

# 非开挖铺管钻机主要部件结构解析

王朝建

(中国地质科学院勘探技术研究所,河北 廊坊 065000)

**摘要:**分析了非开挖钻机主要部件的功能、技术要求及不同结构的优缺点等,并结合工作实践,讨论了为满足实际应用的设计思路。

**关键词:**非开挖铺管钻机;部件结构;性能比较;设计思路

**中图分类号:**P634.3<sup>+</sup>1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2012)12-0008-03

**Structure Analysis on Main Components of Trenchless Pipe Laying Drill/WANG Chao-jian** (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** The paper analyzed the trenchless pipe laying drill about the functions of its main components, technical requirements and advantages & disadvantages of different structures. And based on the practice, discussion was made on the design ideas for satisfying the practical application.

**Key words:** trenchless pipe laying drill; component structure; performance comparison; design ideas

非开挖技术引进到国内已有超过20年的历史,经过众多技术人员和专家的不懈努力,非开挖铺管技术在我国得到了蓬勃发展。从最初的设备完全引进到现在的基本国产,倾注了有关技术人员的大量心血。但是,相比较国外先进水平的非开挖钻机,国产钻机在某些方面还存在不足和差距,需要设计开发人员继续努力,开拓视野,根据市场需要不断开发出技术更先进,能适应新的工艺、工法的高性能,高技术含量的铺管钻机。笔者结合多年从事非开挖钻机设计工作的实践,谈谈相关经验和体会,与同行共同探讨。

## 1 钻机主要部件结构型式比较

非开挖钻机的基本功能是驱动钻杆进退和回转,给进/回拉机构和回转机构以及拧卸钻杆的夹持机构是钻机的基本部件。钻机的支撑部分(底盘)是钻机的基础,其它部件作为辅助机构协调完成非开挖铺管施工时所需要的功能。

### 1.1 底盘

底盘是钻机的最基础部件,是钻机的载体,要有足够的承载力、驱动力和爬坡能力。国内现在生产的钻机主要有轮式、车载式和履带底盘式,最多的还是履带底盘钻机。钻机质量在8 t以下的多采用橡胶履带底盘。

### 1.2 钻机的给进/回拉机构

主要有油缸直推、油缸-链条、马达-链条、齿轮-齿条等4种型式,这几种型式各有优缺点。

#### 1.2.1 油缸直推式

油缸直推式钻机由油缸直接推动钻机动力头运动(见图1),结构简单,传动效率高,但需要的驱动油缸体积大,质量重,油缸行程很长,适合于中型钻机,典型代表有德国虎特公司的HBR206D-100Z型钻机,国内钻机还没有采用这种型式的。

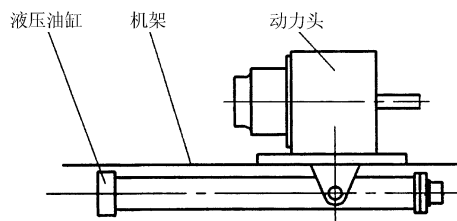


图1 油缸直推式给进/回拉机构

#### 1.2.2 油缸-链条式

油缸-链条式是由油缸驱动滑轮组来带动动力头运动的一种结构,又称为倍速机构。工作时动力头的行程和速度是油缸的2倍,驱动油缸和滑轮组安装在钻塔内部。其优点是油缸行程短,稳定性好,速度快效率高;其缺点是油缸的实际推力只利用了一半,传动环节多,结构复杂,拆卸不方便。这种结构如图2所示。

#### 1.2.3 马达-链条式

该机构是由低速大扭矩液压马达通过减速机驱

收稿日期:2012-10-12;修回日期:2012-11-29

作者简介:王朝建(1975-),男(汉族),河北大名,中国地质科学院勘探技术研究所高级工程师,机电专业,从事非开挖设备研究开发工作,河北省廊坊市金光道77号,htweij@163.com。

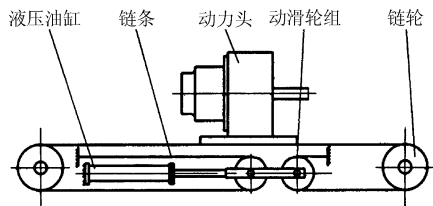


图2 油缸-链条式给进/回拉机构

动链轮,直接带动动力头前后运动。其优点是结构紧凑,钻塔体积小,钻机质量轻,给进力等于回拉力(给进力并不能称为绝对优点);其缺点主要表现为低速大扭矩马达存在泄露,易受油液粘度和温度影响,从而影响钻机实际能力。该结构如图3所示。

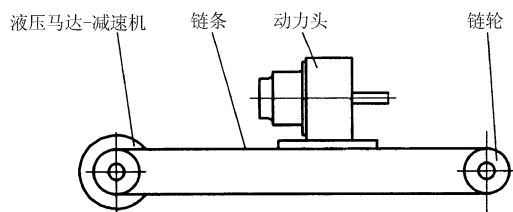


图3 马达-链条式给进/回拉机构

#### 1.2.4 齿轮-齿条式

该结构承载力大,稳定性好,行程长,方便钻机行程和能力的增减,但也存在结构复杂,体积大,成本高的限制,所以适合于500 kN以上的中大型钻机。

#### 1.3 回转机构

非开挖钻机的回转机构均为全液压动力头式,动力头输出扭矩驱动钻杆回转,承受钻机的给进/回拖力,同时还是泥浆进入钻杆的通道。动力头选用的轴承和马达的性能是影响钻机性能的重要方面。动力头设计的卸扣浮动机构有效减少了上卸钻杆时对接头丝扣的磨损。

## 2 主要部件设计技术要求及注意事项

随着非开挖技术在工程应用中的深入,新的施工工艺工法不断被应用于实践,要求钻机、钻具等必须满足新的市场需求,对钻机的能力、可靠性、效率,甚至于外观等都提出了新的要求。技术人员必须不断学习掌握新技术新方法,设计开发满足实践需要的高性能钻机。因此,就非开挖钻机的设计开发,笔者提出以下几点建议,供参考。

### 2.1 钻机底盘的选择

钻机的履带行走装置与挖掘机的履带行走装置基本相同,但工作条件和工作环境却相差较多。在进行钻机的底盘设计时可以参考挖掘机履带,但又要考虑钻机的实际工况。由于非开挖钻机的行走速

度较慢,工作时受的力较小,设计底盘时主要考虑钻机的质量和驱动能力。

(1) 钻机的平均接地比压可按以下2式计算:

$$p = mg/(2bL) \text{ 或 } p = mg/[2b(L + 0.35h)]$$

式中: $p$ ——履带平均接地比压,Pa; $m$ ——钻机的工作质量,kg; $b$ ——履带宽度,m; $L$ ——履带的接地长度,m; $h$ ——履带高度,m。

根据非开挖钻机的工作环境实际考虑,接地比压可选择0.03 MPa左右。

(2) 钻机行走时需要克服的阻力很多,主要有履带运行的内阻力、土壤变形阻力、坡度阻力、转弯阻力、惯性阻力、传动损失和液压损失等。

履带运行的内阻力  $F_n = (0.05 \sim 0.07)mg$ 。

土壤变形阻力  $F_d = \lambda_d mg$  (其中  $\lambda_d$  为运行比阻力系数,一般取0.10~0.15)。

坡度阻力  $F_s = mgsin\alpha$  (其中  $\alpha$  为坡度角)。

转弯阻力  $F_r = (1/4)\mu mgL/R$  (其中  $\mu$  为履带转弯时的摩擦系数,一般取0.4~0.7; $R$  为履带转弯半径,m)。

惯性阻力  $F_i = (0.01 \sim 0.02)mg$ 。

以上5种阻力中,以坡度阻力和转弯阻力为最大,往往占到总阻力的2/3,但转弯和爬坡一般不同时进行。因此,在确定钻机的行走牵引力时,取二者较大者。即:

$$\text{爬坡时: } F_T = F_n + F_d + F_s + F_i$$

$$\text{转弯时: } F_T = F_n + F_d + F_r + F_i$$

对于钻机履带底盘设计时,有些阻力很难计算,一般行走牵引力取整机重力的0.7~0.85。目前国内生产的“四轮一带”一般都是为挖掘机和推土机而设计的,没有针对工程钻机专门设计的“四轮一带”。由于钻机的工作条件比挖掘机的工作条件好,而且钻机行走的距离和时间要比挖掘机短,所以在进行钻机的“四轮一带”选型时,可比相同质量的挖掘机选的小一些。表1列出了工程钻机质量与履带节距的关系,供大家参考。

### 2.2 足够的有效行程

非开挖钻机施工过程中给进速度和回拉速度都是很快的,全孔采用“一钻到底”的工作模式,中途很少提钻,从减少拧卸钻杆时耗、降低非钻进时间比例、提高工作效率考虑,要求钻机有较长的给进行程,配备尽可能长的钻杆,但又受到钻机结构和平衡稳定性,制造成本等的限制,钻机的有效行程不可能太长。在进行钻机行程设计时,主要考虑以下这些方面。

表1 工程钻机质量与履带节距的关系

| 履带节距<br>/mm | 适用挖掘<br>机质量/t | 适用钻机质量(钻孔<br>时不用支腿支撑)/t | 适用钻机质量(钻孔<br>时用支腿支撑)/t |
|-------------|---------------|-------------------------|------------------------|
| 101.6       | 3.5           | 4.5                     | 6                      |
| 135         | 6             | 8                       | 11                     |
| 140         | 8             | 10                      | 15                     |
| 154         | 10            | 15                      | 18                     |
| 171         | 15            | 20                      | 30                     |
| 190         | 25            | 35                      | 50                     |
| 203         | 32            | 40                      | 65                     |
| 216         | 40            | 60                      | 80                     |
| 228         | 60            | 80                      | 130                    |

(1)方便上卸钻杆。钻机工作时,足够的上卸钻杆空间能够提高工作效率,减少误操作。动力头主轴带保护接头以及自动或半自动加装钻杆机构都会影响有效行程,设计时要保证有足够的行程,方便钻机操作。

(2)非开挖工程施工时,孔径会扩到很大,这样在扩孔或拉管过程中,需要卸钻杆时,要求钻机多回拉一段距离再推回去,以释放作用力保护钻具和设备。工程地层不同,孔径不同对于缓冲需要的行程也不同,设计时根据钻机能力综合考虑,尽量满足各种工况需要。

(3)随着非开挖施工技术的不断进步,以前认为很难进行非开挖工程的松散地层、回填层、岩石层、卵石层等都一步步被克服。泥浆马达导向孔施工应用越来越多,在某些工程中为保证孔内泥浆不泄露,需要进行套管施工。非开挖钻机(特别是中大型钻机)在设计时,一定要考虑到套管施工时的需求,从钻机部件结构到钻机的有效行程都要考虑,满足套管顶进和拉出时的需要。

### 2.3 主轴中心高度对钻机实际回拉力的影响

除了液压系统效率,机械传动效率等会影响钻机的实际能力外,动力头中心高的设计对钻机实际能力的影响更大。如图4所示为钻机拉管时的作用力状况示意图。油缸或液压马达施加的主动作用力 $F_{拉}$ 作用在长度为 $L$ 的动力头底板上,孔内负载产生的阻力 $F_{负}$ (即钻机的实际拉力 $F_{实}$ )作用在钻机主轴上,两者之间高度差为 $H$ 。这样,在钻机回拉过程中,动力头必然产生一个向前的翻转趋势,这种趋势就会对滑轨产生一个向下的作用力 $F_{压}$ ,可以简化认为 $F_{压} = F_{负}H/L$ 。相对于钻机拉力,动力头本身的重力 $G$ 可以忽略。动力头底板与滑轨间的摩擦力 $f = \mu F_{压}$ ( $\mu$ 为摩擦系数), $f$ 的大小直接影响了钻机的实际拉力大小。对钻机实际拉力的影响达到15%~20%,甚至更高。

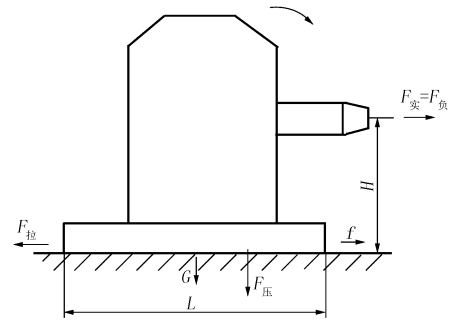


图4 钻机拉管时的作用力示意图

钻机底板与滑轨之间一般有铜板或尼龙板,配合滚轮承载钻机的拉力和扭矩,通过实验得知摩擦系数 $\mu$ 甚至达到0.3~0.5,滑轨表面清洁度、加工精度等会影响其大小。考虑到钻塔的总体长度, $L$ 值一般不会太大。因此,尽量降低中心高度 $H$ 成为了提高钻机实际能力(即整机机械效率)的最可行方案。

### 2.4 夹持器的设计注意事项

夹持器是钻机的重要部件,其可靠与否将严重影响施工效率。要求具备足够的夹紧力,足够的卸扣扭矩和适当的牙条硬度,夹持器的卸扣角度要求能保证卸开钻杆第一扣。

(1)夹持器作为辅助机构,一般由齿轮泵驱动油缸提供夹紧力,提高夹紧力的方式只有增大缸径和提高系统压力来实现。增大缸径不但影响结构尺寸,安装困难,还提高了钻机成本。采用增压系统不失为一种很好的方案。将齿轮泵的输出压力通过一套增压系统提高后供给夹紧油缸,从而达到提高液压系统压力,增大夹紧力的目的。最简单的方案,就是利用油缸的有杆腔和无杆腔的压力差来实现。

(2)大型钻机有时候使用不同直径的钻杆施工,卡瓦的设计要能适应不同钻杆直径。

(3)非开挖钻机都采用双夹持器,前夹持器夹紧钻杆,后夹持器完成卸扣功能。夹持器夹紧时的对中效果非常重要,对中不好,在卸扣时就会对钻杆接头产生径向作用力,甚至于扭断接头。采用左右2个油缸夹紧时,可以使2个油缸缸径大小不同,强制对中;采用3个油缸夹紧的夹持器,在液压系统中使用同步马达等方式保证油缸同步工作是非常必要的。

## 3 操作及控制系统的设计思路

国产钻机与国外先进水平钻机的主要差距就体现在(下转第19页)

浓度,可命名为氟化物、偏硅酸、偏硼酸型温泉水,碘化物达到有医疗价值和矿水浓度。另外还含有溴化物、偏硼酸、锶、钡和硫化氢等对人体有益的化学成分,这些元素呈离子状态,容易被皮肤吸收进入肌体发挥作用,因此可以说该井地热水是不可多得的珍贵复合型医疗矿泉。水中有害元素如氰化物、汞、铅等含量极微,均在允许范围之内,对人体不会产生影响。

表5为地热水质检测结果及评价。

表5 地热水质检测结果及评价

| 序号 | 项目   | 水质检验报告<br>/(mg·L <sup>-1</sup> ) | 有医疗<br>价值 | 矿水<br>浓度 | 命名矿<br>水浓度 | 矿水<br>命名 |
|----|------|----------------------------------|-----------|----------|------------|----------|
| 1  | 氟    | 4.50                             | 1         | 2        | 2          | 氟水       |
| 2  | 偏硅酸  | 58.0                             | 25        | 25       | 50         | 硅水       |
| 3  | 偏硼酸  | 62.0                             | 1.2       | 5        | 50         | 硼水       |
| 4  | 碘化物  | 2.20                             | 1         | 1        | 5          |          |
| 5  | 温度/℃ | 64                               | ≥34       | ≥34      |            | 温泉       |

## 7 结语

(1)滨河新区 ZK1 地热井深度 2604.33 m,井水自流,出水量 2016.48 m<sup>3</sup>/d,出水温度 64℃,为该地区开发地热资源起到了示范作用。

### (上接第 10 页)

现在液压控制系统和钻机自动化程度上。从非开挖钻机在国内的发展阶段来看,国产钻机的低成本、实用性更能适应市场需要。但是随着国家经济的发展,政策的调整,劳动力成本的提高以及非开挖工程市场的竞争加剧,要求钻机的工作效率更高,可靠性更高,同时提高自动化水平,尽量减少施工人员数量。这一点应该是设计开发人员下一步的重点工作方向。

设计科学的液压控制系统,选择质量可靠的液压件,可以相应提高钻机的工作效率。PLC 总线控制模式可以有效地提高钻机的技术水平,操作简单,可靠。自动钻杆系统可以减少施工人员数量,提高施工效率。另外,操作系统的人性化设计也是非常必要的方面。

## 4 结语

随着非开挖技术的应用范围越来越广,管道穿

(2)针对该区域地层特点选用的设备装置、设计的成井结构和选择的施工工艺有利于减少孔内事故风险。

(3)独特的后成井管外环隙封隔和固井技术对储层控制和产能提高有一定保障。

(4)通过地温梯度计算和产能测试与水质评价,对该区域地热能的进一步勘查、规划与开发具有一定的指导意义。

## 参考文献:

- [1] 姬道新,等.内蒙古自治区包头市滨河新区地热资源普查综合物探勘查报告[R].2009.
- [2] 李安宁,孙友宏,彭新明.北京地区地热井钻探技术[J].探矿工程(岩土工程钻掘),2001,(5).
- [3] 黄尚瑶,等.中国城市地热开发30年[A].刘久荣,等.北京地热国际研讨会论文集[C].北京:地质出版社,2002.
- [4] 高仰才,葛玉玮.内蒙古地热资源成因类型及开发前景初探[J].西部资源,2004,(3).
- [5] CJJ 13-87,供水水文地质钻探与凿井操作规程[S].
- [6] 冯亿年.多种方法联合洗井增大供水井出水量的实例[J].探矿工程(岩土工程钻掘),2007,34(8).
- [7] GB/T 11615-2010,地热资源地质勘查规范[S].

越工程越来越复杂,新的工艺工法的研究成功,要求非开挖钻机的研究开发人员要有开放的思维,不断学习研究,设计出满足于国内国外市场需求,达到国际先进水平的钻机。本文就钻机设计的几个方面提出了一些见解供讨论,其它诸如动力系统、外观设计等也是需要注意的方面。

## 参考文献:

- [1] 王朝建,花蓉.GBS-40型非开挖铺管钻机的研制[J].探矿工程(岩土工程钻掘),2009,(S1):334-337,341.
- [2] 花蓉.非开挖导向钻机中几种主要结构的设计[J].探矿工程(岩土工程钻掘),2009,36(8):11-14.
- [3] 乌效名,胡郁乐,李粮纲.导向钻进与非开挖铺管技术[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2004.
- [4] 谭禾丰,赵玉玺,应忠卿.工程钻机用履带行走装置的研制[J].地质装备,2009,(1):11-15,23.
- [5] 马保松.非开挖工程学[M].北京:人民交通出版社,2008.