

3500 m 钻机移摆管设计及动力学仿真研究

陈根龙¹, 张金昌¹, 刘凡柏¹, 韩丽丽¹, 陈浩文^{1,2}, 于建丛^{1,2}

(1. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000; 2. 中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083)

摘要:随着我国探矿深度不断增加, 钻探设备的尺寸不断加大, 操作人员的劳动强度也在增加。基于此, 3500 m 液压岩心钻机需要适配一套移摆管装置, 以实现快速、安全地运移钻杆, 降低工人的劳动强度。对移摆管机构的设计进行了简单介绍, 并利用 ADAMS 动力学仿真软件对移摆管机构进行运动仿真, 找出设计的不足之处, 给出优化建议。

关键词: 液压钻机; 移摆管; ADAMS; 动力学仿真

中图分类号: P634 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2014)04-0056-05

Design of Pipe Racking for 3500m Hydraulic Core Drill Rig and the Dynamic Simulation Analysis/CHEN Gen-long¹, ZHANG Jin-chang¹, LIU Fan-bai¹, HAN Li-li¹, CHEN Hao-wen^{1,2}, YU Jian-cong^{1,2} (1. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China; 2. College of Engineering and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: With the increasing depth of exploration, the size of drilling equipment becomes larger and larger, and the labor intensity of operators is also on the increase. Based on this situation, a set of pipe racking device is needed for 3500m hydraulic core drill to realize fast and safe pipe arranging and reduce labor intensity of operating workers. The paper briefly introduces the design of the pipe racking device; motion simulation is conducted on pipe racking device by using dynamic simulation software ADAMS to identify the deficiencies in the design, and some optimization suggestions are put forward.

Key words: hydraulic core drill; pipe racking; ADAMS; dynamic simulation

0 引言

随着我国对资源勘探力度的不断加大, 钻探设备也在不断升级更新。依据《国土资源调查评价“十二五”及长远规划框架》和中国地质调查局《国土资源调查评价“十二五”重大项目设置建议》, 在现有技术基础上, 从市场和地质调查工作的需要出发, 开展 3500 m 深孔钻探装备研制。由中国地质科学院勘探技术研究所承担的地质矿产调查评价专项项目《3500 米深部地质勘查全液压钻探装备配套示范》, 其预期成果之一为提交 3500 m 岩心钻机样机一套。3500 m 液压岩心钻机为分体式车载钻机, 由底盘、动力系统、上下桅杆、二层台、移摆管、天车等部件构成, 液压驱动和控制所有部件。其中桅杆通过起塔油缸达到铅直状态, 并与底盘固定, 桅杆分为上下两部分, 移摆管机构连接在下桅杆上部, 二层台连接在上桅杆下部, 如图 1 所示。

出于轻便化考虑, 二层台的支梁不采用气动阀门(若采用气动阀门, 二层台还需要气泵等部件, 对桅杆稳定性不利), 故钻杆柱无法直立摆放, 需要



图1 3500 m 岩心钻机局部示意图

倾斜一定角度摆放来增加摆放的稳定性。传统的钻杆摆放需要工人站在二层台上操作, 不仅劳动强度大, 长时间操作还会带来安全隐患, 而采用机械化移摆管系统则会消除此弊端。

本文以设计 3500 m 液压岩心钻机移摆管为目的, 运用 solidworks 软件建立实体模型, 以 parasolid

收稿日期: 2014-03-28

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目“3500 米深部地质勘查全液压钻探装备配套示范”(12120113016500)

作者简介: 陈根龙(1988-), 男(汉族), 黑龙江绥化人, 中国地质科学院在读研究生, 地质工程专业, 研究方向为地质机械, 河北省廊坊市金光道 77 号, uheroman@gmail.com; 张金昌(1959-), 男(汉族), 河北保定人, 中国地质科学院勘探技术研究所所长、教授级高级工程师、中国地质科学院教授、中国地质大学(北京)特聘教授, 探矿工程专业, 硕士, 主要从事固体矿产钻探、水文水井钻探及工程施工钻探设备设计和钻探工艺研究工作, jinchang@cniat.cn。

格式为依托导入 ADAMS 中,按实际摆管工况建立虚拟样机模型,进行运动学分析,完成设计校核,找出设计的不足之处,给出优化建议。

1 移摆管机构设计

1.1 移摆管机构技术参数

- (1) 夹持范围: $\varnothing 65 \sim 114$ mm;
- (2) 最大夹持质量: 1510 kg;
- (3) 水平横向行程: 2700 mm;
水平纵向行程: 2100 mm;
- (4) 水平移动速度: $0 \sim 100$ mm/s;
- (5) 机械手升降行程: 1100 mm。

1.2 纵横平移机构

纵横平移机构由伸缩臂、移动箱、链轮、马达等组成。其中,移动箱分为上箱与下箱,分别带动机械手在横向与纵向上运动。纵横平面(XZ 面)为平行地面的水平面。横向上,马达带动链轮旋转,使链轮在链条上行进,以达到移动箱在横梁上移动的目的;纵向上,下箱体固定有油缸,活塞杆与机械手固定连接,通过活塞杆伸缩使得机械手进退,其结构示意图见图 2。

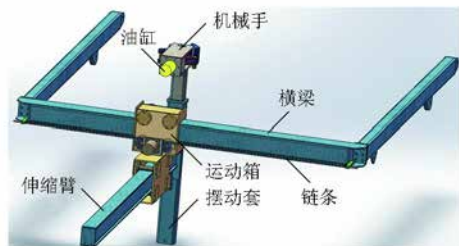


图 2 移摆管机构示意图

横、纵向运行速度及机械手升降速度计算如下。

1.2.1 横向速度

移动箱的横向速度为链轮的行进速度:

$$V_x = ZPn \quad (1)$$

式中: V_x ——链轮行进速度, mm/s; Z ——链轮齿数, 取 17; P ——链轮的节距, 取 15.875 mm; n ——马达输入转速, r/min。

其中驱动马达的泵量为 $0 \sim 80$ L/min, 马达转一周需要 80 mL 驱动流量, 可知马达转速为 $0 \sim 1000$ r/min。

由于马达输出端配有减速比为 10 的行星减速器, 可获得 $0 \sim 100$ r/min 的转速。可推知 V_x 范围为 $0 \sim 450$ mm/s。仿真中取 $V_x = 100$ mm/s。

1.2.2 纵向速度

移动箱的纵向进退速度为活塞杆伸缩速度, 前

进速度 V_{z1} :

$$V_{z1} = Q_1/A_1 \quad (2)$$

式中: V_{z1} ——移动箱纵向前进速度, mm/s; Q_1 ——油缸无杆腔进油流量, 最大为 40 L/min; A_1 ——油缸无杆腔横截面积, 无杆腔直径为 63 mm。

计算得 V_{z1} 范围为 $0 \sim 214$ mm/s。仿真中取 V_{z1} 为 100 mm/s。

活塞杆后退速度为 V_{z2} , 后退时, 油缸有杆腔进油, 流量为 $0 \sim 20$ L/min, 活塞杆直径为 45 mm, 面积为 A_2 。有杆腔过流断面面积为 $A_1 - A_2$, 代入公式(2)可知 V_{z2} 范围为 $0 \sim 218$ mm/s。仿真中取 $V_{z2} = 100$ mm/s。

1.2.3 机械手升降速度

机械手摆动套内安装的油缸与纵向移动油缸的大小腔面积相同, 流量参数一致。可知机械手上升速度 V_{y1} 范围为 $0 \sim 214$ mm/s; 机械手下降速度 V_{y2} 范围为 $0 \sim 218$ mm/s。

1.3 机械手夹持机构

机械手夹持机构(见图 3)由单个液压缸驱动, 钻杆进入机械手夹持范围, 活塞杆向后运动, 机械手抱紧钻杆。机械手可夹取 $\varnothing 70 \sim 114$ mm 任意规格钻柱。

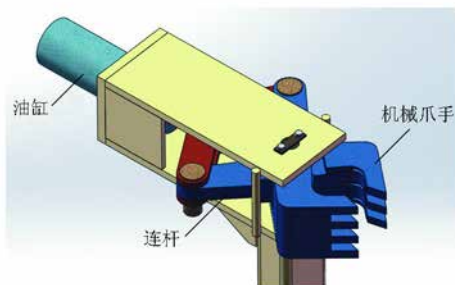


图 3 机械手示意图

钻柱长 18 m, 夹持在距底部 12 m 处。考虑到钻机的多功能应用, 以 $\varnothing 114$ mm API 钻杆的质量作为计算依据, $\varnothing 114$ mm 钻杆单位长度质量为 24.7 kg/m, 故钻杆柱质量为 444.6 kg, 考虑一定安全系数, 计算钻杆柱质量为 500 kg, 摩擦系数按 0.15 考虑。机械手夹持钻杆时, 抓手和钻杆间摩擦力须克服钻杆的自重, 故:

$$2\mu N = G$$

式中: μ ——摩擦系数; N ——夹持力, N; G ——重力, N。

得到机械手对钻杆的夹持力为 1.7×10^4 N。

2 移摆管机构的多刚体运动仿真

2.1 仿真设置

为了探究移摆管机构在既定速度下立根移动的稳定性,采用动力学仿真软件 ADAMS 对移摆管机构的简化模型进行仿真。

在 solidworks 中将模型简化处理,再将摆管机构以 parasolid 格式导入 ADAMS 中,设置重力、栅格、单位、各零部件材料。设置 6 个旋转副,10 个固定副,4 个平移副,4 个驱动和 2 个 contact 力。在仿真前,要

确定机械手纵向位移量,保证机械手与钻杆间的接触力达到 1.7×10^4 N。先锁定其他运动,保证油缸回缩,机械手与钻杆接触,因为两者材料都设置为 steel (钢材),在接触力设置中,刚度取 1.0×10^5 N/mm,力指数取 1.5,阻尼 $50 \text{ N} \cdot \text{s/mm}$,穿透深度为 0.1 mm。设置 motion 的运动函数为:step(time,0,0,40,0)初始接触力如图 4 所示。

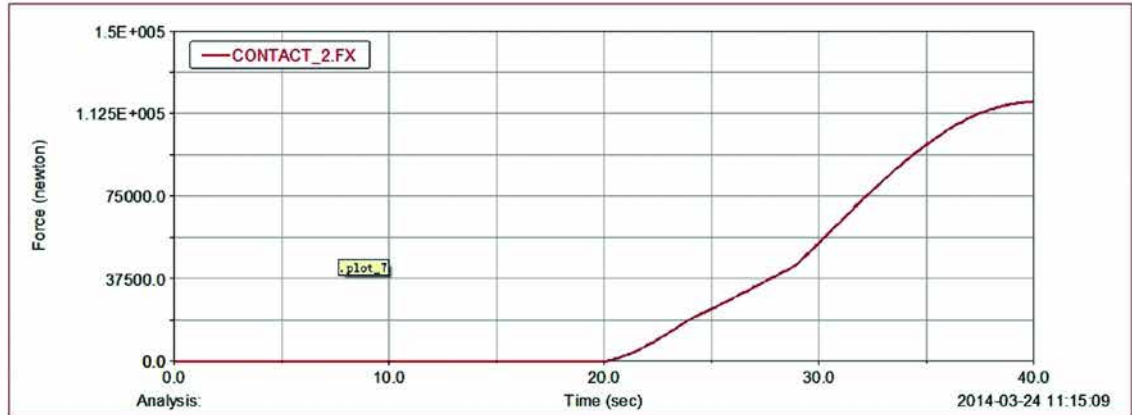


图 4 初始接触力随时间变化曲线

在 27 s 时二者开始接触,接触力不断增加,时间在 24 s,即油缸行进 24 mm 时,接触力为 1.89×10^4 N,满足夹持力需求。

仿真步骤如下。设置仿真时长 40 s,移动速度 100 mm/s,将钻孔中心设置为 XZ 平面的原点,以将远端的钻杆夹持到孔口中心为例:

- (1) 0 ~ 8 s,机械手夹持钻杆,横向平移出支梁;
- (2) 8 ~ 10 s,保持静止;
- (3) 10 ~ 25 s,机械手夹持钻杆纵向移动出支梁架;
- (4) 25 ~ 26 s,保持静止;
- (5) 26 ~ 30 s,机械手夹持钻杆横向移动至孔口前端;
- (6) 30 ~ 31 s,保持静止;
- (7) 31 ~ 37 s,机械手夹持钻杆移动至孔口,并停止运动;
- (8) 37 ~ 40 s,机械手油缸伸展,松开钻杆。

按如上步骤,钻杆柱移动轨迹上视图如图 5 所示。

用设置驱动函数来完成如上动作。MOTION_1 为移动箱横向驱动,MOTION_2 为伸缩臂纵向驱动,MOTION_3 为机械手油缸驱动:

MOTION_1: step(time,0,0,8,800) + step(time,8,0,26,0) + step(time,26,0,30,400) + step(time,31,0,40,0);

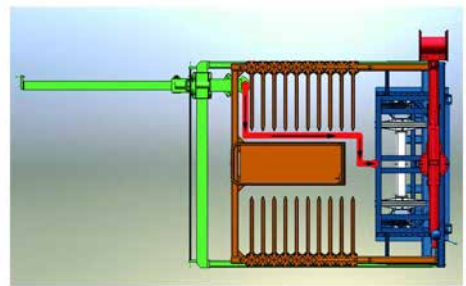


图 5 钻杆移动轨迹上视图

MOTION_2: step(time,0,0,10,0) + step(time,10,0,25,-1500) + step(time,25,0,31,0) + step(time,31,0,37,-600) + step(time,37,0,40,0);

MOTION_3: step(time,0,0,0.0005,24) + step(time,0.0005,0,37,0) + step(time,37,0,40,-30)。

在钻杆被机械手夹紧的区间建立一个观测点 MARKER_80,钻杆质心观测点为 MARKER_79。

设置仿真时间为 40 s,步长 0.1 s,进行仿真。

2.2 仿真后处理

2.2.1 机械手与钻杆的接触力

从图 6 中可看出,由于 MOTION_4 的驱动,油缸迅速回缩,机械手加紧钻杆,以至起初机械手与钻杆接触力有很高接触值,但随着机械手运动,接触力立刻达到预估值,机械手夹紧钻杆,共同运动。由于伸缩臂与摆动套不是固定连接,摆动套可以绕连接点左右稍许转动,同样钻杆柱在运动过程中会轻微的摇

摆,故机械手与钻杆柱间的接触力并不是一成不变的,而是有一定波动范围。在 8、10、26、37 s,接触力

有 4 处极值点,分别对应仿真的 4 处停止点。37 s 时,机械手松开钻杆,接触力为 0 N。

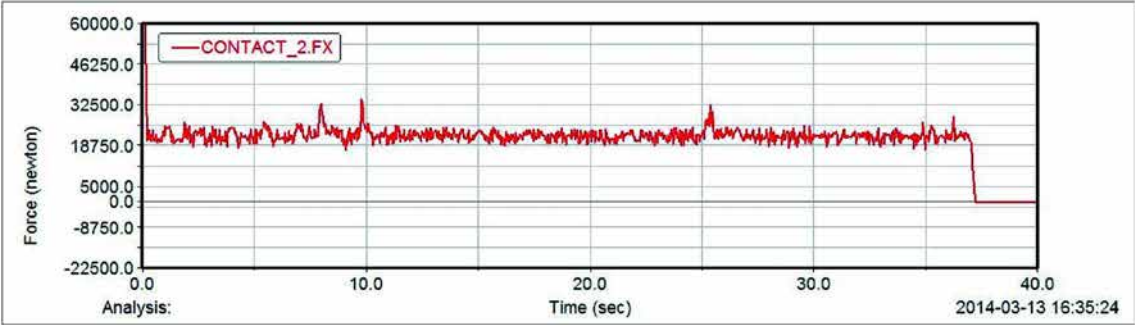


图 6 机械手与钻杆接触力变化曲线

2.2.2 钻杆柱运动曲线

机械手夹持在钻杆质心上方 3 m 处,从静止开始运动后,在惯性作用下,钻杆柱有一定的倾斜,由图 7 中可见,钻杆被机械手夹紧的观测点 MARKER_80

相对于质心观测点 MARKER_79 在横向上更靠近孔口,且在这种倾斜的情况下,钻杆柱保持平衡,故会出现图 7 所示情况。

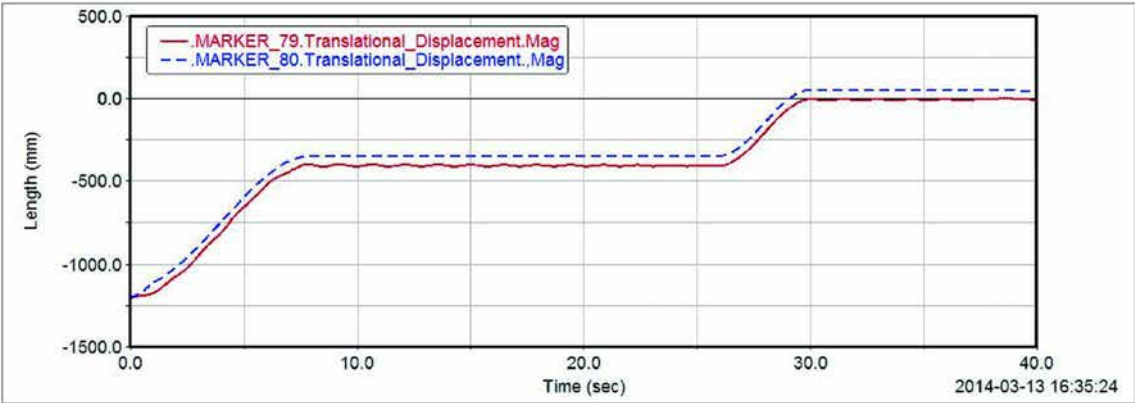


图 7 标记点和质心 X 向位移曲线

由于钻杆与机械手的夹持力是有波动的,加之夹持点在质心上方 3 m 处,而且机械手体在摆动套上是可以左右稍微转动的,故质心相对于夹持点会有一定的钟摆运动(见图 8)。在 10~25 s 间,机械手是沿 Z 轴纵向移动的,在横向上钟摆运动较为明显,峰值幅

度为 0.02 m/s。37 s 后,运动静止,钻杆横向、纵向速度均为 0 mm/s。再由钻杆质心位移曲线可见,钻杆 37 s 已抵达孔口中心(见图 9)。

由上述数据总结如下。

(1) 由仿真数据发现采用单一机械手抓取钻杆,

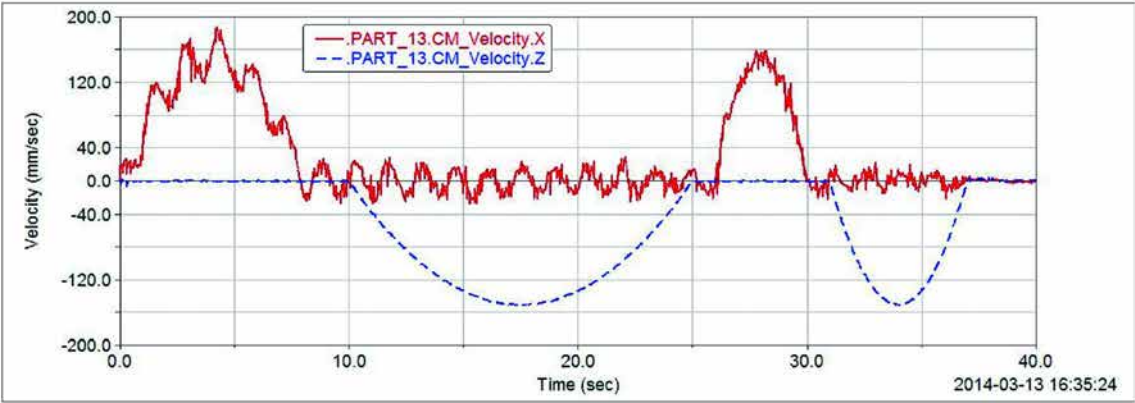


图 8 钻杆质心 X 和 Z 向速度曲线

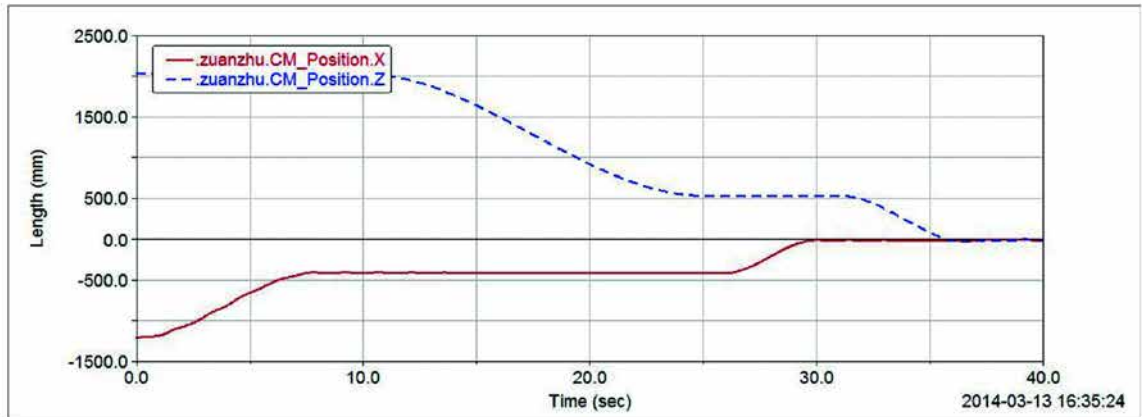


图9 钻杆质心 X 和 Z 向位移曲线

其夹持稳定性有待加强,可以通过优化机械手来加强,例如增大机械抓紧手的厚度,用于增大与钻杆柱的接触面积,使钻杆柱受力均匀,降低其在移动过程中的晃动幅度。

(2) 机械手体与伸缩臂间靠摆动套连接,摆动套的设计目的是在放置钻柱时候,钻杆柱可以向一侧倾斜一定幅度来摆放。但由于摆管套的存在,间接影响到了钻杆柱移动的稳定性,如图7、图8所示。对于摆动套与伸缩臂的连接,需要做后续优化,保证钻杆柱稳定移动。

3 结语

本文结合 3500 m 液压钻机对移摆钻柱的要求,设计了配套的机械化移摆管机构,利用机械化移摆管机构,在降低工人劳动强度的同时,也提高了其生产的安全性。通过计算确定了各部件运动参数,再利用 ADAMS 动力学仿真软件对移摆管的工况进行模拟仿真,检验其运行的稳定性。在发现设计不足之处的同时,给出了优化建议,也为后续的优化设计及方案提供了参考。

参考文献:

[1] 杨帆. ZJ50D 型陆地钻机钻杆自动排放系统的方案设计研究

[D]. 甘肃兰州:兰州理工大学,2012.

- [2] 刘文庆. 钻井平台钻杆自动排放系统研究[D]. 山东青岛:中国石油大学,2008.
- [3] 王宇. 多轴机械手控制系统的研究与开发[D]. 江苏杭州:浙江大学,2012.
- [4] 黄晓林,奎中. 基于 ANSYS Workbench 的 GDZ-300L 型钻机动力头托架优化设计[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(7):93-96.
- [5] 刘平全,崔学政,董磊. 钻井平台的钻杆排放方式及其自动化操作系统[J]. 中国海洋平台,2010,(1):51-56.
- [6] 姜鸣,曹言梯,周声强. 陆地钻机钻杆自动排放系统的设计方案[J]. 石油机械,2008,36(8):95-98.
- [7] 郑立臣,童征,高向前,等. 二层台管柱排放系统及其工作方法:中国,201110068266.6[P]. 2011-09-07.
- [8] 李静. 钻机移摆管机构设计及结构分析[D]. 北京:中国地质科学院,2011.
- [9] 沙永柏,朱吉良,李志东,等. 钻杆自动化操作系统的典型结构[J]. 机械制造,2011,49(6):60-62.
- [10] 朱吉良. 钻杆自动传送系统结构设计及仿真分析[D]. 吉林长春:吉林大学,2012.
- [11] 张飞宇. MPR-70A 型全液压自动排管机动力学仿真分析[D]. 吉林长春:吉林大学,2013.
- [12] 杨虎伟,赵大军,于萍,等. 全液压顶驱钻机背钳的设计及运动仿真分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(2):56-60.
- [13] 刘智,殷新胜,孙保山. 全液压坑道钻机增力式夹持器的设计[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(2):61-63.
- [14] 于雪林,于萍,朱玉江. JDY-1500 型全液压钻机卡盘的仿真分析及设计[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(5):22-24.

第三届探矿工程学术论坛

上天、入地、下海、登极——探矿工程之梦

2014年10月 湖北武汉

详情请登录

探矿工程在线

www.tkgc.net