

顶管施工的顶力设计计算研究

何 莲 刘灿生 帅华国

提要 针对目前顶管顶力设计计算中存在的问题,通过现场实测软土条件下采用泥水平衡或土压平衡工具管顶进过程中顶力的变化情况,系统研究了顶力变化规律,提出了一个合理计算顶力的方法。

关键词 顶管 顶力 设计 计算

0 前言

目前,顶管技术发展较快,但顶管顶力的计算尚不完善,顶力计算直接影响工作坑后背设计以及确定顶力,管节强度的要求和中继间的设计和设置。对顶管作业是至关重要的。

现有的顶力计算公式较多、较乱,适用条件不明确,造成计算时无从选择,多凭各自的经验估计。现将收集到的 27 个顶力计算公式进行归纳,发现主要存在以下几个问题:

(1)各公式计算差值很大。公式形式上可分为三类:理论公式、半经验公式和经验公式。理论公式引入了若干假定,未考虑注浆润滑引起的折减系数,所算值较大。因影响顶管的因素较多,不同地区顶管顶力的变化情况不同,即使是同一地区,同一管段的顶力变化差异也很大。所以很多经验公式都只能适用于特定的条件,如某种土质、一定的管径范围、顶进长度等。

(2)在各公式中,管土接触摩擦系数均采用不变的数值进行计算,而实际因土层的复杂性,这一系数并非一成不变。

(3)公式中未考虑管轴偏向、坡度、注浆、土质变

化及地下水位的影响。

这样导致顶力计算差异很大。

1 实际顶管过程中顶力变化分析

1.1 实际工程概况

沿海某市污水管道顶管工程,现场测试主要针对其中 9 个标段的顶管进行,各段具体情况见表 1。

1.2 现场测试内容

通过对现场各段进行跟踪测定,测定内容如下:

(1)根据千斤顶压力表的读数记录各管段沿途顶力的变化情况,并绘制出顶力顶距变化曲线图。

(2)通过前方工具管刀盘上的土压力表读数测定前方土压力随顶力的变化关系。

(3)通过经纬仪和水准仪分别测定沿途管线的水平和高程偏差情况。

(4)测定每天的注浆量和注浆压力变化情况。

(5)通过每隔一定距离取样,分析沿途土质的变化(含水量、含砂量、土的重度、土的内摩擦角等)。

1.3 测定结果分析

根据工程的特点及实测顶力变化情况,总结出顶管施工中影响顶力的主要因素有如下几点:

(1)地质条件的影响。主要包括含砂量、粘聚力

表 1 现 场 基 本 情 况 一 览

各段标号	01	02	03	04	05	06	07	08	09
顶进长度/m	287.2	371.6	113.7	175.7	119.7	248.3	333.4	348	465.4
顶管外径/mm	1 920	1 920	2 400	2 160	2 160	2 160	2 160	2 640	2 640
地质条件	淤泥夹砂	淤泥夹砂	淤泥夹砂	淤泥夹砂	淤泥夹砂	淤泥夹砂	淤泥夹砂	淤泥夹砂	淤泥夹砂
管道埋深/m	6.1	6	6.1	5.5	5.5	5	4.5	6.5	6.5
注浆情况	有	有	有	有	有	有	有	有	有
掘进机形式	土压平衡	土压平衡	土压平衡	土压平衡	土压平衡	土压平衡	土压平衡	土压平衡	土压平衡
出土方式	车辆运输	车辆运输	车辆运输	泥水管道运输	泥水管道运输	泥水管道运输	泥水管道运输	泥水管道运输	泥水管道运输

C , 内摩擦角 ϕ , 地下杂质, 地下水位的影响。

(2) 管径的影响。根据实测顶力变化情况, 将相同条件下不同管径的顶力进行比较, 图 1 中三条曲线分别表示 50, 100, 150 m 三种顶距情况下, 顶力随管径的变化情况。可见, 顶力随着管径的增大而呈线性上升趋势, 管径愈大, 顶力愈大。

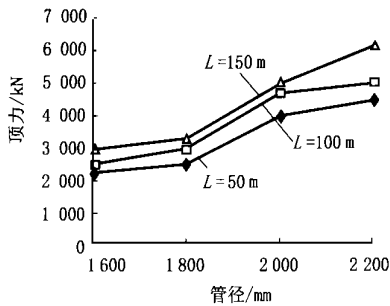


图 1 顶力 - 管径变化

(3) 注浆的影响。注浆效果直接关系到顶力的大小。注浆的顶力明显减小, 未注浆顶管管外壁的单位面积摩擦阻力约为 20 ~ 30 kN, 有时会再增大 2 倍。注浆后顶力可减少到 1/3 ~ 1/4。

(4) 顶进过程中停止时间过长, 重新启动顶力会增大。由于停顿时间长, 四周松土会坍落在管壁上抱实, 同时水分也会从减阻浆液中离析出来, 失去减阻支承作用, 顶进阻力则增大。

(5) 管线偏差的影响。在顶进中不断出现偏差, 校正过多, 因阻力增加也会使顶力增大。一般在进出洞口处, 管线偏差较大, 纠偏次数也较多, 顶力增加很大。从顶力曲线图(见图 2)中可看出在曲线的两端顶力变化较剧烈。

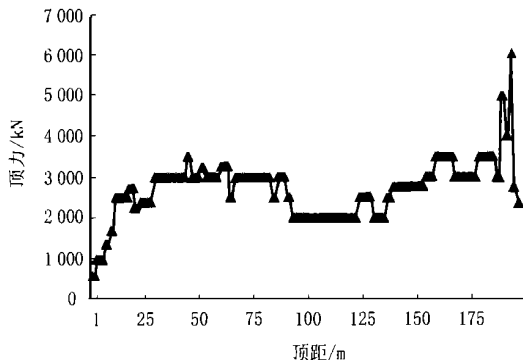


图 2 顶力 - 顶距变化

2 顶力计算公式介绍

从顶管过程中顶力分析, 可看出影响顶力的主

要因素有管径 D , 粘聚力 C , 含砂量 S , 管埋深 H , 土壤重度 γ , 管长 L , 土对管的作用力 N , 土体内摩擦角 ϕ , 管壁与土的接触摩擦系数 μ , 顶力 P 的表达函数应为:

$$P = P(D, H, L, C, S, \gamma, \phi, \mu, N)$$

其中只有 D, H 为常数, 其它为变量。 C, S, γ, ϕ 为土质参数, 在顶管过程中都有可能发生变化; μ 在顶管中受到土质参数、触变泥浆套形成效果、泥浆浓度等影响; N 在整个顶进过程中是个变量。

本文着重对该种条件下采用土压或泥水平衡顶管的顶力计算公式进行分析。公式推导的假定条件: 假设管土接触均匀; 迎面土压力计算时暂不考虑地下水的影响; 管材为钢筋混凝土管; 沿途地质情况无显著变化; 忽略地面附加荷载的作用; 采用单位面积摩擦力 f 以综合反映 $C, S, \gamma, \phi, \mu, N$ 等参数的影响。

3 顶力计算公式

计算顶力公式由工具管迎面阻力和管道摩阻力两部分组成。管道摩阻力与土层性质, 接触的紧密度, 触变泥浆情况有关。综合体现为:

摩擦系数的选用。如果还用摩擦系数表示, 其值可能较选用数值增大若干倍。在本文顶力计算公式推导中, 将这一影响归到安全系数中去。在顶力计算中, 着重考虑采用触变泥浆对摩擦系数的影响。公式表示为:

$$P = K(P_F + F_2)$$

式中 P ——总顶力, kN;

P_F ——迎面阻力, kN;

F_2 ——管道摩阻力, kN;

K ——安全系数, 可取 1.0 ~ 2.5, 对于非粘性土 $K = 1.5 \sim 2.5$, 粘土 $K = 1 \sim 1.5$ 。

3.1 迎面阻力

对于采用土压平衡和泥水平衡的顶管, 通常迎面土压力都控制在主动土压力与被动土压力之间, 一般泥水平衡泥仓压力和土压平衡掘进机土压力应为前静止土压力的 1.0 ~ 1.1 倍。根据从现场所测数据推算的迎面阻力值及现场挖掘面上的压力表读数, 迎面阻力可近似采用管中心所受的静止土压力计算, 即

$$P_F = (H + D_1/2) K_0 D_1^2/4$$

式中 K_0 ——静止土压力系数,与土的性质有很大的关系,粘性土中, K_0 可在 0.33~0.70 间取值。也可按以下公式计算: $K_0 = 1 - \sin\phi$;
——土壤重度, kN/m^3 ;
 D_1 ——工具管外径, m ;
 H ——管顶覆土高度, m 。

3.2 管外壁摩阻力

3.2.1 采用触变泥浆

$$F_2 = DLf$$

式中 D ——管道外径, m ;
 f ——单位面积管壁与土的平均摩阻力, kN/m^2 。

在实测顶力资料基础上,根据 $f = (P - P_F)/(DL)$,代入实测顶力数据,算出各段的单位面积摩阻力随顶距的变化情况,作出 f 与顶距 L 的关系曲线,并采用回归分析法,得出 $f \sim L$ 曲线的回归曲线和回归方程,见图 3,其中假定单位面积迎面阻力 P_F 为一定值 450 kN 。

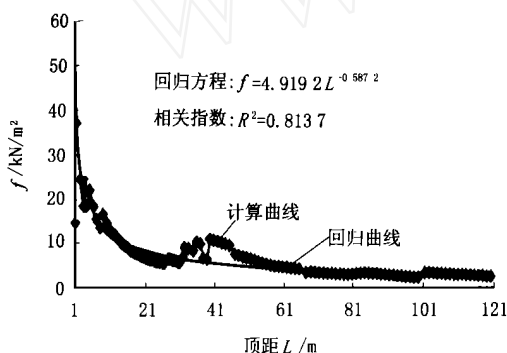


图 3 单位面积摩擦力变化

从图 3 中可看出, $f \sim L$ 的关系并非呈线性关系,而呈幂指数关系,初始阶段单位面积摩阻力较大,曲线较陡,随着距离的加长, f 趋于稳定。将所得回归方程加以总结,并考虑各段之间的差异,得出 f 的计算公式如下:

根据实际变化规律,为便于理解和计算,拟对 f 作如下规定:对于软土地区当 $L \leq 100 \text{ m}$ 时, $f = 50 L^{-0.5} \text{ kN/m}^2$; $L > 100 \text{ m}$ 时, $f = 2 \sim 5 \text{ kN/m}^2$;其它地区可乘以相应的系数。

3.2.2 无润滑剂

可采用以下公式计算,也可采用规范所列出的理论公式计算。

$$F_2 = 1/2 DL\mu(P_1 + P_2) + \mu WL$$

式中 μ ——管壁与土的摩擦系数;
 P_1 ——垂直土压力, kN/m^2 ;
 P_2 ——管道水平土压力, kN/m^2 ;
 W ——单位长度管道自重, kN/m 。

本文提出的顶力计算公式适合软土地区地下水位下的采用土压平衡和泥水平衡的钢筋混凝土管的顶力计算,该修正公式代入实际工程验证,证明与实际较为相等。同时该计算公式与其它公式最大不同之处体现在根据实际顶力随顶距的变化关系,提出了新的单位面积摩阻力的计算公式。现有的顶力计算公式很少有考虑注浆效果的,而现今注浆技术已是顶管施工中必不可少的一道工序,所以本文所提出的顶力计算公式是及时的也是必要的。

参考文献

- 1 余彬泉,陈传灿,编.顶管施工技术.第一版.北京:人民交通出版社,1998:23~25
- 2 许其昌主编.给排水管道工程施工及验收规范实施手册.第一版.北京:中国建筑工业出版社,1998:169~170

作者通讯处:225009 扬州大学水利建筑学院环境工程系
电话:(0514) 7869230

刘灿生 150090 哈尔滨工业大学市政与环境工程学院

电话:(0451) 6282706

帅华国 225009 扬州大学工程设计研究院

收稿日期:2001-2-12

曲阜污水处理厂即将竣工投产

为改善曲阜市水环境,净化市容,曲阜市投资 1.18 亿元在市南部兴建污水处理厂。该厂占地 72 亩,设计污水处理规模为 4 万 m^3/d 。目前,城区内截污管网已铺设完毕,工程施工进入尾声,预计今年 7 月即可竣工投产。届时,长期困扰古城曲阜城区内的水污染问题将会得到根本解决。同时,原排入大沂河的污水已经处理,因而城区老护城河的水质也会得到彻底改变。

(通讯员 张汉俊)

On Treatment of Antibiotic Wastewater by Integrated Two-Stage Anaerobic Reactor

..... Qi Peishi et al (49)

Abstract : In this paper , an integrated two-stage anaerobic reactor was used to treat the anti-biotic wastewater with the max inlet COD being 26 347mg/L , the max volumetric loading rate 8.57 kgCOD/ (m³·d) , the absolute concentration of SO₄²⁻ 1 325mg/L and the COD/ SO₄²⁻ ratio 3. The results showed that this reactor appears fair adaptability and buffering capacity to resist the impacts of organism inhibiting agents and shock loadings.

Problems in the Drinking-Fire Shared Water System for Dwelling Houses

..... Yang Qi (57)

Abstract : The merits of shared water system of dwelling houses for drinking and fire water supply are presented and two major problems i. e. the reliability for fire water and the health safety for drinking water are discussed emphatically. On the basis of multi-factor comparison measures and methods are proposed to solve those problems in the shared water system.

Water System Design of Diving Pool in Shenzhen Natatorium

..... Zhou Wei et al (60)

Abstract : Considerations in the water system design including the water disinfection , the decision of filtration speed and the arrangement of water inlets and overflow openings of the swimming pool as well are presented in this paper.

Application of CASS Process for Wastewater Treatment and Reuse in Residential Quarters

..... Zhang Tong (64)

Abstract : The design principle and common technical scheme of CASS (Cyclic Activated Sludge System) process for wastewater treatment and reuse in residential quarters are described. The CASS process is feasible for residential quarters due to a lot of advantages such as the reliable operation , easy management , low space requirement and low surplus sludge yield and so on. If the effluent of CASS is further treated by membrane filtration and disinfection , the final effluent will be good enough to meet the requirement of the reuse standard for intermediate. This process will be a candidate for the treatment and reuse of wastewater in residential quarters.

Water System Design for Sea Scope Plaza in Shenzhen

..... Yang Donghui (67)

Abstract : The essentials in the water system design of Sea Scope Plaza in Shenzhen city are presented , including the systems for the drinking water and fire water , and the systems for domestic wastewater. Especially the installation of the automatic sprinkling system is described in detail.

Application and Discussion on Solar Hot Water System

..... Zhang Jiguang et al (69)

Abstract : The basic characteristics of hot water system with solar heaters are described and the scheme of solar hot water system (SHWS) for residential buildings is recommended. The analysis of economic feature of SHWS shows that its operating cost is very low and the investment can be recovered in three to four years. As solar energy is infinite and pollution-free energy resource , the SHWS is a desirable energy saving system and worth promoting.

On the Submerged Layout of PP-R Pipeline

..... Li Fayuan (84)

Abstract : Some hot-point problems in the direct concealed installation of PP-R pipeline in dwelling house construction are discussed , including the selection of pipe material , the manner of concealed installation , the thermal jointing of pipes and the pressure testing of pipeline. These shall be helpful to improve the installation quality and to guarantee the normal water supply.

On the Design and Calculation in Jacking Layout of Pipeline

..... He Lian et al (87)

Abstract : Based on the problems lied in the designing of the jacking force , through comparing and analyzing jacking force of the living examples , the changing law of the jacking force was studied systematically and a method for the designing of jacking force was summarized.

Experiences on Construction of Large-Capacity Waterworks and the Automation System in Jiuxi Waterworks

..... Jiang Jishen et al (90)

Abstract : Jiu Xi Waterworks in Hangzhou city is one of the most advanced water enterprises in the world. The automation system of this waterworks is distinctive in every stage of construction from the inviting tender , design , construction and trial operation to normal performance. In the design of the automation system standby (redundant) operation and other advanced techniques of 1990 's worldwide were adopted. The main standard of the automation system , the digital expression of parameters and the experiences in construction of large waterworks are also introduced in this paper.