

文章编号:1007-2993(2010)05-0260-04

土压平衡顶管法在 DN 2400 管道铺设中的应用

刘永生 袁正中 马玄龙

(湖北省地球物理勘察技术研究院,湖北武汉 430056)

【摘要】 土压平衡顶管技术,在覆土厚度不低于 $0.8D$ 的前提下,可安全地用于地下管道非开挖施工。作者以黄冈遗爱湖截污疏浚 DN 2400 管道工程——试验段(158m)土压平衡顶管的成功实践为例,对不良地质条件下($0.5\sim 0.6D$)的低覆土厚度,素填土地层、局部杂填夹有块石和建筑垃圾等)大口径土压平衡顶管施工中地面变形控制等技术问题作以探讨。据初步了解,该工程的成功实践,目前在国内尚属首次。此施工案例的成功,有助于推动土压平衡式顶管技术的革新与进步,对今后类似工程具有一定的指导作用。

【关键词】 顶管;土压平衡式;低覆土厚度;地面变形控制

【中图分类号】 TU 991.02 **【文献标识码】** A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.05.011

Application of EPB Jacking Pipe in DN 2400 Pipeline

Liu Yongsheng Yuan Zhengzhong Ma Xuanlong

(Hubei Institute of Geophysical Prospecting Technology, Wuhan 430056, Hubei, China)

【Abstract】 Earth pressure balance pipe jacking technology, it can be safely used for soil as shallow as 0.8 times of OD. The authors introduced Huanggang Yi-ai Lake interception in dredging DN 2400 pipeline — test section (158m) of earth pressure balance pipe jacking successful practice. Through cases, adverse geological conditions of large diameter earth pressure balance pipe jacking technologies such as ground deformation control issues to explore. At present there is not yet the successful practice of the project in China. The success of this case will help to promote the construction of earth pressure balance pipe jacking technology, innovation and progress, for future similar projects with some guidance.

【Key words】 jacking pipe; earth pressure balance; shallow soil; ground deformation control

0 引言

顶管技术(手掘式、气压平衡式、土压平衡式、泥水平衡式顶管等)作为非开挖施工中重要的方法之一,以其工艺方法多、适用土质范围广和综合成本低、施工周期短、环境影响小、不影响交通、施工安全性高等优点,在市政排水和石油、天然气、热力及电力电缆套管等地下管线工程施工中得以广泛应用。本文结合工程实践,对低覆土厚度($0.5\sim 0.6D$)下的大口径土压平衡顶管技术在黄冈遗爱湖截污疏浚工程应用中的成功经验和顶管过程中的地面变形控制等技术问题作以探讨,希望能够对今后类似工程的实践提供一些有益的借鉴。

1 工程概况

1.1 工程简述

黄冈市环湖截污工程,主要是收集排入湖区的污水,集中转输至遗爱湖污水处理厂进行处理。遗爱湖

湖底标高 $16.00\sim 16.50\text{m}$,为了保证排水的顺畅,排放口底标高定为 16.20m 。就整个截污工程而言,拟建东坡大道管网工程最为关键,它是城区内各污水管道的集中汇入口。中南市政设计研究总院和黄冈市规划设计研究院根据污水流量、流水面标高及距地面的覆土厚度,设计 W1~W10(里程桩号 A0+000~0+450 段)采用开挖方式新建 $B\times H=2500\times 3000$ 排水渠道,纵向坡度为 0.1% ;W10~W11(里程桩号 A0+450~0+515 段)拟采用 DN 2400 顶管方式穿越东坡大道,纵向坡度为 0.45% 。

1.2 工程地质条件

沿线 15 个勘探孔资料显示:场地属堆积平原地貌,地形平坦,地面标高 $21.00\sim 21.60\text{m}$ 。地层为人工填土、冲积物,自上而下为:

第①层 素填土(Q_4^1),黄色、灰黄色,土质不均匀,该层全场分布。主要以粉质粘土回填。厚度 $1.00\sim 5.60\text{m}$,

其层底标高 20.20~15.90 m。回填年限 10 年内,松散,可塑状态。标准贯入试验锤击数(标准值) $N=2$ (击),承载力特征值 $f_{ak}=80$ kPa,压缩模量 $E_s=3.5$ MPa。

第②层 粉质粘土(Q_4^1):灰黄色、黄色,土质不均匀,分布不均匀,局部勘察孔未钻穿该层。无摇振反应,干强度、韧性低,切面光滑,厚度为 1.00~3.65 m,其层底标高 19.20~13.00 m。中压缩性土。标准贯入试验锤击数(标准值) $N=5.8$ (击),承载力特征值 $f_{ak}=136$ kPa,压缩模量 $E_s=8.8$ MPa。

第③层 粉质粘土(Q_4^2):黄色、黄褐色,土质不均匀,分布不均匀,仅分布在孔 ZK1、ZK2、ZK3、ZK4 孔地段。硬塑状态,无摇振反应,干强度、韧性强,切面光滑。层中夹铁锰质结核及团状、条纹状高岭土。揭露其厚度为 0.50~5.05 m,其层底标高 14.15~13.20 m。中压缩性土。标准贯入试验锤击数(标准值) $N=15$ (击),承载力特征值 $f_{ak}=390$ kPa,压缩模量 $E_s=16$ MPa。

1.3 交通情况和其他自然条件

场地位于黄冈市东坡大道南段,红卫路—黄冈宾馆段(沥青路面,下有 0.30 m 厚的混凝土老路基,两侧有平行于线路走向、高 0.20 m 铺有大理石的人行道),为环湖主干道,交通便利,往来及进出黄冈宾馆的车辆与行人多。设计管涵铺设区段位于靠黄冈宾馆一侧、宽 5 m 的大理石人行道上。经管线调查发现:两侧 2~5 m 范围内平行有自来水、电信、电力、天然气管道和军用光缆,靠驾校门口有一条横穿东坡大道进湖的污水箱涵。

2 土压平衡顶管方案的确定

基于场地现状,原设计采用两侧放坡开挖方式建 $B \times H=2500 \times 3000$ 排水渠道,显然不具备施工条件;而且周边管线的协调与保护难度特别大,后期管线和路面恢复费用昂贵。应甲方要求,我方结合多年的施工经验,经实地踏勘和理论计算后,初步确定了采用土压平衡顶管方案;在与业主、设计、监理和造价等单位充分沟通的基础上,达成了选取其中一段作为试验段、成功后即全部采用顶管方式进行施工的协议。

2.1 土压平衡顶管的方法原理

土压平衡式顶管是通过保持顶管掘进机在顶进过

程中与其所处地层的土压力和地下水压力处于平衡状态;同时,要控制其排土量与掘进机切削刀盘破碎下来的土的体积处于一种平衡状态的顶管施工方法^[1]。

2.2 土压平衡顶管的工作流程

顶管机及附属设备安装完毕后,先由工作井中的主顶油缸推动顶管机前进;同时,启动大刀盘旋转切削土体,切削下的土体进入密封土仓与螺旋输送机中,并被挤压形成具有一定土压的压缩土体;经过螺旋输送机的旋转,输送出切削的土体^[2]。

2.3 土压平衡顶管工艺的特点

1)密封土仓内的土压力值,可通过螺旋输送机的出土量或顶管机的前进速度来控制,使此土压力与切削面前方的静止土压力和地下水压力保持平衡,从而保证掘进面的稳定,防止地面的沉降或隆起。由于大刀盘无面板,其开口率大于 50%,所以设在隔仓板上的土压计所测得的土压力值就近似于掘进面的土压力。

2)可根据掘进面不同地层的特性,通过向刀盘正面和土仓内加入清水、粘土浆(或膨润土浆)、各种配比与浓度的泥浆或发泡剂等添加材料,使一般难以施工的硬粘土、砂土、含水砂土和砂砾土改变成具有塑性、流动性和止水性的泥状土,不仅能被螺旋输送机顺利排出,还能顶住掘进面前方的土压力和地下水压力,保持刀盘前面的土体稳定。

3)若增加刀盘的驱动动力和变换刀盘体,还能在泥岩、强风化与中风化砂岩中掘进施工,也能用于易坍塌的含水砂层以及混有卵石的砂砾层等各种地层。

3 试验段土压平衡顶管关键点的控制

3.1 顶管机的选择及切削刀盘的改进

针对试验段覆土厚度低(见图 1, $H=0.57D_s$)且土质松散以及工期紧、周围管线保护要求高等特点,我方选用了扬州广鑫机械公司生产的 TPD2800 型大刀盘土压平衡顶管机(见图 2),并对其切削刀盘进行了改进(见图 3)。顶进中,使改进后大刀盘能对正面土体施以全断面切削,同时,通过改变螺旋机的旋转速度及顶进速度来控制排土量,使土压仓内的土压力值稳定并控制在所设定的压力值范围内,从而保持切削面的土体稳定。

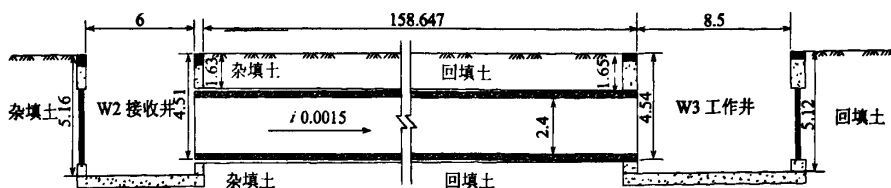


图 1 试验段 3# 工作井—2# 接收井顶管断面图(单位:m)

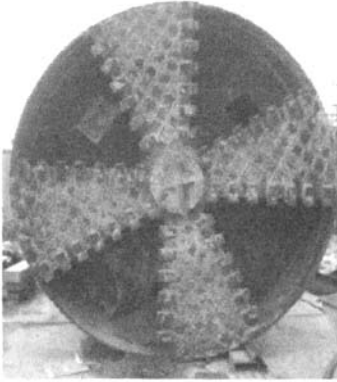


图2 TPD 2800 土压平衡顶管机刀盘

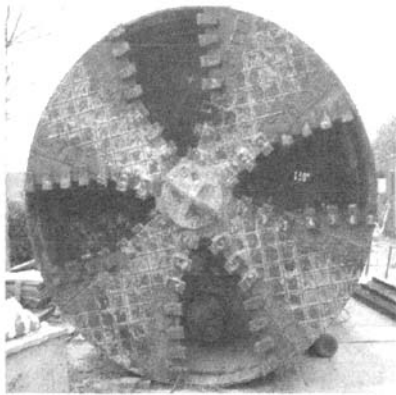


图3 改进后的 TPD 2800 土压平衡顶管机刀盘

3.2 总推力及顶进速度的控制

3.2.1 总推力的估算

目前各种顶管顶力计算的理论公式很多,但是因注浆减阻的发展,以往公式已不符合实际,在此以常用的经验公式计算顶力

$$F = F_0 + \pi D L F_s \quad (1)$$

式中: F 为总推力,kN; F_0 为初始推力,kN; F_s 为单位接触面积摩擦阻力,kN/m²,由于采取触变泥浆减阻措施,根据经验取 $F_s = 3.5$ kN/m²; D 为管外径, $D = 2.860$ m; L 为推进长度,m, $L = 158$ m。

$$\text{而初始推力 } F_0 = B \pi D^2 / 4 \quad (2)$$

式中: B 为迎面阻力,kN/m²。

根据压力式平衡顶管的迎面阻力经验公式:

$$B = 13.2 \pi D_s N \quad (3)$$

式中: D_s 为掘进机外径,m, $D_s = 2.876$ m; N 为土的标准贯入试验锤击数, $N = 2$ 。

公式(3)计算结果: $B = 238.4$ kN/m²

将 B 代入式(2)计算结果: $F_0 = 1530.8$ kN

将 F_0 代入式(1)计算结果: $F = 6497$ kN

3.2.2 泥浆减阻及顶进速度的控制

为改良土体、减小摩阻力,采用注入触变泥浆与机头同步顶进的方式,注浆管按1:2布设,取得了较好的效果。全程顶力控制在4000~5000 kN范围内,设定机头顶进速度10~20 mm/min。施工中如要加大顶进速度,在保证土仓内土压的条件下,必须先加大出土速度和出土量,才能保证安全顶进。

3.3 土仓压力的控制

3.3.1 土仓压力的估算

$$P_e = P_A + P_w + \Delta P \quad (4)$$

式中: P_e 为土仓内的压力,kPa; P_A 为掘进机刀盘处土层的主动土压力,kPa; P_w 为掘进机刀盘处土层的水压力,kPa,据勘察资料,不考虑地下水作用, $P_w = 0$; ΔP 为土仓施加的预加压力,kPa,一般情况下取20 kPa;

$$\text{而 } P_A = \gamma H \tan^2 \{45^\circ - \varphi/2\} - 2c \tan \{45^\circ - \varphi/2\} \quad (5)$$

式中: γ 为土的重度, $\gamma = 19$ kN/m³; H 为地面至掘进机中心高度,m, $H = 3$ m; φ 为土的内摩擦角,(°),考虑以粉质粘土回填, $\varphi = 30^\circ$; c 为土的粘聚力,kPa,因顶进段在回填土层位,取 $c = 0$ 。

代入式(5)、式(4),经计算: $P_A = 19$ kPa, $P_e = 39$ kPa

因为要考虑注浆减阻(水和土不易分开)因素,所以本试验段顶管土仓内的压力按如下经验公式计算,并随时控制好 P_e 值。

$$P_e = K_0 \gamma_i H \quad (6)$$

式中: K_0 为静止土压系数,kPa,粉质粘土中, $K_0 = 0.33 \sim 0.53$,取 $K_0 = 0.53$; γ_i 为注浆后泥土的重度,取 $\gamma_i = 19$ kN/m³。

经计算得 $P_e = 30.2$ kPa

3.3.2 土仓压力的控制

1)地面变形与掘进面保持平衡稳定的关系以及相应措施与对策(见表1)。

表1 控制地面变形信息化施工表

地面沉降信息表	P_e 与 P_0 的关系	工作面状态	措施与对策
下沉超过基准值	$P_{e\max} < P_0$	工作面塌陷与失水	增大 P_e 值
隆起超过基准值	$P_{emin} > P_0$	支撑土压力过大,土仓内水进入地层	减少 P_e 值

注: $P_{e\max}$ 、 P_{emin} 分别表示 P_e 的最大与最小峰值

2)土仓压力值 P_e 的设定:设定的 P_e 值,应与地层土压力和静水压力相抗衡。设刀盘中心地层静水压力、土压力之和为 P_0 ,则 P_e 一般控制在 $P_e = P_0 + 20$ kPa,并在地层顶进过程中根据地质和埋深

情况以及采取的相应技术措施进行反馈和调整优化。主要是通过调整设定的顶进速度和调整排土量或设定的排泥量这两条途径来达到。

4 试验段土压平衡顶管成功的几点启示

158 m 的试验段顶管,穿越以粉质粘土为主的素填土地层,局部填埋有建筑垃圾、块石等,且覆土层厚度浅,严格来讲不符合土压平衡顶管覆土厚度须达到 0.8D 的规范要求^[3]。但施工中通过加强各种技术保障措施,不仅取得了在低覆土厚度、素填土地层下大口径土压平衡顶管的成功实践,而且从中得到了如下启示:

1)刀盘的改进是顶管成功的前提。众所周知,在施工规范允许的情况下,顶管机刀盘的开口率越大,顶进速度就越快,施工效率也就越高。然而本试验段覆土厚度浅,为防止地面隆起变形,减缓切削土量、降低顶进速度则非常关键。对此,在刀盘改进时,将刀盘间的开口形状由“V”字型变为“U”字型,同时由内向外逐渐加高刀头高度(见图3)。一方面,缓冲了刀盘对杂填土、特别是块石和建筑垃圾的切削力,可防止刀盘被卡死;另一方面,通过减缓刀盘的切削土量,来减小切削面的土压力,防止由于排土不及时或导致土仓压力过高,而造成地面的隆起变形。

2)注浆减阻、改良土质是基础。顶进施工中,减阻泥浆的运用是减小顶进阻力的主要措施;顶进时通过管节上的压浆孔,向管道外壁注入一定量的减阻泥浆,在管道外壁形成一个泥浆环套,减小管节外壁和土层间的摩擦力,从而减小顶进时的顶力。事实说明:泥浆套的好坏,直接关系到减阻的效果。对此,不仅按 1:2 布设注浆管节,同时在 360°圆周上按“十”字型布设四个注浆孔,起到了良好的注浆与减阻效果^[4]。158 m 的试验段顶管,全程最大顶力没有超过 5000 kN,远低于理论计算值。

3)土压与顶进速度控制是关键。一般可通过调节推进速度和调节螺旋输送机排土量来控制土压力 P (要求做到 $P_{主} < P < P_{被}$) 实现安全顶进。事实上,在初始顶进或顶距较短时,通过调节推进速度来控制土压,变化非常明显。顶速变快,土压急剧增高,此时若排土不及时则会造成地面隆起。但是,在长距离顶进中,调节推进速度并不方便,调节要求从顶管机传递到后方主顶,推进速度变化后,需要较长时间才能通过数百米管道传递顶管机,这时土压主要通过调节螺旋输送机的转速来控制。例如在试验段开始顶进至第四节管道时,操作人员为提高顶进速度,导致距 3# 工作井 10~15 m 处的大理石人行道出现

0.1 m 隆起。对此,我们针对本试验段覆土厚度浅、上部土“压力”不足的特点,经过认真分析认为:“压住机头、克服上翘,防止地面隆起”是实现安全顶进的关键。我们按照“0”压力值设置顶进土压的初定参数,变“顶进一切削”为“切削一切进”;并在顶进过程中,根据土层变化、覆土深度变化、地表沉降监测等情况随时调整土压力。158 m 的试验段,全线顶进速度控制在 9 m/d 左右,土压控制在 0.01~0.03 MPa。

4)熟练的操作,设备故障的排查及地下障碍物的及时清除非常重要。为保证试验段顶管的成功,我方选用了经验丰富的操作人员进行操作,技术人员 24 h 现场全程跟踪,发现设备故障和顶进异常时及时进行排查;同时,在顶进中发现有障碍物时做到及时清除。158 m 的试验段顶管,除距 3# 工作井 10~15 m 处地面略有隆起外,其余部分均未出现地面变形。此外,我们认为 0.30 m 厚的混凝土老路基作为一个整体盖层,对于保证管道的顺利顶进也发挥了积极作用。

5 结论

以土压平衡和泥水平衡为主的机械式顶管施工,在我国已有近 20 年的发展历程。但据初步了解,本工程应用土压平衡法在杂填的低覆土厚度下开展大口径顶管施工,目前在国内尚属首次。大口径土压平衡顶管法在黄冈遗爱湖截污疏浚 DN 2400 管道非开挖铺设中的成功应用证明:只要选择合适的设备,再加上有效的监控措施,在覆土层厚度不低于 0.5 倍管外径的前提下,应用土压平衡顶管法是完全可行的。该工程实践,有助于推动土压平衡式顶管技术的革新与进步,对今后类似工程具有一定的指导作用和借鉴意义。我们相信,随着顶管设备工艺的进一步完善和技术、经济水平的不断提升,非开挖顶管施工技术方法必将会有更加广阔的应用与发展前景。

参考文献

- [1] 马保松, D. Stein, 蒋国盛, 等. 顶管和微型隧道技术[M]. 北京:人民交通出版社, 2004.
- [2] 马保松. 非开挖工程学[M]. 北京:人民交通出版社, 2008.
- [3] CECS246:2008 给排水工程顶管技术规范[S].
- [4] 钟俊彬, 王作民, 曹玉萍. 汕头第二过海水管工程顶管穿越障碍物技术[J]. 岩土工程技术, 2009, 23(6): 322-323.