

水平定向钻机及施工工艺

张忠海，杨满江，张启君
(徐工研究院，江苏 徐州 221004)

[摘 要] 介绍了水平定向钻机国内外主要生产厂家，并详细介绍了水平定向钻机的施工工艺，特别是给出了泥浆用量的经验公式和配置钻液的原则。

[关键词] 非开挖；水平定向钻机；施工工艺

[中图分类号] TU990.3

[文献标识码] C

[文章编号] 1001-1366(2004)01-0061-02

Horizontally-directional borer and its construction technology

ZHANG Zhong-hai, YANG Man-jiang, ZHANG Qi-jun

水平定向钻机是在不开挖地表面的条件下，铺设多种地下公用设施（管道、电缆等）的一种施工机械，水平定向钻进技术将石油工业的定向钻进技术和传统的管线施工方法结合在一起，它具有施工速度快、精度高、成本低等优点，广泛应用于供水、煤气、电力、电讯、天然气等管线铺设工程中，一般适用于铺设管径 $\varnothing 300 \sim \varnothing 1\,200\text{mm}$ 的钢管、PE 管，最大铺管长度可达 1 500m，适应于软土、硬岩多种地质条件，应用前景广阔。目前水平定向钻机正朝着大型化和微型化、适应硬岩作业、自备式锚固系统、钻杆自动堆放与提取、钻杆连接自动润滑、防触电系统等自动化作业功能，超深度导向监控和应用范围广等特征发展。

1 国内外生产现状

水平定向钻机是 20 世纪 80 年代在发达国家兴起的，随着控制技术、通讯技术的快速发展，整机性能已十分完善。由于非开挖定向钻机是在地下作业，要求有较高的可靠性，钻杆的钻进、回拖等都采用机电液一体化技术，采用先进的有缆式或无缆式导向仪导向。整机还须具有长时间不间断作业的能力。其中典型的生产厂有美国 VERMEER、Ditch Witch、AUGERS、Case 公司；德国 TT、FLOWTEX、HUTTE 公司；英国 POWERMOLE、STEVE VICK 公司；瑞士 TERRA 公司；加拿大 UTLX 公司和意大利 TECNIWELL 公司等。

国内主要有中国地质科学院勘探技术研究所，生产 GBS - 5、GBS - 8、GBS - 10 拖式非开挖定向

钻机和 GBS - 12、GBS - 20、GBS - 40 自行走非开挖定向钻机。徐工集团生产的 ZD1245 等系列水平定向钻采用进口涡轮增压柴油发动机提供强劲动力，国际著名液压元件厂商提供配套，可靠稳定。各自独立的液压驱动使钻进（回拖）、旋转和输送泥浆功率供给更加充足可靠，动力头双速驱动，进一步提高整机生产效率，自动装卸钻杆装置先进，有线控制器操纵机器单独行走。

另外，连云港黄海机械厂与首钢地质勘察院，共同开发了 FDP - 12、FDP - 15 水平定向钻；北京土行孙非开挖技术有限公司开发生产了 DDW80、DDW100、DDW200 等水平定向钻；深圳钻通公司生产了 ZT10、ZT12、ZT15、ZT20 水平定向钻；中联重科的 KSD25 水平定向钻是中联重科收购了英国保路捷公司后推出的新品，采用分体式结构，可选配空压机和泥浆系统，实现干湿两用钻进。

按照水平定向钻机所提供的推拉力 and 扭矩的大小，可将定向钻机分为大、中、小型三大类。各类钻机的主要性能参数和应用范围见表 1。

表 1 水平定向钻机主要参数

分 类	小 型	中 型	大 型
推拉力 (kN)	< 100	100 ~ 450	> 450
扭矩 (kN·m)	< 3	3 ~ 30	> 30
功率 (kW)	< 100	100 ~ 180	> 180
钻杆长度 (m)	1.5 ~ 3.0	3.0 ~ 9.0	9.0 ~ 12.0
铺管直径 (mm)	50 ~ 350	350 ~ 600	600 ~ 1200
铺管长度 (m)	< 300	300 ~ 600	600 ~ 1500
铺管深度 (m)	< 6	6 ~ 15	> 15

2 施工工艺

水平定向钻机施工工艺顺序是：现场勘察 钻进轨迹设计 钻进先导孔 扩孔铺管。

2.1 现场勘察

1) 首先对施工工程及工地的已有相关资料进行查阅，勘察现场。主要检查工地的进场路径、土质和地层条件、地表地形、有无障碍物、地下管线分布、交通状况、跟踪定位系统的干扰源（如钢筋条、铁轨等）、供水条件等情况。

2) 与其它公用管线公司联系，让其对地下现有管线进行定位并做上标记。

3) 检测回拖材料的重量和刚性，了解该材料弯曲半径。

4) 做好安全保护措施，如交通管制，紧急救护措施，验明地下危险物，明确划定工地范围，避免围观者入内。

5) 选择开孔、终孔位置时应考虑以下情况：泥浆搅拌站置于水平位置应考虑开孔角度会影响钻机的安装和钻杆的弯曲，不会导致泥浆流出孔外；注意周围的机动车和行人，在开孔、终孔位置周围应留有至少 3m 的缓冲区，并有足够的空地保证钻杆逐渐弯曲；考虑荫地、风向、烟雾和场地其它特性，尽量向下坡方向钻孔，以免泥浆倒流。

2.2 钻进轨迹设计

设计钻进轨迹时要考虑工程要求、地层条件、钻杆的最小曲率半径、管线的允许曲率半径、施工现场的条件、铺管深度等多方面的因素，最后设计出最佳的轨迹曲线，有条件的还可利用现有的设计规划软件进行优化设计。

2.3 钻进先导孔

首先调整钻进倾角和下固地锚，钻进时同时驱动泥浆泵泵送泥浆，以供钻进护壁、钻头散热需要。钻进导向是通过地表接收器接收无线探头体内探测头发出的信号，测出钻头位置。需要调整方向时，动力头停止旋转，调整倾斜钻头板的方向朝向所需方向，只进给而不旋转，此时地面接收器接收信号，监视进给方向，待方向正确后，继续钻进，整个钻进过程可多次调整方向，直至钻进结束。

2.4 扩孔铺管

钻进结束后，根据铺管直径及种类的不同，换上不同的回扩钻头，一次或多次回扩，直至达到所

需孔径。最后一次回扩时，通过万向节与铺管相连，边回扩边拖管直至铺管结束。

2.5 钻液的配置原则

钻液的配置取决于钻孔时所面临的土壤状况。通常将土壤分为粗土和细土，粗土一般没有吸水性，可以使水自由流过颗粒，它一般包括砂土和砾石；细土一般包括粘土和页岩，它可阻止水渗透到地层，吸水膨胀。但是，实施施工时所面临的土质界限并不明显，可能变化很大或多种土质混合出现，因此，没有哪一种钻液在任何土质中都是最好的。配置钻液的原则是，在粗土中使用膨润土，在细土中使用聚合物。有时甚至同一个工程中使用多种钻液。表 2 是国外某公司生产的膨润土产品混合配比表，仅供参考。

表 2 不同土质钻液配比表

土 质		产 品	推荐用量 (每 1000L)	马氏漏斗 粘度 (s)
一般地层	砂层	Hydraul - EZ(易钻)	30 ~ 36kg	40 ~ 50
	砂砾石层	Hydraul - EZ(易钻)/ Super Pac (帮手)	36 ~ 42kg/ 1.25 ~ 2.5L	50 ~ 55
	粘土层	Hydraul - EZ(易钻)/ Insta - vis Plus (万用王)	12 ~ 18kg/ 1.25 ~ 2.5L	35 ~ 40
	未知层	Hydraul - EZ(易钻)/ Super Pac (帮手)	30 ~ 42kg/ 1.25 ~ 2.5L	45 ~ 55
复杂地层	卵砾石层	Hydraul - EZ(易钻)/ Super Pac (帮手)/ Suspend - It(速浮)	30 ~ 42kg/ 1.25 ~ 2.5L/ 1.2 ~ 2.4kg	70 ~ 90
	膨胀性粘土	在泥浆中添加 Insta - Vis Plus(万用王)	2.5 ~ 5L	35 ~ 40
	粘胶土	在泥浆中添加 Drill - Terge(洁灵)	5 ~ 7.5L	35 ~ 40
改善地质	低 pH 值水质	加入纯碱调整至 8 ~ 10	0.3 ~ 0.6kg	—

2.6 泥浆用量的估算

定向钻机所配置泥浆泵流量是一定的，钻进时泥浆用量相对较少，可调整泥浆泵在小流量状态；在回扩或回拖过程中，由于钻孔直径较大，所需泥浆量相对较多，泥浆泵要调整为大流量。操作者应掌握合适的钻进或回扩速度，以保证有足够的泥浆，形成良好的钻孔。国外有关泥浆公司对此进行了量化，总结出一套泥浆用量的经验公式，用户可根据该公式进行初步计算每分钟泥浆用量、回拖用时、工程所用泥浆总量等相关参数。

(下转第 21 页)

2) 变速箱 选用德国 ZF 公司的 ZFWG92 型变速箱。这种变速箱功能的可选性很强, 液力变矩器能自动闭锁, 并有液力缓速装置, 挡位的组合种类很多, 取力的数量及接口型式可供用户自由选择。

3) 驱动桥 选用德国 ZF 公司的产品, 前桥为 MS-2520 型、后桥为 MT-2075 型。前桥为转向桥, 全密封式, 限滑差速和内置式转向油缸; 后桥为制动桥, 内置湿式盘式制动, 带差速锁。

4) 车架 结构型式为箱型框架结构, 材料选用优质结构钢。车架一端与挖掘工作装置铰接, 且其两侧又与支腿铰接, 支腿型式为箱型结构蛙式支腿; 车架另一端在中上部与装载工作装置铰接。车架与前桥由销轴铰接, 与后桥由螺栓联接。

5) 挖掘工作装置 由回转体、动臂、斗杆和铲斗组成, 材料选用优质结构钢。回转体由钢板拼焊而成, 通过左右回转油缸的作用使其带动整个挖掘工作装置在 190° 范围内左右回转, 动臂变幅范围为 -68°~80°。斗杆为封闭式变断面矩形箱形焊接结构, 其变幅范围为 -54°~48°。动臂与斗杆均在应力集中区域进行局部加强处理。

6) 装载工作装置 由动臂、摇臂、连杆和铲斗组成, 材料选用优质结构钢。动臂为封闭式箱形曲线形焊接结构, 摇臂和连杆均为单板结构。

7) 驾驶室 防滚翻型 (ROPS) 驾驶室内设空调、可调回转座椅, 操作人员可十分容易地在装载和挖掘操作之间转换。另外, 驾驶室设计美观大方、舒适、视野良好, 驾驶室内各个操纵杆件、

踏板及仪表的布置符合人体工程学, 确保司机操纵的舒适性。

8) 电气系统 包括控制系统、仪表系统、报警监测系统、车辆工况显示系统及灯光系统等。系统电压 24V, 电气系统的关键件均国际化配套, 以确保系统工作的可靠性。

9) 液压系统 采用定量齿轮泵供油的开式系统。主要实现挖掘及装载工作装置作业、车辆转向、装载铲斗防过翻与自动放平等动作。液压系统采用了当今最为先进的 Ultronic 电子液压组合总线控制系统, 该系统由两组阀块、两个座位安装的手柄组成。一组阀块控制挖掘动作, 另一组阀块控制装载动作, 通过操纵安装在座位扶手上的手柄将工作指令输入到带有 CPU 的 ECU 装置, 由组合总线将指令传送到相应的阀 (Canbus) 来控制各油缸的动作, 完成挖掘或装载的工作。另外, Ultronic 电子液压组合总线控制系统还配备有自动检测程序, 可将错误信息显示在驾驶室内的显示器或小型的 LED 阵列上。系统内的先导阀都是一样的, 一旦发生先导故障可简单地将阀换掉, 非专业人员即可完成。先导阀变更程序自动执行, 系统自动完成数据下载、排气和试用。

(编辑 吴学松)

[收稿日期] 2003-07-21

[作者简介] 施晓明 (1965-), 男, 江苏阜宁人, 高级工程师, 徐州市金山桥开发区工业一区。

(上接第 62 页)

$$Q = \frac{KD^2 \times 10^4}{13}$$

式中 Q ——泥浆用量 (L/m);

D ——回扩头直径 (m);

K ——系数, 通常在 2~5 之间, 在粘性土壤中取 2~3, 而在砂石或泥浆漏失严重的地质条件下取 4~5。

以上计算值为初步估算值, 实际应用时泥浆用量比估算值稍大。

3 结束语

水平定向钻机具有施工速度快、精度高、安全

性好、综合费用低等优点, 应用越来越广泛, 有较好的经济和社会效益, 堪称为绿色环保设备。而我国非开挖定向钻机技术相对落后, 无法满足我国经济不断发展的需要, 急需开展智能定位导向监控技术、钻进规划软件、多种施工工艺等核心技术的研究, 推动我国水平定向钻非开挖产品和施工工艺的发展。

(编辑 金治勇)

[收稿日期] 2003-06-18

[作者简介] 张忠海 (1967-), 男, 江苏丰县人, 高级工程师, 从事机电液一体化设备研究, 徐州市金山桥开发区工业一区。