

# 等雨量线的自动绘制方法

张渭军<sup>1,2</sup>, 王文科<sup>2</sup>, 孔金玲<sup>1</sup>, 黄金廷<sup>2</sup>, 翁晓鹏<sup>2</sup>

(1. 长安大学 地球科学与国土资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 针对雨量站点及等雨量线的特征, 讨论了一种新的等雨量线追踪途径。该方法首先用二次曲面对不规则站点雨量进行格网化, 然后在格网上对等雨量点进行判断、追踪以及在追踪过程中如何消除追踪的二义性。最后对开曲等雨量线和闭曲等雨量线的起点、终点进行了判断。结果表明该方法提高了绘制等雨量线的质量, 对于计算流域的面雨量具有重要实际意义。

**关键词:** 等雨量线; 二次曲面; 格网化; 二义性; 追踪

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2005)05-0054-04

中图分类号: P337-3, P282

## Automatism Protract Precipitation Isoline

ZHANG Wei-jun<sup>1,2</sup>, WANG Wen-ke<sup>2</sup>, KONG Jin-ling<sup>1</sup>, HUANG Jin-ting<sup>2</sup>, WENG Xiao-peng<sup>2</sup>

(1. School of Earth Science and Resources Management, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi Province,

China; 2. School of Environment Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi Province, China)

**Abstract:** A new method of tracing precipitation isoline is introduced in term of the character of rain spot and isoline. The method, firstly, grids the precipitation amount by conicoid, then judges and traces isoline and brings forward a way of how to avoid connection uncertainty of isoline. Lastly, jumping-off and end point of opening-curve, and close isoline were judged. The method improves the precision of the precipitation isoline and is important to count the surface precipitation of the drainage area.

**Keywords:** precipitation isoline; conicoid; gridding; uncertainty; trace

等值线是联结具有相同数量指标的空间分布现象与二维平面的图形<sup>[1]</sup>, 不同数值的等值线组成的图形可以精确表示自然现象的垂直变化和水平方向的强弱差异。它具有光滑连续性, 某个量值的等值线可能不止一条, 可以是闭合的也可以是不闭合的, 等值线一般不相交。水文地质工作中需要绘制各种等值线例如等水位线、含水层厚度等值线、矿化度等值线以及等雨量线等等。精确绘制上述等值线对于提高水文地质分析精度非常重要。本文以等雨量线绘制为例从理论上探讨了等值线自动绘制方法, 绘制等雨量线和计算面雨量对于地下水资源评价精度和防汛服务非常重要。等雨量线法是面雨量客观计算方法之一<sup>[2]</sup>但目前自动绘制等雨量线存在以下问题。其一, 作为降雨量插值的权重未能反映降水的物理特性; 其次是当站点分布不均匀时不能保证成图质量。本文首先用二次曲面对不规则站点雨量进行格网化, 然后以给定的降雨量在格网上找出内插等雨量的位置并对其进行追踪和连接, 最后再对这些等雨量线进行光滑处理。

## 1 格网化及内插点的位置

当要查询任意一点的降雨量时, 就必须用某种内插方法根据已知站点的降雨量内插出该点的降雨量。等雨量线是由一系列相同降雨量的点构成的<sup>[3]</sup>, 只要找出一个光滑的几何曲面通过等雨量线的点群, 这一光滑曲面应能集中概括该区内雨量的大小, 通过一般线性模型即最小二乘法用二次曲面拟合观测数据的方法, 可以对任意点降雨量进行插值和预测。在用二次曲面进行拟合后, 不规则站点降雨量转成规则化格网分布, 为下面分析作准备。

通过上述站点雨量的格网化, 设该矩形格网沿  $y$  轴分割为  $m$ , 沿  $x$  分割为  $n$ , 任意格网点降雨量为  $B_{i,j}$ , 对于位于任意边上的等值点位置, 表示为  $H_{i,j}$  (表示位于纵边上的等值点) 与  $V_{i,j}$  (表示位于横边上的等值点), 为了确定任意等雨量线与格网边是否相交通过下式进行判断:

$(B_{i,j} - W) \times (B_{i+1,j} - W) < 0$  时, 在纵边有交点(1)

$(B_{i,j} - W) \times (B_{i,j+1} - W) < 0$  时, 在横边有交点(2)

收稿日期: 2005-01-12

资助项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(G1999043606); 国家自然科学基金资助项目(40472131)

作者简介: 张渭军(1975-), 男(汉族), 陕西渭南人, 讲师, 在职博士, 研究方向为水文地质空间分析与地理信息系统。

如果上式有一式成立, 就可以用线性内插的方法计算出等雨量点的位置, 在这里假如(2)式成立, 即要在横边  $AB$  (单位长度) 上内插等雨量点  $M$  (图 1), 则  $M$  与  $A$  的距离为:

$$H_{i,j} = \frac{W - B_{i,j}}{B_{i,j+1} - B_{i,j}} \quad (1)$$

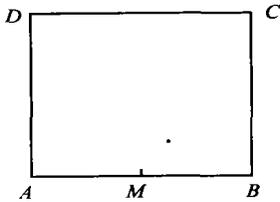


图 1  $M$  点的位置

同理  $AD$  上有交点时, 交点距  $A$  距离为:

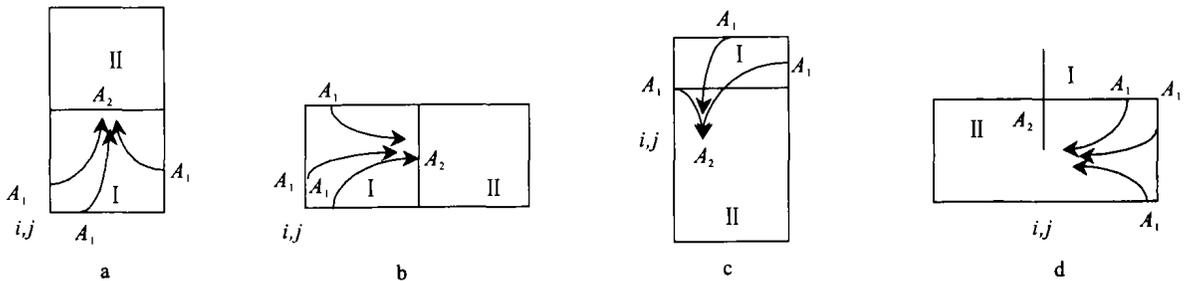
$$V_{i,j} = \frac{W - B_{i,j}}{B_{i,j} - B_{i,j-1}} \quad (2)$$

这样计算出的等雨量点分别存储在  $H_{i,j}$  和  $V_{i,j}$  中, 当(1)或(2)都不满足时, 为了不至于下次再对该边重复判断, 令  $H_{i,j} = -1$ ,  $V_{i,j} = -1$ , 对  $W$  等雨量线都作上述判断。

## 2 追踪等雨量点和消除二义性

### 2.1 追踪等雨量点

在  $W$  值的等雨量点位置全部确定以后, 就需把它们连接成若干等雨量线, 但首先要判断等雨量线在格网内的走向, 走向共有 4 种可能, 如图 2, 通过确定等雨量线走向与等雨量点坐标之间的关系来建立跟踪条件。



(a) 自下而上 (b) 自左而右 (c) 自上而下 (d) 自右而左

图 2 等雨量线在格网内走向

图 2 中(c)和(a), (b)和(d)互为相反情况, 在此只讨论(a), (b) 2 种情况, (c) (d) 可依此类推。

对于自下而上的(a)而言, 在方格  $iv$  上有  $A_1$ , 它的位置有 3 种情况如图所示, 显然比较  $A_1, A_2$  的坐标位置, 可得出  $A_1$  取整的纵坐标一定小于  $A_2$  点取整的纵坐标, 因此只要满足  $INT(Y_{A1}) < INT(Y_{A2})$  即可自下而上追踪, 如果有  $A_3$  点, 它一定位于  $\textcircled{c}$  格网的其余 3 个边上。

对于自左而右的(b)而言, 同样方格  $iv$  上有  $A_1$  的 3 种情况如图所示, 比较  $A_1$  与  $A_2$  的横坐标, 只要

满足  $X_{A1} < X_{A2}$ , 可自左向右追踪, 如果有  $A_3$  点, 它一定位于  $\textcircled{c}$  格网的其余 3 个边上。

由上可知, 追踪等雨量点是在任意两相邻格网内进行, 首先是在已知  $A_1$  和  $A_2$  点的位置时, 并且  $A_2$  位于  $iv$ ,  $\textcircled{c}$  号格网的公共边上, 用  $(i, j)$  表示  $iv$  号格网的序号, 显然,  $i, j$  始终处于动态变化中。

### 2.2 消除二义性

当  $\textcircled{c}$  号格网上的每一条边上都有一个等雨量点的时候, 这在连接等雨量点时就会出现如图 3 所示的 3 种情况。

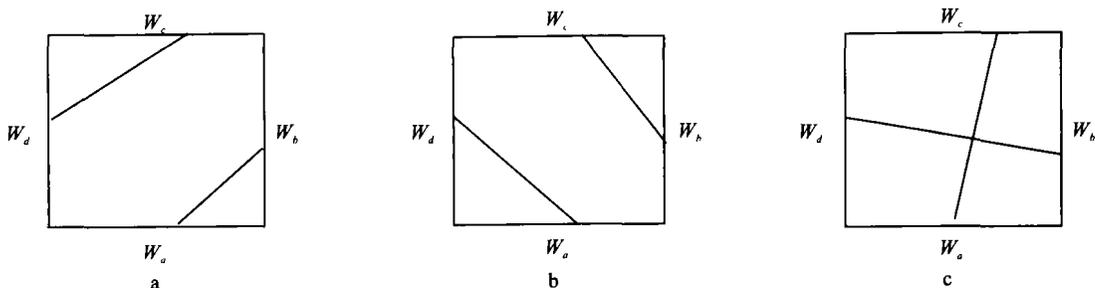


图 3 连接的二义性

为了消除上面的二义性, 本文采用下述方法, 设网格单元为一拟合曲面, 依双线性内插方法其上任意一点的雨量内插公式为:

$$W = \sum_{j=0}^1 \sum_{i=0}^1 a_{ij} x^i y^j = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{11}xy \quad (3)$$

由网格 4 个角点的三维坐标 ( $w_i$  为格网点的降雨量), 可求出  $a_{00}, a_{10}, a_{01}, a_{11}$  4 个系数, 即

$$\begin{pmatrix} a_{10} \\ a_{01} \\ a_{11} \\ a_{00} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & x_1 y_1 \\ x_2 & y_2 & x_2 y_2 \\ x_3 & y_3 & x_3 y_3 \\ x_4 & y_4 & x_4 y_4 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{pmatrix} \quad (4)$$

对(3)取全微分得

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{a_{10} + a_{11}y}{a_{01} + a_{11}x} \quad (5)$$

(5) 式中  $dy/dx$  为某点坐标的一阶导数, 一般精度情况下, 两点之间的等值点以直线相连<sup>[4]</sup>, 假设格网单元边长为 1 个单元, 4 个等雨量点的降雨量均为  $W$ , 以左下角点为坐标原点, 向右方向为  $X$  轴正方向, 向上方向为  $Y$  轴正方向, 4 个点 ( $W_a, W_b, W_c, W_d$ ) 的坐标为:

$$\begin{cases} x_a = \frac{W - a_{00}}{a_{10}}, & y_a = 0 \\ x_b = 1, & y_b = \frac{W - a_{00} - a_{10}}{a_{01} + a_{11}} \\ x_c = \frac{W - a_{00} - a_{01}}{a_{10} + a_{11}}, & y_c = 1 \\ x_d = 0, & y_d = \frac{W - a_{00}}{a_{01}} \end{cases} \quad (6)$$

由(5), (6) 可得:

$$\begin{cases} \left(\frac{dy}{dx}\right)_a = -\frac{a_{10}^2}{a_{10}a_{01} + a_{11}(W - a_{00})} \\ \left(\frac{dy}{dx}\right)_b = -\frac{a_{10}a_{01} + a_{11}(W - a_{00})}{(a_{01} + a_{11})^2} \\ \left(\frac{dy}{dx}\right)_c = -\frac{(a_{10} + a_{11})^2}{a_{10}a_{01} + a_{11}(W - a_{00})} \\ \left(\frac{dy}{dx}\right)_d = -\frac{a_{10}a_{01} + a_{11}(W - a_{00})}{a_{01}^2} \end{cases} \quad (7)$$

(7) 式中的符号取决于  $a_{10}a_{01} + a_{11}(W - a_{00})$  是大于零还是小于零, 可用下面法则进行判断以消除跟踪的二义性:

(1) 当  $a_{10}a_{01} + a_{11}(W - a_{00}) < 0$  时, 4 个等雨量点处  $dy/dx$  均为正, 等雨量线斜率为正, 其走向应位于 iv, ④象限所以应取  $W_a - W_b$  和  $W_d - W_c$  (图 3(a) 所示)。

(2) 当  $a_{10}a_{01} + a_{11}(W - a_{00}) > 0$  时, 4 个等雨量点处  $dy/dx$  均为负, 等雨量线斜率为负, 其走向应位于 ⑦, ⑤象限所以应取  $W_d - W_a$  和  $W_c - W_b$  (图 3(b) 所示)。

(3) 当  $a_{10}a_{01} + a_{11}(W - a_{00}) = 0$  时, 4 个等雨量点处  $dy/dx$  均为 0 或  $\infty$ , 2 条等雨量线相交, 这和等值线的特性不符, 因此这种情况就可以排除。

### 3 寻找起始、终止等雨量点

追踪某一等雨量线的首要任务是要找到该雨量线起始点<sup>[5-7]</sup>。这分 2 种情况: 开曲等雨量线和闭曲等雨量线, 它们在寻找起点和终点时不同, 因为开曲等雨量线的起、终点要从制图区的 4 个边界去找, 而闭合等雨量线的起、终点只能从制图区域的内部格网上去找, 其算法如下。

(1) 在底边 ( $i = 1$ ) 上找起始点, 只要  $H(1, j)$  ( $j = 0, 1, \dots, n-1$ ) 有等雨量点, 即令它为  $A_2$  点, 然后虚设  $A_1$  点让  $Y_{A1} = 0$ , 采用  $\text{INT}(Y_{A1}) < \text{INT}(Y_{A2})$  的条件追踪  $A_3$  点。

(2) 在左边 ( $j = 1$ ) 上找起始点, 只要  $V(i, 1)$  ( $i = 0, 1, \dots, m-1$ ) 有等雨量点, 即令它为  $A_2$  点, 然后虚设  $A_1$  点让  $X_{A1} = 0$ , 采用的  $X_{A1} < X_{A2}$  条件追踪  $A_3$  点。

对于上边和右边的情况类似与底边和左边, 在此不再详述。这样找到每条等雨量线第一、第二两等值点  $A_2, A_3$  后, 就可按等雨量线在格网内走向寻找各等雨量点, 每追踪一点就记录该点, 并且每次需改变或上推各等雨量点的顺序标号和相应的下标变量一直到  $A_3$  位于边界或和起始点重合为止。每条等雨量线全部追踪排列后, 必需实时地把各等雨量点光滑连结<sup>[8-9]</sup>, 选择哪种光滑方法根据雨量站点的疏密程度决定<sup>[10]</sup>, 重要前提是必须满足等雨量线的特征。

### 4 实例验证

为了验证本文提供方法的有效性, 选取了某一地区 23 个雨量站点进行实验, 比较图 4, 5 可知当站点分布均匀时, 距离内插与本方法成图质量比较相似。

图 4—5 能比较详细地刻画雨量变化的拐点, 这从两幅图的中心部分可看出, 但是当站点分布不均匀时即在两幅图的外围, 本文所提方法更能刻画出雨量变化的细部特征从而在利用等雨量线计算某一地区的降雨量时更加精确。因为本文绘制出的结果能更多地反映出等雨量线变化的拐点, 即更详细地反映出等雨量线的脊和谷。

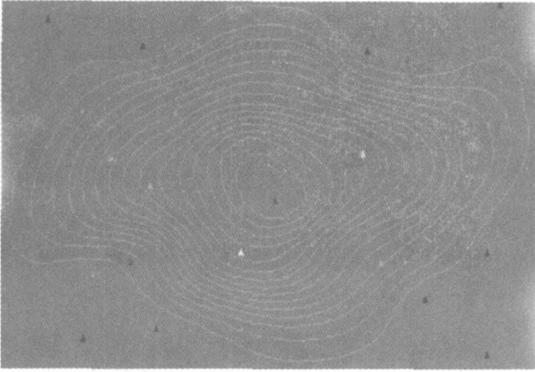


图4 距离内插法绘制的等雨量线

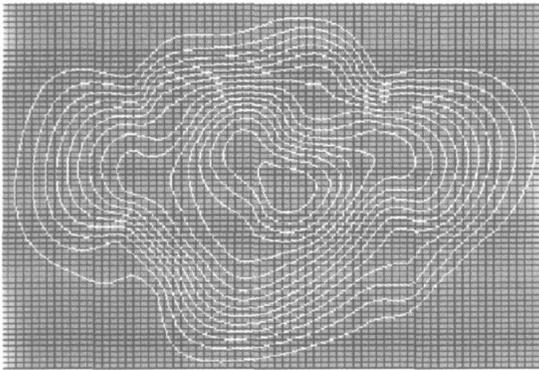


图5 本文方法绘制的等雨量线

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 叶飞跃,等.等直线线性追踪算法及其在地图重建中的应用[J].计算机仿真,2003,20(6).
- [ 2 ] 王锋堂,宫辉力,赵文吉.地下水水位等值线数值的计算方法及其机助制图[J].首都师范大学学报(自然科学版),2004,25(1):85—89.
- [ 3 ] 赵冬泉,贾海峰.基于 MapX 的等直线绘制分析[J].清华大学学报(自然科学版),2002,42(8):1023—1026.
- [ 4 ] 谢秋生.降水量等值线自动绘制新方法[J].福州大学学报(自然科学版),2000,28(3):46—49.
- [ 5 ] 龚有亮,等.一种实用的等高线内插算法[J].测绘学院学报,2002,19(1).
- [ 6 ] 姚鑫,宋伟东.AutoCAD 环境数字高程模型的建立和等高线的自动绘制[J].测绘通报,2003,4:29—31.
- [ 7 ] 任立良,刘新仁.数字高程模型信息提取与数字水文模型研究进展[J].水科学进展,2000,11(4):463—469.
- [ 8 ] HUANG Peizhi, Lai P. C. The detection of significant points and simplification of digital curves[J]. Journal of Geographic Information Science, 2001, 7(2): 131—136.
- [ 9 ] Qian J, Ehrlich R W. DNESYS—An Expert system for automatic extraction of draining networks from digital elevation model[J]. IEEE Transaction on Geoscience and remote sensing, 1990, 28(1): 29—45.
- [ 10 ] 四校合编.水文学与水资源概论[M].武汉:华中师范大学出版社,1981.

(上接第53页)

## 4 测试成果综合分析

(1) RaA 氡气测试和甚低频测试在上下游边界上的试验结果与地形地貌情况相互吻合,为确定变形破裂体的上、下游边界提供了较为科学的依据。

(2) 研究区在地貌上呈现陡—缓—陡—缓、沟槽—山脊相间的梳状地貌形态,其中山脊处变形破裂迹象较为强烈,通过现场的 RaA 氡气测试和甚低频测试验证了这一判断。

(3) 高线的测试结果反映,高线坡体的完整性较低线坡体的完整性差。即高线岸坡岩体的变形破裂程度远较低线岸坡岩体的变形破裂程度高。

(4) 如果单一借助于这 2 种手段并不能判断变形体边界。原因是变形体本身除了边界上变形破裂迹象严重,变形体中部也由于变形或风化剥蚀作用造成表部多处有拉张裂隙,大小不一,发育程度也不尽相同。只有借助现场地质经验分析,初步划定一个边界,然后根据两种测试手段得出的测试值进行相对的量化评判,目的是进一步复核变形体的边界。

变形体边界的确定对于水库蓄水前后对变形体进行支护设计是一个必要条件。在此工程实例中,我们首先是根据现场的地质定性分析,初步确定变形体的边界,然后借助 RaA 氡气和甚低频 2 种操作简便且便于在野外开展的测试加以验证,最终测试得出的结果与地质定性分析基本吻合。通过这 2 种测试手段进一步复核变形破裂体的边界、破裂迹象,在定性分析的基础上进行量化评判,值得在工程实践中加以合理的利用。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 张俤元,王士天,王兰生.工程地质分析原理[M].北京:地质出版社,1994.
- [ 2 ] 史保连.甚低频电磁法[M].北京:地质出版社.
- [ 3 ] 张文居,赵其华,沈军辉,等.甚低频电磁法确定覆盖层厚度的原理及应用[J].西北水电,2004.
- [ 4 ] 徐向宁,王兰生.叠溪地震区龙池岸坡中埋藏古沟槽的空间分布特征[J].山地学报,2003.
- [ 5 ] 许天海.地面甚低频电磁法在工程地质中的应用[J].水电站设计,1994.