

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/ T 6201—1996

优选参数钻井基本方法

1996-11-15 发布

1997-06-01 实施

中国石油天然气总公司 发布

标准下载网(www.bzxzw.com)

目 次

前言

1 范围	1
2 引用标准	1
3 模式符号、名称、单位	1
4 优选参数钻井主要内容	1
5 优选参数钻井设计步骤	11
6 实施优选参数钻井的必备条件	11
附录 A（标准的附录） 优选钻头类型	13
附录 B（标准的附录） 国内其他钻井模式	14
附录 C（提示的附录） 参考资料	16

前 言

优选参数钻井是喷射钻井和平衡压力钻井的继续和发展,是以计算机为手段,运用最优化钻井理论和方法,对影响钻井效果的主要钻井参数建立优选优配定量计算的数学模型与计算机程序,从可行方案中寻找在一定约束条件下达到最低成本的最佳设计方案,运用优控施工工艺使钻井的整体经济效益最优的科学钻井方法。

优选参数钻井技术研究是原石油工业部“六五”国家科技攻关项目,由三个攻关集团共七个单位实验研究完成,获国家科技攻关先进奖。此后,地质矿产部石油钻井研究所也相继研究,完成了优选参数钻井技术的攻关实验研究任务,获地矿部科技进步一等奖。从研究内容上看,主要集中研究和解决影响钻进速度的四个方面 14 个参数的定量计算和优选优配方法。关键是选择和建立适合本地区特点的钻井模式,核心是建立钻速模式。其基本方法是在合理确定井身结构的基础上,首先,优选钻头类型,使之与欲钻地层相适应;其次,优选钻井液体系及参数(包括固控);第三,优选对钻速影响敏感的水力参数,确定地层水力指数范围;第四,优选钻井机械参数,使之与水力参数合理匹配,提高二者交互作用的破岩、清岩效率。以上四点必须有机结合,全面优选优配,达到提高钻井质量和速度、保证井下安全、降低钻井成本的目的。

本标准以《钻井手册(甲方)》中优选参数钻井基本理论和模式为基础,选用了包括通用钻速方程在内的钻井模式和环空流变参数模式。钻速模式的最大特点:一是模式中的系数、指数都与地层可钻性级值建立了函数关系,解决了过去需在不同地区不同地层现场做钻速实验求取钻速方程中有系数、指数问题;二是求取地层可钻性级值方法简单、直观,它反映了不均质地层可钻性的宏观规律。目前各油田(各地区)均已建立各自的地层可钻性级值宏观规律,具备推广应用基本条件。

本标准的附录 A、附录 B 都是标准的附录。

本标准的附录 C 是提示的附录。

本标准由石油钻井工艺标准化分委员会提出。

本标准由石油钻井工程专业标准化委员会归口。

本标准负责起草单位:胜利石油管理局钻井工艺研究院。参加起草单位:地质矿产部石油钻井研究所、辽河石油勘探局钻采研究院、西南石油学院石油工程系、中原石油勘探局钻井研究院。

本标准主要起草人 丛祥生 吴国佐 陈文森 陈平 孙书贞

优选参数钻井基本方法

1 范围

本标准规定了石油天然气钻井工程优选参数钻井的目的、内容、基本方法和实施的必要条件。
本标准适用于井深小于 4500m 常规直井钻井。

2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中的引用而构成本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

SY/ T 5088—93 评定井身质量的项目和计算方法

SY/ T 5172—1996 直井下部钻具组合设计方法

SY/ T 5234—91 喷射钻井水力参数计算方法

SY 5426—91 岩石可钻性测定及分级方法

SY/ T 5431—1996 井身结构设计方法

3 模式符号、名称、单位

3.1 钻井液流变参数模式符号及其名称和单位

钻井液流变参数模式符号及其名称和单位见表 1。

3.2 钻井模式符号及其名称和单位

钻井模式符号及其名称和单位见表 2。

4 优选参数钻井主要内容

4.1 井身结构设计

按 SY/ T 5431 进行设计。

4.2 下部钻具组合设计

按 SY/ T 5172 进行设计。

表 1 钻井液流变参数模式符号及其名称和单位

序号	符号	名 称	单位
1	θ_0	初切力	Pa
2	n	流性指数	无因次量
3	θ_3	旋转粘度计 3r/min 时的读数	Pa
4	θ_{300}	旋转粘度计 300r/min 时的读数	
5	θ_{600}	旋转粘度计 600r/min 时的读数	
6	μ_{pv}	塑性粘度	mPa·s
7	K	稠度系数	Pa·s ⁿ

表 1(完)

序号	符号	名 称	单位
8	η_{oc}	极限高剪粘度(喷嘴粘度)	$\text{mPa} \cdot \text{s}$
9	v_{as}	环空返速	m / s
10	Q	流量	l / s
11	d_b	井眼直径	mm
12	d_p	钻杆外径	
13	γ	环空管壁处的剪切速率	s^{-1}
14	θ_v	剪切应力	Pa
15	μ_{AV}	表观粘度	$\text{mPa} \cdot \text{s}$
16	v_{sl}	岩屑滑落速度	m / s
17	d_c	岩屑直径	mm
18	ρ_d	钻井液密度	g / cm^3
19	L, C	岩屑运移比	无因次量
20	C_a	环空岩屑浓度(V/V)	%
21	C_e	环空钻井液岩屑体积百分比	
22	Q_c	每秒产生的岩屑量	l / s
23	v_m	最大钻速	m / s
24	v_{cr}	环空临界返速	
25	Z	流态指示值	无因次量
26	τ_{dl}	动切力	Pa
27	e	动塑比	$\text{Pa} / (\text{mPa} \cdot \text{s})$

表 2 钻井模式符号及其名称和单位

序 号	符 号	名 称	单 位
1	C_a	钻井直接成本	元 / m
2	C_b	钻头价格	元 / 只
3	C_r	钻机作业费	元 / h
4	t_d	纯钻进时间	h
5	t_t	起下钻时间	
6	t_{cn}	接单根时间	
7	F_b	钻头进尺	m
8	E_s	能耗值	MJ
9	W	钻压	kN

表 2(续)

序 号	符 号	名 称	单 位
10	η_r	转速	r / min
11	d_b	钻头直径	mm
12	K_b	常数	
13	v_{pe}	机械钻速	m / h
14	W_s	单位钻头直径钻压	kN / mm
15	d	钻压指数	无因次量
16	λ	转速指数	
17	H_y	等效钻头比水功率	W / mm ²
18	f	水力指数	无因次量
19	e	自然对数的底	
20	Δp	井底压差	MPa
21	y	组合喷嘴增效系数	无因次量
22	P_{bs}	钻头比水功率	W / mm ²
23	x	组合喷嘴结构系数	无因次量
24	d_{n1}, d_{n2}, d_{n3}	喷嘴直径	mm
25	dh / dt	钻头牙齿磨速	
26	A_f	地层研磨性系数	无因次量
27	P	钻头类型决定的系数	
28	D_1	钻压影响系数	
29	W_{cr}	单位钻头直径临界钻压	kN / mm
30	c_1	钻头牙齿磨损减慢系数	无因次量
31	$h(h_f)$	钻头牙齿磨损量	
32	D_2	钻压影响系数	
33	dB / dt	钻头轴承磨速	
34	b	钻头轴承工作系数	
35	K_d	岩石统计可钻性级值	无因次量
36	b_f	钻头轴承磨损量	
37	K_f	钻速系数	
38	b_1	地层压实系数	
39	c_1	钻头牙齿磨损系数	

表 2(完)

序 号	符 号	名 称	单 位
40	T_1	钻头牙齿寿命	h
41	T_b	钻头轴承寿命	
42	k_1	岩石可钻性系数	无因次量
43	M_0	门限钻压	kN
44	c_{e1}	钻头比水功率换算系数	无因次量
45	D	进尺或井深	m
46	Q_a	钻头类型决定的系数	
47	a_k	地层可钻性指数	无因次量
48	a_p	压差指数	
49	ρ_{dc}	循环当量密度	g/cm^3
50	d_{en}	当量喷嘴直径	mm
51	W_{max}	最大钻压	kN
52	$\bar{D}$	井段平均井深	m

4.3 优选钻头类型的方法

4.3.1 声波时差法

4.3.1.1 收集符合数据处理要求的邻井(区)物探资料、设计井地质任务书、地质设计和图样,以及有关的地质、钻井及电测井资料。

4.3.1.2 用声波时差转换模式计算声波时差值。

$$\Delta t_s = \Delta t_c (\Delta t_s / \Delta t_c)^a \dots\dots\dots(1)$$

式中: Δt_s ——横波时差, $\mu s/m$;

Δt_c ——纵波时差, $\mu s/m$;

$\Delta t_s / \Delta t_c$ ——横波与纵波传播时差之比(见表A1);

a ——传播时差比值的矿物颗粒尺寸校正系数(见表A2)。

4.3.1.3 依据各地层组段(井段)相对应的原则,选出待设计井段的钻头类型。

4.3.1.4 若选择钻头类型不合适,重复 4.3.1.2 和 4.3.1.3 步骤,直到选定为止。确定所有设计井段以至全井钻头类型序列。

4.3.2 最低成本法

4.3.2.1 计算钻井直接成本值。

$$C_u = [C_b + C_r(t_d + t_t + t_{cn})] / F_b \dots\dots\dots(2)$$

4.3.2.2 以参考井钻头的 F_b 、 v_{pe} 、 t_d 等技术经济指标为依据,按最低成本的原则,优选设计各地层组段(井段)钻头类型,形成全井钻头序列。

4.3.3 岩石可钻性法

4.3.3.1 按 SY 5426 计算微钻时和微钻速, 确定岩石可钻性级值。

4.3.3.2 根据各地层组段(井段)相对应的原则, 选出待设计井段与岩石可钻性级值对应的钻头类型, 初定该井钻头类型序列。

4.3.3.3 按已建立的该地区岩石可钻性级值梯度公式计算各相应地层组段岩石可钻性级值, 复核选定设计钻头类型序列。

4.3.3.4 若选定的钻头类型现场难以实施时, 可按 IADC¹ 编码等效原则确定钻头类型, 形成全井钻头序列。

4.3.4 综合分析法

4.3.4.1 根据岩石可钻性级值, 参照邻井相应井段钻头资料, 计算出成本最低的钻头, 进行综合分析对比, 并结合厂家推荐的钻头型号, 确定全井各井段的钻头类型。

4.3.4.2 预测钻井技术经济指标, 找出全井成本最低的钻头序列。

4.3.4.2.1 应用动态模糊目标规划理论, 计算初定各井段钻头类型。

4.3.4.2.2 综合分析确定全井成本最低的钻头类型序列。

4.3.5 能耗法

4.3.5.1 计算各地层组段(井段)钻头的能耗值。

$$E_s = K_b \cdot W \cdot n_r \cdot t_d / d_b \cdot F_b \quad \dots\dots\dots(3)$$

4.3.5.2 绘制井深 D 与 E_s 值散点图, 进行数理统计分析。

4.3.5.3 以参考井钻头的能耗值为依据, 以能耗值越低越适应地层和地层层位等同的两个原则, 优选出单只钻头以至全井钻头类型序列。

4.4 优选钻井液体系及参数

4.4.1 优选钻井液体系

根据地层岩性特点和对保护油气层的要求, 使用与岩性相匹配的钻井液体系。

4.4.2 优选钻井液密度

4.4.2.1 根据地层孔隙压力梯度剖面, 以保持平衡压力钻井的钻井液密度为最小钻井液密度。

4.4.2.2 钻井液密度附加值: 油层附加 $0.05 \sim 0.10 \text{g/cm}^3$, 气层附加 $0.07 \sim 0.15 \text{g/cm}^3$ 。

4.4.2.3 在同一井段有盐膏层或易塌泥页岩等岩层时, 应取钻该岩层所需的钻井液密度。

4.4.3 优选钻井液流变参数

4.4.3.1 约束条件

约束条件有

——环空岩屑运移比 LC 大于或等于 0.5;

——环空岩屑浓度 C_a 小于或等于 9%;

——流态指示值 Z 小于井壁稳定系数 Z_0 值。

4.4.3.2 钻井液流变参数模式

4.4.3.2.1 基本流变参数

θ_3 ——旋转粘度计 3r/min 时读数。

修正幂律模式:

$$n = 3.32 \times \lg [(\theta_{600} - \theta_3) / (\theta_{300} - \theta_3)] \quad \dots\dots\dots(4)$$

¹ 国际钻井承包商协会的英文缩写。

宾汉模式:

$$\mu_{PV} = \theta_{600} - \theta_{300} \dots\dots\dots(5)$$

修正幂律模式:

$$K = (\theta_{600} - \theta_3) / 511^n \dots\dots\dots(6)$$

卡森模式:

$$\eta_{\infty}^{1/2} = 2.4142(\theta_{600}^{1/2} - \theta_{300}^{1/2}) \dots\dots\dots(7)$$

4.4.3.2.2 相关流变参数

$$v_{as} = 12.73Q / (d_h^2 - d_p^2) \dots\dots\dots(8)$$

$$\gamma = 1200 \times v_{as} / (d_h - d_p) \dots\dots\dots(9)$$

修正幂律模式:

$$\theta\gamma = \theta_0 + K \times \gamma^n \dots\dots\dots(10)$$

$$\mu_{AV} = 514.9 \times n^{0.119} \times \theta_{\gamma} / \gamma \dots\dots\dots(11)$$

$$v_{sl} = 0.071 \times d_c (2.5 - \rho_d)^{0.667} / (\rho_d^{0.333} \times \mu_{AV}^{0.333}) \dots\dots\dots(12)$$

$$L.C = (v_{as} - v_{sl}) / v_{as} \dots\dots\dots(13)$$

$$C_a = (v_{as} / v_{sl}) \times C_e / [(v_{as} / v_{sl}) - 1 + C_e] \dots\dots\dots(14)$$

$$C_e = Q_c / (Q_c + Q) \dots\dots\dots(14a)$$

$$Q_c = (\pi / 4) \times (0.25 \times d_h)^2 \times v_m / 360 \dots\dots\dots(14b)$$

$$v_{cr} = 0.00508 [20626 \times n^{0.387} \times K \times 2.54^n / (d_h - d_p)^n \times \rho_d]^{[1/(2-n)]} \dots\dots\dots(15)$$

$$Z = 808(v_{as} / v_{cr})^{2-n} \dots\dots\dots(16)$$

Z 大于或等于 808 时为紊流; Z 小于 808 时为层流。

$$\tau_d = \theta_{300} - \mu_{PV} \dots\dots\dots(17)$$

$$\varepsilon = \tau_d / \mu_{pv} \dots\dots\dots(18)$$

4.4.3.3 利用钻井液流变参数设计程序和分析程序进行流变参数的设计计算。

4.4.3.4 推荐能满足优选参数钻井工艺要求的钻井液环空流变参数的控制范围是:

- $\theta_0 (\theta_e) = 0 \sim 0.5 \text{ Pa}$;
- $n = 0.4 \sim 0.7$;
- $K = 0.01915 \sim 0.1915 \text{ Pa} \cdot \text{s}^n$;
- $\mu_{pv} = 3 \sim 15 \text{ mPa} \cdot \text{s}$;
- $\eta_{\infty} = 3 \sim 10 \text{ mPa} \cdot \text{s}$;
- $\tau_d \leq 4 \text{ Pa}$;
- $\varepsilon = 0.48 \text{ Pa} / \text{mPa} \cdot \text{s}$ 。

4.4.3.5 用概率统计分析方法确定本地区的常规钻井液性能和环空流变参数的控制范围。

4.5 优选钻井水力参数

4.5.1 原则

4.5.1.1 钻井泵的输出功率在额定功率的 80%~90%之间。

4.5.1.2 泵压大于或等于 16MPa。

4.5.1.3 钻头水功率大于钻井泵输出功率的 50%。

4.5.2 内容

4.5.2.1 选择泵型

4.5.2.1.1 应选择能持续高压 20~25MPa 运转的、可提供钻头比水功率 10~20W/mm² 的三缸单作用钻井泵。

4.5.2.1.2 按钻机类型选择泵型: 大庆 I (或 II) —130 型钻机, 推荐选配 2 台 3NB—1000 型或 2 台 3NB—1300 型钻井泵; ZJ45 型钻机选配 2 台 3NB—1300 型钻井泵; F320—3DH 型钻机选配 2 台 3NB—1300 型或 2 台 3NB—1600 型钻井泵

4.5.2.2 优选泵压

根据地层水力指数优选泵压。

4.5.2.3 优选流量

4.5.2.3.1 按最大钻头水功率工作方式计算临界井深, 确定初定流量。若计算井深 (钻头钻达深度) 大于临界井深, 则最优流量为初定流量。若计算井深小于临界井深, 则额定流量为最优流量。

4.5.2.3.2 以井眼扩大系数为依据, 以各井段井壁承受流态指示值 Z 的上限和岩屑运移比 L/C 大于或等于 0.5 为约束条件, 采用概率统计分析方法, 找出既不冲垮井壁又保持井眼净化的环空返速范围和流量范围, 使钻头水功率大于或等于 0.643 倍地面钻井泵实发水功率的流量为优选的流量。

4.5.2.4 优选喷嘴直径

推荐使用组合喷嘴。软地层一般采用“一大两小 (等径)”三个喷嘴组合; 中、中硬、硬地层采用“一大一小”双喷嘴, 大小喷嘴直径比为 1: (0.6~0.68)。

4.5.3 计算

推荐应用 SY/ T 5234 的方法计算优选钻井水力参数。

4.6 优选钻压、转速方法

4.6.1 优选原则: 直接钻井成本最低。

4.6.2 约束条件:

4.6.2.1 最大钻压 $W_{\max}$ 或最高转速 $N_{\max}$ 不超过厂家推荐值。

4.6.2.2 最优钻压 W_{opt} 与最优转速 N_{opt} 乘积应小于钻头钻压与转速乘积的允许值, 即 $W_{\text{opt}} \cdot$

$$N_{\text{ropt}} < (W \cdot n_r)_{\text{a}}.$$

4.6.2.3 钻头轴承最终磨损量 $B_f \leq 1$, 牙齿最终磨损量 $h_f \leq 1$ 。

4.6.2.4 在易斜地层钻进要求达到 SY/ T 5088 规定井身质量指标。

4.6.3 优选钻压、转速:

4.6.3.1 用试验估算法求取钻压 W_{es} 、转速 n_{es}

4.6.3.1.1 直接采用厂家提供的 $(W \cdot n_r)_{\text{a}}$ 值或依据地层特性估算 W_{es} 值, 即地层由软到硬, 单位钻头直径钻压由 0.7 kN/mm 到 1.31 kN/mm 。

4.6.3.1.2 按下式计算 n_{es} :

$$n_{\text{es}} = (W \cdot n_r)_{\text{a}} / W_{\text{es}} \quad \dots\dots\dots(19)$$

4.6.3.1.3 若 W_{es} 与 n_{es} 的乘积不符合 4.6.2 的约束条件, 则重复步骤 4.6.3.1.1 和 4.6.3.1.2 直到选定为止。

4.6.3.2 用钻井模式优选钻压、转速

4.6.3.2.1 推荐的钻井模式

a) 钻速方程

1) 软到中硬地层:

$$v_{\text{pc}} = 134.7 \times (W_s / 14.2)^d \times (n_r / 60)^i \times (H_y / 9)^f \times e^{[\Delta P(\rho_d - 1.15)]} \quad \dots\dots\dots(20)$$

2) 硬地层:

$$v_{\text{pc}} = 114.86 \times (W_s / 14.2)^d \times (n_r / 60)^i \times (H_y / 7)^f \times e^{[\Delta P(\rho_d - 1.14)]} \quad \dots\dots\dots(21)$$

$$H_y = y \times p_{\text{bs}} \quad \dots\dots\dots(22)$$

$$y = 2.0393 \times x^{0.5836} \quad \dots\dots\dots(23)$$

$$x = (d_{n1}^4 + d_{n2}^4 + d_{n3}^4) / (d_{n1}^2 + d_{n2}^2 + d_{n3}^2)^2 \quad \dots\dots\dots(24)$$

b) 牙齿磨损方程

1) 铣齿牙轮钻头:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{A_r \times P(n_r + 4.34 \times 10^{-5} \times n_r^3)}{10^3 \times D_1 \times d_b (W_{\text{cr}} - W_s) \times (1 + c_1 h)} \quad \dots\dots\dots(25)$$

2) 镶齿牙轮钻头:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{A_r \times P(n_r + 4.34 \times 10^{-5} \times n_r^3)}{2.54 \times 10^3 \times D_1 \times d_b (W_{\text{cr}} - W_s) \times (1 + c_1 h)} \quad \dots\dots\dots(26)$$

3) 单位钻头直径临界钻压取值: $W_{\text{cr}} = D_2 / (D_1 \times d_b)$

牙轮铣齿钻头 $W_{cr}=1.74\text{kN/mm}$;

镶齿牙轮钻头 $W_{cr}=1.30\text{kN/mm}$ 。

c) 轴承磨损方程

$$dB/dt = n_r (d_b \times W_s)^{1.5} / b \quad \dots\dots\dots(27)$$

d) 钻井成本

钻井直接成本计算见 4.3.2.1。

4.6.3.2.2 国内其他钻井模式。

国内其他钻井模式见附录 B (标准的附录)。

4.6.4 钻井模式中系数、指数的确定:

a) $d=0.5366+0.1993K_d$;

b) $\lambda=0.9250-0.0375K_d$;

c) $f=0.7011-0.05682K_d$;

d) P 、 c_1 、 Q_a 见表 3;

e) D_1 、 D_2 见表 4;

表 3 钻头类型参数

齿型	适用地层	系列号	类型	P	Q_a	c_1
铣齿钻头	软	1	1	2.5	1.088×10^{-4}	
			2			
			3	2.0	0.8790×10^{-4}	6
			4			
	中	2	1	1.5	0.653×10^{-4}	5
			2	1.2	0.522×10^{-4}	4
			3			
			4	0.9	0.392×10^{-4}	3
	硬	3	1	0.65	0.283×10^{-4}	2
			2	0.5	0.218×10^{-4}	2
			3			
			4			
镶齿钻头	特软	4	1	0.5	0.218×10^{-4}	2
			2			
			3			
			4			
	软	5	1			
			2			
			3			
			4			

表 3(完)

齿型	适用地层	系列号	类型	P	Q_a	c_1
镶 齿 钻 头	中	6	1	0.5	0.218×10^{-4}	2
			2			
			3			
			4			
	硬	7	1			
			2			
			3			
			4			
	坚硬	8	1			
			2			
			3			
			4			

表 4 钻压影响系数

mm

钻头直径	158.75	171.45	200.03	215.90	219.08	244.48	247.65	250.83	273.05	314.15	349.25
D_1	0.194	0.183	0.1632	0.1576	0.1566	0.1455	0.1444	0.1433	0.1367	0.1297	0.1213
D_2	5.50	5.60	5.94	6.08	6.11	6.38	6.41	6.44	6.68	7.15	7.56

f) b_1 由现场资料确定;g) A_f 由公式 (28) 确定:

$$A_f = 10^3 \times D_1 \times d_b (W_{cr} - W_s) \times (h_f + C_1 h_f^2 / 2) / t_d \times P(n_r + 4.34 \times 10^{-5} \times n_r^3) \quad \cdots \cdots (28)$$

4.6.5 确定地层可钻性级值 K_d :

4.6.5.1 按地层年代分层计算出分层平均可钻性级值和均方差 (如果在一个地层中取心不足, 可以找相邻地区对应层位的数值作补充)。

4.6.5.2 按地质提供的地层剖面分层厚度, 求出分层的平均井深, 并作深度压实校正。

4.6.5.3 将平均井深和分层可钻性级值输入回归处理程序, 确定该地区地层可钻性级值。

4.6.6 确定钻头寿命:

a) 当 $A_f \leq 4$, 由轴承决定钻头寿命 t_d :

$$t_d = b_f \times b / n_r (d_b \times W_s)^{1.5} \quad \cdots \cdots (29)$$

b) 当 $A_f > 4$, 则由牙齿决定钻头寿命 t_d :

$$t_d = 10^3 \times D_l \times d_b (W_{cr} - W_s) \times (h_f + c_l h_f^2 / 2) / A_f \times P(n_r + 4.34 \times 10^{-5} \times n_r^3) \quad \cdots \cdots (30)$$

$$c) F_b = V_{pe} \times t_d \quad \cdots \cdots (31)$$

$$d) t_l + t_{cn} = 0.004 \bar{D} + 4 \quad \cdots \cdots (32)$$

4.6.7 在 W_{max} 和 $(W \cdot n_r)_a$ 的约束条件下, 利用优选钻压及转速的计算程序搜索 $W \times n_r$ 最优组合值。

a) 当 $K_d \leq 2.53$ 时, 可以优选出最优钻压和最优转速值。

b) 当 $K_d > 2.53$ 时, $W \cdot n_r$ 最优组合的最优钻压 W_{opt} , 即为厂家推荐的最大钻压 W_{max} , 而最优转速为 $N_{ropt} = W \cdot n_r / W_{max}$ 。

4.6.8 应用“模块式钻井优化设计计算机软件包”及便携式钻井专用计算机进行优选参数钻井设计。

5 优选参数钻井设计步骤

5.1 收集邻井测井、钻井液、钻头、井下有否复杂情况和事故等原始资料, 结合设计井的地层剖面、地层压力数据, 确定井身结构。

5.2 根据地层剖面分层数据, 建立岩石可钻性级值梯度公式, 并按下列方式进行修正:

a) 对软到中硬地层、砂泥岩剖面, 地层平均岩石可钻性级值可以分层平均井深, 按梯度 0.001 级 / m 修正。

b) 对硬地层, 平均岩石可钻性级值达到 6 级以上或以灰岩为主的岩层, 其压实影响较小, 可按梯度 0.0004 级 / m 修正。

c) 根据钻速录井资料, 对所取岩样较少的岩层的岩石可钻性级值加权平均。

d) 以分层平均井深与修正后的平均岩石可钻性级值进行回归, 得出岩石可钻性级值梯度公式, 其相关系数要大于 0.9。

5.3 根据岩石可钻性级值梯度公式, 分段计算出可钻性级值, 查表选出合适的钻头类型。

5.4 输入水力程序, 优选泵压、流量、喷嘴组合和等效比水功率。

5.5 输入钻井液程序, 优选密度、塑性粘度、极限高剪粘度、流性指数、稠度系数。

5.6 输入钻压、转速程序, 优选钻压和转速。

5.7 用微型计算机和辅助设备, 最后打印出一口井的设计大表 (见表 5)。

6 实施优选参数钻井的必备条件

6.1 配置有相应的钻井技术装备和钻井参数采集系统。

6.2 有反映本地区钻井特点的钻井数据库、程序库。

6.3 配备有优选参数钻井设计、计算的软件包和相应的计算机及辅助设备。

表 5 钻井优化设计表(格式)

序号	钻头类型	钻头直径 mm	当量喷嘴直径 mm	喷嘴组合 mm	钻头价格 元 / 只	下钻井深 m	起钻井深 m	钻头进尺 m	纯钻进 时间 h	机械钻速 m / h

序号	单位成本 元 / m	钻压 kN	转速 r / min	流量 l / s	比水功率 W / mm ²	泵压 MPa	钻头压降 MPa	泵功率 kW	钻头水功率 kW

序号	喷射 速度 m / s	冲击力 N	环空 返速 m / s	环空临 界返速 m / s	钻井液 密度 g / cm ³	循环当 量密度 g / cm ³	环空 压耗 MPa	井底 压差 MPa	功率 利用率 %	流态 指示值

总进尺: m; 总钻进时间: h; 总成本: 元; 平均机械钻速: m/h;

平均单位成本: 元/m; 纯钻进天数: d; 钻机月: 月;

钻机月速: m/月; 完井周期: d; 建井周期: d

优选钻头类型

A1 表 A1 给出了横波与纵波传播时差之比。

表 A1 横波与纵波传播时差之比

岩石	$\Delta t_s / \Delta t_c$ 比值	岩石中声波 传播速度 m/s	岩石	$\Delta t_s / \Delta t_c$ 比值	岩石中声波 传播速度 m/s
硬石膏	2.45	6096	角砾岩	1.85	7620
玄武岩	1.55	6142	灰岩	1.90	
白垩	2.45	2591	石灰岩	2.1	6401
燧石	1.60	6797	(粉砂质灰岩)		
粘土	3.20	1829	石灰岩	2.3	
粘土岩	1.90	5791	(泥质灰岩)		
辉绿岩	1.70	6918	大理岩	1.80	7315
闪长岩	1.75	6706	泥岩	1.85	5791
白云岩	1.80	7620	菱铁矿	1.70	8534
绿帘石	1.70	7010	石英	1.55	6096
辉长岩	1.60	7163	石英岩	1.50	6553
片麻岩	1.80	7620	盐岩	2.15	4572
花岗岩	1.70	6507	砂岩	1.60	5944
石膏	2.45	5806	页岩	1.70~1.75	5944
			粉砂岩	1.80	7010

A2 表 A2 给出了传播时差比值的矿物颗粒尺寸校正系数。

表 A2 各种颗粒尺寸校正系数

温特沃恩的颗粒尺寸分类 mm		a
粉砂	< 0.0625	0.9
非常细颗粒	0.0625~0.0125	0.95
细颗粒	0.0125~0.25	1.00
中等颗粒	0.25~0.5	1.05
粗颗粒	0.5~1.0	1.10
非常粗颗粒	1.0~2.0	1.15
粒砂	2.0~4.0	1.20
大粒砂	> 4	> 1.30

国内其他钻井模式

B1 钻井模式一¹⁾

B1.1 钻速方程

$$v_{pe} = k_f \times (W / d_b)^d \times n_r^z \times p_{bs}^f \times 10^{(-b_1 \times \Delta p)} \quad \dots\dots\dots(B1)$$

B1.2 牙齿磨损方程

$$T_t = \frac{c_t \times 189.2}{e^{(0.01n_r + 1.827W / d_b)}} \quad \dots\dots\dots(B2)$$

B1.3 轴承磨损方程

$$T_b = b_f \times [1751 \times d_b / (W \times n_r) - 5.71 \times W / d_b] \quad \dots\dots\dots(B3)$$

B2 钻井模式二²⁾

B2.1 钻速方程

$$v_{pe} = k_1 \times e^{(b_1 \times \Delta p)} \times [W - M_0 + (c_{el} \times p_{bs})] \times n_r^z / (1 + c_1 \times h) \quad \dots\dots\dots(B4)$$

$$b_1 = -5777.17 / (D^{1.64} + 5090.56) \quad \dots\dots\dots(B5)$$

B2.2 牙齿磨损方程

$$dh / dt = A_f \times (P \times n_r) + (Q_a \times n_r^3) / [1000(D_2 - D_1 \times W) \times (1 + C_1 h)] \quad \dots\dots(B6)$$

B2.3 轴承磨损方程

$$dB / dt = n_r \times W^{1.5} / b_f \quad \dots\dots\dots(B7)$$

B3 钻井模式三³⁾

B3.1 钻速方程

$$v_{pe} = e^{ak} \times e^{[a_p \times D \times (1.07 - \rho_{dc}) / 10]} \times (W - M_0 / 14 - M_0)^d \times (n_r / 70)^z \times (\rho_d \times Q_a / \eta_{sc} \times d_{en})^f \quad \dots\dots\dots(B8)$$

1) 中国石油天然气总公司勘探开发研究院、辽河石油勘探局、华北石油管理局的钻井模式。

2) 石油大学、中原石油勘探局、地质矿产部石油钻井所的钻井模式。

3) 西南石油学院的钻井模式。

B3.2 牙齿磨损方程

$$dh / dt = A_f \times n_r^2 / W_{\max} - W \times 1 / (1 + c_1 h) \dots\dots\dots(B9)$$

B3.3 轴承磨损方程

$$T_b = b_f \times b / (n_r \times W^d) \dots\dots\dots(B10)$$

B4 钻井成本方程

钻井成本方程同 4.3.2.1。

参 考 资 料

表 C1 参考资料表

序号	资料名称	资料来源	时间
1	最优化钻井	石油工业部勘探开发培训中心	1982 年 08 月
2	钻井手册(甲方)上册	石油工业出版社	1990 年 06 月
3	优选参数钻井技术研究	石油工业部“六五”国家科技成果	1985 年 06 月
	优选参数钻井研究成果报告	中国石油天然气总公司勘探开发科学研究院 华北石油管理局 辽河石油勘探局	
	建立钻速模式与优选钻井的研究参数	中原石油勘探局 华东石油学院	1985 年 09 月
	优选参数钻井研究	胜利石油管理局 西南石油学院	1985 年 10 月
4	辽河油田优选参数钻井试验研究报告	辽河石油勘探局	1985 年 08 月
5	优选参数钻进理论及方法研究报告	胜利石油管理局 西南石油学院	1985 年 10 月
6	DSB 9104 优选参数钻井技术规范	石油大学出版社	1992 年 01 月
7	Q SL 0064.1—87 中深井优选参数钻井技术推荐作法	胜利石油管理局	1987 年 07 月
8	Q SL 0113—88 中深井钻进参数优选设计推荐作法	胜利石油管理局	1988 年 07 月