

海缆深埋工程技术研究与应用

前德门 李 鹏 (海洋石油工程股份有限公司, 天津 300452)

摘 要: 海底电缆在铺设施工时, 通常采用挖沟埋深的方式对其进行保护, 以免受到船锚钩挂或落物砸伤。在海上油气田或风电场中, 平台间的海底电缆一般埋设深度为 1-1.5m, 即可满足安全要求, 但在特殊情况下, 如由海上铺设至陆地的登陆电缆, 或海缆路由穿越航道的海底电缆, 其埋设深度要求往往更高。本文以渤海湾某工程项目为案例, 研究分析海底电缆超深埋设的施工技术。

关键词: 海底电缆; 埋设; 超深

工程简介: 该工程油田位于渤海中部, 油田范围内年平均水深约为 20m。工程计划铺设一条平台间海底电缆, 路由长度约 6.4km。因海缆设计路由距离西侧 30 万吨级船舶锚地较近, 为避免船舶走锚钩挂风险, 海缆施工采用在锚泊船铺设作业同时拖拽埋缆机挖沟埋设, 缆沟自然回填的方案, 埋设深度要求达到 3.5m, 为当时渤海湾埋深最大记录。如此超深埋设的作业, 对埋缆机的自身机械强度、水泵破土能力、连续作业稳定性等关键指标都提出了严格的要求, 如果所有必要条件不能同时达成, 将会对整个工程造成进度延误, 甚至存在对海底电缆造成损伤或断裂的风险。

1 海缆路由地质分析及埋缆设备改造

针对该工程的高标准、严要求, 项目团队在前期阶段即通过以下两个方面进行了充分的分析研究与技术准备。

1.1 海缆路由地质环境调查分析

通过对海缆设计路由地质钻孔取样, 获取土壤分层情况和各层土壤剪切力, 得出结果如下:

I 层: 非常软的褐灰色粉质粘土, 设计不排水抗剪强度一般为 4~20kPa, 该层层底埋深一般在 1.3~1.8m;

II 层: 松散到中密实的砂性土层, 主要由褐灰色粘质砂、粘质砂质粉土、砂质粉土、粉质细砂和细砂土组成。其中 PL5 和 PL6 孔 1.3m~5.0m 为稍硬的粉质粘土, 设计不排水抗剪强度为 20~40kPa, 1 号平台井位在 3.2m 到 5.4m 范围内最大不排水抗剪强度为 100kPa。

1.2 埋缆设备选型及升级改造

针对海缆设计路由地质钻孔取样和土壤强度分析结果, 经过精密的计算和工况模拟, 并对比预开沟后铺缆、边铺边埋及先铺缆后挖沟三种技术方案的费用成本:

方案一预开沟后铺缆: 首先采用绞吸式挖泥船或抓斗船进行海缆路由预挖沟, 因挖沟工期较长, 为了防止在挖沟过程中缆沟随潮汐作用自然回填, 挖沟要求沟底宽度为 3m, 沟顶宽度为 5m, 沟深为 4.5。挖沟结束后进行海缆铺设, 铺缆完成后, 调查缆沟回填情况, 如回填状况不好, 还要使用水下抓斗进行机械回填, 此方案工期较长, 费用较高。

方案二先铺缆后挖沟: 此方案是先将海缆铺设至海床上面, 再使用大型挖沟机进行水下吹埋作业。此方案难度极大, 对海缆铺设精度及路由海缆冗余量要求极高, 容易造成沟深不均匀, 海缆弯折损坏的风险, 且综合对比国内以及国际上的后挖沟设备, 虽有埋缆设备能够达到 3.5m 沟深, 但动复员费用极高。

最终项目团队决定使用水力式埋缆机进行海底电缆的同步铺设和埋深的作业方案, 并制定了埋缆机升级改造主要规格参数如下: 总重量约 45t; 主体尺寸 10×7.2×3.5m; 作业能力满足埋深 0~4.3m, 适用泥质 100kPa 以内; 铺缆直径 50~200mm; 配备两台喷射泵, 能力分别为流量 400m³/h@ 扬程 400m、流量 700m³/h@ 扬程 200m, 用于水流喷射、破土; 配备两台泥浆乳化泵能力为流量 5000m³/h@ 扬程 11m, 将破土乳化成悬液状, 利于抽吸; 配备两台抽吸泵能力为流量 2500m³/h@ 扬程 22m, 用于抽吸泥浆并喷至两侧沟沿。总配电功率约 2000kW。

考虑到埋设深度高达 3.5m, 在缆沟的中下部, 仅靠喷射臂的水流很难将泥沙向两侧开挖, 该埋缆机还同时配备了两台泥浆乳化泵和两台抽吸泵。

三种型号泵配合工作原理为: 海底电缆穿过埋缆机喷射臂, 并随埋缆机下放至海床上, 在打开喷射臂时, 喷射泵的水流将泥沙穿破并冲散, 开出一道缆沟, 泥沙块在重力作用下向缆沟底部沉降; 这时, 乳化泵可以将块状泥沙打散并乳化成悬浊液, 而后抽吸泵将沟底的悬浊液抽离并喷射至两侧沟沿外。此时海底电缆在自重和埋缆机喷射臂的限位作用下, 顺利下降到缆沟底部。

2 埋缆机海试检验

2.1 过程监控方法

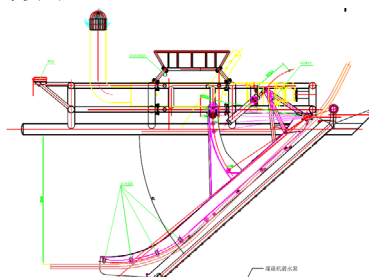


图1 埋缆机喷射臂角度与埋深示意

海底电缆的铺设是一个连续的、不可中断的过程, 否则将会对海缆造成损伤或者折断, 发生工程事故, 因此升级改造后的埋缆机必须经过海试检验, 以验证其埋深能力和连续工作能力。因海试结果无法像实际工程项目一样, 铺缆完工后通过海缆埋深后调查方法证明沟深, 因此埋缆机还需配备如下监控设备, 实时监控其挖沟结果。

纵横姿态仪主要监控埋缆机的水下姿态, 反馈埋缆机的横摇、纵倾角度是否在设计允许范围内; 喷射臂角度仪负责监控喷射臂打开角度, 防止因地质原因造成喷射臂回首, 导致沟深不达标; 沟型探测声呐主要监控埋缆机开出的沟型轮廓以及海缆是否顺利进入缆沟; 压力传感器负责

监控海缆水下受挤压状态和喷嘴是否在正常压力下工作; USBL 信标利用定位系统保证埋缆机行走路线满足海缆铺设路由精度。经过计算,埋缆机两个滑橇着泥时,根据勾股定理计算,喷射臂在打开角度为 40° 时,埋缆机可开沟深度为 3.8m,示意图如上。

本项目海底电缆设计埋深为 3.5m,为防止因海床的不平整引起埋缆机轻微摇倾,造成沟深不均匀,海试标准按照沟深 3.8m 制定,预留 30cm 的余量。

2.2 海试成果验证

为保证海试地质环境与工程实际工况无限接近,项目团队特别向海事部门及油田作业区申请在油田外围海域进行海试,其水文环境和地质条件基本吻合。同时,邀请甲方技术代表、油田作业区总监以及第三方机构见证整个海试的全过程和海试结果,并出具相应的报告、埋缆机海试证明、沟深结果证明。

海试期间,作业船每个操作步骤均按照施工方案中设计标准进行,按照方案中的铺缆速度移船前进,下放埋缆机至海床,保证双滑橇平稳着泥;开启埋缆机并下放喷射臂至 40° 位置,启动水下泵进行开沟并乳化、吸泥;期间,实时监测埋缆机水下姿态、喷射臂喷嘴出口压力、水下泵工作状态和声呐显示的沟型,验证开沟深度满足既定目标,即 3.8m 深要求;同时,整个海试连续进行约 60h,充分验证了该埋缆机的连续作业能力满足铺设 6.4km 海缆要求,海试圆满完成。

3 结束语

在预开沟后铺缆、边铺边埋和先铺缆后挖沟三种海底电缆埋深保护方法中,边铺边埋的方案最有利于进度和成本的控制。①此方案减少了船舶资源的投入,仅使用铺缆船一次即可完成铺设和挖沟工作,节约工期和成本;②边铺边埋的作业方式,开出的缆沟宽度较小,在埋缆机携带海底电缆通过后,沟型受挤压以及潮汐作用,会在短时间内完成自然回填,无需动用额外的船舶进行机械回填,节约成本;③此方案在完成铺设后,海缆已经进入缆沟底部,缆沟几乎同步完成回填,对海缆的安全起到强有力的保障。

但受制于常规埋缆机作业能力限制,海底电缆的超深埋设需要针对不同海域、作业区的地质条件,经过周密的地质钻孔取样和剪切力计算来针对性的升级改造埋缆机。在地质结构复杂的海域,钻孔密度还应相应增加。在海床上开沟,每增加 1m 的深度,对埋缆机性能和稳定性的考验都大大增加。通过实际工程项目的成功案例,结合本文的分析,边铺边埋的海底电缆深埋施工技术方案是切实可行的。

参考文献:

- [1] 李士涛.论海缆超深敷埋的可操作[J].中国造船,2016.11 (Vol.57 增刊 1):206-209.
- [2] 崔瑜科.大采深高压承压水井水文地质条件及防治水技术[J].机械管理开发,2016,31(09):124-126.

(上接第 95 页)响区域。在工作面推进过程中原有的红土矸石胶结区域全部消失之后,出现了工作面揭露的岩性相对较为完整的岩石,通过分析后得知,属于陷落柱后影响区域。该区域内走向的长度在 15m 左右,陷落柱破碎带的范围出现了明显的减小,矸石也变的较为齐整。该区域属于陷落柱的边缘,顶板与煤层均出现了一定的下沉,随着工作面的推进,影响范围在逐渐减少。

4 过陷落柱时遇到的相关问题及应对措施

首先是过陷落柱时的工作面水管理。本次在通过陷落柱时,工作面前溜内出现了一定的积水,为了更好防止出现了积水范围扩大,影响到工作面安全性的问题。在开采时,做好了对工作面积水情况的严格监测,加大了排水措施的使用力度,在通过工作面时,虽然出现了工作面积水明显的问题,但是通过强有力的排水措施,取得了较好的排水效果。

其次强化工作面支护。在通过陷落柱时,出现了明显的陷落柱顶板支护难题,为了更好对工作面顶板进行支护,在本次开采之前,制定了完善的顶板支护方案,设定了较高的顶板支护安全系数。做好了对顶板两帮岩层、煤层出现较为严重破坏情况下,巷道整体的支护。从使用情况来看,整体的支护效果较好。

此外,为了更好推动工作面安全有序通过陷落柱。本次开采之前,全面强化了对工作面施工人员的培训与提升工作,将各个岗位人员结合岗位职能,应当注意的相关事项及操作技巧,全面讲授给操作人员,解决了先前过陷落

柱时,由于人员因素导致的各种类型的事故发生,更为顺利的通过工作面陷落柱。

5 结束语

综上分析,在采煤工作面推进过程中遇到陷落柱时,不同类型的陷落柱需要采取不同的过陷落柱技术,需要充分结合工作面实际地质情况,设计针对性的方案,虽然当前很多煤矿在过陷落柱时,多数情况下,可取得较好的效果,但在很多方面还有着较大的不足。因此,这就需要煤企充分认识到陷落柱通过时的关键技术要点,切实采取针对性的措施,全面提升工作面过陷落柱的实际效果。

参考文献:

- [1] 郝兵元,张玉江,戚庭野,冯国瑞,白锦文,章敏,康立勋.综采面过陷落柱采动应力与柱体应力相互影响模拟研究[J].采矿与安全工程学报,2015,32(02):192-198.
- [2] 张云峰.超前预注浆技术在工作面过陷落柱技术探析与实践[J].煤矿现代化,2019(06):192-194.
- [3] 郝瑞.兴裕煤业 15107 工作面过陷落柱关键技术应用分析[J].矿业装备,2020(04):70-71.
- [4] 朱晔.大采高工作面过陷落柱回采工艺及支架适应性研究[J].中国煤炭,2016,42(06):58-62.

作者简介:

李根(1997-),男,山西临汾霍州人,2019年毕业于太原理工大学矿物加工工程专业,本科,主要从事煤矿生产工作。