

# 提高完井电测一次成功率的钻井液技术对策

王方博, 王兴忠, 杨国兴, 曾 艺, 龚德章

(中石化西南石油工程有限公司钻井工程研究院, 四川 德阳 618000)

**摘要:**近年来,随着油气勘探开发的深入,大斜度井、水平井的增多,定向井及水平井位移越来越长,遇阻通井现象频频发生,完钻电测一次成功率低,影响了建井周期。本文通过对川西、川东北等地区部分定向井及水平井完井电测遇阻原因分析,从钻井液角度出发,提出“强抑制-交联-固壁”技术、高效润滑段塞技术等相应对策提高电测一次成功率。现场应用表明,这些钻井液技术对策为提高完井电测一次成功率、解决电测遇阻问题提供了新的思路。

**关键词:**完井电测;钻井液;电测遇阻;交联固壁;高效润滑段塞

中图分类号:TE254 文献标识码:B 文章编号:1672-7428(2016)11-0036-05

**Drilling Fluid Technology for Improving One-time Success Ratio of Completion Logging/WANG Fang-bo, WANG Xing-zhong, YANG Guo-xing, ZENG Yi, GONG De-zhang** (Drilling Engineering Research Institute of Southwest Petroleum Engineering Co., Ltd., SINOPEC, Deyang Sichuan 618000, China)

**Abstract:** With the development of oil and gas exploration and the increase of highly deviated wells and horizontal wells in recent years, the displacement is getting longer and longer for directional well and horizontal well, drifting for blocking is frequent, low one-time success ratio of completion logging affects well construction period. Though the analysis on the causes of blocking in completion logging in some directional and horizontal wells of west and northeast Sichuan, the countermeasures of “strong inhibition-cross linking-wall consolidation” and high-efficient lubrication slug technologies are put forward mainly for drilling fluid to improve one-time success ratio of completion logging. Field application shows that these technical countermeasures offer a new way to solve the blocking in logging.

**Key words:** completion logging; drilling fluid; blocking in logging; cross linking wall consolidation; high-efficient lubrication slug

## 0 引言

完井电测是钻井生产过程中的一个重要环节。完井电测也叫裸眼测井,所谓裸眼测井是指在未下套管的井段中进行测井作业。已完定向井或水平井中,电测遇阻情况越来越频繁,造成反复通井,增加井下复杂风险及建井周期,增加钻井成本,且不利于油层保护;近几年电测遇阻多的问题较突出。王学英、汤燕丹、周艳平、黄正焯等人<sup>[1-4]</sup>分析电测遇阻的主要原因,提出特别重视电测前井眼准备工作的技术对策。为此,如何从现场钻井液技术方面促进电测成功率的提高,就成为广大钻井液专业人员不断探索的课题。在川西及川东北地区,针对电测频繁遇阻,从钻井液技术角度出发,现场使用钻井液“强抑制-交连-固壁”技术、高效润滑段塞等技术,大大提高了完井电测一次成功率,取得了良好的应用效果。

## 1 测井遇阻情况分析

目前,在川西及川东北等地区,直井电测遇阻情况较少。据统计,2012年定向井及水平井完井电测一次成功率为28%,2013年为34%,2014年为45%,2015年采用针对水平井及定向井完井电测遇阻的钻井液技术对策,其电测一次成功率为95%。以2014年在川西及川东北等地施工的部分定向井及水平井为例,对其完井电测常见遇阻情况进行统计分析,统计已施工的水平井及定向井共23口,其中有12口井发生完井电测遇阻,如表1所示,完井电测一次成功率仅为48%,其中水平井电测遇阻率为33.3%,定向井电测遇阻率为58.8%。

## 2 电测遇阻原因分析

据现场遇阻情况,结合表1,总结分析完井电测遇阻的原因有以下几方面。

收稿日期:2015-12-21; 修回日期:2016-07-26

作者简介:王方博,男,汉族,1971年生,副主任师,工程师,长期从事钻井液技术管理与研究工作,四川省德阳市金沙江西路699号钻井工程研究院1101室,497051903@qq.com。

表 1 水平井及定向井完井电测井遇阻情况统计表

井号	井型	最大井斜角/(°)	完井井深/m	电测情况	备注
K8-6HF	水平井	90.46	3055	二开井段,送测 4 次,3 次遇阻;三开井段电测 1 次成功	遇阻井深 1957、2265、2237 m,在 1957 m 遇阻主要原因是未活动钻具
SP1-5HF	水平井	92	3774	模拟电测 4 次,遇阻 4 次;电测 3 次,遇阻 3 次(第 3 次随钻测井)	测试井深 3668.6 m,遇阻原因主要是井壁失稳,井眼轨迹地质调整
SF53	定向井	58.9	2210	两次测井遇阻 2 次	电测于 757 及 798 m 遇阻,加深 14 m 后,送测 1 次成功
SF108	定向井	33.4	1588	遇阻 1 次	电测于 1250 m 遇阻
HP27-2	定向井	48.24	1120	遇阻 1 次	遇阻井深 780 m,气层显示好,电测前通井排后效,钻井液密度由 1.80 提高到 1.89 g/cm <sup>3</sup>
SF304-1	定向井	44.86	2192	遇阻 1 次	1008 m 电测遇阻
GJ23	定向井	54.5	1992	遇阻一次	井深 1430.00 m 遇阻,短起至 1720 m
MP39-3	定向井	35.14	2134	遇阻 1 次	遇阻井深 1745 m,下套管后补测
SF306-1	定向井	44.4	2022	遇阻 2 次	第 1 次遇阻 1700 m,第 2 次遇阻 1240 m,送测 1 次成功
SF306-2	定向井	47.3	2129	遇阻 1 次	随声幅补测
SF101-3	定向井	35.3	1651	遇阻 1 次	电测在井深 1218 m 遇阻
SF306-4	定向井	33.93	1922	遇阻 3 次	标准测井第一次于 1832 m 遇阻,通井后,第二次在 1445 m 遇阻,第三次在 1790 m 遇阻,下双扶通井后测井成功

## 2.1 地层因素引起的井眼不规则

因地层因素引起的井壁失稳、缩径等造成造斜段或水平段的井眼不规则,是电测遇阻的根本原因。如 SP1-5HF 井水平段采用聚胺钻井液,由于性能控制不当,造成井壁失稳,引起水平段起下钻及电测遇阻。K8-6HF 井电测井耗时 12 天,共测井 5 次,常规测井一次,送测 4 次,一次顺利,三次遇阻。该井处于百色盆地内那读组最易发生坍塌的区块之一,那读组与百岗组交错处,属地层脆性垮塌;交界面存在两个断层,钻进揭开地层后,应力释放,井眼极易垮塌,因垮塌造成井眼不规则,进而电测遇阻。

## 2.2 井身轨迹问题造成遇阻

在定向井及水平井施工中,为了满足地质上对井身轨迹的要求,靶点多、多次调整井眼轨迹,摆方位、调井斜的频率较高,导致井身轨迹差或井段全角变化率大,电测仪器不易通过,极易造成下钻通井、测井作业困难。如 SP1-5H 井为了寻找油气层,5 次调整水平段轨迹,井斜角变化较大(88°~92.8°),垂深在小范围内上下浮动大(2961.06~2972.88 m),整趟钻具呈螺旋式“缠绕”在井中,进而测井异常困难。

## 2.3 砂桥的影响

砂桥是影响电测另一关键因素<sup>[5]</sup>,尤其是井斜较大的定向井及水平井,除遇到掉块或井壁失稳时,其在井眼较大的井段,因钻井液流速较慢形成砂桥外,现在定向井及水平井形成砂桥的主要原因是钻井工艺及钻井工具的改进,钻速大大提高,环空钻屑

的浓度普遍较高,加之主要使用 PDC 钻头带定向螺杆复合钻进,钻屑极易被甩至井壁,如果再加上排量不足,为抢时间又不及短起下等,就更易形成砂桥。如 GJ23 井,短起不倒位,未起过遇阻井深,加之循环时间不够,致使起钻后在 1430 m 形成砂桥,造成电测遇阻,经通井后充分循环,短起下拉挂修整井壁,电测成功。

## 2.4 钻井液存在的问题

(1)粘度的影响<sup>[1]</sup>。钻井液的粘度高低,直接影响携砂效果;粘度太低,携砂效果差,不利于电测成功;粘度太高,携砂效果好,但粘滞阻力大,增大测井仪器下行阻力。漏斗粘度在 30~40 s(马氏粘度 45~55 s)时最利于完井电测一次成功。SP1-5HF 井、K8-6HF 井完井时钻井液漏斗粘度在 67~98 s,电测遇阻。由此可知,钻井液粘度太高是造成电测遇阻的因素之一。

(2)滤失造壁性的影响<sup>[1]</sup>。经过统计,完井电测的井中,电测一次成功的井 API 滤失量均 < 4 mL。而影响完井电测的另一较大原因是泥饼的质量,薄而光滑致密的泥饼对完井电测影响比较大。要求泥饼既要薄而韧,又要光滑致密,以避免电缆仪器或电测仪与井壁有较大的接触面,从而使其下行或上提摩阻增大,甚至造成测井复杂。如 HP27-2 井,地层渗透性较好,加之其泥饼较厚,结果电测遇阻。

(3)钻井液体系影响。润滑防塌能力强的钻井液体系显然更利于测井的进行,使用聚胺仿油基体

系的井其电测情况要优于使用老的聚磺混油体系,而使用油基钻井液体系的井其电测情况要优于使用水基钻井液体系。故使用润滑防塌能力强的钻井液体系有利于提高完井电测一次成功率。如 K8-6 井,在二开电测频繁遇阻的情况下,三开改为油基钻井液,电测一次成功。

### 3 针对性钻井液技术对策

王学英、汤燕丹、周艳平、黄正烺等人<sup>[1-4]</sup>从井眼准备、井身轨迹控制、钻井操作及钻井液性能等方面提出解决电测遇阻问题。笔者针对以上完井电测遇阻的原因,从钻井液角度出发,来减少井眼不规则、摩阻大等问题对完井电测的影响,主要应用“强抑制-交连-固壁”钻井液技术、高效润滑段塞等钻井液技术,提高完井电测一次成功率。

#### 3.1 “强抑制-交连-固壁”钻井液技术对策

“强抑制-交连-固壁”的作用机理:在原有的钻井液体系中分别加入一定量硅酸盐、铝酸盐及有机阳离子聚合物,一是利用硅酸盐及有机阳离子聚合物进一步加强原有钻井液体系的抑制性而达到强抑制;二是通过加入有机阳离子聚合物,其分子特性与一般传统的阳离子聚合物分子不同,呈网状结构,分子刚性大,阳离子电荷分布多,吸附能量强,阳离子分布均匀,因阳离子电荷之间的排斥作用,分子网状伸展性较好,可与地层粘土颗粒形成强烈吸附,各分子能以粘土颗粒为结点,形成网状吸附,而且其阳离子更能与体系中的其它聚合物中的阴离子很好地吸附在一起,进而相互吸附成网,相互“交连”在一起,大大改善泥饼质量,进一步加强钻井液的护壁性能;三是在压差的作用下,利用硅酸根进入地层,与泥岩中的膨润土和钙作用,形成胶结物与沉淀,以及

硅酸根与铝酸根生成的硅铝酸盐凝胶在近井壁岩层孔隙中形成胶结与封堵,同时,通过硅铝酸盐对裂缝的封堵和胶结,形成一近井壁的封隔层,阻止后续钻井液进入地层,增强近井壁地带岩石表面的强度<sup>[6]</sup>,从而达到“强抑制-交连-固壁”的作用。

#### 3.1.1 强抑制性能评价

取现场 X21-4H 侧 1 井水平段钾石灰体系及 MP23-6HF 井聚胺仿油基体系作为基浆,进行配方优化,对其抑制性进行评价,评价结果见表 2,由表 2 可知,经配方优化后,钻井液的膨胀率及岩屑回收率均有明显改善,使钻井液的抑制性得到了显著加强。

表 2 优化配方前后钻井液抑制性能对比表

编号	介质类型	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	膨胀率/%		回收率/%	实验条件
			8 h	16 h		
1	清水	1.00	45.60	52.23	48.20	70 °C/16 h
2	聚胺仿油基钻井液	1.60	12.81	16.43	88.97	120 °C/16 h
3	钾石灰钻井液	1.95	14.37	19.52	83.20	120 °C/16 h
4	聚胺仿油基体系优化配方后钻井液	1.60	9.52	11.37	93.00	老化前
		1.60	8.97	10.81	92.82	120 °C/16 h
5	钾石灰体系优化配方后钻井液	1.95	8.09	9.37	97.83	老化前
		1.95	8.17	9.52	98.04	120 °C/16 h

#### 3.1.2 “交连”性能评价

评价方法:因阳离子聚合物的交连吸附作用改善泥饼质量,最终以评定 API 中压失水泥饼质量来评价“交连”作用的效果。采用 JHNC 泥饼强度冲刷仪来评价泥饼强度,冲击距选 100 mm<sup>[7]</sup>;以现场经验法来评价泥饼韧性,即折叠看泥饼是否破裂,泥饼用手指能否从滤纸上提起不破裂,提起后轻轻晃动不破裂作为评价泥饼韧性的依据,评价结果见表 3。由表 3 可知,优化配方后,钻井液泥饼的强度及韧性都得到了进一步加强,也即泥饼的质量明显提高。

表 3 优化配方前后钻井液中压失水泥饼质量对比表

编号	介质类型	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	泥饼强度/(min·mm <sup>-1</sup> )	泥饼韧性
1	聚胺仿油基钻井液	1.60	16.4	折叠不破,能从滤纸上提起但要破裂
2	钾石灰钻井液	1.95	18.3	折叠不破,但不能从滤纸上提起
3	聚胺仿油基体系优化配方后钻井液	1.60	24.5	折叠不破,能从滤纸上提起,晃动不破裂
4	钾石灰体系优化配方后钻井液	1.95	26.1	折叠不破,能从滤纸上提起,晃动不破裂

#### 3.1.3 固壁性能评价

评价方法:将 600 目的石英砂与一定量的膨润土和胶结剂于 15 MPa/min 的条件下制备岩心,分别将岩心在清水、聚胺仿油基钻井液、钾石灰钻井液、聚胺仿油基体系优化配方后钻井液、钾石灰体系优

化配方后钻井液于 3.5 MPa、80 °C 条件下浸泡 1 天,取出岩心干燥,用压力机测定岩心的抗压强度,以此来评价配方优化后钻井液的固壁作用<sup>[6]</sup>。结果见图 1。由图 1 可知岩心在经优化配方后的钻井液浸泡后,其抗压强度均有不同程度的提高,这充分说明

原有钻井液经优化后,其固壁性能有了较大的提高。

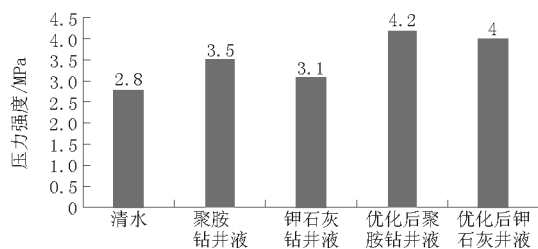


图 1 不同钻井液中岩心的抗压强度

优化后最终基本配方:基浆 + 0.5% ~ 1% 硅酸盐 + 0.2% ~ 0.4% 铝酸盐 + 0.1% ~ 0.3% 有机阳离子聚合物(现场加量应以现场小型试验为准,也与原有钻井液体系有关,使用此技术对策前应对钻井液性能进行一定的调整)。

适用井段:泥岩极易渗漏形成厚泥饼的砂岩井段,泥岩与砂岩交结不好的交界面,井下易出现垮塌掉块的薄弱井段等。

使用要求:每趟起下钻前,据井下情况在可能遇到上述情况的井段打入“强抑制 - 交连 - 固壁”钻井液段塞,对该井段进行封闭,利用起下钻静止时间,加固这些可能出现复杂的井段。

使用效果:新 21 - 4H 侧 1 井因在原新 21 - 4H 井上侧钻,其侧钻点为新老井眼交汇,起下钻多次在侧钻点附近遇阻卡,后使用这一技术,多次对该侧钻点处进行封闭处理,后起下顺利,电测一次成功。

### 3.2 高效润滑段塞钻井液技术对策

高效润滑段塞钻井液技术作用机理:利用固液协同降阻办法,在一段塞内加入高浓度的润滑剂,进一步减少滑动摩擦力,并适当地加入改性石墨固体润滑剂及 3M 中空玻璃微球(与传统玻璃小球相比,3M 中空玻璃微球具有粒径小,能过 200 目筛布,抗压能力高,能很好地在钻井液中分散,不易沉积的优点),一方面,利用石墨能够在两接触面之间产生物理分离<sup>[8]</sup>的作用效果,另一方面利用 3M 中空玻璃微球能减少钻具或测井仪器与井壁的接触面积,并将滑动摩擦部分转为滚动摩擦<sup>[9]</sup>的优点,从而减少摩擦阻,进而减少井下的电测遇阻。

摩擦阻评价:为了减少测量误差,最终评价以极压润滑仪、压持式润滑仪及滑块式润滑仪分别测量,结果见表 4,由表 4 可知,加入润滑剂后,三种测试仪器的测试结果均有大幅度的降低,尤其是压持式及滑块式润滑系数降低明显,这说明不同润滑机理的润滑剂复配使用能明显改善钻井液的摩擦系数。

表 4 钻井液配方优化前后钻井液润滑系数对比表

编号	钻井液类型	极压润滑系数	压持式润滑系数	滑块式润滑系数
1	聚胺仿油基钻井液	0.1180	0.1270	0.0787
2	钾石灰钻井液	0.1240	0.1180	0.0787
3	聚胺仿油基体系优化配方后钻井液	0.0986	0.0760	0.0437
4	钾石灰体系优化配方后钻井液	0.0986	0.0676	0.0437

优化后最终基本配方:基浆 + 3% ~ 5% 高效液体润滑剂 + 1% ~ 2% 的改性石墨固体润滑剂 + 0.5% ~ 1% 3M 中空玻璃微球(现场配方各润滑剂加量除考虑粘度因素外,主要参考压持式润滑系数,据现场经验,现场水基钻井液体系压持式润滑系数一般不容易达到 0.1 以下,配方要求其压持式润滑系数在 0.1 以下为达到最终优化配方要求)。

适用井段:井身轨迹不好,井内摩阻较大井段。

使用效果:MP23 - 6HF 井等井在水平段因钻遇大段泥岩,主动调整井眼轨迹,造成井眼轨迹复杂,起下摩阻大,使用该技术后电测一次成功。

## 4 现场应用

考虑到影响电测的多种因素,从钻井液的角度出发,除调整钻井液性能或在异常复杂井改变钻井液体系外,对目前已施工的井大部采用上述两项技术,特别是井斜较大的定向井,常规测井因测井仪器下行力不足,往往要经多次测井,有时要改为钻杆送测才能测井成功。目前,通过采用“强抑制 - 交连 - 固壁”钻井液技术、高效润滑段塞等钻井液技术,在现场测井中起得了良好的效果。

在定向井 XP21 - 1 井(最大井斜 59.7°)、XP21 - 2 井(最大井斜 57.2°)、XP21 - 4 井(最大井斜 53.4°)、XP23 - 13 井(最大井斜 45.49°)、XP23 - 17 井(最大井斜 42.8°)等井中因定向段有泥岩,每次起钻都在定向段打入“强抑制 - 交连 - 固壁”封闭段塞后,完井电测前在定向段及稳斜段打入高效润滑段塞,常规电测均是一次成功。

在水平井 HP27 - 1HF 井(造斜点为 580 m,完钻井深 1782 m,水平段长 776 m,位垂比 1.34,两开制水平井)、MP23 - 6HF 井(造斜点为 1257 m,完钻井深 3040 m,水平段总长 1121 m)、SF115 - 1HF 井(水平段长达 1266.13 m,水平位移长达 1549.61 m,位垂比 2.01)、GJ22 - 1HF 井(造斜点为井深 710 m,水平段长度 835.45 m,水平位移 1175.86 m)等井中采取该钻井液技术对策,完井电测均一次成功。

在HP27-1HF井中,因在水平段钻遇良好气层,钻井液密度由设计的 $1.58\text{ g/cm}^3$ 提高到 $1.89\text{ g/cm}^3$ 。该井在水平段钻遇纯泥岩段240 m,共4层,且在二开水平段井眼轨迹调整频繁,井眼轨迹复杂,水平段轨迹为“增—降—增—降”,井眼轨迹呈S型曲线;且根据井下需要,调整井眼轨迹9次,水平段扭矩大、摩阻大。但使用有针对性的钻井液技术对策,起钻前在泥岩段打入“强抑制—交连—固壁”封闭段塞,在摩阻较大的井段打入高效润滑段塞,电测前在造斜段及水平段打入高效润滑段塞,电测及下套管均一次成功,起钻摩阻由最大300 kN慢慢降至100~150 kN。其打入的“强抑制—交连—固壁”钻井液中压失水泥饼情况见图2,泥饼提起后轻轻晃动不破裂。

在MP23-6HF井中,因在水平井段的施工中共调整轨迹5次,并且大部分时间都在泥岩段钻进,设计钻遇储层为砂体,实际钻遇砂层总长度仅421 m(2190~2364,2691~2938 m),其余井段均为泥岩(700 m),可钻性较差,这对钻井液的润滑性及抑制性提出了更高的要求,但使用有针对性的钻井液技术对策后,电测及下套管均一次成功。由于在水平段钻遇大段泥岩,特别是在2364~2691 m井段,第一次起钻遇阻倒划通畅后,下钻至2691 m以下,打入“强抑制—交连—固壁”封闭段塞后起钻,在第二次起钻过该井段时在2398及2501 m处有轻微挂卡,上下活动拉挂井壁通畅后起完该井段,再次下钻至2691 m以下,打入“强抑制—交连—固壁”封闭段塞后起钻,至此到完井,该井段起下通畅无阻卡,起钻摩阻150~200 kN,下钻摩阻100~150 kN,这充分说明“强抑制—交连—固壁”技术取得了成功。其打入的“强抑制—交连—固壁”钻井液中压失水泥饼情况见图3,泥饼提起后折叠,轻轻加力晃动不破裂。



图2 HP27-1HF井泥饼



图3 MP23-6HF井泥饼

## 5 结论和建议

(1) 提高完井电测一次成功率,虽然增加了钻井液成本,但是缩短了建井总周期,进而降低了钻井总成本,而且有利保护油气层,是综合提高经济效益的一项重要措施。

(2) 针对泥、页岩段的地质特点,对易塌井段使用“强抑制—交连—固壁”钻井液技术,充分发挥强抑制防塌作用,聚合物分子强吸附结网“交连”防塌作用,硅铝酸盐凝胶的化学固壁防塌作用,做到提前防塌,可减少或避免发生电测井的阻、卡现象,增加电测一次成功率。

(3) 使用高效润滑段塞技术加强摩阻控制,使用不同润滑机理的润滑剂复配,改变井下摩擦类型,发挥润滑剂之间的协同效应,有利于电测井顺利,特别是定向井,一般是采用常规的电测井,因测井仪器自重轻,仪器短,下行力不足,更需要使用高效润滑段塞技术减少井内摩阻,提高电测成功率。

(4) 加强通井的工程技术措施:建议主动使用扶正器对井壁进行修整,确保电测井顺利。

(5) 对于井斜较大、稳斜段较长,井下稳定的定向井,建议采用直接送测的方式,可以减少电测井时间,提高电测成功率。

## 参考文献:

- [1] 王学英,于培志,杜素珍.完井电测遇阻分析及对策[J].钻井液与完井液,2002,19(6):141-142.
- [2] 汤燕丹,王建军.提高联38块完井电测成功率的技术措施[J].中国石油和化工标准与质量,2013,33(18):90-91.
- [3] 周艳平.常见的电测遇阻、遇卡类型及其技术对策[J].中国石油和化工标准与质量,2012,33(16):245,151.
- [4] 黄正焯.提高完井电测成功率关键是搞好现场泥浆管理工艺[J].钻采工艺,1991,14(4):78-81.
- [5] 吴旭林,夏景刚,左京杰,邓增库.电测遇阻统计分析对策研究[J].钻井液与完井液,1998,15(5):47-48.
- [6] 孟丽艳,张麒麟,黄宁.硅铝钻井液体系的室内研究及现场应用[J].精细石油化工进展,2015,16(1):16-18.
- [7] 王松,魏霞,喻霞,等.钻井液泥饼强度评价研究[J].钻井液与完井液,2011,28(1):11-13.
- [8] 张琰,刘艳.弹性石墨在钻井液中的应用研究[J].天然气工业,2003,23(1):42-44.
- [9] 吴志均,王浩.固体润滑剂在中深定向井中降摩阻的现场试验[J].钻采工艺,2002,25(5):68-70.