

绳索取心钻杆负角度螺纹扭矩计算分析和测试研究

高申友¹, 孙建华², 蔡纪雄³, 刘狄磊³

(1. 中国地质装备总公司, 北京 100102; 2. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000; 3. 无锡钻探工具厂有限公司, 江苏 无锡 214000)

摘要:分析了绳索取心钻杆负角度螺纹受力状态,以静力学和材料力学为基础计算了用于深孔绳索取心钻探的CNHT绳索取心钻杆螺纹应力情况和抗扭能力。同时,针对不同锥度和牙高的负角度螺纹进行了理论计算和静扭测试比对,理论计算结果与测试结果非常接近,确定了该计算方法的准确性,优化总结出抗扭能力较强的负角度螺纹参数。

关键词:绳索取心钻杆;负角度螺纹;最大扭矩;受力分析;静扭测试

中图分类号:P634.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)05-0045-06

Calculation Analysis on Negative Angle Thread Torque of Wire-line Coring Drill Pipe and Test Research/GAO Shen-you¹, SUN Jian-hua², CAI Ji-xiong³, LIU Di-lei³ (1. China Geological Equipment Group Co., Ltd., Beijing 100102, China; 2. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China; 3. Wuxi Drilling Tools Factory Co., Ltd., Wuxi Jiangsu 214000, China)

Abstract: The analysis is made on the stress state of negative angle thread of wire-line coring drill pipe, the thread stress situation and anti-twist property of CNHT drill pipe used for deep hole wire-line core drilling are calculated based on static and material mechanics. Theoretical calculations and static torsion test were taken on negative angle thread with different taper and tooth height. It is found that theoretical results and test results are very close; by which, the accuracy of the calculation method is determined and the parameters of negative angle thread with strong anti-twist property are optimized and summarized.

Key words: wire-line coring drill pipe; negative angle thread; maximum torque; stress analysis; static torsion test

0 引言

绳索取心钻进技术在我国推广应用30多年以来,其钻进的孔深在不断的加大。2013年在山东省莱州市三山岛矿区的“中国岩金勘查第一深钻”ZK96-5钻孔,终孔深度4006.17 m,该孔使用国产CNHT负角度螺纹绳索取心钻杆钻进,创造了我国小口径绳索取心钻进的纪录。随着我国深部探测项目的实施,国内绳索取心钻探逐渐向深部发展,深孔绳索取心钻探越来越多。对于深孔钻探设备来说,钻杆是钻探施工的关键工具。在钻进过程中,钻杆连接螺纹的强度,是考量整个钻杆使用状况的关键参数,也是薄壁绳索取心钻杆最薄弱的部位。普通绳索取心钻杆连接螺纹大都是梯形螺纹,深孔绳索取心钻杆螺纹以负角度螺纹为主。负角度螺纹相对于梯形螺纹具有很大优势,在抗拉、抗扭和防脱扣等方面的能力均更强。

根据施工现场负角度螺纹绳索取心钻杆使用损坏情况统计来看,钻杆螺纹破坏主要发生于公螺纹根部倒数第一牙,研究分析负角度螺纹抗扭能力的关键是分析出公母螺纹最易发生断裂危险截面能承受的最大扭矩值。对负角度螺纹危险截面的受力进行分析计算,再选取相应的负角度螺纹样件进行静扭测试,将静扭测试和理论计算的结果进行对比分析,得出负角度螺纹最大扭矩值的分析计算方法。

1 受力分析

负角度螺纹与梯形螺纹最大的不同点是其有一个负角度受力面,该受力面可大大增强其抗拉和抗扭的能力。图1是负角度螺纹尺寸示意图,图中标注出负角度螺纹受力面和非受力面,公母螺纹根部危险截面直径和大小端螺纹牙的大小径等,这些关键尺寸是计算负角度螺纹的必要参数。

收稿日期:2016-03-04

基金项目:“十二五”国家高技术研究发展计划(863计划)“4000 m地质岩心钻探成套技术装备”(编号:2014AA06A607)

作者简介:高申友,男,汉族,1969年生,副总经理,教授级高级工程师,地质工程专业,硕士,从事地质装备研发设计和管理工
作,北京市朝阳区望京西园221号博泰大厦5楼,gaoshenyou@cgeg.com.cn。

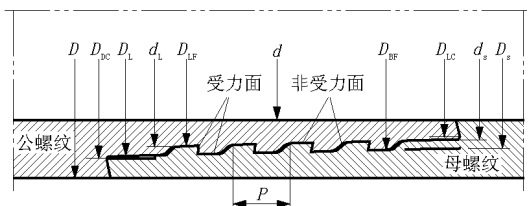


图1 负角度螺纹尺寸示意图

负角度螺纹受力面是螺纹牙负角度面和螺纹牙大径面,非受力面是螺纹牙45°角度面和螺纹牙小径面,负角度螺纹主要依靠受力面和子口端面传递扭矩。负角度螺纹的非受力面存在尺侧间隙,用于存留丝扣油,保持公母螺纹牙接触面始终有一层金属微颗粒保护层,减少螺纹牙型面间的摩擦阻力,防止粘扣情况发生。

负角度螺纹在承受纯扭矩的状态下,螺纹各个部位受力不同。公母螺纹根部均受拉力,子口均承受压力,各螺纹牙型面受力大小和方向均不同。图2为负角度螺纹受力示意图,将公螺纹根部从危险截面E处分离开,将母螺纹根部从危险截面H处分离开。公螺纹根部台肩受压力 F_{Lm} ,根部危险截面E受拉力 F_{LE} ,螺纹牙大径受压力 F_{pn} ,螺纹牙负角度面受压力 F_n ,公螺纹子口端面受压力 F_{Bm} 。

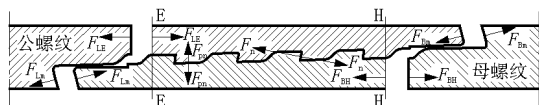


图2 负角度螺纹受力示意图

由于螺纹受力较大部位位于螺纹根部,现针对螺纹根部进行受力分析。取公螺纹根部危险截面E处为应力分析面,在螺纹进行扭转时,公螺纹根部承受拉力,取截面E上的点受拉应力为 σ_{LE} 。在实际钻进的过程中,接头螺纹除了受到拉压力作用外,还有扭矩作用,因而在危险截面E处还有剪切应力 τ_{LE} 影响。

2 理论计算

根据螺纹破坏规律,在危险截面E上等效力 σ_{Lv} 达到接头材料的屈服强度 σ_b 时,螺纹从危险截面断裂。根据材料强度剪切应变能理论有:

$$\sigma_{Lv} = \sqrt{\sigma_{LE}^2 + 3\tau_{LE}^2} \quad (1)$$

拉应力 σ_{LE} 为:

$$\sigma_{LE} = \frac{F_{LE}}{S_{LE}} \quad (2)$$

式中: F_{LE} ——公螺纹根部危险截面E处拉力;
 S_{LE} ——公螺纹根部危险截面面积。

公螺纹根部危险截面面积 S_{LE} 为:

$$S_{LE} = (\pi/4)(D_{LE}^2 - d^2) \quad (3)$$

式中: D_{LE} ——公螺纹根部危险截面直径; d ——接头内径。

公螺纹根部截面E处的剪切应力 τ_{LE} 为:

$$\tau_{LE} = \frac{16D_{LE}T_{LO}}{\pi(D_{LE}^4 - d^4)} \quad (4)$$

式中: T_{LO} ——公螺纹总扭矩。

公母螺纹的扭矩通过螺纹牙大径接触面、负倒角受力面和子口端面间的摩擦力传递。

则有公螺纹总扭矩 T_{LO} 为:

$$T_{LO} = T_n + T_{pn} + T_{Lm} \quad (5)$$

螺纹牙大径接触面扭矩 T_{pn} 为:

$$T_{pn} = (1/2)(F_L + F_B)D_m \tan\theta \cdot \mu \quad (6)$$

式中: D_m ——螺纹大径的中径; θ ——螺纹牙受力面牙型角; μ ——螺纹牙面摩擦因素。

螺纹大径的中径 D_m 为:

$$D_m = (1/2)(D_L + D_s) \quad (7)$$

式中: D_L ——螺纹大径的中径; D_s ——螺纹小端大径。

负倒角受力面扭矩 T_n 为:

$$T_n = (1/2)(F_{LE} + F_{BH})d_m \tan(\varphi + \rho_v) \quad (8)$$

式中: d_m ——螺纹中径; φ ——螺旋升角; ρ_v ——当量摩擦角。

螺纹中径 d_m 为:

$$d_m = (1/2)(D_L + d_s) \quad (9)$$

螺旋升角 φ 为:

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{P}{\pi d_m}\right) \quad (10)$$

式中: P ——螺距。

当量摩擦角 ρ_v 为:

$$\rho_v = \tan^{-1}\left(\frac{\mu}{\cos\theta}\right) \quad (11)$$

公螺纹子口端面扭矩 T_{Lm} 为:

$$T_{Lm} = (1/2)F_{BH}d_{Lm}\mu \quad (12)$$

式中: d_{Lm} ——公螺纹子口中径。

公螺纹子口中径 d_{Lm} 为:

$$d_{Lm} = (1/2)(D_{LC} + d) \quad (13)$$

当拉应力 σ_{LE} 逐渐增加到屈服强度 σ_b 时,压力仍然处于弹性阶段。由此可见,在公母螺纹进行

扭转的过程中, 关键受力部位是公螺纹根部和母螺纹根部, 公螺纹根部的拉应力和母螺纹根部的拉应力随着扭矩的增加逐渐增加, 由于公螺纹根部危险截面相对于母螺纹面积更小, 且公螺纹子口端面与母螺纹根部台阶处存在 0.3 ~ 0.6 mm 间隙, 母螺纹根部拉应力增加过程滞后于公螺纹根部应力增加过程, 因而在公螺纹根部拉应力先达到抗拉强度, 因此先产生断裂。

同理, 在母螺纹根部也是母螺纹抗扭能力最弱的部位, 选取危险截面 F 进行受力分析, 母螺纹根部承受拉应力, 母螺纹子口承受压应力。

按照以上公螺纹根部危险截面等效应力计算方法, 分析母螺纹受力情况。取母螺纹危险截面等效应力 σ_{Bv} , 则有:

$$\sigma_{Bv} = \sqrt{\sigma_{BF}^2 + 3\tau_{BH}^2} \quad (14)$$

母螺纹根部受到的拉应力 σ_{BF} :

$$\sigma_{BF} = \frac{F_{BF}}{S_{BF}} \quad (15)$$

式中: S_{BF} ——母螺纹根部危险截面 F 面积。

母螺纹根部危险截面 F 面积 S_{BF} 为:

$$S_{BF} = (\pi/4)(D^2 - D_{BF}^2) \quad (16)$$

式中: D ——接头外径; D_{BF} ——母螺纹根部危险截面直径。

母螺纹根部受到的剪切应力 τ_{BH} 为:

$$\tau_{BH} = \frac{16DT_{Bo}}{\pi(D^4 - D_{BH}^4)} \quad (17)$$

式中: T_{Bo} ——母螺纹总扭矩。

同理, 母螺纹总扭矩为:

$$T_{Bo} = T_n + T_{pn} + T_{Bm} \quad (18)$$

母螺纹子口端面扭矩 T_{Bm} 为:

$$T_{Bm} = (1/2)F_{LE}d_{Bm}\mu \quad (19)$$

式中: d_{Bm} ——母螺纹子口中径。

根据以上分析过程, 联立方程(1)和(14), 即可得方程组:

$$\begin{cases} \sigma_{Lv} = \sqrt{\sigma_{LE}^2 + 3\tau_{LE}^2} \\ \sigma_{Bv} = \sqrt{\sigma_{BF}^2 + 3\tau_{BH}^2} \end{cases} \quad (20)$$

解方程即可得 τ_{LE} 和 τ_{BH} , 由此可计算出负倒角受力面扭矩 T_n 、螺纹牙大径接触面扭矩 T_{pn} 、公螺纹子口端面扭矩 T_{Lm} 、母螺纹子口端面扭矩 T_{Bm} , 公母螺纹之间的总扭矩为这些扭矩值总和。可得负角度螺纹最大扭矩极限值 T_b 为:

$$T_b = T_n + T_{pn} + T_{Lm} + T_{Bm} \quad (21)$$

由于母螺纹根部危险截面面积与公螺纹根部危险截面面积接近, 公螺纹根部危险截面 E 处等效应力达到屈服强度, 此时母螺纹根部危险截面 F 处等效应力 σ_{Bv} 还未达到屈服强度, 根据计算反推可验证此时母螺纹危险截面等效应力接近屈服强度, 此时取 $\sigma_{Bv} = \sigma_b$ 进行受力计算, 由此可以建立母螺纹危险截面拉应力方程。

3 实例分析

CNHT 钻杆是目前国内深孔绳索取心钻探中使用最广泛的一种钻杆, 以此钻杆负角度螺纹为例计算其可承受的最大扭矩值(见表 1)。

根据 CNHT 钻杆螺纹参数计算出其最大扭矩值, 同时可得到螺纹牙上各个受力面的扭转力和公母螺纹危险截面上的应力。查看表 1 中的受力计算

表 1 CNHT 钻杆负角度螺纹最大扭矩计算参数

螺纹参数	接头外径 D/mm	接头内径 d/mm	截面 E 直径 D_{LE}/mm	截面 F 直径 D_{BF}/mm	公螺纹子口直径 D_{LC}/mm	母螺纹子口直径 D_{BC}/mm	螺纹大端大径 D_L/mm	螺纹大端小径 d_l/mm	螺纹小端大径 D_s/mm	螺纹小端小径 d_s/mm	螺距 P/mm	摩擦系数 μ
	74	58.5	65.27	66.22	63.414	68.586	68.086	65.686	65.814	63.414	8	0.16
关键计算参数	公螺纹截面 E 面积 S_{LE}/m^2	公螺纹子口面积 S_L/m^2	公螺纹子口中径 d_{Lm}/m	母螺纹截面 F 面积 S_{BF}/m^2	母螺纹子口中径 d_{Bm}/m	母螺纹子口直径 D_m/m	螺纹中径 d_m/m	螺旋升角 $\varphi/(\circ)$	螺纹受力面牙型角 $\theta/(\circ)$	螺纹当量摩擦角 $\rho_v/(\circ)$	公螺纹材料抗拉强度 σ_b/MPa	母螺纹材料抗拉强度 σ_b/MPa
	6.581×10^{-4}	4.705×10^{-4}	6.096×10^{-2}	8.568×10^{-4}	7.129×10^{-2}	6.695×10^{-2}	6.575×10^{-2}	2.2179	10	9.228	1050	1050
受力计算参数	公螺纹总扭矩 $T_{Lo}/(N \cdot m)$	螺纹牙大径接触面扭矩 $T_{pn}/(N \cdot m)$	负倒角受力面扭矩 $T_n/(N \cdot m)$	公螺纹子口端面扭矩 $T_{Lm}/(N \cdot m)$	公螺纹截面 E 处拉力 F_{LE}/kN	公螺纹截面 E 处拉应力 σ_{LE}/MPa	公螺纹截面 E 处剪切应力 τ_{LE}/MPa	母螺纹子口端面扭矩 $T_{Bm}/(N \cdot m)$	母螺纹截面 F 处拉应力 σ_{BF}/MPa	母螺纹截面 F 处剪切应力 τ_{BH}/MPa	母螺纹截面 F 处拉力 F_{BF}/kN	最大扭矩 $T_b/(N \cdot m)$
	11251.858	924.397	6515.256	3812.206	197.078	299.464	581.04	1124.025	912.396	300.019	781.741	12375.88

参数,螺纹牙大径接触面扭矩 T_{pm} 占公螺纹总扭矩 T_{Lo} 的 8.2%, 负倒角受力面扭矩 T_n 占公螺纹总扭矩 T_{Lo} 的 57.9%, 公螺纹子口端面扭矩 T_{Lm} 占公螺纹总扭矩 T_{Lo} 的 33.9%。由此可知,负角度螺纹在传递扭矩时,主要承载面为负倒角受力面,该承载面是扭矩传递的主要作用面。

查看表 1 中公螺纹根部危险截面 E 处剪切应力 τ_{LE} 是拉应力 σ_{LE} 的 2 倍,而等效应力 $\sigma_{L\sqrt{3}}$ 中,剪切应力所占比重更大。由此可知,在静扭作用下,公螺纹根部主要被剪切应力破坏。另外,母螺纹根部危险截面 F 处剪切应力 τ_{BH} 是拉应力 σ_{BF} 的 1/3,由此可知,负角度螺纹在静扭破坏时,公螺纹根部危险截面主要为剪切应力,母螺纹根部危险截面主要为拉应力。

4 静扭测试

针对负角度螺纹的最大扭矩研究,选取 CNHT 钻杆接头样品,进行负角度螺纹静扭测试,进行理论与实验对比分析研究。

图 3 为静扭测试机,该设备为全液压加载控制,操作简单方便,安全可靠。最大静态扭矩载荷为 100000 N·m,扭矩加载速度 0~360 °/min,夹持管材直径范围 40~127 mm,夹持试样长度 400~2000 mm。



图 3 静扭测试机

CNHT 试件为公母螺纹截断接手,试件总长为 800 mm,中间为公母螺纹连接处,两端分别夹持于静扭测试机卡盘上。静扭测试过程一次加载,不间断连续增加扭矩,直至试样断裂或者脱扣完全脱开停止测试。在此过程中,静扭测试机实时监控记录各项参数,包括扭矩、时间、扭转角、扭转速率等等。在测试停止后,生成时间-扭矩和扭转角-扭矩曲线。

CNHT 试样测试曲线中开始时(见图 4),扭矩有缓慢上升,螺纹逐渐拧紧,上升至 569 N·m 开始

回落,此扭矩值即为上扣扭矩,然后从零开始施加静态扭矩,速度较快直至扭矩达到最大扭矩 13132 N·m,试样从公螺纹根部危险截面处应力达到强度极限,瞬间断裂,扭矩值快速下降,然后撕裂断口残余连接部位扭矩值产生小幅度回升,继续扭转直至试样撕裂为两截,扭矩降为零,停止加载。

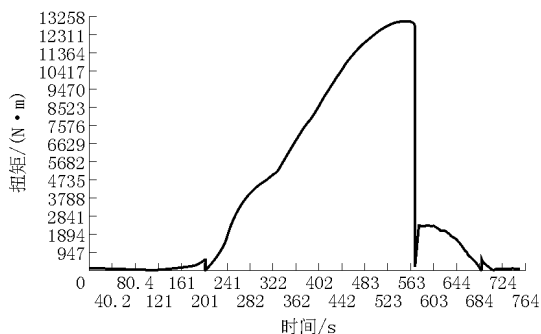


图 4 CNHT 试样静扭测试时间-扭矩曲线图

图 5 为 CNHT 试样静扭断裂后的情况,从图中可以看出,其断裂位置在公螺纹根部,这正是图 1 中所选取的危险截面 E 处,进一步确定了该截面为螺纹受力薄弱部位,是最大扭矩校核的关键部位。



图 5 CNHT 试样静扭断裂后螺纹情况

从螺纹断裂面可以看出,其断裂刃口呈现一定斜角度,这与金属材料剪切破坏断口形式相似,由此可判断该截面处主要受剪切力作用导致断裂,这与 CNHT 试样计算结果中,剪切应力占主要作用的结果相一致。从图 5 中可知,CNHT 试样螺纹连接处最大静扭值为 13132 N·m。表 1 中 CNHT 试样负角度螺纹最大扭矩计算结果为 12375.88 N·m,计算结果与测试结果相差 5.76%,可见该计算结果与测试结果非常接近。

为了更加深入系统地分析负角度螺纹静扭状态下受力情况,选取不同螺纹规格的负角度螺纹进行理论计算和静扭测试。测试试样总共 6 件,均为负角度螺纹试样,以 3500-N 依次排号命名(见表 2)。试样总长为 800 mm,材质为 XJY850,调质处理硬度

为 HRC28 ~ 32, 牙型角为 $-10^{\circ}/45^{\circ}$, 3500 - N - I 试样 2 件, 其余每种规格试样均为 1 件, 试样螺纹连接部位镦粗加厚, 比杆体部位要厚。

表 2 为不同螺纹规格负角度螺纹受力计算结果和静扭测试结果。根据表 2 静扭测试数据, 将不同试样以螺纹锥度和牙高制成静扭测试数据柱状图,

表 2 不同负角度螺纹规格参数

试样规格	接头外径/ mm	接头内径/ mm	杆体外径/ mm	杆体内径/ mm	螺纹 锥度	螺纹牙高/ mm	测试扭矩/ (N·m)	计算最大扭矩/ (N·m)
3500 - N - 0	75	58	73	63	1: 16	1.35	15568	14509.8
3500 - N - I	75	58	73	63	1: 22	1.35	15509	13932.3
3500 - N - II	75	58	73	63	1: 16	1	16704	15189.7
3500 - N - III	75	58	73	63	1: 22	1	16503	14602.7
3500 - N - IV	75	58	73	63	1: 16	1.5	14475	14385.3
3500 - N - V	75	58	73	63	1: 22	1.5	13975	13660.2
CNHT	74	58	71	61	1: 22	1.2	13132	12375.88

将包括 CNHT 钻杆螺纹试样的 7 组数据按照最大扭矩值从大到小进行排列, 将测试得出的最大静扭值与理论计算结果制成折线图, 见图 6。

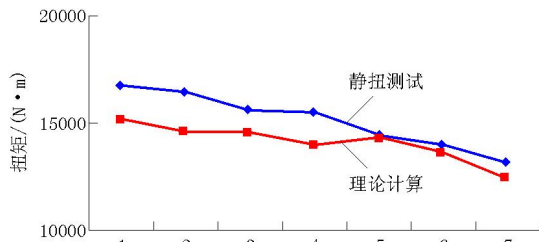


图 6 静扭测试和理论计算最大扭矩值

图 6 中理论计算最大扭矩与测试最大扭矩最大相差 11.5%, 最小相差 0.62%, 负角度螺纹计算最大扭矩与最大扭矩平均相差 6.6%。由此可见, 负角度螺纹最大扭矩计算方式可以作为校核负角度螺纹的重要参照方法。

根据静扭测试内容, 将不同规格的绳索钻杆试样按照螺纹锥度、螺纹牙高和试件规格分类进行数据统计, 并且以螺纹牙高和螺纹锥度为分类依据将数据制作成图, 图 7 为全部试样静扭测试最大扭矩值, 图中 C 表示螺纹锥度。根据以上静扭测试数据, 对比分析可知: 螺纹锥度为 1: 16 的试件, 螺纹牙高越小, 所能承受的扭矩越大, 牙高 1.35 mm 相对牙高 1 mm 静扭值减少 6.8%, 牙高 1.5 mm 相对牙高 1.35 mm 减少 7%; 螺纹锥度为 1: 22 的试件, 牙高 1.35 mm 相对牙高 1 mm 静扭值减少 6%, 牙高 1.5 mm 相对牙高 1.35 mm 减少 9.9%; 选取同一锥度 3 组试样公扣截面计算可知, 牙高越小, 其公螺纹

根据图中柱状显示, 可以直观看出不同试样的最大静扭值。其中 3500 - N - I 试样前后做过两次静扭测试, 第一次静扭测试最大扭矩值为 16841 N·m, 第二次静扭测试最大扭矩值为 14177 N·m, 取平均值为 15509 N·m。

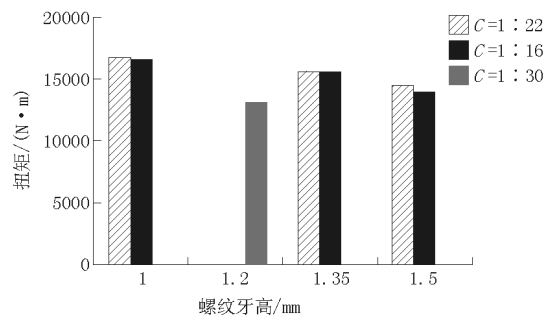


图 7 静扭测试最大扭矩柱状图

根部危险截面的面积越大, 其所能承受的静扭载荷越大。

将同样牙高的试样锥度为 1: 16 和 1: 22 试样进行对比, 牙高为 1 mm 试样, 锥度为 1: 16 的 3500 - N - II 试样比锥度为 1: 22 的 3500 - N - III 试样静扭值大 1.2%, 牙高为 1.35 mm 试样, 锥度为 1: 16 的 3500 - N - 0 试样比锥度为 1: 22 的 3500 - N - I 试样静扭值大 0.38%, 牙高为 1.5 mm 试样, 锥度为 1: 16 的 3500 - N - IV 试样比锥度为 1: 22 的 3500 - N - V 试样静扭值大 3.6%, 同样牙高情况下, 三组 1: 16 锥度试样均比 1: 22 锥度试样所能承受静扭值大。

在试样结构尺寸上 3500 - N 试样比 CNHT 试样外径大 1 mm, 从静扭值可以看出, CNHT 试样静扭值比 3500 - N - V 试样静扭值小 6.03%, 比 3500 - N - I 小 15.3%, 比 3500 - N - III 小 20.4%, 加大镦头处壁厚尺寸, 可以大大提高其承受静扭载荷能力。

5 结论

(1) 分析研究了针对负角度螺纹薄弱部位进行扭转最大扭矩计算的方法,其计算结果与静扭测试非常接近,误差在 6.6% 以内,可以作为深孔绳索钻杆螺纹设计的重要参考;

(2) 负角度螺纹在传递扭矩时,各个螺纹受力面传递扭矩大小不同,可以根据其扭矩值分布情况进行螺纹规格参数进一步优化设计;

(3) 负角度螺纹锥度、牙高和危险截面面积对负角度螺纹最大扭矩有不同程度影响,影响因素最大的是危险截面面积,因而增大危险截面面积可有效增加螺纹最大扭矩;

(4) 对比分析不同螺纹规格的静扭测试和理论计算结果,3500-N-II 试样负角度螺纹规格,牙高为 1 mm,锥度为 1:16 负角度螺纹可以作为深孔负角度螺纹的重要参照螺纹规格。

参考文献:

[1] 董海燕,王鲁朝,杨芳,等. 国产 CNH(T) 绳索取心钻杆在中国

岩金勘查第一深钻工程中的应用分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(1):49-53.

- [2] 山本晃. 螺纹连接的理论与计算[M]. 郭可谦译. 上海:上海科学技术出版社,1984.
- [3] 刘巨保,张薇,王世永. 套管钻井中连接螺纹力学分析及设计计算[J]. 大庆石油学院学报,2006,30(1):47-49,56.
- [4] 高连新,金焯. 套管连接螺纹的受力分析与改善措施[J]. 上海交通大学学报,2004,38(10):1729-1732.
- [5] 苏继军. 金刚石绳索取心钻杆接头螺纹的优化研究[D]. 吉林长春:吉林大学,2005.
- [6] 刘建群. 旋转台肩连接螺纹轴向载荷分析与计算[D]. 吉林长春:吉林大学,2005.
- [7] 赵大伟,赵国仙,赵映辉,等. $\varnothing 88.9\text{mm} \times 9.35\text{mm}$ G105 钻杆内螺纹接头胀扣失效分析[J]. 石油矿场机械,2009,38(6):56-60.
- [8] 谭申刚. MJ 螺纹强度理论与计算[M]. 陕西西安:西北工业大学出版社,2014.
- [9] 刘华南,郭威,孙友宏,等. 绳索取心钻杆超声波探伤方法分析研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(7):31-33.
- [10] 满国祥,杨宏伟. 国产绳索取心钻杆设计与制造技术的分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(2):49-52.

(上接第 26 页)

设备的安全问题凸显。要建立完善的安全生产管理机构,全面加强对施工人员的安全培训;要配备相应的防漏电、防水、防火设备,还应确保通风安全,对有毒、有害、易燃、易爆气体实时监测。

参考文献:

- [1] 吴光琳. 定向钻进工艺原理[M]. 四川成都:成都科技出版社,1991.
- [2] 李世忠. 钻探工艺学(上册)[M]. 北京:地质出版社,1992.
- [3] 刘广志. 金刚石钻探手册[M]. 北京:地质出版社,1991.
- [4] 秦沛. 矿山洞内同一位置垂直向上向下钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(11):47-49.
- [5] 吉路波,宋强军. 大倾角上山岩巷快速掘进技术实践[J]. 科技与企业,2014,(15):248-248.
- [6] 李宝辉,刘志会. 深孔勘察中强自然造斜地层的防斜纠斜工艺技术措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(7):8-9.
- [7] 常江华. 坑道水平孔取心钻进技术的应用[J]. 化工矿物与加工,2014,(11):46-48.
- [8] 倪林祥. 关于岩石研磨性与金刚石孕镶钻头的选型[J]. 探矿工程,1980,(5):11-15.

- [9] 闵东. 坑道钻探硐室设计及坑道钻探施工安全措施[J]. 西部探矿工程,2010,22(1):59-60.
- [10] 梁绪年,李建斌,刘清. 浅谈甘肃玛曲大水金矿坑道水平钻探施工[J]. 西部探矿工程,2014,26(8):77-79.
- [11] 庄生明,吴金生,张伟,等. 汶川地震断裂带科学钻探项目 WFSD-4 孔取心钻进技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):126-129.
- [12] 张伟,贾军. 汶川地震科学钻探二号孔取心钻进方法的选择[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(7):5-7.
- [13] 谭志军. 矿山坑内钻探技术现状及其发展方向[J]. 矿山地质,1990,11(3):80-82,98.
- [14] 张蛮庆. 高强度人造金刚石孕镶钻头钻进坚硬岩层的试验效果[J]. 探矿工程,1980,(5):43.
- [15] 陶士先,陈礼仪,单文军,等. 汶川地震断裂带科学钻探项目 WFSD-2 孔钻井液工艺研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9):45-48.
- [16] 汤凤林,Чихоткин В. Ф.,高申友,等. 关于金刚石钻进参数合理配合的分析研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(10):76-80.
- [17] 汤士博,熊伟,彭万利,等. 加强钻探工程管理工作的措施和建议[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(8):68-70,79.
- [18] 刘治,李宁,刘长江. 谈钻探项目施工管理[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(2):82-84.