**2020年高等学校科学研究优秀成果奖公示（自然科学奖）**

**项目名称：**新型海上风电基础的沉贯和承载机理理论与方法研究

**提名单位：**山东科技大学

**项目简介：**

海上风电基础服役期长期受复杂风、浪、流以及叶轮转动产生的动力荷载作用，导致海工基础的沉贯及承载机理与陆地基础存在显著不同。模型试验是研究海上风电基础沉贯、承载特性的重要手段，研发先进的模型试验系统，有助于全面反映海上风电基础实际受荷特点，揭示基础沉贯、承载机理。本项目研究工作持续了10余年，主要研发了新型海上风电基础及模拟风-波浪共同作用的海工基础多向复杂加载系统，进行了海上风电基础沉贯和承载机理理论研究等工作，取得一系列创新性标志性成果，具体如下：

（1）**研发了模拟风-波浪共同作用的海工基础多向复杂加载系统**。加载系统可同时施加模拟风荷载、波浪荷载、叶轮转动产生的动力荷载和竖向荷载（结构自重）。系统嵌入了我们提出的模型试验所采用的风荷载和波浪荷载计算方法。该方法过输入对应实际风荷载、波浪荷载、叶轮转动产生的动力荷载、试验比尺以及相似材料的试验参数，自动生成模型试验风荷载和波浪荷载。另外，加载系统首次实现了风荷载、波浪荷载同时不共向加载，以及各种荷载方向持续变化的复杂加载模式，并解决了不共向加载过程中模型及上部结构的变形协调问题，从而真实反映出了实际海工基础受荷特性。此加载系统已在山东科技大学、福州大学和潍坊学院等高校投入使用，试验结果的可靠性得到了国内外学术界的广泛认可。

（2）**裙式吸力基础沉贯特性研究**。针对海上风电基础的受荷特点，我们发明了一种新型海上风电基础形式-裙式吸力基础。首次提出了一种可视化颗粒示踪法，揭示了裙式吸力基础沉贯过程中内部土塞形成和周围土体迁移流动规律，结合数值模拟，获得沉贯过程中基础周围渗流场分布，阐明了裙式吸力基础的沉贯机理。另外，首次应用改进的滑移线场理论，提出了更为合理的计算吸力基础沉贯所需吸力值最大和最小值方法。

（3）**裙式吸力基础承载机理研究**。证实了裙式吸力基础在等用钢量条件下承载力较传统吸力基础显著提高，并具有有效控制基础变形的能力。提出了净土压力分析方法和基础转动点确定方法，联合这两类方法，揭示了裙式吸力基础在水平荷载作用下的运动和破坏机理。发明了水准平衡法和竖向位移拟合法，得到了水平荷载作用下基础周围土体变形规律，可用来揭示基础的承载机理。针对多桶海上风电吸力基础受力特性，研究了裙式吸力基础抗拔承载机理，创造性提出了裙式吸力基础抗拔计算理论和基础内部被动吸力演化方法。另外，吸力基础具有可回收重复利用的优点，我们首次开展了风机服役期结束后，吸力基础注水拔出机理的模型试验研究。提出了一种高压注水-高频震动联合拔出新方法，采用可视化研究方法，揭示基础拔出过程中，内部土塞变化发展机制，得到了土体渗流破坏临界条件。

（4）**扩底桩承载机理研究。**提出了扩底桩端阻力和侧阻力特征值确定方法，推导出扩底桩及群桩沉降计算理论公式，阐明了扩底桩基础的荷载传递过程及其承载力发挥机理；得出扩底桩极限扩孔压力计算公式，揭示了扩底桩基础破坏的力学机制；阐述了风浪荷载作用下扩底桩桩周土的应力特征及扩底桩的地震反应特性，解决了扩底桩基础设计中承载力确定、沉降计算及抗震设计的科学难题。

该项目研究为海上风电基础承载理论的研究，推动海工基础的发展和进一步应用具有重要的科学意义。

**主要完成人情况：**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 李大勇 | 性别 | 男 | 排 名  | 1 | 技术职称 | 教授 |
| 工作单位 | 福州大学 |
| 完成单位 | 山东科技大学 |
| 对本项目重要科学发现的贡献：作为本项目第一完成人，在该项目中全面负责、组织、协调项目的顺利开展，通过长期的理论研究，对项目创新成果1、2、3做出了贡献。具体包括（1）自主研发了复杂海洋环境荷载的海工结构-基础一体化模型试验系统，尤其能实现海洋平台及海上风电基础所受的风和波浪方向动态变化的真实加载过程，处于国际先进水平，已在福州大学、山东科技大学、潍坊学院等高校建成使用，建成了福州大学海洋岩土工程中心。（2）研发了新型海上风电基础形式—“裙式吸力基础”，揭示其吸力沉贯机理及组合承载机制，提出了基础设计计算理论。代表性论文1、3的第1作者，代表性论文2、3的通讯作者。 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 高 盟 | 性别 | 男 | 排 名  | 2 | 技术职称 | 副教授 |
| 工作单位 | 山东科技大学 |
| 完成单位 | 山东科技大学 |
| 对本项目重要科学发现的贡献：提出了大直径桩端阻力和侧阻力的特征值确定方法，得出了大直径桩的极限扩孔压力公式，阐明了大直径桩的承载机理和破坏模式，推导出了大直径单桩及群桩沉降计算公式，研究成果形成了中华人民共和国行业标准（JGJ/T 225-2010）《大直径扩底灌注桩技术规程》，解决了大直径桩承载力确定和成孔的技术难题，结束了以往大直径桩没有设计理论的历史。代表性论文4第1作者。 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 张雨坤 | 性别 | 男 | 排 名  | 3 | 技术职称 | 讲师 |
| 工作单位 | 山东科技大学 |
| 完成单位 | 山东科技大学 |
| 对本项目重要科学发现的贡献：在本项目中主要承担模型试验和数值模拟工作，研究了裙式吸力基础在砂土中的沉贯机理和水平承载特性，揭示了沉贯过程中基础周围砂土迁移流动规律和裙式吸力基础水平承载特性影响因素，提出基础优化选型方法。与项目第一完成人李大勇教授共同开展海洋工程模型试验系统的研发。对项目成果1、2、3做出贡献。代表性论文2第1作者。 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 陈旭光 | 性别 | 男 | 排 名  | 4 | 技术职称 | 教授 |
| 工作单位 | 中国海洋大学 |
| 完成单位 | 中国海洋大学 |
| 对本项目重要科学发现的贡献：完成人近年来聚焦于吸力式基础在施工中面临的实际工程问题，被授权相关专利9项（第一发明人），提出了解决吸力式基础沉贯困难、锚壁屈曲和稳定性检测等难题的系列专利，形成了服务于深远海资源开发的吸力式基础专利群，降低其施工难度，增加了吸力式基础的服役年限。提出的“吸力式基础注浆冲刷防护技术”及“灌浆式吸力锚及其安装方法”成功应用于渤海锦州93-3 油田桶基基础的冲刷防护。项目采用完成人提出的“高压旋喷注浆”工艺，对基础周围土体进行加固处理，有效解决了吸力式基础冲刷防护的问题，完成人提出的技术方法贡献了 716.61 万元的经济效益，为恶劣海况下海上工程基础施工的顺利完成提供了重要的指导作用，具有显著的社会与经济效益。代表性论文5第1作者。 |

**主要完成单位：**

山东科技大学（第一位）、中国海洋大学（第二位）

**代表性论文目录：**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 论文（专著）名称/刊名/作者 | 年卷页码（xx年xx卷xx页） | 发表（出版）时间（年月日） | 作者排序 |
| 1 | Capacity of modified suction caissons in marine sand under static horizontal loading/Ocean Engineering/李大勇、张雨坤、冯凌云、高玉峰 | 2015年102卷1-16页 | 2015年5月16日 | 李大勇、张雨坤、冯凌云、高玉峰 |
| 2 | Earth pressures on modified suction caisson (MSC) in saturated sand under monotonic lateral loading/Journal of Renewable Sustainable Energy /张雨坤、李大勇、高玉峰 | 2016年8卷053312页 | 2016年10月31日 | 张雨坤、李大勇、高玉峰 |
| 3 | 砂土中桶形基础吸力值的设定范围 /岩土力学/李大勇、吴宇旗、张雨坤、高玉峰 | 2017年38卷985-992+1002页 | 2017年2月7日 | 李大勇、吴宇旗、张雨坤、高玉峰 |
| 4 | 层状地基群桩沉降计算的剪切位移解析算法/岩土力学/高盟、高广运、杨成斌、冯世进、季瑜君 | 2010年31卷1072-1077页 | 2010年4月10日 | 高盟、高广运、杨成斌、冯世进、季瑜君 |
| 5 | Stability analysis of suction bucket foundations under wave cyclic loading and scouring/Marine Georesources &  Geotechnology/陈旭光、刘涛、姜育科、刘红军、寇海磊、许建朋、刘茜茜、刘金忠、马天驰、冯涛、牛小东 | 2018年36卷749-758页（2017年10月31日，网络发表） | 2017年10月31日 | 陈旭光、刘涛、姜育科、刘红军、寇海磊、许建朋、刘茜茜、刘金忠、马天驰、冯涛、牛小东 |