

文章编号:1673-9469(2012)02-0029-04

PHC管桩极限承载力影响因素敏感性分析

许旭堂¹,吴能森¹,崔广强²,樊灿宁¹,肖勇杰¹

(1. 福建农林大学交通学院,福建福州 350002;2. 福建农林大学金山学院,福建福州 350002)

摘要:利用 GA-BP 神经网络,结合正交试验设计方法,对以淤泥层和残积粘性土层为主的福建某地区桩侧土层,承载性状为端承摩擦型的 PHC 管桩实际工程,进行 PHC 管桩单桩承载力影响因素的敏感性分析。结果表明,影响单桩竖向极限承载力因素的敏感性排序为桩径、桩侧摩阻力加权平均值、休止期、桩长、入土深度、渗透系数和终止压桩力;桩径和桩侧摩阻力值对单桩竖向极限承载力的贡献最大,其次是休止期,影响也很显著,因此工程上不宜盲目提前试桩时间,否则将影响试桩结果。

关键词:PHC 管桩;单桩承载力;敏感性分析;GA-BP 神经网络;正交试验设计

中图分类号:TU473.11

文献标识码:A

Sensibility analysis of affecting factors on the ultimate bearing capacity of prestressed high-strength concrete pipe-pile

XU Xu-tang¹, WU Neng-sen¹, CUI Guang-qiang², GONG Can-ning¹, XIAO Yong-jie¹

(1. Transportation College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fujian Fuzhou 350002, China;

2. Jinshan College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fujian Fuzhou 350002, China)

Abstract: The GA-BP neural network and the orthogonal test design method were used to analyze the sensitivity of affecting factors of the bearing capacity of PHC piles in a area of Fujian province, in which the pile's bearing behavior belongs to end bearing-friction type and the pile shaft teems with mucky soil and residual cohesive soil layers primarily. The main conclusions are as follows: ①according to priority, the sensitivity order of the influence factors on vertical bearing capacity of the single pile are pile diameter, the weighted average of pile shaft resistance values, resting stage, pile length, buried depth of pile, permeability coefficient and final pile static pressure; ②the contribution of pile diameter and pile shaft resistance value to vertical bearing capacity of the single pile is the largest, resting stage is in the next place which influence is also very notable, so the pile test time should not be in advance blindly, otherwise the pile test results would be affected objectivity.

Key words: PHC pipe-pile; bearing capacity of single pile; analysis of sensibility; GA-BP neural network; orthogonal design

当前,静压桩在我国各地区的用量越来越广泛,尤其是 PHC 管桩的应用更在各类桩型中占据明显优势^[1]。基础工程的首要问题是稳定问题。研究表明,影响 PHC 管桩稳定性的因素包括桩长、桩径、入土深度、侧摩阻力和端阻力等^[2-4],即桩基失稳的机理和模式与这些影响因素有密切的关

系。我国有很多的学者利用桩基试验、纯数学理论和交叉学科等方法,建立了多种桩基承载力预测模型^[5-9],但很少对影响桩基承载力的诸因素进行敏感性分析研究。诚然,根据规范的经验公式可以分析一些单因素对桩基承载力的影响,但实际上有些影响因素在经验公式中并未得到体

收稿日期:2011-12-18

基金项目:福建省自然科学基金项目(2007J0351);福建省教育厅科技项目(JA09073);福建农林大学青年教师科研基金项目(2009082)

作者简介:许旭堂(1986-),男,福建安溪人,硕士研究生,从事岩土工程方面的研究。

现,而且各影响因素的敏感性也不尽相同。为此,根据实际工程的试桩资料,通过建立预测桩基承载力的 GA-BP 网络,结合正交试验设计法,对影响 PHC 管桩承载力的各主要影响因素进行敏感性分析。

1 神经网络和正交试验设计理论简介

1.1 BP 和 GA-BP 神经网络^[10]

BP 神经网络是目前应用最广泛的人工神经网络,由输入层、隐层和输出层组成(图 1)。输入层有 n 个输入信号,每个输入信号用小圆圈(圆圈也代表神经元)表示,输出层有一个输出信号,输入与输出层的节点数根据具体问题而定,一般情况下隐含层个数 $m(m=2n+1)$ 。层与层之间的节点通过权值调节,各神经元之间的数据变换函数一般为 Sig-moid 函数。

然而 BP 算法在应用中暴露出不少内在的缺陷,如容易形成局部极小而得不到全局最优,学习效率低,收敛速度慢;训练时学习新样本有遗忘旧样本的趋势。因此,可以通过遗传算法来对 BP 神经网络的权值、阈值进行优化,即 GA-BP 神经网络,然后再用 BP 算法训练网络,将初步得到的权值矩阵赋给尚未开始训练的 BP 网络。

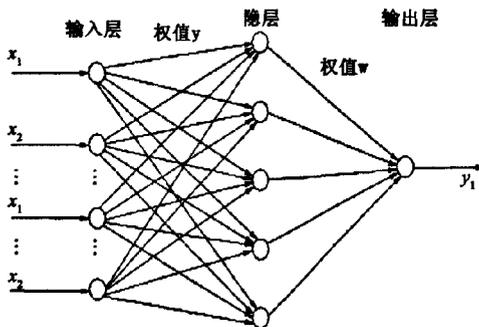


图1 三层BP 网络

Fig.1 Three layers of BP network

1.2 正交试验设计理论^[11]

正交试验设计是利用正交表来安排与分析多因素试验的一种设计方法。它是由试验因素的全部水平组合中,挑选部分有代表性的水平组合进行试验的,通过对这部分试验结果的分析了解全面试验的情况,找出最优的水平组合。

正交表是正交试验的分析工具,它具有正交性、代表性和综合可比性 3 种性质。具体表现在:

(1)任一列的各水平出现的次数相等;任两列间所有水平组合出现次数相等;(2)任一列或任两列的各水平都出现,确保部分试验中包括了所有因素的所有水平,使得任意两因素间的试验组合为全面试验。因此用正交表安排的试验,具有均衡分散和整齐可比的特点。

2 单桩承载力影响因素敏感性分析

2.1 GA-BP 网络和正交试验模型

根据文献[24],影响 PHC 单桩竖向承载力的主要因子可归纳为:桩径、桩长、入土深度、侧摩阻力、端阻力、压桩力、渗透系数和休止期,即网络的输入层节点数 $n=8$,隐含层节点数 $m=17$,而输出层为单桩极限承载力值,节点数 $k=1$,则网络结构为 $8-17-1$ 。采用浮点数编码方式,每个个体均为一个实数串,个体包含了神经网络全部权值和阈值。在网络结构已知的情况下,就可以构成一个结构、权值、阈值确定的神经网络。遗传算法编码长度 $S(S=n \times m + m \times k + m + k)$ 为 171。个体适应度值可取预测输出和期望输出之间的误差绝对值之和,经多次验算得到较优的网络参数为:种群规模 50,遗传代数 100,交叉概率 P_c 取 0.4,变异概率 P_m 取 0.1,动量参数取 0.1,学习率取 1.05。

选定 8 个影响因素,各因素的位极水平为 7 个(表 1),选用正交表为 $L_{49}(7^8)^{[11]}$ 。

2.2 应用实例及分析

2.2.1 工程算例

选用福建某地区实际工程的 58 根 PHC 管桩的相关数据进行神经网络学习。采用带动量项的 GA-BP 网络进行训练,经过 1239 步学习收敛,精度达 0.01,训练误差随训练次数变化曲线见图 2。训练好的网络确定了各输入、输出层间的权重和阈值。

以该地区具有代表性的土层(淤泥层和残积粘性土层都比较厚)和比较常用的 PHC500-100 管桩(88#工程桩)为例,其相关参数见表 1。基本数据按照表 1 的位极进行组合后形成 49 组样本,用已经训练好的 GA-BP 网络对组合样本进行试验,输出的单桩极限承载力值见表 2。把相同水平下的各因素的均值作为每个因素在不同水平下的

预测值,反映各因素变化情况的极差值为同一因素不同水平下均值的最大值与最小值之差,结果如表 3 所示。由于各因素变化的范围在同一幅度内,所以极差的大小就代表敏感性的大小。由表 3 可见,影响单桩竖向极限承载力的因素敏感性排序为:桩径、桩侧摩阻力加权平均值、休止期、桩长、入土深度、渗透系数和终止压桩力,其中桩径和桩侧摩阻力值的影响最为敏感,其次是休止期。

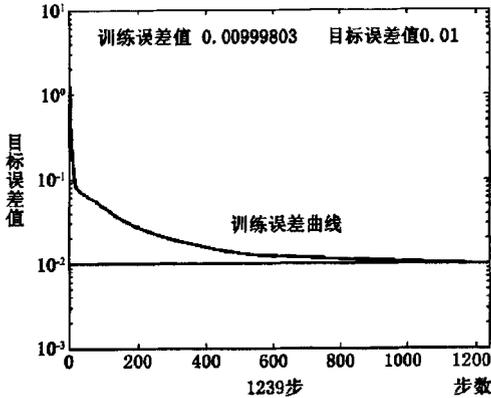


图2 训练误差与训练次数关系图
Fig.2 The relationship between training error and training times

2.2.2 结果分析

桩的极限承载力 Q_u 由桩侧极限阻力 Q_{su} 和桩端极限阻力 Q_{pu} 组成,设桩侧单位平均极限侧阻力为 \bar{q}_{su} ,桩端单位极限阻力为 q_{pu} ,则 Q_u 可表示为:

$$Q_u = \bar{q}_{su} d^2 \left(\frac{l}{d} \right) + q_{pu} A_p \quad (1)$$

式中: d - 桩径; l - 桩长; A_p - 桩截面积。

由表 1 可知,工程桩的长径比 l/d 为 61.7 ~ 63,介于 40 和 100 之间,属于长桩。桩顶竖向荷载,随着 l/d 的增大,传递到桩端的荷载减小;对均

匀土层中的长桩,桩顶竖向荷载基本由桩侧阻力承担,桩端阻力分担的荷载趋于零^[12]。上述工程桩的土层不均匀,上部为淤泥层,下部残积粘性土层,由于上部淤泥层的极限侧阻力有限,而下部的残积粘性土层的侧阻力不能完全发挥,因此端阻力的敏感性很弱,即 $Q_u \approx \bar{q}_{su} d^2 \left(\frac{l}{d} \right)$ 。也就是说,在长径比 l/d 一定的条件下, Q_u 分别与桩径 d 的平方及桩侧单位平均极限侧阻力 \bar{q}_{su} 成正比。

淤泥和残积粘性土都具有很强的结构性,在压桩过程中受扰动强度降低,但成桩后会随着间歇时间(休止期)而得到逐步恢复^[12-13],从而使成桩的侧阻力增加,因此休止期对 Q_u 的影响也比较敏感。桩长和入土深度对 Q_u 的影响主要表现在 l/d 上,由于本工程桩属于长桩,且 l/d 值基本恒定,因此其敏感性的影响不突出;渗透系数大小会影响孔隙水压力的消散,影响桩侧土的固结度,进而影响桩侧极限阻力,但由于本工程桩侧土的渗透系数在 $0.642 \times 10^{-6} \sim 1.284 \times 10^{-6}$ cm/s 范围内,属于弱透水性,在较短的 612 d 休止期内,孔压消散不明显,因此其敏感性也很弱。至于终止压桩力,由于压桩过程的扰动和破坏作用,桩侧阻力小,终止压桩时其阻力以桩端坚硬土层或岩层的阻力为主,这与工程桩的实际承载性状差异很大,因此其相关性差,敏感性最弱。

3 结语

1) 对桩侧以淤泥层和残积粘性土层为主,承载性状为端承摩擦型的 PHC 管桩,其影响单桩竖向极限承载力因素的敏感性排序为:桩径、桩侧摩阻力加权平均值、休止期、桩长、入土深度、渗透系数和终止压桩力。

表 1 因素位级组合表

Tab. 1 The combination table of factor levels

水平	位级/%	桩径/m	桩长/m	入土深度 /m	平均侧阻力 /kPa	端阻力 /MPa	终止压桩力 /MN	渗透系数 / 10^{-6} (cm·s ⁻¹)	休止期 /d
1	-40	0.3	19	18.84	36.414	5.34	1.8432	0.642	6
2	-30	0.35	22	21.98	42.483	6.23	2.1504	0.749	7
3	-20	0.4	25	25.12	48.552	7.12	2.4576	0.856	8
4	-10	0.45	28	28.26	54.621	8.01	2.7648	0.963	9
5	0	0.5	31	31.4	60.69	8.9	3.072	1.07	10
6	10	0.55	34	34.54	66.759	9.79	3.3792	1.177	11
7	20	0.6	37	37.68	72.828	10.68	3.6864	1.284	12

表2 极限承载力正交试验结果汇总

Tab. 2 The summary of ultimate bearing capacity of orthogonal test results

组号	Q_u/MN												
1	3.1086	8	3.2647	15	3.2028	22	3.5953	29	4.7952	36	6.3594	43	7.3334
2	2.9172	9	3.1204	16	2.7947	23	3.8104	30	5.8298	37	3.5495	44	4.168
3	2.8282	10	4.191	17	5.2991	24	3.2186	31	4.5234	38	4.5762	45	3.5444
4	3.3894	11	3.4796	18	2.5761	25	3.3345	32	3.4105	39	3.6206	46	4.4761
5	2.9635	12	3.6342	19	3.6393	26	4.7969	33	4.0045	40	5.4666	47	3.582
6	3.7128	13	3.3772	20	5.3254	27	5.2977	34	5.4679	41	4.19	48	3.524
7	2.8569	14	4.7193	21	2.3358	28	3.8651	35	5.8658	42	5.6451	49	4.8729

表3 单因素变化对应的极限承载力(MN)

Tab. 3 The ultimate bearing capacity corresponded with single factor changing unit: MN

水平	因素							
	桩径	桩长	入土深度	平均侧阻力	端阻力	终止压桩力	渗透系数	休止期
1	3.1109	4.5228	4.3007	3.5346	3.9683	3.9641	4.2114	3.9333
2	3.6837	3.7414	3.5692	3.6501	4.4235	4.2585	4.1458	3.5051
3	3.5961	4.0258	4.0610	3.8649	3.8579	3.9268	3.9857	3.8816
4	3.9883	3.4695	3.9440	3.8097	4.3115	4.0917	3.5424	3.8791
5	4.8424	4.0124	4.2388	3.8694	3.8292	3.9936	4.0005	4.0147
6	4.7725	4.4135	4.3148	4.4319	4.1691	4.0070	4.1158	4.5197
7	4.5001	4.3087	4.0877	5.3336	3.9346	4.2523	4.4925	4.7039
极差	1.6615	0.8392	0.7456	1.5239	0.4823	0.3317	0.6034	1.1988
排序	1	4	5	2	7	8	6	3

2) 桩径和桩侧摩阻力值对单桩竖向极限承载力的贡献最大,而休止期的影响仅次二者,也很显著。这点有时往往不为人们所重视,甚至忽视时间效应的影响,盲目提前试桩时间,会影响试桩结果。

3) 采用 GA-BP 神经网络,结合正交试验设计法分析影响桩基承载力因素的敏感性,能够有效地对 BP 神经网络的权值、阈值进行优化,克服了 BP 算法的内在缺陷,而且能有效的节省计算工作量,具有实用价值。

参考文献:

- [1] 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] 马利耕. 开口型预应力混凝土管桩竖向承载力分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2009.
- [3] 张明义, 时伟, 王崇革, 等. 静压桩极限承载力的时效性[J]. 岩石力学及工程学报, 2002, 21(增2): 2601-2604.
- [4] 张雁, 刘金波. 桩基手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [5] 朱守鹏, 刘齐茂. 桩-土-结构相互作用研究综述及展望[J]. 四川理工学院学报: 自然科学版, 2011, 24(3): 253-257.
- [6] 律文田, 王永和, 冷伍明. PHC 管桩荷载传递的试验研究和数值分析[J]. 岩土力学, 2006, 27(3): 466-470.
- [7] 左宏亮, 刘景云, 李国东, 等. 松花江漫滩地区静压 PHC 管桩竖向承载力[J]. 沈阳建筑大学学报, 2009, 25(6): 1088-1093.
- [8] 李万庆, 李铮. 基于熵权法的 PHC 管桩承载力组合预测[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2011, 28(1): 64-67.
- [9] 卓维松. 泉州市区 PHC 桩竖向抗拔极限承载力预测[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2011, 28(2): 14-18.
- [10] 袁曾任. 人工神经网络及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [11] 陈魁. 试验设计与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [12] 莫海鸿, 杨小平. 基础工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [13] 吴能森. 结构性花岗岩残积土的特性及工程问题研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2005.

(责任编辑 马立)