

信阳污水处理厂气压平衡顶管工程施工实践

李宏伟,王 兵,刘正才,柴宿东

(安徽煤田地质局水文勘探队,安徽 宿州 234000)

摘 要 :介绍了信阳市污水处理厂非开挖顶管铺设工程项目的施工经验与体会。该工程地层复杂多变,淤泥层厚度大,含水量高,呈流塑状,具有较大的流动性,土体极不稳定;由于淤泥承载力低,管道顶进过程中难以形成必需的导向力,管道容易偏差,管道轴线容易失稳,管道标高异常,经常出现工作面大面积坍塌、淤塞管道等现象,施工无法正常进行。通过局部气压平衡式顶管铺设管道的施工方法,不断提高施工技术措施,摸索与总结出一套施工经验,解决了施工难题。

关键词 :非开挖,复杂地层,气压平衡,顶管

中图分类号 :TU992.2 **文献标识码** :B **文章编号** :1000-3746(2003)S1-0126-04

1 工程概况

河南省信阳市城市污水处理厂 I 标污水管道铺设工程项目,施工现场位于信阳市平桥区平桥大道,原设计为沿平桥大道北侧顺路明挖铺设污水管道,I 标段施工范围:从 PP7 点至 PQ1、PQ2、……、PQ13 点,共 13 个管道铺设工段,设计管道全长约 510 m,管道设计坡度为 7‰,由西向东埋深逐渐增大,西部 PP7 点埋深为 5 m,东部 PQ13 点埋深为 8 m。

前期总承包商下属公司采用明槽开挖铺管的方法施工了 PQ2~PQ9 点范围内的 7 个工段单元的管道铺设。由于地层原因经常发生沟槽边坡失稳,工作面大面积坍塌,沟槽钢板桩支护及稳管控制难度增大,被迫增多工作坑个数,缩短沟槽开挖距离,使施工成本剧增;再者,由于是市区街道繁华,机关、商店和民居等建筑物临近道路,过往车辆密集等因素的影响,设计院决定 I 标段其余工程量由明槽开挖铺管改为暗槽非开挖顶管铺设的方法施工。

我队承建的 I 标段非开挖顶管铺设项目,分为 PP7~PQ2、PQ9~PQ13 共 6 个工段。污水管采用预制钢筋混凝土管,管等级为 C40。污水管规格为:Ø2200 mm×2000 mm(内径×长度);壁厚 $\delta=220$ mm,质量为 4014 kg/m;允许顶力 9122 kN。本工程自 2002 年 1 月 23 日开工,至 2002 年 10 月 8 日竣工,首先采用常规人工手掘式顶管施工,因地层原因,经常出现工作面大面积坍塌现象,特别是标高难以控制,纠偏困难,无法正常进行施工。经反复论证,决定改为局部气压平衡式顶管施工,共顶进完成

DN2200 预制钢筋混凝土管 155 节,总长 310 m,完成工作坑 5 个。

2 地层情况

根据场地工程地质勘察报告提供的土层资料,地层自上而下分别为:

填土层:以杂填土为主,层厚 1.0~2.2 m,松散状,粉质粘土为主要成分,含碎石瓦砾等建筑垃圾,大多已完成自重固结过程。地层表面已铺设砼路面,厚约 300 mm。

冲积层:12 m 以上土层,由淤泥层、中粗砂层、粉质粘土层组成,土体结构复杂多变。PQ9~PQ13 区域以淤泥层为主,4.8 m 以下软淤泥层中夹有砂质粉土,层状结构,厚度大且含水量高,呈流塑状,承载力低,极不稳定;PP7~PQ2 区域 6 m 以上地层均为中粗砂层,含水量高,具有很强的透水性与流动性。

3 顶管力的计算

顶管力计算的根本问题是要测算顶管的推力、后背承载力。顶管时的推力就是顶管过程中管道的阻力,主要是工具管切土正应力、管壁摩擦阻力。由于顶管过程是一个复杂的力学过程,涉及到材料、岩土、弹塑性等许多力学分支学科,顶力计算公式较多,计算也比较繁杂。

3.1 顶力计算

为了减少计算复杂程度,根据实践经验和有关

收稿日期 2003-04-30

作者简介 :李宏伟(1961-),山东平阴人,安徽煤田地质局水文勘探队工程师,采矿工程专业,从事基础工程技术管理工作,安徽省宿州市地质路4号(0557)3311533;王兵(1967-),安徽无为,安徽煤田地质局水文勘探队助理工程师,工程测量专业,从事基础工程施工与技术服务工作,13956878636。

工程统计资料,直线顶管可按以下经验公式进行顶力估算:

$$Q = NGL$$

式中: Q ——总顶力 kN ; N ——土质系数,一般软土层为 $1.5 \sim 2.5$,本工程取中值; G ——钢筋砼管每米重力 kN/m ; L ——单元顶管距离 m 。

本工程以原设计中两工作坑间的最大距离 100 m 进行估算,则总顶力 $Q = 2 \times 4.014 \times 9.8 \times 100 = 7867 \text{ kN}$ 。顶管总顶力小于 C40 钢筋砼管允许顶力,能够满足顶管施工的要求。

3.2 后背与抗力计算

后背在顶力作用下产生压缩,压缩方向与顶力作用方向相反。当停止顶进时,顶力消失。顶管时,后背不应产生破坏和出现不均匀压缩变形,即后背作为千斤顶的支撑结构,要有足够的强度和刚度,且压缩变形要均匀。否则,将造成顶进偏差。

顶管过程中,后背压力远大于土壁允许承载力 σ 。粘土、淤泥层可按承载力 $\geq 150 \text{ kPa}$ 计算。为了安全起见,取 $\sigma = 150 \text{ kPa}$,根据顶进需要的总顶力,核算后背受力面积,使土壁单位面积上所受的力小于土体允许承载力:

$$S = Q/\sigma$$

式中: S ——后背所需要承压面积 m^2 ; Q ——总顶力 kN ; σ ——土壁允许承载力 kPa 。

经验算 $S = 52.45 \text{ m}^2$ 。由于工作坑几何尺寸限制,后背支撑的实际受力面积远小于计算值,不能满足土体的允许承载力的要求。采用压密注浆、打桩等技术措施进行土体加固处理,以加大后背土壁的总承载力,根据施工的具体情况,调整顶管距离,从而满足顶管施工的需求。

4 设备选择

双段单铰型局部气压平衡式工具管 1 个; BZ50MPa-15 型液压泵站 1 台(流量 $> 12.3 \text{ L/min}$); QYS320 型液压千斤顶 4 台,可提供总顶力为 12544 kN ; BW310-40 型往复式三缸高压泥浆泵 1 台(最大水压为 4 MPa ,流量 $9 \text{ m}^3/\text{min}$); 柴油机为动力的空压机 1 台(最大气压为 0.7 MPa); 500 mm 顶铁 3 个; 400 mm 企口管环形护铁 1 个; 16 t 车载吊车 1 辆,以及运土设备等。

工具管是顶管的关键机具,应具有掘进、防塌、出泥、导向和纠偏等功能。本工程选用的双段单铰型局部气压平衡式工具管的功能特点是:水力冲泥,气压平衡,管道排土,测力纠偏,可人工清障。

工具管全长 4.5 m ,直径 2690 mm ,自重 14 t 。工具管内部分成 2 个舱室,由前隔板隔断,前部为冲泥舱,后部为操作控制舱。冲泥舱前端为刃脚和格栅,其作用是切土和挤土。操作控制舱内有各种仪表、闸阀、机电、液压设备以及进气、进水、排泥管道,并由 4 组纠偏油缸及 2 副双铰链将前后 2 个隔舱连接起来。工具管上下与左右纠偏机构分开布置,互不干扰,受力明确,段间联接牢固。为防止地下水和泥砂通过段间缝隙进入工具管,在段与段之间设置了内外 2 道密封装置,密封可靠。前隔板上分布设置了 5 个观察窗,3 个具有高压锥喷嘴水枪的进水管,2 个气压管,2 个有防护罩的照明灯具,1 个吸泥出水口和 1 个水密式小舱门。操作控制舱后端部设置了带有一个水密式舱门的隔板。

5 顶管施工

顶管施工主要工艺为:测量放线→做工作坑→设置平台→安装后背→铺设道轨→顶铁、油缸就位→复测高程及中心线→安装工具管及管道→挤土、冲泥、排泥→顶进复测、矫正管道中心线→工作坑回填。

5.1 工作坑布置

本工程改变了矩形工作坑的常规形状,确定为圆桶形结构,砌筑成坑后内径 7.5 m ,开挖深度 9.2 m 。为防止井壁土体坍塌,由上往下砌筑三八砖墙,做内衬砌,随挖随砌,直到坑底。每砌筑 30 cm 放 2 道 6 mm 冷拔钢丝做拉结筋,工作坑内衬墙体中部浇筑 40 cm 厚钢筋砼圈梁进行加固。坑底浇筑 30 cm 厚钢筋砼底板,砼底板下面铺设 40 cm 厚石子垫层。坑内设集水坑。在工作坑前面浇筑一堵 0.5 m 厚的前止水墙,并且预留一个供工具管进入土体的洞口。洞口的直径比工具管外径大 0.2 m ,在洞口安装止水圈。洞口中心与设计管道轴心一致。

地面距工作坑口 10 m 处设置 3 个泥浆循环池串联使用,泥浆池尺寸为 $5.0 \text{ m} \times 5.0 \text{ m} \times 1.6 \text{ m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高),泥浆池墙体采用砌筑二四砖墙进行支护,墙体每砌筑 30 cm 放 2 道 6 mm 冷拔钢丝做拉结筋,墙体内壁用油毡做隔水处理,内外抹灰 10 cm ,防止渗漏。泥浆池与工作坑之间由进水管、排泥管道相互联通。

5.2 顶进系统安装

顶进系统包括:后背、导轨、主油缸、顶铁。

后背采用宽 3.8 m 、高 4.5 m 、厚 60 mm 、面积为 17.1 m^2 的钢板加大型钢梁加强支撑,并在后背反

面充填砂袋或碎石。钢板后背下部插入工作坑底板内 0.5 ~ 0.8 m。后背平面与设计顶进轴线(坡度为 7‰)垂直。

轨道采用 50 kg/m 重轨,左右各 1 根,轨长 6 m,应尽可能伸入洞口内。轨高 152 mm,管道底部距枕木顶按 420 mm 设置,则导轨间净距为 1595 mm。其下使用 200 mm × 250 mm × 2500 mm(高 × 宽 × 长)规格的枕木,枕木间隔 450 mm。用预埋件将导轨牢固地固定在底板上,导轨对管道的支撑角选用 60°。导轨安装应略高于该处管道的设计高程并且顺直、平行,其纵坡应与管道的设计纵坡一致。导轨安装的允许偏差为:轴线位置 3 mm,顶面高程 0 ~ +3 mm,两轨间距 ±2 mm。

主油缸根据已确定的合力中心位置(为了防止顶进初期管道下沉,顶力的合力中心要低于管中心 $R/5 \sim R/4$),左右对称布置于主油缸支架上。主油缸轴线与管道轴线平行,与后背垂直,工具管中心、洞口中心与设计管道轴心三点重合为一条直线。油缸着力点无间隙。

顶铁两面平整,厚度均匀,受压强度高,刚度大,能均匀地将顶力传递到管段上。

工作坑内电气、机械设备及各种管道安装完毕,经检查各部位处于良好状态,起重设备经检查、试吊后,确认安全可靠方能进行施工作业。

5.3 顶进施工

顶管施工测量应建立独立的相对坐标,在工作坑内设立水准点和预定方向线,采用激光水准仪和经纬仪进行精度控制。工具管严格调零,工具管外形在轴线上调整成一条直线时,仪表反映的角度为 0。将油缸锁住不再让纠偏角变动。初次顶进不得超过 30 cm,刃脚切土,格栅挤土,正面的泥土通过格栅被挤压进入冲泥舱,然后被高压水枪破碎冲成泥水的弃土,通过吸泥口、吸泥管、排泥管道,最后被泥浆泵排出工作坑外并泵入泥浆池内沉淀,渣土捞出运往堆场,稀泥则可重复循环使用。

工人在隔板后面的操作控制舱内操作水枪和纠偏,通过观察窗和各种仪表直接掌握挤土、冲泥和排泥情况。工具管顶进时,使顶力小于正面被动土压力,同时要大于主动土压力。格栅的密度是固定的,遇到较硬的土层阻力较大时,水枪要冲掉格栅上的泥,阻力更大时水枪可冲出格栅,将工具管正面冲空,形成一个形如立起来的锅底,遇较弱土层阻力较小时,则保留格栅上的土塞。

本工程主站油泵顶进速度 $v = 5$ cm/min。顶管

施工中采用短顶距、勤顶进的方法,防止前端土体坍塌。如若地层中遇到地下障碍物(包括大块岩石),施工人员可以进入冲泥舱排障,如有必要可以在局部气压下进入。排障时,可采用气割、风动、电动等工具,例如排除大石块、割除旧桩等。在砾石或碎石层中顶进,可用人工将粒径较大的石块搬出冲泥舱,使吸口畅通。

预制钢筋砼企口管的顶进应当采用特制的环形护铁,专用护铁接口内径外面有一个凸肩,此凸肩工作起来正好顶在企口管凹口内的台肩上,使顶力能够均匀传递。

5.4 气压平衡

根据开挖面是否稳定的情况决定是否向冲泥舱与开挖面土体施加压缩空气,进行局部气压平衡。局部气压的大小决定于水土压力。本工程对不同地层土质情况,气压的控制也不相同。

对于粘性土,如果格栅足已防止坍塌,可以不用局部气压平衡。

对于淤泥质土,气压的作用主要是防止坍塌。用气压向土壁施加支持力,防止土体坍塌。淤泥质土渗透系数小,耗气量很小,余压的大小不会对耗气量造成大的影响,为了增加土壁的稳定程度,余压可以大于冲泥舱底部与顶部水的压力差(即工具管外径上下压差)。

对于砂层,应采用局部气压施工,防止产生流砂。但局部气压不能太大,否则余压就高,压缩空气耗量就大,大量的压缩空气将砂粒间的地下水挤出土层,还使土体的承载力大大提高,使顶力增加,这对顶管不利。流砂的形成与水头压力的大小有关,水头压力较小时,不会产生流砂,只有当水头差达到一定程度后才会产生流砂,所以减小冲泥舱余压不会立即产生流砂。冲泥舱的压力一般可以比管底水压力小 20 ~ 30 kPa,也就是可以使余压接近于零。

当在薄覆盖层下施工时,要严格控制气压,尽量减小余压,否则容易冒顶。冒顶在局部气压平衡施工中虽然并无危险,但要影响出泥效率和增加地面沉降,所以要严格防止。

5.5 管道纠偏

管道施工允许偏差是指管道轴线而言的,而且标高测量精确度远高于定向测量精度。管道轴线要顺直,无反坡,不积水。

在工具管入土初期,因入土较小,工具管的自重仅由 2 点支承,一点是导轨,另一点是入土较少的土体,这时作用于土体支撑面上的应力可能超过允许

承载力,使工具管下跌。为了防止工具管下跌,应在入口处下部设置支托,可预埋导轨,不使工具管下沉,加强管段与工具管、管段与管段之间的联结。在工具管入土初期,不能用工具管纠偏油缸进行纠偏,为了纠正管道走向,可变化主油缸的合力中心进行纠偏,例如停止向某一个油缸送油。

工具管开始顶进 5 ~ 10 m 范围内,管道轴线允许偏差为:上下 0 ~ +3 mm;左右 +3 mm。当超过轴线允许偏差时,应采取勤测量、勤纠偏、小量纠的操作措施纠正。工具管完全入土后,操作控制舱内一对水平铰通过上下纠偏油缸的伸缩可以使冲泥舱绕水平铰上下转动;同样,一对垂直铰通过左右纠偏油缸的伸缩可以使冲泥舱绕垂直铰左右转动。由此依靠纠偏油缸改变刃口的方向,实现纠偏。工具管纠偏时,上下纠偏油缸与左右纠偏油缸不能同时使用,防止工具管发生扭转,妨碍正常施工。由于本工程管道采用企口管,因而不允许存在大幅度的纠偏(最大允许偏角为 0.47°),则管口有损坏的危险。

5.6 管道止水

钢筋砼管段应无裂缝,管端无破损,段间无渗漏。本工程管段内口之间加垫胶合板垫圈,管段接口采用企口连接,其间设置一道 q 型丁苯橡胶密封止水圈。橡胶圈空腔内充有少许硅油,在 2 个管子对接过程中,充有硅油的空腔可以在橡胶体内滑动,这不仅方便了安装,还可使橡胶体不至于翻滚转动,从而提高了橡胶圈止水的可靠性。企口管的优点为:接口构造简单,成本低,安装止水比较容易,止水性能较好,耐腐蚀性强,很适合于酸碱度较大的地层中。钢筋砼管实行质量验收制度,产品质量有缺陷的不准投入使用。

6 质量检验

6.1 管道轴线验收

施工过程中,加强对管道轴线的测量精确度控制,及时校对偏差,严格执行勤顶、勤测、勤纠偏、小量纠的纠偏操作措施,测量间隔 < 1 m,确保工程质量达到优质标准。施工完毕后,两个工作坑之间管段应进行轴线验收,根据《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268 - 97)表 6.4.21 中规定,顶进管道轴线允许偏差为:上下高程偏差 $+40 \sim -50$ mm,左右位置偏差 50 mm。本工程实际轴线偏差均满足规范要求,经业主、监理验收全部合格。

6.2 管道闭水试验

施工完毕后立即进行管道的闭水试验。在试验

段两侧砌筑三八砖墙并用 1:3 水泥砂浆密封抹面,养护 3 天以上。管道闭水试验宜从上游往下游顺序进行,由高处向低处倒水以节省水源。向试验段管道内注水,观察管道有无漏水现象,发现问题及时停水处理。无问题将试验段管道浸泡 1 ~ 2 天,使管道充分浸透,方可进行闭水试验。根据管内水面的下降,求出试验段内 30 min 的渗水量 Q 。《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268 - 97)中 10.2.13.2 条款规定, $\phi 2200$ mm 砼管道允许渗水量为 $Q = 6.57 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{km})$ 。本工程试验管段按井距分隔,长度定为 150 m,试验管段内应含有检查井(试验水头在检查井内)。当试验水头达到规定高度后,开始计时并观察检查井内的渗水情况,直到 30 min 结束观测时为止,应不断向试验管段内补充水量,以保持试验水头恒定。管道的闭水试验经业主、监理验收全部合格。

7 结语

根据地层的特点,选择适宜的顶管方法,才能取得好的经济效益。由于对信阳市区地层了解得不够确切,先前采取的施工方法不适宜,由于种种原因,施工被迫中断停止,工期延迟,成本增加,没有达到预期的经济效益。

由于后背处土体的承载力不能满足顶进的要求,只能采取压密注浆、打桩的方法进行加固,本工程个别工作坑采用双排(前 4 排后 3 排列)共 7 根钻孔灌注桩,桩径 800 mm,桩深 12 m,以加大后背土壁的总承载力,因而给后期的桩体处理增加了难度,从而增加了施工成本。

顶管施工整个过程,应始终坚持一个“勤”字,即勤顶、勤测、勤纠、小量纠的纠偏原则,应防止纠偏量过大、过激或千斤顶之间存在顶进时间差,使工具管受力不均,顶进合力线偏移,造成工具管旋转。当发生顶力过大时,应立即停止顶进,查找原因,判明情况后采取相应措施进行处理,不可强行顶进,应防止发生“崩铁”或管口破裂事故。

由于局部气压平衡式工具管所属电器设备较多,线路较长,应特别注意用电安全,漏电防护措施应确保可靠有效,同时应保证管道内通风良好,确保达到每人每小时 30 m^3 的最低标准。

参考文献:

- [1] 孙连溪,等.实用给水排水工程施工手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1998.742 - 830.