

文章编号:1671-6833(2012)03-0048-04

桩-土近共振沉桩模糊控制器研究

罗春雷^{1,2}, 范增辉¹, 贺建超¹, 吴伟传¹, 张宜¹

(1. 中南大学机电工程学院, 湖南长沙 410083; 2. 长沙市湖昆工程机械有限公司, 湖南长沙 410014)

摘要: 针对振动桩锤在工作过程中存在因地基土参数变化影响沉桩效率的问题, 在研究振动沉桩理论及沉桩过程地质特性变化的基础上, 设计一种新的参数在线自调整模糊控制器, 实现对频率变化的在线调整, 使桩锤在沉桩过程中有快速、精确地响应和很强的抗干扰能力, 达到提高桩锤工作效率的目的。仿真与实验结果表明, 利用这种模糊控制器比利用普通模糊控制器搜索近共振频率有着更好的控制效果。

关键词: 桩锤; 近共振沉桩; 模糊控制; 仿真

中图分类号: TU67

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2012.03.012

0 引言

液压振动桩锤是一种低噪声、高效率的环保型桩工机械, 其作业能力强、便于控制, 具有电动振动锤无法比拟的优越性。国外最早开始液压振动桩锤的研制于上世纪六十年代, 并且发展迅速。荷兰 HBM 公司从 1964 年开始研究液压振动桩锤, 历经 5 年, 研制出第一台样机, 又于 1972 年将改进后的样机推向建筑市场。该公司的 HBM-18 液压振动桩锤是当时国际上最先进的液压打桩锤。随后, 法国、日本等发达国家先后开始研究并取得了较好成果。八十年代末, 日本日立建机公司研制出能打斜桩的液压桩锤。在我国, 液压桩锤的研制较晚, 且主要是效仿国外模式, 因为国外产品的零部件加工精度较高, 制造成本高, 并且国内产品不同程度存在传动效率低和油温高等不足, 所以截止目前, 我国仍未形成液压振动桩锤的定型产品。随着国内建筑基础工程行业的迅猛发展, 城市施工对环保要求的日益提高, 使得液压振动锤在国内具有非常广阔的市场^[1-2]。

液压振动桩锤采用液压变量系统, 可实现无级调频, 适用于不同土壤^[3]。易实现机电一体化控制, 智能化作业。笔者在振动理论的基础上^[4], 提出一种自调整模糊控制器, 实现桩锤振动频率的智能调节控制, 使桩锤工作达到最佳状态, 提高

其工作效率。

1 桩-土共振沉桩工作机理

当土体受到振动时, 土壤有变密趋势, 如果土壤是饱和的, 要变密必须从缝隙中排挤出一定的水分。如果土体的渗透性不良, 瞬时振动变形使需要从孔隙中排除的水来不及排出土体, 必然会使土体中孔隙水压上升, 颗粒之间的有效应力随之降低, 当孔隙水压力上升使土壤颗粒间有效应力降为零时, 土壤颗粒就会悬浮于水中, 成为黏滞流体, 抗剪强度 τ 与抗剪刚度几乎都等于零, 土体处于流动状态, 这就是沙土液化现象^[5]。

其中中频振动锤的设计理论是将振动锤和桩视为独立的系统。当桩的振动频率与土壤颗粒的自振频率一致时, 土壤颗粒产生共振。此时, 土壤颗粒有足够的振动速度和加速度, 能迅速破坏桩与土壤之间的黏结力, 使两者之间由压紧状态过渡到瞬时分离状态。桩的侧面阻力大大降低, 进而使土壤产生液化现象, 促成桩顺利沉入土中。

在沉桩过程中, 随着打桩深度的改变, 地基土的刚度、阻尼等特性不断变化, 地基土的固有频率不断变化, 如果振动锤的振动频率不随之变化, 使其工作在近共振状态, 则会降低振动锤的工作效率。

通过对近共振沉桩的深入研究, 设计了一种调节桩锤振动频率的参数自调整模糊控制器, 实

收稿日期: 2012-01-28; 修回日期: 2012-02-09

基金项目: 长沙市科技计划项目(K1106197-11); 长沙市雨花区科技计划项目(KJ11-2-03)

作者简介: 罗春雷(1968-), 男, 江西高安人, 中南大学教授, 博士, 主要进行机电液系统集成与控制技术的研究。

现桩锤振动频率的智能调节,使桩锤工作达到近共振的状态,地基土扰动最大,提高土的“液化”效果,获得最大的沉桩速度。

2 参数自调整模糊控制器设计

假设土刚度、阻尼不变,由振动理论^[6]可知,在阻尼比 $\xi \neq 0$ 的条件下,最大振幅对应的自振圆频率并不等于地基固有频率 ω_n ,而是在 ω_n 处偏左,因此在最大振幅处的振动称为近共振。

桩锤作业过程中,桩总是在下沉,导致地基土对桩侧包容面积和桩端土时刻在变,因而沉桩过程中地基土的特性参数 K 、 C 也是时变的,因此系统从某一频率搜索到共振频率后,如果地基土改变,此时观察到振幅有较大改变,则再次以很小步长改变马达频率,得到振幅相对于频率变化 $\frac{dA}{d\omega}$,2 100 r/min 从 0 变为某一值,控制系统输出与给定输入 0 之间又产生偏差,于是控制器又根据偏差调节阀控马达频率将偏差校正为 0。考虑到地基土特性参数的难以确定性以及液压系统参数具有时变性,近共振频率将采用参数自调整模糊搜索,其工作流程图如图 1 所示。

与频率调节面临的对象主要是液压系统的时变性相比,模糊控制器所面临的地基土特性参数变化的无法预知及桩-土振动的真实非线性、振动模型的时变性,显示了模糊搜索面对的条件异常复杂,而模糊控制规则的确定性和可调性在很大程度上决定了模糊控制的适应性。为此,笔者引用带有一个修正因子的控制规则,表达式如下:

$$U = \alpha E + (1 - \alpha) EC. \quad (1)$$

其中振幅相对于频率的变化 $\frac{dA}{d\omega}$ (设 E)为误差、与给定值 0 之差与该差值的变化率 $\frac{d^2A}{d\omega^2}$ (设 EC)为误差变化, U 为输出控制量, α 为修正因子, $0 \leq \alpha \leq 1$ 。

在基本的模糊控制器的基础上增加一个智能调整器,即参数在线调整模糊控制器^[7]。如图 2 所示。

参数 α 控制规则解析式为:

$$\alpha = \frac{(\alpha_0 - \alpha_n) |E|}{N} + \alpha_0, \alpha \in [\alpha_0, \alpha_n], \quad (2)$$

$$(0 \leq \alpha_0 \leq \alpha_n \leq 1).$$

当误差小时, K_α 自动减小,其调整规律如式(3)。

$$K_u(K) = K_u(K-1) + K_{up}E(K-1) +$$

$$K_{ui} \sum_{i=1}^{K-1} E(I) + K_{ud}EC(K-1). \quad (3)$$

式中: K_{up} 为比例系数; K_{ui} 为积分系数; K_{ud} 为微分系数。

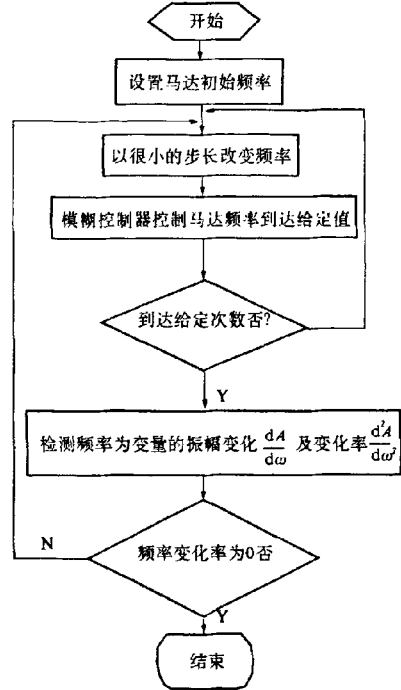


图1 近共振沉桩自动控制系统工作流程图

Fig.1 Nearby resonance piles auto-control system workflow flowchart

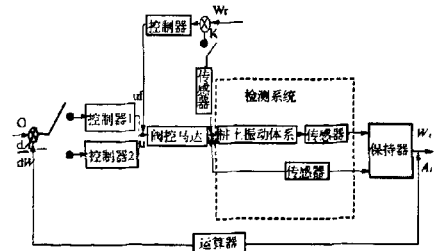


图2 近共振沉桩自动控制系统框图

Fig.2 Nearby resonance piles auto-control system chart

由模糊推理可推出自调整因子 α ,即相当于增加了一个模糊控制器,用于调整加权因子 α 。令本模糊控制器的输出误差 E 、误差变化率 EC 、输出 α 与原基本模糊控制器一致。

α 的控制规则建立思想如下:当误差较大时,消除误差是控制系统的主要任务,这时对误差在控制规则中的加权应该大一些。相反当误差较小

时,使系统尽快稳定是控制系统的主要任务.因此就要求误差的变化率在控制规则中起较大的作用.根据以上思想及专家经验,得到加权因子 α 的整定规则如表1,模糊输出量 α 查询表如表2.

表1 加权因子 α 的整定规则表

Tab.1 The tuning rule table of α

EC	E							
	NB	NM	NS	NO	PO	PS	PM	PB
NB	B	M	S	VS	VS	S	M	B
NM	B	B	M	S	S	M	B	B
NS	VB	B	M	M	M	M	B	B
ZO	VB	B	B	M	M	B	B	VB
PS	VB	B	M	M	M	M	B	VB
PM	B	B	M	S	S	M	B	VB
PB	B	M	S	VS	VS	S	M	B

表2 模糊输出量 α 查询表

Tab.2 The lookup table of α

EC	E						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
-3	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.6
-2	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5
-1	0.6	0.5	0.5	0.3	0.5	0.5	0.5
0	0.8	0.7	0.6	0.3	0.6	0.7	0.8
1	0.6	0.5	0.5	0.3	0.5	0.5	0.6
2	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.6
3	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.6

3 近共振沉桩模糊控制器仿真实验

用 MATLAB^[8] 进入 SIMULINK 对 2 中设计的

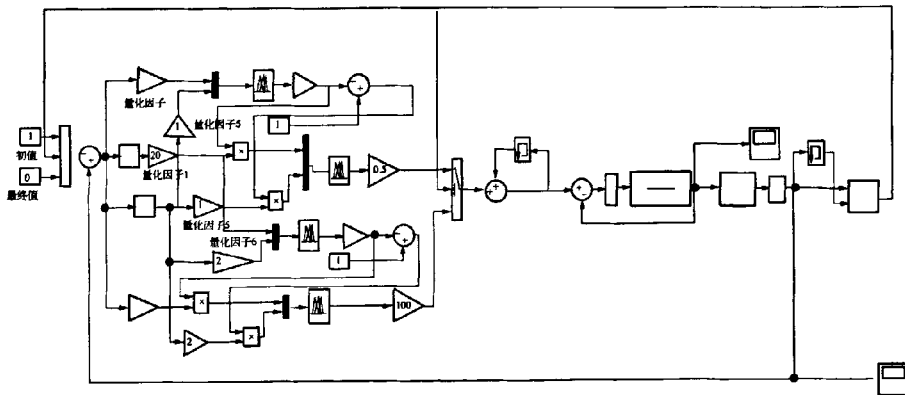


图3 控制系统仿真框图
Fig.3 Control system simulation chart

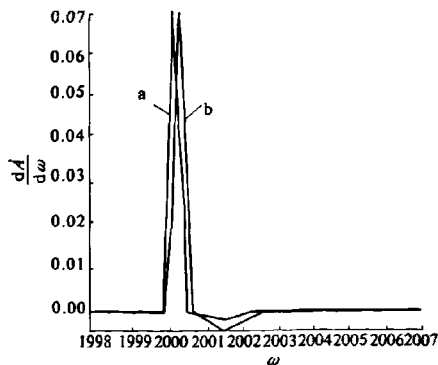


图4 控制系统仿真结果
Fig.4 The results of Control System simulation

图4中,纵坐标是幅频曲线的斜率,横坐标是

模糊控制系统的工作过程进行仿真模拟,仿真框图如图3所示,仿真结果如图4所示.在地基地质条件短时未改变的前提下,本仿真实验研究了桩锤从 $\omega=0$ 开始,模糊控制器搜索近共振频率过程的响应特性.

阀控马达的频率.曲线a代表带参数自调整模糊控制器系统仿真结果,曲线b代表带普通模糊控制器系统仿真结果.可以看到斜率的确经历了一个从0到最大值,又从最大值到0的过程.与普通模糊控制器相比,参数自调整模糊控制器的超调仅为前者的30%.从仿真结果中查取的时间表明,前者所用时间为0.05s,而后者所用时间仅为0.02s,时间缩短了60%.可见,笔者所设计的参数自调整模糊控制器控制所需时间比普通模糊控制器所需时间更少,超调更小.

4 实验结果及分析

实验装置为 SFA160 型液压振动桩锤.该桩锤

为中频振动锤,通过柴油机变频来无级调节振动频率,自身具有油压力、转速和深度检测显示功能。测出桩的振幅变化及桩锤振动频率的变化,可得出如图5所示实验结果。分析可知,在实际工作中,与普通模糊控制器相比,参数自调整模糊控制器的超调仅为前者的40%。从实验记录中查取的时间表明,前者所用时间为0.61 s,而后者所用时间为1.12 s,时间缩短了46%。与仿真结果基本相符,进一步验证了笔者所设计的模糊控制器的优越性。

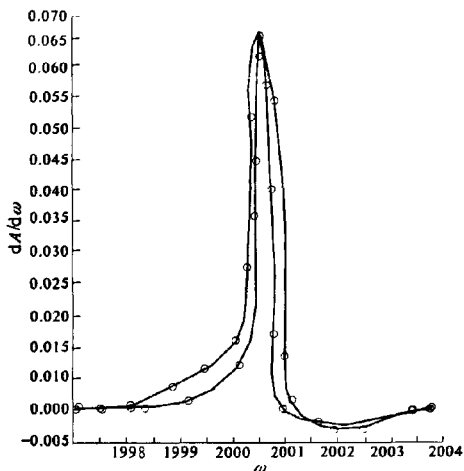


图5 控制系统试验结果

Fig.5 The result of control system test

5 结论

(1)设计的参数自调整模糊控制器能实现振幅、频率在线模糊调节,使桩锤在沉桩作业过程中

自动处于桩-土近共振状态。仿真结果表明,参数自调整模糊控制器与普通模糊控制器相比,前者所需时间比后者减少了60%,超调降低了70%。实验结果表明,参数自调整模糊控制器运算所需时间减少了46%,超调降低了60%。

(2)采用模糊控制实现振幅在线监测、运算,频率在线模糊调节使桩锤在沉桩作业过程中自动处于桩-土近共振状态,提高了振动桩锤的工作效率。

参考文献:

- [1] 罗春雷. 液压振动桩锤沉桩动力学及调频调矩控制研究[D]. 长沙:中南大学机电工程学院,2005: 81-95.
- [2] 兰毓番. 我国桩工机械的现状与发展[J]. 建筑机械化,2002(1):13-16.
- [3] 罗春雷. 一种桩架无共振的液压振动桩锤及其液压控制系统[J]. 建筑机械,2005, 12:83-85.
- [4] COYLE H M. Empirical damping constants of sands and clays [J]. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 2001, 21(5):200-208.
- [5] 王会芬. 尾矿坝砂土液化机理及其判别方法研究[J]. 施工技术,2010,39:672-675.
- [6] 倪振华. 振动力学[M]. 西安:西安交通大学出版社,1988.
- [7] 李向明,陈红珍,刘明兰. 自校正自调整PID模糊控制器仿真研究[J]. 武汉理工大学学报:信息与管理工程版,2003,25(3):74-77.
- [8] 张国良. 模糊控制及其MATLAB应用[M]. 西安:西安交通大学出版社,2002.

Study on Pile-soil's Near-resonant Piles Fuzzy Controller

LUO Chun-lei^{1,2}, FAN Zeng-hui¹, HE Jian-chao¹, WU Wei-chuan¹, ZHANG Yi¹

(1. Department of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, Chang sha 410083, China; 2. Changsha shi Hukun Construction Machinery Co., Ltd. Changsha 410014, China)

Abstract: Aiming to solve the problem of significant soil parameter changes influence the efficiency of Vibration, based on the research into the geological characteristics of ground soil, a new fuzzy controller is designed. Based on the on-line adjustment of changing in frequency, this controller has fast and accurate response and strong anti-interference ability for the pile hammer in the process of pile driving. The purpose of improving the working efficiency of the pile hammer is achieved. The simulation and the field test result indicate that this parameter self-adjusting fuzzy controller used in the research of the on-line identify the frequency of near-resonant vibration can achieve better result than ordinary fuzzy controller.

Key words: pile hammer; nearly resonance pile; fuzzy control; simulation