

# 气动夯管法的应用研究

董向宇

(中国地质科学院勘探技术研究所,河北廊坊 065000)

**摘要:**从分析钢管的受力及地层可夯性出发,探讨气动夯管法的施工工艺问题,包括施工过程、气动夯管锤及空压机的选用、铺管精度、注浆润滑以及在其它工程中的应用等。

**关键词:**非开挖;气动夯管法;夯管锤;铺管

**中图分类号:**P634.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2004)08-0029-05

**Application Research on Pneumatic Ramming Pipe Method/DONG Xiang-yu** (Institute of Exploration Technique, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** After analyses on forces applied on steel pipes and ramming ability of formations, construction techniques of pneumatic ramming pipe method, including operation process, selection of pneumatic rammer and air compressor, accuracy of pipe lay out, lubricating by slip casting, were discussed. Application of the techniques in other projects was also mentioned.

**Key words:** trenchless; pneumatic ramming pipe method; pipe rammer; pipe lay out

## 1 气动夯管法概述

气动夯管法就是利用气动夯管锤将要铺设的空心钢管直接夯入地层,从而实现非开挖穿越的施工方法。这种方法对穿越长度80~100 m以内的钢管直线推进的施工具有显著的优势:

(1) 动态夯进可以击碎障碍物,并容易克服停机后重新启动时突然增高的起动阻力,由于不是将整个障碍物排开或推开,所以具有更好的目标精确性;

(2) 对地层的适应性强,几乎适应除岩层以外的所有地层,可以完成建筑回填地层、砂卵砾石地层中的穿越施工;

(3) 由于是开口夯入钢管,土心进入钢管内,不会使地面产生隆起变形;

(4) 穿越小型河流、沟渠时不会产生渗水、透水现象;

(5) 施工方法简便,施工技术条件要求简单。

夯管法使用的夯管锤实质上就是一种气动冲击设备,它不需要阻力支座(反力墙),利用动态的冲击能将空心钢管推入地层里。在夯管过程中,夯管锤产生很大的冲击力,这个冲击力通过出土器、调节锥套和夯管头作用于钢管一端,再通过钢管传递到另一端的管靴上,使之切割土体,同时克服地层与钢管内外壁的摩擦力使钢管不断进入土层,被切割的

土心进入钢管内(如图1)。待钢管抵达目标后,将管中的土心排出,钢管留在孔内,即完成铺管。

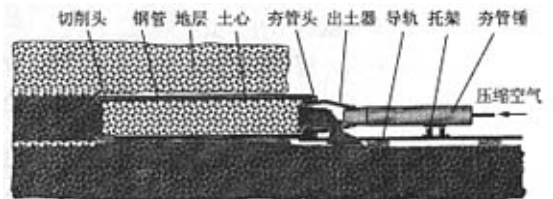


图1 气动夯管法铺管示意图

## 2 钢管的受力及地层可夯性

### 2.1 夯进时钢管的受力分析

钢管在夯管锤冲击力的作用下进入土体中,其受力情况如图2所示。图中 $P$ 为钢管受到的冲击力, $F_1$ 为钢管内、外壁所受的摩擦阻力, $F_2$ 为管端阻力, $G$ 为钢管自重, $N$ 为土体对钢管的侧向反力总和。因此,当 $P > F_1 + F_2$ 时,钢管就能顺利夯进。讨论各种影响 $F_1$ 、 $F_2$ 的因素,就可以明确夯管锤铺管的破土机理。

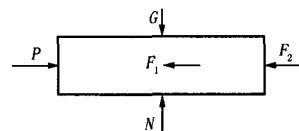


图2 钢管受力分析图

收稿日期:2004-07-12

作者简介:董向宇(1970-),男(汉族),河北唐山人,中国地质科学院勘探技术研究所工程师,探矿工程专业,从事非开挖设备研制及施工工艺研究工作,河北省廊坊市金光道77号,13932678511。

### 2.1.1 摩擦阻力( $F_1$ )

$F_1$ 为管壁与土层接触面之间的摩擦力,与垂直于接触面上的作用力的大小成正比,并与土的性质有关。综合分析土的内摩擦角、容重和内聚力,可以大致判定土层摩擦力对夯管的影响。

$$F_1 = f\gamma D[\pi H/2 + \pi K_1(H + D/2)/2 + (\omega + G)/(\gamma D)]L \quad (\text{kN})$$

式中: $\gamma$ ——土的重度,  $\text{kN/m}^3$ ;  $f$ ——钢管与土层的摩擦系数;  $D$ ——钢管外径,  $\text{m}$ ;  $H$ ——管顶以上覆土厚度,  $\text{m}$ ;  $K_1$ ——主动土压力系数,  $K_1 = \text{tg}^2(45^\circ - \varphi/2)$ ;  $\varphi$ ——土的内摩擦角,  $(^\circ)$ ;  $\omega$ ——单位长度钢管的重力,  $\text{kN/m}$ ;  $G$ ——单位长度钢管内土心的重力,  $\text{kN/m}$ ;  $L$ ——顶进长度,  $\text{m}$ 。

### 2.1.2 管端阻力( $F_2$ )

管端阻力按管鞋对土层的作用形式可分为切削阻力和“土塞效应”阻力。在正常情况下,主要是切削阻力,但当管内土心与管内壁的摩擦力足够大到土心不能在管内滑动时,就主要表现为“土塞效应”阻力了。当土心进入钢管管内的长度达到6~8倍的管径而不破坏时就会产生“土塞效应”。

在含水量小的砂层中,如不采取任何措施,钢管进入土层一定距离以后,随着管内土心与管内壁的

摩擦力的逐渐增大,管端阻力也就逐渐表现为“土塞效应”阻力,使夯管总阻力急剧增大,很快钢管就夯不动了。

钢管切削土层产生的正面阻力:

$$P' = \pi D' TR \quad (\text{kN})$$

式中: $R$ ——钢管前端中心线处的被动土压力,  $R = \gamma H' k_p + 2c \sqrt{k_p}$ ;  $k_p$ ——被动土压力系数,  $k_p = \text{tg}^2(45^\circ + \varphi/2)$ ;  $\gamma$ ——土的重度,  $\text{kN/m}^3$ ;  $D'$ ——管靴的平均直径,  $\text{m}$ ;  $T$ ——管靴的厚度,  $\text{m}$ ;  $H'$ ——管道中心的深度,  $\text{m}$ ;  $c$ ——土的粘聚力,  $\text{kPa}$ 。

钢管在夯进过程中可能产生土塞效应,钢管内的土心可产生阻力:

$$P'' = \lambda_p q_{pk} A_p \quad (\text{kN})$$

式中: $\lambda_p$ ——管端土塞效应系数,取  $\lambda_p = 0.696$ ;  $q_{pk}$ ——依照预制桩极限端阻力标准值,取  $4000 \text{ kPa}$  左右;  $A_p$ ——钢管内土柱的截面积,  $\text{m}^2$ 。

则管端阻力  $F_2 = P' + P''$ 。

## 2.2 土的性质对地层可夯性的影响

通过测试土的内摩擦角、容重和内聚力3个基本参数可以大致判定土的可夯性。施工前掌握和判断土的密实程度,对夯管的顺利进行有着重要意义。表1的方法可以判断土的密实程度。

表1 不同土的密实程度判断方法

土质	密实程度	判断方法	N值/击	粘聚力 $c/\text{kPa}$
砂土	很松	用手将 $\varnothing 13 \text{ mm}$ 钢筋容易插入土中	<4	
	松散	用挖掘极易挖动	4~10	
	稍密	用2.2 kg 锤将 $\varnothing 13 \text{ mm}$ 钢筋较易打入	10~30	
	中密	用2.2 kg 锤将 $\varnothing 13 \text{ mm}$ 钢筋打入30 cm	30~50	
粘土	很密	用2.2 kg 锤将 $\varnothing 13 \text{ mm}$ 钢筋打入5~6 cm,且有金属撞击声	>50	
	很软	手握成10 cm 拳头易贯入	<2	<12.5
	软	拇指可贯入10 cm 左右,较轻松	2~4	12.5~25
	一般	拇指加中等力可贯入10 cm 左右	4~8	25~50
	稍硬	拇指加很大力只能形成一个凹坑	8~15	50~100
	很硬	可用挖掘机挖动	15~30	100~200
	坚固	只能用镐挖,且较费劲	>30	>200

密实程度越高,  $N$  值越大,可夯性越差。下面针对6种土质分别进行分析。

(1) 软土。是在静流中沉积的饱和粘土,含水量高,透水性差,压缩性高,抗剪切强度低,具有一定的触变性。摩擦系数  $0.2 \sim 0.4$ ,易产生液化,摩擦阻力小,管端阻力小,很难产生“土塞效应”,所以夯进速度快,夯进距离长,可夯入的管径大。但是容易产生偏斜和管头下沉,应依据铺设长度和铺管直径,在铺设导轨时将导轨前端适当上扬,形成一个提前角,从而补偿钢管的下沉。

万方数据

(2) 粘土。具有可塑性、粘聚力、弹性压缩性、内摩擦力均高及低渗透性的胶体特性,其塑性指数  $\geq 17$ 。可以对管壁产生较高的摩擦阻力,摩擦系数  $0.5 \sim 0.75$ 。对于粘性高的土层,由于具有较高的塑性,当夯进一定距离后,在管靴切削时可以产生“弹垫作用”,另外由于高粘附性,管内的土心不容易被震动所破坏,可以产生“土塞效应”,从而使夯进速度缓慢。针对粘土的高内聚力的特性,在夯管施工时可以采取跟管注浆的方法,利用一定的压差,向钢管与土层间的环状间隙注入清水,在夯管锤震动的

配合下清水可以破坏粘土的胶体特性,使局部土层的可塑性减弱,触变性增强,这样可以在很大的程度上提高铺管速度。

(3)砂粘土。粘粒少于30%而砂粒多于粉粒时为砂粘土。可塑性、内聚力、弹性、压缩性均较低,而内摩擦力和渗透性较粘土高。摩擦系数0.5~0.65,塑性指数为7~17。砂粘土层易于剪切和坍塌,极少产生“弹垫作用”和“土塞效应”,适宜夯管法施工。在夯管锤高频震动的作用下易产生液化,可以大大降低摩擦阻力,配合注浆工艺,可以将 $\varnothing 1000$  mm左右的钢管铺设100 m左右。

(4)粉土。含粘粒少于3%,而粉粒多于50%,砂粒少于50%。可塑性、粘聚力极低,摩擦系数0.5~0.65,具有触变性,含水饱和时出现流砂现象。土层易于剪切和坍塌,适宜夯管法施工。夯管锤的震动可以产生土层局部液化,当铺设较长距离的管道时,由于震动时间较长,钢管管壁外粉砂液化严重,可能会粘附于钢管上产生较大的摩擦阻力,削减夯击力,减慢夯进速度。可以采用小压力泵送膨润土或化学泥浆(CMC泥浆)的方法,使钢管管壁形成泥浆套,此法可以完成较长距离的穿越。

(5)砂土。含砂粒多于50%的土。无可塑性,干燥时呈松散状态,渗透性较粘性土好,稍湿的砂土具有假内聚力。摩擦系数0.6~0.8,与其它土层相比可以产生最大的摩擦阻力,级配良好的密实状砂土,抗剪切性能好,可以形成很高的管端阻力,土层的摩擦系数高,摩擦阻力也很高。为了克服这些不利因素,可以采用注浆工艺,泥浆选用膨润土泥浆最好,禁止使用清水和化学泥浆作为减阻润滑剂。

(6)砂砾石土。粒径 $> 2$  mm的颗粒质量超过50%的土为砂砾石土。摩擦系数0.5左右,渗透能力最强,干燥时呈松散状态,级配良好、密实状态的砂砾石土不塌方。杂填土回填地层与砂砾石土性质相似,用夯管锤进行铺管时,比管径小的卵砾石或石块可进入管内,比管径大的砾石、石块或漂石可以被管鞋击碎并进入钢管内。这要求地层中砾石、石块或漂石的含量在40%以下,且最大粒径在8 cm以下,允许局部含有极少量粒径较大的石块,但是所铺设钢管的内径应比石块的最大粒径大30%以上,否则石块封堵于管口前,夯进速度会急剧下降。另外对于管壁较薄或强度较差的钢管会造成钢管变形,使铺管工作失败。

一般来说,含量高并且平均粒径在8 cm以上的卵石、圆砾石地层及回填的、粒径较大、级配单一的

碎石渣地层,为不可夯地层。其它地层均为可夯性地层。另外土层中含水量的变化对于夯管速度有很大的影响,含水量适中的地层,在震动载荷作用下液化程度良好,可夯性好。

### 3 气动夯管锤铺管施工过程

气动夯管锤铺管工程的一般施工程序见图3。

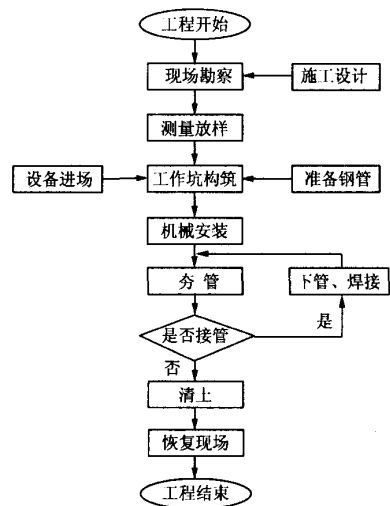


图3 气动夯管锤铺管工艺流程图

#### 3.1 现场勘察

现场勘察包括地表勘察和地下勘察两部分。地表勘察的主要目的是确定穿越铺管路线。地下勘察包括原有地下管线的勘察和地层性质的勘察。现场勘察资料是进行工程设计的重要依据,也是判定工程难易程度,计算工程造价的重要因素。必须高度重视现场勘察工作,勘察资料应准确、可靠。

#### 3.2 施工设计

根据工程要求和勘察结果进行施工设计。施工设计包括施工组织设计、工程预算和施工图设计等,各个管线工程部门对施工设计都有不同的要求和规定,在此不进行详细介绍。

进行施工设计时必须考虑如下几点:

(1)可行性判定。根据工程勘察情况、工程质量要求和以往施工经验,决定该项工程是否可用气动夯管法进行施工。

(2)确定方向和深度。先根据地表勘察情况确定穿越铺管的路线走向,再根据地下勘察情况确定铺管深度。

(3)预测铺管精度。因夯管锤铺管属非控向铺管,管道到达目标坑时的偏差受管道长度、直径、地层情况、施工经验等多方面因素的影响,预测并控制

好铺管精度是工程成败的关键之一。

(4)是否注浆。地层较干、铺管长度较长、直径较大时,应考虑注浆润滑。确定注浆后必须预置注浆管。

### 3.3 测量放样

根据施工设计和工程勘察结果,在施工现场地表规划出管道中心线、下管坑位置、目标坑位置和地表设备的停放位置。

### 3.4 准备钢管

夯管法铺管对钢管壁厚有一定的要求,壁厚与钢管直径、能承受的冲击强度、埋深及钢管的腐蚀余量要求有关,可以依据以下经验公式确定:

$$t = \alpha D + t'$$

式中: $t$ ——钢管管壁厚度,mm; $\alpha$ ——经验系数,0.01~0.015; $D$ ——钢管内径,mm; $t'$ ——腐蚀余量,mm。

$t'$ 是考虑钢管内的流通介质和土壤酸碱度来确定的。中性土壤中每年为0.1~0.2 mm,流通的是腐蚀性介质时 $t'$ 要取大些,反之取小些。表2推荐的是钢管的最小壁厚,当所用钢管的壁厚小于要求的最小壁厚时,需加强钢管端部和接缝处,以防端部和接缝处被打裂。钢管要求防腐时,防腐工作也应在施工前做好。为防止防腐层在夯管过程中损坏,最好采用玻璃钢防腐,可用的防腐方法还有三油两布环氧沥青防腐、环氧树脂防腐、静电喷涂防腐等。

表2 夯管锤铺管要求的钢管最小壁厚

管径/mm	壁厚/mm	管径/mm	壁厚/mm
≤100	4	500~800	9
100~180	5	800~1000	10
180~250	6	1000~1200	12
250~350	7	1200~1500	15
350~500	8	1500~2000	19

### 3.5 工作坑构筑

工作坑包括下管坑和目标坑。正式施工前应按照施工设计要求开挖工作坑。一般下管坑坑底长为:管段长度+夯管锤长度+1.5 m;坑底宽为:管径+1 m。接收坑(目标坑)坑底可挖成正方形,边长为:管径+1 m。

工作坑的底部应该比较坚实,如果有地下水渗出,应在工作坑底构筑输水槽和集水井,及时将积水排除,防止地下水将坑底泡软。对于地下水水位很浅的地区,应视工作坑的大小实施井点降水,然后再开挖工作坑。工作坑开挖的防护要求可以按照基坑开挖的有关技术规范执行。

万方数据

### 3.6 设备安装

各项准备工作做好以后即可进行设备安装。如图1所示,先在下管坑内安装导轨(短距离穿越铺管可以不用导轨),调整好导轨的位置,然后将钢管置于导轨上。在钢管进入地层的一端焊上切削头。如决定注浆,还须在切削头后焊上注浆喷头,并连接好注浆系统。用张紧器将夯管锤、调整锥套、出土器、夯管头和待铺钢管连在一起,使它们成为一个整体。将夯管锤的进风管通过管路系统与空压机相连接。一切准备就绪,等待夯管工作。

第一根钢管的前端要焊接管靴,可以起到两方面的作用,一是保护钢管的管口,二是可以适当地扩径,减小后续钢管前行的阻力。在钢管前端的管口处用扁钢等进行加厚处理。外管靴的厚度在5~10 mm,管径大厚一些,管径小则薄一些。外管靴的长度20~30 cm,焊接时外管靴应前伸或缩后钢管管口10~20 mm。对于均质的地层,管靴焊接的位置可以超前,也可以缩后,且焊接后打磨成30°左右的楔形坡口,有利于减小管端切削阻力;而局部含砾石、砖石等杂物的地层,采用缩后焊接的结构,可以保证钢管管口不变形,同时采用阶梯形楔形坡口的形式,坡口打磨角度60°~90°,以保证钢管夯进的方向;软土及含水量大的地层,外管靴采用前伸的结构,并且只要包裹钢管管壁上面2/3的部位,保证夯进过程中不会产生下沉。内管靴加厚的厚度在3~5 mm,根据管径的大小适当调整。长度20 cm左右。内管靴采用缩后焊接的方式,完全焊接后,打磨成30°左右的楔形坡口。

总之,管靴结构的确定应综合考虑穿越地层的地质情况、穿越长度、钢管的直径、钢管的机械强度等条件。

另外如果采用辅助注浆措施的,还须焊接注浆管。注浆管焊接于管靴的后部。

### 3.7 夯管

启动空压机,开启送风阀,夯管锤即开始工作,徐徐地将管道夯入地层。在第一根管段进入地层以前,夯管锤工作时钢管容易在导轨上来回窜动,应利用送风阀控制工作风量,使钢管平稳地进入地层。第一段钢管对后续钢管起着导向作用,其偏差对铺管精度影响极大。一般在第一段钢管进入地层0.5、1、1.5、2 m时,要对钢管的偏差进行检测,如偏差过大应及时调整,直至符合要求为止。钢管进入地层2~3 m后可逐渐加大工作风量至额定值。第一段管夯管结束后,从钢管上卸下夯管锤和出土器

等,待接上一段管后装上夯管锤继续夯管工作,直至将全部管道夯入地层为止。

### 3.8 下管、焊接

一个管段夯入地层后,连接下一管段。将夯管锤和出土器等从钢管端部卸下并沿着导轨移到下管坑的后部,将下一管段置于导轨上,调整使之与前一管段成一直线。一般采用手工电弧焊接,焊缝要焊牢焊透,管壁太薄时焊缝处应用筋板加强,以提供足够的强度来承受夯管时的冲击力。

钢管间采用Y形焊缝对接,即坡口对接焊。开口角一般为 $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ,焊缝间隙为 $1 \sim 2 \text{ mm}$ ,焊缝加强面高度为 $2 \sim 3 \text{ mm}$ ,钝边高度为 $2 \sim 4 \text{ mm}$ 。焊接前应清除焊接表面上的铁锈、油垢、防腐漆等杂质,并保持干燥。从减小焊接残余应力及节约工时的角度应根据钢材的材质选择合适的电焊条,焊接要均匀,第一层焊接完成后,检查有无裂纹,以后按照每层加焊接量 $1 \sim 3 \text{ mm}$ 的原则,最后的成型焊缝宽度要比坡口宽 $3 \text{ mm}$ 左右。

由于焊缝对于长时间的高频震动比较敏感,要求特别注意焊接质量,尤其是第一个接口,承受的冲击载荷时间最长,可以适当采用加强筋的方式进行加强。另外尽量减少无谓的夯击时间,延长焊口的寿命。焊缝处要适当冷却后再进行防腐处理。

### 3.9 清土、恢复现场

夯管结束后须将钢管内的存土清除出去。清土的方法有多种,常用的有压气排土法、螺旋钻排土法和人工清土。压气排土法最简单,适用于非进入管道( $\varnothing 800 \text{ mm}$ 以下)的清土,其做法是:将管的一端掏空 $0.5 \sim 1 \text{ m}$ 深,置清土球于管内,用封盖封住管端,向管内注入适量的水,然后连接送风管道,送入压缩空气,管内土心即在空气压力作用下排出管外。用此法必须注意的是清土球和封盖应具有良好的密封性,注水有助于提高清土球的封气性能。空气压力与钢管内部断面面积之积即是推动土心运动的推力,对于小管径的钢管需要比较大的空气压力,而大管径的钢管则可以使用较小的空气压力。破坏钢管内土心的静摩擦平衡是压气排土法的关键。一旦由静摩擦变成动摩擦,则土心在瞬间即可排除。所以较高的空气压力能使土心更快速地排出。一般对于 $\varnothing 800 \text{ mm}$ 以下的钢管,空压机提供 $1.0 \text{ MPa}$ 的气压可以满足排土的需要。使用此法应注意安全,土心的迅速排出对靠近的物品和人员可能造成损害。螺旋钻排土和人工清土一般都用于较大直径管道。

清土工作完成后,撤出机械设备,按有关规定回万方数据

填工作坑,清理现场,至此铺管工程结束。

## 4 气动夯管锤、空压机的选用

夯管工程中正确选用夯管锤非常重要。选择夯管锤时应综合考虑所穿越地层、铺管长度和铺管直径3个因素。一般来说,地层可夯性好时,可选用较小直径的夯管锤铺设较大直径或较长距离的管道;地层可夯性差时,必须选用较大直径的夯管锤铺设较小直径或较短距离的管道。实际工程中以平均铺管速度 $2 \sim 5 \text{ m/h}$ 的标准选用夯管锤,对降低铺管成本来说比较理想。

空压机作为夯管锤的动力源,一定程度上决定着夯管锤效率的发挥。选定了夯管锤的规格后,应针对夯管锤的参数来配备空压机。目前市场上使用的国内外的夯管锤,其标定额定压力均为 $0.7 \text{ MPa}$ ,可以选用排气压力为 $1.0 \sim 1.2 \text{ MPa}$ 的空压机,空压机的排气量应比夯管锤的最大排气量大 $10\% \sim 20\%$ 。空压机排气压力和排气量的储备对于铺设较大管径,穿越距离 $50 \text{ m}$ 以上的工程至关重要。

## 5 气动夯管锤的铺管精度问题

从夯管法铺管的技术特点来看,它属于非控向铺管技术,如何预测其铺管精度并事先采取措施预防其偏斜是夯管锤铺管工程中的技术难点。

夯管锤铺管精度与所穿越地层、铺管长度、直径、焊缝数量和施工经验有关。一般来说,地层太软或软硬不均、一次性穿越距离过长、管径太小、焊缝数量多或施工经验不足都会造成铺管偏差过大。这些因素对铺管偏差的影响都有一定的规律,通过试验,提供如下经验公式:

$$\delta_1 = 2k_1 (L/D)^2 \times 10^{-5}$$

$$\delta_2 = 2k_2 (L/D)^2 \times 10^{-5}$$

式中: $\delta_1$ ——钢管在重力作用下的垂直向下偏差, $\text{m}$ ;  $\delta_2$ ——综合因素产生的偏差, $\text{m}$ ;  $k_1$ ——地层软硬系数,根据经验取 $1 \sim 1.3$ ;  $k_2$ ——综合影响系数,根据经验取 $1 \sim 1.5$ 。

垂直向下偏差 $\delta_1$ 可通过导轨上扬一定角度来补偿,当穿越距离长或地层软时上扬角度大些,穿越距离短或地层硬时上扬角度小些。通过补偿可大大提高铺管精度。

综合影响系数与地层软硬程度、焊缝数量和导轨安装质量等多种因素有关,要保证铺管精度,应尽量增加每段管的长度,尤其是第一节管段的精度。

(下转第38页)

痕航向角。

(2) 加速度计:用于测定钻孔顶角。

(3) 前置单片机数据采集器:用于 A/D 转换,控制测量。

(4) 数据存储卡:用于定时存取所测顶角、方位角、航向角数据,人工地面记录下来时间与孔内位置关系,即时间—孔深。

(5) 电源:提供 12 V 直流电源。

### 3.2.3 密封连接部分

主要由密封探管、减振器、定向连接器组成。

(1) 密封探管:用于定向仪密封。

(2) 减振器:用于定向仪减振。

(3) 定向连接器:用于将定向仪的定向母线与钻具母线上的刻痕母线吻合,与测得航向角一致。

## 4 KD 型定向仪技术参数

### 4.1 刻槽取样半合式单动双管钻具

外径 75 mm, 钻孔孔深 400 m, 完成定向取心时间为一个钻进回次, 取心直径 54.5 mm, 最大回次进尺 1.3 m。适用地层为弱磁性矿区, 要求岩石中硬以上, 比较完整, 钻进中的取心率  $\leq 90\%$ 。钻具类型为单动双管金刚石钻具(内管带刻刀)。适用的钻进转速为 300 ~ 700 r/min。

### 4.2 专用岩心定向仪

测量范围:顶角 0 ~ 60°, 方位角 0 ~ 360°; 测量

精度:顶角  $\pm 1^\circ$ , 方位角和定向标记位置角  $\pm 2^\circ$ ; 耐水压力 3 MPa; 抗振能力:适应 300 ~ 700 r/min 钻具转速; 外径 54 mm。

## 5 现场应用情况

本定向取心技术系统已在金昌镍钴矿等地现场成功使用, 圆满地获取了矿层及地层的倾向及倾角, 满足了地质岩土工程设计的要求, 应用情况良好, 在完整岩层效果特别明显。图 3 为获取的带痕岩心。



图 3 获取的带痕岩心

## 6 结论

相比过去的定向取心技术, KD 型定向取心技术有如下创新点: 利用时间与空间的时空关系, 随钻无缆连续量测, 采用时域分析方法确定钻孔空间位置, 操作简单可行、连续取心段长、精度高、工程实用性好。

本系统将现代最新电子技术融入定向取心技术领域, 为地质探矿、石油勘探、岩土工程分析、地质灾害成因分析及预警预报等领域的研究带来巨大的推动作用, 具有广阔的应用前景。

(上接第 33 页)

此外, 导向钻进与夯管相结合的方法, 即利用导向钻机先打一个导向孔并扩孔, 然后再沿着这个孔夯管, 可作为提高夯管锤铺管精度的一个有效的方法。可以预先扩孔至钢管管径的 70% ~ 80%, 然后再用夯管法将钢管夯入钻孔内, 可以防止过度扩孔而产生地面塌陷, 同时对于铺设坡度要求较高的钢质管线不失为一种比较理想的方案。

## 6 气动夯管锤铺管的注浆润滑

气动夯管锤铺管的注浆润滑, 目的就是要使润滑浆液在钢管的内外周围形成一个比较完整的浆套, 使土体与钢管之间的干摩擦转化为湿润摩擦, 并使湿润摩擦在夯管过程中一直保持。在多数地层中, 通过注浆润滑可以大大减小地层与钢管间的摩擦系数, 减小钢管进入地层中的阻力, 因而注浆润滑是提高夯管成功率的一个极其重要的环节。

地层情况多种多样, 如何保证润滑浆液不渗透

到地层中是技术的关键。这个问题主要通过采用不同的浆液材料和处理剂来解决。目前常用的铺管注浆材料有两类: 一类是以膨润土为主, 适用于砂土、粉砂土层中注浆润滑; 另一类则是人工合成的高分子造浆材料, 主要适合于粘性土层中注浆润滑。注浆的粘度可以控制在漏斗粘度 20 ~ 40 s, 注浆压力随着管段的长度逐渐加大, 可以保持在 0.1 ~ 0.35 MPa 范围内。另外对于干砂土层还可以在钢管管壁上涂刷石蜡层, 在夯进过程中石蜡挤压到土层中, 改变了摩擦的性质, 从而降低摩擦阻力。石蜡层的厚度在 2 ~ 3 mm 即可。

## 7 气动夯管法在其它工程中的应用

气动夯管法是一种比较独特的管道铺设方法。根据其工作特点, 除可用于铺管外, 还可用于管棚工程、冷冻法中冷冻管铺设、金矿勘探、沉管灌注桩、钢管桩和异型桩等。随着工程技术人员对它的进一步了解, 必将在更多的工程领域得到应用。