

岩石非开挖钻进技术的研究

王三牛¹, 仲相全²

(1. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000; 2. 内蒙古第五地质矿产勘察开发院, 内蒙古 包头 014014)

摘要:非开挖铺设地下管线施工技术是一项广泛应用于市政建设、铁路交通、电力通讯、水利和石油天然气输送等领域的高新技术。而岩石非开挖施工则是近年来许多有实力的单位所涉足的一种施工难度大、施工技术含量高的施工领域。论述了非开挖基岩钻进的技术要点及在不同地层、不同管径施工条件下对非开挖回扩钻头的设计及选用。结合国内几个典型的施工实例,详细阐述了非开挖基岩钻进的施工工艺。展望了该技术的发展前景。

关键词:岩石非开挖;铺管;导向钻进技术;回扩钻进;回扩钻头

中图分类号:P634.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2008)08-0060-04

Study on Trenchless Drilling Technology/WANG San-niu¹, ZHONG Xiang-quan² (1. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China; 2. No. 5 Institute of Geology and Mineral Resources Exploration and Development of Inner Mongolia, Baotou Inner Mongolia 014014, China)

Abstract: Trenchless technology for underground pipeline construction is a high technology, which is widely used in municipal construction, railway transport, electric-communication, conservancy and oil & natural gas transport. The paper discussed the main technical points of bedrock drilling, the design and selection of back reamers for different formations and drilling diameters, detailed construction technology of bedrock with typical engineering cases in China and prospected the future development.

Key words: trenchless drilling technology; pipeline installation; steering drilling technology; back reaming; back reamer

非开挖铺设地下管线施工技术(又称 HDD 技术,即 Horizontal Directional Drilling),是近 20 年来发展起来的一项高新技术,广泛应用于市政建设、铁路交通、电力通讯、水利和石油天然气输送等领域。该技术在美国及西方国家发展较早,技术比较成熟,尤其在岩石非开挖钻进方面处于领先地位。我国从 20 世纪 80 年代中期开始该技术的引进与开发,1985 年,中国石油天然气管道局从美国里丁贝茨建设公司引进了 1 套 RB-5 型水平定向钻机,该钻机是当时世界上最大的定向钻机,适用于铺设输油气管道。1994 年中国地质科学院勘探技术研究所(以下简称勘探所)开始从事非开挖钻进技术的研究开发,先后研制出了 GBS-10、GBS-20、GBS-28、GBS-35、GBS-100 型等非开挖钻机及配套钻具,国内很多单位又陆续研制出了不同规格型号的非开挖钻机。目前从事非开挖技术研究及施工的单位遍及全国各地,在国民经济建设中发挥着重要作用。

岩石非开挖施工,由于难度和风险大,需要的钻机设备及钻具比较昂贵,投入大,但回报率也高,因此目前有些单位开始逐渐涉足岩石非开挖施工领

域,勘探所大口径钻头与钻具研制中心也不失时机地开展了基岩用非开挖前导钻头及回扩钻头的研制工作,目前已先后研制成功了口径为 100~950 mm 的多种口径的回扩钻头,中联重科、上海华航、天津大力神、大连易通、廊坊华远、廊坊聚力等实力强劲的非开挖施工单位均选用了勘探所研制的回扩钻头,在花岗岩、石英砂岩等坚硬地层钻进中,取得了非常明显的使用效果。

1 岩石非开挖工艺技术

岩石非开挖施工工艺流程:铺设线路地质勘探→设计钻孔轨迹及孔径→钻进导向孔→回扩孔径至规定的尺寸→清孔→回拖铺管。

1.1 铺设线路地质勘探

地质勘探主要了解有关地层情况,其内容包括:地层岩性、风化程度、裂隙发育程度、透水性,含卵砾石情况等,测定岩石强度及可钻性级别,以便选择相应的钻进方法。可采用查资料和钻探取样的方法获取地质资料。另外采用物探的方法来探测地下管线和障碍物的位置,为设计钻进轨迹提供依据。

收稿日期:2008-06-20

作者简介:王三牛(1957-),男(汉族),山西人,中国地质科学院勘探技术研究所教授级高级工程师、经理,探矿工程专业,从事勘探技术与器具研发工作,河北省廊坊市金光道 77 号;仲相全(1954-),男(汉族),内蒙古人,内蒙古第五地质矿产勘察开发院党委书记、副院长,探矿工程专业,从事技术管理工作,内蒙古包头市昆区阿 9 小区。

1.2 设计钻孔轨迹及孔径

导向孔轨迹设计是否合理对管线施工能否成功至关重要。科学与合理的设计不但为施工的成功提供根本保证,而且对施工的经济效益起着决定性的作用。钻孔轨迹的设计主要是根据工程要求、地层条件、地形特征、地层钻进特性、地下障碍物的具体位置、钻杆的入出土角度、钻杆允许的曲率半径、导向监控能力和被铺设管线的性能等,给出最佳钻孔路线。

1.3 钻进导向孔

岩石非开挖钻进导向孔目前主要采用以下 3 种技术方法。

1.3.1 孔内泥浆马达(螺杆钻具)

其原理是以钻井液为动力,泵排出的液流经螺杆钻具时,在马达的进出口形成一定的压力差,推动马达的转子旋转,并将扭矩通过传动轴传递给钻头,实现钻进。马达的定子与弯接头连接,起控制方向的作用。钻进直孔时,钻杆与泥浆马达定子同时回转,钻孔轨迹成直线。造斜时,泥浆马达转子带动钻头回转破碎岩石,钻杆不回转,只提供压力,靠导向弯头改变方向。这种工艺方法要根据螺杆钻具的规格来配备相应的高压泥浆泵,导向钻头一般为三牙轮钻头,该方法适合大型非开挖钻机。

1.3.2 潜孔锤钻进

英国汉克(HALCO)公司利用气动潜孔锤工艺进行岩石导向孔施工,这种方法的碎岩效率非常高。其连接形式是钻杆—柔性杆—仪器仓—弯头—潜孔锤—钻头,并配置水油气混合器,以满足冷却仪器、润滑钻具及降尘的要求。该钻具在钻进直孔时,钻杆带动冲击锤头旋转并施加一定的轴向力,同时气动潜孔锤给钻头形成一定的冲击力提高破岩效果。钻孔转弯时,钻杆不回转只提供轴向压力,气动潜孔锤工作,靠转向弯头造斜。这种工艺需要配备高压大风量空压机,该方法适合于各种型号的钻机。

1.3.3 内外钻杆钻进

此技术是美国沟神(DITCH - WITCH)公司的一项岩石非开挖施工方面的技术专利。它分内钻杆和外钻杆两部分。工作过程中泥浆通过内外钻杆之间的环状空间输送到孔底,在双马达动力头驱动下,内钻杆和外钻杆可相对独立旋转,钻头与内钻杆连接,钻头后部的探头容纳管与外钻杆连接,并与钻杆柱轴线呈 2° 安装偏角。钻进导向孔时,内外钻杆同时旋转,钻孔轨迹呈直线;当内钻杆旋转而外钻杆依据探头容纳管的安装偏角位置停止在某固定方向上

不旋转只推进时,钻孔轨迹便朝该方向转弯。该方法虽然设备复杂,但不需要大的泥浆泵和空压机。

1.4 回扩钻进

1.4.1 回扩钻头类型

岩石非开挖回扩钻头主要有牙轮回扩钻头、滚刀回扩钻头、截齿回扩钻头等 3 种类型。

1.4.1.1 牙轮回扩钻头(图 1)

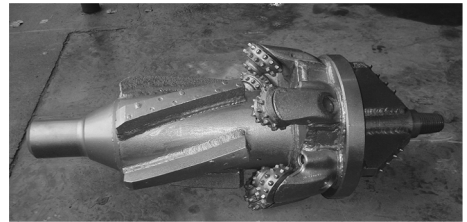


图 1 牙轮回扩钻头

采用石油钻井用牙轮钻头作为切削具,螺旋式超前导向,导向体表面镶焊硬质合金,耐磨性好;牙轮与刀盘焊接成一定的角度,掌背镶嵌硬质合金,防止掌背磨损;钻头尾部做成锥体状结构,并镶焊硬质合金,便于钻头退出时扫孔用。该型钻头适合于回扩直径小于 800 mm 的硬至坚硬岩地层钻进。

1.4.1.2 滚刀回扩钻头(图 2)

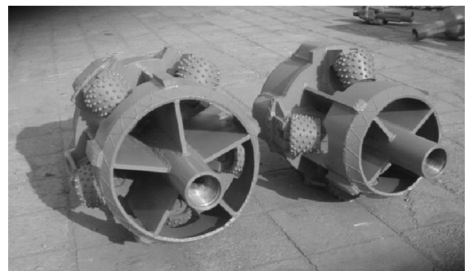


图 2 滚刀回扩钻头

采用镶齿滚刀作为切削具,滚刀用螺栓固定在刀座上。使用中滚刀体磨损或损坏后可以更换。由于钻头较大,采用锥体式前导向和后扶正结构,导向体和扶正体上均镶焊耐磨材料,保障了入孔顺畅,扩孔钻进稳定,孔壁光滑。该型钻头适合于回扩直径 > 800 mm 的硬至坚硬岩层钻进。

1.4.1.3 截齿回扩钻头(图 3)



图 3 截齿回扩钻头

有阶梯式和锥体式,切削具采用截齿(子弹头),切削具损坏后可以更换。适合于软岩或强风化地层。

1.4.2 回扩钻头结构

回扩钻进的排渣是个突出的问题,一般回扩量都不太大。对小型钻机来说目前常用的级配是:导向孔在 $\varnothing 120 \sim 160$ mm,一扩口径 260 mm,二扩口径 400 mm,三扩口径 560 mm,四扩口径 660 mm。大型钻机导向孔 $\varnothing 216$ mm,一扩口径 400 mm,二扩口径 560 mm,三扩口径 660 mm。最大成孔直径一般是铺设管子直径的 1.5 倍。

回扩钻头的结构设计主要考虑以下几方面。

(1) 钻头与钻杆的连接。采用两种 2 种方式:直接与钻杆扣相连,这种连接适合于一扩二扩或 $\varnothing 89$ 及 127 mm 大直径钻杆,小的扩径量一般不会产生连接强度问题;对于口径大且钻杆比较细的情况,钻头与钻杆的连接最好采用过度接头连接方式,其目的是消除局部应力,提高连接强度。

(2) 水口大小与布置。在很多工地,回扩钻进的泥浆是不反复使用的,泥浆消耗大,造成很大的浪费。所以在满足排渣的前提下,设计水口的位置及大小至关重要,其原则是要保证钻头水口处的水马力,能够使水口喷出的高速液流冲走岩渣。

(3) 钻头尾部设计。与单动器的连接或与钻杆连接,要根据用户要求而定。要注意的问题是,在保证有足够的连接强度下,尾部设计还必须考虑有切削功能,因为钻头在回扩钻进时遇到孔内事故无法前进,而后推又遇到阻力,尾部的结构能够实现钻具在后退过程中切削孔内的障碍物。

1.4.3 泥浆要求

导向孔回扩钻进,有点类似于煤田反井钻进工艺。但是,煤田反井钻进不存在排渣问题,而非开挖回扩钻孔轨迹由于是接近平底抛物线,排渣问题显的尤为突出,对冲洗液要求较高,如粘度、静切力等。泥浆的主要成分是水、膨润土和聚合物,具有冷却钻头、润滑钻具和悬浮携带岩渣作用。泥浆的流动性和悬浮性好,携带岩渣的能力强,成孔效果好。大泵量提高排渣效果,是以泥浆成本的增加为代价的,所以泥浆泵的排量根据钻孔口径大小一般控制在 200 ~ 600 L/min 之间。目前还没有一种最优的成本核算方法。

1.4.4 钻进规程

回扩钻进规程主要反映在回拉力,钻头转速及泵量。根据地层岩石的抗压强度、钻头的口径及设

备能力来确定三者的参数大小。回拉力及泵量的大小与口径成正比,而钻头转数与口径成反比,就是说,当口径大时,所需的回拉力和泵量要大,利于提高钻进效率和清洁孔内岩渣,但转数要适当的减小,以提高刀具对岩石破碎时的时间效应。下面给出三者的大小范围:口径 250 ~ 660 mm,拉力 50 ~ 140 kN,泵量 200 ~ 600 L/min。

1.5 清孔及铺管

在岩石孔内铺管和土层孔铺管最大的区别是前者的孔壁是刚性的而后者是软塑性的。岩石回扩钻进完成后,如果孔内的岩渣清理不干净,铺管时受阻,就会给工程施工带来很大的麻烦,严重时造成工程报废,所以清孔这一环节必须重视。利用特制的扫孔器及捞砂筒清孔,反复清理孔内的沉渣,不要怕麻烦,要确保孔内干净的情况下才能铺管。

2 岩石非开挖设备及辅助工具

目前,国内生产的钻机大都适用于粘土、砂土及地表覆盖地层,涉及岩石非开挖的较少。小型非开挖岩石钻机的代表是美国沟神(DITCH - WITCH)公司研制的 JT2720AT、JT4020AT 型钻机,在岩石非开挖方面发挥着重要作用;廊坊聚力非开挖公司从英国 HALCO 公司引进了一套潜孔锤非开挖导向钻具,用勘探所生产的 GBS - 35 型钻机及回扩钻头成功地解决了岩石地层非开挖钻进的难题,为国产钻机进行岩石非开挖施工开了先河。大型非开挖钻机的代表有美国奥格公司的 DD 系列钻机,其最大回拖力达 5886 kN,最大扭矩 140 kN·m;廊坊华元非开挖公司的 HY 系列钻机,其最大回拖力 3000 kN,最大扭矩 110 kN·m。这些大型钻机在钻进导向孔时均采用螺杆钻具造斜技术, $\varnothing 215$ mm 三牙轮导向钻头及 $\varnothing 127$ mm 石油钻杆。

在岩石非开挖施工中,除具备必要的设备和钻具外,还应考虑有钻头打捞工具、扫孔器、捞砂桶等辅助工具。钻头打捞工具有磁力打捞器和打捞桶(图 4),可以打捞导向钻头、扩孔钻头牙掌及其他金属物;扫孔器(图 5)是铺管前对孔壁进行修整和清渣;捞砂桶(图 6)的作用与扫孔器的作用类似,主要用于清渣。

3 施工实例

(1) 廊坊聚力非开挖公司于 2005 年 1 月 1 日完成了全国首例潜孔锤钻进导向孔岩石非开挖铺管工程。该工程地点位于江苏省宜兴市,工程内容是在



图 4 打捞桶



图 5 扫孔器

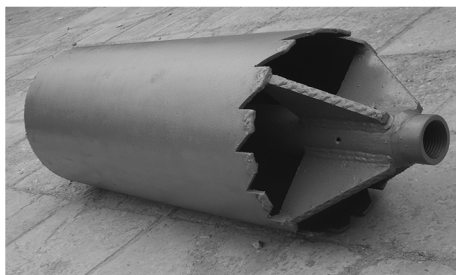


图 6 捞砂桶

具和勘探所研制的 GBS-35 型钻机及回扩牙轮钻头,成功地解决了岩石地层非开挖钻进的难题,在国内开辟了一种新的岩石非开挖施工方法。

(2) 廊坊华元非开挖公司在浙江德清完成了一条直径 273 mm、长度 400 m 燃气管道铺设任务。穿越地层为中风化岩石,使用的钻机为 HY-1300 型,回拖力 1300 kN,导向钻进采用泥浆马达及 $\varnothing 215$ mm 牙轮钻头,回扩钻头直径 380 mm,整个扩孔钻进 48 h 完成,钻头寿命 400 m。在舟山及湘江两地进行了长 2400 及 1500 m 的非开挖铺管施工,这是我国历史上最长的岩石非开挖铺管工程。勘探所为他们研制出了 5 种口径的非开挖用基岩回扩钻头,其中最大扩孔直径达到了 950 mm。

4 结语

随着非开挖技术的日趋完善,将会有越来越多的非开挖施工单位投入到岩石非开挖工程施工中,俗话说,欲行其事,先利其器,要想在岩石非开挖施工中取得好的使用效果,选择合适的钻头及钻具非常重要,我们将在现有的基础上作更深入的研究工作,研究出性能更为优越的适合坚硬地层及超大口径、超长距离孔钻进的回扩钻头及其配套工具,使非开挖钻进技术再上一个新的台阶。

岩石非开挖钻进技术具有非常广阔的前景。

参考文献:

- [1] 刘强,夏柏如. 岩石非开挖铺管施工工艺的研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(7).
- [2] 李晓苗. 岩层中非开挖钻进导向技术[J]. 建筑机械技术与管理,2004,(7).

岩石中穿越 104 国道,铺设一条直径 377 mm、长度为 210 m 的钢质燃气管道,穿越地层为中风化石英砂岩,地层研磨性极强,岩石抗压强度 90 MPa。使用从英国 HALCO 公司引进的潜孔锤非开挖导向钻

国内在建最长三线大跨隧道——重庆施家梁隧道贯通

经过 26 个月的艰辛施工,日前,由中铁五局、中铁隧道局共同承建的国内在建最长的三线大跨隧道——重庆市外环高速公路施家梁隧道胜利实现贯通。

外环高速公路是重庆市打造“二环八射”交通网络的民心工程,全长 186 km,总投资 132 亿元。被列为全线重点控制性工程的施家梁隧道左洞长 4303 m,右洞长 4267.5 m。隧道净宽 15.35 m,高 8.12 m,双向 6 车道。该隧道不仅是外环线上最长的隧道,也是国内在建的最长双向 6 车道大跨公路隧道。

2006 年 4 月,中铁五局路桥公司和中铁隧道局同时进场,从两端向中间开挖掘进。由于斜跨遂渝铁路龙凤山隧

道,穿越滑坡体、溶洞、煤层、积水老窑,地质结构复杂,技术含量高,施工难度大。承建单位科学规划、合理施工,先后经受了重庆百年不遇的伏旱高温天气和 50 年一遇的洪水考验,战胜断层、煤层、溶洞等不良地质,并成功穿越两处采空区,安全上穿遂渝铁路龙凤山隧道,保持了安全、快速、稳步掘进的良好势头,仅用 20 个月就完成了合同开挖任务,比计划工期提前 4 个月实现隧道贯通。为此,建设单位多次获得全线综合检查评比第一名,为外环高速公路 2009 年年底实现全线通车提供了强有力保障。

(据 中国交通报 2008-7-14)