

基于二维隶属函数的场地模糊分类及其应用

张世海¹, 刘叔军², 欧进萍¹, 王光远¹

(1. 哈尔滨工业大学 土木工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2. 南阳理工学院, 河南 南阳 473004)

摘 要: 首先分析了场地土及其分类的模糊性特征, 并在综合考虑现行建(构)筑物抗震规范场地分类特征的基础上, 构建了四类场地的二维隶属函数, 实现了场地分类边界模糊化; 其次给出了基于最大隶属度、加权综合及特征周期的三种场地模糊分类法, 实现了场地分类连续化, 探讨了各类方法在抗震结构设计中的应用; 最后给出了场地特征周期连续化方法及其空间分布图, 结果表明: 该方法所确定的特征周期分布与现行建筑抗震规范给出的特征周期等值图吻合较好。所建场地分类法克服了在分类边界处易出现类别跳跃等不合理现象, 基本实现了现行建(构)筑物抗震规范在场地分类方面的统一, 为工程抗震设计中客观确定地震作用及采取合理抗震对策等奠定了基础。

关键词: 场地分类; 二维隶属函数; 特征周期连续化

中图分类号: TU 475; O 159

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2005)08-0912-06

作者简介: 张世海(1966-), 男, 河南社旗人, 副教授, 博士, 主要从事工程抗震设计、工程性能评价与加固等方面的科研与教学工作。

Site classification method and its application based on two dimensional membership function

ZHANG Shi-hai¹, LIU Shu-jun², OU Jin-ping¹, WANG Guang-yuan¹

(1. School of Civil Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. Nanyang Institute of Technology, Nanyang 473004, China)

Abstract: At first, site classifications and their fuzzy characteristics was analyzed. On the basis of a comprehensive consideration of the classification of site in characters of the current earthquake resistant codes, two dimensional membership function of 4 types of site was constructed and the fuzzifying of the site classification was realized. Then, three fuzzifying site classification methods were provided, the continuity of the site classification was actualized, and the application of various methods to seismic design of structure was discussed. Finally, the continuous method of the site characteristic period and the two-dimensional graphs were provided. It is shown that the characteristic period distribution confirmed by this method corresponds with the equivalent chart of the code for seismic design of buildings. This method gets rid of the illogical discontinuity and appreciable distinction displayed on the code chart between the site edges, basically realizes the unification of the site classification between code of seismic design of buildings and special structures, and lays the foundation for fully considering the effect of site condition in earthquake engineering design, objectively estimating earthquake action and adopting reasonable earthquake protective countermeasures.

Key words: site classification; two dimensional membership function; characteristic period continuation

工程应用。

0 引 言

国内外大量震害调查、地震记录及其理论分析表明, 场地土对地震动频谱特征有着重要影响^[1], 工程中常常通过对场地进行分类的方法来表征不同场地条件对地震动的影响。场地分类恰当与否直接影响到地震反应谱特征周期及地震作用确定的合理性, 并将间接影响到工程结构型式选择、地震作用分析、构造措施处理等方面的恰当性及工程造价的高低。客观、科学的场地分类是工程结构抗震设计的一项关键性的工作。本文将建立一种新的场地模糊分类法并探讨其

1 场地的模糊性及分类

1.1 场地分类的影响因素与模糊性

自 Wood 从 1906 年开始以土质岩性区分场地类别以来, 人们对不同场地条件影响规律的认识与研究也逐步深入, 取得了诸多有效的成果^[2~15], 国内外已建立了上百种的场地分类方法。王广军等^[7]在对包括 33 个

基金项目: 国家自然科学基金“九五”重大项目(59895410); 国家自然科学基金资助项目(50378030)

收稿日期: 2004-10-09

国家抗震规范在内的 50 个场地分类方案进行分析与总结后,发现诸方案分类指标差异较大,且主要涉及土质岩性、覆盖层厚、标贯击数、地下水位、快剪强度、卓越周期、相对密度、干容重、反应谱峰点、承载力及纵横波速等诸多影响因素,这些指标或因素均对地震动及场地分类有着直接或间接及或大或小的影响。场地分类影响因素的复杂性及工程界要求分类方法方便有效等客观情况,决定了需在低维的影响因素或分类指标空间内,分析表征具有复杂耦合性的多维影响因素给地震动所带来的综合影响。此时,即使明确的分类指标与方法也会使分类变得具有模糊性;同时,由固、液、气三相组成的场地土,常因三相比例及固体颗粒的形状、矿物成分、粒径分布与级配等的变化,而表现出极其复杂的多种性能特征,使场地土本身具有亦此亦彼的模糊性能特征;再加上场地类别概念内涵不精确与外延不清晰所带来的模糊性等,这些均决定了场地的分类与辨识具有明显的模糊性特征。

1.2 场地分类方法的现状与存在问题

鉴于场地分类的模糊性特征,王广军等以覆盖层厚度和平均剪切波速为分类指标,分别建立了 4 类场地的隶属函数,给出了基于一级模糊综合评判的场地分类方法;苏经宇等^[8]以覆盖层厚度、平均剪切波速或地基平均承载力、卓越周期等指标及专家调查的方法,建立了 3 种确定场地土隶属函数的方法,并给出了场地类别的二级模糊评定方法;刘曾武等人^[9]以场地土平均剪切模量与覆盖层厚度为分类指标,分别建立了它们对标志性(即坚硬)场地的隶属函数及场地指数表达式,给出了基于场地指数的场地分类及反应谱特征周期的连续化确定方法,该方法已被现行构筑物抗震设计规范[10]所采用。苏经宇等^[11]在分析了抗震规范^[10-12]和场地分类具有突变性特征的基础上,建立了能综合考虑场地覆盖层厚与等效剪切波速的连续化场地分类系数表达式,给出了基于分类系数的场地分类方法,较好地实现了场地类别的平稳过渡;周锡元等^[13]在分析了国内外有关场地分类标准与方法后,给出了对规范的场地分类指标及其界限进行修改的建议,并建立了特征周期的等值线图,该图直观地表现了两分类指标间的复杂耦合性,体现了场地分类及其特征周期的连续化思想,现行建筑抗震设计规范^[14]采用了该分类思想与方法。

在上述基于隶属函数、模糊综合评判或场地评价指数的分类方法中,一方面,它们均考虑了场地的模糊性特征,基本解决了传统分类方法及其反应谱的粗糙、跳跃与不连续性问题,实现了场地与特征周期或反应谱的连续化,其结果更符合场地条件变化及其

对地震动影响的实际情况;另一方面,还存在一些方法所确定的表征各分类指标相对重要程度的权重具有明显的主观经验性和静态性,在考虑各指标对分类的综合影响时,仅简单地考虑了其线性加权综合,未能考虑指标间复杂耦合性的影响,同时,一些方法虽能体现分类指标对场地分类与特征周期的复杂耦合影响,但其未构成场地分类与特征周期的连续化函数,不便表征与处理场地分类和特征周期的模糊性和连续性,也不便于工程人员利用信息技术手段自动地处理场地分类及其相关方面的问题。为此,本文以下内容将以现行建筑抗震规范的特征周期等值图为依据,建立能表征场地分类模糊性与分类指标耦合性影响的二维隶属函数,并将给出连续化的场地分类及其相应特征周期的表达式。

2 场地分类的二维隶属函数

2.1 场地分类指标的选择与类别划分

场地土岩性特征、埋藏条件、空间分布等的多变性与随机性,决定了场地条件对地震动的影响是复杂和连续的,现行抗震规范为了区别对待不同场地条件的影响及便于在工程实际中采取不同的抗震措施,往往将场地分为若干类,而场地类别的划分及其分类指标的确定是场地合理分类及采取恰当抗震措施的基础和关键。分类指标选择单一,即使其为关键指标也很难全面体现场地的复杂影响,反之,指标选择过多将给分类带来困难,一般可选择意义明确、便于量化与确定,能反映场地土岩性与埋藏条件特征,及其对地震动有显著影响的关键性因素作为分类指标。

在场地类别划分时,类别划分过细、过多或连续划分将有助于地震反应谱的连续化,却不利于工程中辨识各等级及分类采取相应抗震措施,反之,类别划分过少,将不能全面细致地表征各类场地土对地震动的影响,也不便于采取合理恰当的抗震措施;故一般宜选择 2~3 个分类指标将场地划分为 3~5 类。王广军等人^[7,11]对国外规范等资料进行了统计分析,结果表明:采用单指标划分场地的占 38.7%,双指标的占 32.2%,其余为多指标;场地划分为三和四类的分别占 51.6%和 25.8%,其它类别所占比例较小,尚无连续分类方法;美国国家地震灾害减轻计划署(NEHRP)推荐的新抗震方案中^[13],依据平均剪切波速、土层厚度等 6 个分类指标将场地划分为 6 类;现行建筑抗震规范依据等效剪切波速及覆盖层厚度将场地划分为 4 类,现行构筑物抗震规范依据基于平均剪切模量及覆盖层厚度的连续化场地分类指数将场地划分为 4 类。

鉴于上述国内外规范在场地分类方面的具体情况,并考虑便于与现行建筑抗震规范协调,我们选择

等效剪切波速及覆盖层厚度两个分类指标, 将场地土划分为 4 个模糊类别。显然, 该分类指标能综合考虑场地土岩性与分布特征、且易于按规范和地基动力特性测试规范中的方法获取和处理^[16]。

2.2 场地分类二维隶属函数的建立

为考虑场地土及其分类的模糊性特征, 兼顾两类指标对场地分类的复杂非线性影响, 在借鉴有关场地模糊分类方法的基础上, 结合现行抗震规范的特征周期等值图, 我们建立了基于等效剪切波速 v_{se} 及覆盖

层厚度 d_{ov} 的 4 类场地二维隶属函数表达式 (见式(1)~(4)), 图 1 给出了 4 个二维隶属函数的空间分布图。其中, $\mu_i(d_{ov}, v_{se})$ 为第 $i(i \in [1, 4])$ 类标准场地的隶属函数, v_{se} 和 d_{ov} 按文献[14]和文献[16]的方法确定。上述场地分类隶属函数实现了场地分类边界的模糊化, 考虑了场地土及其分类的模糊特征, 表征了分类指标与场地类别间复杂的非线性关系, 且充分利用了现行抗震规范和文献[14]的分类结果与思想, 依此进行场地分类能更客观地反映实际情况。

$$\mu_1(d_{ov}, v_{se}) = \begin{cases} 1 & \{0 \leq d_{ov} \leq 0.5, \text{且} 0 < v_{se} \leq 330 ; \\ & \text{或} 0 < d_{ov} \leq 1, \text{且} 330 < v_{se} \leq 700; v_{se} \geq 700\} ; \\ \frac{7.5 - d_{ov}}{7} & \{0.5 < d_{ov} \leq 7.5, \text{且} 0 \leq v_{se} \leq \frac{2377.5 - 135d_{ov}}{7}\} ; \\ & \{0.5 < d_{ov} \leq 1, \text{且} \frac{2377.5 - 135d_{ov}}{7} < v_{se} \leq 330 ; \\ \frac{v_{se} - 195}{135} & \text{或} 1 < d_{ov} \leq 7.5, \text{且} \frac{2377.5 - 135d_{ov}}{7} < v_{se} \leq \frac{8715 - 135d_{ov}}{26} ; \\ & \text{或} 7.5 < d_{ov} \leq 27, \text{且} 195 < v_{se} \leq \frac{8715 - 135d_{ov}}{26}\} ; \\ \frac{27 - d_{ov}}{26} & \{1 < d_{ov} \leq 27, \text{且} \frac{8715 - 135d_{ov}}{26} < v_{se} \leq \frac{9285 - 185d_{ov}}{13}\} ; \\ \frac{v_{se} - 330}{370} & \{1 < d_{ov} \leq 27, \text{且} \frac{9285 - 185d_{ov}}{13} \leq v_{se} \leq 700 ; \\ 0 & \text{或} 27 < d_{ov}, \text{且} 330 \leq v_{se} < 700\} ; \\ & \text{其它}。 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_2(d_{ov}, v_{se}) = \begin{cases} \frac{d_{ov} - 0.5}{7} & \{0.5 \leq d_{ov} \leq 7.5, \text{且} 0 \leq v_{se} \leq \frac{2377.5 - 135d_{ov}}{7}\} ; \\ & \{0.5 \leq d_{ov} \leq 1, \text{且} \frac{2377.5 - 135d_{ov}}{7} < v_{se} \leq 330 ; \\ \frac{330 - v_{se}}{135} & \text{或} 1 < d_{ov} < 7.5, \text{且} \frac{2377.5 - 135d_{ov}}{7} < v_{se} \leq \frac{8715 - 135d_{ov}}{26} ; \\ & \text{或} 7.5 \leq d_{ov} \leq 27, \text{且} 195 \leq v_{se} \leq \frac{8715 - 135d_{ov}}{26}\} ; \\ \frac{d_{ov} - 1}{26} & \{1 \leq d_{ov} \leq 27, \text{且} \frac{8715 - 135d_{ov}}{26} < v_{se} \leq \frac{9285 - 185d_{ov}}{13}\} ; \\ \frac{700 - v_{se}}{370} & \{1 \leq d_{ov} \leq 27, \text{且} \frac{9285 - 185d_{ov}}{13} < v_{se} \leq 700 ; \\ & \text{或} 27 < d_{ov}, \text{且} 330 \leq v_{se} \leq 700\} ; \\ \frac{38.5 - d_{ov}}{31} & \{7.5 < d_{ov} \leq 38.5, \text{且} 0 \leq v_{se} \leq \frac{7057.5 - 135d_{ov}}{31}\} ; \\ & \{7.5 < d_{ov} \leq 27, \text{且} \frac{7057.5 - 135d_{ov}}{31} < v_{se} \leq 195 ; \\ \frac{v_{se} - 60}{135} & \text{或} 27 < d_{ov} \leq 38.5, \text{且} \frac{7057.5 - 135d_{ov}}{31} < v_{se} < \frac{3360 - 45d_{ov}}{11}; \\ & \text{或} 38.5 < d_{ov} \leq 60, \text{且} 60 \leq v_{se} \leq \frac{3360 - 45d_{ov}}{11} ; \\ \frac{60 - d_{ov}}{33} & \{27 < d_{ov} \leq 60, \text{且} \frac{3360 - 45d_{ov}}{11} < v_{se} \leq \frac{1260 - 10d_{ov}}{3}\} ; \\ \frac{v_{se} - 220}{110} & \{27 < d_{ov} \leq 60, \text{且} \frac{1260 - 10d_{ov}}{3} < v_{se} < 330 ; \\ 0 & \text{或} 60 < d_{ov}, \text{且} 220 \leq v_{se} < 330\} ; \\ & \text{其它}。 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_3(d_{ov}, v_{se}) = \begin{cases} \frac{d_{ov} - 7.5}{31} & \{7.5 \leq d_{ov} \leq 38.5, \text{ 且 } 0 \leq v_{se} \leq \frac{7057.5 - 135d_{ov}}{31}\} ; \\ & \{7.5 \leq d_{ov} \leq 27, \text{ 且 } \frac{7057.5 - 135d_{ov}}{31} < v_{se} \leq 195\} ; \\ \frac{195 - v_{se}}{135} & \text{或 } 27 < d_{ov} < 38.5, \text{ 且 } \frac{7057.5 - 135d_{ov}}{31} < v_{se} \leq \frac{3360 - 45d_{ov}}{11} ; \\ & \text{或 } 38.5 \leq d_{ov} \leq 60, \text{ 且 } 60 \leq v_{se} \leq \frac{3360 - 45d_{ov}}{11}\} ; \\ \frac{d_{ov} - 27}{33} & \{27 \leq d_{ov} \leq 60, \text{ 且 } \frac{3360 - 45d_{ov}}{11} < v_{se} \leq \frac{1260 - 10d_{ov}}{3}\} ; \\ \frac{330 - v_{se}}{110} & \{27 \leq d_{ov} \leq 60, \text{ 且 } \frac{1260 - 10d_{ov}}{3} < v_{se} \leq 330\} ; \\ & \text{或 } 60 < d_{ov}, \text{ 且 } 220 \leq v_{se} \leq 330\} ; \\ \frac{90 - d_{ov}}{51.5} & \{38.5 < d_{ov} \leq 90, \text{ 且 } 0 \leq v_{se} \leq \frac{60(90 - d_{ov})}{51.5}\} ; \\ \frac{v_{se}}{60} & \{38.5 < d_{ov} \leq 60, \text{ 且 } \frac{60(90 - d_{ov})}{51.5} < v_{se} < 60\} ; \\ & \text{或 } 60 < d_{ov} \leq 90, \text{ 且 } \frac{60(90 - d_{ov})}{51.5} < v_{se} \leq 2(90 - d_{ov})\} ; \\ \frac{90 - d_{ov}}{30} & \{60 < d_{ov} \leq 90, \text{ 且 } 2(90 - d_{ov}) < v_{se} \leq 520 - 5d_{ov}\} ; \\ \frac{v_{se} - 70}{150} & \{60 < d_{ov} \leq 90, \text{ 且 } 520 - 5d_{ov} < v_{se} < 220\} ; \\ & \text{或 } 90 < d_{ov}, \text{ 且 } 70 \leq v_{se} < 220\} ; \\ 0 & \text{其它}。 \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_4(d_{ov}, v_{se}) = \begin{cases} 1 & \{90 < d_{ov}, \text{ 且 } v_{se} < 70\} ; \\ \frac{d_{ov} - 38.5}{51.5} & \{38.5 \leq d_{ov} \leq 90, \text{ 且 } 0 \leq v_{se} \leq \frac{60(90 - d_{ov})}{51.5}\} ; \\ \frac{60 - v_{se}}{60} & \{38.5 \leq d_{ov} \leq 60, \text{ 且 } \frac{60(90 - d_{ov})}{51.5} < v_{se} \leq 60\} ; \\ & \text{或 } 60 < d_{ov} \leq 90, \text{ 且 } \frac{60(90 - d_{ov})}{51.5} < v_{se} \leq 2(90 - d_{ov})\} ; \\ \frac{d_{ov} - 60}{30} & \{60 \leq d_{ov} \leq 90, \text{ 且 } 2(90 - d_{ov}) < v_{se} \leq 520 - 5d_{ov}\} ; \\ \frac{220 - v_{se}}{150} & \{60 \leq d_{ov} \leq 90, \text{ 且 } 520 - 5d_{ov} < v_{se} \leq 220; \text{ 或 } 90 < d_{ov}, \text{ 且 } 70 \leq v_{se} \leq 220\} ; \\ 0 & \text{其它}。 \end{cases} \quad (4)$$

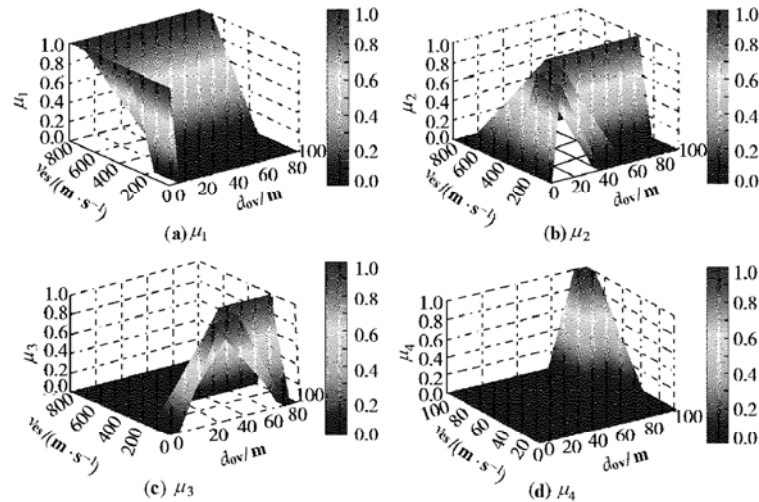


图 1 场地分类的二维隶属函数图

Fig. 1 Two-dimensional membership function graphs of the site classification

3 场地模糊分类及其应用

3.1 场地的模糊分类方法及其工程应用

依据具体场地土的等效剪切波速 v_{se} 及覆盖层厚度 d_{ov} , 即可由式(1)~(4)的二维隶属函数, 确定出该场地对四类标准场地土的隶属度向量 $\mu = \{\mu_i\}_{i=1}^4 = \{\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4\}$, 其中, μ_i ($\mu_i \in [0, 1]$) 表征了该场地对第 i 类标准场地的隶属程度, 当 $\mu_i = 1$ 时, 表明场地完全隶属于第 i 类场地, 当 $\mu_i = 0$ 时, 表明完全不隶属于第 i 类场地, 当 $\mu_i = 0.5$ 时, 则表明可能属于也可能不属于第 i 类场地。故据隶属度向量 $\mu = \{\mu_i\}_{i=1}^4$ 可对场地进行模糊分类, 其分类方法如下:

(1) 基于最大隶属度原则的分类法及应用。该分类法是指向量 $\mu = \{\mu_i\}_{i=1}^4$ 中最大值所对应的类别即为该具体场地的类别, 即所确定的场地类别 j 满足 $\mu_j = \max\{\mu_i\}_{i=1}^4$ 。在由最大隶属度确定场地类别的同时, 还可依据场地最大隶属度及其对相邻场地类别隶属度的大小, 对场地上结构的抗震措施作适当的增减调整。如当 $\mu_4 > 0.8$ 及 $\mu_3 < 0.2$ 时, 可提高一级抗震构造措施; 当 $\mu_4 \in [0.6, 0.8]$ 及 $\mu_3 \in [0.2, 0.4]$ 时, 抗震措施不调整等; 也可依据隶属度对结构的抗震措施进行连续化线性插值处理, 从而可避免结构抗震措施的突变性等情况。最大隶属度分类法考虑了场地分类的模糊性, 但其分类时仅利用了最大隶属度信息, 虽可考虑相邻场地隶属度对抗震措施的影响, 其分类结果仍显粗糙, 为此, 我们给出了如下连续化场地分类方法。

(2) 基于加权综合的连续化场地分类法。引入连续化场地分类数 f , 其中, $f \in [1, 4]$, 由式(5)确定, $\mu_i \in \mu$, $c \in C = \{c_i\}_{i=1}^4 = [1, 2, 3, 4]$, μ_i , c_i 为规范[14]中标准场地的隶属度及其分类代表值, 归一化后的 μ_i 表征了 i 类场地土参与场地分类的权重。 f 考虑了场地模糊性特征, 利用了 μ 中的全部分类信息, 实现了场地分类的连续化, 为更全面合理的考虑场地对地震动的影响, 及依据 f 建立连续化的结构抗震措施等奠定了基础。图 2 给出了场地连续化分类的空间分布图。

$$f = \sum_{i=1}^4 \mu_i c_i / \sum_{i=1}^4 \mu_i \quad (5)$$

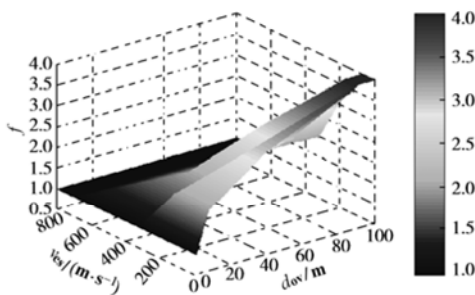


图 2 场地连续化分类的空间分布图

Fig. 2 Distribution of the site classification continuity

(3) 基于连续化特征周期的场地分类法。场地土特征周期直接或间接的反映了场地对地震动的影响, 为保持与规范[14]结构抗震措施的一致性, 可由特征周期 T_{gk} 对场地土分类 (T_{gk} 按式(6)确定)。第 k 类设计地震分组的场地分类方法为: 当 $T_{gk} \leq (T_{k1} + T_{k2}) / 2$ 时为 I 类场地; 当 $(T_{k1} + T_{k2}) / 2 < T_{gk} \leq (T_{k2} + T_{k3}) / 2$ 时为 II 类场地; 当 $(T_{k2} + T_{k3}) / 2 < T_{gk} \leq (T_{k3} + T_{k4}) / 2$ 时为 III 类场地; 当 $T_{gk} > (T_{k3} + T_{k4}) / 2$ 时为 IV 类场地。也可由连续化特征周期建立连续化的抗震措施。

3.2 工程场地分类实例

某建筑工程位于第一设计地震分组区, 其场地覆盖层厚度为 $d_{ov} = 54$ m, 等效剪切波速为 $v_{se} = 110$ m/s。由式(1)~(4)所确定的隶属度向量为 $\mu = \{\mu_i\}_{i=1}^4 = \{0.0, 0.18, 0.82, 0.0\}$, 利用本文所建立的场地分类方法, 我们确定了该工程场地的分类结果 (见表 1)。

表 1 场地分类结果

Table 1 Results of the site classification				
	方法 1	方法 2	方法 3	GB50011-2001
场地类别	III	2.82	III	III
特征周期	0.45s	0.43s	0.43s	0.45s

显然, 基于加权综合的连续化场地分类法 (方法 2) 能够给出更精确的连续化分类结果, 且其对应的特征周期与现行抗震规范的等值线图的结果吻合较好, 另两种方法的分类结果与现行抗震规范较一致。

4 场地特征周期的连续化方法

利用上述场地分类方法虽可帮助设计人员依据场地的模糊或连续化分类信息, 对结构的抗震构造等措施采取必要的调整或实现其连续化, 但依据其所确定场地类别很难合理的利用现行抗震规范的离散化反应谱进行地震作用的计算。鉴于规范主要以场地特征周期的形式考虑场地对反应谱影响的客观情况, 为保持与规范的一致性, 充分利用场地分类隶属向量 μ 及规范中关于场地分类特征周期等方面的信息, 我们将通过确定与连续化场地分类相对应的连续化特征周期的方法来实现反应谱的连续化。

4.1 场地反应谱特征周期连续化处理

隶属度 μ_i 表征了具体场地对规范中规定的第 i 类标准场地的隶属程度, 当然该隶属度或归一化后的隶属度, 也同样表征了第 i 类标准场地特征周期在具体场地实际特征周期中的重要或相对重要程度。则以归一化后的隶属度为权, 通过对四类场地的特征周期代表值进行综合加权处理, 即可按式(6)确定第 k 设计地震分组的连续化场地特征周期 T_{gk} 。其中, T_{ki} 为第 k 设计地震分组的第 i 场地类别的特征周期代表值, 可按规范[14]表 5.1.4-2 确定。 T_{gk} 综合考虑了各标准场地的隶属度及其特征周期代表值等方面的信息, 能够较

合理、客观、连续化的表征场地土的特征周期。由此即可确定能考虑地震设计分组、场地分类模糊性影响的连续化地震反应谱曲线,为更客观合理地确定抗震结构的地震作用提供了可能。

$$T_{gk} = \sum_{i=1}^4 \mu_i T_{ki} / \sum_{j=1}^4 \mu_j, \quad (6)$$

$$T_{GB} = \{T_{ki}\}_{3 \times 4} = \begin{Bmatrix} 0.25 & 0.35 & 0.45 & 0.65 \\ 0.30 & 0.40 & 0.55 & 0.75 \\ 0.35 & 0.45 & 0.65 & 0.90 \end{Bmatrix} \quad (7)$$

4.2 特征周期的空间分布

为了表征式(6)所确定特征周期的空间分布,遍历覆盖层厚度 d_{ov} 及等效剪切波速 v_{se} 的取值区间,可确定出图3所示第一类设计地震分组的 T_{g1} 空间与平面分布图。显然, T_{g1} 具有较好的空间连续性,并与现行抗震规范给出的特征周期等值线图有较好的吻合性,故本文给出的特征周期可直接用于抗震结构地震作用的计算。同时,依据连续化的场地分类及其相应连续化的特征周期,可实现地震反应谱的连续化,进而为更恰当地确定地震作用奠定了基础。

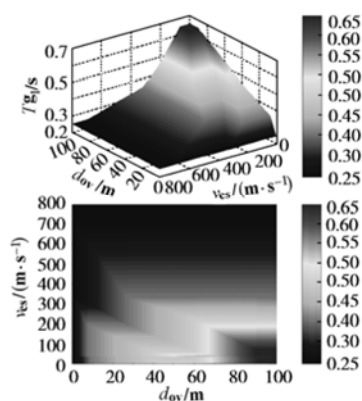


图3 第一类设计地震分组的特征周期分布图

Fig.3 Chart of characteristic period continuation for the first type of design earthquake

5 结 论

本文系统地分析了场地土及其分类的模糊性特征,指出了建立场地模糊分类方法是合理考虑场地对地震动影响的客观要求。并取得了如下成果和结论。

(1) 探讨了场地分类指标选择与分类等级确定的原则;以覆盖层厚度 d_{ov} 及等效剪切波速 v_{se} 为分类指标,以现行建筑抗震规范给出的特征周期等值图为依据,建立了与规范四类场地土相对应的二维隶属函数,给出了二维隶属函数的空间分布图。该函数较好地考虑了场地及其分类的模糊性特征,综合反映了 d_{ov} 及 v_{se} 对场地分类的复杂非线性影响,避免了现行构筑物抗震规范利用基于两个一维隶属函数线性加权的场地

指数,来进行分类时权重确定的主观性及其在局部边界场地类别的跳跃性。

(2) 给出了基于隶属度向量 μ 的三种场地模糊分类法。这些方法考虑了场地分类的模糊性特征,吸收了现行构筑物抗震规范中的连续化分类思想,使场地的分类更加合理与精细。最后还探讨了各分类方法在结构抗震设计中的应用途径与方法。

(3) 建立了能考虑隶属度向量 μ , 设计地震分组及现行建筑抗震设计规范场地特征周期代表值等方面信息的连续化场地特征周期的确定方法,并给出了其空间分布图,其结果表明与现行建筑抗震设计规范的特征周期等值图有较好的一致性。为工程实际中更客观合理地确定结构地震作用提供了可能。

参考文献:

- [1] 胡聿贤,孙平善,章在墉,田启文.场地条件对地震和地震动的影响[J].地震工程与工程振动,1980, 1(1): 34 - 40.
- [2] 周锡元.土质条件对建筑物所受地震作用的影响[A].中国科学院工程力学研究所,地震工程研究报告集(第二集)[R].科学出版社,1965.
- [3] Seed H B, Idriss I M. Influence of soil conditions on ground motion during earthquakes [J]. ASCE, 1969, 95.
- [4] Seed H B, Ugas C, Lysmer J. Site dependent spectra for earthquake resistant design [J]. Bull, Seis Soc Am 1976, 66: 221 - 244.
- [5] 周锡元,苏经宇.烈度、震中距和场地条件对地面运动反应谱的影响[J].地震工程与工程振动,1983, 3(2):31 - 42.
- [6] 周锡元,王广军,苏经宇.场地分类和平均反应谱[J].岩土工程学报,1984, 6(5):59 - 68.
- [7] 王广军,苏经宇.场地类别的模糊综合评判[J].地震工程与工程振动,1985, 5(2):28 - 42.
- [8] 苏经宇,周锡元,谭健.场地类别模糊综合评定实用方法[J].岩土工程学报, 1990, 12(3):32 - 41.
- [9] 刘曾武,郭玉学.场地指标的选择与场地评定[J].中国地震,1989, 3(2).
- [10] GB50191—93,构筑物抗震设计规范[S].
- [11] 苏经宇,李虹.场地划分规范方法的比较分析[J].工程抗震, 1995, 2:43 - 46.
- [12] GBJ11—89,建筑抗震设计规范[S].
- [13] 周锡元,樊水荣,苏经宇.场地分类和设计反应谱的特征周期[J].工程抗震,1999,4: 3 - 8.
- [14] GB50011—2001,建筑抗震设计规范[S].
- [15] Federal Emergency Management Agency. FEMA NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulation for New Buildings[S].
- [16] GB/T50269—97,地基动力特性测试规范[S].