

# 气动潜孔锤钻进在水井施工中孔斜问题的原因分析

宋 军<sup>1,2</sup>, 刘卫东<sup>3</sup>, 张庆盟<sup>4</sup>

(1. 成都理工大学环境与土木工程学院, 四川 成都 610059; 2. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 610081; 3. 四川省核工业地质局, 四川 成都 610061; 4. 河南省地矿局第一地质勘查院, 河南 郑州 450001)

**摘要:**在水井施工中气动潜孔锤钻进是一种快速钻进方法,该方法在 2010 年山东省抗旱应急找水抢险施工中得到广泛应用,效果显著,但是部分钻孔出现孔斜现象。从地质、工艺和技术等 3 个方面分析了产生孔斜原因,提出了防斜措施,确保水井施工后续的成井工作顺利实施。

**关键词:**气动潜孔锤;水井施工;孔斜;防斜措施

**中图分类号:**P634.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2013)07-0077-04

**Analysis on the Causes of Hole Deviation in Water Well Construction by Pneumatic DTH Hammer Drilling/SONG Jun<sup>1,2</sup>, LIU Wei-dong<sup>3</sup>, ZHANG Qing-meng<sup>4</sup>**(1. Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China; 2. Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 610081, China; 3. Sichuan Nuclear Geological Bureau, Chengdu Sichuan 610061, China; 4. No. 1 Geological Exploration Institute, Henan Bureau of Geology and Mineral Exploration, Zhengzhou Henan 450001, China)

**Abstract:** In the water well construction, pneumatic DTH hammer drilling is a kind of fast drilling method, which was widely applied in drought-resistance and water exploration emergency construction in Shandong in 2010 with obvious effects, but deviation appeared in some drilling hole. The causes of hole deviation is analyzed in aspects of geology, process and technology in this paper and prevention measures are put forward to ensure the smooth implementation of subsequent well formation construction.

**Key words:** pneumatic DTH hammer; water well construction; borehole deviation; deviation control measures

## 0 引言

气动潜孔锤钻进是把压缩空气既作为冲洗介质又作为碎岩能量的一种冲击回转钻进方法。将空压机产生的压缩空气作为动力通过作用冲击器,不断改变冲击器内的进气方向,产生高频的冲击作用,冲击功直接作用在冲击钻头上,同时通过钻机低速转动,形成对岩石的脉动冲击破碎,使孔底岩石产生体积破碎,再利用冲击器排出的压缩空气,通过钻杆与孔壁之间的环状间隙,把破碎的岩粉携带出孔外。

2009 年底至 2010 年初,山东省部分地区遭遇罕见大旱灾害,国土资源部迅速行动,组织国土资源系统队伍支援山东抗旱找水打井。在此次行动中,仅用了 2 个月左右的时间,一共成井 1492 眼,包括基岩井 766 眼。其中四川省国土资源系统和地质调查局所属 2 家单位在山东共完成基岩井 231 眼,总进尺 42447 m,平均深度 183.75 m,总出水量 9.33 万 m<sup>3</sup>/d。在极短的时间内,以最大限度的施工速度,出色地完成了这次应急抗旱任务,气动潜孔锤钻进技术得到了广泛地重视和应用,取得了很好的效果。

## 1 实施气动潜孔锤钻进的条件

### 1.1 水文地质条件

泰安地区在区域上属于“鲁中南中低山丘陵、山前冲洪积平原地下水资源区,鲁山背斜北翼单斜构造地下水资源亚区”。其地下水的赋存条件及分布规律受地层、地貌、构造及水文气象等自然条件所控制。太古代后期地壳褶皱隆起,古生代时期接受沉积,中生代受燕山运动的影响,断裂、断块发育。金星头、新甫山、玉皇堂、蒙山等断块凸起之处的变质岩、侵入岩广泛分布,地下水接受大气降水补给,并赋存于变质岩裂隙中,构成新汶单断凹陷、大汶口单断凹陷两水文地质单元地下水的补给区。新汶凹陷谷地分布大量的中生界及新生界第三系碎屑岩,地下水赋存于碎屑岩孔隙、裂隙中,因其孔隙、裂隙发育较差,富水性较弱,仅部分地段分布的砂岩、砾岩和泥质灰岩富水性较好。本区地下水类型分为松散岩类孔隙水、碎屑岩类孔隙裂隙水、碳酸盐岩类裂隙岩溶水和基岩裂隙水 4 种类型。

### 1.2 钻探设备与附属机具

#### 1.2.1 钻机

收稿日期:2013-06-15

作者简介:宋军(1963-),男(汉族),广西人,成都理工大学在读博士生,中国地质科学院探矿工艺研究所教授级高级工程师,地质工程专业,从事岩土钻凿和地质灾害防治技术的研究开发工作,四川省成都市金牛区一环路北二段 1 号, songjun801@163.com。

主要有: YXZ90A、SL800S、SLY600、SL500 (SZ500)型等潜孔钻机(见图1、图2)。钻机具备20~40 r/min的低转速挡,并具有长的给进行程或自动倒杆连续给进装置。



图1 YXZ90A型钻机



图2 SL500型钻机

## 2 孔斜问题

纵观潜孔锤钻进的大量资料文献,大都有这样的描述:“潜孔锤钻进,钻孔质量高,有防斜作用”。而在这次山东抗旱打井中,发现部分水井孔斜严重,主要表现为:井管下不去,不仅同径管子下不去,就连小一级的井管也非常困难,成孔质量不高,说明井眼存在孔斜现象。

## 3 原因分析

形成钻孔弯曲条件的因素大致可分为3类,即地质、工艺和技术方面的因素。

### 3.1 客观地质原因

#### 3.1.1 岩石的各向异性

地质因素是客观存在的,某些具有层理、片理等构造特征的岩石,其可钻性具有明显的各向异性。钻头沿垂直于岩层方向钻进的岩石破碎效率最高,而平行于层理的方向,效率最低,倾斜方向的破岩效率居中。因此,在倾斜岩层中钻进时,极易产生钻孔向垂直于层面的方向弯曲。

#### 3.1.2 岩石的软硬互层

从软岩进入硬岩或从硬岩进入软岩、从完整岩层进入破碎岩层时,由于软、硬部分抗破碎阻力的不同,使钻孔朝着垂直于层面的方向弯曲;而从硬岩进入软岩时,则钻具轴线有偏离层面法线方向的趋势。但由于上方孔壁较硬,限制了钻具偏倒,结果基本保持着原来的方向;钻孔通过硬岩进入软岩又从软岩进入硬岩时,最终还是沿层面法线方向延伸。

#### 3.1.3 松软、松散、断层、构造破碎带、溶洞地层的原因

当遇到这类地层,孔径易扩大,钻头底部受力不均匀,容易引起偏斜。

### 3.2 工艺技术方面的原因

影响钻孔弯曲的工艺因素,主要有钻进方法、钻进规程参数、操作方法等。不同的钻进方法具有不同的破碎岩石特点,导致不同的孔壁间隙,钻进规程参数是影响孔斜的重要因素。

#### 3.2.1 钻压

气动潜孔锤钻进是在静压力(钻压)、冲击力和回转力3种力作用下碎岩的工作过程,潜孔锤钻进主要靠冲击器活塞来冲击钻头,而不是靠钻杆柱加压提高钻速。其钻压的主要作用是为保证钻头齿能与岩石紧密接触,克服冲击器及钻具的反弹力(也称背压),以便有效地传递来自冲击器的冲击功。若钻压过小,难以克服冲击器的工作时的背压和反弹力,直

### 1.2.2 空气压缩机

选用螺杆式移动空气压缩机,其风量以满足驱动潜孔锤正常工作和输送岩屑碎渣上返的需要为准,若一台空压机风量不足,采用2台并联使用。配备了以下几种类型的移动式空压机:英格索兰XHP1070型空压机,工作压力2.41 MPa,风量33 m<sup>3</sup>/s;LUY215-21型空气压缩机,2.2 MPa,风量21 m<sup>3</sup>/s;PD5J750S型空气压缩机,工作压力2.1 MPa,风量21 m<sup>3</sup>/s;SM18BL20型空气压缩机,工作压力2.1 MPa,风量18 m<sup>3</sup>/s(见图3)。



图3 所使用的部分空压机实物

### 1.2.3 冲击器与锤头

选用中高频、大冲击功的冲击器配硬质合金球齿钻头,冲击器的主要规格有:DHD380、DHD360、DHD340、DHD273、DHD219等种类。

### 1.2.4 钻杆

采用 $\varnothing 114$ 、89 mm两种钻杆。

## 1.3 钻进工艺

采用气动潜孔锤正循环全面钻进工艺。

接影响冲击功的有效传递,转速过低,则进尺慢,效率低,钻头停留在孔底时间长,也会扩大孔壁间隙,增加孔斜。若钻压过大,造成钻杆柱发生弯曲、粗径钻具发生倾斜,使钻具顶部一侧紧靠孔壁,此时偏倒角可能达到最大值,并且钻具与孔壁摩擦阻力增加,此时钻具倾斜面有固定方向,会导致钻杆剧烈震动,将会增大回转阻力和使钻头早期磨损,钻孔弯曲。

资料表明<sup>[2]</sup>,潜孔锤钻进效率的高低,主要取决于冲击功的大小和冲击频率的多少,而钻压是保证冲击功充分发挥作用的辅助力,对某一级配和钻头直径的潜孔锤来说,钻压有一个合理范围,超过某一极限值,就会造成孔斜甚至钻进效率下降。如直径90 mm的潜孔锤只需钻压5~6 kN时,钻进效率最佳;直径200 mm的潜孔锤只需钻压13~17 kN即可达到很好的钻进效果。

### 3.2.2 转速

潜孔锤钻进是冲击回转钻进并以冲击作为碎岩主要方式的钻进方法,回转只为改变钻头合金的冲击破岩位置,避免重复破碎,所以不需要过快的线速度。转速过高,钻杆柱回转离心力增大,从而加剧钻具的横向振动和钻具倾斜,引起孔斜;如果转速太慢,则将使柱齿冲击时与已有冲击破碎点(凹坑)重复,导致钻速下降、孔径变大<sup>[4]</sup>。

美国水井学会(N·W·W·A)康伯尔认为在硬岩中两次冲击之间的最优转角为11°,最优冲击间隔的确定,多采用两次冲击间隔的转角表示,转速与冲击频率和最优转角的关系式如下:

$$A = n360^\circ / f$$

式中: $A$ ——最优转角, ( $^\circ$ );  $n$ ——钻具转速,  $r/\min$ ;  $f$ ——冲击频率,  $\text{次}/\min$ 。

如最优转角取11°,则不同的频率所需的转速如表1所示。

表1 不同的频率所需的转速

冲击频率 /( $\text{次} \cdot \min^{-1}$ )	转速 /( $r \cdot \min^{-1}$ )	冲击频率 /( $\text{次} \cdot \min^{-1}$ )	转速 /( $r \cdot \min^{-1}$ )
600	18	1200	36
800	24	1500	45
1000	30		

因此,合理的转速应保证在最优的冲击间隔范围之内,潜孔锤钻进钻速选择在20~50  $r/\min$ 是比较合理的,显然低转速对钻孔弯曲影响不大。

### 3.2.3 风压、风速和供风量

潜孔冲击器的冲击频率和冲击功都与空气压力有关,空气压力是决定冲击功的重要因素,空气压力

应满足管道的压力损失,孔内压力降、潜孔锤压降,以及在有水情况下克服水柱压力,才能正常工作,并且随着钻杆柱长度的增加,所需空气压力就越大,钻进深度也越大。因而也是影响机械钻速的主要参数,资料表明<sup>[2]</sup>,钻速和风压几乎成正比关系,风压从0.6 MPa提高打到1.30 MPa时,钻进效率可提高一倍。即压缩空气的压力越高,则潜孔锤钻进的效率也越高,而且钻头的使用寿命也会变长。

潜孔锤钻进中空气消耗量根据气动潜孔冲击器的性能参数及为清除孔内岩屑的最低上返速度而确定。供风量要保证一定的环空上返风速,保证清除和携带孔底岩屑。显然风速与钻杆和孔壁之间的环状间隙大小有关,风压、风速和风量对钻孔弯曲无影响。

### 3.2.4 钻机设备安装

(1)场地基础不平,钻机安装不周正,会导致机件旷动、运转不平稳。

(2)开孔钻具不垂直、接头不同心,未下孔口管或孔口管安放不稳固都会使钻孔轨迹偏离。这些因素主要是在开孔阶段起作用,但钻孔一旦开始偏斜就会对以后的钻孔继续延伸产生严重的影响。

(3)换径未带导向或导向与下部粗径钻具连接不同心,会导致换径后偏离原孔轴线。

### 3.2.5 粗径钻具

潜孔锤钻具钻头直径比粗径钻具大得多,钻进过程中必须对钻头施加轴向压力,由于存在孔壁间隙,而钻杆柱为一细长柔性杆件,在压力的作用下,钻杆柱将产生弯曲变形,轴向压力将沿弯曲钻杆产生水平分力,当粗径钻具直径较大、长度较小时,钻具为一刚体,使粗径钻具倾斜,引起孔斜。

粗径钻具在孔底的偏倒角 $\varepsilon$ 决定于孔壁间隙和粗径钻具长度,即:

$$\varepsilon = \sin^{-1}(b/L)$$

式中: $b$ ——孔壁间隙,  $m$ ;  $L$ ——粗径钻具长度,  $m$ 。

粗径钻具越长,钻具的偏倒角越小,但直径小而长度过大,会引起刚度不足的问题,在轴向压力作用下会被压弯,即使孔壁间隙不大也会使钻孔产生较大的弯曲。

### 3.2.6 钻具级配

在进行大口径潜孔锤钻进时,钻孔直径和所用钻杆直径的级差比大时,就出现了潜孔锤供风量不能满足排渣所需风量的问题,所以钻杆直径与井壁之间的环状间隙的大小对携带孔底岩屑就显得尤为重要。钻杆和孔壁之间的环状间隙大小将影响到钻

杆在孔内的弯曲和旋转平稳性。

#### 4 防斜技术措施

(1) 钻机安装必须做好稳固、周正、水平,动力头钻机要求动力头上下滑道要垂直。

(2) 把好开孔关,防止钻机摆动,控制好开孔角度,防止开孔偏斜,这是防止孔斜的第一步和关键;开孔3~5 m后,应提出钻杆,用倒垂法定出孔底中心,然后调整钻机位置,使其钻杆中心和孔底中心在一条铅垂线上。

(3) 应坚持使用垂直的(立轴)钻杆和防斜钻杆,增加粗径钻具的长度,采用钻杆扶正器,严格按照规程操作,严禁盲目最求进尺而加大钻压。

(4) 当钻进到强风化层、松散堆积层、破碎带时,必须降低钻压,放慢钻速,确保钻孔垂直度。

(5) 钻进时,如发现钻杆抖动厉害或周期性滞转现象,表明可能遇到破碎带、较大裂隙或孔内有坍塌掉块等情况,应立即提动钻具,上下反复串动,强行吹风冲击,必须将掉块挤碎吹出孔外,减小钻压,防止孔斜、钻杆折断等事故。

(6) 每当钻进完一个钻杆单根,应上提钻具0.3~0.5 m进行吹风,并应坚持钻具上下往复串动后再加杆,以修复孔壁、保持孔底清洁、防止孔斜,待孔口不返岩屑时,再吹风加杆。

(上接第76页)

做成一体,放在旋流器的下方;一体化可避免吸附产生的污染问题,同时提高效率,降低岩样缩分的成本。



图16 可旋转的圆锥缩样器拖车取样系统

#### 3 结语

目前,RC 钻探技术在国内越来越得到重视,钻

#### 5 结语

(1) 气动潜孔锤钻进工艺钻进效率高、尤其是钻进硬岩效率高,1个昼夜可钻进200 m,是真正意义上的“无水钻进”,清洁、无污染,洗井效果好、不易堵塞含水层,根据背压能初步判断涌水量,终孔后不用再洗井,是目前提高基岩水文水井钻探效率最有效的方法之一,也是基岩水井施工的首选钻进工艺,适应于干旱缺水地区水井施工。

(2) 气动潜孔锤钻进,如果钻具组配不当和钻进参数不合理,尤其过分追求进尺快,给进压力偏大等,这些都是造成孔斜的主要原因,由此会导致形成的孔壁不规则,孔壁类似于螺杆定子内腔,表面不平整,且钻孔轴线轨迹呈螺旋状,钻孔的实际有效圆直径变小,造成钻孔弯曲严重,给后续的安放井管及水泵安装增加困难。

#### 参考文献:

- [1] 耿瑞伦,陈星庆.多工艺空气钻探[M].北京:地质出版社,1995.
- [2] 长江水利委员会三峡勘测研究院.水利水电工程勘探与岩土工程施工技术[M].北京:中国水利水电出版社,2002.
- [3] 孙承志,李文智,胡晓天.气动潜孔锤钻进技术在基岩地区水文钻探中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(8):15-16,19.
- [4] 刘家荣,王建华,王文斌,等.气动潜孔锤钻进技术若干问题[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):40-44.
- [5] 黄忠正,谷保泽,宗伟琴.浅析气动潜孔锤钻进技术在钻探中的应用[J].神华科技,2010,(3).

进设备、器具和工艺都投入了较多的技术研究力量,但岩样收集和缩分技术及设备没有得到足够的重视。国内外在岩样收集和缩分技术及设备上差距很大,主要体现在:国外的可旋转的圆锥缩样器技术含量高,干湿样通用,且有专业的生产厂家。因此,建议国内加强在岩样收集和缩分技术方面的研究,在引进、消化吸收国外成熟的岩样收集和缩分技术及设备的基础上,形成适合中国国情的岩样收集和缩分设备。

#### 参考文献:

- [1] 冉恒谦,等.地质钻探技术与应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(11).
- [2] 张晓西.中心取样钻进技术成果与开发前景[J].探矿工程,1999,(S1).
- [3] 张晓西.中心取样钻进技术(二)[J].探矿工程,2000,(2).
- [4] 张晓西.中心取样钻进技术(三)[J].探矿工程,2000,(3).
- [5] 耿瑞伦.多工艺空气钻探[M].北京:地质出版社,1995.