

(19) 中华人民共和国国家知识产权局



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103236088 B

(45) 授权公告日 2015.07.15

(21) 申请号 201310130973.2

(22) 申请日 2013.04.16

(73) 专利权人 北京金阳普泰石油技术股份有限公司

地址 100080 北京市海淀区北四环西路 9 号  
9 层 902 室

(72) 发明人 赵明伟 袁钢辉 矫树春 齐建军

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 任默闻

(51) Int. Cl.

G06T 17/30(2006.01)

审查员 傅重添

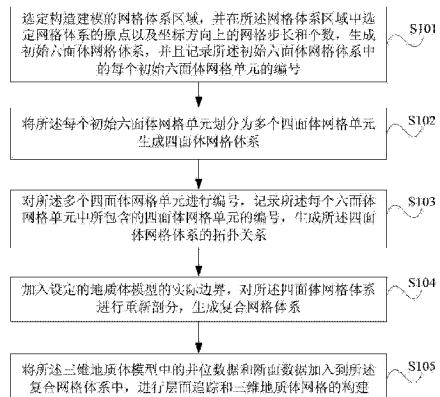
权利要求书2页 说明书9页 附图7页

(54) 发明名称

基于复合网格的三维地质体构造建模方法与系统

(57) 摘要

本发明实施例公开了一种基于复合网格的三维地质体构造建模方法及系统。所述方法包括：选定构造建模的网格体系区域，并在网格体系区域中选定网格体系的原点以及坐标方向上的网格步长和个数，生成初始六面体网格体系；将每个初始六面体网格单元划分为多个四面体网格单元，生成四面体网格体系；对多个四面体网格单元进行编号，记录每个六面体网格单元中所包含的四面体网格单元的编号，生成四面体网格体系的拓扑关系；加入设定的地质体模型的实际边界，对四面体网格体系进行重新剖分，生成复合网格体系；将三维地质体模型中的井位数据和断面数据加入到复合网格体系中，进行层面追踪和三维地质体网格的构建。



B

CN 103236088

1. 一种基于复合网格的三维地质体构造建模方法,其特征在于,所述方法包括:

步骤 A,选定构造建模的网格体系区域,并在所述网格体系区域中选定网格体系的原点以及坐标方向上的网格步长和个数,生成初始六面体网格体系,并且记录所述初始六面体网格体系中的每个初始六面体网格单元的编号;

步骤 B,将所述每个初始六面体网格单元划分为多个四面体网格单元,生成四面体网格体系;

步骤 C,对所述多个四面体网格单元进行编号,记录所述每个六面体网格单元中所包含的四面体网格单元的编号,生成所述四面体网格体系的拓扑关系;

步骤 D,加入设定的地质体模型的实际边界,对所述四面体网格体系进行重新剖分,生成复合网格体系;

步骤 E,将所述三维地质体模型中的井位数据和断面数据加入到所述复合网格体系中,进行层面追踪和三维地质体网格的构建;

在所述步骤 E 中,将所述地质体模型中的井位数据和断面数据加入到所述复合网格体系中,进行层面追踪和地质体网格的构建,包括:

搜寻所述井位数据的坐标所在的初始六面体网格单元;

遍历所述井位数据的坐标所在的初始六面体网格单元所包含的所有四面体网格单元,搜寻包含所述井位数据的坐标的四面体网格单元;

在所述包含所述井位数据坐标的四面体网格单元中添加所述井位数据;

更新添加井位数据后的四面体网格体系的拓扑关系。

2. 根据权利要求 1 所述的基于复合网格的三维地质体构造建模方法,其特征在于,在所述步骤 C 中,生成的所述四面体网格体系的拓扑关系包括:节点、边、面、体的共享关系。

3. 根据权利要求 1 所述的基于复合网格的三维地质体构造建模方法,其特征在于,在所述步骤 D 中,加入设定的地质体模型的实际边界,对所述四面体网格体系进行重新剖分,包括:

在所述四面体网格体系的多个四面体网格单元内添加点、边或面,生成新的剖分四面体网格单元。

4. 根据权利要求 3 所述的基于复合网格的三维地质体构造建模方法,其特征在于,所述步骤 D 中,在生成新的剖分四面体网格单元后,寻找新的剖分四面体网格单元对应的初始六面体网格单元,更新所述对应的初始六面体网格单元内部包含的四面体网格单元的编号和拓扑关系,生成复合网格体系。

5. 一种基于复合网格的三维地质体构造建模系统,其特征在于,所述系统包括:

初始六面体网格体系生成单元,用于选定构造建模的网格体系区域,并在所述网格体系区域中选定网格体系的原点以及坐标方向上的网格步长和个数,生成初始六面体网格体系,并且记录所述初始六面体网格体系中的每个初始六面体网格单元的编号;

四面体网格体系生成单元,用于将所述每个初始六面体网格单元划分为多个四面体网格单元,生成四面体网格体系;

拓扑关系生成单元,用于对所述多个四面体网格单元进行编号,记录所述每个六面体网格单元中所包含的四面体网格单元的编号,生成所述四面体网格体系的拓扑关系;

复合网格体系生成单元,加入设定的地质体模型的实际边界,对所述四面体网格体系

进行重新剖分,生成复合网格体系;

三维地质体网格构建单元,用于将所述三维地质体模型中的井位数据和断面数据加入到所述复合网格体系中,进行层面追踪和三维地质体网格的构建;

所述三维地质体网格构建单元包括:

初始六面体网格单元搜寻单元,用于搜寻所述井位数据的坐标所在的初始六面体网格单元;

四面体单元网格搜寻单元,用于遍历所述井位数据的坐标所在的初始六面体网格单元所包含的所有四面体网格单元,搜寻包含所述井位数据的坐标的四面体网格单元;

井位数据添加单元,用于在所述包含所述井位数据坐标的四面体网格单元中添加所述井位数据;

三维地质体网格生成单元,用于更新添加井位数据后的四面体网格体系的拓扑关系,生成三维地质体网格。

6. 根据权利要求 5 所述的基于复合网格的三维地质体构造建模系统,其特征在于,所述拓扑关系生成单元生成的四面体网格体系的拓扑关系包括:节点、边、面、体的共享关系。

7. 根据权利要求 5 所述的基于复合网格的三维地质体构造建模系统,其特征在于,所述复合网格体系生成单元包括:

添加点模块,用于在所述四面体网格体系的多个四面体网格单元内添加点,生成新的四面体网格单元;

添加边模块,用于在所述四面体网格体系的多个四面体网格单元内添加边,生成新的四面体网格单元;

添加面模块,用于在所述四面体网格体系的多个四面体网格单元内添加面,生成新的四面体网格单元。

8. 根据权利要求 7 所述的基于复合网格的三维地质体构造建模系统,其特征在于,所述复合网格体系生成单元还包括:

更新模块,用于在生成新的四面体网格单元后,寻找新的四面体网格单元对应的初始六面体网格单元,更新所述对应的初始六面体网格单元内部包含的四面体网格单元的编号和拓扑关系,生成复合网格体系。

## 基于复合网格的三维地质体构造建模方法与系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及计算几何以及三维地质建模领域,尤其涉及一种基于复合网格的三维地质体构造建模方法与系统,具体的讲是一种生成相辅相成的两套网格体系的方法与系统,可以模拟任意复杂的地形,并且可以进行给定坐标位置的网格快速查询与定位。

### 背景技术

[0002] 计算网格的生成技术一直都是石油勘探开发领域的重要分支,它奠定了很多工作的基础,例如:等值线算法,三维地质构造建模,油藏数值模拟等。计算网格总体上分为两大类:结构网格和非结构网格。常用的结构网格包括矩形网格、六面体网格等,而常用的非结构网格则包括三角形网格、四面体网格等。对于比较简单的几何外形处理,结构网格目前已经发展的比较完善,应用的效果也很不错。但是对于比较复杂的几何外形,常用的结构网格在处理这些外形时往往遇到很大的困难,带来的效果往往也差强人意。非结构化网格的提出与应用,成功地解决了结构网格的上述缺点,极大地推进了计算方法在石油勘探开发的应用。由于在非结构网格的生成中并不需要考虑网格的结构性与正交性,就使得网格单元的大小形状以及网格点的位置更加容易控制,因此非结构网格就有了很大的灵活性,对于复杂外形的描述也有了普适性。正因为有这一系列的优点,非结构网格技术受到了国内外石油勘探开发领域的广泛重视,并且得到了迅速的发展和应用。

[0003] 但是在实际应用过程中比如等值线算法,三维地质建模,油藏数值模拟等,最基本的要求是所生成的网格必须完美的表达任意给定区域,这就意味着单独使用结构网格是不行的;同时又需要向所生成的网格体系中加入新的井位/断层数据,其中涉及到了给定坐标位置的网格快速查询与定位,而单独使用非结构网格显然效率低下。

[0004] 在石油勘探开发中,目前比较常用的结构网格在二维情形主要是以矩形为基本网格单元,在三维情形主要是以六面体为基本网格单元。结构网格的生成比较简单,只需要确定网格体系的原点,沿各个方向的网格步长以及网格个数即可。结构网格体系的优点在于生成十分简单,并且易于坐标位置的快速查询和定位。但是,结构网格对复杂地形的模拟十分困难,这是由于结构网格的单元(二维矩形/三维六面体)不具有很大的灵活性。当给定区域的边界比较复杂时,结构网格带来的效果会很差。

[0005] 另外,在石油勘探开发中,目前比较常用的非结构网格在二维情形主要是以三角形为基本网格单元,在三维情形主要是以四面体为基本网格单元。常用的非结构网格的生成方法主要是 Delaunay 法:首先在空间布满初始的网格单元,然后按照一定的准则不断引入新点,通过节点重组形成新的网格单元。这里的准则指的是 Delaunay 球面准则,在二维情形即要求每个三角形网格单元的外接圆不包括其他节点,在三维情形即要求每个四面体网格单元的外接球不包括其他网格节点。Delaunay 方法的优点就在于网格生成的速度快,网格质量高,可以在所生成网格基础上很好地进行二维/三维数值计算。

[0006] 但是, Delaunay 网格的缺点主要有二点:一是需要事先提供在给定区域的非结构网格剖分。这是因为在生成 Delaunay 网格过程中要求初始的非结构网格剖分,然后按照

Delaunay 球面法则加入一些新点以实现对原有点的置换。在实际应用过程中这必然会带来额外的计算量，并且初始网格质量的好坏也会对最终生成的 Delaunay 网格的速度有影响，而这是不易控制的。二是所生成的 Delaunay 网格不利于查找定位。在实际算法设计中，经常需要查找满足特定条件的网格编号并进行定位，比如：新加入的井在哪个网格内或者断层穿过哪些网格。由于 Delaunay 网格存储的是点、线、面、体的拓扑结构，在进行给定坐标位置的查找时就得依赖于循环，这会极大地影响到所涉及算法的效率。

## 发明内容

[0007] 本发明的目的是为了克服现有技术中存在的结构网格和非结构网格的不足，提供一种可以模拟任意复杂地形，并且生成速度快、质量好且便于进行给定坐标点的快速查询与定位的复合网格，以用于三维地质体的构造建模。

[0008] 为了达到上述目的，本发明实施例公开了一种基于复合网格的三维地质体构造建模方法，所述方法包括：步骤 A，选定构造建模的网格体系区域，并在所述网格体系区域中选定网格体系的原点以及坐标方向上的网格步长和个数，生成初始六面体网格体系，并且记录所述初始六面体网格体系中的每个初始六面体网格单元的编号；步骤 B，将所述每个初始六面体网格单元划分为多个四面体网格单元，生成四面体网格体系；步骤 C，对所述多个四面体网格单元进行编号，记录所述每个六面体网格单元中所包含的四面体网格单元的编号，生成所述四面体网格体系的拓扑关系；步骤 D，加入设定的地质体模型的实际边界，对所述四面体网格体系进行重新剖分，生成复合网格体系；步骤 E，将所述三维地质体模型中的井位数据和断面数据加入到所述复合网格体系中，进行层面追踪和三维地质体网格的构建。

[0009] 为了达到上述目的，本发明实施例还公开了一种基于复合网格的三维地质体构造建模系统，包括：初始六面体网格体系生成单元，用于选定构造建模的网格体系区域，并在所述网格体系区域中选定网格体系的原点以及坐标方向上的网格步长和个数，生成初始六面体网格体系，并且记录所述初始六面体网格体系中的每个初始六面体网格单元的编号；四面体网格体系生成单元，用于将所述每个初始六面体网格单元划分为多个四面体网格单元，生成四面体网格体系；拓扑关系生成单元，用于对所述多个四面体网格单元进行编号，记录所述每个六面体网格单元中所包含的四面体网格单元的编号，生成所述四面体网格体系的拓扑关系；复合网格体系生成单元，加入设定的地质体模型的实际边界，对所述四面体网格体系进行重新剖分，生成复合网格体系；三维地质体网格构建单元，用于将所述三维地质体模型中的井位数据和断面数据加入到所述复合网格体系中，进行层面追踪和三维地质体网格的构建。

[0010] 本发明实施例的基于复合网格的三维地质体构造建模方法与系统，可以生成一种具有相辅相成的两套网格体系的复合网格体系，能够模拟任意复杂的地形。并且，输入需要建模的区域，可以快速生成该区域的三维复合网格体系。给定任意坐标位置（位于区域内），可以快速定位该坐标所在的四面体网格单元的编号。该复合网格体系可以很方便的添加任意数量的新节点（坐标位于给定区域内），只需对原有的网格体系进行局部网格剖分（在新坐标点处）和拓扑关系更新。因此，本发明还可以实现给定坐标位置的网格快速查询和定位。

## 附图说明

[0011] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例，对于本领域技术人员来讲，在不付出创造性劳动性的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

- [0012] 图 1 为本发明实施例的基于复合网格的三维地质体构造建模方法的方法流程图；
- [0013] 图 2 为图 1 所示实施例的加入井位数据的方法流程图；
- [0014] 图 3 为本发明实施例的基于复合网格的三维地质体构造建模系统的结构示意图；
- [0015] 图 4 为图 3 所示实施例中的复合网格体系生成单元 104 的结构示意图；
- [0016] 图 5 为图 3 所示实施例中的地质体网格构建单元 105 的结构示意图；
- [0017] 图 6 为说明本发明的基于复合网格进行三维地质体构建的具体实施例的方法流程图；
- [0018] 图 7 为图 6 所示实施例中的初始六面体网格体系的示意图；
- [0019] 图 8 为图 6 所示实施例中的单个六面体网格单元被剖分为多个四面体网格单元的示意图；
- [0020] 图 9 为图 8 所示实施例中的被剖分出的五个四面体网格单元；
- [0021] 图 10 为图 6 所示实施例中的生成的四面体网格体系的示意图；
- [0022] 图 11 为添加在四面体内部的点的示意图；
- [0023] 图 12 为添加在四面体某面上的点的示意图；
- [0024] 图 13 为添加在四面体某一边上的点的示意图；
- [0025] 图 14 为添加起点在四面体某一顶点的边的示意图；
- [0026] 图 15 为添加起点不与四面体顶点重合的边的示意图；
- [0027] 图 16 为在四面体内部添加面的示意图。

## 具体实施方式

[0028] 下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0029] 本发明实施例的复合网格并不是指最终生成的网格同时包含六面体结构网格和四面体非结构网格，而是指相辅相成的两套网格体系，一套为六面体结构网格体系，用于在给定区域快速构建覆盖该区域的初始六面体结构网格体系；另一套为四面体非结构网格体系，继承自初始六面体结构网格体系，并且在给定区域的边界处对该四面体非结构网格体系进行修正。在实际应用中真正参与计算的是四面体非结构网格体系，六面体结构网格体系起到的是对四面体非结构网格体系进行快速查询定位的作用。

[0030] 图 1 为本发明实施例的基于复合网格的三维地质体构造建模方法的方法流程图。如图所示，该方法包括：

- [0031] 步骤 S101，选定构造建模的网格体系区域，并在所述网格体系区域中选定网格体

系的原点以及坐标方向上的网格步长和个数,生成初始六面体网格体系,并且记录所述初始六面体网格体系中的每个初始六面体网格单元的编号;步骤 S102,将所述每个初始六面体网格单元划分为多个四面体网格单元,生成四面体网格体系;步骤 S103,对所述多个四面体网格单元进行编号,记录所述每个六面体网格单元中所包含的四面体网格单元的编号,生成所述四面体网格体系的拓扑关系;步骤 S104,加入设定的地质体模型的实际边界,对所述四面体网格体系进行重新剖分,生成复合网格体系;步骤 S105,将所述三维地质体模型中的井位数据和断面数据加入到所述复合网格体系中,进行层面追踪和三维地质体网格的构建。

[0032] 在本实施例的步骤 S101 中,构造建模的网格体系区域为六面体 / 长方体区域。此步骤生成的初始网格体系是六面体结构网格,只要确定网格体系的原点、沿各个方向的网格步长以及网格个数即可。六面体结构网格的生成属于本领域的公知常识,故本发明实施例中不再赘述。

[0033] 在本实施例的步骤 S102 中,将所述初始网格体系中的每个初始六面体网格单元都按照统一的顺序划分为多个四面体网格单元,生成四面体网格体系。在本实施例中,初始网格单元为六面体,可划分为五个四面体。

[0034] 在本实施例的步骤 S103 中,生成的所述四面体网格体系的拓扑关系包括:节点、边、面、体的共享关系。初始网格单元为六面体,可划分为五个四面体,则其拓扑关系为节点、边、面和体的共享关系。

[0035] 在本实施例的步骤 S104 中,加入设定的地质体模型的实际边界,对所述四面体网格体系进行重新剖分,包括:在所述四面体网格体系的多个四面体网格单元内添加点、边或面,生成新的四面体网格单元。

[0036] 针对四面体来讲,在添加点操作时,如果该点在四面体内部,则依次连接该点跟四面体的四个面的三顶点,形成四个新的四面体;如果该点落在四面体某面的内部,则首先连接该顶点与该面的三个顶点形成三条线段,然后连接该顶点与该面的对点,形成三个新的四面体;如果该点落在四面体某条边的内部,则首先连接该顶点与该边的两个顶点形成两条线段,然后连接该顶点与不与该顶点共面的对点,形成两个新的四面体;如果该点落在四面体某个顶点上,则不予处理。

[0037] 针对四面体来讲,在添加边操作时,若该边与四面体的某条边重合,则不予处理;如果该边与四面体的任一条边均不重合,则分别以下两种情况:如果该边的顶点是四面体的某个顶点,则添加边的操作就可以转化成为一条特定射线(起点为所添加边的顶点,方向沿着所添加边的终点)与该四面体求交点的操作,对所求得的交点进行添加点的操作,则完成对该四面体添加边的操作。为叙述方便,用 Tetra 表示该四面体。若该边的顶点不是 Tetra 的某个顶点,则首先求特定射线(起点为所添加边的顶点,方向沿着所添加边的终点)与 Tetra 相交的第一个交点 A,而后对交点 A 在 Tetra 内进行添加点的操作,这样 Tetra 就被剖分成为 N 个子四面体。对这 N 个子四面体进行遍历,找到该射线与哪个子四面体相交并且求得交点 B (用 STetra 表示该子四面体),进而对交点 B 在 STetra 内进行添加点的操作,则 Tetra 剖分完成。

[0038] 针对四面体来讲,在添加面操作时,如果该面与四面体的某个面重合,则不予处理;如果该面与四面体的任一面均不重合,则添加面的操作转化为该面与该四面体的六条

边求相交点的操作,具体操作如下:

- [0039] 1) 如果该边与所添加的面不存在交点,继续遍历下一条边;
  - [0040] 2) 如果存在交点,则在当前边上对该交点进行添加点的操作;
  - [0041] 3) 四面体的六条边全部遍历完则结束。
- [0042] 在本实施例的步骤 S104 中,在生成新的四面体网格单元后,要寻找这些新剖分网格单元对应的六面体网格单元,更新六面体网格单元内部包含的剖分四面体网格单元的编号和拓扑关系,生成复合网格体系。

[0043] 在本实施例的步骤 S105 中,以图 2 所示的加入井位数据的方法流程为例,说明将所述地质体模型中的井位数据加入到所述复合网格体系中,进行层面追踪和地质体网格的构建的步骤,其包括:步骤 S1051,搜寻所述井位数据的坐标所在的初始六面体网格单元;步骤 S1052,遍历所述井位数据的坐标所在的初始六面体网格单元所包含的所有四面体网格单元,搜寻包含所述井位数据的坐标的四面体网格单元;步骤 S1053,在包含所述井位数据的坐标的四面体网格单元中添加所述井位;步骤 S1054,更新添加井位数据后的四面体网格体系的拓扑关系。

[0044] 利用上述实施例的基于复合网格的三维地质体构造建模的方法,在确定井位数据的坐标点所在的四面体网格单元时的计算复杂度为  $O(1)$ ,而如果采用一般非结构网格方法(Delaunay 方法)的计算复杂度为  $O(M)$ ,此处  $M$  为非结构网格中所包含的总网格数量。因此,本实施例中的复合网格体系在速度上要快得多,对于新添加的井位数据和断面数据的处理比一般非结构网格方法要更加有效率。

[0045] 图 3 为本发明实施例的基于复合网格的三维地质体构造建模系统的结构示意图。如图所示,该实施例的基于复合网格的三维地质体构造建模系统包括:初始六面体网格体系生成单元 101,用于选定构造建模的网格体系区域,并在所述网格体系区域中选定网格体系的原点以及坐标方向上的网格步长和个数,生成初始六面体网格体系,并且记录所述初始六面体网格体系中的每个初始六面体网格单元的编号;四面体网格体系生成单元 102,用于将所述每个初始六面体网格单元划分为多个四面体网格单元,生成四面体网格体系;拓扑关系生成单元 103,用于对所述多个四面体网格单元进行编号,记录所述每个六面体网格单元中所包含的四面体网格单元的编号,生成所述四面体网格体系的拓扑关系;复合网格体系生成单元 104,加入设定的地质体模型的实际边界,对所述四面体网格体系进行重新剖分,生成复合网格体系;三维地质体网格构建单元 105,用于将所述三维地质体模型中的井位数据和断面数据加入到所述复合网格体系中,进行层面追踪和三维地质体网格的构建。

[0046] 在本实施例中,初始六面体网格体系生成单元 101 选定的构造建模的网格体系区域为六面体 / 长方体区域。本发明实施例中的初始网格体系是六面体结构网格,只要确定网格体系的原点、沿各个方向的网格步长以及网格个数即可。六面体结构网格的生成属于本领域的公知常识,故本发明实施例中不再赘述。

[0047] 在本实施例中,四面体网格体系生成单元 102 将所述初始六面体网格体系中的每个初始六面体网格单元都按照统一的顺序划分为多个四面体网格单元,生成四面体网格体系。在本实施例中,初始网格单元为六面体,则可划分为五个四面体。

[0048] 在本实施例中,所述拓扑关系生成单元 103 生成的所述四面体网格体系的拓扑关

系包括：节点、边、面、体的共享关系。初始网格单元为六面体，可划分为五个四面体，则其拓扑关系为节点、边、面和体的共享关系。

[0049] 在本实施例中，如图 4 所示，所述复合网格体系生成单元 104 包括：添加点模块 1041，用于在所述四面体网格体系的多个四面体网格单元内添加点，生成新的四面体网格单元；添加边模块 1042，用于在所述四面体网格体系的多个剖分四面体网格单元内添加边，生成新的四面体网格单元；添加面模块 1043，用于在所述四面体网格体系的多个四面体网格单元内添加面，生成新的四面体网格单元。在本实施例中，如图 4 所示，所述复合网格体系生成单元 104 还包括：更新模块 1044，用于在生成新的四面体网格单元后，寻找新的四面体网格单元对应的初始六面体网格单元，更新所述对应的初始六面体网格单元内部包含的四面体网格单元的编号和拓扑关系，生成复合网格体系。

[0050] 在本实施例中，所述地质体网格构建单元 105 将所述地质体模型中的井位数据和断面数据加入到所述复合网格体系中，进行层面追踪和地质体网格的构模，如图 5 所示，其包括：初始网格单元搜寻单元 1051，用于搜寻所述井位数据的坐标所在的初始六面体网格单元；四面体单元网格搜寻单元 1052，用于遍历所述井位数据的坐标所在的初始六面体网格单元所包含的所有四面体网格单元，搜寻包含所述井位数据的坐标的四面体网格单元；井位数据添加单元 1053，用于在所述包含所述井位数据的坐标的四面体网格单元中添加所述井位；三维地质体网格生成单元 1054，用于更新添加井位数据后的四面体网格体系的拓扑关系，生成三维地质体网格。

[0051] 利用上述实施例的基于复合网格的三维地质体构造建模的系统，在确定井位数据的坐标点所在的四面体网格单元时的计算复杂度为  $O(1)$ ，而如果采用一般非结构网格方法（Delaunay 方法）的计算复杂度为  $O(M)$ ，此处  $M$  为非结构网格中所包含的总网格数量。因此，本实施例中的复合网格体系在速度上要快得多，对于新添加的井位数据和断面数据的处理比一般非结构网格方法要更加有效率。

[0052] 具体实施例一：

[0053] 如图 6 所示，以三维地质体构造建模为具体实施例说明本发明的基于复合网格进行三维地质体构建的方法流程。

[0054] 步骤 S601，给定需要构造建模的六面体区域。

[0055] 步骤 S602，选定好六面体网格体系的原点以及 x、y、z 方向上各自的网格步长和网格个数，生成足够大的覆盖该区域的初始六面体网格体系，如图 7 所示，并记录原点以及 x、y、z 方向上各自网格步长、网格个数。

[0056] 步骤 S603，将步骤 S602 中的初始六面体网格体系的每个六面体网格单元都按统一的顺序分为五个四面体，如图 8 所示，并且记录每一个六面体网格单元内部包含的四面体单元的编号。图 9 为剖分出来的五个四面体。

[0057] 步骤 S604，经过步骤 S602，六面体网格体系就变为四面体网格体系，如图 10 所示。对生成的四面体网格体系记录其拓扑关系，包括节点、边、面、体的共享关系。

[0058] 步骤 S605，在步骤 S604 的基础上，加入给定的三维地质体区域的边界，每加入一段边界就对规整四面体网格体系进行剖分。具体剖分方法依次分别涉及到单个四面体内添加点，添加边，添加面的操作：

[0059] 1) 添加点：以该点为起点

[0060] 11) 若该点在四面体内部,依次连接该点跟四面体的四个面的三顶点,形成四个新的四面体,如图 11 所示。

[0061] 12) 若该点落在四面体某面内部,则首先连接该顶点与该面的三个顶点形成三条线段,然后连接该顶点与该面的对点,形成三个新的四面体,如图 12 所示。

[0062] 13) 若该点落在四面体某条边的内部,则首先连接该顶点与该边的两个顶点形成两条线段,然后连接该顶点与不与该顶点共面的对点,形成两个新的四面体,如图 13 所示。

[0063] 14) 若该点落在四面体某个顶点上,则不予处理。

[0064] 2) 添加边 :

[0065] 21) 若该边与四面体的某条边重合,不予处理。

[0066] 22) 若该边与四面体的任一条边均不重合 :

[0067] 221) 若该边的顶点是四面体的某个顶点,则添加边的操作就可以转化成为一条特定射线(起点为所添加边的顶点,方向沿着所添加边的终点)与该四面体求交点的操作,对所得的交点进行添加点的操作,则完成对该四面体添加边的操作,如图 14 所示。

[0068] 222) 若该边的顶点不是四面体的某个顶点,为叙述方便,用 Tetra 表示该四面体。若该边的顶点不是 Tetra 的某个顶点,则首先求特定射线(起点为所添加边的顶点,方向沿着所添加边的终点)与 Tetra 相交的第一个交点 A,而后对交点 A 在 Tetra 内进行添加点的操作,这样 Tetra 就被剖分为 N 个子四面体。对这 N 个子四面体进行遍历,找到该射线与哪个子四面体相交并且求得交点 B (用 STetra 表示该子四面体),进而对交点 B 在 STetra 内进行添加点的操作,则 Tetra 剖分完成,如图 15 所示。

[0069] 3) 添加面 :

[0070] 31) 若该面与四面体的某个面重合,则不予处理。

[0071] 32) 若该面与四面体的任一面均不重合;添加面的操作转化为该面与该四面体的六条边求相交点的操作,具体而言,从该四面体的第一条边开始:

[0072] 321) 若该边与所添加的面不存在交点,继续遍历下一条边;

[0073] 322) 若存在交点,则在当前边上对该交点进行基于添加点的操作。

[0074] 直至四面体的六条边全部遍历完则过程结束,以完成对该四面体添加面的操作,如图 16 所示。

[0075] 步骤 S606,对新剖分出来的四面体单元,寻找包含它们的六面体网格单元,更新该六面体内部包含的四面体单元的编号,并且记录在六面体网格体系中。并且,更新新剖分出来的四面体单元的拓扑关系(节点、边、面、体的共享关系),并且将该包含关系记录在四面体网格体系中。对四面体网格体系,仅保留给定区域内部的网格剖分的拓扑结构。

[0076] 步骤 S607,将参考点(并位)数据和断面数据加入到复合网格体系中。根据参考点的值对复合网格体系中的所有四面体网格单元节点进行插值。

[0077] 该步骤的实施可以很好地体现本发明所描述的复合网格体系的优势,首先详细描述其实施方案(这里仅以添加参考点数据为例,添加断面上数据类似,仅需将断面视为一串离散点);

[0078] 假设参考点数据为  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , 数据总量为 n;

[0079] 1) 从第一个数据  $x_1$  开始,寻找  $x_1$  的坐标所在的六面体网格单元;

[0080] 2) 确定该六面体网格单元所包含的所有四面体网格单元;

[0081] 3) 依次遍历 2) 中的所有四面体网格单元, 直到找到包含  $x_1$  坐标点的四面体网格单元为止;

[0082] 4) 对 3) 中确定的四面体网格单元进行添加点的操作, 该添加点的操作与步骤 S104 中的添加点的操作相同;

[0083] 5) 将 4) 中新剖分出来的四面体单元添加到 1) 中确定的六面体单元内;

[0084] 6) 更新四面体网格体系的拓扑结构。

[0085] 对  $x_2, \dots, x_n$  重复进行 1) --6) 步骤, 则参考点数据添加完成。

[0086] 从以上具体实施例可以看出, 在确定井位数据的坐标点所在的剖分四面体网格单元时的计算复杂度为  $O(1)$ , 而如果采用一般非结构网格方法(Delaunay 方法)的计算复杂度为  $O(M)$ , 此处  $M$  为非结构网格中所包含的总网格数量。因此, 本实施例中的复合网格体系在速度上要快得多, 对于新添加的井位数据和断面数据的处理比一般非结构网格方法要更加有效率。

[0087] 本发明实施例的基于复合网格的三维地质体构造建模方法与系统, 可以生成一种具有相辅相成的两套网格体系的复合网格体系, 能够模拟任意复杂的地形。并且, 输入需要建模的区域, 可以快速生成该区域的三维复合网格体系。给定任意坐标位置(位于区域内), 可以快速定位该坐标所在的四面体网格单元的编号。该复合网格体系可以很方便的添加任意数量的新节点(坐标位于给定区域内), 只需对原有的网格体系进行局部网格剖分(在新坐标点处)和拓扑关系更新。因此, 本发明还可以实现给定坐标位置的网格快速查询和定位。

[0088] 本领域技术人员还可以了解到本发明实施例列出的各种说明性逻辑块(illustrative logical block), 单元, 和步骤可以通过电子硬件、电脑软件, 或两者的结合进行实现。为清楚展示硬件和软件的可替换性(interchangeability), 上述的各种说明性部件(illustrative components), 单元和步骤已经通用地描述了它们的功能。这样的功能是通过硬件还是软件来实现取决于特定的应用和整个系统的设计要求。本领域技术人员可以对于每种特定的应用, 可以使用各种方法实现所述的功能, 但这种实现不应被理解为超出本发明实施例保护的范围。

[0089] 本发明实施例中所描述的方法或算法的步骤可以直接嵌入硬件、处理器执行的软件模块、或者这两者的结合。软件模块可以存储于 RAM 存储器、闪存、ROM 存储器、EPROM 存储器、EEPROM 存储器、寄存器、硬盘、可移动磁盘、CD-ROM 或本领域中其它任意形式的存储媒介中。示例性地, 存储媒介可以与处理器连接, 以使得处理器可以从存储媒介中读取信息, 并可以向存储媒介存写信息。可选地, 存储媒介还可以集成到处理器中。处理器和存储媒介可以设置于 ASIC 中, ASIC 可以设置于用户终端中。可选地, 处理器和存储媒介也可以设置于用户终端中的不同的部件中。

[0090] 在一个或多个示例性的设计中, 本发明实施例所描述的上述功能可以在硬件、软件、固件或这三者的任意组合来实现。如果在软件中实现, 这些功能可以存储与电脑可读的媒介上, 或以一个或多个指令或代码形式传输于电脑可读的媒介上。电脑可读媒介包括电脑存储媒介和便于使得让电脑程序从一个地方转移到其它地方的通信媒介。存储媒介可以是任何通用或特殊电脑可以接入访问的可用媒体。例如, 这样的电脑可读媒体可以包括但不限于 RAM、ROM、EEPROM、CD-ROM 或其它光盘存储、磁盘存储或其它磁性存储装置, 或其它

任何可以用于承载或存储以指令或数据结构和其它可被通用或特殊电脑、或通用或特殊处理器读取形式的程序代码的媒介。此外，任何连接都可以被适当地定义为电脑可读媒介，例如，如果软件是从一个网站站点、服务器或其它远程资源通过一个同轴电缆、光纤电缆、双绞线、数字用户线(DSL)或以例如红外、无线和微波等无线方式传输的也被包含在所定义的电脑可读媒介中。所述的碟片(disk)和磁盘(disc)包括压缩磁盘、镭射盘、光盘、DVD、软盘和蓝光光盘，磁盘通常以磁性复制数据，而碟片通常以激光进行光学复制数据。上述的组合也可以包含在电脑可读媒介中。

[0091] 本领域内的技术人员应明白，本发明的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此，本发明可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且，本发明可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质(包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等)上实施的计算机程序产品的形式。

[0092] 本发明是参照根据本发明实施例的方法、设备(系统)、和计算机程序产品的流程图和 / 或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和 / 或方框图中的每一流程和 / 或方框、以及流程图和 / 或方框图中的流程和 / 或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器，使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

[0093] 这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中，使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品，该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上，使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理，从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

[0094] 以上所述的具体实施例，对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明，所应理解的是，以上所述仅为本发明的具体实施例而已，并不用于限定本发明的保护范围，凡在本发明的精神和原则之内，所做的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

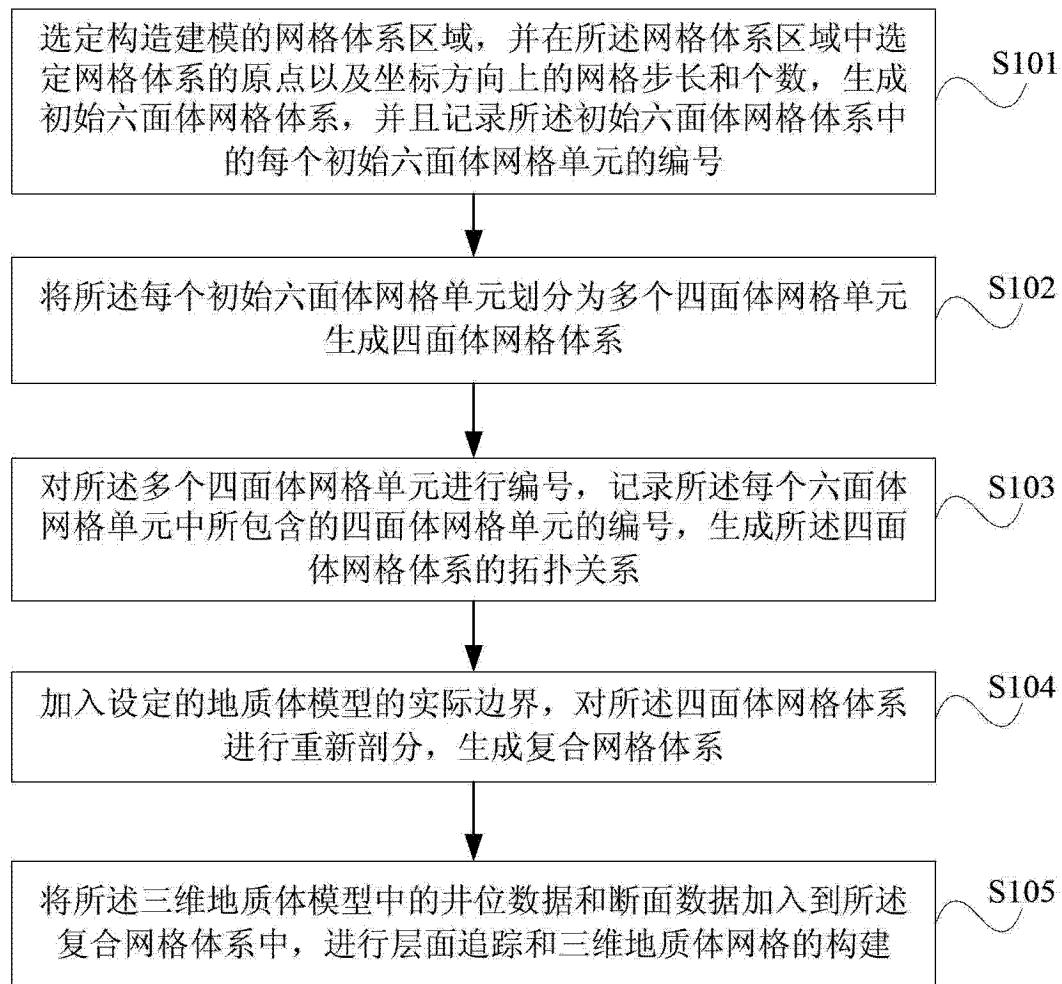


图 1

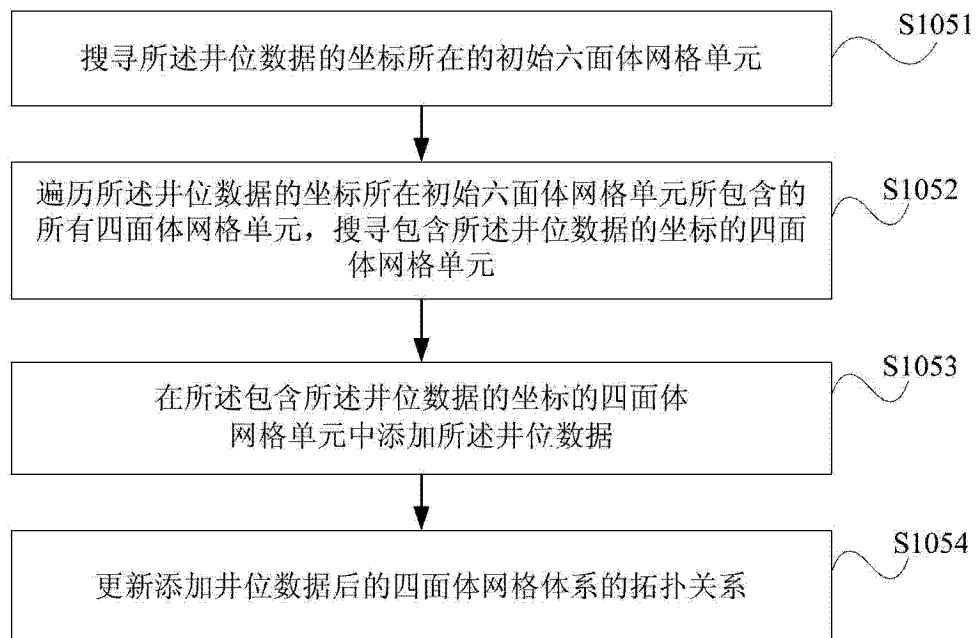


图 2

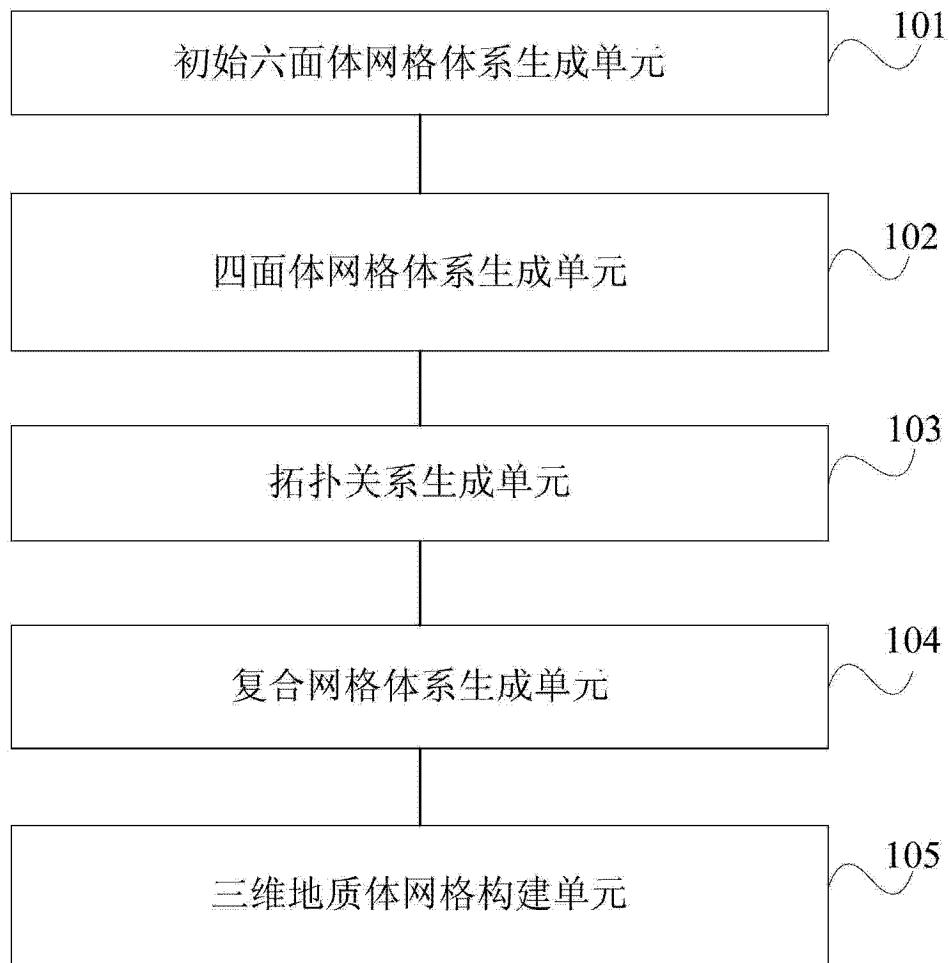


图 3

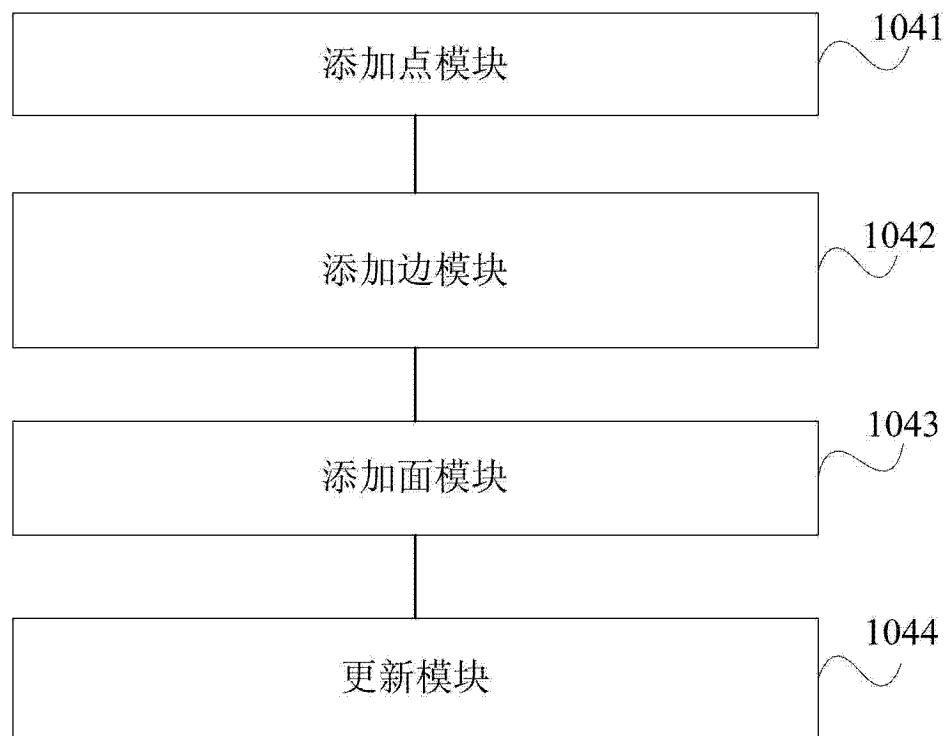


图 4

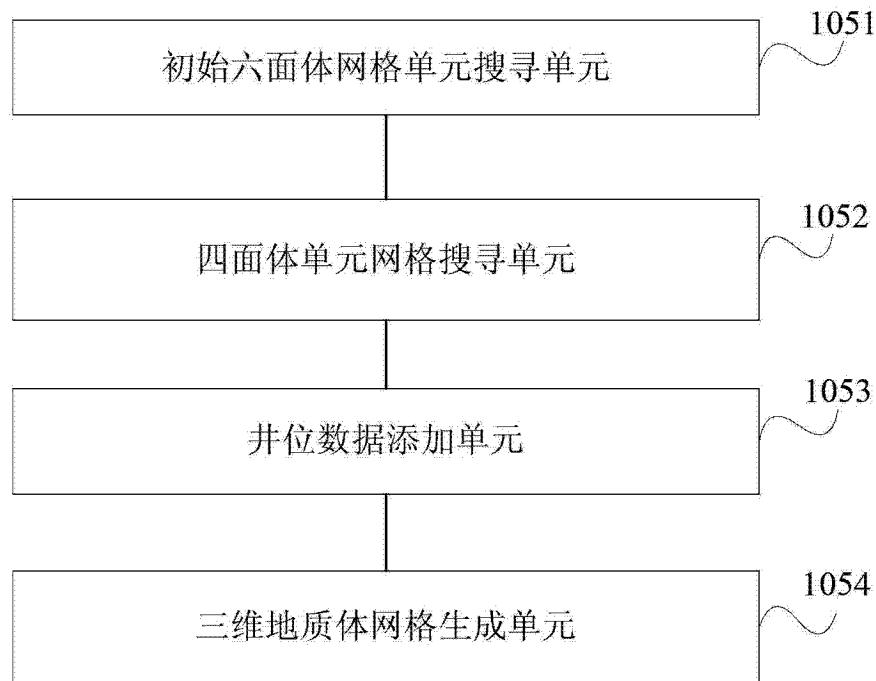


图 5

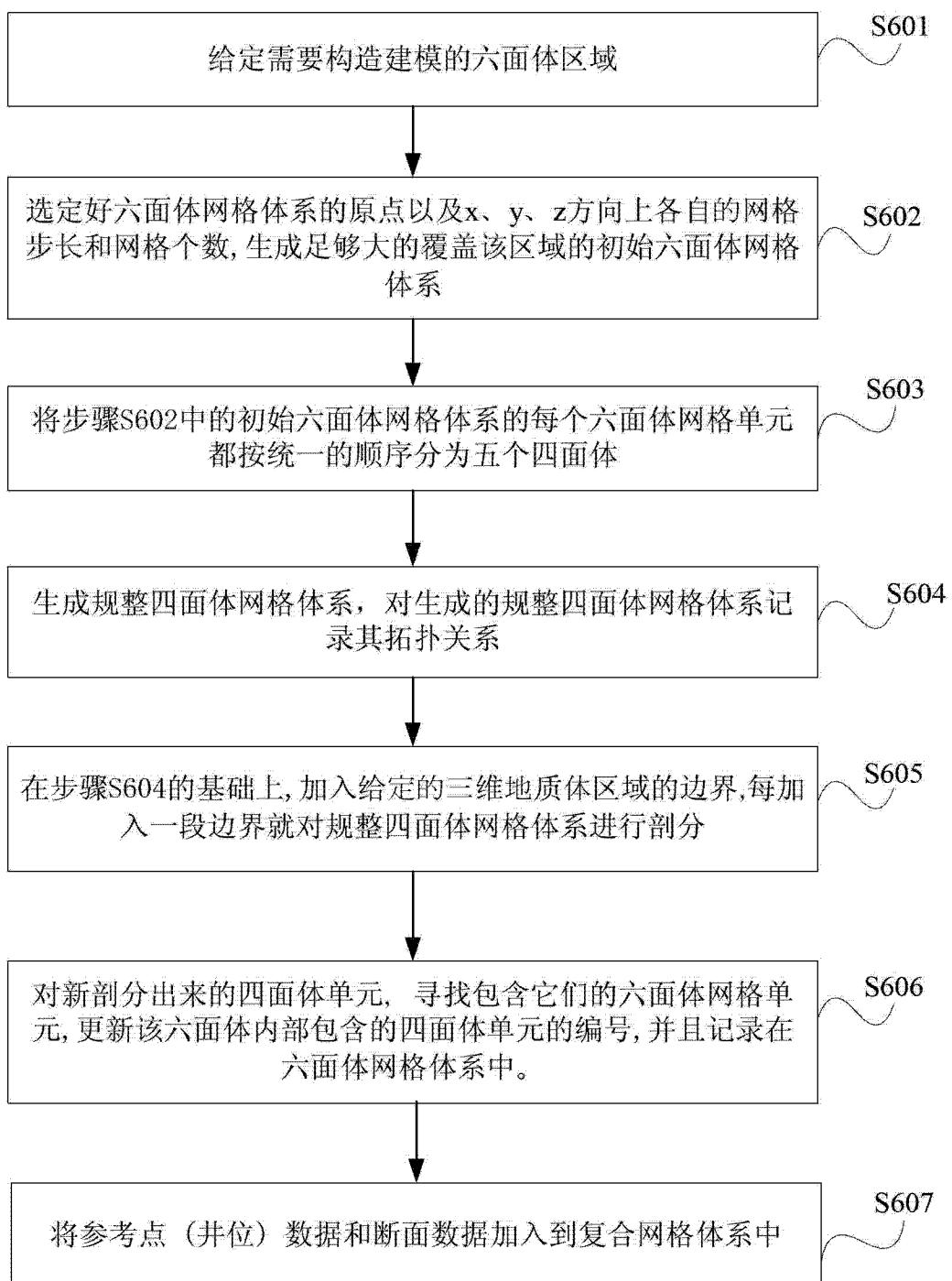


图 6

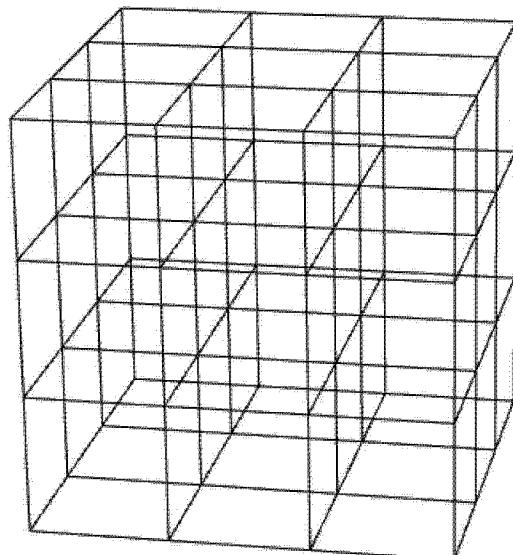


图 7

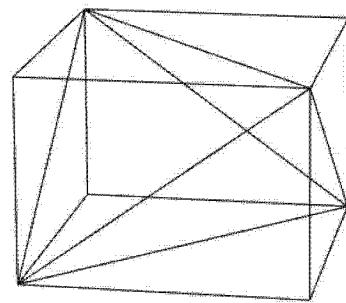


图 8

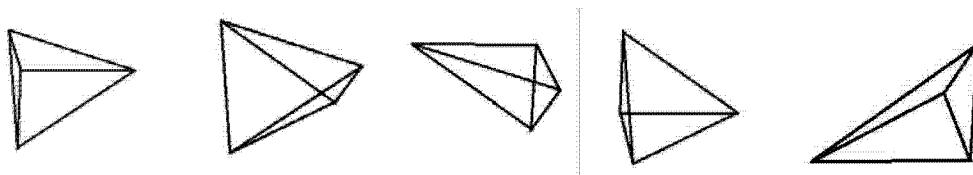


图 9

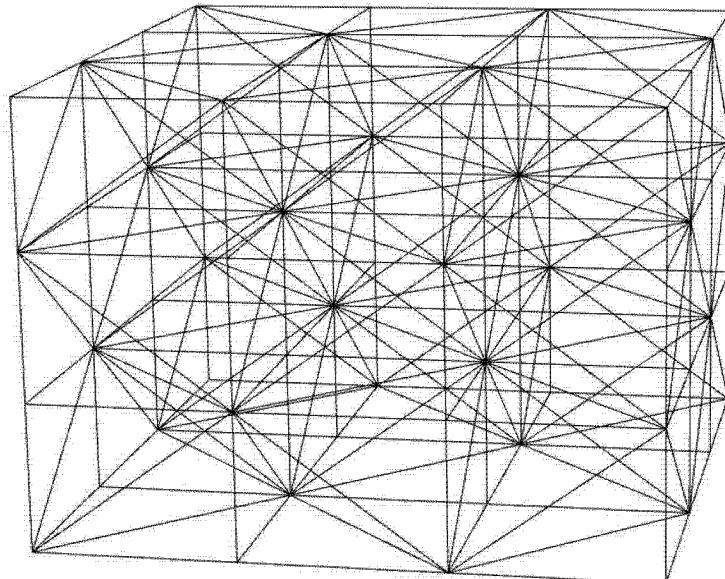


图 10

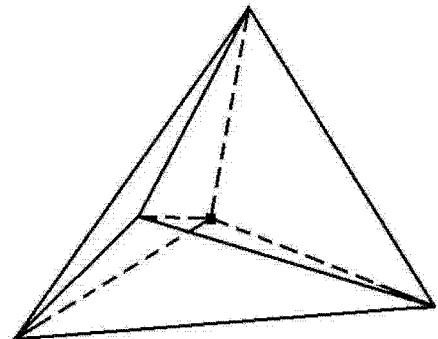


图 11

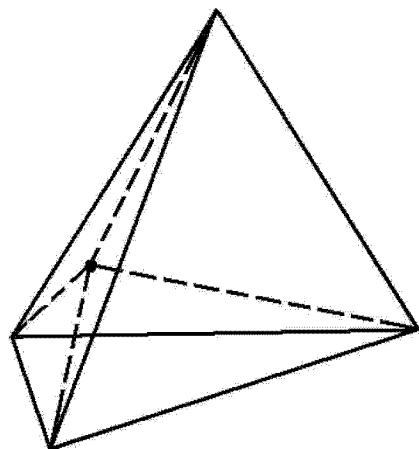


图 12

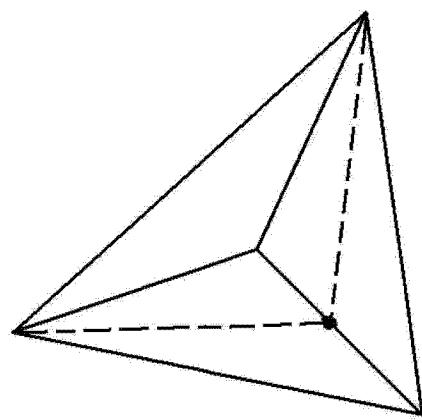


图 13

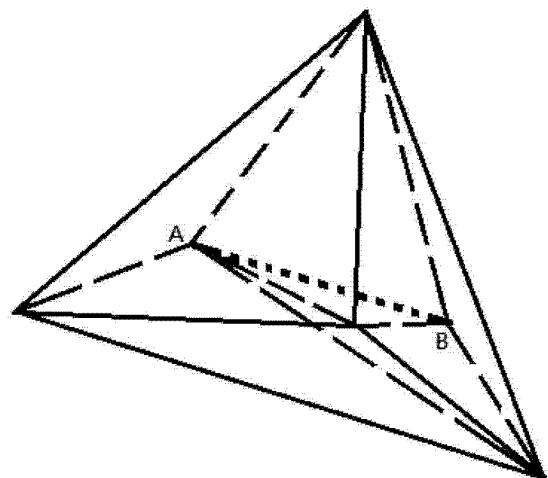
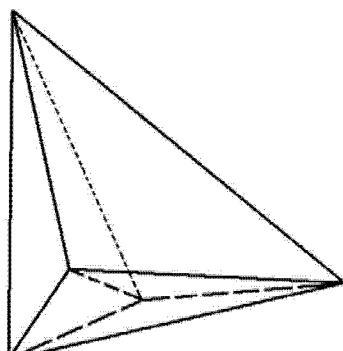


图 14

图 15

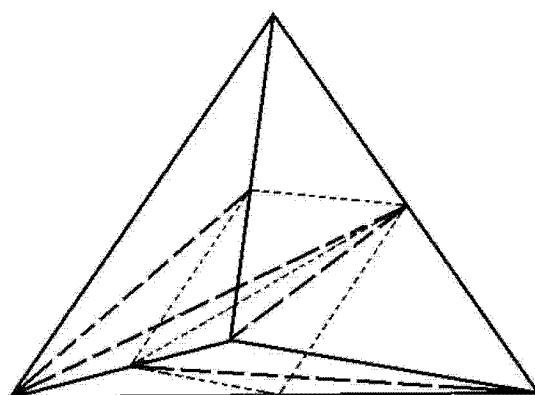


图 16