

ICS 91.120.25

P 15

团体标准

T/SSC XXX-20XX

工程选用强震动记录规程

Code of practice for selection of strong motion records

征求意见稿

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国地震学会 发布

目 次

前 言	II
引 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 强震动记录数据获取	3
5 强震动记录数据处理	3
6 记录选取目标反应谱	4
7 地震及场地信息选取	5
8 记录调幅与匹配	6
附 录 A（资料性）地震信息参数定义与转换	9
附 录 B（资料性）强震动记录数据处理技术要求	10
附 录 C（资料性）强震动记录速度脉冲提取与判定指标	11
附 录 D（资料性）设定地震解耦及条件均值谱计算方法	13
参考文献	17

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

本文件由中国地震局工程力学研究所提出。

本文件由中国地震学会归口。

本文件起草单位：中国地震局工程力学研究所、河海大学、哈尔滨工业大学、华东建筑设计研究院有限公司、中国建筑科学研究院有限公司、天津大学、四川大学、哈尔滨工业大学（深圳）、天津城建大学、中国核电工程有限公司、湖北地震局、上海地震局、中建三局集团有限公司

本标准主要起草人：

温瑞智、冀昆、任叶飞、于晓辉、王宏伟、吕大刚、刘中宪、巴振宁、戴靠山、李波、李恒、安东亚、张锐、孙晓颖、乔雨蒙、曹徐阳、杜轲、柏文、何日腾、赵鹏、周同来

引 言

弹塑性动力时程分析在建筑工程抗震分析中已得到广泛应用。现行国家标准《建筑抗震设计标准》(GB/T 50011—2010)规定,进行结构弹塑性时程分析时,输入地震动中天然强震动记录的比例不应低于2/3。地震动输入是动力时程分析结果不确定性的主要来源之一,天然强震动记录的工程选用涉及数据获取、记录处理、调幅与参数匹配等环节,亟需统一、规范的技术依据。

现行国家标准《工程场地地震安全性评价》(GB 17741—2025)规定了基于概率地震危险性分析确定场地相关反应谱的方法。传统常以一致危险谱或常规设计谱为目标谱,其实质为多重潜在地震事件的包络。随着地震工程技术的发展,条件均值谱作为一种精细化的目标谱构建方法,能够客观地反映特定设定地震事件下的真实地震动频谱特征,为长重现期下结构动力响应的合理估计提供了补充途径,但是目前缺少可操作性的条件目标谱构建和记录选取规定。

本文件旨在规范建筑工程选用天然强震动记录的流程、步骤和数据处理要求,结合国内外强震动记录数据库的特点与工程应用实践,实现强震动记录选用与现行建设工程抗震设计及场地地震安全性评价相关标准的有效衔接。

工程选用强震动记录规程

1 范围

本文件规定了建设工程强震动记录的数据来源、数据处理、基于抗震规范设计谱的选取，以及基于场地相关反应谱的选取方法、步骤及技术要求。

本文件适用于下列情况的强震动记录处理与选用：

- a) 按GB/T 50011规定进行建筑结构弹塑性时程分析；
- b) 按GB 17741规定进行工程场地地震安全性评价。

其他类型建设工程抗震分析中的强震动记录选用可参考使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。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。

GB/T 50011—2010 建筑抗震设计标准

GB 17741—2025 工程场地地震安全性评价

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 术语

GB/T 18207.1—2008、GB/T 18207.2—2005、GB 17741—2025、JGJ/T 97—2011界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1 强震动记录 strong motion record

强震仪记录的地震动时程

[JGJ/T 97—2011，定义 3.1.12]

注：在工程选用与分析中，通常指原始加速度记录进行零基线调整并导入地震、观测站场地条件等记录信息后生成的数据文件。

3.1.2 数字地震仪 broadband seismograph

以数字量(数字数)记录的地震仪。

[GB/T 18207.2—2005，定义8.1.3]

3.1.3 宽频带地震仪 broadband seismograph

工作频带的低频端在 0.01Hz~0.05 Hz 内，高频端在 20 Hz 或 20 Hz 以上的地震仪。

[GB/T 18207.2—2005，定义8.1.3.2]

3.1.4 断层距 rupture distance

某一指定点至地震断层地表破裂迹线或断层面延伸至地表位置的最短距离。

[JGJ/T 97—2011，定义3.2.16]

3.1.5 震中距 epicentral distance

- 震中至某一指定点的地面距离。
[GB/T 18207.1—2008, 定义3.11]
- 3.1.6 数据处理 data processing
对原始强震动记录进行的必要处理, 包括记录时程的基线校正, 积分, 微分及谱分析等。
[JGJ/T 97—2011, 定义3.1.13]
- 3.1.7 基线校正 baseline correction
强震动记录的基线(零线)偏移的修正。
[JGJ/T 97—2011, 定义3.1.13.1]
- 3.1.8 滤波 filtering
将强震动记录中高低通截止频率之外的频率成份滤除的操作。
- 3.1.9 场地类别 site classification
根据土层数剪切波速和场地覆盖层的厚度等自然条件选取工程抗震设计参数和抗震措施时对建设场地进行的分类。
[GB/T 18207.2—2005, 定义6.2.2.2]
- 3.1.10 地震影响系数曲线 seismic effect coefficient curve
抗震设计用的加速度反应谱, 以加速度反应谱和重力加速度的比值表示。
[JGJ/T 97—2011, 定义2.0.11.2]
- 3.1.11 地震动参数 ground motion parameter
表征地震引起的地面运动的物理参数。
注: 物理参数包括加速度、速度、位移峰值与反应谱, 以及持续时间等。
[GB 17741—2025, 定义3.4]
- 3.1.12 持时 duration
地震动时程中, 超过某一幅值(绝对或相对值)的地震动时间段长度。
[JGJ/T 97—2011, 定义3.2.30]
- 3.1.13 场地相关反应谱 site-dependent response spectrum
考虑地震环境及场地条件影响得到的地震反应谱。
[GB/T 18207.2—2005, 定义6.1.1.9]
- 3.1.14 地震危险性分析 seismic hazard analysis
用确定性或概率分析计算方法, 给出某一场地未来不同风险情况的地震动参数或地震烈度值。
注: 不同风险, 在概率方法中指不同超越概率水平, 在确定性方法中指不同预测震源分别在场地产生的最大影响。
[GB 17741—2025, 定义3.10]
- 3.1.15 超越概率 probability of exceedance
在一定时期内, 工程场地可能遭遇大于或等于给定的地震烈度值或地震动参数值的概率。
[GB/T 18207.2—2005, 定义6.1.1.7]
- 3.1.16 一致概率反应谱 uniform response spectrum
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。
[GB/T 18207.2—2005, 定义6.1.1.8]
- 3.1.17 设定地震 scenario earthquake
为进行震害预测而给出的对某一区域可能产生震害或可以体现地震危险性概率分析结果的具体地震。
[GB/T 18207.2—2005, 定义6.3.1]
- 3.1.18 条件均值谱 conditional mean spectrum

以给定超越概率下某一控制周期点的一致概率反应谱值为条件，考虑决定该反应谱值的设定地震事件及不同周期反应谱值之间的相关性，计算确定的场地相关反应谱。

3.1.19 地震动预测方程 ground motion prediction equation

地震动参数与表征地震震源、地震波传播路径、场地条件等因素的物理量之间的函数关系。

[GB 17741—2025，定义3.5]

4 强震动记录数据获取

4.1 强震动记录数据来源

4.1.1 强震动记录宜采用强震动观测台（站）固定观测的宽频带数字强震动加速度仪记录的加速度时程。

4.1.2 除特殊分析需要外，应优先选用自由地表场地获得的强震动记录，也可选用位于三层及以下轻型建筑物的一层或地下室台站获取的记录；不应选用放置于高层/重型建筑结构内部（如裙楼中上部）、深大基坑底部或大型桥梁墩台上的记录。

4.1.3 强震动观测台（站）的台址环境宜为平坦开阔场地。除有特殊分析需求外，不宜选用存在明显地形放大效应（如孤峰、陡坡、河谷边缘）或液化等场地失效现象的台站所获取的强震动记录。

4.1.4 强震动记录应采用由地震观测机构或强震动数据库公开发布的观测数据。应用时应注明数据来源、所属台网以及版本或更新时间。

4.2 强震动记录基本信息

4.2.1 原始强震动记录应具备完整的波形特征。存在振幅限幅、信号异常中断或主要能量释放段数据严重缺失的强震动记录，不得用于工程抗震分析。

4.2.2 强震动记录应包含基本的地震及台站信息，并应附带相应的说明文件，说明文件应至少包括下列内容：

a) 地震信息：包括地震名称、发震时间、发震地点、震级（应注明具体的震级标度）、震源深度及震中经纬度（不低于小数点后两位）等；

b) 台站信息：包括台站名称、台站代码、台站经纬度（不低于小数点后两位）、台址场地描述（场地类别或等效剪切波速）等；

c) 距离参数：震中距。

4.2.3 对于震级大于或等于 6.5 级的地震，强震动记录的说明文件宜包含发震断层信息，包括下列内容：

a) 断层几何参数：断层走向、倾角和滑动角；

b) 破裂面尺寸：断层破裂长度和破裂宽度；

c) 距离参数：断层距。

4.2.4 震中距或断层距大于 200 km 的强震动记录不宜直接用于常规建筑工程抗震分析；当有长周期结构等特殊抗震分析需求时，应进行专门论证。

4.2.5 单组强震动记录宜包含两个水平正交分量和一个竖向分量；未能提供完整三分量的记录，应明确注明既有记录的分量方向。

5 强震动记录数据处理

5.1 信号采样

- 5.1.1 未经数据处理的原始强震动记录不应直接用于工程抗震分析。
- 5.1.2 强震动记录的原始采样频率不应低于 50 Hz，宜大于或等于 100 Hz。
- 5.1.3 对强震动记录进行重采样时，宜优先采用基于频域的重采样算法或高阶多项式插值算法。当采用时域线性插值方法时，插值后的时间步长不应大于 0.01 s，且插值前后记录的峰值加速度相对误差不应大于 5%。

5.2 信号处理与核验

- 5.2.1 强震动记录的数据处理应包括基线校正和滤波，处理方法与要求应符合本文件附录 A 的规定。
- 5.2.2 强震动记录应附带说明文件，详细说明数据处理的相关信息。说明文件应至少包括下列内容：
 - a) 基线校正状态及具体的校正方法；
 - b) 滤波器类型（如采用非因果滤波器，应说明补零操作状态及补零长度）；
 - c) 滤波的高通和低通截止频率。
- 5.2.3 对同一次地震事件中同一台站记录的三个相互正交分量（两个水平分量和一个竖向分量）进行滤波处理时，应采用相同的滤波高通和低通截止频率。截止频率宜根据三个分量中信噪比（SNR）最低的分量（通常为竖向分量）综合确定。
- 5.2.4 强震动记录滤波处理宜优先采用零相移的非因果滤波器。当特殊情况必须采用产生相移的因果滤波器时，应进行专门说明，并评估其对时域波形特征（如近断层速度脉冲）畸变的影响。
- 5.2.5 强震动记录经高、低通滤波处理后保留的有效频段，其对应的周期范围应完全覆盖本文件 8.2.1 规定的目标匹配周期段。其中，高通截止频率对应的周期不应小于 1.2 倍的最长周期。
- 5.2.6 强震动记录经基线校正和滤波处理后，应进行物理合理性核验。处理后的加速度时程经一次和二次积分得到的速度与位移时程，不应出现明显的非物理基线漂移或发散现象。

6 记录选取目标反应谱

6.1 抗震规范设计谱

- 6.1.1 常规建筑工程进行抗震动力时程分析时，其强震动记录匹配的目标反应谱，应采用相关抗震设防规范中规定的设计反应谱或地震影响系数曲线。
- 6.1.2 构建抗震规范设计谱时，应严格依据目标建设工程所在场地的抗震设防烈度、设计基本地震加速度、设计地震分组以及按本文件 7.2 节确定的场地类别进行参数取值。
- 6.1.3 目标反应谱的设防水平应与建筑结构时程分析的抗震性能目标相一致。进行多遇地震下的弹性时程分析时，应采用多遇地震设计谱；进行罕遇地震或极罕遇地震下的弹塑性时程分析时，应采用相应概率水平的罕遇或极罕遇地震设计谱。
- 6.1.4 目标反应谱的阻尼比应与进行动力时程分析的建筑结构模型阻尼比保持一致。当结构阻尼比不为 5% 时（如钢结构、隔震与消能减震结构），应按相关抗震规范的规定对目标反应谱的形状参数和谱值进行阻尼调整。
- 6.1.5 当相关抗震规范给出的是无量纲的地震影响系数曲线时，在进行强震动记录调幅与匹配前，将其转化为以绝对加速度为物理量的目标反应谱。

6.2 场地相关反应谱

- 6.2.1 对于超出相关抗震规范适用范围的超限高层建筑、重大工程或有特殊要求的建筑工程，目标反应谱宜采用基于工程场地地震安全性评价工作获得的场地相关反应谱。

- 6.2.2 场地相关反应谱可采用一致概率反应谱，也可依据本文件附录 D 构建条件均值谱作为目标反应谱。
- 6.2.3 当采用条件均值谱作为目标反应谱时，条件周期点宜取结构的基本自振周期。对于高阶振型参与质量较大的复杂结构或超高层结构，宜分别以结构前几阶主要平动振型周期作为条件周期点，构建多个条件均值谱并分别进行记录选取。
- 6.2.4 根据多个条件周期点构建的多组条件均值谱，其在目标匹配周期段内的加速度谱值包络线，不应低于一致概率反应谱或规范设计反应谱相应周期点谱值的 80 %。

7 地震及场地信息选取

7.1 震级与距离条件

- 7.1.1 强震动记录的震级应首选矩震级 M_w 。当缺乏矩震级资料时，可依次采用面波震级 M_s 或地方震级 M_L 替代；体波震级（ m_b 和 m_s ）不应直接作为强震动记录选取的震级参数；当备选记录仅有体波震级资料时，应将其等效转换为矩震级后再进行选取。震级标度的等效转换方法见本文件附录 A。
- 7.1.2 不同抗震设防目标下，选取的天然强震动记录震级范围宜符合表 1 的规定。

表1 强震动记录震级选取范围

地震影响	6 度	7 度	8 度	9 度
多遇地震	4.5~7.0	5.0~7.5	5.5~8.0	6.5~8.0
基本地震	5.0 及以上	5.5 及以上	6.5 及以上	6.5 及以上
罕遇地震	6.0 及以上	6.5 及以上	6.5 及以上	6.5 及以上

- 7.1.3 震级低于 6.5 级的强震动记录，距离参数宜采用震中距；震级高于 6.5 级的强震动记录，距离参数应采用断层距。
- 7.1.4 当场地地震危险性分析采用确定性分析方法时，设定地震应依据危险性分析结果确定。当场地地震危险性分析采用概率分析方法时，在确定某超越概率下的地震动参数目标值后，可基于危险性分析确定的地震动参数超越概率曲线进行解耦，计算各潜在震源在该超越概率下各可能地震事件对目标地震动参数的贡献比例，进而确定设定地震的震级和距离等参数。设定地震解耦的具体流程与技术要求应符合本文件附录 D 的规定。
- 7.1.5 当概率地震危险性解耦结果呈现多个贡献显著的设定地震事件（如近场中强震与远场大震双峰分布）时，宜分别构建设定地震，并针对各设定地震分别选取相应的强震动记录。选取的强震动记录震级与设定地震的震级之差的绝对值不宜大于 1.5 级。
- 7.1.6 当建设工程场地位于现行国家标准《中国地震动参数区划图》（GB 18306）规定的抗震设防烈度 7 度及以上区域的第三设计地震分组时，若备选强震动记录的震级小于 7.0 级，则不应选取距离参数小于 20 km 的记录。

7.2 场地条件

- 7.2.1 强震动记录的场地类别宜与所建设工程场址类别一致，具体要求如下：
- a) 当强震动记录台站提供详尽的钻孔勘察资料时，宜依据钻孔波速和土层剖面数据，按 GB/T 50011-2010 规定的方法直接计算并确定其场地类别。
 - b) 如强震动记录台站的场地信息仅粗略划分为“基岩”或“土层”，除目标工程场地类别为 I

类（基岩或硬土）或有明确基岩输入需求外，宜一律选用“土层”台站的记录。

- c) 如强震动记录台站场地信息为 30m 平均剪切波速 V_{S30} ，可按表 2 确定对应的 GB/T 50011—2010 场地类别。

表2 30m 平均剪切波速 V_{S30} 和中国抗震规范场地分类的对应关系

场地类别	I_0/I_1	II	III	IV
30m 等效剪切波速 (m/s)	$V_{S30} > 550$	$260 < V_{S30} \leq 550$	$160 < V_{S30} \leq 260$	$V_{S30} \leq 160$

7.2.2 当强震动记录台站的钻孔资料实测深度小于 30 m 但大于或等于 20 m 时，可按下面公式估算 30m 平均剪切波速 V_{S30} ：

$$V_{S30} = \frac{30}{t_z + \frac{30-z}{v_z}} \quad (1)$$

式中： z —— 钻孔的实际勘探深度，单位为米（m）；

t_z —— 剪切波从地表传播至深度 z 处的单向传播时间，单位为秒（s） $t_z = \sum (d_i / v_i)$ ；

v_z —— 钻孔最底部土层（或岩层）的实测剪切波速，单位为米/秒（m/s）。

7.2.3 对于基本自振周期大于 3.0 s 的长周期结构，在匹配强震动记录场地条件时，除了考虑浅层土层剪切波速外，场地的覆盖土层厚度宜与目标工程场地具有相近特征。

7.3 近断层速度脉冲效应

7.3.1 强震动记录对应的发震断层运动类型，应依据发震断层滑动角（ λ ）进行判定，划分准则应符合本文件附录 A 的规定。当强震动数据库或者观测台网已提供明确的断层运动类型分类时，可直接采用。

7.3.2 当建设工程场地位于近断层区域（距离潜在发震断层不大于 20 km）时，强震动记录的选取应考虑近断层速度脉冲效应的影响。速度脉冲的判定方法宜符合本文件附录 C 的规定，且记录选取应符合下列要求：

- a) 选用的强震动记录集中，应包含 1/2 具有明确速度脉冲特征的天然强震动记录；
- b) 宜将强震动记录的两个水平正交分量通过坐标变换旋转至断层法向和断层走向，并应重点关注断层法向分量对结构的输入影响；
- c) 对于隔震结构、消能减震结构以及长周期高层建筑，应针对近断层地震动效应进行专门的抗震性能评估与研究。

8 记录调幅与匹配

8.1 强震动记录调幅

8.1.1 强震动记录的调幅基准可采用峰值加速度（PGA）或有效峰值加速度（EPA）。当备选强震动记录加速度时程存在明显的高频尖峰特征时，宜优先采用有效峰值加速度（EPA）进行调幅。对于复杂高层或超高层建筑等重大工程，可综合采用基于 PGA 和 EPA 调幅的强震动记录组合。

8.1.2 调幅系数 s 按下面公式计算：

$$s = IM^T / IM^R \quad (2)$$

式中： s ——调幅系数；

IM^T ——目标地震动参数指标；

IM^R ——强震动记录的地震动参数指标。

8.1.3 当采用有效峰值加速度（EPA）作为调幅指标时，其计算取值不应仅依据加速度反应谱平台段（ $0.1s \sim T_g$ ）的谱值，应综合考虑长周期段（含速度控制段和位移控制段）的反应谱特征，避免对长周期成分显著（如包含速度脉冲的强震动记录）进行过度调幅。

8.1.4 强震动记录的调幅系数 s 不宜大于 5.0，且不应大于 10.0，不应低于 0.2。

8.1.5 采用条件均值谱作为目标谱时，应优先使强震动记录在条件周期点处的加速度反应谱值通过线性调幅与目标谱值相等。

8.2 匹配周期段与误差控制

8.2.1 目标匹配周期段定义为区间 $[T_A, T_B]$ 。其中， T_B 应取 1.5 倍结构基本周期与目标谱最大周期两者中的较小值； T_A 应取振型参与质量不小于总质量 90% 的高阶振型周期与 0.2 倍结构基本周期两者中的较小值。

8.2.2 对于长周期高层或超高层建筑结构，在进行强震动记录与目标谱的匹配时，不应仅局限于结构基本自振周期点，还应重点考察并保证结构前三阶等主要平动振型和扭转振型周期点附近反应谱值的相符程度。

8.2.3 强震动记录反应谱的周期点数量应大于 50 个，且宜在对数坐标下呈均匀分布。

8.2.4 经过数据处理和调幅后的强震动记录，应以相关抗震设防规范中给出的目标谱为依据，在目标匹配周期段内按公式（3）计算误差平方和（SSE），并选取误差平方和最小的若干组记录作为选用结果：

$$SSE = \sum_{i=1}^N a(T_i) [IM^R(T_i) - IM^T(T_i)]^2 \quad (3)$$

式中：

SSE ——误差平方和；

N ——目标匹配周期段内的周期点总数；

$a(T_i)$ ——第 i 个周期点 T_i 的计算权重，当无具体规定时可取 1.0；

$IM^R(T_i)$ ——第 i 个周期点 T_i 的强震动记录地震动参数指标；

$IM^T(T_i)$ ——第 i 个周期点 T_i 的目标地震动参数指标；

8.2.5 选取的强震动记录有效持时应为结构基本自振周期的 5~10 倍。

注：有效持时系指从首次达到强震动记录加速度时程曲线最大峰值的 10% 点算起，至最后一点回落到最大峰值的 10% 之间的时间段。

8.3 多向地震动输入

8.3.1 当沿结构某一主轴方向进行单向强震动记录输入时，若在垂直于输入方向产生了较大的次向地震内力，说明原输入方向未能充分激发结构的主平动振型响应，此时应补充沿结构平动主振型方向的单向强震动记录输入验算。

8.3.2 不应将单条强震动记录经过调幅后作为双向或三向地震动输入。

8.3.3 需要双向或三向地震动输入时，宜将同一强震动记录的两个水平方向分量加速度反应谱按平方和开平方根（SRSS）得到平均谱后，依据本文件 8.2 的规定匹配强震动记录，再对不同方向分量的时程按比例进行调整，加速度最大值比例可按相关抗震规范调幅。也可采用不同强震动记录进行组合求平均谱和匹配目标谱后进行调幅。

8.3.4 当对建筑结构进行双向水平地震动时程分析时，输入地震动应考虑方向组合的最不利影响。在进行两个水平正交方向的主次地震波交换输入时，应同时改变主输入方向地震波的正负号（即变符号输入），以全面包络角部竖向构件的最不利轴力响应。

8.3.5 天然强震动记录的输入方向应根据结构动力特性合理确定。对于存在明显扭转耦合或平面不规则的建筑结构，地震动时程的输入方向不应仅局限于结构计算模型的正交坐标轴或设计软件估算的弹性最不利作用方向，宜涵盖结构前两阶主要平动振型的方向及其正交方向。

8.4 记录选取数量

8.4.1 选取自同一地震事件或者同一观测台站的强震动记录，其数量不宜超过总天然强震动记录数量的 1/3。

8.4.2 进行建筑结构弹塑性动力时程分析时，输入强震动记录的数量宜优先选取 7 条及以上，并以多条计算结果的平均值作为结构响应的估计值。

8.4.3 强震动记录选取结果的平均加速度反应谱与目标谱在目标匹配周期段内的相对误差不应大于相应规范要求，若无明确要求，相对误差不应大于 20%；且单条强震动记录反应谱与目标谱的相对误差不应大于 50%，不应采用反应谱离散性过大的强震动记录进行人为主观调整。

8.4.4 采用 7 条及以上天然强震动记录进行弹塑性时程分析时，为使结构响应的设计取值达到 84 % 以上保证率，宜在各条强震动记录结构响应均值的基础上，引入考虑响应离散性的经验修正系数进行调整。当选取 7 条强震动记录时，满足 84 % 保证率的结构响应设计值 χ_s 可按下面公式计算：

$$\chi_s = \bar{\chi} \cdot R_{x,0.84} \quad (4)$$

$$R_{x,0.84} = \exp(0.34S_{\ln x}) \quad (5)$$

式中： $\bar{\chi}$ —— 7 条强震动记录输入下结构响应的均值；

$R_{x,0.84}$ —— 经验修正系数；

$S_{\ln x}$ —— 7 条强震动记录结构响应的对数标准差。

8.4.5 当采用多组条件均值谱进行结构抗震分析时，可按下列两种方式之一进行强震动记录的选取与响应计算：

a) 以每个条件均值谱为单一目标谱，分别选取一组（不少于 7 条）强震动记录进行弹塑性时程分析；结构各构件地震响应的设计值，应取各组强震动记录计算所得响应均值中的最大值。

b) 直接以多组条件均值谱的谱值包络线作为统一的目标反应谱，选取一组（不少于 7 条）强震动记录进行调幅匹配与时程分析。

附 录 A
(资料性)
地震信息参数定义与转换

A.1 震级标度的等效转换

A.1.1 震级转换宜优先采用记录台网所在地区的经验回归模型。当无本地区模型时，可参考下列不同震级标度之间的转换关系计算：

表 A.1 中国震级标度与矩震级 M_w 的转换关系

序号	转换公式	震级选取范围
1	$M_W = 1.67m_b - 3.33$	$4.5 \leq m_b \leq 7.9$
2	$M_W = 1.11m_B - 0.49$	$4.5 \leq m_B \leq 9.0$
3	$M_W = M_L - 0.22$	$4.5 \leq M_L \leq 7.0$
4	$M_W = 1.02M_S - 0.25$	$4.5 \leq M_S \leq 7.0$

A.1.2 对于震级低于4.5级的小震，在无特定区域转换公式时，可按 $M_W = M_S$ 取值。

A.2 发震断层运动类型划分

表 A.2 基于滑动角的发震断层运动类型划分依据

断层运动类型	滑动角 (λ) 范围
走滑断层 (Strike-slip)	$-30^\circ \leq \lambda \leq 30^\circ$ $150^\circ \leq \lambda \leq 180^\circ$ $-180^\circ \leq \lambda \leq -150^\circ$
正断层 (Normal)	$30^\circ < \lambda < 150^\circ$
逆冲断层 (Reverse)	$-150^\circ < \lambda < -30^\circ$

附 录 B
(资料性)
强震动记录数据处理技术要求

B.1 基线校正

B.1.1 对于存在零点漂移现象的强震动记录,应采用原始记录减去震前加速度部分平均值的方法来进行基线校正。

B.1.2 对于存在明显速度基线偏离的强震动数据,确定出速度基线近似为直线的时间区间后,在这一区间对速度时程进行直线拟合,从加速度波形数据中减去这一段速度基线拟合直线的斜率,以消除速度波形基线漂移。

B.2 滤波处理

B.2.1 由于相对于水平分量而言,垂直分量的长周期部分信噪比较低,如果对三个分量采用相同的滤波处理,滤波器的截止频率宜依据垂直分量选取。

B.2.2 除非有特殊情况,滤波应采用非因果滤波器,如果使用因果滤波器应随同记录给出明确的文字说明。

B.2.3 进行非因果滤波器实现零相移滤波时,必须首先对记录进行补零操作,即在原始记录的起始点之前和结束点之后添加一定数量振幅为零的数据点,需要补零的长度取决于滤波器的频率和阶数。

B.2.4 低通滤波截止频段宜为50Hz~100Hz,而高通滤波截止频率应依据对信号的信噪比分析确定,宜采用如下标准判断强震动记录长周期截止频率选取是否合理:

- 将含噪声记录与噪声信号的傅里叶谱进行比较,比值不宜低于3,噪声信号可以从数字记录的事件前记录中获得。
- 根据记录傅里叶谱的长周期部分与按频率平方衰减模型计算的加速度傅里叶谱的偏离情况判别。
- 检查加速度记录经过一次和二次积分得到的速度和位移时程,判断其数值在物理上是否合理。

B.2.5 强震动记录数据可用带宽确定:

- 可用的最高频率取决于仪器的类型和采样率;可用最低频率与滤波器拐点周期与阶数相关。对于没有基线偏移或已进行了基线校正的数据,滤波器的长周期拐点值应根据信号的信噪比来确定。
- 所确定最低频率应保证速度和位移时程序列不出现物理上的明显不合理。

附 录 C
(资料性)
强震动记录速度脉冲提取与判定指标

在近断层强震动记录选取中,对于速度脉冲特征的判定,可采用基于经验特征的初步筛选,或基于连续小波变换的定量判定指标(脉冲指数法)。具备专门计算条件或重要工程的抗震分析,应优先采用定量判定指标。

C.1 速度脉冲判定依据

C.1.1 在常规工程应用中,当天然强震动记录同时满足下列物理特征时,可初步判定其具备明确的速度脉冲特征:

- a) 水平方向的峰值地面速度 PGV 不低于 30cm/s,且峰值速度和峰值加速度的比值 $PGV/PGA \geq 0.2$;
- b) 在积分得到的速度时程曲线上,存在 1 至 2 个主要的长周期单波(波峰或波谷),脉冲周期介于 0.5 s~5.0 s 之间。
- c) 将记录旋转至断层几何方向后,其断层法向(FN)分量的速度脉冲幅值通常显著大于断层走向(FP)分量。

C.2 速度脉冲提取方法

C.2.1 本方法基于连续小波变换(Continuous Wavelet Transform, CWT)与逻辑回归模型,用于定量识别和提取近断层强震动记录中的速度脉冲特征。

C.2.2 速度脉冲的提取应按下列步骤进行:

- a) 小波变换与脉冲提取:采用第四阶多贝西小波(Daubechies wavelet of order 4, db4)作为母小波,对原始强震动速度时程 $v_{\text{origin}}(t)$ 进行连续小波变换,提取具有最大小波系数的近似半周期波形,将其作为提取的速度脉冲时程 $v_{\text{pulse}}(t)$;
- b) 残余地震动计算:将原始速度时程减去提取出的脉冲时程,得到剥离脉冲后的残余速度时程 $v_{\text{resid}}(t)$ 。

C.3 速度脉冲判定指标计算方法

C.3.1 脉冲判定指标的计算应按下列步骤进行:

- a) 峰值地面速度比 (PGV_{ratio}):计算残余速度时程峰值与原始速度时程峰值的比值。
- b) 能量比 (E_{ratio}):速度时程的能量定义为其振幅平方在整个持时内的积分。能量比计算公式如下:

$$E_{\text{ratio}} = \frac{\int v_{\text{resid}}^2(t) dt}{\int v_{\text{orig}}^2(t) dt} \quad (6)$$

c) 脉冲指数 (PI) *可按基于上述指标的逻辑回归模型进行计算:

$$PI = \frac{1}{1 + \exp(-23.3 + 14.6PGV_{\text{ratio}} + 20.5E_{\text{ratio}})} \quad (7)$$

式中:

PI —— 脉冲指数, 取值范围为 $[0, 1]$;

Z —— 预测变量, 为峰值地面速度比 (PGV_{ratio}) 与能量比 (E_{ratio}) 的线性组合函数

C. 4 速度脉冲定量判定准则

C. 4. 1 当强震动记录同时满足下列两项定量指标时, 应严格判定为脉冲型强震动记录:

- a) 脉冲指数 $PI \geq 0.85$
- b) 原始记录峰值地面速度 $PGV \geq 30 \text{ cm/s}$

1* 来源文献: Baker, J. W. (2007). Quantitative classification of near-fault ground motions using wavelet analysis. Bulletin of the seismological society of America, 97(5), 1486-1501.

附 录 D
(资料性)
设定地震解耦及条件均值谱计算方法

D.1 基于概率地震危险性分析的设定地震解耦方法

D.1.1 基于概率性地震动危险性分析中经过衰减关系不确定性校正后的地震动参数超越概率曲线，以某超越概率下，目标周期点处的地震动参数值作为解耦目标，求解某超越概率下的设定地震事件 (M, R) 以及对应的标准差系数。

D.1.2 标准差系数定义为某地震事件下，周期点 T 处反应谱目标值与地震动预测方程均值之间的差异，用地震动预测方程对应周期点处标准差的倍数表示，依据下式计算：

$$\ln IM(T) = \mu_{IM(T)}(M, R) + \varepsilon \cdot \sigma_{\ln IM(T)} \quad (8)$$

式中： $\ln IM(T)$ ——周期点 T 处的目标反应谱值

$\mu_{IM(T)}$ ——地震动参数衰减关系在设定地震 (M, R) 下周期点 T 的均值预测值

$\sigma_{\ln IM(T)}$ ——地震动参数衰减关系在设定地震 (M, R) 周期点 T 的预测结果标准差

D.1.3 概率危险性分析得到的某地震动强度指标的超越概率离散化表达如下式所示：

$$P(IM \geq IM^{\text{target}}) = \sum_{i=1}^n v_i \sum_{j=1}^{N1} \sum_{k=1}^{N2} \sum_{h=1}^{N3} P_M(m_j) P_R(r_k) P_\varepsilon(\varepsilon_h) P(IM \geq IM^{\text{target}} | m_j, r_k, \varepsilon_h) \quad (9)$$

式中： $N1, N2, N3$ ——分别为震级，震中距和标准差系数的分档数

$P_M(m_j)$ ——某潜源内震级为 m_j 档的概率

$P_R(r_k)$ ——某潜源内震中距为 r_k 档的概率，潜源划分微元服从空间均匀分布

$P_\varepsilon(\varepsilon_h)$ ——标准差系数在 ε_h 档的概率，服从标准正态分布

D.1.4 目标地震动参数值条件下的各个 $(m_j, r_k, \varepsilon_h)$ 事件组合的贡献比例依据下式确定：

$$P(m_j, r_k, \varepsilon_h | IM \geq IM^{\text{target}}) = \frac{P(IM \geq IM^{\text{target}} | m_j, r_k, \varepsilon_h) P_M(m_j) P_R(r_k) P_\varepsilon(\varepsilon_h)}{P(IM \geq IM^{\text{target}})} \quad (10)$$

式中：

$$P(IM \geq IM^{\text{target}} | m_j, r_k, \varepsilon_h) = \begin{cases} 1 & IM(m_j, r_k, \varepsilon_h) \geq IM^{\text{target}} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

D. 1. 5 依据B.1.3计算得到的各 $(m_j, r_k, \varepsilon_h)$ 组合的贡献比例，确定最大贡献地震事件和平均影响地震事件。最大贡献地震定义为贡献比例最大的 $(M-R-\varepsilon_h)$ 组合；平均影响地震则是将每个可能的设定地震组合按照贡献比例进行加权平均得到的结果。

D. 1. 6 对于近、远场同时出现高贡献比例的地震组合时，应当同时给出不同区域对应的最大贡献地震作为设定地震；对于高贡献比例地震事件分布区域相对集中的情况，宜采用平均影响地震作为设定地震。

D. 2 条件均值谱构建方法

D. 2. 1 条件均值谱的对数均值 $\mu_{\ln Sa(T_i) | \ln Sa(T^*)}$ 可依据下式计算：

$$\mu_{\ln Sa(T_i) | \ln Sa(T^*)} = \mu_{\ln Sa(T_i)}(M^*, R^*) + \rho(T_i, T^*)\sigma(T_i)\varepsilon(T^*) \tag{11}$$

其中： $M^*, R^*, \varepsilon(T^*)$ ——以周期点 T^* 对应的一致概率谱值为目标，解耦得到的设定地震震级、距离以及目标地震动参数条件下的标准差系数 $\varepsilon(T^*)$ （标准差系数计算方法见本文件附录D.1.2）

$\mu_{\ln Sa(T_i)}$ ——采用地震动预测方程计算得到的设定地震（ M^*, R^* ）在周期点 T_i 处的加速度反应谱对数预测值

$\sigma(T_i)$ —— $\mu_{\ln Sa(T_i)}$ 的标准差

$\rho(T_i, T^*)$ —— T_i 与 T^* 加速度反应谱值的皮尔逊相关系数。

D. 2. 2 周期0.01 s—5.0 s内的加速度反应谱相关系数 $\rho(T_i, T^*)$ 可按下式计算

$$\rho(T_{\min}, T_{\max}) = 1 - \cos\left\{\frac{\pi}{2} - [0.359 + 0.163I_{(T_{\min} < 0.189)} \ln \frac{T_{\min}}{0.189}]\ln \frac{T_{\max}}{T_{\min}}\right\} \tag{12}$$

其中：

$\rho(T_{\min}, T_{\max})$ —— $T_{\min}$ 和 $T_{\max}$ 为周期点 T_i 与 T^* 中的较小值和较大值；

$I_{(T_{\min} < 0.189)}$ ——指示函数， $T_{\min} < 0.189$ 时取1， $T_{\min} \geq 0.189$ 时，取0。

D. 2. 3 当需要考虑中国强震动记录相关系数特征时，不同震级分组下的加速度反应谱相关系数按下表计算：

附表 D. 1 谱加速度标准差系数相关系数 M1 组 (5. 5≤Ms<6)

T (s)	0.01	0.02	0.05	0.07	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	1.5	1.7	2
0.01	1. 000	1. 000	0. 947	0. 908	0. 912	0. 882	0. 807	0. 609	0. 539	0. 445	0. 391	0. 390	0. 365
0.02	1. 000	1. 000	0. 952	0. 914	0. 916	0. 877	0. 801	0. 600	0. 531	0. 437	0. 384	0. 383	0. 358
0.05	0. 947	0. 952	1. 000	0. 958	0. 913	0. 776	0. 690	0. 467	0. 401	0. 316	0. 267	0. 270	0. 256
0.07	0. 908	0. 914	0. 958	1. 000	0. 928	0. 727	0. 624	0. 377	0. 302	0. 215	0. 178	0. 180	0. 166

0.1	0.912	0.916	0.913	0.928	1.000	0.746	0.626	0.402	0.337	0.255	0.227	0.229	0.209
0.2	0.882	0.877	0.776	0.727	0.746	1.000	0.875	0.688	0.600	0.509	0.456	0.452	0.421
0.3	0.807	0.801	0.690	0.624	0.626	0.875	1.000	0.806	0.699	0.599	0.539	0.526	0.502
0.5	0.609	0.600	0.467	0.377	0.402	0.688	0.806	1.000	0.906	0.822	0.747	0.730	0.708
0.7	0.539	0.531	0.401	0.302	0.337	0.600	0.699	0.906	1.000	0.920	0.853	0.837	0.810
1	0.445	0.437	0.316	0.215	0.255	0.509	0.599	0.822	0.920	1.000	0.931	0.917	0.892
1.5	0.391	0.384	0.267	0.178	0.227	0.456	0.539	0.747	0.853	0.931	1.000	0.981	0.952
1.7	0.390	0.383	0.270	0.180	0.229	0.452	0.526	0.730	0.837	0.917	0.981	1.000	0.974
2	0.365	0.358	0.256	0.166	0.209	0.421	0.502	0.708	0.810	0.892	0.952	0.974	1.000

附表 D.2 谱加速度标准差系数相关系数 M2 组 ($6.0 \leq M_s < 6.5$)

T (s)	0.01	0.02	0.05	0.07	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	1.5	1.7	2
0.01	1.000	1.000	0.969	0.945	0.946	0.910	0.872	0.716	0.495	0.299	0.132	0.107	0.067
0.02	1.000	1.000	0.972	0.948	0.949	0.909	0.869	0.710	0.487	0.290	0.124	0.099	0.059
0.05	0.969	0.972	1.000	0.972	0.954	0.878	0.813	0.611	0.369	0.161	0.004	-0.014	-0.048
0.07	0.945	0.948	0.972	1.000	0.969	0.869	0.783	0.556	0.292	0.081	-0.076	-0.100	-0.132
0.1	0.946	0.949	0.954	0.969	1.000	0.888	0.786	0.569	0.305	0.086	-0.077	-0.104	-0.140
0.2	0.910	0.909	0.878	0.869	0.888	1.000	0.898	0.685	0.429	0.196	-0.009	-0.031	-0.070
0.3	0.872	0.869	0.813	0.783	0.786	0.898	1.000	0.819	0.578	0.366	0.164	0.141	0.102
0.5	0.716	0.710	0.611	0.556	0.569	0.685	0.819	1.000	0.842	0.652	0.444	0.413	0.369
0.7	0.495	0.487	0.369	0.292	0.305	0.429	0.578	0.842	1.000	0.865	0.688	0.667	0.632
1	0.299	0.290	0.161	0.081	0.086	0.196	0.366	0.652	0.865	1.000	0.867	0.843	0.811
1.5	0.132	0.124	0.004	-0.076	-0.077	-0.009	0.164	0.444	0.688	0.867	1.000	0.972	0.935
1.7	0.107	0.099	-0.014	-0.100	-0.104	-0.031	0.141	0.413	0.667	0.843	0.972	1.000	0.969
2	0.067	0.059	-0.048	-0.132	-0.140	-0.070	0.102	0.369	0.632	0.811	0.935	0.969	1.000

附表 D.3 谱加速度标准差系数相关系数 M3 组 ($6.5 \leq M_s \leq 7$)

T (s)	0.01	0.02	0.05	0.07	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	1.5	1.7	2
0.01	1.000	1.000	0.977	0.945	0.941	0.928	0.889	0.766	0.635	0.569	0.497	0.458	0.418
0.02	1.000	1.000	0.979	0.949	0.943	0.927	0.886	0.762	0.630	0.563	0.492	0.453	0.412
0.05	0.977	0.979	1.000	0.979	0.954	0.892	0.832	0.696	0.549	0.482	0.413	0.372	0.329
0.07	0.945	0.949	0.979	1.000	0.964	0.876	0.788	0.621	0.468	0.410	0.339	0.299	0.255
0.1	0.941	0.943	0.954	0.964	1.000	0.891	0.782	0.597	0.452	0.398	0.338	0.299	0.264
0.2	0.928	0.927	0.892	0.876	0.891	1.000	0.876	0.681	0.537	0.481	0.425	0.394	0.366
0.3	0.889	0.886	0.832	0.788	0.782	0.876	1.000	0.817	0.687	0.599	0.552	0.529	0.491
0.5	0.766	0.762	0.696	0.621	0.597	0.681	0.817	1.000	0.887	0.769	0.686	0.661	0.619
0.7	0.635	0.630	0.549	0.468	0.452	0.537	0.687	0.887	1.000	0.883	0.788	0.764	0.722
1	0.569	0.563	0.482	0.410	0.398	0.481	0.599	0.769	0.883	1.000	0.890	0.870	0.833
1.5	0.497	0.492	0.413	0.339	0.338	0.425	0.552	0.686	0.788	0.890	1.000	0.969	0.924
1.7	0.458	0.453	0.372	0.299	0.299	0.394	0.529	0.661	0.764	0.870	0.969	1.000	0.950
2	0.418	0.412	0.329	0.255	0.264	0.366	0.491	0.619	0.722	0.833	0.924	0.950	1.000

附表 D.4 谱加速度标准差系数相关系数 ($5.5 \leq M_s \leq 7.0$)

T (s)	0.01	0.02	0.05	0.07	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	1.5	1.7	2
0.01	1.000	1.000	0.962	0.929	0.930	0.902	0.845	0.677	0.550	0.437	0.346	0.330	0.295
0.02	1.000	1.000	0.966	0.934	0.933	0.900	0.840	0.670	0.543	0.430	0.339	0.323	0.289
0.05	0.962	0.966	1.000	0.968	0.937	0.838	0.760	0.564	0.429	0.317	0.230	0.216	0.188
0.07	0.929	0.934	0.968	1.000	0.951	0.812	0.711	0.489	0.341	0.229	0.146	0.131	0.103
0.1	0.930	0.933	0.937	0.951	1.000	0.832	0.712	0.498	0.355	0.243	0.165	0.149	0.120
0.2	0.902	0.900	0.838	0.812	0.832	1.000	0.881	0.683	0.534	0.411	0.311	0.299	0.266
0.3	0.845	0.840	0.760	0.711	0.712	0.881	1.000	0.812	0.663	0.536	0.441	0.426	0.394
0.5	0.677	0.670	0.564	0.489	0.498	0.683	0.812	1.000	0.886	0.767	0.654	0.635	0.602
0.7	0.550	0.543	0.429	0.341	0.355	0.534	0.663	0.886	1.000	0.897	0.796	0.778	0.745
1	0.437	0.430	0.317	0.229	0.243	0.411	0.536	0.767	0.897	1.000	0.904	0.886	0.856
1.5	0.346	0.339	0.230	0.146	0.165	0.311	0.441	0.654	0.796	0.904	1.000	0.976	0.941
1.7	0.330	0.323	0.216	0.131	0.149	0.299	0.426	0.635	0.778	0.886	0.976	1.000	0.967
2	0.295	0.289	0.188	0.103	0.120	0.266	0.394	0.602	0.745	0.856	0.941	0.967	1.000

参 考 文 献

- [1] GB 17740-2017 地震震级的规定
- [2] GB 18306-2025 中国地震动参数区划图
- [3] GB/T 17741-2025 工程场地地震安全性评价
- [4] GB/T 50010-2010（2024 版） 混凝土结构设计标准
- [5] GB/T 17742-2008 中国地震烈度表