

# 油气钻机用风动小绞车与变频电动小绞车能耗对比研究

廖恒伟<sup>1</sup> 李占柱<sup>2</sup> 范飞<sup>2</sup> 李龙建<sup>2</sup> 孟利宁<sup>1</sup>

(1 宝鸡巨菱钻采设备有限责任公司 陕西 宝鸡 721013; 2 中国石油集团川庆钻探工程有限公司 长庆钻井总公司 陕西 西安 710018)

**摘要:** 当前,节能环保、绿色低碳的观念深入人心,而将节能环保行业列为七大战略新兴产业首位,更是凸显了节能环保设备在国家经济发展战略中的重要地位。本文通过对当前油气钻井作业中常用的风动小绞车与变频电动小绞车在不同运行工况下的能耗对比进行理论分析,并通过实际试验验证,发现同级别的变频电动小绞车与风动小绞车对比,电动小绞车在节能提效方面具有明显优势,具有较好的推广价值。

**关键词:** 能耗; 电动绞车; 风动绞车; 钻机; 变频

## 0 引言

风动小绞车是石油钻井行业必不可少的吊装设备,常在场地、钻台及高空区域进行吊装管柱及井口辅助工具作业时使用。近几年随着国内自动化钻机的推广应用,部分钻机上配备了动力猫道等先进的自动化工具,正常工况下可满足常规管柱上下钻台作业的需要,但部分管柱、所有井口工具及特殊工况作业依然使用风动小绞车,且使用占比依然达到常规钻机90%以上<sup>[1-3]</sup>。

风动小绞车以风动马达为动力,通过减速机传递动力至滚筒,从而起吊重物,具有结构简单、体积功率比大、启动转矩较大、防爆性能好等优点。但其也存在效率低、噪声大、速度稳定性及安全性差等缺点,尤其是其效率低、能耗高的缺点<sup>[1-3]</sup>,与当前我国要尽快实现“双碳”重大战略目标极为不符。

对此,笔者进行了油气钻机辅助提升设备领域小绞车电动化应用的研究,重点研究了风动小绞车与变频电动小绞车的能耗对比,发现在能耗、效率等方面电动小绞车具有极大的优势,进而陆续开发了DJB系列变频电动小绞车新产品,为油气钻机辅助提升设备领域提供了新的选择。

当前油气钻机辅助提升设备领域所用小绞车以5T风动小绞车为主,本文重点介绍了与其同级别的5T变频电动小绞车的能耗对比情况。研究及实际试验结果表明,与风动小绞车相比,该电动小绞车效率高、能耗低,可带来明显的经济效益,具有较高的使用价值。

## 1 工作原理及技术参数

### 1.1 工作原理

#### 1.1.1 5T风动小绞车

油气钻机用5T风动小绞车以活塞式风动马达为动

力,通过传动轴、齿轮箱传递动力至滚筒,缠绕或放出钢丝绳,实现重物的提升或下放,实物见图1。



图1 5T风动小绞车实物图

#### 1.1.2 5T变频电动小绞车

DJB-50×35型5T电动变频小绞车的电机、行星减速机、卷筒呈一字型同轴式布局,其以变频电控系统驱动防爆交流变频制动电机,通过行星减速机带动卷筒,缠绕或放出钢丝绳,实现重物的提升/下放。实物见图2。

### 1.2 基本参数及配置

表1为目前油气钻机常用的5T风动小绞车和我司设计开发的5T变频小电动绞车的主要参数及常规配置情况对比。

## 2 5T风动小绞车能耗计算

### 2.1 传动流程及特性曲线分析

#### 2.1.1 传动流程

风动绞车的动力来自压缩空气,其传动流程如图3

表1 5T 风动小绞车和 5T 变频小电动绞车的主要参数及常规配置情况

序号	名称	XJFHJ-5 × 35 型 5T 风动小绞车	DJB-50 × 35 型变频电动小绞车
1	最大提升力 F/kN	50	50
2	提升速度 V/ (m/min)	0 ~ 35	0 ~ 35
3	额定功率 W/kW	16	15
4	耗气量 Q1/ (m <sup>3</sup> /min)	14.8	—
5	额定气压 P/MPa	0.8	—
6	传动比 I	35	89
7	卷筒直径 D/mm	300	360
8	钢丝绳直径 d/mm	20	20
9	马达	16kW 风动马达	15kW 变频电机
10	动力源	压缩空气	电能
11	动力系统	①电动螺杆空压机：美国寿力 LS12-50HH，额定功率 P=37kW，额定产气量 Q2=5.6m <sup>3</sup> /min，机组比功率 q=8.5kW/(m <sup>3</sup> /min)； ②干燥机：型号 SRC240，额定功率 P=2kW，处理量 L=6.5m <sup>3</sup> /min	电控系统：18.5kW 变频器， 0.25kW 散热风机

注：①风动小绞车动力系统为当前油气钻机比较常用的配置；②空压机的比功率是指压缩一立方的空气需要消耗的电能。



图2 5T 变频电动小绞车实物图

所示。

### 2.1.2 传动效率

已知空压机效率  $\eta_1=0.60$ ，风动马达效率  $\eta_2=0.40$ ，齿轮组的效率  $\eta_3=0.81$ ，则总效率： $\eta_{气} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 = 0.194$ ；考虑到压缩空气经过干燥机、储气罐及管路传输的损失，实际传递效率  $\leq 0.194$ 。

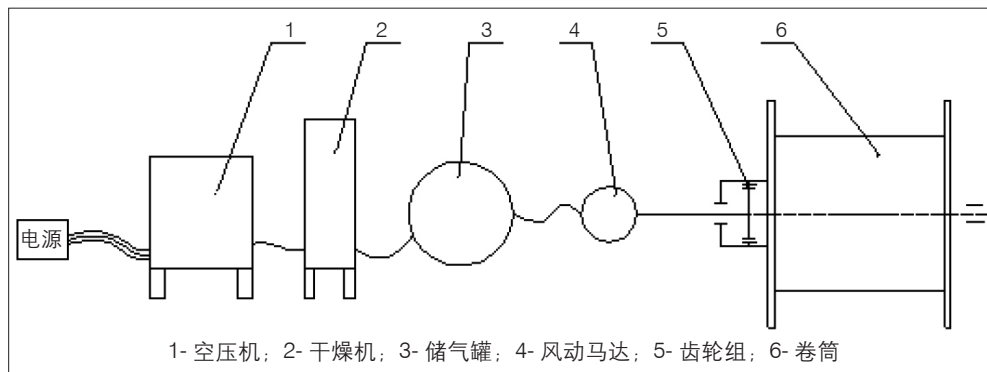


图3 风动小绞车传动流程图

### 2.1.3 风动马达外特性曲线

从图4可以得知：

(1) 风动马达的耗气量  $Q_1$  在  $8 \sim 14.8\text{m}^3/\text{min}$  之间。风动马达的速度越小，耗气量越小，耗气量与输出转矩关系不大。

(2) 在达到转速  $n=600\text{r}/\text{min}$  之前，风动马达基本是恒功率输出，耗气量与转速基本成正比，耗气量  $\geq 8\text{m}^3/\text{min}$ ；在此速度之后，耗气量基本恒定，约等于  $14.8\text{m}^3/\text{min}$ 。

(3) 在速度达到  $n=600\text{r}/\text{min}$  时，达最大功率，即额定功率，随着速度的增加，输出功率及转矩迅速减小。

### 2.2 风动小绞车高速运转工况能耗计算

由图4可以得知，当风动绞车高速运转时（即转速  $n \geq 600\text{r}/\text{min}$ ），此时耗气量  $Q_1 \approx 14.8\text{m}^3/\text{min}$ ，耗气量基本恒定。则有：

(1) 绞车高速运转时每小时耗气  $Q_1=14.8 \times 60=888\text{m}^3/\text{h}$ ；

(2) 生产  $888\text{m}^3$  压缩气体，需要空压机、干燥机工作时间为  $t=888 / (5.6 \times 60) = 2.64\text{h}$ ；

(3) 空压机系统需消耗电量  $Y_{压} = q \times Q_2 \times t = 8.5 \times 5.6 \times 2.64 = 125.66\text{kWh}$ ；

(4) 干燥机需要消耗电量  $Y_{干} = 2 \times 2.64 = 5.28\text{kWh}$ 。

则每小时总耗电量： $Y_1 = 125.66 + 5.28 = 130.94\text{kWh}$ ，即风动小绞车高速运行工作 1h，需要耗电量约为  $130.94\text{kWh}$ 。

另一方面从风动绞车的耗气量  $Q_1=14.8\text{m}^3/\text{min}$  与空压机

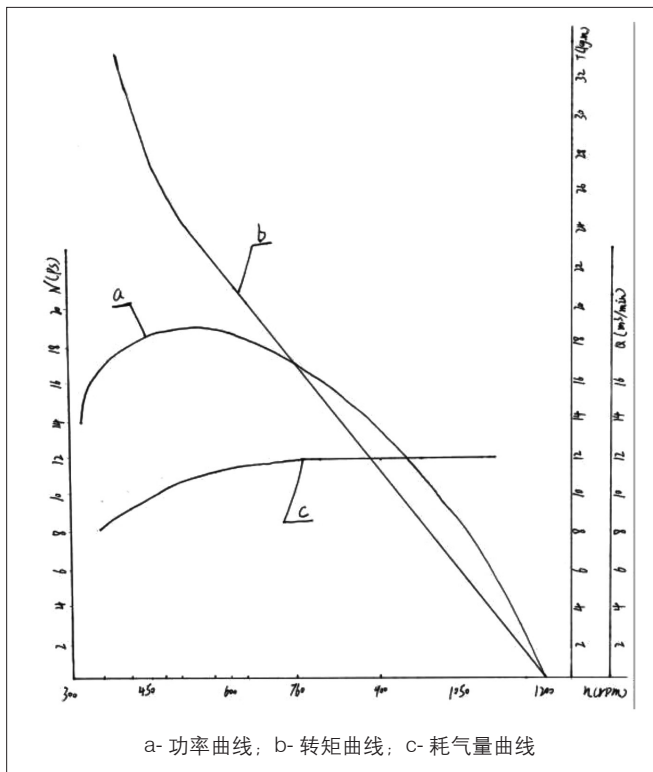


图4 风动马达外特性曲线(风动马达生产厂家提供)

的产气量  $Q_2=5.6\text{m}^3/\text{min}$  对比, 当一台风动绞车需要连续高速运转时, 一台空压机是满足不了使用需求的, 此时往往需要两台空压机、干燥机同时供气, 而且一般配置储气罐。

### 2.3 5T 风动小绞车最大负载工况能耗计算

由图4可以得知, 风动小绞车满负载5T(此时对应风动马达32Nm)运转时, 最高可以达到的速度  $\leq 350\text{r}/\text{min}$ , 耗气量  $Q_1 \approx 9\text{m}^3/\text{min}$ 。则有:

(1) 提升5T载荷高速工作时风动绞车每小时耗气  $Q_1=9 \times 60=540\text{m}^3$ ;

(2) 生产  $540\text{m}^3$  压缩气体, 需要空压机、干燥机工作时间为  $t=540/(5.6 \times 60)=1.61\text{h}$ ;

(3) 空压机系统需消耗电量  $Y_{\text{压}}=q \times Q_2 \times t=8.5 \times 5.6 \times 1.61=76.64\text{kWh}$ ;

(4) 干燥机需要消耗电量  $Y_{\text{干}}=2 \times 1.61=3.22\text{kWh}$ 。

则每小时总耗电量:  $Y_2=76.64 + 3.22=79.86\text{kWh}$ , 即风动小绞车满负载5T高速运行工作1h, 需要耗费电量约为79.86kWh。

另一方面从风动绞车的耗气量  $Q_1=9\text{m}^3/\text{min}$  与空压机的产气量  $Q_2=5.6\text{m}^3/\text{min}$  对比, 当一台风动绞车需

要满载高速运转时, 一台空压机是满足不了使用需求的, 故实际应用中, 往往需要两台空压机同时风动供气。

## 3 5T 变频电动小绞车能耗计算

### 3.1 电动小绞车传动流程及效率计算

#### 3.1.1 传动流程

电动小绞车的动力来自电能, 其传动流程如图5所示。

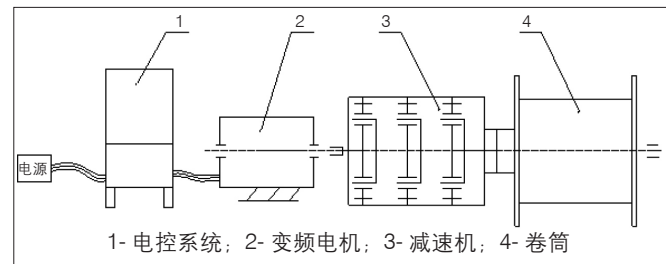


图5 电动小绞车传动流程图

#### 3.1.2 传动效率

已知电控系统(变频器)效率  $\eta_4=0.974$ , 电机的效率  $\eta_5=0.894$ , 减速机的效率  $\eta_6=0.913$ , 则总效率  $\eta_{\text{电}}=\eta_4 \times \eta_5 \times \eta_6=0.795$ ; 则电动小绞车与风动小绞车的传动效率比  $I=\eta_{\text{电}}/\eta_{\text{气}}=0.795/0.194=4.1$ 。

### 3.2 电动小绞车空载高速运转工况能耗计算

已知: 变频电机型号 YBBP-180M-4, 额定功率/电压/电流/频率:  $15\text{kW}/380\text{V}/30\text{A}/5 \sim 100\text{Hz}$ , 额定转速  $1470\text{r}/\text{min}$  (对应  $50\text{Hz}$ ), 最大转速  $2940\text{r}/\text{min}$  (对应  $100\text{Hz}$ ), 其特性曲线如图6所示。

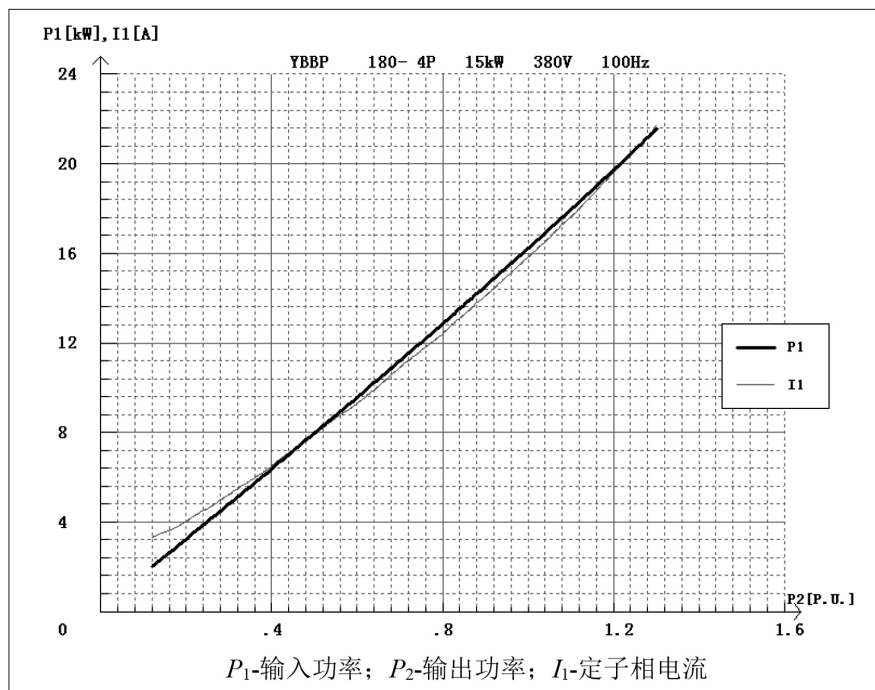


图6 电机输入/输出功率与电流曲线图(电机厂家提供)

表2 风动小绞车与电动小绞车能耗对比试验结果

试验项目	时间	风动小绞车		电动小绞车		备注
		转速 / (m/min)	能耗 / kWh	速度 / (m/min)	能耗 / kWh	
高速空运转	13:00	35	29.50	35	3.00	小绞车正 / 反转各空运转 30min
	13:30	35	73.73	35	3.82	
	14:00	35	107.61	35	4.65	
5kN 负载上下运转试验	14:20	0 ~ 35	107.61	0 ~ 35	4.65	小绞车吊 500kg 重物上下运行 250 ~ 300 次, 2h, 每次运行高度 5 ~ 6m
	16:23	0 ~ 35	263.52	0 ~ 35	8.75	

则由图 6 可知, 100Hz 下电机空运转时, 电流:

$$I=1.732 \times I_1=1.732 \times 3.2=5.54A$$

输出功率:

$$P=0.12 \times 15kW = 1.8 (kW)$$

则电动小绞车高速空运转每小时能耗:

$$Y_3=1 \times P/\eta_{电}=1.8/0.795=2.26。$$

### 3.3 电动小绞车提升 50kN 载荷工况能耗计算

电动绞车在提升  $F=50kN$  载荷, 线速度达最高速度的 1/2, 即  $V=17.5m/min$ , 此工况下, 此时负载侧需要的功率为:

$$P=F \times V=50 \times 17.5/60=14.6 (kW)$$

则电控系统需要输入功率:

$$P_{入}=P/\eta_{电}=14.6/0.795=18.4 (kW)$$

另外, 电控系统散热风扇  $P_{扇}=250W=0.25kW$ , 则整个系统需要的输入总功率:  $P_{总}=18.4 + 0.25=18.65kW$ , 则电动小绞车提升 5T 载荷工况每小时能耗  $Y_4=18.65kWh$ 。

### 4 风动小绞车与电动小绞车的理论能耗比

(1) 小绞车空运转工况能耗比:  $I_1=Y_1/Y_3=130.94/2.26=57.9 : 1$ 。

(2) 小绞车 50kN 重载工况能耗比:  $I_2=Y_2/Y_4=79.86/18.65=4.3 : 1$ 。

(3) 电动小绞车节能效果。当前常规钻机往往配置 3 台风动小绞车, 每台使用时间约 200h/年, 以轻载工况为主, 如果均置换成电动小绞车, 则每年每台钻机可以节省用电:

$$\begin{aligned} \Delta Y &= 3 \times (Y_1 - Y_3) \times 200 \\ &= 3 \times (130.94 - 2.26) \times 200 \\ &= 77208 (kWh) \end{aligned}$$

### 5 小绞车工厂能耗对比试验

试验条件: 电动螺杆空压机 NFD90, 额定功

率  $P=90kW$ , 额定产气量  $Q=16m^3/min$ , 机组比功率  $q=5.8kW/(m^3/min)$ , 气瓶容积  $2.56m^3$ , 试验结果见表 2。

由表 2 得知:

(1) 电动小绞车高速空运转 1h, 耗电 1.65kWh, 与理论能耗 1.8kWh 基本一致;

(2) 电动小绞车 (500kg) 负载高速空运转 123min, 耗电 4.1kWh, 则其能耗 2kWh;

(3) 风动小绞车高速空运转 1h, 耗电 107.61-29.5=78.11kWh, 与理论能耗 79.86kWh 基本一致;

(4) 风动小绞车 (500kg) 负载高速空运转 123min, 耗电 263.52-107.61=155.91kWh, 则其能耗 76.1kWh。

### 6 结语

(1) 与同级别的风动小绞车相比, 变频电动小绞车具有明显的能耗优势, 两者空载高速运转时的能耗比可达 57.9 : 1, 两者 50kN 重载高速运转工况能耗比达 4.3 : 1, 故电动小绞车节能明显。

(2) 当前风动小绞车是油气钻机的主要用气设备 ( $\geq 50\%$ ), 如果把其均置换成变频电动小绞车, 除节能效果明显以外, 配置小功率的空压机便可满足钻井需求, 节省了设备采购费用, 带来明显的经济价值, 故该领域电动小绞车值得推广。

### 参考文献:

- [1] 王亚鹏, 廖恒伟, 李勇. DJB-5/50×35-R 型载人载物电动绞车的研制 [J]. 石油机械, 2022, 50(04): 32-37.
- [2] 成大先. 机械设计手册: 第 5 卷 [M]. 5 版. 北京: 化学工业出版社, 2008: 23-15.
- [3] 谷志珉, 曾现敏, 苏婕. 液压绞车、电动绞车和气动绞车的不同功用解析 [J]. 中国科技博览, 2014(34): 351.

作者简介: 廖恒伟 (1984.12-), 男, 汉族, 广西梧州人, 本科, 工程师, 研究方向: 油气钻采设备。