

关键词: 动网格, 网格变形, 非结构网格

MS07

CCTAM2009-003923

板坯结晶器弯月面波动过程的数值模拟

任三兵, 樊俊飞, 职建军, 赵顺利

宝山钢铁股份有限公司, 上海 201900

利用大型 CFD 软件针对某厂连铸机结晶器的弯月面波动情况进行了三维数值模拟, 自由液面采用 VOF 模型, 考虑了空气与钢液面的相互作用, 耦合计算了流场和温度场。计算网格约 2×10^6 , 采用上海超算多节点 CPU 进行并行计算。计算结果表明, 结晶器自由表面的钢液流速与波高有着密切的关系, 同时也影响着附近的空气流动; 液面波动的范围小于 10mm, 三维波动的数值模拟同时反映了宽面之间的波动差异。

关键词: 连铸, 结晶器, 波动, 数值模拟

MS07

CCTAM2009-003924

板坯连铸相关过程的数值模拟

樊俊飞, 任三兵, 职建军, 赵顺利

宝山钢铁股份有限公司, 上海 201900

针对板坯连铸过程, 建立了钢液流动、传热、凝固过程的三维耦合数值计算程序, 计算、分析了该过程钢液的流动、凝固特征, 以及在浸入式水口区域和结晶器边部等局部区域钢液的流动、温度分布特点。计算结果表明, 从浸入式水口出口注入的钢液, 在流动的区域形成二个空间分布的大循环区域, 这二个循环区域中心的温度相对较低。上循环流在结晶器窄边附件由于拉坯的作用形成了小的狭长循环, 同时有倒钩状温度分布情况。结晶器表面钢液的流动速度、湍动能分布大小以及 F 数, 在一定程度上可以表征结晶器液面波高以及与铸坯质量的关系。

关键词: 连铸, 结晶器, 钢液流动, 凝固, 数值模拟

MS07

CCTAM2009-003925

面向对象有限元分析平台数值解法器构件化设计与集成方法研究

嵇晓宇, 郝志明, 莫军, 孙乐, 王柯颖

中国工程物理研究院总体工程研究所, 四川绵阳 919-401, 621900, jixiaoyu80@yahoo.com

本文简要介绍在 PANDA 平台中处于核心地位的 PANDA 框架。它包括四个层次: 底层、并行自适应支撑层、数值共性层和应用接口层, 有限元分析涉及的有限元管理器、模型管理器、积分器、时间管理器、节点管理器、单元列表、I/O 管理器、解法器、通信管理等构件分布于该框架的不同层次上。本文重点介绍的数值解法器服务处于 PANDA 框架的数值共性层, 该层的主要目的是提供计算区域的几何描述方法, 实现具有共性的计算方法和数值算法, 提供方便数值计算的工具箱。在数值共性层中, 数值解法器服务通过基类 SolverT 和虚基类 GlobalMatrixT 共同完成。基类 SolverT 可以称为解法器管理器, 负责驱动给定载荷增量步上的求解过程, 主要

完成控制给定时间步上求解类型(如线性、非线性、特征值问题等)和方法、收敛判据和如何处理求解失败信息等工作。SolverT 是 PANDA 框架向应用程序提供解法器服务的抽象接口, 是应用程序和解法器之间的桥梁。虚基类 GlobalMatrixT 是解法器实现的抽象接口, 它面向第三方解法器库, 给出了 PANDA 框架与第三方解法器库接口的虚函数。这种基于继承和多态性机制的思想有效地实现了数值解法器的构件化设计, 尤其是虚基类 GlobalMatrixT 为程序开发人员和用户提供了方便的抽象接口函数, 只需要根据其规定的“格式”编写 PANDA 与数值解法器软件的接口代码就可以完成 PANDA 平台集成相应解法器的工作。本文给出了 PANDA 框架集成一个解法器库软件(HYPRE)的示例, 并利用 PANDA 框架集成 HYPRE 解法器后形成的静力学有限元应用程序进行实例分析, 获得了较为理想的计算结果和并行效率。中国工程物理研究院预研重大项目“大规模并行计算框架研究及基础平台开发”(42601)资助项目。

关键词: 框架, 构件化设计, 集成, 数值解法器

MS07

CCTAM2009-003926

岩土工程有限元快速算法的研究与应用

吴梦喜, 余进

中国科学院力学研究所, 北京 100190

tu-j02@126.com

有限元法在岩土工程中的应用越来越广泛。随着问题规模的增大, 对有限元的计算能力要求越来越高。岩土有限元计算形成的方程组的系数矩阵具有大型稀疏对称的特点。针对系数矩阵的特点, 采用稀疏压缩存储的方式, 可以大大节省内存, 使在普通的 PC 机上求解大规模有限元问题成为可能。有限元求解的大部分时间消耗在总刚方程组的求解上。根据方程组的规模, 可以使用稀疏直接求解方法或迭代解法。稀疏直接法采用对系数矩阵进行行列重排序的方法, 达到减少填充元, 减少浮点运算的目的。目前常用的排序方法有 AMD, PORT, Metis 等。经过排序后的方程组, 再调用高性能函数库 BLAS, LAPACK 等, 能够快速求解大规模稀疏矩阵。对于几十万阶的方程组, 目前已经有很成熟的稀疏快速直接求解技术, 出现了很多快速高效的稀疏直接求解器, 如 sXML 的 DSS 求解器、Intel MKL 的 Pardiso 求解器、HSL(MA57、MA79)求解器、Mumps 求解器等。更大规模的方程组需要使用迭代解法。Krylov 子空间迭代法是常用的一类迭代方法, 包括适合于对称正定方程的 CG 法, 适合一般方程的 GMRES、BiCG, BiCGSTAB, QMR 算法等。为了加速收敛, 需要使用预处理技术。本文研究了快速稀疏直接求解方法的原理, 重点对填充元优化算法进行了研究; 介绍了几种直接求解器, 通过数值实验比较了它们效率, 并对在实际工程中的使用提出了建议; 研究了 Krylov 子空间迭代法的原理, 对它们的适用范围进行了探讨; 针对不同类型的岩土工程问题, 重点研究预条件方法, 包括无填充的不完全乔列斯基分解(IC(0))预处理、超松弛

(SSOR) 预处理、双参数不完全分解 (ILU(p,t)) 预处理等方法。研究表明,目前的快速稀疏直接求解器有很高的求解效率,应当成为求解几十万阶方程组的首选方法。迭代解法的求解效率依赖于具体的有限元问题。对于渗流有限元计算形成的方程组,由于系数矩阵条件正定的,可以使用共轭梯度法,配合无填充的不完全乔列斯基分解预处理或者超松弛预处理,可以很快的求解;对于应力变形有限元计算形成的方程组,由于系数矩阵不正定,可以使用复共轭梯度法 (BiCG 或 BiCGSTAB)、广义极小残量法 (GMRES)、拟极小残量法 (QMR) 等,使用双参数不完全分解预处理,可以得到收敛的结果;文章提出了双参数不完全分解预处理方法的参数选取的建议方法,数值实验证明了该方法是可行的。

关键词: 岩土工程有限元, 稀疏直接解法, Krylov 子空间法, 预处理

MS07 CCTAM2009-003927

盾构刀盘掘进过程的三维动态数值模拟

苏翠侠, 王燕群, 蔡宗熙

天津大学机械学院, 天津 300072

随着我国基础设施的大规模建设,盾构法作为一种在地表以下暗挖隧道的施工方法,已成为地下铁路、输运管道等多种隧道工程建设的有效手段,并以其安全性、有效性得到了越来越广泛的应用。刀盘是盾构隧道掘进关键部件,研究其掘进过程中刀盘与界面耦合作用下的动态载荷分布是刀盘设计的基础。本文采用基于有限元的数值方法,建立了模拟刀盘掘进的三维分析模型,并且充分考虑到土体的材料非线性,采用扩展的 Drucker-Prager 塑性模型作为土体的有限元模型,对盾构刀盘掘进过程进行了动态仿真。应用基于物理分离准则的生死单元方法模拟切屑的形成及分离,分析了刀盘、刀具切削土体过程。其仿真方法和刀盘的载荷分布结果可以为优化刀盘拓扑结构和刀具的合理布局提供参考。

关键词: 盾构刀盘, 动态载荷, 数值仿真, 有限元分析

MS07 CCTAM2009-003928

柔性贮液容器跌落的数值算法分析

王惠*, 张会生⁺, 李根国*, 丁峻宏*

* 上海超级计算中心, 上海 201203

hust0013wh@163.com

⁺ 上海交通大学机械与动力工程学院, 上海 200240

柔性贮液容器撞击地面是一类典型的流固耦合现象。采用四种不同的数值方法拉格朗日法, 欧拉法, 任意拉格朗日-欧拉法和光滑粒子流体动力学, 对充液容器撞击地面过程中的动态效应进行了数值仿真。考虑容器的流固耦合效应, 分别探讨了在跌落过程中容器的变形、应力状态, 自由液面的变化, 容器底部的压力变化等。结果显示容器内浪花的飞溅对容器的变形有较大的影响, 反过来容器的变形有助于浪花形成。计算结果表明: 在 Lagrangian 算法中, 流体网格比较尖锐, 容器变形大; ALE 法和 Eulerian 法考虑了空气的存在, 但前者更能有效地

跟踪物质结构的边界; SPH 更能真实地反应自由液面的形状等。

关键词: 充液容器, 跌落, 流固耦合, 数值算法

MS07 CCTAM2009-003929

轨道车辆轴箱的接触有限元分析

麻文焱*, 贾昭**, 吕林蔚*, 朱伟民*, 闫华⁺

* 吉林大学机械科学与工程学院, 长春 130022

zhuwm@jlu.edu.cn

** 长春轨道客车股份有限公司, 长春 130062

⁺ 吉林交通职业技术学院, 长春 130012

利用 Hypermesh8.0 对轴箱装置进行单元离散为 26324 个节点, 93740 个单元, 选择轴箱为目标体, 定义车轴为接触体, 选择接触单元。设置材料的接触刚度, 最大穿透范围及最大的接触摩擦等参数, 并利用分析软件 Ansys 进行有限元计算。载荷工况: 垂向载荷: 轴箱弹簧座处 82.5kN, 轴箱橡胶节点处 41.25 kN, 减震器座 3 kN 的垂向载荷。横向载荷: 横向控制杆座处 17.5 kN, 轴箱橡胶节点处 17.5 kN 的横向载荷。纵向载荷: 轴箱橡胶节点处施加 24.75 kN 的纵向载荷。

轴箱使用材料为 ZG230-450, 其许用应力为 230 MPa, 弹性模量 $E = 172\text{GPa}$, 泊松比 $\nu = 0.3$ 。边界条件和计算结果: 一是对轴箱的套筒内壁进行全位移约束, 最大应力值为 103MPa。二是在车轮和车轴的接触处施加全约束, 最大应力值为 103.6 MPa, 均发生在筋板的圆弧处, 满足强度要求。当在套筒内壁施加全约束时, 套筒的等效力值近乎为零, 而实际轴箱套筒与轴承接触必然受力。套筒的受力状态与实际情况更接近, 说明这种计算结果更准确些。由此可见, 应用 Hypermesh 的接触模块能很好地解决轴箱与轴的接触问题。国家科技攻关项目 (85-402-02-04-2) 资助项目

关键词: 轴箱, 套筒, 接触, 全约束

MS07 CCTAM2009-003930

并行三维非结构性网格生成

陈建军*,⁺ 郑耀*,⁺

* 浙江大学工程与科学计算研究中心, 杭州 310027

chenjj@zju.edu.cn

⁺ 浙江大学航空航天学院, 杭州 310027

给出了我们针对复杂三维几何配置所开发的一套并行三维非结构性网格生成程序 PDMG-3D。它利用几何区域分解 (GDD, geometric domain decomposition), 将由三角曲面网格定义的问题域分解成若干个子域, 利用主从模式将子域动态分发到工作处理器上, 并调用序列化的网格生成器生成子域网格。同一个处理器的子域网格合并成一个整体网格, 形成分布在各工作处理器上的分布式网格。利用并行网格划分工具 ParMetis 重新划分上述分布式网格, 可得到满足并行计算需要 (负载均衡和通信最小化) 的最终分布式网格。

本文将重点探讨上述方法在具体实现时的两类难点问题: (1) 健壮性 (robustness)。关键在于通过一系