

# 长效分注配套工艺与关键节点分析

武小芳

(中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司临盘采油厂采油管理五区 山东 临邑 251500)

**[摘要]**强化技术攻关与配套,注水“三率”不断提升。实施预节流空心测调一体化配水技术,保证了层间大压差的有效配水,低层配水器增加开启压力,可测调最大层间压差由5MPa提高至10MPa。提高扩张分注工艺适应性,实现低注水量井长效分注。管柱在井有效率由82.5%提高至87.8%,测试测调资料可用率由83.0%提高至91.5%,通过配水器和测调仪器改进,减少遇阻层21层。安全可控长效分层注水技术不仅延长了油田分层注水管柱的检修期,满足了安全高效注水的要求,也可以满足水驱开发油田精细分层注水的要求,取得了较好的开发效果和经济效益。

**[关键词]**分层注水; 长效因素; 技术攻关; 空心测调一体化

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-627X.2021.10.1873

## 一、制约长效注水四个关键节点分析

注水管柱平均有效期为2.5年。制约长效注水主要是四个关键节点:管柱有效期、封隔器有效期、配水器有效期、底球有效期。

### (一) 油管有效期分析

目前在用油管类型主要有钛纳米、镀渗钨、氮化和环氧粉末四种,分别占80.2%,7.6%,8.5%和3.6%。2020年以后主要采用钛纳米防腐油管和镀渗钨油管。其中,氮化和环氧粉末油管为2020年以前主导油管,有效期在2-3年。钛纳米和镀渗钨油管:2020年以后以钛纳米油管为主,高温井和强腐蚀结垢区域采用镀渗钨油管。钛纳米油管:主要用于井深2200米以内、井温100度以内,4年有效率88%。镀渗钨油管:井深大于2200米、温度超过100度,4年有效率85%。分析失效原因:氮化和环氧粉末有效期较短2-3年,失效的主要原因是结垢、腐蚀;钛纳米深井适应性较差,失效原因为不耐高温,涂层脱落;镀渗钨油管能满足5年长效注水需求。结垢严重区块所有油管适应性均较差。

**表1 油管情况及失效分析**

类型	处理工艺	情况及失效原因
氮化	化学热处理工艺,在油管内壁及管螺纹表面形成含氮、碳以及含氮奥氏体淬火层。	抗拉强度有所降低,内壁粗糙,防垢效果较差。
环氧粉末	喷涂工艺,涂料在一定温度下,树脂经过熔融化学交联后,固化成平整、坚硬的涂层。	油管没有对丝扣进行防腐处理,下井后丝扣腐蚀严重。
钛纳米	喷涂工艺,钛纳米粒子在涂料基体中均匀分散状态。	耐高温性能差<100度,涂层内含有二氧化硅成分,不适合酸化;丝扣出未做防腐,易腐蚀。
镀渗钨	电镀工艺,油管外扣和接箍内扣钨合金处理后,使油管达到全面防腐。	目前在用性较好

### (二) 封隔器有效期分析

目前分层注水封隔器主要有K344、Y221和Y341三种,分别占总井数的69.8%,23.1%和7.1%。K344封隔器:对不同井深、不同注水压力条件下有效期进行调查,平均有效期在2年左右。在井深>2200m,注水压力>20MPa,有效期仅1年左右。

K344封隔器失效原因:从跟踪情况看,K344封隔器存在肩部易磨损、胶筒承压高压易刺损等问题,需要改进。K封漏失16口,占比21.1%。分析一是含停注层井层间压差大(16口短命井中10口含停注层);二是胶筒肩部应力集中,易磨损

**表2 K封不同深度下有效期**

井深	应用井数	平均有效期
米	口	月
1000-1300	79	30.3
1300-1600	10	28.1
1600-1900	35	24.6
1900-2200	58	17.4
2200-2500	66	15.3
2500以上	33	14.7

**表3 K封不同注水压力下有效期**

注水压力	应用井数	平均有效期
MPa	口	月
<5	24	33.5
5-10	101	27.6
10-15	73	20.4
15-20	57	15.7
20以上	26	13.2

刺漏。最大应力集中点位于内层帘布端部和胶筒肩部,为易损节点。温度对接触应力影响很小,不影响密封效果。Y221封隔器,主要用于2层分注井,从封隔器在井时间看,2-3年有效率达82.5%,管柱遇卡率较低(5%),三年以上有效率为50%。Y341封隔器,主要用于2层分注井,从封隔器在井时间看,2-3年有效率80%,三年以上有效率为40%。管柱遇卡率高,统计近5年Y341型管柱井作业38口井,转大修12口井,占31.6%。压缩封有效期较长,存在主要问题是在水质不达标情况下管柱解卡安全性较差。

### (三) 配水器有效期分析

分层注水配水器主要有偏心式和空心式两种,以分别占87.9%和12.1%。偏心配水器目前主要有两种:未改进和改进型,分别占66%和34%。未改进偏配在井超过2年后测调遇阻率高达27.6%,属淘汰产品。改进后的偏配在井3年有效率为82.1%,3-4年有效率为45.5%。跟踪偏心配水器265级,拆解75级(问题配水器全部拆解),发现导向槽腐蚀结垢占比60%,工作筒油泥砂沉积占比51%。配水器遇阻的原因分析:

一是导向槽部分材质为铸铁，易腐蚀结垢；二是最小内径46mm，测调仪器外径42mm，间隙小，易遇阻。三是无沉砂通道。近年来对针对井斜大于35度、注水压力大于20MPa大斜度以及高压井，引进了空心配水器。从在井有效期看，在井3年有效率达到了92.3%，在井3-4年有效率为57.1%。

#### （四）底球有效期分析

在用分层注水底球类型分为沉砂式底球、定压沉砂底球、底部球座等三种。以沉砂式底球为主（占89.3%），底部球座属于淘汰产品，目前19口在井待换。从沉砂底球在井时间看，2-3年有效率达92.3%，3-4年有效率88.2%，4年以上有效率为50%。

## 二、分层注水管柱存在的问题

### （一）BC-115补偿器存在的问题

注水井在测试调配过程中，测试仪器经过补偿器时，有时存在遇阻、遇卡的现象，尤其在斜井的测试调配过程中表现得尤为突出，给测调施工带来了不安全隐患。统计2019-2020年测试调配的分注井，有22口井测试仪器在补偿器处出现过遇阻现象，8口井出现遇卡，导致钢丝断，仪器落井。

### （二）ZJK空心配水器存在的问题

在一部分分注井的施工过程中，封隔器坐封后，配水器换向出现了问题，必须再经过大排量反洗井，才能实现轨道换向，达到正常注水，严重者即使经过大排量反洗井也不能实现换向，不得不起出井内注水管柱，更换工具后重新下入，既增加了施工成本，又延长了占产时间，影响了油水井的正常生产。

### （三）配水器芯子存在的问题

（1）配水器芯子密封胶圈容易损坏或脱落，导致配水器芯子与中心管密封不严，无法进行有效密封，难以验证封隔器的密封状况。（2）打捞过程中，由于受到配水器芯子与中心管之间的挂切影响，“O”或“△”型密封胶圈脱落，造成注水水嘴堵塞，影响正常注水。（3）测试过程中，密封胶圈密封不严，造成测试资料不准确，影响测试成功率，导致测试成功率低。（4）配水器芯子材质易腐蚀，打捞成功率低。

### （四）底部挡球存在的问题

（1）分注管柱下井过程出现中途遇阻（包括中途坐封、坐卡）现象，统计2019-2020年分注井施工资料，累计发生中途遇阻现象25口井，直接经济损失42万元。（2）分注管柱在作业施工的起出过程中，充满整个管柱内部的大量井液流至地面，污染环境。

## 三、长效分注工艺研究应用配套

### （一）应用预节流配水工艺，实现层间大压差有效配水

针对层间压差 $>5\text{MPa}$ 无法测调的问题，实施预节流空心测调一体化配水技术，保证了层间大压差的有效配水，其原理是低压层配水器增加开启压力，可测调最大层间压差由 $5\text{MPa}$ 提高至 $10\text{MPa}$ 。另一方面针对大压差井封隔器有效期短的问题，合理选配防蠕动工具及位置，改善了封隔器胶筒的受力，提高封隔器的在井有效期。

（二）提高扩张分注工艺适应性，实现低注水量井长效分注

针对目前扩张分注工艺的不适应性，成功开展了偏心可调水嘴的嘴损试验，确定了偏心扩张分注工艺的应用界限。其试验基本流程是应用目前四化计量装置，地面连接配水器与扩张封，改变水嘴直径，测试水量和压力关系，得出嘴损曲线。针对配套停注不解封封隔器及带开启压力的配水器，形成了5套小注水量分注管柱，解决了小注水量井和放大水嘴注水井的封隔器胶筒座封和测调过程中封隔器失效的问题。

（三）试验应用灌油式扩张封，解决扩张封胶筒损坏漏失问题

常规扩张封靠水力直接挤压胶筒，胶筒破裂后易漏失。灌油式扩张封增加液缸结构，水力推动活塞，活塞挤压液压油使胶筒扩张，胶筒损坏后，不漏失，不影响其他层。目前应用2口井，在井有效率100%，平均单井配注80方，实注85方。胶筒间接传压，个别胶筒破裂不影响管柱整体密封性。停注自动解封，提高多级、斜井解封安全性。灌油式封隔器：通过封隔器机械结构与胶筒性能优化，形成高强度、封闭式液缸分层技术。

### （四）高压深井分注工艺集成配套，提高注水质量

一是应用空心测调一体化技术，提高高压深井的测调成功率。空心测调技术具有受井斜影响小、扭矩大等优点。在大斜度井、深井共应用17口井，44层，目前测试合格30层，层段合格率为68.2%，与应用前相比层段合格率提高了53.2个百分点。应用井平均井斜 $30.8^\circ$ ，平均井深2516m。实现最大井斜 $48.21^\circ$ 、最大井深3000m的成功测调。二是针对压缩式洗井通道易打不开的情况，完成压缩封洗井通道适应性评价。经BN37-12X4井现场改变不同洗井排量，录取进出口压差，录取Y221型封隔器洗井压差与洗井排量曲线，得出结论：压缩式封隔器不适用于上层启动压力低于 $9\text{MPa}$ 井。三是配套密闭水力锚+逐级解封工艺，提高管柱卡封可靠性。密闭水力锚停注洗井不影响锚定力，解决了停注、洗井时造成的胶筒蠕动失效问题。

### （五）配水工具改进，提升注水工具性能

针对配水器、底球防腐防垢性能差，耐沉积性能差的特点进行改进。针对偏心配水器易遇阻的问题，对配水器做了两次改进，改I型（内通径扩大）在用121口，改II型（内通径、结构、材质三升级）在用6口井，改进型配水器遇阻率持续下降至5%以内。空心配水器，目前在井61口，在防埋、防堵、回转、防卡等方面改进，跟踪作业情况，3年有效率达到了92.3%。增加沉砂通道，提高耐腐蚀、耐沉积性。针对球座耐腐蚀性能差、漏失、无沉砂通道进行了三项改进：球座材质升级，结构上设计底球强制座封、增加沉砂通道。针对带压作业底球无沉砂功能进行改进，填补了一项技术空白，目前已实施10口井，成功率100%。改进后保留双作用阀作用的同时，增加沉砂功能，避免堵塞，有效期可延长至3年以上。测试遇阻率由29.8%下降到15.1%，底球失效率由85.8%降低到38.6%。

## 参考文献

[1] 李常友. 胜利油田测调一体化分层注水工艺技术新进展[J]. 石油机械, 2015(06): 66-70.