

顶管施工在市政工程中的实际应用

丁 豪 龚福鑫 贺志宏

俞亚南

(杭州市城建设计院 310001)

(浙江大学土木系 310000)

(City Building Design Institute of Hong Zhou)

(Civil Dept. of Zhejiang University)

摘要 本文概述了在软土地基中施工排水管道时,通过对开槽埋管及顶管 2 种不同施工方法的比较后,所采用的顶管设计及施工方法。

关键词 顶管 长距离曲线顶管 设计 应用

ABSTRACT The two constructive methods of the open cut installation method and the pipe jacking method are compared in the paper, and the design and construction of the pipe jacking method are summarized briefly.

KEYWORDS Pipe Jacking Long distance curvature jacking Design Application

一、工程概况

杭州市湖州路排水管道工程位于杭州市北部。本次工程实施,以台州路起始至上塘路为止,总长约 1.4km,路幅宽度 36m。道路下管线分别为 D300~D800 雨水管和 D300~D1000 污水管,路南侧埋设 1 根 D2000 污水管,原设计采用开槽埋管。该管段在小河路至京杭大运河段,约 210m 长紧贴路侧有大量房屋,管道埋深约为 6.1~7.1m。管道底穿越 4-1 层淤泥粘土层和 4-2 层淤泥质粉质粘土,地质情况见表 1。

表 1 工程段地质情况

分层号	土层名称	厚度 (m)	含水量 (标准值) W	孔隙比 e	压缩模量 E_{51-2} (MPa)	锥头阻力 q_c (kPa)	土性	承载力 f_k (kPa)
1-1	杂填土层	1.0~3.4m					灰褐色,夹有碎石石子,砂粒等	85kPa
1-2	淤质填土层	0.0~0.6m					灰褐—灰黑色,软塑,含有机质	51kPa
2-2	粉土	0.0~2.0m	33.5%	0.910	6.4	2166kPa	黄褐色—青灰色稍密,含云母	119kPa
4-1	淤泥质粘土	1.4~2.2m	49.9%	1.382	3.7	900kPa	灰色,流塑—软塑,含有机质	62kPa
4-2	淤泥质粉质粘土	5.7~4.7m	43.3%	1.172	2.3	417kPa	灰色、泥塑,含少量粉土	81kPa

根据土质等情况提出该段采用长距离顶管一次顶进补位的方案。

二、开槽埋管和顶管的比较

首先,开槽埋管单纯从地质情况分析:D2000 心模振动管埋深较大,管底座落于 4-1 淤泥质土层,管基须采用钢筋砼管基础底板。上部土层为粉土层,下部土层为淤泥质粉质粘土层,这给基槽大开挖带来很大困难,既要考虑多种降水方式,又要考虑基槽正常围护。而且,路侧紧贴大量 2 层木结构房和 3 幢连排 5-6 层砖混房,使基槽开挖难度更大,如开挖基槽,则须作房屋加固围护措施,势必极大增加工程造价。其次,从管道地基设计方面分析:开槽后须采用有效的管道地基处理方法,如木桩或水泥搅拌加固地基。再夯填大块石垫层和浇筑水泥稳定碎石层,再做钢筋砼底板基础,实施砂石坞管,由于对基底土有较大扰动,仍无法有效减少管道实际沉降。而顶管方法由于管与土同体积置换效应和土拱效应,则可在较大程度上减少管道沉降。

表 2 顶管与开槽埋管分析比较表

事项特征 施工方式	围护	降水	地基处理	与引桥配合 施工总工期	经济性	工作场地 限制	环境社会 影响难度
顶管施工	无需围护	无需降水	无需地基加固,沉降很小	较短	略低	除井位外,限制较少	影响少
开槽埋管 施工	至少采用钢板桩围护,房屋处采用钻孔桩或高压旋喷桩围护	上部粉土层,采用井点降水;下部淤泥质土层,采用集水坑降水	采用桩基加固或水泥稳定碎石和钢筋砼基础底板仍有沉降	较好	略高	全线开挖,限制较多	影响大

另外,以施工工期分析:在京杭大运河处,引桥的施工与管道施工可同步进行,既缩短了工期,且场地整洁,不影响桥面施工。最后从经济性分析计入管基地基处理、管道基础、开挖土方量围护费用造价,则顶管综合造价略低于开槽埋管。

三、顶管设计方法

1. 顶推力计算

本工程采用 F 型接口的钢筋砼管,见图 1。

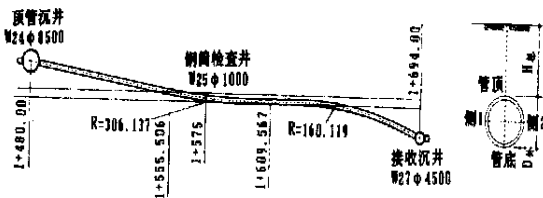


图 1 平面示意

(1) 管外壁阻力

$$W_{\text{外}} = N \mu F = M F$$

式中 $W_{\text{外}}$ —管外壁摩阻力;

N —每 m^2 管子外表面上的法向力;

μ —表面摩擦系数;

F —管子外表面面积;

M —每 m^2 管子外表面的单位摩阻力

$$M = N \mu.$$

法向压力在:管顶处为 $N_{\text{顶}} = H_{\text{有效}}$; 管侧 1 处为 $N_{\text{侧1}} = (H_{\text{有效}} + D_{\text{外}}/2) \cdot 1$; 管侧 2 处为 $N_{\text{侧2}} = (H_{\text{有效}} + D_{\text{外}}/2) \cdot 2$; 管底处为 $N_{\text{底}} = (H_{\text{有效}} + D_{\text{外}}) + G/D_{\text{外}}$ 。式中, $H_{\text{有效}}$ 为有效覆土高度。当机具头的刃脚压入土层时,在刃脚和后续顶管上将形成一个拱顶,这样压在管子上的就不是管顶上方的全部土体,而只是部分土拱。其拱高即为有效覆土高度 $H_{\text{有效}}$ 。 $H_{\text{有效}}$ 随时间增大,直到达 $H_{\text{最大}}$ 为止。最大覆土高度数值取决于土层,管子外径,总覆土高度 $H_{\text{总}}$,以及车荷震动等外部影响,而且与时间相关。

前式中 N 的取值:

当土拱整个位于地下水位下: $N_{\text{水下}} = \gamma \cdot h - 8$

当土拱部分位于地下水位下: $N_{\text{平均}} = (H_{\text{水上}} \cdot \gamma_{\text{水上}} +$

$$H_{\text{水下}} \cdot \gamma_{\text{水下}}) / (H_{\text{水上}} + H_{\text{水下}})$$

当水平曲线顶管时,把管顶、管侧、管底法向力取算术平均值,即:

$$M = \mu [\text{平均} (H_{\text{有效}} + D_{\text{外}}/2) (2 + 1 + 2)/4 + G/4 D_{\text{外}}]$$

当空间曲线顶管时,把管顶、管侧、管底法向力取算术平均值:

$$M = \mu [\text{平均} (H_{\text{有效}} + D_{\text{外}}/2) (\text{管顶} + \text{侧1} + \text{侧2} + \text{底} / 4) + G / (4 D_{\text{外}})]$$

式中, μ 为主动或被动土压力系数。

顶管总长为 L 时,总管外壁摩阻力为:

$$W_{\text{外总}} = MFL = N \mu FL$$

如设中继间时,第 1 个中继间的顶推力为:

$$P_1 = (D_{\text{外}}^2/4) B + D_{\text{外}} \cdot L_1 M$$

式中, L_1 为机具头到第 1 个中继间的距离。

其后第 2 个中继间的推力为:

$$P_2 = D_{\text{外}} \cdot L_2 M$$

式中, L_2 为第 1 个中继间到第 2 个中继间距离。

(2) 顶管前壁阻力

$$W_{\text{前}} = (D_{\text{外}}^2/4) B$$

式中 $D_{\text{外}}$ —机具头外径;

B —前壁单位面积阻力。

(3) 合计顶推力

$$P = W_{\text{外总}} + W_{\text{前}}$$

通过顶力计算,在顶进 177m 处(即 59 节管接口处)设一个中继间,通过中继间再将 42m 管道(14 节管)顶入接收井。施工方法采用土压平衡法顶进,采用 4 个 200t 千斤顶合计 800t 极限顶力。实际施工中最大顶力约为 700kN,主油缸的油缸压力随顶进过程的变化曲线见图 2。

2. 顶进工作坑计算

工作坑采用沉井法施工,兼作检查井之用。在实际顶管过程中,通常不考虑侧壁范围内摩阻力和底部摩阻力。这是因为顶力反复作用下,造成空隙水压力增大,有效应力降低,且井外壁空隙灌砂不实或土体未能完全固结;顶力偏心作用,使底部摩阻力有所减少,故最后作用简图见图 3。

$$P = (F_p - F_a) / S$$

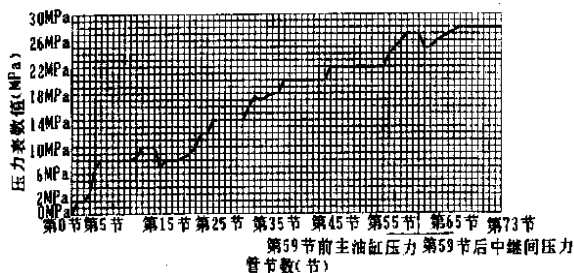


图 2 顶进压力曲线

式中 P —最大顶力值;

 F_p —作用于后壁的被动土压力;

E_a —作用于前壁的主动土压力;

S —后井稳定系数, $S = 1.0 \sim 1.2$, 软土地基宜取 1.2。

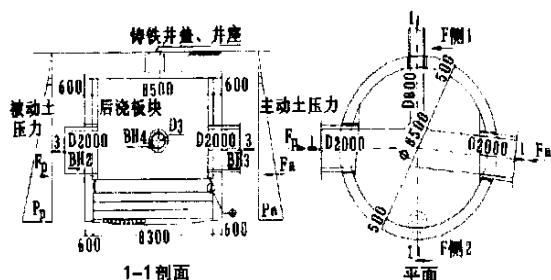


图 3 作用力示意

3. 接收坑采用沉井法施工，并兼作检查井之用，见下图 4。

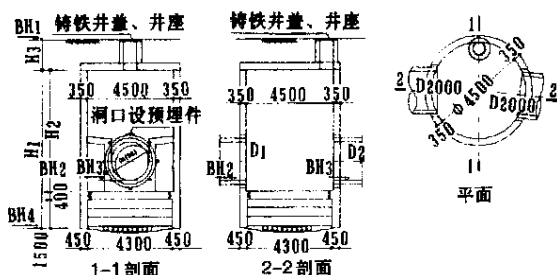


图 4

4. 钢筒砦检查井

作为中间连接支管的检查井。在井位处,管侧先用水泥注浆,加固管底地基与钢筒和管相接处的止水帷幕。采用 1t ~ 1.5t 的振动锤打入钢筒,再在钢筒内浇筑钢筋砼内衬。

四、顶管施工要点

1. 采用触变泥浆,在管道外围空隙中压入触变泥浆,能较大地减少管壁外摩阻力,对计算结果影响较大。可减少地层流失,控制地面沉降。对顶管机头尾端的压浆要紧随管道顶进同步压浆,在中继间和中部管节处须跟踪补浆,压浆压力为覆土容重的 2-3 倍。通过以上压浆措施,达到预期效果。

2. 顶进中须严格按设计曲线顶进，可利用削土刀盘上可伸缩的超提刀，结合千斤顶编组进行纠偏。通过及时纠偏，平面偏差 $< 150\text{mm}$ ，相邻管间错口 $< 15\%$ 壁厚，且 20 ，竖向偏差控制在 $+120 \sim 140\text{mm}$ 以内，水平偏差控制在 $\pm 150\text{mm}$ 以内（因为目前暂无长距离顶管偏差控制值，故参照国内城市操作方式，所列数据为暂定控制值规范中）。

3. 在建筑物密集处须作监测布置，观测地表变形和土体位移，有效避免房屋损伤。

4. 顶进中遇障碍物后的顶进处理, 成为困扰设计施工的难题, 如突遇大量埋木和老河道驳坎等等, 都需现场研究给出解决的技术措施。

五、前景瞻望

顶管设计在市政工程中,特别是深覆土大管径的管道工程和交通繁忙的城市主干道改造工程设计中尤显重要。在特定工程条件下,相对于开槽埋管更具有优越性。本工程实例为杭州市市政工程中一次长距离曲线顶管成功先例。但工程中还存在不完善之处,如管线偏差的问题,还需作进一步的深入研究。

参考文献

- [1] [西德] 马谢尔勒著. 顶管工程. 漆平生, 杨顺吉, 李周译. 中国建筑工业出版社出版, 1983 年 5 月
- [2] 建筑基坑工程技术规范. 中华人民共和国冶金工业部发布 1998 年 5 月
- [3] 市政工程施工及验收技术规程. 上海市市政工程管理局 1993 年
- [4] 孙更生, 郑大同主编. 软土地基与地下工程. 中国建筑工业出版社, 1984 年 9 月
- [5] 龚晓南著. 地基处理新技术. 陕西科学技术出版社, 1997 年 6 月