

# 液压静力压桩机夹桩箱的有限元分析

周旭<sup>1</sup>, 何清华<sup>1,2</sup>, 朱建新<sup>1,2</sup>

(1. 中南大学机电工程学院, 湖南长沙 410083; 2. 湖南山河智能机械股份有限公司, 湖南长沙 410100)

**摘要:** 为研究液压静力压桩机夹桩箱的受力和变形, 促进液压静力压桩机夹桩箱的改进, 提高压桩质量, 简述了抱压式液压静力压桩机的工作原理, 利用 ANSYS 软件, 建立了液压静力压桩机夹桩箱的有限元模型, 设置了模型中的主要参数, 利用有限元系统内嵌的命令流式程序设计语言 APDL, 编辑了夹桩箱命令流式程序, 对夹桩、压桩和加力压桩时的夹桩箱进行了系列化有限元仿真分析, 得出了夹桩箱的等效应力云图和最大等效应力及合变形, 并对仿真结果进行了分析和研究。仿真结果表明: 增大夹桩箱的弹性模量, 减小夹桩箱的泊松比, 降低压桩力, 减小夹桩时的夹桩力, 随着压桩力的增大加大夹桩力等均能有效地减小夹桩箱的最大等效应力和最大合变形。

**关键词:** 夹桩箱; 有限元分析; 变形; 应力; 液压静力压桩机

**中图分类号:** TU67

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2009)02-0050-05

## Finite Element Analysis of Pile Clamping Box of Hydraulic Static Pile Driver

Zhou Xu<sup>1</sup>, He Qinghua<sup>1,2</sup>, Zhu Jianxin<sup>1,2</sup>

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China;

2. Hunan Sunward Intelligent Machinery Co. Ltd, Changsha 410100, China)

**Abstract:** By studying on the stress and displacement distribution of pile clamping box of hydraulic static pile driver, promoting the pile clamping box and improving quality of pile driving, the working principle of hydraulic static pile driver were introduced briefly. We can set up the main parameters of the model by using ANSYS software to establish finite element model of pile clamping box and program the command stream with APDL standing of ANSYS Parametric Design Language. Then the serialization simulation analysis on pile clamping box in the process of pile driving by adding force and pile clamping box under pile clamping and driving were achieved as well as the cloud diagram of Mises stress and the maximal Mises stress and displacement vector sum of pile clamping box were also elicited. With analyzing and studying, the simulation results show that increasing pile clamping force and augmenting pile driving force can reduce the maximal mises stress and displacement vector sum of pile clamping box effectively in the condition of adding Young's modulus of pile clamping box by, reducing becomingly Poisson's ratio of pile clamping box, diminishing pile driving force, decreasing pile clamping force under pile clamping.

**Key words:** pile clamping box; finite element analysis; displacement; stress; hydraulic static pile driver

液压静力压桩机具有无噪声、无振动、压桩力可控制、快速、高效和经济效益好等特点<sup>[1]</sup>。抱压式液压静力压桩机依靠液压夹桩机构夹紧预制桩, 通过液

压油驱动压桩油缸, 其夹桩油缸一端固定在夹桩箱内, 另一端连接着夹桩钳口。其工作原理是: 在液压油的作用下, 夹桩油缸推动夹桩钳口产生夹桩力, 将

收稿日期: 2009-02-06

基金项目: “863”国家高新技术研究发展计划基金资助项目(2003AA430200)

作者简介: 周旭(1964-), 男, 湖南长沙人, 中南大学高级工程师, 博士研究生, 主要研究方向为工程机械液压传动及机电液集中控制, E-mail: [xuzhouzx@163.com](mailto:xuzhouzx@163.com);

何清华(1946-), 男, 湖南长沙人, 中南大学教授, 博士生导师, 主要研究方向为液压工程机械及凿岩机器人技术;

朱建新(1965-), 男, 湖南长沙人, 中南大学教授, 主要从事智能机械研究。

预制桩牢牢夹住,使预制桩与压桩箱连成一个整体,然后,压桩油缸产生的压桩力通过夹桩箱作用在夹桩钳口上,以整机的重量作为外力,预制桩在压桩力和夹桩摩擦力作用下克服土壤的阻力而被压入土壤里。应用准恒功率设计理论的压桩液压系统保证了液压静力压桩机在整个压桩过程中有较高的功率利用率、高压桩速度和大压桩力。夹桩箱是液压静力压桩机的重要零件之一。

多点均压式夹桩机构在液压静力压桩机中得到了较广泛的应用<sup>[2]</sup>。以往的文献对液压静力压桩机的起重、液压系统等进行了研究<sup>[3-5]</sup>,而对夹桩箱的分析研究较少。夹桩箱的结构和形状较复杂,承受的夹桩力和压桩力很大,夹桩和压桩过程中会产生较大的应力和变形;为了减少液压静力压桩机压桩过程中夹桩箱的变形。降低夹桩箱的最大等效应力,弄清各种工况下夹桩箱应力和变形的分布,促进液压静力压桩机夹桩箱的改进,提高压桩质量,本文对液压静力压桩机的夹桩箱进行了初步的有限元分析和研究。

### 1 有限元模型的建立

夹桩箱所采用的材料一般为具有较好延性的钢材。在夹桩力、压桩力及重力作用下,夹桩箱各点应力常为复杂应力状态,其强度评判应采用第四强度理论<sup>[6]</sup>,即折算应力或等效应力  $\sigma_{max}$  计算公式为:

$$\sigma_{max} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}, \quad (1)$$

式中,  $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ 、 $\sigma_3$  为单元体主应力,且  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ 。

为便于对夹桩箱结构进行有限元分析及建模,将夹桩箱相关参数预设值,如表1所示。

表1 夹桩箱参数预设值

Table 1 The default values of parameters of pile clamping box

| 质量密度<br>/(kg·m <sup>-3</sup> ) | 弹性模量<br>E/GPa | 泊松比 $\nu$ | 夹桩力<br>F/kN | 压桩力<br>F <sub>i</sub> /kN |
|--------------------------------|---------------|-----------|-------------|---------------------------|
| 7 800                          | 200           | 0.25      | 490         | 0                         |

夹桩箱结构有限元分析及建模采用自由网格划分生成体单元网格模型,其模型如图1所示。

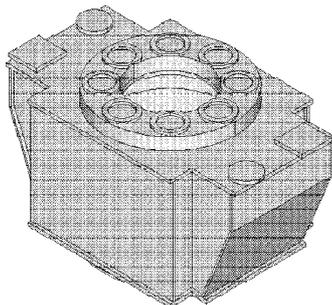


图1 夹桩箱的模型

Fig. 1 The model of pile clamping box

### 2 有限元仿真结果

为实现具有相同结构夹桩箱的系列化、规范化分析,使复杂且重复量大的有限元前处理、求解和后处理变得简单易用,本文利用内嵌的有限元参数化程序设计语言 APDL<sup>[7]</sup>编辑了压桩箱命令流式程序,对夹桩、压桩和加力压桩时的夹桩箱进行了系列化有限元仿真分析,分别得出了夹桩箱的等效应力云图<sup>[8]</sup>和最大等效应力及变形。

#### 2.1 夹桩状态

当参数项为预设值,在夹桩状态下,夹桩箱有限元仿真的等效应力云图如图2所示,图中应力单位为 Pa,最大等效应力也就是夹桩箱的最大等效应力 MX/MPa。夹桩箱的合变形如图3,图中合变形单位为 m,最大变形也就是夹桩箱的最大变形 SM/mm。

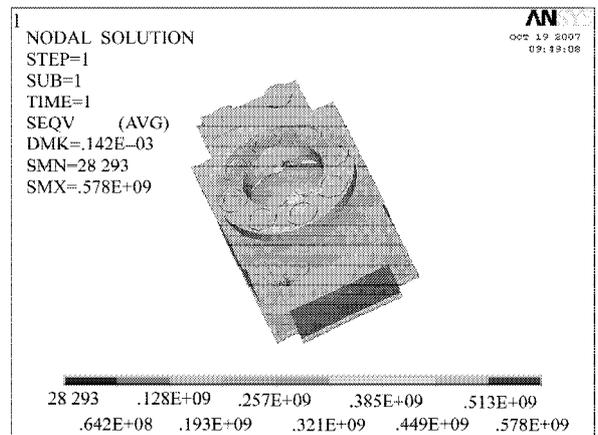


图2 夹桩时夹桩箱的等效应力云图

Fig. 2 The cloud diagram of mises stress of pile clamping box under pile clamping

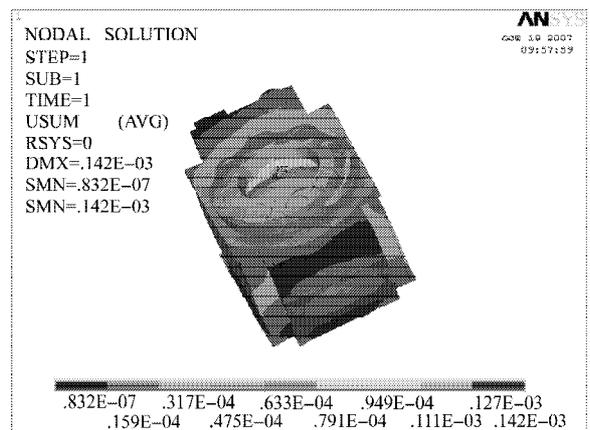


图3 夹桩时夹桩箱的合变形图

Fig. 3 The displacement vector sum of pile clamping box under pile clamping

利用 APDL 编辑的夹桩箱命令流有限元程序,改变夹桩箱相关参数项中的一项或几项进行夹桩箱结构有限元仿真,即可得到系列结果。夹桩时夹桩箱最大等效应力和最大变形值随夹桩箱材料的弹性模量 E/GPa、

泊松比  $\nu$ 、夹桩力  $F/\text{kN}$  的变化如表 2~4 所示。

表 2 夹桩时最大等效应力和变形随弹性模量的变化

Table 2 The maximal mises stress and displacement vector sum vs young's modulus under pile clamping

| 弹性模量 $E/\text{GPa}$ | 最大等效应力 $MX/\text{MPa}$ | 最大变形 $SM/\text{mm}$ |
|---------------------|------------------------|---------------------|
| 190                 | 578                    | 0.150               |
| 200                 | 578                    | 0.142               |
| 205                 | 578                    | 0.139               |
| 210                 | 578                    | 0.136               |

表 3 夹桩时最大等效应力和变形随泊松比的变化

Table 3 The maximal mises stress and displacement vector sum vs poisson's ratio under pile clamping

| 泊松比 $\nu$ | 最大等效应力 $MX/\text{MPa}$ | 最大变形 $SM/\text{mm}$ |
|-----------|------------------------|---------------------|
| 0.20      | 590                    | 0.139               |
| 0.25      | 578                    | 0.142               |
| 0.28      | 568                    | 0.144               |
| 0.30      | 561                    | 0.145               |

表 4 夹桩时最大等效应力和变形随夹桩力的变化

Table 4 The maximal mises stress and displacement vector sum vs pile clamping force under pile clamping

| 夹桩力 $F/\text{kN}$ | 最大等效应力 $MX/\text{MPa}$ | 最大变形 $SM/\text{mm}$ |
|-------------------|------------------------|---------------------|
| 350               | 413                    | 0.101               |
| 400               | 471                    | 0.116               |
| 450               | 530                    | 0.131               |
| 490               | 578                    | 0.142               |

2.2 压桩状态

当夹桩箱参数项为预设值,在压桩力  $F_1$  为 3 900 kN 的压桩状态下,夹桩箱有限元仿真的等效应力云图如图 4,夹桩箱的合变形如图 5 所示。

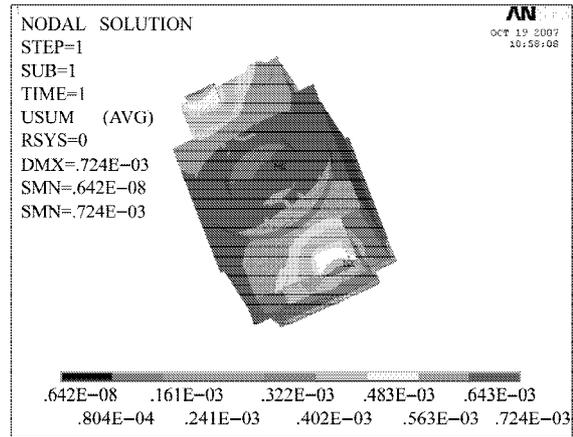


图 5 压桩时夹桩箱的合变形图

Fig. 5 The displacement vector sum of pile clamping box under pile driving

压桩时夹桩箱最大等效应力  $MX/\text{MPa}$  和最大变形  $SM/\text{mm}$  随夹桩箱材料的弹性模量  $E/\text{GPa}$ 、泊松比  $\nu$ 、夹桩力  $F/\text{kN}$  的变化如表 5~8 所示。

表 5 压桩时最大等效应力和变形随弹性模量的变化

Table 5 The maximal mises stress and displacement vector sum vs young's modulus under pile driving

| 弹性模量 $E/\text{GPa}$ | 最大等效应力 $MX/\text{MPa}$ | 最大变形 $SM/\text{mm}$ |
|---------------------|------------------------|---------------------|
| 190                 | 471                    | 0.762               |
| 200                 | 471                    | 0.724               |
| 205                 | 471                    | 0.706               |
| 210                 | 471                    | 0.689               |

表 6 压桩时最大等效应力和变形随泊松比的变化

Table 6 The maximal mises stress and displacement vector sum vs poisson's ratio under pile driving

| 泊松比 $\nu$ | 最大等效应力 $MX/\text{MPa}$ | 最大变形 $SM/\text{mm}$ |
|-----------|------------------------|---------------------|
| 0.20      | 481                    | 0.715               |
| 0.25      | 471                    | 0.724               |
| 0.28      | 465                    | 0.729               |
| 0.30      | 460                    | 0.732               |

表 7 压桩时最大等效应力和变形随夹桩力的变化

Table 7 The maximal mises stress and displacement vector sum vs pile clamping force under pile driving

| 压桩力 $F/\text{kN}$ | 最大等效应力 $MX/\text{MPa}$ | 最大变形 $SM/\text{mm}$ |
|-------------------|------------------------|---------------------|
| 350               | 426                    | 0.740               |
| 400               | 425                    | 0.734               |
| 450               | 433                    | 0.728               |
| 490               | 471                    | 0.724               |

表 8 压桩时最大等效应力和变形随压桩力的变化

Table 8 The maximal mises stress and displacement vector sum vs pile driving force under pile driving

| 压桩力 $F/\text{kN}$ | 最大等效应力 $MX/\text{MPa}$ | 最大变形 $SM/\text{mm}$ |
|-------------------|------------------------|---------------------|
| 2 500             | 471                    | 0.445               |
| 3 000             | 471                    | 0.545               |
| 3 500             | 471                    | 0.644               |
| 3 900             | 471                    | 0.724               |

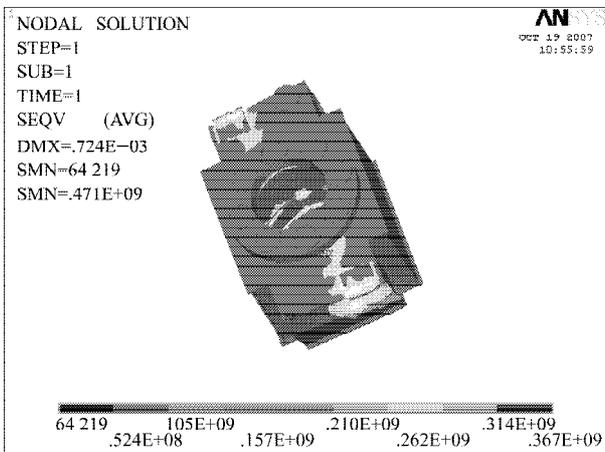


图 4 压桩时夹桩箱的等效应力云图

Fig. 4 The cloud diagram of mises stress of pile clamping box under pile driving

### 2.3 加力压桩状态

当夹桩箱参数项为预设值, 在压桩力  $F_1$  为 7 800 kN 的加力压桩状态下, 夹桩箱有限元仿真的等效应力云图如图 6 所示, 图中的应力单位为 Pa; 夹桩箱的合变形如图 7 所示, 图中的合变形单位为 m。

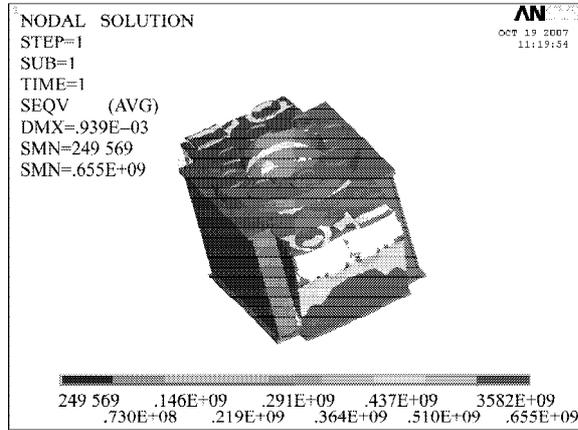


图 6 加力压桩时夹桩箱的等效应力云图

Fig. 6 The cloud diagram of mises stress of pile clamping box of pile driving under adding force

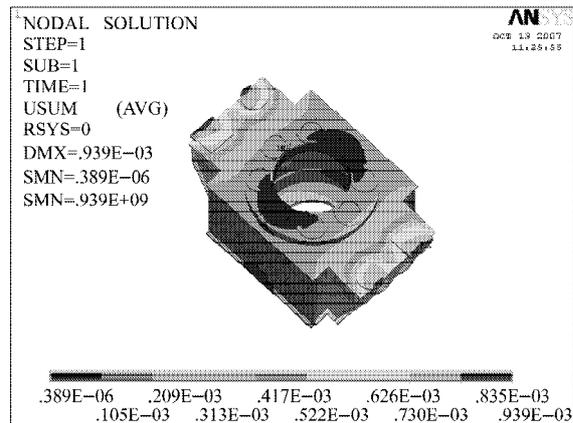


图 7 加力压桩时夹桩箱的合变形图

Fig.7 The displacement vector sum of pile clamping box of pile driving under adding force

加力压桩时夹桩箱最大等效应力  $MX/MPa$  和最大变形  $SM/mm$  随夹桩箱材料的弹性模量  $E/GPa$ 、泊松比  $\nu$ 、夹桩力  $F/kN$ 、压桩力  $F/kN$  的变化如表 9~12 所示。

表 9 加力压桩时最大等效应力和变形随弹性模量的变化  
Table 9 The maximal mises stress and displacement vector sum vs young's modulus of pile driving under adding force

| 弹性模量 $E/GPa$ | 最大等效应力 $MX/MPa$ | 最大变形 $SM/mm$ |
|--------------|-----------------|--------------|
| 190          | 655             | 0.988        |
| 200          | 655             | 0.939        |
| 205          | 655             | 0.916        |
| 210          | 655             | 0.894        |

表 10 加力压桩时最大等效应力和变形随泊松比的变化

Table 10 The maximal mises stress and displacement vector sum vs poisson ratio of pile driving under adding force

| 泊松比 $\nu$ | 最大等效应力 $MX/MPa$ | 最大变形 $SM/mm$ |
|-----------|-----------------|--------------|
| 0.20      | 685             | 0.931        |
| 0.25      | 655             | 0.939        |
| 0.28      | 636             | 0.943        |
| 0.30      | 622             | 0.946        |

表 11 加力压桩时最大等效应力和变形随夹桩力的变化

Table 11 The maximal mises stress and displacement vector sum vs pile clamping force of pile driving under adding force

| 夹桩力 $F/kN$ | 最大等效应力 $MX/MPa$ | 最大变形 $SM/mm$ |
|------------|-----------------|--------------|
| 350        | 659             | 0.955        |
| 400        | 658             | 0.949        |
| 450        | 656             | 0.943        |
| 490        | 655             | 0.939        |

表 12 加力压桩时最大等效应力和变形随压桩力的变化

Table 12 The maximal mises stress and displacement vector sum vs pile driving force of pile driving under adding force

| 压桩力 $F/kN$ | 最大等效应力 $MX/MPa$ | 最大变形 $SM/mm$ |
|------------|-----------------|--------------|
| 5 000      | 473             | 0.583        |
| 6 000      | 501             | 0.710        |
| 7 000      | 587             | 0.837        |
| 7 800      | 655             | 0.939        |

## 3 仿真结果的分析与研究

由图 2~7 可知, 夹桩、压桩和加力压桩时的夹桩箱的最大等效应力及最大合变形位置不重合: 夹桩时夹桩箱的最大等效应力及最大合变形位置在中间筒前后对称中心面下侧; 压桩和加力压桩时, 夹桩箱的最大等效应力及最大合变形位置在压桩力施加面上。

由表 2、表 5 和表 9 可知, 随着夹桩箱材料弹性模量的增大, 夹桩箱最大等效应力不变、最大变形明显地减少。

由表 3、表 6 和表 10 可知, 随着夹桩箱材料的泊松比的增大, 夹桩箱的最大等效应力减少、最大变形明显增加。

由表 4、表 7 和表 11 可知, 随着夹桩力增大, 夹桩和压桩时夹桩箱的最大等效应力明显增加, 加力压桩时夹桩箱的最大等效应力稍微下降; 夹桩时最大变形明显增加, 压桩和加力压桩时夹桩箱的最大变形明显减少。

由表 8 和表 12 可知, 随着压桩力的增加, 压桩和加力压桩时夹桩箱的最大变形明显增加; 加力压桩时夹桩箱的最大等效应力明显增加, 压桩时夹桩箱的最大等效应力不变。

## 4 结论

为了减少液压静力压桩机夹桩箱的最大等效应力和最大变形,降低夹桩箱的损伤,可采取如下措施:

- 1) 增大夹桩箱材料的弹性模量;
- 2) 适当减小夹桩箱材料的泊松比;
- 3) 减小压桩力;
- 4) 减小夹桩时的夹桩力;
- 5) 随着压桩力的增大,加大夹桩力。

参考文献:

- [1] 徐至钧,李智宇. 预应力混凝土管桩基础设计与施工[M]. 北京:机械工业出版社,2005:347-350.  
Xu Zhijun, Li Zhiyu. Basic Design and Construction of Prefabricated Concrete Piles[M]. Beijing: China Machine Press, 2005: 347-350.
- [2] 张明义. 静力压入桩的研究与应用[M]. 北京:中国建材工业出版社,2004:2-4.  
Zhang Mingyi. Study and Application of Static Driving Pile [M]. Beijing: China Building Material Industry Press, 2004: 2-4.
- [3] 胡均平,刘兴农,罗春雷,等. 液压起重机过载保护系统的设计[J]. 中南大学学报:自然科学版,2005,36(5):841-845.  
Hu Junping, Liu Xingnong, Luo Chunlei, et al. Design of Over-Load Protecting System for Hydraulic Crane[J]. Journal of Central South University of Technology: Natural Science, 2005, 36(5): 841-845.
- [4] Zhou Xu, He Qinghua, Zhu Jianxin, et al. Research on the Capacity of Hydraulic Pile Driving under Adding Force [C]//Proceedings of The 2007 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. Piscataway: IEEE, 2007, III: 2032-2036.
- [5] 朱建新,何清华,郭勇. 准恒功率设计方法在液压静力压桩机中应用[J]. 中南工业大学学报:自然科学版,1999,30(2):198-201.  
Zhu Jianxin, He Qinghua, Guo Yong. Application of Quasi Constant Power Desing Method in Hydrostatic Pile Driver [J]. Journal of Central South University of Technology: Natural Science, 1999, 30(2): 198-201.
- [6] 黄孟生,赵引. 工程力学[M]. 北京:清华大学出版社,2006:262-265.  
Huang Mengsheng, Zhao Yin. Engineering Mechanics[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006: 262-265.
- [7] 苏继军. 金刚石绳索取心钻杆接头螺纹的优化研究[D]. 吉林:吉林大学,2005.  
Su Jijun. Optimization of the Joint-Thread of Diamond Wire-Line Coring Drill Pipe[D]. Jilin: Jilin University, 2005.
- [8] 唐应时,占良胜,方其让,等. 基于动态仿真的副变速器箱体有限元分析[J]. 中南大学学报:自然科学版,2006,37(4):769-774.  
Tang Yingshi, Zhan Liangsheng, Fang Qirang, et al. Finite Element Analysis of Sub-Transmission Case Based on Dynamic Analysis[J]. Journal of Central South University of Technology: Natural Science, 2006, 37(4): 769-774.

(责任编辑:张亦静)