

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2010.05.015

模糊聚类分析在群桩基础安全监控中的应用

唐 勇¹,陈志坚¹,宋崇能²

(1.河海大学地球科学与工程学院,江苏 南京 210098;2.淮河水利委员会水利水电工程技术研究中心,安徽 蚌埠 233001)

摘要:以苏通大桥为例,以不同施工阶段的桩顶实测轴力为依据,在不同工况条件下应用模糊聚类分析的方法对监测桩进行聚类分区,并结合工程实际对分区结果进行了探讨.结果表明:分区结果与基础结构特性息息相关,并且在不同工况条件下是有差别的.利用模糊聚类分析的方法进行聚类分区能够反映基础的内在联系.模糊聚类分区避免了人为分区的主观性,能够达到优化监控网、提高反馈分析效率的目的.

关键词:模糊聚类分析 群桩基础 安全监控 苏通大桥

中图分类号: TU443.13 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2010)05-0559-05

随着我国经济与科学技术的高速发展,大型桥梁工程不断涌现,如苏通大桥、杭州湾跨海大桥等.为保证大桥在施工与运营期的安全,管理者往往投入了大量的人力和财力构建安全监控网,以实时掌握大桥的安全状态.但由于大桥规模巨大,构建的监控网也十分庞大、复杂,如苏通大桥主塔墩基础,共布置了各种传感器近 1 500 套.这样复杂的监控网必然会涉及大量实测数据的处理.为了提高数据分析效率,有必要对监测网进行分区,通过由片及面、由面及网的思路来评价桥梁基础的安全性,使分析工作杂而不乱,提高工作效率.合理的分区应该是按照基础结构特性进行划分的,但是大型桥梁工程的结构往往十分复杂,很多结构的传力机理尚不明确,因此必须寻找一种合理的分区方法.模糊聚类分析方法是目前工程中常用的分类方法^[1-3],故本文根据不同工况条件下的桩顶实测轴力对监测桩进行模糊聚类分析,达到对监控网络进行分区的目的.

1 苏通大桥主塔墩基础简介

苏通大桥长江大桥长 8 206 m,主航道桥采用主跨 1 088 m 的双塔钢箱梁斜拉桥方案,主墩均采用桩基础^[4].其中,索塔桩基础由 131 根直径为 2.8 m/2.5 m、长度为 117 m(北索塔、南索塔桩长为 114 m)的大直径、超长、变径钻孔灌注桩组成,桩基呈哑铃型布置.而承台则采用变厚度梯形截面、哑铃型承台,横桥向边长为 113.75 m,纵桥向边长为 48.10 m,厚度为 5.000~13.324 m(如包含封底混凝土,厚度为 8.000~16.324 m).索塔高 300.4 m,呈倒 Y 形布置,如图 1 所示.西半幅基桩编号如图 2 所示.

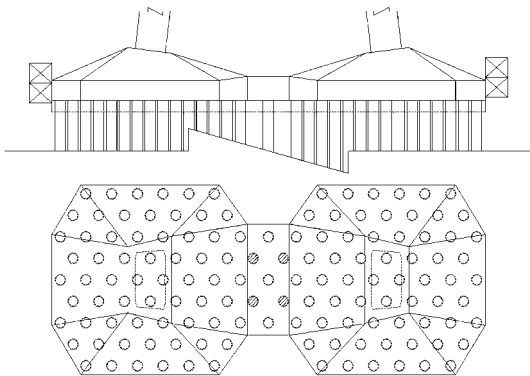


图 1 苏通大桥主塔墩基础一般构造

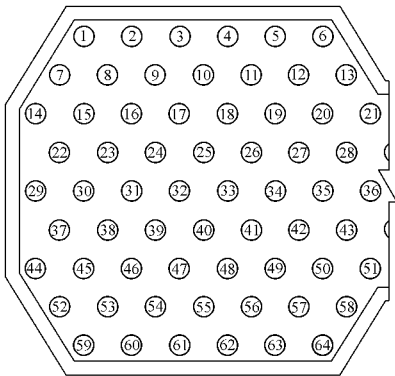


图 2 承台基桩编号

Fig. 1 Structure of tower foundation of Sutong Bridge

Fig. 2 Layout of foundation piles in bearing cap

收稿日期:2009-10-15

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划(2006BAG04B05) 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2002CB412707)

作者简介:唐勇(1982—),男,四川成都人,博士,主要从事地质体稳定与安全监测研究. E-mail: tangyong@hhu.edu.cn

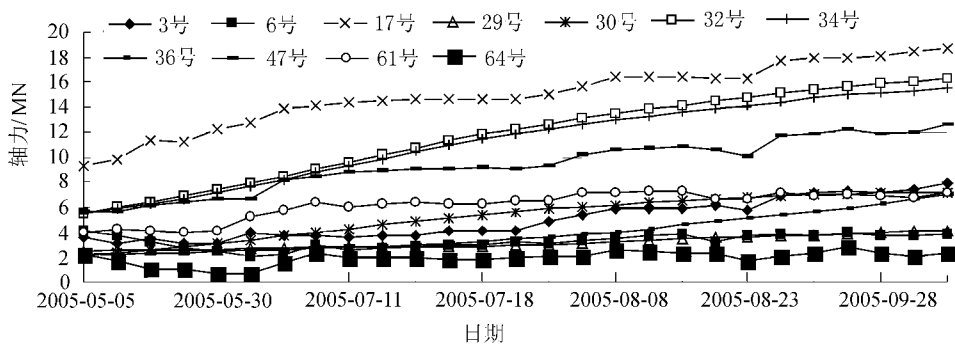


图 3 下塔柱施工期间的桩顶轴力实测曲线

Fig. 3 Curves of measured axial force at pile top for lower tower during construction stage

取 $\lambda = 0.741$,分类结果为 { 3 号,17 号,29 号,30 号,32 号,34 号,36 号,47 号,61 号,64 号}, { 6 号} 取 $\lambda = 0.928$,分类结果为 { 3 号,17 号,29 号,30 号,32 号,34 号,36 号,47 号}, { 6 号}, { 61 号}, { 64 号} 取 $\lambda = 0.978$,分类结果为 { 17 号,30 号,32 号,34 号,47 号}, { 3 号}, { 6 号}, { 61 号}, { 64 号} 取 $\lambda = 0.986$,分类结果为 { 17 号,47 号}, { 29 号,36 号}, { 30 号,32 号,34 号}, { 3 号}, { 6 号}, { 61 号}, { 64 号}.

对于中上塔柱施工,通过一段时间的实测数据建立的 R 及 $\phi(R)$ 分别为

$R = \begin{bmatrix} 1 & 0.812 & 0.950 & 0.949 & 0.869 & 0.819 & 0.892 & 0.734 & 0.889 & 0.933 & 0.873 \\ 0.812 & 1 & 0.661 & 0.888 & 0.678 & 0.609 & 0.724 & 0.478 & 0.551 & 0.863 & 0.968 \\ 0.950 & 0.661 & 1 & 0.913 & 0.940 & 0.919 & 0.948 & 0.863 & 0.978 & 0.805 & 0.741 \\ 0.949 & 0.888 & 0.913 & 1 & 0.922 & 0.877 & 0.947 & 0.780 & 0.848 & 0.876 & 0.917 \\ 0.869 & 0.678 & 0.940 & 0.922 & 1 & 0.992 & 0.995 & 0.958 & 0.938 & 0.680 & 0.742 \\ 0.819 & 0.609 & 0.919 & 0.877 & 0.992 & 1 & 0.984 & 0.974 & 0.937 & 0.604 & 0.674 \\ 0.892 & 0.724 & 0.948 & 0.947 & 0.995 & 0.984 & 1 & 0.928 & 0.937 & 0.723 & 0.778 \\ 0.734 & 0.478 & 0.863 & 0.780 & 0.958 & 0.974 & 0.928 & 1 & 0.899 & 0.479 & 0.560 \\ 0.889 & 0.551 & 0.978 & 0.848 & 0.938 & 0.937 & 0.937 & 0.899 & 1 & 0.702 & 0.641 \\ 0.933 & 0.863 & 0.805 & 0.876 & 0.680 & 0.604 & 0.723 & 0.479 & 0.702 & 1 & 0.903 \\ 0.873 & 0.968 & 0.741 & 0.917 & 0.742 & 0.674 & 0.778 & 0.560 & 0.641 & 0.903 & 1 \end{bmatrix}$

$\phi(R) = \begin{bmatrix} 1 & 0.917 & 0.950 & 0.949 & 0.948 & 0.948 & 0.948 & 0.948 & 0.950 & 0.933 & 0.917 \\ 0.917 & 1 & 0.917 & 0.917 & 0.917 & 0.917 & 0.917 & 0.917 & 0.917 & 0.917 & 0.968 \\ 0.950 & 0.917 & 1 & 0.949 & 0.948 & 0.948 & 0.948 & 0.948 & 0.978 & 0.933 & 0.917 \\ 0.949 & 0.917 & 0.949 & 1 & 0.948 & 0.948 & 0.948 & 0.948 & 0.949 & 0.933 & 0.917 \\ 0.948 & 0.917 & 0.948 & 0.948 & 1 & 0.992 & 0.995 & 0.974 & 0.948 & 0.933 & 0.917 \\ 0.948 & 0.917 & 0.948 & 0.948 & 0.992 & 1 & 0.992 & 0.974 & 0.948 & 0.933 & 0.917 \\ 0.948 & 0.917 & 0.948 & 0.948 & 0.995 & 0.992 & 1 & 0.974 & 0.947 & 0.933 & 0.917 \\ 0.948 & 0.917 & 0.948 & 0.948 & 0.974 & 0.974 & 0.974 & 1 & 0.948 & 0.933 & 0.917 \\ 0.950 & 0.917 & 0.978 & 0.949 & 0.948 & 0.948 & 0.948 & 0.948 & 1 & 0.933 & 0.917 \\ 0.933 & 0.917 & 0.933 & 0.933 & 0.933 & 0.933 & 0.933 & 0.933 & 0.933 & 0.933 & 0.917 \\ 0.917 & 0.968 & 0.917 & 0.917 & 0.917 & 0.917 & 0.917 & 0.917 & 0.917 & 0.917 & 1 \end{bmatrix}$

取 $\lambda = 0.933$,分类结果为 { 3 号,17 号,29 号,30 号,32 号,34 号,36 号,47 号,61 号}, { 6 号,64 号}; 取 $\lambda = 0.948$,分类结果为 { 3 号,17 号,29 号,30 号,32 号,34 号,36 号,47 号}, { 6 号,64 号}, { 61 号} 取 $\lambda = 0.950$,分类结果为 { 3 号,17 号,47 号}, { 6 号,64 号}, { 29 号}, { 30 号,32 号,34 号,36 号}, { 61 号} 取 $\lambda = 0.950$,分类结果为 { 3 号}, { 6 号}, { 29 号}, { 61 号}, { 64 号}, { 17 号,47 号}, { 30 号,32 号,34 号,36 号}.

通过模糊聚类分析结果不难发现以下规律：

- a. 模糊聚类分析的结果具有大致对称性,如6号与64号,17号与47号.
- b. 模糊聚类分析结果具有区域性,大致上中心桩基本为一类,而边桩与角桩通常各自分为一类.

c. 对比不同施工阶段的分类结果可以发现,在下塔柱施工期间29号与36号桩被分为一类,而在中上塔柱施工期间,29号桩是孤立的,36号与30号桩等中心桩分到了一起. 这样的分类结果是不难解释的:(a)苏通大桥主塔墩基础本身具有很好的对称性;(b)对于密集群桩基础,总会存在群桩效应^[11],群桩效应会使中心桩和周边桩的受力存在差异;(c)在下塔柱施工期间会在索塔根部产生一个弯矩,这个弯矩将29号与36号桩这对在索塔两侧的边桩与中心桩联系起来.

4 结 语

模糊聚类分析方法是一种成熟的系统分析方法^[12],实例证明通过模糊聚类分析方法得出的结果是能够反映系统内在联系的,对于工程建筑物而言,也能够反映建筑物的结构与力学联系,因而将模糊聚类分析方法的分类结果优化安全监控网是可行的,能够达到提高数据分析效率的目的,为安全评价奠定基础.

参考文献:

- [1] 王伟,沈振中,王连庆.基于粒子群聚类算法的大坝安全监控模型[J].河海大学学报:自然科学版,2008,36(4):501-504. (WANG Wei, SHEN Zhen-zhong, WANG Lian-qing. Dam safety model based on PSO-fuzzy clustering algorithm[J]. Journal of Hohai University: Nature Sciences, 2008, 36(4): 501-504. (in Chinese))
- [2] 杨志辉,徐辉.基于最优模糊聚类的地下水水质评价[J].水利经济,2006,24(1):19-21. (YANG Zhi-hui, XU Hui. Assessment of underground water quality based on optimal fuzzy clustering[J]. Water Economics, 2006, 24(1): 19-21. (in Chinese))
- [3] 刘长祥,金秀丽.模糊聚类分析在隧道围岩稳定性预测中的应用[J].山西建筑,2007,33(7):257-258. (LIU Chang-xiang, JIN Xiu-li. The application of fuzzy cluster method for the forecast of the rock stability[J]. Shanxi Architecture, 2007, 33(7): 257-258. (in Chinese))
- [4] 游庆仲,董学武,张雄文,等.苏通大桥挑战与创新[J].东南大学学报,2006,36(增刊2):15-22. (YOU Qing-zhong, DONG Xue-wu, ZHANG Xiong-wen, et al. Challenge and innovation of Sutong Bridge[J]. 2006, 36(Sup 2): 15-22. (in Chinese))
- [5] 肖盛燮,王平义,吕恩琳.模糊数学在土木与水利工程中的应用[M].北京:人民交通出版社,2004:22-24.
- [6] 王新洲,陈艳艳,万斐.基于VisualC.NET的模糊聚类分析系统及其应用[J].地理空间信息,2007,5(3):1-4. (WANG Xin-zhou, CHEN Yan-yan, WAN Fei. Fuzzy clustering analysis system based on VisualC.NET and its application[J]. Geospatial Information, 2007, 5(3): 1-4. (in Chinese))
- [7] 李秀桥,贾智平.海洋监测系统实时数据采集及聚类分析的研究[J].计算机工程与应用,2007,43(25):214-217. (LI Xiu-qiao, JIA Zhi-ping. Research on real-time data collection and clustering analysis in marine observation system[J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(25): 214-217. (in Chinese))
- [8] 周玉新,周志芳,孙其国.岩体结构面产状的综合模糊聚类分析[J].岩石力学与工程学报,2005,24(13):2283-2286. (ZHOU Yu-xin, ZHOU Zhi-fang, SUN Qi-guo. Synthetical fuzzy clustering analysis for joints occurrence of rock mass[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(13): 2283-2286. (in Chinese))
- [9] 陈志坚,陈松,李筱艳,等.岩土工程安全监测异常值属性的识别方法[J].水电自动化与大坝监测,2004,28(1):40-44. (CHEN Zhi-jian, CHEN Song, LI Xiao-yan, et al. Identification method of singular data and their attribute for safety monitoring[J]. Hydropower Automation and Dam Monitoring, 2004, 28(1): 40-44. (in Chinese))
- [10] CHEN Zhi-jian, ZHANG Ning-ning, ZHANG Xiong-wei, et al. Stress and noises of cable-tower anchorage zone for Sutong Bridge[C]// IABSE08. Finland, Helsinki: Organiser Finnish Association of Civil Engineers RIL, 2008: 154-164.
- [11] 张雄文,董学武,李镇.苏通大桥主塔墩基础群桩效应研究[J].河海大学学报:自然科学版,2006,34(2):200-203. (ZHANG Xiong-wen, DONG Xue-wu, LI Zhen. Pile group effect of main pylon foundation of Sutong Bridge[J]. Journal of Hohai University: Nature Science, 2006, 34(2): 200-203. (in Chinese))
- [12] 陈继光.大坝变形观测数据的动态聚类分析[J].水电能源科学,2000,18(4):22-24. (A method of dynamic fuzzy cluster analysis in observation data of dam[J]. International Journal Hydroelectric Energy, 2000, 18(4): 22-24. (in Chinese))

Application of fuzzy cluster analysis to safety monitoring of pile group foundation

TANG Yong¹, CHEN Zhi-jian¹, SONG Chong-neng²

(1. College of Geoscience and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ;

2. Hydraulic Research Centre of Huaihe River Water Resources Commission, Bengbu 233001, China)

Abstract : Taking Sutong Bridge as an example, the fuzzy cluster method was employed to divide the monitoring piles into groups according to the measured axial forces at pile top during various construction stages under different working conditions. The divided results were discussed based on an actual project. The analysis shows that the divided results are related to the structure of the foundation and are different under different working conditions. Division of the piles by use of the fuzzy cluster method can reflect the internal relation of the foundation. The fuzzy cluster method may avoid artificial subjectivity in division and can optimize the monitoring net and improve the feedback analysis efficiency.

Key words : fuzzy cluster analysis ; pile group foundation ; safety monitoring ; Sutong Bridge

《河海大学学报(自然科学版)》征订启事

(邮发代号 28-63,CN32-1117/TV,ISSN1000-1980,双月刊)

《河海大学学报(自然科学版)》是以水资源开发、利用与保护为重点的综合性学术期刊,主要刊登河海大学在水资源、水文、地质、测量、水利工程、水电工程、水运工程、海洋及海岸工程、水工结构、工程力学、水力学及河流动力学、岩土工程、计算机科学、电力工程、电子技术及自动化工程、工业与民用建筑、环境工程、机械工程等学科方面的科研成果、学术论文、学术讨论、研究动态等学术性文章,可供上述有关专业的科技工作者及大专院校师生阅读和参考。

《河海大学学报(自然科学版)》创办于 1957 年,是全国中文核心期刊、中国科技核心期刊,在国内工程技术界和学术界有较大影响。刊载的文章中,有不少国家科技攻关(重点)项目和各种科学基金资助项目的研究成果,部分达到了国内领先和国际先进水平,为我国水利、水电、水运工程及其他有关工程建设的规划、设计、施工和管理提供了科学理论、方法和具体建议,发挥了较大的社会效益和经济效益,深受工程界和科技界赞许,并获得中国高校精品科技期刊奖以及中国期刊方阵“双效期刊”、江苏省优秀期刊、全国水利系统优秀期刊称号。

《河海大学学报(自然科学版)》每逢单月出版,国内外公开发行,每期定价 12.00 元,全年 6 期共 72.00 元。欢迎广大读者通过全国各地邮政局订阅或直接与编辑部联系。

编辑部地址 南京市西康路 1 号 《河海大学学报(自然科学版)》编辑部

邮政编码 210098 电话/传真 025-83786343

E-mail :xb@hhu.edu.cn http ://kkb.hhu.edu.cn/web/index_xb.asp ? d_id = 53