

# 提高水平定向钻进用钻杆制造质量和应用水平的探讨

董向宇

(中国地质科学院勘探技术研究所,河北 廊坊 065000)

**摘要:**对水平定向钻进(HDD)用钻杆的工作状况及主要失效形式进行了分析,对整体锻造钻杆和摩擦焊焊接钻杆进行了比较,对提高 HDD 钻杆质量的方法进行了探讨,并对使用中应注意的问题提出了一些建议。

**关键词:**水平定向钻进;非开挖;钻杆;锻造;摩擦焊

**中图分类号:**P634.4<sup>+</sup>2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2007)04-0030-04

**Study on Improving Manufacture Quality and Application Level of Drilling Pipe in Horizontal Directional Drilling/DONG Xiang-yu** (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** The paper analyzes the working status and failure mode of drilling pipe in horizontal directional drilling, compares the drilling pipe made by solid forging and friction welding, discusses how to improve HDD drilling pipe, and gives some proposals in application.

**Key words:** horizontal directional drilling; non-excavation; drilling pipe; forging; friction welding

水平定向钻进(HDD)技术,尤其是中小曲率导向(定向)钻进技术在非开挖铺管工程中的应用十分广阔。在 HDD 施工中,钻杆作为常规、高成本配备的消耗材料,其安全性对施工顺利与否有着十分重要的影响。钻杆的工作状况复杂多变,差异极大,因此对于 HDD 配套钻杆的规格、结构、性能及使用寿命有极其严格的要求。

## 1 HDD 钻杆的工作状况分析

实施 HDD 技术施工,主要是完成水平钻孔和弧形钻孔,钻杆的功能与常规的地质钻探有着比较大的差别,其主要功能有:

- (1) 传递钻进和调整方向时钻机给予钻头的轴向压力;
- (2) 传递钻进时钻机施加给钻头的扭矩;
- (3) 传递反拉扩孔和拉管时钻机施加给钻头的拉张力和扭矩;
- (4) 承受钻杆拧卸时卸扣器对钻杆接头的扭力;
- (5) 承受钻具弯曲产生的交变弯曲力矩;
- (6) 承受钻进地层的摩擦力;
- (7) 承受碎岩或冲击器产生的震动和冲击载荷;
- (8) 传输具有一定压力的气体或液体介质,并具有一定的抗腐蚀性。

由于钻孔的轨迹是三维的,钻孔的孔径越大,长度愈长,钻杆弯曲的程度越大,受力状况愈恶劣。

## 2 HDD 钻杆的主要失效形式

HDD 钻杆的主要失效形式可以分为折断和刺穿 2 种情况,它们都与疲劳和腐蚀有关。疲劳破坏是疲劳裂纹在外力的作用下发展的过程,表现为钻杆杆体的失效或接头的失效。如杆体断裂、杆体发生永久性变形、杆体至接头过渡段断裂、公母接头螺纹部位断裂。另外由于使用酸性或碱性钻井液,又不严格对钻杆清洗和防腐,钻杆内壁腐蚀严重,高速流动的钻井液剥蚀钻杆内壁的局部,形成腐蚀坑及腐蚀裂纹,在载荷和腐蚀介质作用下裂纹逐渐扩展,产生钻杆局部刺穿,进而使管体断裂。这种情况同样会发生在受腐蚀的丝扣联接处。

还有一种比较特殊的失效情况是:由于丝扣的表面处理的质量差、丝扣锈蚀或不使用正规的丝扣油,钻杆承受高扭矩后,丝扣相互粘和,拧卸时产生表面剥落,使钻杆接头报废。

表 1 分析了常见的钻杆失效的表现形式及产生的主要原因。

## 3 HDD 钻杆的制造

### 3.1 HDD 钻杆的制造工艺

钻杆加工需要经过十几个工序:毛坯锻造、粗加

收稿日期:2007-01-08

作者简介:董向宇(1970-),男(汉族),河北唐山人,中国地质科学院勘探技术研究所高级工程师,探矿工程专业,从事非开挖技术的研究工作,河北省廊坊市金光道 77 号,13932678511,d-tiger@163.com。

表 1 常见钻杆失效表现形式及产生的原因

失效类型	失效形式	失效原因	
杆体断裂	断口平整,无塑性变形	管体材料韧性差,调质硬度过高,管体有刻划痕	
	断口呈螺旋状,有塑性变形	扭矩过大,材料强度低,调质硬度低,杆体磨损,有刻划痕	
	断口平整,有缩径	强力拉断,材料强度低,调质硬度低,杆体磨损	
失效	弯曲变形	孔内失稳,超最小曲率半径使用,杆体材料刚性差	
	过渡段断裂	摩擦焊焊口断裂 焊口两端断裂	摩擦焊工艺不过关 摩擦焊焊后热处理工艺不过关
丝扣失效	公接头断裂	断口平整无塑性变形	超过最小曲率半径使用,氮化过度,调质硬度太高,丝扣扣底圆弧角加工不完全,没有应力减轻槽
	母接头大端涨口	断口呈螺旋状,有塑性变形	扭矩、拉力过大,材料强度低,调质硬度太低,磨损、腐蚀严重,上扣台肩未压紧
	母接头大端喇叭口状	母接头大端呈喇叭口状	磨损过大,扭矩太大,设计结构不合理
	丝扣变形	螺旋副旋合变松,无法密封	材料强度低,调质硬度太低
	丝扣粘扣产生表面剥落	拧卸时冒烟,扭矩大,扣面有剥落	使用时扣面不干净,使用不合格的丝扣油,扣面表面处理不过关,扣面光洁度低
	丝扣锈蚀	扣面锈蚀严重,有剥落	保存时未将丝扣部位清洗干净,未涂抹油脂防腐

工、热处理、精加工、摩擦焊焊接、丝扣表面处理、探伤等。目前 HDD 钻杆的制造工艺可以分为 2 种。

一种是整体锻造钻杆,即采用厚壁无缝钢管,使用平锻的方法将端部加厚,用管螺纹车床直接在加厚的端部车制丝扣,完成钻杆加工。

另一种是摩擦焊焊接钻杆,又可以分为直接摩擦焊钻杆和镦粗摩擦焊钻杆。即钻杆管体和接头分开加工最后采用摩擦焊的方法将它们连接成一体。目前市场上直接摩擦焊 HDD 钻杆已经被淘汰。

### 3.2 两种结构的钻杆对比(见表 2)

表 2 整体锻造钻杆与摩擦焊焊接钻杆对比表

项 目	整体锻造钻杆	镦粗摩擦焊钻杆
管体壁厚	较厚	适度
管体调质处理	井式炉分段	水平
镦粗过程	复杂	简单
接头长度	过长尺寸的接头较难保证	接头的尺寸对加工无影响
接头丝扣加工	数控管螺纹车床	普通数控车床
接头部位热处理	与管体调质处理同时完成	单独完成
丝扣表面处理	磷电镀处理	气体渗氮处理
丝扣耐磨性	一般	一般
保证定尺精度	高	较低
焊缝强度	无	高
钻杆柔性	最小曲率半径比较大	最小曲率半径比较小
整体机械性能	好	较好
整体同轴性	好	一般

从表 2 可以看出,整体锻造钻杆公扣端在加工时需要加厚的量比较大,所以选用无缝钢管的壁厚尽量厚,而镦粗摩擦焊钻杆只是将端部适当加厚,所以可以选用壁厚较适中的无缝钢管。无缝钢管的壁厚不同,钻杆的机械强度自然就不一样,但是对于相同外径的钻杆而言,管壁薄的最小曲率半径就比较小,也就是柔性好一些。总体上讲镦粗摩擦焊钻杆

和整体锻造钻杆这两种结构形式具有各自的优点并都存在一些不足。

### 3.3 HDD 钻杆加工中存在的问题

(1) 钻杆管材质量不高。目前市场上大部分 HDD 钻杆制造商使用石油套管 N80 或 P110 作为钻杆的管材,HDD 钻杆的机械性能较低。

(2) 杆体局部硬度高,产生应力集中,成为危险断面。

(3) 接头材料性能和热处理控制不稳定。

(4) 螺纹表面处理后性能不理想,未对螺纹根部及退刀槽进行滚压处理。结构设计混乱,互换性差。

(5) 由于钻杆杆体的热处理工艺比较困难,实施成本高,并要求进行校直处理,所以目前国内部分镦粗摩擦焊钻杆的生产直接使用了退火状态的钢管,因而其综合机械性能没有得到很好的保证。

## 4 提高 HDD 钻杆质量的措施

### 4.1 钻杆杆体及接头的材料和热处理工艺

根据美国石油协会 API 标准,衡量钻杆材质力学性能的几个指标为:抗扭、抗拉、抗挤压、抗内屈服强度。并将钻杆按照钢材的力学性能大小分为 E75、X95、G105、S135 等钢级。不同钢级的钻杆所具有的综合力学性能有很大的差别。为保证钻杆的强度,材料优选和热处理十分重要。目前钻杆及接头常用的材质有 35CrMo、35CrMnSi、36Mn2V、40CrMo、42CrMo、42MnMo7、45MnMoB、35CrNiMo、40CrNiMo 等。Mo 能使钢的晶粒细化,提高淬透性和热强性能,还可以抑制由于回火而引起的脆性,提高剩磁和矫顽力。Cr 能提高钢的淬透性和耐磨性。合金钢中含有 Cr、Mo 元素可以提高抗拉强度和抗

冲击性能。Mn有足够的韧性,且有较高的强度和硬度,提高钢的淬透性,改善钢的热加工性能。Si能显著提高钢的弹性极限、屈服点和抗拉强度。含有Mn、Si元素可以提高材料的抗弯性能。含有B、V等元素可以提高材料淬透性。

钢材在出厂时为去应力退火状态,要进行调质处理。就是将工件先淬火再高温回火。经过调质处理后,材料的金相组织为回火索氏体。

钻杆杆体调质处理后,可具有较高的机械强度和良好的抗弯性能和抗冲击性能。

接头材料一般采用35CrMo、42CrMo,将锻造好的接头材料,先粗加工保留余量2 mm,再进行调质处理。硬度可以达到HRC30~32.5。不要过高地追求材料的调质硬度,材料经过热处理后,既要有一定的硬度,又要保持很好的韧性。

#### 4.2 钻杆杆体的结构

失效事故多产生于内加厚过渡区部位的刺穿和断裂,属疲劳或腐蚀疲劳失效。导致此类事故的根本原因是钻杆内加厚结构不合理,钻杆内加厚过渡区内末端存在一个高应力区(应力集中),加厚过渡区长度和加厚过渡区与管体交界处的圆弧半径对应力集中的严重程度影响很大。

整体锻锻钻杆和锻粗摩擦焊钻杆都要对管体端部进行墩粗处理。采用端部加厚的结构形式,严格按照石油钻杆端部加厚的有关要求。整体锻锻钻杆要求对管体两端加厚的尺寸比较大,尤其是公扣需要数次锻锻才能达到要求。所以加厚过渡区长度和加厚过渡区与管体交界处的圆弧半径必须严格注意,除圆弧要保证足够大外,还不能出现褶皱变形。

#### 4.3 接头的结构形式

进行结构设计时,首先考虑的是钻杆接头的结构强度是否能满足使用要求,同时还要考虑设计结构是否与热处理工艺相适应,并且选择的接头材料是否影响后期的表面处理,及接头与钻杆管体焊接时能否产生负面影响等等。

选择合理的螺纹类型,螺旋角,锥度。着重采用API标准螺纹,适当加大螺纹扣底圆弧半径。选用锥度1:4,1:5,1:6。可以适当采用应力分散槽的结构。合理分配公、母接头抗弯强度的比值。增强接头抗扭性能和密封性能,设计双端面互顶结构。接头旋合后,上扣台肩顶上,此时公接头的小端端面与母接头小端加工端面间有一个间隙,当上扣扭矩逐渐加大时,间隙逐渐减小,直至消失,扭矩再加大,两个台肩上就产生压应力,并且此压应力随着扭矩

的增大而增大,这就对螺纹的继续旋合产生阻滞作用,从而防止扭矩过大而引起的外螺纹拉长和内螺纹胀大引起的钻具事故。这种双端面互顶结构对于要求基本外平的小直径HDD钻杆来讲,可以十分有效地增大接头的抗扭性能。

#### 4.4 接头螺纹的处理

螺纹车制加工完成后对螺纹底部实施冷滚压处理,可以提高螺纹表面的光洁度、硬度和耐磨性,减小应力集中现象。经过冷滚压的接头螺纹的疲劳强度和疲劳寿命可以大大提高。可以降低粘扣现象的发生。目前国产的HDD钻杆都没有实施这种工艺。

对于丝扣的耐磨性和抗粘扣而言,整体锻锻钻杆采用的是扣面磷化或镀铜处理,可以采用热磷化或冷磷化两种方法,磷化厚度5~8  $\mu\text{m}$ 。实施冷滚压处理后再进行磷化处理,可以达到最佳效果。

锻粗摩擦焊钻杆采用的是氮化处理,以加强丝扣表面及接头外表面的硬度和耐磨性。氮化层保证在0.2~0.3 mm之间。由于氮化后能使工件的脆性增加,所以氮化的硬度保证在HRC40~42之间。对于钻杆接头丝扣扣根和应力减轻槽台肩处采取镀锡保护的方式不氮化,避免产生应力集中。接头氮化后,工件表面外观光洁度下降,对抗粘扣性能有影响。应对螺纹表面及底部进行精磨,这样才能保证最佳的使用效果。

两种处理方法的螺纹进行表面处理前,都要求在机械加工时达到比较高的表面光洁度。对比这两种处理方法的使用效果和使用寿命,两者相差不多。

#### 4.5 确定科学的摩擦焊工艺

摩擦焊是一种固态的焊接方式。是以摩擦热为热源,通过机械摩擦运动使两摩擦表面产生热量,把焊件表面加热到塑性状态,然后施加轴向压力将同种金属或异种金属牢固的联结在一起。其特点是:全截面焊接,无气孔、裂缝等缺陷,焊接面不易氧化,接口组织细密,可得到与母材相同的强度,参数重现性好,焊接质量稳定,加工效率高。

管体与接头材料有差异,尤其是材料中的Mo在摩擦时可以形成减摩化合物,使温度不易提高,所以应采用低摩擦压力长摩擦时间的工艺完成焊接。摩擦焊要综合考虑材料端面面积、摩擦时间、一二级顶锻压力、顶锻位移和速度这几个参数的关系。通过检测变形飞边、同轴度、端面金相,并经过超声波探伤、磁粉探伤、拉伸及抗冲击性试验,确定焊接参数。

焊缝的热处理对焊接质量的影响很大。现在一

般是用中频感应进行回火处理,然而如果要得到最佳的效果,应该采用淬火加高温回火的处理工艺。目前可以采用形变热处理的方式。就是在摩擦焊完成后,利用产生的1200℃左右的焊接余热,对焊缝进行喷雾完成淬火,然后再高温回火,可以得到回火索氏体。消除了焊缝处的焊接应力集中,并达到了较高的机械强度和良好的韧性,回火处理后要注意保温。

## 5 HDD 钻杆使用中应注意的问题

(1)新钻杆初次使用,要进行磨合,上卸扣要慢,并应预紧。

(2)使用合格的锌基螺纹脂,黄油不适于作为丝扣油使用。螺纹脂不足,使接头的台肩部损伤产生高点,易使螺纹连接“松劲”而致螺纹破坏。不使

用螺纹脂或使用的螺纹脂不合格,会使丝扣表面粘合在一起,产生粘扣现象。

(3)不能强行上扣。对扣时,公扣不能冲击母扣的台肩和螺纹,并保证在旋扣时公母接头对中。保证钻机的卸扣器和动力头主轴的同轴度。

(4)上扣时应将螺纹预紧,达到规定扭矩的90%。不预紧,螺纹连接摆动,造成螺纹互相研磨,牙顶变尖,侧面产生棱脊,导致螺纹损坏或产生粘扣现象。另外,螺纹不预紧,母扣台肩未压紧,可以导致公接头螺纹根部疲劳折断。在高压液流的作用下,母接头被刺穿,产生刺蚀现象,易导致母接头纵裂。

(5)贮存时,应清洗干净,作好防腐,平放,勿重压。

# 中国地质科学院勘探技术研究所 隆重召开土耳其碱矿对接井工程竣工总结大会

本刊讯 2007年3月16日,中国地质科学院勘探技术研究所廊坊国际饭店隆重召开“土耳其碱矿对接井工程竣工总结会”,为首次跨出国门出色完成土耳其贝帕扎里碱矿对接井工程欢欣鼓舞。应邀参加会议的领导有:国土资源部党组成员、中国地质调查局局长孟宪来,中国地质调查局副局长王学龙,国土资源部国际合作与科技司司长黄宗理,国土资源部勘查司副司长刘连和,廊坊市委副书记李怀璋,中国地质科学院党委书记张陟,中国地质大学(北京)副校长王聪,中国大陆科学钻探工程中心主任王达,国土资源部咨询研究中心咨询委员赵国隆等。《科技日报》、《国土资源报》及《中国矿业报》的记者参加了会议。

会议由勘探所刘三意副所长主持,中国大陆科学钻探工程中心主任王达主任首先致词,随后勘探所特种钻进技术研究中心主任向军文对土耳其对接井钻井工程作了简要汇报。

贝帕扎里天然碱矿是土耳其境内迄今为止发现的最大的天然碱矿,天然碱地质储量2.37亿t。早在20世纪末,土耳其业主选择硐室掘进早采方法,由于产能不足及总体运行成本不合理等原因最后终止早采。2003年,中国机械进出口总公司参加该矿山建设投标并最终中标,采用勘探所自主研发的定向钻进采卤对接井技术进行对接井钻进施工。

工程施工自2003年3月合同签订至2006年12月1日全部30对井组连通,历时4载。在施工中,由于受磁场变化、矿层薄、矿层分布稳定性差等诸多不利因素影响,采用常规定向工艺完成水平对接井技术难度大,水平井对接连通成为项目需要解决的最大技术难题。此次钻井工程30对定向对接井钻进总进尺约4万m,工程规模之大,在国内外属罕见,大大超过我国对接井施工当时能达到的技术指标。工程

技术人员针对每口井的地质环境、矿层条件提出解决办法,确保项目提前竣工。

孟宪来局长听完向军文同志的汇报后,发表了重要讲话,他指出,土耳其工程的圆满实施,体现出了勘探所科技人员的雄厚实力、过硬技术。同时也给勘探所广大干部职工提出了三点要求:一是要抓住机遇,加快发展。当前,地质工作面临前所未有的大好机遇,尤其是地质工作领域的拓展、第二空间找矿的推进,对钻探新技术、新产品的需求很旺。二是要解放思想,面向市场。在当今条件下,不论是研发钻探新技术、新产品,还是承担地质工程项目,都需要新思维、新方式。一定要解放思想,面向市场,开拓市场,占领市场。三是要发挥优势,努力创新。在钻探设备的研发上,勘探所具有明显的优势和特色。既要继续保持特色、发挥优势,更要不断创新,研发新的技术,研究一批,开发一批,储备一批,形成品牌优势。

勘探所甘行平所长作了总结发言,向给予项目支持的各级领导、专家表示衷心的感谢!希望全所职工以这次会议为契机,加快技术创新步伐,提高自主创新能力,形成新的技术优势,更好地为地质大调查服务,真正成为地质大调查的技术支撑。把勘探所建成技术领先、经济实力雄厚、服务优质的钻掘行业国内领先、国际一流的研究所。

国土资源部国际合作与科技司黄宗理司长、廊坊市委副书记李怀璋发表了热情洋溢的讲话,对土耳其对接井钻井工程取得圆满成功表示祝贺。会上,王学龙副局长代表中国地质调查局党组向土耳其对接井项目部授予了“不怕难、敢碰硬”的锦旗。