

页岩油橇装设备模块化施工技术研究

李超

中石化胜利油建工程有限公司

【摘要】橇装设备工厂化预制及模块化施工的是集团公司“五化^[1]”推广的重要一步，本文从东辛页岩油橇装设备标准化设计、工厂化预制生产组织模式及流程、模块化施工及现场组装恢复等几个方面，详细阐述了东辛页岩油通过统一现场的工艺布局，工艺流程，制定标准化设计方案，形成橇装设备工厂化预制的流水线作业及模块化施工，大幅度提高了橇装设备生产效率，缩短了建设周期，保证了施工质量。

【关键词】页岩油；橇装设备；工厂化预制；模块化施工；现场复装

Research on modular construction technology of shale oil sled equipment

Li Chao

Sinopec Shengli Oilfield Construction Engineering Co., Ltd

【Abstract】The factory prefabrication and modular construction of sled equipment is an important step in promoting the "Five Modernizations" of the group company. This article elaborates in detail on the standardized design of sled equipment for Dongxin shale oil, the production organization mode and process of factory prefabrication, modular construction and on-site assembly recovery. Through the unified on-site process layout, process flow, standardized design scheme, and the formation of assembly line operation and modular construction for sled equipment factory prefabrication, Dongxin shale oil has greatly improved the production efficiency of sled equipment, shortened the construction cycle, and ensured construction quality.

【Key words】shale oil; Skid mounted equipment; Factory prefabrication; Modular construction; On site reassembly

1 前言

东辛采油厂丰页 1-2HF 井台等 6 座井台地面建设工程作为东辛采油厂第一批次开发的页岩油油井，包含 FY1-2HF、1#、2#、3#、4#、5# 共计 6 座井台，设计单位为山东莱克工程设计有限公司，监理单位为山东胜利建设监理股份有限公司，施工单位为中石化胜利油建工程有限公司。

东辛页岩油一期包含 6 座井台一标段及四标段合计 63 台橇装设备的施工，涉及到现场压裂完成后放喷时间的限制，通过“标准化设计、工厂化预制、模块化施工”，进行现场立体安装，极大的减少了现场施工工作量，缩短了施工周期，降低了安全风险，保证了安装质量。同时，橇装设备的成套组装对应了集团公司提出的“五化”建设模式的要求，保证了工程本质安全质量，极大地避免了施工高峰期。

工厂化预制及模块化施工技术应用，将钢结构、工艺管线预制安装、电仪设备安装、防腐保温等工作所在地由施工现场变为工厂化预制，将工艺及电仪设备通过钢结构橇座组

合在一起，实现了现场的功能需求，同时钢结构橇座、非标容器、工艺管线、电仪安装可以进行平行作业，同时展开，各个工序进行了融合大幅度的提高了施工效率。

2 标准化设计^[2]

东辛页岩油依托东胜页岩油已取得的建设经验和科技成果为基础，统一建设管理模式，形成了一套适用于页岩油全生命周期的标准化设计体系。东辛页岩油现场井台统一了井台工艺区布局和工艺流程，多采用“中压油气分离”的工艺流程，即：

原油生产流程：各单井来液—油气分离器橇—加热炉橇—高含水油输至集油干线

天然气流程：油气分离器橇—天然气干燥器橇—天然气干燥器期阀组橇—天然气外输

工艺区橇装设备主要包含 2 台油气分离器橇，1 台天然气干燥器橇，1 台天然气干燥器阀组橇，1 台水套加热炉橇，1 台高低压阀组橇，1 台标定阀组橇，另外根据井口数量配

备相应的单井计量装置橇，作为整体标准井台的成套橇装。统一化，加快了材料的采购进度，提高了橇装设备的预制效率，实现了材料规格的统一化，设备规格型号（见附表 3-1）的率，更方便了现场使用的统一调配。

表 3-1 东辛页岩油主要橇装设备一览表

序号	橇装类型	橇装名称	橇装规格	数量	单位
1	非标容器橇	油气分离器橇	3800x11000	9	套
2	非标容器橇	天然气干燥器橇	3200X12800	6	套
3	非标容器橇	水套加热炉橇	3200X13000	5	套
4	工艺橇	天然气干燥器阀组橇	3200X5000	6	套
5	工艺橇	标定阀组橇	1500X2100	5	套
6	工艺橇	高低压阀组橇	1500X3500	5	套
7	工艺橇	单井装置计量橇	1500X2900	16	套

3 工厂化预制的组织模式及流程

(MES) 已逐渐步入正轨，为下一步数字化技术的应用打下坚实的基础。

3.1 工厂化预制的组织模式

炼化工程公司（智能制造厂）工厂化预制技术采用“固定预制厂+移动作业线+现场简易加工平台”相结合的施工模式，建成了炼化工程公司（智能制造厂）自动化预制基地，形成了“三维生产设计、数字化施工、流水化作业、自动化焊接、同步化预制、模块化总装”预制成橇装技术；初步构建了“标准化设计、工厂化预制、模块化施工”的现场拼装“搭积木”模块化建设体系，于 2023 年成功获批“山东省油气高端橇装产品产业化中式示范基地”。

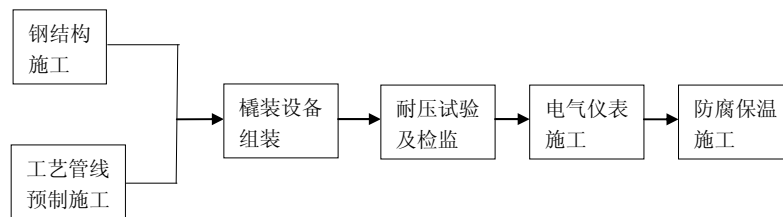
东辛页岩油目前施工完成的 63 台橇装设备，充分应用五轴数控切割、坡口一体化集成装置，实现工艺管道自动排版、集中下料、定长切割，一次性完成直口切断+V 型坡口加工，管道切割损耗率从 5%降低到 2%，实施采集工厂内+施工现场全自动焊机的焊接电流、电压、焊接速度，实现焊接质量的监控，焊接一次合格率提升 5%。

目前，公司与南京奥特合作，引进了管道预制管理系统

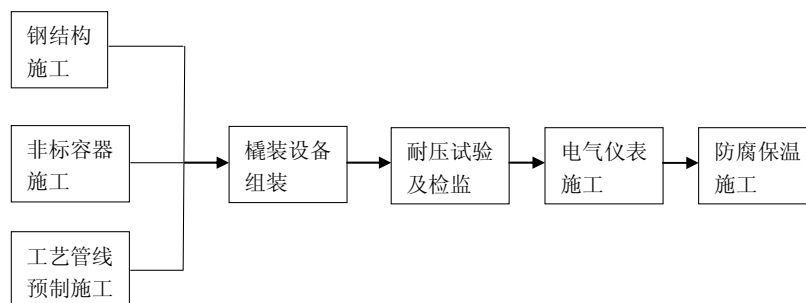
3.2 工厂化预制的流程

1) 工艺橇装施工流程：

钢结构施工—工艺管线预制—工艺管线组装—耐压试验—电气仪表施工—防腐保温



2) 非标容器橇装施工流程：钢结构、非标容器、工艺管线同步展开施工，然后进行橇装设备的成套组装。



4 橇装设备模块化施工技术

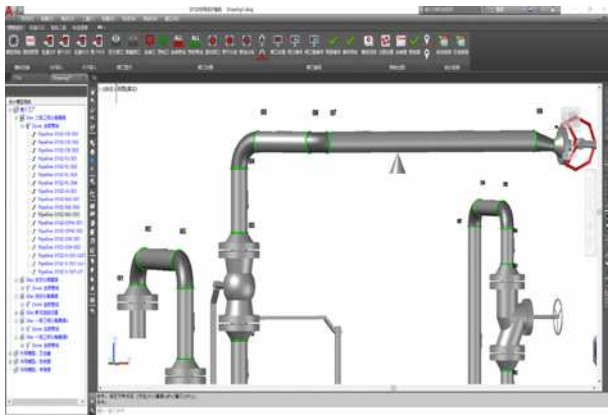
4.1 橇装设备的模块化施工准备

4.1.1 钢结构

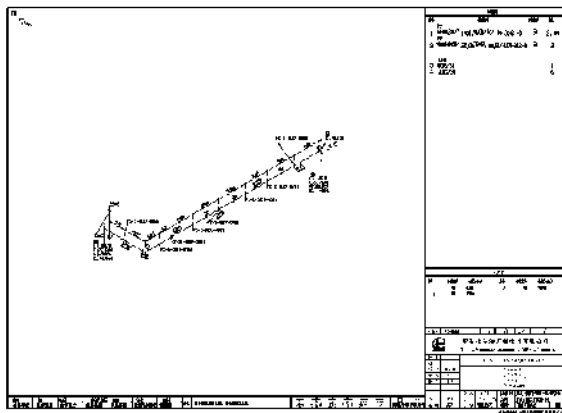
根据设计图纸及相关模型,进行钢结构的材料汇总,进行钢材及型材的下料排版。对于同种规格同种类型的橇装,利用数控切割设备进行批量精准下料。东辛页岩油同种类型的橇座材料,通过到货材料尺寸进行了合理的排版,统一批量下料,提高了下料效率,节约了材料。

4.1.2 非标容器

根据非标容器设计单位给出的设计图纸,核对与工艺管线安装中管孔的位置、标高及连接形式的一致性。同时根据设备及橇座的高度,确定是否需要在拉运过程中进行拆解,设置相应的吊耳,通过技术措施,保证现场复装的精度。



4.1.3-1 管道预制图



4.1.3-2 管道轴测图

4.1.3 工艺管道

目前工艺管道的预制是整个橇装设备制作的关键工序,通过设计单位给出的设计图纸及模型图,利用EP3D二次加工软件,对工艺管道部分进行拆分。根据工艺管线的长度及材料到货尺寸,确定工艺管线的焊口位置。根据三维模型拆

分完成后,给出管材、管件、法兰、支架的相关信息,进行预制管段的界限分割、自由管段和封闭管段的合理划分。通过二次设计的深化加工,标明管道组成件的检测要求、空间尺寸、管线号、焊缝编号、仪表位置、预制的公差等必要的预制信息,形成工艺管线深化设计的轴测图。

4.1.4 电气仪表设备

电气仪表设备的安装是实现现场自动化控制的关键工序,通过设计图纸及深化设计的轴测图,提前将需参与试压的各类取源部位套管进行焊接,将各类电气仪表设备、电气仪表的线路、电气仪表的管路在橇装设备钢结构上进行定位预制安装,以满足橇装设备整体完成后的调试工作。

4.2 橇装设备的模块化施工

4.2.1 橇装设备钢结构橇座的预制

橇块钢结构在预制前,先进行防腐底漆处理。钢结构的预制包括钢结构框架预制,钢结构支撑安装,整体花纹板铺设。预制原则为先长轴、后短轴,再中间横梁,最后进行设备支座的定位预制焊接。

4.2.2 橇装非标容器的预制

非标容器的预制严格按照压力容器质量保证体系的要求进行,通过在施工过程中的质量控制,验收完成并经当地特种设备管理部门验收合格后,整体移交橇装安装机组进行后续的橇装成套组装。

4.2.3 工艺管道预制

工艺管道的预制通过前期工艺管道模型的拆分经深化设计后形成的轴测图为施工图,采用自动化作业生产线。依托工厂内的激光切割机、五轴式切割作业线对材料进行精准下料;采用组对作业线完成管线与管件、管线与法兰的组对工作,采用工厂化厂房内的悬臂式自动焊接机械进行工艺管线的焊接。



4.2.3-1 五轴数控切制作业线



4.2.3-2 自动焊接作业线

4.2.4 撬装设备的组装及拉运

钢结构施工、非标容器施工、工艺管道预制完成后，统一由撬装设备安装机组进行组装，

1) 组装平台的预制，根据设计图纸，确定组装的平台尺寸，利用水准仪等设备进行基准平台的搭设，确保搭设平台的标高。

2) 钢结构撬座与设备的组装：利用三维模型图，将钢结构撬座在组装平台上就位，按照设计图纸及三维模型图，进行设备位置的复核，进行吊装就位，并用螺栓进行固定。

3) 工艺管道与设备的组装：将已预制并检测合格的工艺管线，根据设计提供的工艺管线安装图，从设备管口为起点，已经工艺管道的组装工作，阀门、过滤器、流量计等设备随工艺管道安装顺序同步安装。

4) 电气仪表设备的组装：待工艺管线安装完成后，电气及仪表设备的穿线管及接线工作按照设计图纸进行，并将不参与试压的设备设施进行标记或后续安装。

5) 附属设施的安装：附属的劳动保护及梯子平台随施工进度按照图纸进行相应的安装。

6) 整体试压：待设备、工艺管道等组装完成后，无损检测合格，进行了试压前条件确认后，进行预制厂内耐压试验及气密性试压。若需要分模块拉运的设备，在现场组装完成后，随现场装置管线重新进行耐压试验及气密性试验。

7) 防腐保温：

整体试压合格后，对撬装设备进行防腐补漆工作，防腐合格后，进行保温工作。若有必要，可以进行现场保温施工。

8) 撬装设备的拆解及拉运：

撬装设备在工厂内进行整体试压完成后。根据拉运车辆及设备高度的限制，无法将其整体拉运到现场安装，出厂时只能将其分解成模块化进行运输。为减少现场复装的工作

量，降低现场的安全风险，拆解过程尽量减少附设备管线的拆解，并做好撬装设备的拆解后标记工作。以东辛页岩油中9套油气分离器撬为例，需要将卧式设备、立式设备及钢结构撬座在工厂内进行拆解后，分三部分拉运到现场进行组装恢复，在工厂内拆解过程中，需要将拆解的部分根据拆解顺序进行标记编号，进行包装后，随设备同时拉运到现场，便于撬装设备的现场复装。

9) 撬装设备的现场复装：

撬装设备分模块拉运到现场后，撬装设备复装前完成基础的位置、尺寸复验。根据拆解做好的标记，按照设计安装图纸组装恢复，将底部钢结构撬座进行现场就位后，分别将撬座上的相关设备进行就位安装，待设备就位后，及时用高强度螺栓进行连接。按照拆解时做好的标记进行工艺管线的组装恢复工作，并对设备的组装精度进行复核，组成功能齐全的撬装设备。



4.2.4-1 现场组复装完成的油气分离器撬

10) 撬装设备现场复装后的试验

现场撬装设备整体组装完成后，进行现场重新试压前的条件确认后，待现场工艺管道连通完成后，随现场装置工艺管道进行整体水压试验和气密试验。试压完成后将因试压已拆除的电气仪表设施安装到位，进行撬装自动化仪表设施的调试工作，确保撬装设备的功能性。

4.3 撬装设备模块化施工的质量控制

4.3.1 材料检验

1) 管材、管件验收

管材及管件根据产品质量证明文件进行验收，核对管材及管件的材质、规格、型号、数量，进行外观质量和几何尺寸的检查验收，符合标准规范要求。

2) 阀门验收

阀门外观检查。阀体应完好，开启机构应灵活，阀杆无歪斜、变形、卡涩现象，标牌应齐全。根据设计要求，对阀门进行壳体压力试验和密封试验，不合格不得使用。

3) 电气仪表类设备的验收

电气仪表类设备根据产品质量证明文件进行检查验收,核对材料及设备的规格型号数量,对于有防爆要求的材料及设备,重点检查其防爆编码及证书,符合标准规范要求。

4.3.2 焊接质量控制

1) 焊工管理

撬块施工的电焊工,必须持“双证”上岗,证书在有效期内;入厂前对焊工进行考试,考试合格后方可用于模块的施工。每个焊工在施焊前,必须熟知焊接工艺规程,焊接质量标准,安全施工要求等知识,施焊时严格执行焊接作业指导书。

2) 焊接工艺管理

施工前召集主要施工人员开展专项技术交底会,详细介绍施工方案和焊接技术,重点强调施工过程中的注意事项和焊接质量的重要性。根据结构特点,编制相应的焊接工艺指导书(WPS),能覆盖每种结构的焊接,并在施工现场张贴相应的WPS,并进行相应的WPS进行交底。

3) 焊接过程控制管理

对于在焊接过程中预热、层间温度进行相应的抽查,如有违规,应做相关的处理。焊工要确保焊接工艺规程的所有要求都能达到。

在焊接过程中,质检员要对所有焊工进行随机检查以确保他们在焊接过程遵循正确的焊接工艺规程、有资质进行所需工艺及结构的焊接、焊条存储正确并符合焊材控制程序。所有工序都严格执行“三级检验制度”和“三色检验标识”,即:施工队自检,标识为白色;项目部专检,标识为黄色;监理验收,标识为绿色,且每级合格后才能进行下一级检验的申请。若有不合格项目,需及时整改,并按相同的程序进行复验,直到合格为止。

现场施工过程中,严格进行逐项检验,质检加强施工现场的巡检力度,及时发现、制止并纠正违规操作。焊接完成后,根据规范 and 设计要求,对重要构件的焊缝进行无损检测,由专人负责检测过程的真实性,跟踪检测结果及返修情况,并做详细记录,定期公布各个施工队的无损检测的一次合格率。

参考文献

[1]迟艳芬.“五化”集成技术在油气田地面工程建设中的应用分析.市场周刊,2019年第39期0173-0173,共1页

[2]张建.储气库设计与建设中的模块化技术应用[J].油气储运,2022,41(09):1044-1051,共8页

[3]李建波,张俊生,郭超,韩晓.油气田工程模块化施工问题及处理建议.石油工程建设,2018年第B09期82-85,共4页

5 撬装设备模块化施工的问题及建议^[3]

5.1 设计方面

模块化施工的过程中,撬装设备内部阀门的布置,钢结构撬座与立式设备之间的连接形式出现了难以施工的情况,存在阀门尺寸与设计给出的尺寸不一致,钢结构撬座与立式设备连接的紧固螺栓难以进行就位后的安装等情况。建议在3D模型设计审查阶段,施工单位提前介入参与审核。根据现场施工经验,对设计单位提出合理化建议。

5.2 制造方面

模块化施工最终成撬,对撬装设备内的撬快及设备的施工顺序有很高的要求,根据设计图纸,需制定详细的拆装方案,严格控制预制精度,避免因尺寸误差和质量问题导致现场返工。建议严格制定撬装设备的预组装流程及发货前的试压、吹扫及气密性工作。

5.3 现场复装方面

充分利用3D设计模型,根据撬快特点合理安排现场安装顺序。现场复装完成后,撬装设备内的管道随装置内管道进行整体水压试压和气密性试验,以保证整个装置系统的密封性。

6 结论

结合东辛页岩油撬装设备模块化技术的实施,给出了页岩油模块化设计与建造的施工技术方,实现了撬装设备的“标准化设计、工厂化预制、模块化施工”。实践证明,模块化技术能够有效提升工程建设质量、缩短工程建设周期、降低工程建设风险,提升了模块化施工的经济效益。目前东辛页岩油完成了63台撬装设备的施工,每个井台的撬装设备在拉运现场就位后,仅需撬装设备法兰之间的连通,满足了页岩油压裂完成后的放喷的时间限制(7-14天),现场已完成了多个井台的投产,取得了初步成功,真正实现了“搭积木”模块化建设体系。