

# 螺杆钻定向钻进非开挖铺管线技术

向军文 周铁芳 刘春生 阳东升

过去,我国一直沿用挖沟埋管施工方法铺设管道和各种缆线,这种方法费时、费力,而且给交通、建筑物、环境及附近居民的生活带来极为不利的影响,并造成严重的经济损失。

目前,用于地下非开挖铺管技术分为两大类:一类是全部作业在地下基坑内完成,如顶管、夯管、水平螺旋钻进、冲击矛等,这些方法铺管距离一般较短,为 40~80 m,但管径较大,最大可达 2000 mm。另一类是全部作业在地表完成,称水平定向钻进或导向钻进,根据破碎岩土层机理不同,又可分为高压水射流导向钻进和螺杆钻定向钻进,这类非开挖铺管线技术最大距离可达 1500 m 以上,最大管径超过 1000 mm。

但上述方法均只能在土层中进行作业,而我国相当一部分城市地下是风化岩层、基岩或砾石层,要在这些区域采用上述方法进行非开挖铺管线就有困难;同时,目前穿越江河、大型建筑物、机场等长距离铺管线工程项目越来越多,因此,研究螺杆钻定向钻进非开挖铺管技术是必要的。

## 1 国内外概况及发展趋势

### 1.1 国外概况

1971 年美国人马丁·切林汤将石油定向钻井技术和传统的管线施工方法有机地结合在一起,发明了水平定向钻进铺设地下管线技术(称 HDD)。80 年代后,由于石油钻井随钻测量(MWD)的研制成功,加速了 HDD 法的发展。80 年代末,一种以电磁感应为原理的手持式导向仪研制成功,使得水力喷射导向钻进铺管技术得到迅速发展。

1986 年成立了国际非开挖技术协会。

美国在定向钻进铺管线技术上居世界领先水平,美国各公司已生产多种型号的穿越孔定向钻机和多种型号的 MWD 监测系统,还具有一套先进的穿越孔钻进工艺、回接扩孔和铺管技术。

英国、德国、加拿大、瑞典等西方工业化国家均生产多种型号的定向水平钻机以及导向仪,日本是一个多山地国家,大多采用螺杆钻具施工各种非开挖铺管线的穿越孔。

### 1.2 国内概况

80 年代末,原石油部管道局从美国引进了一套水平定向钻进钻机,并成功地在黄河中下游施工了一个长 1000 多米的水平穿越孔,铺设了一根  $\varnothing 325$  mm 的输油管道。90 年代初,石油管道局第二工程公司又引进了美国奥格公司生产的 DD-62/RI 定向钻机,成功地施工了穿越湖北汉江、天津海河等多条铺管工程。90 年代中期,邮电部等部门又从德国、英国等引进了几种型号的导向钻进铺管线钻机。引进国外先进技术为我所用,对促进我国非开挖铺管线技术的发展起了积极的推动作用。

1995 年,地矿部勘探所等单位先后研制成功导向钻进非开挖铺管线技术,开创了我国非开挖铺管线技术的新局面。研究成果很快在北京、河北等地取得了市场,在砂土、粘土、小砾石砂土层中获得了较好的应用效果。

## 2 导向钻进和定向钻进非开挖铺管线技术比较

### 2.1 导向钻进非开挖铺管线技术

采用高压水喷射切削土层或挤压方式成孔。钻进时,高压水流和喷射钻头轴线之间有一夹角,夹角大小根据施工要求选择。工作时,地表钻机带动钻杆回转,与钻杆连接的喷射钻头同时回转,喷射钻头在钻压推动下向前钻进,钻孔轨迹有置于喷射钻头后部的发射电磁信号(或电脉冲信号)的发射器和地表接收器来监测。如钻孔发生偏离原设计轨迹要纠偏,即根据计算,扭转钻杆,使高压水射流朝向所需要的角度值。

导向钻进技术具有施工速度快、精度高、成本低、铺管线距离长、事故少等优点,可以铺设直径 50 ~ 350 mm、穿越距离 30 ~ 300 m、垂深不超过 16 m 的管线。存在的主要问题是:无法在风化岩层、岩层、砾石层中钻进,只适用于中等长度的管线施工,遇到软硬不均的土层(或其它硬物)时,钻孔轨迹容易产生偏离,由于受钻具自重的作用,钻孔往往产生下垂,穿越孔的精度受到导向仪精度的限制等。

## 2.2 定向钻进非开挖铺管线技术

采用孔底马达——螺杆钻带动牙轮钻头或其它钻头回转破碎岩土层成孔。正常钻进时,由地表水平钻机动头带动钻杆回转,与钻杆连接在一起的弯外壳螺杆钻也同时慢速回转,此时,钻头除围绕自身轴线旋转外,还围绕螺杆钻轴线公转。钻头在钻压作用下破碎岩石,用随钻测量仪实时监控钻孔轨迹,如果钻孔轨迹产生偏斜,需要纠偏时,由随钻监测仪给造斜工具母线定向,纠偏钻进时,钻杆不转,仅仅靠螺杆钻带动钻头进行纠偏钻进。

定向钻进有以下优点:由于钻头直接破碎岩土层,因此不但能钻进土层,也能钻进岩石,应用范围广,速度快;钻进时,钻具定向性能好,施工精度高;可以铺设大口径管道,穿越距离可达 1500 m 以上,管线铺设深度可以超过 20 m。

## 3 定向钻进导向孔配套设备与机具

定向钻进非开挖铺管线主要的设备机具具有:地表水平定向钻机、泥浆泵、液动螺杆钻、MWD 随钻监测系统、钻杆柱、套洗钻杆、钻头、扩孔器、回接铺管机具及其它附属机具等。

### 3.1 水平定向钻机

应具有以下功能:(1)回转器具有 40 ~ 110 r/min 的慢转速,纠偏时,回转器应能制动;(2)具有长的给进行程、较高的扭矩和足够大的给进力与拉拔力,满足钻进和回拉扩孔铺管要求;(3)配套泵组能为螺杆钻工作提供高压动力液体;(4)能在狭窄工地施工,安装速度快,移位方便,机动性好;(5)最好采用动力头回转,动力头滑道与水平面夹角能在 0° ~ 45° 范围内改变。

表 1 列出了不同型号水平定向钻机主要性能指标、铺管直径和穿越距离。

表 1

| 型号 | 给进力/<br>回拉力<br>/kN | 采用钻<br>具外径<br>/mm | 泵量/<br>L·min <sup>-1</sup> | 最大穿<br>越距离<br>/m | 最大铺<br>管直径<br>/mm |
|----|--------------------|-------------------|----------------------------|------------------|-------------------|
| 小型 | < 110              | < 73              | < 110                      | 400              | 400               |
| 中型 | 110 ~<br>450       | 60 ~ 105          | 110 ~ 750                  | 800              | 600               |
| 大型 | 3200               | > 105             | > 560                      | 1000             | 800               |
| 巨型 |                    |                   |                            | 2000             | 1500              |

### 3.2 螺杆钻具

螺杆钻既带动钻头回转,又起定向钻进作用,它依靠泥浆泵供给的高压动力液体工作。表 2 列出了按钻机型号及流量大小而选择的螺杆钻具规格。

表 2

| 钻机<br>型号 | 泵量/<br>L·min <sup>-1</sup> | 推荐的螺杆<br>钻具外径/in                  | 我国相应的<br>螺杆钻型号 |
|----------|----------------------------|-----------------------------------|----------------|
| 小型       | 100 ~ 150                  | 2 $\frac{1}{8}$ ~ 2 $\frac{3}{8}$ | YL54、YL65、YL70 |
| 中型       | 150 ~ 350                  | 2 $\frac{3}{8}$ ~ 4 $\frac{3}{8}$ | YL70、YL100     |
| 大型       | 350 ~ 1000                 | 4 $\frac{3}{8}$ ~ 7 $\frac{3}{8}$ | YL100、LZ165    |

目前,国内适用于小直径导向孔钻进的螺杆钻具参数见表 3。

表 3

| 钻具<br>型号 | 钻具外<br>径/mm | 转子定子<br>波齿数比 i | 泵量/<br>L·min <sup>-1</sup> | 钻头转速/<br>r·min <sup>-1</sup> | 工作压力<br>差/MPa | 输出扭<br>矩/N·m | 钻具长<br>度/m | 钻具质<br>量/kg | 钻头外<br>径/mm |
|----------|-------------|----------------|----------------------------|------------------------------|---------------|--------------|------------|-------------|-------------|
| YL56     | 56          | 5/6            | 120~150                    | 350~450                      | 3.2           | 98           | 2.2        | 25          | 60~75       |
| YL65     | 65          | 5/6            | 180~250                    | 300~420                      | 3.2           | 176          | 2.6        | 50          | 75~85       |
| YL70     | 70          | 5/6            | 200~350                    | 230~350                      | 3.2           | 300          | 2.5        | 44          | 85~115      |

用作定向钻进非开挖铺管线工程的螺  
杆钻具,应具有长寿命、大扭矩,一般采用弯  
外管螺杆钻具,弯外管弯曲角通常为 1°~  
3°,可根据实际需要选择。当采用刮刀钻头  
或钢齿牙轮钻头时,用多波齿比螺杆钻具,  
这种钻具转速较低,扭矩大;当用牙轮钻头  
或金刚石钻头时,用小波齿比螺杆钻具,这  
种钻具转速较高。

3.3 MWD 随钻监测系统

定向钻进时,由于导向孔垂直深度大,  
为了控制导向孔的轨迹,必须采用随钻监测  
系统,即 MWD。它应能及时地给操作者提

供孔内的方位角、倾角和工具面向角,并根  
据导向孔测点的长度,计算出测点处的空间  
坐标  $x$ 、 $y$ 、 $z$  值,如果偏离设计轨迹,应能给  
造斜工具母线定向。

美国 Maurer 工程公司研制了一种无缆  
随钻 MWD 系统,即 AccuNav<sup>TM</sup> 系统,该系统  
在 300 m 内用电磁传输信号,超过 300 m 则  
采用投掷式湿接头,电缆与湿接头相连接,  
是一种较为理想的导向孔随钻监测系统。  
近年来,我国也研制了几种 MWD,精度高,  
价格低,见表 4。

表 4 适用于定向钻进铺管线用的 MWD 技术参数

单位:度

| 型号      | 探管外径<br>/mm | 孔 斜 角  |       | 方 位 角 |      | 工具面向角 |      | 有无<br>电缆 | 电 源       | 国 别 |
|---------|-------------|--------|-------|-------|------|-------|------|----------|-----------|-----|
|         |             | 测量范围   | 精度    | 测量范围  | 精度   | 测量范围  | 精度   |          |           |     |
| AccuNav | 45          | -90~90 | ±0.25 | 0~360 | ±0.5 | 0~360 | ±0.5 | 无        | 镍—镉电池组    | 美国  |
| DST     | 40          | -90~90 | ±0.3  | 0~360 | ±2.0 | 0~360 | ±2.0 | 有        | 220V/50Hz | 中国  |
| XSC-1   | 40          | -90~90 | ±0.25 | 0~360 | ±1.5 | 0~360 | ±1.5 | 有        | 220V/50Hz | 中国  |

3.4 钻头

3.4.1 刮刀钻头 是钻进土层、软岩层、  
风化岩层最理想的钻头,价格便宜,钻进直  
径 70 mm 左右的导向孔。

3.4.2 牙轮钻头 有钢齿和硬质合金齿  
两种,对于软岩,可选用长的锥型齿,并采  
用切削型结构;对于中硬地层,则采用短锥  
形齿;对于硬地层,则采用硬质合金球状镶  
齿。在砾石和卵石层中钻进也能取得良好  
的效果。牙轮钻头价格适中,广泛应用于直  
径 100 mm 以上的导向孔钻进。

3.4.3 金刚石钻头 适用于钻进结晶岩,  
由于价格昂贵,一般不采用。

3.5 反向扩孔器

导向孔钻完后,用扩孔器扩到设计孔  
径,岩石层用的扩孔器切削结构是可变化

的,扩孔器上的牙轮可以更换,牙轮的类  
型与钻进用的牙轮一样。在土层中扩孔采  
用硬质合金锥形扩孔器。

3.6 钻杆

钻杆柱是孔内的关键部件,它给钻头传  
递扭矩和钻压,承受反向扩孔拉力,又是高  
压动力液体的输送通道。可根据供给螺杆  
钻动力液体的流量来选择钻杆规格。如采  
用有缆 MWD,则最好采用内平钻杆。

4 定向钻进导向孔施工工艺初探

4.1 非开挖铺管线导向孔特点

(1)导向孔穿越距离差别很大,短的  
不足 100 m,长的超过 1000 m。(2)导向孔轨  
迹应满足管线弹性铺设的要求。(3)大部分  
钻进工作量为水平段施工。

## 4.2 导向孔轨迹设计

从理论上讲,导向孔轨迹由 3 个孔段组成:入岩层向下造斜段、水平孔段和出岩层上翘孔段。

导向孔的基本参数有:入岩层角  $\alpha_1$  (钻杆与水平面夹角),一般取  $10^\circ \sim 15^\circ$ ; 出岩层角  $\alpha_2$ ,一般取  $8^\circ \sim 10^\circ$ ; 入岩层向下造斜段曲率半径  $R_1$ ,根据经验,一般取  $R_1 \geq 1200d$  ( $d$  为钻杆直径); 出岩层上翘造斜段曲率半径  $R_2$ ,根据经验,一般取  $R_2 \geq 1200D$  ( $D$  为钢直径)。

实际设计和施工时,可采用平均角法计算穿越孔轨迹。为简化设计,与受控定向钻探一样,可按平面问题来处理,即只有孔斜角的变化,而方位角保持不变。实际施工时,MWD 随时能测出每一点的孔斜角  $\theta$ 、方位角  $\alpha$ ,结合孔长,通过微机很快就可算出每一测点的空间座标  $x$ 、 $y$ 、 $z$  值,从而指导施工。

## 4.3 导向孔直径选择

导向孔直径根据所铺设管线尺寸来决定。一般情况下,导向孔直径为 70 mm 左右,随着岩石可钻性级别的增加,导向孔直径也要相应地增加。大直径的导向孔可以减少在岩石中的扩孔次数,资料表明:为在花岗岩中钻进  $\varnothing 600$  mm 的穿越孔,并铺设  $\varnothing 400$  mm 的管线,若钻进  $\varnothing 150$  mm 的导向孔,然后三次反向扩孔,分别扩至  $\varnothing 300$ 、450 和 600 mm; 若钻进  $\varnothing 250$  mm 的导向孔,然后二次反向扩孔,分别扩至  $\varnothing 450$  和 600 mm,这样减少了一次扩孔过程,节省了时间。

## 4.4 定向钻进导向孔施工工艺

**4.4.1 入岩层向下造斜孔段** 由入岩层点开始至水平孔段起点为止,这段孔的轨迹要求平缓、平滑,不能有拐点,它是铺管线的“弹性部位”。在该孔段钻进,首先应保持方位不变,在造斜强度不变的情况下,保持造斜工具面安装角不变,由于是造斜钻进,钻杆不回转,螺杆钻带动钻头旋转破碎岩石,

随着钻头的延伸,孔斜角也不断增大,其垂深也不断增加,当钻孔垂深达到设计值时,即完成了该孔段的钻进任务。钻孔垂深是通过选择合适弯外管的螺杆钻,在保持一定的造斜率情况下,通过控制孔斜角来实现的,实际钻孔轨迹往往偏离设计钻孔轨迹,在这种情况下就要进行纠偏,具体作业步骤是:计算造斜工具安装角,调整造斜工具母线方向,开始纠偏钻进。

**4.4.2 水平孔段** 必须要保持钻孔平直、水平。由于钻具自重影响,钻孔往往下垂,同时也会产生左右偏斜。如发生这种情况,要进行纠偏。纠偏时,钻杆不回转,只有螺杆钻具在工作。通过控制孔斜角达到控制水平孔段垂深的目的。水平孔段钻进时,采用大泵量钻进,提高岩粉排放效果。

**4.4.3 出岩层上翘造斜孔段** 上翘孔段钻进过程与入岩层向下孔段的施工工艺基本相同,关键要控制好出岩层角和出岩层点(即靶点)。由于处于上翘工作状态,要防止随钻仪探管下滑离开定向键。钻孔上翘时,随钻仪面板显示的孔斜角为负值。

如在软或松散地层中钻进导向孔,要采取一次成孔。

## 4.5 随钻仪投放

如采用无缆 MWD,探管可直接装置在定位键上和非磁性钻杆内,如采用有缆 MWD,通常采用水泵压送到位。

## 4.6 其它技术问题

随着导向孔的延长,钻杆受到的摩擦阻力增加,在砾石、卵石、松散地层中有必要用冲洗管,在冲洗管前端安装一个镶有硬质合金的切削钻头,在向前钻进过程中冲洗管一直回转。此外,冲洗管还扩大了钻孔直径,也可用来修整弯曲段。

冲洗管钻头和导向钻头的间距最好在 25 ~ 80 m 之间,间距小于 25 m 会影响 MWD 的测量精度。钻进一直继续到钻杆和冲洗

(下转第 121 页)

论则着重研究外延不明确而内涵明确的问题。斜坡稳定性分析作为一个复杂的系统工程,它既有内涵不明确的方面(因素众多且十分复杂,关系不清且信息不全),又有外延不清的方面(稳定性分级界线不清等)。因此,把模糊理论与灰色理论相结合用于斜坡稳定性综合评判可以解决斜坡稳定性问题中出现的既“灰”又“模糊”的两个方面。

## 5 结语

通过对目前国内外常用的斜坡稳定性评价方法的分析,可以认为,由于影响斜坡稳定性的因素很多,因素之间的关系十分复杂,任何一种方法要单独解决斜坡稳定性分析这样一个复杂的系统工程问题是办不到的。所以斜坡稳定性评价方法的多样化已成为必然。各种不同的方法都是从不同的

角度、方面以及不同的认识问题的深度对其进行分析研究。当涉及具体某一个斜坡稳定性问题时,必须根据其斜坡的具体情况来选择采用那几种方法进行分析。总之,斜坡稳定性评价方法将随着其广泛应用和科学技术的发展而不断完善和创新。

## 6 参考文献

- [1] 张倬元,王士天等.工程地质原理.地质出版社,1981.
- [2] 贺仲雄.模糊数学及其应用.天津科学技术出版社,1983.
- [3] 易德生,郭萍.灰色理论与方法.石油工业出版社,1992.
- [4] 潘别桐,黄润秋.工程地质数值法.地质出版社,1994.
- [5] 冉恒谦.斜坡稳定性分析的灰色—模糊综合评判.中国地质大学(北京)硕士论文,1995.

(上接第 118 页)

管都从靶区钻出地表为止。

## 5 回拉扩孔和铺管线技术

定向钻进回拉扩孔和铺管线技术与导向钻进回拉扩孔和铺管线技术基本相同。根据国内外资料,钻孔孔径  $D_H = 1.5D_N$  ( $D_N$  为管线外径)时,才能回拉穿越的管线。如果导向孔直径达不到这一要求,则应进行扩孔。如只需一次扩孔,后端通过万向分动接头与管线相连,一面扩孔,一面回拉管线。回拉时,钻机带动扩孔器旋转前进,泥浆通过扩孔器上的喷嘴射出,同时,管线被拉入扩大了孔内。当需要多次扩孔时,扩孔器后面连接钻杆。

## 6 螺杆钻定向钻进非开挖铺管线技术研究任务

(1)研制适用于钻进卵砾石、硬岩的配套钻具。(2)研究定向钻进导向孔施工工艺,其中包括导向孔轨迹设计、监控、研制造斜工具。(3)无缆随钻测量仪的研制。(4)研制用于硬岩的回拉扩孔器及相应的施工工艺。(5)长距离穿越孔铺管线技术。(6)研制与 GBS-10、GBS-18 型钻机相配套的定向钻进导向孔钻进用机具。

## 7 小结

研制采用螺杆钻定向钻进非开挖铺管技术是非常必要的,它将进一步完善非开挖铺管技术,同时将产生显著的经济效益和社会效益。