

浙江省科技进步奖项目公示

一、成果名称：

高等级大长度光电复合海底电缆关键技术研发与产业化

二、提名者及提名意见

提名者：宁波市人民政府

提名意见：经审查，该成果符合申报要求，同意提名申报 2019 年度浙江省科技进步奖一等奖。

三、成果简介：

海缆是海洋通讯及电力的关键传输设备，符合党中央国务院“一带一路”倡议，是海上丝绸之路和海上风电建设中的关键核心装备。光电复合海缆更是开发利用海洋经济、保障海上能源供给及信息传输自主安全、捍卫国家海洋权益、确保海岛及其领海安全的重大基础设施。我国海缆的设计制造、敷设施工和运行维护与国外先进水平存在巨大差距，长期依赖进口。随着国家大力发展海洋战略，海上丝绸之路建设和领海岛礁安全受到空前重视，高等级大长度海缆已成为国家重大战略性物资。为突破国外海缆技术封锁，东方电缆联合国内科研院所开展技术攻关，成功开发出具有自主知识产权的高等级、大长度和高可靠性海缆。

本成果研究开发高等级大长度光电复合海底电缆及生产装备，取得如下技术创新：

1) 首次提出铠装层内部复合光纤单元结构、非磁性异型金属丝铠装结构和分段铠装结构，创新了高等级光电复合海缆结构设计；

2) 采用独创的立式成缆技术、新型沥青涂敷技术，结合内外圈托轮支承和卧式收放线技术，成功制造出超大长度无接头新型高等级海缆；

3) 首次提出导体分层银钎焊技术、绝缘层整体注塑和加压硫化技术，开发出新型高等级海缆软接头，使海缆长度达到使用极限，成功开发出高等级海缆过渡接头并完成可靠性和实用性验证；

4) 研究了绝缘材料老化后的电气性能及微观特征的对应关系以及老化导致绝缘失效的机理，实现了海缆在深海服役环境及工况条件下的力学—电化学损伤演变过程分析及服役寿命预测，并开发了一种新型耐磨防腐蚀涂层材料，大大提高了海缆服役寿命。

本成果获得国家授权专利 14 项（发明专利 6 项）、制定海底电缆国家标准 2 项、发表论文 17 篇，其中被 SCI/EI 收录 9 篇。2016 年 5 月通过中电联组织的成果鉴定，整体技术居国际先进水平。项目开发的海底电缆完全替代进口，已应用于国家电网、南方电网、中海油石油平台及海上风电等海底输电工程。成果自研发成功至今已累计实现销售超 20 亿元。

成果属于《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》构建智能电网和海上风力发电领域，是国家发展改革委《产业结构调整指导目录》中“海上风电机组技术开发与设备制造”的核心部件，解决了我国远海电力传输领域“卡脖子”工程关键技术，打破了国外产品的垄断，提升了我国智能电网技术、海上风电专用技术的国际影响力。成果产品被列入《军民两用高新技术民营企业及产品推荐目录》。成果单位 2017 年被中国电器工业协会电线电缆分会授予“全球海缆最具竞争力企业 10 强”。

四、第三方评价

1. 项目成果鉴定结论

2016年5月，中电联组织的项目成果鉴定，鉴定委员会认为项目产品综合技术性能达到国际先进水平，同意通过产品鉴定，可以批量生产。

2. 技术检测报告

1) “220kV1600mm²XLPE 绝缘海底电缆系统(含工厂软接头)”于2016年4月6日通过国家电线电缆质量监督检验中心的预鉴定试验。

2) “3芯127/220kV铜芯交联聚乙烯绝缘分相铅套粗圆钢丝铠装聚丙烯纤维外被层光纤复合海底电缆及附件组成的电缆系统(含工厂接头)”于2017年8月通过电力工业电气设备质量检验测试中心检测。根据GB/T32346.1~3-2015和CIGRE TB 490:2012标准进行了检测，型式试验项目合格。

3) 500kVXLPE海底电缆系统预鉴定试验报告于2018年9月13日通过电力工业电气设备质量检验测试中心的预鉴定试验，是我国首个通过该项目试验的企业。

4) “500kV交联聚乙烯绝缘海底电缆及附件组成的电缆系统(含工厂接头)”于2017年1月11日通过中国电力科学研究院检测。根据CIGRE TB 490:2012, GB/T 22078.1~3-2018和IEC 62067:2011标准进行了检测，型式试验项目合格。

5) “500kV交联聚乙烯绝缘光纤复合海底电缆及附件组成的电缆系统(含工厂接头)”于2017年1月11日通过中国电力科学研究院检测。根据CIGRE TB 490:2012, GB/T 62067:2011和IEC 62067:2011标准进行了检测，型式试验项目合格。

3. 科技查新报告

1) 2016年6月23日，教育部科技查新工作站针对“额定电压220kV交联聚乙烯绝缘光电复合海底电缆”成果中的立式成缆机和交联聚乙烯电缆软接头技术进行查新。查新结论认为：“未见明确提及通过立式成缆机实现三芯220kV光电复合交联海底电缆无接头制造长度达10km以上的公开中外文献报道”。“未见有关通过交流聚乙烯电缆的软接头技术,实现了220kV海底电缆制造长度理论上可以达到无限长的公开外文文献报导”。

2) 2017年7月30日，教育部科技查新工作站针对“500kV交联聚乙烯绝缘海底电缆”成果中的软接头的设计和制造工艺进行查新。查新结论认为：“未见具体有关500kV交联聚乙烯绝缘海底电缆软接头的设计和制造工艺的公开的文献报道。”

4. 权威机构及媒体评价

2017年11月7日《经济日报》头版报道：“宁波品字标”‘浙江制造’不仅囊括厨电、服饰等优质消费用品，也不乏核工业密封件、海底电缆等‘国之重器’…助力宁波工业经济全面升级”。

2017年8月，被中国电器工业协会电线电缆分会授予“全球海缆最具竞争力企业10强”。

2019年5月18日，作为首家企业亮相央视《新闻联播》，展现中国企业实力。

2. 推广应用情况和经济效益（非完成单位）

应用单位名称	起止时间	单位联系人、电话	新增应用量			新增销售收入(万元)			新增税收(万元)			新增利润(万元)		
			2016年	2017年	2018年	2016年	2017年	2018年	2016年	2017年	2018年	2016年	2017年	2018年
合 计:														

3. 社会效益和间接经济效益

1) 服务国家重大工程建设，提高国际市场竞争力

成果产品在国内岛屿互联、海上风电场等领域均发挥了关键作用，目前已大量应用于如南海油田群电力组网工程、舟山输变电工程、江苏东台海上风电工程等国家重大电网工程中。成果产品的成功研制有效提升了我国高等级海缆的国际市场竞争力，为我国大规模开展国内外海上风电和油田开发项目提供了强有力的技术装备支撑。

2) 实现资源高效利用和节能减排

成果产品集成了电力输送和信号传输功能，可同时实现长距离、大规模的送电和信号传输，节约了敷设成本；占用海域面积小，基本不改变用海海域的自然属性，使海洋海域资源、海洋航道资源和电力资源得到了有效利用。成果产品近年来已大量应用于海上风电等新能源开发工程，根据 2018 年成果单位中标项目数据测算，产品投运后全年可节约标准煤约 150 万吨，减排二氧化碳约 400 万吨，相当于种植阔叶林约 1.1 万公顷，对优化能源结构、促进节能减排具有重要意义。

3) 促进相关产业、区域和社会发展

成果产品长期依靠进口，价格昂贵、服务缺陷以及国内在该领域的空白，严重制约了我国海上风电产业发展以及海岛开发、海洋油田开采的进程。项目成果打破了国际上在该领域的垄断局面，对我国海洋经济的发展具有重要的意义：成果产品开启了高等级海底电缆国产化的先河，满足电力、通信行业的发展，为我国实现海上大容量电力输送提供了重要基础；推动了电线电缆生产技术装备的提升。

六、知识产权证明目录（不超过 10 项）

知识产权类别	知识产权具体名称	国家 (地区)	授权号	授权日期	权利人	发明人（培育人）
发明专利	一种电缆的收排线装置	中国	ZL200810063530.5	2010.9.8	宁波东方电缆股份有限公司	阮武、冯华强、袁黎浩、王逢春、俞忠律
发明专利	额定电压 220kV 三芯光电复合海底电缆	中国	ZL201110160092.6	2013.6.26	宁波东方电缆股份有限公司	夏峰、周则威、叶世杰、张晨江
发明专利	具有氮化物膜的复合材料及其制法和应用	中国	ZL201410209191.2	2017.4.12	中国科学院宁波材料技术与工程研究所	李金龙、王蕊、王永欣、鲁侠、王立平、薛群基
发明专利	一种验证过渡接头可靠性的试验方法	中国	ZL201610248719.6	2019.1.22	浙江舟山海洋输电研究院有限公司、国家电网公司、国网浙江省电力公司舟山供电公司	俞恩科、乐彦杰、郑新龙、丁小兵、敬强、高震、甘纯、陈国志、张磊、沈耀军
实用新型专利	一种分段铠装的单芯海底电力电缆	中国	ZL201620760688.8	2016.12.7	舟山启明电力设计院有限公司；国家电网公司；国网浙江省电力公司舟山供电公司	周琛皓；康纬；马兴端；胡文侃；徐英；李松；斯坚

七、代表性论文专著目录（不超过 10 项）

作者	论文专著名称/刊名	年卷期 页码	发表 时间	SCI他 引次 数	他引 总次 数
Xiangrong Chen*, D. Murdany, D. M. Liu, M. Andersson, S. M. Gubanski, U. W. Gedde, Suwarno	《AC and DC pre-stressed electrical trees in LDPE and its aluminum oxide nanocomposites》/ IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul	Vol. 23, Issue 3, pp. 1506-1514	2016	0	0
Xiangrong Chen*, Y. Xu, X. L. Cao, S. M. Gubanski	《On the conducting and non-conducting electrical trees in XLPE cable insulation specimens》/ IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.	Vol. 23, No.1, pp. 95-103	2016	0	0
Fuliang Ma, Jinlong Li*, Zhixiang Zeng, Yimin Gao	《Structural, mechanical and tribocorrosion behaviour in artificial seawater of CrN/AlN nano-multilayer coatings on F690 steel substrates》/ Applied Surface Science	428(2018)404-414	2018	0	0
Yukuan Jiang, Junping Cao, Shaohua Wang, Xiangxian Zhou, Te Li, Yong Yang, Miao Yu	《Simulation of Electric Field Around Typical Defects in 110kV XLPE Power Cable Joints》/2017 International Conference on Circuits, Devices and Systems	ICCDS2017, 21-24	2017	0	0
叶世杰、韩哲、 郑琳、邓雪娇、 阙善庭、李长利	《大长度高压单芯海缆扁铜 丝铠装制造关键技术研究》/ 线缆世界	2018 年第 4 期第 35 页	2018	0	0

八、主要完成人员情况:

排名	姓名	职称、职务	现从事专业	工作单位	二级单位	完成单位	对本项目技术创造性贡献
1	夏峰	高级工程师	电线电缆	东方电缆股份有限公司		东方电缆股份有限公司	本人在主要科技创新点 1, 2, 3, 主要贡献为提出了光电复合的产品结构、立式成缆技术、大长度海缆制造技术。参与发明专利(额定电压 220kV 三芯光电复合海底电缆), 列第 1 位; 参与论文(《海底电力电缆抢修用软接头的研究与展望》), 列第 2 位。
2	王立平	研究员	材料学	中科院宁波材料技术与工程研究所		中科院宁波材料技术与工程研究所	本人在主要科技创新点 4, 主要贡献为提出了项目海洋环境材料的腐蚀与防护的核心思想和整体路线, 对本项目涉及海洋环境材料腐蚀评价和防护技术进行了整体规划; 开发了新型长寿命耐磨蚀陶瓷涂层并应用于海底电缆所用钢铁材料表面的防护。参与发明专利(具有氮化物膜的复合材料及其制法和应用), 列第 5 位。
3	郑新龙	高级工程师	高电压与绝缘技术	浙江舟山海洋输电研究院有限公司		浙江舟山海洋输电研究院有限公司	本人在主要科技创新点 3, 主要贡献为成功开发出高等级海缆过渡接头并完成可靠性和实用性验证, 从根本上解决油纸电缆检修过程中面临的无缆可用的难题。参与发明专利(一种验证过渡接头可靠性的试验方法), 列第 3 位。
4	陈向荣	研究员	电气工程	浙江大学	电气工程学院	浙江大学	本人在主要科技创新点 4, 主要贡献为对高等级海底电缆绝缘材料在热老化过程中的介电性能进行实验研究, 得到了绝缘材料老化后的电气性能及微观特征的对应关系以及老化导致绝缘失效的机理, 参与论文(AC and DC pre-stressed electrical trees in LDPE and its aluminum oxide nanocomposites), 列第 1 位, 参与论文(《On the conducting and non-conducting electrical trees in XLPE cable insulation specimens》), 列第 1 位。
5	曹俊平	高级工程师	高电压技术	国网浙江省电力		国网浙江省电力	本人在主要科技创新点 3, 主要贡献为提出了一种分析

				有限公司电力科学研究院		有限公司电力科学研究院	交联聚乙烯电缆接头典型缺陷周围电场的数值方法，完成了交联聚乙烯电缆接头的敏感性分析，为提升接头可靠性提供了一定理论指导。参与论文（《Simulation of Electric Field Around Typical Defects in 110kV XLPE Power Cable Joints》），列第 2 位。
6	周则威	高级工程师	电线电缆	东方电缆股份有限公司		东方电缆股份有限公司	本人在主要科技创新点 1，主要贡献为提出用非磁性金属铠装结构替代镀锌钢丝铠装结构，使其允许载流量比镀锌钢丝铠装电缆的允许载流量高出近 30%。参与发明专利（额定电压 220kV 三芯光电复合海底电缆），列第 2 位；参与论文（《220kV XLPE 绝缘海底电（光电复合）缆的结构》），列第 1 位；参与制定国家标准 2 项（GB/T32346.2-2015、GB/T51190-2016）。
7	康纬	工程师	规划设计	国网浙江省电力有限公司嵊泗县供电公司		国网浙江省电力有限公司嵊泗县供电公司	本人在主要科技创新点 1，主要贡献为提出了分段铠装单芯海底电缆结构，开发了光电复合海底电缆在线监测功能，有效提高了海缆的整体机械性能及载流量。参与实用新型专利（一种分段铠装的单芯海底电力电缆），列第 2 位。
8	李金龙	研究员	材料学	中科院宁波材料技术与工程研究所		中科院宁波材料技术与工程研究所	本人在主要科技创新点 4，主要贡献为共同提出对海底电缆中所用钢铁材料表面腐蚀与防护技术，及新型长寿命耐磨蚀陶瓷涂层技术。参与发明专利（具有氮化复合物膜的复合材料及其制法和应用），列第 1 位。参与论文（《Structural, mechanical and tribocorrosion behaviour in artificalseawater of CrN/AlN nano-multilayer coatings on F690 steel substrates》），列第 2 位。
9	阮武	工程师	电线电缆	东方电缆股份有限公司		东方电缆股份有限公司	本人在主要科技创新点 2，主要贡献为共同提出了立式成缆技术、大长度海缆制造技术。负责完成了大长度海缆样缆制造。参与发明专利（一种电缆的收排线装

							置), 列第 1 位。
10	丰如男	高级工程师	电线电缆	东方电缆股份有限公司		东方电缆股份有限公司	本人在主要科技创新点 3, 主要贡献为共同提出了海底电力电缆抢修用软接头的研究方法。参与论文(《海底电力电缆抢修用软接头的研究与展望》), 列第 1 位。
11	郑琳	高级工程师	电线电缆	东方电缆股份有限公司		东方电缆股份有限公司	本人在主要科技创新点 2, 主要贡献为提出了双系统收、放线制造工艺, 切换时间不超过一分钟, 保证海缆大长度连续挤出。参与论文(《大长度高压单芯海缆扁铜丝铠装制造关键技术研究》), 列第 3 位。
12	何行波	助理工程师	电线电缆	东方电缆股份有限公司		东方电缆股份有限公司	本人在主要科技创新点 2, 主要贡献为共同提出立式成缆技术和大长度海缆系统收放线技术, 确保高等级光电复合海底电缆的大长度连续生产。
13	潘矗直	助理工程师	电线电缆	东方电缆股份有限公司		东方电缆股份有限公司	本人在主要科技创新点 1, 主要贡献为共同提出一种新型光纤复合海底电缆结构, 既确保海缆内部电气和机械性能, 又使光纤单元能得到足够的缓冲保护, 不受外部机械损伤。参与论文(《220kV XLPE 绝缘海底电(光电复合)缆的结构》), 列第 2 位。

九、完成人合作关系说明

完成人合作关系说明

“高等级大长度光电复合海底电缆关键技术研发与产业化”项目是由宁波东方电缆股份有限公司主导，并联合浙江大学、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、中科院宁波材料技术与工程研究所、浙江舟山海洋输电研究院有限公司、国网浙江省电力有限公司嵊泗县供电公司共同开展的技术攻关项目。本次申报项目完成人排序为：夏峰、王立平、郑新龙、陈向荣、曹俊平、周则威、康纬、李金龙、阮武、丰如男、郑琳、何行波、潘矗直。其中夏峰、周则威、阮武、丰如男、郑琳、何行波、潘矗直的完成单位为宁波东方电缆股份有限公司，夏峰作为项目负责人，带领周则威、阮武、丰如男、郑琳等技术骨干开展产业化开发工作；王立平、李金龙的完成单位为中科院宁波材料技术与工程研究所；郑新龙的完成单位为浙江舟山海洋输电研究院有限公司；陈向荣的完成单位为浙江大学；曹俊平的完成单位为国网浙江省电力有限公司电力科学研究院；康纬的完成单位为国网浙江省电力有限公司嵊泗县供电公司。项目在宁波东方电缆股份有限公司夏峰高工的带领下，不断融合，逐渐形成了包括中科院材料所王立平教授、浙江大学陈向荣研究员、舟山海洋输电研究院郑新龙高工、国网浙江省电力科学研究院曹俊平高工、国网浙江省嵊泗供电公司康纬工程师为核心人员的科研团队。夏峰高工总牵头项目的实施；王立平教授团队负责海缆接头在海洋环境下的腐蚀评价和防护技术研究；郑新龙高工团队成功开发出海缆过渡接头并完成可靠性和实用性验证；陈向荣研究员团队负责对高等级海底电缆绝缘材料在热老化过程中的介电性能进行实验研究；曹俊平高工团队提出了一种分析交联聚乙烯电缆接头典型缺陷周围电场的数值方法，为提升接头可靠性提供了一定理论指导；康纬工程师团队提出了分段铠装单芯海底电缆结构，有效提高了海缆的整体机械性能及载流量。完成人之间合作关系具体描述为：

1、夏峰、丰如男间的合作，自2010年5月至2016年12月间，就共同发表科技论文《海底电力电缆抢修用软接头的研究与展望》，并实现成果转化。

2、夏峰、周则威间的合作，自2013年2月至2016年12月间，就共同申请的发明专利 ZL 201110160092.6（额定电压 220kV 三芯光电复合海底电缆），开展

成果转化，将专利技术成功应用到高等级大长度光电复合海底电缆上，并实现产业化。

3、周则威、潘矗直间的合作，自 2013 年 7 月至 2016 年 12 月间，就共同发表科技论文《220kV XLPE 绝缘海底电（光电复合）缆的结构》，并实现产业化。

4、王立平、李金龙间的合作，自 2014 年 3 月至 2016 年 12 月间，就共同申请的发明专利 ZL 201410209191.2（具有氮化物膜的复合材料及其制法和应用），开展成果转化，将专利技术成功应用到高等级光电复合海底电缆软接头上，并实现产业化应用。

承诺：本人作为成果第一完成人，对本成果完成人合作关系及上述内容的真实性负责，特此声明。

第一完成人签名：



完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者	合作时间	合作成果	证明材料编号	备注
1	论文合著	夏峰、丰如男	2010.5-2016.12	《海底电力电缆抢修用软接头的研究与展望》	1	
2	共同知识产权	夏峰、周则威	2013.2-2016.12	额定电压 220kV 三芯光电复合海底电缆	2	
3	论文合著	周则威、潘矗直	2013.7-2016.12	《220kV XLPE 绝缘海底电（光电复合）缆的结构》	3	
4	共同知识产权	王立平、李金龙	2014.3-2016.12	具有氮化物膜的复合材料及其制法和应用	4	
5	共同科技成果	夏峰、阮武、丰如男	2009.1-2016.5	额定电压 220kV 交联聚乙烯绝缘光电复合海底电缆 HYJQ41-F 127/220 1*1600+24B1+2A1	5	

十、主要完成单位情况：

排名	单位名称	对本项目科技创新和推广应用支撑作用情况
1	宁波东方电缆股份有限公司	作为项目牵头承担单位，对所有创新点均做出了贡献。在理论与技术研究、产品设计制造、推动成果应用等方面取得了多项突破性成果。投入经费 4 亿余元，推动项目实施，积极组织产品推广应用，在国家电网、南方电网、中海油石油平台、海上风电等海底输电工程上成功应用。
2	浙江大学	主要完成项目产品绝缘材料在热老化过程中的介电性能变化特性及老化机理研究，为高等级海缆绝缘材料的状态评估和长期可靠运行做出了重要贡献。
3	国网浙江省电力有限公司电力科学研究院	对本项目涉及电缆接头可靠性的研究进行了整体规划，提出一种分析交联聚乙烯电缆接头典型缺陷周围电场的数值方法，为提升电缆接头可靠性作出了重要贡献。
4	中国科学院宁波材料技术与工程研究所	对本项目涉及海洋环境材料腐蚀评价和防护技术进行整体规划，提出项目海洋环境材料的腐蚀与防护的核心思想和整体路线。对海底电缆中所用钢铁材料表面腐蚀与防护及新型长寿命耐磨蚀陶瓷涂层的开发和应用有重要贡献。
5	浙江舟山海洋输电研究院有限公司	主要完成了项目的试验技术开发，建立了仿真测试平台，为工程的顺利投运做出了重要贡献。
6	国网浙江省电力有限公司嵊泗县供电公司	主要完成项目产品新型铠装结构设计，有效提高了海缆的整体机械性能及载流量，节约了海缆制造成本，缩减了海域使用缆道，已向舟山及其下属海岛县公司海缆输电工程推广应用。