



基于基桩振动参数和投影寻踪法的 基桩承载力预测方法*

蒋建平, 魏建华

(上海海事大学 海洋环境与工程学院, 上海 201306)

摘要: 基于投影寻踪法对基桩承载力进行了预测。以基桩承载力为因变量, 以锤击力最大值、传递给基桩的最大能量值、基桩顶最大动位移、Zv最大值、基桩入土深度、桩径为自变量, 得出了基桩承载力的投影寻踪预测模型。研究发现, 通过32组实测数据训练后, 投影寻踪模型的基桩承载力预测值与高应变动测法实测值的相对误差为 $\pm 0.071\ 83\%$; 该模型对6组验证数据的预测值与静载试验实测值、高应变动测法实测值的相对误差分别为 $\pm 7.352\ 97\%$ 和 $\pm 6.0111\ 21\%$ 。结果表明, 该投影寻踪法预测模型是精确的和可靠的, 投影寻踪法是一种较为优越的方法, 值得在基桩承载力的预测中推广应用。

关键词: 基桩承载力; 投影寻踪法; 振动参数; 预测

中图分类号: TU 473

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)04-0173-06

Prediction of bearing capacity of pile based on pile vibration parameters and projection pursuit method

JIANG Jian-ping, WEI Jian-hua

(College of Ocean Environment and Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Based on vibration parameters of pile and projection pursuit method, this paper carries out a prediction analysis on the bearing capacity of pile. Taking the maximal value of impact pile driving force, the maximal energy value of pile transferred by hammer, the maximal dynamic displacement of pile peak, the maximal value of Zv, depth of pile in soil, pile diameter as independent variables, and bearing capacity of pile as dependent variable, the prediction model of bearing capacity based on projection pursuit method is obtained. It is found that, the relative error of prediction value (or fitting value) of bearing capacity of pile is $\pm 0.071\ 83\%$ compared with the observed value by dynamometry for 32 groups of independent variables training model, and the relative error were $\pm 7.352\ 97\%$, $\pm 6.011\ 21\%$ respectively compared with the observed value by static test and dynamometry for 6 groups of independent variables validating projection pursuit model. The following conclusion can be drawn that, the prediction model is accurate and credible, and the projection pursuit method is a better method, and it is worthy to spread its application in the prediction analysis of bearing capacity of pile.

Key words: bearing capacity of pile; projection pursuit method; vibration parameters; prediction

桩基础是一种既古老又现代的重要的地基基础形式^[1-4]。桩基础动力测试是岩土工程领域的重大课题, 是保证基础工程质量的重要手段, 该动力测试技术的运用对于各类建筑物基础设计乃至

上部结构的设计起着举足轻重的作用^[5-9]。长期以来, 我国一直采用静载荷试验来确定单桩承载力。但静载试验有动用设备多、耗费大、试验周期长、场地要求高、抽样率低等缺点。由于这些

收稿日期: 2012-10-01

*基金项目: 上海海事大学科研基金项目(20120074); 港口、海岸及近海工程校重点学科项目(A2120016001X)

作者简介: 蒋建平(1966—), 男, 博士后, 副教授, 主要从事岩土工程、港航工程方面的教学和研究工作。

不足，它已无法满足基础工程日益发展的需要，寻找一种经济、简便、快速、可靠的测试方法已成为理论界和工程界共同的愿望。桩基动测方法正是在这种背景下迅速发展起来的。

动测方法主要有共振法、锤击贯入法、机械阻抗法、水电效应法和波动方程法等。高应变动测法是用重锤在适当的高度自由下落打击桩顶，使基桩土产生塑性形变位移，接受其加速度和力应变信号，通过波动方程求解，直接计算与基桩运动相关的土的静、动阻力，求出单桩极限承载力，还可对基桩身完整性做出准确评价。

投影寻踪 (projection pursuit, PP) 技术是一种多因子建模新技术。其对统计数据不需要作任何假定、任何变换等人为干预，而是利用计算机自动地寻找使投影指标达到最大或者最小的投影方向，将高维数据点向这个投影方向进行投影而得到低维数据，得到的投影既能尽量保留原高维数据的信息，又能反映出数据的内部结构信息。它客观地审视数据结构，充分获取非正态、非线性的有用信息，并以数值函数描述其结构后再用于预测^[10-12]。投影寻踪法的预测效果一般比BP神经网络的效果更优越^[11]。目前投影寻踪在各个领域得到了广泛的应用^[13-15]。

本文根据桩基础动测法获得的基桩振动参数，采用投影寻踪法建立模型，来预测桩基础的承载力。

1 投影寻踪法原理

设 $y=f(\mathbf{x})$ 和 $\mathbf{x}=(x_1, x_2, \dots, x_p)$ 分别为一维和 P 维随机变量。为能客观反映高维非线性数据结构特征，投影寻踪采取一系列岭函数 $G_m(Z)$ 的和来逼近函数的方法，即：

$$f(x) \sim \sum_{m=1}^M \beta_m G_m(Z_m) = \sum_{m=1}^M \beta_m G_m\left(\sum_{j=1}^P \alpha_{mj} x_j\right) \quad (1)$$

式中： M 为岭函数的个数； β_m 为第 m 个岭函数的权重系数； $Z_m = \sum_{j=1}^P \alpha_{mj} x_j$ 是岭函数 G_m 的自变量，它是 P 维向量 \mathbf{x} 在 \mathbf{a} 方向上的投影， α_{mj} 为 \mathbf{a} 的第 j 个分量。为确定式(1)中参数 α_{mj} 、 β_m 、 G_m 和 M ，PPR仍采用最小二乘法判别准则进行极小化判别，使式(2)为最小。

$$L_2 = E \left[y - \sum_{m=1}^M \beta_m G_m(\alpha_{mj} x_j) \right]^2 \quad (2)$$

将参数分为若干组，除去其中一组外，均给定初值。然后对留下的一组参数寻优。求得结果后，将这组参数的极值点作初值，另选一组参数在这一初值下寻优，多次反复直到最后选取的一组参数使得 L_2 达到最小。通过以上计算，可以确定出PPR的具体预测模型。

2 样本资料的获取

以厦门某工地的38根混凝土预制基桩的高应变实测结果作为样本，其中有6根基桩做了静载荷试验，将其作为检验样本，剩下的32根基桩均以高应变试验结果作为训练样本^[6]。训练样本见表1。

表1 训练模型的实测数据及计算值与实测值的比较

锤击力 最大值/kN	传递给基桩的 最大能量值/(kN·m)	基桩顶最大 动位移/mm	Zv最大值/kN	基桩入土 深度/m	桩径/mm	高应变试验 结果/kN	投影寻踪法的 预测值/kN	相对误差/%
3 359	21.86	2.93	3 201	24.4	500	2 989	2 989.498 4	0.016 675
3 468	25.95	3.12	3 015	26.0	500	2 843	2 843.289 7	0.010 190
3 672	30.85	2.74	3 554	30.0	500	2 957	2 956.069 7	-0.031 460
3 791	33.13	3.22	3 879	30.4	500	3 063	3 062.994 5	-0.000 180
3 632	28.75	2.41	3 544	28.0	500	2 893	2 893.340 4	0.011 766
2 023	15.78	2.85	2 059	25.7	400	1 919	1 918.248 1	-0.039 180
1 961	17.13	3.10	1 902	25.5	400	1 801	1 801.727 3	0.040 384
1 993	14.54	2.88	1 900	24.5	400	1 820	1 819.953 5	-0.002 550
2 110	18.01	2.77	2 031	26.1	400	2 031	2 029.028 6	-0.097 070
1 791	13.13	2.10	1 602	25.5	400	1 731	1 732.490 7	0.086 116
3 334	22.68	3.13	3 227	25.0	500	3 129	3 128.939 0	-0.001 950
3 412	25.33	3.02	3 315	25.1	500	2 953	2 954.929 9	0.065 355
3 762	30.85	4.14	3 654	24.6	500	3 033	3 033.030 7	0.001 013
3 455	32.11	3.27	3 379	24.4	500	3 122	3 121.366 5	-0.020 290
3 657	27.65	2.63	3 589	25.3	500	3 220	3 219.608 4	-0.012 160

续表

锤击力 最大值/kN	传递给基桩的 最大能量值/(kN·m)	基桩顶最大 动位移/mm	Z _v 最大值/kN	基桩入土 深度/m	桩径/mm	高应变试验 结果/kN	投影寻踪法的 预测值/kN	相对误差/%
2 256	17.12	2.93	2 195	25.2	400	1 887	1 887.719 7	0.038 140
1 986	14.13	3.05	1 832	25.5	400	1 803	1 803.683 0	0.037 884
1 955	15.54	2.73	2 080	24.5	400	1 842	1 842.296 7	0.016 107
2 343	18.5	3.37	2 219	25.1	400	2 101	2 089.189 6	-0.562 130
2 251	13.25	2.74	1 952	25.2	400	1 931	1 930.414 1	-0.030 340
2 331	16.12	3.13	2 220	24.3	400	2 007	2 019.327 4	0.614 222
2 454	15.53	3.24	2 356	25.0	400	2 053	2 053.637 5	0.031 052
2 230	15.79	2.93	2 108	24.8	400	1 814	1 817.382 8	0.186 485
2 357	18.36	3.07	2 266	25.0	400	1 932	1 929.209 5	-0.144 440
2 249	14.51	2.67	2 208	25.0	400	1 901	1 901.166 1	0.008 736
2 103	13.78	2.65	2 078	25.2	400	1 819	1 819.178 9	0.009 833
2 252	16.23	3.11	2 012	25.2	400	1 981	1 981.198 2	0.010 007
2 395	20.59	2.99	2 160	24.8	400	2 020	2 016.968 0	-0.150 100
2 511	20.11	3.17	2 431	26.1	400	2 131	2 129.234 0	-0.082 870
2 456	17.63	2.80	2 202	25.5	400	2 031	2 032.248 9	0.061 490
2 433	16.42	3.17	2 330	24.3	400	2 010	2 009.435 9	-0.028 060
2 345	15.4	2.54	2 310	25.0	400	2 028	2 028.194 1	0.009 569

注: Z_v为桩身轴力, 其中Z为桩身阻抗, v为速度。

3 投影寻踪法参数设置、模型拟合与预测

3.1 投影寻踪法参数设置及模型训练

设置投影寻踪分析的相关参数, 搜索网格方向数为5 000; 从表1看出, 因变量数为6, 因此设定投影数为6; 反复迭代次数为1, 单纯形搜索次数为50, Bootstrap抽样次数为3, 非参数回归Lambda为1。

将表1中训练模型的数据投入训练。训练完成后, 得到了投影1~6的权重系数和规格化WSS(表2)。

表2 各个投影的权重系数和规格化WSS

投影	权重系数	规格化WSS
1	26 110.171 6	1.000 0
2	7 978.123 8	0.305 6
3	3 624.065 1	0.138 8
4	1 671.683 9	0.064 0
5	786.618 7	0.030 1
6	339.631 9	0.013 0

训练完成后, 得到的各个投影的投影系数如表3所示。

表3 各个投影的投影系数

变量	投影1	投影2	投影3	投影4	投影5	投影6
x ₁	0.105 0	0.443 0	0.912 4	0.520 3	0.711 0	0.646 4
x ₂	-0.086 5	-0.005 9	0.247 2	0.206 4	0.266 0	0.151 8
x ₃	0.091 5	-0.028 8	0.162 7	0.043 9	0.003 9	0.062 9
x ₄	0.977 9	-0.872 5	-0.240 1	-0.697 8	-0.628 1	-0.710 6
x ₅	-0.092 1	-0.054 6	0.100 8	0.096 1	-0.136 7	-0.076 3
x ₆	-0.081 9	0.192 1	0.044 5	0.426 1	0.016 3	-0.185 6

表4为训练完成后的投影寻踪模型的有关统计表。表中Y是观察值, Y_{hat}是拟合值, p_{x1}~p_{x6}是变量x₁~x₆的投影值, f₁~f₆根据p_{x1}~p_{x6}计算出来的x₁~x₆的投影函数值。

投影寻踪模型统计量GCV得分为2.296 8, 对数似然估计值(Lg likelihood)为-83.208 0。

为对模型进行进一步的诊断, 还进行了3次

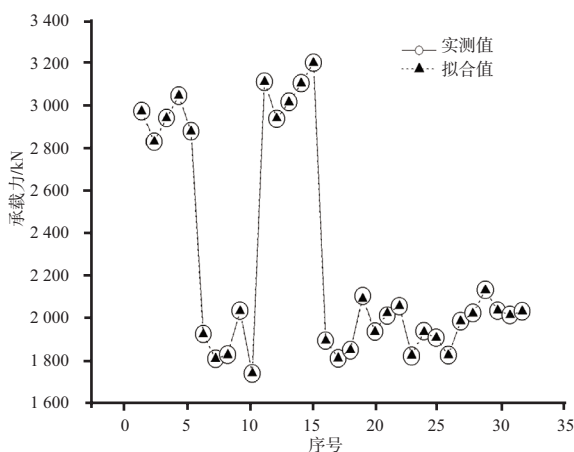
Bootstrap抽样。根据Bootstrap抽样, 给出了每次Bootstrap抽样的各个自变量在各投影上的投影系数, 以及均值和标准误差。

3.2 投影寻踪模型的拟合效果分析

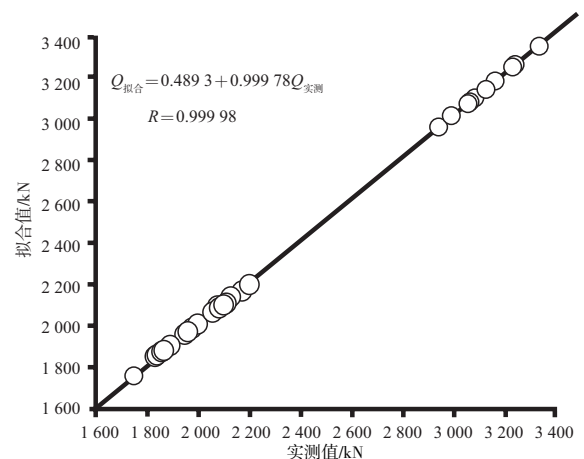
用表1中的第1列~第7列的32组训练模型数据完成训练后, 得到了基桩承载力的拟合值, 如表1中的第8列。从表1的第9列和图1可看出, 与实测

表4 投影寻踪模型的有关统计量

Y	Y_{hat}	p_{s1}	f_1	p_{s2}	f_2	p_{s3}	f_3	p_{s4}	f_4	p_{s5}	f_5	p_{s6}	f_6
2 989.000 0	2 989.498 4	3 438.097 3	3 015.945 0	-1 210.414 4	-22.470 7	2 326.782 5	-4.062 6	-265.881 0	0.533 7	388.460 1	-1.767 5	-194.408 2	1.320 6
2 843.000 0	2 843.289 7	3 267.182 4	2 842.103 6	-999.959 3	0.039 3	2 472.105 0	1.341 0	-78.380 7	1.905 4	583.649 2	-2.387 2	8.736 8	0.287 7
2 957.000 0	2 956.069 7	3 814.844 6	2 977.851 8	-1 380.108 9	-14.891 4	2 530.360 8	1.750 6	-346.957 7	-5.573 4	390.922 2	-1.523 3	-241.987 9	-1.544 8
3 063.000 0	3 062.994 5	4 144.955 5	3 062.414 3	-1 611.008 1	0.490 6	2 561.578 1	-3.427 5	-511.286 6	3.589 0	271.964 3	-0.344 3	-395.660 7	0.272 4
2 893.000 0	2 893.340 4	3 801.200 3	2 903.680 7	-1 388.972 1	-7.382 5	2 495.490 6	5.691 7	-361.431 4	-6.705 6	368.476 3	-2.772 9	-260.926 6	0.829 0
1 919.000 0	1 918.248 1	2 189.651 5	1 919.318 6	-825.079 2	10.290 2	1 376.174 3	-4.126 1	-207.873 5	0.393 5	152.385 8	-6.686 0	-229.014 2	-0.942 1
1 801.000 0	1 801.727 3	2 029.541 2	1 810.721 0	-715.564 7	4.659 7	1 357.659 0	-10.952 4	-130.311 9	2.159 6	207.297 2	-1.516 4	-157.293 4	-3.344 1
1 820.000 0	1 819.953 5	2 031.242 6	1 812.052 9	-699.567 9	-2.653 7	1 386.560 2	0.970 2	-112.907 9	6.581 6	230.752 3	2.176 8	-135.516 7	0.825 8
2 031.000 0	2 029.028 6	2 171.172 9	1 987.260 8	-762.142 0	28.584 8	1 462.857 7	6.635 9	-142.576 7	11.199 9	232.367 0	1.811 4	-152.573 7	-6.464 3
1 731.000 0	1 732.490 7	1 718.584 0	1 731.047 8	-529.067 1	-0.096 4	1 273.435 2	0.816 6	-10.300 5	-1.955 9	273.778 1	2.630 3	-54.678 6	0.048 3
3 129.000 0	3 128.939 0	3 460.787 6	3 094.240 8	-1 244.217 6	25.764 4	2 298.024 1	7.801 1	-296.794 0	0.207 9	354.492 3	1.862 7	-228.953 7	-0.938 0
2 953.000 0	2 954.929 9	3 554.783 0	2 971.231 0	-1 286.463 5	-9.3532	2 348.708 8	-5.442 4	-317.063 4	-1.529 5	355.371 7	1.627 0	-240.676 2	-1.602 9
3 033.000 0	3 033.030 7	3 922.708 6	3 043.998 4	-1 427.236 7	5.1715	2 588.1491	-14.937 7	-370.366 3	0.124 0	392.849 8	-1.343 8	-254.367 9	0.018 3
3 122.000 0	3 121.366 5	3 621.383 0	3 108.757 5	-1 323.264 9	6.6625	2 374.2206	3.464 8	-338.004 8	-1.421 4	347.649 1	3.484 0	-257.259 1	0.419 2
3 220.000 0	3 219.608 4	3 848.193 4	3 181.738 6	-1417.0129	15.3749	2 506.9870	8.428 5	-380.300 7	11.874 1	358.065 9	0.807 4	-276.689 7	1.384 9
1 887.000 0	1 887.719 7	2 347.050 4	1 941.926 3	-840.507 7	-32.275 3	1 556.405 4	-17.675 3	-181.312 1	-10.396 3	233.057 7	1.638 0	-174.787 8	4.502 5
1 803.000 0	1 803.683 0	1 963.972 4	1 801.597 1	-643.395 2	-2.814 8	1 396.529 4	2.519 0	-69.083 2	1.113 2	268.238 4	-4.090 3	-91.848 8	5.358 8
1 842.000 0	1 842.296 7	2 203.164 2	1 863.020 1	-873.454 6	-23.763 1	1 308.886 7	0.379 6	-258.075 5	2.079 8	90.948 1	0.242 8	-287.847 4	0.337 5
2 101.000 0	2 089.189 6	2 379.587 2	2 021.699 8	-822.923 6	14.646 8	1 630.426 0	24.691 4	-152.499 6	11.186 8	280.223 8	15.992 4	-135.356 8	0.972 4
1 931.000 0	1 930.414 1	2 109.224 7	1 937.744 5	-630.674 6	-4.130 2	1 609.208 3	1.185 3	-15.164 9	-2.349 2	381.091 9	-2.711 6	-5.943 4	0.675 5
2 007.000 0	2 019.327 4	2 379.562 1	2 021.654 2	-829.047 3	-0.211 9	1 618.528 7	10.324 8	-160.019 4	-2.557 3	270.539 0	-2.160 7	-144.140 1	-7.721 7
2 053.000 0	2 053.637 5	2 525.466 0	2 049.0903	-893.259 1	6.268 0	1 698.041 7	3.517 6	-190.970 4	-4.772 9	272.323 2	0.189 4	-161.405 4	-0.654 9
1 814.000 0	1 817.382 8	2 259.398 2	1 821.435 8	-776.087 4	7.701 1	1 553.204 9	-16.789 0	-134.447 1	4.343 6	268.914 1	-3.629 1	-129.944 5	4.320 4
1 932.000 0	1 929.209 5	2 427.010 5	1 967.502 1	-857.714 8	-44.091 4	1 631.820 2	25.924 0	-178.062 1	-12.164 5	260.634 1	-6.266 6	-159.737 4	-1.694 2
1 901.000 0	1 901.166 1	2 359.247 5	1 958.947 8	-854.917 4	-45.479 5	1 546.189 1	-14.110 6	-194.594 4	-3.135 7	219.247 8	2.214 3	-188.948 1	2.729 9
1 819.000 0	1 819.178 9	2 216.834 4	1 822.200 3	-806.173 1	12.776 9	1 444.028 6	-5.342 1	-179.978 4	-11.172 8	196.868 2	-1.436 2	-191.078 1	2.152 8
1 981.000 0	1 981.198 2	2 167.776 9	1 994.758 2	-682.610 5	-8.582 5	1 596.509 5	-7.682 6	-55.878 8	1.614 2	344.913 3	4.350 6	-47.457 4	-3.259 6
2 020.000 0	2 016.968 0	2 327.168 0	1 961.037 1	-748.395 4	41.326 3	1 692.464 6	6.206 0	-83.891 3	3.891 9	354.847 2	1.769 7	-59.500 0	2.737 0
2 131.000 0	2 129.234 0	2 604.288 1	2 131.257 8	-933.532 2	3.941 9	1 733.271 6	-8.503 5	-212.598 4	2.678 8	266.813 3	-4.864 8	-177.246 2	4.723 8
2 031.000 0	2 032.248 9	2 374.819 1	2 010.349 2	-758.033 8	34.015 1	1 737.345 0	-9.827 7	-82.012 4	3.106 1	370.955 7	-3.260 9	-50.426 9	-2.133 0
2 010.000 0	2 009.435 9	2 497.817 2	2 022.750 2	-879.841 6	-13.253 9	1 685.262 2	9.814 6	-183.641 1	-8.998 4	274.054 1	3.138 8	-156.320 9	-4.015 3
2 028.000 0	2 028.194 1	2 468.983 0	2 005.666 6	-901.388 2	13.736 5	1 609.487 3	1.416 6	-215.641 2	4.150 1	223.677 7	2.826 1	-199.243 8	0.398 2



a) 拟合值与实测值的比较



b) 拟合值与实测值的关系曲线

图1 拟合值与实测值的比较

值比较, 拟合值的效果好。

具体来说, 图1a) 显示, 32个拟合值数据点与实测值数据点吻合得好; 图1b) 显示拟合值与实测值的关系曲线几乎是过原点, 且与坐标轴成45°的直线, 也表明各个拟合值与实测值几乎都相等。

下面看拟合值与实测值之间的具体误差, 从表1的第9列可看出, 拟合值与实测值的相对误差

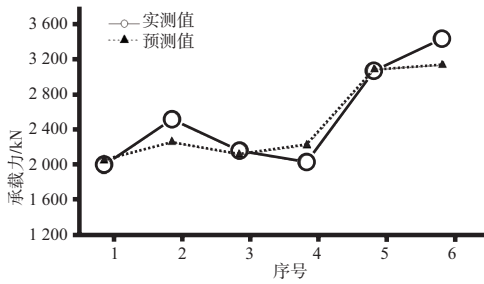
为-0.562 13%~0.614 222%, 相对误差绝对值的平均值为0.071 83%。

3.3 投影寻踪法模型验证和预测

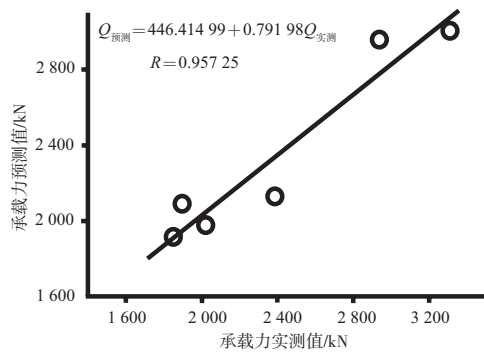
训练好的投影寻踪模型已经具备了预测基桩承载力的能力, 通过预测可以验证投影寻踪模型的效果。检验样本见表5。从表5、图2可看出, 与实测值比较, 预测值的效果较好。

表5 验证模型的实测数据及预测值与实测值的比较

锤击力 最大值/kN	传递给基桩的 最大能量值 /(kN·m)	基桩顶最大动 位移/mm	Zv最大 值/kN	基桩入土 深度/m	桩径/mm	静载试验 结果/kN	高应变 试验 结果/kN	投影寻踪法 的预测值/kN	与静载试验 结果的相对 误差/%	与高应变试验 结果的相对 误差/%
2 242	19.86	2.74	2 152	24.6	400	2 050	1 855	1 917.270 6	-6.474 60	3.356 906
2 558	24.95	3.02	2 415	25.0	400	2 310	2 384	2 127.647 2	-7.894 06	-10.753 100
2 372	22.85	2.94	2 254	25.0	400	2 140	2 022	1 982.713 3	-7.349 85	-1.942 960
2 445	23.37	3.12	2 379	25.2	400	2 200	1 893	2 091.607 7	-4.926 92	10.491 690
3 546	28.77	2.81	3 544	24.8	500	3 380	2 945	2 959.667 8	-12.435 90	0.498 058
3 619	25.78	3.25	3 559	25.0	500	3 170	3 309	3 010.376 7	-5.035 44	-9.024 580



a) 预测值与实测值的比较



b) 预测值与实测值的关系曲线

图2 预测值与实测值的比较

图2显示, 6个预测值数据点与实测值数据点吻合得较好。从表5中可看出, 验证投影寻踪模型用的6组自变量数据的因变量(即基桩承载力)的预测值与静载试验实测值、高应变动测法实测值的相对误差绝对值的平均值分别为7.352 97%、6.011 21%, 如表5中第10~11列所示。

4 结论

1) 对投影寻踪法, 通过32组实测数据训练后, 模型的基桩承载力预测值与高应变动测法实测值的相对误差一般为±0.071 83%。

2) 该模型对6组验证数据的预测值与静载试验实测值、高应变动测法实测值的相对误差分别为±0.7.352 97%和±6.011 21%。说明基于基桩振动参数, 用投影寻踪法预测基桩承载力是可行的。

参考文献:

- [1] 苏栋, 李霞, 李相崧. 桩-土水平相互作用的颗粒流数值研究[J]. 深圳大学学报: 理工版, 2006, 23(1): 42-47.
- [2] 蒋建平, 高广运. 基于现场试验的桩身总侧阻力达到极限后的退化[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(3): 633-642.
- [3] 潘健, 王兴斌, 刘利艳, 等. 基于节约理念的带桩筏基设计方法[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2007, 35(7): 137-142.
- [4] 蒋建平. 大直径灌注桩竖向承载性状[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2007.
- [5] 李强, 王奎华. 饱和土径向运动简化的桩纵向振动特性研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2008, 16(3): 446-456.
- [6] 刘鑫, 杨骁. 悬浮桩水平振动的动力刚度[J]. 岩土力学, 2008, 29(4): 1 021-1 026.
- [7] H R Msdoui, G Degrande. Numerical modeling of free

field vibrations due to pile driving using a dynamic soil-structure interaction formulation[J]. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2008, 215:503-511.

[8] Yusuf Yesilce, Hikmet H Catal. Free vibration of piles embedded in soil having different modulus of subgrade reaction[J]. Applied Mathematical Modelling, 2008, 32:889-900.

[9] Guocai Wang, Wei Ge, Xiaodong Pan, et al. Torsional vibrations of single piles embedded in saturated medium[J]. Computers and Geotechnics, 2008, 35:11-21.

[10] Satoshi Kuriki, Akimichi Takemura. The tube method for the moment index in projection pursuit[J]. Journal of Statistical Planning and Inference, 2008, 138(6):2 749-2 756.

[11] 杨永生, 何平. 投影寻踪与BP神经网络方法在前汛期降水预测中的比较研究[J]. 气象与环境学报, 2008, 24(1): 14-17.

[12] 唐启义, 冯明光. DPS数据处理系统——实验设计、统计分析及数据挖掘[M]. 北京: 科学出版社, 2007.

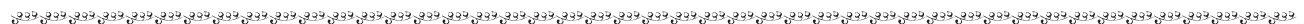
[13] 张鹏. 投影寻踪模型在地下水水质评价中的应用[J]. 地下水, 2012, 34(3): 27-28.

[14] 付忠广, 王建星, 靳涛. 基于投影寻踪原理的火电厂状态评估[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(17): 1-6.

[15] 曾一, 胡小威, 李鹃. 基于投影寻踪的 Web 软件复杂度度量[J]. 计算机应用, 2012, 32(3): 827-830.

[16] 曾华明. 基于BP神经网络的单桩极限承载力预测[J]. 土工基础, 2007, 21(5): 52-55.

(本文编辑 武亚庆)



· 消 息 ·

南通港建设投资将突破20亿

目前, 从江苏省南通市港口局获悉, 2013年南通市港口建设投资将突破20亿元, 将围绕做大海港、做强江港、江海组合、两翼齐飞的发展思路, 着力抓好港口开发建设, 确保在构建结构合理、功能完善、服务高效的江海组合港群上实现新突破。

锦州港拟增募14亿扩航道

辽宁省锦州港拟募资不超过14.67亿元, 用于“锦州港航道扩建工程项目”, 以及偿还银行贷款、补充流动资金。锦州港表示, “锦州港航道扩建工程项目”总投资为9.19亿元, 拟以募集资金投入4.2亿元, 根据项目可行性研究报告, 项目税前内部收益率为10.77%。剩余募集资金可以进一步改善公司财务状况, 增强公司流动资金实力。此外, 公司将积极尝试与西藏海涵在煤炭加工、仓储、物流领域展开深度合作。

湘潭将建五大港区

据湖南省湘潭市海事局透露, 2013年, 湘潭港口建设计划投资1亿元, 打造铁牛埠、易俗河、河西、荷塘以及九华五大港区, 建起长株潭“黄金水道”。湘潭还将调整港区结构, 与区域内铁路、公路及城市道路形成区域性综合交通枢纽, 真正意义上实现水路、公路、铁路无缝对接。同时, 湘潭将建成集水上救助基地、船舶服务区、垃圾回收处理站、锚地于一体的水上综合服务区。

摘编自《中国交通报》