

ICS 75.020

E 13

备案号: 27465—2010

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 5619—2009

代替 SY/T 5619—1999

定向井下部钻具组合设计方法

Methods of bottom hole assembly for planning in directional wells

2009—12—01 发布

2010—05—01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 钻铤直径及长度的确定	1
4 导向钻具组合设计	2
5 弯接头螺杆钻具组合设计	3
6 旋转钻钻具组合设计	3
7 钻具内防喷工具的安装位置	5
8 随钻震击器的使用	5
附录 A（资料性附录） 纵横弯曲连续梁法	6

前 言

本标准修订并代替 SY/T 5619—1999《定向井下部钻具组合设计方法》。

本标准与 SY/T 5619—1999 相比，主要变化如下：

- 增加了安装钻具内防喷工具的条款；
- 增加了随钻震击器使用的条款；
- 将标准的适用范围扩大到了水平井；
- 将无磁钻铤长度及测量仪器安装位置的确定由原来的文字叙述改为图表形式；
- 删除了弯接头式螺杆钻具组合预计造斜率数据表；
- 删除了同向双弯及异向双弯导向钻具组合形式。

本标准的附录 A 为资料性附录。

本标准由石油钻井工程专业标准化委员会提出并归口。

本标准起草单位：中国石油集团川庆钻探工程有限公司钻采工艺技术研究院。

本标准主要起草人：譙抗逆、陈炜卿、姚振华、邹强、雷楠。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- SY/T 5619—1993，SY/T 5619—1999。

定向井下部钻具组合设计方法

1 范围

本标准规定了定向井、水平井下部钻具组合的设计方法。
本标准适用于石油天然气钻井的钻具组合设计。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

SY/T 5051 钻具稳定器

3 钻铤直径及长度的确定

3.1 最大钻铤或无磁钻铤的直径

- 3.1.1 在斜井段优先选用螺旋钻铤，并满足钻头加压和打捞要求。
3.1.2 钻头直径与相应最大钻铤或无磁钻铤直径根据表 1 选择。

表 1 钻头直径与相应的最大钻铤直径 单位为毫米（英寸）

钻头直径	钻铤直径	钻头直径	钻铤直径
120.6 (4 ³ / ₄)	79.3 (3 ¹ / ₈)	273.1 (10 ³ / ₄)	203.2 (8)
149.2~152.4 (5 ⁷ / ₈ ~6)	120.6 (4 ³ / ₄)	311.1 (12 ¹ / ₄)	203.2 (8)
212.7~215.9 (8 ³ / ₈ ~8 ¹ / ₂)	165.1 (6 ¹ / ₂)	406.4 (16)	228.6 (9)
241.3 (9 ¹ / ₂)	177.8 (7)	444.5 (17 ¹ / ₂)	228.6 (9)
244.5 (9 ⁵ / ₈)	203.2 (8)		

- 3.1.3 在大井斜或水平井条件下可用无磁承压钻杆代替无磁钻铤。

3.2 无磁钻铤的安放位置

无磁钻铤的安放位置应接近钻头或接近井底动力钻具。

3.3 无磁钻铤长度及测量仪器方位传感器在无磁钻铤中的安放位置

- 3.3.1 根据地球水平磁场强度分区图确定井位所在的磁场区域，如图 1 所示。
3.3.2 根据图 1 确定的磁场区域，在图 2 中选择相应的曲线图。
3.3.3 在确定的曲线图中根据井斜角和井斜方位角的正交点所在的点位，确定无磁钻铤长度及测量仪器的方位传感器在无磁钻铤中的安放位置。如正交点位置位于曲线附近，则以增加一根无磁钻铤为宜。

3.4 钻铤的长度和加重钻杆的长度

钻铤的长度和加重钻杆的长度应满足钻头加压的要求。

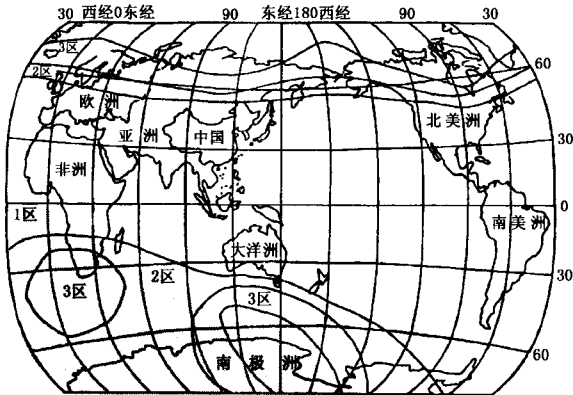


图 1 地球水平磁场强度分区示意

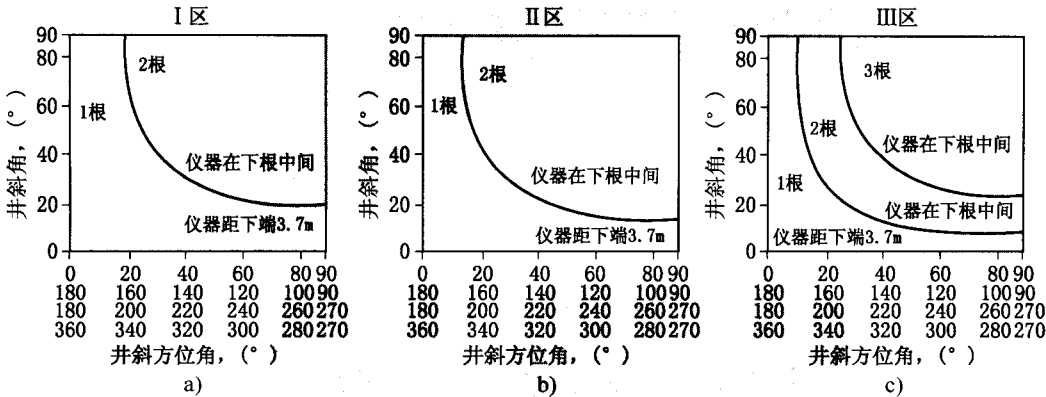
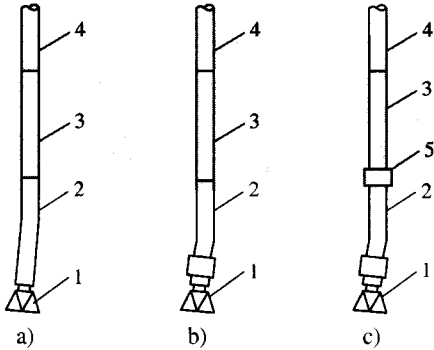


图 2 无磁钻铤长度及测量仪器位置选择

4 导向钻具组合设计

4.1 导向钻具组合有三种形式，如图 3 所示。



1—钻头；2—单弯壳体螺杆钻具；3—无磁钻铤；4—钻铤；5—欠尺寸稳定器

图 3 导向钻具组合形式

4.2 钻头直径与相应的最大螺杆钻具直径根据表 2 选择。

表 2 螺杆钻具组合钻头直径与相应最大螺杆钻具直径 单位为毫米 (英寸)

钻头直径	螺杆钻具直径	钻头直径	螺杆钻具直径
120.6 (4 ³ / ₄)	95 (3 ³ / ₄)	273.1 (10 ³ / ₄)	203.2 (8)
149.2~152.4 (5 ⁷ / ₈ ~6)	120.7 (4 ³ / ₄)	311.1 (12 ¹ / ₄)	215.9 (8 ¹ / ₂)
212.7~215.9 (8 ³ / ₈ ~8 ¹ / ₂)	172 (6 ³ / ₄)	406.4 (16)	244.5 (9 ⁵ / ₈)
241.3 (9 ¹ / ₂)	196.9 (7 ³ / ₄)	444.5 (17 ¹ / ₂)	244.5 (9 ⁵ / ₈)
244.5 (9 ⁵ / ₈)	203.2 (8)		

- 4.3 在大斜度井段或水平段钻进时钻具组合应满足以下要求：
- 无磁钻铤上部接斜坡钻杆或加重钻杆，不宜使用钻铤；
 - 下部钻杆承受的钻压应小于钻杆产生屈曲的临界钻压，临界钻压值按式 (1) 计算。

$$F_c = 0.1071 \times [(E \cdot I \cdot q \cdot \sin\alpha)/r]^{0.5} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

F_c ——屈曲临界钻压，单位为牛 [顿] (N)；

E ——杨氏模量，对于钢材取值 206.85GPa，对于铝材取值 71.02GPa；

I ——管柱的惯性矩，单位为四次方米 (m⁴)；

q ——管柱的线重，单位为牛 [顿] 每米 (N/m)；

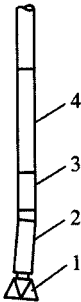
r ——管柱外径与井眼内径的径向间隙，单位为米 (m)；

α ——井斜角，单位为度 (°)。

4.4 弯壳体螺杆钻具弯角应结合本地区的地质特性、钻井实践的造斜率选用。

5 弯接头螺杆钻具组合设计

5.1 弯接头螺杆钻具组合的形式如图 4 所示。



1—钻头；2—螺杆钻具；3—弯接头；4—钻铤

图 4 弯接头螺杆钻具组合形式

- 5.2 弯接头角度根据造斜率的需要选择，最大不宜超过 3°。
- 5.3 弯接头外径应与相应无磁钻铤外径一致，螺杆钻具最大外径的确定参照表 2。

6 旋转钻钻具组合设计

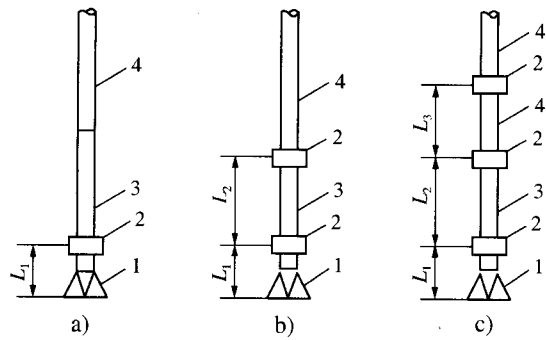
- 6.1 稳定器的要求
- 6.1.1 稳定器的外形结构符合 SY/T 5051 的规定。
- 6.1.2 在软地层中，应选用支撑面宽、扶正条较长的螺旋稳定器；在硬地层中，应选用支撑面窄、

扶正条较短的螺旋稳定器。

6.1.3 在阻卡严重的井段，可采用可变径稳定器。

6.2 增斜钻具组合的设计

6.2.1 旋转钻增斜钻具组合有三种形式，如图 5 所示。



1—钻头；2—稳定器；3—无磁钻铤；4—普通钻铤

图 5 旋转钻增斜钻具组合基本形式

6.2.2 稳定器组合安放位置见表 3，其计算方法宜采用纵横弯曲连续梁法，计算公式参见附录 A。

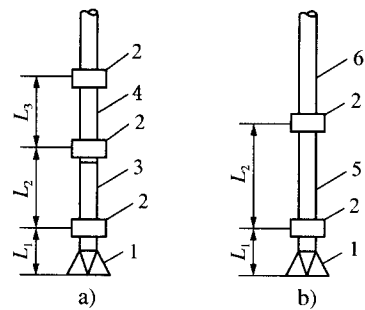
表 3 旋转钻增斜钻具组合稳定器安放位置

单位为米

增斜钻具组合基本形式	稳定器安放位置		
	L_1	L_2	L_3
图 5 a)	≤ 1.8	—	—
图 5 b)	≤ 1.8	18.0~27.0	—
图 5 c)	≤ 1.8	9.0~18.0	9.0~10.0

6.3 稳斜钻具组合的设计

6.3.1 旋转钻稳斜钻具组合有两种形式，如图 6 所示。



1—钻头；2—稳定器；3—短钻铤；4—无磁钻铤；

5—短钻铤或无磁钻铤；6—无磁钻铤或钻铤

图 6 旋转钻稳斜钻具组合形式

6.3.2 稳定器组合安放位置见表 4，其计算方法宜采用纵横弯曲连续梁法，计算公式参见附录 A。

表 4 旋转钻稳斜钻具组合稳定器的安放位置

单位为米

稳斜钻具组合形式	稳定器安放位置		
	L_1	L_2	L_3
图 6 a)	1.0~1.8	3.0~6.0	9.0~18.0
图 6 b)	1.0~1.8	4.5~9.0	9.0~10.0

6.4 降斜钻具组合的设计

6.4.1 旋转钻降斜钻具组合有两种形式，如图 7 所示。

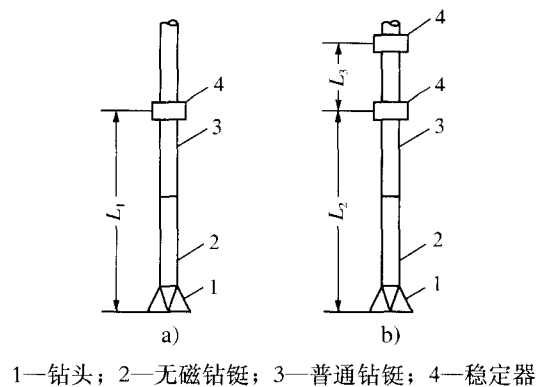


图 7 旋转钻降斜钻具组合形式

6.4.2 稳定器组合安放位置见表 5，其计算方法宜采用纵横弯曲连续梁法，计算公式参见附录 A。

表 5 旋转钻降斜钻具组合稳定器安放位置

单位为米

降斜钻具组合形式	稳定器安放位置	
	L_1	L_2
图 7 a)	9.0~27.0	—
图 7 b)	9.0~27.0	9.0~10.0

6.5 调整钻头侧向力

调整钻头侧向力，可选用下列方法：

- 用短钻铤调整图 5、图 6、图 7 中 L_1 和 L_2 的长度；
- 调整稳定器外径；
- 调整钻压。

6.6 下部钻具组合中增加稳定器数量及外径

下部钻具组合中增加稳定器数量及外径，通过通井、划眼的方式逐渐增加。

7 钻具内防喷工具的安装位置

7.1 带井底动力钻具钻具组合中钻具内防喷工具应直接安装在井底动力钻具之上。

7.2 不带井底动力钻具钻具组合中钻具内防喷工具应安装在无磁钻铤以下。

8 随钻震击器的使用

8.1 在定向井、水平井钻具组合中宜加装随钻震击器。

8.2 随钻震击器的安装位置和操作参照产品使用说明书。

附 录 A
(资料性附录)
纵横弯曲连续梁法

A.1 纵横弯曲连续梁法计算公式

A.1.1 三弯矩方程

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见式 (A.1) ~ 式 (A.6):

$$\frac{\alpha_i \cdot L_i}{I_i} M_{i-1} + 2 \times \left(\beta_i \frac{L_i}{I_i} + \beta_i \frac{L_{i+1}}{I_{i+1}} \right) M_i + \alpha_{i+1} \frac{L_{i+1}}{I_{i+1}} M_{i+1} = -\gamma_i \frac{q_i \cdot L_i^3}{4I_i} - \gamma_{i+1} \frac{q_i \cdot L_{i+1}^3}{4I_{i+1}} + 6E \cdot Q_i \quad (\text{A.1})$$

其中

$$Q_i = \frac{\Delta r_{i+1} - \Delta r_{i-1}}{L_i} - \frac{\Delta r_{i+1} - \Delta r_i}{L_{i+1}} \quad (\text{A.2})$$

$$\alpha_i = \frac{3}{u_i \cdot \sin(2u_i)} - \frac{3}{2u_i^2} \quad (\text{A.3})$$

$$\beta_i = \frac{3}{(2u_i)^2} - \frac{3}{2u_i \cdot \tan(2u_i)} \quad (\text{A.4})$$

$$\gamma_i = \frac{3(\tan u_i - u_i)}{u_i^3} \quad (\text{A.5})$$

$$u_i = \sqrt{\frac{S_i \cdot L_i^2}{4E \cdot I_i}} \quad (\text{A.6})$$

式中:

S_i ——第 i 段钻柱的轴向力, 单位为牛 [顿] (N);

L_i ——第 i 段钻柱的长度, 单位为米 (m);

E ——钻柱的弹性模量, 单位为牛 [顿] 每平方米 (N/m^2);

I_i ——第 i 段钻柱的惯性矩, 单位为四次方米 (m^4);

u_i ——纵横弯曲梁柱的稳定系数;

γ_i ——轴向载荷对梁端部转角的放大因子;

β_i ——轴向载荷对梁端部转角的放大因子;

α_i ——轴向载荷对梁端部转角的放大因子;

Δr_i ——第 i 个稳定器与井壁间的半径差值, 单位为米 (m);

Q_i ——中间计算参数。

A.1.2 切点处的辅助方程

切点处的辅助方程见式 (A.7):

$$\frac{M_n \cdot L_{n+1}}{6E \cdot I_{n+1}} \alpha_{n+1} + \frac{q_{n+1} \cdot L_{n+1}^3}{24E \cdot I_{n+1}} \gamma_{n+1} = \frac{\Delta r_{n+1} - \Delta r_n}{L_{n+1}} \quad \dots\dots\dots (A. 7)$$

式中:

M_n ——第 n 个稳定器处的钻柱内弯矩, 单位为牛 [顿] 米 ($N \cdot m$);

L_{n+1} ——第 $n+1$ 段钻柱的长度, 单位为米 (m);

q_{n+1} ——第 $n+1$ 段钻柱的横向载荷, 单位为牛 [顿] 每米 (N/m);

E ——钻柱的弹性模量, 单位为牛 [顿] 每平方米 (N/m^2);

I_{n+1} ——第 $n+1$ 段钻柱的惯性矩, 单位为四次方米 (m^4);

α_{n+1} ——第 $n+1$ 段钻柱轴向载荷对梁端部转角的放大因子;

γ_{n+1} ——第 $n+1$ 段钻柱轴向载荷对梁端部转角的放大因子;

Δr_n ——第 n 个稳定器与井壁间的半径差值, 单位为米 (m);

Δr_{n+1} ——切点处钻柱与井壁间的半径差值, 单位为米 (m)。

A. 1.3 第 i 个稳定器处的井壁反力方程

第 i 个稳定器处的井壁反力 R_i 的计算见式 (A. 8) ~ 式 (A. 10):

$$R_i = R'_i + R''_i \quad \dots\dots\dots (A. 8)$$

其中

$$R'_i = [0.5q_i \cdot L_i^2 + M_{i+1} - M_i + S_i(\Delta r_i - \Delta r_{i+1})]/L_i \quad \dots\dots\dots (A. 9)$$

$$R''_i = [0.5q_{i+1}L_{i+1}^2 + M_{i+1} - M_i + S_{i+1}(\Delta r_{i+1} - \Delta r_i)]/L_{i+1} \quad \dots\dots\dots (A. 10)$$

式中:

R_i ——第 i 个稳定器处的井壁反力, 单位为牛 [顿] (N);

q_i ——第 i 段钻柱的横向载荷, 单位为牛 [顿] 每米 (N/m);

L_i ——第 i 段钻柱的长度, 单位为米 (m);

M_i ——第 i 个稳定器处的钻柱内弯矩, 单位为牛 [顿] 米 ($N \cdot m$);

S_i ——第 i 段钻柱的轴向力, 单位为牛 [顿] (N);

Δr_i ——第 i 个稳定器与井壁间的半径差值, 单位为米 (m)。

A. 1.4 钻头处的侧向力方程

钻头处的侧向力 P_c 的计算见式 (A. 11):

$$P_c = -R_0 = -\left(\frac{q_i \cdot L_{i+1}^2}{2} + M_i - S_i \cdot \Delta r_i\right) \frac{1}{L_i} \quad \dots\dots\dots (A. 11)$$

式中:

P_c ——钻头处的侧向力, 单位为牛 [顿] (N);

R_0 ——钻头处的井壁反力, 单位为牛 [顿] (N);

q_i ——第 i 段钻柱的横向载荷, 单位为牛 [顿] 每米 (N/m);

L_i ——第 i 段钻柱的长度, 单位为米 (m);

M_i ——第 i 个稳定器处的钻柱内弯矩, 单位为牛 [顿] 米 ($N \cdot m$);

S_i ——第 i 段钻柱的轴向力, 单位为牛 [顿] (N);

Δr_i ——第 i 个稳定器与井壁间的半径差值, 单位为米 (m)。

A. 1.5 第 i 段钻柱的中点挠度方程

第 i 段钻柱的中点挠度 Y_i 的计算见式 (A. 12) ~ 式 (A. 16):

$$Y_i = Y'_i + Y''_i + Y'''_i + Y''''_i \quad \dots\dots\dots (A. 12)$$

其中

$$Y'_i = \frac{M_{i+1} \cdot L_i^2}{16E \cdot I_i} \times 2 \times \left(\frac{1}{u_i^2 \cdot \cos u_i} - \frac{1}{u_i^2} \right) \quad \dots\dots\dots (A. 13)$$

$$Y''_i = \frac{M_i \cdot L_i^2}{16E \cdot I_i} \times 2 \times \left(\frac{1}{u_i^2 \cdot \cos u_i} - \frac{1}{u_i^2} \right) \quad \dots\dots\dots (A. 14)$$

$$Y'''_i = \frac{5q_i \cdot L_i^4}{384E \cdot I_i} \left(\frac{1/\cos u_i - 1 - u_i^2/2}{5u_i^4/24} \right) \quad \dots\dots\dots (A. 15)$$

$$Y''''_i = \Delta r_{i+1} + \frac{\Delta r_i - \Delta r_{i-1}}{2} \quad \dots\dots\dots (A. 16)$$

式中:

- Y_i ——第 i 段钻柱的中点挠度, 单位为米 (m);
 Y'_i ——第 i 段钻柱上端点内弯矩在中点处产生的挠度, 单位为米 (m);
 Y''_i ——第 i 段钻柱下端点内弯矩在中点处产生的挠度, 单位为米 (m);
 Y'''_i ——第 i 段钻柱上的均布载荷在中点处产生的挠度, 单位为米 (m);
 Y''''_i ——第 i 段钻柱上、下端点处稳定器外径不同在中点处产生的挠度, 单位为米 (m);
 q_i ——第 i 段钻柱的横向载荷, 单位为牛 [顿] 每米 (N/m);
 L_i ——第 i 段钻柱的长度, 单位为米 (m);
 M_i ——第 i 个稳定器处的钻柱内弯矩, 单位为牛 [顿] 米 (N·m);
 Δr_i ——第 i 个稳定器与井壁间的半径差值, 单位为米 (m);
 E ——钻柱的弹性模量, 单位为牛 [顿] 每平方米 (N/m²);
 I_i ——第 i 段钻柱的惯性矩, 单位为四次方米 (m⁴);
 u_i ——纵横弯曲梁柱的稳定系数。

A. 1.6 钻头转角方程

钻头转角 θ_0 的计算见式 (A. 17):

$$\theta_0 = \frac{M_i \cdot L_i}{6E \cdot I_i} \alpha_i + \frac{q_i \cdot L_i^3}{24E \cdot I_i} \gamma_i + \frac{\Delta r_i}{L_i} \quad \dots\dots\dots (A. 17)$$

式中:

- θ_0 ——钻头转角, 单位为弧度 (rad);
 M_i ——第 i 个稳定器处的钻柱内弯矩, 单位为牛 [顿] 米 (N·m);
 L_i ——第 i 段钻柱的长度, 单位为米 (m);
 E ——钻柱的弹性模量, 单位为牛 [顿] 每平方米 (N/m²);
 I_i ——第 i 段钻柱的惯性矩, 单位为四次方米 (m⁴);
 Δr_i ——第 i 个稳定器与井壁间的半径差值, 单位为米 (m);
 q_i ——第 i 段钻柱的横向载荷, 单位为牛 [顿] 每米 (N/m);
 α_i ——轴向载荷对梁端部转角的放大因子;
 γ_i ——轴向载荷对梁端部转角的放大因子。

A. 1.7 各段钻柱的横向载荷表达通式

各段钻柱的横向载荷表达通式见式 (A. 18):

$$q_i = P_i(1 - \rho_m/\rho_c)\sin\alpha \quad \dots\dots\dots (A. 18)$$

式中:

- q_i ——第 i 段钻柱的横向载荷, 单位为牛 [顿] 每米 (N/m);
 P_i ——第 i 段钻柱在空气中单位长度的重量, 单位为牛 [顿] 每米 (N/m);
 ρ_m ——钻井液密度, 单位为克每立方厘米 (g/cm³);
 ρ_c ——钢材密度, 单位为克每立方厘米 (g/cm³);
 α ——井斜角, 单位为度 (°)。

A. 1.8 各段钻柱的轴向载荷

各段钻柱的轴向载荷的计算见式 (A. 19):

$$S_i = S_{i-1} - (0.5P_{i-1} \cdot L_{i-1} + 0.5P_i \cdot L_i)(1 - \rho_m/\rho_c)\cos\alpha \quad \dots\dots\dots (A. 19)$$

式中:

- S_i ——第 i 段钻柱的轴向力, 单位为牛 [顿] (N);
 P_i ——第 i 段钻柱在空气中单位长度的重量, 单位为牛 [顿] 每米 (N/m);
 L_i ——第 i 段钻柱的长度, 单位为米 (m);
 ρ_m ——钻井液密度, 单位为克每立方厘米 (g/cm³);
 ρ_c ——钢材密度, 单位为克每立方厘米 (g/cm³);
 α ——井斜角, 单位为度 (°)。

A. 2 使用说明

A. 2.1 采用纵横弯曲连续梁法编制的计算机程序, 可以较为精确地做出直井中的光钻铤组合、满眼钻具组合、钟摆钻具组合, 以及定向井中的旋转钻增斜钻具组合、稳斜钻具组合、降斜钻具组合的设计计算和分析计算。

A. 2.2 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。

A. 2.3 钻头侧向力等参数的计算, 取决于井眼直径、稳定器的安放高度、稳定器的个数、稳定器之间的钻铤直径、稳定器的直径、井斜角、钻井参数及钻井液密度等因素。

A. 2.4 在采用连续梁法分析下部钻具组合时做了如下假设:

- a) 从钻头至顶部稳定器之上的 10m~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。