

文章编号: 1000-4750(2014)10-0188-07

双向地震激励下的两阶段多维 Pushover 分析

王 丰¹, 李宏男²

(1. 大连民族学院土木建筑工程学院, 辽宁, 大连 116600; 2. 大连理工大学建设工程学部, 辽宁, 大连 116024)

摘 要: 在模态 Pushover 分析方法中, 由模态推覆力得到的结构力-位移关系只适合于该模态下的反应, 不能合理反映结构整体在地震作用下的弹塑性发展过程。为此, 针对双向地震激励下的多层偏心结构, 提出了两阶段多维 Pushover 分析方法。第一阶段: 通过双向地震激励下的模态多维 Pushover 分析结构在双向地震下的位移反应; 第二阶段: 利用第一阶段得到的组合模态系数建立新的推覆力模式, 进行第二次多维 Pushover 分析, 分析结构的弹塑性发展过程。通过算例分析表明: 1) 此方法能够较准确的估算结构位移沿楼层的分布特征; 2) 随着塑性反应和楼层数的增加, 估算偏差随之增大; 3) 由组合模态推覆力模式的多维 Pushover 分析可以从整体上分析结构的弹塑性力-位移发展过程。

关键词: 双向地震激励; 推覆分析; 等效单自由度体系; 模态分解; 非线性反应时程分析

中图分类号: P315.9; TU311.3 文献标志码: A doi: 10.6052/j.issn.1000-4750.2013.10.0962

TWO-STAGE MULTI-DIMENSIONAL PUSHOVER ANALYSIS FOR BI-DIRECTIONAL EARTHQUAKE EXCITATIONS

WANG Feng¹, LI Hong-nan²

(1. College of Architecture & Civil Engineering, Dalian Nationalities University, Dalian, Liaoning 116600, China;

2. Faculty of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning 116024, China)

Abstract: The nonlinear relationship between force and displacement of a structure obtained by modal pushover analysis is only suitable for the response of the corresponding structural mode, and it can not be used to analyze the elastic-plastic development process of the structure. Thus, for the asymmetric structures subjected to bi-directional earthquake excitations, a two-stage multi-dimensional pushover analysis procedure is presented. The first stage: the modal multi-dimensional pushover analysis procedure is used to obtain the responses of structures. The second stage: the new pushover load pattern is established according to combined structural modes and the second time multi-dimensional pushover analysis is implemented, in which the nonlinear force-displacement relationship of structures is analyzed. An example analysis shows that: 1) the procedure presented in the paper may be used as an effective method to estimate the distribution of deformation response along the structural floors. 2) With the increases of nonlinear responses and storey numbers, the deviations of estimation increase gradually. 3) The multi-dimensional pushover, based on the combined modal pushover load pattern, is suitable for analyzing the elastic-plastic development process of structures.

Key words: bi-directional earthquake excitations; pushover analysis; equivalent single-degree-of-freedom system; mode decomposition; non-linear response time history analysis

收稿日期: 2013-10-16; 修改日期: 2014-06-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(51108067, 51478091); 国家自然科学基金创新研究团队基金项目(51121005)

通讯作者: 王 丰(1976—), 男, 辽宁人, 副教授, 博士, 主要从事结构抗震和防灾减灾研究(E-mail: win_0803@163.com).

作者简介: 李宏男(1957—), 男, 辽宁人, 教授, 博士, 博导, 教育部长江学者奖励计划特聘教授, 主要从事结构抗震和防灾减灾研究(E-mail: hnli@dlut.edu.cn).

随着基于性能抗震设计理念的提出,至20世纪90年代以来Pushover分析方法得到了迅速发展。许多研究成果表明,Pushover分析方法在一定适用范围内能够较为准确的反映结构的地震反应特征^[1-2]。此外,一些工程应用也表明,对于层数不太多或者自振周期不太长的结构,Pushover方法可作为一种简化的弹塑性分析方法。如何在Pushover方法中考虑结构的高阶振型影响是目前Pushover方法中有待完善的一个问题^[3]。针对此问题,Chopra最先提出了模态Pushover分析的思路^[4],并证明了其可靠性^[5]。模态Pushover分析方法是通过多阶模态下的Pushover分析来考虑高阶振型对结构反应的贡献。近年来非对称结构的Pushover分析理论及方法也正备受关注^[6-7],针对空间结构反应可通过振型关系近似表达的特点,模态Pushover分析从单向地震输入下的对称结构静力分析发展为偏心结构分析^[8]。此外,考虑到地震动具有多维性,学者们又发展了多维地震作用下的偏心结构模态Pushover分析方法^[9]。在Chopra提出该理论后,近年来模态Pushover分析方法及应用得到了迅速的发展^[10-13]。

模态Pushover分析方法是按各模态的振型模式分别进行Pushover分析的,由某一模态的振型推覆力得到的结构力-位移关系只适合于该模态下的反应。这样的推覆作用不能合理反映结构整体在地震作用下的力和位移关系,也不能合理反映结构及构件在地震作用下从弹性到屈服再到破坏的弹塑性发展过程。另一方面,当同一模态下的三分量振型值相差较大时,此时的多维Pushover分析近似于单向Pushover分析,这样无法反映结构在多维地震作用下的空间塑性耦合性。鉴于以上两原因,本文提出两阶段多维Pushover分析方法。第一阶段:通过双向地震下的模态Pushover分析结构在一定地震作用下的目标反应,同时为第二阶段Pushover提供振型组合的参数;第二阶段的多维Pushover分析主要分析结构的弹塑性发展过程。

1 基本原理

1.1 双向地震激励下的模态Pushover分析

若不考虑阻尼和质量的变化, n 层结构在双向水平地震作用下的平移-扭转耦联振动方程表示为:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{f}(t) = -\mathbf{M}\mathbf{I}_x\ddot{x}_g(t) - \mathbf{M}\mathbf{I}_y\ddot{y}_g(t) \quad (1)$$

式中: $\mathbf{u}(t)$ 为结构各层质心处的瞬时广义相对位移

向量; $\mathbf{f}(t) = \{\mathbf{f}_x(t) \ \mathbf{f}_y(t) \ \mathbf{f}_\phi(t)\}^T$ 为 $3n$ 阶的结构恢复力向量; \mathbf{M} 和 \mathbf{C} 分别为 $3n \times 3n$ 阶的结构广义质量矩阵和阻尼矩阵。将弹性模态分解的思路引入弹塑性分析中,假设弹塑性位移向量可以分解为:

$$\mathbf{u}(t) = \Phi \mathbf{q} = \sum_{i=1}^{3n} \boldsymbol{\varphi}_i q_i(t) \quad (2)$$

式中: Φ 为振型矩阵; $\boldsymbol{\varphi}_i = \{\boldsymbol{\varphi}_{xi}^T \ \boldsymbol{\varphi}_{yi}^T \ \boldsymbol{\varphi}_{\theta i}^T\}^T$ 为第 i 阶模态的振型向量。式(1)两侧同乘以 $\boldsymbol{\varphi}_i^T$,并将式(2)代入式(1)中,整理得到:

$$\boldsymbol{\varphi}_i^T \mathbf{M} \boldsymbol{\varphi}_i \ddot{q}_i(t) + \boldsymbol{\varphi}_i^T \mathbf{C} \boldsymbol{\varphi}_i \dot{q}_i(t) + \boldsymbol{\varphi}_i^T \mathbf{f}_i(t) = -\boldsymbol{\varphi}_i^T \mathbf{M} \boldsymbol{\varphi}_i (\gamma_{xi} \ddot{x}_g(t) + \gamma_{yi} \ddot{y}_g(t)), \quad i=1, \dots, 3n \quad (3)$$

式中, γ_{xi} 和 γ_{yi} 分别为 x 和 y 方向的振型参与系数;为了与弹塑性反应谱联系以便应用,可将式(3)转化为:

$$\ddot{q}_i(t) + 2\xi\omega_i \dot{q}_i(t) + \frac{F_i}{m_i} = -\gamma_{xi} \ddot{x}_g(t) - \gamma_{yi} \ddot{y}_g(t), \quad i=1, \dots, 3n \quad (4)$$

式(4)中, $F_i = \boldsymbol{\varphi}_i^T \mathbf{f}_i(t)$ 。式(4)可看作 $3n$ 个独立的等效单自由度(简称E-SDOF)体系。由式(4)可求解出各模态的 $q_i(t)$,代入式(2)中便可计算出结构位移反应向量 $\mathbf{u}(t)$ 。

模态多维Pushover分析(简称MMPA)是按照弹性模态分解的思路展开,但这种方法并不是对各SDOF体系进行动力分析再组合为结构反应,而是将楼层振型与楼层质量乘积作为侧向推覆力分布系数,将逐渐增大的推覆力直接作用于楼层的质心以模拟地震力(惯性力),并假设此状态为相应模态E-SDOF体系的静力反应状态。对式(1)进行移项,并设:

$$\mathbf{P} = \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{f}(t) = -\mathbf{M}(\ddot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{I}_x \ddot{x}_g(t) + \mathbf{I}_y \ddot{y}_g(t)) \quad (5)$$

式中, \mathbf{P} 为地震惯性力向量。将式(2)代入式(5),有:

$$\mathbf{P} = -\sum_{i=1}^{3n} \mathbf{p}_i = -\sum_{i=1}^{3n} \mathbf{M} \boldsymbol{\varphi}_i (\ddot{q}_i(t) + \gamma_{xi} \ddot{x}_g(t) + \gamma_{yi} \ddot{y}_g(t)) \quad (6)$$

式中, \mathbf{p}_i 可看作第 i 模态的地震惯性力分布向量。在Pushover分析中,各楼层的推覆力实际为模拟作用于结构各楼层质心的惯性力,于是MMPA的第 i 模态推覆力分布系数向量可以表示为:

$$\mathbf{p}_i = \mathbf{M} \boldsymbol{\varphi}_i, \quad i=1, \dots, 3n \quad (7)$$

式中, \mathbf{p}_i 在每一楼层均有三个分量—两正交水平分量和一扭转分量。

1.2 双向地震激励下的地震需求

由 Fajfar 的改进能力谱方法^[14]可知,将需求谱与能力谱绘至同一 $A-D$ 坐标系下可求解基于某阶模态的结构最大反应,其中需求谱可通过弹塑性反应谱建立,与时程分析方法相比通过这种方法求解结构反应具有统计优势。但式(4)中各 E-SDOF 体系动力平衡方程的左侧为两方向地震激励的叠加,这与弹塑性反应谱的原理不符,不能直接应用。

设 $\ddot{x}_g(t)$ 激励下的弹性加速度反应谱为 A_x , $\ddot{y}_g(t)$ 激励下的弹性加速度反应谱为 A_y , 并设有如下关系:

$$A_x = k \cdot A_y \text{ 或 } A_y = k \cdot A_x \quad (8)$$

根据抗震规范可近似取 $k \approx 0.85$ 。由于两个方向地震激励下不一定同时达到最大反应,所以两方向地震激励叠加后的弹性加速度谱可通过 SRSS 法得到^[15]:

$$A = \sqrt{1+k^2} A_x \text{ 或 } A = \sqrt{1+k^2} A_y \quad (9)$$

结合 $R-\mu-T$ 关系^[14],将 μ 、 ξ 、 T 和 A 代入式(10)中,变换 T 值,即可建立延性系数为 μ 的 $A_{yie}-D$ 格式的地震需求谱,其中:

$$A_{yie} = \frac{A}{R}, \quad D = \mu \frac{1}{R} \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 A \quad (10)$$

式中: μ 为 SDOF 体系的延性系数; R 为强度折减系数; T 为周期。

1.3 双向地震激励下的地震需求

模态 Pushover 分析的各模态推覆力作用不能独立反映结构整体在地震作用下的弹塑性发展过程。这里提出一种组合振型推覆力模式的多维 Pushover 分析(简称 CMMPA)作为补充性的 Pushover 分析,其基本思路:

通过 MMPA 确定目标基底剪力 V_i , 代入式(11)确定组合振型系数 α_i 。

$$\alpha_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^{3n} V_i} \quad (11)$$

然后,按下式确定推覆力分布模式,并进行第二次 Pushover 分析。

$$P_2 = \sum_{i=1}^{3n} \alpha_i M \phi_i \quad (12)$$

2 两阶段多维 Pushover 分析步骤

第一阶段采用双向地震激励下的 MMPA 方法,

通过分析可以得到结构在一定地震作用下的目标反应;第二阶段按第一阶段 MMPA 确定的组合振型推覆力模式进行第二次多维 Pushover 分析,分析结构的弹塑性发展过程。具体步骤如下:

1) 第一阶段 Pushover 分析

① 计算结构的弹性第 1 模态频率 ω_1 和振型向量 ϕ_1 。

② 取顶层振型值最大的分量(x 或 y 分量)为目标分量,然后振型向量 ϕ_1 除以该分量的顶层振型值,即进行振型归一化。

③ 按式(7)建立第 1 阶模态推覆力模式,然后进行 Pushover 分析,以目标分量的顶层位移和基底剪力建立能力曲线,并简化为双线性的 $A-D$ 格式能力谱曲线。

④ 按本文 1.2 的方法建立 $A_{yie}-D$ 格式的地震需求谱曲线。

⑤ 通过能力谱方法计算目标加速度 A_{o1} 和目标位移 q_{o1} , 代入 $u_{o1} = \phi_1 q_{o1}$ 中,计算相应的结构楼层位移向量 u_{o1} 。

⑥ 重复步骤①~步骤⑤确定各阶模态下的目标加速度 A_{oi} 和目标位移值 q_{oi} , 并计算结构楼层位移向量 u_{oi} 。

⑦ 将基于各阶模态的楼层位移反应通过 CQC 方法进行组合,确定结构目标位移向量 u_o , 其中顶层位移表示为 u_{on} 。

2) 第二阶段 Pushover 分析

⑧ 通过式(11)和式(12)确定组合模态推覆力分布模式,对结构进行第二次多维 Pushover 分析,推覆到顶层位移为 u_{on} 为止,分析结构及构件的弹塑性发展过程。

3 算例分析

3.1 算例说明

设计 2 幢质量偏心的钢筋混凝土框架结构,楼层分别为 10 层和 15 层,结构的平面柱网布置及偏心情况相同,楼层高度均为 3.6m,结构简图如图 1 所示。10 层结构:梁截面为 300mm×700mm;柱截面 1 层~3 层为 700mm×700mm,4 层~7 层为 600mm×600mm,8 层~10 层为 500mm×500mm。15 层结构:梁截面 1 层~4 层为 300mm×700mm,5 层~10 层为 300mm×650mm,11 层~15 层为 300mm×600mm。柱截面 1 层~4 层为 700mm×700mm,5 层~10 层为 650mm×650mm,11 层~15 层为 600mm×600mm。

两幢算例结构的梁配筋约为 1.5%，柱配筋率约为 2%；屋面恒载为 6.6kN/m²、活载为 1.0kN/m²；楼面恒载为 4.7kN/m²、活载为 2.0kN/m²。

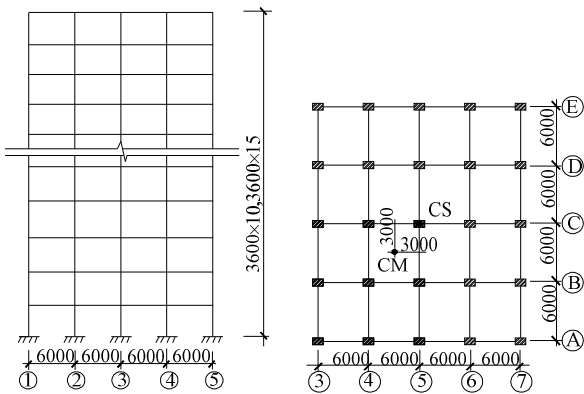
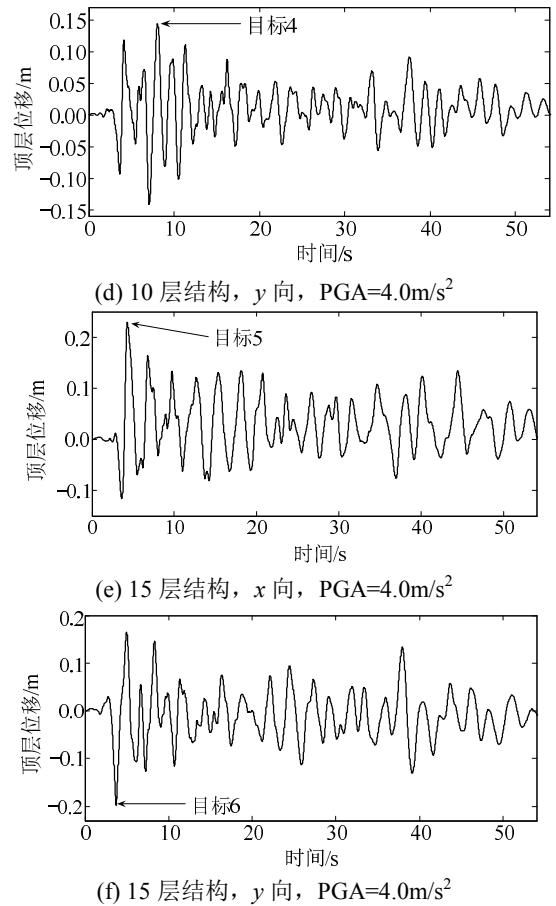
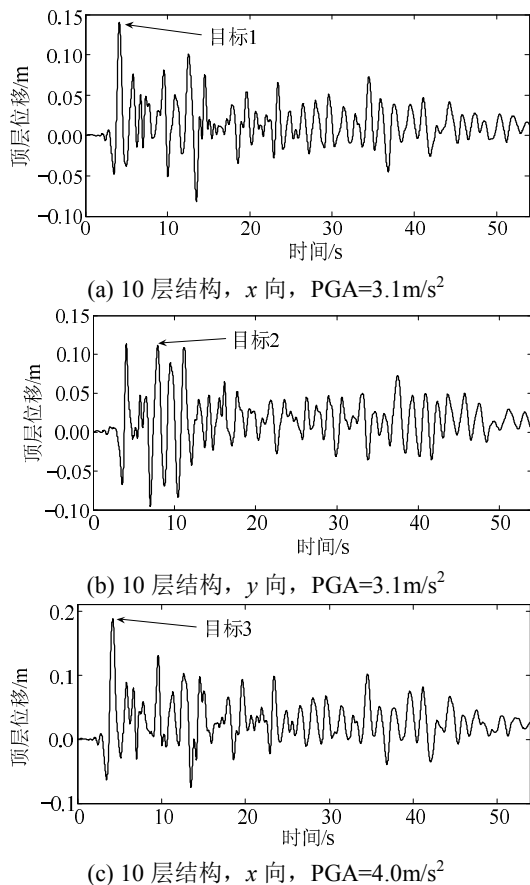


图 1 结构简图

Fig.1 Sketch of the building

选择 Taft(Kern County 1952, 1095 Taft Lincoln School)的双向地震加速度记录作为地震输入来检验分析方法的准确性。将 Taft 地震动的峰值加速度分别调整为 3.1m/s² 和 4.0m/s²，并分别对 2 幢结构进行非线性反应时程分析(简称 NL-RHA 分析)，得到各情况下的顶层位移时程曲线如图 2 所示。图 2 给出 6 个目标峰值位移，作为分析本文方法偏差的目标控制位移。



(f) 15层结构, y向, PGA=4.0m/s²

图 2 结构顶层位移时程

Fig.2 Displacement time history of the structural roof

3.2 比较程序

采用以下分析过程来检验本文方法的准确性：

1) 第一阶段的 MMPA

① 通过各模态 Pushover 分析确定各模态 E-SDOF 体系的恢复力模型。

② 应用非线性时程分析法求解各模态的 E-SDOF 体系的反应，换算为模态的结构反应，并进行多模态反应叠加。

③ 对应本文 3.1 节选择的 6 个目标点，分别确定各模态的结构顶层目标位移 u_{roi} 和反应叠加后的结构顶层目标位移 u_{ro} 。

④ 按各模态的推覆力模式进行 Pushover 分析。

⑤ 各模态的 Pushover 分析推覆到相应的 u_{roi} 为止，确定此时的结构反应(例如：层间位移、楼层位移等)，并将此时各模态的反应进行叠加。

⑥ 将 MMPA 法求得的反应结果与 NL-RHA 法求得的反应结果(可看作精确解)进行比较。

2) 第二阶段的 CMMPA

① 按照第一阶段 MMPA 结果确定第二阶段的推覆力分布模式。

② 按此推覆力模式进行第二次多维 Pushover 分析, 即 CMMPA, 推覆到 u_{r0} 为止。

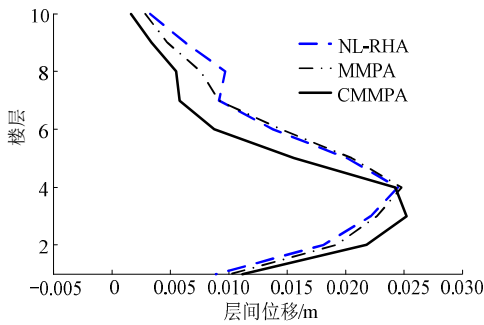
③ 将 CMMPA 与 NL-RHA 的反应分析结果进行比较。

3.3 比较分析

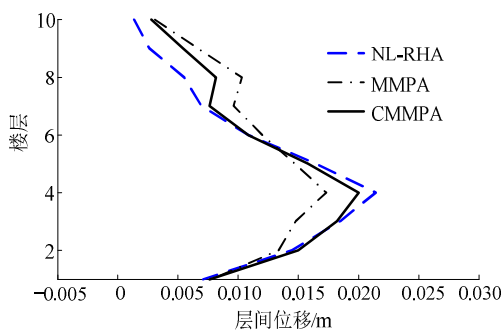
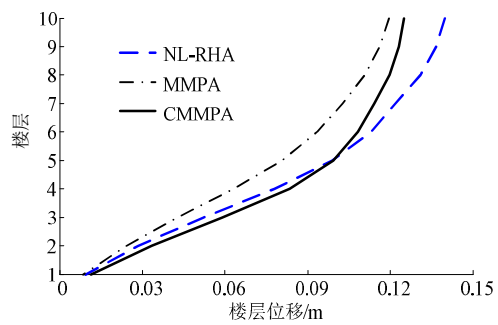
图 3 给出当顶层位移达到各目标位移时分别按 NL-RHA、MMPA 和 CMMPA 方法计算得到的层间位移、楼层位移的比较。这里认为 NL-RHA 方法的结果为精确解。从图 3 可以看到: 1) 采用 MMPA 方法可以较准确的估算双向地震激励下的结构位移反应。2) 随着地震动强度的增大, MMPA 法估算的结构反应偏差会有所增大。3) 随着结构楼层数的增多, MMPA 法估算的结构反应偏差也会有所增大。4) 尽管采用固定的推覆力模式进行 Pushover, CMMPA 方法得到的层间位移和楼层位移反应仍然较为准确, 其偏差在可接受的范围之内, 在某些情

况下甚至小于 MMPA 方法的结果偏差。但对于 15 层结构的目标位移 6, 基于 CMMPA 得到的位移分布出现了较大的偏差。5) 同 MMPA 法相似, 随着顶层目标控制位移的增大, CMMPA 与 NL-RHA 的反应结果偏差会逐渐增大。偏差原因分析: 1) 理论上振型分解思路不适合于塑性反应分析; 2) 通过静力分析估算动力反应结果具有不合理性。

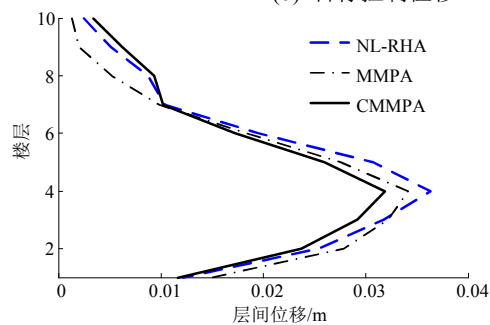
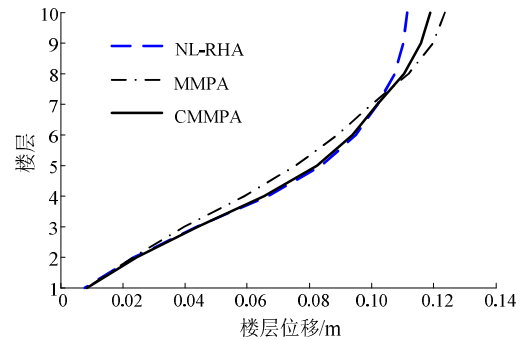
图 4 为按组合模态推覆力模式进行 Pushover 分析的能力曲线, 图 4 同时给出了单模态 Pushover 分析得到的能力曲线(其中, x 方向取 1、2 振型; y 方向取 1、3 振型)。由图 4 可知: 通过单模态 Pushover 分析得到的能力曲线不能合理反映结构在水平地震作用下的力-位移关系, 所以有必要建立一种固定的推覆力模式进行 Pushover 分析, 以作为模态 Pushover 分析的补充, 而采用 CMMPA 方法可以合理给出结构整体的弹塑性发展过程。



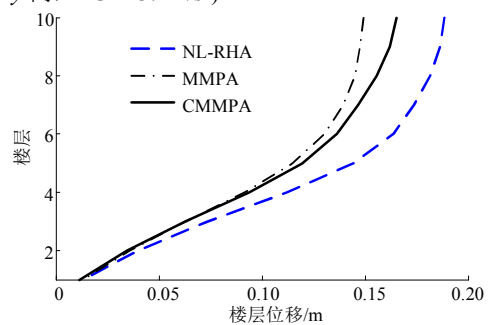
(a) 目标控制位移 1 时(10 层结构, x 向, $PGA=3.1m/s^2$)



(b) 目标控制位移 2 时(10 层结构, y 向, $PGA=3.1m/s^2$)



(c) 目标控制位移 3 时(10 层结构, x 向, $PGA=4.0m/s^2$)



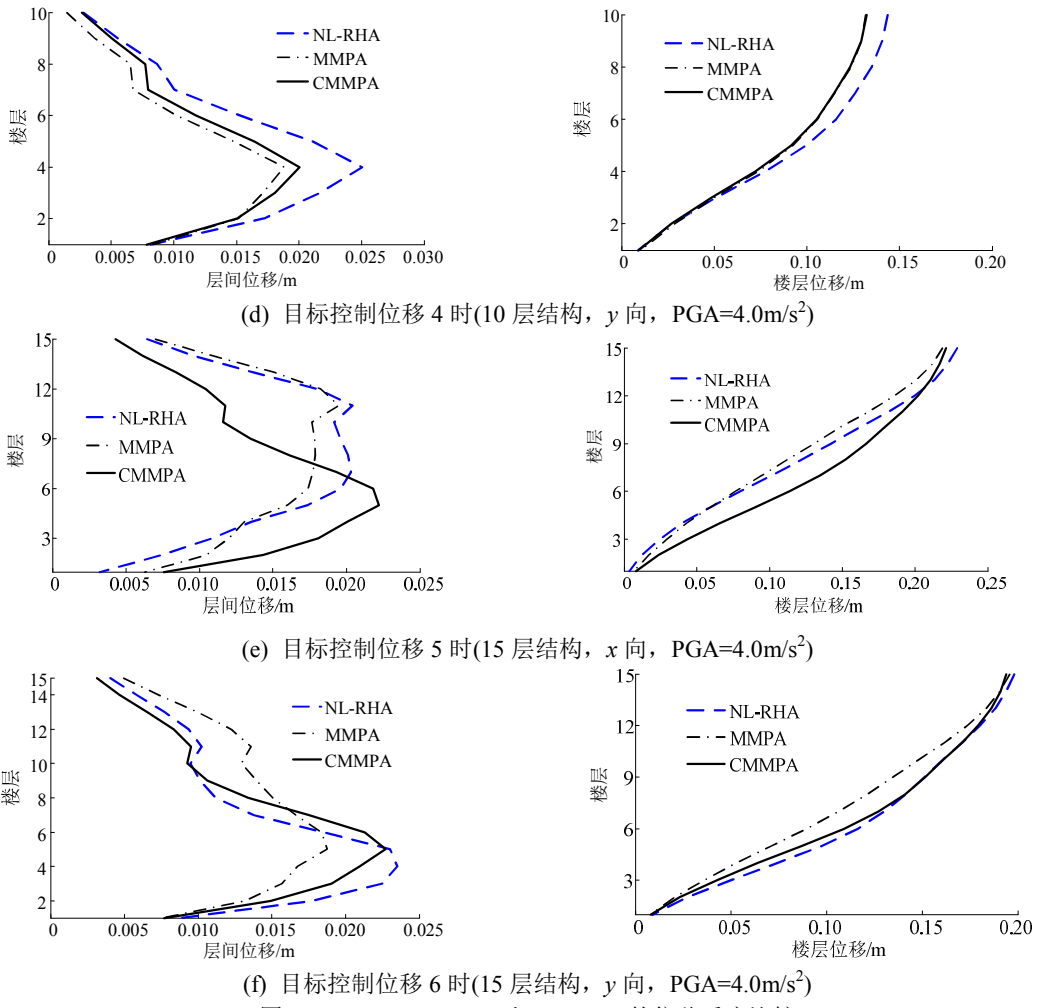


图 3 NL-RHA, MMPA 和 CMMPA 的位移反应比较

Fig.3 Comparison of displacement responses among NL-RHA, MMPA and CMMPA

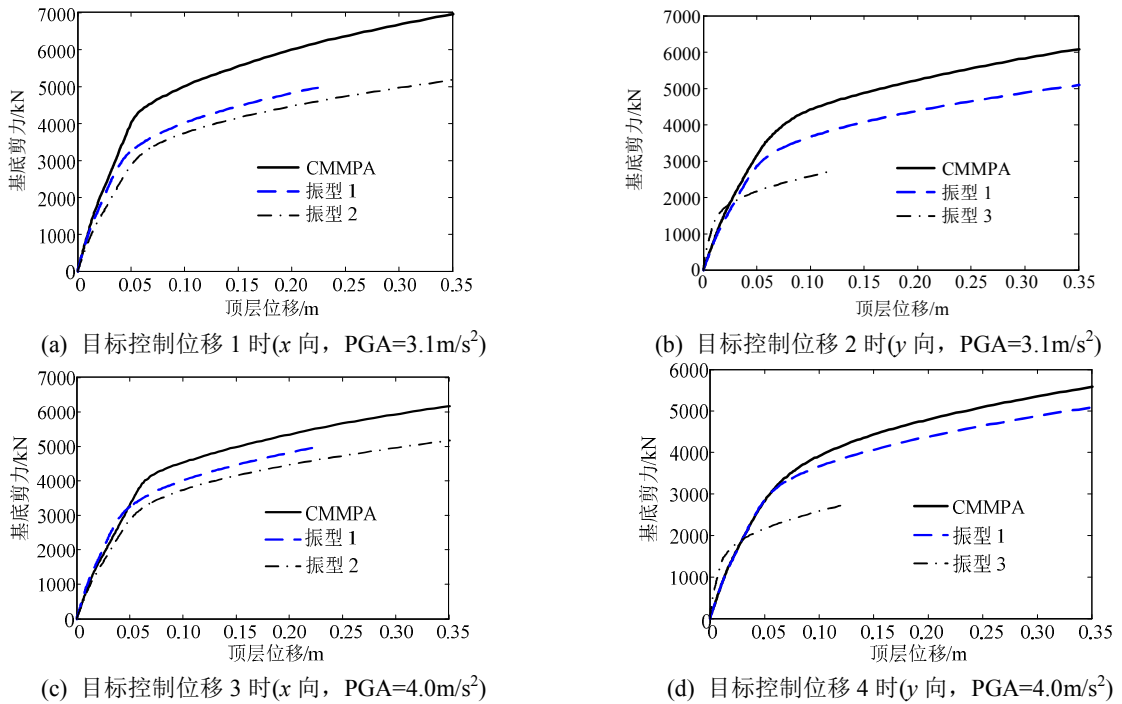


图 4 CMMPA 能力曲线和单模态的 Pushover 分析能力曲线

Fig.4 Capacity curves of CMMPA and single modal Pushover analysis

4 结论

本文在传统模态 Pushover 分析的基础上提出了两阶段多维 Pushover 分析方法。第一阶段: 运用考虑双向地震激励的模态多维 Pushover 分析, 即 MMPA。第二阶段: 由组合振型推覆力模式对结构进行第二次多维 Pushover 分析, 即 CMMPA, 研究结构的弹塑性发展过程。

通过对 2 幢质量偏心框架结构的算例分析表明: 1) 第一阶段 Pushover 分析采用的 MMPA 方法能够较准确的给出结构塑性位移沿楼层的分布特征。随着地震激励的增大, MMPA 方法估算的结构反应偏差会逐渐增大。随着结构楼层的增大, MMPA 方法估算的反应偏差也会增大; 2) 第二阶段 Pushover 分析所采用的 CMMPA 方法可从整体上分析结构的弹塑性力-位移发展过程, 解决了传统模态 Pushover 分析只适合于求解目标反应结果而不能研究塑性发展过程的局限, 且在各目标位移控制点的位移估算也较为准确。

参考文献:

- [1] 尹华伟, 汪梦甫, 周锡元. 结构静力弹塑性分析方法和改进[J]. 工程力学, 2003, 20(4): 45—49.
Yin Huawei, Wang Mengfu, Zhou Xiyaun. Studies and improvements on structural static pushover analysis method [J]. Engineering Mechanics, 2003, 20(4): 45—49. (in Chinese)
- [2] 吕大刚, 崔双双, 陈志恒. 基于 Pushover 分析的钢筋混凝土框架结构抗侧向倒塌能力评定[J]. 工程力学, 2013, 30(1): 180—189.
Lü Dagang, Cui Shuangshuang, Chen Zhiheng. Assessment of sidesway collapse resistant capacity of reinforced concrete frame structures based on pushover analysis [J]. Engineering Mechanics, 2013, 30(1): 180—189. (in Chinese)
- [3] 汪梦甫, 周锡元. 关于结构静力弹塑性分析(Push-over)方法中的几个问题[J]. 结构工程师, 2002, 18(4): 17—22.
Wang Mengpu, Zhou Xiyuan. Some problems in the static push-over analysis of structures [J]. Structural Engineering, 2002, 18(4): 17—22. (in Chinese)
- [4] Chopra A K, Goel R K. A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings [J]. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2002, 31(3): 561—582.
- [5] Chintanapakdee C, Chopra A K. Evaluation of Modal Pushover Analysis Using Vertically Irregular Frames [C]. The 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver B C, Canada, August 1-6, 2004, Paper No.2139.
- [6] Lin J L, Tsai K C. Seismic analysis of two-way asymmetric building systems under bi-directional seismic ground motions [J]. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2008, 37(2): 305—328.
- [7] Bosco M, Ghersi A, Marino E M. Corrective eccentricities for assessment by the nonlinear static method of 3D structures subjected to bidirectional ground motions [J]. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2012, 41(13): 1751—1773.
- [8] Chopra A K, Goel R K. A modal pushover analysis procedure to estimate seismic demands for unsymmetric-plan buildings [J]. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2004, 33(8): 903—927.
- [9] Reyes J C, Chopra A K. Three-dimensional modal pushover analysis of buildings subjected to two components of ground motion, including its evaluation for tall buildings [J]. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2011, 40(7): 789—806.
- [10] 沈蒲生, 龚胡广. 多模态静力推覆分析及其在高层混合结构体系抗震评估中的应用[J]. 工程力学, 2006, 23(8): 69—73.
Shen Pusheng, Gong Huguang. Multi-mode pushover analysis and seismic evaluation in hybrid structures [J]. Engineering Mechanics, 2006, 23(8): 69—73. (In Chinese)
- [11] Sucuoglu H, Gunay M S. Generalized forced vectors for multi-mode pushover analysis [J]. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2011,40(1):55—74.
- [12] Jiang Y, Li G, Yang D X. A modified approach of energy balance concept based multimode pushover analysis to estimate seismic demands for buildings [J]. Engineering Structures, 2010, 32(5): 1272—1283.
- [13] Manoukas G, Athanatopoulou A, I Avramidis. Multimode pushover analysis for asymmetric buildings under biaxial seismic excitation based on a new concept of the equivalent single degree of freedom system [J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2012, 38(2): 88—96.
- [14] Fajfar P. Capacity spectrum method based on inelastic demand spectra [J]. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 1999, 28(9): 979—993.
- [15] Smeby W, Der Kiureghian A D. Modal combination rules for multicomponent earthquake excitation [J]. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 1985, 13(1): 1—12.