

# 泥岩中顶管施工顶推力计算的理论分析

赵旭峰<sup>1</sup> 王春苗<sup>2</sup> 孔祥利<sup>1</sup>

(1. 同济大学地下建筑与工程系, 上海 200092; 2. 东南大学土木学院, 江苏南京 210018)

**【摘要】** 随着各类市政工程的发展, 顶管工程已显示出无比的优越性。结合顶管工程现场实测数据, 对泥岩地质条件下顶推力的计算进行了理论分析, 并通过一元线性回归得出在该地质条件下顶推力计算的经验公式。

**【关键词】** 泥岩; 顶管施工; 顶推力

**【中图分类号】** TU 81

## The Theoretical Analysis of Calculation for Jacking Forces in Pipe-Jacking Under the Condition of Mudstone

Zhao Xufeng<sup>1</sup> Wang Chunmiao<sup>2</sup> Kong Xiangli<sup>1</sup>

(1. Department of Geotechnical Engineering Tongji University, Shanghai 200092;

2. College of Civil Engineering Southeast University, Nanjing Jiangsu 210018 China)

**【Abstract】** With the development of municipal engineering, pipe-jacking method is widely used. Considering in-situ test jacking force, calculation for jacking force is studied theoretically under the condition of mudstone, and jacking force calculation formulary is deduced by the linear regression.

**【Key Words】** mudstone; pipe-jacking; jacking force

### 0 引言

随着市政建设的发展, 城市地下管道(隧道)采用顶管法施工正日趋上升。但对该项技术的理论研究还相对滞后, 相关设计规范给出的理论分析方法应用到具体施工中, 产生偏差较大。加强对这项技术的理论研究, 具有现实意义。

### 1 顶管施工中顶推力计算及存在问题

目前, 顶管推力的计算主要考虑克服顶管工具管迎面阻力、上覆土荷载引起的管道外侧摩阻力、管与土之间的粘聚力以及管本身自重产生的摩阻力<sup>[1-4]</sup>。因此, 总顶力的计算公式基本由四部分组成: 工具管前端的迎面阻力; 由于上覆土荷载作用管外壁上产生的摩阻力; 由于管外壁与土之间的粘聚力产生的摩阻力; 由于管段重量产生的摩阻力。

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。将收集到的顶力计算公式进行了归纳<sup>[2,3,5-7]</sup>, 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, 不同地质条件的顶力变化差异也很大。所以, 有必要提出一种适合于泥岩地质条件下的经验公式, 以作为理论计算顶力的依据。

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, 而实际这一系数并非一成不变。另一方面, 由于施工时要加注浆液, 这样计算中不考虑浆液的减阻作用, 仍然机械地采用管土间的摩擦系数, 会使计算结果与实际情况不相符。

3) 公式中未考虑管轴偏向、坡度、土质变化及地下水的影响。而在实际的施工过程中, 考虑上述因素的影响是非常重要的。

### 2 现场测试结果分析

结合兰州天然气穿越黄河顶管工程, 对现场各段进行跟踪测定。测试内容如下:

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) 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)。

现场测试结果见图 1。

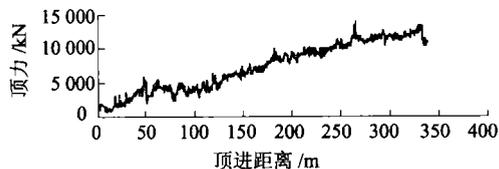


图 1 实测顶力与顶进距离关系图

根据工程特点及现场实测顶力变化情况, 对测定结果进行了分析, 总结出在泥岩地质条件下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  $c$ , 内摩擦角  $\varphi$ , 地下杂质, 地下水位的影晌。

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, 分析了顶力随管径的变化情况。得出顶力随着管径的增大而呈线性上升趋势。

3) 注浆的影响

注浆效果直接关系到顶力的大小, 经过注浆的顶管顶力明显减小, 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原来的  $\frac{1}{4}$ ~ $\frac{1}{2}$  倍。

4) 长时间停顿的影响

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, 四周松土会坍塌在管壁上抱实, 同时水分也会从减阻浆液中离析出来, 失去减阻支撑作用, 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, 在校正过程中, 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。

### 3 规范公式计算顶力

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  $c$ , 管埋深  $H$ , 土层重度  $\gamma$ , 管长  $L$ , 土对管的作用力  $N$ , 土体内摩擦角  $\varphi$ , 管壁与土的接触摩擦系数  $\mu$  等。根据《给排水管道工程施工及验收规范》<sup>[2]</sup> (GB 50268—97) 计算顶力公

式, 顶力由工具管迎面阻力和管道摩擦阻力两部分组成。具体公式为:

$$P = f\gamma D_1 \left[ 2H + (2H + D_1) \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) + \frac{\omega}{\gamma D_1} \right] L + P_F \quad (1)$$

式中:  $P$  为计算总顶力, kN;  $\gamma$  为土层重度,  $\text{kN}/\text{m}^3$ ;  $D_1$  为管道的外径, m;  $H$  为顶部覆盖土层厚度, m;  $\varphi$  为土层的内摩擦角, ( $^\circ$ );  $\omega$  为单位长度自重,  $\text{kN}/\text{m}$ ;  $L$  为管道计算顶进长度, m;  $f$  为管道表面与土层间的摩擦系数;  $P_F$  为工具管道迎面阻力, kN。

文献 [2] 中给出了管道顶进时, 迎面阻力的计算公式对于土压平衡掘进机, 采用公式为:

$$P_F = \pi D_{av} tR \quad (2)$$

式中:  $D_{av}$  为工具管刃脚或挤压喇叭口的平均直径, m;  $t$  为工具管刃脚厚度或挤压喇叭口的平均宽度, m;  $R$  为土压平衡顶管掘进法的挤压阻力, 可按工具管前端中心处的被动土压力计算,  $\text{kN}/\text{m}^2$ 。

采用上述文献 [2] 公式, 对施工时所需的顶力进行计算, 并与实测顶力进行了比较分析, 比较结果见图 2。

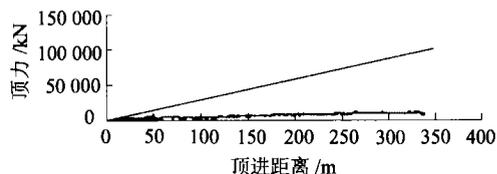


图 2 规范计算顶力图

由图 2 曲线可以看出: 理论计算顶力比实测顶力大得多, 尤其是随着顶进距离的增加, 理论顶力随距离大致呈线性增加; 而实测顶力呈曲线上升趋势, 但时大时小, 这是由于瞬间注浆效果时好时坏的原因, 也说明实测顶力就是顶管施工过程中注浆减阻效果的真实体现。因此, 在理论计算时, 不考虑注浆减阻会使计算结果偏大。另一方面, 不考虑管道上方土体的拱效应, 直接按管道上方土柱的重量计算, 也会使计算结果偏大。

### 4 经验公式的总结

经过对上述泥岩地质条件下影响顶推力各因素的理论研究, 在数理统计分析的基础上对土压平衡顶管掘进机顶力计算公式进行拟合, 得出经验公式, 以供今后同类工程参考。

根据数理统计知识, 并结合现场实测记录, 可以画出单位摩擦阻力分布直方图(见图 3)。

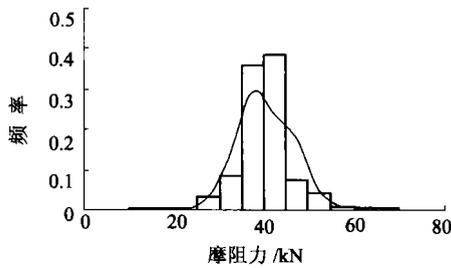


图3 摩阻力分布直方图

通过对样本的统计分析,得出单位摩阻力的均值为40.572 kN,方差为5.823<sup>2</sup>。运用 $\chi^2$ 检验法,对样本的分布进行假设检验,可知单位摩阻力服从正态分布。

同时,利用区间估计的方法估计了在置信水平为90%和95%下摩阻力的置信区间,计算出单位摩阻力置信区间为:当在90%的置信度下,摩阻力均值的置信区间为(40.572±0.514);在95%的置信度下,均值的置信区间为(40.572±0.43)。此置信区间为在泥岩地质条件下确定单位摩阻力提供了一定的经验依据,可供设计千斤顶时参考。

在以上数理统计分析的基础上,采用一元线性回归分析方法,对顶力计算公式进行线性回归分析,得出本工程在泥岩地质条件下较为实用的经验计算公式:

$$P = 36.03 \times L + 1156.62 \quad (3)$$

式中: $P$ 为总顶力,kN; $L$ 为顶进距离,m。

上述经验回归公式计算所得顶力与现场实测顶力比较,拟合得很好,见图4。

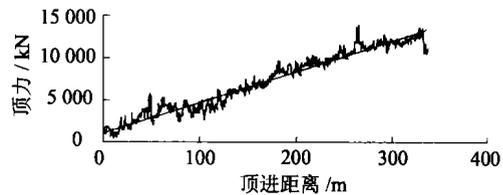


图4 经验公式计算顶力与实测顶力比较图

## 6 结论

通过理论分析,结合现场实测数据,对泥岩地质条件下,采用土压平衡顶管掘进技术中的核心部分顶力计算进行了理论分析,并通过分析实测顶力和单位摩阻力,得出泥岩地质条件下采用土压平衡顶管掘进技术单位摩阻力的取值范围,为类似工程提供了参考。最后,综合以上分析得出顶力的线性回归方程,可作为今后同类工程顶力计算的经验公式。

## 参 考 文 献

- [1] 余彬泉,陈传灿.顶管施工技术[M].北京:人民交通出版社,1998.
- [2] GB 50268—97.给排水管道工程施工及验收规范[S].
- [3] 何莲,刘灿生,帅华国.顶管施工的顶力设计计算研究[J].给水排水,2001,27(7):87-89.
- [4] 何佩秋.顶管工程的设计与施工[J].特种结构,1998,15(4):16-18.
- [5] 吴德伦,蔡珍红.岩石地层非开挖柔性管顶进过程的力学问题研究[J].特种结构,2001,18(3):4-6.
- [6] 安关峰,殷坤龙,唐辉明.顶管顶力计算公式辨析[J].岩土力学,2002,23(3):358-361.
- [7] 黄宏伟,胡昕.顶管施工力学效应的数值模拟分析[J].岩石力学与工程学报,2003,22(3):400-406.

收稿日期:2005-11-14

(上接第38页)

网络可以较准确地预测土抗剪强度指标,预测值和试验值吻合较好,具有较高的可靠性。

2) 由于BP网络程序本身的运行效率有待进一步提高,所以可以改进BP网络程序,以期得到更满意的结果。

3) 考虑到训练样本数对网络的预测精度的影响,笔者采集的实测数据较少,一定程度上影响了网络的性能。对于不同场地、不同的地质条件,模型使用者可根据实际的情况适当调整训练参数。

## 参 考 文 献

- [1] 张立明.神经网络在模型及其应用[M].上海:复旦大学出版社,1993:13-15.
- [2] 翟静阳,冷伍明.粘性土物理力学性质指标的变异性及相互关系[J].铁道建筑技术,2001(1):49-51.
- [3] 阮波,冷伍明.粘性土物理力学性质指标的统计分析[J].大坝观测与土工测试,1998,22(1):5-7.

收稿日期:2005-06-27