

团体标准《基于场地土层影响的地震动参数调整》征求意见稿编制说明

一、编制背景

1. 国家防灾减灾的战略需求

中国地处环太平洋地震带与欧亚地震带交汇区域，地震活动频繁且灾害严重。根据《中国地震动参数区划图》（GB 18306-2015），全国 90%以上的陆地面积位于地震烈度VI度及以上区域，其中高烈度区覆盖大量人口密集城市和重大工程设施。近年来，随着新型城镇化建设和“一带一路”倡议的推进，超高层建筑、长跨度桥梁、核电站等重大工程对场地地震动参数的精细化需求日益迫切。在此背景下，科学确定场地地震动参数已成为提升工程抗震能力、保障人民生命财产安全的核心环节。

2. 现行规范的局限性

我国现行的抗震设计规范（如《建筑抗震设计规范》GB 50011）虽对场地类别划分和地震动参数调整提出了基本要求，但在实践中仍存在以下不足：

- 目前考虑场地覆盖土层影响的双参数调整方法难以准确反映局部场地土层对不同频段地震动的选择性放大作用；

- 新数据和新技术应用滞后：近年来，基于强震观测、数值模拟和人工智能的场地效应分析技术快速发展，但尚未充分融入规范体系。

3. 国际经验与技术趋势

国际上，美国（ASCE 7-22）、欧洲（Eurocode 8）和日本（《建筑基准法》）等抗震标准体系均将场地地震动参数调整作为核心内容，并逐步融合概率性地震危险性分析（PSHA）、场地反应谱定制化等前沿方法。例如，美国 NGA-West2 项目基于全球强震动数据构建了场地放大效应非线性模型；日本针对软土场地提出了考虑土-结构相互作用的动态调整系数。这些成果凸显了场地效应精细化研究的必要性。

我国第五代地震动参数区划图虽已采用双参数调整方法（特征周期与反应谱平台值），并纳入土体非线性反应影响，较前一代的标准有显著进步，但仍存在以下技术瓶颈：

- 调整方法以经验为主：现行规范仅提供地震动峰值加速度，反应谱平台和特征周期调整，难以量化短、中、长周期地震动成分的差异化影响；
- 量化模型缺失：缺乏覆盖土层对不同周期地震动特性影响的量化表征模型；
- 规范指导不足：尽管规范要求设计地震动输入需考虑场地土层影响，但对短、中、长周期地震动成分的场地效应调整缺乏具体细则。

因此，亟需一种合理的精细化场地影响调整方法及标准，通过量化场地土层对不同频段地震动参数的调控作用，为工程抗震设防提供科学依据。

二、编制必要性

1. 提升抗震设计的科学性与经济性

场地条件对地震动参数的放大或衰减效应可达 2-3 倍，直接影响工程结构的抗震设防成本与安全性。通过制定《基于场地土层影响的地震动参数调整》技术标准，可推动场地地震动参数确定从“粗放式抗震”向“精准化抗震”转变，实现安全性与经济性的平衡。

2. 推动新技术与标准的融合

近年来，我国在地震动观测、场地测试和数值模拟领域取得显著进展：

- 观测数据积累：国家强震动观测网络已获取超过 10 万条地震动记录；
- 技术创新：基于观测记录统计的场地效应预测模型、场地响应数值模拟等技术逐步成熟；
- 规范空白：现有标准未明确如何将新技术成果转化为工程参数。

本标准将填补这一空白，促进科研成果向工程实践的转化。

3. 完善标准体系与服务国家战略

《中华人民共和国防震减灾法》明确提出“加强抗震设防要

求管理”。当前，我国已形成以国家标准为核心、行业标准为补充的抗震标准体系，但团体标准在灵活性、创新性方面具有独特优势。通过系统整合国内外研究成果、引入先进技术方法、强化区域适应性，本团体标准将有效提升我国工程抗震设计的精细化水平，为城乡建设与工程安全提供科学保障。

三、编制工作简况

（一）任务来源

依托国家重点研发计划国际合作重点专项项目《中国大陆场地分类方法和场地地震动影响模型研究》的研究成果，编写了《基于场地土层影响的地震动参数调整》的技术报告和流程说明，2022年10月25日，在中国地震学会申请团体标准编制立项，公示后获得通过。

（二）工作组的组成单位、主要起草人：

工作组的组成单位有：中国地震局地球物理研究所、北京工业大学、中国地震灾害防御中心、北京市地震局、甘肃省地震局、四川省地震局、中国地震局工程力学研究所、南京工业大学、深圳防灾减灾技术研究院。

主要起草人有：谢俊举、李小军（以下按姓氏笔画排名）王玉石、王飞、王平、任叶飞、江鹏、闫静茹、吴健、张郁山、陈国兴、陈波、陈苏、周宝峰、林国良、俞言祥、赵晓芬、姜慧、温增平、傅磊。

（三）主要工作过程

本团体标准编制过程中主要工作有：

(1) 2019.11-2022.5，调研和研究阶段。完成场地影响模型和地震动参数调整方法相关技术研究和报告编制。

依托国家重点研发计划国际合作重点专项项目《中国大陆场地分类方法和场地地震动影响模型研究》开展场地分类方法和场地地震动影响模型的研究，编写《基于场地土层影响的地震动参数调整技术》的报告。

(2) 2022.06-2022.10，技术标准草案撰写和标准编制立项。

在收集整理国内外抗震设防和地震动参数调整相关规范、规程、导则、科技论文等资料的基础上，细化在场地分类和考虑覆盖土层影响的场地地震动参数调整方法技术流程中需要考虑的细节问题，撰写了技术标准的草案（讨论稿）。2022年9月，在中国地震学会申请团体标准编制立项，经中国地震学会公示后获准立项。

(3) 2022.10-2026.06，征求专家意见、编制规范说明。

2022年10月在北京召开专家咨询会，咨询论证场地地震动参数调整方法的技术流程和规范草稿意见；

2023年4月在北京召开专家咨询会，咨询规范初稿意见；

2025年9月在北京召开标准的技术方案讨论会议，编写组主要专家就团体标准的条文和技术方法进行研讨；

2026年6月在北京召开专家咨询会，征求领域专家意见。

(4) 2026年7月，拟公开征求意见。

四、条文说明

本标准属性是推荐性，标准级别是学会标准，标准类别是基础标准，没有采用国际标准，属于首次制定。

（一） 范围

本文件描述了基于场地土层影响调整地震动参数的工作内容，规定了基础资料收集、场地类别确定、场地地震动影响模型构建、场地影响调整系数计算和场地地震动参数确定的技术要求。

本标准适用于考虑场地土层影响的场地地震动参数确定。

（二） 规范性引用文件

标准中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

（三） 术语、定义、符号和缩略语

本节对术语、定义、符号和缩略语进行了规范和定义，反映技术发展的应用，个别在文中重复次数较少的符号和缩略语并没有在本节中出现。主要术语有 4 个。

（四） 工作内容

本节主要规定了基于场地土层影响的地震动参数调整工作应的主要内容，包括基础资料收集、场地类别确定、场地地震动影响模型构建、场地影响调整系数计算和场地地震动参数确定。

（五）基础资料收集

本节主要规定了开展场地地震动参数调整工作需要收集的场地勘测资料，作为场地土层参数和场地分类确定以及开展场地土层反应分析的基础资料。

（六）场地分类

本节主要规定了场地类别的确定和宏观场地分区图编制的方法和技术要求。

收集和参考了近年国内外在场地分类方法和宏观场地分类方面的最新成果。世界各国在工程抗震设防中主要通过场地分类来考虑场地覆盖土层影响。欧美等国家广泛采用的基于地表 30 m 平均剪切波速 (V_{s30}) 的场地分类方法并建立了定量考虑覆盖土层影响的模型，而我国场地分类采用的是基于覆盖层厚度和土层等效剪切波速 (V_{se}) 的双参数方法。由于场地分类方法的不同，世界范围内的基于地表地质、地形地貌的场地剪切波速模型和场地分类结果无法直接应用于中国宏观场地分类。

在宏观场地分类时，本标准参考了 Xie 等(2023) 利用中国大陆、日本和美国加州地区 2652 个实测场地钻孔剖面数据建立的中国场地分类与场地剪切波速 V_{s30} 的统计经验关系。该研究通过最优化分类确定中国各类场地对应的 V_{s30} 取值边界(图 2)，建立中国场地分类与场地剪切波速 V_{s30} 的对应关系，这搭建中国场地类别与国际上广泛采用的基于 V_{s30} 的场地分类的桥梁。

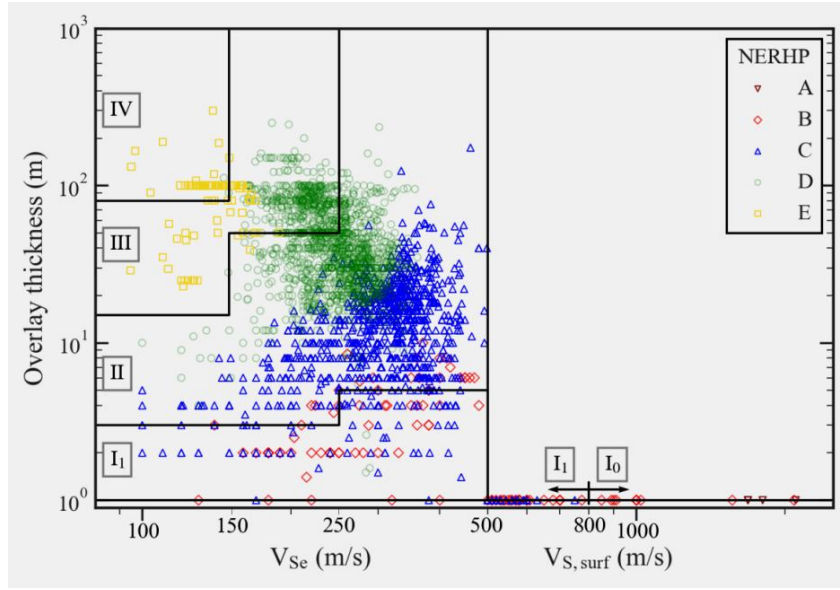


图 1 选取的 2652 个钻孔的中国场地分类结果及美国 NEHRP 场地类别

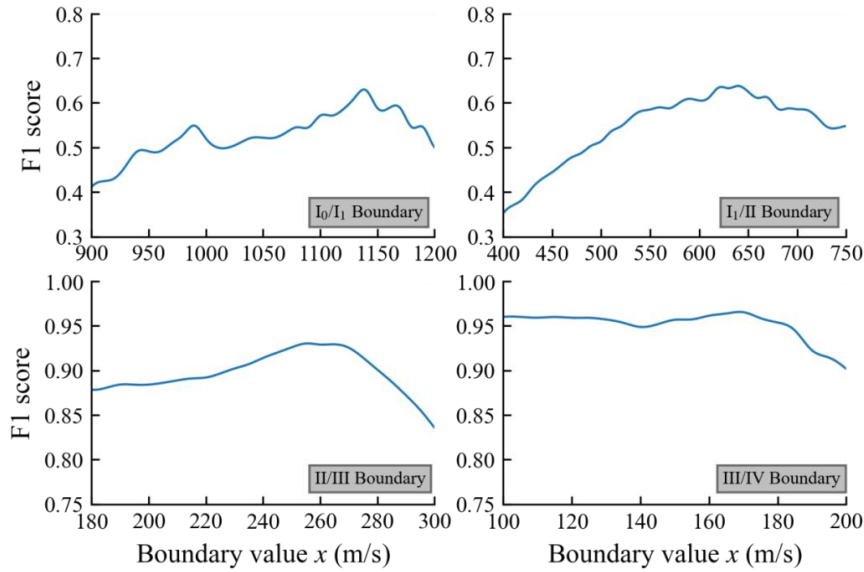


图 2 基于最优化分类确定中国 I_0/I_1 、 I_1/II 、 II/III 和 III/IV 类场地区分对应的最优 V_{S30} 边界值

基于该映射对应关系，可利用地表地质和卫星观测地形地貌数据确定中国宏观场地分类。相比于较早提出的提出的对应关系（吕红山，赵凤新，2007），Xie 等（2023）采用更多的实测钻孔数据，基于最优化分类确定中国 I_0/I_1 、 I_1/II 、 II/III 和 III/IV 类

场地区分对应的最优 V_{s30} 边界值，该结果具有更高的中国场地类别区分精度，且可适用于最新的中国规范场地分类标准。

（七） 场地地震动影响模型构建

本节主要规定了场地地震动影响模型的表达形式、构建方法，以及开展模型的适用性论证的要求。

（八） 场地影响调整系数计算

本节主要规定了场地影响调整系数的确定和计算方法和技术要求。

（九） 场地地震动参数调整

本节主要规定了场地地震动参数调整的参考场地选取、调整的地震动参数范围，以及各参数的调整方法。

出于经济性的考虑，国家标准中国地震动参数区划图 GB18306—2015 采用我国广泛分布的 II 类场地作为参考场地进行设防地震动参数调整。根据最新观测结果和研究发现，我国 II 类场地的分类较宽泛，会导致 II 类场地的地震动参数和场地影响离散性大（Xie 等，2023；刘也等，2023）。因此，本标准采用我国建筑抗震设计规范 GB50011 中规定的基岩 I_1 类场地作为参考场地。

本标准吸收了国内近年基于强震动观测数据，在场地地震动影响量化模型研究的最新成果，规定了场地调整系数确定方法。基于 2007-2024 年间中国大陆西部地区强震动观测台网和国家预警台网的观测数据，构建了包含 618 次地震事件共计 17341 条加

速度记录的强震动观测数据集。基于地震动预测模型的残差分解，对场地土层放大效应进行量化分析，构建场地地震动影响模型，经验估计场地覆盖土层对地震动的影响。

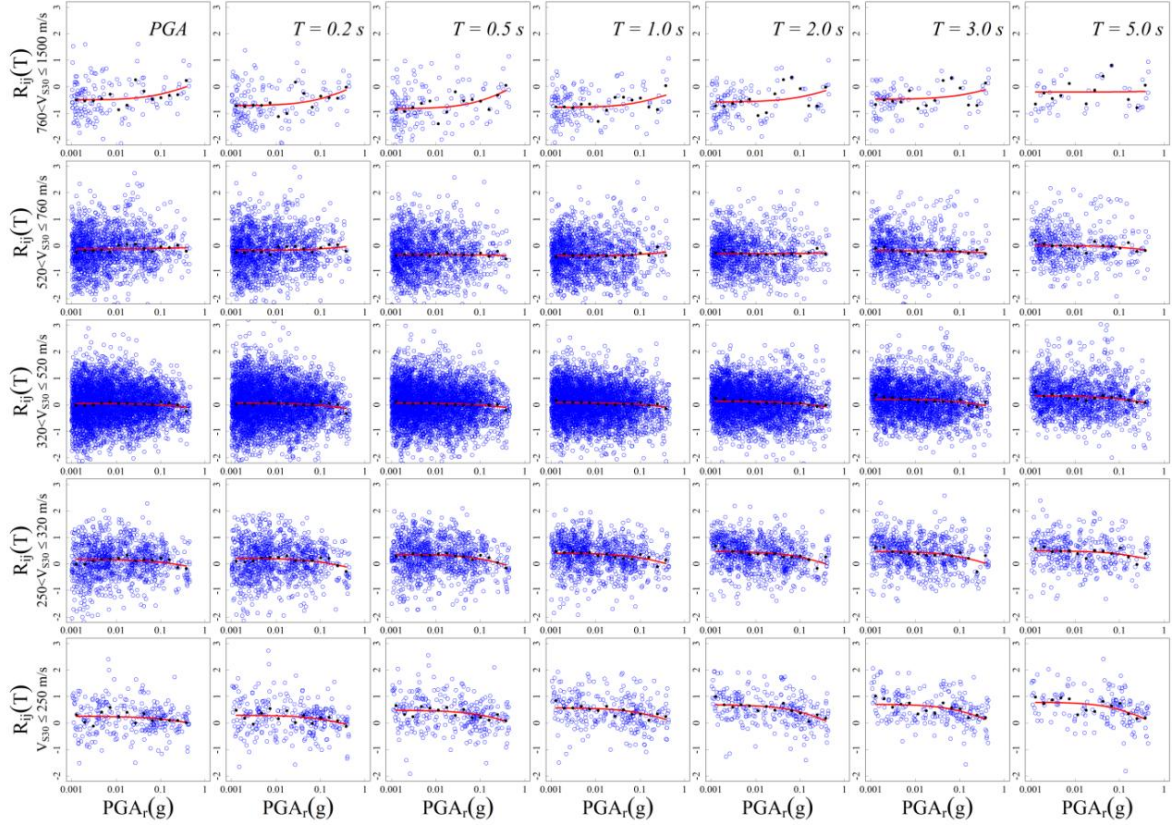


图 3 基于强震动记录残差分解量化分析场地地震动影响的非线性特征

利用中国西部和美国加州地区强震动记录进行统计回归和残差分析实现对线性和非线性场地影响的分解，确定描述线性和非线性场地反应特征的控制参数和表达形式，采用浅层场地 30 m 剪切波速 V_{s30} 和输入基岩峰值加速度 PGA_r 参数为定量指标，建立了针对不同周期地震动反应谱的场地影响模型。

$$F_s = \ln(F_{lin}) + \ln(F_{nl}) \quad (1)$$

$$\ln(F_{nl}) = f_1 + f_2 \cdot \ln\left(\frac{PGA_r + f_3}{f_3}\right) \quad (2)$$

$$\ln(F_{lin}) = \begin{cases} c \cdot \ln\left(\frac{V_{S30}}{V_{ref}}\right) & V_{S30} \leq V_c \\ c \cdot \ln\left(\frac{V_c}{V_{ref}}\right) & V_{S30} > V_c \end{cases} \quad (3)$$

式中： F_{lin} ——线性场地影响项； F_{nl} ——非线性场地影响项； PGA_r ——基岩输入地震动峰值加速度； f_3 ——非线性反应的临界峰值加速度参考值，取 0.1 g ； f_1 、 f_2 、 c ——随地震动周期变化的非线性和线性场地影响系数； V_{sz} ——所考虑深度范围内的覆盖土层的等效剪切波速； V_c ——随地震动周期变化的线性场地影响的临界剪切波速； V_{ref} ——参考基岩场地的剪切波速。

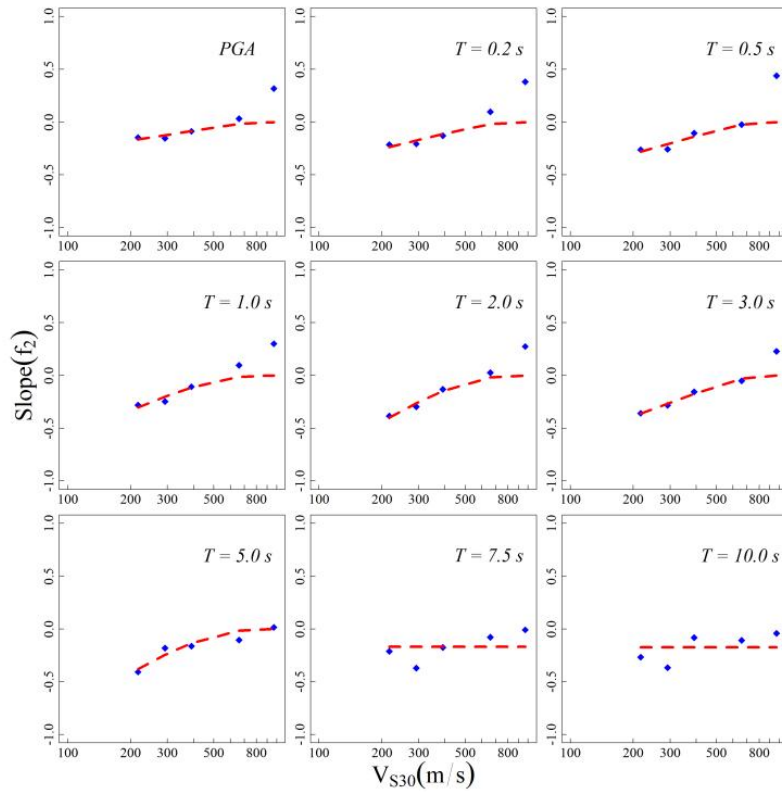


图 4 针对地震动峰值和不同周期反应谱的场地效应模型的非线性影响项

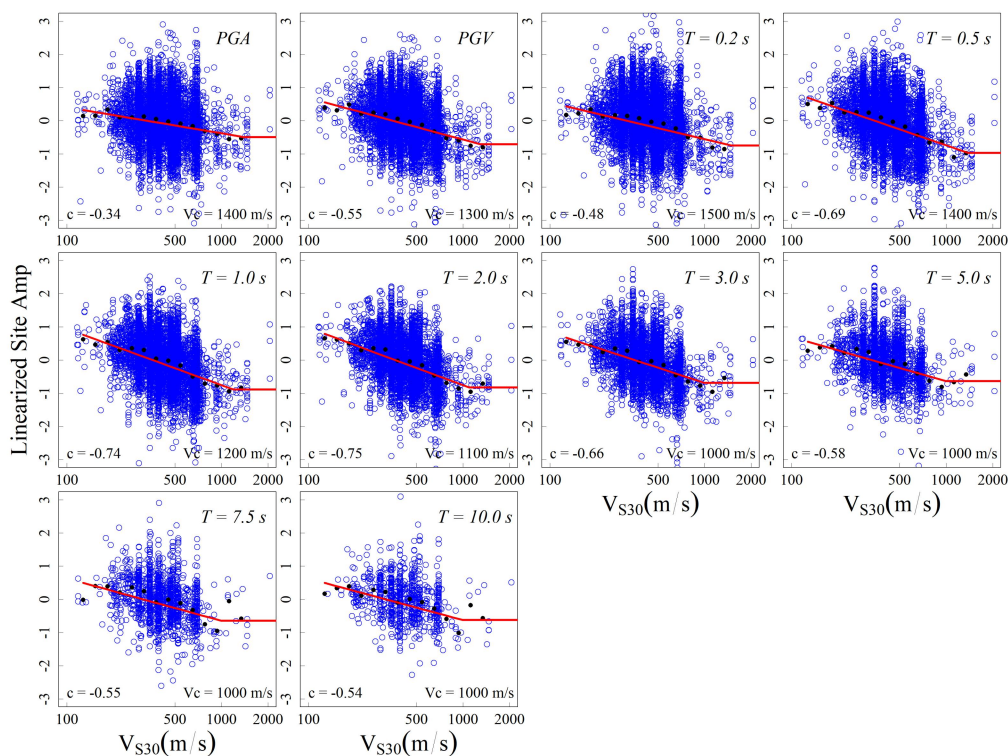


图 5 针对地震动峰值和不同周期反应谱的场地效应模型的线性影响项

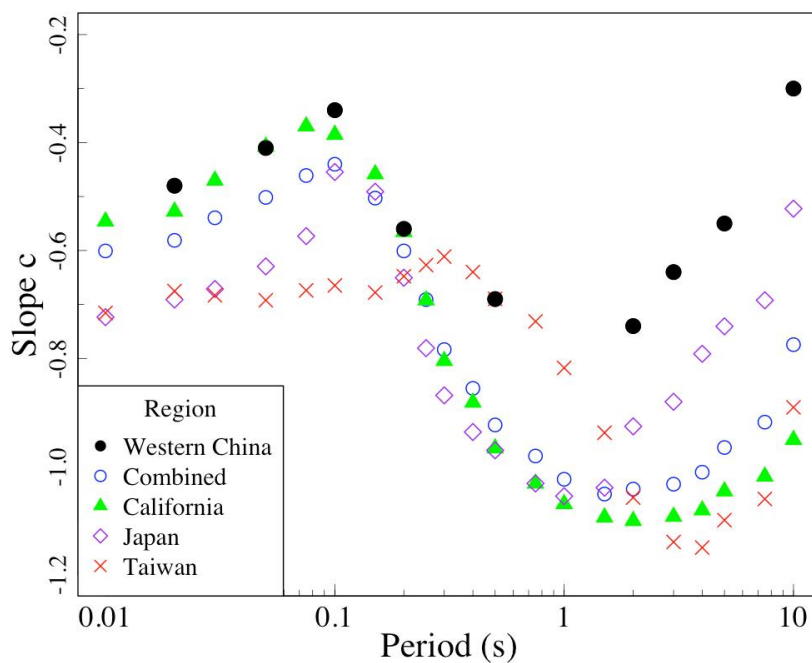


图 6 不同区域的 c 值随周期的变化区域特征

图 6 给出了中国大陆西部与美国加利福尼亚、日本、中国台湾

地区及 BSSA14 模型（图例为“Combined”）全球平均结果的场地线性影响项斜率 c 随周期的变化对比。可以看出，中国西部的线性项斜率 c 值在小于 0.5s 的短周期与其他地区比较接近，而在大于 0.5s 的中长周期均明显高于其他地区。研究发现，模型的线性项由场地土的软弱程度（ V_{s30} ）控制，非线性影响项由观测数据与模拟结果共同约束。值得注意的是，线性项存在明显的区域差异，而场地放大的非线性特征并没有显示出系统的区域变化的证据。

基于构建的场地地震动影响模型，考虑强震动作用下的场地非线性效应，图 7 分别计算给出了在弱震动 0.05g 和强震动 0.4g 基岩地震动输入下各类场地相对于 I_1 类场地的反应谱调整（放大系数）谱型模型。可以看出，在弱震动（0.05g 基岩地震动输入）时，III 类和 IV 类场地的调整系数总体高于 II 类场地；但在强震动（0.4g 基岩地震动输入）作用时，较软弱的 III 类和 IV 类场地表现出明显的非线性特征，在 0-0.5 s 的短周期，放大系数要低于 II 类场地，IV 类场地的调整系数可小于 1.0；在 1.0 s 以上的较长周期，III 类和 IV 类场地的放大系数高于 II 类场地。

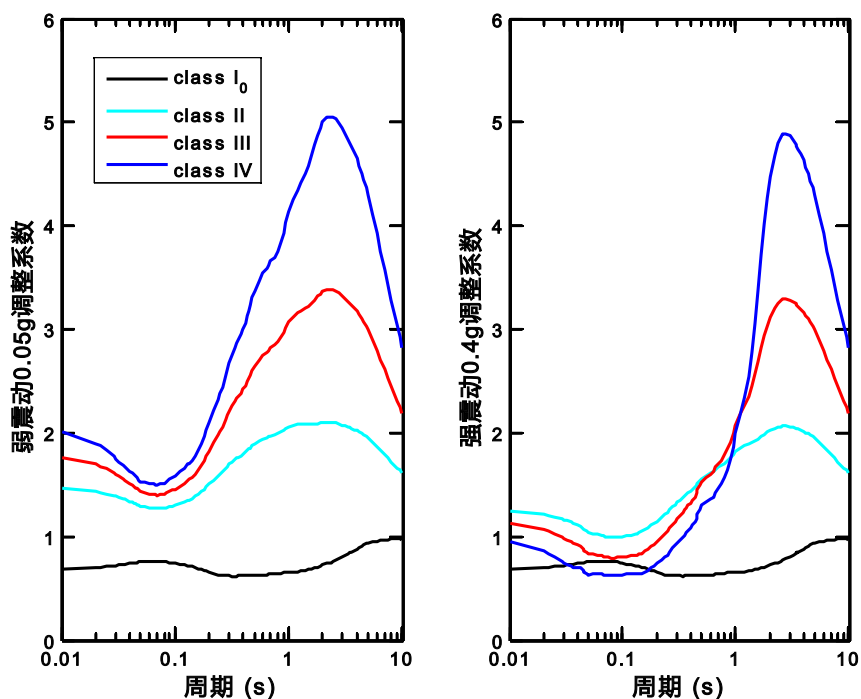


图 7 弱震动和强震动输入下各类场地相对于 I_0 类场地的反应谱调整（放大系数）谱型模型

对于不具备建立区域场地地震动影响模型时，本标准给出了基于我国西部强震动观测资料统计得到的各类场地的经验调整系数推荐值（如表 2）。

五、其他需要说明的问题

无。

标准编制工作组

2026 年 7 月