

# 海上风电工程各勘察阶段勘探方法选择

黄斌彩

(福建省水利水电勘测设计研究院, 福州 350001)

**摘要:** [目的] 海上风电工程建设方兴未艾,但目前尚无较好的规程规范作为勘探方法的选择依据,以探讨海上风电工程勘察各阶段勘探方法选择。[方法] 通过对近年来我国海上风电工程勘察实践的归纳,其中勘察的阶段目的与任务、场地地质条件特点两个因素对勘探方法的影响最具共性,更适合进行归纳。通过对勘察阶段划分及场区覆盖层分类选取适合的勘探方法。[结果] 对目前我国海上风电工程勘察阶段划分、场区覆盖层分类及勘探平台的选择进行探讨,并根据各种影响因素对勘探方法选用的影响,对各勘察阶段适用的勘探方法做出切合实际的建议。[结论] 所提建议适合我国海上风电工程勘察目前实际情况,可为海上风电工程勘察各阶段勘探方法选择提供指导。

**关键词:** 勘探方法; 海上风电工程勘察; 覆盖层分类; 勘探平台选择

中图分类号: TK89; TM614

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2020)01-0053-06

## Selection of Exploration Methods in Each Stage of Offshore Wind Power Engineering Investigation

HUANG Bincai

(Fujian Provincial Investigation Design & Research Institute of Water Conservancy & Hydropower, Fuzhou 350001, China)

**Abstract:** [Introduction] The construction of offshore wind power projects is in the ascendant, but there is no good regulation as the basis for the selection of exploration methods. The selection of exploration methods at various stages of offshore wind power engineering exploration is under debate. [Method] Based on the induction of offshore wind power engineering survey practice in recent years in China, two factors, such as the aim and task during the exploration stage and the geological conditions of the site, have the most common influence on the exploration method, which was more suitable for the induction. We selected appropriate exploration methods by classifying the survey stage and classifying the coverage area. [Results] The current classification of offshore wind power engineering surveys, the classification of field cover layers and choice of exploration platform were discussed. Based on the influence of various influencing factors on the selection of exploration methods, practical suggestions for the exploration methods applicable in each survey stage were made. [Conclusion] The proposed proposal is suitable for the current actual situation of offshore wind power engineering survey in China. It can provide guidance for the selection of exploration methods at various stages of offshore wind power engineering survey.

**Key words:** exploration method; offshore wind power engineering survey, overlay classification., choice of exploration platform

工程勘察设计对固定资产投资具有先导和决定性的影响。工程勘察是工程设计的重要基础,工程勘察的质量与精度对工程设计的影响巨大;而工程勘探方法的选择与应用是决定工程勘察的质量与精度的核心因素,勘探方法的合适与否,是工程勘察的质量与精度的决定性因素之一。

影响勘探方法选择与应用的因素众多,其中勘

察的阶段目的与任务、场地地质条件特点两个因素对勘探方法的影响最具共性,更适合进行归纳。本文对目前我国海上风电工程勘察阶段划分及场区覆盖层分类进行探讨,并根据各种影响因素对勘探方法选用的影响,对各勘察阶段适用的勘探方法做出建议。

### 1 勘察阶段划分

#### 1.1 相关规范规定

《陆地和海上风电场工程地质勘察规范》(NB/T 31030—2012)中规定:风电场工程地质勘察分为

规划、预可行性研究、可行性研究、招标设计和施工详图设计五个阶段。各设计阶段勘察工作应内容明确、重点突出,与各阶段的设计工作深度相适应。对于简单场地的风电场,视具体情况可将预可行性研究和可行性研究两阶段合并,直接进行可行性研究阶段的工程地质勘察。

《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)(2009年版)<sup>[2]</sup>中规定:宜分阶段进行建筑物的岩土工程勘察,可行性研究勘察应当满足选择场址方案的要求;初步勘察应当满足初步设计的要求;详细勘察应当满足施工图设计的要求;当遇到场地条件复杂或者是有特殊要求的工程,宜进行施工勘察。反之场地面积较小并且没有特殊要求的工程则可以合并勘察阶段。当已经确定了建筑物的平面布置,并且场地或者附近岩土工程资料齐全时,可直接进行详细勘察。

## 1.2 现状

目前海上风电场的工程勘察基本上按照《陆地和海上风电场工程地质勘察规范》(NB/T 31030—2012)中的相关规定进行,分为规划、预可行性研究、可行性研究、招标设计和施工详图设计五个阶段,并且在必要时进行施工阶段勘察。但在实际的工作当中,常见把招标设计和施工详图设计阶段合并为详细勘察阶段,详细勘察阶段带有较强烈的岩土工程勘察特点。

《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)<sup>[2]</sup>(2009年版)总则第二款中规定:本规范适用于除水利工程、公路、铁路和桥隧工程以外的工程建设岩土工程勘察。一般而言岩土工程勘察的目的主要是查明工程地质条件,剖析工程地质问题,对建筑地区进行工程地质评价。岩土工程勘察的任务是根据不同勘察阶段的特定要求,分析场地的岩土体性态和工程地质条件的影响,再综合设计、施工以及地基处理等工程的具体要求,开展技术评价论证,提出岩土工程问题及解决的决策性建议方案,并提交边坡、基础等工程的岩土工程施工和设计的指导性意见,为施工、设计提供依据,并服务于工程建设的全周期过程。按照不同的勘察对象,可分为:水利水电工程(水电站、水工构造物的勘察为主)、铁路工程、港口码头、公路工程、工业建筑、民用建筑、大型桥梁等。国家分别对水利水电工程、公路工程、铁路工程、港口码头等投资造价及重要性

高的重大工程,进行了专门的分类,编制了相应的勘察规程规范和技术标准等,通常将这些工程的勘察称为工程地质勘察。而风电工程勘察的技术规范脱胎于水利工程,因而亦被称为工程地质勘察。因此,我们常说的“岩土工程勘察”主要指的是工业、民用建筑工程的勘察,勘察对象主体主要包含工业厂房、学校楼舍、房屋楼宇、市政工程、管线及架空线路、医院建筑、岸边工程、基坑工程、边坡工程、地基处理等。因此工程地质勘察和岩土工程勘察两个提法,在我国一般认为区别不大,主要是工程研究对象的区别以及勘察工作中侧重点有所不同。

根据目前国内海上风电工程建设的实际情况:规划、预可行性研究、可行性研究三个项目前期阶段的研究对象以风电场区为主,可称为工程地质勘察;而招标设计和施工详图设计两个阶段的研究对象以具体风机机组基础地基及配套建筑物地基为主,称为岩土工程勘察更贴切。目前在海上风电工程勘察中出现实际运行的详细勘察阶段有较强的合理性。海上风电工程勘察分为:规划、预可行性研究、可行性研究、详勘四个阶段,并在必要时进行施工勘察,是适应我国海上风电工程建设现状的。

## 2 覆盖层分类

拟建场区(机位)的地质条件特点及拟选用(拟建)基础型式,两个影响因素之间存在密切联系,海上风电工程勘察要解决的主要问题是风电机组基础与地基岩土体的关系,其勘探的最主要对象是场区(机位)的上覆沉积层(一般为海积地层,偶见冲洪积、残坡积地层)及下卧的基岩。风电机组基础的影响范围是勘探需要查明的范围,不同海域的上覆沉积层厚度差别较大,是拟建场地地质条件中对勘探方法选用影响最大的因素。因此在海上风电工程勘察中可根据拟选用基础型式的影响深度范围与海床覆盖层厚度的关系分成深厚覆盖层及浅薄覆盖层两类。

### 2.1 深厚覆盖层

深厚覆盖层,指场区(机位)上覆沉积层相对深厚,拟选用(拟建)基础型式对地基岩土体的影响仅在上覆沉积层中,与下卧基岩不发生关系。深厚覆盖层的代表是江苏海域,该海域的大部分海上风电场具有深厚的覆盖层,基础型式多选用摩擦桩,工程勘察的主要研究对象是海积地层。

## 2.2 浅薄覆盖层

浅薄覆盖层，指场区（机位）上覆沉积层相对浅薄，拟选用（拟建）基础型式对地基岩土体的影响不仅在上覆沉积层中，与下卧基岩也发生关系。浅薄覆盖层的代表是福建海域，该海域的大部分海上风电场覆盖层厚度相对浅薄，基础型式多选用端承摩擦桩、摩擦端承桩、嵌岩桩及重力式等，工程勘察的主要研究对象包括海积地层、基岩（基岩风化层），在很多时候基岩（基岩风化层）甚至成为主要研究对象。

## 3 勘探平台选择

海上风电工程一般位于风资源优良的海域，拟建工程区普遍海况复杂，浪高涌大，勘探作业环境恶劣、作业窗口期短。勘探平台的选择对工程勘探的质量、效率、安全有着决定性的影响。目前我国海上风电工程勘察中使用的勘探平台，主要可分为漂浮式与固定式两种。

### 3.1 漂浮式平台

漂浮式平台有船式平台、浮筏式平台等。船式平台多用于较深水域，浮筏式平台多用于滩涂潮间带区域。目前应用于海上风电工程勘探的主要是船式平台。船式平台主要分为两大类：专用勘探船及改装船。

船式平台优点：适用水深范围较大，目前国内已有 50 m 水深的应用案例；移动方便，进出场（转场）一般自航进行，速度快，对海况适应能力强；选择范围广，可根据工程区的实际海况和勘探作业的实际需要选择不同的船舶；定位精度高，目前实际工程勘探中，通过锚泊定位能将勘探点的定位精度控制在 2 m 以内。

船式平台缺点：难以抵御恶劣海况对勘探作业的影响，作业窗口期短；作业过程中无法完全避免平台的起伏影响，钻探的取芯率、不扰动土样的采取、原位测试的精度等均无法保障，无法有效控制勘探作业的质量。

### 3.2 固定式平台

固定式平台主要有桁架式平台、自升式平台两大类。目前的应用实例中，桁架式平台主要适用于滩涂潮间带等水深小于 5 m 的区域，自升式平台主要适用于 5~50 m 水深的区域。目前应用于海上风电工程勘探的主要是自升式平台。

自升式平台勘探作业时不受海况影响，工作效率高，勘探作业设备可采用陆域设备，作业场地基本等同陆地，基于钻孔的原位测试、孔内测井、不扰动土样采取等作业可高质量实现，大幅提高钻探取芯率，实现陆域静力触探等原位测试设备的海域使用。目前全国各海域均有成功应用自升式平台进行海上风电工程勘探的案例。

自升式平台优点：定位精度高；作业期间海况适应能力强；能够在海域实现陆域勘探作业环境，大幅提高勘探质量与精度；可进行静力触探等原位测试，取得设计需要的原位参数。

自升式平台缺点：适应水深有限，目前国内尚无能适用于 50 m 以上水深勘探作业的自升式平台；进出场（转场）依靠拖航进行，速度慢；国内现有自升式勘探平台数量较少，尚不能满足海上风电工程勘探的需求。

### 3.3 船式平台与自升式平台对比

目前国内海上风电工程勘探中主要使用船式平台与自升式平台两种勘探平台，在此根据目前海上风电工程勘探中两种平台应用的实际情况，从环境适应性、勘探质量、效率与安全三大方面对两种平台进行粗略对比，如表 1 所示。

从表 1 中可以看出，一共三大类 18 个细项的对比中，船式平台仅在 2 个细项中占有优势；固定式的勘探平台与漂浮式的勘探平台相比，优越性明显。因此，在项目条件许可时，海上风电工程勘探应优先使用自升式平台进行。

## 4 各勘察阶段勘探方法选择

### 4.1 规划阶段

海上风电工程建设规划阶段工程地质勘察的主要目的是：了解规划区域的基本工程地质条件，对近期开发工程进行地质分析，提供工程地质资料。主要任务是：了解规划海域的地震和区域地质概况，了解规划海域风电场的工程地质条件和存在的主要工程地质问题，以判断是否适合建设风电场。

本阶段的勘察对象是规划区域及规划区各风电场，勘察工作深度以了解为主，勘察手段以内业收集资料为主，一般不进行外业勘探工作。

### 4.2 预可行性研究阶段

海上风电工程建设预可行性研究阶段工程地质勘察的主要目的是：在规划确定的风电场进行勘察

表1 船式平台与自升式平台对比分析表  
Tab. 1 Comparative analysis of ship platform and jack-up platform

类别	细项	船式平台	自升式平台	备注
环境适应性	最大水深	一般吨位越大的船舶适用的水深越深,目前在50 m以上水深目前只能选用船式平台。	目前国内采用的自升式平台最大能适应50 m水深。	船式优
	最小水深	视选用船舶不同可适应1~5 m水深;一般不具备坐滩施工能力。	可适应0 m水深,趁潮就位。	自升式优
	风	作业期间需6级及以下风力条件。	作业期间需7级及以下风力条件。	自升式优
	浪、涌	受浪、涌影响较大。	不受浪、涌影响。	自升式优
勘探质量	采取率	受海况影响巨大,难以进行全断面取芯作业;砂层、基岩风化层、破碎带等采取率普遍低于50%。	受海况影响小,可以进行全断面取芯作业;砂层、基岩风化层采取率普遍高于80%。	自升式优
	取样	一般无法采取I级不扰动土样,可采取II、III、IV级土样。	可采取I、II、III、IV级土样。	自升式优
	标贯、重II	受船式平台晃动的影响大,试验所得数据信度低。	无晃动影响,试验所得数据信度高。	自升式优
	综合测井	受船式平台晃动的影响较小,试验所得数据信度较高。	无晃动影响,试验所得数据信度高好	自升式优
	旁压试验	受船式平台晃动的影响较大,试验所得数据信度较低。	无晃动影响,试验所得数据信度高	自升式优
	静探	无法进行。	可行,等同陆域测试。	自升式优
	十字板	无法进行。	可行,等同陆域测试。	自升式优
	扁铲	无法进行。	可行,等同陆域测试。	自升式优
	水文试验	注水、抽水、压水试验受平台晃动影响,难以达到试验要求。	可行,等同陆域测试。	自升式优
效率与安全	作业时间	作业时间受海况和气候条件影响,正常平潮期间作业条件较好,无法实现24 h不间断作业。	作业时间不受海况影响,但也受气候条件影响,可实现24 h不间断作业。	自升式优
	航速及转场	船式平台一般为自航式,航速一般3~12节。转场及回港避风时速度快,对海况适应能力强。	自升式平台一般为拖航式,拖航航速一般1~5节。转场及回港避风时速度慢,对海况适应能力较差。	船式优
	作业抗风	6级以上停止作业,8级以上回港避风。	7级以上停止作业,9级以上回港避风。	自升式优
	作业人数	含勘探作业人员、船员合计12~15人,其中钻探班组人员一般6~10人。	含勘探作业人员、船员合计10~12人,其中钻探班组人员一般4~8人。	自升式优

和工程地质初步评价,为选定场址提供工程地质资料。主要任务是:补充采集场址区的地震资料,初步评价其区域稳定性;初步查明场址的工程地质条件和存在的主要工程地质问题,并评价影响场址选择的主要工程地质问题;初步查明场址的地层组成成分、地层分层厚度以及风电机组基础持力层的埋藏深度,初步对风电机组基础形式和地基处理方案提出建议。

本阶段的勘察对象是规划的风电场区,勘察工作深度为初步查明并作出初步评级与初步建议,勘察手段除进一步收集资料外,还应进行必要的外业勘探工作。

建议本阶段除对场区进行少量钻探及取样与原位测试之外,还应对场区进行海洋磁力探测、浅地层剖面探测、多通道地震探测,利用相对快捷的物探手段对场区进行排查和初步查明场区的基本工程地质条件。有条件时可构建场区的初略三维地形地质模型,更好地明确场区的建设适宜性并为风电机组的初步布置提供三维地质资料。

#### 4.3 可行性研究阶段

海上风电工程建设可行性研究阶段工程地质勘察的主要目的是:在预可行性研究阶段工程地质勘察的基础上,查明场区的工程地质条件并进行工程地质评价,为风电机组布置提供地质资料。主要任

务是: 复核并确定场区的震动参数, 补充并明确场区的区域稳定性评价; 查明场区的工程地质条件和主要工程地质问题, 并对影响风电机组布置的主要工程地质问题做出评价; 查明场址区的地质组成、地层分层厚度、特殊岩土体的分布情况、风电机组基础持力层的埋藏深度及其物理力学参数, 对风电机组的基础形式和地基处理方案提出建议<sup>[3]</sup>。

本阶段的勘察对象是选定的风电场区及主要配套建(构)筑物, 对风电场区的勘察工作深度要求为查明并作出评级与建议, 对主要配套建(构)筑物的勘察工作深度要求为调查了解, 勘察手段转入以外业勘探工作为主的阶段。

本阶段的重点勘探对象是拟建场区, 建议结合机位的初步布置对深厚覆盖层的场区进行以静力触探及原位测试为主, 钻探及取样为辅的勘探工作; 而对浅薄覆盖层的场区进行以钻探及取样为主, 静力触探及原位测试为辅的勘探工作。如预可行性研究阶段未对场区进行海洋磁力探测、浅地层剖面探测、多通道地震探测的, 应在静探、钻探前结合机位的初步布置先行进行; 如预可行性研究阶段已对场区进行海洋磁力探测、浅地层剖面探测、多通道地震探测工作但较为初略, 或与机位的初步布置结合度较差, 应在静探、钻探前结合机位的初步布置加密进行; 以更好地指导静探、钻探等工作。有条件时应构建拟建场区的三维地形地质模型, 为风电机组的布置提供三维地质资料。

可行性研究阶段的勘察工作是整个海上风电工程勘察的最重要节点, 该阶段的勘察成果不仅是风电机组布置确定的主要边界条件之一, 还是风电机组基础型式选择的重要依据。该阶段应用的工程勘探方法是海上风电工程勘察全程中最丰富的阶段, 通过该阶段对各种勘探方法的实际应用效果验证, 对详勘阶段大量的勘探工作有着良好的指导作用。但目前因为各种因素, 在国内海上风电工程中对可行性研究阶段勘探工作的投入不足, 各种勘探方法对工程的适用性无法得到充分验证; 因此, 建议各参与方能群策群力加大对可行性研究阶段勘探工作的投入, 使得该阶段的勘察成果能更好的发挥节点作用。

#### 4.4 详勘阶段

海上风电工程建设详勘阶段岩土工程勘察的主要目的是: 风电机组布置确定后, 在可行性研究阶

段工程地质勘察的基础上, 查明场区每台风电机组基础、升压站(变电站)、集电线路及场内道路等建(构)筑物的工程地质条件, 进行地基工程地质评价, 为风电场招标文件编制和施工图设计提供地质资料。主要任务是: 查明每台风电机组基础地基的工程地质条件和主要工程地质问题; 查明风电机组基础形式持力层的埋藏深度, 提出其物理力学指标建议值; 对风电机组基础地基存在的主要工程地质问题做出评价, 提出建议及处理方案; 查明陆上或海上升压站的工程地质条件, 进行工程地质问题的评价; 查明场内道路的工程地质条件, 进行工程地质问题的评价; 查明集电线路的工程地质条件, 进行工程地质问题评价。即对每台风电机组基础及主要配套工程建(构)筑物基础的工程地质条件、工程地质问题、地基岩土层的物理力学建议值和地基处理措施等提出明确并尽可能定量的建议<sup>[4]</sup>。

本阶段的勘察对象是布置确定的机位及主要配套建(构)筑物, 对机位的勘察工作深度要求为查明及提出参数建议, 并作出评级与建议, 对主要配套建(构)筑物的勘察工作深度要求为查明并作出评级与建议, 勘察手段以外业勘探工作为主。

本阶段的重点勘探对象是机位, 建议对深厚覆盖层的机位进行以静力触探及原位测试为主, 钻探及取样为辅的勘探工作; 而对浅薄覆盖层的机位进行以钻探及取样为主, 静力触探及原位测试为辅的勘探工作。有条件时应构建机位的三维地形地质模型, 为风电机组基础的优化设计提供三维地质资料。

详勘阶段的勘察工作是整个海上风电工程勘察工作中勘探工作量最大的阶段, 该阶段的勘察成果是风电机组基础设计(优化设计)的重要依据。根据可行性研究阶段对各种勘探方法的实际应用效果, 选择适用于各机位的工程勘探方法至关重要。

## 5 结论

海上风电工程勘察分为规划、预可行性研究、可行性研究、详勘四个阶段, 并在必要时进行施工勘察, 是适应我国海上风电工程建设现状的。海上风电工程勘探方法的选用是决定海上风电工程勘察质量的重要因素之一, 综合考虑各种勘探方法的特征和项目的阶段要求等因素, 选取适合的勘探方法是做好海上风电工程勘察的基本要求。

在现阶段为了进一步提高我国海上风电工程勘

察质量,有以下几点主要建议:

1) 在可能使用自升式平台的时候,优先选用自升式平台进行海上风电工程勘探工作;固定式的勘探平台与漂浮式的勘探平台相比,优越性明显。

2) 应重视并积极推进以静力触探为首的原位测试在海上风电工程勘探中的应用;原位测试在当前我国海上风电工程勘探中存在短板问题,积极推进静力触探、十字板剪切、扁铲侧胀、旁压试验等原位测试技术手段的应用,是应有的补短。

3) 加大对可行性研究阶段勘探工作的投入力度;可行性研究阶段的勘察成果具有重大节点作用,目前该阶段的勘探工作投入不足。

4) 推进三维地形地质模型在复杂地形地质条件的海上风电工程勘察设计中的应用;三维地形地质模型在提高风电机组的布置精度以及优化风电机组基础设计中应用效果良好。

#### 参考文献:

- [1]. 国家能源局. 陆地和海上风电场工程地质勘察规范: NB/T 31030—2012 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2013.  
National Energy Administration. Specifications for engineering geological investigation of wind power projects: NB/T 31030—2012 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2013.
- [2]. 中华人民共和国建设部. 岩土工程勘察规范: GB 50021—2001 [S].

北京: 中国建筑工业出版社, 2009.

Ministry of Construction of the PRC. Code for investigation of geotechnical engineering: GB 50021—2001 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009.

- [3]. 黄斌彩. 福建海上风电工程勘探技术探讨 [J]. 福建水力发电, 2018 (2): 48-51.  
HUANG B C. Exploration technology of offshore wind power engineering in Fujian Province [J]. Fujian Shuili Fadian, 2018 (2): 48-51.
- [4]. 黄斌彩. 静力触探技术在海洋工程勘探中的应用研究 [C]// 中国建筑学会工程勘察分会. 2016年全国工程勘察学术大会, 山西, 2016. 北京: 中国建筑学会工程勘察分会, 2016: 39-41.  
HUANG B C. Application of cone penetration test technology in off-shore investigation [C]// Architectural Society of China. National Engineering Survey Academic Conference in 2016, Shanxi, Sep. 5, 2016. Beijing: Architectural Society of China. 2016: 39-41.

#### 作者简介:



黄斌彩

#### 黄斌彩 (通信作者)

1973-, 男, 福建永定人, 福建省水利水电勘测设计研究院新能源设计分院副院长, 高级工程师, 注册土木工程师(岩土)、咨询工程师(投资), 兰州大学水文地质与工程地质学士, 主要从事海上风电工程勘察及相关研究 (e-mail) fjsdy661@sina.com。

(责任编辑 郑文棠)



国内目前服务于海上风电工程勘探中最先进的自升式勘探平台之一“凯旋海勘501”