

基于性能的桩基设计概念探讨

张季超, 杨永康, 王可怡, 马旭

(广州大学土木工程学院, 广东 广州 510006)

摘要: 针对相关规范在桩基设计中有关“上部结构、基础与地基的相互作用”不统一的问题, 提出了基于性能的桩基设计概念, 探讨了基于性能的桩基设计流程及桩基计算流程, 在考虑上部结构、基础与地基的相互作用的前提下, 建议将桩基抗震性能分为4个性能等级, 并将桩基的性能目标分为6个等级。

关键词: 基于性能的桩基设计; 桩土相互作用; 性能水准; 性能目标

中图分类号: TU473.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2011)S2-0054-04

作者简介: 张季超(1956-), 男, 河南郑州人, 教授, 从事岩土工程及结构工程的研究。E-mail: zhangjichao1956@126.com。

Conception of performance-based pile foundation design

ZHANG Ji-chao, YANG Yong-kang, WANG Ke-yi, MA Xu

(School of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Based on the non-unification of superstructure-pile-soil interaction on pile foundation design in codes, the performance-based pile foundation design theory is put forward. According to the requirements of performance-based pile foundation design, design flow and calculation of the performance-based pile foundation design are discussed. Considering the superstructure-pile-soil interaction, 4 performance levels are suggested to divide respectively on earthquake, and 6 ranks of performance objectives are proposed.

Key words: performance-based pile foundation design; pile-soil interaction; performance level; performance objective

0 引言

基于性能化的设计理论于20世纪90年代由美国学者首次提出^[1-3], 并将其应用于结构抗震设计领域。性能化抗震设计思想自提出以来, 性能化抗风^[4-6]和防火等设计理论也陆续提出。性能化抗震设计和性能化抗风设计也成为高层、大跨度结构设计的重要内容, 但基于性能的地基基础设计尚无人问津。对基于性能的桩基设计进行探讨, 有助于加快性能化在地基基础中的发展, 使地基设计与上部结构设计协调起来, 从而更好地指导工程建设。

1 问题的提出

随着新材料、新技术的推广, 土木工程建筑也往高层、大跨等方向发展, 结构基础变形也控制严格。桩基础作为一种承担上部结构荷载及控制变形的手段, 由于具有承载力高、应力传递途径简捷、变形小等优点得到了广泛应用。但在桩基础设计的早期, 由于其在设计时未能充分利用土对承台的抗力, 没充分考虑上部结构、基础与地基的相互作用, 使桩设计过

长, 从而导致资源浪费, 并不利于城市地下交通的发展^[7]。

为使桩基设计更合理, 应考虑上部结构、基础与地基的相互作用。《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2002)^[8](简称GB50007)中的5.3.10规定, 在同一整体大面积基础上建有多栋高层和低层建筑, 应考虑上部结构、基础与地基的共同作用进行变形计算。同时, 《建筑桩基技术规范》(JGJ94—2008)^[9](简称JGJ94)在考虑上部结构、基础与地基的相互作用的问题上提出了新的见解, 其3.1.8条提出以减小差异沉降和承台内力为目标的变刚度调平设计, 并建议对于主裙楼连体建筑、框架—核心筒结构高层建筑、大体量筒仓、储罐等桩基按变刚度调平设计, 进行上部结构—承台—桩—土共同工作分析。

但是, 自2010年12月1日起执行的《建筑抗震设计规范》(GB50011—2010)^[10](简称GB50011), 在3.3.4款中针对地基基础抗震设计提出“同一结构单元的基

基金项目: 广东省教育部产学研结合项目(2010B090400490)

收稿日期: 2011-08-09

础不宜设置在性质截然不同的地基上”,“同一结构单元不宜部分采用天然地基部分采用桩基;当采用不同基础类型或基础埋深显著不同时,应根据地震时两部分地基基础的沉降差异,在基础、上部结构的相关部位采取相应措施”。

综上所述,GB50007、JGJ94相对于GB50011有关上部结构、基础与地基的相互作用的规定没有得到统一,特别是有关建筑物、地基和基础的变形协调设计,GB50007、JGJ94相对于GB50011截然不同。然而,当结构的体型、荷载确定后,上部结构的刚度难以再调整,能调整刚度的只有桩基,通过调整桩基的刚度,能更好地使桩、地基变形协调,有效减小差异沉降,并能取得良好的经济效益。

因此,在抗震设防区,在考虑上部结构、基础与地基的相互作用的前提下,要将结构设计得更安全,使建筑物地基的变形更协调,使经济效益更好,建议采用基于性能的桩基设计。

2 基于性能的桩基设计框架

2.1 基于性能的桩基设计流程

基于性能的桩基设计的目的,是在不同性能目标的基础上,针对上部结构、基础与地基的相互作用以及桩的耐久性问题,使桩基满足正常使用的承载能力、稳定性、变形及耐久性等技术要求,满足地震力等偶然荷载作用要求,满足使用功能、美观及经济效益等的要求。

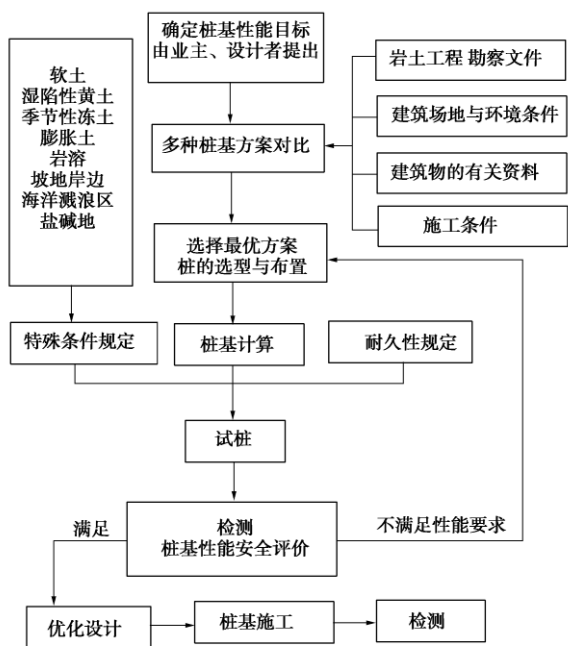


图 1 基于性能的桩基设计流程

Fig. 1 Flowchart of performance-based pile foundation design
基于性能的桩基设计与传统的桩设计过程相比,

主要差别在于,在桩基设计之前,由业主、设计者或专家讨论,给出他们所期望的桩基的性能水准,根据性能水准来完成设计。同时,通过试桩的检测数据,反馈到桩基计算进行优化设计,也是基于性能的桩基设计与传统的桩设计的重要区别。

通过综合考虑传统的桩设计流程及基于性能的桩基设计思想,给出基于性能的桩基设计流程,如图1所示。

2.2 桩基计算流程

桩基计算是桩基性能化设计的重要内容,其包括了JGJ94中规定的一般计算、验算内容及桩土协调的计算内容。图2为基于性能的桩基设计的计算流程。

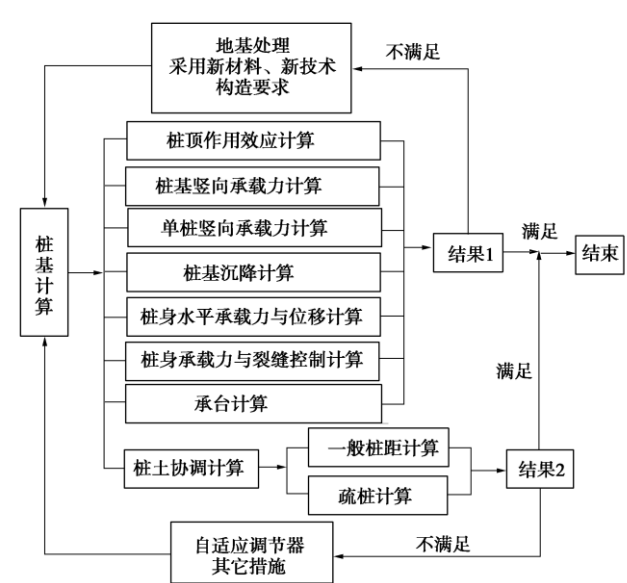


图 2 基于性能的桩基计算流程

Fig. 2 Flowchart of performance-based pile foundation calculation

针对JGJ94中桩基计算、验算的内容,若计算不通过,要重新选择桩型或方案,这不仅造成工期的浪费,并且重新选择的方案也不一定是最佳的。基于性能的桩基设计的计算,当计算不满足时,可采用一定的措施,来优化设计,例如采用地基处理的方法来消除桩的负摩阻力,或采用新材料、新技术等。

桩土协调计算是反映上部结构、基础与地基相互作用的桩基计算的重要内容,它是复合桩基计算不可缺少的步骤。其计算将上部结构—基础—复合桩基作为一个整体,分析其沉降、桩土应力分布、桩土荷载分担比例、基础总沉降、差异沉降及沉降影响范围,通过考虑上部结构、基础和复合桩基三者接触部位的位移协调,对其进行分析和求解^[1]。计算既要满足承载力的要求,又要满足建筑物对沉降变形的要求。计算方法主要有按一般的桩距(桩间距<6倍桩径)计算和按疏桩(桩间距≥6倍桩径)计算,当计算不满足要求时,可采用自适应调节器或其它措施进行承载力及

变形协调。

3 桩基性能水准

GB50007、JGJ94 建议考虑上部结构、基础与地基的相互作用,使桩基充分发挥桩、土的作用,进而达到变形协调及良好经济效益方面的性能要求。而 GB50011 基于建筑结构的抗震性能,不建议考虑上部结构、基础与地基的相互作用。针对这两个不同角度,根据考虑上部结构、基础与地基的相互作用性能,以及不同建筑物的重要性及对桩基的要求,特别是变形、稳定性、承载力、耐久性的要求,初步建立了桩基在多遇地震、设防地震、罕遇地震下的抗震性能水准,并建议将其划分为 4 个等级,各性能水准的描述见表 1。

表 1 桩基抗震性能水准描述

Table 1 Description of pile foundation performance level on anti-earthquake			
性能水准	多遇地震	设防地震	罕遇地震
第一水准	完好,承载力、变形远小于规定范围,功能不受影响	完好,承载力、变形在规定的范围内,功能不受影响	基本完好,承载力、变形在规定的范围内,功能不受影响
第二水准	完好,承载力、变形明显小于规定范围,功能不受影响	基本完好,承载力、变形在规定的范围内,功能不受影响	轻—中等破坏,承载力、变形超出规定范围,没达到正常使用极限状态的限值,局部功能受影响
第三水准	完好,承载力、变形在规定的范围内,功能不受影响	轻—中等破坏,承载力、变形超出规定范围,没达到正常使用极限状态的限值,局部功能受影响	中等破坏,承载力、变形超出规定范围,没达到承载力极限状态的限值,大部分功能受到较大影响
第四水准	完好,承载力、变形在规定的范围内,功能不受影响	中等破坏,承载力、变形超出规定范围,没达到承载力极限状态的限值,大部分功能受到较大影响	不严重破坏,承载力、变形达到承载力极限状态的限值,功能丧失,但还能支承上部结构而未倒塌

4 性能目标

桩基性能目标是指考虑上部结构、基础与地基的相互作用的前提下,在建筑结构抗震性能所要求达到桩基性能水准的总和。性能目标的确定是根据建筑桩基的设计等级、桩基的功能要求、耐久性要求、建筑物的重要性、建筑物体型的复杂性以及由于桩基问题

可能造成建筑破坏或影响正常使用程度、经济效益等因素,由业主、设计者讨论并提出,或由专家讨论、修改得出。表 2 给出了桩基抗震性能目标。

表 2 桩基抗震的性能目标

Table 2 Performance objectives of pile foundation on anti-earthquake				
性能水准状态	第一水准	第二水准	第三水准	第四水准
多遇地震	A、B	C	D、E	F
设防地震	A、B	C	D、E	F
罕遇地震	A	B	C、D	E、F

性能目标 A: 桩基在多遇地震、设防地震、罕遇地震均满足第一水准性能要求,反映桩基的最高性能需求,在多遇地震、设防地震、罕遇地震作用下要求功能均不受影响的桩基,可以采用此性能目标。此性能目标适用于极其重要的建筑物。

性能目标 B: 桩基在多遇地震及设防地震满足第一水准性能要求,在罕遇地震满足第二水准性能要求,反映了桩基较高性能需求。在多遇地震及设防地震作用下要求功能不受影响、在罕遇地震作用下要求大部分功能不受影响的桩基,可以采用此性能目标。

性能目标 C: 桩基在多遇地震及设防地震满足第二水准性能要求,在罕遇地震满足第三水准性能要求,反映了桩基较高性能需求。在多遇地震及设防地震作用下要求功能不受影响、在罕遇地震作用下要求局部功能不受影响的桩基,可以采用此性能目标。

性能目标 D: 桩基在多遇地震、设防地震、罕遇地震均满足第三水准性能要求,反映了桩基一般性能需求。在多遇地震及作用下要求功能不受影响、在设防地震作用下要求大部分功能不受影响、在罕遇地震作用下要求局部功能不受影响的桩基,可以采用此性能目标。

性能目标 E: 桩基在多遇地震及设防地震满足第三水准性能要求,在罕遇地震满足第四水准性能要求,反映了桩基一般性能需求。在多遇地震作用下要求功能不受影响、在设防地震作用下要求大部分功能不受影响、在罕遇地震作用下功能丧失但还能支承上部结构而不倒的桩基,可以采用此性能目标。

性能目标 F: 桩基在多遇地震、设防地震、罕遇地震均满足第四水准性能要求,反映了桩基最低性能需求。在多遇地震作用下要求功能不受影响、在设防地震作用下要求局部功能不受影响、在罕遇地震作用下功能丧失但还能支承上部结构而不倒的桩基,可以采用此性能目标。

综上所述,性能目标 A 反映了桩基设计最高性能需求,性能目标 B、C 反映了桩基设计较高性能需求,

性能目标 D、E 反映了桩基设计一般性能需求, 性能目标 F 反映了桩基设计最低性能需求。

5 结 论

(1) 针对 GB50007、JGJ94 与 GB50011 有关上部结构、基础与地基的相互作用规定的不统一, 提出了基于性能的桩基设计概念。

(2) 通过综合考虑传统的桩设计流程及基于性能的桩基设计思想, 给出基于性能的桩基设计流程及桩基计算流程。

(3) 在考虑上部结构、基础与地基的相互作用的基础上, 把桩基在多遇地震、设防地震、罕遇地震下的抗震性能水准分为 4 个性能等级。在此基础上, 把桩基的性能目标分为 A、B、C、D、E、F 等 6 个等级。

参考文献:

- [1] 门进杰, 史庆轩, 周 琦. 框架结构基于性能的抗震设防目标和性能指标的量化[J]. 土木工程学报, 2008, **41**(9): 76 - 82. (MEN Jin-jie, SHI Qing-xuan, ZHOU Qi. Performance-based seismic fortification criterion and quantified performance index for reinforced concrete frame structures[J]. China Civil Engineering Journal, 2008, **41**(9): 76 - 82. (in Chinese))
- [2] 陈 麟, 郭永兴, 周 云. 巨型钢框架节点基于性能的研究[J]. 广州大学学报 (自然学科版), 2010, **9**(6): 38 - 42. (CHEN Lin, GUO Yong-xing, ZHOU Yun. Research on performance-based design of steel mega-frame joints[J]. Journal of Guangzhou University (Natural Science Edition), 2010, **9**(6): 38 - 42. (in Chinese))
- [3] 岳茂光. 场地 - 结构体系基于性能抗震设计分析方法研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2009. (YUE Mao-guang. Studies on analysis method of performance-based seismic design of site-structure system[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2010. (in Chinese))
- [4] 周 云, 汪大洋, 陈小兵. 基于性能的结构抗风设计理论框架[J]. 防灾减灾工程学报, 2008, **29**(3): 244 - 251. (ZHOU Yun, WANG Da-yang, CHEN Xiao-bing. Framework on performance-based wind-resistant design theory[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2008, **29**(3): 244 - 251. (in Chinese))
- [5] 周 云, 张春梅, 阴 毅. 超高层建筑结构风致振动的动力参数敏感性研究[J]. 广州大学学报 (自然学科版), 2009, **8**(4): 65 - 69. (ZHOU Yun, ZHANG Chun-mei, YIN Yi. Experimental study of seismic behaviors of double high strength concrete filled steel tube columns[J]. Journal of Guangzhou University (Natural Science Edition), 2009, **8**(4): 65 - 69. (in Chinese))
- [6] 徐 安, 石碧青, 等. 超高层建筑结构风致振动的动力参数敏感性研究[J]. 广州大学学报 (自然学科版), 2011, **10**(1): 54 - 59. (XU An, SHI Bi-qing, et al. Sensitivity of dynamic parameters according to wind-induced vibrations of super tall buildings[J]. Journal of Guangzhou University (Natural Science Edition), 2011, **10**(1): 54 - 59. (in Chinese))
- [7] 郑俊杰, 彭小荣. 桩土共同作用设计理论研究[J]. 岩土力学, 2003, **24**(2): 242 - 245. (ZHENG Jun-jie, PENG Xiao-rong. Study on design theory of pile-soil cooperative work[J]. Rock and Soil Mechanics, 2003, **24**(2): 242 - 245. (in Chinese))
- [8] GB50007—2002 建筑地基基础设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. (GB50007—2002 Code for design of building foundation[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2002. (in Chinese))
- [9] JGJ94—2008 建筑桩基技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008. (JGJ94—2008 Technical code for building pile foundations[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2008. (in Chinese))
- [10] GB50011—2010 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010. (GB50011—2010 Code for seismic design of building[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2010. (in Chinese))
- [11] 徐美娟, 宰金珉, 梅国雄. 有关上部结构—桩—土相互作用研究问题探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, **23**(增刊 1): 4361 - 4365. (XU Mei-juan, ZAI Jin-min, MEI Guo-xiong. Research review on superstructure-pile-soil interaction[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, **23**(S1): 4361 - 4365. (in Chinese))

(本文责编 明经平)