

冲击取样钻头与土体相互作用的有限元分析

韩冰¹, 曹品鲁²

(1. 北京市地质工程公司, 北京 100036; 2. 中原油田勘探局钻井工程技术研究院, 河南 濮阳 130026)

摘要: 针对冲击取样器在土中的面-面接触问题, 运用 Drucker-Prager 屈服准则为判据, 将土体视为 DP 材料, 通过钻头与土之间的接触及施加冲击载荷来模拟取样过程, 从而建立了冲击取样钻进的有限元模型。利用非线性瞬态动力学有限元分析手段, 对取样过程中钻头的进尺及对所取土样的扰动情况进行了模拟分析。结果表明, 土体的轴向压缩量在土样中心部位最小, 而钻头底唇面处最大, 土样压缩率约为 17.7%, 冲击对土样的扰动仅在钻头底唇面附近较小的区域内。

关键词: 冲击取样; 有限元分析; ANSYS; 土体

中图分类号: TU412

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2008)10-1560-04

作者简介: 韩冰(1978-), 男, 内蒙古人, 硕士, 主要从事岩土工程设计和施工的研究工作。E-mail: pyhb2004@126.com。

Finite element analysis of interaction between soils and impact sampling bits

HAN Bing¹, CAO Pin-lu²

(1. Beijing Geo-engineering Company, Beijing 100036, China; 2. Drilling Engineering Technology Institute, Zhongyuan Petroleum Exploration Bureau, Puyang 130026, China)

Abstract: With regard to the face-face contact problems, a FEA model of sample drilling was established by adopting the Drucker-Prager rule and regarding soils as DP materials. Through drilling bit-soil contact and impact loading on drilling bits, the drilling process was simulated. The penetration and the effect on soil sampling of the sampling bits were studied by the nonlinear transient dynamic analysis of finite element method. It was shown that the axial compression of soil samples was largest on the bit lip surface and was smallest in the center part of the soil samples. The impact disturbance on the soil samples was within a small scope nearby the bits, with the compression ratio of soil samples about 17.7%.

Key words: impact sampling; finite element analysis; ANSYS; soil

0 引言

冲击方法取土样, 关心的是一定的钻头结构, 输出一定的冲击功, 其所能切入土层的深度和钻头对柱状土芯的扰动情况。根据钻头冲击碎岩特点, 钻头高速冲积土体, 是一个高速动力过程, 土体的变形机理非常复杂^[1]。既涉及到几何非线性、材料非线性, 又涉及到界面接触摩擦, 是一个复杂的高度非线性问题, 单靠若干假定后推导出的解析解是很难兼顾诸多因素的影响^[2]。

本文以接触非线性有限元理论为基础, 借助大滑动摩擦接触理论, 以通用有限元软件 ANSYS 为工具, 建立了取样钻头在土中冲击取样的力学模型, 对钻头周围土体的应力应变情况进行了瞬态动力学数值模拟。

1 有限元模型的建立

1.1 本构模型的建立及参数的选取

为了较好地反映土的应力-应变关系, 本文认为土体为连续的弹塑性材料, 采用 Drucker-Prager 模型, 服从 Mohr-Coulomb 模型的近似修正 Drucker-Prager 屈服准则^[3]。取样钻头采用理想的线弹性材料, 具体模型参数如表 1 所示。

1.2 单元的选取及网格的划分

将冲击取样过程按空间轴对称问题进行研究, 并按平面应变问题考虑, 利用对称性, 取半截面进行研究分析, 计算简图如图 1 所示。钻头入土深度为 0.2 m (钻头体长度为 100 mm), 土体半径取 0.5 m, 深度取 1 m。分析时采用四边形等参单元来模拟受挤压土

体。图 2 为有限元网格图, 为了保证计算精度, 将钻头与土体接触处进行网格加密。

表 1 模型物理力学性能参数表

Table 1 Physico-mechanical properties of models		
参数	土 体	钻 头
密度 $\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	2000	7800
弹性模量 E/GPa	0.20	200
泊松比 μ	0.45	0.30
黏聚力 c/kPa	10	—
内摩擦角 $\varphi/(\text{^\circ})$	30	—
剪胀角 $\varphi/(\text{^\circ})$	20	—
滑动摩擦系数	0.4	—

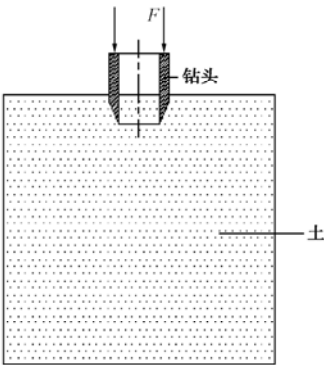


图 1 冲击取样模型图

Fig. 1 Geometrical model of impact sampling

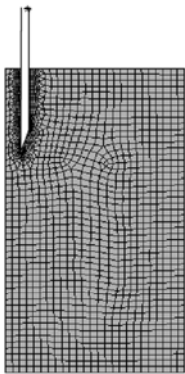


图 2 有限元网格图

Fig. 2 Finite element mesh of mdoel

冲击取样过程实际上是取样钻头 - 土界面相互挤压、滑移的过程, 本文采用面 - 面接触模型, 用 Targe169 单元来模拟目标面, 用 Contac171 单元来模拟接触面。接触面算法采用扩展的拉格朗日算法, Ansys 程序会根据变形体单元的材料特性来估计一个缺省的接触刚度, 根据提供的缺省值进行试算, 比较相邻几次的试算结果, 当差值不大时, 说明接触刚度选取得当。钻头与土体界面之间的摩擦采用库仑摩擦类型, 并假定钻头与土体一旦接触就不分开, 也就是处于接触且滑动状态。两个界面的摩擦情况通常是由摩擦系数及极限动摩擦阻力决定的^[4]。

1.3 边界条件及加载方式

土体上表面为自由界面, 下底面限制竖直方向的位移, 右侧面限制水平方向位移, 土体左侧面施加对称约束条件。为了模拟冲击取样的实际工况, 在钻头上施加一个脉冲力来模拟冲击力^[5]。脉冲力变化曲线如图 3 所示。根据冲击力测试实验, 取冲锤冲击钻头的接触时间为 0.029 s, 冲击载荷为 4000 N。

此外, 在 Ansys 有限元分析软件中, 将土体的自重应力作为预应力施加在有限元模型中进行非线性瞬态分析。

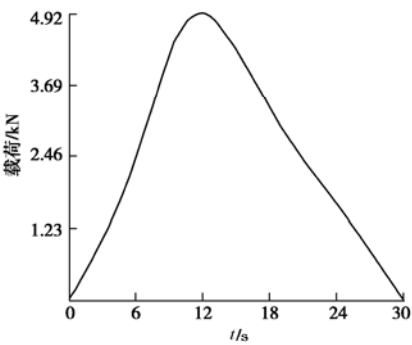


图 3 冲击载荷曲线图

Fig. 3 Relationship between impact load and time

2 计算结果分析

2.1 应力分布

图 4 为单次冲击作用下取样钻头轴向位移随时间变化的历程曲线图。冲击荷载作用下, 钻头附近的土体发生了剧烈的破坏, 产生了剧烈的弹性变形和塑性变形, 钻头的单次进尺为 11.3 mm。

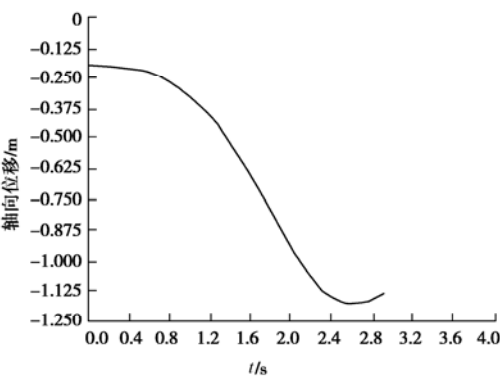


图 4 钻头轴线位移历程曲线图

Fig. 4 Axial displacement of sampling bits

为了进一步分析土体在冲击载荷作用下的受力状态, 图 5 给出了应力分布云图。为了清晰的看出土中的应力分布状态, 本文将计算结果按轴对称进行了映射。

图 5 (a) 为径向应力分布云图, 径向应力最大为 273 kPa, 位于钻头端部切削具附近, 应力泡沿着径向

向外延伸大约 4 倍的钻头外径距离, 在钻头下部径向应力迅速减小, 表明在冲击力作用下, 切削具附近的土体被想两侧挤开, 且影响范围较大, 而钻头中心的土体受力较小, 即水平方向对岩心采取率的影响较小。

轴向应力最大值为 291 kPa, 位于钻头切削具的端部。如图 5 (b) 所示, 与径向力不同, 轴向应力泡从钻头端部开始向下延伸, 随着钻进速度的增加, 应力泡越来越大, 最终导致钻头堵塞, 钻头下方土体越来越硬, 致使钻进速度越来越低。同时钻头中心的土体受到了严重的干扰, 因此取出的岩心受到了较大扰动。

最大剪应力为 980 kPa, 位于切削具锥形面上, 应力泡沿径向几乎延伸到水平界限处, 在钻头中部附近土体出现较小的压应力带。在剪应力的作用下, 土体发生急剧变形而破坏, 外部土体产生塑性流动而被挤向钻头两侧, 中心土体顺利进入取样管, 实现取心钻进。

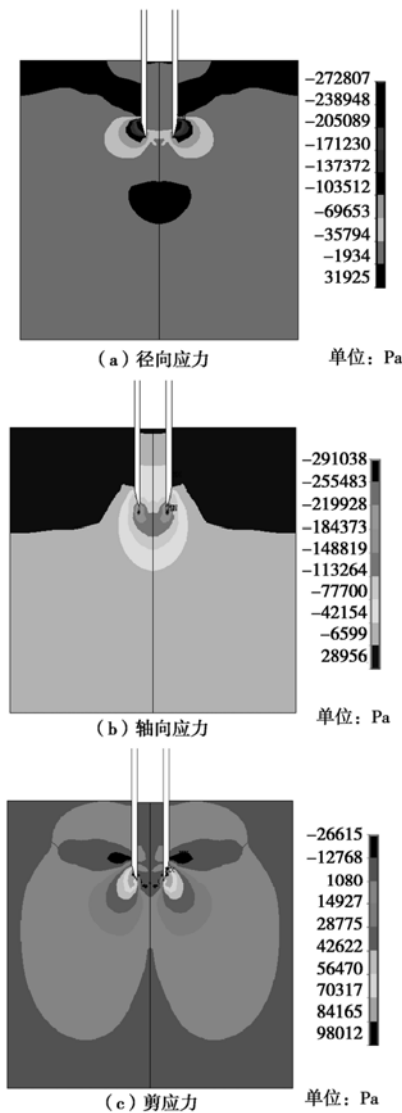


图 5 冲击载荷作用下土体应力分布云图
Fig. 5 Contour of stress distribution in soils

2.2 位移分布

图 6 (a) 为水平方向的位移分布云图, 钻头附近

的土体水平位移较大, 且沿钻头锥面向外逐渐变小, 在钻头锥面附近水平位移出现峰值, 而钻头中心的土样水平位移极小, 甚至可以忽略。图 6 (b) 为轴向位移等值线图, 钻头中心土样的轴向位移约为 2 mm 左右, 而钻头的轴向位移为 11.3 mm, 即土样压缩率约为 17.7%。由图中还可以看出, 在同一时刻, 竖直方向最大位移值约为水平方向位移最大值的 6 倍左右, 这意味着在冲击条件下冲击功主要作用于竖向压缩土体, 而水平方向的挤压作用相对较小。

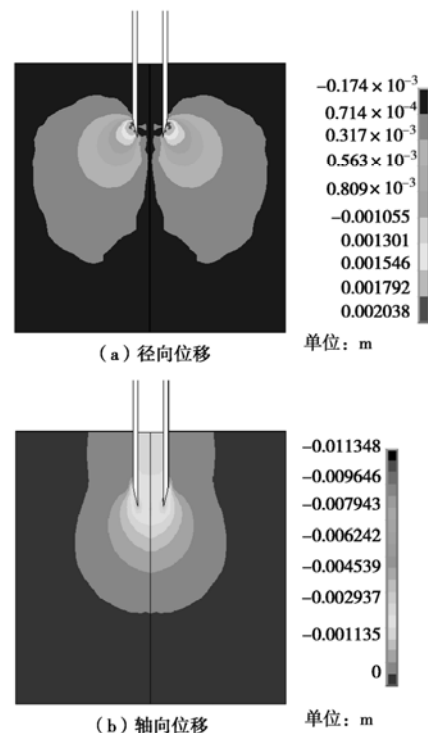


图 6 冲击载荷作用下土体位移分布云图
Fig. 6 Contour of displacement distribution in soils

以钻头锥尖为起点向土样中心做一条水平路径, 沿路径方向密塞斯应力分布如图 7 所示。由图可以看出, 密塞斯应力在土样部位几乎都保持应力最小值的水平, 而钻头底唇面部位的密塞斯应力较大, 约为土样部分的 90 倍, 因此冲击载荷对土样的扰动局限于接近钻头附近较小的范围内。

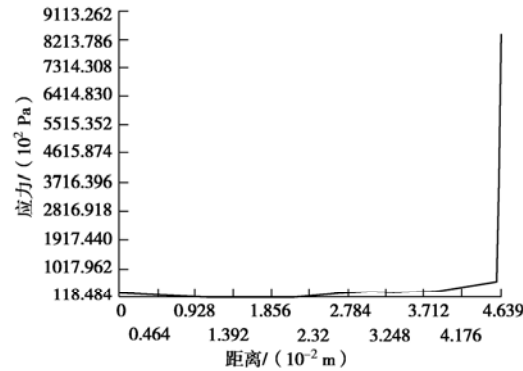


图 7 沿路径方向密塞斯应力曲线图
Fig. 7 Mivonise stress along the path

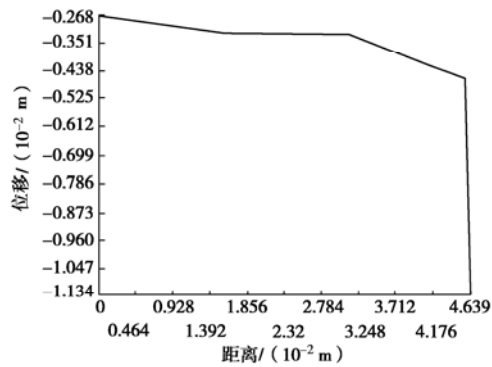


图 8 沿路径方向轴向位移曲线图

Fig. 8 Axial displacement along the path

沿路径方向轴向位移分布如图 8 所示。路径的长度为钻头的外径，起点是土样的中心，由图可知，土体的轴向位移都为负值，即土样被轴向压缩，其压缩量在钻头处最大，而土样中心部位的位移较小，即中心部位压缩较小

3 结 论

冲击取样过程中挤土效应的分析是非常复杂的，既涉及到材料非线性、几何非线性，又涉及到界面接触摩擦，属于高度非线性问题。本文利用有限元分析软件 ANSYS 初步建立了冲击取样有限元模型，对冲击取样过程中的挤土效应进行了模拟分析。

(1) 在冲击取样过程中，引起了钻具周围土体的复杂运动。钻头附近土体应力集中，剪应力较大，当超过土体抗剪强度时，土体发生急剧变形而破坏。

(2) 取样过程中，土体的轴向压缩量在钻头底唇面处最大，而土样中心部位较小，土样压缩率约为 17.7%。

(3) 取样过程中，中心土样的密塞斯应力较小，而钻头底唇面处密塞斯应力较大，约为中心土样部分

的 90 倍，因此冲击载荷对中心土样的扰动相对较小。

参考文献:

- [1] 谭凡教, 陈洪泳, 殷 琨. 受冲击载荷作用土体变形的有限元研究[J]. 岩土力学, 2004, **25**(12): 2013 - 2016. (TAN Fan-jiao, CHEN Hong-yong, YIN Kun. Finite element analysis of deformations of soils under imnaled loading[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, **25**(12): 2013 - 2016. (in Chinese))
- [2] 曹品鲁, 殷 琨, 李世民. 潜孔锤冲击挤密作用下土体变形的有限元分析[J]. 石油钻采工艺, 2007, **29**(3): 24 - 27. (CAO Pi-lu, YIN Kun, LI Shi-min. Finite element analysis of deformations of soils under impactation of down the hole hammer[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2007, **29**(3): 24 - 27. (in Chinese))
- [3] 罗战友, 王伟堂, 刘 薇. 桩 - 土界面摩擦对静压桩挤土效应的影响分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, **24**(9): 3299 - 3304. (LUO Zhan-you, WANG Wei-tang, LIU Wei. Influence analysis of friction between pile and soil on compacting effects of jacked pile[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, **24**(9): 3299 - 3304. (in Chinese))
- [4] 刘 涛, 杨凤鹏. 精通 ANSYS[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002. (LIU Tao, YANG Feng-peng. Major in ANSYS[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002. (in Chinese))
- [5] CAO Pin-lu, YIN Kun, PENG Jian-ming. Optimization design and finite element analysis of core cutter[J]. Int Journal of China University of Mining & Technology, 2007, **17**(3): 399 - 402.