

# 绳索取心钻探施工中钻杆折断原因分析及应对措施

姜光忍, 李忠, 王献斌

(河北省地勘局第一地质大队, 河北邯郸 056001)

**摘要:**通过分析绳索取心钻探施工工况、钻杆折断事故现状及折断部位, 探讨绳索取心钻杆折断的原因, 提出预防绳索取心钻杆折断措施。

**关键词:**绳索取心钻进; 钻杆折断; 钻杆柱; 钻孔结构

**中图分类号:** P634.4    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-7428(2009)03-0015-03

**Analysis on the Cause of Drilling Pipe Fracture in Wire-line Coring Construction and the Countermeasures/**JIANG Guang-ren, LI Zhong, WANG Xian-bin (No.1 Geological Party of Hebei Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Handan Hebei 056001, China)

**Abstract:** The cause of drilling pipe fracture was discussed according to the analysis on construction conditions of wire-line coring drilling and accident scene, and the prevention countermeasures were put forward.

**Key words:** wire-line coring drilling; drilling pipe fracture; drill string; borehole structure

## 0 前言

与普通金刚石钻进相比,绳索取心钻探具有钻进效率高,人工劳动强度低,钻头寿命长,钻孔质量好,钻孔事故少等优点。绳索取心钻进工艺和普通金刚石岩心钻进有所不同,由于需要在钻杆柱内捞取岩心,因此钻杆壁厚、钻头唇部壁厚、钻杆与孔壁间隙小等。施工单位应该根据绳索取心钻进的特点和具体的施工条件,设计合理的钻孔结构,确定合理的钻进技术参数。

目前,随着我国地质工作的复苏和加强,使用绳索取心技术进行钻探取心工作越来越多,施工技术已经非常成熟,但也遇到钻杆经常折断的现象。邯郸探矿机械厂生产制造的绳索取心钻杆先后在内蒙古和河北沧州施工现场发生频繁的钻杆折断事故,而在承德大乌苏铁矿和唐山钻探施工中根本未出现钻杆折断事故,甚至没有什么磨损。笔者根据上述钻杆折断事故,从野外施工和钻杆本身进行分析原因,以加强野外预防措施,避免和消除技术和操作方面的潜在问题,找到钻杆存在的弱点,提高整个钻探系统的可靠性。

日本利根公司提出,钻杆与孔壁间隙应限制在钻杆直径的15%~20%以内,否则钻孔超径后,钻杆局部弯曲严重,容易发生钻杆螺纹部分折断事故。也就是说使用 $\varnothing 71$  mm绳索取心钻杆钻进,其钻孔

口径应控制在 $\varnothing 85.2$  mm以内。

钻杆发生折断事故的原因肯定是多方面的,找到其中的主要原因并加以解决和排除,是解决问题的根本。

## 1 绳索取心钻杆折断原因分析

### 1.1 绳索取心钻杆折断事故

例1:某队在内蒙古进行绳索取心钻探施工时,频繁发生钻杆折断事故,该钻孔为 $2^\circ$ 斜孔,使用 $\varnothing 71$  mm加厚绳索取心钻杆,未下 $\varnothing 89$  mm技术套管,下 $\varnothing 108$  mm $\times$ 5.5 mm套管,钻孔口径77 mm。

例2:某队在河北沧州进行钻探施工时,0~900 m采用全断面破碎钻进,900 m后绳索取心钻进,600 m处钻孔弯曲,实施纠偏,纠偏后钻孔仍弯曲 $2^\circ$ ,至900 m时,使用 $\varnothing 71$  mm加厚绳索取心钻杆,未下 $\varnothing 89$  mm技术套管,下 $\varnothing 108$  mm $\times$ 5.5 mm套管,钻孔口径开始 $\varnothing 91$  mm、取心 $\varnothing 46$  mm,由于钻头克取岩石面积是正常钻头的1.8倍,所以进尺很慢,钻杆折断频繁,改为 $\varnothing 77$  mm钻进后,进尺变快,钻杆折断仍然发生,但改善许多。

### 1.2 原因分析

#### 1.2.1 孔径级配不合理

钻杆回转时,离心力随孔径增大而增大,当钻杆所受离心力超过钻杆强度极限时,钻杆级配不合理,

收稿日期:2008-11-17; 改回日期:2009-02-25

作者简介:姜光忍(1971-),男(汉族),河北人,河北省地勘局第一地质大队高级工程师,矿业机械专业,从事新产品开发工作,河北省邯郸市光明南大街4号,jiangguangren@sina.com;李忠(1963-),男(汉族),河北人,河北省地勘局第一地质大队队长、高级工程师,钻探工程专业,从事生产与技术管理工作。

对钻杆受力状态的影响极为严重,有时会远远超过钻杆许用疲劳强度,就可能发生钻杆折断事故。由弯曲应力计算公式  $\sigma_w = 1000 df/l^2$  知,其它条件不变情况下,在  $\phi 108 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$  套管下钻进弯曲应力为在  $\phi 89 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$  套管中钻进的大 3.25 倍。上述两例中都未下  $\phi 89 \text{ mm}$  套管,故因弯曲应力过大而频繁出现钻杆折断事故。此外,受常规钻孔口径所限,不能采用加大钻杆端部尺寸的方法来提高钻杆强度。

### 1.2.2 钻孔弯曲的影响

钻孔 600 m 深时实施纠偏,纠偏后钻孔仍弯曲  $2^\circ$ ,众所周知,钻杆合成应力受弯曲应力的影响程度较大,钻进进尺慢时,急弯处钻杆在一点与孔壁长时间摩擦,弯曲应力变大,钻杆疲劳,钻杆折断就会发生。

### 1.2.3 施工斜孔的因素

施工斜孔,钻杆合成应力受弯曲应力影响较大,更容易发生钻杆折断事故。

### 1.3 不发生钻杆折断事故实例

河北省地勘局第四地质大队施工的 ZK2402 孔,钻孔级配结构如图 1 所示,钻孔至 2000 m,钻杆没有发生折断现象,接头也没有什么磨损。

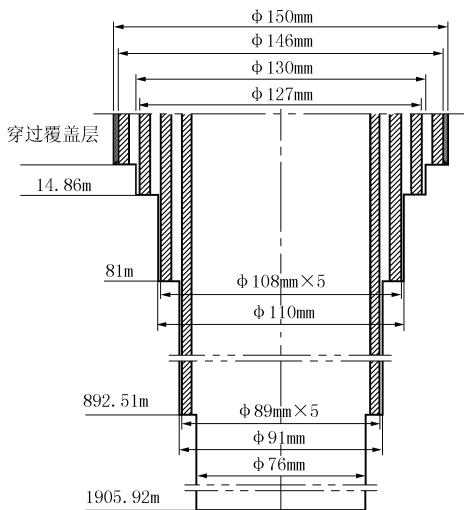


图 1 ZK2402 号孔钻孔结构示意图

为了探讨此实例钻杆不折断的原因,我们对钻杆结构受力进行了分析,验证钻孔级配的合理性。

在使用  $\phi 71 \text{ mm}$  加厚绳索取心钻杆、钻机功率 40 kW、转速 400 r/min、钻压 800 kgf (8 kN) 的情况下,不考虑冲洗液浮力,钻杆的推荐许用疲劳强度  $\sigma_{-1许} = 104 \text{ MPa}$ ,疲劳极限强度  $\sigma_{-1} = 306 \text{ MPa}$ ,许用剪切应力  $\tau_{许} = 196 \text{ MPa}$ ,许用拉伸应力  $\sigma_{许} = 540 \text{ MPa}$ 。

### 1.3.1 钻杆柱上部受力

拉力  $Q = qL - 800 = 8.2 \times 1500 - 800 = 11500 \text{ kg}$  (其中  $q$  为每米钻杆质量,  $q = 8.2 \text{ kg}$ ),拉应力  $\sigma_1 = Q/A = 110.9 \text{ MPa}$ 。

最大剪切应力:

$$\tau = M/W$$

式中:  $M$ ——扭矩,  $M = 9550 \times 40/n = 955 \text{ N} \cdot \text{m}$ ;  
 $n$ ——动力机转速;  $W$ ——钻杆断面模量,  $W = \pi(d^4 - d_1^4)/(16d) = 31.968 \text{ cm}^3 = 3.1968 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ 。

计算得  $\tau = 29.87 \text{ MPa}$

弯曲应力为 0,则:

$$\sigma_0 = \sqrt{\sigma_1^2 + 4\tau^2} = 125.96 \text{ MPa} < \sigma_{许}$$

由于此处无弯曲应力,合成应力远远小于许用拉伸应力,此处是安全的。

### 1.3.2 钻杆柱中和点受力计算

钻杆柱中和点就是钻杆柱拉压应力的分界面,也称零点断面。此处拉应力为零,由于钻压为 8 kN,钻杆柱中和点应距钻孔底部约  $L_1 = 100 \text{ m}$  处。

#### 1.3.2.1 孔底剪应力计算

钻进功率:

$$P = N_1 + N_2 + N_3$$

式中:  $N_1$ ——破岩所需的功;  $N_2$ ——克服钻头与孔底岩石摩擦所需的功;  $N_3$ ——回转钻杆所需的功。

$$N_1 + N_2 = fprn/1326000 = 3.86 \text{ kW}$$

$$N_3 = PL_1/L = 40 \times 100/1500 = 2.67 \text{ kW}$$

式中:  $f$ ——钻头在孔底运动的阻力系数,  $f = 0.26$ ;  
 $r$ ——钻头平均直径, cm;  $p$ ——钻压, N。

$$M = 9550P/n = 155.9 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\tau = M/W = 4.88 \text{ MPa}$$

#### 1.3.2.2 弯曲应力计算

$$\sigma_w = 1000 df/l^2$$

$$f = D - d/2$$

计算半波长的萨尔基索夫公式:

$$l = (100/\omega) \sqrt{\pm 0.5Z + \sqrt{0.25Z^2 + (2 \times 10^3 J\omega^2)/q}}$$

式中:  $l$ ——半波长, m;  $d$ ——钻杆外径, cm;  $f$ ——弯曲的最大挠度, cm;  $\omega$ ——角速度;  $Z$ ——距中和点距离;  $q$ ——每米钻杆质量;  $J$ ——钻杆柱横断面的轴惯性矩。

中和点半波长理论计算为:  $l = 1.63 \text{ m}$ ,  $\sigma_w = 80.17 \text{ MPa}$ 。

合成应力:  $\sigma_0 = \sqrt{\sigma_w^2 + 4\tau^2} = 80.77 \text{ MPa} < \sigma_{-1许} = 104 \text{ MPa}$ 。

#### 1.3.2.3 钻杆柱底部受力计算

孔底半波长理论计算为  $l = 1.10 \text{ m}$ 、 $\tau = 2.88 \text{ MPa}$ 、 $\sigma_w = 176 \text{ MPa}$ 。

按照  $l = 1.10 \text{ m}$  计算, 钻探系统中钻杆柱底部不安全, 实际上我们在半波长计算上存在较大误差, 计算半波长的萨尔基索夫公式没有考虑接头对钻杆柱的影响, 认为钻杆柱是等截面的。

河北省地勘局第四地质大队施工的 ZK2402 孔, 钻具级配符合钻探规程, 实际施工过程未发现钻杆折断事故, 可以认为钻探系统是安全的。如果不下  $\text{Ø}89 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$  套管, 在  $\text{Ø}108 \text{ mm} \times 5.5 \text{ mm}$  套管下钻进, 其它条件不变, 由弯曲应力计算公式  $\sigma_w = 1000 \text{ d}l/l^2$  知, 弯曲应力为下  $\text{Ø}89 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$  套管的 3.25 倍, 远远超过许用弯曲应力, 钻杆折断不可避免, 实际上内蒙古和河北沧州工地也验证了这一点。

## 2 绳索取心钻杆折断部位分析

据统计, 钻杆折断事故中 90% 以上发生在螺纹连接部位。

螺纹连接部位分为钻杆体螺纹与接头螺纹及接头和接头螺纹, 单从机械理论上解释, 接头是经过调质处理的, 其抗拉、抗扭等综合机械性能要比钻杆体螺纹高将近 1 倍, 钻杆体螺纹更应该是危险界面, 钻杆体螺纹处折断的几率应该更大。而有的文献认为事实恰恰相反, 当使用两端粘结接头绳索取心钻杆时, 钻杆体螺纹折断很少, 绝大部分断裂为接头上的螺纹。河北沧州工地上也是接头螺纹频繁断裂, 而钻杆体从 900 ~ 1300 m 孔深未发生过断裂事故。分析原因, 钻杆体螺纹和接头螺纹通过环氧树脂粘接, 环氧树脂抗剪强度达 24 MPa, 整个螺纹受力状态均衡, 受弯曲应力接触面积大, 而接头与接头螺纹没有环氧树脂粘接, 受紧密距大小的影响, 其抗弯曲应力的接触面积有的很小, 造成接头螺纹折断, 所以整个钻杆柱的最薄弱环节是螺纹部分中的接头螺纹。确切地说, 在钻孔超径状态下, 受交变弯曲应力的影响, 整个钻杆柱的最薄弱环节是螺纹部分中的接头螺纹。

无接头钻杆由于减少了螺纹接头数目, 更适合在钻孔超径状态下工作。

## 3 预防绳索取心钻杆折断措施

(1) 加强钻孔级配设计。合理的钻孔级配是避免钻杆折断事故的主要措施。对  $\text{Ø}71 \text{ mm}$  绳索取心钻杆钻进  $\text{Ø}77 \text{ mm}$  孔而言, 应下  $\text{Ø}89 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$  套管, 如下  $\text{Ø}108 \text{ mm}$  套管, 应通过调整钻孔级配, 考虑

回灌一定高度的水泥护孔, 回灌高度要高于钻杆中和点以上 200 m 为宜, 以改善孔内钻杆柱工作状态, 弥补不合理钻孔结构(参见图 2)。

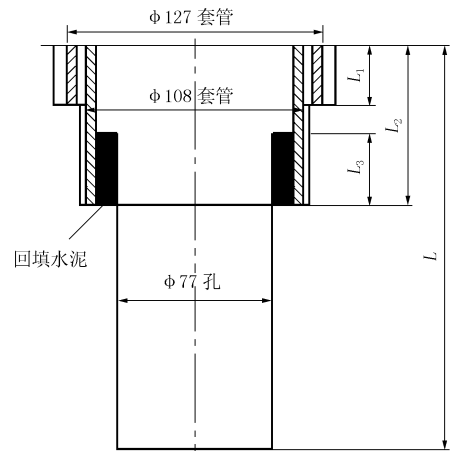


图 2 合理钻孔级配示意图

(2) 调整钻进技术参数, 遇钻孔结构不合理或复杂地层时要轻压慢转。

(3) 钻头设计合理。尽量减少克岩面积, 获得较快的钻进速度。

(4) 提高钻杆强度。如果工程要求使用  $\text{Ø}71 \text{ mm}$  绳索取心钻杆钻进, 必须下  $\text{Ø}108 \text{ mm}$  套管时, 可考虑把钻头设计成  $\text{Ø}82 \text{ mm}$ , 钻杆接头外径  $\text{Ø}79 \text{ mm}$ , 钻杆体外加厚至  $\text{Ø}78 \text{ mm}$ , 这样可大大提高钻杆强度, 降低钻杆折断事故率。

(5) 施工组织得当, 确保钻孔不弯曲。

(6) 尽量使用无接头绳索取心钻杆, 减少螺纹数目。

## 4 结语

综上所述, 钻孔结构不合理或超径是钻杆折断的主要原因, 当出现钻孔超径时, 钻孔工况急剧恶化, 钻杆柱事故率大大上升, 钻杆柱的薄弱环节出现问题。应在钻孔结构、钻头设计、钻进参数以及钻杆本身质量等方面采取针对性的技术措施, 减少钻杆折断事故的发生。

## 参考文献:

- [1] 郭绍什, 等. 钻具级配对钻杆折断的影响[J]. 煤田地质与勘探, 1987, (6).
- [2] 欧启柳. 钻杆折断原因与规律分析[J]. 探矿工程, 1982, (4).
- [3] 张春波. 绳索取心钻杆损坏原因的分析[J]. 探矿工程, 1982, (2).
- [4] 张春波. 绳索取心钻杆折断原因的分析[J]. 探矿工程, 1987, (2).
- [5] 张蛮庆. S75 绳索取心钻杆折断事故的某些施工因素及其预防措施[J]. 探矿工程, 1986, (2).