

5000 米绳索取心绞车设计

任启伟^{1,2}, 刘凡柏¹, 高鹏举¹, 李文秀¹, 伍晓龙¹, 赵 远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: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。在绳索取心钻进中,绳索取心绞车是地质钻探装备中的主要设备,近半个世纪以来,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。本文通过分析国内外现有绳索取心绞车的优缺点,提出了 5000 m 绳索取心绞车设计方案,设计绞车为分体式结构,由交流变频器柜和绞车主体两大部分组成。计算了 5000 m 绳索取心绞车设计的关键技术参数,绞车总功率为 60 kW,配套 12 mm 钢丝绳,最大可提供 50 kN 的提升力,光毂提升速度最快可达 60 m/min。针对绳索取心绞车提升过程中滚筒钢丝绳常见的叠绳、压绳、咬绳等问题,设计了双折线绳槽。

关键词:深部钻探;绳索取心绞车;里巴斯卷筒皮;变频电机

中图分类号:P634.3⁺5 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2020)04-0046-07

Design of 5000m wireline coring winch

REN Qiwei^{1,2}, LIU Fanbai¹, GAO Pengju¹, LI Wenxiu¹, WU Xiaolong¹, ZHAO Yuan¹

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

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

Abstract: In deep-hole geological core drilling, wireline core drilling technology has great advantages for improving drilling quality and production efficiency. In wireline core drilling, the winch is the main part of the geological drilling equipment. With the development, maturity and wide application of wireline coring technology over nearly half a century, the wireline winch system has become more safe and reliable. Through analysis of the advantages and disadvantages of the wireline coring winches at home and abroad, this paper proposes a design scheme for the 5000m rope coring winch, which adopts a split structure and consists of two parts: the AC inverter cabinet and the winch itself. The key technical parameters of the design of the 5000m wire coring winch are calculated with the results as: the total power of the winch 60kW, maximum lifting force of the matching 12mm steel wire rope 50kN, and the fastest lifting speed of the light hub 60m/min. Aiming at the work conditions such as overlapping, cross cutting, and biting of lines, which are common during the lifting process of the rope core winch, the double fold grooves are designed.

Key words: deep drilling; wireline coring winch; Ribas reel; frequency conversion motor

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。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

收稿日期:2020-02-23 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.04.007

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 米地质岩心钻机关键技术与装备研制”(编号:2018YFC0603402)

作者简介: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工作,河北省廊坊市金光道 77 号,rqw1990@163.com。

引用格式: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.

机中的关键设备,在绳索取心钻进工艺中,特别是在超深井、复杂地层和深井连续取心中显得尤为重要,不仅在设计参数上要满足使用要求,同时要保证打捞岩心过程的工作安全和打捞效率,需要实现绞车提放速度的监测和控制,还需要准确掌握打捞器是否下放到位、是否打捞成功的状态信息以及提升时钢丝绳高效有序的排列等^[2-6]。

在近半个世纪的发展过程中,国内外绳索取心绞车方面的主要成果有:绞车的设计研究趋向系统化;自动化、智能化水平有显著提高^[2,7-10];机械结构更加完善合理;在机械式、液压式、电控式、混合式等绞车设计上均有所突破^[2-5,11-14];引入计算机模拟装配及仿真模拟^[14];机械结构设计更趋标准化^[15];绞车容绳量范围广。绞车排绳机构主要有以下几种:人力机械排绳、双导向螺杆排绳、凸轮排绳、齿轮齿条排绳、皮带排绳、丝杠排绳等^[16-20]。其中丝杠结构在业内认可度相对较高,其具有结构紧凑、排绳均匀、传动平稳等优点,但是丝杠式排绳机构需配备专用减速器与驱动电机,具有机械复杂、安装成本较高等缺点^[21-28]。

鉴于上述分析,5000 m 绳索取心绞车的设计应以变频电机为绞车驱动力,通过 PLC 实现跟随排绳和自由落体下放、实时记录孔深、阻卡报警、快速提

升缓冲装置等功能。本文主要研介绍了绳索取心绞车主体方案设计和关键零部件设计。

1 方案设计

从 2018 年开始,通过广泛的调研和可行性分析,提出了两套设计方案。

1.1 方案一

绞车由一台大功率的交流变频电动机(含风机)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 1 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。绞车主电机采用一台 ACS550 的变频器驱动,变频器采用 ABB 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。绞车系统配置方案见图 1。采用这种绞车结构可以解决以下问题:(1)将提升和储存功能集为一体,绞车主动力由一台大功率电机提供,结构紧凑,控制简单;(2)采用交流变频调速方式实现从零速到最大速的无极调速(调速范围广),可以在低速和堵转工况下提供 100%额定转矩;(3)采用先进可靠的液压盘式刹车和气胎离合器,可以实现无动力放绳。

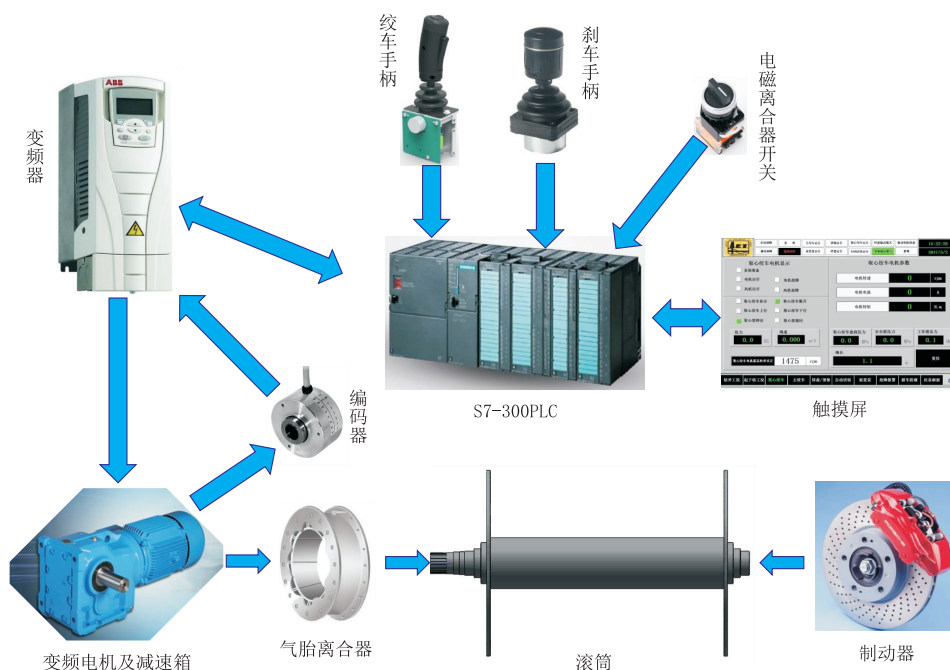


图 1 方案一配置方案图

Fig.1 Plan of Scheme 1 winch

1.2 方案二

绳索取心绞车收放系统由牵引绞车和储存绞车组成,牵引绞车布置在井架定滑轮的前面,储存绞车顺序布置在牵引绞车的后面(如图2所示)。牵引绞车由结构相同、顺序排列的两个绞盘构成,每个绞盘上带有多个平行缆槽。连接井底钻具的钢丝绳通过绞车导向轮后进入牵引绞车,在两个绞盘上交替缠绕,再通过导向轮进入储存绞车。储存绞车为卷筒结构形式,可容纳全部钢缆,轴线沿钢丝绳收放方向布置在牵引绞车后方。钢丝绳由牵引绞车进入储存绞车,通过导向轮和排缆机构在卷筒上缠绕。绞车工作时,钢丝绳由负重端进入牵引绞车,依次在牵引绞车的两个绞盘上缠绕多圈后(通常有6个缆槽),两个绞车盘同步驱动,由缆槽与钢丝绳之间的摩擦产生提升力。由于钢丝绳在牵引绞车缠绕圈数较多,在牵引绞车出缆处的张力相对于入缆处大大减少。因牵引绞车的“放大”作用,储存绞车只需保持一个较小的张力,就可以满足提升井底钻具的需要。

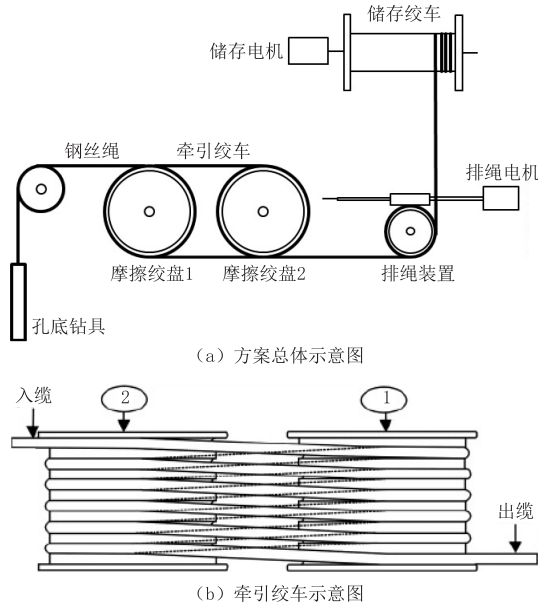


图2 方案二示意图

Fig.2 Plan of scheme 2 winch

采用这种双绞车结构可以解决以下问题:(1)将提升和储存功能分开,由牵引绞车产生提升力,避免了由于缠绕半径变化对驱动力矩的影响,减小了最大驱动力矩,同时将负荷分配在两个绞盘上,也减少了单个驱动机构的功率;(2)将储存绞车沿轴向布置,卷筒长度不再受排缆轮偏角影响,卷筒长度可大大增加,使钢丝绳缠绕层数控制在较小范围内,也减

小了转动惯量的增大,降低了储存绞车的驱动功率;(3)钢丝绳在卷筒上缠绕的张力远小于钢丝绳的提升力,因此即使在钻具提出孔口的瞬间,钢丝绳最外层的张力仍然能够维持在一个很小的范围,可以避免外层缆进入内层。

1.3 方案确定

由以上两种方案对比分析可以看出:(1)方案一结构简单,布局紧凑,数字化控制要求相对较低,但是方案一中钢丝绳的所有张力均作用在卷筒上,使用过程中外层钢丝绳对内层钢丝绳的挤压作用大;而方案二虽然结构复杂,数字化控制要求高,但是滚筒上张力恒定,使用过程中外层钢丝绳对内层钢丝绳的挤压力较方案一小。(2)方案一中通过气胎离合器与液压盘式刹车的配合,可实现打捞器的无动力下放,但是方案二中钢丝绳与牵引绞车摩擦盘是接触式的,其打捞器本身的重量无法克服牵引绞车绞盘摩擦力而实现无动力下放。因此考虑到项目设计要求、经济性与后期设备维护保养,本次设计采用方案一。

2 关键零部件设计

2.1 钢丝绳选型及计算

钢丝绳是绳索取心绞车实现提升功能的关键部件,钢丝绳的抗拉能力在一定程度上决定了绳索取心绞车的提升能力,因此选取钢丝绳的型号、尺寸等,对于本文所研究的5000 m地质岩心钻机中绳索取心绞车最终的功能实现具有重要的影响。

根据地质岩心钻机中对绳索取心绞车容绳量的一般经验,5000 m绳索取心绞车最大容绳量设定为5500 m,本文设计的绳索取心绞车要求最大提升力能够达到50 kN,主要考虑5500 m长的钢丝绳自重以及钻具总重,加之要求绳索取心绞车具有一定的处理孔内事故的能力。根据实际工作效率需要及考核指标,要求绳索取心绞车光毂速度能够达到1 m/min。

综上所述,初选取公称直径为12 mm的钢丝绳,并针对各尺寸,分别进行相关设计校核计算。此次设计的绳索取心绞车适用的地质岩心钻机钻深能力为P规格5000 m,因此,计算过程中取钢丝绳总长5000 m,取心钻具的总质量根据实际钻探工况可知,其含岩心总质量一般为100~500 kg,取最大值500 kg。安全是任何一项工作的重中之重,因此在

选取钢丝绳自重安全系数时,本文选取安全系数数值为 2。

根据文献[29]可知,型号为 $6 \times 7 + FC$ 的钢丝绳(天然纤维芯),公称抗拉强度为 1770 MPa 时,直径为 12 mm 的钢丝绳破断力 84.6 kN。参考质量 m 取值: $m = 50.5 \text{ kg}/(100 \text{ m})$ 。在理论状态下,钻井过程中钢丝绳下放的长度最大取值: $L_{\max} = 5000 \text{ m}$,因此可计算出钢丝绳下放至 5000 m 最长时,钢丝绳的自重。

钢丝绳总质量计算公式:

$$\begin{aligned} M &= L_{\max} m \\ &= 5000 \text{ m} \times 50.5 \text{ kg}/(100 \text{ m}) \\ &= 2525 \text{ kg} \end{aligned}$$

钢丝绳+钻具总重力计算公式:

$$\begin{aligned} G &= M \cdot g \\ &= (2525 + 500) \text{ kg} \times 9.8 \text{ N}/\text{kg} \\ &= 29.65 \text{ kN} \end{aligned}$$

为安全起见,取心绞车钢丝绳的安全系数取值为 2,因此计算该取心绞车钢丝绳的最大拉力为:

$$T_{\max} = 2G = 59.3 \text{ kN} < 84.6 \text{ kN}$$

综上所述可知, $\phi 12 \text{ mm}$ 天然纤维心钢丝绳能够满足设计所需。

2.2 卷筒结构设计及张力计算

取心绞车提升、下放取心钻具的功能是通过驱动卷筒缠绕钢丝绳实现的,因此卷筒作为绳索取心绞车核心的受力部件之一,其结构与强度校核不容忽视。本取心绞车在卷筒结构方面既继承了传统结构上的优点,又有一定的结构改进。在卷筒光毂采用标准管材,轴头两端以短轴头深入管内焊接,比传统的整轴贯穿卷筒在总质量上有所减轻,焊接工艺简单,加工方便。卷筒主体可分为四部分:钢丝绳左、右挡板;标准管材;左端轴头;右端轴头,这几部分之间均通过焊接形式实现连接。

根据文献[30],卷筒直径与钢丝绳直径有如下比例关系:

$$D_j = (12.5 \sim 27.3)d$$

式中: D_j ——卷筒直径,mm; d ——钢丝绳的直径, $d = 12 \text{ mm}$ 。

计算得出卷筒直径范围为: $D_j = 150 \sim 327.6 \text{ mm}$ 。

结合直径计算结果,最终设定卷筒直径为: $D = 292 \text{ mm}$ 。考虑加工余量及型材标准,根据文献[30]

卷筒选取 $\phi 302 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ 的标准管材。

钢丝绳左右挡板高度是由卷筒长度、取心绞车容绳量、钢丝绳直径以及缠绕方式等决定的。因此,计算过程中,设定卷筒长度为 B 、每层缠绕圈数为 Z 、钢丝绳在卷筒上缠绕层数为 n 。卷筒长度 B 与每层圈数 Z 之间比例关系如下式:

$$Z = B/d$$

结合实际工况,卷筒长度 B 取值为 1188 mm,则由上式可得每层缠绕圈数 $Z = 99$ 圈。在上文论述中已经确定本次设计的绳索取心绞车容绳量需达到 5500 m,即缠绕在取心绞车卷筒上的钢丝绳总长度为 5500 m,即卷筒的容绳量 $L = 5500 \text{ m}$ 。而钢丝绳在卷筒上的缠绕方式为理想状态,即每层相互平行叠加,层层累加至最末端。钢丝绳在卷筒的缠绕简图如图 3 所示,卷筒每层各项参数计算见表 1。

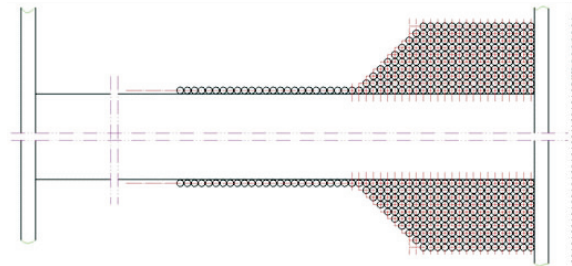


图 3 卷筒理论缠绳简图

Fig.3 Theoretical wireline laying of the reel

由表 1 可以看出,在第 13 层时,理论提升质量 2203.66 kg,提升力虽然为 21.6 kN,但提升力矩为最大值可达 6392.37 N·m。在常规计算中均以光毂提升力作为计算参数,本文中光毂理论提升质量为 3025 kg,提升力为 29.65 kN,提升力矩值为 4506.04 N·m。可以看出第 13 层提升力矩比光毂提升力矩高 142%,因此在功率与提升力计算时此值是重点参考数值。

2.3 双折线绳槽的设计

钢丝绳在卷筒上多层缠绕的理想状态是钢丝绳排列整齐,避免乱绳,引导钢丝绳顺利进入下一层,并整齐的排列在上层钢丝绳的绳股之间。研究发现,钢丝绳寿命除了正常受拉应力影响外,上下层钢丝绳之间的挤压同样有重要的影响,如果上下层之间是交错排列的,对钢丝绳的寿命影响更大,这恰恰是传统的光卷筒和螺旋线卷筒无法解决的问题。为了解决卷筒在多层缠绕时乱绳的问题,美国 LEBUS 先生 1937 年提出了折线绳槽卷筒的概念,在 1950

表1 卷筒每层各项参数计算结果

层数	实际中心距/mm	理论中心距/mm	每层圈数	每层理论储缆量/m	每层提升量/kg	提升力/kN	提升转矩/(N·m)
1	304.00	304	99	94.50	3025.00	29.65	4506.04
2	324.78	328	99	101.96	2977.28	29.18	4785.08
3	345.57	352	99	109.42	2925.79	28.67	5046.40
4	366.35	376	99	116.88	2870.53	28.13	5288.66
5	387.14	400	99	124.34	2811.50	27.55	5510.54
6	407.92	424	99	131.80	2748.71	26.94	5710.71
7	428.70	448	99	139.27	2682.15	26.29	5887.85
8	449.49	472	99	146.73	2611.82	25.60	6040.61
9	470.27	496	99	154.19	2537.72	24.87	6167.68
10	491.06	520	99	161.65	2459.86	24.11	6267.71
11	511.84	544	99	169.11	2378.22	23.31	6339.40
12	532.62	568	99	176.57	2292.83	22.47	6381.39
13	553.41	592	99	184.03	2203.66	21.60	6392.37
14	574.19	616	99	191.49	2110.72	20.69	6371.01
15	594.98	640	99	198.95	2014.02	19.74	6315.97
16	615.76	664	99	206.41	1913.55	18.75	6225.93
17	636.54	688	99	213.87	1809.31	17.73	6099.56
18	657.33	712	99	221.33	1701.31	16.67	5935.52
19	678.11	736	99	228.79	1589.54	15.58	5732.50
20	698.90	760	99	236.25	1474.00	14.45	5489.16
21	719.68	784	99	243.71	1354.69	13.28	5204.17
22	740.46	808	99	251.17	1231.61	12.07	4876.20
23	761.25	832	99	258.64	1104.77	10.83	4503.92
24	782.03	856	99	266.10	974.16	9.55	4086.00
25	802.82	880	99	273.56	839.78	8.23	3621.13
26	823.60	904	99	281.02	701.63	6.88	3107.95
27	844.38	928	40.6	118.31	559.72	5.49	2545.15
28	865.17	952	99	295.94	499.97	4.90	2332.28

年进一步提出双折线绳槽(即指里巴斯绳槽)的概念,达到了满意效果,并有效延长了钢丝绳的使用寿命^[31]。

考虑到5000 m超长钢丝绳的使用,采用双折线绳槽。双折线绳槽在一个缠绕周期内有两个很长的直线区和两个短的折线区,这就使得在多层缠绕时大部分时间钢丝绳在下一层钢丝绳形成的直线段绳槽中缠绕,直线段绳槽有良好的导向作用,保证了钢丝绳的规则缠绕和排绳的稳定性,同时,大幅减小钢丝绳的摩擦磨损,改善钢丝绳之间的接触应力,提高钢丝绳的使用寿命。提升机卷筒折线区两边安装有过渡装置,过渡装置的结构尺寸影响钢丝绳在过渡过程中的受力状态,对钢丝绳排绳稳定性起到关键作用。结合卷筒结构的设计,里巴斯绳槽卷筒皮设计见图4。

2.4 功率计算与电机选型

取心绞车要求能够达到50 kN的瞬时提升能力,同时根据上文提升力矩计算值6392.37 N·m,对变频电机功率相关参数计算以及选型详细解答如下文所述。因取心绞车提升、下放重物,所需动力由变频电机提供。已知工作中所需的最大拉力为29.65 kN。

根据实际工况要求,该取心绞车工作过程中的最低转速要求为1 m/s(即60 m/min),因此依据功率计算公式可知,所需电机功率计算如下:

$$P_x = F \cdot V = 3025 \times 9.8 \times 1 \text{ m/s} = 29.6 \text{ kW}$$

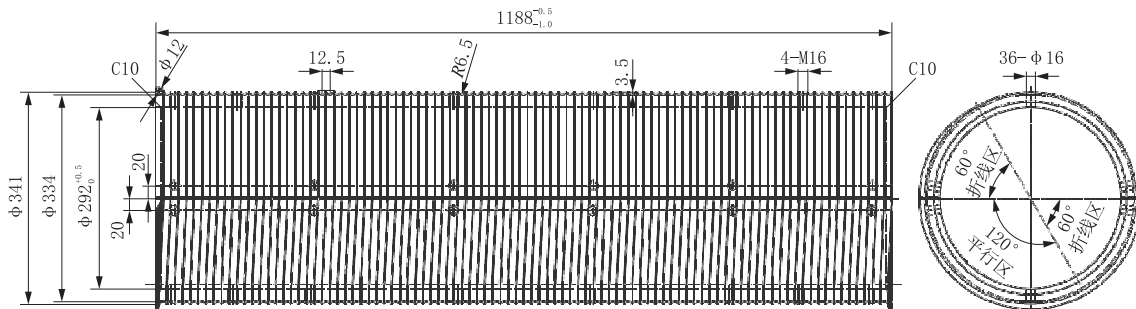


图4 里巴斯卷筒皮

Fig.4 Ribas reel

根据实际电机型号,2倍储备系数,最终选取电机功率为55 kW,额定转速为1480 r/min,结合光毂绳速 $< 60 \text{ m/min}$ (卷筒额定转速为57.27 r/min),传动比为:

$$i = \frac{\text{电机额定转速}}{\text{卷筒额定转速}} = \frac{1480 \text{ r/min}}{57.27 \text{ r/min}} = 25.8$$

通过产品选型,结合实际传动比选为24.74时最为经济,因此减速机传动比选择24.74。具体型号参数为:电机型号MV55型,功率55 kW,转速1480 r/min,额定电流97.8 A,效率93.3%,功率因数 $\cos\varphi$ 为0.87,额定转矩355 N·m,堵转转矩系数2.2,最大转矩系数2.3,堵转电流系数7.2。

根据电机参数额定转矩为 $355 \text{ N} \cdot \text{m}$ 、传动比 24.74,通过简单计算绞车卷筒理论额定提升力矩为 $8728.7 \text{ N} \cdot \text{m}$,光毂额定提升力为 57.4 kN ,提升力矩值大于上文所提的 $6392.37 \text{ N} \cdot \text{m}$,光毂提升力值大于前文所提的 50 kN ,满足提升力矩和提升力的要求。

2.5 绞车主要技术参数

5000 m 绳索取心绞车主要技术参数见表 2,模型图见图 5。

表 2 5000 m 绳索取心绞车主要参数

Table 2 Main parameters of 5000m wire-line winch

项 目	参 数
主电机额定功率/kW	55
排绳电机额定功率/kW	5
电机额定转速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	1480
单绳最大拉力/kN	50
理论额定提升力矩/($\text{N} \cdot \text{m}$)	8782.7
钢丝绳公称直径/mm	12
容绳量/m	5500
绞车挡数	1+1R 无极变速
滚筒尺寸(直径×长度)/mm	$\text{O}206 \times 1200$
滚筒转速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	0~116
光毂绳速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	1
刹车	液压盘式刹车

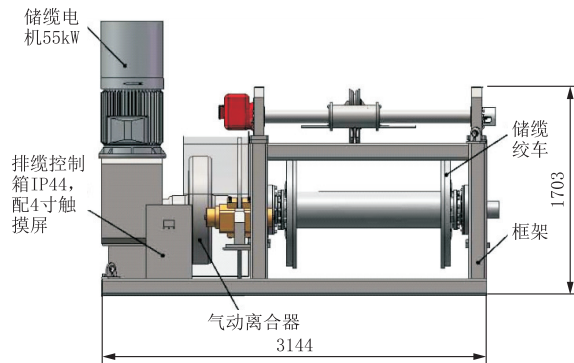


图 5 5000 m 绳索取心绞车模型图

Fig.5 Model of 5000m wireline winch

3 结语

本文通过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 米地质岩心钻机关键技术与装备”中的要求,详细计算了 5000 m 绳索取心绞车设计的关键技术参数,结合国内外绳索取心绞车的发展现状,通过方案分析、钢丝绳选型、卷筒结构设计、电机选型等关键步骤,已初步完成 5000 m 绳索取心绞车的方案设计。

在本次绞车的设计中为提高绞车钢丝绳排绳质量首次引入了双折线绳槽,希望能在后期项目实施中得到验证。

通过本文的设计可以看出,绞车终端负载为 $100 \sim 500 \text{ kg}$,但是钢丝绳的自重却达到 2525 kg ,占总质量的 83.5% 。如果当钻孔深度达到 10000 m 或者 15000 m 时,绞车终端负载依旧变化不大,但是万米长的钢丝绳自重相比于终端负载是一个相当大的数据,同时对于钢丝绳本身,其自身重力可能已经超过它的破断力了,这时钢丝绳作为绳索取心绞车的关键部件是否可行,值得广大科技工作者思考。

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] 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.
- [3] 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[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 of coring winch for drilling of 6000 m[J]. Mining & Processing Equipment, 2016, 44(2): 31-34,41.
- [4] 高明帅,孙军盈,沈怀浦,等.4000 m 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 Tunneling) Academic Conference. Beijing: Geological Publishing House, 2019:385-392.
- [5] 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.

- [6] 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)技术学术交流会论文集.北京:地质出版社,2015:93-99.
GU Weipeng, LIU Fanbai, ZHANG Jinchang. Review of advances in wireline 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, 2015:81-87.
- [7] 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]. China University of Geoscience (Beijing), 2016.
- [8] 刘凡柏,任启伟,伍晓龙,等.3500m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.
- [9] Michael Marley. Single drum winch design[J]. Marley Machinery Articles and Specification, 2004,5:81-83.
- [10] 潘飞,藏臣坤,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 type variable frequency electric rope winch[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2014,15(2):11-14.
- [11] 李小青,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):81-84.
- [12] 吴来杰,严隽薇,江进国.基于单片机的智能排绳控制系统[J].机电一体化,2008,14(6):75-78.
WU Laijie, YAN Juanwei, JIANG Jinguo. A intelligent control system based micro-computer of winch ropealigning device[J]. Mechatronics, 2008,14(6):75-78.
- [13] 曹黎.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 laying device based on closed-loop drive by the step motor[D]. Changsha: Central South University, 2009
- [14] 熊运昌,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.
- [15] 李志刚,徐祥娟,喻开安,等.深水铺管船储缆绞车排绳器受力和运动分析[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.
- [16] 章远香.缆阵绞车自动排绳系统的仿真分析[J].声学及电子工程,2009(3):18-20.
ZHANG Yuanxiang. Imitation Analysis of the automatic cable laying system of the cable winch[J]. Acoustics and Electronics Engineering, 2009(3):18-20.
- [17] 刘跃进,朱江龙,潘飞,等.新一代电驱动深孔岩心钻机的实践与展望[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):22-29.
LIU Yuejin, ZHU Jianglong, PAN Fei, et al. Practice and prospect of new generation electric-drive deep hole core drill equipment[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(S1):22-29.
- [18] 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 drawworks of 3500m core drilling equipment[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(S1):61-64,72.
- [19] 张惠,刘狄磊,罗光强,等.绳索取心绞车多功能装置研究[J].煤矿机械,2012,33(8):157-159.
ZHANG Hui, LIU Dilei, LUO Guangqiang, et al. Research of rope coring winch multi-functioning device[J]. Coal Mine Machinery, 2012,33(8):157-159.
- [20] 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)技术学术交流会论文集.北京:地质出版社,2011:50-57.
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, 2011:50-57.
- [21] 何磊,沈怀浦,杜江.YSJ3000型深孔绳索取心液压绞车的研制[J].地质装备,2011,12(1):14-16.
HE Lei, SHEN Huaipu, DU Jiang. The design of YSJ3000 hydraulic winch for deep wireline coring[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2011,12(1):14-16.
- [22] 叶定奇.排绳机构在电缆车中的应用[J].水雷战与舰船防护,2004(3):80-82.
YE Dingqi. Application of the cable laying mechanism in cable cars[J]. Mine Warfare & Ship Self-Defence, 2004(3):80-82.
- [23] 李军霞,寇子明.调度绞车自动排绳装置的研究[J].煤矿机械,2004(4):30-31.
LI Junxia, KOU Ziming. Study on the dispatching winch self-act aligning steel rope device[J]. Coal Mine Machinery, 2004, (4):30-31.
- [24] 李伟,曹刚.油田测井绞车排绳机构[J].大庆石油学院学报,2002,26(3):80-82.
LI Wei, CAO Gang. Oil field logging winch carrier mechanism[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2002,26(3):80-82.

- frequency conversion system for electric drill rig[J]. China Plant Engineering, 2018(18):136-137.
- [15] 汤宏兵.对钻井泥浆泵带泵传动方式的对比和探讨[J].科技传播,2011(2):163-164.
TANG Hongbing. Comparison of belt transmission modes of drilling pumps[J]. Public Communication of Science & Technology, 2011(2):163-164.
- [16] 姚克,方鹏,邵俊杰,等.狭窄巷道小定向钻机及配套泥浆泵车的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):165-169.
YAO Ke, FANG Peng, SHAO Junjie, et al. Development of small directional drilling rig and mud pump truck in narrow coal roadway[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(10):165-169.
- [17] 柴喜元,欧阳志强,李明星,等.BW-300/16DB 型变频电驱动泥浆泵的研制与应用[J].地质装备,2019,20(2):15-19.
CHAI Xiyuan, OUYANG Zhiqiang, LI Mingxing, et al. The development and application of BW-300/16DB variable frequency electric drive mud pump[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2019,20(2):15-19.
- [18] 胡俊成,黄新杰,周东亮,等.新型五缸钻井泵研制[J].石油矿场机械,2010,39(10):71-74.
HU Juncheng, HUANG Xinjie, ZHOU Dongliang, et al. Developing of new quintuple mud pump[J]. Oil Field Equipment, 2010,39(10):71-74.
- [19] 陈宇生,王全斌,常铃.泥浆泵陶瓷缸套推广应用的可行性分析和试验[J].石油矿场机械,2006,35(4):114-115.
CHEN Ningsheng, WANG Quanbin, CHANG Ling. Feasibility analysis and test of popularizing the ceramic cylinder for the mud pump[J]. Oil Field Equipment, 2006,35(4):114-115.
- [20] 张学明,赵冬冬.基于有限元法的泥浆泵关键零部件强度分析[J].贵阳学院学报(自然科学版),2015,10(4):30-33.
ZHANG Xueming, ZHAO Dongdong. The strength analysis of mud pump key parts based on finite element method[J]. Journal of Guiyang University (Natural Sciences), 2015,10(4):30-33.
- [21] 王晓伟,王松林,苏峰.浅谈泥浆泵缸套、活塞失效分析及合理使用和维护要求[J].化工管理,2019(18):139-140.
WANG Xiaowei, WANG Songlin, SU Feng. Analysis of the failure and intelligent use and service requirement of cylinder liner and piston of mud pump[J]. Chemical Enterprise Management, 2019(18):139-140.
- [22] 柳洋.泥浆泵曲轴的加工工艺[J].机械制造,2014,52(6):76-77.
LIU Yang. Machining process of the mud pump crankshaft[J]. Machinery, 2014,52(6):76-77.
- [23] 吕浩.钻井泥浆泵液缸开裂失效分析[J].热加工工艺,2019,48(7):255-258,261.
LÜ Hao. Crackig failure analysis of hydraulic cylinder in drilling mud pump[J]. Hot Working Technology, 2019,48(7):255-258,261.
- [24] 朱修传,朱劲松.矿井泥浆泵泵阀流场的数值分析[J].煤矿机械,2017,38(4):49-52.
ZHU Xiuchuan, ZHU Jinsong. Numerical analysis on field of pump valve of mine slurry pump[J]. Coal Mine Machinery, 2017,38(4):49-52.
- [25] 柴喜元,李明星,欧阳志强,等.地质钻探往复泥浆泵型式试验方法及现状探讨[J].地质装备,2019,20(6):21-26.
CHAI Xiyuan, LI Mingxing, OUYANG Zhiqiang, et al. Discussion on the type test methods and present situation of reciprocating mud pump in geological drilling[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2019,20(6):21-26.

(编辑 韩丽丽)

(上接第 52 页)

- [25] 潘思勇.绞车短距离导向轮的自动排缆及润滑[J].港口科技,2007(5):27-29.
PAN Siyong. Automatic cable-arranging of guide wheel with in short distance on the winch and its lubrication[J]. Science & Technology of Ports, 2007(5):27-29.
- [26] 李广鑫,曹为,钟朝廷,等.深水铺管船 A&R 绞车控制系统概念设计[J].海洋工程,2011,29(3):122-127.
LI Guangxin, CAO Wei, ZHONG Chaoting, et al. Research on the conceptual design of A & R winch control system for deepwater pipelaying vessel [J]. The Ocean Engineering, 2011,29(3):122-127.
- [27] Muhammad Shahid Shafi, Jianhui Lu, Zhenpeng Song, et al. Design and tension control of double drum winch system for deep-sea exploration equipment[C]// 5th International Conference on Information Engineering for Mechanics and Materials (ICIMM 2015). Hohhot China: 2015:1474-1480.
- [28] Lee Jae-Hak, Yun Young-Won, Hong Hyun-Wook, et al. Tension control of wire rope in winch spooler using magneto rheological brake[J]. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2016,17(2):157-162.
- [29] GB/T 8706-2006/ISO 17893:2004.钢丝绳术语、标记和分类[S].
GB/T 8706-2006/ISO 17893:2004, Steel wire ropes-Vocabulary, designation and classification[S].
- [30] 成大先,等.机械设计手册(第 2 卷)[M].北京:化学工业出版社,2007:8-76.
CHENG Daxian, et al. Handbook of mechanical design (Volume 2)[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007:8-76.
- [31] 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.

(编辑 王建华)