

'94 国际石油与石油
化工科技研讨会论文

利用测井资料预测钻井岩石力学特性

杨昌龙 孙 颖 田 军 王治中

(吐哈石油勘探开发会战指挥部)

1994 年 9 月 北京

利用测井资料预测钻井岩石力学特性

摘 要

岩石力学特性不仅是岩石分类定级的依据,而且可以指导钻井过程中的钻头选型和参数匹配,岩石力学特性预测是现场急需解决的技术难题。本文寻求一种采用弹性力学原理,利用测井资料预测岩石的牙轮钻头可钻性、PDC 钻头可钻性、硬度、塑性、抗剪强度等钻井岩石力学特性的方法,并采用该方法建立了吐哈油田部分区块的钻井岩石力学特性连续剖面。

引 言

长期以来,通常采用岩芯资料进行力学分析实验研究。在自然条件下,由于岩芯资料不能代表较大范围的岩石强度特性,特别是在实验条件下对岩芯体的测试一般是静态的,其测试条件往往不同于岩石在地下所处的高温高压的情况。另一方面,由于费用和技术上的原因,难以对整个地层剖面取芯。因此在诸多条件限制下,在现场应用中,室内测定方法难以反映岩石在地下所处的高温高压条件,不均匀地层岩石性质的变化,测定岩芯难以反映一个层位的岩石性质,且室内试验花费大量的人力、时间和资金。所以有必要研究一种利用现场资料即可建立岩石力学剖面的预测的计算方法以满足工程上的需要。为此,我们开展了在弹性力学原理基础上利用测井资料预测钻井岩石力学特性的研究。

为使该方法实用和便于推广,在采用丘陵、鄯勒、疙瘩台和红台构造室内测定结果为检验依据,找出牙轮钻头岩石可钻性、PDC 钻头岩石可钻性、硬度、抗剪强度及塑性系数等钻井岩石力学特性的预测模型,采用该预测方法建立了三区块岩石力学特性剖面。

钻井岩石力学特性预测模型的建立

1. 基本原理

根据弹性波理论,对于均匀无限介质,纵波速度 V_P 为

$$V_P = \frac{[E(1-\mu)]^{1/2}}{[\rho_b(1+\mu)(1-2\mu)]^{1/2}} = \frac{1}{\Delta t} \quad (1)$$

横波速度 V_S 为

$$V_S = \frac{E^{1/2}}{[2\rho_b(1+\mu)]^{1/2}} = \frac{1}{\Delta t_s} \quad (2)$$

式中: Δt —纵波测井即普通声波时差;

Δt_s —横波测井时差。

由式(1)和式(2)可得

$$\mu = (0.5\Delta t_s^2 - \Delta t^2)/(\Delta t_s^2 - \Delta t^2) \quad (3)$$

$$E = [2\rho_b(1+\mu)]/\Delta t_s^2 \quad (4)$$

$$G = E/[2(1+\mu)] \quad (5)$$

$$K = E/[3(1-2\mu)] \quad (6)$$

式中: μ —泊松比;

ρ_b —体积密度, g/cm^3 ;

E —岩石杨氏模量, Mpa ;

G —岩石切变模量, MPa ;

K —岩石体积模量, MPa 。

由于上述所计算的岩石泊松比和各种岩石弹性模量都是反映岩石变形、抗张、抗剪、抗压性质的重要物理参量,所以,利用它们与钻井岩石强度的相互关系,就能够建立有关的预测模型。

2. 岩石强度与弹性模量间的关系

要解决岩石强度的计算和预测问题,就需要分析岩石强度和岩石物理机械性质之间的相关关系,找出影响岩石强度的主要影响因素,从而建立有关的预测模型。

图1~图8是实测岩石强度与所计算的岩石物理机械性关系的部分曲线。通过影响岩石强度的因素分析,可以看出各因素对岩石强度的影响趋势,并可以从中得出几点初步结论:

(1) 岩石弹性模量是影响岩石强度的主要因素, PDC 钻头可钻性对其最为敏感,这也反映了 PDC 钻头对地层强度变化敏感这一特点。

(2)岩石泥质含量对牙轮钻头可钻性的影响随泥质含量增加而增加,对 PDC 钻头可钻性及抗剪强度而言,随泥质含量增加而呈降低的趋势,根据这个变化趋势可知 PDC 钻头适用泥质含量高的地层。

3. 岩石力学预测计算模式的建立

根据因素分析,选择影响因素显著的参数,通过数学方法建立有关岩石力学预测计算模型如下形式:

$$K_i = a_i \frac{E^{\alpha_i} \exp(b_i V_{sh})}{(1 + \mu)^{\beta_i} (1 - 2\mu)^{\gamma_i}} \quad (7)$$

式中: K_i —岩石强度($i=1,2,3\cdots$),MPa;

E —岩石弹性模量,MPa;

μ —岩石泊松比;

V_{sh} —岩石泥质含量;

a_i —方程系数;

b_i —岩石泥质含量影响系数;

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ —分别是反映岩石抗张、抗剪和抗压的指数。

采用式(7)后,其计算值和实测值具有很好的相关关系,其相关系数为 0.7~0.97,计算精度也能满足工程需要,符合率大于 80%。

岩石力学特性剖面的建立

我们在上述预测方法的基础上,编制了计算机软件,处理了丘陵、鄯勒、胜北三区块测井资料,建立了丘陵、鄯勒、胜北三区块岩石力学特性剖面(如丘陵油田岩石力学特性剖面见图 9),并应用

于钻头优选、钻井参数优选、钻头评价以及随钻选钻头。

几点结论

(1)根据岩石力学特性,建立了岩石可钻性、硬度、抗剪强度、塑性系数的预测模型,该模型的预测计算结果与实测值有良好的相关性。

(2)采用弹性力学原理,利用测井资料预测岩石力学特性是一种便于推广的实用方法。

(3)由岩石可钻性、硬度等计算值,可建立连续的剖面,并可反映出岩石强度的平均值、变化幅值、频率,对钻井工作具有实际指导意义。

(4)新方法除用于钻头选型、预测地层、预测钻速外,还可以用于宏观决策、经济投入等各个领域。

在钻井工程设计中,系统地应用新方法可将许多凭经验决定的内容转化为科学预测内容,以提高钻井设计的准确性和预见性。

参考文献

- 1 罗肇丰. 钻井技术手册(一)钻头,石油工业出版社,1984
- 2 尹宏锦. 实用岩石可钻性,石油大学出版社出版,1989,11月
- 3 孙颖. 确定钻头合理使用时间的一种新方法,石油钻采工艺,1993年第2期
- 4 张先普. 吐哈丘陵油田地层岩石力学性质测定和钻头选型,1992年7月
- 5 西南石油学院. 吐哈油田疙瘩台、红台、鄯勒、丘陵地区钻井岩石分级试验报告,1993年9月

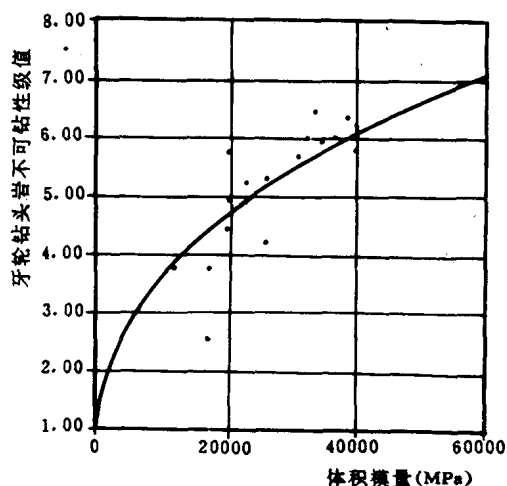


图1 牙轮钻头可钻性与体积模量关系

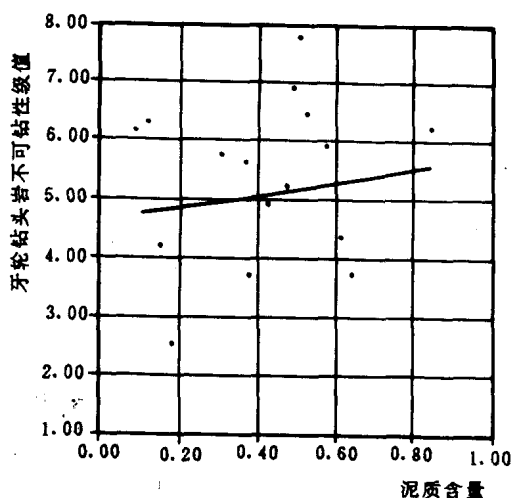


图2 牙轮钻头可钻性与泥质含量关系

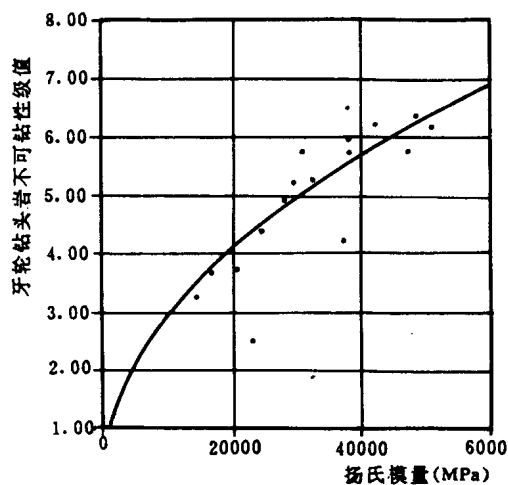


图3 牙轮钻头可钻性与杨氏模量关系

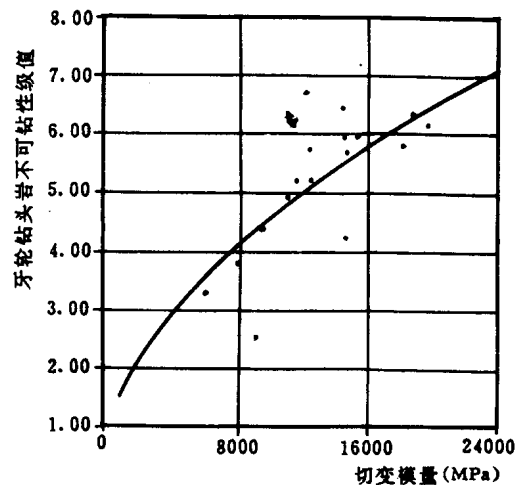


图4 牙轮钻头可钻性与切变模量关系

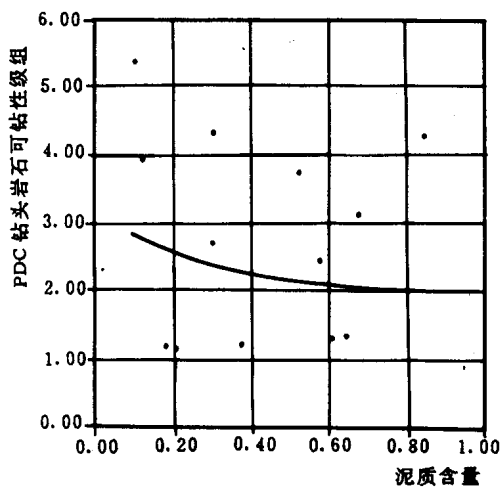


图5 PDC 钻头可钻性与泥质含量关系

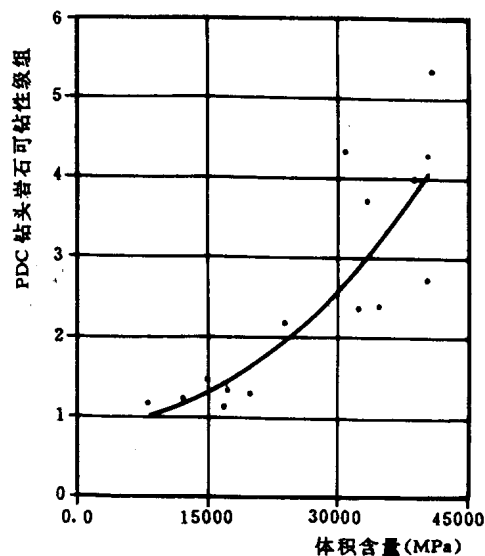


图6 PDC 钻头可钻性与体积模量关系

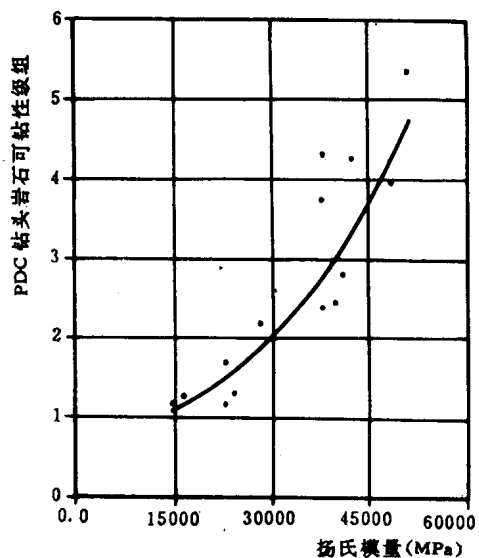


图7 PDC 钻头可钻性与杨氏模量关系

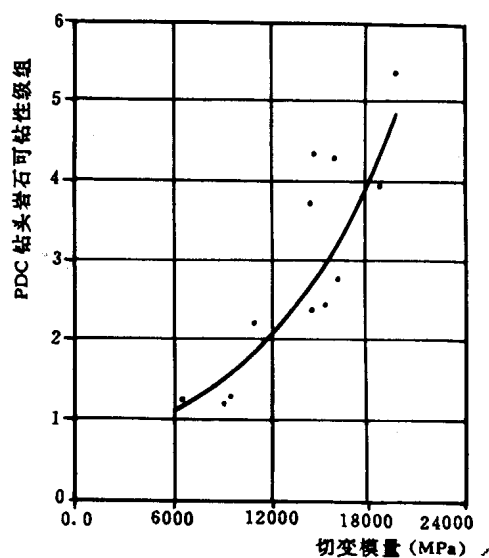


图8 PDC 钻头可钻性与切变模量关系

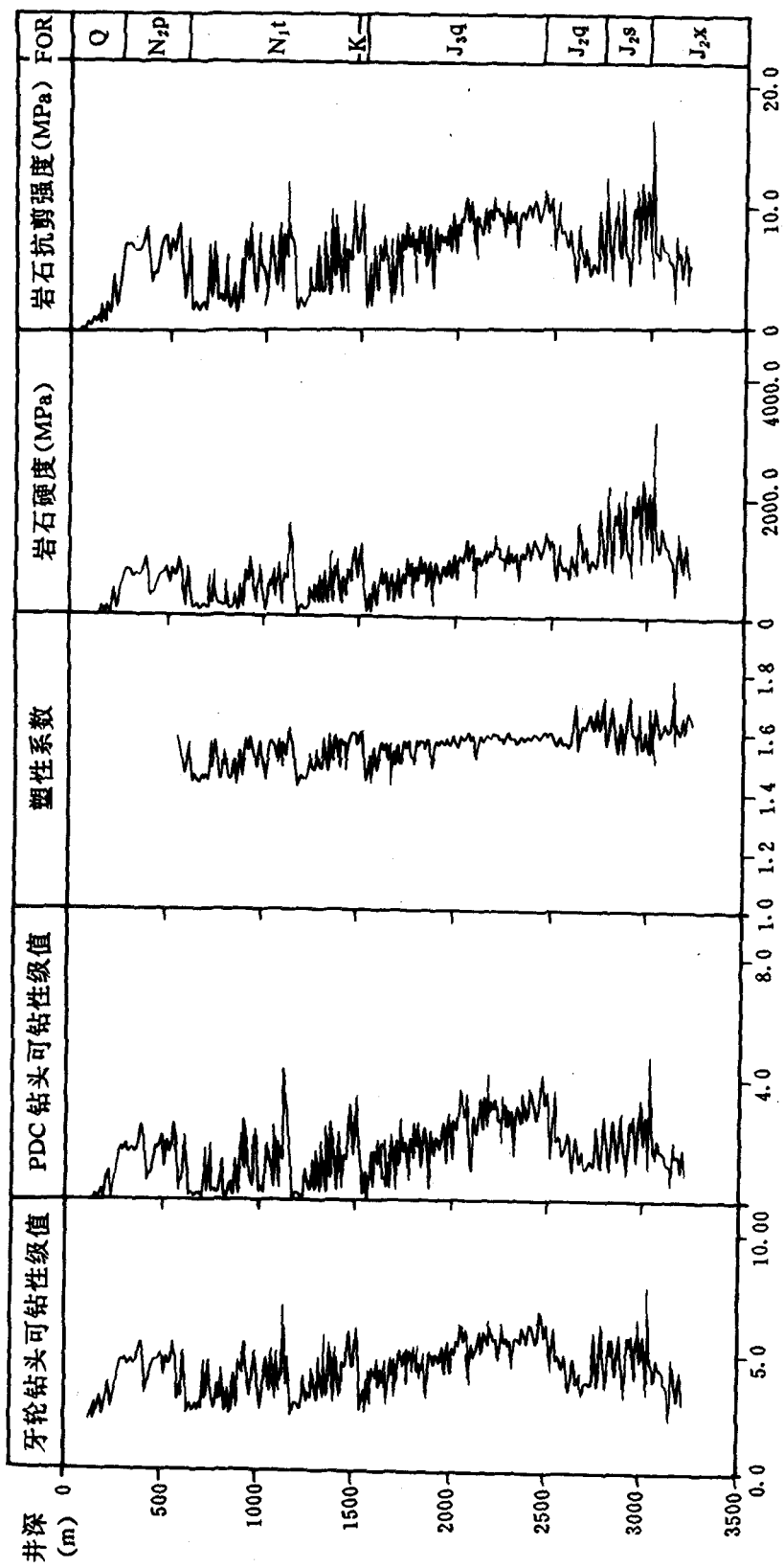


图9 丘陵油田岩石物理机械性能

石油物探局制图印刷厂
照排印刷