

# 高密度钻井液的钻井参数优选

安圣究 傅兴涛

本文通过现场试验数据分析,研究了大庆葡萄花油田调整井钻井液加重前后机械参数和水力参数对钻速的影响规律,提出了提高调整井钻井速度的钻井参数设计方案,经现场施工证实,其效果十分明显。

**主题词:**泥浆性能 高密度 钻井参数 最优化 现场试验

作者安圣究,1937年生。1963年毕业于北京石油学院钻井专业,现任大庆钻井研究所钻井工艺室主任,高级工程师。傅兴涛,1958年生。1982年毕业于大庆石油学院钻井专业,现任大庆钻井研究所钻井工艺室工程师。

大庆油田由于长期高压注水开发和非均质多油层组地质条件,地下压力系统发生了很大变化,从而给调整井钻井技术带来很多难题。特别是由于钻井液密度高,使加重前后的钻井液性能发生很大变化,结果不但降低了钻井速度,而且容易造成钻井过程中的复杂事故,增加钻井成本。

为了提高调整井钻井速度,确保大庆油田的高产、稳产,必须重视调整井钻井技术研究,分析诸因素对调整井钻井速度的影响规律。本文根据现场试验数据着重分析研究了钻井液加重前后机械参数和水力参数对钻速的影响规律,提出钻井参数设计方案。

## 影响钻速的单因素试验

钻压、转速是钻井过程最主要的参数,合理地确定钻压和转速有利于提高钻井速度,延长钻头使用寿命。因此,研究调整井钻井中钻压、转速与机械钻速的关系,特别是钻井液加重后它们(三者)之间的关系,对于充分发挥钻头的破碎效率,提高钻头使用指标是十分必要的。

为了找出钻压、转速对钻速的单因素影响,笔者在葡74-83井等4口井上,做了30组钻压单因素试验和30组转速单因素试验,进一步摸清了钻压、转速(特别是加重后)对机械钻速的影响规律。

### 1. 钻井液加重前后钻压对钻速的影响分析

图1是葡74-83井加重前在不同转速下一组钻压单因素试验曲线。由图1可见,当钻压达到90kN点开始,钻速随钻压变化呈直线上升,这一点称之为临界点。说明加重前体积破碎

点在 90kN。同时由于压差较小,破碎后岩屑可迅速离开井底,减少了重复破碎,所以钻压大于 90kN 后钻速上升幅度较大。

图 2 是同一口井加重后在不同转速下的一组钻压单因素试验曲线。由图 2 可见,由于钻井液密度升高,增加了对岩石的“压缩效应”和对岩屑的“压持效应”,使岩屑不能迅速离开井底,从而使体积破碎点由原来的 90kN 增加到 180kN,从钻压 180kN 点开始,钻速随钻压变化呈直线上升趋势,但钻速上升幅度比加重前小。

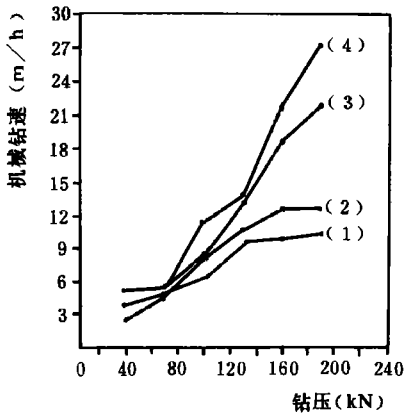


图 1 加重前钻压与钻速关系

注: 1. 转速:(1)=50,(2)=60,(3)=70,  
(4)=80(r/min)。

2. 葡 74-83 井,嫩一段地层,井深 910m,  
密度 1.19g/cm<sup>3</sup>,泵压 15MPa。

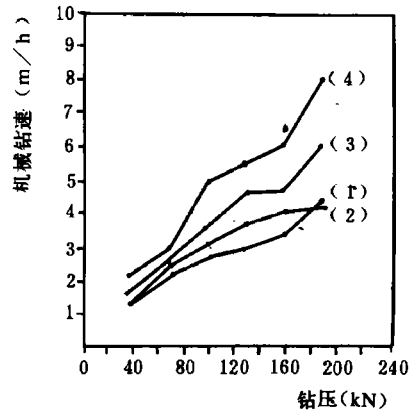


图 2 加重后钻压与钻速关系

注: 1. 转速:(1)=50,(2)=60,(3)=70,  
(4)=80(r/min)。

2. 葡 74-83 井,葡萄油层,井深 1125m,  
密度 1.75g/cm<sup>3</sup>,泵压 15MPa。

这种加重前后体积破碎点上移现象,可通过摩瑞尔破碎坑理论进行解释。摩瑞尔发现破碎坑机制与一定范围的钻井液液柱压力和岩石孔隙压力间的压差有关,在低压差下钻齿下压碎的岩石被挤出压坑,而高压差时,压碎的岩石以塑性状态变形,并且没有全部被挤出压坑,压坑原理见图 3。

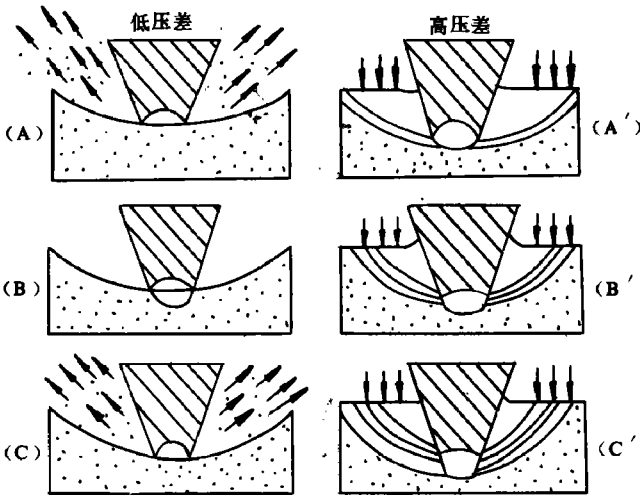


图 3 不同压差钻头齿下压坑机理

注: (A) 挤出, (B) 二次压入, (C) 挤出;  
(A') 压差阻止碎块挤出, (B')、(C') 破裂面平移。

在钻井液加重前,由于压差小,当钻压超过门限钻压产生体积破碎时,在破碎区产生的岩屑易于从压坑中挤出(A),钻头齿向下移动执行新的压碎挤出过程(B)、(C),这样就产生岩石的连续破碎,使钻速提高。而加重后,由于压差较大,向下压力与岩石碎块之间的摩擦力阻止了碎块被挤出(A'),当牙齿上的力增加时,新破裂面

沿着平行于原始破裂面向上进行位移(B')、(C')，它看上去象塑性变形，形成的压坑称假塑性压坑，这就使加重后的钻速下降。

因此，加重后要想提高钻速就得加大钻压来克服由于液柱压力增大而导致的岩石强度增加。另外要尽量缩小液柱与地层孔隙压力间的压差来减小“压持效应”。

2. 钻井液加重前后转速对钻速的影响分析

图 4 为葡 74-83 井加重前对钻速影响的单因素现场试验曲线。从曲线的变化趋势看，加重前转速对钻速影响有一个临界点，即转速应大于 60r/min，低于这个值，即使钻压继续增加，钻速也不会有大的提高。同时也可以看出加重前由于压差小，地层也相对比较松软，因此对转速比较敏感，特别是当转速增大至大于 60r/min 时，可使钻速有大幅度的提高。

图 5 为葡 74-83 井加重后的转速对钻速影响的单因素现场试验曲线。由曲线可见，加重后转速对钻速的影响比加重前明显减小，这是由于岩石硬度随井深增加而略有增加。更重要的是压差增大，岩屑的“压持效应”导致重复破碎。曲线还表现出，随转速增加钻速也有上升趋势，但幅度小。上升趋势的原因是由于随机械转动增加，使被压持的岩屑产生一定的运动，在运动中随着水力作用而产生翻转，从而增强了清岩效果，在一定程度上提高了机械钻速。

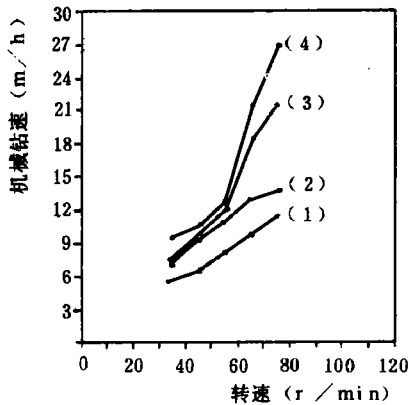


图 4 加重前转速与钻速关系

注：1. 钻压：(1)=100, (2)=130, (3)=160, (4)=190(kN)。

2. 葡 74-83 井，地层嫩一段，井深 910m，密度 1.19g/cm<sup>3</sup>，泵压 15MPa。

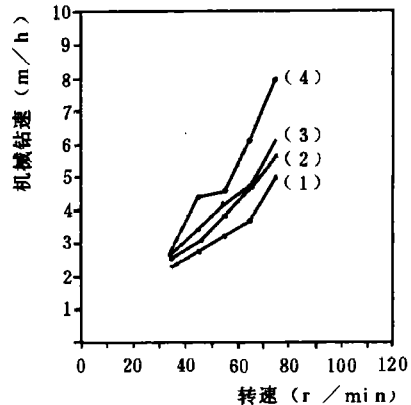


图 5 加重后转速与钻速关系

注：1. 钻压：(1)=130, (2)=160, (3)=190, (4)=220(kN)。

2. 葡 74-83 井，葡萄酒油层，井深 1125m，密度 1.76g/cm<sup>3</sup>，泵压 15MPa。

钻压与钻速是两个重要的钻井参数，它们的乘积称为钻头机械能量。合理地选择钻压、转速配合有利于钻头机械破碎能力的发挥。由图 1 可见，钻压为 190kN，转速由 50r/min 增加到 60r/min 时，钻速只增加 21.32%，而当转速由 60r/min 增加到 70r/min 时，钻速提高 67.96%。同理分析图 4 可知，在转速为 80r/min，钻压由 100kN 变为 130kN 时，钻速只增加 20%，而当钻压由 130kN 增加到 160kN 时，钻速增加 160.8%。

通过分析加重前钻压、转速单因素试验曲线可见，加重前存在一个钻压、转速配合最佳值的下限，即转速 60r/min，钻压 130kN，机械能量值应大于钻压、转速临界值的乘积 7800kN·r/min。同理分析图 2 和图 5 可见，加重后的钻压、转速配合的下限为钻压 160kN，转速 60r/min，

即机械能量应为  $9\ 600\text{kN} \cdot \text{r}/\text{min}$ 。所以钻井施工中应注意机械参数间的交互作用,确定合理的钻压转速配合,以便以较小的机械能量来获得较大的钻速,从而延长钻头的使用寿命。

根据摩瑞尔破碎坑理论,加重前由于液柱压力与地层孔隙压力间压差较小,钻压到一定值后出现连续破碎,所以在上部较软地层应增加转速来加快钻头牙齿对岩石的作用频率,使钻头在单位时间内达到最大的岩石破碎体积来提高钻速。而加重后,由于“压缩效应”,使岩石产生假塑性变形,因此能量在岩石中传递需要一定时间,所以加重后应加大钻压,适当减小转速,使作用在岩石的力有足够时间向下传递,来达到破岩目的。

## 水力参数对钻速的影响

### 1. 水力参数对钻速影响分析

为了找出机械钻速随泵压变化的关系,特别是加重后钻速随泵压变化,笔者在葡 59-92 井和葡 59-93 井进行了高泵压单因素试验,加重前泵压达到 22MPa,加重后最大泵压达到 25MPa,两口井共进行了 8 次变泵压试验。加重前、后钻速随泵压变化的关系见图 6、图 7。

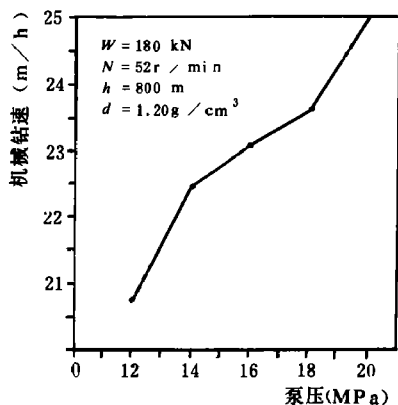


图 6 加重前泵压与钻速关系

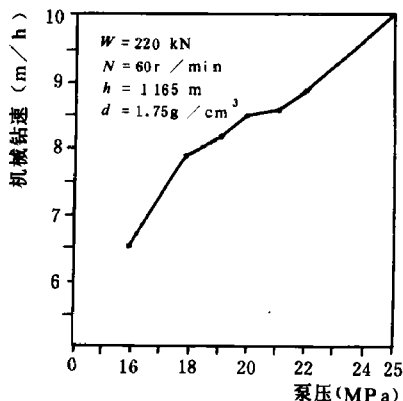


图 7 加重后泵压与钻速关系

由图 6 可见,加重前泵压由 12MPa 上升到 14MPa 时钻速提高较快,这主要是随着排量增加,井底由净化不完善过渡到净化完善,使机械钻速得到了迅速提高。而当泵压由 14MPa 提高到 18MPa 时,钻速提高幅度不大,说明水力破岩效果不显著。当泵压达到 18MPa 后,钻速提高幅度加大,一直到泵压为 25MPa(因受现场设备限制,未能做 25MPa 以上泵压试验),说明这种地层当泵压达到 18MPa 后,水力破岩效果显著。由图 7 可见,加重后由于液柱压力增加,使井底净化泵压上限由原来的 14MPa 上升到 18MPa。而且使钻速变化平缓段上移了(18~22MPa),当泵压达到 22MPa 之后,钻速出现上升趋势,但是由于加重后岩石“压缩效应”和“压持效应”,所以钻速上升幅度不如加重前大。

由试验结果可知,加重前泵压变化应避免钻速平缓段(16~18MPa),尽可能达到 18MPa 以上;加重后,泵压设计要避免 18~22MPa 的平缓段,尽可能达到 22MPa 以上。

2. 现场优选参数设计

为了验证现场钻速试验所得出的结论,进行了现场钻井参数设计。加重前泵压超过 18MPa,加重后泵压超过 22MPa,最大泵压达 25MPa。葡 59-92 井和葡 59-93 井的钻井参数设计方案见下表。

葡 59-92 井,葡 59-93 井现场钻井参数设计表

钻头序号	钻头型号	喷嘴直径 (mm)	起始深度 (m)	终止深度 (m)	排量 (L/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	粘度 (s)	API 失水 (mL)	泥饼厚度 (mm)	范氏切力 (Pa)	pH 值	动切力 (Pa)	塑性粘度 (mPa·s)
1	J1	8+10+11.5	0	800	36	1.2	20~30	<10	0.5~1.0	0~1 -2~5	7.5~8.5	2.0~6.0	5.0~15
2	J11	9+11.5+11.5	800	1236	34	1.75	30~35	<8	1.0~2.0	0~2 -3~8	7.5~8.5	3.0~10	20~30
3	J2	7.6+11+11	0	800	36	1.18	20~30	<10	0.5~1.0	0~1 -2~5	7.5~8.5	2.0~6.0	5.0~15
4	J22		800	1244	34	1.75	30~35	<8	1.0~2.0	0~2 -3~8	7.5~8.5	3.0~10	20~30

注:1、2 号钻头(序号)用于葡 59-92 井;3、4 号钻头(序号)用于葡 59-93 井。

续表

摩阻系数	泵压 (MPa)	喷嘴面积 (mm <sup>2</sup> )	上返速度 (m/s)	钻头压降 (MPa)	钻头水功率 (kW)	有效比水功率 (W/mm <sup>2</sup> )	射流冲击力 (kN)	射流速度 (m/s)	钻压 (kN)	转速 (r/min)	预测钻速 (m/h)
	19.7	232.6	1.50	15.9	573.8	17.07	6.7	154.8	140~180	70~90	29.84
<0.15	24.4	271.2	1.42	15.3	518.5	14.92	7.5	125.4	180~200	55~70	12.26
	19.4	253.3	1.50	15.3	551.2	16.44	6.5	153.8	140~180	70~100	38.42
<0.15	24.4	271.2	1.42	15.3	518.5	14.92	7.5	125.4	180~200	50~70	12.80

通过优选参数设计以及试验队的精心施工,试验井钻速与 1989 年、1990 年葡北地区牙轮钻头平均钻速相比分别提高了 13%和 18.34%。与 1989 年、1990 年试验队相比钻速分别提高 40%和 45%,取得了明显的效果。

结 论

1. 加重前后钻压、转速间存在一定的交互作用,现场试验证明,加重前机械能量不应小于 7 800kN·r/min,加重后机械能量不应小于 9 800kN·r/min。但要注意钻压、转速值不能小于其临界值,应根据具体条件确定机械能量值。

2. 加重前水力清岩区泵压为 12~14MPa, 水力辅助破岩区泵压为 14~18MPa, 水力和机械联合破岩泵压为 18MPa 以上。加重后水力清岩区泵压为 16~18MPa, 水力辅助破岩区泵压为 18~22MPa, 水力和机械联合破岩泵压为 22MPa 以上。

3. 水力能量和机械能量之间存在交互作用, 在增大钻头水力能量的同时, 要增大机械能量以便获得更高的机械钻速。

4. 钻井液加重后除对岩屑有一定的“压持效应”外, 同时还对岩石产生“压缩效应”, 即产生塑性变形。因此, 在加重后应适当降低转速来增长牙齿对岩石作用力的传递时间, 同时通过加大钻压来克服这种塑性变形。这与通过理论分析及现场试验得出的葡北地区钻压敏感指数随井深增加而增加; 转速、水力敏感性指数随井深增加而减小的结论相一致。

(本文收到日期: 1991年10月16日)

[本文责任编辑 应硕源]

### 参 考 文 献

- [1] 刘希圣等编:《钻井工艺原理》第一章, 石油工业出版社, 1980年  
 [2] Preston L. Moore: "5 Factors that affect Drilling Rate", THE OIL AND GAS JOORNAL, OCTOBER 6, 1958  
 [3] 高子佩、张海山: 高密度钻井液喷射钻井技术的研究与应用, 《石油钻采工艺》, 1991年第2期

## 今年我国南海石油工业将大展宏图

**本报讯** 今年我国南海西部海域油气勘探开发将上一个新的台阶。用于勘探开发的总投资近 15 亿元, 是南海历史上投资最大的一年。将打探井 5 口, 生产井 30 口, 争取莺歌海西部海域天然气勘探有重大发现; 涠 10-3 油田计划年产原油  $20 \times 10^4$ t, 争取完成  $25 \times 10^4$ t; 正在投入开发的涠 11-4 油田已经进入紧张的建造阶段; 令人瞩目的崖 13-1 天然气田, 已经进入开发阶段, 中外双方正努力争取早日投产; 同海上石油和天然气勘探开发相配套的各项改革以及湛江石油基地的建设将有新的进展。

(袁维选)

(转载自 1992年3月11日《石油消息》)

## 我国海上又钻成一口水平井

英文《中国日报》1991年12月17日报道: 渤海石油公司又钻成 1 口海上水平井。该井位于渤 28-1 油田的北部, 井深 3 890m, 其中垂直深度为 3 201m, 水平位移的总长度为 1 123m, 这口井以 9.9mm 油嘴采油, 每天可产油 145t, 天然气  $2.55 \times 10^4$ m<sup>3</sup>。我国的胜利、大庆等油田已成功地完钻了 12 口水平井。

(樊生译)

(转载自 1992年4月8日《石油消息》)