

在渤海湾使用高强度微球 外加剂改善了水泥性能

C. Wu, Halliburton Ltd.
D. D. Onan, Halliburton Services

赵凯民 译
黄荣樽 校

摘 要

渤海湾的作业者用空气囊作为一种低比重水泥外加剂,几乎已经消除了补救性的挤水泥要求。空气捕集于主要由硅和铝构成的空心小球中,这种小球加到水泥浆中能使其比重比水还轻,而且具有必需的强度,可提供良好的一次性注水泥作业。

渤海湾的井底静止温度为275~320°F(135~160°C),这给渤海湾地区的固井带来了困难。泥浆比重为1.1~1.2,多数井有3~8个生产层,产层之间封隔良好是中途测试和将来生产工作的关键。使用高强度微球作为一种水泥外加剂已经改善了套管和尾管的一次性注水泥作业。

目前在渤海湾的上述封固段中已很少进行补救性挤水泥作业。

引 言

虽然早在1911年在油气井中下套管注水泥就已付诸实施,但使用低比重水泥浆进行注水泥作业的优点直到1940年才被承认。从那之后,低比重水泥浆被应用到油井中以封固对水泥浆液柱静压力敏感的弱地层。这种弱地层在世界范围内都有发现,因而增加了对超低比重水泥浆的需求。

为了减轻水泥浆比重,已在一定条件下接受和使用如:壤土、山软木土、硅藻土、飞灰、硬沥青水泥作外加剂,堵漏碎塑料、核桃壳、硅酸盐增充剂等之类材料,而沥青、油乳化液和低强度微球虽经试用,但未被很好地接受⁽¹⁾。

低比重外加剂的主要目的是减轻水泥浆的密度,同时还要保持有足够的强度。当使用增水的外加剂时,对于比重为11磅/加仑(1318公斤/米³)的水泥浆来说水灰比应为180%。这个水的比例对于能产生适用抗压强度的水泥浆来说已接近最大值。但充填用的水泥是个例外,因为只需有低的强度就可使用。若产生比重为10磅/加仑(1198公斤/米³)的水泥浆就要求水灰比为300%,其结果是这种水泥浆没有足够的强度,从而达不到任何使用目的。

将高强度微形球混入水泥浆中,实质是使用空气囊作为一种低比重外加剂。图1所示为高强度微球外加剂的形状。图2所示为水化水泥中所包含的高强度微球外加剂。球的高强度能

抵抗机械剪切力、摩擦力以及将水泥浆替入油气井中所遇到的静液柱压力。将高强度微球加入水泥浆中所能减轻的密度比单纯混合水还低，并具有足够的强度可用于较宽的温度压力范围。这种掺料之所以有能力减少水泥浆的密度是由于颗粒具有低的比重和相对低的吸附水的性能。高强度微球的有效颗粒密度范围是从一个大气压下的 5.25 磅/加仑 (629 公斤/米³) 到 6000 磅/英寸² (41.37 兆帕) 下的 8.33 磅/加仑 (998 公斤/米³)。

这种随压力变化可预知的有限的密度增量，使得高强度微球可在高压下应用。低的吸附水和低的颗粒密度与其它低密度掺和物相比，则水灰比明显减少。因此，比重为 10 磅/加仑 (1198 公斤/米³) 的微球水泥浆所产生的强度与使用其它类型的低比重外加剂所配制的比重为 13 磅/加仑 (1558 公斤/米³) 的水泥浆大致是相同的。

用高强度微球外加剂配制的低比重水泥浆所具有的 24 小时抗压强度要比用 壤土、硬沥青或是硅酸盐增充剂配制的相同密度的水泥浆的强度高 (见图 3)。图 4 表示高强度微球外加剂的用量 (磅) 和配制量的关系。

高强度微球外加剂容易被水润湿，能很快混合，并在多数压力下其比重比水还轻。高强度微球水泥浆是有效的桥塞堵漏物质，它同大多数油井水泥及其外加剂是相容的。在渤海湾，高强度微球水泥浆在 275~320°F (135—160°C) 时的抗压强度达到 1600 磅/英寸² (11.03 兆帕)，这个抗压强度对以后的中途测试评价工作要求封隔多油层是足够的。

实验室程序

在渤海湾地区使用的所有水泥浆是在塘沽的实验室中设计的。对水的要求是一个非常重要的设计参数，因为用高强度微球外加剂来达到低比重的性能主要不是象使用壤土或硅酸盐增充剂那样靠加入过量的水来达到的。能被接受的水泥浆通常看上去发粘，初始的印象是这种类型的水泥浆不能泵送，然而如果加入过量的水达到看上去不粘，但这样会损害其物理性能。

有几种外加剂如硅粉和石灰被用来促进在高温下达到所需要的强度。使用降失水剂和减阻剂有助于避免搭桥，并可得到良好的流变性能。

在实验室的搅拌器中产生的高速剪切能使微球破碎，然而在现场混合操作中并没有发现不良影响。在实验室配制水泥浆既可用手配制或者是用轨道式混合器配制，使用高温高压稠度仪对所设计的全部水泥浆在模拟的温度和压力下进行试验。在井场散装灰罐内取现场试样以进行重新试验，并确认其结果。

现场应用

在引用高强度微球之前，渤海湾地区通常使用的固井水泥浆是常规的低比重前导浆和尾随的 G 级水泥浆，由于多数井含有 3~8 个生产层，生产层段的总厚超过 1640 英尺 (500 米)，为了中途测试要得到很好的水泥胶结质量是非常困难的。在开始下一步作业之前，需要用数周的时间靠补救性的挤水泥工作是并不罕见的。

井底静止温度为 275~320°F (135~160°C) 的高温，连同井漏和页岩垮塌，促使换用微球混合物以解决这些问题。多数 9⁵/₈ 英寸套管 (244.48 毫米) 的固井作业都是采用单级注

水泥或多级注水泥，分级箍(Cementer)的位置约在上一层套管鞋以下330英尺(100米)，偶而也用两个多级注水泥接箍进行三级注水泥作业。选用多级注水泥技术要取决于是否有浅气层问题。第二级注水泥通常是用常规的壤土或硅酸盐增充剂作为外加剂。

在渤海湾一般要用能与钻井液和水泥浆相容的粘性隔离液。使用这种隔离液不会引起水泥浆粘度的增大，也不会改变水泥浆的凝固和硬化特性。隔离液的流变性能应能容易地置换钻井液而不旁通绕行，而且如果同泥浆相混它不会稠化也不会引起泥浆变稠。一个典型的注水泥程序如下：

1. 10桶(1.6米³)淡水；
2. 30桶(4.8米³)水基磨蚀性隔离液；
3. 10桶(1.6米³)淡水；
4. 压下底塞；
5. 高强度微球水泥浆；
6. 压下顶塞；
7. 置换水泥。

水泥外加剂是这样的：25%的高强度微球、35%硅粉、3%壤土、1%降失水剂和5%石灰在散装水泥厂事先混拌好，然后用供应船运到井上。混合液是用液体减阻剂、降失水剂和抗泡剂配制而成。地面水泥浆的密度为1.43，在井下6000磅/英寸²(41.37兆帕)压力下为1.57，水泥产浆量分别为每袋水泥配2.78英尺³(185升/100公斤)和2.53英尺³(168升/100公斤)，混合液是每袋水泥配10.67加仑(94.6分米³/100公斤)。

通常情况下，如果井上没有一个小容量的泥浆池，则要用淡水配制混合液。在这种情况下，使用海水配制就要借助缓凝剂，以便获得合适的稠化时间。对于9⁵/₈英寸(244.48毫米)套管和7英寸(177.80毫米)尾管两者都使用相同外加剂的配方，以减少在散装罐和运输中的污染。对于处在较深和较高温度的7英寸(177.80毫米)尾管，则要通过加入额外的降失水剂和缓凝剂来达到另外的失水控制和缓凝。这种体系类型已经完美地工作了约一年。

除套管柱注水泥外，渤海湾的作业者也用高强度微球混合物打水泥塞，以封堵严重的漏失层。

在渤海湾一次典型作业的井眼数据如下：

套管尺寸：9⁵/₈英寸(244.48毫米)，47磅/英尺(69.94公斤/米)；

套管鞋深度：10590英尺(3230米)；

静止温度：280°F(138℃)；

井眼尺寸：12¹/₄英寸(311.15毫米)，被冲蚀到13英寸(330.20毫米)；

上层套管：13³/₈英寸(339.73毫米)；68磅/英尺(101.19公斤/米)；

多级注水泥接箍深度：7870英尺(2400米)；

泥浆描述：密度为10.9磅/加仑(1306公斤/米³)的氯化钾聚合物泥浆；

隔离液类型：30桶(4.8米³)水基磨蚀型隔离液(无重晶石)。

图5为渤海湾地区的典型套管程序。

实 例

例1.

在9⁵/₈英寸(244.48毫米)套管上进行多级注水泥作业,使用单一的高强度微球水泥浆,水泥封固段总深度为11480英尺(3500米),返至井深9185英尺(2800米),水泥胶结测井表明胶结良好。

例2.

一口8¹/₂英寸(215.90毫米)的探井钻至10170英尺(3100米)钻井中断出现漏失加气侵的复杂情况,该层在钻机设备的最大能力下还不能够用海水充满,于是采用类似于这个地区套管注水泥的方法,打一个高强度微球水泥塞,经一次试验便恢复循环,以后的钻井没有发生事故。

例3.

过去在中国渤海湾对9⁵/₈英寸(244.48毫米)套管的注水泥质量是不好的,第一级注水泥时经常发生井漏,测井显示出水泥胶结性差。低比重水泥浆通常是由预水化的土壤成份组成。经过大量的现场试验室试验之后,设计出一种适合混拌的高强度微球,现在成功地应用在六口9⁵/₈英寸(244.48毫米)套管的固井作业上,置换时可以全部返出,每次都达到封固良好。

结 论

1. 高强度微球加入水泥浆中可形成低比重固井水泥浆,其抗压强度优于其它低比重水泥浆。
2. 这种低密度水泥浆实际上比用其它低比重外加剂配制时都要低。
3. 高强度微球水泥浆增大了强度和密度之比,这主要是由低的水和固体之比而引起的。
4. 高强度微球水泥浆对在渤海湾所遇到的温度和压力范围是有效的。
5. 高强度微球水泥浆通过它能在渗透层形成厚而固定的滤饼,能在漏失层段恢复循环。

参 考 文 献

1. Harms, W.M., and Sutton, D.L.: "Ultralow-Density Cementing Operations," SPE 9597, presented at the 1981 SPE Middle East Oil Technical Conference held in Manama, Bahrain, March 9-12, 1981.

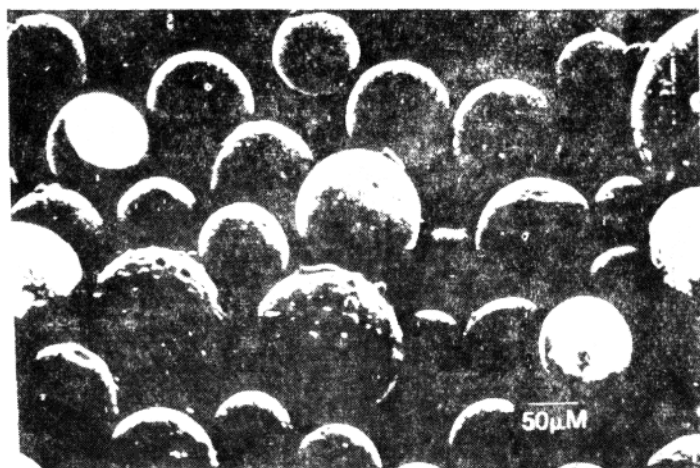


图 1 高强度微球混合物的电子扫描照片

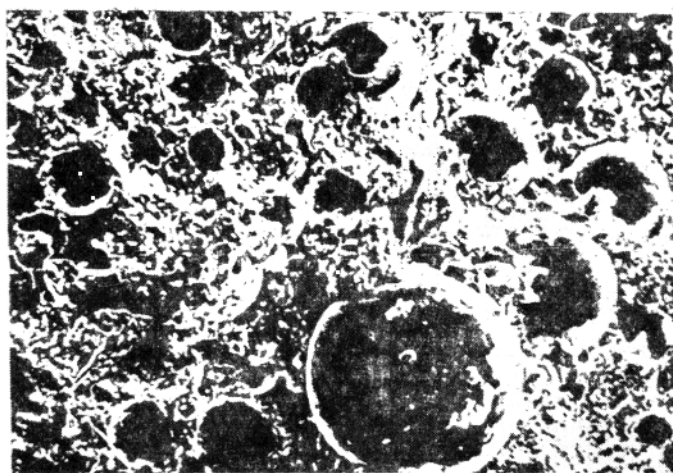


图 2 在2000磅/英寸²的压力下用高强度微球处理的水泥浆, 200倍电子扫描照片

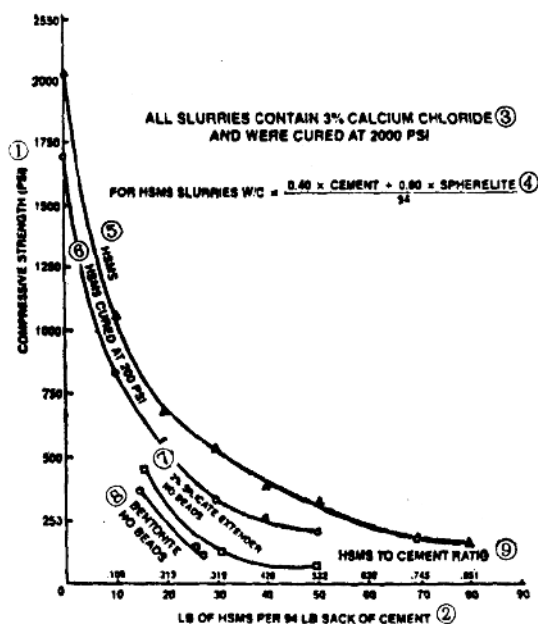


图 3 24小时80°F (26°C) 低比重水泥的抗压强度

- ①抗压强度(磅/英寸²)；②每袋94磅水泥中加入高强度微球的磅数；
 ③全部水泥浆都含有3%的氯化钾并在2000磅/英寸²下硬化；④微球
 水泥浆的水灰比 $w/c = \frac{0.40 \times \text{水泥} + 0.80 \times \text{微球}}{94}$ ；⑤高强度微球；
 ⑥在200磅/英寸²下硬化的高强度微球；⑦2%硅酸盐增剂，无珠
 珠；⑧增土，无珠；⑨高强度微球和水泥之比

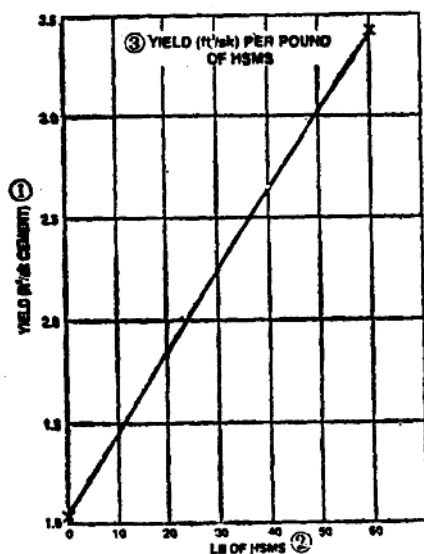


图 4 高强度微球外加剂的用量(磅)和
 配制量(英尺³/每袋水泥)的关系

- ①产浆量(英尺³/每袋水泥)；②高强度微球用量(磅)；
 ③每磅高强度微球外加剂的配制量