

# 简述管道铺设中的泥水平衡式顶管施工技术

王 斌

(中国葛洲坝集团第二工程有限公司,四川成都 610091)

**摘要:**采用地下顶管的方式以避免大开挖,泥水平衡顶管施工对管体周围的土体扰动也小,较适宜于长距离的管道施工,相对于开槽埋管从社会效益与经济效益上来讲更具优越性。只要在施工前要进行充分的准备,先进行地下管线的探测、地层土质情况的调查、顶进轴线的设定以及减阻泥浆的配置,泥水平衡顶管技术在各种管道铺设中的应用将更加广泛。

**关键词:**顶管施工;机械选型;工作原理;系统布置

**中图分类号:**U175.5;O312.2;U415.6

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2018)02-0106-04

## 1 工程概况

深圳市横岗污水处理厂厂外配套污水进水总管工程,起点为一期工程进水泵房前进水检查井,沿龙岗河河边平土区敷设 DN1800F 型钢筋混凝土管道,至横岗污水处理厂二期工程进水泵房前进水总井。该工程需顶管施工约 600 m,管道采用钢筋混凝土胶顶管(内衬 PVC),钢筋混凝土胶顶管采用套环接口。顶管工作井、接收井分别为  $\varphi 7500$ 、 $\varphi 4000$  圆形钢筋混凝土井,采用沉井法施工。

该施工段地基底岩石以侏罗系砂页岩为主,地表广为较厚的第四系沉积物覆盖。地下水量、水位随季节变化明显,水量较丰富,地下水稳定水位均高于顶管顶面。根据钻探资料,管底所在的土层主要以粘性土或全风化砂页岩为主,局部为砾砂和粉细砂。粘性土与全风化砂页岩渗透性较弱,均为相对隔水层。

## 2 顶管施工机械选型

根据地质资料,全风化砂页岩和砾砂中含有较大卵石,为确保进度及质量万无一失,故选用带有二次破碎功能且地面沉降小的 NPD1800 泥水平衡式顶管机。该机装有偏心回转破碎机头,且具有可分割性,除具有刀盘旋转对土层进行剪切破碎能力外,还具有刀盘偏心回转破碎砾石的能力,还可防止黏土堵塞进泥口,在顶进中不必更换刀盘即能在黏土、沙砾直至软岩地层中顶进。另外因该机头装有 RGS 方向修正诱导装置,通过观察操作激光投影板上的激光光点的移动情况,

即可判断出产生偏差的方向和大小,并通过操纵纠偏系统方便的进行全方位的纠偏,顶进精度高,偏差可控制在  $\pm 5 \sim 10$  mm 以内。

该机头采用切削法顶进、弃土排放用泥水为载体的方法,不会使周围土体被挤压至密,造成土压增高而引起的表面隆起。在施工中,当顶力过大或过小时,该机可通过调节排泥量和顶进速度来调节顶力平衡土压力,达到控制因此而产生的地面沉降。该机在施工中不用降水,并且由泥水压力来平衡地下水压力,使地下土层体保持相对稳定,从而控制了因地下水流失而引起的地面沉降。

## 3 泥水平衡式顶管工作原理

在工作井完成后,顶管掘进机安装就位至导轨上,微型掘进机被主顶油缸向前推进,掘进机头进入止水圈,穿过土层到达接收井,电动机提供能量,转动切削刀盘,通过切削刀盘进入土层。挖掘的土质,石块等在转动的切削刀盘内被粉碎,然后进入泥水舱,在那里与泥浆混合,最后通过泥浆系统的排泥管由排泥泵输送至地面上。在挖掘过程中,采用土压平衡装置来维持水土平衡,始终处于主动与被动土压之间,达到消除地面的沉降和隆起的效果。当掘进机完全进入土层以后,吊下第一节顶进管,它被推到掘进机的尾套处,与掘进头连接管顶进以后,挖掘终止、液压慢慢收回,另一节管道又吊入井内,套在第一节管道后方,连接在一起,重新顶进,这个过程不断重复,直到所有管道被顶入土层完毕,完成一条永久性的地下管道。

收稿日期:2018-03-23

掘进机掘进过程中,采用了激光导向控制系统。位于工作后方的激光经纬仪发出激光束,调整好所需的标高及方向位置后,对准掘进机内的定位光靶上,激光靶的影像被捕捉到机内摄像机的影像内,并输送到挖掘系统的电脑显示屏内。操作者可以根据需要开启位于掘进机内置式油缸进行伸缩,为达到纠偏的目的,调整切削部分头部上下左右高度。

#### 4 顶管施工程序

施工顺序为:测量引点→工作井施工→测量放样→井下导轨机架、液压系统、止水圈等设备安装→地面辅助设施安装→顶管掘进机吊装就位→激光经纬仪安装→掘进机出工作坑→正常顶进→顶管机进接收坑。

#### 5 现场顶管设备安装及泥水系统的布置

##### 5.1 后靠背

为使分散的主顶千斤顶各油缸推力反力均匀的作用在工作井的井壁上,先在工作井内千斤顶后方位置浇筑一堵弧形后座墙,再在后座墙与主顶油缸尾部垫上一块 70 mm 厚钢制后靠背,钢板平面尺寸为 2.2 m × 2.4 m。后靠背壁面应平整,并与管道顶进方向垂直,尽量保证后靠背的中心与顶管轴线相重合。

##### 5.2 导轨及后顶等设备的安装

导轨采用 38 kg/m 的钢轨制作,固定在沉井底板预埋钢板上,其要求确保导轨中心线和顶管走向轴线在一条直线上,等高或略高于该处管道的设计高程,其纵坡应于管道的设计一致。导轨是支托未入土的管段和顶铁,起导向作用,故导轨的安装精度要求高。导轨安装时要反复校核,使中线、高程、坡度务必符合设计要求。安装时导轨在竖直方向和导轨轴线方向调整好后再精调导轨的高程,最后支撑导轨至井壁上。根据实际情况填塞 C15 - C30 混凝土至井壁到后靠背的间隙,后方顶的安装在后靠背的安装完毕后进行,抄平后顶后只要保证所有千斤顶后平面贴实后靠背既可固定。导轨安装完毕后需在预留洞口内安装副导轨,副导轨的轴线以及高程均与主导轨保持一至,此副导轨用于防止机头进洞后低头,见图 1 (导轨、副导轨安装示意图):

增高装置可根据机头重量以及增高量选择枕木,钢支架或混凝土垫层。

洞口止水装置的安装,应保证除止水圈外最小直径大于进洞物最大直径的 8 cm,防止受到进洞物的剪切而失去止水效果,位置确定后可用水泥砂浆封堵与井壁形成的间隙,防止从间隙处漏水、漏浆。

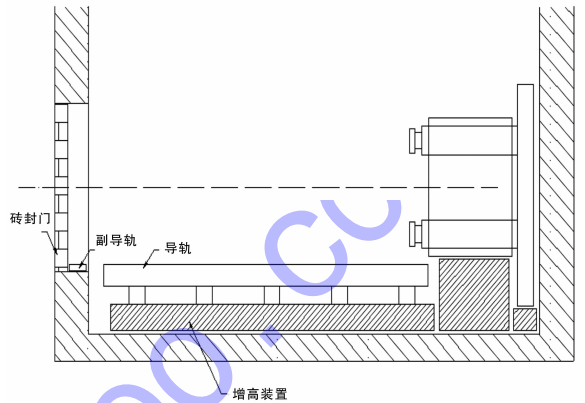


图 1 导轨、副导轨安装示意图

##### 5.3 主顶系统

后座主推油缸 4 只 200T 千斤顶,均安装在牢固型钢支架上。4 只千斤顶合力中心应在混凝土管中心偏下一点,约低管道半径的 1/5 ~ 1/4,确保顶进受力时处于良好状态,千斤顶的油路并联,每台千斤顶均有进油、退油的控制系統。

##### 5.4 泥水系统的布置

泥水系统包括泥水输送(平衡)系统和泥水处理两大部分。泥水输送(平衡)系统具有两大功能:一是通过加压的泥水来平衡开挖面的土体,二是将刀盘切削下来的土体在泥水仓中混合后通过泵送经泥水管路输送到地面。泥水处理系统的主要功能是通过泥水处理设备的处理后,将泥水的比重和粘度等指标调整到比较合适的值,通过泵将其送到顶管机中使用,同时将排泥管排放的泥水进行分离,将可重复利用的粘性颗粒送入调整槽中处理后加以利用,其余部分作弃土处理。

泥浆池应尽量靠近工作井边,可以减少排泥管路过长而且产生的管路摩阻力,泥浆池可用并联法,见图 2。

沉石箱的配置可沉淀块状物,防止块状物直接进入排泥泵引起排泥泵堵塞和损坏。注浆系统

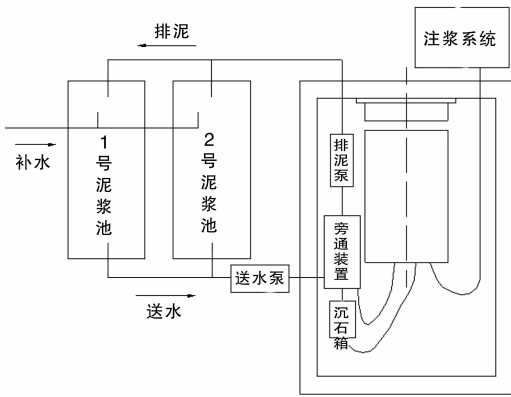


图2 泥水系统示意图

应尽量使用螺杆泵以减少脉动现象,浆液应保证搅拌均匀,系统应配置减压系统,在泵出口处1 m外以及机头注浆处各安装一只隔膜式压力表。

## 6 顶进工艺

### 6.1 顶力计算及中继间设置

$$F = F_1 + F_2$$

式中  $F$  为总推力; $F_1$  为迎面阻力; $F_2$  为顶进阻力。

$$F_1 = \pi/4 \times D^2 \times P$$

式中  $D$  为管外径 2.18 m; $P$  为控制土压力。

$$P = K_0 \times \gamma \times H_0$$

式中  $K_0$  为静止土压力系数,一般取 0.55; $H_0$  为地面至掘进机中心的厚度,取最大值 11 m; $\gamma$  为土的湿重量,取 1.9 t/m<sup>3</sup>

$$P = 0.55 \times 1.9 \times 11 \times 9.8 = 112.7 \text{ kN/m}^2$$

$$F_1 = \pi/4 \times 2.182 \times 112.7 = 420.7 \text{ kN}$$

$$F_2 = \pi D \times f \times L$$

式中  $f$  为管外表面平均(根据顶进距离平均沙砾土)综合摩阻力,根据以往施工经验和有关规范所示数据,混凝土管节在使用触变泥浆减阻措施顶进时的管壁侧面摩阻力为 0.3 ~ 0.5 t/m<sup>2</sup>。本处取 0.5 t/m<sup>2</sup>; $D$  为管外径 2.18 m; $L$  为顶距。

根据设计要求,顶管段容许顶进力 5 000 kN

$$F_2 \text{ 最大值为 } 5\,000 - 420.7 = 4\,579.3 \text{ kN}$$

$$\text{则允许最大顶进长度 } L = F_2 / (\pi \times 2.18 \times$$

$$0.5 \times 9.8) = 136 \text{ m}。$$

本工程最长管段 G1 - S2 段也只有 108 m,故本工程顶管无需设置中继间。

### 6.2 穿墙及出洞方案

穿墙即打开穿墙闷板将工具管顶出井外,并安装穿墙止水装置。具体为在一切设备调试正常后将工具管推至距闷板 10 cm 处并将临时止水装置安装在工具管前方,闷板开启后,将工具管快速顶进穿墙管,即紧固临时止水装置,待顶至泥浆环时撤除临时止水安装永久止水装置。同时应配备足够农用泵和潜水泵以备井内抽水。

沉井制作下沉时,预先在洞口内用黄泥和石灰均匀拌和,填充在穿墙孔内,井内用钢封门堵住,强度控制在刀盘容易切削,又不产生塌方。

为防止出洞口及顶进过程中泥水压力过大涌入工作井内,在洞口内预先安装一个单法兰穿墙钢套管,用于安装橡胶止水圈及止水封板。由于顶进距离长,造成管材表面及 F 型钢套环、砂等对橡胶止水圈不可避免的磨损,需经常更换橡胶止水圈。因此,我们在洞口里侧增加一道橡胶止水圈,当需更换外部橡胶止水法兰时,洞口内部的橡胶止水圈可防止地下水进入井内。

### 6.3 顶进调试及土体取样

顶管下井前应作一次安装调试,油管安装应先清洗,防止灰尘等污物进入油管,电路系统应保持干燥,机头运转调试各部分动作正常,液压系统无泄漏。

机头下井后刀盘应离开封门 1 m 左右,放置平稳后重测导轨标高,高程误差不超过 5 mm,即可开始凿除砖封门,砖封门应尽量凿除干净,不要遗留块状物,同时可进行土体取样工作,使用  $\phi 100$ ,  $L = 500$  mm 的两根钢管在洞口上下部各取长 400 mm 的土样,取样工作完成后随即顶机头,使机头刀盘贴住前方土体。

本机头属于刀盘不可伸缩型,机头的土压控制主要通过顶速来调节,每次初顶时先调节好送水压力,然后打开机内止水阀,转动刀盘,关闭机内旁道,待流量达到额定值的 80% 时既可开始顶进,送水压力可通过机内压力调节即可完成。

### 6.4 顶进过程中的方向控制

顶进的过程实际上也是不断纠偏的过程,由于机头本身所具有的方向诱导装置,操作员只要通过纠偏动作,始终保证激光点在二号光靶的中心即可。初始推进阶段,方向主要是主顶油缸控



制,因此,一方面要减慢主顶推进速度,另一方面要不断调整油缸编组和机头纠偏;布设在工作井后方的仪座必须避免顶进时移位和变形,必须定时复测并及时调整;顶进纠偏角度应保持在  $10' \sim 20'$  不得大于  $0.5^\circ$ ,并设置偏差警戒线。

在顶进过程中,由于机头重量较大,长时间的滞留会造成机头沉降,轴线发生偏差;或已顶好的管子周围土体固结,使得摩阻力增大。因此,在开始顶进前,需确保管材等在现场应有足够余量。

### 6.5 注浆减阻

长距离顶管施工中,顶力控制的关键是最大限度地降低顶进阻力,而降低顶进阻力最有效的方法是进行注浆。注浆使管周外壁形成泥浆润滑套,从而降低了顶进时的摩阻力。在管道上预埋压浆孔的设置要有利于浆套的形成。压浆方式要以同步注浆为主,补浆为辅。注浆通过注浆泵进行,管道分总管和支管,总管安装在管道内一侧,支管则把总管内压送过来的浆液输送到每个注浆孔上,在注浆孔中设置一个单向阀,使浆液管外的土不能倒灌而堵塞注浆孔,从而影响这浆效果。注浆流程为造浆静置(24h)→注浆→顶管推进(注浆)→顶管停顶→停止注浆。

## 7 结 语

(上接第 102 页)

BIM 应用点,使管理水平精细化,为施工和后阶段运维提供更完整有效的信息数据支持,建立统一管理平台,达到数据的统一,协同的统一,模型的统一。

### 5.4 打造项目型 BIM 团队

企业应结合自身特点寻找合适的发展路线,制定不同时期的任务规划,打造企业的项目型 BIM 团队。项目型 BIM 团队并不只建立三维模型,而是立足于实际项目,使中层项目管理者 and 基层技术人员广泛接触 BIM 技术,利用 BIM 技术完成项目各阶段工程任务。以项目带动 BIM 技术的推广,以实践效益带动更多的项目参与到 BIM 技术的应用和开发中来。

### 5.5 建立企业《施工 BIM 技术应用标准》

统一企业 BIM 技术标准,并推广和指导施

(1)本工程施工中,管道需穿越各类障碍物,如道路、建筑物和构筑物等,对此,我们采用地下顶管的方式以避免大开挖,泥水平衡顶管施工对管体周围的土体扰动也小,较适宜于长距离的管道施工,相对于开槽埋管从社会效益与经济效益上来讲更具优越性。只要在施工前要进行充分的准备,先进行地下管线的探测、地层土质情况的调查、顶进轴线的设定以及减阻泥浆的配置,泥水平衡顶管技术在各种管道铺设中的应用将更加广泛。

(2)顶管适用的土层很广,特别适用于粘土和粉土,也适用于砂石、卵石、碎石、风化残积土等土质。顶管施工跟地质情况密切相关,正确地选用施工机械和进行施工过程控制是整个工程成功的关键。在施工过程中要考虑施工的安全性和施工的连续性,加强对施工过程中的监督管理,抓住关键问题和重要工序,严格遵守设计及施工规范技术标准杜绝质量、安全问题。

#### 作者简介:

王 斌(1973-),男,湖北新洲人,本科学历、高级工程师,主要从事水利工程、市政工程技术 and 项目管理工作。

(责任编辑:卓政昌)

工。规范企业管理避免重复工作,提高 BIM 技术应用的规范性与合理性。

## 6 结 语

BIM 是信息高速发展时代的产物,BIM 应用理念如今受到越来越多的重视。项目级的 BIM 应用层出不穷,而企业级的 BIM 应用及管理模式还需进一步探索,在实施过程中依然面临诸多困难和挑战,使得建筑施工企业还未能很好的应用。随着 BIM 技术的不断完善和人们对 BIM 管理研究的不断加深,BIM 技术也必将得到广泛应用,最终实现施工全过程信息化、集成化、可视化和智能化的动态管理。

#### 作者简介:

张 臣(1982-),男,湖北襄樊人,学士,高级工程师,主要从事计算机及通信技术管理工作。

(责任编辑:卓政昌)