



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110992488 A

(43)申请公布日 2020.04.10

(21)申请号 201911328526.1

(22)申请日 2019.12.20

(71)申请人 西南石油大学

地址 610500 四川省成都市新都区新都大道8号

(72)发明人 赵玉龙 刘凌甫 张烈辉 杨琨  
张旭阳 谢军

(74)专利代理机构 成都三诚知识产权代理事务所(普通合伙) 51251

代理人 成实

(51)Int.Cl.

G06T 17/05(2011.01)

G06F 30/20(2020.01)

G06F 111/04(2020.01)

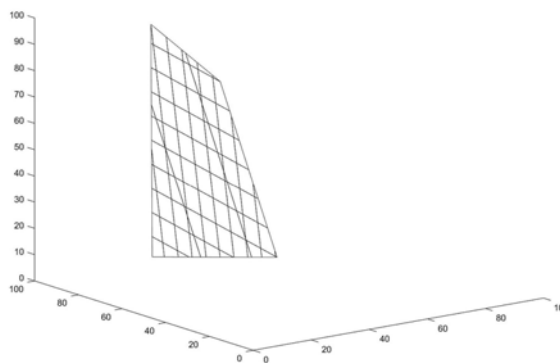
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

## (54)发明名称

一种基于嵌入式离散裂缝模型的倾斜裂缝网格剖分方法

## (57)摘要

本发明提供了一种基于嵌入式离散裂缝模型的倾斜裂缝网格剖分方法,属于油藏模拟技术领域,包括以下步骤:建立基质网格系统;获取裂缝面边界和基质网格系统在各个坐标轴平面上的投影面;对各个投影面上裂缝面穿过的基质网格的投影进行反演得到裂缝面穿过的基质网格;用该基质网格的边界剖分裂缝面,得到初步裂缝网格;以裂缝面边界为约束条件,保留初步裂缝网格中位于裂缝边界内的部分,得到最终的裂缝网格,本发明运用嵌入式离散裂缝模型对地层中任意多边形裂缝面进行剖分,尤其能够对倾斜裂缝网格进行剖分,有助于研究带有复杂裂缝展布的地层中的渗流规律。



1. 一种基于嵌入式离散裂缝模型的倾斜裂缝网格剖分方法,其特征在于,包括下列步骤:

S1、根据网格基本几何参数剖分基质网格,建立基质网格系统;

S2、将裂缝面边界和基质网格系统分别向3个坐标轴平面进行投影,得到裂缝面穿过的基质网格在3个坐标平面内的投影面;

S3、在各个投影面内,对裂缝面穿过的基质网格的投影进行反演,得到裂缝面穿过的基质网格;

S4、用裂缝面穿过的基质网格的边界剖分裂缝平面,得到初步裂缝网格;

S5、取裂缝面内中心点,以裂缝边界为约束条件,通过向量的点乘判断法去除初步裂缝网格中位于裂缝边界外的点,得到处于边界内的最终裂缝网格。

2. 根据权利要求1所述的一种基于嵌入式离散裂缝模型的倾斜裂缝网格剖分方法,其特征在于,所述的步骤S2的具体步骤如下:

S21、把裂缝面的各条边和基质网格向同一坐标平面投影得到投影面;

S22、在投影面上求得裂缝面各边的投影与基质网格边界投影的各个交点,将各交点和裂缝面各边投影的始末两点按照相邻顺序依次排列组成点集;

S23、在投影面上求得点集中每对相邻点的中点并求得该中点所在的基质网格投影,将该中点所在的基质网格投影依次连接起来形成一个封闭图形,该封闭图形以及其内部的基质网格投影即为该投影面上裂缝面穿过的基质网格投影;

S24、重复步骤S21-S23,分别向x-y、x-y、y-z 3个坐标平面投影,得到裂缝面穿过的基质网格在3个坐标平面内的投影面。

3. 根据权利要求1所述的一种基于嵌入式离散裂缝模型的倾斜裂缝网格剖分方法,其特征在于,所述的步骤S3的具体步骤如下:

S31、分别以列向量形式记录所述坐标平面投影面内裂缝面穿过的基质网格投影的位置,在x-y坐标平面上其投影位置的集合为 $\{X_{xy}, Y_{xy}\}$ ,在x-z坐标平面上其投影位置的集合为 $\{X_{xz}, Z_{xz}\}$ ,在y-z坐标平面上其投影位置的集合为 $\{Y_{yz}, Z_{yz}\}$ ;

S32、将 $X_{xy}$ 与 $X_{xz}$ 中相同的元素组成向量 $X_{xy+xz}$ ,并记录相同元素在各自向量内部的位置 $i_{xy}$ 和 $i_{xz}$ ,从 $Y_{xy}$ 中选出位置为 $i_{xy}$ 的元素,构成新向量 $Y_{xy+xz}$ ,从 $Z_{xz}$ 中选择位置为 $i_{xz}$ 的元素,构成新向量 $Z_{xy+xz}$ ,将以上三个新向量组成坐标集合 $\{X_{xy+xz}, Y_{xy+xz}, Z_{xy+xz}\}$ ;

S33、在坐标集合 $\{X_{xy+xz}, Y_{xy+xz}, Z_{xy+xz}\}$ 中选择其后两列与 $\{Y_{yz}, Z_{yz}\}$ 相同的坐标行组成坐标集合 $\{X_x, Y_y, Z_z\}$ ;

S34、在坐标集合 $\{X_x, Y_y, Z_z\}$ 中筛选裂缝面穿过的基质网格,筛选的具体方法如下:

确定裂缝面方程为:

$$f(x, y, z) = ax + by + cz + d = 0,$$

其中,a、b、c、d均为关于裂缝面几何形态的常数,

对于坐标集合 $\{X_x, Y_y, Z_z\}$ 中的单个基质网格,确定其顶点坐标,若此基质网格存在一对相邻顶点 $(x_1, y_1, z_1)$ 、 $(x_2, y_2, z_2)$ 使得:

$$f(x_1, y_1, z_1) \cdot f(x_2, y_2, z_2) < 0$$

则裂缝面穿过此基质网格,反之则不穿过此基质网格。

4. 根据权利要求1所述的一种基于嵌入式离散裂缝模型的倾斜裂缝网格剖分方法,其

特征在于,所述的步骤S4的具体步骤如下:

S41、确定裂缝面穿过的基质网格与裂缝面的交点位置,具体方法如下:

S411、确定裂缝面方程为:

$$f(x, y, z) = ax + by + cz + d = 0$$

其中,a、b、c、d均为关于裂缝面几何形态的常数;

S412、将裂缝面穿过的单个基质网格的每对相邻顶点 $(x_1, y_1, z_1)$ 、 $(x_2, y_2, z_2)$ 代入裂缝面方程,若其满足

$$f(x_1, y_1, z_1) \cdot f(x_2, y_2, z_2) \leq 0,$$

则求出经过此对相邻顶点的直线并将该直线方程与裂缝面方程联立求得其交点;

S413、重复步骤S412,求出所有裂缝面穿过的基质网格与裂缝面的交点;

S42、运用凸包算法,将S413中每个基质网格中的交点分别连接成凸多边形形成初步裂缝网格。

5. 根据权利要求1所述的一种基于嵌入式离散裂缝模型的倾斜裂缝网格剖分方法,其特征在于,所述的步骤S5的具体步骤如下::

S51、确定裂缝边界上各条边的端点,将其组成端点集合 $\{X\}$ ,确定裂缝面内中心点C;

S52、选取初步裂缝网格内的一点D,若端点集合 $\{X\}$ 中任意相邻两点A、B均满足

$$\left(\overline{AB} \times \overline{AC}\right) \cdot \left(\overline{AB} \times \overline{AD}\right) \geq 0$$

则D点位于裂缝边界内,反之,则位于初步裂缝网格中位于裂缝边界外;

S53、若步骤S52中,某裂缝网格中的一点位于裂缝边界外侧,则去除该点,并以裂缝边界为约束,在边界上求得新点,得到处于边界内的最终裂缝网格;

S54、重复步骤S52~S53,去除所有初步裂缝网格中处于裂缝边界外侧的点,并得到最终的裂缝网格。

## 一种基于嵌入式离散裂缝模型的倾斜裂缝网格剖分方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于油藏模拟技术领域,具体而言,涉及一种基于嵌入式离散裂缝模型的倾斜裂缝网格剖分方法。

### 背景技术

[0002] 随着常规油气资源的开发,高孔高渗的常规储层已经开采殆尽。为了满足日益增长的石油与天然气资源的需求,对非常规低渗透储层的开发已势在必行。矿场实践表明:低渗透致密储层具有渗透率低的特点,故通常采用压裂水平井技术。由于常规油藏工程方法难以应对复杂的裂缝性储层渗流,因此多采用数值模拟方法对其进行研究。在油藏数值模拟方法中,嵌入式离散裂缝模型不需要对网格进行加密,因此具有较快的运算速度,从而受到了越来越多的学者的青睐。然而嵌入式离散裂缝模型中,裂缝网格由结构化的基质网格边界剖分得到,而在三维模型中裂缝平面与基质网格相交模式非常复杂,因此剖分倾斜裂缝网格的难度很大,多数学者仍然采用垂直裂缝模型这种简化模型,但这种简化模型与实际情况差别较大,所以模拟结果也并不能反应真实地层情况。本发明目的在于提出基于嵌入式离散裂缝模型的倾斜裂缝网格剖分方法,解决运用嵌入式离散裂缝模型难以应对倾斜裂缝的研究现状。

### 发明内容

[0003] 为解决现有技术存在的上述缺陷,本发明提供了一种基于嵌入式离散裂缝模型的倾斜裂缝网格剖分方法。

[0004] 本发明的技术方案如下:

[0005] 本发明提供了一种基于嵌入式离散裂缝模型的倾斜裂缝网格剖分方法,包括下列步骤:

[0006] S1、根据网格基本几何参数剖分基质网格,建立基质网格系统;

[0007] S2、将裂缝面边界和基质网格系统分别向3个坐标轴平面进行投影,得到裂缝面穿过的基质网格在3个坐标平面内的投影面;

[0008] S3、在各个投影面内,对裂缝面穿过的基质网格的投影进行反演,得到裂缝面穿过的基质网格;

[0009] S4、用裂缝面穿过的基质网格的边界剖分裂缝平面,得到初步裂缝网格;

[0010] S5、取裂缝面内中心点,以裂缝边界为约束条件,通过向量的点乘判断法得到初步裂缝网格中位于裂缝边界内的点,将各点连接起来编得到最终的裂缝网格。

[0011] 优选的,所述的步骤S2的具体步骤如下:

[0012] S21、把裂缝面的各条边和基质网格向同一坐标平面投影得到投影面;

[0013] S22、在投影面上求得裂缝面各边的投影与基质网格边界投影的各个交点,将交点和裂缝面各边投影的始末两点绕裂缝面边界依次排列组成点集;

[0014] S23、在投影面上求得点集中每对相邻点的中点并求得该中点所在的基质网格投

影,将该中点所在的基质网格投影依次连接起来形成一个封闭图形,该封闭图形以及其内部的基质网格投影即为该投影面上裂缝面穿过的基质网格投影;

[0015] S24、重复步骤S21-S23,分别向x-y、x-y、y-z3个坐标平面投影,得到裂缝面穿过的基质网格在3个坐标平面内的投影面。

[0016] 优选的,所述的步骤S3的具体步骤如下:

[0017] S31、分别以列向量形式记录所述坐标平面投影面内裂缝面穿过的基质网格投影的位置,在x-y坐标平面上其投影位置的集合为 $\{X_{xy}, Y_{xy}\}$ ,在x-z坐标平面上其投影位置的集合为 $\{X_{xz}, Z_{xz}\}$ ,在y-z坐标平面上其投影位置的集合为 $\{Y_{yz}, Z_{yz}\}$ ;

[0018] S32、将 $X_{xy}$ 与 $X_{xz}$ 中相同的元素组成向量 $X_{xy+xz}$ ,并记录相同元素在各自向量内部的位置 $i_{xy}$ 和 $i_{xz}$ ,从 $Y_{xy}$ 中选出位置为 $i_{xy}$ 的元素,构成新向量 $Y_{xy+xz}$ ,从 $Z_{xz}$ 中选择位置为 $i_{xz}$ 的元素,构成新向量 $Z_{xy+xz}$ ,将以上三个新向量组成坐标集合 $\{X_{xy+xz}, Y_{xy+xz}, Z_{xy+xz}\}$ ;

[0019] S33、在坐标集合 $\{X_{xy+xz}, Y_{xy+xz}, Z_{xy+xz}\}$ 中选择其后两列与 $\{Y_{yz}, Z_{yz}\}$ 相同的坐标行组成坐标集合 $\{X_x, Y_y, Z_z\}$ ;

[0020] S34、在坐标集合 $\{X_x, Y_y, Z_z\}$ 中筛选裂缝面穿过的基质网格,筛选的具体方法如下:

[0021] 确定裂缝面方程为:

$$[0022] f(x, y, z) = ax + by + cz + d = 0,$$

[0023] 其中,a、b、c、d均为关于裂缝面几何形态的常数,

[0024] 对于坐标集合 $\{X_x, Y_y, Z_z\}$ 中的单个基质网格,确定其顶点坐标,若此基质网格存在一对相邻顶点 $(x_1, y_1, z_1)$ 、 $(x_2, y_2, z_2)$ 使得:

$$[0025] f(x_1, y_1, z_1) \cdot f(x_2, y_2, z_2) < 0$$

[0026] 则裂缝面穿过此基质网格,反之则不穿过此基质网格。

[0027] 优选的,所述的步骤S4的具体步骤如下:

[0028] S41、确定裂缝面穿过的基质网格与裂缝面的交点位置,具体方法如下:

[0029] S411、确定裂缝面方程为:

$$[0030] f(x, y, z) = ax + by + cz + d = 0$$

[0031] 其中,a、b、c、d均为关于裂缝面几何形态的常数,

[0032] S412、将裂缝面穿过的单个基质网格的每对相邻顶点 $(x_1, y_1, z_1)$ 、 $(x_2, y_2, z_2)$ 代入裂缝面方程,若其满足

$$[0033] f(x_1, y_1, z_1) \cdot f(x_2, y_2, z_2) \leq 0,$$

[0034] 则求出经过此对相邻顶点的直线并将该直线方程与裂缝面方程联立求得其交点;

[0035] S413、重复步骤S412,求出所有裂缝面穿过的基质网格与裂缝面的交点;

[0036] S42、运用凸包算法,将S413中每个基质网格中的交点分别连接成凸多边形形成初步裂缝网格。

[0037] 优选的,步骤S5所述的具体步骤如下:

[0038] S51、确定裂缝边界上各条边的端点,将其组成端点集合 $\{X\}$ ,确定裂缝面内中心点C;

[0039] S52、选取初步裂缝网格内的一点D,若端点集合 $\{X\}$ 中任意相邻两点A、B均满足

$$[0040] (\overline{AB} \times \overline{AC}) \cdot (\overline{AB} \times \overline{AD}) \geq 0$$

- [0041] 则D点位于裂缝边界内,反之,则位于初步裂缝网格中位于裂缝边界外;
- [0042] S53、若步骤S52中,某裂缝网格中的一点位于裂缝边界外侧,则去除该点,并以裂缝边界为约束,在边界上求得新点,得到处于边界内的最终裂缝网格;
- [0043] S54、重复步骤S52~S53,去除所有初步裂缝网格中处于裂缝边界外侧的点,并得到最终的裂缝网格。
- [0044] 有益效果:本发明提供了一种基于嵌入式离散裂缝模型的倾斜裂缝网格剖分方法,本方法运用嵌入式离散裂缝模型对地层中倾斜的任意多边形裂缝面进行剖分,有助于研究带有复杂裂缝展布的地层中的渗流规律。

### 附图说明

- [0045] 图1为基质网格系统图;
- [0046] 图2为裂缝面与基质相对位置图;
- [0047] 图3为裂缝面穿过的基质网格在x-z坐标轴平面内投影面;
- [0048] 图4为裂缝面穿过的基质网格在x-y坐标轴平面内投影面;
- [0049] 图5为裂缝面穿过的基质网格在y-z坐标轴平面内投影面;
- [0050] 图6为裂缝面穿过的基质网格图;
- [0051] 图7为初步裂缝网格图;
- [0052] 图8为最终的裂缝网格图。

### 具体实施方式

[0053] 为使本发明实施方式的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施方式中的附图,对本发明实施方式中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施方式是本发明一部分实施方式,而不是全部的实施方式。因此,以下对在附图中提供的本发明的实施方式的详细描述并非旨在限制要求保护的本发明的范围,而是仅仅表示本发明的选定实施方式。基于本发明中的实施方式,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施方式,都属于本发明保护的范围。

[0054] 本发明提供了一种基于嵌入式离散裂缝模型的倾斜裂缝网格剖分方法,包括下列步骤:

[0055] 本发明提供了一种基于嵌入式离散裂缝模型的倾斜裂缝网格剖分方法,包括下列步骤:

[0056] S1、根据网格基本几何参数剖分基质网格,建立基质网格系统;

[0057] 大小为 $100 \times 100 \times 100$ 的储层按照网格大小 $10 \times 10 \times 10$ 建立基质网格系统,如图1,储层中有一个四边形的裂缝面,其端点坐标为 $(40, 100, 0)$ ;  $(15, 9, 30)$ ;  $(15, 35, 90)$ ;  $(25, 80, 97.84)$ ,基质网格与裂缝面的相对位置如图2。

[0058] S2、将裂缝面边界和基质网格系统分别向3个坐标轴平面(x-z、y-z、x-y)进行投影,得到裂缝面穿过的基质网格在3个坐标平面内的投影面,如图3~图5,其中阴影部分即为该投影面上裂缝面穿过的基质网格投影,具体步骤如下:

[0059] S21、把裂缝面的各条边和基质网格向x-z坐标平面投影得到投影面,如图3,基质网格的投影则为图中的方格部分,裂缝面各条边的投影则为方格图形中的不规则四边

形；

[0060] S22、在投影面上求得裂缝面各边的投影与基质网格边界投影的交点，将交点和裂缝面各边投影的始末两点绕裂缝面边界依次排列组成点集；

[0061] S23、在投影面上求得点集中每对相邻点的中点并求得该中点所在的基质网格投影，如图3，图中斜线阴影部分即为中点所在的基质网格投影，将该中点所在的基质网格投影依次连接起来形成一个封闭图形，如图3中斜线阴影部分，该封闭图形（图3中斜线阴影部分）以及其内部的基质网格投影（图3中十字型阴影部分）即为裂缝面穿过的基质网格在x-z坐标平面上投影；

[0062] S24、重复步骤S21~S23，分别向x-y、y-z坐标平面投影，得到裂缝面穿过的基质网格在x-y、y-z坐标平面内的投影面，分别为图4、图5。

[0063] S3、在各个投影面内，对裂缝面穿过的基质网格的投影进行反演，得到裂缝面穿过的基质网格，如图6，具体步骤如下：

[0064] S31、分别以列向量形式记录所述坐标平面投影面内裂缝面穿过的基质网格投影的位置，在x-y坐标平面上其投影位置的集合为 $\{X_{xy}, Y_{xy}\}$ ，在x-z坐标平面上其投影位置的集合为 $\{X_{xz}, Z_{xz}\}$ ，在y-z坐标平面上其投影位置的集合为 $\{Y_{yz}, Z_{yz}\}$ ；

[0065] S32、将 $X_{xy}$ 与 $X_{xz}$ 中相同的元素组成向量 $X_{xy+xz}$ ，并记录相同元素在各自向量内部的位置 $i_{xy}$ 和 $i_{xz}$ ，从 $Y_{xy}$ 中选出位置为 $i_{xy}$ 的元素，构成新向量 $Y_{xy+xz}$ ，从 $Z_{xz}$ 中选择位置为 $i_{xz}$ 的元素，构成新向量 $Z_{xy+xz}$ ，将以上三个新向量组成坐标集合 $\{X_{xy+xz}, Y_{xy+xz}, Z_{xy+xz}\}$ ；

[0066] S33、在坐标集合 $\{X_{xy+xz}, Y_{xy+xz}, Z_{xy+xz}\}$ 中选择其后两列与 $\{Y_{yz}, Z_{yz}\}$ 相同的坐标行组成坐标集合 $\{X_x, Y_y, Z_z\}$ ；

[0067] S34、在坐标集合 $\{X_x, Y_y, Z_z\}$ 中筛选裂缝面穿过的基质网格，筛选的具体方法如下：

[0068] 确定裂缝面方程为：

$$[0069] \quad f(x, y, z) = ax + by + cz + d = 0,$$

[0070] 其中，a、b、c、d均为关于裂缝面几何形态的常数，

[0071] 对于坐标集合 $\{X_x, Y_y, Z_z\}$ 中的单个基质网格，确定其顶点坐标，若此基质网格存在一对相邻顶点 $(x_1, y_1, z_1)$ 、 $(x_2, y_2, z_2)$ 使得：

$$[0072] \quad f(x_1, y_1, z_1) \cdot f(x_2, y_2, z_2) < 0$$

[0073] 则裂缝面穿过此基质网格，反之则不穿过此基质网格。

[0074] S4、用裂缝面穿过的基质网格的边界剖分裂缝平面，得到初步裂缝网格，如图7，具体步骤如下：

[0075] S41、确定裂缝面穿过的基质网格与裂缝面的交点位置，具体方法如下：

[0076] S411、确定裂缝面方程为：

$$[0077] \quad f(x, y, z) = ax + by + cz + d = 0$$

[0078] 其中，a、b、c、d均为关于裂缝面几何形态的常数，

[0079] S412、将裂缝面穿过的单个基质网格的每对相邻顶点 $(x_1, y_1, z_1)$ 、 $(x_2, y_2, z_2)$ 代入裂缝面方程，若其满足

$$[0080] \quad f(x_1, y_1, z_1) \cdot f(x_2, y_2, z_2) \leq 0,$$

[0081] 则求出经过此对相邻顶点的直线并将该直线方程与裂缝面方程联立求得其交点；

[0082] S413、重复步骤S412，求出所有裂缝面穿过的基质网格与裂缝面的交点；

[0083] S42、运用凸包算法,将S413中每个基质网格中的交点分别连接成凸多边形形成初步裂缝网格。

[0084] S5、以裂缝边界为约束条件,去除初步裂缝网格中位于裂缝边界外的点,得到最终的裂缝网格,如图8,具体步骤如下:

[0085] S51、确定裂缝边界上各条边的端点,将其组成端点集合{X},确定裂缝面内中心点C;

[0086] S52、选取初步裂缝网格内的一点D,若端点集合{X}中任意相邻两点A、B均满足

$$[0087] \quad (\overline{AB} \times \overline{AC}) \cdot (\overline{AB} \times \overline{AD}) \geq 0$$

[0088] 则D点位于裂缝边界内,反之,则位于初步裂缝网格中位于裂缝边界外;

[0089] S53、若步骤S52中,某裂缝网格中的一点位于裂缝边界外侧,则去除该点,并以裂缝边界为约束,在边界上求得新点,得到处于边界内的最终裂缝网格;

[0090] S54、重复步骤S52~S53,去除所有初步裂缝网格中处于裂缝边界外侧的点,并得到最终的裂缝网格。

[0091] 以上所述,并非对本发明作任何形式上的限制,虽然本发明已以较佳实施例揭露如上,然而并非用以限定本发明,任何熟悉本专业的技术人员,在不脱离本发明技术方案范围内,当可利用上述揭示的技术内容作出些许更动或修饰为等同变化的等效实施例,但凡是未脱离本发明技术方案的内容,依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化与修饰,均仍属于本发明技术方案的范围。



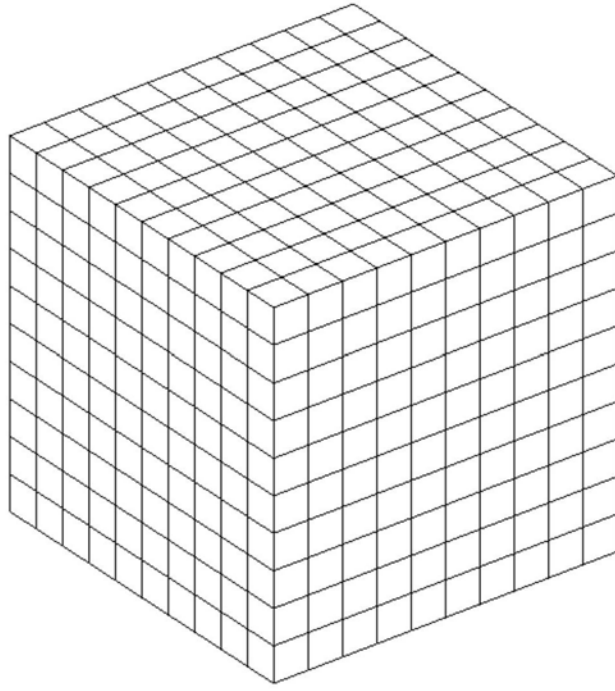


图1

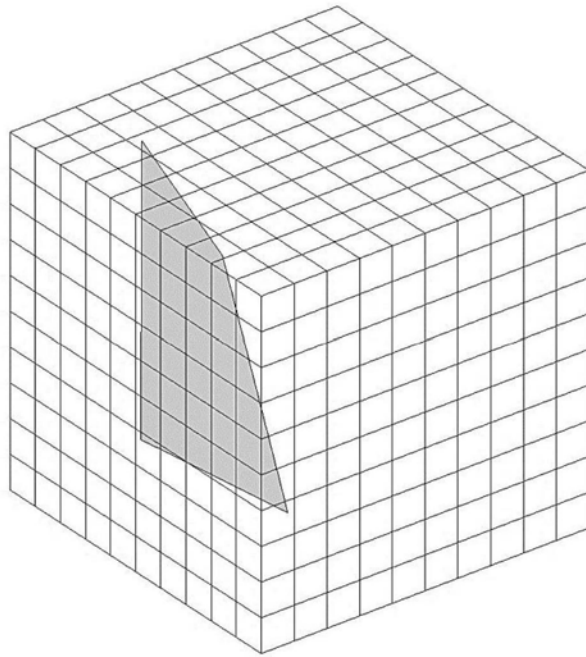


图2

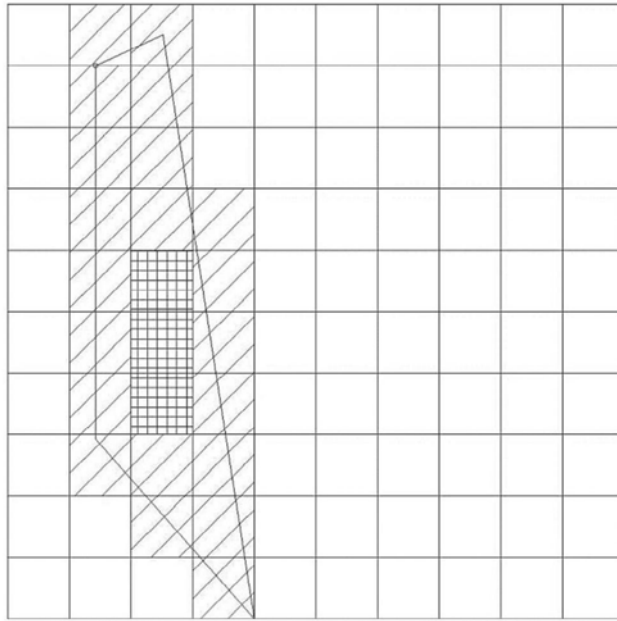


图3

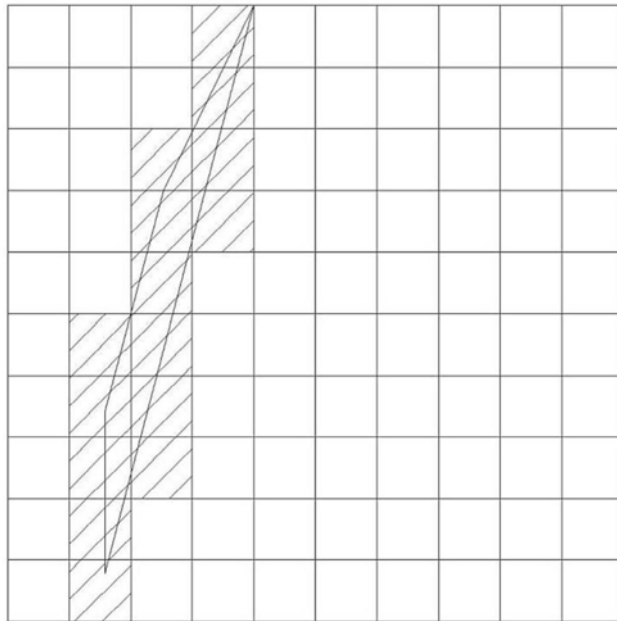


图4

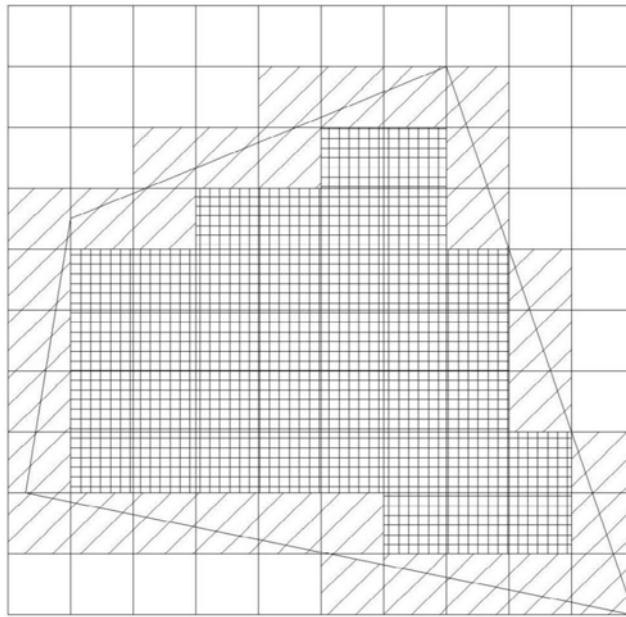


图5

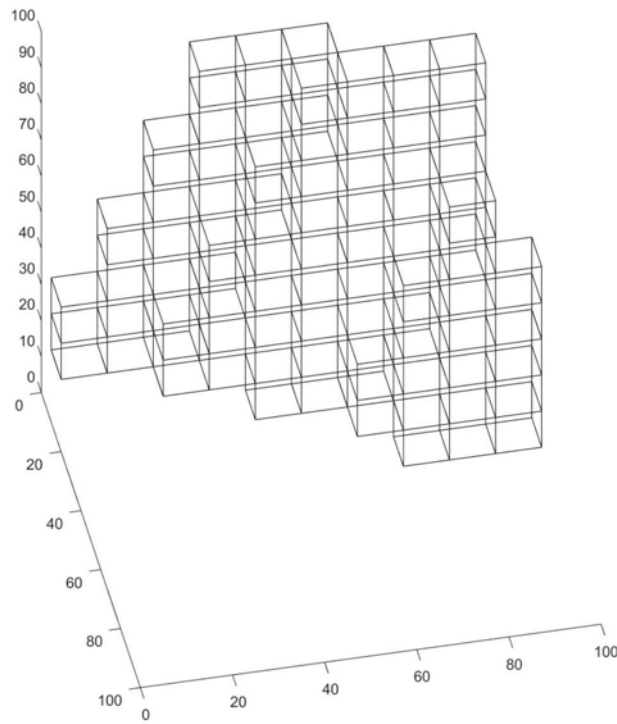


图6

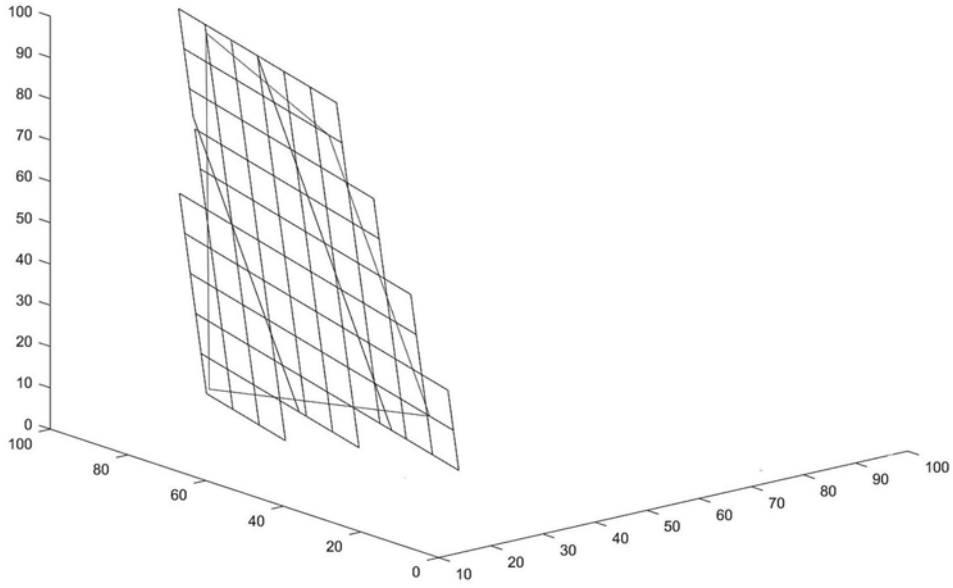


图7

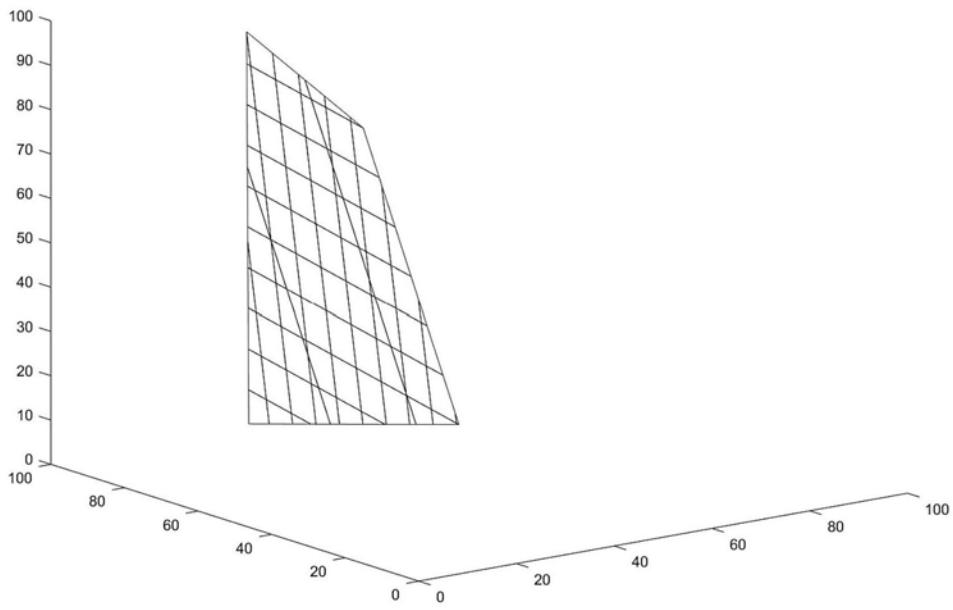


图8