

ICS 75.020

E 13

备案号: 3096—1999

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 5619—1999

定向井下部钻具组合设计方法

Method of bottom hole assembly design in directional wells

1999—05—17 发布

1999—12—01 实施

国家石油和化学工业局 发 布

目 次

前言	IV
1 范围	1
2 引用标准	1
3 钻铤尺寸及重量的确定	1
4 螺杆钻具定向造斜钻具组合的设计	5
5 转盘钻增斜钻具组合的设计	6
6 转盘钻稳斜钻具组合的设计	7
7 转盘钻降斜钻具组合的设计	8
8 稳定器的要求	9
附录 A (标准的附录) 纵横弯曲连续梁法	10

前 言

本标准是由 SY/T 5619—93《定向井下部钻具组合设计作法》修订而成的。

本标准的内容规定了常规定向井下部钻具组合的设计方法。

本标准的附录 A 是标准的附录。

本标准由中国石油天然气集团公司提出。

本标准由石油钻井工程专业标准化委员会归口。

本标准起草单位：四川石油管理局钻采工艺技术研究院。

本标准主要起草人 王建东 赵明道 雷 楠

定向井下部钻具组合设计方法

代替 SY/T 5619—93

Method of bottom hole assembly design in directional wells

1 范围

本标准规定了井斜角小于 60° 的定向井下部钻具组合的设计方法。

本标准适用于陆上石油、天然气及地质勘探钻定向井钻具组合设计，侧钻井及大斜度井的下部钻具组合设计也可参照使用。

2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中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 5051—91 钻具稳定器

SY/T 5172—1996 直井下部钻具组合设计方法

3 钻铤尺寸及重量的确定

3.1 钻铤尺寸的确定

3.1.1 在斜井段使用的最下一段（应大于 27m）钻铤的刚度应适用于设计的井眼曲率。

3.1.2 入井的下部钻具组合中，钻铤的外径应能满足打捞作业。

3.1.3 钻头直径与相应钻铤尺寸范围的要求见表 1。

表 1 钻头直径与相应的钻铤尺寸

mm (in)

钻头直径	钻铤直径	钻头直径	钻铤直径
120.7 ($4\frac{3}{4}$)	79.4 ($3\frac{1}{8}$)	241.3 ($9\frac{1}{2}$)	158.8 ($6\frac{1}{4}$) 177.8 (7)
152.4 (6)	104.8 ($4\frac{1}{8}$)	311.2 ($12\frac{1}{4}$)	203.2 (8) 228.6 (9)
215.9 ($8\frac{1}{2}$)	158.8 ($6\frac{1}{4}$)	444.5 ($17\frac{1}{2}$)	228.6 (9)

3.2 无磁钻铤安放位置及长度的确定

3.2.1 无磁钻铤安放位置

无磁钻铤的安放位置应根据钻具组合的特性（造斜、增斜、稳斜或降斜）、具体尺寸和连接螺纹类型，使之尽可能接近钻头。

3.2.2 无磁钻铤长度的确定

3.2.2.1 根据图 1 确定施工井所在区域。

3.2.2.2 施工井在 1 区时，无磁钻铤长度根据图 2 进行确定。

图 2 (a) 为光钻铤组合。

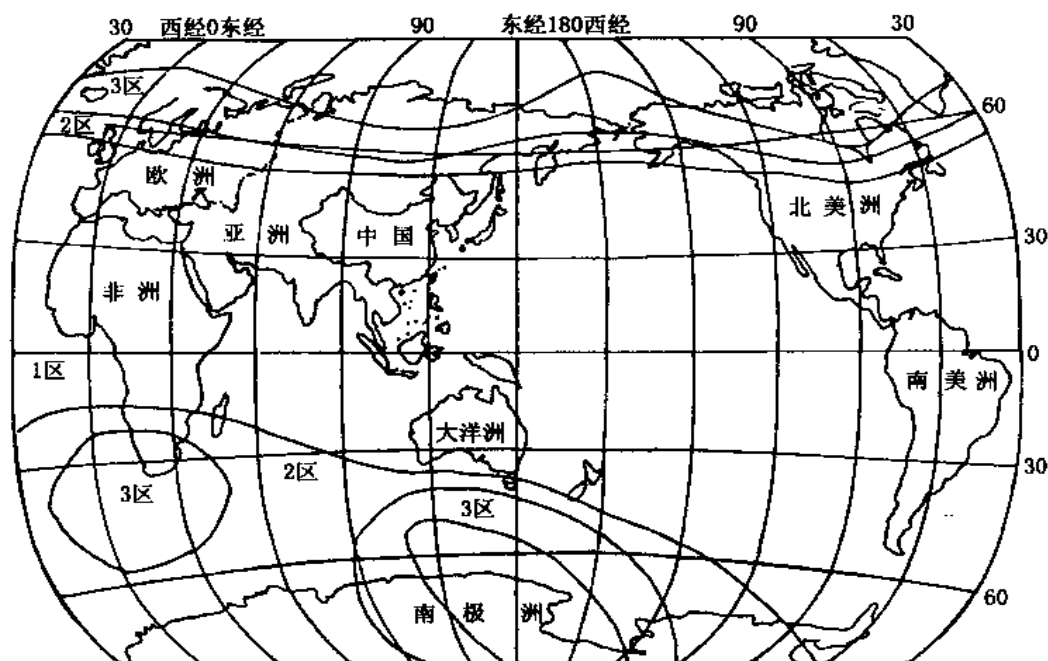


图1 地球水平磁场强度分区图示意图

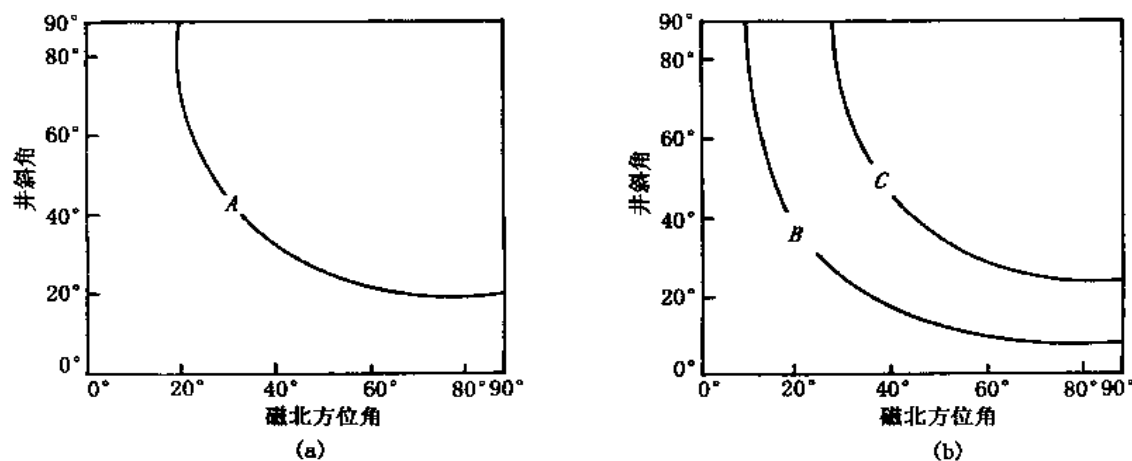


图2 1区无磁钻铤长度选择图

在曲线 A 以下:

无磁钻铤长度为 9.1m;

仪器位置距无磁钻铤底部 3.3m。

在曲线 A 以上:

无磁钻铤长度为 18.3m;

仪器位置距无磁钻铤底部 13.6m。

图 2 (b) 为满眼或螺杆钻具组合。

在曲线 B 以下:

无磁钻铤长度为 9.1m;

仪器位置距无磁钻铤底部 4.5m。

在曲线 B 和 C 之间:

无磁钻铤长度为 18.3m;

仪器位置距无磁钻铤底部 6.6m。

在曲线 C 以上：

无磁钻铤长度为 27.4m；

仪器位置距无磁钻铤底部 13.7m。

3.2.2.3 施工井在 2 区时，无磁钻铤长度根据图 3 进行确定。

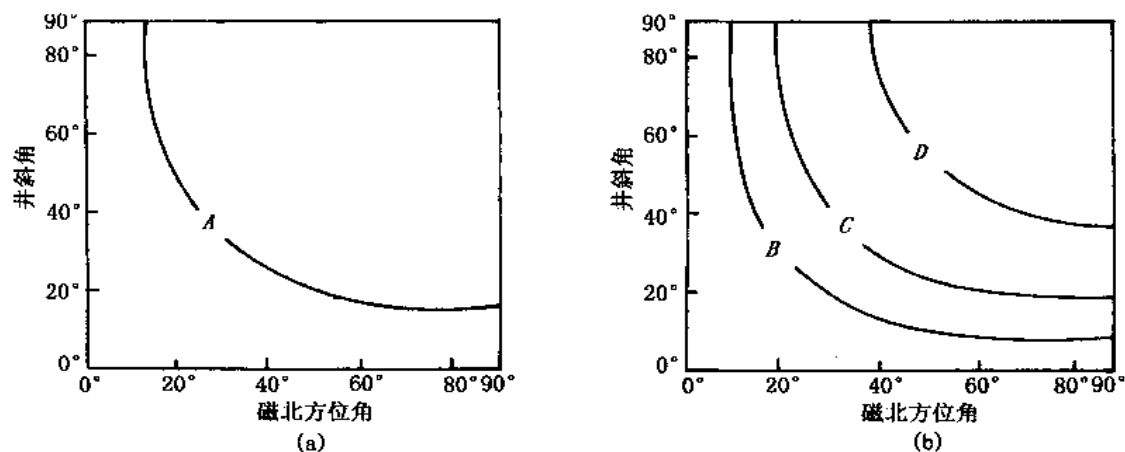


图 3 2 区无磁钻铤长度选择图

图 3 (a) 为光钻铤组合。

在曲线 A 以下：

无磁钻铤长度为 9.1m；

仪器位置距无磁钻铤底部 3.3m。

在曲线 A 以上：

无磁钻铤长度为 18.3m；

仪器位置距无磁钻铤底部 4.6m。

图 3 (b) 为满眼或螺杆钻具组合。

在曲线 B 以下：

无磁钻铤长度为 9.1m；

仪器位置距无磁钻铤底部 4.5m。

在曲线 B 和 C 之间：

无磁钻铤长度为 18.3m；

仪器位置距无磁钻铤底部 6.6m。

在曲线 C 和 D 之间：

无磁钻铤长度为 27.4m；

仪器位置距无磁钻铤底部 13.7m。

在曲线 D 以上：

无磁钻铤长度为 36.5m；

仪器位置距无磁钻铤底部 15.7m。

3.2.2.4 施工井在 3 区时，无磁钻铤长度根据图 4 进行确定。

图 4 (a) 为光钻铤组合。

在曲线 A 以下：

无磁钻铤长度为 9.1m；

仪器位置距无磁钻铤底部 3.3m。

在曲线 A 和 B 之间：

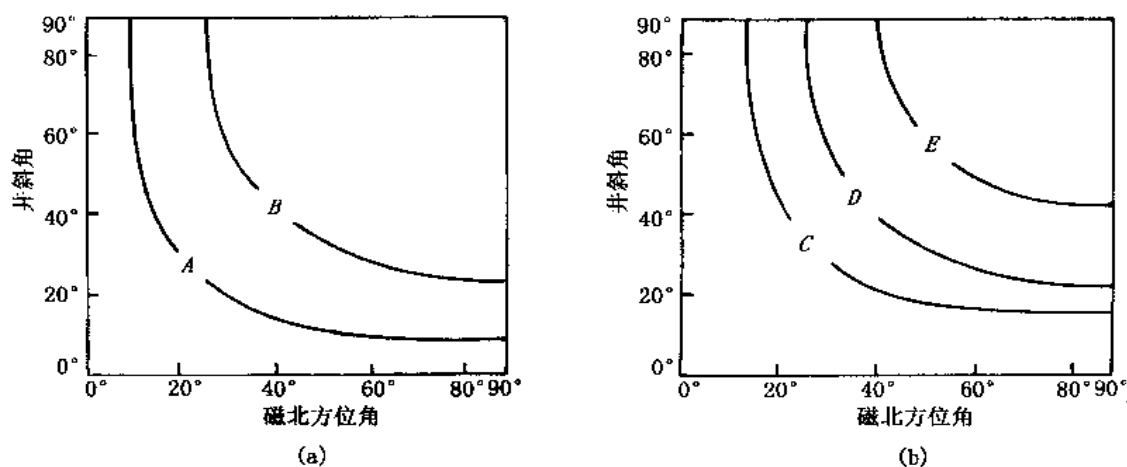


图4 3区无磁钻铤长度选择图

无磁钻铤长度为 18.3m;

仪器位置距无磁钻铤底部 4.5m。

在曲线 B 以上:

无磁钻铤长度为 27.4m;

仪器位置距无磁钻铤底部 13.7m。

图 4 (b) 为满眼或螺杆钻具组合。

在曲线 C 以下:

无磁钻铤长度为 18.3m;

仪器位置距无磁钻铤底部 6.6m。

在曲线 C 和 D 之间:

当无磁钻铤长度为 27.4m 时, 仪器位置距无磁钻铤底部 13.7m。

当无磁钻铤长度为 18.3m 时, 仪器位置距无磁钻铤底部 6.6m。

在曲线 D 和 E 之间:

当无磁钻铤长度为 36.5m 时, 仪器位置距无磁钻铤底部 15.7m。

当无磁钻铤长度为 27.4m 时, 仪器位置距无磁钻铤底部 13.7m。

在曲线 E 以上:

无磁钻铤长度为 91.5m;

仪器位置距无磁钻铤底部 45.7m。

3.3 钻铤重量的确定

3.3.1 常规定向井中钻铤重量的确定

根据设计的最大钻压, 确定所需钻铤的总重量, 再确定钻铤尺寸和长度。所需钻铤在空气中的总重量按式 (1) 计算:

$$G_1 = \frac{pk}{f \cos \alpha} \dots\dots\dots (1)$$

式中: G_1 ——所需钻铤在空气中的总重量, kN;

p ——设计的最大钻压, kN;

k ——安全系数, 可取 1.2~1.5;

f ——钻井液浮力校正系数;

α ——井斜角, (°)。

3.3.2 深定向井及难度较大定向井中钻铤重量的确定

为了减少钻柱的扭矩、摩擦阻力以及高密度钻井液造成粘附卡钻的可能性, 可采取加重钻杆、普通钻杆和铝合金钻杆代替钻铤加钻压, 但应进行稳定性分析计算。钻杆开始弯曲时的临界压缩载荷按式 (2) 计算:

$$F_{\max} = 2(9.8fEI\rho A \sin\alpha/\gamma)^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中: F_{\max} ——钻杆开始弯曲时的临界压缩载荷, kN;

E ——弹性模量可取 $2.059 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$, N/m^2 ;

f ——钻井液浮力校正系数;

I ——管材的轴惯性矩, m^4 ;

ρ ——管材密度, t/m^3 ;

A ——管材横截面积, mm^2 ;

α ——井斜角, (°);

γ ——钻杆与井眼间的间隙值, mm。

钻杆稳定性设计所需的条件按式 (3) 计算:

$$F_{\max} > p - W \cos\alpha \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中: p ——设计的最大钻压, kN;

W ——下部钻具组合钻杆以下钻铤的浮重, kN。

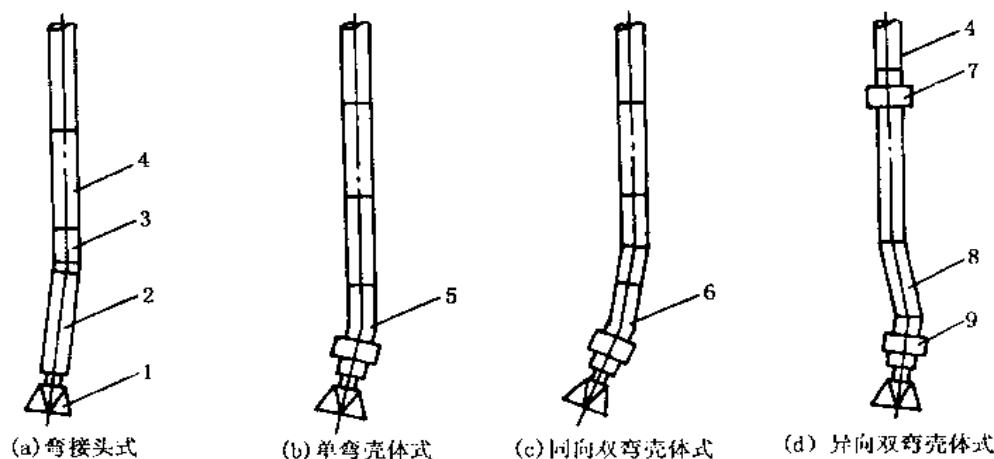
应用式 (2) 和式 (3) 确定钻铤、加重钻杆、普通钻杆和铝合金钻杆重量。

4 螺杆钻具定向造斜钻具组合的设计

4.1 螺杆钻具定向造斜钻具组合的基本形式见图 5。

4.2 钻头直径与相应的螺杆钻具尺寸范围按表 2 要求组合。

4.3 弯接头角度的确定。



1—钻头; 2—动力钻具; 3—弯接头; 4—钻铤; 5—单弯壳体动力钻具; 6—同向双弯动力钻具; 7—稳定器; 8—异向双弯动力钻具; 9—可调式稳定器

图 5 螺杆钻具组合基本形式

表2 螺杆钻具组合

mm

钻 头 直 径	螺 杆 钻 具 直 径
117.5~152.4	85.7
165.1~200.0	127.0
212.7~250.8	165.1
250.8~311.2	196.9
311.2~444.5	244.5
444.5~660.4	304.8

4.3.1 弯接头可按表3的数据,同时结合本地区的地质特性、钻井实践等因素选取。

4.3.2 弯接头规格的配备:通常应配备1.0°,1.5°,2.0°,2.5°,3.0°等规格。

表3 螺杆钻具组合预计造斜率(弯接头式)

弯接头 角 度 (°)	工具尺寸, mm											
	98.4		127.0		165.1		196.9				244.5	
	井径 mm	造斜率 (°)/100m	井径 mm	造斜率 (°)/100m	井径 mm	造斜率 (°)/100m	井径 mm	造斜率 (°)/100m	井径 mm	造斜率 (°)/100m	井径 mm	造斜率 (°)/100m
1.0	120.7	9.8	152.4	11.5	215.9	8.2	244.4	8.2	311.2	5.7	44.5	4.1
1.5		11.5		15.6		11.5		12.3		8.2		7.4
2.0		13.1		18.0		14.8		16.4		11.5		9.8
2.5		16.4								16.4		14.8

4.4 弯壳体螺杆钻具应结合本地区的地质特性、钻井实践选用。

4.5 钻头与螺杆钻具之间,尽可能不用配合接头。

4.6 使用图5(d)型螺杆钻具组合时,可通过调节下稳定器的位置来调节工具的造斜率。

5 转盘钻增斜钻具组合的设计

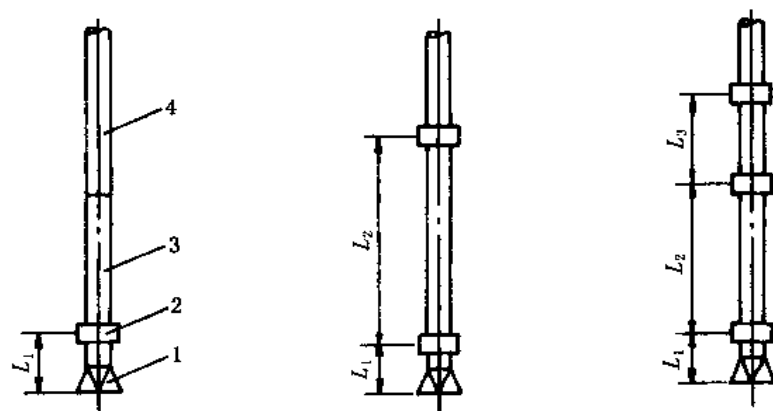
5.1 转盘钻增斜钻具组合可选用三种基本形式(见图6),基本尺寸要求见表4。

5.2 稳定器组合的受力分析及安放位置的计算,推荐使用纵横弯曲连续梁法,其计算公式见附录A(标准的附录)。

表4 转盘钻增斜钻具组合稳定器安放高度

m

增斜钻具组 合基本形式	稳 定 器 安 放 高 度		
	L_1	L_2	L_3
图6(a)	1.0~1.8	—	—
图6(b)	1.0~1.8	18.0~27.0	—
图6(c)	1.0~1.8	9.0~18.0	9.0~10.0



1—钻头；2—稳定器；3—无磁钻铤；4—普通钻铤

图6 转盘钻增斜钻具组合基本形式

5.3 调整钻头侧向力的方法：

- 调整钻头与近钻头稳定器的距离（距离越短，造斜力越大，但不小于1.0m）；
- 调整稳定器之间的距离；
- 调整钻铤尺寸；
- 调整稳定器与井壁的间隙；
- 调整钻压。

5.4 使用多稳定器增斜时，当井斜角增大到使第二稳定器失效前， L_2 应相应的减小。

5.5 用单稳定器钻具组合钻进，当井斜角小时（小于 30° ），钻具组合的方位稳定性较差，使用中应慎重。

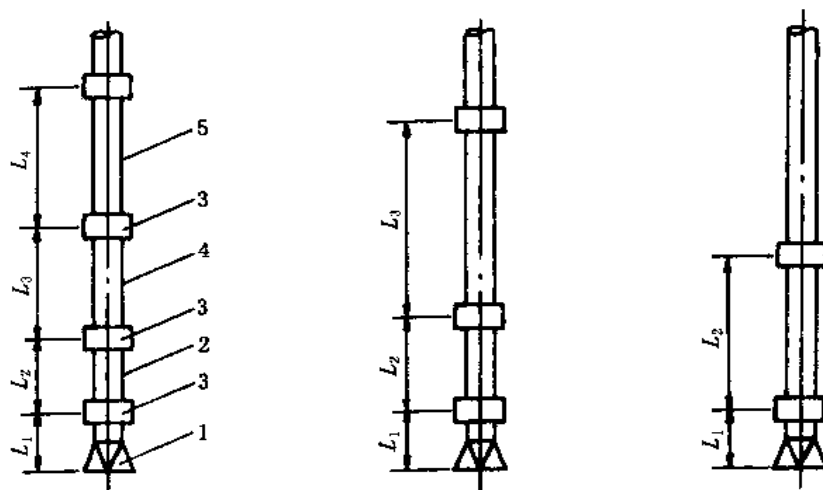
5.6 下部钻具组合刚度增大时，应逐个增加稳定器进行通井、划眼。

5.7 短钻铤的配备：应配备 1.0, 2.0, 3.0, 4.5, 6.0m 等规格的短钻铤。

6 转盘钻稳斜钻具组合的设计

6.1 转盘钻稳斜钻具组合有三种基本形式（见图 7），基本尺寸要求见表 5。

6.2 图 7(c) 型钻具组合推荐在井斜角 30° 以上使用。



1—钻头；2—短钻铤；3—稳定器；4—无磁钻铤；5—普通钻铤

图7 转盘钻稳斜钻具组合基本形式

表5 转盘钻稳斜钻具组合稳定器安放高度

m

稳斜钻具组合基本形式	稳 定 器 安 放 高 度			
	L_1	L_2	L_3	L_4
图 7 (a)	1.0~1.8	3.0~6.0	9.0~18.0	9.0~27.0
图 7 (b)	1.0~1.8	4.5~9.0	9.0~10.0	—
图 7 (c)	1.0~1.8	9.0~10.0	—	—

6.3 在硬地层或研磨地层中稳斜钻进时,如扭矩大或钻头及稳定器的直径磨损严重,可把螺旋稳定器换成滚轮稳定器。

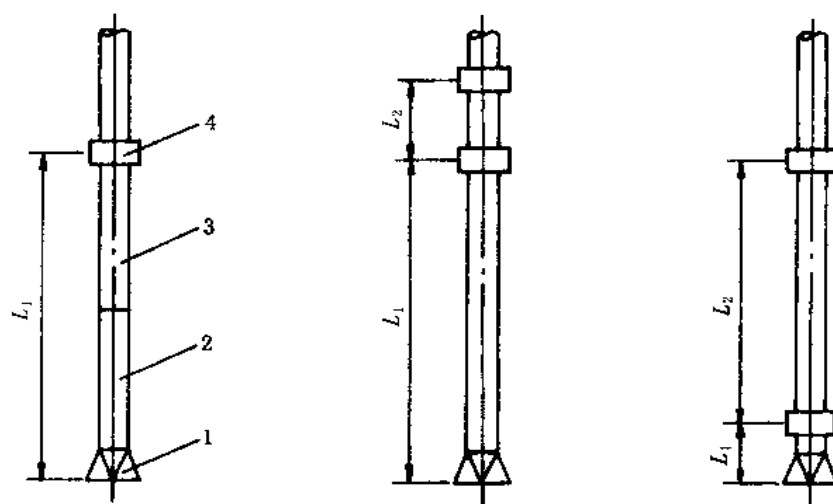
6.4 长井段及大井斜角中稳斜钻进时,应采用微增斜钻具组合钻进,以平衡钟摆降斜力,达到长井段稳斜目的。

6.5 为加强稳斜效果,可将近钻头稳定器串联使用。

6.6 可采用转盘钻(转速为50r/min左右)加弯壳体螺杆钻具稳斜。

7 转盘钻降斜钻具组合的设计

7.1 转盘钻降斜钻具组合有三种基本形式(见图8),基本尺寸要求见表6。



1—钻头; 2—无磁钻铤; 3—普通钻铤; 4—稳定器

图8 转盘钻降斜钻具组合基本形式

表6 转盘钻降斜钻具组合稳定器安放高度

m

降斜钻具组合基本形式	稳 定 器 安 放 高 度	
	L_1	L_2
图 8 (a)	9.0~27.0	—
图 8 (b)	9.0~27.0	9.0~10.0
图 8 (c)	0.8~1.0	18.0~27.0

7.2 调整侧向力的方法:

a) 增加近钻头稳定器到钻头的距离;

b) 减小稳定器的直径;

c) 控制钻压。

稳定器安放位置的计算按 SY/T 5172—1996 中的第 3 章执行。

7.3 如钟摆钻具组合降斜无效,可用井底动力钻具组合降斜。

7.4 选用图 8(c) 型钻具组合时,下稳定器尺寸比上稳定器小。

8 稳定器的要求

8.1 稳定器的外型结构见 SY/T 5051。

8.2 在软地层中,一般应选用支撑面宽、扶正条较长的螺旋稳定器;在硬地层中,一般应选用支撑面窄、扶正条较短的螺旋稳定器。

8.3 在阻卡严重的地区,可采用可变径稳定器。

附 录 A
(标准的附录)
纵横弯曲连续梁法

A1 纵横弯曲连续梁法

A1.1 纵横弯曲连续梁法计算所使用的符号和单位 (见表 A1)

表 A1 纵横弯曲连续梁法计算所使用的符号和单位

符 号	名 称	单 位
S_i	第 i 段钻柱的轴向力	N
M_i	第 i 个稳定器处的钻柱内弯矩	N·m
R_i	第 i 个稳定器处的井壁反力	N
R_0	钻头处的井壁反力	N
q_i	第 i 段钻柱的横向载荷	N/m
I_i	第 i 段钻柱的惯性矩	m ⁴
E	钻柱的弹性模量	N/m ²
P_i	第 i 段钻柱在空气中单位长度的重量	N/m
ρ_c	钢材密度	g/cm ³
ρ_m	钻井液密度	g/cm ³
α	井斜角	(°)
$\Delta\gamma_i$	第 i 个稳定器与井壁间的半径差值	m
L_i	第 i 段钻柱的长度	m
Y_i	第 i 段钻柱的最大挠度	m
θ_0	钻头转角	rad

A1.2 计算公式

A1.2.1 设共有 n 个稳定器, 那么第 i ($i = 1, 2, \dots, n$) 个稳定器处的三弯矩方程为:

$$\begin{aligned} & \frac{\alpha_i L_i}{I_i} M_{i-1} + 2(\beta_i \frac{L_i}{I_i} + \beta_i \frac{L_{i+1}}{I_{i+1}}) M_i + \alpha_{i+1} \frac{L_{i+1}}{I_{i+1}} M_{i+1} \\ & = -\gamma_i \frac{q_i L_i^3}{4I_i} - \gamma_{i+1} \frac{q_{i+1} L_{i+1}^3}{4I_{i+1}} + 6EQ_i \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (A1)$$

其中
$$Q_i = \frac{\Delta\gamma_{i+1} - \Delta\gamma_{i-1}}{L_i} - \frac{\Delta\gamma_{i+1} - \Delta\gamma_i}{L_{i+1}}$$

$$\alpha_i = \frac{3}{u_i \sin(2u_i)} - \frac{3}{2u_i^2}$$

$$\beta_i = \frac{3}{(2u_i)^2} - \frac{3}{2u_i \operatorname{tg}(2u_i)}$$

$$\gamma_i = \frac{3(\operatorname{tg} u_i - u_i)}{u_i^3}$$

$$u_i = \left(\frac{S_i L_i^2}{4EI_i} \right)^{\frac{1}{2}}$$

A1.2.2 切点处的辅助方程为:

$$\frac{M_n L_{n+1}}{6EI_{n+1}} \alpha_{n+1} + \frac{q_{n+1} L_{n+1}^3}{24EI_{n+1}} \gamma_{n+1} = \frac{\Delta \gamma_{n+1} - \Delta \gamma_n}{L_{n+1}} \quad \dots\dots\dots (A2)$$

A1.2.3 第 i 个稳定器处的井壁反力 R_i 为:

$$R_i = R'_i + R''_i \quad \dots\dots\dots (A3)$$

其中

$$R'_i = \left[\frac{q_i L_i^2}{2} + M_{i+1} - M_i + S_i (\Delta \gamma_i - \Delta \gamma_{i+1}) \right] \frac{1}{L_i}$$

$$R''_i = \left[\frac{q_{i+1} L_{i+1}^2}{2} + M_{i+1} - M_i - S_{i+1} (\Delta \gamma_{i+1} - \Delta \gamma_i) \right] \frac{1}{L_{i+1}}$$

A1.2.4 钻头处的侧向力 p_c 为:

$$p_c = -R_0 = - \left(\frac{q_i L_{i+1}^2}{2} + M_i - S_i \Delta \gamma_i \right) \frac{1}{L_i} \quad \dots\dots\dots (A4)$$

A1.2.5 第 i 段钻柱的中点挠度 Y_i 为:

$$Y_i = Y'_i + Y''_i + Y'''_i + Y''''_i \quad \dots\dots\dots (A5)$$

其中

$$Y'_i = \frac{M_{i+1} L_i^2}{16EI_i} \cdot 2 \left(\frac{1}{u_i^2 \cos u_i} - \frac{1}{u_i^2} \right)$$

$$Y''_i = \frac{M_i L_i^2}{16EI_i} \cdot 2 \left(\frac{1}{u_i^2 \cos u_i} - \frac{1}{u_i^2} \right)$$

$$Y'''_i = \frac{5q_i L_i^4}{384EI_i} \left(\frac{\frac{1}{\cos u_i} - 1 - \frac{u_i^2}{2}}{5u_i^4/24} \right)$$

$$Y''''_i = \Delta \gamma_{i+1} - \frac{\Delta \gamma_i - \Delta \gamma_{i-1}}{2}$$

A1.2.6 钻头转角 θ_0 为:

$$\theta_0 = \frac{M_i L_i}{6EI_i} \alpha_i + \frac{q_i L_i^3}{24EI_i} \gamma_i + \frac{\Delta \gamma_i}{L_i} \dots\dots\dots (A6)$$

A1.2.7 各段钻柱的横向载荷表达通式为:

$$q_i = P_i \left(1 - \frac{\rho}{\rho_c}\right) \sin \alpha \dots\dots\dots (A7)$$

A1.2.8 各段钻柱的轴向载荷为:

$$S_i = S_{i-1} - \left(P_{i-1} \frac{L_{i-1}}{2} + P_i \frac{L_i}{2}\right) \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho_c}\right) \cos \alpha \dots\dots\dots (A8)$$

A2 使用说明

A2.1 采用纵横弯曲连续梁法编制的计算机程序,可以较为精确地作出直井中的光钻铤组合、满眼钻具组合、钟摆钻具组合,以及定向井中的转盘钻增斜钻具组合、稳斜钻具组合、降斜钻具组合的设计计算和分析计算。

A2.2 采用计算机程序计算的有关参数,只有在一定的井斜角及钻压范围内使用才有效,即保证稳定器之间的钻铤发生弯曲变形后不与井壁接触。在其他参数不变的情况下,根据组合的实际(增斜及稳斜)能力,校核这套钻具组合在不与井壁接触时的允许最大井斜角。

A2.3 钻头侧向力等参数的计算,取决于井眼尺寸、稳定器的安放高度、稳定器的个数、稳定器之间的钻铤尺寸、稳定器的直径、井斜角、钻井参数及钻井液密度等因素。

A2.4 在采用连续梁法分析下部钻具组合时作了以下假设:

- a) 从钻头至顶部稳定器之上的 10~20m 的井段为斜直井段,即井斜角一致,无方位角变化;
- b) 刚性井壁;
- c) 不考虑井壁与稳定器之间的摩擦;
- d) 不考虑钻柱旋转的影响。