

# 提高外岩心筒稳定性的作用及方法

杨 群 鑫

(四川石油管理局钻采工艺研究所)

**内容提要** 提高外筒稳定性是延长取心钻头寿命、提高岩心收获率及单筒进尺的最主要途径,而外筒加扶正器是提高其稳定性的有效方法。本文结合四川地区取心复杂的情况,建议推广“三节式”和“两节式”外筒组合,并对扶正器在外筒上的安放位置进行探讨。

取心工具外筒与钻铤相比,外筒刚度  $EJ_z$  小,即轴惯性矩小。如川8-3型取心工具,外筒外径为180mm,内径为144mm,其  $J_z = 3042\text{cm}^4$ 。而与其相连的177.8mm (7英寸)钻铤  $J_z = 4750\text{cm}^4$ 。按压杆的临界载荷  $P_c$  与轴惯性矩  $J_z$  成正比,在取心钻进中,外筒易弯曲。

蹩断成块,严重时,在内筒里破碎卡死。

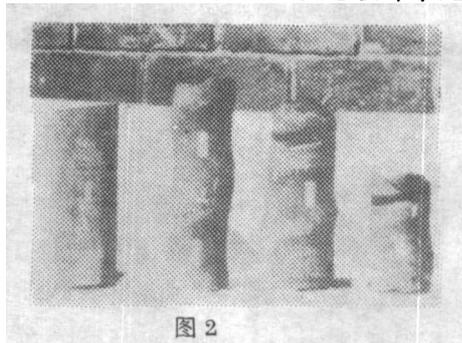


图 2

## 一、外筒弯曲后的危害

### 1. 取心井段井斜和方位变化大,造成下列影响

(1) 取心起下钻困难。同普通三牙轮钻头相比,金刚石取心钻头冠部刚性大,在井斜和方位变化频繁的井眼里,由于井眼有效通径减小(如图1),常造成金刚石取心钻头起钻遇卡,下钻受阻。

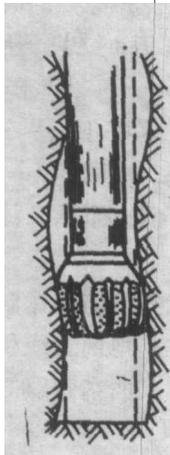


图 1

的岩心有效外径大,进入内筒时常在拐点处

(2) 岩心易断裂成块。图2为中46井在须家河砂岩地层取出的岩心对比。在外筒上加扶正器取出的岩心又圆又直,而不加扶正器取出的岩心呈不规则的螺旋线。呈螺旋线的

(3) 内筒下端产生偏摆(如图3)。取心工具内筒上端是用止推轴承悬挂在外筒上,下端为自由端。轴承径向间隙大(有的达2mm),当外筒位于斜直井段时,内筒因自重  $Q$  将产生摆动力  $W$ 。

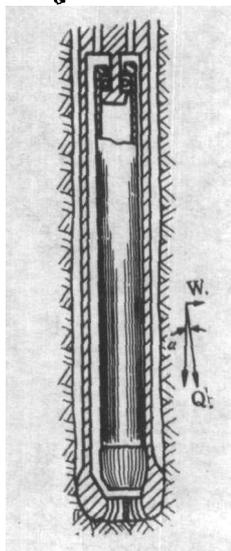


图 3

$$W = Q \sin \alpha = L q_m \sin \alpha$$

式中  $L$ —内筒长度,  $m$ ;  
 $q_m$ —内筒在泥浆中的重量,  $N/m$ ;  
 $\alpha$ —井斜角,  $^\circ$ 。

$W$  与  $L$ 、 $\alpha$  的变化关系,如图4所示。

即使内筒还是空筒状态,当  $\alpha = 8^\circ$ ,  $L = 27m$ , 泥浆相对密度  $\gamma = 1.2$  时,

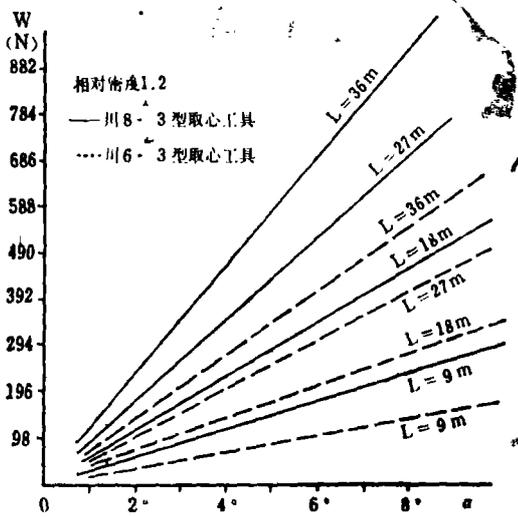


图 4

川6-3型取心工具， $W = 411.6\text{N}$ ；川8-3型取心工具， $W = 695.8\text{N}$ 。

在 $W$ 作用下，内筒下端紧贴金刚石取心钻头内台肩一边，旋转的取心钻头带动内筒旋转；取心钻头和内筒偏心，岩心进入内筒困难；内筒上端悬挂轴承受力不均。

### 2. 夹紧内筒旋转（如图5），降低岩心收获率

这种影响在大井眼里用小尺寸工具取心更明显。卧43井用215.9mm（8 1/2英寸）牙轮钻头钻遇二叠系阳新灰岩（井深4300m）时，改用川6-2型取心工具取心。共取心10次，第一次，取心工具处于215.9mm（8 1/2英寸）井眼里，外筒为139.7mm（5 1/2英寸）钻杆，和井眼理论间隙为37.5mm，未加扶正器，取心进尺3.55m，岩心收获率仅36.9%。取出位于内筒顶部约0.6m长的岩心，被旋转的内筒捣碎后，相互摩擦得像江河里的鹅卵石，又光又圆。第二至十次，随着外筒进入152.4mm（6英寸）井眼，外筒和井眼理论间隙缩小到5mm，外筒稳定性相对增加，进尺29.25m，平均岩心收获率达96.7%。

### 3. 降低金刚石取心钻头使用寿命

金刚石取心钻头吃入地层浅，外筒受压弯曲后，必然造成取心钻头一边翘离井底（即“高边”），一边接触井底（即“低边”）。假设在215.9mm（8 1/2英寸）井眼内，用外径为120.6mm（4 3/4英寸）的外筒带动155.6mm（6 1/8英寸）的金刚石取心钻头取心，加钻压 $53.9 \times 10^3\text{N}$ 后，根据计算，在取心钻头上部约3m处，外筒与井壁相切，钻头一边离井底约1.78mm。旋转取心钻进时，洗井液大部分从阻力小的高边流走，低边金刚石不但承受整个钻压，而且得不到有效冷却，以致造成取心钻头外圆半径金刚石快速磨损。川西北矿区龙4井，用311.1mm（12 1/4英寸）牙轮钻头钻遇须家河砂岩顶部时，改用川8-3型长筒取心工具作试验。由于所下两节长约20m的外筒未加扶正器，加压后，外筒严重弯曲。试验结果，把一个在该地层，至少可钻进100m的215.9mm（8 1/2英寸）天然金刚石取心钻头于取心钻进不到15m时就偏磨报废。

据四川气田不完全统计，在先期损坏的金刚石取心钻头中，因外筒弯曲，造成外圆偏磨的约占39%。

## 二、提高外筒稳定性的办法

### 1. 增加外筒壁厚

我国的取心工具，过去多采用钻杆或套管作外筒，其管壁厚度未超过13mm，两端靠加焊接头才能加工连接扣。近几年，在四川和部分兄弟油气田推广的川6-3和川8-3型取心工具，已分别采用壁厚为16和18mm的无缝钢管作外筒。

### 2. 加扶正器

即在取心钻头和外筒上加三棱或四棱螺旋扶正器，如图6。美国克里斯坦逊（Christensen）公司取心扶正器为三棱，螺旋包角为126°，表面镶嵌厚约5mm的硬质耐磨合金块，表面光滑如镜。川式取心工具扶

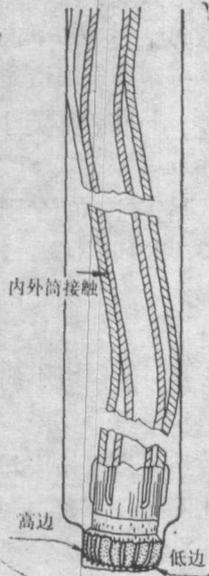


图 5

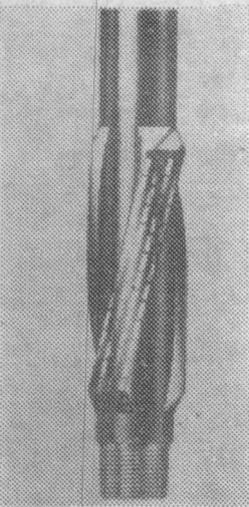


图 6

正器为四棱，螺旋包角为 $360^\circ$ ，表面堆焊铸造碳化钨。

以上两者中，外筒加扶正器是主要的，因为增加壁厚对提高外筒刚度的作用不大。表1为川8-3型取心工具选用标准和厚壁两种外筒的效果对比。

从表1看出，川8-3型取心工具采用壁厚为25mm

的厚壁外筒，与壁厚18mm的标准外筒相比，虽然刚度约提高23.3%，但岩心直径却减少14mm，取心钻头切削面积增加8.3%。这不仅影响岩心收获率，增加金刚石取心钻头成本，若要维持原取心机械钻速，必须加大钻压，其结果又部分抵消了增加外筒壁厚的作用。

表 1

川8-3型 取心工具	外径尺寸 (mm)		岩心 直径 (mm)	轴惯性矩 $J_z$ ( $\text{cm}^4$ )	取心钻头 切削面积 ( $\text{cm}^2$ )
	外径	壁厚			
标准外筒	180	18	105	3042	233
厚壁外筒	180	25	91	3751	288

在取心工具设计中，采用厚壁外筒的目的是增强其两端螺纹连接强度，适应海上和深井取心钻进需要。在外筒上加扶正器，可以成倍提高外筒临界弯曲载荷 $P_c$ （如表2）还可以显著地降低了外筒弯曲后的挠度（如图7）。

表 2

序 号	名 称	外 筒 (长18.2m)		井 眼 直 径 (mm)	钻 压 (KN)	临界弯曲载荷 $P_c$ (KN)	
		外筒规范厚度 $\times$ 岩心直径 (mm)	外筒 壁厚 (mm)			无扶正器	顶部和中 部加扶正 器
1	标 准	120.6 $\times$ 66.7	12.7	146.0	64.10	79.38	197.96
				171.4	74.97		
2	外 筒	146.0 $\times$ 88.9	14.2	177.8	77.62	138.18	409.64
				196.8	86.24		
3	筒	171.4 $\times$ 101.6	17.4	209.5	91.43	315.56	799.68
				228.6	99.96		
4	厚 壁	114.3 $\times$ 47.6	19.0	146.0	64.10	84.28	212.66
				171.4	74.97		
5	外 筒	146.0 $\times$ 69.8	22.2	177.8	77.62	213.64	539.00
				196.8	84.24		
6	筒	174.6 $\times$ 82.5	26.9	209.5	87.61	438.06	1113.28
				228.6	91.43		

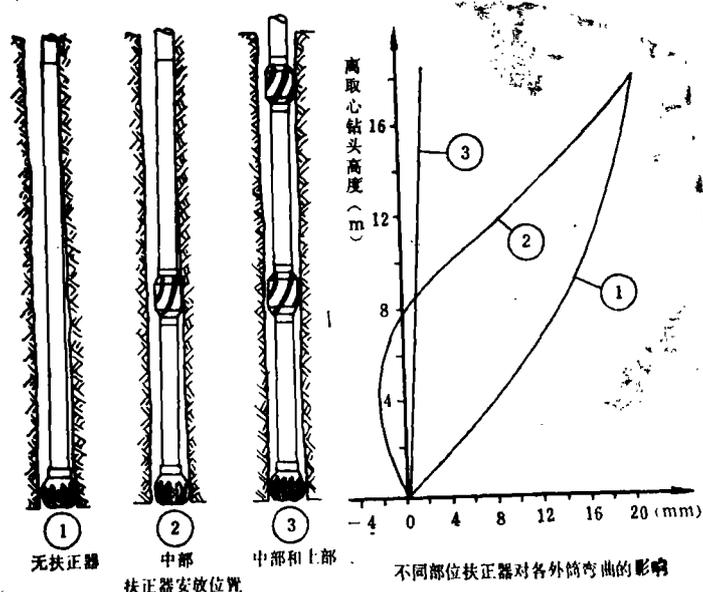


图7

注：外筒规范171.4mm~101.6mm (6 $\frac{3}{4}$ ×4英寸)；外筒长度18.2m；井眼尺寸209.5mm (8 $\frac{1}{4}$ 英寸)；扶正器外径206.4mm (8 $\frac{1}{8}$ 英寸)；钻压91.14kN

### 三、提高外筒稳定性的现场试验效果

#### 1. 四川不同碳酸盐地层初次试验

##### (1) 龙4井嘉陵江石灰岩试验

总结1980年7月龙4井第一次长筒取心失败的教训，1982年2月在该井嘉陵江石灰岩又进行了第二次试验。仍用原川8-3型取心工具。不同点是井眼尺寸为215.9mm (8 $\frac{1}{2}$ 英寸)，并在外筒上加了扶正器。在平均泥浆相对密度达1.85的情况下，在井深4504~4605.35m，取心3次，进尺101.35m，平均岩心收获率99.95%，平均单筒进尺33.78m。其中第三次取心下五节外筒，在215.9mm (8 $\frac{1}{2}$ 英寸)金刚石取心钻头和下部两节外筒上端各加一个扶正器，扶正器外径和金刚石取心钻头外径一致，取心46m，收获率100%。该井试验未出现卡心，作到

每次外筒充满。消除了常见的取心钻头金刚石偏磨和碎断现象，取出的岩心又圆又直，其中入井的第二只215.9mm (8 $\frac{1}{2}$ 英寸)金刚石取心钻头，进尺83m，纯钻时间99小时41分，尚有60%的新度。

##### (2) 坝9井二叠系阳新石灰岩试验

1981年前川南矿区李子坝气田各井二叠系阳新灰岩地层取心，最高岩心收获率为68.2%，最高单筒进尺不到8m。1982年8月将原用的川6-2型取心工具(外筒为139.7mm钻杆)改制成每次可下两节外筒的长筒取心工具，并在每节外筒上加一个比钻头直径大1mm的扶正器，在坝9井二叠系阳新石灰岩地层取心。在平均泥浆相对密度等于2.24的情况下，在井深2098.40~3150.67m，取心11次，进尺152.27m，平均岩心收获率99.45%，平均单筒进尺13.84m。取得了该地区二叠系阳新灰岩最好的取心水平。

##### (3) 威77井震旦系白云岩试验

在1981年前，威远气田共有26口井在震旦系地层取心，总进尺2410.58m，平均岩心收获率仅42.99%，单井最高岩心收获率为56.1% (威71井)。1982年6月仍用原川6-2型取心工具(外筒为139.7mm钻杆)，不同点是在152.4mm (6英寸)金刚石取心钻头和外筒上各加一个比钻头直径小1mm的扶正器，在威77井井深3068.50m以下震旦系白云岩地层取心17次，进尺79.10m，平均岩心收获率90.25%。这是威远气田开发十多年来，第一次比较完整的取出了震旦系岩心。

## 2. 四川砂岩地层初次试验

1982年10月用川6-3型取心工具外筒加扶正器的满眼取心钻具组合,在中50井须家河砂岩地层,井深2528.97~2830.00m,取心15次进尺301.03m,平均岩心收获率99.52%,平均每次取心进尺20.07m。该井有4次取心进尺超过30m,其中第十次,下五节外筒,在152.4mm(6英寸)金刚石取心钻头和下部两节外筒上端各加一个扶正器,扶正器同金刚石取心钻头直径一致,进尺42.74m,岩心收获率99.27%。同相同层位、外筒未加扶正器的邻近井相比,中50井试验减少取心起下钻36次,节约152.4mm(6英寸)金刚石取心钻头5只。

## 3. 四川气田全面推广应用

近几年在四川全面推广的硬地层拨断岩心接单根长筒取心工艺技术,其关键是在取心工具外筒上加扶正器,以保护岩心和延长金刚石取心钻头使用寿命,再用拨断岩心接单根的方法增长每次取心进尺。由于推广此项技术,从1982年以来,四川气田取心水平连续三年有了大的提高,如表3。

表 3

年	平均岩心 收获率(%)	平均单筒取心 进尺(m/次)	平均金刚石取心 钻头进尺(m/只)
1981	89.02	5.45	18.59
1982	93.02	7.03	36.20
1983	93.70	9.10	44.34
1984	93.80	9.68	50.86

## 四、加扶正器的外筒组合选择

### 1. 选择的考虑

鉴于四川取心层位多为碳酸盐高压气

层,取心层位深(大多在3500m以下),井眼小(70%为152.4mm),岩层裂缝发育,因此所下取心工具外筒不宜太长,扶正器不能加得过多。根据四川近三年来的取心实践,建议推广“三节式”和“两节式”外筒组合。

### 2. “三节式”和“两节式”外筒组合

“三节式”由三节外筒加三个或四个扶正器组成。主要用于四川三叠系嘉陵江灰岩及香溪群砂岩等地层。这些层位岩性坚硬,承压强度高。

“两节式”由两节外筒加三个扶正器组成,在金刚石取心钻头和每节外筒上各加一个扶正器。主要用于四川二叠系及其以下石炭系、寒武系、震旦系等碳酸盐地层。这些层位岩性坚硬、裂缝发育、地层压力高、取心井深多在3800~5000m,取心井眼直径90%为152.6mm。

### 3. “三节式”和“两节式”外筒组合计算

(1) 计算的假设:外筒位于井斜角为 $\alpha$ 的斜直井段;刚性井壁;扶正器和井壁间隙为零;不考虑钻柱旋转和地层因素的影响。

(2) 计算方法:把带扶正器的外筒看作既受自重分解的横向均布载荷 $q_m \sin \alpha$ ,又受轴向压力(钻压)作用的连续梁,由有限单元法推导出外筒各点横向位移和所受侧向力计算公式,用Fortran语言编出计算程序。将井眼井斜角、钻压、泥浆相对密度和各扶正器间的外筒长度、内径、外径等已知数值,输入到电子计算机上进行计算,得出外筒变形后的各点位移和侧向力。用宽行打字机直接打印出计算数值和位移图。计算参数如表4所示。

理论计算“三节式”外筒组合,加压后各节外筒弯曲后最大位移,如表5所示\*。

\*本计算得到西南石油学院施太和同志帮助,特表感谢。

表 4

序号	参数名称及规范		数 值	
			川6-3	川8-3
1	钻铤	规范	120.6	177.8
		长度(m)	120	120
2	外筒	外径×内径(mm)	133×101	180×144
3	井斜角		5°	3°
4	钻 压 (10 <sup>3</sup> ×N)		39.2	58.8
5	泥浆相对密度		1.5	1.5
6	取心钻头外径 (mm)		150	212
7	扶正器外径 (mm)		150	212

表 5

外筒总扶正器数量(个)	各节外筒弯曲最大位移 (mm)		
		川6-3取心工具	川8-3取心工具
3	上	2.74	3.64
	节	2.37	2.06
3	中	3.14	2.44
	节	1.03	0.67
3	下	0.29	0.32
	节	0.18	0.08

注：川6-3型取心工具内外筒间隙6mm，外筒和井眼间隙8.5mm；

川8-3型取心工具内外筒间隙8.5mm，外筒和井眼间隙11mm。

从表5可以看出，川6-3和川8-3型取心工具“三节式”外筒组合，外筒弯曲后的最大位移小于各自的内外筒间隙，也小于各自外筒与井眼间隙。因此，理论计算三节式外筒组合不论加3个或4个扶正器，都不会产生外筒夹紧内筒旋转和外筒接触井壁的故障。

#### 4. “三节式”各扶正器作用分析

(1) 近钻头扶正器。直接接在取心钻头上，加此扶正器后，取心钻头位移近似为零。不论所下外筒是“三节式”或“两节式”，这是必须加的扶正器。它的作用主要是保持取心钻头稳定旋转、受压均匀，减少其侧向切削力，保护刚形成的岩心。但必须指出仅加一个近钻头扶正器不能减少外筒弯曲。

(2) 顶扶正器。它连接在外筒和钻铤之间，使上节外筒顶端位移近似为零。其作用，一是保持内筒悬挂轴承在井眼里居中，减少内筒摆动；二是减少上节外筒弯曲，表5计算出“三节式”上节外筒弯曲后的最大位移，川6-3型取心工具不超过3mm，川8-3型取心工具不超过4mm。龙4井第三次长筒取心和中50井第十次长筒取心，都由于未加顶扶正器，上节外筒加压弯曲后，外筒和钻铤连接处紧贴井壁。

(3) 中下扶正器。接在下节外筒上端，它的作用是减少下节外筒弯曲和金刚石取心钻头倾斜角。

(4) 中上扶正器。接在中、上两节外筒之间，对“三节式”外筒组合加中上扶正器，可以明显地降低中、上两节外筒弯曲后的位移，如表5所示。

#### 5. 扶正器和井眼间隙讨论

表5中外筒弯曲后的最大位移，是在扶正器和井眼间隙 $\delta = 0$ 的情况下计算出来的。四川长筒取心推广试验表明，当扶正器和井眼理论间隙超过3mm时，取出的岩心同不加扶正器一样，成螺旋线。因此，对四川硬地层取心扶正器提出两点要求：

(1) 新入井的扶正器外径应和金刚石取心钻头外径一致。上偏差为零，下偏差为0.5mm。

(2) 取出的扶正器外径磨损超过3mm时就更应更换。

(下转68页)



#### 47 Analysis of the Constant Percentage Decline

The constant percentage decline is widely used for predicting the future performance and ultimate accumulation production of oil and gas wells or reservoirs. Two constant percentage decline rates, i.e. nominal decline rate and effective decline rate are described respectively, and the calculating formula of corresponding production and cumulative production as well as the relationship of two decline rates are derived in this paper.

*Chen Yuanqian*

### DRILLING/PRODUCTION TECHNOLOGY AND EQUIPMENT

#### 51 Theoretical Calculation of Drill Pipe Centralizer Assembly Performance and Its Application

The design of centralizer assembly is the basic and key job for directional drilling. According to the theory equation of bend beam, using the computer to solve the performance parameters in the design of centralizer assembly is a new, simple and reliable method. This paper derives the equation, describes the use of centralizer assembly taking the well Zhong-48 as an example and presents the attentions for applying this method.

*Wang Zhenda*

#### 58 Effect and Method of Raising the Stability of Outer Core Barrel

Raising the stability of outer core barrel is the main approach to extend the life of core bit and to raise core recovery and the footage of single core barrel. The outer core barrel with centralizer is an effective method to raise its stability. Considering the complex coring situation in Sichuan, it is proposed to popularize the "three joints" and "two joints" outer core barrel assembly, and the setting position of centralizer on outer core barrel is discussed also.

*Yang Qunxin*

#### 64 To Select the Rheologic Pattern of Drilling Fluid by Correlation Coefficient Method

It is very important to correctly select the rheologic pattern for optimally seeking the drilling hydraulic parameters and accurately calculating flowing pressure drop and cuttings-carrying capacity of drilling fluid. To select the rheologic pattern, this paper introduces a mathematic method (correlation coefficient method) which comparing with the methods of rheologic chart contrast and error comparison continued to use in the past has the advantages of simplicity and accuracy. The computer program for calculating the correlation coefficient is presented in this paper also.

*Long Zhengjun, Han Song*