

海上风电桩基套笼施工工艺研究

李 鹏^{1, 2}, 陈永敢^{1, 2}

(1. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122; 2. 浙江华东工程咨询有限公司, 浙江 杭州 311122)

摘 要: 依靠优秀风能质量以及储备富足等优势, 海上风电技术在近年取得快速发展。由于其所处环境更为复杂, 对基础以及附属构件的施工工艺提出了更高的要求。文中介绍了一种集成式套笼附属构件结构, 并结合工程实例研究其施工工艺。

关键词: 海上风电; 套笼; 附属构件; 施工工艺

中图分类号: TM614

文献标识码: A

文章编号: 1006-7973 (2023) 01-0157-02

引言

随着传统能源供应方式的污染被人们所认识到, 新能源技术逐渐登上舞台, 风力发电技术更是其中的主力军之一, 具体又可分为陆上风电与海上风电。二者相比较, 海上风电有相对较好的风能蕴藏, 不占用宝贵的土地资源, 不影响人类日常生活, 离沿海的电力负荷中心更近, 且可开发的储量巨大, 未来市场空间广阔^[1], 加上陆上优质场地开发殆尽, 近年来发展的重心在向海上风电靠拢。我国海域广阔, 对于发展海上风电有着天然的优势。

不同于陆上风电, 海上风电结构所承受的环境荷载更为复杂, 对结构的稳定性和可靠性要求更高, 因此对于其基础的设计和施工有特别的要求, 工程中采用最多的形式为单桩基础。单桩基础结构简单, 整个基础结构可全部在工厂内加工制造完成, 不受海上环境影响, 加工质量有保证, 且海上施工进度快, 与其他基础型式相比, 更加经济可靠, 所以在已建海上风电场中应用最为广泛^[2]。单桩基础通常需配合套笼附属构件一同使用, 以满足施工以及后期维护的需要。套笼附属构件主要由外平台、内平台、靠船构件、电缆管和牺牲阳极构件等组成。

套笼附属构件结构设计时主要考虑 3 方面因素: 1) 满足本身功能要求, 这也是附属构件设计的首要条件; 2) 满足环境荷载要求, 在各种环境荷载作用下不至于受到破坏, 设计时按承载能力极限状态及正常使用极限状态进行设计; 3) 易于加工制造和现场安装, 尤其在现场施工过程中, 要适应海上窗口期短的条件限制, 同时安装风险低。

一、集成式套笼附属构件结构

集成式套笼附属构件为目前主流的结构形式, 主要包括内平台、外平台、圈梁、支撑竖杆、靠船构件、电缆管以及牺牲阳极部件。如图 1 所示, 该结构形式形式结构简单、功能完善, 且现场施工安装便捷, 在陆地组装成型后直接运送到桩基处吊装安装即可。

套笼的主体结构是由多层圈梁间隔一定距离并通过支撑竖杆进行固定, 构成圆柱形的笼状结构, 具体的构件尺寸根

据不同的工程条件进行变化。笼状结构的顶端设置内平台与外平台, 为后期工作人员进行后续施工以及设备维修提供空间。

在结构侧面通常设置靠船结构与电缆管。其中, 靠船构件由多块顶板和直爬梯组成, 为工作人员提供了船舶停靠风机登录外平台的通道。而电缆管一般呈“J”型, 为内部穿过的海缆提供保护作用, 与外部环境隔开。

相比于陆地环境, 海洋中造成风机基础腐蚀的因素更为复杂多变, 且对其进行维修的难度和成本也更大, 因此往往需要采用一定的防腐手段, 牺牲阳极部件的作用正是在此。牺牲阳极的防腐机理是使海水以下位置的海上风电基础与电位更负的金属进行电连接, 或者通过强制外加从海水、海泥到海上风电基础的电流, 使之阴极极化, 从而消除电化学腐蚀^[3]。

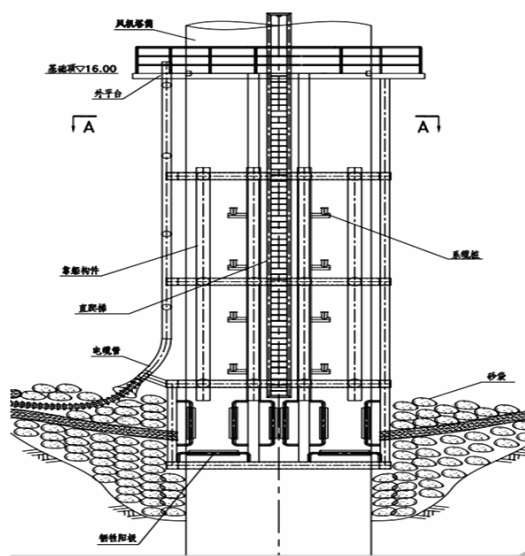


图 1 集成式套笼附属构件

二、工程概况及施工工艺

下面引入江苏如东 H4#海上风电场工程项目并对其建设过程中套笼施工工艺进行研究。江苏如东 H4#海上风

收稿日期: 2022-02-09

作者简介: 李 鹏 (1981), 男, 高级工程师, 主要从事电力项目管理研究。

风电场项目位于南通市如东海域，在洋口港水域港界北侧，河豚沙西部，场区中心离岸距离 33km，海底泥面高程在 -18.6~0m（85 高程）之间，海底地形起伏明显。风电场形状呈梯形，东西方向长约为 13km，南北方向平均宽约为 5km，风电场涉海面积 64km²，规划装机容量 400MW。风机采用单桩式基础并配合集合式套笼附属构件。

集成式套笼附属构件结构单重约 50~90T，利用起重船进行安装，起重船起重负荷完全满足要求。套笼竖向放置于运输船甲板面进行绑扎固定后运输至现场。由于海上现场涌浪大，套笼高度高，套笼上平台摇晃幅度大，且套笼上平台内侧无围挡，施工人员上至套笼上平台进行挂扣操作非常危险，现配置高于套笼的钢丝绳，在后方制作现场便将套笼吊装索具挂扣完成，吊装钢丝绳一端搁置于运输船甲板，海上现场吊装施工人员直接在运输船甲板挂钩即可，安全有保障。集成式套笼吊装吊索具清单见表 1。

表 1 集成式套笼安装吊索具清单

序号	1	2
名称	双头扣钢丝绳	弓形卸扣
数量	24 根	24 个
规格	L=38m，SWL35T	SWL35T
备注	每个套笼吊装用 4 根，共配 6 套 每个套笼吊装用 4 个，共配 6 套	

集成式套笼海上现场安装具体流程如下：

（1）运输靠泊，施工人员运输船甲板挂扣，浮吊起吊集成式附属构件套笼。

（2）浮吊旋转吊臂将集成式附属构件套笼吊至桩基础顶部。缓慢放钩防止发生摩擦或磕碰等，避免造成附属构件及桩基保护层的损伤。同时通过缆风绳旋转集成式附属构件的方向，使其安装方向与桩基础方向一致。

（3）附属构件安装完成后，检查基础防腐涂层的损伤情况，若有损伤，按规定进行修补。

附属构件安装完成后，检查基础防腐涂层的损伤情况，修补方法：

①修补前先对破损位置进行表面清洁处理，除去水、油污、异物等，并用压缩空气吹干后，再喷砂处理到 Sa2.5 级或用动力工具打磨至 St3 级。除锈打磨的方法的选择，视破损面积的大小及施工条件而定，具备工厂修补条件时，优先采用喷砂方式。

②防腐涂料供应商必须为承包方制定修复规范，该修复规范及涂料性能等相关数据必须在第 1 批涂料（或第 1 个样品）交货前提供给建设单位及设计认可。

③采用由防腐涂料供应商确认并经设计认可的适合潮湿环境施工的涂料进行补涂刷。



图 2 集成式附属构件起吊

为保证集成式套笼附属构件的施工质量，还需做以下相关规定：

（1）集成式附属构件安装偏差控制在 1.5‰范围内，且总偏差不得超过 30mm；构件制作过程中应在工厂内进行预组/拼装（含外平台），组/拼装无误并经设计和监理验收后方可运至现场整体安/吊装。

（2）附属构件施工过程应采取有效措施防止起吊的摩擦或磕碰等，避免造成附属构件及桩基保护层的损伤。

（3）附属构件安装完成后，应检查基础防腐涂层的损伤情况，并按相关规定修补。

（4）底部圈梁为非承重构件，在加工、制作、运输中均应配备必要的施工机械及工装保证措施，并注意对电缆管喇叭口予以保护。

三、结论

海上风电是未来风电技术的发展方向，相关的结构设计和施工工艺研究还有很长的一段路要走。文中介绍了海上风电附属构件套笼的主要结构与各部分的主要功能，并结合工程实例从构件吊装、防腐检测以及施工质量保证措施对该附属构件的施工工艺做了研究，利用文中提到的方法进行套笼构件的安装及检测能够增强结构的稳定性，保证施工安全性，提高施工效率，并方便工作人员进行后续的调试和维护。

参考文献

- [1] 郑海,杜伟安等.国内外海上风电发展现状[J].水电与新能源, 2018, 32(6): 75-77.
- [2] 王怀明.冰区海域单桩基础附属构件结构型式[J].船舶工程, 2021, 43: 147-150.
- [3] 何小华,张力.海上风机基础阴极保护设计与应用[J].南方能源建设, 2015, 2(3): 76-79.

（上接第 139 页）

- [6] 木材物理力学试验方法总则：GB/T 1928—2009[S].北京：中国国家标准化管理委员会，2009.
- [7] Wood Handbook, wood as an engineering material, general technical report [R]. Madison, Wisconsin: Forest products

laboratory, United States Department of Agriculture, Forest Service, 2010.

- [8] 王明谦,宋晓滨,顾祥林等.胶合木梁柱螺栓-钢填板节点转动性能研究[J].建筑结构学报, 2014, 35(9): 141-150.