

气动夯管锤的研制及应用研究

车延岗^{1,2}, 董向宇²

(1. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 2. 中国地质科学院勘探技术研究所非开挖中心, 河北 廊坊 065000)

摘要:介绍了气动夯管锤的研制及施工工艺的研究。阐述了气动夯管锤的配气原理及配气程序设计原则, 通过分析钢管夯进时的受力, 提出了简要的阻力计算公式, 介绍了气动夯管锤的施工工艺过程, 着重提出了独特的辅助注浆润滑工艺。

关键词:非开挖; 气动夯管锤; 配气; 夯管

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2007)09-0066-04

Development and Application Research on Pneumatic Pipe-rammer/CHE Yan-gang^{1,2}, DONG Xiang-yu² (1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: The paper introduces the research and development of pneumatic pipe-rammer, gas mixing principle and design principle of gas mixing program. Simple calculation formula for resistance is given, and construction technologies of pneumatic pipe-rammer are described with special complementary grouting lubrication.

Key words: no-dig technique; pneumatic pipe-rammer; gas mixing; ramming pipe

1 概述

气动夯管法铺管技术是现代非开挖铺管技术的一个分支, 适用于排水、自来水、电力、通信、油气等管道穿越公路、铁路、建筑物和小型河流的非开挖铺设, 是一种特别适合当前我国非开挖地下管线施工领域的简单、经济、有效的施工技术。

夯管法就是利用动态的冲击能将空心钢管推入地层。夯管锤产生冲击力, 通过出土器、调节锥套和夯管头作用于钢管一端, 再经钢管传递到另一端的管靴上, 使之切割土体, 同时钢管不断进入土层, 被切割的土心进入钢管内(见图 1)。待钢管抵达目标后, 将管中的土心排出, 钢管留在地层中, 完成铺管。

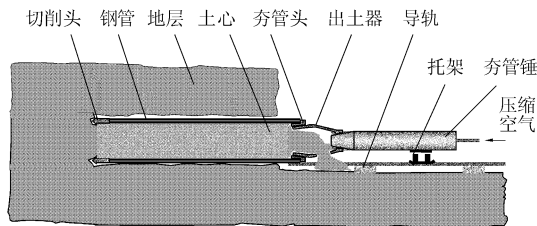


图 1 气动夯管法铺管示意图

夯管法为直径 2 m 以内、穿越长度 80 ~ 100 m 以下钢管的直线推进施工提供了显著的经济和技术

优势: 动态夯进可以击碎障碍物, 容易克服停机后重新启动时突然增高的起动力, 无反力墙要求; 对地层的适应性强, 可以完成建筑回填地层、砂卵砾石地层的穿越施工; 开口夯入地层, 土心进入钢管内, 不会使地面产生隆起变形; 穿越河渠时不会产生渗水、透水现象; 施工方法简便, 施工要求简单。

2 气动夯管锤的研制

气动夯管法使用的气动夯管锤实质上就是一种气动冲击器。

2.1 配气原理

气动夯管锤主要由缸体、活塞和配气阀组成, 配气原理(参见图 2)如下:

A. 进气行程 I。压缩空气通过配气孔进入腔体中, 活塞在压差作用下后行, 直到活塞将配气孔封闭, 进气结束。

B. 膨胀行程。腔体封闭, 随着活塞的继续后行, 腔体中的压缩空气膨胀, 直到配气孔在配气阀的后端露出, 膨胀行程结束。

C. 排气行程 I。腔体中的压缩空气通过配气孔排出, 活塞在惯性力作用下继续后行, 但在压差作用下后行速度逐渐减慢, 直至停止, 排气行程结束。

收稿日期: 2007-08-01

基金项目: 地矿部地勘高新技术研究开发项目“定向钻探新技术及其应用研究”(编号: 9505401-6)

作者简介: 车延岗(1971-), 男(汉族), 山东烟台人, 中国地质大学(北京)在读博士研究生, 中国地质科学院勘探技术研究所非开挖中心副主任、高级工程师, 地质工程专业, 从事非开挖技术及设备研究工作, 河北省廊坊市金光道 77 号, (0316)2096084; 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非开挖中心高级工程师, 探矿工程专业, 从事非开挖技术及设备研究工作。

D. 排气行程 II。在压差作用下活塞开始前行,腔体缩小,腔体内的气体从配气孔排出,直至配气阀将配气孔封闭,排气行程结束。

E. 压缩行程。腔体封闭,随着活塞的继续前行,腔体内的低压空气被压缩,直到配气孔在配气阀的前端露出,压缩行程结束。

F. 进气行程 II。压缩空气通过配气孔进入腔体中,活塞在惯性力作用下继续前行,直至与砧发生碰撞,该行程结束,活塞又回到 A 中的状态,冲锤开始新一轮的往复运动。

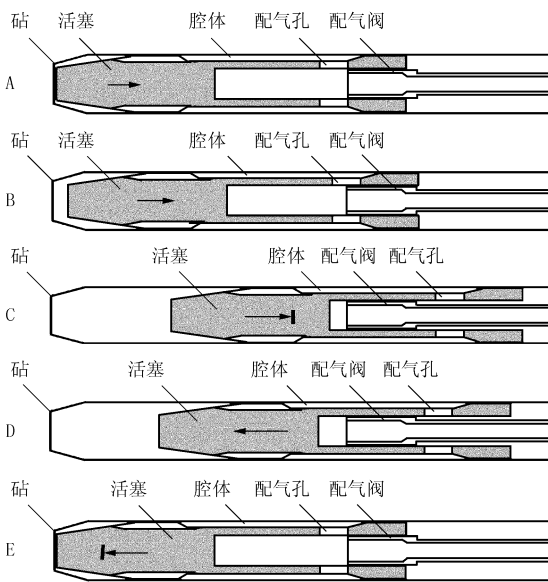


图 2 配气原理图

2.2 配气程序设计

理想数学模型的建立条件:

- (1) 活塞与外缸、活塞与配气阀间的密封处无空气泄漏;
- (2) 密封腔体内与外界无热交换;
- (3) 压缩空气进入腔体时瞬时达到工作压力,从腔体内排出时立即充分扩散;
- (4) 忽略活塞与外缸、活塞与配气阀间相对运动产生的摩擦力;
- (5) 活塞与砧碰撞时间为 0。

以上假设条件为基础建立理想数学模型。将活塞向右运动称为正程,向左运动称为逆程。正程、逆程各分为 3 个阶段,匀加速运动、变加速运动、匀减速运动。在各阶段分别建立以时间为自变量的活塞运行速度函数 $v(t)$ 和运行距离函数 $x(t)$ 。该函数即为编写配气行程的理想数学模型。

通过建立数学模型、编写计算程序,从而推算出活塞冲击末速度 v_e 、单次行程时间 t_i 和行程长度 l_3 。

根据 v_e 可计算出活塞单次冲击功 E , 根据 t_i 可计算出活塞冲击频率 f , 根据活塞运行时密封腔体变化和冲击频率可计算出夯管锤耗气量 Q 。 l_3 则是确定结构参数的依据。如果计算出的运动性能参数不合理,可修改原始数据重新计算,直至合理为止,从而实现夯管锤结构参数的优化设计。

2.3 结构设计

结构设计以确定的参数为依据,同时还考虑其它因素:

- (1) 材料的选择和热处理工艺;
- (2) 活塞冲击端面积,该面积大时对强度有利,该面积小时对冲击力的传递和抬锤有利;
- (3) 活塞与缸体间、活塞与配气阀间要有适当的配合间隙,缸体内腔和活塞内孔要有较高的粗糙度;
- (4) 有效的减震装置,以消除巨大的冲击力产生的震动对锤体的破坏作用;
- (5) 夯管锤头部的锥度要合适,以使夯管锤与钢管连接安全牢固,拆卸方便、容易。

3 气动夯管法施工工艺研究

3.1 夯进时钢管的受力分析

钢管在夯管锤的冲击力的作用下进入土体中,其受力情况如图 3 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 为钢管自身重力, 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。

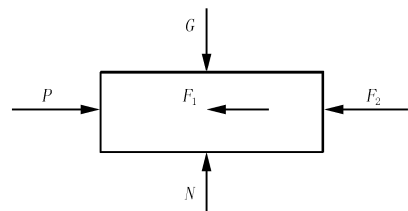


图 3 钢管受力分析图

3.1.1 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、容重和粘聚力,可以大致判定地层摩擦力对夯管的影响。

$$F_1 = F\gamma D[\pi H/2 + \pi K_1(H + D/2)/2 + (\omega + G_{\pm})/(\gamma D)]L$$

式中: γ ——土的重度, kN/m^3 ; F ——钢管与土的摩

擦系数; D ——钢管外径, m; H ——管顶以上覆土厚度, m; K_1 ——主动土压力系数, $K_1 = \text{tg}^2(45^\circ - \varphi/2)$; φ ——土的内摩擦角; ω ——单位长度钢管的自身重力, kN/m; G_{\pm} ——单位长度钢管内土心的重力, kN/m; L ——顶进长度, m。

3.1.2 管端阻力 F_2

管端阻力可分为切削阻力和“土塞效应”阻力。正常情况下,管端阻力主要是切削阻力;在含水量小的地层中,当土心进入钢管内的长度达到6~8倍的管径而不破坏时,土心与管内壁的摩擦力足够大到土心不能在管内滑动,就产生了“土塞效应”阻力。

钢管切削土层产生的正面管端阻力:

$$P' = \pi D' t R$$

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, $k_p = \text{tg}^2(45^\circ + \varphi/2)$; γ ——土的重度, kN/m³; D' ——管靴的平均直径, m; t ——管靴的厚度, m; H' ——管道中心的深度; c ——土的粘聚力, kPa。

钢管在夯进过程中可能产生闭塞效应,钢管内的土心可产生阻力:

$$P'' = \lambda_p q_{pk} A_p$$

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

在极限状态下管端阻力可以表达为:

$$F_2 = P' + P''$$

3.2 气动夯管锤铺管施工过程

3.2.1 现场勘察、方案设计

现场勘察包括地表勘察和地下勘察两部分。目的是确定穿越铺管路线。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,勘察资料应精确、可靠。

根据工程要求和勘察结果,进行夯管锤铺管施工技术设计方案设计,着重考虑以下几点:可行性判定,确定方向和深度,预测铺管精度,确定是否注浆。再完成施工组织设计、工程预算和施工图设计等。各个管线工程部门对施工图设计都有不同的要求和规定,在此不进行详细介绍。

3.2.2 准备钢管

夯管锤法铺管对钢管在壁厚上有一定的要求,可以依据以下经验公式确定:

$$t_1 = \alpha D_1 + t'$$

式中: t_1 ——钢管管壁厚度, mm; α ——经验系数,取0.01~0.015; D_1 ——钢管内径, mm; t' ——腐蚀余

量, t' 是考虑钢管内的流通介质和土壤酸碱度来确定的,中性土壤中每年约为0.1~0.2 mm,流通的是腐蚀性的介质时, t' 要取大值,反之取小值。

夯管锤铺管要求的钢管最小壁厚见表1。

表1 夯管锤铺管要求的最小钢管壁厚

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

3.2.3 测量放样、工作坑构筑

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。

工作坑包括下管坑和目标坑。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。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。

3.2.4 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),调整好位置,然后将钢管置于导轨上。一端焊上切削头。如决定注浆,还需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,使之成为一个整体。将夯管锤的进风管通过管路系统与空压机相连接。设备安装完成。

切削头可以起到2方面的作用:一是保护钢管的管口,防止管口变形;二是可以适当的扩径,减少后续钢管前行的阻力。外管靴的厚度在5~10 mm内,长度20~30 cm,焊接时外管靴应前伸或缩后钢管管口10~20 mm,且焊接后打磨成30°左右的楔形坡口。局部含砾石、砖石等杂物的地层,宜采用缩后焊接阶梯形楔形坡口的结构,以保证钢管夯进的方向。内管靴的厚度在3~5 mm内,长度20 cm左右。内管靴采用缩后焊接的方式,并打磨成30°左右的楔形坡口。

3.2.5 夯管

开启送风阀,夯管锤开始工作,徐徐地将钢管夯入地层。夯入第一根管段时,钢管容易在导轨上来回窜动,应调整送风量,使夯管锤低速工作,钢管可平稳地打入地层。第一段钢管对后续钢管起导向作用,其偏差对铺管精度影响极大。要对第一段钢管的偏差进行反复检测同时及时调整,待钢管进入地层 2~3 m 后可调节至额定工作风量。第一段钢管夯入后卸下夯管锤,焊接下一段钢管继续夯管工作。

钢管对口后,管口采用 Y 形焊缝对焊,即坡口对接焊。开口角一般为 45° ~ 60° ,焊缝间隙 1~2 mm,焊缝加强面高度 2~3 mm,钝边高度 2~4 mm。焊接前清除焊接表面上的铁锈、油垢、防腐漆等杂质,保持干燥。根据钢管材质选择适合的电焊条,焊接应均匀,第一层焊接完成,检查有无裂纹,然后按照每层加焊接量 1~3 mm,成形焊缝宽度比坡口宽 3 mm 左右的原则,完成焊接。

由于焊缝对于长时间的高频次震动比较敏感,要求特别注意焊接质量,尤其是第一个接口,此接口承受的冲击载荷时间最长,应适当加强。另外要尽量减少无谓的夯击时间,保证焊口的寿命。

3.2.6 清土、恢复现场

夯管结束后须将钢管内的存土清除。清土的方法有多种,常用的有压气排土法、螺旋钻排土法、高压水水压排土法、高压水枪清洗法和人工清土等。清土工作完成后,撤出机械设备,按有关规定回填工作坑,清理现场,至此铺管工程结束。

3.3 独特的辅助注浆润滑工艺

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壁周围形成一个比较完整的浆套。在多数地层中,通过注浆润滑可以大大降低地层与钢管间的摩擦系数,减小钢管进入地层的阻力。特别研制了可控气压注浆装置,利用空压机提供的压缩空气将浆液压注到孔隙中,现场不必再配套泥浆泵。

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。这个问题主要由采用不同的浆液材料和处理剂来解决。目前常用的注浆材料有 2 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。另外对于干砂土地层还可以在钢管管壁上涂刷石蜡层,在夯进过程中管壁与地层之间有石蜡层,石蜡挤压到地层中,改变了摩擦的性质,从而降低摩擦阻力。

4 结语

气动夯管锤的研制,具有自主知识产权,获得了一项国家实用新型专利(专利号:ZL 98203773.2),填补了我国在非开挖技术领域的空白。通过实践检验,表明其整体结构设计先进,在国内处于领先水平,使用寿命及应用效果已经达到了国外同类产品的水平,获得了国土资源科学技术二等奖。

参考文献:

- [1] 中国地质科学院勘探技术研究所. 气动夯管锤及其铺管工艺研究报告[R]. 2001.
- [2] 余彬泉,陈传灿. 顶管施工技术[M]. 北京:人民交通出版社, 1998.