



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102880757 A

(43) 申请公布日 2013. 01. 16

(21) 申请号 201210370778. 2

(22) 申请日 2012. 09. 27

(71) 申请人 西北农林科技大学

地址 712100 陕西省西安市杨凌示范区邠城
路 3 号

(72) 发明人 牛文全 李连忠 魏正英

(74) 专利代理机构 西安恒泰知识产权代理事务
所 61216

代理人 李郑建

(51) Int. Cl.

G06F 17/50 (2006. 01)

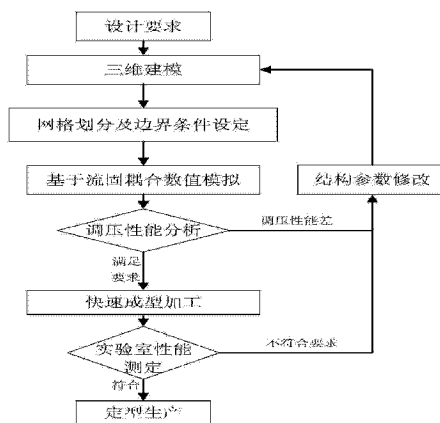
权利要求书 2 页 说明书 3 页 附图 3 页

(54) 发明名称

一种基于流固耦合数值计算的微灌压力调节器设计方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于流固耦合数值计算的微灌压力调节器设计方法,首先根据微灌压力调节器设计要求,采用 CAD 软件建立微灌压力调节器中流体区域参数化几何模型及调节组件几何模型。然后将流体与调节组件 CAD 模型分别导入 CAE 软件 ADINA 中相应的流体与结构计算模块,设定边界条件及求解控制参数后,进行流固耦合数值计算。在数值计算过程中适时进行网格重构以保证计算网格的质量。根据计算结果调整几何模型参数,直到计算结果满足设计精度要求后,制作出快速成型试验件,进行调压性能实验。对比实验结果与设计要求,或修改模型,或完成设计。该方法克服了传统设计中存在的开发周期长,成本高等缺点,提高了微灌压力调节器的设计精度及效率。



1. 一种基于流固耦合数值计算的微灌压力调节器设计方法,其特征在于,按下列步骤设计:

1) 首先根据微灌压力调节器设计要求,采用 CAD 软件 pro/e 建立微灌压力调节器中流体区域参数化几何模型及固体区域的调节组件几何模型;

2) 然后将 CAD 模型导入 CAE 软件 ADINA 中,设定与实际工况相同的边界条件及求解控制参数后,进行流固耦合数值计算;

3) 根据流固耦合数值计算结果调整几何模型参数,直到计算结果与设计要求的偏差在设计精度要求的 10% 之内,制作出快速成型试验件,进行调压性能实验;

4) 对比调压性能实验结果与设计要求的偏差,若实验结果与设计要求的偏差在设计精度要求的 10% 之内,则完成设计,若不满足则修改模型。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,具体设计步骤如下:

1) 几何模型建立

根据微灌压力调节器设计要求初步确定微灌压力调节器结构参数,即运用 CAD 软件分别建立微灌压力调节器流体域几何模型及固体区域的调节组件几何模型,并确保流体区域与固体区域的坐标一致;

2) 模型导入及离散

将流体域及调节组件几何模型分别导入 CAE 计算软件 ADINA 中相应的流体与结构计算模块,并分别设置流体、调节组件的材料参数,流体为不可压缩粘性流体,密度 1000kg/m^3 ,动力粘度 $0.001\text{N}\cdot\text{s/m}^2$,湍流模型选用 K- ω 高雷诺数湍流模型;调节组件采用 isotropic linear elastic material 材料模型,根据所用材料确定模型参数,调节组件材料密度为 2000kg/m^3 ,泊松比 μ 为 0.3, 确定接触壁面模型采用接触边界条件,在 ADINA 软件中进行几何离散,划分网格;流体模型采用 4 节点四面体网格单元离散;固体模型采用 8 节点六面体网格单元离散,接触壁面模型采用 4 节点面网格离散;

3) 边界条件设置

流体分析采用压力入口与出口条件,出口压力值为大气压力,相对压力值为 0。流体-调节组件交界面为流固耦合边界;考虑结构场中接触分析的未知性,选择求解方法,入口处压力形式,采用迭代法与增量法相结合的瞬态求解方法;确定调节组件与壳体壁面接触面的边界条件、摩擦系数以及流固耦合边界;

4) 流固耦合数值计算

流固耦合采用迭代耦合分析方法,控制方程求解采用完全牛顿迭代方法,位移与压力收敛判据——相对残差小于 1×10^{-5} ,流体控制方程求解采用有限体积方法,格式选用二阶空间离散,时间积分采用二阶 composite 积分格式,求解采用 simple 算法,变量收敛判据——相对残差小于 1×10^{-5} ,固体分析采用隐式动力分析方法,有限元方法离散,完全牛顿迭代法计算,位移收敛判据——相对残差小于 1×10^{-5} ,接触分析采用 constraint function 算法;

5) 自适应网格重构与重启分析

调节组件在流体压力作用下发生轴向运动变形,从而造成流体几何形状的改变而引起流体网格畸变;流体网格发生畸变会影响计算收敛性,因此需要确定合适的计算步数,本文设置为 50 步,若不收敛,中止计算,进行流体域网格重构;

将中止计算前的结果作为初始条件施加到重构后的新网格模型上,返回第五步继续流固耦合数值计算,直到加载的入口压力值达到所需压力;

6) 后处理

计算完成后统计不同入口压力对应的出口压力,绘制进出口压力关系曲线,并与设计要求进行对比;

若计算结果与设计要求偏差在设计精度要求的 10% 之内,则完成计算,进行第七步工作;否则返回第一步,修改模型参数重新计算直至满足设计要求,并记录已完成计算的模型参数及计算结果,为修改模型参数提供依据;

7) 快速成型件制作

根据流固耦合计算所确定的微灌压力调节器结构参数,制作其快速成型实验件,并完成实验件组装;

8) 调压性能实验

将制成的实验件接入微灌压力调节器综合性能实验台,进行实验,并将实验结果与设计要求进行对比,确定是否完成微灌压力调节器快速定型设计。

一种基于流固耦合数值计算的微灌压力调节器设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种微灌压力调节器的设计方法,特别涉及一种利用流固耦合数值计算技术实现的微灌压力调节器快速设计的方法。

背景技术

[0002] 压力调节器是目前微灌系统中主要调压设备之一,当进口压力改变时,其流道自动变大或变小,使出口压力保持稳定。压力调节器具有结构简单、调节范围宽、性能稳定的特点,通常安装在微灌工程支管或毛管进口,使每条支管或毛管进口压力水头相等,减少了设计时繁琐的计算,简化了管网设计,提高了灌溉系统灌水均匀度,并且还保证了每一条滴灌带都在设计工作压力范围内工作。避免了因设计不当或操作失误等因素引起的压力过大造成滴灌带爆裂现象,延长了滴灌工程的使用寿命,保障了系统安全。现在市场上的微灌压力调节器多是通过调节腔体内调节组件在水压下发生轴向移动,改变流道过流断面尺寸来起到调节出口压力的作用。其中调节组件的轴向移动与流体运动之间存在着较强的动力学耦合关系,运用传统的 CFD 分析方法很难得到微灌压力调节器内流体动态流动特性。

[0003] 传统的微灌压力调节器设计,主要采用 CFD 计算与实验结合的方法,调节组件的轴向变形量、进出口压力的关系不容易准确地到,模型预估结果误差较大,模型参数主要依赖实体件实验,通过反复实验最终对产品定型,设计开发盲目性大,开发周期长,研制成本高。

发明内容

[0004] 针对上述现有技术存在的缺陷或不足,本发明的目的在于,提出一种基于流固耦合数值计算的微灌压力调节器设计方法。

[0005] 为了实现上述任务,本发明采用的技术方案是:

[0006] 一种基于流固耦合数值计算的微灌压力调节器设计方法,其特征在于,首先根据微灌压力调节器设计要求,采用 CAD 软件建立微灌压力调节器中流体区域参数化几何模型及调节组件几何模型。然后将流体与调节组件 CAD 模型分别导入 CAE 软件 ADINA 中相应的流体与结构计算模块,设定边界条件及求解控制参数后,进行流固耦合数值计算;在数值计算过程中适时进行网格重构以保证计算网格的质量,根据计算结果调整几何模型参数,直到计算结果满足设计精度要求后,制作出快速成型试验件,进行调压性能实验,若实验结果与设计要求偏差在设计精度要求允许范围内,则完成设计,若不满足则修改模型。

[0007] 该方法克服了传统微灌压力调节器设计中 CFD 计算忽视流体与调节组件的耦合作用,模型参数主要依靠估算,进而通过反复实验确定,开发周期长,研制成本高的缺点,显著提高了微灌压力调节器的设计精度及效率。

附图说明

[0008] 图 1 是本发明技术路线图;

[0009] 图 2 是本发明的微灌压力调节器示例模型的结构及计算边界条件示意图 ; 图中的标记分别表示 : 1、压力进口, 2、流固耦合面, 3、接触位置。4、压力出口。

[0010] 图 3 是本发明微灌压力调节器流体域几何模型图 ;

[0011] 图 4 是本发明微灌压力调节器流体域网格模型图 ;

[0012] 图 5 是本发明调节组件及接触壁面几何模型图 ;

[0013] 图 6 是本发明调节组件及接触壁面网格模型图 ;

[0014] 图 7 是本发明调节腔区域由调节组件轴向移动变形造成的流体变形网格截面图 ;

[0015] 图 8 是本发明调节腔区域流体网格重划分后截面图。

[0016] 下面结合附图对本发明作进一步详细说明。

具体实施方式

[0017] 参见图 1, 本实施例给出一种基于流固耦合数值计算的微灌压力调节器设计方法, 其主要的设计步骤如下 :

[0018] 1) 首先根据微灌压力调节器设计要求, 采用 CAD 软件建立微灌压力调节器中流体区域参数化几何模型及固体区域的调节组件几何模型 ;

[0019] 2) 然后将 CAD 模型导入 CAE 软件 ADINA 中, 设定与实际工况相同的边界条件及求解控制参数后, 进行流固耦合数值计算 ;

[0020] 3) 根据计算结果调整几何模型参数, 直到计算结果与设计精度要求的 10% 之内, 制作出快速成型试验件, 进行调压性能实验 ;

[0021] 4) 对比调压性能实验结果与设计精度要求, 若实验结果与设计精度要求的 10% 之内, 则完成设计, 若不满足则修改调节组件几何模型。

[0022] 以下给出该方法的其具体设计过程 :

[0023] (1) 几何模型建立

[0024] 根据微灌压力调节器设计要求初步确定微灌压力调节器结构参数, 即运用 CAD 软件分别建立微灌压力调节器流体区域几何模型及调节组件几何模型, 并确保流体区域与固体区域的坐标一致 ; 由于调节组件轴向运动变形对微灌压力调节器工作性能的影响较大, 而弹簧的预置压力是决定起调压力的重要因素, 故在调节组件与壳体壁面的接触部分设立接触。

[0025] 微灌压力调节器示例模型的结构及计算边界条件示意图如图 2 所示, 微灌压力调节器建立流体模型如图 3 所示。

[0026] (2) 模型导入及离散

[0027] 将流体域及调节组件几何模型分别导入 CAE 计算软件 ADINA 中相应的流体与结构计算模块, 并分别设置流体、调节组件的材料参数, 流体主要参数为不可压缩粘性流体, 密度 1000kg/m^3 , 动力粘度 $0.001\text{N}\cdot\text{s/m}^2$, 湍流模型选用 K- ϵ 高雷诺数湍流模型。调节组件采用相关材料模型, 根据所用材料确定模型参数及泊松比 μ , 本设计所用调节组件材料密度 2000kg/m^3 , 泊松比 μ 为 0.3。接触壁面模型采用在 ADINA 软件中建立的 surface 几何, 并设为刚性接触面。

[0028] 在 ADINA 软件中进行几何离散, 划分网格。流体模型采用 4 节点四面体网格单元离散, 网格如图 4 所示。调节组件模型采用 8 节点六面体网格单元离散, 接触壁面模型采用

4 节点面网格,调节组件及接触壁面网格如图 5 所示;

[0029] (3) 边界条件设置

[0030] 流体分析采用压力入口(图 2 中 1 所示位置)与出口条件,出口压力值为大气压力,参考值 0kPa (图 2 中 4 所示位置),流体-调节组件交界面为流固耦合边界(图 2 中 2 所示位置)。考虑结构场中接触分析的未知性,采用迭代法与增量法相结合的瞬态求解方法,入口处压力逐步增量加载。同时控制压力加载量,以避免调节组件变形过大造成网格重叠,保证计算收敛性。调节组件与壳体壁面接触面为接触边界(图 2 中标记 3 所示位置),摩擦系数由实验测得,调节组件-流体交界面为流固耦合边界(图 2 中标记 2 所示位置)。

[0031] (4) 流固耦合数值计算

[0032] 流固耦合采用迭代耦合分析方法,控制方程求解采用完全牛顿迭代方法,位移与压力收敛判据——相对残差小于 1×10^{-5} 。流体控制方程求解采用有限体积方法,采用二阶 composite 时间积分格式,采用 simple 算法求解,变量收敛判据——相对残差小于 1×10^{-5} 。固体分析采用隐式动力分析方法,有限元方法离散,二阶精度 Bathe composite 时间积分格式,完全牛顿迭代法计算,位移收敛判据——相对残差小于 1×10^{-5} ,调节组件与壁面间接触分析采用 constraint function 算法。

[0033] (5) 自适应网格重构与重启分析

[0034] 调节组件在流体压力作用下发生轴向运动变形(如图 6),从而造成流体几何形状的改变而引起流体网格畸变(如图 7)。流体网格发生畸变会影响计算收敛性,当网格畸变造成耦合计算不能在 50 步内收敛时,中止计算,进行流体域网格重构,重构后流体网格如图 8 所示。将中止计算前的结果作为初始条件施加到重构后的新网格模型上,返回第五步继续流固耦合数值计算,直到加载的入口压力值达到所需压力。

[0035] (6) 后处理

[0036] 计算完成后统计不同入口压力对应的出口压力,绘制进出口压力关系曲线,并与设计要求进行对比;若计算结果与设计要求偏差在设计精度要求在 10% 之内,则完成计算,进行第七步工作;否则返回第一步,修改模型参数重新计算直至满足设计要求,并记录已完成计算的模型参数及计算结果,为修改模型参数提供依据。

[0037] (7) 快速成型件制作

[0038] 根据流固耦合计算所确定的微灌压力调节器结构参数,制作其快速成型实验件,并完成实验件组装。

[0039] (8) 调压性能实验

[0040] 将制成的实验件接入微灌压力调节器综合性能实验台,进行实验。将实验结果与设计要求进行对比,根据结果对微灌压力调节器模型参数进行修改,返回到第一步重新计算,直到实验结果与设计要求偏差在设计精度要求允许范围内,完成微灌压力调节器快速定型。

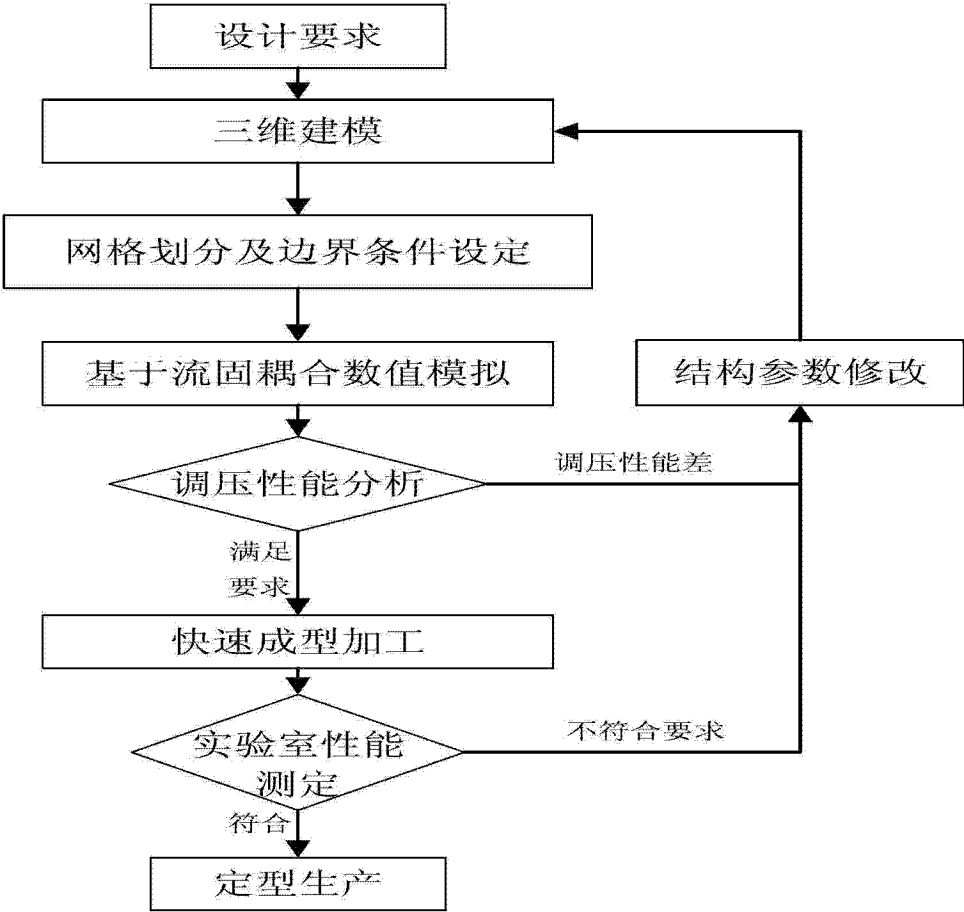


图 1

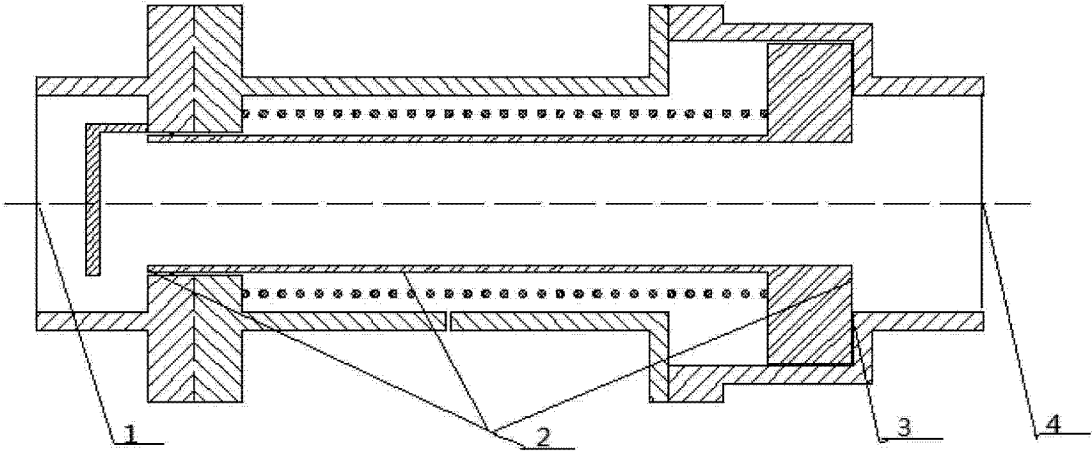


图 2

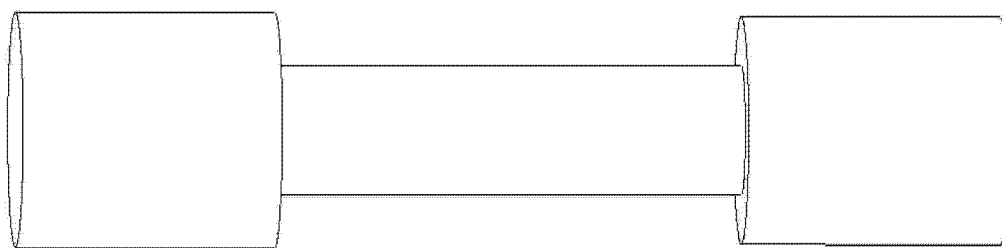


图 3

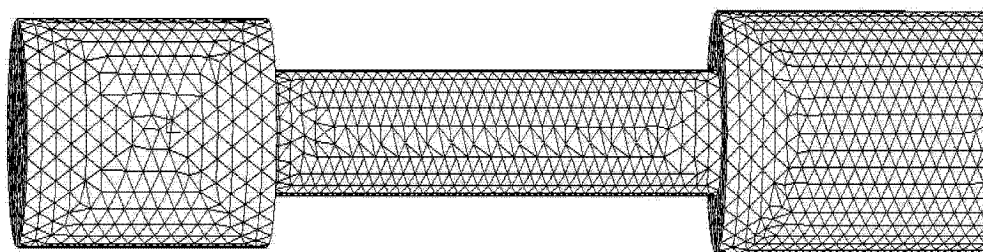


图 4

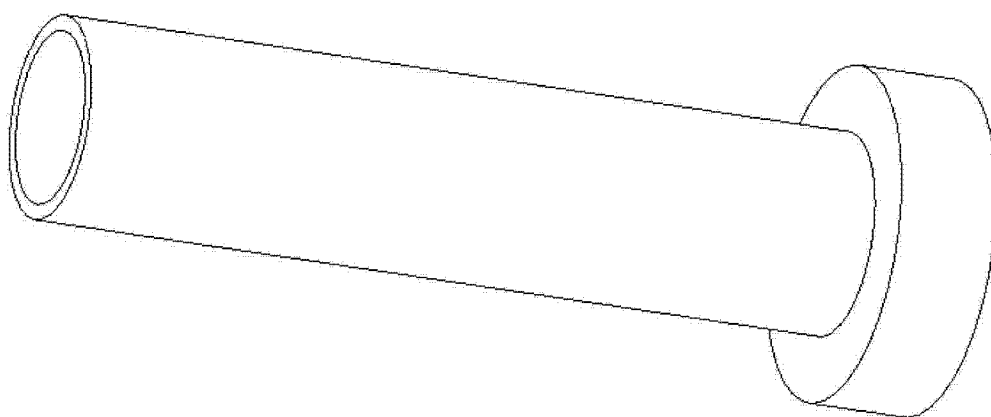


图 5

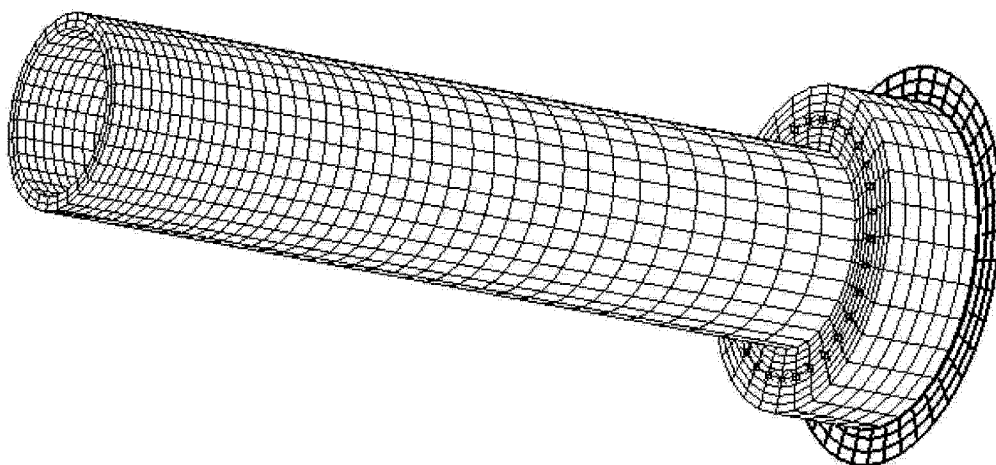


图 6

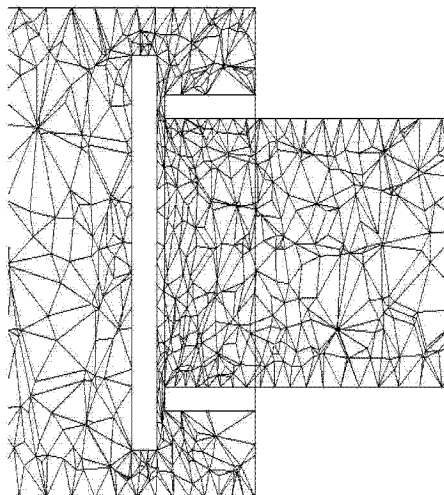


图 7

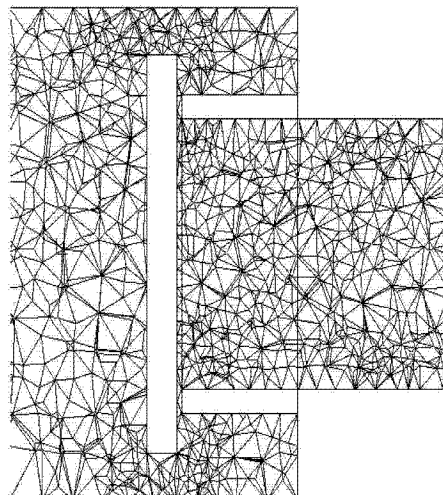


图 8