

“等电位”钻进与“零电位”钻井液初探

苏宁

(贵州省地勘局, 贵州 贵阳 550000)

摘要:对“等电位”钻进技术概念和“零电位”钻井液技术概念做了介绍。“等电位”钻进概念认为岩石表面的 zeta 电位为零,即等电位(IEP)状态时,能够提高钻进速度和延长钻头寿命,从而提高钻进效率。“零电位”钻井液则是将目前使用的 zeta 电位($-40 \sim -35$ mv)的钠基膨润土变为“零电位”($-5 \sim +5$ mv)的膨润土,改钻井液的“阴离子悬浮体系(ζ 电位 > -45 mv)”为“阳离子悬浮体系(zeta 电位接近零电位)”,再将其它阴离子型的处理剂如降滤失剂、提粘剂等改变为阳离子型或非离子型,配成具有相应性能的钻井液。钻进试验表明,“等电位”钻进和“零电位”钻井液可有效提高钻进效率。提出了几点开展相关研究的认识。

关键词:“等电位”钻进;“零电位”钻井液;破岩效率

中图分类号:P634.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)07-0036-03

Primary Study on Isoelectric Drilling Method and Zero Potential Drilling Fluid/SU Ning (Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Guiyang Guizhou 550000, China)

Abstract: The concepts of isoelectric drilling method and zero potential drilling fluid are presented. By the concept of isoelectric drilling method, zeat potential on rock surface is zero, that is, in IEP state, both penetration rate and bit service life can be improved with consequent higher drilling efficiency. As for zero potential drilling fluid, that is changing currently used Na-bentonite with zeta($-40 \sim -35$ mv) potential into bentonite with zero potential($-5 \sim +5$ mv); changing “anion suspension system(ζ potential > -45 mv)” of the drilling fluid into “cationsuspension system(zeta potential close to zero potential)” and changing anionic treating agents, such as filtrate reducer and viscosifier, into cationic or nonionic ones to form the drilling fluid with the corresponding performance. Drilling experiment shows that drilling efficiency can be effectively improved by isoelectric drilling method and zero potential drilling fluid. Some understandings of the relevant research are put forward.

Key words: isoelectric drilling; zero potential drilling fluid; rock breaking efficiency

影响钻进过程中机械钻速的主要因素有钻头、地层性质、机械设备与钻具、钻头水利因素、钻井流体性能等多个方面^[1]。在多年努力下,关于钻井流体性能对机械钻速的影响的研究取得了许多成果,对提高机械钻速起到了重要作用^[2]。但钻井液性能对机械钻速的影响关系及产生的现象很复杂,特别是钻井液对岩石强度的作用影响机械钻速的解释基本上基于列宾捷尔效应。20世纪八九十年代,国外学者提出了“等电位”钻进的概念,这一概念为拓展介质对岩石机械性质影响的传统认识提供了新的思路。而国内提出的“零电位”钻井液概念则正好与之融合。

1 “等电位”钻进及“零电位”钻井液概念

1.1 “等电位”钻进

William H. Engelmann, Sanaa E. Khalafalla 等人在文献[3~5]中提出了一种提高岩石破碎效率的方法,即“等电位”钻进概念:岩石表面的 zeta 电位为零,即“等电位”(isoelectric point, IEP)状态时,能

够提高钻进速度和延长钻头寿命,从而提高钻进效率。通过在钻井、坑道掘进、切削、研磨和抛光等作业的冲洗液中加入一定浓度的某种化学处理剂,来中和岩石表面电荷,可使岩石表面维持零点电荷(zero point charge, ZPC)或“等电位”(IEP)状态。尽管传统的岩石破碎学的研究内容主要在破碎岩石工具及岩石机械力学性质方面,而“等电位”钻进则从岩石表面 zeta 电位(表面能)变化方面拓展了提高岩石破碎效率的研究思路。

1.2 “零电位”钻井液

矿物特别是粘土矿物表面带负电,由钠基膨润土为基础的水基钻井液是负电悬浮分散体系。粘土颗粒的电动电位(zeta 电位)的大小直接关系到粘土胶粒的分散性和稳定性,负 zeta 电位值越高,粘土水化分散性越强。为了获得具有一定流变性能和滤失性能的稳定钻井液,水基钻井液中大量使用阴离子型处理剂(降滤失剂和分散剂)增强粘土颗粒的负 zeta 电位,来强化体系负电的水化分散效应。这一处理原则既引起地层中粘土矿物的水化、膨胀和分

收稿日期:2014-07-07

作者简介:苏宁(1958-),男(汉族),贵州湄潭人,贵州省地勘局副总工程师,探矿工程专业,近年来主要从事地下水空气钻进、地热水多工艺空气钻进及深部岩心钻探的生产技术管理工作,贵阳市北京路元隆广场7号楼907号,568904896@qq.com。

散,导致井壁不稳定;也使钻井液体系的电性与所钻进的全部地层的电性不匹配,引起体系中水化阳离子向井壁地层中扩散;其结果必然导致井壁不稳定发生。阳离子型处理剂能够降低粘土颗粒的 zeta 电位,从而削弱其负电的水化分散效应,使钻井液产生较好的抑制地层坍塌、稳定井壁效果,但这样又产生阳离子型处理剂和阴离子型处理剂不相容的问题。所以钻井液由分散体系转变为抑制体系过程,“钻井液性能稳定”与“井壁地层稳定”、阳离子型处理剂和阴离子型处理剂不相容的矛盾一直困扰着钻井液技术的发展。“零电位”钻井液则试图从改变膨润土——水分散体系的“阴离子悬浮体系”为“阳离子悬浮体系”来解决这个矛盾。

1.3 “等电位”钻进与“零电位”钻井液的关系

“等电位”钻进概念提出的用无机盐或非离子聚合物溶液改变岩石表面的 zeta 电位实现“等电位”钻进,相关文献仅介绍以不同处理剂的单一液体做钻进试验;“零电位”钻井液概念提出用无机盐和非离子聚合物改变膨润土颗粒表面的 zeta 电位而得到电位趋于“零”的胶体悬浮液,强化钻井液对地层粘土的抑制作用同时,还具有钻进工艺所需钻井液各项必需性能^[6]。二者的共同点都是以物理化学的方法实现对矿物表面 zeta 电位的改变。根据列宾捷尔效应观点^[7]:岩石中所含水分会使岩石的强度下降,而且含水量越多,强度下降得也越多;具有化学活性的液体对岩石强度的降低,要比同类岩石在相同条件下以非活性液体所饱和时对岩石强度的降低要大得多。无论是“等电位”钻进方法,还是“零电位”钻井液,都具有这样的属性。钻进时岩石的破碎过程主要是在液体(钻井液)介质中进行的,当在钻井液中加入能在被钻岩石表面产生等电位状态的处理剂或使用“零电位”钻井液,就有可能实现改变岩石表面 zeta 电位的目的。所以二者结合起来有可能满足钻进工艺的要求。

2 “等电位”钻进与“零电位”钻井液的作用机理

2.1 矿物表面的带电性质及转变

由矿物晶体结构学知,由于晶格取代或外界环境影响,矿物特别是粘土矿物晶体构造是电不平衡的。大多数的矿物晶体带负电,如夏子街钠基膨润土 zeta 电位 -40.4 mv,英国评价土 -10.1 mv,大北地区 $4000 \sim 6500$ m 井深砂岩和灰岩样分别为 -4.3 和 -5.6 mv^[8]。为了保持电中性,矿物必然从分散介质中吸附等量的阳离子,被吸附的阳离子可以被分散介质中其它阳离子所交换。根据强电解质的德

拜—修格理论,介质中加入电解质,颗粒表面的 zeta 电位(绝对值)会下降。影响 ζ 电位的因素很多,最主要的是交换性阳离子的种类、性质和浓度。一般来讲,无机阳离子的价数越高,浓度越高,zeta 负电位越低;有机阳离子降低 zeta 电位的能力比无机阳离子强。粘土颗粒在各种阳离子的作用下,zeta 电位由高的负值向低变化,在一些特殊的无机阳离子、有机阳离子等的作用下,粘土颗粒表面的负 zeta 电位会降到零(等电态)或向正 zeta 电位转化。

2.2 “等电位”钻进的机理

美国专利“等电位”钻进中就 ZPC 状态对岩石的机械性质的影响的机理做出如下解释:根据电毛细现象理论,在等电位点(IEP),岩石表面张力最大;由化学添加剂引起的任何表面张力的增大,相当于增加岩石表面的外部拉伸应力。因为岩石在拉伸应力下比在压力下更脆弱。这种“化学应力”加到原有的钻压上,从而提高了机械钻速。进而,这种对岩石破碎而言的张力增大与由单独压缩力引起的破碎量增大相比,具更大的能量效果。国内学者在相关研究中也用电毛细理论进行了机理分析认为:在表面过剩电荷为零时,表面张力最大,此时固体表面自由能最大。岩石裂缝的生长过程首先需要岩石表面裂缝生长成为破坏性裂缝,此过程需要岩石表面自由能达到一个临界值才能发生。岩石表面电荷为零时表面自由能最大,此时只需做较少的功就能突破裂缝生长的能量壁垒,使表面岩石更容易破裂^[9]。

关于钻头寿命的提高,可从以下几方面解释^[3]:(1)由于钻进速度的提高,钻头的锋锐程度相对保持更长时间;(2)钻头的磨损是由于机械磨蚀和电化学腐蚀的共同作用的结果,钻头的电化学腐蚀很明显是原电池电流,特别是从钻头一侧到岩石相界面的阳极溶解电流造成的。在 ZPC 点,动电电流降到最小,因此有效抑制了电化学腐蚀,因而延长了钻头寿命。

2.3 “零电位”钻井液机理

“零电位”钻井液概念的初衷是解决水基钻井液“性能稳定”与“井壁稳定”及阳离子钻井液体系的“阳离子聚合物与阴离子聚合物不相容”的矛盾而提出的。将目前使用的 ζ 电位($-40 \sim -35$ mv)的钠基膨润土变为“零电位”($-5 \sim +5$ mv)的膨润土,改钻井液的“阴离子悬浮体系(ζ 电位 > -45 mv)”为“阳离子悬浮体系(ζ 电位接近零电位)”,再改变其它阴离子型的处理剂如降滤失剂、提粘剂等均为阳离子型或非离子型的,然后配成相应钻井液性能的体系。因为所钻进的地层(这里主要是指对

钻井液性能有直接影响的泥页岩地层)的负电性并不强,如钙基膨润土、高岭石、伊利石等矿物,钻井液中粘土颗粒的电位与地层粘土的电性尽可能一致时(体系的化学位达到平衡),就可减少钻井过程中可溶性电解质离子在钻井液和井壁之间的频繁迁移^[10],而实现钻井液真正意义上的抑制性。

3 “等电位”钻进和“零电位”钻井液试验效果

3.1 “等电位”钻进试验

美国专利岩石破碎方法介绍了“等电位”钻进试验对比结果。用 15 in(Ø381 mm)三牙轮钻头,分别以清水和 ZSC 浓度(PEO 加量 3.5~7 g/kg)的 PEO 溶液为冲洗液,在北 Minnesota 地区 Minnesota 铁燧岩上钻 50 ft(15.24 m)深的钻孔比较。清水钻进时的平均机械钻速为 0.55 ft/min(10.06 m),PEO 溶液钻进时的平均机械钻速为 0.93 ft/min(17.01 m),效率增加 70%;按清水钻进 2700 ft(822.96 m)、PEO 溶液钻进 3400 ft(1036.32 m)所用钻头数平均算,使用 PEO 溶液钻头寿命增加 25%。

3.2 “零电位”钻井液微钻进试验

国内已经完成“零电位”水基钻井液的研究,笔者正在进行将“零电位”水基钻井液与“等电位”钻进方法结合的研究,并得出了一些初步结果。图 1 是在室内分别用清水、普通水基钻井液和“零电位”钻井液微钻进试验结果。试验结果表明,“零电位”钻井液钻进效率高于普通水基钻井液。

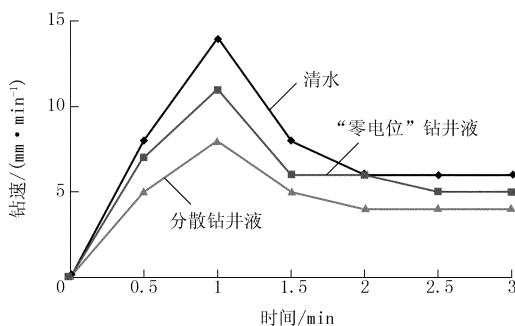


图 1 不同钻井液钻进效率对比试验结果

试验用钻头为孕镶金刚石取心钻头,岩样为塔里木大北地区 3500~4000 m 井深砂岩心;分散性钻井液为普通水基钻井液,由膨润土、纯碱、CMC、SMC 等组成;“零电位”钻井液由膨润土、纯碱、电性调节剂、阳离子淀粉等组成。它们的性能见表 1。

由试验结果看出,清水钻速最快,分散性钻井液钻速最慢,“零电位”钻井液钻速介于二者之间,符合预期规律。图 1 中所示变化趋势,无论使用哪一种

表 1 试验用钻井液性能

钻井液类型	密度 / (g·cm ⁻³)	API 滤失量 / [(mL·(30 min) ⁻¹)]	滤饼厚度 / mm	pH 值	塑性粘度 / (mPa·s)	动切力 / Pa	ζ 电位 / mv
分散性	1.03	8.2	<1	10	32	24	-39
“零电位”	1.03	7.8	<1	9	34	43	<-3

冲洗液,在钻进的初始阶段,其变化趋势遵从列宾捷尔效应。随着钻进的继续进行,因试验条件所限,钻屑排除不畅,导致单位时间的进尺下降。

4 几点认识

(1)“等电位”钻进概念为提高钻进效率的研究和发展提供了新的方向,“零电位”钻井液概念的技术思路与其有着共同的理论基础,所以二者在以钻井液为介质的基础上完全可以结合应用。

(2)“等电位”钻进试验和“零电位”钻井液微钻进试验表明,岩石表面 zeta 电位趋于“零”时,破碎岩石效率会提高;但二者结合研究的试验尚处于初试阶段,还缺少更多的试验结果支撑,所以“零电位”钻井液用于“等电位”钻进的作用机理和作用效果有待于进一步研究。

(3)尽管“等电位”钻进和“零电位”钻井液的研究给出了一些合理的机理解释和试验结果,但钻井过程与岩石破碎效率相关的影响因素颇多,相互间的作用关系也很复杂,特别是岩石表面 zeta 电位与岩石强度、硬度间关系的机理还存在着不同的解释。在“零电位”钻井液研究完成的基础上进行的相关研究正在这方面努力,以期能有所成果,使之成为真正意义上的实用技术。

参考文献:

- [1] 《钻井液与完井液》编辑部. 国外钻井液技术(下册)[M]. 北京:石油工业出版社,1987.
- [2] 孙金声,杨宇片,安树明,等. 提高机械钻速的钻井液理论与技术研究[J]. 钻井液与完井液,2009,26(2):1-6.
- [3] Khalafalla S. E. S., Engelmann W H., Pahlman J E. Isoelectric Drilling Method [P]. U. S. Pat. 1988.
- [4] Engelmann W H., Watson P J., Tuzinski P A., et al. Rock Fragmentation Method [P]. U. S. Pat. 1990.
- [5] Engelmann W H., Henderson N., Pahlman J E., et al. Method of Enhancing Rock Fragmentation and Extending Drill Bit Life [P]. U. S. Pat. 1993.
- [6] 梅宏,杨鸿剑,张克勤,等. “零电位”水基钻井液探讨[J]. 钻井液与完井液,2011,28(6):17-21.
- [7] 刘希圣. 钻井工艺原理:破岩原理(上册)[M]. 北京:石油工业出版社,1988,32-34.
- [8] 梅宏,杨鸿剑,张克勤. 膨润土的 zeta 电位及其电性转变[J]. 钻井液与完井液,2010,27(5):1-4.
- [9] 高飞,赵雄虎,周超. 钻井液中无机盐对机械钻速的影响规律研究[J]. 石油钻探技术,2011,39(4):48-52.
- [10] 张春光,侯万国,孙德军. 电性抑制性井壁稳定与油层保护[J]. 钻井液与完井液,2002,19(6):5-8.