

中国地震学会标准《场址最大可信地震动 评估导则-随机有限断层法》征求意见稿 编制说明

一 编制的必要性

地震动参数的合理选择和正确的地震动输入方式是结构抗震安全评价的基础。由于震源特征、地震波传播路径、传播介质、场地条件等因素的复杂性，致使地震动具有不可精确预测性和不可重复性，因此地震动输入是结构抗震分析中最薄弱的一个环节。一般用于结构抗震设计的地震动可以采用相似场地条件的实际地震动记录，但是，由于现有强震记录在区域上分布不均匀，很难获得满足工程需求的实际记录，因此需要人工模拟得到适用于不同结构和场地条件的地震动输入。目前，用于重要结构抗震设计的人工加速度时程是基于场地相关加速度反应谱拟合得到的，其中作为拟合目标的地震加速度反应谱是基于概率的地震危险性分析得到的一致概率反应谱（在相同超越概率水平下不同周期点的反应谱值所组成的谱）。

从近几年来包括日本“3.11”地震在内的几次灾难性地震震害分析来看，基于概率的地震危险性分析方法中存在比较明显的弱点，其中最关键的问题是如何确定大震的复发周期。由于大震的发生概率低，而对发生概率的低估会导致对灾害的低估，这是概率危险性计算中存在的一个关键的不确定性的因素。此外，概率法中的衰减关系具有很大的不确定性。比如（1）我国工程场地地震危险性分析中，地震动参数的衰减关系是由本地区的地震烈度与参考区的烈度和地震动参数衰减关系转换得出的，该方法的基本假定是不同地区烈度衰减关系的差异与地震动参数衰减规律的差异类同，对峰值加速度来说，由烈度衰减关系转换尚可接受，若将其推广到地震动反应谱的每个周期分量的衰减规律上，在物理概念上难以理解；（2）由于影响地震作用强度的因素很多，诸如震源情况、地震波的传播情况等，不同学者研究得到了不同的统计模型，如我国工程常用的地震动衰减关系大多只描述特定震级条件下地震动参数（幅值、频谱或持续时间）随距离的衰减规律，而美国NGA研究的衰减关系中除了充分考虑了强震、近场条件下高频地震动分量的饱和现象，还同时考虑走滑、正断或逆断的断裂方式，以及上盘效应等近场地震动特性等；（3）由于近场和大震的强震记录比较缺乏，基于缺乏近场强震记录的地震动参数衰减关系也不适用于地震危险性受大震近场潜在震源区控制的地区。

再者，以统计模型为基础的一致概率反应谱，在参数预测过程中的震源模型基本是按点源模型设置，无法反映地震波传播过程中的震源破裂过程、传播路径和场地条件等因素影响。而对于特大地震来说，地震的破裂面往往可以达到上百公里，在近场大震情况下，近断层场地的地震动主要受断层面上邻近的、局部的有限部分的影响，还受断层滑动方向、上下盘效应等影响，此时若将破裂面视作点源模型，则无法体现出大震的近场特征。因此，对于地震地质环境较为复杂的区域，对于受多条近场大震发震构造影响的场址，在确定场址地震动参数时，就需要建立一种能够考虑实际震源破裂过程、传播路径及场地条件等因素的、且适合于工程应用的地震动参数评价方法。

2018年颁布的《水工建筑物抗震设计标准》（GB52147-2018）明确规定“当发震断层距离场址小于10km、震级大于7.0级时，亦研究近场大震中发震断层作为面源破裂的过程”，并且需要考虑“最大可信地震”对场址设计参数产生的影响，其中最大可信地震是指目前已知或假定的地壳构造框架下，有理由相信的已确定的断层或在地理上界定的地震构造区内发生的最大地震。但在实际工程应用中，上述条文缺乏可操作性的规定。确定场址最大可信地震动参数时，需要解决的主要问题是，采用面源破裂过程进行近场大震模拟时，如何选择合适的地震动模拟方法，并在复杂的震源模型设置与计算效率之间找到平衡点；如何表征对未知地震模拟时认知不确定性和模拟参数的随机不确定性等问题。为了解决上述问题，我们基于随机有限断层法建立了一套适合于工程应用的地震动参数评价方法，该方法能够考虑场址发震构造的复杂性，给出多层次、多风险水平的评价结果，为近场大震作用下结构抗震安全评价提供合理的地震动参数。

为了便于实际工程应用中，尤其是大坝场址最大可信地震动参数的确定，需要制定出相关的规范，对最大可信地震动计算的内容、步骤和方法进行说明。

二. 主要过程

1 任务来源

根据“十三五”国家重点研发计划课题“坝址地震动输入研究（2017YFC0404901）”的任务要求，建立“确定坝址最大可信地震动的方法及相应的实施技术流程,为制定特高坝抗震设计规范中相应的关键条文提供理论依据和可操作规定”。因此，需要编写《场址最大可信地震动评估导则-随机有限断层法》。

2 起草单位和主要起草人

本标准起草单位：中国地震局地球物理研究所、中国水利水电科学研究院

本标准主要起草人：俞瑞芳，张翠然，陈厚群，俞言祥，李德玉，付长华，宋毅盛，周红，吕红山，孙吉泽，李敏，傅磊。

3 主要工作过程

本规范编制过程中主要工作有：

(1) 2017.07-2019.06，方法研究。

充分调研国内外关于地震动模拟方法的优缺点，基于随机有限断层法建立了适合于工程应用的场址地震动参数综合评价方法。

(2) 2019.07-2019.12，方法论证。

将研究得到的方法应用于溪洛渡大坝场址的最大可信地震动参数综合评价，对所建立的方法进行了充分的论证。经过多次专家咨询，对方法的技术流程及相关参数的取值方法，进行了充分论证。

(3) 2020.01-2020.06，规范编制组成立及撰写。

2020 年 1 月，经过对方法的多次论证，以及对相关规范资料的调研，为了方便工程应用，成立了由中国地震局地球物理研究所牵头的编制组，开始撰写《场址最大可信地震动确定规范》。编制组在充分讨论基础方法和工程实践需求的基础上，完成了本标准各章节的主要目录，进行了规范草稿的撰写。

(4) 2020.07-2021.01，内部审查与修改。

编制组认真对待标准编写工作，并多方面听取意见。其中，编写组主要成员开会讨论 10 余次，形成了本标准的初稿。

(5) 2020.02-2021.04，申请立项。

编制组在完成了初稿的咨询论证后，于 2021 年 2 月 5 日由主编单位向中国地震学会提出了《场址最大可信地震动确定规范》立项申请书，2021 年 4 月 1 日经中国地震学会审批，2021 年 4 月 13 日-4 月 27 日在中国地震学会官网及国家标准信息平台进行公示，公示结束无异议后正式立项。

(6) 2021.04-2021.06，初稿修改和公开征求意见。

编制组于 2021 年 4 月 29 日在中国水利水电科学研究院召开专家技术审查会议，对规

范初稿进行讨论和完善，建议将规范名称改为《场址最大可信地震动评估导则-随机有限断层法》；2021年5月11日在中国地震局地球物理研究所召开专家技术审查会，形成了本标准的征求意见稿。

编制组拟将《场址最大可信地震动评估导则-随机有限断层法》向水利水电相关的设计单位、中国地震局的直属单位和各省、自治区、直辖市地震局以及相关高校各共41家单位征求意见，并向标准相关的61名专家征求意见。同时，该标准也在中国地震学会官网和全国团体标准信息平台上公开征求意见。

三. 规范编写框架说明

1 选择随机有限断层法的原因

为了便于工程应用，近场地震动模拟方法应具备两个特点，一是能够较好地体现近场大震特征，二是有较高的计算效率，为此，本规范选择了基于地震学理论发展起来的随机有限断层法，该方法不仅可以描述断层破裂源，考虑地震波路径、场地衰减等因素，而且计算效率高，能够解决地震动模拟中复杂震源设置与计算效率的问题。

随机有限断层法是一种半理论半经验的地震动模拟方法，其主要思想是将一个发震规模较大的断层划分为一系列子断层，然后将每一个子断层视为点源，得到每个子源对场址的影响。该方法的优点在于可以独立计算震源谱、距离及场地衰减等各种因素，然后将其进行累乘。计算中可以建立相对复杂的震源模型描述近场大震特征，但对距离衰减及场地效应影响的描述相对简单，因此与需要精细介质结构的谱元法、有限差分等模拟方法相比，对单个场点的地震动模拟时所需的时间短，因此能够实现对各种参数不确定性的讨论，方便得到适合于结构抗震设计的地震动参数。

2 基本思想和技术框架

本规范建议的地震动参数评价方法，采用计算耗时较短的随机有限断层法描述断层破裂源，考虑地震波路径、场地衰减等因素，来解决地震动模拟中复杂震源设置与计算效率的问题；采用多方案和多重权重系数的设计来解决认知的不确定性和模拟参数的不确定等问题，从而建立了一种适合于工程应用的基于最大可信地震断层破裂源的、考虑不同震源的地震动参数评价方法。

基于随机有限断层法，建立场址地震动参数综合评价体系的整体框架如图 3.2-1 所示，

包括设置震源、路径及场地条件参数的取值范围及水平、设计多方案（多权重）地震动模拟方案（权重系数计算原则与方法）、地震动模拟及结果分析、建立能够表征不同地震危险性的参数估计方法，最后建议了设计地震动的拟合方法。



图 3.2-1 地震动参数综合评价体系技术框架

四. 条文说明

本规范属性是推荐性，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。

1 范围

本标准采用随机有限断层法确定受近场大震影响的水利水电工程场址的最大可信地震动参数。本标准中的条文适用于距发震断层10km以内、影响地震震级大于7.0级的工程场地，对于其他工程场址也可以参考本标准。

4 基本规定

4.1 确定场址最大可信地震动所需要的地震、地质等基础资料应和工程场址地震安全性评价的资料保持一致。判断对场址有影响的发展构造可基于场址地震安全性评价工作中潜在震源区的贡献分解进行初步判断；发震断裂的尺度、走向、倾向和倾角等参数的取值，可参考地震安全性评价的结果。

4.2 采用随机有限断层法进行地震动模拟时，现有的震源模型有“静拐角频率模型”和“动拐角频率模型”。静力学拐角频率与子源尺寸有关，所以傅氏谱的谱值和子源尺寸的划分相关，结果对子源尺寸有显著的敏感性；再者，该方法中为了保证总的地震矩的守恒，常需要某一子源多次触发地震，这违背了地震发生的实际情况，显然是不合理的。而“动拐角频率模型”能够解决这些问题，能更好地用于大震近场地震动模拟。

5 工作内容

本标准采用随机有限断层法进行场址最大可信地震动综合评价。随机有限断层法不仅可以描述断层破裂源，考虑地震波路径、场地衰减等因素，而且计算效率高，能够解决地震动模拟中复杂震源设置与计算效率的问题，采用多方案和多重权重系数的设计来解决认知的不确定性和模拟参数的不确定性等问题，从而建立了一种适合于工程应用的最大可信地震动参数综合评价方法。地震动参数的综合评价包括设置震源、路径及场地条件参数的取值范围及水平、设计多方案（多权重）地震动模拟方案、各参数取值的权重系数计算原则与方法；最后综合评价能够表征不同地震危险性的参数。

6. 主要模型参数确定原则

6.1 影响场址的主要发震构造

6.1.1 在场址地震安全性评价的基础上，确定对场址地震动参数有主要影响的发展构造。

6.1.2 说明确定发震构造位置的原则，发震构造位置不明确时，可以考虑采用两个位置方案。

6.2 发震构造的几何参数包括断层走向、倾向、倾角、断层上端埋深及断层破裂面尺度，定义如图1所示。

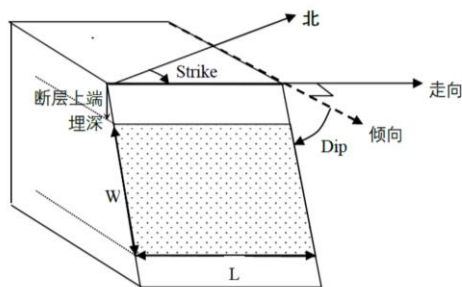


图 1 断层模型几何参数示意图

(1) 断层走向：断层面与地面交线的方向，该交线有两个方向，相差 180° ，并参照以下规定：

A. 规定站在上盘向右看的方向为断层走向。

B. 当断层倾角等于 90° 时，两盘均可视作上盘，定义好上盘后按 A 的原则定走向。

C. 走向用从正北顺时针量至走向方向的角度来表示，如图 1 所示角度 (Strike)，有 $0^\circ \leq \text{Strike} \leq 360^\circ$ 。

(2) 断层倾向：断面向上的法线之水平投影的方向。倾向恒等于走向加 90° 。

(3) 断层倾角：断层倾向与断层面之间的夹角，如图 1 所示角度 (Dip)。

(4) 断层上端埋深：断层破裂面的上端至地面的距离。

(5) 断层破裂面尺度：包括断层破裂面的长度 (L)、宽度 (W) 和面积 (S)。

6.3 最大可信地震震级宜按照发震构造所在潜在震源区的震级上限进行取值。潜在震源区的震级上限可按以下方法确定：

(1) 对于地表出漏迹线的活动断层，应根据活动断层地震破裂段的长度、同震位移等参数与震级的经验统计关系，给出各地震破裂段潜在最大可能地震或特征地震的震级。

[GB/T36072-2018，第 5.6.1.2 条]

(2) 对于隐伏活动断层，可根据活动断层几何结构、历史地震破坏区展布、现今地震震中分布、地球物理场、深浅构造关系等，划分出有发生中等以上地震危险的断层破裂段，综合评估最大可能地震的震级。[GB/T36072-2018，第 5.6.2.1 条]

(3) 对于已有历史地震记载的区域，若历史地震记载时间悠久、资料充分，可将历史上发生的最大地震的震级作为震级上限。

(4) 在资料不完整的地区，则根据历史地震记载及该地区地震构造分析的结果，将历史地震的最大震级加半级作为震级上限。

6.4 随机有限断层法采用“动态拐角频率”震源模型进行地震动模拟时，远场高频成分大体不受子源尺寸影响，但从对模拟结果的影响来看，子源尺寸太大会导致近场地震动异常高值，因此子源网格的长、宽在 2-3km 之间取值比较合适。

6.5 子断层位错分布

通过长周期地震动反演给出的断层面子断层位错分布表明，地震断层的破裂和滑动过程是及其不均匀的，断面上不同点的位错大小都不相同，所以在地震动模拟时，应当考虑以凹凸体区域与背景区域的形式表现断层面上应力或滑动的不规则空间分布。

6.5.1 按照多方案设计地震动模拟方案时，有震源反演结果的断层位错分布应该作为一种位错分布模型。

6.5.2 对于没有震源反演结果的断层，子断层位错分布可基于已有的统计结果（附录 C）进行设置。本标准考虑震级大于 7.0 的大震情况，因此发震断层面上设置凹凸体的个数不应少于 2 个，且考虑将最大的凹凸体设置在不同的位置。

6.6 初始破裂点位置

初始破裂点即断层上最先发生破裂的地点，也叫成核点。该参数不确定性很大，一般只能经验估计，历史地震则可以参考震源反演结果。在采用多方案设置地震动模拟方案时，有震源反演结果的断层面初始破裂点位置应该作为一种位置方案，对于没有反演结果的断层，按照条文 6.6.2 的规定进行设置。需要说明的是，对于有反演结果的断裂，设置地震动模拟方案时，应同时考虑反演得到的断层初始破裂点位置，以及按照条文 6.2.2 规定的初始破裂点位置。

6.7 断层上端埋深是指断层破裂面的上端至地面的距离（如图 1 所示），地震动模拟中可取为 0-2km。计算中可参照 NGA 衰减关系统计的 Z_{top} 模型，当震级大于 7 时， $Z_{top}=0$ 。

6.8 应力降是指在断层面上震源破裂前后应力的差值。

6.8.1 估计的应力降的方法较多，但不同方法获得的值有较大的随机性。对于有研究成果的地区，应力降应按照已有的研究结果取值；对于地震记录丰富的地震区，应力降可以通过对地震记录的反演得到，即：

根据 Brune 的假设，假设断层破裂模型为圆盘模型，岩石介质为 Hooke 介质，则震源半径可以表示为：

$$r = \frac{2.34V_s}{2\pi f_c} \quad (1)$$

式中， V_s 为剪切波速， f_c 为拐角频率。

根据 Brune 的震源谱模型，地震矩可以表示为：

$$M_0 = \frac{4\pi\rho RV_s^3\Omega_0}{R_{\theta\phi}} \quad (2)$$

式中， Ω_0 为震源位移谱的低频水平，可根据震源谱读出， $R_{\theta\phi}$ 为辐射因子，一般不考虑方位取平均值 0.63。

于是可得应力降为：

$$\Delta\sigma = \frac{7M_0}{16r^3} \quad (3)$$

计算过程中，首先利用 Atkinson 方法求得非弹性衰减系数；然后可运用 Moya 方法反演震源参数。

6.8.2 研究表明，对于较大的地震，地震应力降估计的范围从 3 到 500bar，均值约为 40bar，且不会随地震矩变化，且 $M_w=5.2-8.3$ 范围内的地震具有自相似性（如图 2 所示，图中白色方块显示应力降的均值，误差短线表示标准误差）。本标准考虑震级大于 7.0 的大震情况，因此对于没有研究结果的区域，平均应力降可在（30-40）bar 之间取值。

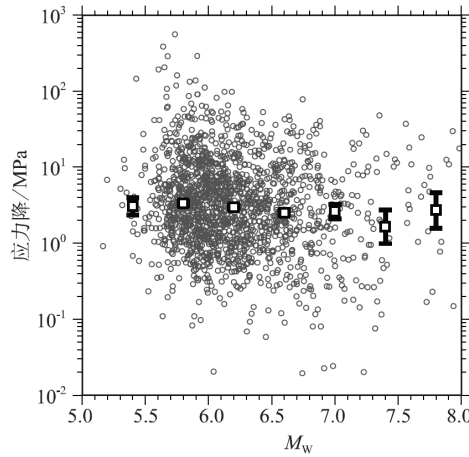


图 2 应力降与矩震级的关系

6.8.3 不同的取值对地震动模拟结果有较大的影响。图3给出了矩震级分别为6.0，6.5，7.0和7.5时，模拟得到的地震峰值加速度（PGA）及周期 $T=0.2s$ ，2s和5s时加速度反应谱值随应力降取值的变化，可以看出，PGA及各周期反应谱值随应力降的增加逐渐增大，近似呈线性正比例关系（如图2中拟合虚线所示）；震级越大，其变化率（拟合直线斜率）越大。相比较而言，当 $M_w=6.0$ 时，PGA及各周期反应谱值随应力降的变化较小，此时可以取应力降均值得到的模拟结果近似代表不同应力降取值的结果；当 $M_w=7.5$ 时，应力降的取值对PGA及不同周期的反应谱值的结果影响很大。本标准考虑震级大于7.0的大震情况，因此在应力降合理的取值范围内，需要考虑多个应力降取值，并采用不同的权重系数考虑应力降变化对

模拟结果的影响。

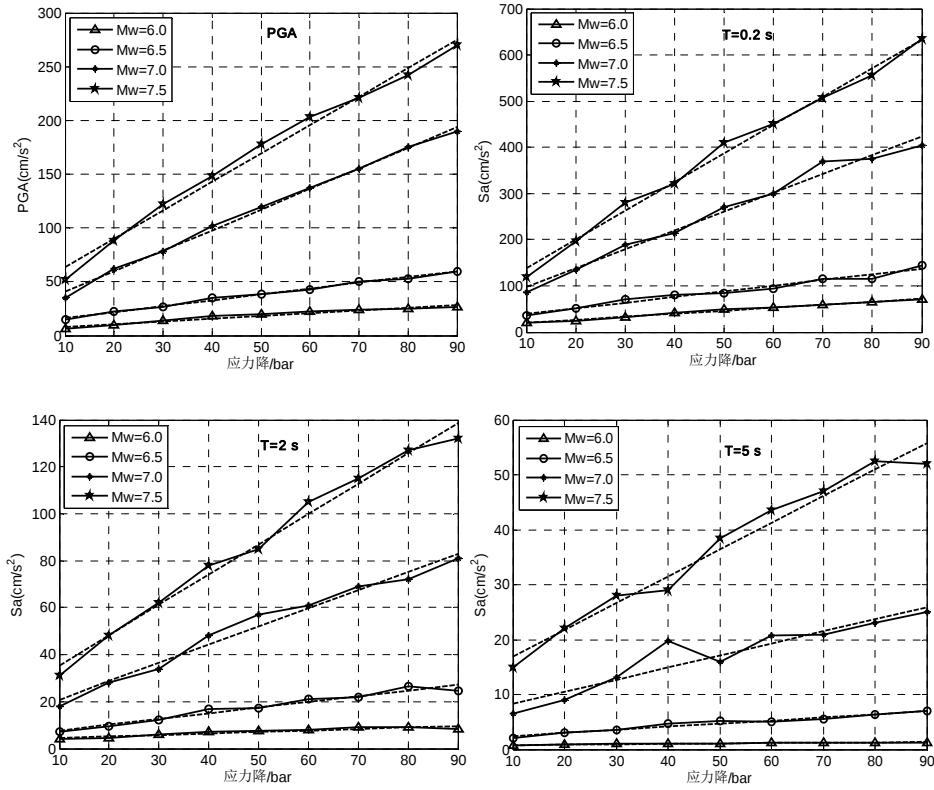


图 3 相应于不同震级的 PGA 和反应谱值随应力降的变化

6.11 脉冲面积百分比

从最初破裂开始, 某一时刻断层面上正发生破裂的面积会逐渐增大, 随着破裂的继续进行, 该面积会达到饱和值并维持一段时间, 此后又逐渐减小直至整个断层破裂结束。这个饱和值被称为脉冲面积百分比, 其大小影响地震动长周期成分的振幅和能量, 主要控制了反应谱的低频部分, 随着脉冲面积百分比的减小, 反应谱在低频部分的幅值也会逐渐减小。该参数值一般介于 25-75%, 地震动模拟中通常取为 50%。

6.12 传播路径衰减包含几何衰减和介质非弹性衰减。

6.12.1 几何衰减通常采用三段式几何衰减模型, 即

$$Z(R) = \begin{cases} 1/R & R \leq 70\text{km} \\ 1/70 & 70\text{km} \leq R \leq 130\text{km} \\ \vdots & \\ 1/70 \cdot \sqrt{130/R} & 130\text{km} \leq R \end{cases}$$

式中: 距离 R 通常为距离断层面的最近距离, 而不是震源距。由于本标准主要考虑近场地震的影响, 因此几何衰减可按照 $1/R$ 确定。

6.12.2 Q 值用来描述介质非弹性吸收特性强弱的一个无量纲因子。一般对 Q 值的估计可以采用地震波中的体波、尾波、面波、 Lg 波资料。对于我国地震频繁活动的区域，都有相应的研究成果，附录 D 中列出的值采用了从连理等（2002）和苏有锦（2009）的研究成果。已有研究表明，在进行近场地震动参数预测时，可不考虑 Q 值的变化对模拟结果的影响，如图 4 所示采用三个不同品质因子（ $290.5f^{0.35}$ 、 $415f^{0.5}$ 和 $539f^{0.65}$ ）时模拟得到的地震加速度反应谱，可以看出 Q 值的变化对近场地震动模拟结果的影响较小。因此，在条文 6.12.2 的第 3 条中规定，在进行近场地震动模拟时，可不考虑 Q 值的变化对模拟结果的影响，采用单一取值的方案。

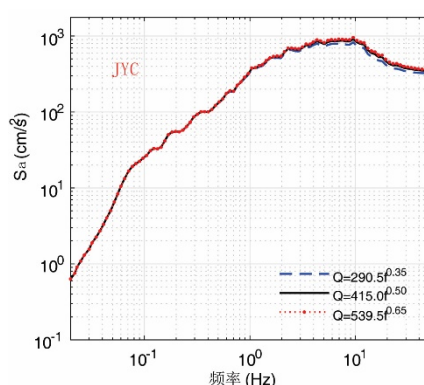


图 4 不同 Q 值对近场地震动模拟结果的影响

6.13 场地效应影响包含场地放大因子和低频滤波衰减影响。

6.13.1 场地放大因子表示场地对地震谱的放大系数随频率的变化关系。对于有研究结果的区域，可采用研究区域已有的研究成果。由于本标准主要考虑的是基岩场址，因此 6.13.1 的第（2）规定，对于 I_0 场地，场地放大因子可以按照 1 取值。

6.13.2 $kappa$ 值表征傅里叶振幅谱高频衰减特性的参数，其取值越大，高频衰减越多，高频处的能量越小。对有足够的强震动记录的工程场址，可采用记录到的地震动直接进行计算或采用已有的研究成果。为了便于实际工程应用，图 5 统计了不同学者计算给出的 $kappa$ 值与剪切波速 V_{s30} 之间的关系（包含了从 21 篇文献研究中得到的 845 个数据点）。通过分析 V_{s30} 大于 500m/s 的数据，本标准对基岩场址给出了 6.13.2 中的第（2）条的规定。

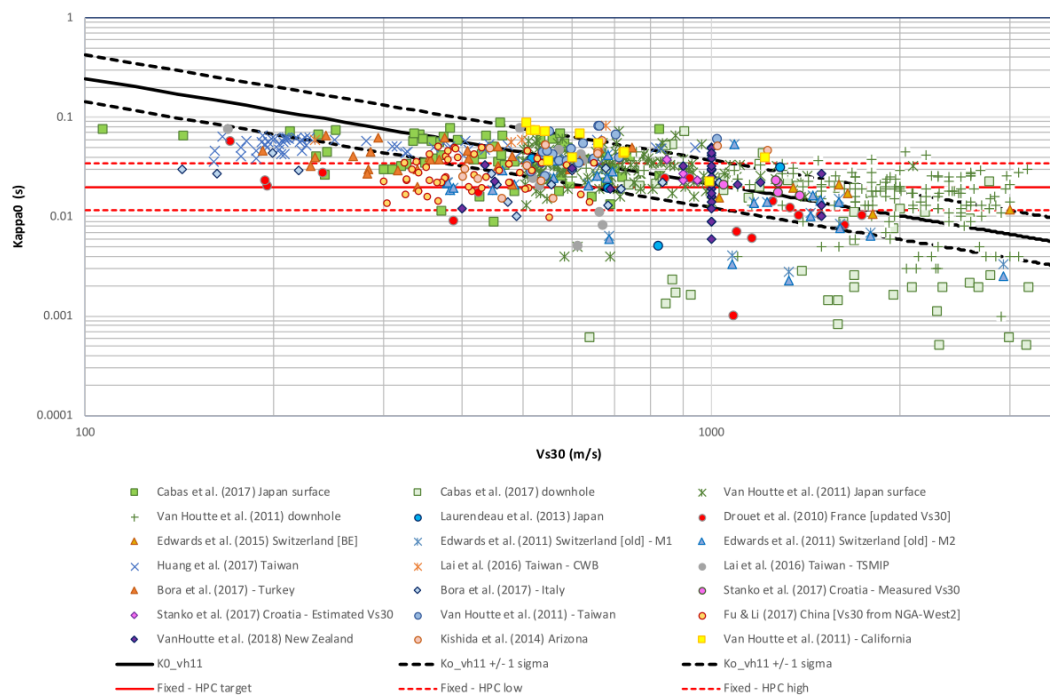
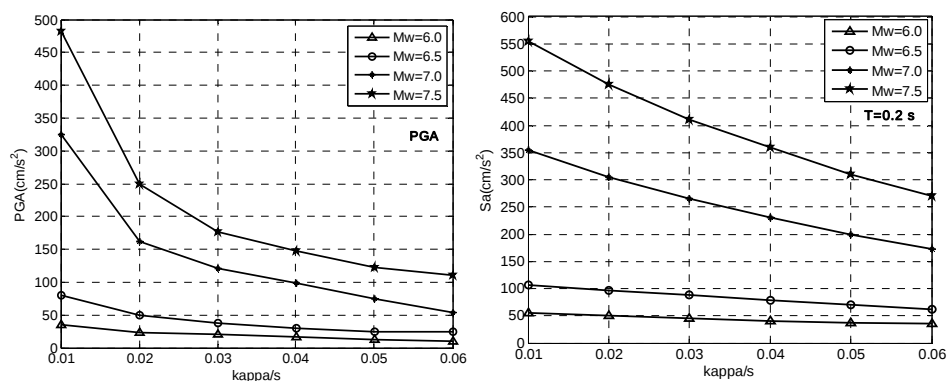


图 5 kappa 值随剪切波速 Vs30 的变化分析

kappa 值的变化对地震动模拟结果影响较大，且影响程度和震级及场地条件有关。图 6 给出了矩震级分别为 6.0、6.5、7.0 和 7.5 时，取 kappa 值分别为 0.01s、0.02s、0.03s、0.04s、0.05s 和 0.06s 计算得到的地震峰值加速度（PGA）及周期 $T=0.2s$ 、2s 和 5s 时加速度反应谱值随 kappa 值的变化。可以看出，对于震级较大的地震，在较硬的场地条件时，kappa 的变化对 PGA 值的影响很大。由于本标准主要考虑大震的情况，且对 kappa 的取值按照均值进行估计，因此需要考虑 kappa 取值变化对模拟结果的影响，6.13.2 中第（3）规定按照均值、加减一倍方差三个水平设置 kappa 值，并采用不同的权重系数考虑 kappa 值变化对模拟结果的影响。



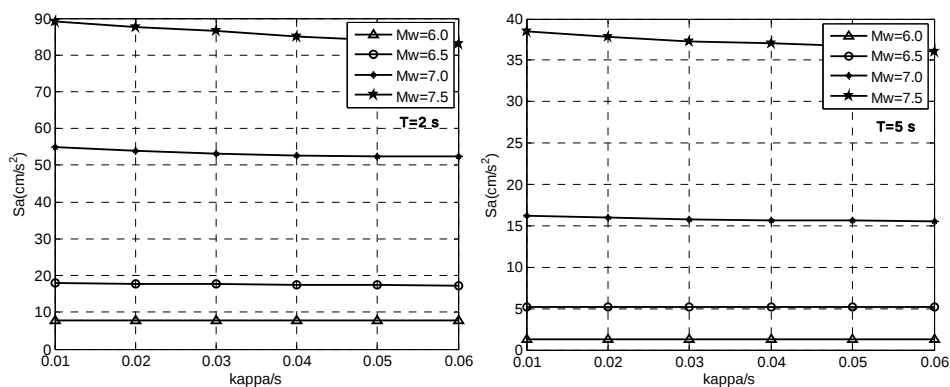
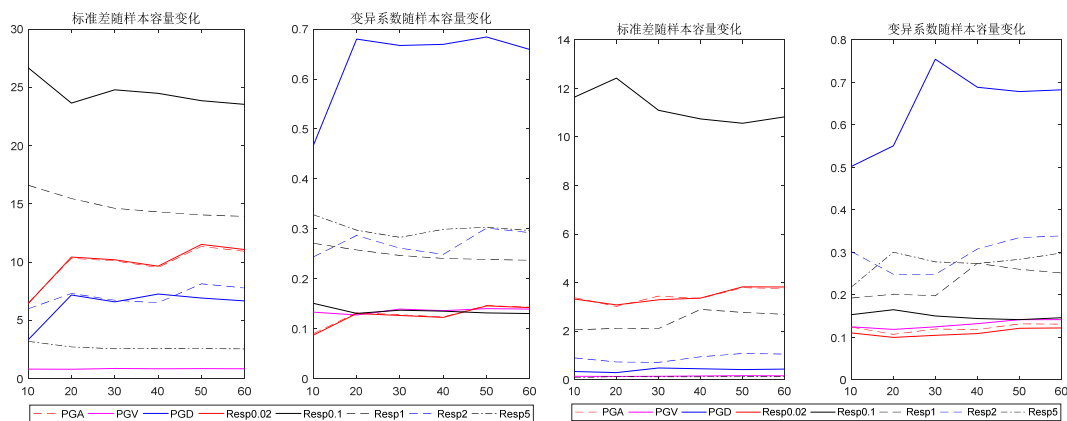


图 6 相应于不同震级的 PGA 和反应谱值随 κ 的变化

6.14 随机有限断层法基于随机振动的思想模拟地震动加速度时程，每次实验结果都具有一定随机性，因此，单次实验结果不足以保证其准确性。研究表明，随机实验次数的增加，峰值地震动加速度（PGA）均值越趋于稳定。当实验次数达到一定数量后，PGA 均值变化很小。图 7 给出了当样本数量分别设置为 10、20、30、40、50 和 60，模拟不同地震得到的加速度时程的标准差和变异系数随样本数量的变化，讨论的参数包括地震动峰值加速度（PGA）、峰值速度（PGV）、峰值位移（PGD）以及反应谱在 0.02s、0.1s、1s、2s 和 5s 的谱值。从不同震源模型的模拟结果分析来看，各个参数的均值、标准差和变异系数的变化和震源参数设置没有明确的相关性。考虑实验次数结果满足稳定性和准确性的要求，以及计算工作量的合理性，采用随机有限断层法进行地震动模拟时，相应于一组参数最合适的样本数量不应低于 30 条，并且在模拟方案中按照相等的权重来考虑。



(a) 美国北岭地震

(b) 新疆昌吉地震

图 7 模拟结果统计值随样本数量的变化

7.设计地震动模拟方案

7.1 对于影响场址地震动参数综合评价的每条断裂，都需要按照条文 7.3 中图 3 所示进

行模拟方案设计。由于本标准考虑大震近场对场址地震动参数的影响，因此对于子断层的位错分布按照凹凸体模型进行设计。

7.2 本标准建立的场址地震动参数综合评价体系中，采用多方案来考虑未知地震发生过程中的随机不确定性，以及在发震过程中对某些参数的认知不确定性，因此本标准规定各参数应在合理的取值范围内取不同的值，并通过设置不同的权重系数来考虑不同取值对地震动模拟结果的影响。

7.3 图 3 给出的设计地震动模拟方案中，需要考虑多方案的参数如表 1 所示，并需要按照 7.4 给出原则，设置每个参数不同取值的权重系数。其他不需要考虑多个取值的参数，没有在图 3 中列出。

表 1 需要考虑多个取值的参数

序号	参数名称	参数取值	权重系数	序号	参数名称	参数取值	权重系数
1	断层位置	多方案	是	5	初始破裂位置	多方案	是
2	倾角	多方案	是	6	应力降	多方案	是
3	子源错动	多方案	是	7	Kappa 值	多方案	是
4	样本数量	多方案	是				

7.4 本节主要说明7个参数多方案设计时权重系数的取值原则。在设置各参数权重系数时的总原则为（1）当参数有相应的统计值时，其均值设置较大的权重系数；（2）当参数没有相应的统计关系时，对场址地震动参数产生较大影响的取值设置相对较大的权重系数；（3）对有实际研究结果的参数取值，可设置相对较大的权重系数。

7.4.1 当考虑断层位置的不确定性时，按照对场址地震动参数产生较大影响为原则，对靠近场址的位置方案设置较大的权重系数。

7.4.2 凹凸体模型方案的权重系数按照两个原则进行设置。当子断层位错有反演结果时，此凹凸体模型方案设置相对较大的权重系数；此外按照对场址地震动参数产生较大影响为原则，最大凹凸体位于场址最近的位置时，设置相对较大的权重系数。

7.4.3 初始破裂点位置的权重系数按照两个原则进行设置。当断层破裂点位置有反演结果时，此初始破裂点位置方案设置相对较大的权重系数；此外按照对场址地震动参数产生较大影响为原则，初始破裂点位置距离场址最近时，设置相对较大的权重系数。

7.4.4 当考虑断层倾角取值的不确定性时，按照对场址地震动参数产生较大影响为原则分配不同倾角取值的权重系数。

7.4.5 当考虑应力降参数的不确定性时，按照应力降取值与研究区域平均应力降的偏离程度来计算不同取值的权重系数。

7.4.6 参数kappa的按照均值、加减一倍方差进行设置，权重系数设置时考虑参数的均值设置较大的权重系数。

7.4.7 一组参数模拟得到的加速度时程的样本按照等概率设置每条加速度时程的权重系数。

8.地震动模拟及统计分析

主要说明在地震动方案设计完成以后，采用随机有限断层法进行地震动模拟时，对反应谱阻尼比和频率范围的规定，并详细给出了总权重系数的计算方法，以及对地震动参数及其统计值的要求。

9.场址地震动参数综合评价

说明场址地震动参数综合评价的原则。

五 其他问题说明

（1）标准水平分析

目前国内外尚缺乏对场址最大可信地震动参数评估的具体方法。本标准具有显著的创新性和技术先进性。

（2）与有关的现行法律、法规和强制性标准的关系

本标准对2018年颁布的《水工建筑物抗震设计标准》（GB51247-2018）中条文3.0.5和3.0.6给出了详细的操作过程。对于其他的工程场地，本标准也是适用的。

（3）重大分歧意见的处理过程及依据

无。

（4）作为强制性标准或推荐性标准的建议及理由依据

本标准所选择的地震动模拟方法仅是地震动模拟的方法之一，因此编写组建议本学会标准为推荐性标准。

（5）贯彻标准的有关措施建议

建议早日公布，以满足水利水电行业对大坝场址地震动参数的评价新需求。

标准编制工作组
2021年5月18日