

海底电缆敷设及检验方法

李 明 李 涛 宫鹏群

中海石油（中国）有限公司天津分公司 天津 300000

摘 要：海洋复杂的水文条件与特殊海底地形，会对海底电缆敷设施工造成多重约束，易引发线缆形变、偏移、表层破损等施工问题。本文结合海底电缆自身结构与力学性能特征，分析海域环境、海底地形对敷设作业的影响机制，梳理各工况下电缆敷设的标准化施工流程与管控方式，搭建覆盖施工全阶段的专项检验体系，依托现场施工特点优化敷设工艺、检验流程及工序协同模式，提升海底电缆海上敷设施工的规范化程度与施工质量。

关键词：海底电缆；敷设施工；施工工艺；质量检验；工艺优化

引言

海底电缆是海洋电力传输系统的重要组成部分，长期处于海水浸泡、水流冲刷、盐雾腐蚀的复杂工况中，对敷设施工精度与成型质量有着严苛要求。海域动态水文环境与不规则海底地形，会持续干扰电缆布放、埋设及固定作业，容易产生各类施工瑕疵。传统敷设与检验方式适配性有限，难以适配复杂海域施工需求。通过梳理海底电缆敷设作业特征，规范标准化施工工艺，完善全流程检验技术并开展工艺优化，能够有效提升海上电缆施工的稳定性与规范性。

1 海底电缆敷设基础条件与作业特征

1.1 海底电缆本体结构与性能特征

海底电缆采用多层复合构造设计，各层结构分工明确，适配长期水下敷设与运行工况。中心导体负责电力传输，结构致密均匀，保障电力输送的稳定状态。绝缘层环绕导体外部设置，阻断电流外泄通道，削弱水体环境带来的导电隐患。缓冲填充结构规整内部空隙，缓解外力挤压带来的结构形变，提升整体柔韧度。外层护套选用高强度防腐防水材料，抵御海水渗透、砂石摩擦以及海洋介质侵蚀^[1]。电缆整体具备优良的抗拉、抗压与抗弯折能力，能够适应复杂水下受力环境。材质韧性充足，可适配平缓弯曲、深埋铺设、长距离延展等多种施工形态，适配海域复杂铺设场景。

1.2 海域敷设施工环境影响要素

海域施工始终处于动态变化的自然环境中，各类水文气象条件都会干预施工进度。潮汐往复起落改变海域水位状态，直接影响电缆下放与埋置的施工基准。海面风浪会带动作业船舶产生浮动偏移，打乱电缆铺设的行进节奏。持续性海流会对悬空电缆产生侧向推力，造成

线路偏移、张力波动等问题。海水含盐量较高，腐蚀作用显著，会慢慢损耗电缆外层防护结构。海域水体浑浊度存在动态变化，限制水下可视作业范围，增加电缆对位、铺放、规整的操作难度。

1.3 海底地形地貌对敷设作业的约束特点

海底地形呈现不规则分布状态，直接限定电缆铺设的成型形态与埋设质量。平整淤积海床质地均匀，铺设阻力小，能够支撑电缆平稳落底。起伏坡地与沟槽区域会让电缆出现局部悬空、弯折扭曲的状态，增加结构受力负担。礁石集中区域分布坚硬凸起结构体，容易刮蹭磨损电缆外层护套，破坏防护体系完整性。松散淤泥地质承载力偏弱，电缆自重作用下会出现缓慢沉降，打乱预设铺设线型。地形突变区域需要调整施工角度与下放速率，提升现场施工的操作难度。

1.4 海底电缆敷设施工基本作业特征

海底电缆敷设属于长距离、连续性的海上施工项目，作业流程连贯且工序衔接紧密。电缆自身自重较大，铺设过程会持续产生拉伸张力，需要实时调控下放速度与行进姿态。施工全程依托海上作业平台开展，作业状态容易受到各类海洋环境干扰。水下施工过程无法直观观察成型效果，施工调控依托专业监测设备与现场作业经验完成。线路铺设需要保持线型平顺，规避局部堆积、过度拉伸、硬性弯折等施工缺陷，保障电缆铺设的整体质量。

2 海底电缆标准化敷设施工工艺

2.1 海底电缆敷设前期施工筹备工作

海底电缆正式敷设施工前，需要完成全方位的前期筹备工作，为海上连续施工提供稳定基础。结合海域勘测资料梳理施工水域的地形、水文及环境条件，明确

敷设线路的整体走向与施工边界。核对海底电缆型号、结构参数与防护性能,排查线缆表层破损、结构缺陷等质量问题,保障入场线缆状态完好^[2]。统筹调配敷设船舶、布放设备、监测仪器等施工机具,完成设备调试与试运行工作,保证各类机具运行状态稳定。规划海上施工动线与物料存放区域,细化各施工岗位的作业职责。提前排查线路范围内的障碍物与不良地质区段,制定针对性施工应对方案,保障后续敷设作业有序推进。

2.2 海上电缆输送与布放作业流程

海上电缆输送与布放是敷设施工的核心工序,遵循循序渐进的作业逻辑开展施工。依托施工船舶缆盘设备完成电缆匀速输送,把控线缆输送速率,规避过快拉扯引发的结构张力超标问题。线缆经由导向设备平稳下放至海面,逐步过渡至水下环境,全程保持线缆舒展松弛的状态。操作人员实时把控线缆输送姿态,调整设备运转参数,规避线缆缠绕、堆积、弯折等问题。按照预设线路稳步推进船舶行进,匹配线缆下放节奏,维持布放线路的平顺规整。全程依托监测设备把控线缆张力与入水状态,维持布放作业的稳定性。

2.3 不同海域工况电缆敷设施工方式

不同海域的水文与地形条件存在明显差异,敷设施工方式需要适配现场工况灵活调整。开阔平整海域施工阻碍较少,可采用匀速连续布放的施工模式,提升整体施工效率。水流流速偏大的海域,放缓船舶行进速度,微调线缆下放角度,削弱水流扰动对线缆线型的影响。礁石密集、地形复杂的海域,采用分段慢速敷设的模式,缩短单次施工段落,精细化管控线缆走向,减少结构刮蹭损伤。浅滩水域调整设备作业高度,适配浅水施工空间,规避设备触底、线缆挤压等施工问题,适配各类特殊海域施工条件。

2.4 电缆埋设与海底固定施工工艺

电缆布放完成后开展埋设与海底固定作业,稳固线缆水下铺设形态。采用专业埋设设备对海床表层土体进行开沟处理,按照施工标准控制沟槽深度与宽度,保障线缆埋设空间充足。将海底电缆平稳置入沟槽内部,调整线缆位置保持线型顺直,规避局部扭曲、偏移问题。利用原位土体完成沟槽回填,适度压实表层土体,避免线缆裸露悬空。特殊关键区段搭配专用固定构件加固线缆位置,削弱水流冲击带来的线缆移位问题,提升海底电缆铺设的整体稳固性。

2.5 敷设施工过程姿态与位置管控方式

敷设全程开展线缆姿态与空间位置管控,保障施工

成型质量符合规范要求。动态监测水下线缆的空间形态,及时纠正偏移、弯折、松弛等不良状态,维持线缆平顺的铺设线型。把控船舶行进轨迹,减少线路整体偏差,让实际敷设路径贴合预设施工线路^[3]。针对线缆入水角度、水下悬垂形态开展精细化调控,规避应力集中问题。定时记录敷设点位坐标与线缆状态,及时调整施工参数,维持全程敷设作业的规整度与精准度。

3 海底电缆专项检验技术体系

3.1 电缆敷设前原材料状态检验内容

海底电缆进场后,需在敷设作业启动前完成全方位原材料检验工作,从源头把控施工质量。仔细检视电缆外层护套,筛查表层裂纹、破损、凹陷、磨损等各类外观缺陷,存有损伤的线缆一律不予投入施工。细致检查绝缘层成型状态,观察表层均匀度与整体色泽,排查生产加工阶段遗留的结构瑕疵。认真核对电缆端头封堵结构,保证封堵严实密闭,阻挡水汽与杂质侵入线缆内部。检查电缆盘体缠绕状态,保证线缆排布规整,规避挤压变形、错乱堆叠等问题。逐项落实入场查验流程,筛选结构完好、质量达标的线缆,从原材料层面规避后续施工隐患。

3.2 敷设施工过程阶段性检验要点

海底电缆敷设工序连贯且作业周期长,分阶段检验可动态把控施工细节。线缆输送下放阶段,持续观察线缆舒展状态,及时发现缠绕、弯折、过度拉伸等异常情况。船舶行进作业中,稳定把控线缆入水姿态,调整设备运行节奏,规避局部张力异常的情况。每段敷设作业收尾后,细致核对线缆铺设平顺度,修整松散、扭曲等不规范铺设状态。作业期间常态化核查监测设备运行工况,保证线缆张力、下放角度等关键参数维持合理区间,及时处置各类施工瑕疵。

3.3 海底电缆敷设成型后外观检验方式

整体敷设作业结束后,依托专业水下探测设备开展成型线缆外观检验。排查海域内电缆裸露区段,检查外层护套受海水冲刷、砂石摩擦产生的磨损与破损问题。梳理线缆整体排布走向,修整局部堆积、急弯、扭曲等不规范成型形态。查验电缆衔接节点与端头结构,确认衔接位置稳固,不存在开裂、松动、渗水隐患。重点排查礁石分布、地形起伏等复杂区段,这类区域容易出现挤压刮蹭与表层损伤,需要细致排查外观结构完整状态。

3.4 电缆电气性能与密封性能检验技术

外观检验完成后,开展专项性能检测,把控电缆实

际服役工况。通过专业仪器测定电缆绝缘指标,判断绝缘结构完好程度,排查绝缘损伤引发的漏电隐患。检测导体导通状态,保证电力传输通道通畅,规避断路、阻抗异常等问题。针对多层护套结构开展密闭性检测,核查整体防水防腐能力,阻断海水渗透通道。重点校验端头封堵、接口防护等关键部位的密封状态,保证结构密闭稳定,抵御海洋潮湿与盐雾环境侵蚀。

3.5 海底埋设位置与敷设形态检验手段

针对水下埋设工况开展专项查验,精准把控敷设成型质量。利用水下探测设备采集线缆敷设轨迹数据,比对预设线路位置,排查成型偏移问题。实测海床沟槽埋设深度,保证埋置深度均匀稳定,识别浅埋、悬空等不良埋设状态。观察水下线缆整体线型,修整局部隆起、塌陷、扭曲等不规则形态。检查沟槽回填密实程度,保证土体覆盖充分,减少线缆外露风险。通过精细化查验方式,规范海底电缆水下敷设形态,维持施工成型的规整度^[4]。

4 海底电缆敷设与检验优化技术

4.1 复杂海域敷设施工工艺优化方向

海底施工水域环境多变,地形、水文条件存在明显差异,常规敷设工艺很难适配各类复杂水下场景。工艺优化结合现场实际施工条件展开调整,充分考虑海域地形起伏、水流扰动、海床土质等各类干扰因素。礁石分布密集、地形高低落差明显的水域,摒弃单一匀速敷设方式,改用分段慢速施工思路,有效减少线缆触碰礁石产生的刮蹭与弯折问题。土质松软、淤积厚重的海床区域,适当调整开沟尺度与埋设方式,缓解基底土体沉降带来的线路形变问题。根据现场水流强弱灵活调整船舶行进速度和线缆下放角度,降低水流对线缆走向的干扰。细化不同复杂施工区段的操作规范,一改传统粗放的通用施工模式,让敷设作业更加精细、贴合现场工况。

4.2 特殊海况下电缆防护敷设技术改良

海面风浪、潮汐起落与高频水流扰动,都会对现场敷设作业造成干扰,损伤电缆外层防护结构,打乱正常铺设状态。技术改良重点聚焦恶劣海况下的线缆防护能力升级,调整传统水下防护布设思路。水体扰动较强的施工区域,增设辅助防护结构,缓冲水流冲击与砂石摩擦带来的表层损伤,保护电缆外护套完整状态。动态调整线缆下放张力控制方式,缓解海浪起伏引发的张力波动,避免线缆长期受拉出现形变损伤。潮汐活动频繁的水域,避开水位剧烈波动时段开展埋设作业,维持沟槽成型的稳定状态。优化电缆端头、接口等薄弱位置的防

护工艺,提升关键结构抗扰动能力,让敷设施工可以适应多变的海上环境。

4.3 海底电缆精细化检验流程优化

传统检验模式流程较为粗放,查验环节划分简单,隐蔽性施工缺陷难以快速排查,无法满足高标准的海底施工质量要求。精细化优化对整套检验流程重新梳理,区分不同施工阶段的查验侧重点。施工前期细化原材料筛查细节,针对护套完整度、绝缘均匀性、密封状态逐一排查,从源头杜绝带缺陷的线缆进场施工。施工过程增加阶段性巡检频次,重点关注线缆张力变化、入水姿态与铺设平顺度,及时处理轻微施工偏差。施工成型后针对性强化复杂地形、隐蔽区域的查验力度,补齐常规检验的排查盲区。统一各类性能检测的操作标准与判定依据,让整体检验工作更加规范细致。

4.4 敷设与检验工序协同优化模式

敷设、检验分步独立开展的作业模式,会让施工缺陷发现时间滞后,增加后续整改的工作量与施工难度。工序协同优化重新梳理两项工作的衔接逻辑,让施工推进与质量查验穿插同步进行。将整体完工查验拆解为分段式查验,每完成一段敷设作业便同步落实对应区段的质量检查,快速处理线路偏移、埋设深度不足等常见问题。合理划分现场岗位工作内容,搭建施工与查验联动的作业模式,缩减工序衔接空档。结合现场实时施工状态调整查验重点,匹配不同水域、不同敷设阶段的管控需求,缩短问题整改周期,提升整体施工推进效率。

结束语

海底电缆敷设施工受环境、地形、设备操作等多重因素制约,施工与检验质量直接影响线缆水下服役状态。通过梳理敷设基础作业条件,规范不同海域工况的敷设施工工艺,建立覆盖施工前、施工中及成型后的完整检验体系。从复杂海域施工、特殊海况防护、精细化检验及工序协同等方面完成技术优化,进一步规范海底电缆敷设施工流程,强化海洋电力线缆施工质量管控能力。

参考文献

- [1] 张舒洁. 海底电缆敷设机械化施工技术 [J]. 中国水运, 2025(1): 116-118.
- [2] 回世翔, 刘源. 海上风电场海底电缆敷设技术研究 [J]. 现代工程科技, 2023, 2(4): 13-16.
- [3] 黄景. 海上风电场的海底电缆敷设施工技术 [J]. 大众标准化, 2025(10): 43-45.
- [4] 徐树伟. 海底电缆敷设机械化施工技术 [J]. 中国航班, 2025(30): 68-70.