

DQ-76 型连续造斜绳索取心钻具的研制及应用

任攀攀^{1,2}, 林修阔², 陈晓琳², 张新刚²

(1. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 2. 中国地质科学院勘探技术研究所, 廊坊 065000)

[摘要]介绍了 DQ-76 型连续造斜绳索取心钻具的结构特点、工作原理及造斜率预测方法, 作者采用纵横弯曲法计算该取心钻具的造斜能力, 并对其造斜率进行预测。该钻具由打捞机构、仪器管、分动机构、卡固机构、造斜机构、传扭管、取心管、扩孔器以及取心钻头部分组成。该钻具的造斜强度在地面进行调节, 通过泵压控制分动机构和卡固机构的运动, 保证造斜过程中钻具在井底的有效卡固。通过该钻具在云南某煤矿 3 口井的现场应用, 分别调节钻具造斜机构的偏心距为 0.5 mm、1.0 mm 及 1.5 mm 来试验钻具的实际造斜能力及取心参数, 结果证明: ①试验钻具能满足连续造斜的同时实现绳索取心; ②钻具造斜强度能够通过更换偏心套来改变; ③利用纵横弯曲法预测极限造斜率时, 修正系数可取 0.7~0.93。

[关键词] 绳索取心 连续造斜绳索取心钻具 岩心钻探 极限造斜率

[中图分类号] P642 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2010)02-0338-05

Ren Pan-pan, Lin Xiu-kuo, Chen Xiao-lin, Zhang Xin-gang. Development and application of DQ76 continuous deflecting wire-line coring tool assembly[J]. Geology and Exploration, 2010, 46(2): 0338-0342.

地质钻探的目的是为了通过采取岩样、水样来获取矿体形态、产状、埋深、品位、储量以及围岩性质、水文地质资料等。为了达到不同的目的, 有的可采用垂直钻孔, 而有的更适宜采用受控定向孔(江天寿等, 1994)。然而在国内的地质钻探行业, 由于没有专门的定向钻进造斜段取心钻具, 定向钻进造斜段基本采用不取心或者通过特殊钻头获取小岩芯的钻进方式。为满足地质钻探对定向钻进取心的需要, 中国地质科学院勘探技术研究所向中国地质调查局申请并通过“取心定向钻进技术与冲击定向钻进技术的研究”项目的立项工作, 连续造斜绳索取心钻具的研制是该项目的部分内容。

1 钻具的结构及特点

1.1 钻具结构

DQ-76 型连续造斜绳索取心钻具由打捞机构、仪器管、分动机构、卡固机构、造斜机构、传扭管、取心管、扩孔器以及取心钻头部分组成(王永平, 2005; 吴银柱等, 2006; 王茂森等, 2006), 如图 1 所

示。

1.2 钻具特点

(1) 实现在连续造斜钻进的同时进行绳索取心, 上提岩心的同时能通过仪器管内的测井仪记录井身参数, 指导定向钻进;

(2) 通过卡固机构使卡固伸缩块附着井壁, 并通过分动机构使传扭管与卡固管分离, 达到传扭管与卡固管的双管单动;

(3) 卡固机构和分动机构均通过泥浆压力控制;

(4) 采用双偏心套结构的中空式造斜机构, 其结构紧凑、体积小, 不仅使钻具的造斜率可以在一定范围内进行调节, 还保证了采取岩心的直径(Warren T, 1998; 菅志军, 2003);

(5) 岩心内管采用轴承实现上下两点扶正, 增大岩心内管的刚度, 改善岩心内管受力状态;

(6) 钻具易损件均选用铜制构件, 便于维护。

1.3 技术指标

钻头外径: $\Phi 75.7\text{ mm}$;

[收稿日期] 2009-05-30; [修订日期] 2010-03-10; [责任编辑] 陈喜峰。

[基金项目] 中国地质大调查项目(编号: 1212010660701)。

[作者简介] 任攀攀(1983 年—), 男, 中国地质大学(北京)博士在读, 地质工程专业, E-mail: renpan1983@sina.com。

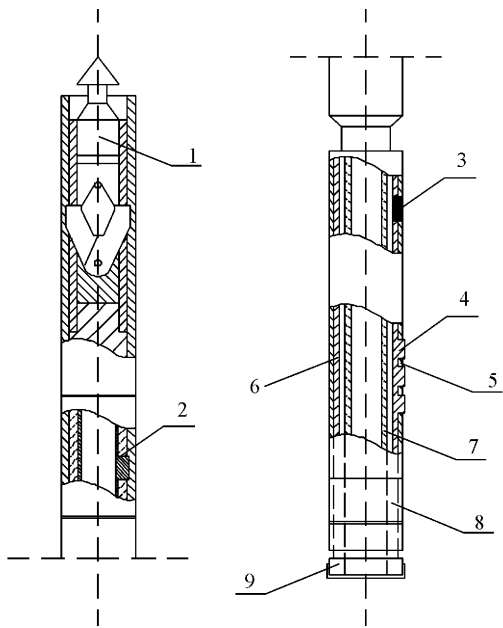


图 1 DQ-76 型连续造斜绳索取心钻具结构示意图
Fig.1 Schematic diagram showing structure of DQ76 continuous deflecting wire-line coring tool assembly

1-打捞机构;2-仪器管;3-分动机构;4-卡固块;5-卡固管;6-传扭管;7-取心内管;8-造斜机构;9-取心钻头
1- salved set; 2- measurement house; 3- action set; 4- locking block; 5- locking house; 6- drive tube; 7- core barrel; 8- deflecting set; 9- coring bit

岩心直径:26 mm;
外管外径:Φ73 mm;
造斜率:0 ~ 0.5°/m;
适用顶角范围:0 ~ 90°。

2 工作原理

钻具在孔口调节好偏心套的偏心量后下入孔底并定向,完成定向后开泵并将泵压调节至 P_1 ,卡固管内的膨胀囊在压力作用下膨胀使卡固伸缩块伸出

并附着于井壁,增大泵压至 P_2 ,分动机构中的分动活塞上行,传扭管与卡固管脱离;继续增大泵压,达到工作泵压 P_3 ,以保证卡固伸缩块完全卡固于井壁,卡固管不随传扭管转动。在泵压达到 P_3 后,开动转盘即可进行正常的钻进及取心作业。

该钻具割心及打捞作业均与普通绳索取心钻进相似,在将岩心内管打捞至孔口后,从岩心内管中取出岩心,另外还需将测井仪中的井身数据读入工作电脑,以便指导造斜钻进(唐鸿云等,2001)。

3 造斜率预测

在此钻具中,上下轴承以及偏心轴承间的位置是固定的,通过调节偏心轴承的偏心量,使传扭管产生径向变形,并因此在上轴承以下的传扭管产生一结构弯角。这种结构与弯外管造斜钻具类似(王宝新等,1994;苏义脑等,2002;刘修善等,2004),因此,可以使用极限曲率法来计算该钻具的造斜率。

极限曲率 K 是指下部钻具组合的侧向力为零时所对应的井眼曲率值(苏义脑,1997)。求解钻具造斜率的方法很多(白家祉等,1990;周大千,1993;高德利,1996;李子丰,1996),本文利用纵横弯曲法(苏义脑等,2004)对下部钻具组合进行分析,计算简图如图 2 所示,可以列出方程:

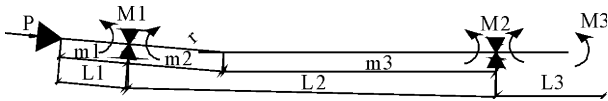


图 2 纵横弯曲法计算简图
Fig.2 Sketch showing calculation of beam-column method

$$M_0 Z(u_1) + 2 m_1 \left[Y(u_1) + \frac{L_2 I_1}{L_1 I_2} Y(u_2) \right] + M_2 \frac{L_2 I_1}{L_1 I_2} Z(u_2) = -\frac{q_1 L_1^2}{4} X(u_1) - \frac{q_2 L_2^3 I_1}{4 L_1 I_2} X(u_2) + \frac{6 E I_1}{L_1} \left[\frac{H_1}{L_1} - \frac{H_2 - H_1}{L_2} - (\delta \theta_1^R + \delta \theta_2^L) \right] \quad (1)$$

$$M_1 Z(u_1) + 2 m_2 \left[Y(u_2) + \frac{L_3 I_2}{L_2 I_3} Y(u_3) \right] + M_3 \frac{L_3 I_2}{L_2 I_3} Z(u_3) = -\frac{q_2 L_2^2}{4} X(u_2) - \frac{q_3 L_3^3 I_2}{4 L_2 I_3} X(u_3) + \frac{6 E I_2}{L_2} \left[\left(\frac{H_2 - H_1}{L_2} - \frac{H_3 - H_2}{L_3} \right) - \delta \theta_2^R \right] \quad (2)$$

$$q_3 X(u_3) L_3^4 + 4 \left[2 m_3 Y(u_3) + M_2 Z(u_3) \right] L_3^2 = 24 E I_3 \left[L_3 \left(\sum_{i=1}^3 L_i \right) K - L_3 \cdot (\theta_3^R)_0 + (H_3 - H_2) \right] \quad (3)$$

$$P_a = -\frac{1}{L_1}(Py_1 + \frac{q_1 L_1^2}{2} + M_1 - M_0) = 0 \quad (4)$$

$$y_1 = \frac{1}{K}[1 - \cos(KL_1)] - \frac{1}{2}(D_0 - D_{s1}) = -H_1 \quad (5)$$

$$H_2 = m_3 \gamma - \frac{1}{K} \{ 1 - \cos [K(L_1 + L_2)] \} \pm \frac{1}{2}(D_0 - D_{s2}) \quad (6)$$

$$H_3 = (m_3 + L_3) \gamma - \frac{1}{K} \{ 1 - \cos [K(\sum_1^3 L_i) K] \} \pm \frac{1}{2}(D_0 - D_{s3}) \quad (7)$$

$$u_i = \frac{L_i}{2} \sqrt{\frac{P}{EI_i}} \quad (8)$$

$$X(u_i) = \frac{3}{u_i^3} (tg u_i - u_i) \quad (9)$$

$$Y(u_i) = \frac{3}{2u_i} \left(\frac{1}{2u_i} - \frac{1}{tg 2u_i} \right)$$

$$Z(u_i) = \frac{3}{u_i} \left(\frac{1}{\sin 2u_i} - \frac{1}{2u_i} \right)$$

$$q_3 = W_i \sin [a_0 - K(L_1 + L_2) - \frac{K}{2}L_3] \quad (10)$$

$$M_3 = KEI_3 \quad (11)$$

$$M_0 = 0 \quad (12)$$

$$\delta \theta_1^R = 0 \delta \theta_2^L = \gamma \left(\frac{\sin \frac{2 m_3 u_2}{L_2}}{\sin 2u_2} - \frac{m_3}{L_2} \right)$$

$$\delta \theta_2^R = \gamma \left(\frac{\sin \frac{2 m_2 u_2}{L_2}}{\sin 2u_2} - \frac{m_2}{L_2} \right)$$

$$(\theta_3^R)_0 = \gamma \quad (13)$$

式中: M_i ——第 i 个支点处的内弯矩, $i=0$ 表示钻头处的内弯矩; $i=3$ 时为上切处的内弯矩;

q_i ——第 i 跨梁柱的横向重力载荷集度; $q_i = W_i \sin(a_i)_m$

W_i ——第 i 跨梁柱的线重量;

$(a_i)_m$ ——第 i 跨梁柱中点处的井斜角; $(a_i)_m$

$$= a_0 - K \sum_{j=1}^{i-1} L_j - \frac{K}{2} L_i$$

E ——钻柱材料的弹性模量;

I_i ——第 i 跨梁柱的截面轴惯性矩; $I_i = \frac{\pi}{64} (D_{ci}^4 - d_{ci}^4)$

L_i ——第 i 跨梁柱的跨长;

$u_i, X(u_i), Y(u_i), Z(u_i)$ ——第 i 跨梁柱的稳定系数和放大因子;

P_i ——第 i 跨梁轴力;

m_1, m_2, m_3 ——分别为近钻头稳定器距钻头的距离、弯点距近钻头稳定器的距离和第二个稳定器距弯点的距离;

D_0 ——井眼直径;

D_{si} ——自钻头向上开始计数, 第 i 个稳定器的外径;

$\delta \theta_i$ ——当量横向集中载荷作用下的附加梁端转角;

γ ——轴的结构弯角;

P_a ——钻头侧向力。

联立以上各式, 通过插值计算可以解得当 $p_a = 0$ 时的曲率 K , 此时的 K 即为极限曲率。钻具的实际造斜率需根据钻进实践对计算的井眼曲率值进行修正, 其关系为: $K' = \mu K$, μ 为修正系数。随着钻进实践统计样本的增多, 可通过统计的方法来确定修正系数 μ 。DQ-76 型连续造斜绳索取心钻具的极限曲率 K 计算值如图 3 所示:

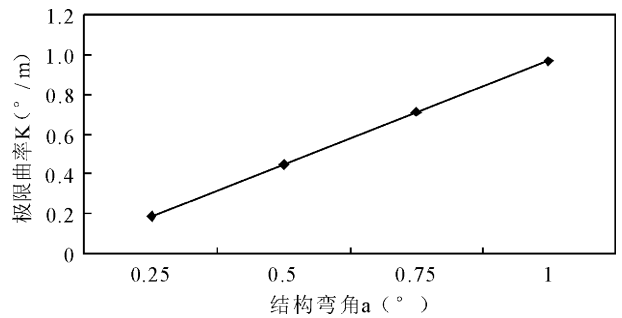


图 3 结构弯角与钻具极限曲率关系曲线图

Fig. 3 Curve of relationship between construction angle and ultimate deflection rate

4 现场应用

4.1 设备及钻具

钻机: XY-4;

泥浆泵: BW-320;

钻具结构: $\Phi 75.7$ mm 定向取心钻头 + DQ76 型连续造斜绳索取心钻具 + $\Phi 73$ mm 加强型绳索取心钻杆。

4.2 应用情况

该钻具在云南某煤矿 3 口钻井中进行试验,试验井段选择钻井揭穿煤层进入下伏地层后进行造斜,造斜段地层主要为粉砂岩、泥岩及玄武岩。分别选用偏心距为 0.5 mm、1 mm、1.5 mm 三种规格的偏心套,均调节到最大偏心量后下井定位。钻压为 15~20 KN,具体造斜取心情况见表 1 所示。

表 1 DQ76 型连续造斜绳索取心钻具现场试验情况统计表
Table1 Statistics of field test for DQ76 continuous deflecting wire-line coring tool assembly

井号	井段(全段取心)	轴承偏心距 (mm)	实测顶角变化 (°)	实测造斜强度 (°/m)	修正系数 μ	岩心长度(m)	岩心采取率
102	447~490 m	0.5	3	0.07	0.70	35.2	81.8%
101	440~492 m	1	13	0.20	0.74	30.2	58.1%
104	440~485 m	1.5	18.5	0.41	0.93	28.5	63.3%

在 101 孔的取心作业中,由于卡簧加工失误差致内径偏大,无法抱紧岩心,岩心上提过程中可能存在掉心,使得岩心收获率较正常低。在 104 孔取心作业中,更换了卡簧,虽然造斜率增大,但是岩心收获率反而比 101 孔岩心收获率高也证实了这点。

5 结论

- (1)DQ-76 型连续造斜绳索取心钻具能够满足连续造斜的同时实现绳索取心,现场试验证明该钻具结构设计合理,操作方便,性能可靠;
- (2)可以通过更换不同的偏心套来改变钻具的最大造斜强度,根据井身设计情况,实际使用的造斜强度可以在 0 到最大造斜率之间选择。实际造斜率可以用极限曲率来预测,修正系数 μ 可以取 0.7~0.93 之间;
- (3)岩心采取率受造斜强度的影响;
- (4)该钻具适用于定向钻进取心的地质钻探作业,尤其适用于岩石胶结良好的地层中的取心钻进。

[References]

Bai jia-zhi, Su yin-ao. 1990. Theory and practice of deviation control [M]. Beijing: Petroleum Industry Press; 60-85
Gao De-li. 1996. Mechanical analysis for the problem of well-path control [J]. Acta Petrolei Sinica, 17(1):115-121
Jian zhi-jun, Zhang yu-lin, Wang maosen, Dai shulin. 2003. The new development of percussion-rotary drilling technique [J]. Geology and Prospecting, 39(3):78-83
Jiang tian-shou, Zhou tie-fang. 1994. Controlled directional drilling technology [M]. Beijing: Geological Publishing House;287-323
Li Zhi-feng, Liu Xi-sheng. 1993. 3D mechanical analysis of BHA under

small deflection [J]. Petroleum Drilling Techniques, 21(2):1-6
Li Zhi-feng. 1996. Theory for Drilling-path control [M]. Beijing: Petroleum Industry Press; 32-55
Li Zhi-feng, Zhao Xin-rui. 2000. A mathematical model for 3D analysis of general bottom-hole assembly under small deflection and its application [J]. Engineering Mechanics, 17(6):121-129
Li Liang-gang, Zhao Hui, Zeng Ji-tian. 2004. Mechanical analysis and experiment on trenchless guide tools [J]. Trenchless Technology, 2;32-36
Liu Xiu-shan, He Shu-shan, Zou Ye. 2004. Study on the geometric build angle rate of steerable motor [J]. Acta Petrolei Sinica, 25(6) 83-87
Su yi-nao. 1997. A method of limiting curvature and its applications [J]. Acta Petrolei Sinica, 18(3):110-114
Su yi-nao, Tang Xueping, Gaolan. 2002. Problem of double and triple bent PDM equivalent to single bent PDM [J]. Acta Petrolei Sinica, 23(2):77-81
Su yi-nao, Tang Xueping, Chen Zuxi. 2004. Equivalent loading method for solving beam-column with initial bending and its application in drilling engineering [J]. Mechanics and Engineering, 26(1):42-44
Tang hong-yun, Xu hui-wen, Zhang yong. 2001. The mathematics relation of drill-hole depth and dip angle and drilling path contrale [J]. Geology and Exploration, 37(2):91-93
Wan bao-xin, Xu dai-wen. 1994. Analysis and calculation of deflecting of down-hole motor [J]. Oil Drilling & Production Technology, 16(1):23-27
Wang mao-sen, Yin kun, Zhang xiao-guang. 2006. Full diameter ring combination drowning drift and drilling technology [J]. Geology and Exploration, 42(2):93-95
Wang yong-ping. 2005. Analysis on the structure of wire line drilling tool SK5 3/4"x94 mm [J]. Exploration Engineering, 32(9):42-44
Warren T. 1998. Rotary-steerable technology-Part 1: Technology gains momentum[J]. Oil & Gas Journal, 96(51):101-105
Wu yin-zhu, Yang guo-chun, Wang wenchen. 2006. Research on the experiment of drilling tools of large diameter hard rock annular coring [J]. Geology and Exploration, 42(6):93-96
Zhou Da-qian. 1993. Basic theory for the use of well-path [M]. Beijing: Petroleum Industry Press; 173-199
[附中文参考文献]
白家祉,苏义脑.1990.井斜控制理论与实践[M].北京:石油工业出版社;60-85
高德利.1996.井眼轨迹控制问题的力学分析方法[J].石油学报,17(1):115-121
菅志军,张玉霖,王茂森,戴树林.2003.冲击旋转钻进技术新发展[J].地质与勘探,39(3):78-83
江天寿,周铁芳.1994.受控定向钻探技术[M].北京:地质出版社:287-323
李子丰,刘希圣.1993.导向钻具组合三维小挠度力学分析[J].石油钻探技术,21(2):1-6
李子丰.1996.井眼轨道控制理论[M].北京:石油工业出版社;32-55

李子丰,赵新瑞. 2000. 通用下部钻具三维小挠度静力分析的数学模型及应用[J]. 工程力学,17(6):121-129

李粮纲,赵 辉,曾继田. 2004. 非开挖导向钻具力学分析与试验[J]. 非开挖技术,2:32-36

刘修善,何树山,邹 野. 2004. 导向钻具几何造斜率的研究[J]. 石油学报,25(6):83-87

苏义脑. 1997. 极限曲率法及其应用[J]. 石油学报,18(3):110-114

苏义脑,唐雪平,高 兰. 2002. 双弯与三弯钻具对单弯钻具的等效问题[J]. 石油学报,23(2):77-81

苏义脑,唐雪平,陈祖锡. 2004. 初弯曲纵横弯曲梁的等效载荷法及其应用[J]. 力学与实践,26(1):42-4

唐鸿云,徐会文,张 勇. 2001. 水平孔孔深和倾角的数学关系及钻孔轨迹控制[J]. 地质与勘探,37(2):91-93

王宝新,许岱文. 1994. 弯外壳动力钻具造斜率的几何分析与计算[J]. 石油钻采工艺,16(1):23-37

王茂森,殷 昆,张晓光. 2006. 大直径环式组合潜孔锤及钻进工艺研究[J]. 地质与勘探,42(2):93-95

王永平. 2005. SK5 3/4"×94 mm 绳索取心钻具结构分析[J]. 探矿工程,32(9):42-44

吴银柱,杨国春,王文臣. 2006. 大直径硬岩环状取芯钻具的试验研究[J]. 地质与勘探,42(6):93-96

周大千. 1993. 井眼轨道使用理论基础[M]. 北京:石油工业出版社:173-199

Development and Application of DQ76 Continuous Deflecting Wire-line Coring Tool Assembly

REN Pan-pan^{1,2}, LIN Xiu-kuo², CHEN Xiao-lin², ZHANG Xin-gang²

(1. China University of Geoscience (Bei Jing) Beijing 100083; 2. Institute of Exploration Techniques Langfang 065000)

Abstract: This paper presents the configuration feature, work principles and prediction method of deflection rate of the DQ-76 continuous deflecting wire-line coring tool assembly. We forecast the deflection rate of the tools by using beam-column theory. The tools consists of salved set, measurement set, action set, locking set, deflecting set, drive tube, inner tube, expanding set and coring bit. The deflecting rate of the tool can be adjusted on the ground. The action of action set and locking set are controlled by pump pressure to ensure the tools to be locked effectively during the process of drilling in boreholes. This tool set has been used at three boreholes in Yunnan province with eccentricity of 0.5 mm, 1.0 mm and 1.5 mm, respectively. The result shows that this tool can realize deflecting as well as coring simultaneously. Deflecting strength can be regulated by eccentric house. And the value of correction coefficient is 0.7-0.93, if the ultimate deflecting rate is calculated by beam theory.

Key words: wire-line coring, continuous deflecting wire-line coring tool assembly, coring drilling, ultimate deflecting rate