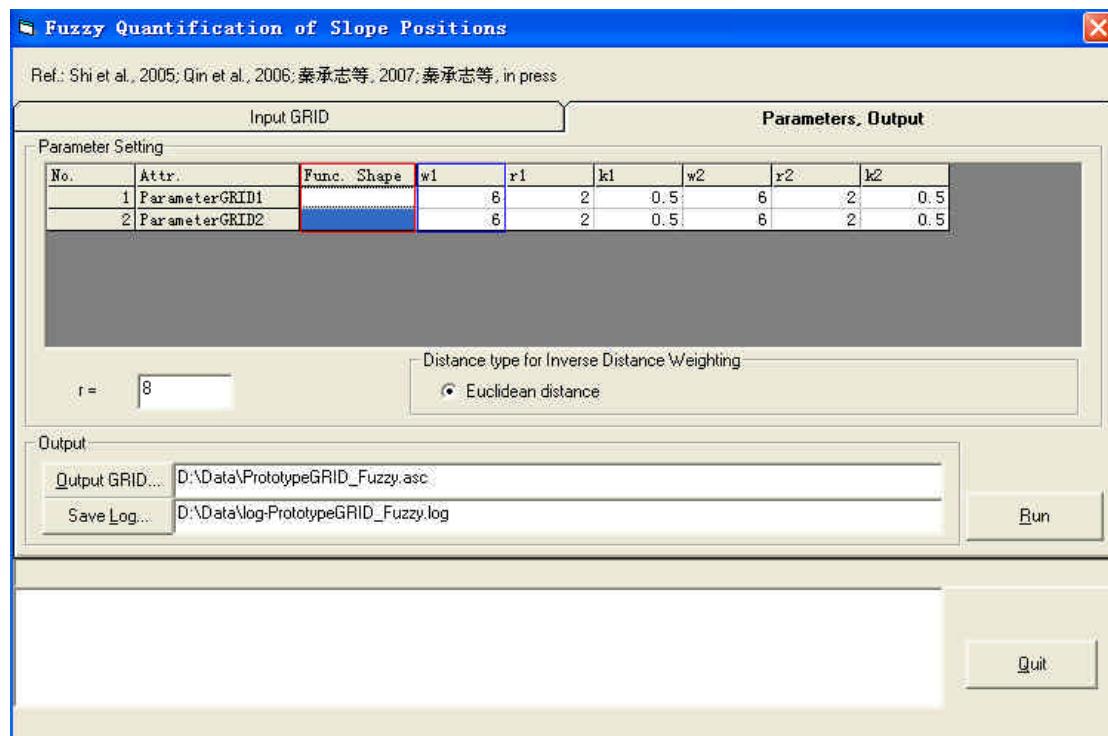


图 3-40、“参数设置，输出”(Parameters, Output) 页面

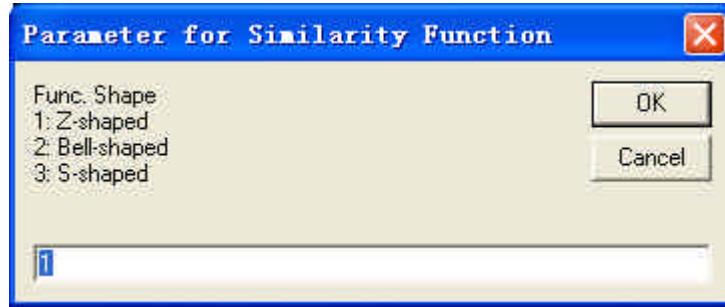
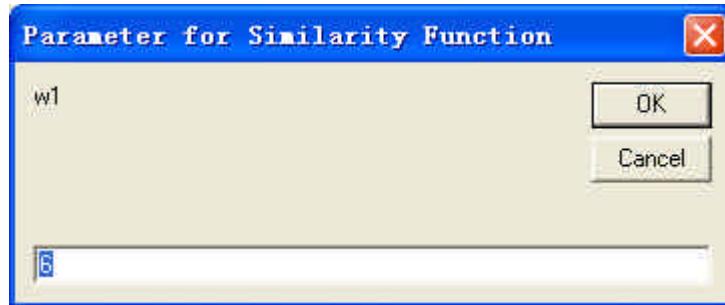


图 3-41、“相似度曲线形状”对话框



3-42、参数设置对话框

完成设置后，点击“运行”(Run)按钮，运行过程中，在日志区内会显示相应的日志，运行结束后，除了当前坡位类型的模糊空间分布结果外，运行日志也可以保存为用户指定的文本文件。

参考文献：

秦承志，朱阿兴，施迅，李宝林，裴韬，周成虎. 坡位渐变信息的模糊推理. 地理研究, 2007, 26 (6): 1165-1174.

秦承志，朱阿兴，李宝林，裴韬. 坡位的分类及其空间分布信息的定量化. 武汉大学学报（信息科学版），待刊.

Shi X, A-X Zhu, R-X Wang. Deriving Fuzzy representations of some special terrain features based on their typical locations[C]. In: M Cobb, F Petry, V Robinson, eds. Fuzzy Modeling with Spatial Information for Geographic Problems. Berlin: Springer-Verlag, 2005, pp. 233-251.

3.6.1.2 坡位硬化分类 (Harden Slope Position)

通过前一菜单功能得到的对各类坡位的相似度图，按照最大相似度原则进行叠加，可得到栅格形式的坡位确定性分类图(这种传统意义的类型图可称为硬化图)以及最大相似度图。最大相似度图定量地给出了硬化图中每一个栅格位置上坡位类型识别结果的模糊程度。

在弹出对话框的界面的“模糊坡位定量数据”(Source GRIDs of fuzzy slope positions)面板中首先指定坡位分类的级别(秦承志等，待刊)：第一级坡位分类系统(1st level)含有5类坡位(图3-43)；第二级坡位分类系统(2nd level)含有11类坡位(图3-44)。

在坡位类型(type of slope position)的下拉框(即图3-43中红框区域)中选择相应的坡位类型，点击“指定模糊坡位栅格文件”(Assign GRID of Fuzzy slope position)按钮(即图3-43中蓝框内的按钮)指定相应坡位的模糊定量化栅格文件。

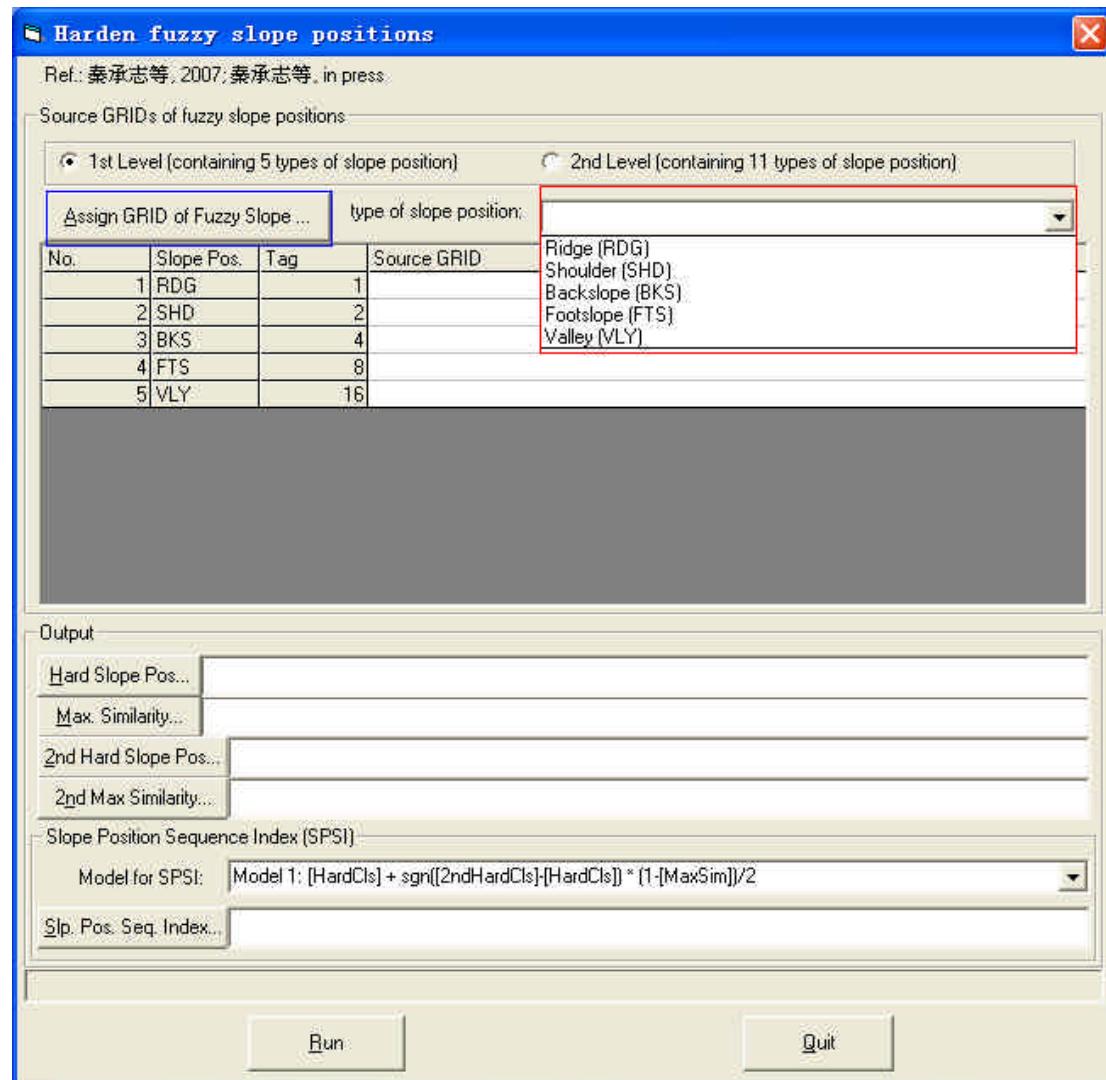


图 3-43、第一级坡位分类系统：5 类坡位

按照用户的需要，运行结果可包括硬化分类结果、对应的最大相似度图以及对应次大相似度的坡位结果等栅格文件。

对于第一级坡位分类系统，还可通过选择不同的模型（Model for SPSI）来进一步计算“坡位序列指数”（Slope Position Sequence Index，SPSI）。

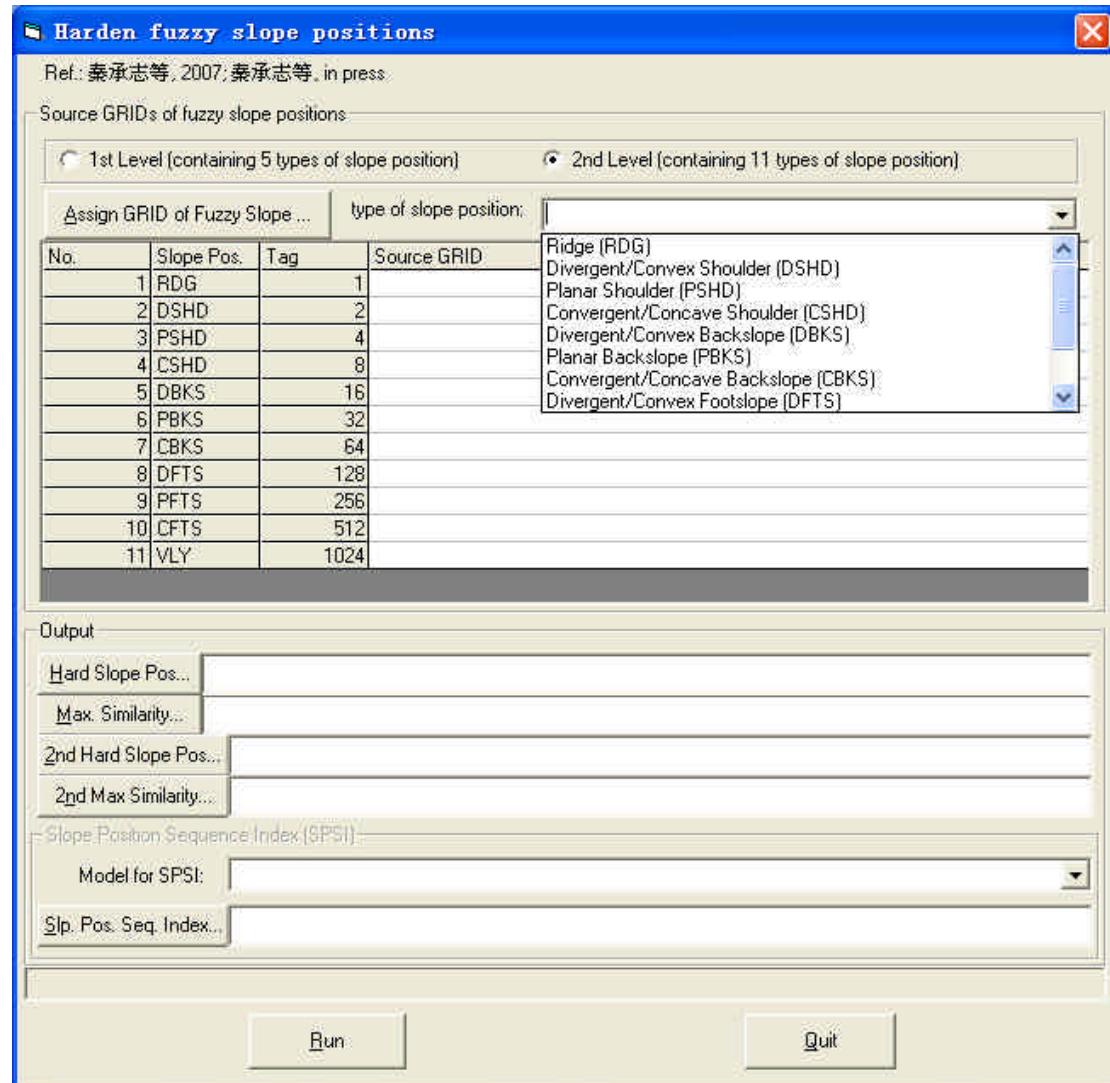


图 3-44、第二级坡位分类系统：11 类坡位

参考文献：

秦承志，朱阿兴，李宝林，裴韬. 坡位的分类及其空间分布信息的定量化. 武汉大学学报（信息科学版），待刊.

3.6.2 坡形 (Slope Shape)

本功能是对用户指定的栅格 DEM 中每一栅格上的坡形信息进行多角度的定量描述 (乔建平等 , 2006)。

点击本菜单项，弹出的对话框包括“步骤 1：搜索上坡”(Step1 : Search Upslope)“步骤 2：搜索下坡”(Step2 : Search Downslope) 和“步骤 3：计算坡形”(Step3 : Calculate slope shape) 等三个页面。

1) 步骤 1：搜索上坡 (Step1 : Search Upslope)

本步骤根据用户指定的 DEM、ArcInfo 得出的单流向结果、提取的沟谷等数据源对每一栅格位置沿流路上溯搜索，对最长上坡路径所对应的格网数 (Upslope Cells) 高差 (Upslope Relief) 上坡方向 (Upslope Direction) 进行计算 (图 3-45)。

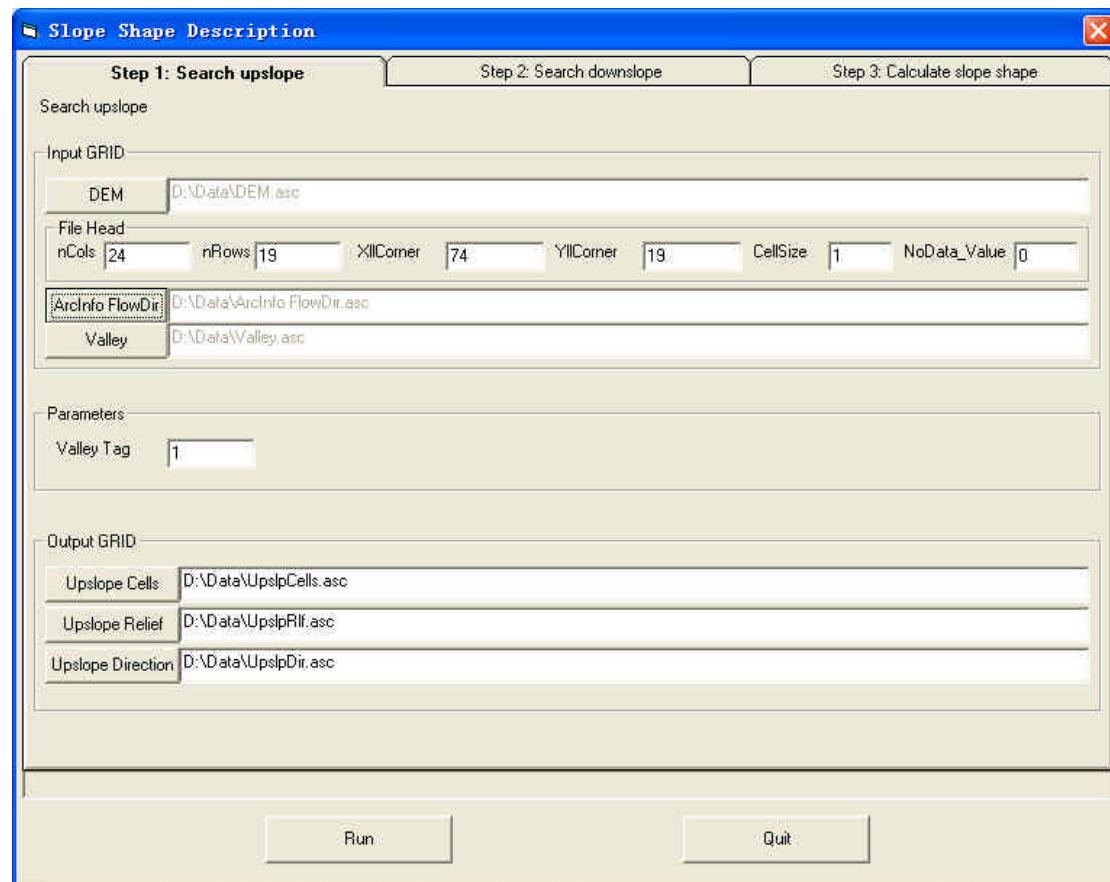


图 3-45、步骤 1：搜索上坡

2) 步骤 2：搜索下坡 (Step2 : Search Downslope)

本步骤根据用户指定的 DEM、ArcInfo 得出的单流向结果、提取的沟谷，以及上一步骤生成的最长上坡路径对应格网数 (Upslope Cells)、高差 (Upslope Relief) 等数据源，对每一栅格位置沿流路向下搜索，对最陡下坡路径所对应的下坡格网数 (Downslope Cells)、落差 (Downslope Relief) 与虚拟直坡面的高差 (Relief Difference) 进行计算 (图 3-46)。

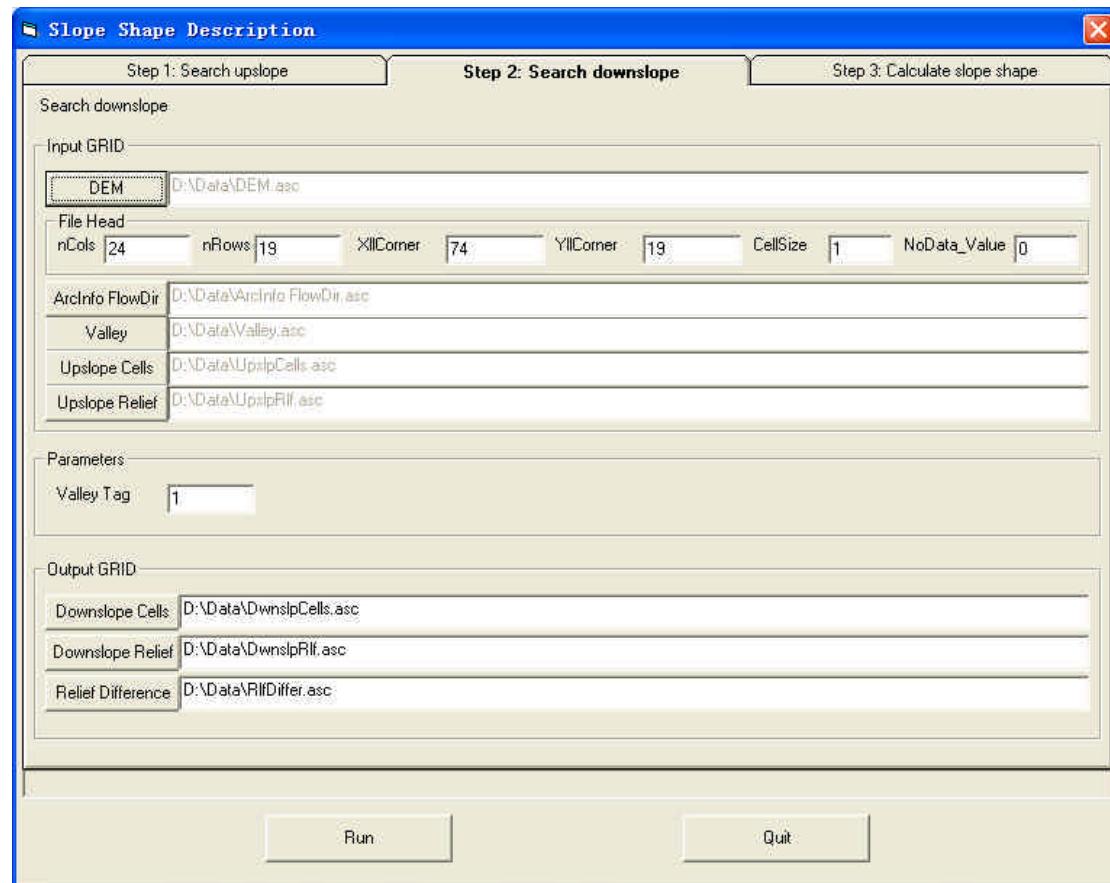


图 3-46、步骤 2：搜索下坡

3) 步骤 3：计算坡形 (Step3 : Calculate slope shape)

本步骤根据 ArcInfo 得出的单流向结果、前两步骤生成的最长上坡路径对应格网数 (Upslope Cells)、上坡方向 (Upslope Direction)、最陡下坡路径所对应的下坡格网数 (Downslope Cells)、与虚拟直坡面的高差 (Relief Difference) 等数据源，对坡形进行多角度的定量描述。

可得出的结果包括：坡形编码 (Slope Shape : 1-凹坡；2-上凹下凸坡形；3-直坡；4-凸

坡 ;5-上凸下凹坡形) 与虚拟直坡面的最大上坡相对起伏度(Max Upslope Relative Relief) 与虚拟直坡面的最小上坡相对起伏度(Min Upslope Relative Relief) 上坡坡形编码(Upslope Shape) 与虚拟直坡面的最大下坡相对起伏度 (Max Downslope Relative Relief) 与虚拟直坡面的最小下坡相对起伏度 (Min Downslope Relative Relief) 下坡坡形编码 (Downslope Shape)(图 3-47)。

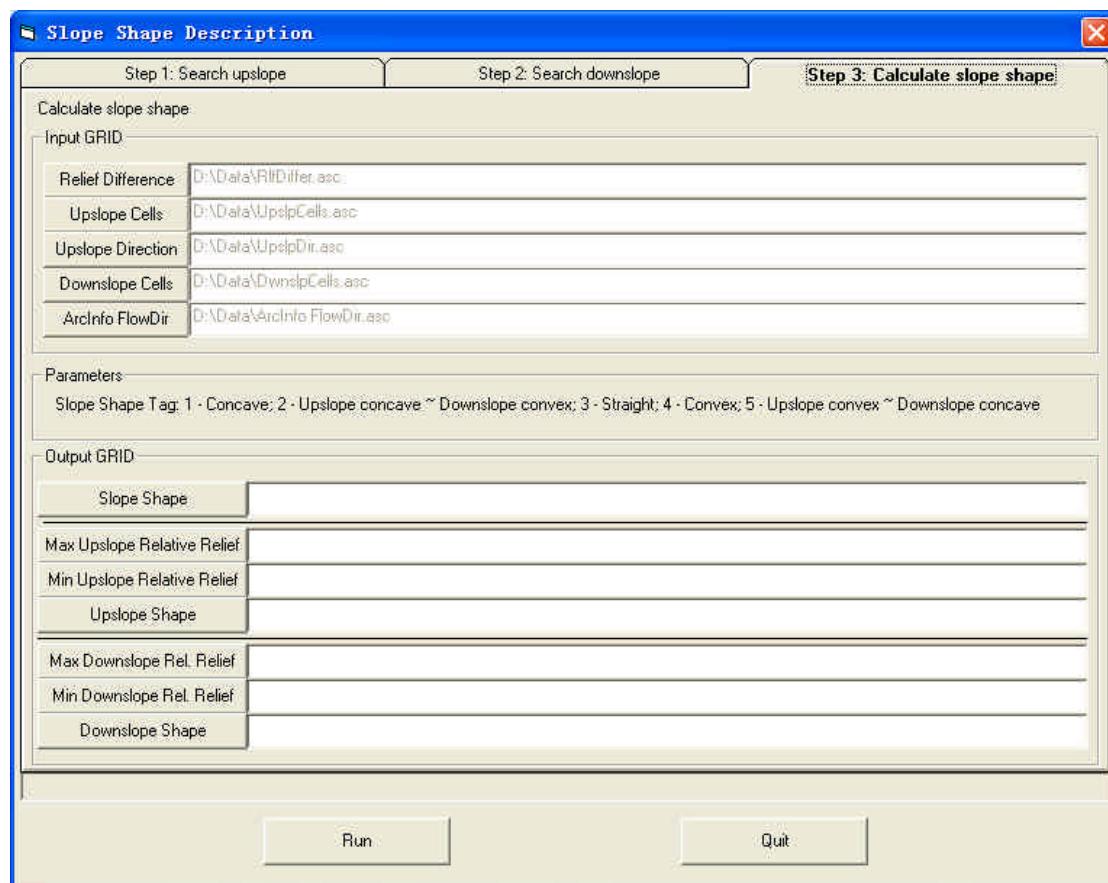


图 3-47、步骤 3：计算坡形

参考文献：

乔建平 , 朱阿兴 , 吴彩燕 , 田宏岭 . 采用本底因子贡献率法的三峡库区滑坡危险度区划 . 山地学报 , 2006 , 24 (5): 569-573.

3.7 帮助 (Help) 菜单

点击“关于”(About)子菜单项弹出本软件的版本信息。



图 3-48、帮助 (Help) 菜单

4、实际应用的操作流程

以下以秦承志等 (2006a ; 2006b ; 2006c) 推荐的地形湿度指数的计算为例 , 叙述实际应用本软件计算地形湿度指数的流程 :

第一步、准备栅格 DEM 数据文件 , 可通过 ArcToolbox 中的 GRID to ASCII 功能将 GRID 转换为本软件运行所需要的 ASCII 文件[DEM.asc] ;

第二步、使用 DEM Preprocessing 中的 Remove Pit and Flat 功能对 DEM 进行填洼去平区处理 , 得到[DEM_Fil.asc] ;

第三步、使用 Primary Topo. Attr. 中的 Slope/Max Downslope 功能根据[DEM_Fil.asc]计算最大下坡的正切值[tan_MaxDownslope.asc] ;

第四步、使用 Second Topo. Attr. 中的 Flow Accumulation/Specific Catchment Area(SCA) 功能根据 [DEM_Fil.asc] 采用 MFD-md 算法计算单位等高线上的汇流面积 [SCA_MFD_md.asc] ;

第五步、使用 Second Topo. Attr. 中的 Topographic Wetness Index 功能根据 [SCA_MFD_md.asc] 、 [tan_MaxDownslope.asc] 计算地形湿度指数 [TWI_MFD_md_MaxDslp.asc] ;

第六步、可通过 ArcToolbox 中的 ASCII to GRID 功能将 ASCII 文件 [TWI_MFD_md_MaxDslp.asc] 转为 GRID 图层 , 在 ArcInfo 中进行制图或进一步的应用。

参考文献 :

秦承志 , 朱阿兴 , 李宝林 , 裴韬 , 周成虎 . 基于栅格 DEM 的多流向算法述评 . 地学前缘 , 2006a , 13 (3) : 91-98.

秦承志 , 李宝林 , 朱阿兴 , 杨琳 , 裴韬 , 周成虎 . 水流分配策略随下坡坡度变化的多流向算法 . 水科学进展 , 2006b , 17 (4) : 450-456.

秦承志 , 杨琳 , 朱阿兴 , 李宝林 , 裴韬 , 周成虎 . 平缓地区地形湿度指数的计算方法 . 地理科学进展 , 2006c , 25 (6) : 87-93 , 图版 I.

5、ASCII 码格式的栅格数据文件

ASCII 码格式的栅格数据文件包括栅格数据文件头和栅格数据体（表 5-1）。可通过 ArcInfo->ArcToolbox-> ASCII to GRID 以及 GRID to ASCII 功能完 GRID 和 ASCII 的数据文件转换。

栅格数据文件头	列数
	行数
	西南角纵坐标
	西南角横坐标
	格网分辨率
	无值区标记
栅格数据体	按自西向东、自北向南的行列顺序排列栅格数据
ASCII 码格式的栅格数据文件示例	ncols 8
	nrows 8
	xllcorner 0
	yllcorner 0
	cellsize 10
	NODATA_value 0
	1 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 2 1 1 1 0 1
	1 1 3 2 1 1 1 1
	1 1 3 3 1 1 1 1

表 5-1、ASCII 码格式的栅格数据文件