

钢筋混凝土结构抗震承载力及延性的探讨

胡晓宇

(华中科技大学 土木工程与力学学院 湖北 武汉 470074)

摘要: 提出了抗震能力系数, 给出了判断结构抗震能力强弱的方法, 由此得出抗震结构若具备足够承载能力, 其延性要求可以适当降低, 并且结构屈服承载力对结构抗震能力的影响程度更大, 从而认为不宜将结构设计得抗震承载力过低, 而片面追求结构延性。

关键词: 抗震; 承载能力; 延性; 抗震能力系数

中图分类号: TU528.571

文献标识码: A

地震是一种突发性的自然灾害, 强烈地震在瞬时就能对地面建筑造成严重破坏. 我国是一个多地震国家, 地震区分布广, 历次地震表明, 地震对人民生命财产造成的损失是巨大的. 为了防御地震灾害, 减轻地震损失, 众多学者对建筑结构抗震问题进行了一系列研究, 逐渐形成了结构抗震理论, 其主要思想是以保证结构具备一定承载能力和延性来抵抗小震和中震及大震, 但对于结构抗震承载能力和延性的关系, 不太明确, 目前抗震理论对小震作用是以结构承载能力来抵抗的, 而对中震及大震作用则主要靠结构延性来抵抗^[1], 并认为相同体系的结构应具有相同的延性的要求. 对此笔者在分析结构承载能力与延性的相互关系的基础上, 提出了不同看法.

1 结构抗震能力的判别

抗震结构, 地震作用下, 其振动方程为

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = -[M]\{1\}\ddot{x}_g \quad (1)$$

结构各质点的地震作用为

$$\{F\} = -[M]\{1\}\ddot{x}_g - [M]\{\ddot{x}\} - [C]\{\dot{x}\} \quad (2)$$

$$\{F\} = [K]\{x\} \quad (3)$$

式(3)左乘 $\{\dot{x}\}^T dt$, 并积分, 得

$$\int_0^t \{\dot{x}\}^T \{F\} dt = \int_0^t \{\dot{x}\}^T [K]\{x\} dt \quad (4)$$

式(4)中 $\int_0^t \{\dot{x}\}^T \{F\} dt$ 代表地震作用下, 结构处于预定状态时, 地震输入结构的能量, $\int_0^t \{\dot{x}\}^T [K]\{x\} dt$ 代表地震作用下, 结构处于该状态的变形势能.

假设地震作用下, 相应弹性结构各质点的地震作用向量为 $\{F_e\}$, 水平位移向量为 $\{\Delta_e\}$, 则地震输入该弹性结构的最大能量为 $E_U = \frac{\{\Delta_e\}^T \{F_e\}}{2}$. 研究表明, 对于中频建筑结构, 地震输入弹塑性结构的能量与相应弹

收稿日期: 2008-10-08

作者简介: 胡晓宇(1989-), 男, 江西南昌人, 研究方向为土木工程与房产经济.

性结构大致相同,因此地震输入结构的最大能量均为 E_U .

采用 pushover 法计算地震作用下结构达到预定状态时的变形势能^[2-4],为

$$E_p = \sum_{i=1}^n \left(\{ \Delta x \}_i^T \left(\{ P \}_{i-1} + \frac{\{ \Delta P \}_i}{2} \right) \right) \quad (5)$$

式中 E_p ——结构的变形势能;

$\{ \Delta P \}_i$ ——结构质点的第 i 步荷载增量向量; $\{ \Delta P \}_i = \{ P \}_i - \{ P \}_{i-1}$

$\{ P \}_{i-1}$ 、 $\{ P \}_i$ ——分别为结构质点的第 $(i-1)$ 步、第 i 步荷载向量;

$\{ \Delta x \}_i$ ——结构质点的第 i 步水平位移增量向量; $\{ \Delta x \}_i = \{ x \}_i - \{ x \}_{i-1}$

$\{ x \}_{i-1}$ 、 $\{ x \}_i$ ——分别为 $\{ P \}_{i-1}$ 、 $\{ P \}_i$ 作用下,结构质点的位移向量

定义结构抗震能力系数^[5]

$$\lambda = \frac{E_p}{E_U} \quad (6)$$

式(6)可见 λ 表示地震作用下达到预定状态时,结构变形吸收的能量与地震输入结构的最大能量之比,该值越大,代表结构达到预定状态时吸收地震能量的能力越强,表明其抗震能力越大,反之,则表明结构抗震能力越小. 式中 E_U 可按地震作用下的弹性结构分析.

若评估结构抵抗小震的能力,则将小震作用结构开始发生强度破坏作为其预定状态,采用 pushover 法计算结构达到该状态时的变形势能 E_p ,再按小震作用计算 E_U ,然后计算结构抗震能力系数 λ .

若评估结构抵抗中震的能力,则将中震作用结构发生一定程度破坏作为其预定状态,采用 pushover 法计算结构达到该状态时的变形势能 E_p ,再按中震作用计算 E_U ,然后计算结构抗震能力系数 λ .

若评估结构抵抗大震的能力,则将大震作用结构发生整体倒塌作为其预定状态,采用 pushover 法计算结构达到该状态时的变形势能 E_p ,再按大震作用计算 E_U ,然后计算结构抗震能力系数 λ .

结构整体倒塌控制机构一般采用下列两种^[5]:

(1) 结构产生足够多塑性铰而形成机构.

(2) 结构达到预先给定的位移限值或荷载限值.《抗震规范》已给出了钢筋混凝土框架结构弹塑性层间位移角限值为 $1/50$.

2 结构抗震承载力与延性的探讨

对于一个单自由度理想弹塑性结构,大震作用下其水平屈服承载力为 F_y ,水平屈服位移为 Δ_y ,结构倒塌前极限位移为 Δ_u ,其荷载 P ——侧移 Δ 曲线见图 1;相应弹性结构大震作用为 F_e ,弹性水平位移为 Δ_e .

前述分析可见,大震作用下 E_p 等于梯形 OADE 的面积, E_U 等于三角形 OBC 的面积^[6].

$$E_p = \frac{F_y(2\Delta_u - \Delta_y)}{2} \quad (7)$$

$$E_U = \frac{F_e \Delta_e}{2} \quad (8)$$

$$\lambda = \frac{F_y(2\Delta_u - \Delta_y)}{F_e \Delta_e} \quad (9)$$

化简,得

$$\lambda = \left(\frac{F_y}{F_e} \right)^2 \cdot (2\mu_\delta - 1) \quad (10)$$

$$\mu_\delta = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$$

式(10)表明,结构抗大震能力大小不仅和位移延性系数有关,还和

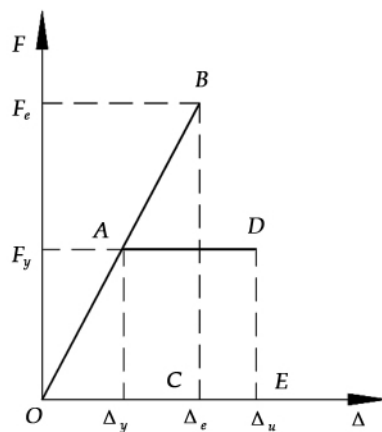


图 1 理想弹塑性结构 $F-\Delta$ 关系

结构屈服承载力 F_y 与弹性地震作用 F_e 的比值有关, 并且 F_y/F_e 对结构抗震能力的影响程度更大. 一个结构若 F_y/F_e 较大, 则其延性要求可适当降低. 因此适当增大结构的承载力, 是提高其抗震能力的有效措施.

由上可见, 一个抗震结构在具备足够承载能力的前提下, 是可以降低该结构的延性要求的; 但对不具备较高延性的结构, 应适当增大结构的承载能力, 比如砌体结构, 延性一般较低, 这时为保证该结构具备足够抗震能力, 就应适当增大结构的承载能力.

4 结束语

上述分析可见, 判别一个结构抗震能力大小并不仅仅取决于结构延性, 其中结构承载能力对结构抗震性能影响很大. 而当一个结构具备足够承载能力时, 可以适当降低该结构的延性要求. 若将结构设计得抗震承载力过低, 仅片面追求结构延性, 是难以保证结构具备足够抗震能力的. 2008年5月汶川地震很多结构发生倒塌, 其结构抗震承载力不足是一个重要原因, 对此笔者认为应引起足够重视.

参考文献:

- [1] 抗震结构设计[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2003. 8.
- [2] 汪梦甫, 王 锐. 基于位移的结构静力弹塑性分析方法的研究[J]. 地震工程与工程振动, 2006, 10(5): 73-80.
- [3] 蔡元奇, 朱以文, 黄建中, 黄克戡. 评估结构抗震性能的能量方法[J]. 地震工程与工程振动, 2003, 8(4): 64-68.
- [4] 龚胡广, 沈蒲生. 一种基于位移的改进静力弹塑性分析方法[J]. 地震工程与工程振动, 2005, 6(3): 18-23.
- [5] 张 敏. 建筑结构抗震分析与减震控制[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2007.
- [6] T. Paulay and M. J. N. Priestley. 钢筋混凝土和砌体结构的抗震设计[M]. 戴瑞同, 等译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.

A Discussion on Seismic Capability and Ductility of Reinforced Concrete Structure

HU Xiao_yu

(School of Civil Engineering and Mechanics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 470074, China)

Abstract: In this paper, coefficient of seismic capability is advanced, and method of judging seismic capability is presented. If seismic structure possesses enough carrying capability, the ductility of structure may be decreased relatively besides and structure yield capability will have a greater influence on the seismic capability. Therefore, it is not suitable to design structure of weak seismic capability to gain greater ductility.

Key words: seismic; carrying capability; ductility; coefficient of seismic capability

(责任编辑: 王建华)