

深水表层固井水泥浆体系应用现状及发展方向

刘孟慧

中海油田服务股份有限公司

【摘要】现如今,世界各国都在加紧深水油气资源的勘探和开发。深水钻井作业面临诸多挑战,尤其是地面钻井作业,低温、浅流、低地层破裂压力等对固井水泥浆尤其是地面固井水泥浆提出了特殊要求。地面固井水泥浆既要在低温、低密度下快速凝固,满足支撑套管的需要,又要有效防止浅流造成的伤害。目前,我国深水地面水泥浆体系的研究和应用尚处于起步阶段,而国外深水地面钻井使用的水泥浆体系主要是泡沫水泥浆和优化粒度分布水泥浆,其中泡沫水泥浆体系存在设备和操作复杂、体系相容性差等缺点。因此,近年来,颗粒级配水泥浆体系的优化得到了越来越多的应用。

【关键词】深水;表层;低温;固井;水泥浆

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6288.2021.12.107

先对国内外深水表层固井水泥浆体系进行了介绍,阐述了各水泥浆体系的现场应用情况及先进经验,并针对性的提出了存在的问题。结合存在的问题和国内深水海域环境温度的特点,自主研发了适用于表层套管固井的低温、低密度、低水化、热防窜和低温早强防浅层流水泥浆体系,并成功应用于现场作业。最后提出了深水表层固井技术未来的发展方向。

一、常规的固井水泥浆的体系

中温的固井水泥浆体系的适用温度一般在小于或者等于120℃;高温的固井水泥浆体系的抗高温的性能十分优秀,适用的温度是不超过160℃;超高温的固井水泥浆体系抗高温的性能更加的突出,是目前比较少的使可控温度达到200℃的水泥浆体系,适用的温度一般都不超过200℃。这中体系适用在淡水的水泥浆固井,同时也可以用于矿化度比较高的水泥浆固井;它可用于常规的一般条件的固井,同时也可以用于低密度、高密度的特殊条件的比较复杂的固井;应该具有优良的水泥浆体系性能,可以广泛的使用水泥浆体系;具有良好的可调控性、浆体的各个性能比较稳定。各种性能都非常容易调节的特点。

二、国内外深水表层固井水泥浆体系存在问题

1. 早强剂适用性较弱。目前深水固井水泥浆的可水溶类早期增强剂主要以氯化物为主,存在水化放热大、腐蚀套管及水泥等副作用;而非水溶类早期增强剂,又只能用于有干混设备的井场;对温度较敏感,只能适用单一的温度条件。

2. 水泥浆防窜能力较弱,防浅层水-气窜能力不稳定。

3. 现场适应性差。快凝石膏水泥体系和高铝水泥体系对温度敏感性较差,不适用于深水固井温度更低的情况,且水化放热过快,对污染物敏感,后期强度衰减,不利于油气井的长期稳定性;泡沫水泥浆体系水泥浆、PSD水泥体系和高

强水泥浆体系的性能随着井底温度和压力的变化极不稳定,只是片面追求了抗压强度的发展,对稠化时间等性能影响较大,易发生固井事故,而且其技术复杂,成本过高。总而言之,这些水泥浆体系的早期增强技术比较单一,使用温度比较局限;国内深水固井没有形成成熟的体系,更没有配套的外加剂体系;大部分还是采用了国外的固井材料,成本很高。

4. 井口下沉问题。深水表层固井通常采用内管柱(0508mm套管作为表层套管)或水下释放胶塞(0339.73mm套管作为表层套管)方法固井。表层钻进结束后,为平衡地层防止井壁坍塌,在井内垫入高密度的垫浆。表层套管下到位,使用海水循环时以及在固井期间泵注水泥浆时,管内外流体密度差将导致整个管串受力不同,因此在固井前循环和固井期间需要根据管内外流体密度差实时对整个管串悬重进行调整以确保不发生井口下沉。南中国海深水区域出现2口深水井表层固井前循环和固井期间发生井口下沉,后续在钻井设计和现场作业时采取多种措施以确保表层套管固井前循环和固井期间减少发生井口下沉的风险,具体措施为:(1)加强导管入泥深度与井口稳定性的研究;(2)增加导管入泥深度,提高地层对管串的承载力;(3)尽可能使用防沉垫,增加接触面积,减少下沉风险;(4)固井前和固井作业期间根据管内外流体密度差实时对整个管串悬重进行调整。

三、国产深水表层固井水泥浆体系研究与应用

由于深水表层固井面临着低温缓凝、安全作业窗口窄、浅层水(气)流以及水合物的特点,结合国外固井公司水泥浆体系的不足以及国内深水表层固井水泥浆体系研究的空缺,中海油服油化事业部针对这些问题研制出适用于我国深水海域温度环境的表层固井水泥浆体系,即PC-LoLET低温低密度低水化热防窜水泥浆体系和PC-LoCEM低温早强防浅层流

表1 水泥浆性能(BHCT=23℃,BHST=14℃,BHP=15MPa)

项目	密度/kg·m ⁻³	API失水/mL	稠化时间/h: min	24 h强度/MPa	$\phi_{300}/\phi_{200}/\phi_{100}/\phi_6/\phi_3$
首浆	1 400	18	8:58	7.5	86/74/57/29/18
尾浆	1 850	28	5:19	14.2	151/127/103/35/26

水泥浆体系。

1. PC-LoLET低温水泥浆体系。天然气水合物是在低温高压下由水与气体分子组成的类冰、非化学计量、笼形固体化合物，俗称“可燃冰”。在深水作业过程选择井位时，水合物应该尽量避免。但是如果钻遇水合物，对深水固井来说面临两项挑战：（1）固井水泥浆水化放热分解水合物。（2）单位水合物可以释放170单位的气体，把水泥浆冲出海底，危及平台。PC-LoLET水泥浆体系是针对深水水合物的特点以及结合深水低温、压力窗口窄小的特点研发的，该体系主要由人造微珠以及2种防气窜添加剂组成，可避免水泥在水化放热过程中的水化放热时不分解水合物，该体系已经在我国深水海域成功应用。应用案例：某井0508mm表层套管固井面临地层松软、地层破裂压力低、易漏失等特点，且由于井场调查显示有水合物存在风险，结合实际井况要求，使用了新型PC-LoLET低温低水化热水泥浆体系。该井0508mm表层套管计划下至垂深1 711m，井温梯度5℃，静止温度14℃，循环温度23℃。通过室内配方优化实验得出了水泥浆配方，其基本性能见表1。

固井作业过程：0508mm表层套管下至设计井深后，采用0.7m³/min排量开始循环，返出正常后逐渐增加排量到2.2m³/min；循环海水2周，固井泵泵显示液3.2m³，固井泵泵注冲洗液8m³；固井泵混泵密度为1 400kg/m³的水泥浆130.5m³；固井泵混泵密度为1 850kg/m³的水泥浆32m³，卸压检查无回流。缓慢释放套管悬重，水下机器人观察无井口下沉现象。候凝8h，探塞位置1 690m，与设计相符。钻套管附件及水泥塞至1 711m，套管试压2mPa/5min，10MPa/15min，合格，符合设计。三开钻进中未发现水泥掉块。由此表明PC-LoLET水泥浆体系满足深水表层固井要求，保证了下步钻进作业的顺利进行。

2. PC-LoCEM水泥浆体系。PC-LoCEM水泥浆体系是针对深水浅层水（气）流的特点以及结合深水低温、压力窗口窄小的特点研发的，该体系主要由2种低温早强添加剂组成，在保证稠化时间的条件下，在低温10℃情况下14h形成支撑套管的3.5mPa强度，24h达到6.9mPa，72h水泥块强度达到19.6mPa的高强度，甚至在低温3℃时也表现出较好的早强效果。应用案例：某井0762mm导管固井面临地层松软、地层破裂压力低、易漏失等特点，且由于井场调查显示有浅层水流风险，结合实际井况要求，使用了新型PC-LoCEM低温早强防浅层水水泥浆体系。该井0762mm导管计划下至垂深571m，井温梯度4.96℃，静止温度13℃，循环温度15℃。通过室内配方优化实验得出了水泥浆配方，其水泥浆基本性能见表2。

表2 水泥浆性能（BHCT=15℃，BHST=13℃CBHP=12.4MPa）

项目	密度/kg·m ⁻³	稠化时间/h	24 h 强度/MPa
首浆	1 900	8.02	6.9

固井作业过程：0762mm导管下至设计井深后，采用

0.7m³/min排量开始循环，返出正常后逐渐增加排量到1.8m³/min；循环海水2周，固井泵泵显示液1.6m³；固井泵混泵密度为1 900kg/m³的水泥浆57m³；顶替海水10.9m³，卸压检查无回流，水下机器人观察无井口下沉现象。探塞位置551m，与设计相符。钻套管附件及水泥塞至571m，符合设计。二开钻进中未发现水泥掉块。由此表明PC-LoCEM水泥浆体系满足深水表层固井要求，保证了下步钻进作业的顺利进行。

四、深水表层固井未来发展方向

1. 深水表层固井层间分隔技术。针对深水固井地层松软、浅层水、气的窜流特点，研究一种对水泥水化没有影响的钻井液固井液一体化钻井液体系。这种体系既能够提高地层和水泥石之间的胶结强度又能够提高海底松软地层的胶结强度，增大浅层流体进入水泥环空的阻力。

2. 全液化深水表层水泥浆体系。目前国内深水表层固井使用的低密度漂珠水泥浆体系存在混配不匀，容易损失等缺点，而且不适用未来岸基支持较远或者无岸基支持的深水作业；外加剂也是沿用常规的，没有特别针对低温下进行外加剂的研发，因此研究液体减轻剂来代替使用漂珠、避免低温缓凝的分散剂是未来深水表层固井水泥浆体系研究的突破口。

3. 国产化注水泥设备和工具。如何准确实现深水固井设备电驱、大排量、自动化和智能化将成为今后研究重点。随着深水固井材料全液化技术的发展，与之配套的液体添加系统的研究也是非常必要的。此外，由于深水水泥头等井下工具都掌握在国外手中，因此未来深水水泥头等井下的工具的国产化非常有必要。

4. 提高注水泥顶替效率。由于深水表层地层松软、未胶结，压力窗口狭窄等特点，水泥浆在顶替过程中的流态很难实现紊流顶替，造成水泥浆顶替效率低，影响了固井质量，因此需要加大该方面的技术研究。

5. 减少水泥浆沉降。针对我国深水探井800m水深内需要切割井口的规定，出现了多口井切割回收的低高压井口头之间没有水泥环封固，表明表层固井结束后水泥有所沉降，未能有效封固，严重影响了切割时效，因此如何避免表层固井水泥浆的沉降，后期需要加大力度进行研究。

总之，研发钻井液、固井液一体化体系、全液化深水表层水泥浆体系和国产化注水泥设备和工具等将是未来深水表层固井的发展方向，同时如何通过提高注水泥顶替效率、减少水泥浆沉降以及优化固井设计软件系统来提高固井质量也应加大研究力度。

参考文献

[1] 屈建省, 吕光明, 吴达华, 等. 固井新材料的研究现状及展望[C]. //2004年固井技术研讨会论文集. 2004: 9-18.
 [2] 王彪, 陈彬, 阳文学, 等. 深水表层固井水泥浆体系应用现状及发展方向[J]. 石油钻采工艺, 2015(1): 107-110.