

超长距离复杂地质泥水平衡钢管顶进工法

(TGJGF-03·04-27)

中铁十六局集团有限公司

一、前言

超长距离复杂地质泥水平衡钢管顶进工法是利用泥水平衡顶管机完成超长距离的钢管隧道施工,占用场地小,工程综合成本低。中铁十六局六公司在黄河富水洪积层砂卵石和钙质结核黏土地层中用泥水平衡顶管法建造直径 1.8m、长 3600m 的圆形隧道获得成功,取得了显著的经济效益和社会效益。该技术成果获 2003 年中铁十六局科技进步一等奖。本工法就是对这项工程的施工方法总结、完善后形成的。

二、工法特点和关键技术

1. 超长距离顶进管道动态测量精密导向

采用 GPS 卫星定位、陀螺仪惯性导向和全站仪导线测量,构成先进的监测系统,实现了对动态顶管的连续、高精度导向(误差 $< \pm 5\text{cm}$),保证了顶进施工质量。

2. 软硬不均复杂多障地层钢管顶进的纠偏技术

为了控制顶管的姿态和精度,我们研究出了一套科学的顶进姿态控制和顶进纠偏技术,达到了严格控制纠偏幅度和保证顶进方向精度的目的。

3. 富水流砂卵石及多障地层中的注浆减阻技术

针对富水中砂、卵砾空隙率大的地层中泥浆套易流失,及古树易破坏浆套降低减阻效果的技术难题,研究出了在超长、超深、富水中砂、卵砾、黏土及钙质结核等软硬混杂、疏密不均的复杂地质条件下克服管外注浆易流失,防止泥浆套破坏,确保润滑套完整、稳定的注浆润滑减阻技术。

4. 富水砂卵石层超长距离泥水循环排渣技术

针对在砂、卵、砾、黏土等复杂多变地层中掘进,存在渣土粒径差别大、黏性差别悬殊、疏密不均的难点,在泥水循环施工中灵活运用 PLC 自动化控制进行实时信息反馈,及时调整进排泥浆浓度、比重、流量、流速等参数,确保了排渣畅通。

5. 大深度富水砂卵石层进出洞和顶管止水技术

本工程采取洞中填充、洞外加固、管周密封及地面降水等技术措施,研制了钢管和顶管机头的密封防水设施,构成进出洞联合止水结构,顺利进行了进出洞施工。

6. 有限空间超长距离的通风保障

在直径 1.8m 钢管狭小有限空间内超长距离通风、除尘、除湿、降温等 QHSE 管理的顶管施工保障技术。

7. PLC 计算机自动化信息管理智能控制

PLC 计算机自动化控制技术,具有人工智能,结合远程摄像系统人工监控,有很高的可靠性和安全性。整套顶管系统能在计算机设定的参数和程序控制下,通过可编程逻辑程序控制器及各类传感器等随时监测施工状况,确定施工参数,使整个施工过程处于受控状态,自动完成保持开挖面泥水压力平衡、循环排泥、中继间接力顶进联动控制等工作循环,从而有效地控制了顶进轴线、转角偏差及地面沉降。通过电视监视和各类参数的显示,通过远程电气控制系统,操作员可在地面操作。

三、适用范围

1. 本工法适用于 N 值为 0~60 的砂卵石、钙质结核黏土、淤泥质黏土、粉质砂土、砂质粉土等地层中

施工。

2. 本工法不仅可在穿越河流、公路、房屋等覆土较深的条件下施工,而且可在大于管外径 0.8 倍以上浅覆土条件下施工。

3. 本工法适用于直径 1~3m 口径的混凝土管和钢管施工。

4. 本工法特别适用于在不宜大开挖的、地质条件软硬不均错综复杂的地层和大深度、大口径、长距离穿越公路、河流等地下管线的施工。

四、工法原理

利用泥水平衡工作原理保持开挖面土层平衡,通过大刀盘及滚刀对正面土体的全断面切削,泥浆泵输送泥浆形成泥水循环出土,工作井内的千斤顶推进钢管,完成顶进循环。泥水平衡原理是利用具有一定压力的泥水与土的混合物作用于顶管开挖面上,在开挖面上形成一层泥浆层(泥浆护壁),泥水压力通过泥浆层与开挖面上的水、土压力相平衡,保持开挖面不会发生坍塌与沉降。顶管机掘进时通过改变泥水压力、送泥泵的转速、掘削土量、顶力和顶进速度来控制泥水仓压力,使泥水仓内的压力值稳定并控制在所设定的压力值范围内,与开挖面压力保持平衡,从而实现开挖切削面的土体稳定。

五、施工工艺

(一) 施工流程(见图 1)

(二) 施工要点

1. 顶进施工及密封

(1) 设置洞口密封圈。为了防止泥浆从管节外壁和工作井之间的间隙中流出,造成地面沉降并影响触变泥浆套的形成而降低减摩效果,在洞圈上预设钢丝刷和橡胶圈组成的阻浆密封装置。

(2) 对全套顶进设备作一次系统调试。在确定顶进设备运转情况良好后,把机头顶进圈内距加固层 10cm 左右。

(3) 建立泥水平衡。

(4) 机头穿墙顶进。开始顶进机头时,由于正面为全断面旋喷水泥土,为保护刀盘,顶进速度应适当减慢,出土时可适量增加泥水黏度润滑渣土,增加泥水的携砂能力。

2. 触变泥浆的应用

(1) 为减少土体与管道间摩擦力,在管道外壁压注高分子泥浆,在管道四周形成一圈泥浆套以达到减摩效果,通过合理的配合比和科学的注浆方法,保证在施工期间泥浆套均匀完整,不失水,不沉淀,不固结。

(2) 为了保证注浆效果,注浆量应取理论值的 2~3 倍。

(3) 每班必须对顶管机所有注浆润滑点的润滑进行检查,以确保润滑处于良好状态。发现浆套破坏必须及时补充。

3. 安装顶管靠背及机座

为保证顶管工作井的后壁能均匀受力,需加工一刚性靠背。靠背整体吊装,放在顶进装置与井壁之间,进行定位固定。

4. 主要施工技术参数

(1) 正面土压力的控制 土压力根据 Rankine 土压力理论进行计算,计算值作为土压力的最初设定值 P ,控制好泥水仓的泥水压力 P ,做到 $P_a < P < P_p$ 。为达到上述要求,根据土质资料,精确求出 P_a 及 P_p 的值。在实际顶进后,根据顶进参数和地面沉降监测结果,将设定泥水压力值调整到 230kPa 左右,尽量让控

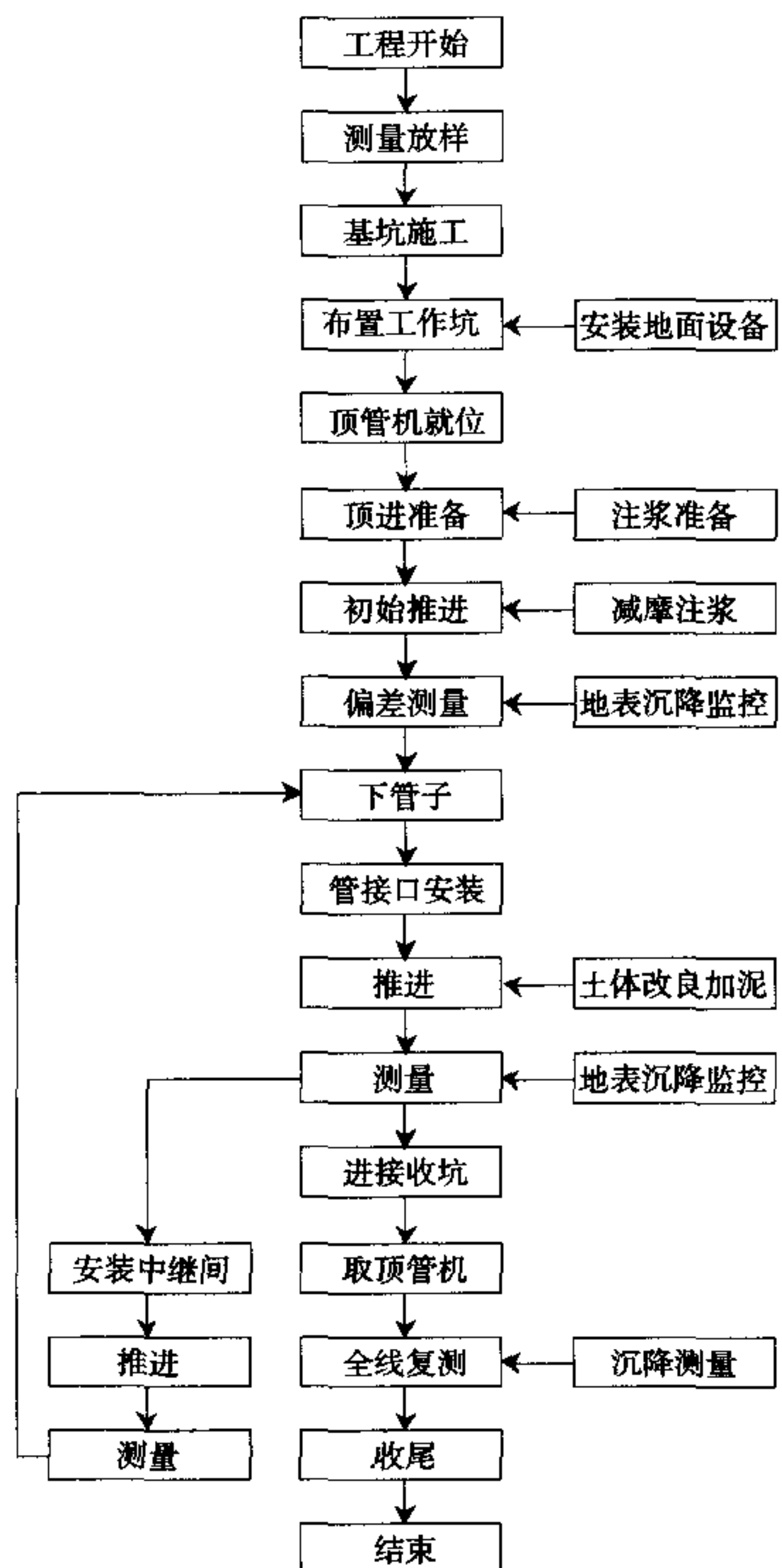


图 1 施工流程

制土压力离开 P_a 及 P_p 值远一些,并且将其变化幅度控制在 $\pm 10 \sim 30\text{kPa}$ 范围内,便可有效控制正面出土量、地面沉降在要求范围内。

(2)出土量的控制 利用核子密度计、流量计、变频器等传感器反馈施工参数,通过 PLC 自动化控制,实现实时信息收集整理分析,及时将调整后的技术参数返回到各系统,保持对顶进施工的不间断控制,可尽量精确统计出每节管节的出土量,使之与理论出土量保持一致,以保证正面土体的相对稳定。

(3)顶进速度的控制 在顶进时应顶进速度作不断调整,总结出不同土质条件下与正面土压力、出土量的最佳匹配值。

5. 顶进轴线的控制

(1)高程控制 在顶进过程中一旦顶管机头出现上抛现象,则应尽量避免使用降低泥水压力、增大出土量、过量向下纠偏等动作。在顶进时将机头高程始终控制在负值,这样即使在机头下沉较大时,所采取的纠偏措施也和地面沉降控制一致。

(2)平面控制 如果管道周边土体强度大小不均,顶进时应把机头平面始终控制在靠较硬的地层一侧。

(3)转角控制 钢管管道的横向水平要求较高,在顶进过程中对机头的转角需密切注意,机头一旦出现较小转角,应及时纠转。

①用纠转装置纠扭 将安装于壳体两侧的纠扭装置根据需要旋转一定角度,将翼板伸出壳体插入土体内,在机头向前推进时,土体在翼板上产生一侧向分力,形成一力偶使机头按所需的方向旋转,以达到纠扭目的。

②压浆纠扭。压浆纠扭是利用壳体上压浆管注浆,翘板将浆液分隔成四个区域,根据纠扭方向的要求,选择适当的压浆点,使压出的浆液在机头形成一力偶,使机头按所需的方向旋转,以达到纠扭目的。

(4)机头纠偏控制 每节管节顶进结束后,必须进行机头的姿态测量,做到随偏随纠,纠偏量不宜过大,以避免土体出现较大的扰动而管节间出现张角。在推进过程中,必须注意偏差发展的趋势。纠偏的原则是:务必让偏差保持在较小的波动范围内,并且做到勤测勤纠。顶管机刚产生偏转时,就必须用改变刀盘的转向来校正,校正方法是顶管机向哪个方向发生偏转,刀盘就向哪个方向转动。

6. 地面沉降控制

(1)严格控制施工参数,防止超、欠挖和开挖掌子面塌方。

(2)顶进时,每隔一段时间应对顶管机后部已成管道高程作一次复测,一旦出现管道严重下沉情况时,应对下沉部位进行底部注浆,防止引起地面沉降。

(3)顶进过程中,地面最大隆起值控制在 10mm 以内,最大沉降值控制在 30mm 以内。

7. 测量

(1)顶管机出洞前必须认真测定顶管机切口的轴线和标高,并将数据及时反馈进行调整,顶进中原始数据、表格必须连续真实填写清楚。

(2)交接班时应交清测量记录,将仪器对中,并交清管道轨迹和纠偏趋向。

(3)顶进结束后必须全线复测、绘制管道顶进轨迹图(含高程、方向、顶力曲线),并由施工质检人员检查复核。

(4)推进过程中,注意观测工作井、后座以及所有标记是否有变动。

(5)推进过程中,应按建设单位的要求在指定地段进行施工监测,观测顶进过程中地表变形和土体位移情况,以便采取预防措施,避免地面塌陷事故发生。

(6)顶进结束后应绘制施工过程和竣工后的地面变形图。

8. 钢管管节和接口焊接

(1)管节钢板采用 Q-235 普通碳素钢材,业主要求采用半自动焊接技术。

(2)接口对接时,环向间隙、坡口形式和尺寸必须符合要求。

(3)坡口焊接前必须经过打磨除锈处理,并达到焊接要求的标准。

六、施工设备

(1) DH1500 砾石型泥水平衡顶管机 顶管机,由中国铁道建筑总公司十六局集团和日本 RASA 公司联合研制。主要由机头、大刀盘、纠偏装置、电动机和行星减速机、进排泥系统、主顶装置、动力装置、润滑泥浆压浆系统、PLC 电气控制系统及监测系统等组成。

(2) 配套设备 泥水分离系统,拌浆系统,注浆泵,电焊机,空压机等。

七、施工管理

1. 技术管理 由施工技术员负责,具体职责为监督施工参数的实施及处理施工时发生的临时变更情况,及时与设计单位联系。

2. 质量管理 由操作班长与操作员建立 TQC 小组,操作班长负责监督实施设计施工参数,严格按照操作规程操作,并作好当班记录,发现问题,及时与技术员联系解决。定期进行 TQC 活动,保证施工质量。

3. 安全管理

(1) 严格执行国家颁发的《建筑安装工程安全技术规程》对施工现场安全的有关规定。

(2) 顶管机及管道内照明使用安全电压。外部照明要充足,安放高度不得低于 3m。

(3) 动力电缆转换接插前,要先切断电源,后拔出插头。

(4) 钢管调运时,管下严禁站人。

(5) 管道内的电力电缆、控制电缆应悬挂固定,严禁随地布设。

(6) 及时检查各操作员的操作程序,严防违章操作。

(7) 及时检查各压力管接头的可靠性,防止压力管爆裂伤人。

八、质量标准

除应遵照国家标准《地基与基础施工及验收规范》、《钢筋混凝土工程施工及验收规范》和《市政工程质量检验评定标准》等顶管标准的有关规定外,施工中还应做到:

管节的长度误差 $< \pm 2\text{mm}$,高度误差 $< 1\text{mm}$,端面与轴线的垂直度误差 $< 2\text{mm}$ 。顶进时,转角必须控制在 $\pm 1^\circ$ 之内。当管顶与隧道底距离小于管径时,隧道段地面最大隆起小于 10mm,最大沉降小于 30mm。

九、效益分析

1. 由于泥水平衡的控制,对土体的扰动比其它顶进方法小得多,能有效控制地表的沉降和隆起,在闹市区或建筑密集场合下施工,几乎对地面建筑没有影响,大大减少了对地上地下构筑物的破坏而带来的损失。

2. 在穿越道路、铁路、隧道、河流的管道施工中,可不必降水和封锁交通,施工后地表沉降小,对环境影响小,其社会效益是十分明显。

3. 在埋设深度较深或穿越较多地下管线时,比开槽埋管安全、经济;在居民密集区狭小街道中施工时,拆迁量比埋管小,投资成本低。

十、工程实例

中铁十六局集团六公司承建的“西气东输”黄河顶管工程,是 4000km 长的“西气东输”管道工程重中之重、难中之难的控制性工程。黄河顶管位于河南省郑州市,在黄河孤柏嘴主河槽内。穿越断面南高北低,河谷漫滩开阔,条件恶劣,水宽流急,最大冲刷后水深 20.0m。工程包括 $\phi 1800$ 钢顶管长 3600m。顶管要穿越第四系全新统冲积(Q_4^{al})粉土、粉砂、中砂、黏性土、卵石、坡积黄土,中更新统残积(Q_2^{el})粉黏土(古土壤),还有钙质结核黏土、胶结砂卵石、数米长古树等障碍,且水位高,渗透系数 1.37×10^{-3} 。黄河顶管工程集高、难、新、尖于一体,其建设规模、难度和技术创造了多项国内外先进记录,处于世界领先地位。工程要求在 3600m 的距离上,在水面下 23m 深处的黄河底长距离顶进。为解决顶管施工中的高水压、管周摩擦阻力大、障碍物复杂的难点,中铁十六局经过反复调查比选后,选用了当今世界上最先进的顶管机之一——日本 RASA 公司的顶管机和日本特殊的粉状一体型减阻润滑材料,引进当今世界上最先进的顶管技术,设 $\phi 15\text{m}$ 的出发井 3 座, $\phi 8\text{m}$ 的接收井 1 座,井深 32.80m。采用本工法成功地克服了富水砾岩砂卵石层和含有钙质结核的黏土层对顶管施工的不利影响,胜利完成了顶管施工任务。

执笔:江拔其 张化海 叶荣发 范明贵 王利波