

湿陷性黄土地层中直接采用 PCCP 顶管输水的可行性分析

王为民

(山西省运城水利勘测设计研究院,山西 运城 043100)

【摘要】 本文创造性地在普通 PCCP 预应力管芯外侧包设非预应力混凝土保护层,使得 PCCP 顶管直接用于压力管道输水,并在山西省内禹门口提水东扩工程中首次成功使用。本文对顶进土层物理力学参数、顶管覆盖层厚度、施工所需顶力、管道允许顶力、PCCP 顶管防渗结构,以及经济效益进行了分析。该方法降低了施工难度、缩短了工期、节省了投资。

【关键词】 湿陷性黄土;顶管;PCCP;压力管道输水

中图分类号: TV672+.2

文献标志码: B

文章编号: 1005-4774(2018)01-024-03

Feasibility analysis on directly applying PCCP pipe-jacking water delivery in collapsible loess formation

WANG Weimin

(Shanxi Yuncheng Water Conservancy Survey and Design Institute, Yuncheng 043100, China)

Abstract: Non-prestressed concrete protective layer is wrapped outside common PCCP prestressed pipe core creatively in the paper. Therefore, PCCP pipe jacking is directly used in pressure pipeline water delivery, which is used successfully for the first time in Ymenkou water lifting eastward expansion project in Shanxi Province. In the paper, the physical and mechanical parameters of jacking soil layer, jacking pipe covering layer thickness, jacking force for construction, pipeline allowable jacking force, PCCP jacking pipe seepage control structure and economic benefits are analyzed. The method reduces the construction difficulty, shorten the construction duration, and saves the investment.

Key words: collapsible loess; pipe jacking; PCCP; pressure pipeline water delivery

1 前言

长距离输水管线工程大多都要穿越公路、铁路、地面建筑物、地下构筑物等,为避免或降低对已有建筑物的扰动,一般采用顶管施工方法。顶管是借助顶推装置,将管道在地下进行逐节顶进安装的非开挖技术。

湿陷性黄土是一种特殊性质的土,土质较均匀、结构疏松、孔隙发育,在未受水浸湿时,强度较高,压缩性

较小。浸水后,在上覆土层自重应力作用下,或者在自重应力和附加应力共同作用下,土的结构迅速破坏,强度迅速降低,产生较大附加下沉。

PCCP 顶管是将普通 PCCP 管芯外层的水泥砂浆保护层更换为非预应力钢筋混凝土结构,以满足顶管施工要求,是一种新型的复合管型。

在湿陷性黄土地层中进行管道输水建设,关键是做好管道接头防渗处理,防止地层受水浸湿引起附加

沉降而对工程造成危害。因此,在湿陷性黄土地区的输水工程一般采用传统的钢筋混凝土顶管内穿压力管道方案。顶管内穿压力管道方案是直接采购圆形钢筋混凝土顶管,逐节顶进形成圆形涵洞,然后在圆涵内部穿越压力管道。外部顶管承受外部及车辆荷载,内穿管道承受内水压力,这种组合式结构便于管道检修及事故处理,且输水管道失事后不会对铁路、公路等建筑物造成破坏性影响,但是结构复杂、工序繁多、内穿管道难度大、工期长、投资较大。禹门口提水东扩工程创造性地将PCCP顶管直接用于压力管道输水,并在山西省内首次成功使用,降低了施工难度,缩短了工期,节省了投资。

2 顶进土层分析

2.1 顶进土层物理力学性质参数

根据《给水排水工程顶管技术规程》(CECS 246—2008)(以下简称《规程》),顶管可在淤泥质黏土、黏土、粉土及砂土中顶进。禹门口提水东扩工程输水线路经过的主要地貌为山前冲洪积倾斜平原区、汾河河谷、漫滩及阶地,管线经过地段地下水埋深大于15m。地层为Ⅱ~Ⅳ级湿陷性低液限粉土和低液限黏土,土体结构较松散,土质均匀,含少量钙质结核。土层中砾石含量小于30%或粒径大于200mm的砾石含量小于5%,渗透系数不小于 10^{-2} cm/s,低液限粉土承载力80~100kPa,低液限黏土承载力100~120kPa,可满足顶管土体承载力不小于30kPa的要求,适合于手掘式顶管施工。

2.2 管顶覆盖层厚度

根据《规程》,管顶覆盖层厚度在不稳定土层中宜大于管道外径的1.5倍,并大于1.5m。在满足规程及公路部门要求的前提下,通过挖掘面稳定计算复核后确定^[1]。

a. 挖掘面的自稳深度计算。

$$h_0 = \frac{4c}{\gamma} \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) \quad (1)$$

式中 h_0 ——自稳高度, m;
 c ——土的黏聚力, kPa;
 γ ——土的容重, kN/m³;
 φ ——土的内摩擦角, °。

当工具管的外径小于 h_0 时,挖掘面就可以保持稳定。

b. 最小覆土深度。

$$h = \frac{\gamma B_s B_c + 4c \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \operatorname{tg}\varphi (B_s + B_c) - 2c(B_s + B_c)}{(B_s + B_c)\gamma + \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \operatorname{tg}\varphi} \quad (2)$$

式中 B_s ——挖掘长度, m;
 B_c ——工具管外径, m。

实际覆土深度大于计算值 h 时,覆土深度是安全的。

c. 卸荷拱作用。

卸荷拱的跨度:

$$2\alpha = B_c \left[1 + \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \right] \quad (3)$$

卸荷拱的高度:

$$h = \frac{\alpha}{f_{kp}} \quad (4)$$

式中 α ——卸荷拱跨度, m;

f_{kp} ——土层的坚固系数, $f_{kp} = \tan\varphi$ 。

当覆土深度不小于两倍卸荷拱高度,则为安全的。

d. 挖掘面滑移稳定。

覆土深度:

$$h \geq \frac{5.67}{\pi c - \gamma B_c} - 0.1 \quad (5)$$

3 顶进能力分析

3.1 施工所需顶力

施工所需顶力的确定主要根据地质条件、施工方式、顶进距离、管材等多方面因素进行综合确定,设计计算一般采用《规程》中的公式估算^[2]。

$$F_0 = \pi D_1 L f_k + N_F \quad (6)$$

式中 F_0 ——总顶力标准值, kN;

- D_1 ——管道外径, m;
- L ——管道设计顶进长度, m;
- f_k ——管道外壁与土的平均摩阻力, N/m^2 ;
- N_f ——顶管机的迎面顶力, kN。

迎面顶力主要取决于施工方式, 该工程采用人工挖掘式, 其迎面顶力 N_f 可按下式计算:

$$N_f = \pi(D_g - t)tR \quad (7)$$

- 式中 D_g ——顶管机外径, m;
- t ——刃口厚度, m;
- R ——挤压阻力, kN/m^2 , 可取 $300 \sim 500 kN/m^2$ 。

3.2 管道允许顶力

钢筋混凝土管道顶管传力面允许最大顶力按下式计算:

$$F_{dc} = 0.5 \frac{\phi_1 \phi_2 \phi_3}{\gamma_{Qd} \phi_5} f_c A_p \quad (8)$$

- 式中 F_{dc} ——混凝土管道允许顶力设计值, N;
- ϕ_1 ——混凝土材料抗压强度折减系数, 取 0.9;
- ϕ_2 ——偏心受压强度提高系数, 取 1.05;
- ϕ_3 ——材料脆性系数, 取 0.85;
- ϕ_5 ——混凝土强度标准调整系数, 取 0.79;
- f_c ——混凝土抗压强度设计值, N/mm^2 ;
- A_p ——管道的最小有效传力面积, mm^2 ;
- γ_{Qd} ——顶力分项系数, 取 1.3。

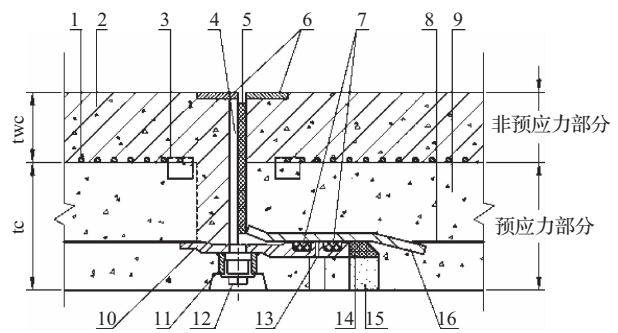
3.3 PCCP 顶管结构特性分析

a. 满足顶管顶力要求。PCCP 顶管先按普通 PCCP 的要求制作带钢筒的混凝土管芯, 缠绕预应力高强钢丝, 再在其外部制作非预应力钢筋骨架, 浇筑外圈混凝土, 使内部预应力钢筋混凝土和外部非预应力钢筋混凝土共同承担轴向顶力。顶管结构如右图所示^[3]。外侧混凝土厚度根据顶力计算确定。

外圈钢筋混凝土外侧壁的承口端和插口端固定有加强钢环, 增强了管端的局部承压力。

顶进施工时在管道端部加设木垫板, 起到缓冲和均布顶推力的作用。

b. 减小摩阻力。外圈钢筋混凝土的插口端面设



PCCP 顶管结构图

- 1—预应力钢丝; 2—外圈钢筋(钢纤维)混凝土; 3—钢丝锚固件;
- 4—注浆通道; 5—木垫板; 6—加强钢环; 7—橡胶密封圈(第一道止水);
- 8—钢筒; 9—混凝土管芯; 10—插口钢环; 11—注浆孔; 12—管堵;
- 13—试压孔; 14—聚硫密封胶(第二道止水); 15—聚脲防水涂层(第三道止水); 16—承口钢环。

置半圆形注浆通道, 插口钢环上设置注浆孔, 并在内壁焊接注浆管, 注浆管与注浆通道相连, 顶进过程中可以注入触变泥浆以减小顶进过程中的摩阻力。

4 PCCP 顶管防渗结构分析

a. 管材。PCCP 顶管内圈采用经过水压试验的钢筒抗渗, 可以承受很高的工作压力, 外圈钢筋混凝土保护预应力钢丝不受外界腐蚀, 从而保证 PCCP 顶管的抗渗性和耐久性。

b. 接头止水。禹门口提水东扩工程 PCCP 顶管接头止水分三道: 第一道与普通 PCCP 相同, 采用双胶圈止水。PCCP 接头采用 O 形胶圈密封, 承插口钢圈是经过超过材料屈服极限的胀圆机加工成型的, 尺寸精准。承口呈钟形, 具有安装自定位的作用; 插口是带有双凹槽的特制型钢, 密封橡胶圈按照与胶槽等断面设计, 填充在凹槽内, 安装好以后的橡胶圈受双向挤压, 形成很好的密封力。

第二道在管内接缝底部采用聚硫密封胶勾缝, 厚度 25mm; 第三道在管道内壁接缝处涂刷聚脲防水涂层, 宽度 300mm, 厚度 2mm。聚硫密封胶和聚脲涂层与混凝土及钢材的黏接力较强, 耐久性较好, 可起到很好的止水效果。

(下转第 3 页)