

# 深厚软弱场地上城市大跨径桥梁地震安全对策研究\*

杨伟林, 陶小三, 瞿红梅

(江苏省地震工程研究院, 江苏 南京 210014)

**摘要:** 以建于深厚软弱场地上的某大跨径桥梁为例, 研究了不同地震动强度下场地的地震动特征、地震动的空间效应以及不同冲刷工况下场地地震动效应的差异, 分析了深厚软弱场地特定地震动效应对大桥安全性的影响, 提出了工程建设不同阶段大桥的地震安全对策。

**关键词:** 深厚软弱场地; 地震动效应; 大跨径桥梁; 地震安全对策

**中图分类号:** U442

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2016)01-0046-07

## 0 引言

城市桥梁是重要的生命线工程, 在城市抗震减灾中的地位十分突出。自20世纪70年代以来, 美国San Fernando  $M6.6$  地震、Loma Prieta  $M7.0$  地震、Northridge  $M6.7$  地震、日本阪神  $M7.2$  城市直下型地震及我国唐山  $M7.8$  地震、台湾集集  $M7.6$  地震等, 都对城市桥梁造成了比较大的破坏(刘恢先, 1986; 刘聪桂, 陈文山, 2000; EERI, 1990, 1995; Priestley *et al.*; 1995 出国赴日地震考察团, 1995), 即使是中等强度的地震, 也往往会导致作为城市交通枢纽的桥梁产生较大的破坏。

近20年来, 我国经济高速发展, 国家及地方有足够的经济实力兴建大型桥梁工程。对滨江市而言, 大型跨江大桥是城市重要的交通通道, 也是重要的生命线工程。这些城市过江通道, 多数采用大跨径斜拉桥或悬索桥, 具有塔高、跨径大、自振周期长的特点, 是交通工程中的核心工程, 地震时一旦遭到破坏, 不仅工程本身的功能丧失, 还将严重影响救灾工作, 导致巨大的直接、间接经济损失。由于沿江、沿海地区, 第四纪覆盖层往往厚达数十米、数百米甚至超过千米, 且软弱土层较厚。深厚软弱场地地震动的特点是长周期地震动分量相对丰富(胡聿贤, 1988; 谢礼立等, 1991)。对大地震的远场场地来说, 地震波经过长距离传播的衰减、深厚软弱土层的滤波和放大后, 特定长周期段的地震动分量比较突出, 表现为地震加速度反应谱长周期段较现行规范要高出很多

(杨伟林, 2003a)。特别是工程结构周期与场地的地震卓越周期相同或接近时, 将产生共振或类共振现象, 对工程结构的破坏性极大。1985年9月19日墨西哥  $M8.1$  地震中墨西哥城数百栋高层建筑遭到破坏就是典型的实例(胡聿贤, 1988; 刘大海等, 1993; Andersm *et al.*, 1985)。

对桥梁的地震安全对策, 国内外学者进行过许多研究(Priestley *et al.*, 1996; 范立础, 1997; 刘鑫, 2013), 但往往是从桥梁抗震设计和结构抗震、减震措施方面研究桥梁的地震安全对策, 鲜见对工程建设不同阶段进行系统的地震安全对策研究。

本文以建于深厚软弱场地上的某大跨径桥梁为例, 在充分研究工程所处的地震环境基础上, 进行场址地震危险性分析, 并针对上覆软弱土层较厚和冲刷较为突出的特点, 输入长周期地震动分量较为丰富的地震波进行场地土层地震反应分析, 研究了不同地震动强度下自由场和不同层位的地震动特征、地震动的空间效应、冲刷对场地地震动效应的影响等, 提出大桥工程建设不同阶段的地震安全对策。

## 1 场地特点

大桥桥位区属长江三角洲冲积平原地貌, 地势平坦开阔。北岸地面标高相对较低, 为2~3 m; 南岸地面标高3~4 m, 同属长江低漫滩。桥位区水下地形因江心洲发育, 形成深槽与沙洲间互展

\* 收稿日期: 2015-11-16.

基金项目: 江苏省交通科学研究计划项目(04Y025)资助.

布、主支汊深浅不同及宽度多变的复杂地貌。桥位处江面宽 5.7 ~ 5.9 km，中间为主航道，水深超过 10 m 的水面宽约 2 km，水深超过 20 m 的水面宽约 1.2 km。桥位区最大水深达 40 m 以上。

桥位区第四纪地层较厚。根据工程场地钻探、物探成果，桥位区上覆土层厚度变化较小，沿桥轴线总体上为北薄南厚，北岸及水域部分北端厚 275 ~ 300 m，其它地段厚度较为稳定，为 310 ~ 320 m，局部可达 330 ~ 340 m。

大桥工程场地为Ⅳ类场地，属于典型的深厚软弱场地。根据工程场地 19 个钻孔的土层弹性波速原位测试（测试深度 110 ~ 138 m），剪切波速达  $500\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  的土层的深度超过 100 m。按下式统计回归各类土的剪切波速随土层深度的变化关系：

$$V_s = aH^b.$$

(1)

式中， $V_s$  为土层的剪切波速，单位  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ； $H$  为深度，单位 m； $a$ 、 $b$  为回归系数。计算结果见表 1。

表 1 场地土层弹性波速回归系数

Tab. 1 Regression coefficients of elastic wave velocities of site soil

土类及性状	$a$	$b$
淤泥质亚粘土，流塑	66	0.354
粉细砂，稍—中密	74	0.320
亚粘土，软塑—流塑	70	0.317
亚砂土，硬塑	77	0.357
亚砂土，软塑	75	0.280
粉砂，密实	84	0.338
亚粘土夹粉砂，软—流塑	72	0.319
粉砂，中密	79	0.330
细砂，密实	87	0.336
粗砂，密实	112	0.288
中砂，密实	91	0.313
亚粘土，软塑	77	0.330
亚粘土，硬塑	84	0.350
粉细砂，中—密实	82	0.334

2 场地地震动特征

2.1 自由场地震动特征

根据波速实测结果，将地下 120 m 处土层作为地震动输入界面。在场址区地震危险性分析基础上，合成满足地震动三要素的基岩地震动加速度

时程，并根据工程场地土动力性能试验和波速实测结果，进行场地土层的地震反应分析。每个水准采用多条地震动输入，结果取其平均值。

在 50 ~ 5000 a 地震重现期范围内，桥位区自由基岩面及场地地表的地震动峰值加速度见表 2。

表 2 不同地震重现期水平向峰值加速度

Tab. 2 Horizontal peak accelerations in different earthquake recurrence periods

地震重现期/a	$A_{\max}/g$	
	基岩	地表
50	0.034	0.049 ~ 0.056
100	0.048	0.064 ~ 0.078
500	0.080	0.106 ~ 0.120
1 000	0.095	0.127 ~ 0.139
2 500	0.114	0.157 ~ 0.169
5 000	0.129	0.177 ~ 0.191

不同地震重现期时，各场点不同层位地震动峰值加速度沿高程的变化特征为：场地地表的峰值加速度最大，在土层中迅速衰减至地表峰值加速度的 2/3 ~ 1/2，至桩尖处约为地表的 1/2。

图 1 为 5% 阻尼比时计算得到的 6 个地震重现期的场地地震相关反应谱与《城市桥梁抗震设计规范》（CJJ166—2011）反应谱的比较。结果表

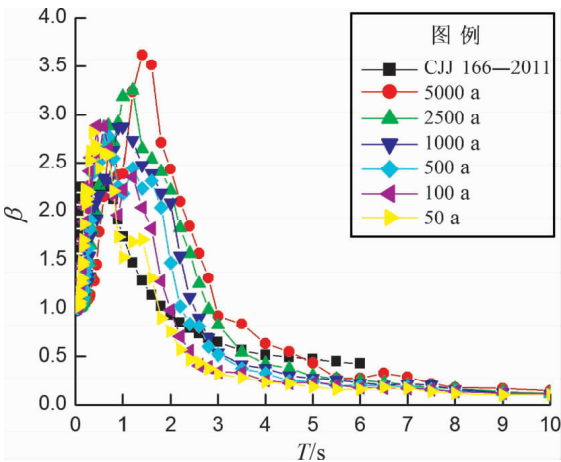


图 1 不同地震重现期地表加速度反应谱（5% 阻尼比）

Fig. 1 Response spectra of ground acceleration at different earthquake recurrence period (5% damping ratio)

明:地震重现期为 50~100 a 时,两者反应谱较为接近;地震重现期为 500~1 000 a 时,场地地震相关反应谱的长周期部分明显变大;地震重现期为 2 500~5 000 a 时,地表的地震动峰值加速度在 0.15~0.20 g 之间,由于地震动强度相对较大和桥位区上覆厚度较大的软弱土层,地震时土体刚度将明显软化,加上厚软土层对高频地震动的滤波作用,地震动长周期分量变得相对突出,表现在反应谱曲线形状上就是在反应谱的长周期部分形成突出的尖峰(一个或多个)。在墨西哥地震和我国台湾集集地震中,软土地震实际地震记录的反应谱具有相似的特征。

因此,深厚软弱场地的地震反应谱与现行城市桥梁抗震设计规范反应谱的差异是明显的,特别是罕遇地震时,两者在长周期段存在较大的差别。对于建在深厚软弱场上的结构自振周期较长的城市大跨径桥梁来说,要抗御大地震破坏,实现工程抗震设防目标,应对设计地震动参数进行专门研究。

## 2.2 局部冲刷对场地地震动的影响

特大型跨江大桥桥墩附近的冲刷十分突出,已有的研究表明,最大冲刷深度可达 20 m 以上。当采用高桩承台方案时,场地地震动效应的变化对桥体结构的抗震性能影响十分敏感,因此需要对不同的冲刷条件下特大型城市跨江大桥场地的地震动效应进行深入研究。

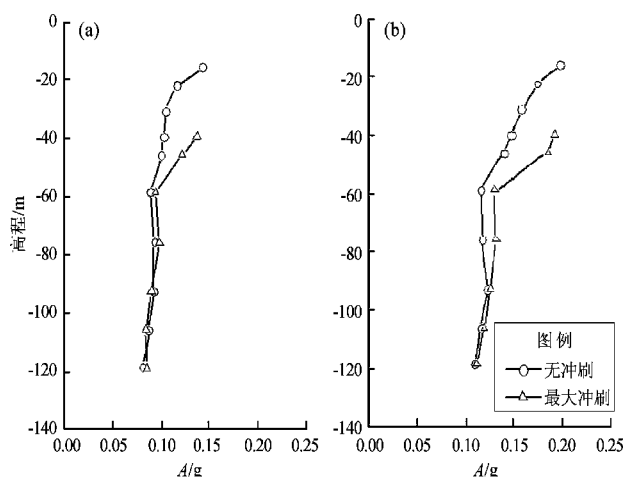


图2 冲刷对地震动强度的影响

(a) 1 000 a 重现期; (b) 5 000 a 重现期

Fig. 2 Influences of scour on ground motions

(a) recurrence period of 1 000 a; (b) recurrence period of 5 000 a

考虑到大桥主塔墩的冲刷最为突出,选择主墩位置进行冲刷对场地地震动的影响进行研究。主塔墩的冲刷最大深度为 22.49 m,冲刷前后场地地震动对比见图 2。从图中可看出,冲刷前后场地浅部地震动存在较大差异。对高桩基础,在桥梁抗震计算中应充分考虑冲刷的影响,确定对桥梁抗震的最不利工况。

## 2.3 场地地震动的空间效应

城市大跨径桥梁往往采用沉井基础或采用大型群桩基础。沉井基础刚度大、抗震性能好,但综合考虑施工风险等因素,该大跨桥梁仍采用大型群桩基础。采用有限元法进行地震反应分析(SASSI2000),考虑大桥桥墩—群桩—土体的动力相互作用,研究大型群桩基础时的场地地震动的空间效应。计算中采用简化模型,土体采用平面四边形等参单元模拟,桩体采用梁单元模拟,索塔承台采用刚体块单元模拟,钢筋混凝土索塔简化成等效质量作用于承台上。考虑到地震波在介质中散射和反射,为减小边界效应影响,土体两侧边界宽度分别取基础宽度的 5 倍。模型中桩与土的接触面处满足位移协调条件。群桩简化为 33 根等效桩,按照梁单元考虑。二维计算有限元网格划分结点共计 5 932 个,其中土体单元 5 700 个、桩单元 1 551 个、刚体块单元 1 个。对于每个土体单元,每个结点有两个自由度,即水平和竖向平动;对桩单元,每个结点具有 3 个自由度,即 2 个平动自由度和 1 个转动自由度;刚体块单元同样具有 2 个平动和 1 个转动自由度。地震动输入界面为地下 120 m 处,该层位土层剪切波速已达 500 m/s。在场址区地震危险性分析基础上,合成满足地震动三要素的基岩地震动加速度时程,作为地震动输入,每个水准采用 3 条地震动输入,结果取其平均值。

二维场地地震反应分析结果表明:由于大桥桥墩—群桩—土体动力相互作用的影响,同高程处的桩体高频地震动突出,加速度反应峰值较自由场加速度峰值反应增大,但长周期部分则小于自由场。考虑群桩效应时,在同一高程处地震动频谱特性与自由场相比有显著的差别,加速度反应峰值差异也较大,地震动空间效应明显(杨伟林等, 2003b)。因此,对建于深厚软弱场地的城市大跨径桥梁进行抗震设计,宜研究采用大型群桩基础时体系动力相互作用效应的影响。

### 3 场地地震动效应对桥塔结构的影响

大桥主桥采用双塔斜拉桥,主塔为倒Y形钢筋混凝土索塔,塔高约300 m。通过分析主桥的自振特性可知:主跨部分桥面的自振周期在10 s以上;主塔的一阶竖弯、侧弯及塔、梁弯曲耦合的周期为3.26~2.15 s;其一阶对称扭转与反扭转的周期为1.3~2.0 s。

根据对应6个地震重现期的场地地表加速度反应谱计算结果,对应500~5 000 a地震重现期的场地加速度反应谱在0.6~2.4 s范围内的谱值均较大,这对主塔的振动影响较大。在桥体结构抗震设计时,应充分考虑这一具体地震环境和深厚软弱场地所产生的特定地震动效应的影响,确保大桥工程安全。

## 4 地震安全对策

城市大跨径桥梁工程投资及社会影响大,工程的地震安全是大桥设计、施工及建成后运营阶段必须要考虑的问题。进行大桥工程的地震安全对策研究,并在工程建设中有针对性地采取措施,对大桥工程尤为重要。

### 4.1 工程可行性研究阶段

在工程规划阶段,工程选址是工程建设中的重要环节。大跨径桥梁如建于抗震不利甚至危险的地段,地震引起的山崩、滑坡、地陷以及地面变形等对桥体结构及相关设施将直接构成危害,尤其是若工程建设未避开活断层,地震时将带来灾难性的后果。1995年1月17日日本阪神7.2级地震中,尚未完工的明石海峡大桥(悬索桥,主跨1 990 m)淡路岛一侧的主塔墩位移1.3 m,锚碇位移1.4 m,致使主跨增长0.8 m,对工程建设造成极大影响。

因此,在大跨径桥梁建设中一定要注重选址,避开活断层等对工程地震安全性影响较大的危险地段和抗震不利地段,对工程场址的地震危险性进行充分研究,对近场区尤其是桥位区的晚第四纪活动断裂对拟建桥梁的影响进行研究,充分论证所选工程场地的稳定性及建设大跨径桥梁的适宜性。

### 4.2 工程设计阶段

#### 4.2.1 确定安全、经济、合理的抗震设防标准

强地震的发生是小概率事件,但其破坏性极大,工程抗震设防是抵御地震破坏的重要措施。建设工程设防水准偏低导致结构抗力不足,是国内外历次地震中建(构)筑物遭到破坏的主要原因之一。但限于经济等原因,对所建设工程也不能采取很高的抗震设防水准,其抗震设防既要保证桥梁工程有足够的地震安全性,又要兼顾经济这一准则。在城市特大型桥梁工程建设中,应根据其功能、重要性及所允许承担的风险,进行抗震设防标准研究,对不同结构型式可采用不同的抗震设防标准,使全桥的抗震设防安全、经济、合理。

#### 4.2.2 充分研究深厚软弱场地地震动效应

深厚软弱场地遭遇强震时场地的地震动效应,取决于桥址所处的地震环境和场地条件。上覆软弱土层对高频地震动的滤波及对一定范围长周期地震动分量的放大,使长周期地震动得到增强,场地地震动的特点是长周期地震动分量相对丰富。因此即使是远场大震,虽然其地震波传递到桥址下部基岩面时地震动较小,但到达场地地表后也可能成为对大跨径桥梁安全影响较大的强震动。城市大跨径桥梁建于深厚软弱场地时,需充分考虑大桥工程所处的地震环境,特别是区域范围内高震级潜在震源的影响,在地震危险性分析基础上研究深厚软弱场地的地震动效应,为工程抗震设计提供科学依据。

#### 4.2.3 充分研究场地地震动长周期特征

现行桥梁规范设计反应谱仅给到6~10 s,而城市大跨径桥梁的第一周期往往超过10 s,特别是深厚软弱场地的地震动效应研究和一些典型的实际地震纪录加速度反应谱表明,其与现行桥梁抗震设计规范反应谱在长周期部分差异较大。直接采用规范谱有应用上的局限,往往偏不安全。应根据城市大跨径桥梁所处的地震环境及工程场地条件研究不同设防水准下的地震动长周期特征,确定长周期反应谱用于大桥工程的抗震设计。

#### 4.2.4 进行地震动非一致性及对大桥的地震反应特性影响研究

大跨径桥梁跨度与地震波的波长量级相当,地震波的空间变异即地震动非一致性是存在的。这主要是由地震波传播途径的影响、地震波的反

射和折射、上覆土层的厚度不同、土层的不均匀性等导致的不同墩场地的地面运动失相干效应、时滞效应及地震波衰减效应等引起。已有的研究成果表明,地震动非一致性对大跨径桥梁的地震反应特性的影响是存在的,由于场地具体条件、桥梁结构型式、跨径等的差异,不同大跨径桥梁的研究结果往往差异较大,不具有可比性。

因此,对城市大跨径桥梁,应进行地震动非一致性及对大桥地震反应特性的影响研究。根据地震波传播途径、上覆土层情况、桥位区场地土层的不均匀性等,结合大桥所在地区不同台站实际地震记录的分析及数值模拟分析,研究大桥工程场地的地震行波特征,并考虑地震行波的传播方向,研究大桥工程不同桥墩地震动特征,研究不同桥墩地震动非一致性,为大桥桥体结构多点激振分析及行波效应分析提供依据。

#### 4.2.5 研究冲刷对地震动效应的影响

特大型跨江大桥桥墩附近的冲刷十分突出,需要对不同的冲刷条件下大跨径桥梁场地的地震动效应进行深入研究,并结合桥梁抗震性能研究成果探索对大桥安全性影响的规律,对重要桥墩采取冲刷防护措施。

#### 4.2.6 研究大桥抗震的结构体系

进行抗震结构体系研究的目的,是寻求结构在强度、刚度、变形等指标上的最佳组合,使结构能经济地实现大桥的抗震设防目标。对大跨径桥梁,应着重研究主梁与桥塔的连接方式,对大桥的抗震结构体系进行系统研究,并对塔、梁连接装置及合理参数进行深入研究,寻求结构在强度、刚度、变形等指标上的最佳组合,使结构既安全又能经济地实现大桥的抗震设防目标。

#### 4.2.7 研究塔墩场地中深层液化可能性

现行各种抗震设计规范中,对可液化土的液化判别适用范围为 20 m。但已有的震害调查结果表明,强震时 20 m 以下可液化土的液化问题仍然十分突出,特别是深厚软弱场地受大震、远震影响时,地震动时间较长,很可能导致中深部砂土、粉土层液化,恶化地基的持力特性,对大桥的稳定性产生影响。因此,城市大跨径桥梁,宜对塔墩场地中深层液化可能性进行研究。

### 4.3 工程施工阶段

#### 4.3.1 加固处理可液化地基

地震引起可液化土层液化并导致场地地基失

效,造成建(构)筑物的破坏属于典型的地震地质灾害现象,并多次为国内外地震震害所证实。对城市大跨桥梁工程,经过液化综合判别,在遭遇设防水准地震场地土将产生液化时,在基础设计中应不考虑或折减液化土层的持力作用,必要时采取相应的工程措施,对大桥场地可液化土层进行加固处理。

#### 4.3.2 进行冲刷防护

冲刷对场地地震动效应的影响十分突出。大桥采用高桩承台基础方案时,场地地震动效应的变化对桥体结构的抗震性能影响十分敏感,应根据抗震性能研究成果采取必要的冲刷防护措施。

#### 4.3.3 采取结构减震措施

在强烈地震作用下大桥桩基础的受力问题比较突出。由于主桥往往采用抗震较为有利的飘浮体系,对主体结构而言,弹性连接装置和阻尼器均能有效地减小梁端的纵向地震位移,采用 TMD 等减震措施也可大大减小主体结构的地震反应。

对引桥的抗震设计,通常可采用固定或滑动钢支座、全摩擦滑动体系、普通板式橡胶支座,采用减震耗能支座能较好地解决大桥的抗震问题。

#### 4.3.4 加强施工管理,确保工程质量

地震中建(构)筑物遭遇破坏,相当一部分是因为施工质量低劣引起的。城市大跨径桥梁建设中应加强施工管理,确保工程特别是隐蔽工程质量,防止因施工质量问题而导致桥梁抗震能力降低。

### 4.4 工程建成运营阶段

#### 4.4.1 进行地震安全监测

在城市大跨径桥梁上布设强震动观测台阵,地震时可获得宝贵的强震记录,为大桥抗震性能鉴定和遭遇强烈地震时的安全性评估提供最直接的基础资料,并可利用大桥不同观测点的强震记录数据,检验现行抗震计算分析模型的合理性。

利用布设在桥墩上的数字强震仪,还可准确地记录桥墩遭遇船等意外撞击的时间、强度,并能及时报警,为事故应急赢得时间,为善后处理提供科学依据。

#### 4.4.2 建设地震紧急处置系统

地震紧急处置系统是减轻重大基础设施和重要生命线工程地震灾害的有效途径,对城市大跨径桥梁,宜增设地震紧急处置系统,建设服务于

大桥工程的地震灾害预警和地震紧急处置基础平台,可大大提高工程防御地震灾害的能力,最大限度减轻地震灾害损失。

#### 4.4.3 桥体结构意外撞击和环境腐蚀防护

国内外桥梁遭到意外撞击受损的例子很多,大跨径桥梁一般也都采取了防止过往船只撞击的措施。城市大跨径桥梁结构的环境腐蚀问题目前还未引起有关部门的足够重视。特别是周边企业较多时,企业排放的烟尘往往具有腐蚀性。国内已经建成投入运营的大跨径桥梁的实践表明,企业排放的具有腐蚀性的烟尘对大桥的影响是存在的。桥体结构及桩基础的环境腐蚀不仅破坏外观,还会降低构件强度,严重时可能影响桥体的地震安全。对桥体结构的环境腐蚀问题应给予重视,采取必要的防护措施。

#### 4.4.4 制定地震应急预案

城市大跨桥梁既是重要的交通枢纽,又是震后应急救援、抗震救灾的生命线。应制定相应的地震应急预案,确保在遭遇强震导致桥梁破坏时,根据桥梁不同的破坏情况,采取恰当的应急措施。

## 5 结语

通过对建于深厚软弱场地上的某城市大跨径桥梁工程不同建设阶段影响地震安全性的主要因素进行分析,得到以下认识:

(1) 有效的地震安全对策可提高城市大跨径桥梁工程的地震安全性,防御和减轻地震所造成的灾害损失。

(2) 应根据工程的重要性及所允许承担的风险水平,确定安全、合理的抗震设防水平。

(3) 对建于深厚软弱场地上的城市大跨径桥梁工程,需充分考虑工程所处的地震环境和场地的具体条件,确定具有长周期特征的设计地震动参数,作为工程抗震设计的依据。

(4) 城市大跨径桥梁投资额巨大、社会影响广、抗震要求高,大桥塔高、跨径大、主体结构自振周期长,在工程选址、抗震设计、施工及运营阶段应采取必要的工程地震安全对策,确保大桥的地震安全。

#### 参考文献:

- 范立础. 1997. 桥梁抗震[M]. 上海:同济大学出版社.
- 胡聿贤. 1988. 地震工程学[M]. 北京:地震出版社,64-65.
- 刘聪桂,陈文山. 2000. 921 集集大地震[M]. 台湾:龙腾文化事业公司.
- 刘大海,杨翠如,钟锡根. 1993. 高层建筑抗震设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社.
- 刘恢先. 1986. 唐山大地震震害(三)[M]. 北京:地震出版社.
- 刘鑫. 2013. 现代城市桥梁抗震性能评估及其安全对策[J]. 桥梁结构与防洪,(6):97-98.
- 谢礼立,周雍年,于海英等. 1991. 长周期反应谱汇编(第一集)[M]. 北京:地震出版社.
- 杨伟林,陈国兴,王志华. 2003b. 深厚场地上特大桥墩一群桩一土相互作用体系地震反应特性的二维和三维分析[J]. 地震工程与工程振动,23(6):124-132.
- 杨伟林. 2003a. 深软地基上重大工程的设计地震动问题[C]//地震研究与工程抗震. 北京:原子能出版社,31-37.
- 中国赴日地震考察团. 1995. 日本阪神大地震考察[M]. 北京:地震出版社.
- Anderson J G, Brune J N, Bodin P, et al. 1985. Preliminary presentation of accelerogram data from the Guerrero Strong Motion Acceleration Array[R]. Michoacan Guerrero, Mexico, Earthquakes of 19 and 21, September.
- EERI. 1990. Loma Prieta Earthquake Reconnaissance Report[J]. Earthquake spectra,6:43-48.
- EERI. 1995. Northridge Earthquake Reconnaissance Report[J]. Earthquake spectra,11:116.
- Priestley M J N, Seible F, Calvi G M. 1996. Seismic Design and Retrofit of Bridge[M]. John Wiley & Sons, Inc, 19.
- Priestley M J N, Seible F, MacRae G. 1995. The Kobe Earthquake of January 17, 1995: Initial Impressions from a Quick Reconnaissance, Structural Systems Research Project[R]. San Diego: University of California.
- CJJ166—2011, 城市桥梁抗震设计规范[S].

## Research on Seismic Safety Countermeasures of Large Span Bridges on the Sites with Thick and Soft Soil Layers

YANG Weilin, TAO Xiaosan, QU Hongmei

(*Earthquake Engineering Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210014, Jiangsu, China*)

### Abstract

Firstly, taking a large span bridge which was built in a site with thick and soft soil layers as an example, we study the ground motion characteristics of the site during different intensity of ground motion, the spatial effects of ground motion and the difference of the effects of ground motion in different scour conditions. Secondly, we analyze the effect of ground motion of thick and soft soil layers on the bridge safety. Finally, we present the earthquake safety countermeasures at different stages of the construction of large span bridges.

**Key words:** ground with thick and soft soil layers; seismic motion effects; large – span bridges; earthquake safety countermeasures