

# 高烈度地区的燃机发电厂集控楼弹性时程分析

陈康华

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** [目的]为了探讨高烈度地区的结构动力弹性时程响应机理,文章采用某燃机发电厂集控楼进行弹性动力时程分析。[方法]根据目前的选波原则筛选出3条地震波,对该结构进行弹性动力时程分析。[结果]分析得出该结构在弹性动力时程分析中的结构响应结果,并与CQC振型分解反应谱法的结构响应进行对比。[结论]根据分析结果进一步探讨了该类结构在高烈度地区下的动力响应机理,对弹性动力时程分析结果的合理性和适用性进行论述,为该类结构的结构设计与分析提供参考与借鉴。

**关键词:** 高烈度地区;集控楼;弹性动力时程分析;结构响应

中图分类号: TM611; TU31

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2018)S1-0140-06

## Elastic Time-history Analysis of Central Control Building of Gas Turbine Power Plant in High Intensity Region

CHEN Kanghua

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** [Introduction] In order to investigate the mechanism of dynamic elastic time response of structures in high intensity regions, an elastic dynamic time-history analysis is carried out for a central control building of a gas turbine generator plant. [Method] In this paper, three seismic waves were selected according to the current wave selection principle, and the elastodynamic time history analysis of the structure was carried out. [Result] The structural response result in the elastic dynamic time-history analysis is shown, which is compared with the structural response of the CQC mode decomposition response spectrum method. [Conclusion] Furthermore, according to the analysis result, the mechanism of structural dynamic response under high intensity region is investigated, the rationality and applicability of the elastic dynamic time history analysis are discussed, which provides reference for structural design and analysis of this kind of structure.

**Key words:** high intensity area; central control building; elastic dynamic time-history analysis; structural response

随着工艺的不断发展和建筑结构体型不断复杂化,越来越多的建筑结构采用弹性动力时程分析作为CQC振型分解法的补充分析手段。然而,在时间和空间上,由于地震波的选取存在离散性和不规则性,现阶段的时程分析法的普及度仍然不如传统的CQC反应谱法,并不能从真正意义上弥补结构计算的不足。因此,时程分析法需要大量的工程实例分析来提供参考和借鉴,为结构分

析与设计提供技术沉淀,优化并完善结构设计流程。

为了探讨高烈度地区的结构动力弹性时程响应机理,本文采用某燃机发电厂集控楼进行弹性动力时程分析。该项目位于孟加拉国,结构体系为剪力墙结构,采用中国规范进行抗震设计。设防地震分组按第二组,设防烈度为8度,设计基本地震加速度为0.3g,III类场地,水平地震影响系数最大值为0.272,特征周期 $T_g$ 为0.78s。修正后的基本风压为1.16kN/m<sup>2</sup>,地面粗糙度类别为B类。

经过初步的CQC振型分解反应谱分析,可以得知该结构的控制工况为地震工况。

收稿日期: 2017-09-14 修回日期: 2017-10-24

基金项目: 中国能建广东院科技项目“粘滞阻尼耗能结构在地震高烈度区主厂房设计中的应用”(EX02011W)

## 1 结构分析模型

结构分析模型如图 1 所示：

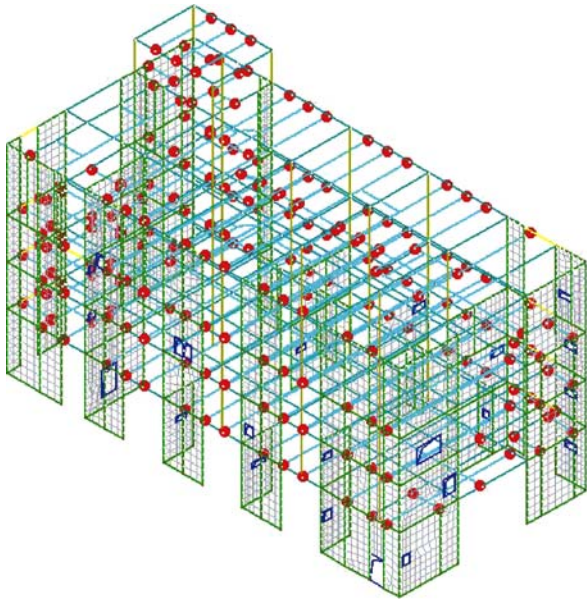


图 1 结构分析模型

Fig. 1 Structure analysis model

## 2 地震波选择

目前的选波方法多种多样，采用一定数量的天然波和人工波进行比选。该结构的第一周期为 0.376 4 s。根据现行规范要求推荐<sup>[1]</sup>，对比了若干条地震波的基底剪力与 CQC 基底剪力比值及其平均值比值。

### 2.1 选波现状分析

弹性动力时程分析作为 CQC 反应谱法的补充计算，可以比 CQC 反应谱法更真实地反映结构在地震作用下的响应<sup>[2]</sup>。有分析表明，天然波作用下的结构响应与规范反应谱相差较大，其平均值只有少数点能够做到与规范反应谱“在各个周期点上相差不大于 20%”，“在统计意义上相符”这一点只能从概念角度模糊做到<sup>[3]</sup>。由于种种因素的存在，结构设计人员目前还难以根据现行规范或设计经验合理选取地震波进行输入<sup>[2]</sup>。在对实际工程进行时程分析时，为了满足现行规范的分析原则，特别是“在统计意义上相符”这条规定，选取天然地震波的过程往往比较繁琐。规范对选波的规定比较难以操作，应进一步加以改进<sup>[4]</sup>。

国外较先进的抗震规范对于时程分析法中地震

波的选取原则基本达成共识，即输入地震波的反应谱须拟合设计反应谱。但对于反应谱拟合程度的控制尚存在争议<sup>[5-8]</sup>。

王亚勇<sup>[9]</sup>认为，对结构分析计算结果的评估是将结构基底剪力和最大层间位移或顶点位移和 CQC 反应谱法进行比较。因此，本文针对楼层位移、层间位移角和基底剪力等结构内力响应结果进行分析。

根据目前的选波原则和主流选波方法<sup>[2,9-11]</sup>，需要对地震波进行筛选，至少选出 2 条天然波和 1 条人工波才可以对结构进行弹性动力时程分析。

### 2.2 地震波筛选

根据地震动强度、频谱、持时等地震动三要素进行地震波选择，并根据本地特征周期，可以在地震波库里选择特征周期为 0.75 s 的地震波进行初选。

在初选的地震波库里，要根据结构响应是否满足规范要求来进行进一步的筛选，得出合适的“2 + 1”地震波组合。筛选原则如下：

1) 每条地震波基底剪力与 CQC 基底剪力比值  $\beta$  应满足：

$$0.65 \leq \beta \leq 1.35$$

2) 地震波基底剪力平均值与 CQC 基底剪力比值  $\lambda$  应满足：

$$0.8 \leq \lambda \leq 1.2$$

3) 前三阶周期点平均谱与规范谱比值  $\eta$  应满足：

$$0.5 \leq \eta \leq 1.5$$

根据上述筛选原则，可以选择两条天然波和一条人工波进行输入：

1) 天然波 TH008TG075 DARFIELD NEW ZEALAND 9-3-2010 SPFS，该波形的地震波信息如图 2 所示。

2) 天然波 TH002TG075 CAPE MENDOCINO 4-2541992 LOLETA FIRE STATION，该波形的地震波信息如图 3 所示。

3) 人工波 RH4TG075，该波形的地震波信息如图 4 所示。

### 2.3 地震波峰值调整

根据《建筑抗震设计规范》(2016 版)表 5.1.2 - 2<sup>[1]</sup>，地震烈度近似按 8 度(0.30 g)取值，故时程分析所用地震加速度时程的最大值为 110 cm/s<sup>2</sup>。

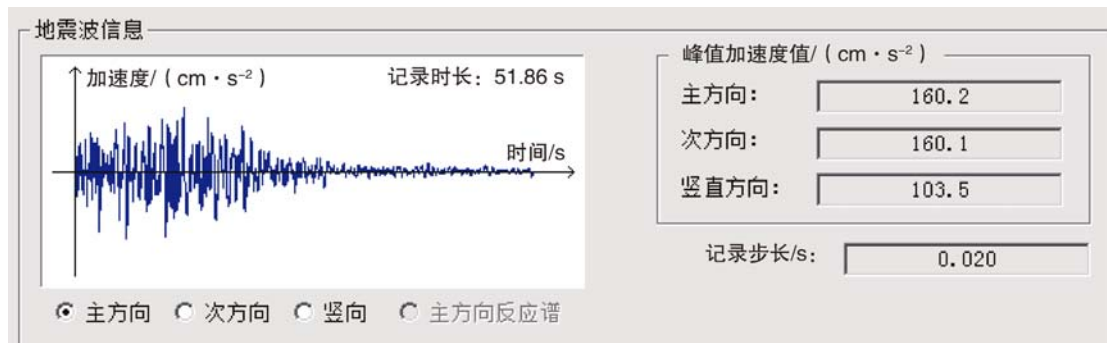


图2 天然地震波 1

Fig. 2 Natural earthquake wave 1



图3 天然地震波 2

Fig. 3 Natural earthquake wave 2

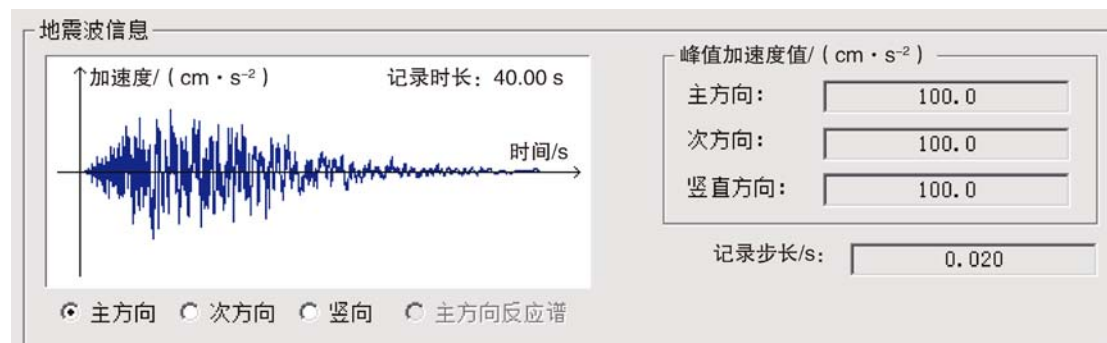


图4 人工地震波

Fig. 4 Artificial earthquake wave

据此对本次时程分析峰值按 1 : 0.85 : 0.65 进行调整, 如图 5 所示。

### 3 时程分析结果

该结构的时程分析结果如下:

#### 3.1 整体指标

该结构的时程分析整体指标按以下波谱编号排

列: (1) TH008TG075; (2) TH002TG075; (3) RH4TG075; (4) 平均值; (5) CQC。

##### 3.1.1 楼层位移

方向 1 的楼层位移如图 6 所示。由图 6 可以看出, 对于方向 1, 天然波和人工波的离散性较小, 各条地震波的楼层位移平均值包络也接近 CQC 反应谱位移。

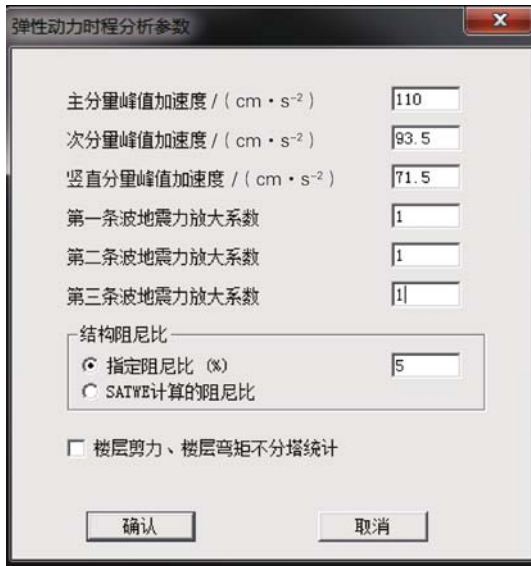


图 5 时程分析参数

Fig. 5 Parameter of time history analysis

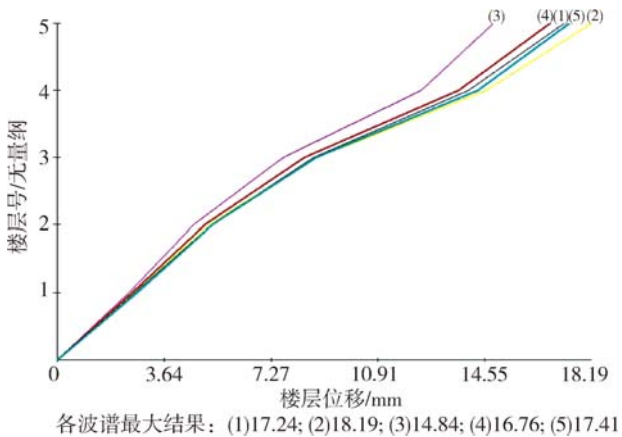


图 6 第 1 方向楼层位移

Fig. 6 Floor displacement of direction 1

方向 2 的楼层位移如图 7 所示。由图 7 可以看出，对于方向 2 而言，各条地震波的楼层位移的离散性比方向 1 的大，人工波的楼层位移包络与 CQC 反应谱的楼层位移包络非常接近。两条天然波的楼层位移均比人工波和 CQC 反应谱的小。各条地震波的楼层位移平均值包络也比 CQC 反应谱的小。

### 3.1.2 层间位移角

方向 1 的层间位移角如图 8 所示。由图 8 可以看出，对于方向 1 而言，两条天然波的层间位移角均比人工波和 CQC 反应谱的小，但其差异并不明显。而各条地震波的层间位移角平均值包络与 CQC 反应谱基本持平。方向 2 的层间位移角如图 9 所示。

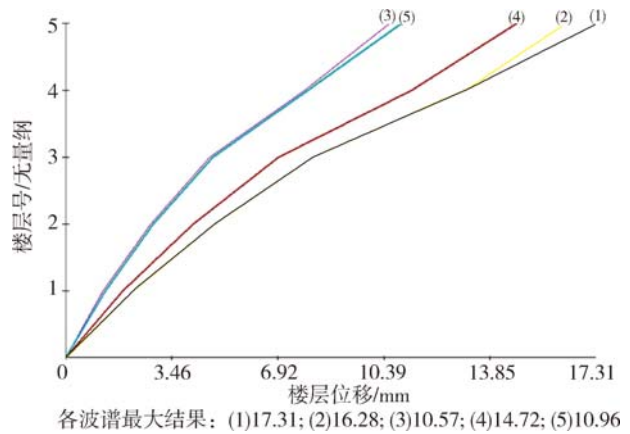


图 7 第 2 方向楼层位移

Fig. 7 Floor displacement of direction 2

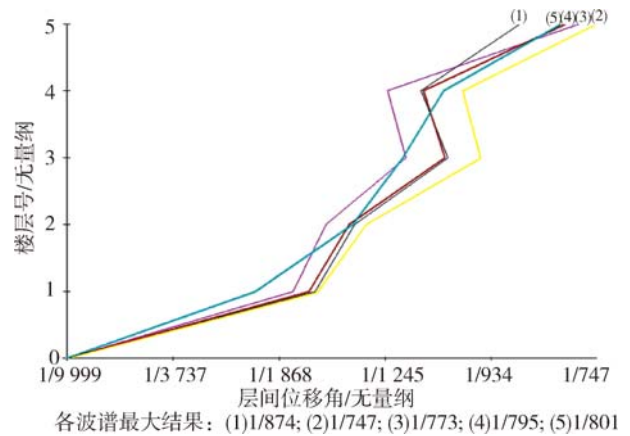


图 8 第 1 方向层间位移角

Fig. 8 Story drift ratio of direction 1

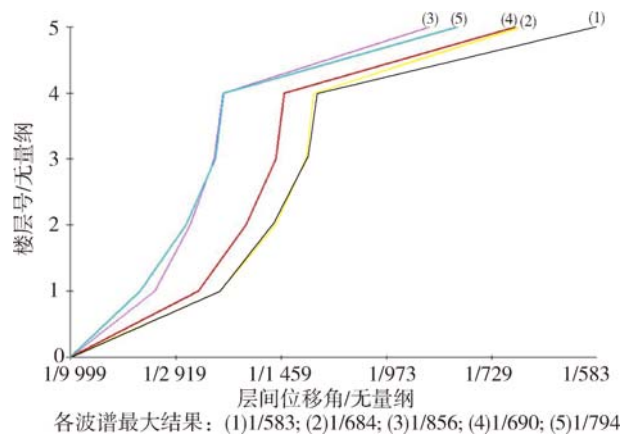


图 9 第 2 方向层间位移角

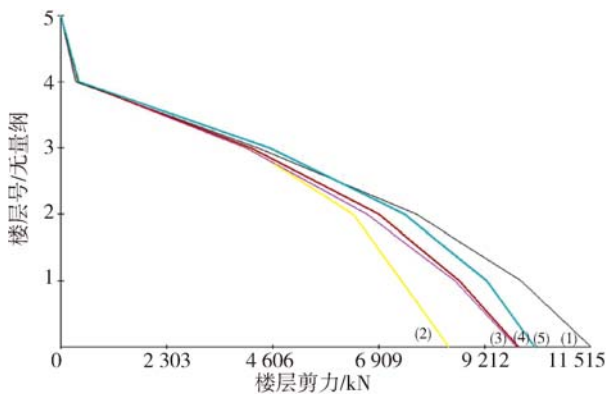
Fig. 9 Story drift ratio of direction 2

由图 9 可以看出，对于方向 2 而言，各条地震波的层间位移角的离散性比方向 1 的大，人工波的层间位移角包络与 CQC 反应谱的层间位移角包络

非常接近。两条天然波的层间位移角均比人工波和 CQC 反应谱的小。各条地震波的层间位移角平均值包络也比 CQC 反应谱的小。

### 3.1.3 楼层剪力

方向 1 的楼层剪力如图 10 所示，由图 10 可以看出，对于方向 1 而言，天然波 1 的楼层剪力比 CQC 反应谱的大，天然波 2 的楼层剪力比 CQC 反应谱的小。而各条地震波的楼层剪力平均值包络与 CQC 反应谱基本持平，比 CQC 反应谱略小。

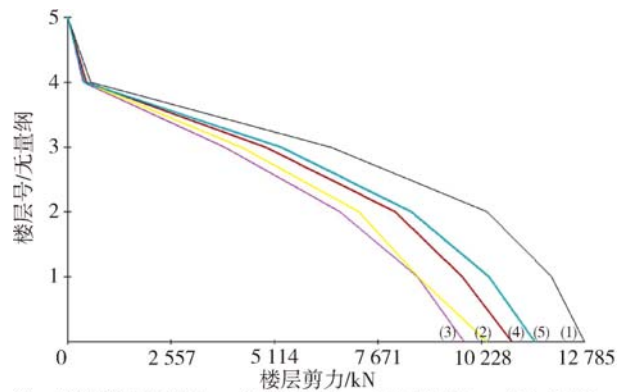


注：各波谱最大结果：(1) 11 515；(2) 8 422；(3) 9 900；(4) 9 946；(5) 10 301。

图 10 第 1 方向楼层剪力

Fig. 10 Story shear force of direction 1

方向 2 的楼层剪力如图 11 所示，由上可以看出，第 2 方向的楼层剪力分布与第 1 方向类似。人工波的楼层剪力略小于 CQC 反应谱。然而，各条地震波的楼层剪力响应与 CQC 反应谱基本吻合。



注：各波谱最大结果：(1) 12 785；(2) 10 353；(3) 9 806；(4) 40 981；(5) 11 554。

图 11 第 2 方向楼层剪力

Fig. 11 Story shear force of direction 2

### 3.2 地震波加速度谱与规范谱对比

地震波加速度谱与规范谱对比如图 12 所示。

由图 12 可以看出，无论是天然波还是人工波，由于地震波输入存在离散性，故其地震影响系数峰值会超越 CQC 振型分解反应谱的平台段。

本结构的第一自振周期为 0.376 4 s，位于 CQC 反应谱的平台段，处于各地震波谱的峰值阶段。因此，该结构在各条地震波作用下的结构响应会比 CQC 反应谱大，值得引起重视。

## 4 结论

根据以上分析，可以得出以下结论：

- 1) 在高烈度地区，剪力墙结构类型的集控楼在

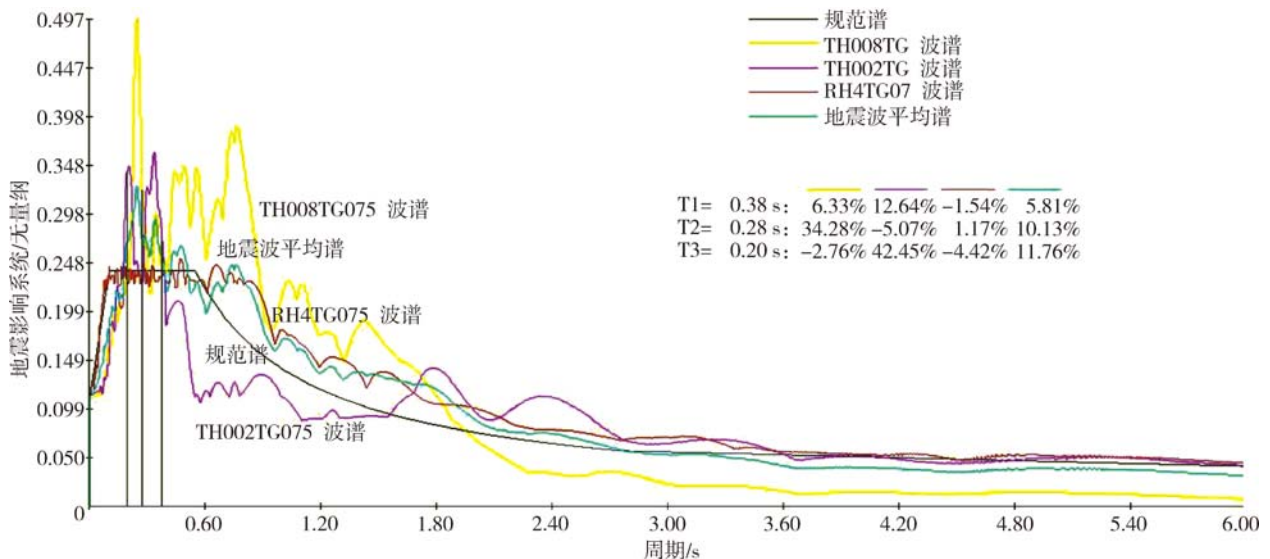


图 12 地震波加速度谱与规范谱对比图

Fig. 12 Diagram comparison of earthquake wave acceleration spectra and CQC spectrum

地震波作用下的弹性动力时程响应有一定的代表性和参考价值, 可以辅助传统的 CQC 振型分解反应谱法进行结构分析。

2) 该结构在高烈度地区的动力响应超过 CQC 反应谱法的计算结果。在工程实践中, 弹性动力时程分析是对于 CQC 反应谱法的结构设计辅助手段。

3) 对于该类周期较短的剪力墙结构, 地震波作用下的地震影响系数可能会比 CQC 反应谱大, 在结构分析中应引起结构设计人员的重视。

4) 作为结构设计的一种辅助手段, 弹性动力时程分析应该引起结构设计人员的充分重视。此类分析需要结合大量工程实例分析和经验总结以使其普及, 完善结构设计。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑抗震设计规范 (2016 年版): GB 50011—2010 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社出版, 2016: 31-32.  
Ministry of Housing and Urban Rural Development of the People's Republic of China. Code for seismic design of building (2016 edition): GB 50011—2010 [S]. Beijing: China Construction Industry Press, 2016: 31-32.
- [2] 陈康华, 郭远翔. 弹性动力时程分析中地震波的选取方法研究 [J]. 河北工业科技, 2012, 29(1): 40-43.  
CHEN K H, GUO Y X. Study on seismic wave selection method in elastic dynamic time history analysis [J]. Hebei Industrial Science and Technology, 2012, 29(1): 40-43.
- [3] 杨志勇, 黄吉锋, 邵弘. 弹性与弹塑性动力时程分析方法中若干问题探讨 [J]. 建筑结构学报, 2009, 30(增刊 1): 213-217.  
YANG Z Y, HUANG J F, SHAO H. Discussion on some problems in elastic and elastoplastic dynamic time history analysis [J]. Journal of Building Structures, 2009, 30(Suppl. 1): 213-217.
- [4] 费战武. 高层建筑弹性时程分析天然波的选取 [J]. 中国科技信息, 2006, 21: 56-57.  
FEI Z W. Selection of natural waves for elastic time history analysis of tall buildings [J]. China Science and Technology Information, 2006, 21: 56-57.
- [5] Uniform Building Code. UBC 97 Structural Engineering Design Provisions [S]. Whittier, California: Thomson Learning, 1997: 43-44.
- [6] 陶林惠, 李杰. 中美抗震设计规范主要地震动参数的对比研究 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(3): 122-126.  
TAO L H, LI J. Comparative study on the main parameters of ground motions in seismic design codes in China and America [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(3): 122-126.
- [7] 杨溥, 李英民, 赖明. 结构时程分析法输入地震波的选择控制指标 [J]. 土木工程学报, 2000, 33(6): 33-37.  
YANG P, LI Y M, LAI M. Structure time history analysis selection of input seismic wave control index [J]. China Civil Engineering Journal, 2000, 33(6): 33-37.
- [8] 黄丹. 中国、印度、孟加拉规范设计地震反应谱比较 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(1): 105-109.  
HUANG D. Comparison of design seismic response spectrum of Chinese, India and Bangladesh codes [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(1): 105-109.
- [9] 王亚勇. 关于设计反应谱、时程法和能量方法的探讨 [J]. 建筑结构学报, 2000, 21(1): 21-28.  
WANG Y Y. Discussion on design response spectrum, time history method and energy method [J]. Journal of Building Structure, 2000, 21(1): 21-28.
- [10] 杨红, 吴晶晶. 考虑结构局部反应特征的时程分析法输入地震波研究 [J]. 土木工程学报, 2007, 40(11): 29-35.  
YANG H, WU J J. Time history analysis method considering local response characteristics of structures [J]. China Civil Engineering Journal, 2007, 40(11): 29-35.
- [11] 万海涛, 杨琳, 戚永乐, 等. 常规岛主厂房基于变形的抗震性能研究 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(4): 111-115.  
WAN H T, YANG L, QI Y L, et al. Research on deformation-based seismic design of conventional island main plant [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(4): 111-115.

#### 作者简介:



CHEN K H

陈康华(通信作者)

1986-, 男, 广东湛江人, 工程师, 硕士, 主要从事建筑设计的工作(email)chenkanghua@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)