

5000 m地质钻探绳索取心绞车的研制及应用

任启伟^{1,2}, 刘凡柏¹, 高鹏举^{1,2}, 伍晓龙¹, 赵远¹, 陈剑铭¹, 孟义泉¹

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

摘要: 本文以“十三五”国家重点研发项目“5000米地质岩心钻机关键技术与装备研制”配套的绳索取心绞车设计为依据, 详细介绍了5000 m绳索取心绞车的主体结构、测控系统、主被动一体排绳系统、绞车辅助装置等的设计及现场应用情况, 为地质钻探用绳索取心绞车的设计和发展提供了新思路。同时在绞车辅助系统中设有深度检测校正测量装置、张力检测装置、钢丝绳清洁装置、钢丝绳断股断丝检测装置、取心打捞孔内数据采集装置等, 用于精确测量孔深和显示打捞器、判别内管总成在井内的工况、清洁钢丝绳表面钻井液、监测钢丝绳断股断丝情况、测量钻孔顶角方位角。本文设计的绳索取心绞车在4007.10 m井深起, 在绳索取心工艺中全程快速收/放绳, 取得了理想的效果。

关键词: 深部探测; 地质钻探; 绳索取心绞车; 变频电机; 钢丝绳检测装置

中图分类号: P634.3⁺5 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2022)02-0040-11

Development and application of 5000m wire-line coring winch for geological drilling

REN Qiwei^{1,2}, LIU Fanbai¹, GAO Pengju^{1,2}, WU Xiaolong¹, ZHAO Yuan¹, CHEN Jianming¹, MENG Yiquan¹

(1. Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China;

2. China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: In reference to the major national R & D project “the Development of Key Technology and Equipment of 5000m Geological Core Drill”, the main structure, the measurement and control system, the integrated active and passive rope arrangement system, and the winch auxiliary device of 5000m wire-line coring winch are introduced in detail, providing a new idea for the design and development of the wire-line coring winch. Notably, the winch auxiliary system is equipped with the depth detection and correction measurement device, the tension detection device, the wire-line cleaning device, the wire-line testing device, the core fishing downhole data acquisition device, etc., which are used for accurately measuring hole depth and displaying the fishing device, identifying the downhole working condition of the inner tube assembly, cleaning drilling fluid on the surface of steel wire, monitoring the condition of the wire-line, and measuring the azimuth and inclination of the borehole. The wire-line coring winch designed in this paper was tested at depth of 4007.10m with fast retrieving and running in of the wireline for the whole coring process, achieving desired effect.

Key words: deep exploration; geological drilling; wire-line coring winch; frequency conversion motor; wire-line testing device

0 引言

深地探测是解决人类面临能源资源和生存空

间基本问题的必由之路, 以深度换空间是解决城镇化发展新阶段的必然需求, 向深部要资源是缓解国

收稿日期: 2022-01-12; 修回日期: 2022-02-22 DOI: 10.12143/j.ztgc.2022.02.006

基金项目: 国家重点研发计划项目“5000米智能地质钻探技术装备研发及应用示范”课题二“5000米智能地质岩心钻机关键技术与装备研制”(编号: 2018YFC0603402); 中国地质调查局地质调查项目“智能化深部钻探技术升级与应用示范”(编号: DD20211421)

第一作者: 任启伟, 男, 汉族, 1990年生, 工程师, 中国地质大学(北京)硕士研究生在读, 主要从事钻探设备的研究、地质云信息化等工作, 河北省廊坊市广阳区金光道77号, rqw1990@163.com。

引用格式: 任启伟, 刘凡柏, 高鹏举, 等. 5000 m地质钻探绳索取心绞车的研制及应用[J]. 钻探工程, 2022, 49(2): 40-50.

REN Qiwei, LIU Fanbai, GAO Pengju, et al. Development and application of 5000m wire-line coring winch for geological drilling[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(2): 40-50.

家持续发展对能源和矿产资源巨大需求的现实选择^[1]。深部钻探是深地探测必要的技术手段之一,目前我国尚缺失5000 m以深地质岩心钻探技术与装备,而油气钻井与岩心钻探差异大无法直接应用,亟需开展大深度智能地质钻探关键技术与装备的研发^[2-3]。在深孔地质岩心钻探中,绳索取心钻进技术对于提高钻探质量和生产效率有极大的优势^[4-6]。在绳索取心钻进中,绳索取心绞车是地质钻探装备中的关键部件,近半个世纪以来,机械结构设计更加完善合理^[7-10],在机械式、液压式、电控式、混合式等绞车上均有所突破^[6-7,11-14],控制方式上趋于自动化、智能化^[4,6,7,9]。随着绳索取心技术的发展、成熟和广泛应用,取心绞车系统更加安全可靠^[8,15-20]。

本文的研究方向是基于国家重点研发计划项目“5000米地质岩心钻机关键技术与装备研制”的要求提出的。绳索取心绞车作为5000 m地质岩心钻机中的关键设备,在深井、超深井、复杂地层、深井连续取心等绳索取心钻进工艺中尤为重要^[4-5,19],其关键技术主要体现在以下几点:

(1)设计参数满足使用要求。

(2)保证岩心打捞过程的工作安全和打捞效率。

(3)监测和控制绞车提放速度和提升力。

(4)准确掌握打捞器是否下放到位、是否打捞成功的状态信息。

(5)提升时钢丝绳高效有序的排列。

(6)准确识别绞车钢丝绳断股断丝情况等。

本文主要介绍5000 m绳索取心绞车总体结构、测控系统、排绳系统和绞车辅助装置和现场试验等内容。

1 总体结构

5000 m绳索取心绞车设计原则为变频电机驱动、无极调速、一体式安装、独立排绳^[4,20-21]。绞车由控制器和绞车组成,绞车控制器主要由司钻房控制手柄、HMI、VFD房变频器、PLC控制台组成,司钻房与VFD房通过工业以太网交换机进行通讯^[19](见图1)。绞车执行机构由主架、变频电机、减速机、离合器、排绳机构、制动器、滚筒等组成,其中排绳机构主要包括梯形螺杆、导向架、排绳电机、减速器、纠偏装置等。PLC主控制台提供绞车的电气(自动)控制及显示,通过司钻房主司钻位置的HMI和电控手

柄,可以对绞车进行收绳、放绳、自由下放、带速下放等操作。其设备运行状况由压力、拉力、绳长等传感元件检测,处理后显示并给予必要的报警指示,绞车总体结构如图2所示,基本参数如表1所示。

2 测控系统

2.1 电气液控制

5000 m绳索取心绞车采用电气液共控制方式,绞车由G120C(55 kW)型变频器控制一台55 kW的交流变频电动机(含风机)将动力经一台角传动齿轮箱减速后通过气胎离合器传给滚筒轴,电机轴尾安装一台增量式速度编码器,做速度反馈和控制检测用,适应绳索绞车所需要的拉力和绳速。绞车整个变速过程完全由主电机交流变频控制系统控制,变频器采用西门子智能斩波器加制动电阻实现能耗制动,并提供标准的Profibus-DP现场总线接口。排绳系统采用一台4 kW的交流变频电动机(含风机)经角传动减速机后将动力传递给梯形螺杆驱动导向架,通过卷筒编码器测定卷筒转速输入参数到排绳系统PLC,通过PLC逻辑运算后输入到排绳变频器驱动变频电机,随后由电机编码器将排绳电机的转速反馈给PLC,经比较后输出给变频器从而实现闭环控制。绞车控制流程见图3。

绞车制动器采用一台常闭式液压工业盘式制动器,通过钻机绞车液压站进行控制。制动器主要零部件有制动盘、分泵、制动钳、油管等。盘式制动器散热快、质量轻、构造简单、调整方便。特别是高负载时耐高温性能好,制动效果稳定。

绞车离合器采用气胎离合器,通过高压气源控制,气胎离合器传递转矩大,接合平稳,便于安装,吸振,能补偿少量主、从动轴角向和径向相对偏移,从动部分惯性小,使用寿命长,结构紧凑,密封性好。

2.2 参数检测

绞车系统主要对钢丝绳拉力、速度、下放深度、排绳器位置等参数进行检测和预警。钢丝绳拉力采用销轴式传感器检测,下放速度和深度用编码器检测,排绳器位置通过编码器检测,数据处理及控制中枢为西门子PLC处理单元,所有参数在司钻房HMI和绞车HMI上均能显示,检测原理见图1取心绞车系统框图所示,软件操作界面如图4、图5所示。

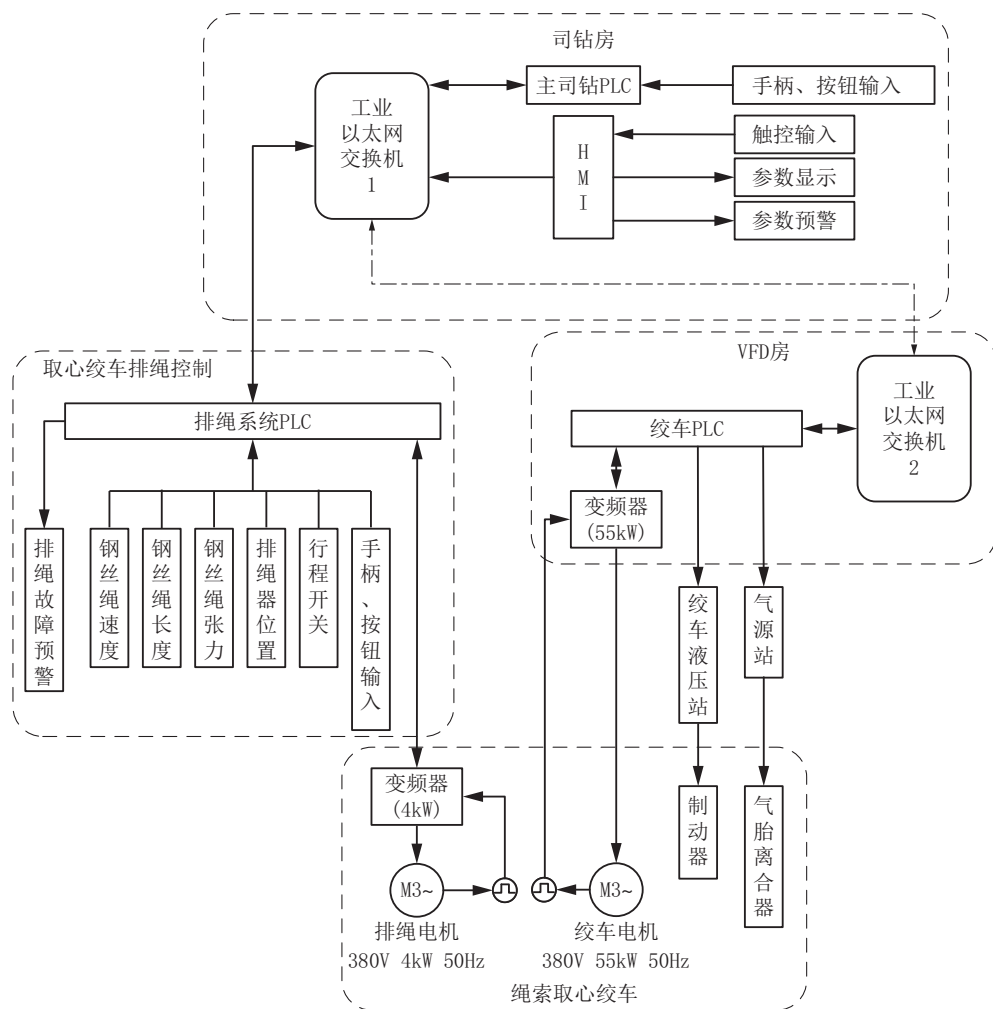


图1 5000 m 绳索取心绞车系统框图

Fig.1 Block diagram of the 5000m wire-line coring winch system



图2 绳索取心绞车主体实物

Fig.2 Main part of the wire-line winch

表1 5000 m 绳索取心绞车主要参数

Table 1 Main parameters of 5000m wire-line winch

项 目	参 数
主电机额定功率	55 kW
排绳电机额定功率	4 kW
电机额定转速	1480 r/min
单绳最大拉力	50 kN
理论额定提升力矩	8782.7 N·m
钢丝绳公称直径	Ø12 mm
容绳量	5500 m
绞车挡数	1+1R 无极变速
滚筒尺寸(直径×长度,含绳槽)	Ø334 mm×1200 mm
滚筒转速	0~116 r/min
光毂绳速	1 m/s
刹车	液压盘式刹车

3 排绳系统

排绳装置主要作用是将回收的钢丝绳在绞车滚筒上进行整齐而均匀的放置,即排绳器的往复直线

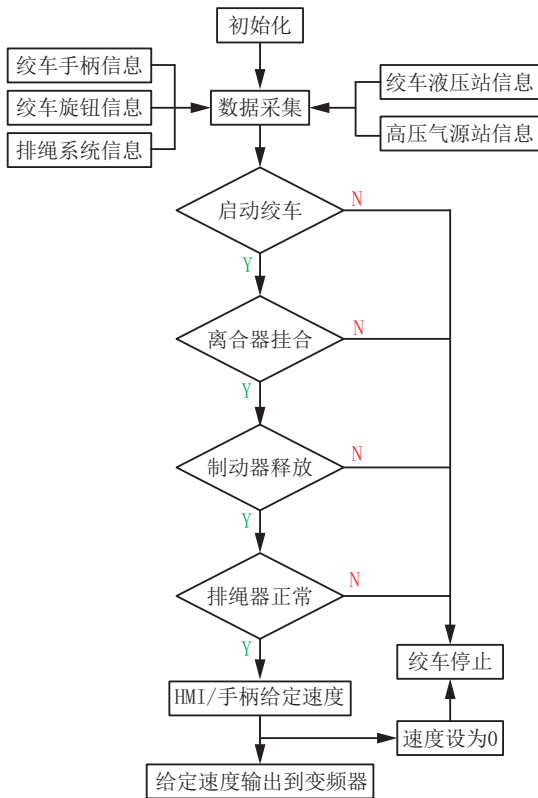


图 3 绞车控制流程

Fig.3 Winch control flowchart



图 4 司钻房 HMI 显示界面

Fig.4 HMI display interface in the driller's cabin

运动和卷筒的旋转运动处于同步状态,保证钢丝绳不发生松绳、乱绳等的不良现象^[22-26]。5000 m 绳索取心绞车排绳机构通过变频电机、螺旋传动、导向架、限位开关、换向开关等组合实现钢丝绳自动导向及轴向有序排绳,螺旋传动采用具有正反转的梯形螺杆传动实现导向架的往复运动,导向架具有主动排绳和被动排绳两种功能。

主动排绳主要通过卷筒编码器采集的卷筒转速

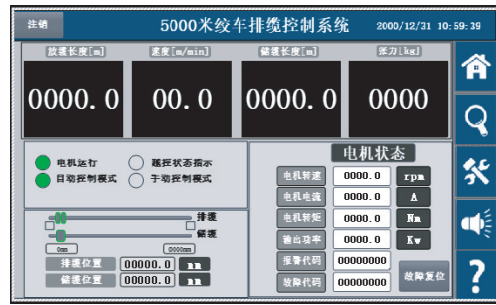


图 5 绞车 HMI 显示界面

Fig.5 Winch HMI display interface

和旋向信号给 PLC,PLC 通过预设钢丝绳直径、绳距系数、传动比、丝杠导程等参数计算出满足钢丝绳在卷筒缠满一圈时导向架移动一个绳距的距离。被动排绳通过绞车测控系统实时监测纠偏装置两侧传感器信号,绞车收/放绳过程中,当纠偏装置导绳偏转块偏转角度大于 α 角后触发一侧传感器,传感器把信号反馈给排绳系统 PLC 控制器,PLC 控制排绳变频电机驱动排绳导向架前进/后退,直至偏转角 α 小于设定值(见图 6)。

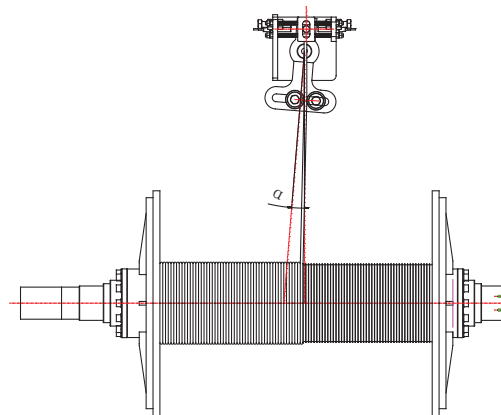


图 6 被动排绳纠偏原理示意

Fig.6 Schematic diagram for passive rope laying correction

3.1 排绳装置的位置控制

本文绞车卷筒采用 LEBUS 双折线卷筒皮^[4,11,27],每层缠绕绳的圈数相同,通过获取卷筒绝对值编码器当前值可计算出当前钢丝绳在卷筒上的实际位置 w ,计算见式(1)、式(2):

$$w = \left[\frac{n_t}{n_p i} - \text{int} \left(\frac{n_t}{n_p n_s i} \right) n_s \right] \frac{B}{n_s} \quad (1)$$

$$\omega = B \left[1 - \frac{n_t}{n_p n_s i} - \text{int} \left(\frac{n_t}{n_p n_s i} \right) \right] \quad (2)$$

式中： n_t ——绞车电机编码器总脉冲数； n_p ——电机每转编码器的脉冲数； i ——减速机传动比； n_s ——卷筒绳槽个数； B ——卷筒开档宽度，mm； int ——取整运算，当 $\text{int} \left(\frac{n_t}{n_p n_s i} \right)$ 为偶数时，取式(1)值，否则取式(2)值。

通过排绳装置变频电机上安装的编码器和排绳装置丝杠的导程，可获得排绳装置当前的实际位置 x ：

$$x = \left(\frac{n_t}{n_p i} \right) \Delta d \quad (3)$$

式中： n_t ——排绳装置电机编码器总脉冲数； n_p ——电机每转编码器的脉冲数； i ——减速机传动比； n_s ——卷筒绳槽个数； Δd ——丝杠导程，mm。

将以上获取的缆在卷筒上的实际位置 ω 和排绳装置的当前实际位置 x 输入PID控制器，通过调整相应PID参数，可获取比较满意的控制精度。但是传统PID控制器由于积分饱和原因无法使系统在实现响应快速性的同时满足小超调甚至无超调，因此本文采用一种具有抗积分饱和功能，且能够对比例作用和微分作用进行加权的PID控制算法对排绳装置的位置进行控制，见式(4)，实际储缆和排绳入绳角可以控制在 $\pm 1.5^\circ$ 以内，满足排绳要求。

$$y = K_p \left[(b\omega - x) + \frac{1}{T_i s} (\omega - x) + T_d s (c\omega - x) \right] \quad (4)$$

式中： y ——PID算法的控制值，mm； K_p ——比例增益； s ——拉普拉斯运算符； b ——比例作用权重； c ——微分作用权重； ω ——设定值(钢丝绳在卷筒上的位置)，mm； x ——过程值(排绳装置在丝杠上的位置)，mm； T_i ——积分作用时间； T_d ——微分作用时间。

3.2 绳速测控系统

绞车钢丝绳提放速度测控系统的功能包括检测与控制两个部分^[4,8]。

3.2.1 检测部分

采用绝对值编码器检测卷筒的旋转，当绞车钢丝绳提放打捞器时卷筒转动，编码器就输出对应的

脉冲，钢丝绳的提放速度越快，卷筒转动越快，编码器输出脉冲的频率就越快，并有如式(5)的计算关系：

$$v = \frac{\pi d f}{n} \quad (5)$$

式中： v ——钢丝绳下放速度； d ——绞车卷筒直径； f ——编码器输出脉冲信号频率； n ——编码器每圈脉冲数。

由式(5)可知，只需检测脉冲信号的频率就能得到绞车钢丝绳提放速度。

3.2.2 速度控制部分

绞车主电机主要参数为：额定功率55 kW，额定电流97.8 A，额定频率50 Hz，额定转速1480 r/min，额定扭矩355 N·m。减速机主要参数：减速比24.74，对应滚筒输出额定转速为59.82 r/min(50 Hz)，额定最大理论提升力超过50.77 kN，光毂绳速为1 m/s。

异步电动机的转速公式：

$$n = \frac{60f(1-S)}{P} \quad (6)$$

式中： n ——电机转速； f ——电极供电频率； S ——转差率； P ——电机极对数。

由(6)式可知，通过改变电机的供电频率 f 就可以改变电动机的转速，考虑到取心绞车实际工况和取心绞车高动态性能，电机速度选择矢量转矩控制。XD50型钻机绳索取心绞车中通过绞车手柄(即4~20 mA模拟量)给定S7-1200PLC转速信号，PLC通过与变频器之间Profibus通讯给定频率信号。由于一般的电动机调速都是线性的，因此频率给定曲线可简单地通过定义首位两点之间的坐标即可确定该曲线，频率给定曲线 $f(x)=f(P)$ ，这里 P 为手柄电流信号，而变频电机的正反转通过手柄正转命令端子或反转命令端子实现。

3.3 绳长测控系统

深孔绳索取心作业时，精确打捞对于提高深孔或超深孔取心效率尤为重要，司钻需掌握打捞器在钻孔内的位置来判断是否达到目的深度，以及对钢丝绳张力波动的了解用于判断是否成功打捞^[8]。

由于钢丝绳受自身重力和打捞器内管总成重力会出现变形伸长，导致检测到的钢丝绳释放长度并不等于打捞器和内管总成在井内的深度，因此通过测量绞车释放的钢丝绳长度来计量打捞器和内管总

成在井内的具体深度是不准确的,可对钢丝绳的实际伸长量进行矫正计算,影响深度计量准确性的主要因素为钢丝绳的弹性变形。

按照胡郁乐等^[7]的分析计算,绞车钢丝绳提升系统简化成如图7所示的变形模型,从绞车卷筒绕到天轮到打捞器之间的钢丝绳可以分成3段:从天轮到井底的钢丝绳悬垂长度 L ;天轮包弧内钢丝绳长度 R ;钢丝绳弦长 H 。这3段钢丝绳随着终端载荷不同产生的弹性变形也不同,每段钢丝绳的原长和弹性变形之和为钢丝绳本段的实际长度。

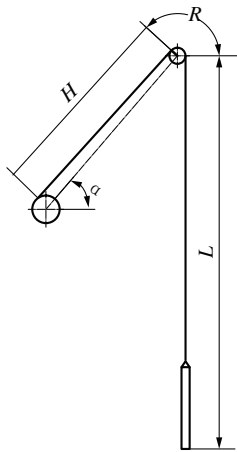


图7 绞车钢丝绳提升系统的变形模型

Fig.7 Deformation model for the rope hoisting system

$$L = L_0 + L_e \quad (7)$$

$$R = R_0 + R_e \quad (8)$$

$$H = H_0 + H_e \quad (9)$$

$$L_0 = S_0 - R_0 - H_0 \quad (10)$$

式中: H_0 、 R_0 、 L_0 ——分别为相应段原长, R_0 、 H_0 可以由绞车和天轮安装位置确定, L_0 可以通过检测绞车释放钢丝绳长度 S_0 确定; H_e 、 R_e 、 L_e ——分别为相应段弹性变形长度; H 、 R 、 L ——分别为相应段变形后的实际长度。

通过王福强等^[28]经验公式和分析计算,可以得到 H_e 、 R_e 、 L_e 各相应段弹性变形长度为:

$$L_e = \frac{1}{EA} \left(QL_0 + \frac{1}{2} PL_0^2 \right) \quad (11)$$

$$R_e = \frac{1}{EA} [Q + P(L_e + L_0)] R_0 \quad (12)$$

$$H_e = \frac{1}{2EA} [2QH_0 + 2P(L_e + L_0)H_0 - 2H_0^2 \sin \alpha] \quad (13)$$

式中: E ——钢丝绳弹性模量; A ——钢丝绳中所有钢丝断面积之和; Q ——钢丝绳终端载荷; P ——钢丝绳单位长度质量; α ——绞车钢丝绳出绳角。

综合矫正各段变形量后,可以得到绞车钢丝绳的实际下放深度:

$$S = S_0 + L_e + R_e + H_e \quad (14)$$

3.4 张力测控系统

当打捞器到达内管位置时,通过对下放到内管位置的张力与提升内管的张力对比来判断打捞矛头是否悬挂上内管总成。张力的测量可通过绞车张力传感器测量或者通过变频器获取电机电流值进行计算,对于前者学者们做过很多研究并制作了专用的三滑轮测量装置^[6],但该方法具有一定的局限性,因为该装置需安装在井架上,维护时极为不便;而对于后者不需要专用的测量装置,只需要简单的计算即可,但是此时获取的张力值受绞车系统传动链效率的影响,存在一定的误差。本文采取二者的结合,设置的张力传感器安装于排绳装置上,通过张力传感器获取的张力值和变频器反馈的值进行拟合,获取精确的张力值。

3.4.1 张力测量装置

排绳导绳架结构示意图和大导轮绕绳方式与受力分析见图8,导轮安装在销轴传感器上,通过销轴传感器就可以计算出钢丝绳的拉力,假设大导轮两侧钢丝绳的张力分别为 F_1 和 F_2 ,显然 $F_1 = F_2$,钢丝绳对销轴称重传感器所施加的力 F 为 F_1 和 F_2 的合力,设 F_1 与 F_2 之间的夹角为 2β ,则 $F = 2F_1 \cos \beta$,由此可计算出钢丝绳的张力 F_1 的大小:

$$F_1 = \frac{F}{2\cos \beta} \quad (15)$$

3.4.2 变频器测量张力

提升力通过变频器控制电机扭矩大小决定^[11],通过变频器限制电机的最大输出转矩即可控制钢丝绳的最大提升张力 F_{\max} :

$$F_{\max} = \frac{4T_{\max}i}{d} \quad (16)$$

式中: T_{\max} ——电机的最大扭矩, $N \cdot m$; i ——绞车减速比; d ——卷筒光毂直径,mm。

绞车电机的输出扭矩通过S120型变频器的力矩设置选项页进行设定,也可通过PLC控制报文实时改变当前电机的输出扭矩,根据式(16)推出当前钢丝绳受到的牵引张力。张力控制方面,PLC通过

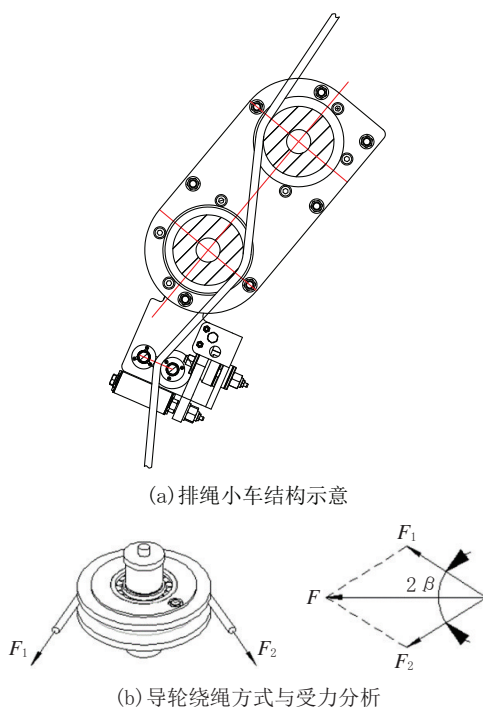


图8 导轮绕绳方式与受力分析

Fig.8 Rope winding mode and stress analysis of the regulating wheel

变频器的控制单元获取当前电机的反馈输出转矩,当反馈转矩大于设定转矩时,PLC控制变频器驱动模块从速度模式切换到转矩模式,防止力矩超限;当检测到反馈转矩小于设定转矩时,控制驱动模块由转矩模式切换至速度模式防止电机飞车。

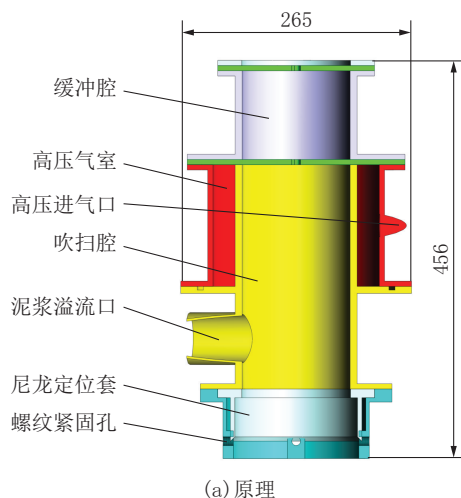
4 绞车辅助装置

4.1 钢丝绳清洁装置

钻井液一般均具有较强的腐蚀性,若不及时清理将严重影响钢丝绳的整体寿命和破坏钻台的环境卫生。借鉴行业内相关技术,借助平台高压气源设计了一款移动气吹式除泥器(见图9)。用法为在取心绞车上提内管总成时,使用高压压缩空气,对取心绞车的钢丝绳进行即时吹洗,清洗掉附着在钢丝绳上的泥浆,防止由于泥浆的腐蚀造成钢丝绳锈蚀而缩短钢丝绳的使用寿命和防止钢丝绳上的泥浆带入高空后漂落至钻台造成人员、设备、仪器污染。

4.2 钢丝绳检测装置

绳索取心工艺是小口径岩心钻探中成熟的钻探施工技术,目前被广泛采用,但也存在着各种弊端,取心钢丝绳断裂事故发生的较为频繁就是其中之



(a)原理



(b)应用

图9 钢丝绳清洁装置

Fig.9 Wire-line cleaning device

一,处理它的方法尤为重要,处理得当,就事半功倍^[18]。在取心绞车下放打捞器过程中对取心绞车的钢丝绳工况进行在线实时检测探伤,当钢丝绳内部或外部出现断丝或断股、外径磨损到一定程度后进行实时预警,保证钢丝绳安全工作,可以防止在取心过程中出现断裂,进一步引发孔内安全事故的发生。5000 m绳索取心绞车集成了钢丝绳检测装置,该装置由钢丝绳检测传感器、导向轮、支架、数据采集分析储存软件、计算机组成,原理见图10,现场应用情况见图11。

4.3 取心打捞孔内数据采集装置

取心打捞孔内数据采集装置用于测量当前回次钻孔的最新顶角数据。仪器与打捞器连接,可在回次打捞岩心的过程中取得钻孔顶角数据,无需再用

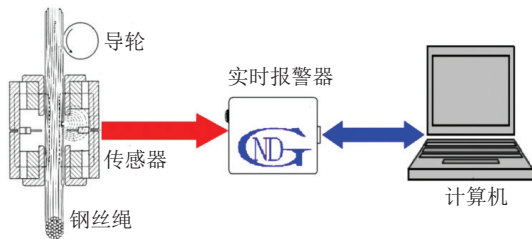
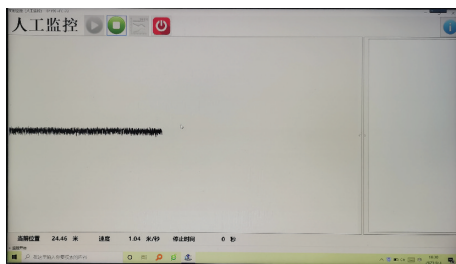


图10 钢丝绳检测原理

Fig.10 Schematic diagram of wire-line testing



(a) 安装方式



(b) 探伤数据

图11 钢丝绳检测装置应用情况

Fig.11 Application of the wire-line testing device

测斜仪专门进行钻孔轨迹测量,在某种程度上可取代测斜仪,这样无需花时间专门进行钻孔顶角测量,因此能在最短的时间内获得钻孔的最新顶角数据。该仪器能连续记录不同孔深对应的钻孔顶角、孔内

压力及温度数据。仪器在地面可利用智能手机通过蓝牙方式进行无线数据读取,得到最新的孔内数据。绳索取心孔内数据记录仪结构组成见图12,手机端接收软件界面见图13。

5 应用情况

5000 m绳索取心绞车作为国家重点研发项目“5000米智能地质钻探技术装备研发及应用示范”课题二“5000米地质岩心钻机关键技术与装备研制”的关键部件,于2021年6月开始,在河北省保定市博野县结合中国地质调查局地质调查项目“冀中坳陷深部碳酸盐热储调查评价”(井号:JZ04井)进行了生产试验。该井主要钻井目的为揭穿高阳低凸起中南部新生界地层,揭露中一新元古界碳酸盐岩地层,获取深部热储层厚度、温度、岩性、渗透性、出水量等参数,为深部地热资源评价工作提供基础资料,为查明博野潜山区碳酸盐岩地层分布情况及高阳—博野断裂空间展布,结合安国、蠡县等地区的碳酸盐岩地热井数据,研究高阳低凸起中南部碳酸盐岩储层分布特征,提供实钻数据^[29-30]。

在钻深4007.01 m的JZ04地热地质勘探井,5000 m智能地质钻探技术装备集成应用示范工程按照小口径绳索取心满眼钻进要求,下入4007.01 m的 $\phi 146$ mm套管,实现了新的小口径钻孔结构,采用P规格绳索取心钻具智能化控制钻进,终孔深度达到4017.50 m,岩心采取率达到97.08%^[31],5000 m绳索取心绞车作为关键部件承担了绳索取心重要工作,多次入井进行打捞、脱卡作业,进行了带速下放、自由下放、紧急制动、慢速提、快速提等多种作业模式,运行中绞车主体工作平稳,监控系统运行正常,主、被动排绳机构运行良好,钢丝绳清洁装置、钢丝绳检测装置、取心打捞孔内数据采集装置等绞车辅助装置应用效果良好,试验情况见图14。

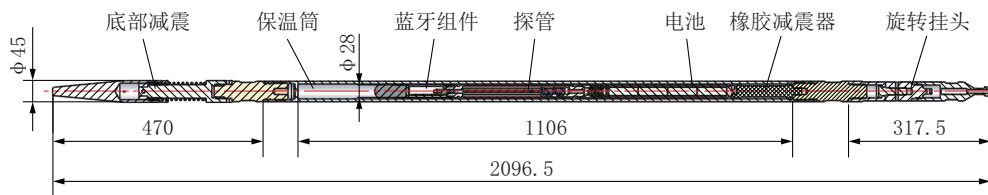


图12 绳索取心孔内数据记录仪

Fig.12 Wire-line coring down hole data recorder



图13 手机端数据接收软件界面

Fig.13 Interface of data receiving software on the mobile terminal



图14 5000 m 绳索取心绞车应用情况

Fig.14 Application of 5000m wire-line coring winch

6 结语

配有排绳机构、钢丝绳清洁装置、钢丝绳检测装置、孔内数据采集等装置的5000 m绳索取心绞车的研制对于超深孔地质钻探具有重大的意义,具体表现为:

(1)主、被动式排绳机构,放绳时采用被动排绳和提升时采用主动排绳方式的选择,排绳效果良好,其原理适用于4000 m以深孔绞车钢丝绳的排绳,在地质岩心钻探领域具有推广意义。

(2)钢丝绳清洁装置与钢丝绳检测装置的应用,有效地提高了钢丝绳的寿命和预防了钢丝绳的断裂。

(3)取心打捞孔内数据采集装置的应用有效地缩短了超深井测井周期,司钻可实时掌握钻孔井斜、方位角等关键参数,在条件允许的井场可以借鉴使用。

参考文献 (References):

- [1] 董树文. 向地球深部进军的号角已经吹响[N]. 中国国土资源报, 2016-09-07(006).
DONG Shuwen. The bugle has been blown to tap into the deep earth[N]. China Land and Resources News, 2016-09-07(006).
- [2] 张金昌, 刘凡柏, 黄洪波, 等. 5000米智能地质钻探技术与装备研发[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(4): 1-8.
ZHANG Jinchang, LIU Fanbai, HUANG Hongbo, et al. Research and development of 5000m intelligent geological drilling technology and equipment[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(4): 1-8.
- [3] 臧臣坤, 黄洪波, 周政, 等. 5000m自动化地质岩心钻机的研制[J]. 地质装备, 2021, 22(5): 3-8.
ZANG Chenkun, HUANG Hongbo, ZHOU Zheng, et al. Development of 5000m automatic geological core drill[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2021, 22(5): 3-8.
- [4] 任启伟, 刘凡柏, 高鹏举, 等. 5000米绳索取心绞车设计[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(4): 46-52, 57.
REN Qiwei, LIU Fanbai, GAO Pengju, et al. Design of 5000m wireline coring winch[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(4): 46-52, 57.
- [5] 刘文武, 高利艳, 郭坤, 等. 3500m电动深海随钻取心绞车的研制[J]. 地质装备, 2018, 19(1): 19-21.
LIU Wenwu, GAO Liyan, GUO Kun, et al. Development of electric deep-sea core-while-drilling winch 3500m [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2018, 19(1): 19-21.
- [6] 高明帅, 孙军盈, 沈怀浦, 等. 4000m地质钻探电传动自动排绳取心绞车研制[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会. 第二届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集. 北京: 地质出版社, 2019: 385-392.
GAO Mingshuai, SUN Junying, SHEN Huaipu, et al. Development of electric coring winch with automatic rope winding for 4000m geological drilling [C]//Mineral Engineering Committee, Geological Society of China. Special for the Twentieth National Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tun-

- neling) Academic Conference. Beijing: Geological Publishing House, 2019:385-392.
- [7] 胡郁乐,喻西,张惠,等.6000m用取心绞车电液控制及辅助监测系统设计[J].矿山机械,2016,44(2):31-34,41.
HU Yule, YU Xi, ZHANG Hui, et al. Design of electro-hydraulic control and auxiliary monitoring system for 6000m coring winch[J]. Mining Machinery, 2016,44(2):31-34,41.
- [8] 张恒春,胡郁乐,陈福练,等.松科2井6500m绳索取心绞车研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(S1):209-212.
ZHANG Hengchun, HU Yule, CHEN Fulian, et al. Development of 6500m wire-line coring winch of Well Songke-2[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(S1):209-212.
- [9] 潘飞,臧臣坤,孙军盈,等.DB4000型变频电动绳索取心绞车的研制与应用[J].地质装备,2014,15(2):11-14
PAN Fei, ZANG Chenkun, SUN Junying, et al. Development and application of DB4000 type variable frequency electric rope winch [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2014, 15(2):11-14.
- [10] 孙军盈,杨硕,臧臣坤,等.DB4000型变频电驱动绳索取心绞车的智能化控制[J].地质装备,2013,14(3):11-14.
SUN Junying, YANG Shuo, ZANG Chenkun, et al. Intelligent control of DB4000 type frequency conversion electric drive rope winch [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2013, 14(3):11-14.
- [11] 蒋恒深,吴朋朋,朱小东.基于S120的光电复合缆绞车驱动控制系统设计[J].机电设备,2017,34(6):14-18.
JIANG Hengshen, WU Pengpeng, ZHU Xiaodong. Design of drive and control system of hybrid optic-electric cable winch based on S120 [J]. Mechanical and Electrical Equipment, 2017,34(6):14-18.
- [12] 刘狄磊,李晓磊,徐清.绳索取心绞车排绳器关键问题研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(5):57-61.
LIU Dilei, LI Xiaolei, XU Qing. Research on key problems in rope-arranging device for wire-line core winch [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(5):57-61.
- [13] 古卫鹏,刘凡柏,张金昌.绳索取心绞车技术发展综述[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会.第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集.北京:地质出版社,2015:93-99.
GU Weipeng, LIU Fanbai, ZHANG Jinchang. Review of advances in wire line coring winch technology [C]//Mineral Engineering Committee, Geological Society of China. Special for the Eighteenth National Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling) Academic Conference. Beijing: Geological Publishing House, 2015:93-99.
- [14] 古卫鹏.4000米地质岩心钻机中绳索取心绞车研究[D].北京:中国地质大学(北京),2016.
GU Weipeng. Research on the wireline coring winch for the 4000m geological core drill [D]. Beijing: China University of Geoscience (Beijing), 2016.
- [15] 刘凡柏,任启伟,伍晓龙,等.3500 m岩心钻探装备的研制及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(S1):231-236.
LIU Fanbai, REN Qiwei, WU Xiaolong, et al. Development and application of 3500m core drilling equipment [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(S1):231-236.
- [16] Michael Marley. Single Drum Winch Design [J]. Marley Machinery Articles and Specification, 2004,5:81-83.
- [17] 李小清,余森,沈祖英,等.数字化智能排绳器的设计[J].工矿自动化,2014,40(5):81-84.
LI Xiaoqing, YU Miao, SHEN Zuying, et al. Design of digital intelligent rope guider [J]. Industry and Mine Automation, 2014,40(5):81-85.
- [18] 宋世杰,付相友,于孟亮.绳索取心钻探过程中取心钢丝绳断裂的处理工艺探讨[J].地质装备,2018,19(5):32-33.
SONG Shijie, FU Xiangyou, YU Mengliang. Discussion on the treatment technology of coring wire rope fracture during rope coring drilling [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2018,19(5):32-33.
- [19] 孙军盈,宋志亮,臧臣坤,等.5000m智能地质岩心钻机集成控制系统设计[J].地质装备,2021,22(6):3-8,18.
SUN Junying, SONG Zhiliang, ZANG Chenkun, et al. Design of integrated control system for 5000 m intelligent geological core drill [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2021,22(6):3-8,18.
- [20] 任启伟,刘凡柏,高鹏举,等.基于PLC的绳索取心绞车智能控制系统研究[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会.第二届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集.北京:地质出版社,2019:359-369.
REN Qiwei, LIU Fanbai, GAO Pengju, et al. PLC based intelligent wire line core drilling winch control system [C]//Mineral Engineering Committee, Geological Society of China. Special for the Twentieth National Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling) Academic Conference. Beijing: Geological Publishing House, 2019:359-369.
- [21] 曹粲.基于步进电机闭环驱动的排绳机构控制的研究[D].长沙:中南大学,2009.
CAO Can. Research on control of the cable arrangement mechanism based on closed loop drive by the step motor [D]. Changsha: Central South University, 2009.
- [22] 熊云昌,陈红毅,杨荣卿.绞车排绳运动分析与控制[J].矿山机械,2010(21):51-54.
XIONG Yunchang, CHEN Hongyi, YANG Rongqing. Motion analysis and control of aligned ropes of winch [J]. Mining & Processing Equipment, 2010(21):51-54.
- [23] 李志刚,徐祥娟,喻开安,等.深水铺管船储缆绞车排缆器受力

- 和运动分析[J].石油矿场机械,2011,40(4):29-32.
- LI Zhigang, XU Xiangjuan, YU Kaian, et al. Mechanical and kinematical analysis of line guide device of storage winch on the deepwater pipeline laying vessel [J]. Oil Field Equipment, 2011,40(4):29-32.
- [24] 章远香. 缆阵绞车自动排缆系统的仿真分析[J]. 声学及电子工程, 2009(3):18-20.
- ZHANG Yuanxiang. Analysis of the automatic cable laying system of the cable winch[J]. Acoustics and Electronics Engineering, 2009(3):18-20.
- [25] 任启伟,刘凡柏. 3500m 岩心钻探装备绳索取心绞车自动排绳器的研制[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013,40(S1):61-64,72.
- REN Qiwei, LIU Fanbai. Development of the automatic rope arranging device for the wireline winch of 3500m core drilling equipment[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(S1):61-64,72.
- [26] 潘飞,臧臣坤,孙军盈,等. DB4000型变频电动绳索绞车的研制与应用[J]. 地质装备, 2014,15(2):11-14.
- PAN Fei, ZANG Chenkun, SUN Junying, et al. Development and application of DB4000 variable frequency electric rope winch[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2014,15(2):11-14.
- [27] 胡志辉. 双折线式多层卷绕钢丝绳失效行为及损伤机理研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2012.
- HU Zhihui. Research on failure behavior and damage mechanism of double-fold wire rope with multi-layer winding [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2012.
- [28] 王福强,金英姬. 提升系统的弹性变形对提升位置的影响分析及其计算[J]. 有色金属(矿山部分),1997(1):31-34.
- WANG Fuqiang, Kim Younghee. Influence analysis and calculation of elastic deformation of lifting system on lifting position [J]. Nonferrous Metals (Mining), 1997(1):31-34.
- [29] 伍晓龙,杜垚森,王庆晓. 冀中坳陷区域JZ04井钻井工程设计[J]. 钻探工程, 2021,48(7):84-90.
- WU Xiaolong, DU Yaosen, WANG Qingxiao. Drilling engineering design of well JZ04 in Jizhong depression[J]. Drilling Engineering, 2021,48(7):84-90.
- [30] 刘凡柏,李文秀,王庆晓,等. YDX-5型全液压岩心钻机的研制及应用[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会. 第十六届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集. 北京:地质出版社,2011:59-66.
- LIU Fanbai, LI Wenxiu, WANG Qingxiao, et al. Development and application of YDX-5 full hydraulic core drilling machine [C]//Mineral Engineering Committee, Geological Society of China. Special for the Sixteenth National Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling) Academic Conference. Beijing: Geological Publishing House, 2011:59-66.
- [31] 《钻探工程》编辑部. 2021年探矿工程十大新闻[J]. 钻探工程, 2022,49(1):1-4.
- Editorial Office of Drilling Engineering. 2021 top 10 news in exploration engineering [J]. Drilling Engineering, 2022,49(1):1-4.

(编辑 荐华)