

理、化洗井原理及其联洗方法

山西省地质局第一水文地质工程地质队(陈亮执笔)

所谓理、化洗井就是采用液态二氧化碳与以焦磷酸钠、六偏磷酸钙(以下简称焦钠、六偏)等为主剂并添加适量洗衣粉配制而成的化学洗井液进行联合洗井,它较之常规洗井法(冲、拉、提、抽)或单纯的化学洗井法以及化学—机械联洗法洗井彻底,效果好,省时间,适用范围广,更有利于抽水试验获得准确可靠的第一性资料,延长水井使用寿命,增大钻孔涌水量。现将洗井原理以及联洗方法简介如下。

一、焦钠、六偏与洗衣粉的组成、物理性能及洗井原理

1. 焦钠、六偏与洗衣粉的组成、物理性能

焦钠系属一种多磷酸盐,有两种分子式: $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ 为白色粉状无水物, $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 为块状透明结晶体,后者价格贵且不易溶解,不适于洗井使用。焦钠在室温(20℃)时溶解度仅5%左右,水溶液显碱性,pH值9.2—10,对于人体、钢材等具有一定腐蚀作用。

六偏,俗称磷酸钠玻璃体,是偏磷酸钠 NaPO_3 聚合体的一种玻璃状固体,分子式 $(\text{NaPO}_3)_n$ 。具有较强的吸潮性,易溶于水而不溶于有机溶剂,在水中有很大溶解度,水溶液粘度很大,pH在5.5—6.4之间。

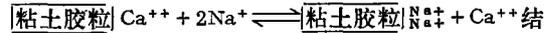
洗衣粉系一种既有有机物、又有无机盐的空心粒状多组分混合物,其中活性较强、比例较多的成份有主剂10—14碳的烷基苯磺酸钠以及助洗剂三聚磷酸钠(简称苯钠和五钠)、硫酸钠、硅酸钠等,其次为羧甲基纤维素(代号CMC)。

2. 洗井原理

(1) 良好的润湿、乳化、渗透能力和表面活性
将焦钠、六偏分别或同时溶于水中,手感滑腻,即可证明该二物稍具表面活性。洗衣粉中的苯钠是一种良好的渗透剂、去污剂和表面活性剂,所以当焦钠或六偏洗井液中加入洗衣粉后,可增强其润湿、乳化、渗透能力,降低水的表面张力。据有关资料介绍,这些表面活性剂的加量只要维持在0.1—1%之间,即可使水的表面张力由平常的72.75达因/厘米降至25—30达因/厘米,液、固相的界面张力则可降得更低。这就能促使该洗井液首先可以充分接近孔壁泥皮,进而有效地渗入含水层内,确保化学反应、物理作用等充分进行。

(2) 较强的阳离子交换吸附作用

焦钠、六偏、洗衣粉溶于水可电离出大量的钠离子并与泥浆、粘土中的钙离子进行等电量交换:

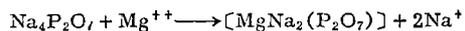


结果可使钙质粘土变为钠质粘土,而钠质粘土易水化分散。又由于六偏、焦钠和洗衣粉中的五钠是一种强分散剂,CMC是一种良好的悬浮剂,这就有可能使渗入含水层内的泥浆胶团、粘土颗粒等处于高度分散与悬浮的胶溶状态。于是,当此洗井液在孔内浸泡一定时间以后,只要辅以适当的冲、拉、提、抽等工作,即能使这些微小颗粒较为顺利地抽吸出来,因而可以疏通含水层孔、裂隙,减少进水阻力,增大钻孔涌水量。

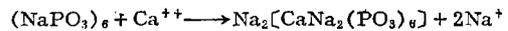
(3) 较强的络合或螯合钙、镁离子能力以及软水功能

理论分析得知,经与钠离子交换吸附置换下来的相当数量的钙、镁等离子游离于洗井液以及井水或含水层中将是十分有害的,它不仅增加水的硬度,天长日久,还会使过滤器和含水层产生结垢封闭现象,导致水流不畅,降低出水量。而焦钠、六偏可与这些离子发生络合作用,使其转化为水溶性复合离子,特别是洗衣粉中的五钠与钙、镁等离子发生螯合作用,能生成环状结构的螯合物,钙、镁等离子被螯合、封锁在五钠的分子键上,因不易活动而使该螯合物更趋稳定,不但本身不会聚结沉淀,一般也不再与别的物质化合而沉淀,只能在洗井过程中被抽出排掉,不但增强了洗井效果,同时也有利于延长水井寿命。有关反应举例如下:

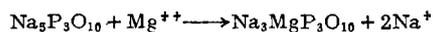
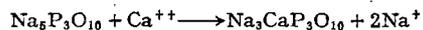
① 焦钠络合镁离子:



② 六偏络合钙离子:



③ 五钠螯合钙、镁离子:



需要指出的是:焦钠、六偏特别是五钠分子中的三磷酸根阴离子,虽然对于金属阳离子有着很强的螯合能力,然而洗井液中电离出来的大量的钠离子却不会因络合或螯合作用而降低洗井效能,因其对于钠离子螯合的牢固程度较之钙、镁等离子要相差近十万

倍,即使被螯合以后,马上又会电离开来,始终处于螯合与电离的平衡状态,而钙、镁等离子被螯合以后,则是一个不可逆反应。据资料介绍以及我们室内试验证明:当其浓度相同时,五钠对于泥浆较之焦钠、六偏分散快,分散度高,稳定性好,缓冲作用好、防腐能力强。现将三者有关性能列于下表。

焦钠、六偏、五钠有关性能比较

性能	焦钠	六偏	五钠
水溶液pH值	9.2—10	6.0—6.6	8.5—9.2
水溶液表面活性对钢材腐蚀作用	增加较强	显著增加较弱	增加微弱
软水功能	差	很好	好
溶解钙盐	差	很好	好
结合镁盐	很好	好	很好
结合铁	很好	好	好

(4) 洗衣粉中硫酸钠、硅酸钠、CMC等在洗井过程中的具体作用

硫酸钠:一种中性盐,虽无螯合能力,但它能离解为带两个负电荷的硫酸根离子,有助于洗井液中磷酸盐、苯钠、CMC等活性物在粘土颗粒上的吸附量,能使这些活性物在较低浓度下发挥最大效应。

硅酸钠:一种没有一定组成的碱性硅酸盐,对于金属具有良好的防腐作用。硅酸钠经水解后能生成胶束结构的硅酸,对于泥浆中的粘土颗粒具有较好的悬浮、乳化和分散能力。

CMC:一种优良的高分子表面活性剂,它能吸附在孔壁泥皮和泥浆中粘土颗粒周围,尤其当洗井液中活性物与其它碱性物存在时吸附量更多,由于它带有剩余的负电荷,因而产生静电斥力,更有利于粘土颗粒高度分散、悬浮于泥浆或洗井液中而不发生聚结沉淀。

焦钠、六偏、五钠三者,由于其在结合钙、镁等盐方面均有不足之处。对于井管的腐蚀作用也不一样,而将三者联用,既可使洗井液表面活性增加,又能有效地结合所有的高价金属离子,提高软水功能,还由于酸碱中和可以免除对井管的腐蚀并消除污染。而洗衣粉中除五钠之外其他成份在洗井过程中也为有利无害,特别是其中苯钠的渗透作用之显著,是焦钠、六偏、五钠等所不及的。

但增加洗衣粉用量,随之带来泡沫泛滥问题,不仅有碍于洗井液的配制与灌注,而且抽水试验时,井内长时间排出泡沫,故需抑制,抑制办法可加入一些消泡剂如仲辛醇、甲基硅油等,或采用低泡型洗衣

粉。目前,我们已采用太原洗涤剂厂生产的“三环牌”高效低泡型洗衣粉,经室内试验与现场使用,效果良好,其泡沫高度仅为一般洗衣粉的一半,(一般型泡沫高度:190—180毫米,低泡型泡沫高度:90—80毫米)而且很快消失。

二、二氧化碳物理性质及洗井原理

1. 物理性质

二氧化碳是一种无色、无臭和不助燃的气体,比空气重(约为同体积空气的1.5倍),二氧化碳较之氧气或氢气易溶解于水,平常状况下,一体积的水能够溶解一体积的二氧化碳,增加压强,溶解能力随之加大,二氧化碳加压可被液化,其临界温度为31.1℃。常温下,只需增压到60个大气压即可使其变为无色液体,当把液态二氧化碳从钢瓶或其它容器中倒出时,其中一部分迅速蒸发并吸收大量的热而使其余部分急剧降温,最后冷凝成雪花状固体,俗称干冰。我队目前所用液态二氧化碳系由太原化肥厂提供。

2. 洗井原理

由于二氧化碳存在三态变化,我们则有可能将其加压液化而装入专用钢瓶(即平常的氧气瓶)之中,当液体气化时压力降低而体积膨胀(1公斤液态二氧化碳完全气化以后体积膨胀500多倍,并且所需时间极短)。这便是我们用以洗井的根据。洗井前,先将液态二氧化碳装入专用氧气瓶中运往现场(每瓶可装25—30公斤,瓶压可达80—100个大气压),根据需要,通过管汇、钻杆送入待洗部位,开启气瓶开关,这时,瓶中受压的液态二氧化碳便以高速射入孔内,并在瞬间气化,体积急剧膨胀产生较大动能,一部分作用于孔壁四周,具有压裂、增大、勾通或延伸含水层裂隙之作用,与此同时,将部分井水压入含水层形成较高的外向流速,猛烈冲击孔壁泥皮或含水层孔隙、裂隙中的泥、砂、岩粉等机械杂质;另一部分动能作用于孔内钻杆头部以上水柱,将其急剧上推迅速喷出地表(水柱高度10—30米),使孔(井)内瞬间形成负压,于孔壁内外形成很大压差,这时含水层之水便夹带部分堵塞物又急速向孔(井)内补给,形成一种内向急流,使孔壁泥皮再度破坏,如此反复挤、压、冲、刺,即可将含水层中堵塞物吸入井(孔)内随之喷出地表,从而达到洗井目的。

近一年来的试验与研究又使我们认识到:采用先灌注化学洗井液适当浸泡一段时间再配合液态二氧化碳引喷的办法进行洗井(也即理、化联洗法),较之单纯的化学法、物理法或化学、机械联洗法具有更好的效果。

三、洗井实例及联洗方法

1. 洗井实例

例一、山西肿瘤医院供水井，井深467米，含水层厚60米，大部分为粉细砂。成井后水量偏小仅100吨/日，不能满足用户与地质要求，曾注入焦钠洗了一次效果不大，又注入六偏洗了一次，水量略增，最后用了250公斤液态二氧化碳注入井内，封严井口，反复注、停、憋、喷几次，结果出水量显著增加，达400吨/日，得到用户好评。

例二、交城段村SK₂第四纪孔，含水层厚27米，细砂、中细砂为主，成井后灌注焦钠—洗衣粉洗井液浸泡了50余小时，用液态二氧化碳250公斤注入孔内，引喷三次，喷出大量泥浆胶团、岩粉颗粒等杂物，结果又用了4个小时即洗井结束，试抽结果，水量357吨/日，超出地质设想，自流量增大两倍。

2. 联洗方法

(1) 视含水层自然特性以及被堵塞程度，配制浓度适当的洗井液。我们配制的浓度多为1—1.5%，洗衣粉加量可提高至0.2—0.5%；

(2) 根据待洗井(孔)段算出所需洗井液量，可按下式计算：

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot L \cdot K$$

式中，V——灌注体积(米³)。

D——井管内径或裸孔名义直径(米)；

L——待洗含水层厚度(米)；

K——洗井液渗透半径系数(2—2.5)。

(3) 将配制好的洗井液泵入孔内待洗部位，量少可采用漏斗法灌注；

(4) 灌注结束后，将孔口封严再注入过量清水，以替清钻杆内残存的洗井液，并借助泵压使孔内产生附加压力，增大洗井液渗透半径，注水量多少可根据下列因素确定：

①若含水层堵塞严重，注水到发现憋泵为止；

②若含水层堵塞较轻，注水量以洗井液量的2—4倍为宜；

(5) 注入井内的洗井液需浸泡10—20小时，在此期间可间歇性而较轻地拉一拉活塞，使之造成进出滤眼的串流，以使孔壁泥皮早期受到破坏；

(6) 浸泡时间完成后，即可将液态二氧化碳送入孔内进行洗试并考虑以下几点：

①下钻杆深度：宜在洗井液柱以上五、六米左右。否则，井喷时易将尚未作用完全的洗井液喷出地表；

②送气量大小：主要根据下钻杆深度以及水位深

浅而定，也即根据钻杆头部以上水柱压力而定。一般100米左右两瓶一起开放，150米三瓶一组同时开放，依此类推；

③送气时间长短：视井内喷出堵塞物的多少以及水位恢复快慢而定。若喷出水色特浑，且夹带大量泥砂、钻粉等，则说明堵塞严重而尚未彻底洗开，需多喷几次；

④每次喷完，需待井内水位恢复到原位方可再行放喷；

⑤每组各瓶开过一次以后，由于瓶内产生压降，当于井内液柱压力平衡时便不能再发生井喷，此时，可将钻杆上提一段距离，再照上述办法重复进行，仍可造成井喷，并起一定作用；

⑥若含水层富水性良好，而喷完以后水位恢复较慢，说明井未完全洗通，需多洗几次；

⑦若井内水位较低，涌水量极小，一喷几乎成为干孔，水位恢复太慢，可能由两种原因所致：一种是地层本身乏水，一种是富水性虽好而堵塞严重，若属后者，可将井口封严，采取开、停、憋、喷或者注水诱喷法进行。

四、结论

1. 配制简单，使用便利。不受钻孔深浅、水位高低、孔径大小、地层特性、井管材质等客观条件限制，随时随地都可进行。

2. 货源充足，成本低廉。焦钠3元/公斤，六偏2.7元/公斤，五钠1.7—1.9元/公斤，洗衣粉1元/公斤，液态二氧化碳0.3元/公斤。一般每洗一孔，只需二、三百元费用，很少有超过五百元的。

3. 洗井彻底。能显著提高成井质量，增加钻孔出水量，缩短洗井时间，延长水井寿命。

4. 有利于扩大泥浆使用范围。

参考文献

1. 《烷基苯磺酸钠洗衣粉的生产》，马振华编著，轻工业出版社
2. 《聚丙烯酰胺不分散低固相泥浆》，王果庭、张春光编著，地质出版社
3. 《油层酸化》，大庆油田“油层酸化”组编，科学出版社出版
4. 《表面活性剂》，轻工业出版社
5. 《合成洗涤剂》，无锡轻工学院编著，轻工业出版社
6. 《无机化学》，大连工学院无机化学教研室编，人民教育出版社
7. 《无机化学》上、下册，无机化学编写组编，人民教育出版社
8. 《染化药剂》上、下册，刘正超编著，纺织工业出版社
9. 《中国地质学会第二届全国探矿工程学术会议论文集》上册