

# 绳索取心钻杆折断事故的原因、预防与处理措施

李 宽, 李鑫淼, 梁 健

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

**摘要:**针对地质钻探中时常发生的钻杆折断事故, 本文从钻杆材质与加工、复杂地层条件、钻孔弯曲等方面分析了导致绳索取心钻杆折断的主要因素, 并从钻杆材质优选、钻杆加工工艺和热处理工艺、螺纹结构优化和精细处理、钻孔结构与钻具级配优化、护壁堵漏技术、现场操作规程等方面总结了相应的预防措施, 建议通过数值模拟优化钻具级配和钻进规程参数, 加强钻杆腐蚀缺陷、裂纹等的探伤检测, 以提高整个钻探体系的可靠性。

**关键词:**绳索取心钻杆; 材质与加工; 螺纹强度; 钻孔弯曲; 钻具级配; 护壁堵漏

**中图分类号:** P634.8   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1672-7428(2018)07-0048-04

**Causes of Wire-line Drilling Rod Broken Accident and Prevention Treatment/LI Kuan, LI Xin-miao, LIANG Jian**  
(The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** In view of the drilling rod broken accident that often occurs in geological drilling, in this article, the main factors that lead to the wire-line drilling rod breaking are analyzed in the aspects of drilling rod material and processing, complex formation conditions and drill hole bending, and the corresponding prevention measures are summed up in drilling rod material selection, drilling rod processing and heat treatment process, thread structure optimization and fine processing, borehole structure and drilling tool grading optimization, wall protection and leakage plugging technology and field operation regulations. It is suggested that the drilling tools grading and drilling regulation parameters should be optimized by numerical simulation to strengthen the detection of drilling rod corrosion defects and crack, so as to improve the reliability of the whole drilling system.

**Key words:** wire-line drilling rod; material and processing; thread strength; borehole bending; drilling tool grading; wall protection and leakage plugging

## 0 引言

绳索取心钻进具有钻进效率高、取心质量好、劳动强度低、钻头寿命长、钻孔事故率低等突出优点, 已广泛应用于固体矿产勘查、科学钻探、油气资源地质调查、海洋地质调查等领域。绳索取心钻进中, 钻杆除了要为钻头传递碎岩的钻压、扭矩外, 还要为绳索打捞岩心提供运行通道, 因此钻杆多为内平结构, 壁厚相对较薄。

钻杆在孔内受到弯曲、扭转、振动、拉压及腐蚀等作用, 遇到复杂情况可能发生钻杆折断事故。钻杆折断不但影响施工效率, 如处理不当, 还可能导致钻孔报废, 造成施工周期延迟、钻探综合成本大幅升高; 严重时, 还可能发生钻探设备和人身伤亡事故<sup>[1]</sup>。

2010 年至今, 笔者先后参与陆域天然气水合物科学钻探、页岩气地质调查钻探、大陆科学钻探等, 多次遇到钻杆折断事故, 采取相应技术措施均打捞

成功。本文从钻杆材质优选、钻杆加工工艺和热处理工艺、螺纹结构优化和精细处理、钻孔结构与钻具级配优化、护壁堵漏技术、现场操作规程等方面对钻杆折断的原因、预防及处理措施进行归纳与总结, 希望能为今后地质钻探施工提供一些参考。

## 1 钻杆折断原因

### 1.1 钻杆连接方式与加工质量

#### 1.1.1 钻杆连接方式的原因

目前, 最常用的绳索取心钻杆是接头连接式, 螺纹连接部位壁厚相对较薄, 再加上螺纹的牙底和尾部产生的应力集中, 螺纹部位成为整个钻杆柱中最薄弱的环节<sup>[2]</sup>。钻杆接头经调质处理后, 其抗拉强度、剪切强度、抗冲击强度等机械性能要比钻杆体高近 1 倍, 理论上钻杆体螺纹是薄弱点。实际加工装配中, 钻杆体外螺纹与接头内螺纹之间涂抹环氧树脂

收稿日期: 2018-03-29

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“钻探工程孔内事故处理技术规程”(编号: 121201108000150012-09)、“地质钻探护壁堵漏技术规程”(编号: DD20160096-20)、“南方地区 1:5 万页岩气基础地质调查填图试点(中国地质科学院勘探技术研究所)”(编号: DD20179042)

作者简介: 李宽, 男, 汉族, 1987 年生, 工程师, 地质工程专业, 硕士, 从事岩土钻凿工艺与机具研究及示范工作, 河北省廊坊市金光道 77 号, likuan0611@163.com。

脂粘接剂,高强度粘接剂抗剪强度可达 24 MPa,横向载荷分布均匀,受弯曲应力接触面积大;相比较,钻杆接头螺纹副反复拧卸,受紧密距大小的影响,抗剪截面有时很小,造成接头螺纹断裂<sup>[3]</sup>。在实践中也证明了这一点,采用预扭矩拧紧并用粘结剂粘接的钻杆,折断一般发生在接头螺纹处,现场更换接头的钻杆(无胶粘或预紧力不足)折断一般发生在钻杆体与接头螺纹处。

### 1.1.2 材质方面的原因

常用的国产绳索取心钻杆用冷拔无缝钢管有 45MnMoB、30CrMnSiA 等<sup>[4]</sup>,对折断的钻杆进行金相检验发现硫化物、氧化物等非金属夹杂物,材料中的有害元素,如 As、Sn、Sb、Pb、Bi、P、S、O、N、H 等含量控制不严格,纯净度不够高。这些非金属夹杂物造成钻杆和接头在热处理淬火时微观应力集中,降低钢的塑性、韧性和抗疲劳性能,冷热加工性能变差,导致许多缺陷的产生,易造成钻杆、接头断裂<sup>[5-7]</sup>。

### 1.1.3 热处理工艺方面的原因

调质处理是淬火加高温回火的双重热处理工艺,借助高温回火(500~650 °C)使材料的晶粒度细密,金相组织变成均匀回火索氏体,材料的综合性能更佳,是提高无缝钢管综合机械性能最经济有效的办法。钻杆生产过程中,因热处理设备和技术条件的限制,调质处理时淬火和回火的温度控制不够准确,从而影响了热处理的效果。

### 1.1.4 机加工方面的原因

调质处理后的杆体需要用液压校直机进行校直以保证直线度,高精度校直机资金投入大,而普通校直机由于工人操作原因很难保证每一根钻杆都能达到直线度要求,所以导致钻杆丝扣在加工时出现椭圆<sup>[8]</sup>,钻杆杆体与接头同心度也会存在一定误差,进而导致钻杆、接头的丝扣和密封锥面同轴性差,使钻杆连接后发生偏斜。

## 1.2 复杂地层条件

### 1.2.1 孔壁不稳定地层

不稳定地层一般分为两大类,第一类为力学不稳定地层,钻杆高速回转产生的离心力对孔壁进行震动、敲击和刮削,孔壁失稳,围岩剥落,孔径增大;第二类为遇水不稳定地层,与冲洗液接触引起分散、造浆、溶胀、剥落、溶解等,表现为钻孔缩径、超径或垮塌等<sup>[9]</sup>。随着钻孔直径的增大,钻杆回转产生的离心力也增大,当钻杆所受的应力超过钻杆的屈服

应力时,容易发生钻杆折断事故<sup>[10]</sup>。

### 1.2.2 漏失地层

钻遇漏失地层,如不能采取有效的堵漏措施,顶漏钻进时上部钻杆处于干摩擦状态,回转时得不到润滑与冷却,扭矩明显增大,接头局部过热,易出现折断。

### 1.2.3 裂隙发育硬地层或软硬交互地层

在裂隙发育的花岗岩、石英斑岩等硬地层或软硬交互地层钻进时,易出现憋跳卡滑问题,导致孔底钻具转速与扭矩频繁的急剧变化,使钻杆发生横向扭转振动和纵向震动,导致钻杆疲劳破坏<sup>[11]</sup>。

## 1.3 钻孔弯曲

钻杆在离心力及轴向压力的作用下会发生弯曲,内部产生弯曲应力,钻杆合成应力受弯曲应力的影响最大。打斜孔或孔斜时,弯曲应力增大,钻杆柱内生成交变应力,引起钻杆疲劳,严重影响钻杆的强度和使用寿命。

## 1.4 腐蚀作用

钻井液中存在游离态氧和大量的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  等元素,易发生吸氧腐蚀,形成碳酸盐结垢。钻杆出井后,由于重力作用,钻井液易在钻杆接头和钻杆体的过渡区滞留,造成过渡区严重点蚀。管材中 Cr、Mo、Ni 元素能提高碳钢的耐均匀腐蚀和耐点蚀能力,化学成分显示,钻杆接头中这些元素的含量均高于钻杆体中的含量,所以出现钻杆体腐蚀程度大于接头腐蚀程度的现象,腐蚀作用造成的钻杆折断或失效一般也都出现在钻杆体螺纹根部<sup>[12-13]</sup>。

## 1.5 其他影响因素

(1) 钻孔结构与钻具级配不合理:钻杆与孔壁环状间隙过大,导致钻杆发生弯曲而折断。

(2) 钻进参数选择不当:未能根据孔内情况正确选用钻进参数,盲目开高转速或加大钻压。

(3) 冲洗液性能差:冲洗液护壁与润滑性能不好,未能起到护壁减阻作用;遇水不稳定地层,滤失性能控制差。

(4) 质量控制措施不完善:起下钻时钻杆检查不细致,未能及时更换过度弯曲、磨损、腐蚀或有细微裂纹的钻杆<sup>[14]</sup>。

## 2 钻杆折断预防措施

### 2.1 高精度钻杆制造

(1) 钻杆管材选择:选用正规厂家生产的高质量

无缝钢管,如我所与浙江新纪元公司联合研发了适合深孔、特深孔应用的 XJY950 高钢级精密绳索取心钻杆用冷拔无缝钢管,具有纯净度高、淬透性高和综合性能高的优点,已达到国外绳索取心钻杆用管材的最高钢级的要求<sup>[15]</sup>。

(2)螺纹参数优化:考虑到目前常用绳索钻杆的螺纹牙高(母螺纹扣高 1.20 mm、公螺纹扣高 1.25 mm)、螺纹长度(50 mm)已满足正常情况下深孔钻进所需的抗拉、抗扭要求,为解决钻杆螺纹强度远低于杆体强度的结构性问题,对紧密距、锥度、牙侧间隙等钻杆螺纹参数进一步优化,提高螺纹啮合精度。一些钻杆制造企业、使用单位等通过理论计算、台架测试与生产性试验,确定了供生产实践参考的螺纹参数为:钻杆螺纹锥度 1:30;接头螺纹锥度 1:22;紧密距 0.8~3.0 mm;牙侧间隙为 0.20~0.35 mm;内螺纹大径小于外螺纹大径 0.05 mm,以保证径向过盈,且内螺纹大径带锥度,保证径向过盈长度<sup>[16]</sup>。

(3)螺纹表面硬化处理:接头螺纹副进行化学镀镍-磷合金处理,镍-磷合金镀层硬度 HV850~950,厚度 0.02~0.04 mm,处理后金属表面具有良好的耐磨性、耐腐蚀性与非粘着性。

(4)加工质量控制:选用先进的设备和工艺进行精细加工和调质处理,一般要求优质绳索取心钻杆弯曲度 $\nabla 0.7$  mm/m;调质过后的钻杆,金相组织要求回火索氏体含量 $\geq 85\%$ ,晶粒度 $\geq 7$ 级,以此确保获得较高的综合机械性能<sup>[17]</sup>。

## 2.2 钻孔结构与钻具级配优化

钻杆与套管或孔壁环状间隙过大,容易造成钻杆折断;环状间隙过小,在保证冲洗液起到良好的清洁孔底、携粉和冷却钻头的前提下,钻井液循环阻力增大,冲洗液上返速度快,冲刷力强,起下钻具时抽吸作用和产生“激动”压力大,往往容易造成孔壁掉块、坍塌等。

综合考虑冲洗液性能及水力参数、钻杆、孔壁安全、固井等因素,钻具间隙建议:钻头与上一级套管间隙 $\geq 1.5$  mm,套管与孔壁间隙 $\geq 3.0$  mm,钻杆环空间隙 $\geq 3.0$  mm<sup>[18]</sup>。钻孔直径和套管内径与钻杆直径也有合理的比值,金刚石钻进宜控制在 1.07~1.12。

## 2.3 钻孔弯曲控制

(1)提高钻探设备安装质量,保证钻塔、底座、钻机安装底盘牢固、水平,钻塔、立轴、井口三点一线。

(2)深孔施工中,在近钻头与钻杆柱分别安装扶

正器,不仅能起到防斜作用,同时降低钻杆柱弹性系统在孔内的径向振动和横向偏磨,改善钻杆工作状态。

(3)确定合理的孕镶金刚石钻头底唇面类型,中硬-硬岩层以及破碎岩层、破碎与完整交错岩层,选择阶梯形底唇面金刚石钻头;沉积岩、变质岩等含岩粉较多的地层,选择圆弧状底唇型或单阶梯导向式底唇型钻头。

(4)采用绳索取心冲击回转钻进技术,选择小钻压、低转速等规程参数,能够改善钻杆的工作状态,有效的控制孔斜。

## 2.4 护壁堵漏技术措施

绳索取心钻进一般应使用优质无固相或低固相冲洗液,要求具有良好的流变性、润滑性与滤失性。对于复杂地层,相应调整冲洗液性能。

(1)松散不稳定地层:采用防塌型冲洗液,可明显增加砂、砾之间的胶结性;提高冲洗液的抑制性;采用物理化学方法封堵地层的层理和裂隙,防止冲洗液进入地层,避免孔壁发生坍塌。

(2)水敏性地层:尽量降低冲洗液的滤失量,API 滤失量应控制在 5 mL 内,避免大量自由水进入地层。钻进蒙脱石含量较高的泥页岩地层,向冲洗液中加入氯化钾、有机胺等强抑制剂,维持较低的粘度。钻进孔隙、裂隙发育的分散剥落地层,应及时添加成膜剂等抑制分散性材料、乳化沥青及随钻封堵材料,保持较高的粘度和密度。

(3)水溶性地层:在冲洗液中加入与地层被溶物相同的材料,最常用的就是饱和盐水泥浆,可有效抑制其溶解,降低冲洗液对地层的溶蚀性。

## 2.5 优化钻进规程参数

遇钻孔结构不合理或复杂地层时,钻压应适当偏小,转速尽可能要慢,靠低钻压、低转速等弱钻进规程技术参数来切屑破碎岩心。弱规程钻进技术参数可以使钻杆的离心力降到最小,减缓钻杆对孔壁的冲击破坏,同时可以减轻孔壁对钻杆的磨损<sup>[19]</sup>。

## 2.6 做好钻杆使用与维护

(1)钻杆连接前用钢刷将螺纹清理干净,均匀涂抹丝扣油,尽量采用绳索钻杆液压钳紧扣,保证螺纹紧密啮合。

(2)钻杆出井后应及时清理钻杆表面滞留的冲洗液和腐蚀介质,存放期间采取相应的防腐措施。

(3)使用过程中,定期、分批次对钻杆进行检查,

包括螺纹、弯曲、腐蚀等外管检查。同时,可采用超声波探伤检测技术对绳索取心钻杆进行无损检测,最大限度地预判钻杆强度<sup>[20]</sup>。

### 3 钻杆折断处理措施

发生绳索取心钻杆折断事故,应根据钻杆材质、折断部位、断面形状等选用合适的打捞工具、采取相应的处理措施:

(1)钻杆接头或钻杆体折断,端面形状规则、无裂纹,一般使用打捞公锥处理,为常用处理工具。将公锥下入井下折断绳索取心钻杆的内孔,冲洗液循环,加适当的钻压并转动钻具,迫使打捞螺纹挤压吃入落物内壁进行造扣。当所造之扣能承受一定拉力和扭矩时,可缓慢回转、上提,将落物捞出<sup>[21]</sup>。如钻杆或接手经过整体热处理,硬度和强度较大,公锥无法在事故钻杆内壁造扣,引起公锥“打滑”等,持续增大钻压可能造成钻杆事故头劈裂,挤在孔壁上造成二次事故,这种情况不宜采用公锥处理。

(2)钻杆接头或钻杆体折断,端面形状不规则、有裂纹,或钻杆体劈裂,一般使用可退式捞矛处理。前面所述的管材强度大公锥无法造扣的情况,也可使用捞矛处理。可退式捞矛在石油行业应用较多,由芯轴、圆卡瓦、释放圆环和引鞋等组成。自由状态下圆卡瓦外径略大于落物内径,当捞矛进入落物内孔时,圆卡瓦被压缩,产生一定的外胀力,使卡瓦贴近外落物孔壁。随芯轴上行和提拉力的逐渐增加,芯轴、圆卡瓦上的锯齿形螺纹互相吻合,卡瓦产生径向力,使其咬住落物实现打捞<sup>[22-24]</sup>。

### 4 结语

(1)本文以地质钻探中时常出现的钻杆折断问题为导向,综合分析了钻探折断的诸多因素,并从钻杆材质优选、钻杆加工工艺和热处理工艺、螺纹结构优化和精细处理、钻孔结构与钻具级配优化、护壁堵漏技术、现场操作规程等方面进行规范与指导,以提高整个钻探体系的可靠性。

(2)建议利用数值模拟的手段计算绳索取心钻杆的各部分应力分布,与钻杆材料进行强度校核,采取弯曲变形严重部位安装扶正环等技术措施,实现优化钻具级配和钻进规程参数的目的。

(3)钻探生产与使用过程中,在严把外观与内在质量的检验的同时,更加注重对钻杆的内在缺陷,如

腐蚀缺陷、裂纹等的检测,以便有效预防和减少井下钻具质量事故的发生。

### 参考文献:

- [1] 孙建华,刘秀美,王志刚.地质钻探孔内复杂情况和孔内事故种类梳理分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(1):4-9.
- [2] 姜光忍,李忠,王献斌.复杂钻探条件下的绳索取心钻杆螺纹[J].地质装备,2009,(5):17-19.
- [3] 姜光忍,李忠,王献斌.绳索取心钻探施工中钻杆折断原因分析及应对措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(3):15-17.
- [4] 梁健,孙建华,张永勤.绳索取心钻杆管材的模糊综合评价[J].地质与勘探,2015,51(4):572-575.
- [5] 吕建刚,肖李鹏.钢中非金属夹杂物及其金相检验[J].理化检验(物理分册),2015,50(3):229-233,242.
- [6] 郭金宝,尹卫东,高加强.42MnMo7 地质钻杆断裂原因分析[J].理化检验(物理分册),2012,48(5):324-327.
- [7] 余世杰,陈猛,袁鹏斌.30CrMnMo 管热处理裂纹原因分析[J].钢管,2017,46(3):40-44.
- [8] 王运凡.金刚石钻进中钻杆折断原因分析及其预防措施[J].西部探矿工程,2008,(9):83-84.
- [9] 王达,何远信.地质钻探手册[M].湖南长沙:中南大学出版社,2014:678-679.
- [10] 吴福云.S75 绳索取心钻杆折断事故的原因分析[J].西部探矿工程,2006,(10):214,221.
- [11] 张辉.PDC 钻头恒扭矩工具在 XING101 井的应用[J].石油机械,2015,43(12):15-17,24.
- [12] 王显林,陈长青,张德旺.Ø127 mm G105 型钻杆腐蚀失效分析[J].石油矿场机械,2015,44(10):24-27.
- [13] 朱丽娟,刘永刚,李方坡.G105 钢制钻杆腐蚀失效的原因[J].腐蚀与防护,2016,37(9):775-780.
- [14] 卢采田,黄亚林,马鬃山.金山金矿区深部找矿钻探技术研究与应用[J].甘肃地质,2009,18(2):78-81.
- [15] 肖红,孙建华,高申友.XJY950 高强度精密绳索取心钻杆用无缝钢管的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(6):12-15.
- [16] 宋金亭,姜光忍,王献斌.深部岩心钻探用高强度绳索取心钻杆的研制[J].地质装备,2008,(2):11-13.
- [17] 张丽君,彭莉,吕红军.深孔绳索取心钻杆质量控制措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(6):33-36.
- [18] 张伟.特深岩心钻孔套管程序和钻具级配等问题的探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(11):1-5.
- [19] 董海燕,王鲁朝,杨芳.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.
- [20] 刘华南,郭威,孙友宏.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.
- [21] 祝效华,王宇,童华.基于弹塑性力学的油气井打捞公锥造扣全过程分析和评价[J].工程力学,2011,28(11):184-189.
- [22] 任法德.油田井下落物打捞技术研究[J].中国石油和化工标准与质量,2012,(11):81.
- [23] 罗永贵,王年友,王红阳.水力内割刀与可退式捞矛在打捞深孔事故钻杆中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(1):60-63.
- [24] 张英传,翟育峰,王年友.可退式捞矛在深孔钻探事故处理中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(5):31-33.