

## IV类场地某医院隔震结构抗震设防参数确定<sup>\*</sup>

夏峰, 宋成科, 孟庆筱, 管见

(中国地震局第一监测中心, 天津 300180)

**摘要:** 针对隔震技术在IV类场地应用抗震设防参数不明确问题, 以天津塘沽某医院工程场地抗震设防参数确定为例, 在充分考虑了工程场地的地震环境和地质条件的基础上进行土层反应分析, 给出了场地相关反应谱, 按当前的法律法规标定场地相关反应谱给出了场地设计谱, 再以场地设计谱为目标谱拟合给出了地表设计地震动时程(包括人造地震动时程和调整后天然时程), 满足了隔震结构抗震设计对抗震设防要求, 有利于隔震技术在IV类场地建筑结构中的应用推广。

**关键词:** 隔震结构; 设计反应谱; 地震动时程; 抗震设防参数; IV类场地

**中图分类号:** P315.9

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2015)04-0643-09

### 0 前言

随着经济实力的增强和抗震科学技术的不断发展, 人们对抗震能力的认识水平在不断提高, 在我国最显著的变化便是第一代~第五代(即将颁布)地震动参数区划图的逐一颁布, 抗震设防参数由以往的烈度逐渐过渡到地震动参数, 设防的目标也越来越具有针对性, 基本上能满足一般建设工程的设防要求。对某些重大工程和一些有特殊设防类建设工程按相关的法律法规(《中国地震动参数区划图》(GB18306—2001);《工程场地地震安全性评价》(GB17741—2005);《建筑工程抗震设防分类标准》(GB50223—2008)), 必须进行地震安全性评价, 并按审批的设防参数设防。

自2008年汶川地震以来, 人们越来越关注抗震设防对生命体本身的保护, 于是中国地震局办公室印发了中震防发(2009)49号“关于学校、医院等人员密集场所建设工程抗震设防要求确定原则的通知”文件(下文简称“文件”), 明确了学校、医院等人员密集场所建筑要以《中国地震动参数区划图》(GB18306—2001)为基础, 除地震动峰值加速度大于等于0.40g区外, 其他地区地震动峰值加速度提高一档取值, 特征周期分区值不作调整, 作为此类建设工程的抗震设防要求。这对某些地震活动水平不太高(0.10g档及以下)

地区, 峰值加速值提高一档地震影响作用幅度不太显著, 抗震构造措施(不高于VII度)也容易实现, 建设成本提高也能接受; 如果建设工程位于地震活动水平较高(大于等于0.15g)地区, 峰值加速值提高一档使地震影响作用提高显著, 或构造措施加强显著, 这对建设成本控制非常不利。因此, 为控制建设成本, 隔震技术(黄锐, 2014; 冯亚成, 2015; 张军涛等, 2015)作为一种有效的减震方法在地震影响强烈的高烈度设防区被广泛采用。

隔震技术的本质就是要使结构在强烈地震作用下, 可起到延长结构自振周期, 减少地震输入能量的作用。计算隔震结构减震系数计算时, 要求采用设计基本地震加速度时程进行弹性计算, 而变形验算时需按设计罕遇地震加速度时程进行弹塑性计算分析。《中国地震动参数区划图》(GB18306—2001)及《建筑抗震设计规范》(GB50011—2010)仅提供大震与小震的设计谱, 没有提供中震设计谱及相关设计地震动时程, 无法满足抗震设计需求。此外, 以往的研究及工程经验均表明, 在地震动输入强度较大情况下, III类、IV类等软弱场地土体非线性特征表现的明显, 场地相关反应谱特征周期有放大趋势(李小军, 彭青, 2001; 李小军等, 2001; 郭晓云等, 2013), 而区划图及规范均未详细考虑这一问题, 这可能给软弱场地上的工程结构带来不安全因素, 且目

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2014-07-23.

基金项目: 中国地震局第一监测中心科技创新主任基金(FMC2014002)资助.

前国内隔震结构还没有在 IV 类软弱场地设计经验。

本着解决以上两个问题的目的, 本文将在考虑工程场地地震环境及场地条件影响的同时结合“文件”内容及《中国地震动参数区划图》(GB18306—2001) 和《建筑抗震设计规范》(GB50011—2010), 给出了 IV 类软弱场地某医院隔震结构的抗震设防参数。

## 1 工程概况

某新建医院工程场地土为软弱土, 场地类别为 IV 类。拟建物包括住院楼 1 栋, 南北两侧为 8 层, 中间为 1 层, 最大高度约 33.15 m, 采用框架—剪力墙结构, 分布二层地下室, 埋深约 12.50 m, 隔震前自振周期为 0.81 s, 隔震后自振周期 2.5~2.8 s。1 栋 4 层门诊医技楼, 最大高度约 18.15 m, 采用框架结构, 分布一层地下室, 埋深约 6.9 m。隔震前自振周期为 0.9 s, 隔震后自振

周期为 2.5~2.8 s。拟建场地位于 0.2 g 区(中国地震动参数区划图, GB18306—2001)。按“文件”要求, 学校、医院等人员密集场所建设工程的主要建筑应提高地震动峰值加速度取值, 因此, 本场地设计基本地震加速度提高到 0.3 g, 设防基本烈度为 VIII 度。

## 2 场地相关设计地震动时程确定

### 2.1 基岩反应谱确定

考虑工程场地所处的地震地质环境, 对场址所在区域地震区带和潜在震源区进行划分并确定其相关地震参数, 在考虑了对场地有影响范围的基础上, 进行了场地地震危险性分析计算(胡聿贤, 2007), 得到了场地 50 年超越概率 2%、10% 和 63% 基岩在 5% 阻尼比下的反应谱曲线(图 1), 本文图 AC (均表示加速度) 其对应的基岩加速度峰值分别为 447.1 gal、214.2 gal 和 57.7 gal。

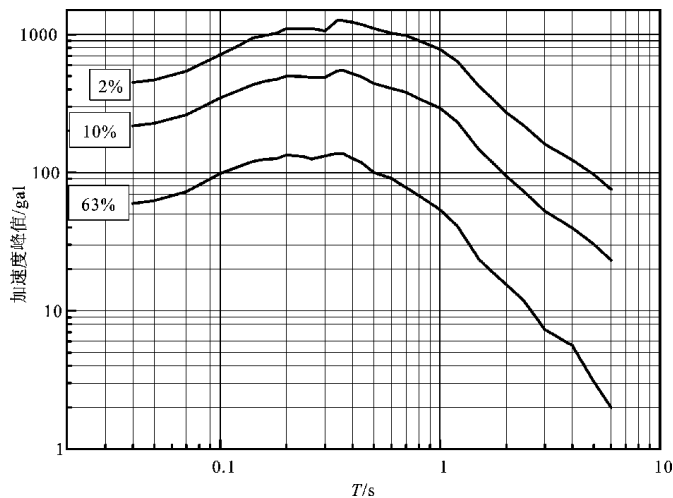


图 1 场地基岩反应谱曲线

Fig. 1 The response spectrum curves of the site bedrock

### 2.2 基岩输入地震动时程的合成

基岩加速度的工程特性, 主要由加速度峰值、频谱和振动持续时间 3 个要素决定。将地震危险性分析得到的基岩峰值加速度和反应谱作为合成的目标函数, 结合适应本场址地区地震活动特征的强度包络函数, 采用拟合目标函数的三角级数迭加法合成基岩地震加速度时程, 作为场地地震动反应分析的输入基岩地震动加速度的时程。给出 3 个以上相互独立的随机样本时程, 反应谱拟合周期控制点数不得少于 50 个, 周期控制点应大体均

匀地分布于周期的对数坐标上, 控制点谱的相对误差应小于 5%。在满足上述技术要求前提下, 以场地地震危险性分析得到 50 年超越概率 2%、10% 和 63% 的基岩反应谱为目标谱各合成 3 个相互独立样本时程, 作为土层地震反应分析的输入, 如图 2 所示。

### 2.3 场地土层反应模型建立

参照本场地及附近钻孔勘察测试资料, 建立了适合本场地的一维土层反应模型, 模型见表 1, 相关动三轴参数值见表 2。

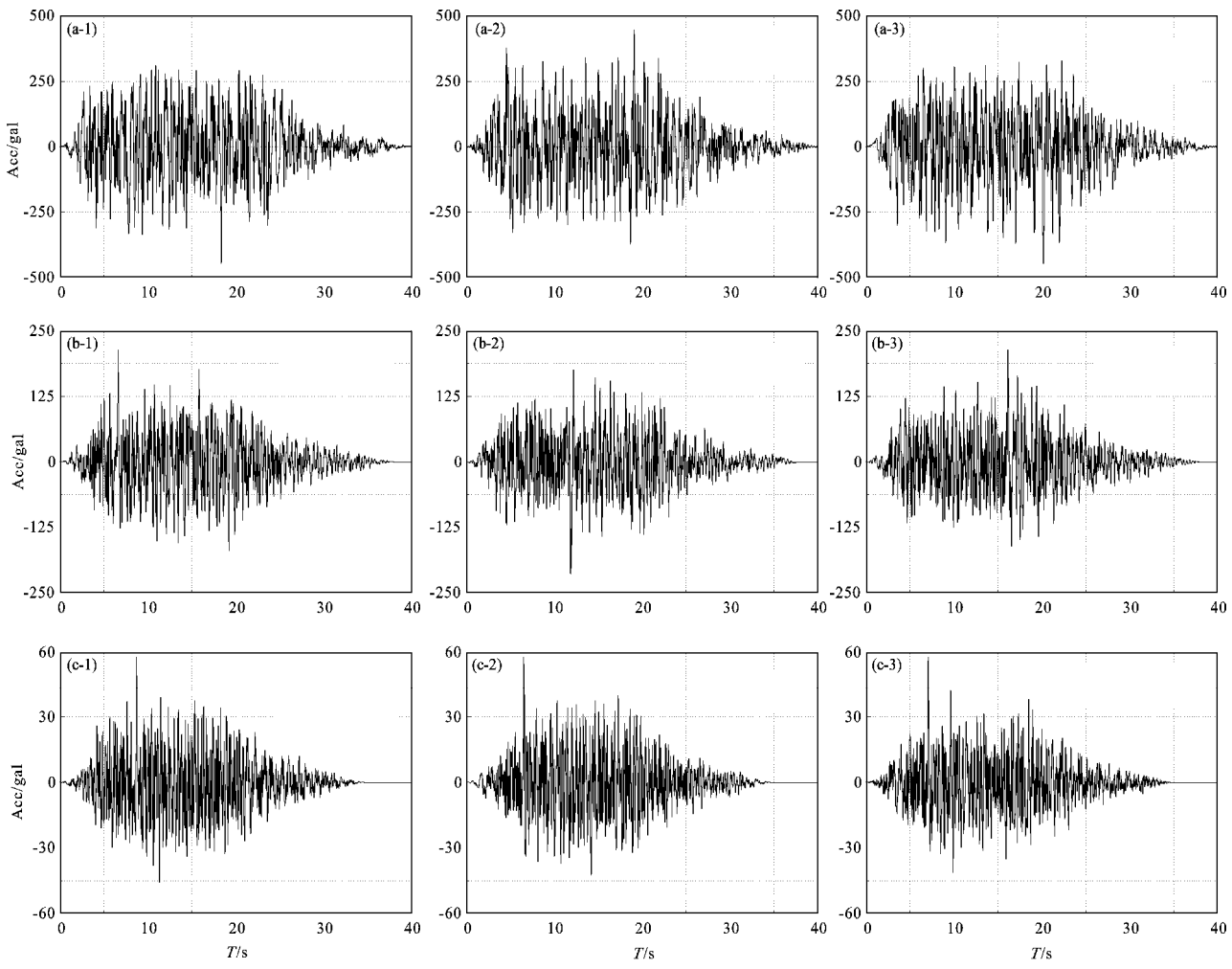


图 2 50 年超越概率 2% (a)、10% (b) 和 63% (c) 场地基岩输入地震动时程

Fig. 2 The ground motion time – history of the site bedrock of exceeding probability of 2% (a) , 10% (b) and 63% (c) in 50 years

表 1 土层反应分析模型

Tab. 1 The model of seismic response analysis of soil layer

| 土层<br>序号 | 土类号 | 层底深度<br>/m | 密度<br>/t·m <sup>-3</sup> | 波速<br>/m·s <sup>-1</sup> | 土质类别  | 土层<br>序号 | 土类号 | 层底深度<br>/m | 密度<br>/t·m <sup>-3</sup> | 波速<br>/m·s <sup>-1</sup> | 土质类别 |
|----------|-----|------------|--------------------------|--------------------------|-------|----------|-----|------------|--------------------------|--------------------------|------|
| 1        | 1   | 1.3        | 1.92                     | 116                      | 素填土   | 13       | 10  | 50.0       | 2.07                     | 390                      | 粉砂   |
| 2        | 2   | 2.3        | 1.90                     | 127                      | 粉质粘土  | 14       | 10  | 56.0       | 2.07                     | 410                      | 粉砂   |
| 3        | 3   | 7.4        | 2.02                     | 152                      | 粉土    | 15       | 11  | 57.0       | 2.02                     | 427                      | 粉质粘土 |
| 4        | 4   | 13.5       | 1.78                     | 112                      | 淤泥质粘土 | 16       | 12  | 60.0       | 2.00                     | 433                      | 粉土   |
| 5        | 5   | 19.5       | 2.06                     | 177                      | 粉质粘土  | 17       | 13  | 65.7       | 2.04                     | 453                      | 粉砂   |
| 6        | 5   | 22.0       | 2.06                     | 260                      | 粉质粘土  | 18       | 14  | 67.0       | 2.10                     | 460                      | 粉质粘土 |
| 7        | 6   | 26.0       | 1.95                     | 291                      | 粉质粘土  | 19       | 15  | 70.0       | 2.00                     | 476                      | 粉土   |
| 8        | 6   | 28.0       | 1.95                     | 312                      | 粉质粘土  | 20       | 16  | 73.0       | 2.07                     | 479                      | 粉砂   |
| 9        | 7   | 34.5       | 2.06                     | 329                      | 粉质粘土  | 21       | 17  | 76.0       | 2.11                     | 439                      | 粉质粘土 |
| 10       | 8   | 37.0       | 2.03                     | 350                      | 粘土    | 22       | 18  | 79.0       | 1.87                     | 457                      | 粘土   |
| 11       | 8   | 41.0       | 2.03                     | 360                      | 粘土    | 23       | 15  | 82.4       | 1.99                     | 468                      | 粉土   |
| 12       | 9   | 44.0       | 2.10                     | 377                      | 粉质粘土  | 24       | 19  | 84.5       | 1.91                     | 534                      | 粘土   |

表 2 各类土的剪切模量比和阻尼比与应变关系

Tab. 2 The relationship of shear modulus ratio and damping ratio with the strain of several types of soils

| 序号 | 土类    | 参数           | 剪应变 ( $\times 10^{-4}$ ) |         |         |         |         |         |         |         |
|----|-------|--------------|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|    |       |              | 0.05                     | 0.1     | 0.5     | 1       | 5       | 10      | 50      | 100     |
| 1  | 素填土   | $G/G_{\max}$ | 0.991 9                  | 0.983 9 | 0.924 2 | 0.859 0 | 0.549 3 | 0.378 7 | 0.108 6 | 0.057 4 |
|    |       | $\lambda$    | 0.040 1                  | 0.051 3 | 0.089 4 | 0.111 7 | 0.169 5 | 0.190 2 | 0.216 6 | 0.220 9 |
| 2  | 粉质粘土  | $G/G_{\max}$ | 0.994 0                  | 0.989 0 | 0.947 8 | 0.901 5 | 0.656 5 | 0.495 0 | 0.170 4 | 0.094 0 |
|    |       | $\lambda$    | 0.037 7                  | 0.046 4 | 0.075 5 | 0.092 7 | 0.140 8 | 0.160 8 | 0.191 3 | 0.197 4 |
| 3  | 粉土    | $G/G_{\max}$ | 0.995 7                  | 0.991 4 | 0.958 4 | 0.920 0 | 0.697 1 | 0.535 0 | 0.187 1 | 0.103 2 |
|    |       | $\lambda$    | 0.044 5                  | 0.054 9 | 0.089 0 | 0.108 7 | 0.163 6 | 0.186 6 | 0.221 5 | 0.228 2 |
| 4  | 淤泥质粘土 | $G/G_{\max}$ | 0.997 4                  | 0.994 9 | 0.974 9 | 0.951 0 | 0.795 0 | 0.659 8 | 0.279 5 | 0.162 4 |
|    |       | $\lambda_d$  | 0.032 6                  | 0.040 3 | 0.065 7 | 0.080 7 | 0.125 3 | 0.146 4 | 0.184 3 | 0.193 0 |
| 5  | 粉质粘土  | $G/G_{\max}$ | 0.992 9                  | 0.985 8 | 0.933 0 | 0.874 3 | 0.581 9 | 0.410 3 | 0.122 2 | 0.065 0 |
|    |       | $\lambda$    | 0.023 0                  | 0.030 6 | 0.058 3 | 0.075 6 | 0.124 6 | 0.143 7 | 0.169 5 | 0.173 9 |
| 6  | 粉质粘土  | $G/G_{\max}$ | 0.995 3                  | 0.990 6 | 0.954 8 | 0.913 4 | 0.678 5 | 0.513 4 | 0.174 3 | 0.095 5 |
|    |       | $\lambda_d$  | 0.020 7                  | 0.027 8 | 0.054 7 | 0.072 3 | 0.127 1 | 0.151 8 | 0.190 6 | 0.198 2 |
| 7  | 粉质粘土  | $G/G_{\max}$ | 0.997 8                  | 0.995 7 | 0.979 2 | 0.959 7 | 0.834 3 | 0.724 1 | 0.366 3 | 0.228 8 |
|    |       | $\lambda_d$  | 0.042 0                  | 0.049 4 | 0.073 3 | 0.087 4 | 0.130 8 | 0.152 8 | 0.197 8 | 0.210 2 |
| 8  | 粘土    | $G/G_{\max}$ | 0.995 9                  | 0.991 8 | 0.960 4 | 0.923 9 | 0.708 2 | 0.548 2 | 0.195 3 | 0.108 2 |
|    |       | $\lambda_d$  | 0.023 0                  | 0.030 0 | 0.054 7 | 0.070 3 | 0.117 5 | 0.138 9 | 0.173 2 | 0.180 1 |
| 9  | 粉质粘土  | $G/G_{\max}$ | 0.998 5                  | 0.996 9 | 0.984 9 | 0.970 3 | 0.867 2 | 0.765 6 | 0.395 1 | 0.246 2 |
|    |       | $\lambda_d$  | 0.026 0                  | 0.031 7 | 0.050 5 | 0.061 5 | 0.095 1 | 0.112 2 | 0.147 8 | 0.157 6 |
| 10 | 粉砂    | $G/G_{\max}$ | 0.997 0                  | 0.994 1 | 0.971 0 | 0.943 7 | 0.770 2 | 0.626 3 | 0.251 1 | 0.143 6 |
|    |       | $\lambda_d$  | 0.029 5                  | 0.037 0 | 0.062 1 | 0.077 2 | 0.122 4 | 0.143 6 | 0.180 3 | 0.188 4 |
| 11 | 粉质粘土  | $G/G_{\max}$ | 0.992 9                  | 0.985 9 | 0.933 5 | 0.875 3 | 0.583 9 | 0.412 4 | 0.123 1 | 0.065 6 |
|    |       | $\lambda_d$  | 0.017 2                  | 0.023 5 | 0.047 8 | 0.063 6 | 0.110 2 | 0.129 0 | 0.154 8 | 0.159 4 |
| 12 | 粉土    | $G/G_{\max}$ | 0.998 0                  | 0.996 0 | 0.980 2 | 0.961 2 | 0.832 2 | 0.712 7 | 0.331 6 | 0.198 7 |
|    |       | $\lambda_d$  | 0.019 1                  | 0.024 5 | 0.043 3 | 0.055 0 | 0.092 9 | 0.112 6 | 0.152 2 | 0.162 3 |
| 13 | 粉砂    | $G/G_{\max}$ | 0.996 0                  | 0.992 0 | 0.961 2 | 0.925 3 | 0.712 4 | 0.553 3 | 0.198 5 | 0.110 2 |
|    |       | $\lambda_d$  | 0.025 2                  | 0.032 5 | 0.058 1 | 0.074 0 | 0.121 6 | 0.143 1 | 0.177 5 | 0.184 5 |
| 14 | 粉质粘土  | $G/G_{\max}$ | 0.997 2                  | 0.994 4 | 0.972 7 | 0.946 8 | 0.780 6 | 0.640 2 | 0.262 4 | 0.151 0 |
|    |       | $\lambda_d$  | 0.024 2                  | 0.030 6 | 0.052 4 | 0.065 8 | 0.106 5 | 0.126 0 | 0.160 7 | 0.168 6 |
| 15 | 粉土    | $G/G_{\max}$ | 0.995 1                  | 0.990 2 | 0.952 7 | 0.909 6 | 0.668 2 | 0.501 7 | 0.167 6 | 0.091 5 |
|    |       | $\lambda_d$  | 0.017 7                  | 0.023 7 | 0.046 2 | 0.060 9 | 0.106 0 | 0.126 0 | 0.156 7 | 0.162 7 |
| 16 | 粉砂    | $G/G_{\max}$ | 0.997 8                  | 0.995 6 | 0.978 2 | 0.957 4 | 0.817 9 | 0.691 9 | 0.310 0 | 0.183 4 |
|    |       | $\lambda_d$  | 0.026 7                  | 0.033 6 | 0.056 9 | 0.071 1 | 0.115 0 | 0.136 9 | 0.178 8 | 0.189 1 |
| 17 | 粉质粘土  | $G/G_{\max}$ | 0.997 9                  | 0.995 7 | 0.978 9 | 0.958 7 | 0.822 8 | 0.699 0 | 0.317 1 | 0.188 5 |
|    |       | $\lambda_d$  | 0.028 5                  | 0.035 5 | 0.059 1 | 0.073 3 | 0.116 7 | 0.138 3 | 0.179 7 | 0.189 9 |
| 18 | 粘土    | $G/G_{\max}$ | 0.997 4                  | 0.994 8 | 0.974 8 | 0.950 7 | 0.794 3 | 0.658 7 | 0.278 5 | 0.161 8 |
|    |       | $\lambda_d$  | 0.024 1                  | 0.031 0 | 0.055 5 | 0.070 9 | 0.119 6 | 0.144 0 | 0.189 4 | 0.200 0 |
| 19 | 粘土    | $G/G_{\max}$ | 0.991 9                  | 0.983 9 | 0.924 2 | 0.859 0 | 0.549 3 | 0.378 7 | 0.108 6 | 0.057 4 |
|    |       | $\lambda_d$  | 0.040 1                  | 0.051 3 | 0.089 4 | 0.111 7 | 0.169 5 | 0.190 2 | 0.216 6 | 0.220 9 |

2.4 地震反应分析结果

以上文得到的 3 个超越概率的 9 条基岩加速度时程，将幅值减半作为输入地震动时程，进行地震动反应计算。经分析计算，表 3 分别给出了各控制钻孔地震反应分析模型 50 年超越概率 63%、10% 和 2% 三个不同概率水准、不同随机相位的地表水平加速度峰值及平均值。

表 3 工程场地地表加速度峰值及均值（单位：gal）

Tab. 3 The peak and mean of ground acceleration for the Engineering site

| 概率水平     | 相位 1  | 相位 2  | 相位 3  | 平均值   |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| 50 年 2%  | 397.4 | 396.5 | 397.5 | 397.1 |
| 50 年 10% | 217.6 | 230.4 | 230.2 | 226.1 |
| 50 年 63% | 72.9  | 71.9  | 73.8  | 72.9  |

按《建筑抗震设计规范》（GB50011—2010），本次工作所采用的地震动力放大系数表达式为

$$\beta(T) = \frac{S_a(t)}{A_{\max}}$$
$$= \begin{cases} 1.0 + \frac{\beta_{\max} - 1.0}{T_1} T, & 0 \leq T < T_1; \\ \beta_{\max}, & T_1 \leq T < T_g; \\ \beta_{\max} \left( \frac{T_g}{T} \right)^\gamma, & T_g \leq T < 5T_g; \\ \beta_{\max} (0.2)^\gamma - \eta_1 (T - 5T_g) \beta_{\max}, & 5T_g \leq T \leq 6.0. \end{cases}$$

其中， $A_{\max}$  为地表水平加速度峰值， $S_a(T)$  为地表水平加速度反应谱， $\beta_{\max}$  为地震动力放大系数最大值， $T_1$  为反应谱平台段起始周期； $T_g$  为特征周期； $\gamma$  为衰减指数； $\eta_1$  为直线下降段的斜率调整系数。

另据“文件”内容对新建、改建、扩建一般

建设工程中的学校、医院等人员密集场所建设工程的抗震设防要求作出了特别规定：位于地震动峰值加速度 0.20 g 分区的，地震动峰值加速度提高至 0.30 g；根据“文件”规定，再结合场地相关反应谱及《建筑抗震设计规范》（GB50011—2010）时程分析相关规定标定如图 3 所示，关键参数结果见表 4。

表 4 地表加速度反应谱曲线拟合结果

Tab. 4 The fitting results of the ground acceleration response spectrum curves

| 概率水平     | $A_{\max}$<br>/ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-2}$ | $\alpha_0$<br>/g | $\beta_{\max}$ | $\alpha_{\max}$<br>/g | $T_1$<br>/s | $T_g$<br>/s | $\gamma$ | $\eta_1$ |
|----------|---|------------------|----------------|-----------------------|-------------|-------------|----------|----------|
| 50 年 63% | 110   | 0.11             | 2.25           | 0.252                 | 0.10        | 0.65        | 0.90     | 0.02     |
| 50 年 10% | 294   | 0.30             | 2.25           | 0.675                 | 0.10        | 0.85        | 0.90     | 0.02     |
| 50 年 2%  | 510   | 0.52             | 2.31           | 1.20                  | 0.10        | 1.20        | 0.90     | 0.02     |

由表 3 和图 3 可知，本 IV 类场地在基本地震峰值加速度提高一档（由 0.2 g 提高到 0.3 g）标定设计谱的情况下，场地相关设计谱基本地震特征周期为 0.85 s，罕遇地震特征周期为 1.2 s，均较《建筑抗震设计规范》（GB50011—2010）对应的 0.75 s 和 0.80 s 大，罕遇地震时放大尤为明显；而多遇地震场地相关反应谱特征周期不变，这表明 IV 类场软弱地土随地震作用强度增大，非线性表现越来越显著，这一作用使得我们的规范结果偏不安全，这与李小军等（2001）得出的结论相符。

2.5 场地相关设计谱与规范设计谱对比分析

为进一步比较场地相关反应谱与规范设计谱的差异性，现将场地相关设计谱、峰值加速度调整前规范设计谱和峰值加速度调整后规范设计谱绘成图 4。

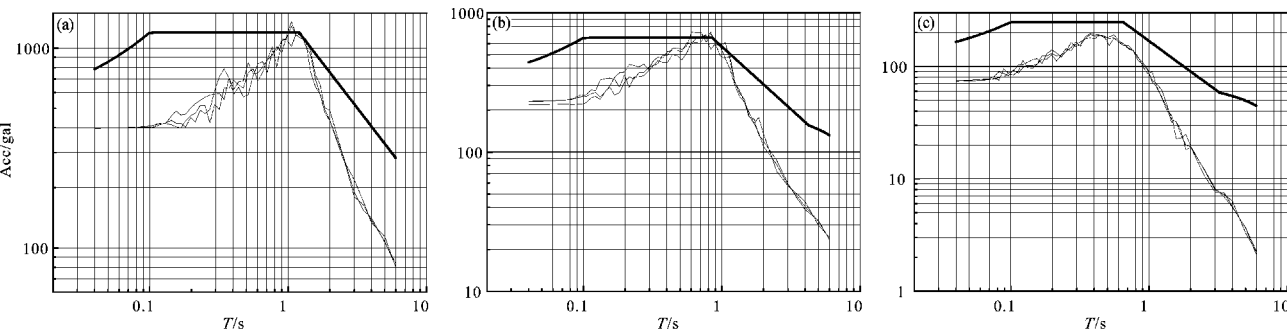


图 3 50 年超越概率 2%（a）、10%（b）和 63%（c）地表加速度反应谱曲线拟合结果  
Fig. 3 The fitting results of the ground acceleration response spectrum curves of exceeding probability of 2%（a），10%（b）and 63%（c）in 50 years

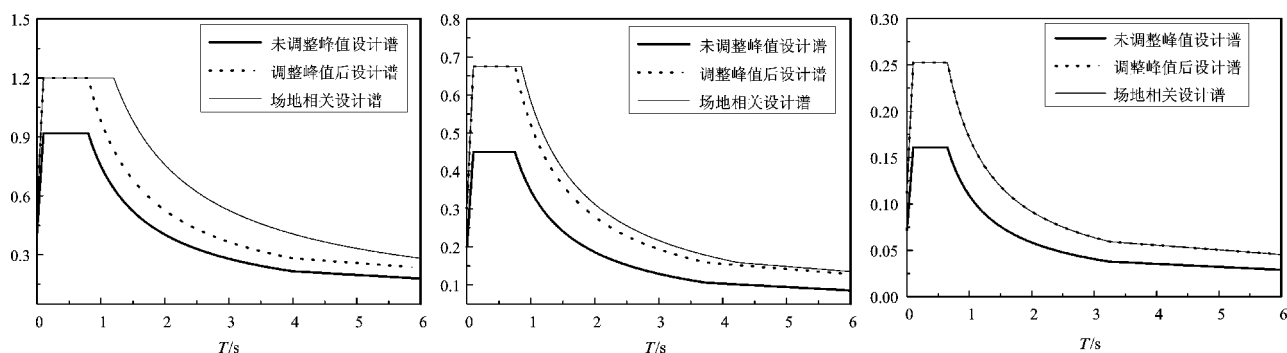


图4 50年超越概率2% (a)、10% (b) 和63% (c) 场地相关设计谱与规范谱对比图

Fig. 4 The comparison diagram of design spectrum of the site and the standard spectrum of exceeding probability of 2% (a), 10% (b) and 63% (c) in 50 years

由图4可知,本IV类场地:(1)在基本地震水平作用提高一档后地震作用在设计谱平台段较提高前有了大幅提高(达50%),但在减震结构自振周期附近(2.5~2.8s)大震和中震仍较场地相关设计反应谱偏低,偏不安全,小震不存在这种情况;(2)在基本地震作用水平提高一档后,大震作用按规范也有所提高(达27.5%),提高幅度较中震和小震作用水平提高得小,但在减震结构自振周期附近(2.5~2.8s)处中震和大震与场地相关设计谱差别显著,明显偏低,可能会造成严重安全隐患,对隔震结构可能更是如此,这在当下高度关注保护生命个体的学校、医院等人员密集场所的建设工程中是绝不允许的。由于在国内目前还没有IV类场地隔震结构设计经验,因此,从安全和科学的角度出发,本场地隔震结构抗震设计按场地相关设计谱确定地震作用。

### 3 设计地震动时程确定

采用时程分析法时,依据《建筑抗震设计规范》(GB50011—2010),选取地震波的一般原则为:所选用的地震波应该与设计反应谱在统计意义上一致,包括地震波数量(实际强震记录不应小于总数的2/3)和相应的反应谱特征。对隔震结构,弹性计算时按设计基本加速度时程输入进行计算,变形验算采用罕遇地震加速度时程计算。此外,给出的时程有效持时均应不小于5倍结构自振周期(本次工作不小于14s),且强震段的持时宜为有效持时的一半(国家标准建筑抗震设计规范管理组,2010)。

#### 3.1 人造设计地震动时程确定

以本场地相关设计谱为目标谱,采用拟合目标函数的三角级数迭加法合成地表地震加速度时程,作为结构反应分析输入的地震加速度的时程。给出3个以上相互独立的随机样本时程,反应谱拟合周期控制点数不得少于50个,周期控制点应大体均匀地分布于周期的对数坐标上,控制点谱的相对误差应小于5%,如图5所示。考虑工程场地所处的地震地质环境,以上文拟合标定的场地相关地表设计谱为基准,合成不同概率水准不同相位地表地震动时程各三条,图见5。

#### 3.2 天然设计地震动时程确定

尽管选用天然设计地震动的时程的基本原则要求记录的反应谱与场地相关设计反应谱相一致,但不可能要求所选记录的反应谱与场地相关反应谱在各频段均有较好的拟合,仍然存在有多种可选方法实现谱特性的一致性原则。本文按杨溥等(2000)提出的C方案选波,也即“按地震加速度记录反应谱特征周期 $T_g$ 和结构基本自振周期 $T_1$ 双指标选波”原则选波。具体如下:以上文所确定的设计反应谱为目标谱,通过控制所选地震波的反应谱与目标谱在某些控制点(或段)上的误差,使选出的地震波与目标谱具有一定程度的一致性。其做法是根据所分析隔震结构的基本周期 $T_1$ 以及结构所在场地相关反应谱的特征周期 $T_g$ ,对地震波的弹性反应谱的两个频段进行控制:

一是对地震记录的加速度反应谱值在 $[0.1, T_g]$ 平台段的均值进行控制,要求所选择的地震记录加速度反应谱在该段的均值与对应的设计反应谱相差不超过某一限值。

二是对结构基本周期 $T_1$ 附近一定区间 $[T \cdot$

$\Delta T_1, T + \Delta T_2]$  内加速度反应谱均值进行控制, 要求与设计反应谱在该段内各周期点的偏差均值不超过某一限值。

考虑到目前实际地震记录尚不足以对任意结构都易于选到规定数量地震波的现状, 与目标反应谱的偏差百分比不宜过于严格。综合考虑各类

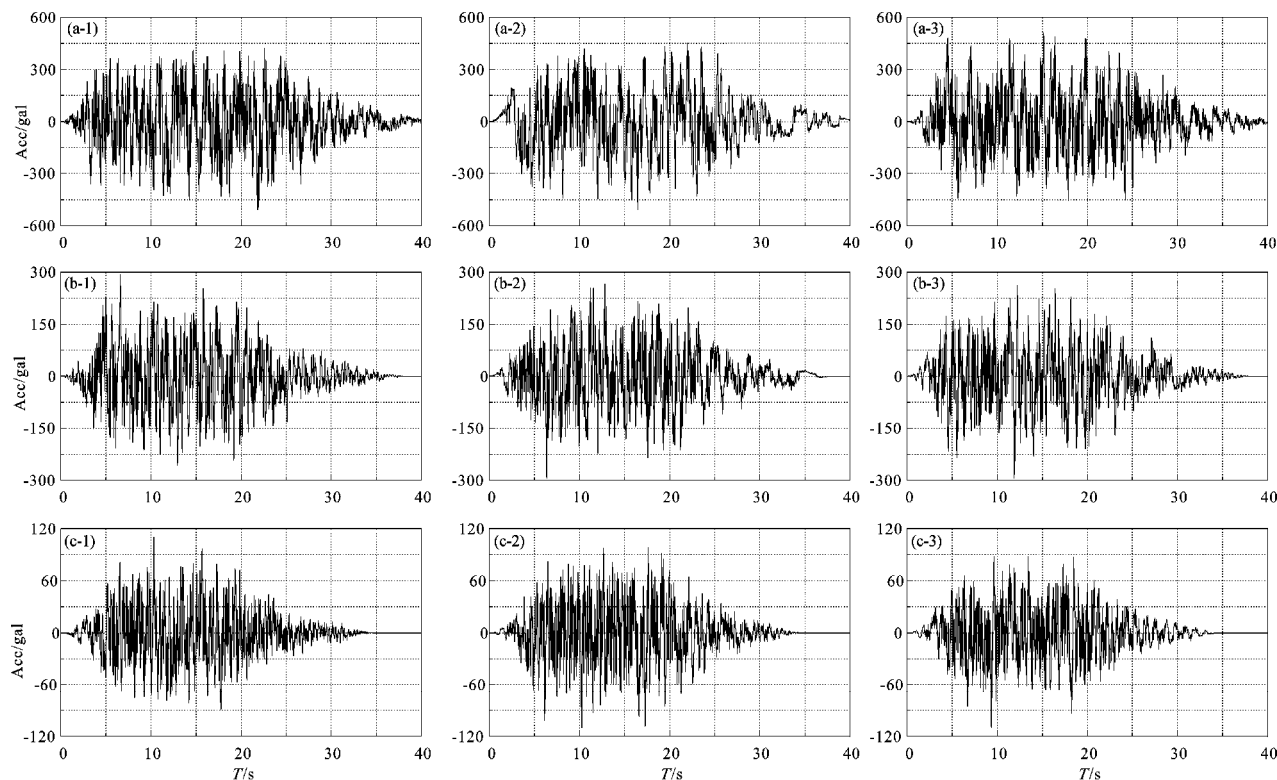


图5 50年超越概率2% (a)、10% (b) 及63% (c) 地表人造设计地震动时程

Fig. 5 The time - history of artificial ground motion of surface for design of exceeding probability of 2% (a), 10% (b) and 63% (c) in 50 years

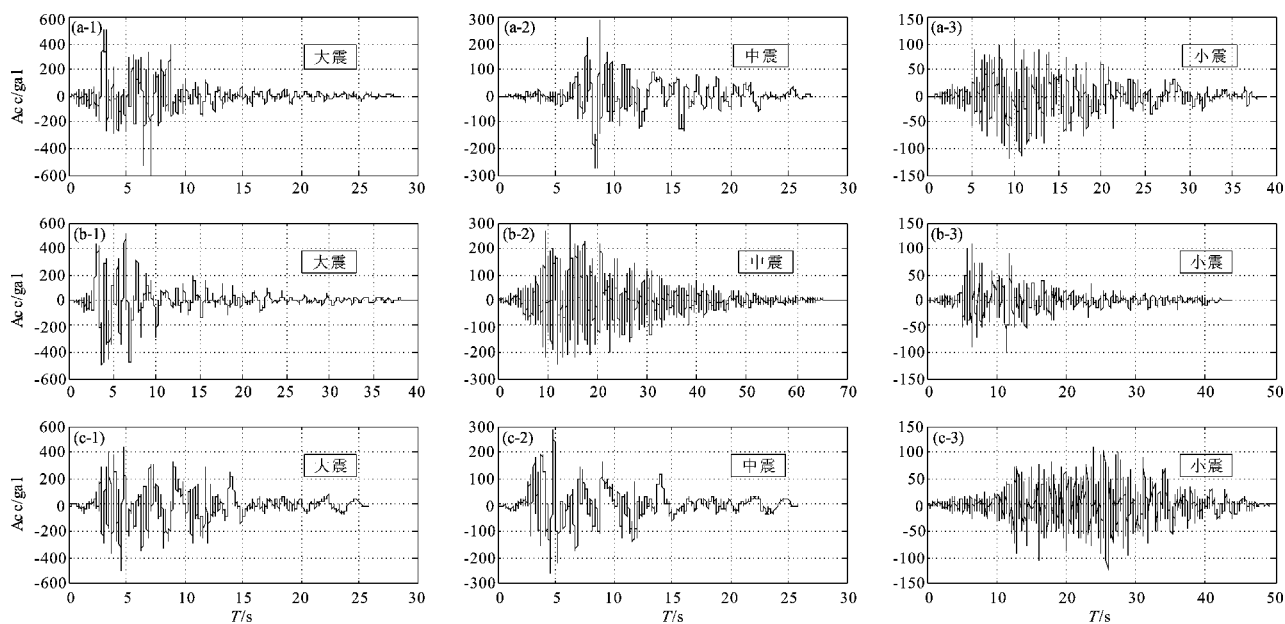


图6 50年超越概率2% (a)、10% (b) 及63% (c) 地表设计天然地震动时程

Fig. 6 The time - history of natural ground motion of surface for design of exceeding probability of 2% (a), 10% (b) and 63% (c) in 50 years

场地的情况,反应谱曲线上两个频段的容许偏差百分比以不大于10%为宜,本次均取10%。此外,考虑到结构自振周期在2.5~2.8 s之间,取 $\Delta T_1 = \Delta T_2 = 0.3$  s,计算区间[2.2, 3.1] s。以太平洋地震中心,美国国家地质勘探局(USGS),南加州地震中心联合开发的下一代地动衰减模型(Next Generation Attenuation Models NGA)的强震数据库(<http://peer.berkeley.edu/nga/>)为基础,挑选与该场地设计谱拟合较好的时程,再用小波方法(周伟等,2006)进行调整以满足抗震结构时程分析要求。本次调整后符合结构抗震设计的时程(小震、大震和中震各3条)如图6所示。

## 4 结论与建议

本文在考虑场地所处的地震环境及场地局部工程地质条件的基础上给出了隔震结构抗震设防参数。比较抗震设计规范、“文件”和本文确定的场地相关设防参数可知:(1)在“文件”颁布后,各设防水准地震作用较《建筑抗震设计规范》(GB50011—2010)均有较大幅度提高;(2)本IV类场地隔震结构,小震水平下场地相关设计谱较“文件”没有变化,但在中震和大震设防水平下场地相关设计谱在大于特征周期部分较“文件”均有较大提高;

对本场地(IV场地)隔震结构,考虑到减震系数采用设防地震水平计算,采用场地设计谱将高估其地震作用,也即减震系数会降低,在小震作用较“文件”没变的情况下地震影响系数会减

小,这将降低结构配筋时的内力,有利于节省成本和隔震技术应用推广;而大震水平作用下,场地相关设计谱的地震作用的增强,在确定罕遇地震位移时可能会偏于安全。因此,在没有明确法律法规条文规定的情况下,从安全和经济角度考虑,宜按场地相关设计地震动参数进行设防,同时呼吁建设管理部门尽早出台相关规范,进一步明确隔震结构设防问题。

## 参考文献:

- 冯亚成. 2015. 高速铁路大跨连续桥梁减隔震方案讨论[J]. 地震研究, 38(1): 167-172.
- 郭晓云, 薄景山, 巴文辉, 等. 2013. 汶川地震反应谱特征周期统计分析[J]. 地震工程与工程振动, 33(4): 55-59.
- 国家标准建筑抗震设计规范管理组. 2010. 建筑抗震设计规范(GB50011—2010)统一培训教材[M]. 北京: 地震出版社.
- 胡聿贤. 2007. 地震安全性评价技术教程[M]. 北京: 地震出版社.
- 黄锐. 2014. 基础隔震设计的简化计算[J]. 地震研究, 37(3): 456-461.
- 李小军, 彭青, 刘文青, 等. 2001. 设计地震动参数确定中的场地影响考虑[J]. 地震工程与工程振动, 21(1): 34-41.
- 李小军, 彭青. 2001. 不同类别场地地震动参数的计算分析[J]. 地震工程与工程振动, 21(1): 29-36.
- 杨溥, 李英民, 赖明, 等. 2000. 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, 33(6): 33-37.
- 张军涛, 宫海, 程美涛. 2015. 耗能减震技术在抗震加固工程中的简化设计[J]. 地震研究, 38(2): 297-300.
- 周伟, 桂林, 周林, 等. 2006. MATLAB小波分析高级技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社.
- GB17741—2005. 工程场地地震安全性评价[S].
- GB18306—2001. 中国地震动参数区划图[S].
- GB50011—2010. 建筑抗震设计规范[S].
- GB50223—2008. 建筑工程抗震设防分类标准[S].



## Determination on Earthquake Resistance Protection Parameters of Isolated Structure Hospital in the Site IV

XIA Feng, SONG Cheng-ke, MENG Qing-xiao, GUAN Jian

(*First Crust Monitoring and Application Center, CEA, Tianjin 300180, China*)

### Abstract

Aiming at the problem that the parameters of seismic fortification acceleration are uncertain on the application of seismic isolation technology in the IV site, we study a case of determining the seismic fortification acceleration parameters of a hospital in Tanggu district of Tianjin. Based on the seismic environment and the geological conditions of engineering site, we analyzed the soil response and obtained the site response spectrum. According to the current laws and regulations, we took the site design spectrum as the target spectrum to calibrate the relevant response spectra and got the site design spectrum, which fit and obtained the design ground motions time history (including artificial ground motion time history and adjusted natural time history). This method meets the requirements time history for seismic resistance well and is favorable for popularization and application of seismic isolation technology on building in IV site.

**Key words:** isolated structure; design response spectrum; time history of earthquake ground motion; earthquake resistance protection parameters; the site IV