

渤海区域海上规模压裂装备配套研究与分析

陈肖帆 宋国强 关利永 杜卫刚 高祥涛

(中国石油集团海洋工程有限公司天津分公司, 天津 300451)

摘要: 随着海上勘探开发力度的加大, 海上低渗透、难动用储量所占比例越来越大, 不通过压裂改造, 难以实现经济效益开发, 因此规模压裂对于实现开发海上低渗油气田、提高油气产量日益受到广泛重视。本文通过对渤海区域海上压裂作业模式和作业现状进行分析, 研究当前海上规模压裂的连续供液、连续供砂、连续加油和相关装备配套问题, 提出渤海区域规模压裂装备配套的思路, 为高效开发渤海湾海上区块提供有效的装备技术支持。

关键词: 渤海; 规模压裂; 作业模式; 装备配套

1 渤海区域压裂作业模式分析

渤海是我国最大的海上油气产区, 其处于一个近封闭的内海, 平均波高低于 0.7m, 平均深度 18m, 海洋石油开采环境较为简单, 是目前海上开展规模压裂施工最为频繁的海域。渤海区域海上规模压裂发展至今主要形成三种作业模式, 压裂设备全部为橇装结构。

1.1 船舶支撑作业模式

即将全部压裂设备和材料定置在支撑船舶上, 通过高压软管将船舶与平台间泵注流程连接到一起进行压裂施工的模式。支撑船同时兼具支撑剂存储, 液体配置、存储, 分析化验, 数据采集和泵注施工等功能。此作业模式施工组织简便, 配套较为成熟。但对海况和船舶承载能力要求较高, 且在海面风力超过 6 级或浪高超过 2m 情况下难以进行施工, 更适用于近岸浅海水域, 如渤海湾。

1.2 单一平台支撑作业模式

即将压裂设备和材料布置在海上钻修井平台上, 待完成钻修井作业后, 利用平台上的资源完成压裂施工。此种作业模式一旦设备物料动员完成, 施工期间一般不受海况影响, 进行规模压裂连续性好。但受到平台甲板面积的制约, 压裂机组配套数量小, 压裂泵注排量受限, 实践证明 $4\text{m}^3/\text{min}$ 以上排量的压裂施工难度较大, 且由于甲板非专用, 施工周期长。

1.3 多平台支撑作业模式

即将全部或部分压裂设备和材料布置在专用辅助平台, 作为压裂施工主场地。将部分设备物料布置在钻修平台上, 通过高压软管将平台与平台泵注流程连接到一起开展压裂施工, 可通过铺设栈桥方式, 增加平台与平台间的联系。目前海上压裂尚处于勘探阶段, 以单井压裂为主, 所以此作业模式尚未开展过现场应用。

2 渤海区域规模压裂装备配套现状分析

对比渤海压裂三种作业模式得出: 单一平台支持作业模式, 因场地空间和多功能性使用需求等硬性条件限制, 存在作业时间长、平台日费高、综合效益差的缺点, 压裂规模无法提升, 改造效果不理想。船舶支撑作业模式可以有效克服其他两种模式的缺点, 现阶段更具有研究意义。目前渤海区域使用集成压裂船, 压裂橇布置可

达 10 台以上, 理论排量可达 $8\sim 10\text{m}^3/\text{min}$ 甚至更高, 但要实现规模压裂的整体配套, 突破现阶段海上“千方液, 百万方砂”的规模极限, 向海上“万方液, 千方砂”目标迈进, 还需要在现有配套方案基础上克服“连续供液, 连续供砂和连续供油”等问题。

3 海洋规模压裂作业连续供液问题

3.1 淡水基压裂液解决办法

海上作业空间及淡水资源受限, 导致海上压裂施工难度大, 改造规模小, 较难沟通深部储层。总结已实施的规模压裂实例, 在不影响船舶压载及安全航行情况下, 通过在船舶甲板面布置储液罐和船舶舱室轻度改造及增加提液泵的方式, 船舶存储淡水的规模已经达到 2500m^3 , 可有效增大增产规模。

3.2 海水基压裂液的需求

海水基压裂液可有效解决海水硬度高、矿化度高、有机质及细菌含量高等对常规胶胺压裂液体系配液带来的难题, 具有溶解性好, 耐盐性强, 耐温耐剪切, 连续混配在线施工等优点, 可为高效开发渤海湾等海上区块提供有效的技术支持。针对渤海海域海水泥质浊度高和盐水基压裂液配置要求, 在工程作业船增设海水过滤装置, 就地取用作业区域海水, 去除海水中的悬浮固相, 达到配置压裂液性能的标准, 理论上可实现压裂液的无限供应, 满足海上高效开发的施工要求。

4 海洋规模压裂作业连续供砂问题

支撑剂存储空间是限制海上规模压裂规模的重要因素。为促使裂缝得到有效支撑, 需要在提高压裂泵注排量造缝的同时增加支撑剂铺设浓度, 以形成足够的支撑裂缝。目前海上大型储砂设备容积不超过 110m^3 , 在船载压裂无吊机配合的情况下无法扩展, 当砂量超过存储能力时需要船舶回港上料, 增加了作业时间, 限制了海上压裂改造规模。针对海上船舶作业面积和输砂现状, 采取以下两种手段实现砂量规模突破, 保证连续供砂。

4.1 垂直螺旋加砂系统

在原有砂罐基础上加装一套垂直螺旋加砂系统, 持续向砂罐中补充支撑剂, 单航次可以满足压裂所需全部支撑剂的运输和供应, 突破海上规模压裂砂量限制, 提高海上水力压裂施工规模。该系统由加砂模块与输砂模

块组成,采取模块式设计,通过电机驱动控制。输砂模块由2段垂直输砂螺旋与1段水平输砂螺旋组成。砂料由吊车运至下料砂斗,由垂直输砂螺旋输至砂罐顶端,由水平输砂螺旋将砂料运至各个砂罐。

4.2 柔性绞龙螺旋输砂器理念

柔性绞龙螺旋输砂器的工作原理:电机轴和螺旋弹簧用螺杆链接,电机带动螺旋绞龙旋转,输入端口的支撑剂在旋转绞龙的作用下,沿着绞龙的螺旋升角到达输出口,由于重力作用,自动排出支撑剂。与其他输砂设备相比,该输砂器具有体积小、重量轻、便于移动、操作安全、维修简便等特点。对船舶或者平台规模而言,可有效节省场地面积,灵活布局输砂设备。

5 海洋规模压裂作业连续供油问题

海上规模压裂作业时间长,按照施工液体 2000m^3 ,泵注排量 $8\text{m}^3/\text{min}$ 计算,预计泵注时间 4.16h ,泵注排量 $10\text{m}^3/\text{min}$ 计算,预计泵注时间 3.33h ,目前整套柴驱压裂设备连续泵注时间只能保证 3h ,考虑到作业富余量和连续性,制定了集中供油装置方案。采用油泵主动供油,供油橇泵油给分配器,分配器通过油管供油给压裂车主柴油箱,通过控制柴油箱高低液位保证压裂车的正常供油。通过此连续加油装置可以解决海上大型压裂施工中途加油难题,对10台以上压裂泵精准集中供油、1台混砂橇和2台供液橇等采用独立供油,实现泵注期间自动加油,突破海上压裂规模限制。

6 海洋规模压裂作业现场设备配套问题

6.1 压裂机组配套

6.1.1 压裂橇的体积和数量

低渗透油藏规模压裂施工压力高,海上施工需要充分考虑设备摆放空间,优选单机功率更大且占地空间小的压裂橇,可以减少施工设备数量,有效利用甲板面积。选择压裂泵数量时,其排量标准应参考最高工作压裂下的排量,橇装压裂设备为 $1\text{m}^3/\text{min}$ 。按照最高施工排量 $10\text{m}^3/\text{min}$ 、最高施工压力 80MPa 的改造规模,现场最少保有量为10台2000型压裂泵及以上的压裂泵。

6.1.2 混砂橇的能力

多混砂联合作业目前海上还较难实现,而单个混砂橇的最大输液能力和输砂能力是限制施工排量的一个重要因素。现场优选单机排量大且占地空间小的混砂橇,可以更好解决现场占地和中间枢纽供砂供液问题。按照压裂加砂量超过 100m^3 ,压裂施工甲板至少配备100BBL混砂橇1台,同时配套80方砂罐1个、20方砂罐2个和连续供砂装置1套,以保证现场规模压裂的供液供砂的连续性和稳定性。

6.1.3 其他因素

仪表橇是整个压裂机组中的控制系统中心,对压裂机组进行集中控制,采集和记录施工参数。在规模压裂施工中参与压裂橇的数量通常达到10台及以上,在仪表橇内对整个压裂机组和施工统一精确控制,实时同步读取作业数据,方便现场监控压裂整个过程。

6.2 流程管汇配套

目前渤海湾海上压裂设备现状:主体设备由2000型压裂橇或2500型压裂橇,压裂主管汇为3"管线,施工现场布置3"排出管线,可实现最大排量 $5.6\text{m}^3/\text{min}$ 的压裂施工规模。

6.2.1 大尺寸双流程高压管汇

目前,海上压裂主管汇为3"硬管线,基于规模压裂排量和压裂的要求及场地规模限制的考虑,定制4"10通高压管汇双流程和压裂船尾的双柔性高压软管滚筒,配套足量的4"高压管线和高压软管,满足最高施工排量 $10\text{m}^3/\text{min}$ 、最高施工压力 80MPa 的施工要求,同时优选高压件材质,减轻重量,提高产品质量,减小海上管线作业强度。

6.2.2 低压管汇

低压管线用于液罐、混砂橇、压裂泵等设备之间的流体输送,低压管汇包括连接液罐、供液橇、连续混配橇、混砂橇、压裂泵以及低压管汇组之间等,采用4"快接胶管,最大流量 $2\text{m}^3/\text{min}$ (清水介质);同时考虑到粘度、输送距离以及备用接口等因素,软管连接数量应扩大到所需最小数量的1.5~2倍。

6.2.3 压裂施工船和平台连接方式

考虑海上因风浪、潮汐作用,船体摇晃无法使用高压硬管线连接,以及平台空间狭小无法放置众多压裂设备的现状,压裂施工船到达平台后采取尾靠方式,系缆,与平台舷边采用柔性高压软管连接,在压裂施工船尾部配套安装快速解脱装置,以减少由于风浪、潮汐、海流作用给压裂施工带来的风险。

综上所述:①船舶支撑作业模式以及相关的装备整体配套,可有效实现渤海区域海上规模压裂作业,突破现阶段海上规模极限,为现场压裂施工提供借鉴;②目前海上压裂装备采用橇装柴驱压裂橇,考虑到3000型及以上的压裂橇的质量和尺寸受限,后期考虑海上整发电驱压裂机组的发展方向,经济环保高效,结构紧凑,体积小,重量轻,功率密度高;无级调速,运行平稳;满足大排量、高压、长时间作业的需要,同时可减少国外配件的依赖性。

参考文献:

- [1] 贺平.浅谈海上油气田工程压裂作业船及装备配置技术[J].中国设备工程,2018(5):142-143.
- [2] 刘克强,王培峰,贾军喜.我国工厂化压裂关键地面装备技术现状及应用[J].石油机械,2018,46(4):101-106.
- [3] 彭俊威,周青,戴启平等.国内大型压裂装备发展现状及分析[J].石油机械,2016,44(5):82-86.
- [4] 张文峰,王琛.浅谈国内压裂装备研究与应用现状[J].内江科技,2018(10):82-86.

作者简介:

陈肖帆,男,陕西户县人,工程师,2007年毕业于西南石油大学石油工程专业,从事海上酸化压裂、连续油管、氮气气举等业务技术支持和现场作业。