

临海暗埋大直径 J-PCCP 管顶进安装技术应用

李鑫, 曹涯温

(中交一航局西南工程有限公司)

摘要: 为提高泥水平衡顶管机在管道顶进安装施工过程中的工效及管道安装质量, 从北海电厂二期扩建工程中所涉及的洞门止水、轨道梁加固、管道吊装、泥浆配比、沉渣分离装置等方面进行工艺提升并加以应用。研究出了一系列改进措施, 经验证可有效实现洞门圈封闭止水效果, 解决顶管机轨道梁在顶进过程中的偏移现象, 提高管道吊装效率, 通过泥浆配比的优化改进, 可有效提高泥浆适用性及使用效果, 沉渣分离装置的改进应用可提高泥浆循环利用效率。研究成果可供类似工程施工参考借鉴。

关键词: 泥水平衡顶管; 洞门止水; 触变泥浆; 沉渣分离; 管道安装

0 引言

泥水平衡顶管工艺作为一种非开挖暗埋管道安装施工工艺, 凭借不开挖地面、不破坏地面建筑物、不破坏环境、不影响管道段差变形、省时、高效、安全且综合造价低的特点, 在管道安装施工领域中的应用日益普及。目前常见应用于泥水平衡顶管工艺中的洞门圈止水措施为单层密封橡胶圈, 且触变减阻泥浆及循环泥浆最优配合比参数针对不同地质情况也有所不同, 并没有特别明确的适用于沿海吹填砂地质的顶管泥浆指导性能参数, 本文所述大直径 J-PCCP 管顶进安装技术在基于现有工艺基础上对泥水平衡顶管施工工艺在洞门止水、轨道梁加固、管道吊装处理、触变减阻泥浆配比、循环泥浆配比、沉渣分离装置等方面做出的技术改进提升, 通过有针对性的技术改进措施, 有效改善现有工艺应用中的缺陷, 达到管道顶管施工提质增效的目的。

1 工程概况

北海电厂二期(2×660 MW)扩建工程新建循环水取水管道穿越一期既有正常生产运营厂区施工段, 沿线地表上部横跨 3 组 220 kV 高压线架。地表建有变压器发电机组、油池、GIS 控制室等构筑物, 地下约有 28 条管线设施, 为解决二期管道埋设施工对一期正常生产运行的影响, 创新性地引入顶管施工工艺, 对一期正常生产运营影响降低到最小, 同时经济高效地实现管道暗埋施工。

顶管工程设工作井、接收井各 1 座。工作井基坑平面尺寸为 25.4 m×22.0 m, 接收井基坑平面尺寸为 25.4 m×19.2 m, 井深均为 13.5 m。工作井

及接收井深基坑支护采用“灌注桩+高压旋喷桩+三轴水泥搅拌桩止水帷幕+内支撑梁+挂网喷射混凝土护面”形式。顶管工程管线采用 DN3200 双排管, 管材为 J-PCCP 管, 单根管长 2.5 m, 壁厚 240 mm, 双胶圈柔性承插口连接, 管线埋深 11.5 m, 顶进施工长度 405 m, 横穿一期电厂厂区。

2 工艺原理

管道顶进施工应用泥水平衡顶进施工原理, 将置于工作井中的顶管机通过主顶油缸向前推进至止水圈后, 由电动机提供能量转动机头刀盘切削土层、粉碎石块, 并使之进入泥水舱与泥浆混合后由泥浆系统的排泥管泵送至地面泥水分离设备进行处理, 分离出的残土被运走, 泥水再注入进浆系统循环使用, 与此同时, 顶管机连同管道在后方主顶油缸持续顶进力的作用下, 最终穿过土层到达接收井。在掘进过程中, 顶管机采用泥水平衡装置维持水土平衡, 使顶进管道始终处于主动土压与被动土压之间, 使泥水压力与开挖面上的水、土压力保持平衡, 以达到消除地面沉降和隆起的效果, 实现稳定开挖面的目的^[1]。

3 工艺改进

3.1 洞门止水

原洞门止水措施为单层直压板配套单层密封橡胶圈形成洞门圈, 在工作井井室侧壁预留洞口处四周利用膨胀螺栓安装一圈压板, 压板上设置槽孔, 膨胀螺栓穿过槽孔将压板紧固于混凝土侧壁, 压板与洞门四周混凝土侧壁间安装有一圈橡胶止水板, 形成橡胶密封圈, 顶管机机头经由工作井侧壁预留洞口穿越工作井基坑外围止水帷幕

后,橡胶密封圈受顶管机机头挤压会紧密贴合于顶管机机身与侧壁洞门圈之间,有效隔绝从基坑外渗透到洞门圈处的地下水,使得地下水不会沿顶管机机仓周边流入基坑内,造成顶管施工洞门圈漏水^[2]。实际应用过程中,由于本项目顶管穿越地层为粉细砂、细砂地质,且距离北部湾海域直线距离约400 m,地下水渗透系数大且含量丰富,导致按照单层直压板配套单层密封圈方式施工后的洞门圈,在顶管顶进过程中,仍有部分地下水渗漏,且向洞门口渗透的地下水会携带粉细砂,堆积后会对橡胶圈形成“反向鼓包”现象,施工过程中存在橡胶圈局部外翻洞门大量漏水隐患。

采用双层活页压板配套双层密封橡胶圈,首先设计能够固定在工作井混凝土侧壁洞门四周位置处的圈梁,圈梁由2道横向板及1圈竖向板组成,2道横向板各自安装1套压板及橡胶止水圈,且压板将原单层直压板改为活页压板,作为橡胶止水圈保护机制,避免顶管机机仓及顶管管道向前顶进过程中对橡胶止水板的摩擦挤压损伤。此外,由于与工作井侧壁相密贴的横向板采用膨胀螺栓固定,为防止横向板与侧壁之间缝隙渗漏水,在安装洞门圈梁前先将圈梁与侧壁接触部分混凝土表面凿毛,待洞门圈梁利用膨胀螺栓与侧壁固定后,在圈梁外围支模,将圈梁下层横向板与混凝土侧壁之间浇筑细石混凝土进行包封。

3.2 轨道梁加固

轨道梁作为放置于工作井内的顶管机及管道支撑装置,为管道的承插安装及顶进施工提供基础作业面,为保证顶管顶进安装路径的准确性,除利用激光经纬仪导向外,按管道安装设计要求的平面高程及轴线坐标对轨道梁进行调整,调整好的轨道梁在顶管顶进安装过程中不允许发生位移移动,因此要求轨道梁必须稳固固定。

原设计轨道梁固定方式为利用支撑于2根轨道下方的槽钢竖向支撑布置调整确定轨道梁高度,然后将轨道在同一平面高度处,沿四周方向利用钢管横撑撑于工作井井室侧壁上,使其在顶管管道顶进安装过程中,不受顶管主顶系统千斤顶顶推力或顶管机机头反推力的作用产生位移变形。

实际应用中,由于轨道梁仅靠下方槽钢支撑,在穿越部分较硬地层或顶进距离较长时所需顶进力较大时,轨道梁没有更加稳固的固定方式,用以支撑的刚性结构易发生扭曲变形,影响管道顶

进安装线性控制。因此在此基础上,采用预埋支撑钢构件、加设混凝土基座梁以及选用改良无缝钢圆管的方式进行轨道梁改进加固施工。在浇筑工作井底板混凝土时,预先在底板中预埋经测量准确定位的轨道梁支撑钢构件,钢构件选用30a工字钢,下部与底板钢筋焊接连接,上部预留高度满足轨道梁支撑所需高度,同时待工作井底板达到设计强度,利用支撑钢构件安装轨道梁就位后,在梁前后位置各浇筑1个混凝土基座,轨道梁利用预埋螺栓及螺栓压板固定在基座上,且基座内钢筋体系与预埋螺栓利用精轧螺纹钢焊接连接,最后将轨道梁四周利用无缝钢圆管支撑于井室侧壁,支撑钢圆管一端与轨道梁焊接固定,另一端则与侧壁预留钢板焊接固定,利用上述措施加固后的轨道梁,稳固可靠,可有效避免轨道梁因受力产生的位移变形。

3.3 管道吊装

顶管用管材为预应力钢筒混凝土管,前后采用柔性橡胶圈接口承插式连接,原有的管道吊装方式采用2条长20 m、承重30 t吊带兜吊,实施时需人工上下管道挂钩摘钩,搬运吊带,费时费力。因此,在此基础上设计研究出新型管道吊装专用吊具(见图1),无需人工上下操作挂钩,且不使用吊带吊装。新设计吊具由横梁及连接于横梁下方的2副勾板组成,横梁上部2根钢丝绳用于起吊吊具,勾板可勾在管道两端,使用时起吊横梁,即可利用勾板将管道吊起。

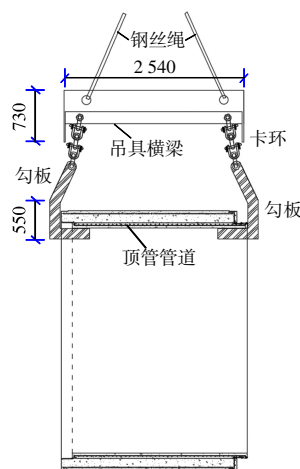


图1 新型管道吊装专用吊具示意图(mm)

3.4 泥浆配比

泥水平衡顶管工艺所用泥浆分为2种,一种

为用于管道外壁的触变减阻泥浆，经由预留在管道上的注浆孔，由管道内的注浆管路注入管道外壁与顶进穿越土体之间；另一种为用于泥水平衡循环系统的泥浆，循环泥浆管路由进浆管和排浆管组成，进浆管将优质纯净泥浆注入顶管机机头泥浆仓，经由顶管机机头刀盘在顶进旋转过程中切削的土体会从刀盘进渣口进入泥浆仓，泥浆仓里的泥浆会与切削的土体进行混合，形成裹挟石渣、泥沙的泥浆混合液，从泥浆仓内经由排浆管路输送至泥浆箱上安置的泥浆净化装置，泥浆净化装置分离出混合泥浆中的石渣、泥沙后，会将净化后的纯净泥浆流回泥浆箱，再由泥浆泵将泥浆箱内的泥浆经进浆管重新输送至顶管机机头泥浆仓，实现泥浆循环使用，泥浆循环的过程，也会将顶管机机头刀盘切削出的土体不断带出^[3]。

对于触变减阻泥浆，为提高泥浆应用性能，经试验验证，研究出最适宜本项目砂层地质工况的泥浆配合比，所配置的触变减阻泥浆，经对比在同类型地质中，能够最大程度上起到管道外壁泥浆润滑减阻及防地表沉降作用。触变减阻泥浆配合比为膨润土:纯碱:羧甲基纤维素:纯水=100:5:1.2:550。

对于泥水平衡循环泥浆，需保证其能在进排浆管路顺畅流动的同时，能够有效裹挟出顶管机机头刀盘切削掉的石渣、泥沙，循环泥浆初始优质纯净泥浆由水、膨润土、纯碱配比组成，实际应用中，通过调配不同密度的泥浆混合液，对比其进入顶管机机头泥浆仓循环后经由泥浆净化装置分离出的石渣、泥沙数量，比选出能够最大程度、最快裹挟出杂质的泥浆密度性能参数作为循环泥浆指导密度参数。

3.5 沉渣分离

对于循环泥浆沉渣分离的设计优化措施共有 2 处：1) 加装在顶管机机头内的新型泥浆仓石块分离装置；2) 将泥浆净化装置与泥浆箱组合使用的泥浆快速分离净化系统。

新型泥浆仓石块分离装置旨在缓解顶进前方遇到大块岩石，从顶管机机头刀盘进渣口进入泥浆仓的混合泥浆里携带的大量破碎小块岩石进入 DN150 mm 的排浆管道后造成排浆管路堵塞难题。该分离装置由 DN1000 mm 钢管改造而成，钢管上下皆由钢板封闭，上部钢板设置法兰连接取渣口，钢管中间焊接滤网，滤网上部管道侧面与顶管机

泥浆仓排浆口相接，滤网下部管道侧面与管道内排浆管相接。裹挟有石块的泥浆从上部管道接口进入分离装置，石块分离在滤网上部，含有石渣泥沙的泥浆可从下部管道接口流走进入排浆管排走，避免石块进入排浆管造成管道的频繁堵塞。新型泥浆仓石块分离装置示意图如图 2 所示。

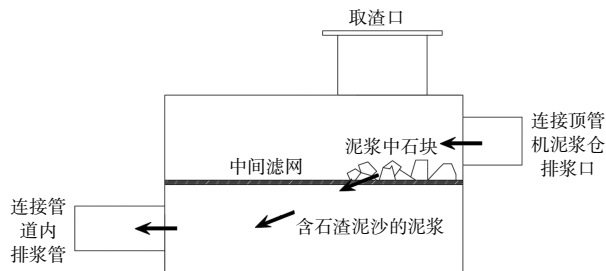


图 2 新型泥浆仓石块分离装置示意图

泥浆净化装置与泥浆箱组合使用泥浆快速分离净化系统，将泥浆净化筛砂机放置于泥浆箱上方，利用串联泥浆箱组成大型储浆池，将常规的沉淀池沉淀分离石渣泥沙方式改进为利用泥浆净化装置直接筛除分离。裹挟石渣泥沙的泥浆通过泥浆净化筛砂机，可利用振动筛高效快速分离泥浆中杂质，效率相比常规方式有显著提升。

4 理论计算

为泥水平衡顶管机循环泥浆管路选择合理流量抽浆泵，可保证裹挟有石渣泥沙泥浆有效抽排。

顶管机泥浆仓沉淀沉渣的主要组成部分是沉渣颗粒，假定沉渣颗粒为球形，重力为 G ，颗粒在浆液中的浮力为 F ，球形颗粒在浆液中的沉降阻力为 R 。当 $G > F$ ，颗粒下降沉淀，速度逐渐增大，阻力 R 也随之增大，最终达到 $G = R + F$ 的状态，沉渣颗粒将会以恒速 v_0 下降。根据雷诺格公式可得沉降速度 v_0 的计算公式如式(1)所示。

$$v_0 = \sqrt{\frac{4g\delta(\rho_s - \rho)}{3c\rho}} = k\sqrt{\frac{\delta(\rho_s - \rho)}{\rho}} \quad (1)$$

式中： δ 为球形颗粒直径，m； ρ_s 为沉渣颗粒密度， kg/m^3 ； ρ 为泥浆密度， kg/m^3 ； g 为重力加速度， m/s^2 ； c 为固体颗粒阻力系数； k 为颗粒形状系数，球形颗粒时 k 值取 $[4, 4.5)$ ，不规则形状颗粒时 k 值取 $(2.5, 4)$ 。

泥水平衡顶管工艺循环泥浆颗粒的尺寸与刀盘口径和地质条件有关，根据颗粒直径计算沉降恒速，进而可以求出抽排泥浆时需要的泥浆流量。泥浆流量计算公式如式(2)所示。

$$Q = v \times S \quad (2)$$

式中: v 为流体流速, m/s ; S 为管道截面积, m^2 。
假设泥浆中沉渣颗粒直径 $\delta=0.02\text{ m}$, $\rho_s=2.5\times 10^3\text{ kg/m}^3$, $\rho=1.8\times 10^3\text{ kg/m}^3$, k 值取 4, 计算可得:
 $v_0=0.35\text{ m/s}$ 。

排浆管直径 150 mm , 计算可得: $Q=22.3\text{ m}^3/\text{h}$, 即实际流速 $v_s>0.35\text{ m/s}$ 时沉渣不下降能随泥浆携带而出, 需要泵满足的流量也需大于 $22.3\text{ m}^3/\text{h}$ 。

实际应用中抽浆泵的流量也受其实际扬程影响, 实际扬程 H 计算公式如式(3)所示。

$$H=H_x-S_xQ_s^2$$

(3)

式中: H_x 为电泵理论扬程, m ; Q_s 为实际流量, m^3/h ; S_x 为泵的内部摩阻。

由上式可得, 实际流量 Q_s 计算式如式(4)所示。

$$Q_s=\sqrt{(H_x-H)/S_x}$$

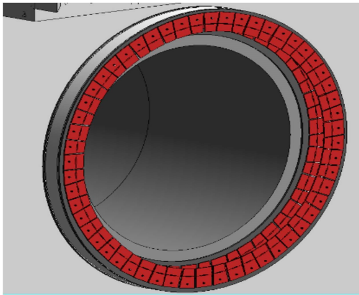
(4)

在抽浆电泵 H_x 及 S_x 皆不变的情况下, 实际流量 Q_s 的值就由实际扬程 H 确定, 因此实际操作选择电泵型号时, 可以根据泵下放深度确定实际扬程, 进而选择流量合适能够满足排浆要求的电泵。

5 工艺应用

5.1 洞门止水措施改进应用

洞门止水措施改进为双层活页压板配套双层密封橡胶圈, 双层密封橡胶圈利用活页压板固定于洞门圈梁 2 道横向板, 洞门圈梁材质 Q235B, 止水橡胶圈厚 12 mm , 圈梁与混凝土侧壁之间选用 C50 早强细石混凝土。双层洞门止水装置见图 3。



(a) 设计图



(b) 实物图

图 3 双层洞门止水装置

5.2 轨道梁加固措施改进应用

轨道梁采用预埋支撑钢构件、加设混凝土基座梁以及选用改良无缝钢圆管的方式进行改进加固, 所设混凝土基座梁选用 C30 混凝土, 改良无缝钢圆管直径 80 mm 、厚度 8 mm , 沿轨道梁四周共设置 12 道, 前后各 2 道, 左右各 4 道。

5.3 管道吊装吊具改进应用

新设计管道吊具横梁及勾板均采用 Q235B 材质钢板焊接加工而成, 勾板上部附着橡胶板, 避免与管道内壁刚性接触。新型管道吊装专用吊具应用效果图如图 4 所示。



图 4 新型管道吊装专用吊具应用效果图

5.4 泥浆配比优化改进应用

对于触变减阻泥浆, 经试验验证最优配合比调配后的泥浆, 性能参数表如表 1 所示。

表 1 触变减阻泥浆性能参数表

漏斗黏度/s	失水量/mL	终应力/Pa	密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	稳定性/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
1'19"2	12.6	80	1.26	0~0.001

对于泥水平衡循环泥浆, 经试验验证循环泥浆指导密度参数最适宜范围为 $1.8\sim 2.3\text{ g/cm}^3$ 。

5.5 沉渣分离装置改进应用

新型泥浆仓石块分离装置高度约 60 cm , 采用 DN1000 mm 钢管改造而成, 在钢管正中间焊接由 $\phi 8\text{ mm}$ 的 HRB400 钢筋焊接成的筛网。筛网为方块网格, 网格尺寸为 $2\text{ cm}\times 2\text{ cm}$, 经筛网分割后的上下部空间高度各为 30 cm 。泥浆首先进入上部空间, 经筛网筛除石块后, 再由下部空间排出进入排浆管路。同时装置顶盖上焊接圆形法兰接口, 接口直径为 30 cm , 此法兰接口为取渣口, 分离装置使用一段时间后, 打开法兰接口, 从取渣口处清理出筛离的石块。

6 应用创新

1) 改进后的洞门止水装置,将单层止水优化为双层止水,升级采用活页压板保护橡胶止水圈,有效隔绝了地下水渗漏现象,保障了洞门圈止水效果。

2) 改进后的轨道梁加固措施,可有效避免轨道梁因受力产生的位移变形,保障了管道顶进安装施工精度。

3) 新型管道吊装专用吊具,取代原吊带兜吊方式,省时省力,有效提高了管道吊装效率。

4) 优化后的泥浆配比,经实际应用,可有效改善触变减阻泥浆功效,最大程度提高循环泥浆沉渣裹挟率,提质增效。

5) 新设计沉渣分离装置,利用新型泥浆仓石块分离装置可有效解决排浆管路堵塞难题,利用泥浆净化装置与泥浆箱组合使用的泥浆快速分离

净化系统相比原沉淀工艺可有效提高石渣泥沙分离效率。

7 结语

临海暗埋大直径泥水平衡法顶管安装施工过程中,针对洞门止水、轨道梁加固、管道吊装处理、触变减阻泥浆配比、循环泥浆配比、沉渣分离装置等方面做出相应技术改进提升,达到管道安装提质增效的目的。后续将从泥水平衡法顶管施工整套工艺系统完善性方面开展研究,从经济高效环保方面考虑,推行工序施工中更多更好的改进措施,进一步完备工艺优化方法。

参考文献:

- [1] DG/TJJ 11324—2017,顶管工程施工规程[S].
- [2] 潘立.大刀盘泥水平衡式长距离大口径顶管施工技术[J].建筑施工,2016,38(8):1132-1134.
- [3] 吴全科,林洁曼,林超.软弱土质大口径长距离钢筋混凝土管泥水平衡顶管施工技术[J].非开挖技术,2011(4):42-48.