

KY720 液压钻机提升钢丝绳固定端设计与分析

董珍书 张兴旺 潘晓亮
(山东科瑞油气装备有限公司 山东 东营 257000)

摘要: 本文介绍了 KY720 液压钻机提升钢丝绳的固定端的设计方式, 以及这种设计方式的特点。利用手算和电算相结合的方式, 计算在不同工况下的结构强度及疲劳强度。

关键词: 液压钻机; 提升钢丝绳; 结构强度; 疲劳强度

0 引言

由于 KY720 液压钻机的独特的设计理念和工作需求, 要求钻机自身提供给动力水龙头提升力和加压力。由于在钻井过程中提升钢丝绳由于弹性变形及疲劳破坏的作用下, 比原来需求长度有所增加, 导致钻机在控制方面出现延时, 动力头受力不平衡, 钢丝绳从轮槽跳绳, 增加动力头的不稳定性, 出现冲击等情况。为此设计的结构形式既能调节钢丝绳的松紧程度, 又能承受在钻井过程中的最大载荷以及在使用过程中的疲劳强度。

1 结构设计及强度分析

直径为 $\Phi 40\text{mm}$ 提升钢丝绳绳端的压制接头与活节螺栓通过销轴连接, 通过螺母将活节螺栓与井架下体连接 (如图 1 所示)。通过两端螺栓施加预紧力, 减少在钻井过程中对活节螺栓的冲击, 延长其使用寿命。同时, 需计算活节螺栓自身的结构强度。

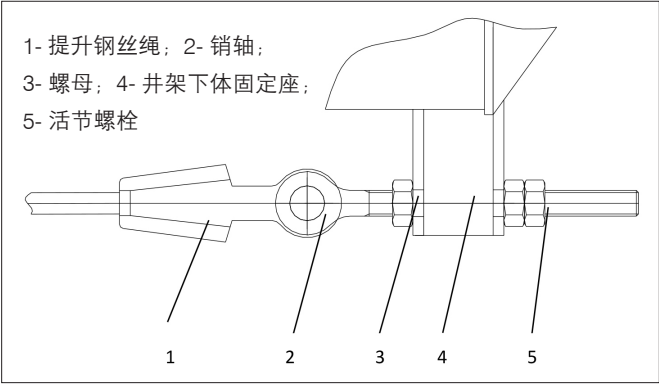


图 1 结构示意图

1.1 活节螺栓和被连接件受载前后的情况

图 (a) 为螺母刚与被连接件接触, 但尚未拧紧。活节螺栓和井架下体固定座 (以下简称固定座) 均不受力。图 (b) 为活节螺栓已被拧紧, 但未受工作载荷, 这时活节螺栓承受预紧力 F' , 螺栓的伸长量为 δ_1 , 固定座受预紧力 F' , 压缩量为 δ_2 。图 (c) 为活节螺栓承受工作载荷的作用, 在工作载荷作用下, 螺栓的伸长量增加了 $\Delta \delta_1$, 固定座因螺栓的伸长而被放松, 压缩量减少 $\Delta \delta_2$, 根据变形协调条件, $\Delta \delta_1 = \Delta \delta_2 = \Delta \delta$, 所以, 螺栓伸长量由 δ_1 增加至 $\delta_1 + \Delta \delta$, 受到的载荷由 F' 增加至 F_0 , 增加量为 ΔF ; 固定座的压缩量 δ_2 减少至 $\delta_2 - \Delta \delta$, 压力 F' 减

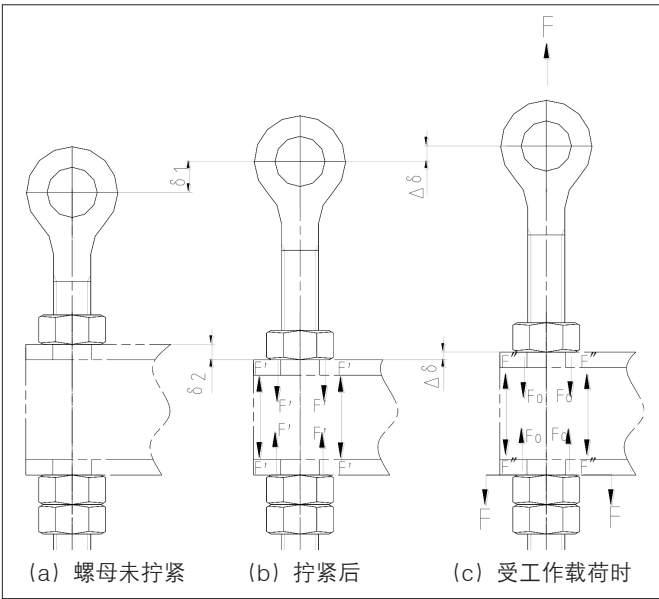


图 2 螺栓和被连接件的受力和变形

至 F' , F'' 称为残余预紧力 (如图 2 所示)。

综上所述, 承受轴向载荷的活节螺栓连接, 承受工作载荷后, 由于活节螺栓伸长量的加大, 固定座上的预紧力减小, 作用在活节螺栓上的总载荷 F_0 等于工作载荷 F 与残余预紧力 F'' 之和, 即: $F_0 = F + F''$ (图 3 所示)。

随着工作载荷的增加, 残余预紧力要减少。当工作载荷增加到一定程度时, 残余预紧力减少到零, 这时若继续增

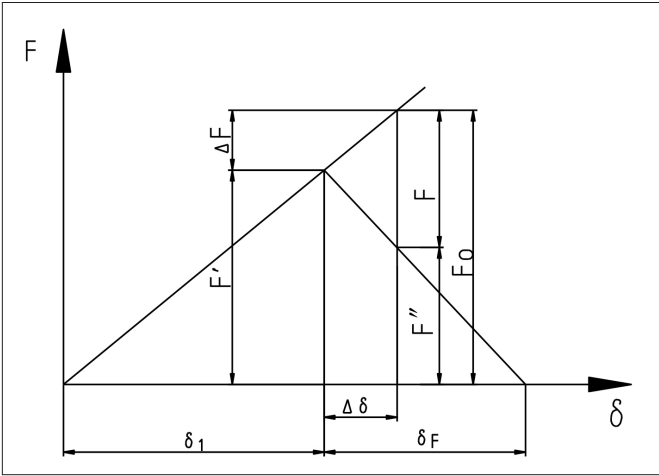


图 3 活节螺栓变形情况

加F,则螺栓与固定座之间会出现缝隙。所以,为保证联结的紧固和紧密性,残余预紧力一定要大于零。根据《机械设计手册》选取残余应力,对工况进行分析可知:联结形式为一般联结,工作载荷有变化时 $F'' = \lambda F$; λ 为(0.6~1.0)。

由于KY720液压钻机的最大载荷为720kN。由三维示意图可以看出,两根钢丝绳共同承担,每根钢丝绳承受360kN。所以 $F=360\text{kN}$, λ 取值为0.8,代入公式 $F'' = \lambda F=288\text{kN}$ 。计算 F'' 后,按公式 $F_0=F+F''$ 计算总载荷 F_0 。 $F_0=F+F''=360\text{kN}+288\text{kN}=648\text{kN}$ 。通过强度计算公式1计算螺纹部分的强度。即

$$\sigma_v = \frac{4 \times 1.3 F_0}{\pi d_1^2} \leq [\sigma] \quad (1)$$

σ_v 为载荷应力; F_0 为总载荷; d_1 为螺栓小径,选用M48螺栓 d_1 为44.752mm; $[\sigma]$ 为许用应力, $[\sigma] = \frac{\sigma_s}{S}$ 。制作活节螺栓使用的材料为40Cr, σ_s 为40Cr材料的屈服点650~900MPa;

S为安全系数为1.2

$\sigma_v = \frac{4 \times 1.3 F_0}{\pi d_1^2} = \frac{4 \times 1.3 \times 648}{3.14 \times 44.752^2} = 535.8\text{MPa} \leq [\sigma] = \frac{\sigma_s}{S} = \frac{650}{1.2} = 541.66\text{MPa}$, 满足结构强度要求。

1.2 预紧力的计算

$$\frac{\Delta F}{\Delta \delta 1} = C_1 \quad \text{即} \quad \Delta \delta 1 = \frac{\Delta F}{C_1} \quad (2)$$

C_1 为螺栓的刚度; ΔF 为承受载荷作用下, F' 增加至 F_0 的增加量; $\Delta \delta 1$ 为工作载荷下的伸长量。

$$\frac{F - \Delta F}{\Delta \delta 2} = C_2 \quad \text{即} \quad \Delta \delta 2 = \frac{(F - \Delta F)}{C_2} \quad (3)$$

C_2 为固定座的刚度; ΔF 为在承受载荷作用下, F' 增加至 F_0 的增加量; F 为工作载荷; $\Delta \delta 2$ 为工作载荷作用下固定座的压缩量。

因为 $\Delta \delta 1 = \Delta \delta 2 = \Delta \delta$, 可得:

$$\Delta F = \frac{C_1}{C_2 + C_1} \cdot F \quad (4)$$

设 $\frac{C_1}{C_2 + C_1}$ 系数 K , $\Delta F = K \cdot F$

K 为相对刚度系数,通过《机械设计手册》查得 K 的取值范围为0.2~0.3,取0.25;

由图3可得:

$$F'' = F' - (\Delta F) = F' - (K \cdot F) = F' - F(1-K) \quad \text{即} \quad F'' = F + F(1-K)$$

由前面计算可知:

$$F'' = \lambda F = 288\text{kN}$$

$$F = 360\text{kN}$$

可得:

$$F' = F'' + F(1-K) = 558\text{kN}$$

所以活节螺栓所需要的预紧力为558kN。

根据螺栓的拧紧力矩计算活节螺栓的拧紧力矩 $T = K_a \cdot F' \cdot d$

K_a 为拧紧系数,其值为0.1~0.3,取值为0.2; F' 为预紧力; d 为活节螺栓公称直径,取值为46mm=0.046m。

$T = K_t \cdot F' \cdot d = 0.2 \times 558 \times 0.046 = 5.1\text{kN} \cdot \text{m}$, 所以活节螺栓的拧紧力矩为5.1kN·m

1.3 疲劳强度的计算

因为活节螺栓所承受的工作载荷是变化载荷,还需验算其疲劳强度。通过前面计算可得, $F_0 = F + F''$ 和 $F_0 = F' + KF$ 都是螺栓总拉力的两种表达形式。当螺栓所受工作载荷在0到F之间变化时,活节螺栓总拉力则在 F' 到 F_0 之间变化。这时活节螺栓的平均拉应力为 $F_m = (F_0 + F')/2 = F' + (1/2)KF$, 活节螺栓拉力变化幅度为 $F_a = (F_0 - F')/2 = (1/2)KF$ 。因影响零件疲劳强度的主要因素是应力幅 σ_a (σ_a 为最大应力与最小应力之差的一半),而不是平均应力 σ_m ,所以活节螺栓的验算公式(5)为:

$$\sigma_a = \frac{2KF}{\pi d^2} \leq [\sigma_{ap}] \quad (5)$$

$$\sigma_a = \frac{2KF}{\pi d^2} = \frac{2 \times 0.25 \times 320}{3.14 \times 44.752^2} = 25.5\text{MPa}$$

$$\sigma_{ap} = \frac{\varepsilon K_t K_u \sigma_{-1t}}{K_o S_a} \quad (6)$$

通过《机械设计手册》可知尺寸因数 ε 为0.57,切制螺纹 $K_t=1$,受拉螺母 $K_u=1.5$;因为所使用的材料为40Cr试件的疲劳强度极限 σ_{-1t} 取值为240MPa;缺口应力集中因数 K_o 取值为4.8;安全系数 S_a 为1.5。

代入公式(6)得

$$\sigma_{ap} = \frac{\varepsilon K_t K_u \sigma_{-1t}}{K_o S_a} = \frac{0.57 \times 1 \times 1.5 \times 240}{4.8 \times 1.5} = 28.5\text{MPa} \geq \sigma_a = 25.5\text{MPa},$$

疲劳强度满足要求。

2 结语

上述介绍了KY720液压钻机提升钢丝绳固定端设计,并详细介绍了该机构的强度校核。通过计算分析,该设计所使用的活节螺栓用40Cr通过淬火后进行高温回火,使其具有较好的综合力学性能,满足设计使用要求。

参考文献:

- [1] 朱若燕,李厚民.高强度螺栓的预紧力及疲劳寿命[J].湖北工学院学报,2004,19(3):135-141.
 - [2] 成大先.机械设计手册[M].5版.北京:化学工业出版社,2010.
 - [3] 徐爱莉,刘光启.机械螺栓联接的预紧力与疲劳强度[J].锻压机械,1996(04):44-46.
- 作者简介:董珍书(1986.10-),男,汉族,山东东营人,本科,工程师,研究方向:石油钻机。