

刘府生,李聪,高勤皓,等. 2025. 近断层加速度脉冲和非加速度脉冲的周期特性及影响因素分析[J]. 地震研究, 48(3): 488 – 495, doi: 10. 20015/j. cnki. ISSN1000 – 0666. 2025. 0051.

Liu F S, Li C, Gao Q H, et al. 2025. Analysis of the periodic characteristics and influencing factors of near-fault acceleration pulses and non-acceleration pulses [J]. *Journal of Seismological Research*, 48 (3): 488 – 495, doi: 10. 20015/j. cnki. ISSN1000 – 0666. 2025. 0051.

# 近断层加速度脉冲和非加速度脉冲的周期特性及影响因素分析\*

刘府生<sup>1</sup>, 李 聪<sup>2,4</sup>, 高勤皓<sup>3♣</sup>, 李万亨<sup>2</sup>, 常志旺<sup>2</sup>, 张迎宾<sup>2</sup>

(1. 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430063; 2. 西南交通大学 土木工程学院, 四川 成都 610031;  
3. 浙江大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310058; 4. 江苏核电有限公司, 江苏 连云港 222000)

**摘要:** 相比普通远场地震动, 近断层速度脉冲型地震动通常会导致结构产生较大变形, 增加结构坍塌风险。速度脉冲可进一步分为加速度脉冲和非加速度脉冲, 系统地分析其参数特性及其作用下结构响应有助于近断层工程结构的抗震设计与评估。首先, 利用峰点法 (PPM) 确定脉冲周期  $T_p$ , 并与  $S_v$  法和  $S_d \cdot S_v$  法进行比较分析。其次, 通过回归分析, 分别给出了两种类型脉冲的脉冲周期  $T_p$  与矩震级  $M_w$  的统计模型, 以及加速度和非加速度脉冲峰值速度  $PGV$  与矩震级  $M_w$  和断层距  $R$  之间的统计模型。最后, 分析了两种类型脉冲作用下4种单自由度体系的结构动力响应。结果表明: 对短周期结构而言, 加速度脉冲相对于非加速度脉冲会导致更严重的结构损伤; 对中长周期结构而言, 加速度脉冲与非加速度脉冲相比将引起较小的结构反应。

**关键词:** 近断层地震动; 加速度脉冲; 非加速度脉冲; 脉冲周期; 单自由度体系

**中图分类号:** P315.92 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 – 0666(2025)03 – 0488 – 08

doi: 10. 20015/j. cnki. ISSN1000 – 0666. 2025. 0051

## 0 引言

近断层脉冲型地震动相对于远场地震动会对结构造成更严重的破坏。脉冲周期和振幅是脉冲型地震动的关键特征, 主要受震源特征、台站与断层破裂的相对位置及场地效应的影响 (Bray, Rodriguez-marek, 2004)。Chang 等 (2016) 基于小波包分析 (WPT) 将速度脉冲进一步分为加速度脉冲和非加速度脉冲。两种不同属性的速度脉冲会对结构反应、抗震设计及参数评估产生不同

的影响, 系统研究加速度脉冲和非加速度脉冲的参数特性及其作用下的结构响应有利于推进当前近断层下基于性能的地震工程框架的进一步精细化。

脉冲周期是脉冲型地震动的关键参数, 结构的基本自振周期 ( $T_n$ ) 与脉冲周期 ( $T_p$ ) 相等或接近时将显著增加结构的失效概率 (于建, 赵立财, 2023)。Somerville (1998) 建立了不同场地条件下脉冲周期随震级的变化关系, 得出土层场地的脉冲周期略大于基岩场地的结论; 韦韬等 (2006) 对比分析了有无速度脉冲的反应谱和特

\* 收稿日期: 2024 – 10 – 13.

基金项目: 四川省自然科学基金 (2022NSFSC0456).

第一作者简介: 刘府生 (1969 –), 教授级高级工程师, 主要从事地质与岩土工程勘察设计研究.

E – mail: 744748100@qq. com.

♣通信作者简介: 高勤皓 (1996 –), 博士研究生在读, 主要从事地震工程方面的研究.

E – mail: qinhao\_gao@126. com.

征周期,结果显示长周期速度脉冲的反应谱大于非速度脉冲,并且速度脉冲的特征周期大于我国规范一、二类场地的特征周期;赵晓芬等(2018)分析发现当 $M_w < 7.5$ 时,最强速度脉冲方向分量的脉冲周期预测值比垂直或平行于断层方向分量的预测值大,而当 $M_w > 7.5$ 时,两种分量的脉冲周期预测值差异不大,可以忽略。

受震源、介质和场地等多种因素影响,地震动峰值加速度(PGV)具有很强的不确定性,会对结构产生严重的损坏。Campbell和Bozorgnia(2014)基于NGA数据库,考虑断层埋深、上下盘效应、震源机制等因素提出了不同的PGV衰减模型;Kale等(2015)提出针对土耳其和伊朗的PGV衰减预测模型,该模型重点考虑了地震动在PGV幅值、场地距离以及反应谱方面的区域差异。以上研究对不同震级和场地距离的PGV衰减模型进行了理论研究和实际应用,但未对速度脉冲精确分类后的地震动进行讨论。此外,学者们还研究了各种工程结构在脉冲型地震动作用下的结构响应,包括理想化的单(多)自由度系统(Guo *et al.*, 2018)、地震基础隔震结构(Mazza, Fabio, 2018)、桥梁结构(Antonellis, Panagiotou, 2014)和一些其他特殊结构或结构元件(Nigdeli, Boduroglu, 2013)。

上述研究大多针对近断层速度脉冲地震动,对加速度和非加速度脉冲的参数特征分析较少。因此,本文依据Chang等(2016, 2019)所提的小波包变换(WPT)法识别出74条加速度脉冲和45条非加速度脉冲记录,分析其参数特性及其作用下单自由度体系(SDOF)的结构响应,以期评估不同特征的脉冲地震动对结构的影响提供参考。

## 1 脉冲周期

### 1.1 PPM法确定脉冲周期

脉冲周期( $T_p$ )是地震学家和工程师在研究近断层地震中最为关心的地震动参数之一。不同学者使用不同方法得到 $T_p$ ,如Alavi和Krawinkler(2004)提出使用速度反应谱( $S_v$ )峰值对应的周期作为 $T_p$ (以下简称为“ $S_v$ 法”);Mavroeidis和

Papageorgiou(2003)以地震动信号中心频率的倒数作为 $T_p$ ;在Baker(2007)算法中,采用最大小波系数的伪周期作为 $T_p$ ;Kardoutsou等(2014)提出使用位移反应谱( $S_d$ )与速度谱( $S_v$ )乘积的峰值所对应的周期作为 $T_p$ ,即 $S_d \cdot S_v$ 法;其他方法包括计算过零点或使用非线性优化将截断正弦波与脉冲匹配来定义 $T_p$ ;Zhai等(2013)提出峰点法(Peak-Point Method,以下简称“PPM法”),通过计算与PGV相邻的波谷或波峰之间的时间间隔作为 $T_p$ ,PPM法的优势在于可以确定脉冲发生的起始及终止时刻( $t_s$ 和 $t_e$ )。然而,由于地震动的复杂性和随机性,平滑脉冲模型Gabor小波(Dickinson, Gavin, 2011)无法成功匹配某些具有特殊形状的速度脉冲,因此Chang等(2019)提出基于小波变换的PPM法,使用小波变换可以捕获多个半周期脉冲,进而准确定位出 $t_s$ 和 $t_e$ ,如图1所示。

图2分别比较了基于WPT法确定 $T_p$ 的PPM法与 $S_v$ 法及 $S_d \cdot S_v$ 法。图2a表明,对于加速度脉冲,PPM法与 $S_v$ 法确定的 $T_p$ 基本相同;对于非加速度脉冲,PPM法与 $S_v$ 法确定的 $T_p$ 各有差异;PPM法与 $S_v$ 法得到的 $T_p$ 相关系数达到了0.86。图2b表明,对于加速度脉冲及非加速度脉冲,使用PPM法确定的 $T_p$ 总体上小于 $S_d \cdot S_v$ 法所得到的 $T_p$ ,这是因为在提取脉冲进行小波变化时,只采用了小波系数的前70%用于重构速度时程,进而导致 $T_p$ 偏小;PPM法与 $S_d \cdot S_v$ 法确定的 $T_p$ 的相关系数为0.82。鉴于PPM法与 $S_v$ 法及 $S_d \cdot S_v$ 法有较好的相关性,为保证 $T_p$ 的准确性,故本文采用PPM法确定 $T_p$ 。

### 1.2 脉冲周期与震级关系

李华聪和钟菊芳(2021)指出, $T_p$ 与 $M_w$ 之间具有对数线性相关性,且提出了多种拟合关系式;Baker(2007)采用小波分析提取速度脉冲,并使用小波基的伪周期确定 $T_p$ ;Shahi和Baker(2013)提出取对应于最大小波系数的方向为最强速度脉冲方向,然后利用与Baker(2007)相同的方法确定 $T_p$ ,但未对加速度脉冲与非加速度脉冲两种类型地震动的 $T_p$ 与 $M_w$ 关系做研究。因此,本文对PPM法确定的 $T_p$ 和 $M_w$ 进行回归分析。

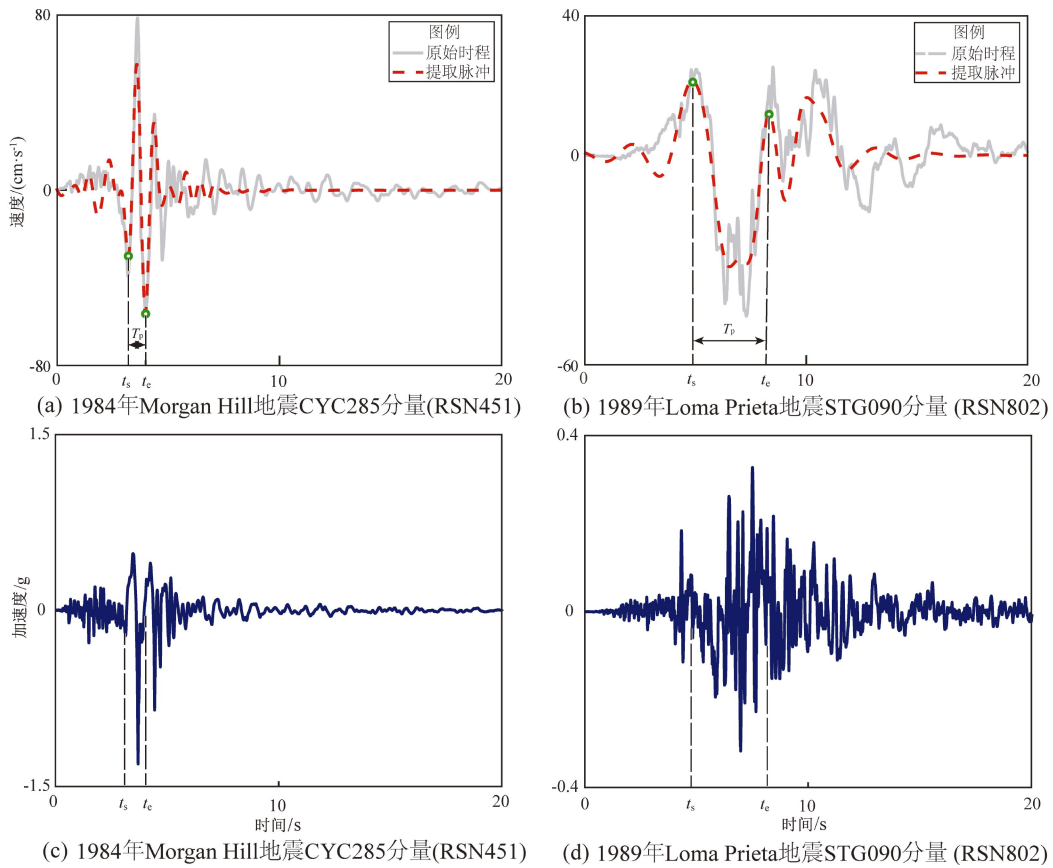


图 1 示例地震动的速度时程 (a、b)、加速度时程 (c、d) 及提取的脉冲

Fig. 1 Velocity time history (a, b), acceleration time history (c, d), and extracted pulses of the ground motion of the 1984 Morgan Hill earthquake and the 1989 Loma Prieta earthquake

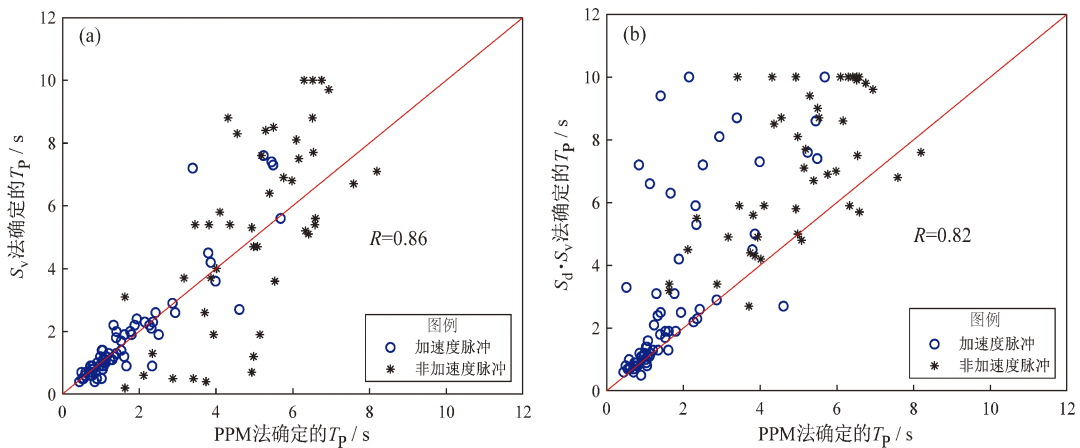


图 2 PPM 法与  $S_v$  法 (a) 和 PPM 法与  $S_d \cdot S_v$  法 (b) 脉冲周期对比

Fig. 2 Pulse periods obtained by PPM method and  $S_v$  method (a), and by PPM method and  $S_d \cdot S_v$  method (b)

图 3 表明无论是加速度脉冲还是非加速度脉冲, 其  $T_p$  总体上随  $M_w$  增大而增大。相对于非加速度脉冲, 加速度脉冲的  $T_p$  和  $M_w$  对数线性拟合关系式的斜率更大, 这表明加速度脉冲的  $T_p$  随  $M_w$  的增大速

率更快。 $T_p$  随  $M_w$  变化关系的统计模型见表 1。对于加速度脉冲, 本文回归分析得到的  $T_p$  比 Baker (2007) 以及 Shahi 和 Baker (2013) 得到的  $T_p$  要小, 误差和标准差也相对较小。这是由于 Baker

(2007) 以及 Shahi 和 Baker (2013) 所选地震动数据并没有对速度脉冲进行进一步系统分类, 而非加速度脉冲  $T_p$  比加速度脉冲  $T_p$  大, 导致综合回归结

果也偏大; 对于非加速度脉冲, 本文模型与 Baker (2007) 以及 Shahi 和 Baker (2013) 得到的  $T_p$  比较接近, 3 种模型的标准差也很接近 (表 1)。

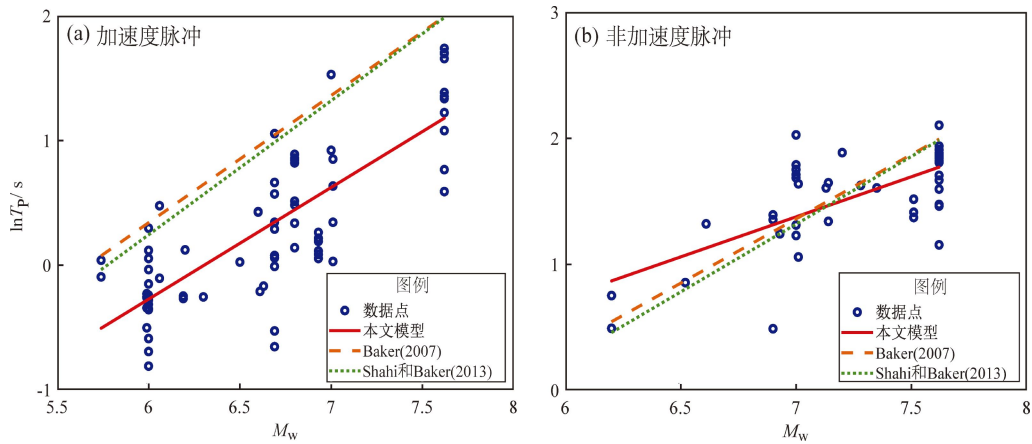


图 3 3 种模型中  $T_p$  与  $M_w$  分布及二者的回归分析关系

Fig. 3 Distribution of the pulse period ( $T_p$ ) and the magnitude ( $M_w$ ) and their regression relation

表 1  $T_p$  随  $M_w$  变化关系的统计模型

Tab. 1 Models of the relations between the pulse period ( $T_p$ ) and the moment magnitude ( $M_w$ )

统计模型	表达式		标准差	
	加速度脉冲	非加速度脉冲	加速度脉冲	非加速度脉冲
Baker (2007)	$\ln T_p = -5.78 + 1.02M_w$		0.387	0.317
Shahi 和 Baker (2013)	$\ln T_p = -6.207 + 1.075M_w$		0.396	0.328
本文模型	$\ln T_p = -5.65 + 0.90M_w$	$\ln T_p = -3.07 + 0.66M_w$	0.277	0.335

2 脉冲幅值与震级和断层距关系

本文统计分析了加速度脉冲、非加速度脉冲的  $PGV$  随  $M_w$  和断层距 ( $R$ ) 的变化关系, 并与赵晓芬等 (2018)、Somerville (2003) 提出的统计模型进行对比, 如图 4 所示, 回归得出的统计模型见表 2。加速度脉冲和非加速度脉冲的  $PGV$  最大值分别为 251 cm/s、186 cm/s, 这 2 个数据较其他数据差异较大, 为保证回归效果, 在回归分析前将其剔除。

图 4 显示, 由于 Somerville (2003) 回归分析所用的数据量小且离散程度大, 导致其模型比赵晓芬等 (2018) 模型以及本文模型的  $PGV$  预测值要大得多。对于加速度脉冲, 随着  $M_w$  增大, 本文模型比赵晓芬等 (2018) 模型的  $PGV$  预测值大, 且当  $R < 30$  km 时两种模型  $PGV$  预测值较为接近; 对于非加速度脉冲, 随着  $M_w$  增大, 本文模型比赵晓芬等 (2018) 模型的  $PGV$  预测值小, 这是由于近断层地震动具有很强的方向性, 而赵晓芬等 (2018) 模型采用了最强速度脉冲方向, 故其  $PGV$  的预测值较大。

表 2  $PGV$  随  $M_w$  和  $R$  变化关系的统计模型

Tab. 2 Statistical model of pulse peak  $PGV$  changing with the moment magnitude ( $M_w$ ) and the fault distance ( $R$ )

统计模型	表达式		标准差	
	加速度脉冲	非加速度脉冲	加速度脉冲	非加速度脉冲
Somerville (2003)	$\lg PGV = -1.0 + 0.5M_w - 0.5\lg R$		0.270	0.249
赵晓芬等 (2018)	$\lg PGV = 1.289 + 0.105M_w - 0.244\lg R$		0.177	0.141
本文模型	$\lg PGV = 0.694 + 0.186M_w - 0.208\lg R$	$\lg PGV = 1.635 + 0.033M_w - 0.233\lg R$	0.169	0.138

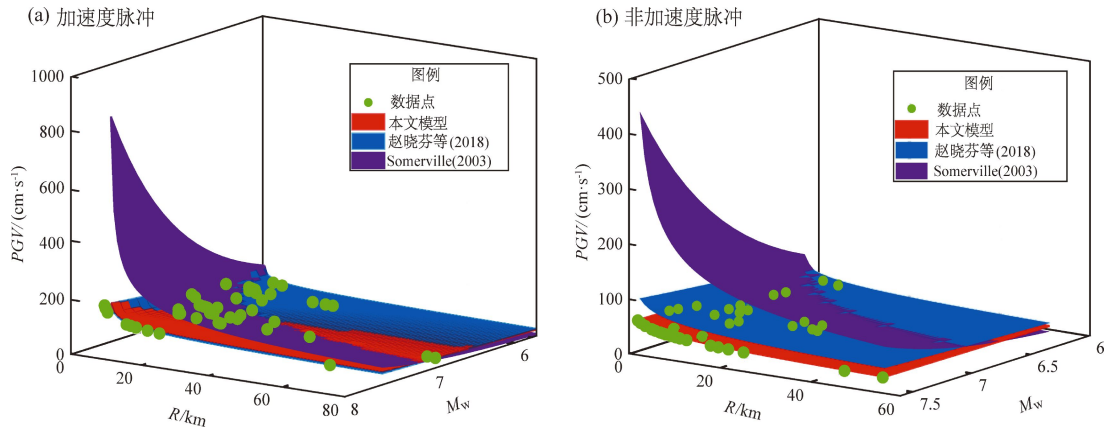


图4 本文得到的  $PGV$  随  $M_w$  和  $R$  的关系模型及其与前人模型的对比

Fig. 4 Models of the relation between velocity pulse peak ( $PGV$ ) and magnitude ( $M_w$ ) and fault distance ( $R$ ) in this paper, and the models given by other researchers

### 3 反应谱分析

反应谱是地震动特性的重要指标, 是一种描述结构在地震动作用下响应特性的频率域函数,

表示结构在不同频率下的地震反应程度, 通常以结构的加速度、速度或位移作为反应谱的单位。反应谱分析是一种常用的结构分析方法, 可以用来预测结构在地震中的响应, 评估结构的破坏风险, 优化结构设计等。

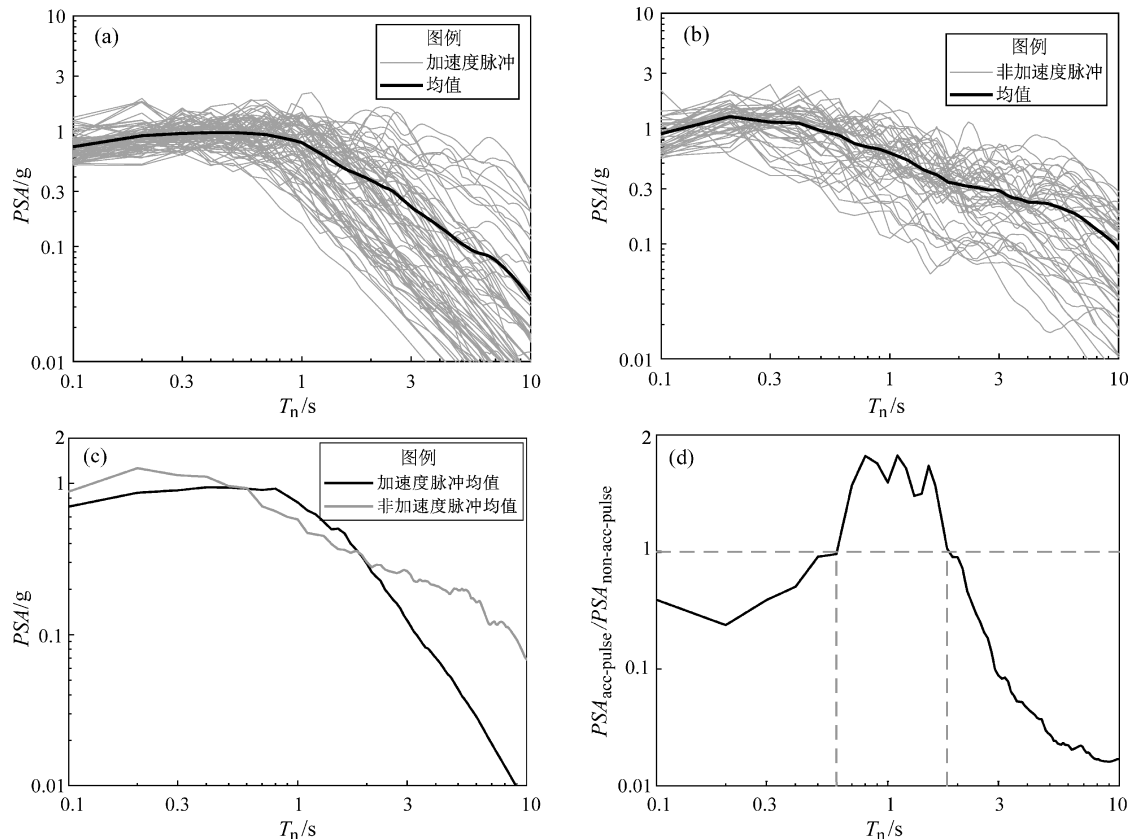


图5 加速度脉冲 (a) 与非加速度脉冲 (b) 的反应谱, 及二者的均值谱 (c) 和均值谱比值 (d)  
Fig. 5 Acceleration response spectra of the acceleration pulse (a) and the non-acceleration pulse (b) and their mean spectra (c) and their ratio (d)

地震动峰值加速度 ( $PGA$ ) 通常会对反应谱的大小与形状产生影响。为了更好地研究不同脉冲属性对反应谱的影响, 本文首先对地震动时程进行调幅, 将两种类型脉冲的幅值调至  $0.5\text{ g}$ , 从而减少  $PGA$  对反应谱的影响。图 5 分别给出了不同脉冲属性的每一条记录的反应谱及其均值反应谱和均值谱比值。从图中可以看出, 在短周期范围内, 两种类型脉冲的反应谱较接近, 当  $T_n < 0.6\text{ s}$  时, 加速度脉冲的反应谱值小于非加速度脉冲; 当  $0.6\text{ s} < T_n < 1.8\text{ s}$  时, 加速度脉冲的反应谱值大于非加速度脉冲; 在长周期范围内, 即  $T_n > 1.8\text{ s}$  时, 非加速度脉冲的反应谱值明显大于加速度脉冲。

综上所述, 对于长周期结构, 非加速度脉冲会引起更大的结构反应。这意味着在基于性能的结构抗震设计中选择近断层地震动进行结构动力分析时区分不同脉冲属性地震动是有必要的。

## 4 单自由度体系非弹性反应

### 4.1 结构响应模型与损伤指标

地震作用下单自由度体系 SDOF 的动力响应与以第一振型为主的多自由度结构的动力响应基本一致; 也可通过对 SDOF 进行适当修改, 进而表征

多自由度中多阶模态的地震响应。本文选用 4 种 Bouc – Wen 模型代表不同 SDOF 的滞回特性, 即理想弹塑性模型 (EPP)、无强度退化和刚度退化的平滑滞回模型 (NDNP)、有刚度退化及强度退化但无捏缩效应的平滑滞回模型 (DNP)、有刚度退化和强度退化且具有捏缩效应的平滑滞回模型 (DP)。图 6a 为在简谐波激励下 4 种模型的滞回曲线。

本文选用结构的最大位移  $x$  作为反应指标, 由于地震作用下结构的最大位移是基于位移损伤评估的重要指标, 结构的折减系数  $r$  定义为:

$$r = \frac{u_0}{u_y} \quad (1)$$

式中:  $u_0$  为线弹性系统在地震动作用下的峰值位移;  $u_y$  为结构的屈服位移。

### 4.2 结果分析

本文将加速度脉冲与非加速度脉冲作用下结构的最大位移均值之比  $x_{\text{acc-pulse}}/x_{\text{non-acc-pulse}}$  作为分析指标。图 6b 为结构折减系数分别对应  $r = 0.5$ 、2、4、6 时 4 种 Bouc-Wen 模型在加速度脉冲和非加速度脉冲作用下最大位移均值比。从图中可以看出, 在  $T_n = 0.5\text{ s}$ 、 $r = 0.5$  时, 4 种滞回模型的最大位移均值比小于  $r = 2$ 、4、6 的均值比,

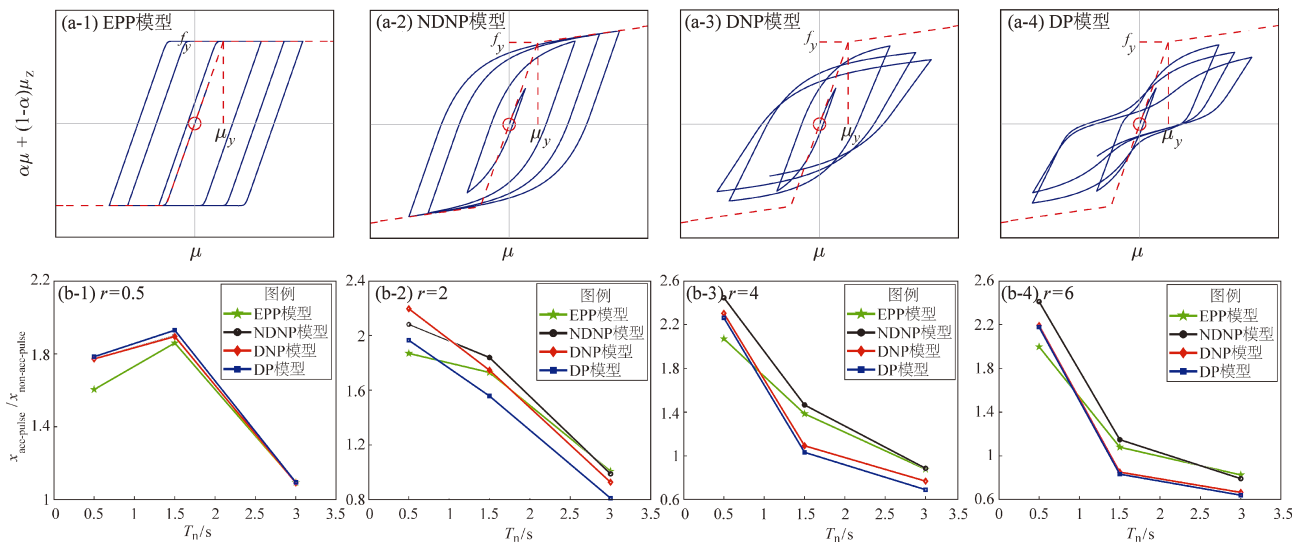


图 6 简谐波激励下 4 种 Bouc – Wen 模型随振幅增加的力 – 位移关系 (a) 及在不同  $r$  值下结构的最大位移均值比 (b)

Fig. 6 The force – displacement relationships varying with amplitude increase obtained by four Bouc – Wen models excited by the simple harmonic wave (a) and the maximum displacement mean ratio obtained by four Bouc – Wen models of different  $r$  value (b)



但总体趋势是最大位移均值比随  $T_n$  的增大而减小; 在  $T_n = 0.5$  s 时, 加速度脉冲作用下 4 种模型的最大位移比非加速度脉冲作用下大, 其中最大位移均值比最高可达到 2.5; 在  $T_n = 1.5$  s 时, 最大位移均值比相较  $T_n = 0.5$  s 时有所减小, 说明非加速度脉冲作用下最大位移相比加速度脉冲作用下有所增大; 在  $T_n = 3.0$  s 时, 非加速度脉冲的作用更加显著, 最大位移均值比在 0.85 附近浮动, 故非加速度脉冲作用下产生的结构位移更大, 这对结构的抗震性能要求更高。这反映了对短周期结构而言, 加速度脉冲相比非加速度脉冲引起的结构损失更大; 对中长周期结构而言, 相比于加速度脉冲, 非加速度脉冲作用下结构损伤更大。

## 5 结论

本文针对两种类型的脉冲地震动, 用基于 WPT 的 PPM 法提取出  $T_p$ , 探讨了  $T_p$  与  $M_w$  之间的关系, 给出了  $PGV$ 、 $M_w$ 、 $R$  之间的统计模型, 并与现存的模型进行了对比, 采用 4 种单自由度体系结构模型对两种类型的脉冲作用下的结构响应分析, 主要得出以下结论:

(1) 加速度脉冲与非加速度脉冲的  $T_p$  与  $M_w$  之间存在线性相关性, 总体上  $T_p$  随  $M_w$  的增大而增大, 且加速度脉冲的  $T_p$  随  $M_w$  的增大速率更快。

(2) 对于加速度脉冲及非加速度脉冲, 与前人模型相比, 本文  $PGV$  与  $M_w$  和  $R$  之间的统计模型的  $PGV$  预测值具有较高的准确性。

(3) 在短周期范围内, 加速度脉冲与非加速度脉冲的反应谱值接近; 在长周期范围内, 非加速度脉冲的反应谱值明显大于加速度脉冲。对于长周期结构, 非加速度脉冲会引起更大的结构反应。

(4) 最大位移均值比随着  $T_n$  的增大而减小。对短周期结构而言, 加速度脉冲相比非加速度脉冲引起的结构损失要大; 对中长周期结构而言, 相比于加速度脉冲, 非加速度脉冲作用下结构损伤更大。

## 参考文献:

李华聪, 钟菊芳. 2021. 最强脉冲方向分量的周期特性及其影响因素分析[J]. 地震研究, 22(1): 96–104.

- Li H C, Zhong J F. 2021. Analysis of the periodic characteristics and influencing factors of the strongest pulse direction component [J]. Earthquake Research, 22(1): 96–104. (in Chinese)
- 韦韬, 赵凤新, 张郁山. 2006. 近断层速度脉冲的地震动特性研究[J]. 地震学报, 28(6): 629–637.
- Wei T, Zhao F X, Zhang Y S. 2006. Characteristics of near-fault ground motion containing velocity pulses [J]. Acta Seismologica Sinica, 28(6): 629–637. (in Chinese)
- 于建, 赵立财. 2023. 近断层脉冲型地震动作用下 BRB 框剪结构减震性能设计研究[J]. 地震研究, 46(4): 575–585.
- Yu J, Zhao L C. 2023. Research on damping performance design of BRB Frame-shear structure by Near-fault Pulse-like ground motions [J]. Journal of Seismological Research, 46(4): 575–585. (in Chinese)
- 赵晓芬, 温增平, 陈波. 2018. 近断层地震动最强速度脉冲方向分量特性研究[J]. 地震学报, 40(5): 673–688.
- Zhao X F, Wen Z P, Chen B. 2018. Analysis on the period characteristics of the strongest pulse direction component and its influence factors [J]. Acta Seismologica Sinica, 40(5): 673–688. (in Chinese)
- Alavi B, Krawinkler H. 2004. Behavior of moment-resisting frame structures subjected to near-fault ground motions [J]. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 33(6): 687–706.
- Antonellis G, Panagiotou M. 2014. Seismic response of bridges with rocking foundations compared to fixed-base bridges at a nearfault site [J]. Journal of Bridge Structures, 19(5): 401–417.
- Baker J W. 2007. Quantitative classification of near-fault ground motions using wavelet analysis [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 97(5): 1486–1501.
- Bray J D, Rodriguez-Marek A. 2004. Characterization of forward-directivity ground motions in the near-fault region [J]. Soil Dynamics & Earthquake Engineering, 24(11): 815–828.
- Campbell K W, Bozorgnia Y. 2014. NGA – West2 ground motion model for the average horizontal components of  $PGA$ ,  $PGV$ , and 5% damped linear acceleration response spectra [J]. Earthquake Spectra, 30(3): 1087–1115.
- Chang Z, Luca F D, Goda K. 2019. Near-fault acceleration pulses and non-acceleration pulses; Effects on the inelastic displacement ratio [J]. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 48(11): 1256–1276.
- Chang Z, Sun X, Zhai C, et al. 2016. An improved energy-based approach for selecting pulse-like ground motions [J]. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 45(14): 2405–2411.
- Dickinson B W, Gavin H P. 2011. Parametric statistical generalization of uniform-hazard earthquake ground motions [J]. Journal of Structural Engineering, 137(3): 410–422.
- Guo G, Yang D, Liu Y. 2018. Duration effect of near-fault pulse-like ground motions and identification of most suitable duration measure [J]. Bulletin of Earthquake Engineering, 16(11): 5095–5119.
- Kale O, Akkar S, Ansari A, et al. 2015. A ground-motion predictive model for iran and turkey for horizontal  $PGA$ ,  $PGV$ , and 5% damped re-

- sponse spectrum; Investigation of possible regional effects[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 105(2A): 963–980.
- Kardoutsou V, Taflampas I, Psycharis I N. 2014. A new method for the classification of ground motions as pulse-like or non pulse-like [C]//Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology.
- Mavroeidis G P, Papageorgiou A S. 2003. A mathematical representation of near-fault ground motions[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 93(3): 1099–1131.
- Mazza, Fabio. 2018. Seismic demand of base-isolated irregular structures subjected to pulse-type earthquakes[J]. Soil Dynamics & Earthquake Engineering, 108(5): 111–129.
- Nigdeli S M, Boduro H M. 2013. Active tendon control of torsionally irregular structures under near-fault ground motion excitation[J]. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 1558(3): 437–440.
- Shahi S K, Baker J W. 2013. A probabilistic framework to include the effects of near-fault directivity in seismic hazard assessment[R]. Berkeley: Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, 1–77.
- Somerville P G. 2003. Magnitude scaling of the near fault rupture directivity pulse[J]. Physics of the Earth & Planetary Interiors, 137(1–4): 201–212.
- Zhai C, Chang Z, Li S, et al. 2013. Quantitative identification of near-fault pulse-like ground motions based on energy[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 103(5): 2591–2603.

## Analysis of the Periodic Characteristics and Influencing Factors of Near-fault Acceleration Pulses and Non-acceleration Pulses

LIU Fusheng<sup>1</sup>, LI Cong<sup>2,4</sup>, GAO Qin hao<sup>3</sup>, LI Wanheng<sup>2</sup>, CHANG Zhi wang<sup>2</sup>, ZHANG Ying bin<sup>2</sup>

(1. China Railway Fourth Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Wuhan 430063, Hubei, China)

(2. College of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, Sichuan, China)

(3. College of Architectural Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310058, Zhejiang, China)

(4. Jiangsu Nuclear Power Co., Ltd., Lianyungang 222000, Jiangsu, China)

### Abstract

It is the near-fault velocity-pulse ground motion, rather than the ordinary far-field ground motion, that causes the structure's significant deformation, and increases the risk of structural collapse. The existing research shows that the velocity pulse can be divided into the acceleration pulse and the non-acceleration pulse. A systematic analysis of the characteristics of the pulse's parameters and structural response under the pulse's action is helpful to the seismic design and the evaluation of the near-fault engineering structures. Firstly, the period of the velocity pulse is determined with the peak-point method, then, the period is compared with the ones obtained with the  $S_v$  method and the  $S_d \cdot S_v$  method. Secondly, through regression analysis, the statistical model of the relationship between the period of the acceleration pulse ( $T_p$ ) and the moment magnitude ( $M_w$ ) is given. And the statistical model of the relationship between the period of the non-acceleration pulse ( $T_p$ ) and the moment magnitude ( $M_w$ ) is given too. The statistical model of the relationship between the peak velocity of the acceleration pulse ( $PGV$ ) and the moment magnitude ( $M_w$ ) and the fault distance ( $R$ ) is given. In the same way, the statistical model of the relationship between the peak velocity of the non-acceleration pulse ( $PGV$ ) and the moment magnitude ( $M_w$ ) and the fault distance ( $R$ ) is given too. Finally, the structural dynamic responses of four single-degree-of-freedom systems to the acceleration impulse and the non-acceleration impulse are analyzed. The results show that for short-period structures, the acceleration pulse causes more serious structural damage than the non-acceleration pulse does; for medium-long period structures, the acceleration pulse causes less structural response than the non-acceleration pulse does.

**Keywords:** near-fault ground motion; acceleration pulse; non-acceleration pulse; pulse period; single-degree-of-freedom system