

关于天然设计地震波的研究

庞群英¹⁾ 肖遥²⁾ 李大华^{1, 2)}

1) 天津市地震局, 天津 300201

2) 中国地震灾害防御中心, 北京 100029

摘要 本文讨论了天然设计地震波的调整问题。通过给出的工程计算实例, 研究了产生天然设计地震波所采用技术的可行性和合理性。文中对塔吉克斯坦共和国杜尚别市鸟巢大厦结构隔震设计所需要的天然设计地震波进行了较为详细的研究, 提供的结果可满足设计需求。同时文中还对天然设计地震波调整技术存在的问题进行了初步的讨论。

关键词: 地震动 强震记录 天然设计地震波 人工地震波

引言

《建筑抗震设计规范(GB 50011-2001)》(中华人民共和国国家标准, 2001)和《建筑工程抗震性态设计通则(试用, CECS 160: 2004)》(中国工程建设标准化协会标准, 2004)均强制性地提出了采用设计地震波进行结构抗震设计的要求, 如:《建筑抗震设计规范(GB 50011-2001)》强制性要求采用时程法设计时, 需采用2条天然设计地震波和1条人工设计地震波。尽管工程抗震设计不可避免地要使用天然设计地震波, 但对天然设计地震波选用的标准细则目前还研究甚少, 以至于把天然设计地震波和人工设计地震波经常混为一谈, 为此有必要通过研究澄清该问题, 以便使工程地震灾害防御工作更加科学合理。为此, 本文将以工程场地地震安全性评价为例, 对这一问题进行分析研究。

1 天然设计地震波的调整问题

天然地震波就是在天然地震时, 数字地震台网记录到的地震波, 这些数据显然是科学给出设计地震波的依据和数据基础。所谓天然地震波, 一定不包含地震台网得到的人工爆破作业、塌陷、滑坡等振动产生的波形记录。而这些干扰记录的识别是专业人员通过实践经验来判别的, 也就是说, 天然地震波需要专业人员来目测判别。

天然地震波能够直接作为天然设计地震波的很少, 一般必须通过对一定的仪器记录天然地震波进行调整, 才能达到设计参数控制要求而作为天然设计地震波使用。因此, 如何将天然地震波调整为合理的天然设计地震波就成了技术的关键所在。通常的调整方法为:

(1) 仅调整加速度峰值, 这是最原始的天然设计地震波调整的方法。做法是把地震动绝对

[收稿日期] 2010-08-12

[作者简介] 庞群英, 女, 生于1973年。工程师。主要从事地震监测和预报工作。E-mail: pqunying@sina.com

加速度时间过程的每个数字点除以原始记录的加速度峰值归一化,然后再都乘以满足设计需要的加速度峰值。这种方法显然很不合理和完善,因为还有许多设计地震动参数未能得到满足。

(2) 以挑选的天然地震波数据为基础,同时调整加速度峰值和相位的方法,以设计地震动反应谱为目标谱进行拟合得到天然设计地震波。这是近 10 年来美国、日本等发达国家较为通用的做法。显然,这种方法相对合理些。

(3) 考虑地震危险性分析场地相关性的影响调整产生天然设计地震波,该方法仍以挑选的天然地震波数据为基础,根据地震危险性分析给出的场地相关加速度反应谱数据进行拟合,并考虑了场地时间过程曲线包络函数的方法,也有需要拟和场地相关设计地震动速度峰值的要求。该方法已在我国工程场地地震安全性评价中开始得到具体应用¹,显然这种新方法值得提倡和推广应用。

天然设计地震波和人工设计地震波具有密切关系,通过天然地震波数据调整出的天然设计地震波显然属于天然地震波性质;人工设计地震波也可以拟合目标设计反应谱成为满足工程需要的设计地震动时间过程,但它是人工地震波,而不是天然地震波,人工地震波和天然地震波的差别明显在于人工地震波的相位是人工随机数发生器产生的均匀分布相位的波形。因为过去人工地震波具有较强的场地相关性,而天然地震波由于距离场地太远,与场地之间的关系不紧密,所以工程场地地震安全性评价多采用人工地震波方法。

目前,已经可由强震记录或地震记录数字化时间过程数据调整拟合设计地震动参数,给出天然设计地震波,即在场地半径 150km 范围内,选取 4 级以上的强震记录或地震记录,用此作为天然设计地震波基本数据,同时拟合工程场地设计反应谱、加速度峰值和速度峰值,该方法在工程场地地震安全性评价工作中已经开始得到初步的应用。然而,在结构抗震设计中采用该方法的例子尚不多见,为此,本文以杜尚别市鸟巢大厦为例进行了下述研究。而人工地震波由于其相位非平稳的局限性和非真实性,随着已有大量数字化测震记录基本可以满足天然设计地震波合成的需要,人工地震波有可能很快被天然地震波所逐渐取代。

2 杜尚别市鸟巢大厦天然设计地震波评定

本文以塔吉克斯坦共和国杜尚别市鸟巢大厦结构隔震设计所需要的天然设计地震波为例进行研究,研究工作分 2 部分:第 1 部分是依据《建筑抗震设计规范(GB 50011-2001)》(中华人民共和国国家标准,2001)地震烈度 IX 度的设计反应谱,采用天然地震记录的相位,将地震记录的反应谱调整到与该抗震规范反应谱基本一致;第 2 部分是依据《建筑工程抗震性态设计通则(试用,CECS 160:2004)》(中国工程建设标准化协会标准,2004),将天然地震记录调整到与该通则设计反应谱基本一致。

2.1 建筑抗震设计规范反应谱参数

依据《建筑抗震设计规范(GB 50011-2001)》,地震烈度 IX 度对应的设计反应谱如图 1 和表 1 所示。

2.2 建筑工程抗震性态设计通则反应谱参数

依据《建筑工程抗震性态设计通则(试用,CECS 160:2004)》,地震烈度 IX 度对应的设

1 天津汤姆防震减灾工程设计中心,吉林省地震局地震工程研究院,2009.吉林省地震局办公楼工程场地地震安全性评价报告.

计反应谱如图 2 和表 1 所示，与图 1 不同的是图 2 无直线下降段。

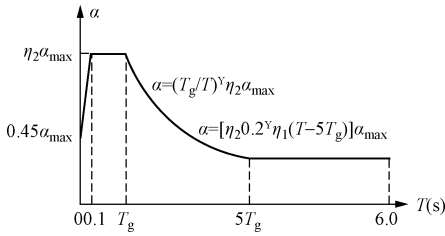


图 1 建筑抗震设计规范反应谱

Fig. 1 Code for seismic design of buildings response spectrum

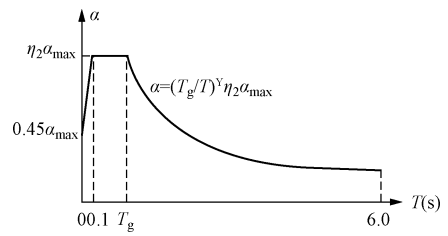


图 2 建筑工程抗震性能化设计通则反应谱

Fig. 2 General rule for performance-based seismic design of buildings response spectrum

表 1 GB50011-2001 和 CECS 160: 2004 规范烈度 IX 度设计地震动参数

Table 1 Design seismic parameters for GB50011-2001 and CECS 160: 2004 Code intensity IX

地震大小	场地周期 T_g (s)	加速度峰值 (cm/s^2)	速度峰值 (cm/s)	地震影响系数 α	γ	η_1	η_2
多遇地震	0.45	140	10	0.32	0.9	0.02	1
罕遇地震	0.50	620	50	1.40	0.9	0.02	1

2.3 调整天然设计地震波要求

本文分别拟合上述 2 种设计地震反应谱、加速度峰值和速度峰值，调整出天然设计地震波，其中反应谱拟合精度为相对误差在 5% 之内，拟合设计反应谱的控制点在 0.04—6s 范围内控制 40 个点以上，加速度峰值和速度峰值要求完全精确拟合。同时，要求以表 2 所示著名天然地震波为基础，进行天然设计地震波调整。

表 2 调整天然设计地震波的数字化记录主要参数

Table 2 Primary parameters for adjusting natural design seismic wave digital records

序号	天然地震波名称、时间	水平分量	持时 (s)	记录间隔 (s)	加速度峰值 (cm/s^2)	速度峰值 (cm/s)
1	El Centro 波, 1940	S00E	53	0.02	341.695	33.0
		S90W			210.142	35.2
2	Taft 波, 1952	N21E	54	0.02	152.7	132.8
		S69E			175.9	171.3
3	天津波, 1976	EW	19	0.01	104.18	20.0
		SN			145.80	26.6
4	日本波 Hachinohe, 1995	EW	65	0.01	229.0	36.2
		SN			179.8	41.2
5	塔吉克斯坦 2008 年 10 月 5 日 7.0 级地震, 新疆喀什台记录的地震波	EW	164	0.02		
		SN				

2.4 计算结果

本文对上述调整天然设计地震波需求进行了研究，计算所采用的方法为“非平稳人造地震动反应谱拟合技术”（李勇哲，2009），由于篇幅所限，本文仅给出前 4 个强震记录为基础

的多遇地震部分示意，以及适宜性计算结果图形（见图 3）。

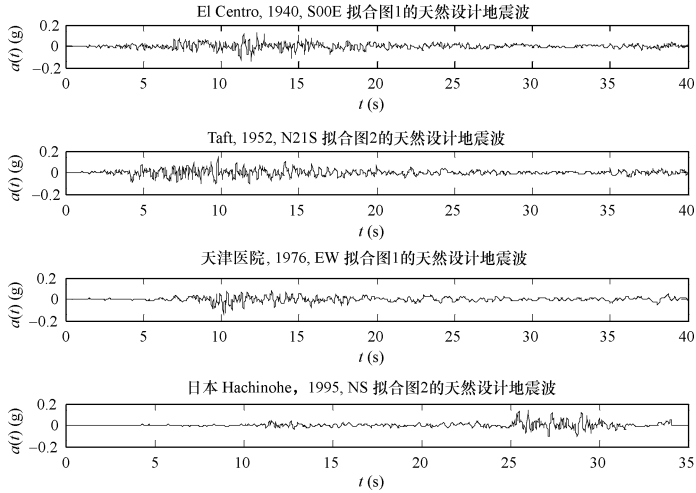


图 3 4 个强震记录多遇地震天然设计地震波示例图

Fig. 3 Frequent seismic natural design seismic wave for four strong ground motion records

同时，本文还采用了 2008 年 10 月 5 日塔吉克斯坦 7.0 级地震，并以该地震在新疆喀什地震台获得的数字化地震记录为基础，分别调整出拟合图 1 和图 2 设计反应谱的天然设计地震波，图 4 为给出的多遇地震天然设计地震波以及反应谱拟合示例图。

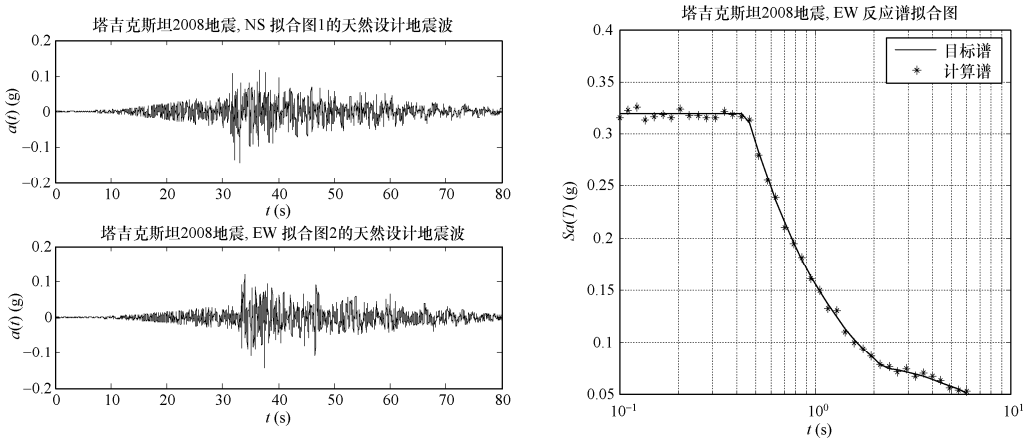


图 4 采用塔吉克斯坦地震记录调整多遇地震天然设计地震波及反应谱拟合示例图

Fig. 4 Frequent seismic natural design seismic wave and response spectrum simulations of Tajikistan ground motions records

3 讨论与结语

本文讨论了天然设计地震波的调整问题，也就是基于强震记录或地震记录进行调整，由于从拟合的设计地震动参数得到的设计地震波统称为天然设计地震波，因此，只有明确界定了天然设计地震波，才可能奠定结构抗震设计的基础。

通过给出的工程计算实例，本文阐述了产生天然设计地震波所采用的同时拟合设计反应谱、加速度峰值和速度峰值的计算技术是可行的，也是较为合理的。这一技术有必要通过修正完善纳入有关技术法规和要求，并使之能够得到推广应用。工程实践表明，调整地震波拟合设计地震动参数时，未拟合的地震波速度峰值存在较大的缺陷，应该尽量避免失控。同时计算经验也表明，天然设计地震波之所以非常重要，是因为它往往计算结构的反应要比人工设计地震波大些，也就是说人工地震波输入的计算结果可能偏于不安全，对此，作者将另文进行深入系统的研究。

本文对塔吉克斯坦共和国杜尚别市鸟巢大厦结构隔震设计所需要的天然设计地震波进行了较为详细的研究计算，提供的结果已可满足设计需求。对于文中图 1 和图 2 两个目标设计反应谱和表 1 需要拟合的参数，本文均做了大量计算分析，并得到以下一些新的认识：

(1) 考虑到场地相关性的要求，图 4 给出的天然设计地震波不仅可行，而且最为合理，因为实际地震记录表现出现场地相关性地震动特征在于持续时间明显成倍增长，采用其他的天然设计地震波将明显低估该工程场地地震动持续时间要素。

(2) 本文对天然设计地震波拟合了速度峰值，计算表明实现这一复杂的拟合并不困难，应该推广此项技术对速度峰值进行按规范要求的控制。

(3) 研究结果再次表明，多遇地震设计地震波及罕遇地震设计地震波，不应该具有严格的线性比例关系，其主要原因是速度峰值拟合要求否定了这一线性关系，因此，不同概率水平的天然设计地震波调整应该分别进行。

尽管本研究还是初步的、旨在明确天然设计地震波可行的调整方法，完成现有工程所需场地相关天然设计地震波的任务，加强工程应用与强震记录、测震记录的密切联系，但作者仍希望本文能对天然设计地震波的应用研究起到一定的借鉴作用。

参考文献

- 李勇哲，2009. 非平稳人造地震动反应谱拟合技术研究. 天津城市建设学院.
- 中华人民共和国国家标准，2001. 建筑抗震设计规范（GB 50011-2001）. 北京：中国建筑工业出版社.
- 中国工程建设标准化协会标准，2004. 建筑工程抗震性态设计通则（试用，CECS 160：2004）. 北京：中国计划出版社.

Study of Natural Design Seismic Wave

Pang Qunying¹⁾, Xiao Yao²⁾ and Li Dahua^{1, 2)}

1) Tianjin Seismological Bureau, Tianjin 300201, China

2) China Earthquake Disaster Prevention Center, Beijing 100029, China

Abstract In this paper, we discuss the product problem of natural designed seismic wave and study the technical feasibility and rationality of generating the natural designed seismic wave by the actual engineering calculation. Detailed study is given to the natural designed seismic wave used in seismic isolation structure design of the Nest Building in Dushanbe of the Republic of Tajikistan. The results can meet the design requirements well. We also discuss some problems in the modulating technique of natural design seismic wave in the paper.

Key words: Earthquake ground motion; Strong ground motion record; Natural designed seismic wave; Artificial seismic wave