ICS 91.120.25
CCS P 15

DB32

江 苏 省 地 方 标 准

DB32/T X—202X

海上风电工程场地地震动参数确定

Determination of ground motion parameters for offshore wind power engineering sites

202X-XX-XX 发布 202X-XX-XX 实施

江苏省市场监督管理局 发 布

目　　次

前言 ..... Ⅱ
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 总体要求 1
5 区域地震活动性和地震构造评价 2
6 近场区地震活动性和地震构造评价 2
7 场地活动断层勘查 3
8 地震动预测方程确定 4
9 地震危险性概率分析 4
10 工程场地地震工程地质条件勘测 6
11 场地地震动参数计算 7
参考文献 10

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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由江苏省地震局提出、归口并组织实施。

本文件起草单位：江苏省震灾风险防治中心、江苏金风科技有限公司、江苏省地震学会、江苏省地震局、河海大学、中国长江三峡集团上海勘测设计研究院有限公司、中国电力工程顾问集团华东电力设计院有限公司、中国能源建设集团江苏省电力设计院有限公司。

本文件主要起草人：陶小三、张浩、高志兵、赵启光、谭慧明、齐涛、刘建达、吴彩虹、李细兵、瞿红梅、彭小波、周彩霞、李丽梅、冀卫东、沙晓青、宁巧珍、陈昌斌、戴洪军、李荣富、薛莹莹、蒋新、王宇。

海上风电工程场地地震动参数确定

1 范围

本文件规定了海上风电工程场地地震动参数确定的工作内容、区域与近场区地震活动性和地震构造评价、场地活动断层勘查、地震动预测方程确定、地震危险性概率分析、工程场地地震工程地质条件勘测、场地地震动参数计算等工作的要求。

本文件适用于海上风电工程的选址论证、抗震设防等工作中涉及的工程场地地震动参数确定。

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 12763.11 海洋调查规范 第11部分：海洋工程地质调查

GB 17741 工程场地地震安全性评价

GB 18306 中国地震动参数区划图

GB 50021 岩土工程勘察规范

GB/T 50123 土工试验方法标准

GB/T 50266 工程岩体试验方法标准

GB/T 50269 地基动力特性测试规范

NB/T 10106 海上风电场工程钻探规程

3 术语和定义

GB 17741界定的术语和定义适用于本文件。

4 总体要求

4.1 区域范围确定

区域范围应不小于工程场地外延 150 km。

4.2 近场区范围确定

近场区范围应不小于工程场地外延 25 km。

4.3 工程场地范围确定

工程场地范围应为海上风电工程建设规划的范围。

4.4 工作内容确定

海上风电工程场地地震动参数确定工作应包含下列内容：

a) 区域地震活动性和地震构造评价；

b) 近场区地震活动性和地震构造评价；

c) 场地活动断层勘查；

d) 地震动预测方程确定；

e) 地震危险性概率分析；

f) 工程场地地震工程地质条件勘测；

g) 场地地震动参数计算。

5 区域地震活动性和地震构造评价

5.1 图件要求

5.1.1 区域地震构造图比例尺应不小于 1：1 000 000；区域大地构造分区图、区域新构造图、区域地震震中分布图比例尺应不小于 1：2 500 000。

5.1.2 所有区域性图件应标明工程场地位置与范围。

5.2 区域地震活动性评价

5.2.1 地震活动性评价内容应包括地震资料搜集、破坏性地震目录编制、地震活动时空强特征分析、现代构造应力场特征分析和地震影响评价等。

5.2.2 应编制区域破坏性地震震中分布图和区域中小地震震中分布图。

5.3 区域地震构造评价

5.3.1 地震构造评价内容应包括地质构造背景、新构造背景、断层活动性评价、地震构造条件和主要发震构造评价等。

5.3.2 应编制区域大地构造分区图、区域新构造图和区域地震构造图。

5.4 评价工作要求

区域地震活动性和地震构造评价内容、图件编制应满足 GB 17741 相关规定。

6 近场区地震活动性和地震构造评价

6.1 图件要求

6.1.1 近场区地震构造图和地震震中分布图比例尺应不小于 1：250 000。

6.1.2 所有近场区图件应标明工程场地位置与范围。

6.2 近场区地震活动性评价

6.2.1 地震活动性评价内容应包括地震活动强度、频度水平；地震活动密集、弥散等空间分布特征及震源深度分布特征。

6.2.2 应编制近场区地震目录和近场区地震震中分布图。

6.3 近场区地震构造评价

6.3.1 应收集近场区地质构造、第四系、海底地貌等资料，分析第四纪构造活动特征。

6.3.2 应综合确定主要断层特征及活动性，包括活动时代、性质和分段等。

6.3.3 应对与工程场地地震安全密切相关的下列主要断层开展探测工作：

a）指向场地且距离场地不大于5 km的主要断层；

b）穿经场地的断层；与地震活动相关性较高的断层；

c）推断为新构造单元的分界断层；

d）海底地形地貌显示可能晚更新世以来有活动的断层。

6.3.4 地震构造评价内容应包括近场区地质构造特征、新构造活动特征、主要断层活动性特征、地震构造特征、发震构造特征等。

6.3.5 应编制近场区主要断层调查与活动性鉴定实际材料图，并在图中标示地质剖面、地球物理勘探测线、钻孔地质剖面、年代测定样品等实际材料的平面位置。标示的实际材料应包括开展的调查材料和收集的可靠材料。

6.3.6 应编制近场区主要断层活动性特征一览表和近场区地震构造图。近场区地震构造图应包括主要断层及其活动时代、断层性质与产状、第四系厚度（或新近纪以来的地层厚度）、第四纪盆地、破坏性地震震中等。

7 场地活动断层勘查

7.1 勘查范围与测线布设

7.1.1 应对工程场地及其外延1 000 m范围进行勘查。

7.1.2 针对勘查范围，应呈“十字形”布设不少于2条控制性地球物理勘查测线。

7.2 探测方法选择

7.2.1 应采用多道地震探测方法进行场地断层探测；对客观条件有限制的区域，采用中地层剖面法探测。

7.2.2 多道地震探测方法符合下列要求：

a) 应采用气枪、电火花等震源，震源子波的频带应保持足够的宽度及低频的丰满度；

b) 记录道数应不少于48道，道间距应小于6.25 m，数据采样间隔应小于0.5 ms；

c) 不正常工作道数应少于3道，测线空废炮率应低于5%，连续空废炮不应超过4炮；

d) 应在作业海域进行试验工作，试验工作应包括仪器工作参数和观测系统选择，确定最佳偏移距、激发点距或激发时间间隔、激发能量、发射频率、采样频率、记录时间长度、叠加次数等关键参数；

e) 现场探测如意外中断，应进行补测；补测正向连接时，炮点应连续，反向连接时应重复观测一个排列的长度。

7.2.3 中地层剖面法探测符合下列要求：

a) 应采用气枪、电火花等震源，震源主频为200 Hz～5000 Hz；

b) 应在作业海域进行试验工作，试验工作应包括仪器工作参数和观测系统参数选择。

7.3 成果表述

7.3.1 应根据地震剖面的反射结构、振幅、频率、同相轴连续性和反射波接触关系特征，结合地质资料等，解释地层结构与断层构造。应在搜集分析工程场地及邻近地区已有探测结果和钻孔等资料基础上，对探明断层进行活动性综合评价。

7.3.2 场地存在活动断层时，应增加针对活动断层的探测工作，至少有2个有效控制点，并编制活动断层分布图。

7.4 断层错动评价

场地内存在晚更新世以来的活动断层时，应根据断层特征、性质、产状等综合评估潜在地震地表破裂影响带范围，分析风电机位点和重要结构点位置与活动断层地表破裂影响带的空间关系。

8 地震动预测方程确定

8.1 地震动预测方程表达

8.1.1 应采用数学函数式或表格形式表达地震动预测方程。

8.1.2 地震动预测方程应反映高频地震动的震级和距离饱和特性。

8.1.3 地震动预测方程宜反映海域地震动衰减特征。

8.1.4 当地震危险性分析需要考虑震源错动性质影响时，地震动预测方程应包含表征震源错动性质的项。

8.1.5 地震动反应谱预测方程的周期应满足工程需求且不小于 10 s；周期点在对数坐标下应近似均匀分布，且数量不少于 25 个。

8.2 基岩地震动预测方程确定

8.2.1 优先采用海域强震动观测数据，强震动观测数据数量能够满足统计分析建立地震动预测方程的地区，应采用由统计方法建立的地震动预测方程。

8.2.2 强震动观测数据数量不能满足统计分析建立地震动预测方程的地区，应采用类比性方法确定地震动预测方程。

8.2.3 应论证地震动预测方程的适用性。

9 地震危险性概率分析

9.1 概率地震危险性分析潜在震源区模型

概率地震危险性分析潜在震源区模型由下列三层级源区构成：

a) 地震统计区，及其地震活动模型；

b) 背景地震潜在震源区，及其震级上限；

c) 构造潜在震源区，及其震级上限。

注：地震统计区地震活动性模型包括地震发生频度模型、震级-频度关系（G-R 关系）与地震空间分布函数。

9.2 地震统计区划分

9.2.1 应依据地震活动空间分布的分区性、地震与活动构造区的相似性划分地震区。

9.2.2 应在地震区内依据地震活动空间分布的成带性、地震与活动构造带的一致性划分地震带。

9.2.3 应基于地震区、地震带划分，并考虑地震活动性参数统计的需要，划分地震统计区。

9.3 潜在震源区划分

9.3.1 应在地震统计区内划分背景地震潜在震源区，并在背景地震潜在震源区内划分构造潜在震源区。

9.3.2 应按照GB 17741的规定，在综合考虑构造条件、地震活动特征，以及边界位置不确定性的基础上，划分背景地震潜在震源区。

9.3.3 应按照GB 17741的规定，在综合考虑构造条件、地震活动特征，以及边界位置不确定性的基础上，划分构造潜在震源区。

9.4 地震活动性参数确定

9.4.1 表征概率地震危险性分析潜在震源区模型的地震活动性参数包括：

a) 地震统计区震级上限；

b) 地震统计区震级下限；

c) 地震统计区震级—频度关系系数；

d) 地震统计区地震年平均发生率；

e) 背景地震潜在震源区震级上限；

f) 构造潜在震源区震级上限及空间分布函数。

9.4.2 应按照GB 17741的规定，确定地震统计区地震活动性参数。

9.4.3 应按照GB 17741的规定，确定潜在震源区地震活动性参数。

9.5 概率地震危险性分析计算要求

9.5.1 基岩场地地震危险性分区应符合以下要求：

a) 应在工程场地及外延1 000 m范围内布置计算点，计算点间距不大于1 000 m，海上风电机位点和升压站点位应作为计算点；

b) 计算50年超越概率10%基岩峰值加速度值，按照基岩地震动峰值加速度差异值不大于10%作为分区值，对场地基岩地震动峰值加速度值进行分区，给出分区界线，编制场地基岩地震动峰值加速度分区图；

c) 以场地基岩地震动峰值加速度分区结果为主，综合确定场地地震危险性分区。

9.5.2 应根据工程的抗震设防需要确定概率地震危险性分析的超越概率水平，以及地震动反应谱最大周期范围。超越概率水平宜包括50年超越概率63%、10%、2%和100年超越概率63%、39%、10%。

9.5.3 应根据工程需要及工程场地范围内地震动参数可能的分布，确定控制性计算场点，控制性计算场点的间距不大于8 000 m。地震工程钻孔位置应作为地震危险性分析的控制性计算场点。

9.5.4 应计算给出地震动参数超越概率曲线。

9.5.5 应计算给出各超越概率水平地震动反应谱曲线。

9.5.6 应对概率地震危险性计算结果进行地震动预测方程的不确定性校正。

9.6 概率地震危险性分析结果

9.6.1 应按照下列要求给出自由基岩场地地震动参数。

a) 编制基岩场地地震动参数表，表中包括以下内容：

1) 计算场点名称、位置等信息；

2) 计算的超越概率水平；

3) 相应超越概率水平下计算场点基岩地震动参数值。

b) 编制代表性计算场点1 a、50 a、100 a基岩地震动参数超越概率曲线，曲线延至最低年超越概率1×10^{-5}。

9.6.2 应按照下列要求给出自由基岩场地地震动加速度反应谱。

a) 编制基岩场地地震动加速度反应谱表，表中包括以下内容：

1) 代表性计算场点名称、位置等信息；

2) 计算的超越概率水平；

3) 加速度反应谱阻尼比；

4) 加速度反应谱计算控制周期点；

5) 代表性计算场点不同超越概率加速度反应谱每个周期点计算值。

b) 编制不同超越概率的基岩地震动加速度反应谱曲线。

9.6.3 应按照下列要求分析潜在震源区对地震危险性的贡献:

a) 选择代表性计算场点进行分析；

b) 选择地震动加速度反应谱不同频段代表性周期点进行分析，典型的周期点，如0.0 s、0.2 s、2.0 s、5.0 s；

c) 对所有超越概率水平进行分析，如50年超越概率63%、10%、2%和100年超越概率63%、39%、10%；

d) 按照GB 17741的规定编制自由基岩场地地震危险性潜在震源区贡献表。

10 工程场地地震工程地质条件勘测

10.1 场地工程地质条件调查

10.1.1 应搜集工程场地及其附近已有的海水深度、海底地形地貌、地层层序、岩性、地质构造等资料，调查场地土类型、场地类别。

10.1.2 应分析场地岩土层空间变化特征，划分工程地质单元。根据场地地震危险性分区、工程地质单元划分、工勘阶段确定的场地类别等，对场地进行综合分区。

10.2 场地地震工程地质条件钻孔勘测

10.2.1 应开展场地地震工程钻孔勘测。

10.2.2 应按照下列规定实施场地地震工程钻孔。

a) 按照场地综合分区结果布置钻孔。每个分区内至少布置1个钻孔，且一个场地不少于2个钻孔，工程地质条件复杂时应加密钻孔。

b) 应综合确定钻孔位置。钻孔间距不大于8 000 m，钻孔孔位布设应兼顾海上风电机位点，重要结构点位应布设至少1个钻孔。

c) 应采用具有波浪补偿功能的勘探平台，按照NB/T 10106要求选择钻探工艺和方法。

d) 钻孔终孔深度确定如下：

1) 钻孔达到基岩，或剪切波速度不小于500 m/s处，且其下方不存在更低剪切波速值岩土层；

2) 当钻孔深度超过100 m，剪切波速度仍小于500 m/s时，可终孔。

10.2.3 应采集岩土层分层岩土试样，用于场地岩土动力性质试验，并按照下列规定执行。

a) 根据岩土层的特性和岩土试样质量等级要求，按NB/T 10106取样要求选择取样工具和方法。采集土试样质量等级为不扰动或轻微扰动样；对难以获取原状土样的土类取扰动样。

b) 取样钻孔数量宜不少于钻孔总数的1/3，重要结构点位不少于1个取样钻孔。

c) 对场地自然分层中有代表性岩土层取样，间隔分布的同类岩土层间距超过5 m时，分别取样。

10.2.4 钻孔岩土层岩土性质的室内试验项目和试验方法应符合GB/T 50123和GB/T 50266的规定，测试天然含水量、天然密度、干密度等物理性质指标。

10.2.5 钻孔岩土层波速测试应满足下列要求：

a) 按 GB 50021给出的波速测试规定，选用单孔法测定钻孔岩土体波速；测试不同深度岩土剪切波的波速，沿深度间距不大于1 m；需进行竖向地震反应分析时，同时测试压缩波的波速；

b) 当工程场地不具备钻孔原位波速测试条件时，按照GB/T 50269弯曲元法的规定进行室内测试。海底泥面以下0 m～20 m范围内取样间距宜为1 m，20 m以下深度取样间距宜为3 m～5 m。

10.2.6 场地钻孔分布图及柱状图编制应满足下列要求：

a) 钻孔分布图应标注所有地震工程钻孔和搜集钻孔，标注钻孔编号、孔口标高、钻孔深度、场地工程结构布置等信息；

b) 钻孔柱状图应包括层序号、层底埋深、层厚、土类名称与土质描述等信息，图件比例尺根据土层结构复杂程度而定，采用比例尺1：200～1：100。

10.2.7 应根据工程场地钻孔资料，编制场地综合工程地质剖面图，图中标注层序号、层底埋深、层厚、土类名称与土质描述等信息，采用比例尺1：20 000～1：1 000。

10.2.8 应按照GB/T 18306中场地类别划分规定，确定钻孔土层等效剪切波速和覆盖层厚度值，判定钻孔场地类别，综合确定各分区场地类别。

10.3 场地岩土动力性质试验

10.3.1 应按照GB/T 50269的规定，开展岩土动力性质试验，测试剪切模量比与剪应变关系、阻尼比与剪应变关系，测试点数量应不小于8个。

10.3.2 砂类土扰动样，应根据土样取样深度，采用重塑土样进行测试。

11 场地地震动参数计算

11.1 场地地震反应分析模型的建立

11.1.1 场地地震反应分析模型应符合下列要求：

a) 地表、土层界面及基岩面均较平坦时，采用一维土层反应分析模型；

b) 地表、土层界面或基岩面起伏较大时，采用二维土层反应分析模型，并考虑边界效应和海水耦联振动的影响。

11.1.2 采用钻探确定的基岩面或剪切波速不小于500 m/s的土层顶面作为地震输入界面；钻探深度超过100m且仍未达到剪切波速大于500 m/s的土层时，100 m以下的波速值依据相关资料类比或通过经验模型确定，并以剪切波速不小于500 m/s的土层顶面作为地震输入界面。

11.1.3 应根据10.2、10.3场地地震工程地质条件勘测结果，确定场地地震反应分析模型参数，包括土层厚度、波速、密度及土非线性动力参数等。

11.2 输入地震动时程的确定

11.2.1 应以地震危险性分析得到的控制性计算场点自由基岩场地地震动反应谱为目标反应谱，合成自由基岩面地震动时程。

11.2.2 应合成不少于10组拟合目标反应谱的自由基岩面地震动时程，且不同自由基岩面地震动时程样本之间的相关系数不大于0.16。如果进行二维场地地震反应分析，不同分量自由基岩面地震动时程样本之间的相关系数不大于0.16。

11.2.3 应按照GB 17741要求合成自由基岩面地震动时程。

11.2.4 输入地震动时程应按自由基岩面地震动时程的50%确定。若考虑地震波斜入射工况，应通过弹性半空间波动理论分析并考虑地震动不同分量的相关性，确定输入地震动时程。

11.3 场地地震反应分析

11.3.1 进行一维场地地震反应分析时，一维模型土层厚度应在所考虑的地震波最短波长的1/20～1/5范围内取值，且不大于5 m。输入地震动时程的尾部应补充零点，且零点数不低于时程离散点数的1/2。

11.3.2 采用有限元法进行二维场地地震反应分析时，有限元网格在波传播方向的尺寸应不大于所考虑地震波最短波长的1/12～1/8。

11.3.3 应同时采用等效线性法和适用于大应变分析的非线性方法进行场地地震反应分析计算，综合确定该计算场点的地震动参数。

11.4　场地地震动参数成果综合

11.4.1　确定不同超越概率水平的地震动参数，超越概率水平宜包括50年超越概率63%、10%、2%和100年超越概率63%、39%、10%。

11.4.2　场地地震动参数包括场地地表及工程建设所要求深度处的地震动参数。

11.4.3　应根据工程需求，确定场地地震动反应谱的最长周期和阻尼比，阻尼比应包括5%，反应谱最长周期不小于10 s；场地地震动反应谱应以公式（1）的函数形式或离散光滑谱形式表示。

$$S_a(T)=A_{max}\times\begin{cases}1 & ，\quad T\le T_0\\ 1+\left(\frac{\beta_{max}-1}{T_1-T_0}\right)(T-T_0) & ，T_0<T\le T_1\\ \beta_{max} & ，T_1<T\le T_g\\ \beta_{max}\left(T_g/T\right)^{\gamma} & ，T_g<T\le T_m\end{cases}\qquad\cdots\cdots\cdots\cdots（1）$$

式中：

S_a　——场地地震动反应谱，单位为米每二次方秒（m/s^2）；

T　——周期，单位为秒（s）；

A_{max} ——场地地震动峰值加速度，单位为米每二次方秒（m/s^2）；

β_{max} ——场地地震动反应谱平台段放大倍数；

T_0　——场地地震动反应谱起点周期，单位为秒（s）；

T_1　——场地地震动反应谱平台段起点周期，单位为秒（s）；

T_g　——场地地震动反应谱平台段终点周期或特征周期，单位为秒（s）；

T_m　——场地地震动反应谱最长周期，单位为秒（s）；

γ　——场地地震动反应谱下降段衰减系数。

11.4.4　基岩场地地震动参数应根据概率地震危险性分析结果确定；土层场地地震动参数应根据以概率地震危险性分析所得基岩地震动为输入的场地地震反应分析结果确定。

11.4.5　宜在综合评价场地地震工程地质条件的基础上，利用多钻孔土层地震反应分析结果，确定场地地震动参数。

11.4.6　宜按照综合分区或地震动参数分区给出场地的分区地震动参数，每个分区内至少有1个钻孔土层地震反应分析结果。

11.4.7　采用竖向与水平向地震动比值来确定场地竖向地震动时，比值应不小于0.65，竖向地震动峰值加速度与水平向峰值加速度的比值可按表1确定，其中水平向峰值加速度分区按GB 18306的规定分档。近场区有全新世断层时，竖向地震动峰值加速度取值应取水平向峰值加速度。

表1　竖向地震动峰值加速度与水平向峰值加速度的比值 K_a

水平向峰值加速度分区值	0.05 g_n	0.10 g_n	0.15 g_n	0.20 g_n	0.30 g_n	0.40 g_n
K_a	0.65	0.70	0.70	0.75	0.85	1.00
注：g_n为标准自由落体加速度，g_n=9.80665 m/s^2（准确值）。						

11.5　场地地震动时程的确定

11.5.1　应采用人工合成方法和选择强震动记录确定多组地震动时程样本，每个超越概率至少7条时程，其中强震动记录的数量应不少于总数的2/3。

11.5.2　人工合成地震动时程应按照GB 17741的规定取得控制参数并进行拟合。

11.5.3　强震动记录应按照GB 17741要求进行选择。

参 考 文 献

[1] GB 17740 地震震级的规定

[2] GB/T 36072 活动断层探测

[3] GB/T 50011 建筑抗震设计标准

[4] GB 51395 海上风力发电场勘测标准

[5] NB/T 11600 风电场工程抗震设计规范