

泥水平衡式机械顶管施工法对大口径玻璃钢夹砂管顶进过程中顶力的监测与分析

张惠斌 广州市污水处理有限责任公司

【摘要】本文主要介绍了在广州市的污水管道工程建设中,采用泥水平衡式机械顶管施工法,对大口径($\Phi 2270\text{mm}$)的新型材料玻璃钢夹砂管在淤泥、淤泥质细砂地质地区进行长距离顶进的施工情况,并就顶管工程中重要的技术参数之一顶力进行了监测与分析。

南洲路污水主干管工程是广州市沥滘污水处理系统工程进厂的关键输水管道,由南洲立交东引道(K0+402.077)起,至沥滘污水处理厂(K4+460),全长4058m,管道埋深8~11m,全线管径为 $\Phi 2270\text{mm}$ 和 $\Phi 2570\text{mm}$,沿线经过多个村庄、工业村及果园区等,穿越的地质为粉质粘土、淤泥、淤泥质细砂和粉砂层,管底置于细砂、中砂层上,部分管段置于淤泥质粘土层,地下水位地面以下2~2.5m,施工性质极差。如采用传统的明挖成坑的施工方法,基坑内抽排地下水会造成基坑内外地下水头差,在降水漏斗的范围内动水压增大,将会导致管涌、流砂等现象,在开挖至砂层顶板附近容易发生突涌。对此,建设业主广州市污水处理有限责任公司沥滘污水处理工程项目办公室决定并成功组织了在W3-W4管段采用泥水平衡式机械顶管施工法对玻璃钢夹砂管进行顶管试验(单坑一次顶进107m)施工。

在该试验段顶管工程中,广州市污水处理有限责任公司沥滘项目办委托武汉理工大学进行顶管顶进过程的数据监测,武汉理工大学试验段监测组先后共派出了10名工作人员,历时20余天,采集了340多万个实验数据,其中大约有40万左右有效数据,详尽地对顶进时玻璃钢夹砂顶管管身的全程顶力、轴向应变、环向应变、纠偏、回弹、土压力、水压力等情况进行了静态与动态监测,获得了大量有关试验段的关键性问题技术资料,并进行了较为系统的分析。这些研究成果为以后的南洲路污水主干管工程全线采用玻璃钢夹砂管顶管提供了宝贵的技术性支持。

顶力是顶管工程中关键性技术参数,它涉及到管土间的摩擦系数、顶进长度、顶进机械、施工工艺、管材强度等重要方面,因此,顶力的准确预测与设计,是决定顶管工程能否顺利完成的关键因素。本文仅对顶力方面收集的数据资料进行分析。

一、全程顶力

为了能反映玻璃钢管在顶进过程中的顶力变化情况,在千斤顶根部边贴应变片,利用DH-3815静态应变测量系统进行连续监测,在每次顶进过程中,全程按每10s由计算机自动记录一次数据。同时还定时观测千斤顶的液压读数,从而在千斤顶根部边应变和

顶力之间建立了一一对应的联系, 据此便可得到整个顶进过程的顶力变化及一些关键性的顶力值。

图 1 是从所有管道正在顶进时, 每根管各选取 100 个实验数据值绘制而成。为保持顶力的连续性, 未采用卸载或短期停顿时所采集的数据。

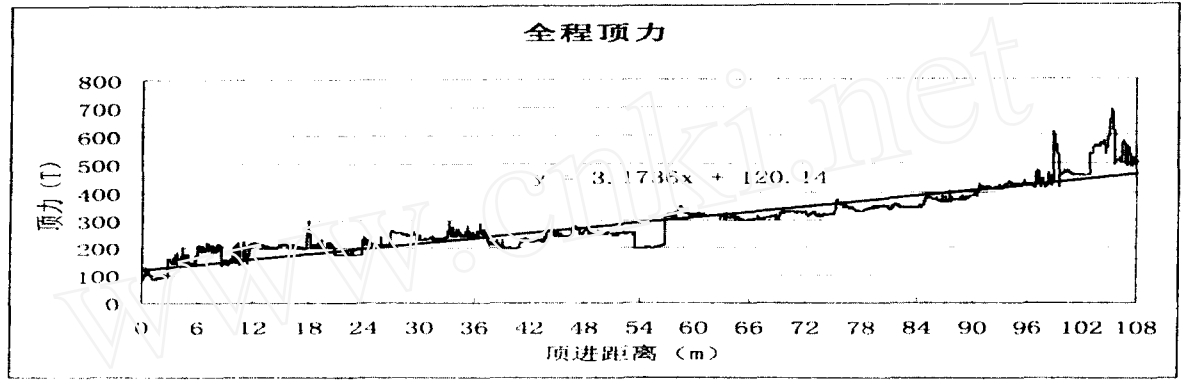


图 1 全程顶力曲线

从图 1 可见:

(1) 在工具管进洞顶进时, 最大峰值达到 152t, 稳定顶进时为 114t, 平均顶进力为 120t;

(2) 全程顶力可初略拟合曲线为一直线, 其直线方程为:

$$F=3.17x + 120 (t) \quad (1)$$

该方程表示了工具管顶力为 120t; 玻璃钢夹砂顶管每米顶力为 3.17t;

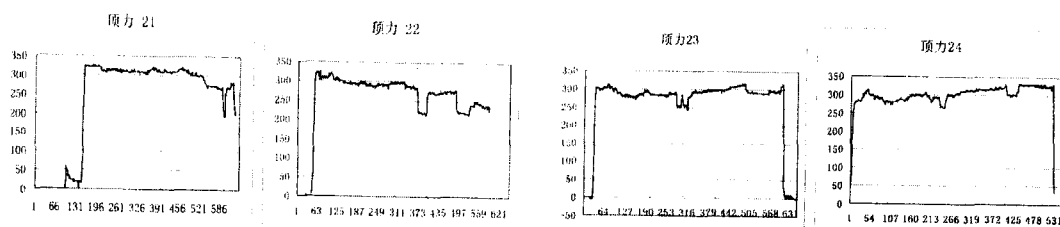
(3) 在 54-60m 间, 顶力有所下降, 与当时的注浆减阻措施相关;

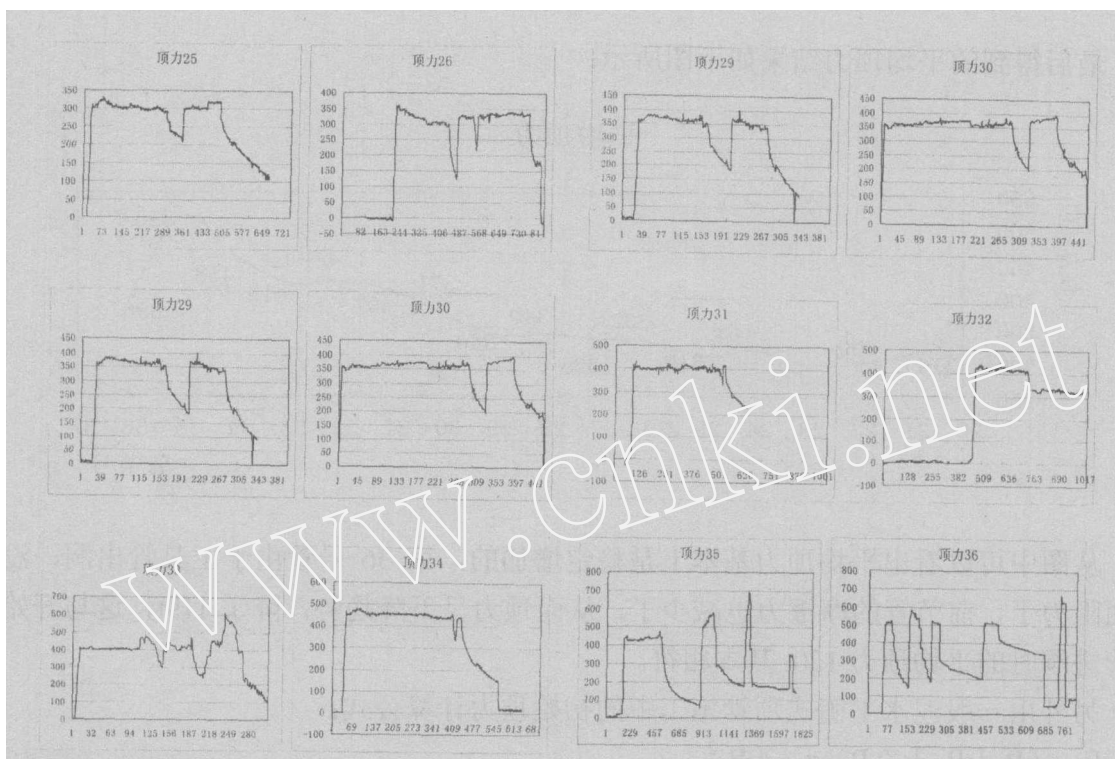
(4) 在顶进第 35、第 36、第 37 (后来吊起) 管时, 顶力骤增, 最大顶力 684m。其原因与顶进速度、以及顶进前端出现的障碍等因素相关。

二、顶进过程监测

我们对所有顶进的管道进行了监测, 为简要起见, 仅分析第 21~第 36 根管。

单根管子顶进时的顶力变化如下 (图中横坐标为时间, 单位是 10 s; 纵坐标为顶力, 单位是 t, 标题数字表示正在顶进的管节号):



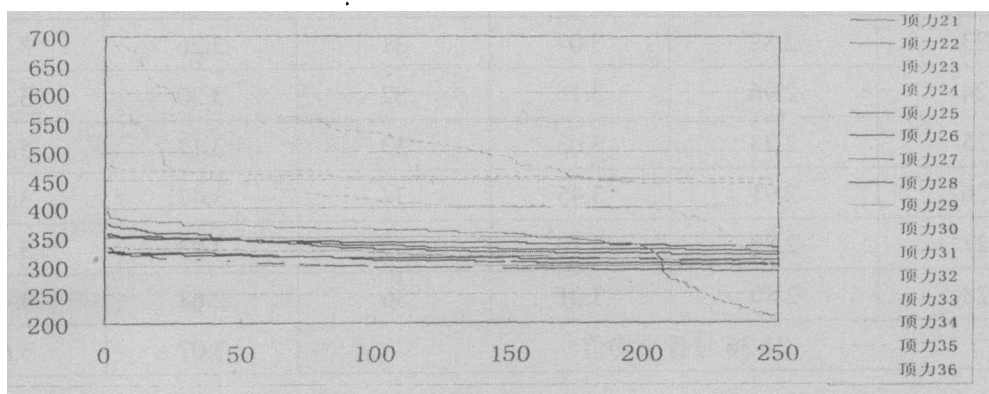


由以上顶力曲线图可得结论:

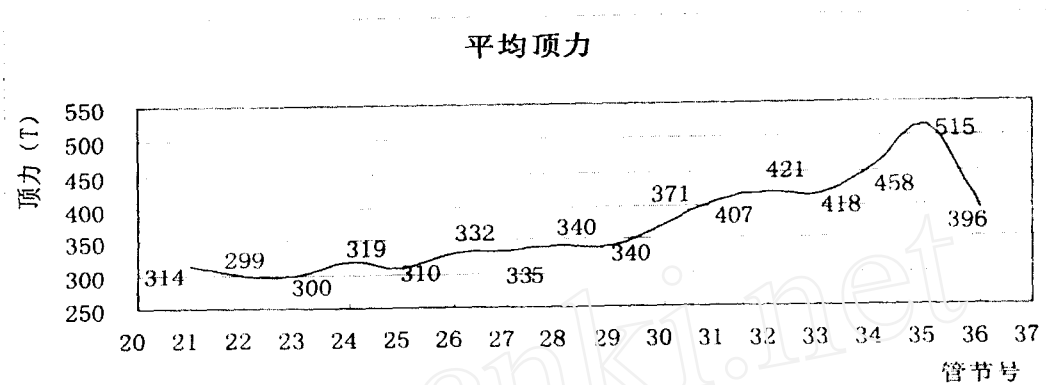
- (1) 在顶进的大部分时间段中, 各管都存在一段平稳顶进时段;
- (2) 但也存在由于意外出现峰值, 尤其在顶管后期, 由于顶进速度加快, 突然增加了工具管临面力, 或遇到障碍, 在较短时间内使得顶力增加;
- (3) 在顶进过程中间由于卸载后, 再重新顶进时, 其启动力并未有明显的增加;
- (4) 全程自动顶力记录系统记录下来的数据, 发现了大量的顶力峰值、以及加载、卸载时顶力的变化规律。例如第 33 节管曾达到 600t, 突变增加值达到 150t; 第 35 节管突变值增加值达到 200t (2 次累计)。这些规律对施工将具有重要的指导意义。

三、平均顶力分析

为了分析各次顶进时的稳定顶力关系和每米管的顶力, 这里将各次顶力从大到小排序, 分别取其前 250 次力进行平均得各次顶进时的平均顶力 (在这 250 次内顶进约为 2.5m)。由下图可见基本上包含了整个稳定过程:



最后得到的平均顶力结果如下图所示：



从图中可以看出平均顶力基本上是稳定增加的，第 36 号管由于工具管出洞，没有迎面阻力了，前节管的摩擦力也减少了，从而顶力呈下降趋势，降了 119t，这与开始工具管进洞时的平均顶力 120t 基本相符。

另外由一般泥水平衡式顶管施工中的初始顶力计算公式：

$$F_0 = (P_e + P_w + \Delta P) \pi / 4 B_c^2$$

式中： P_e 挖掘面前土压力，这里为 0.15MPa；

P_w 为地下水压，实测为 0.45 MPa；

ΔP 为附加压力，一般取 0.02 MPa；

B_c 管的外径，日本伊势机 TCC2000 顶管机的工具管外径为 2.42m。

由此计算的初始顶力

$$F_0 = (0.15 + 0.045 + 0.02) \times 3.14 \times 2.42 \times 2.42 / 4 = 0.0998 \text{ MN} \approx 100 \text{ t}$$

考虑到工具管的顶力共计 120t，因此工具管外壁摩擦力为 20t。

在不含工具管时的每米管的顶力如表 1。

表 1

管节号	均值时每米顶力 (t/m)	峰值时每米顶力 (t/m)	管节号	均值时每米顶力 (t/m)	峰值时每米顶力 (t/m)
21	3.34	3.53	29	2.95	3.43
22	2.94	3.38	30	2.95	3.29
23	2.82	3.07	31	3.26	3.50
24	2.96	3.16	32	3.30	3.54
25	2.73	3.03	33	3.17	5.21
26	2.91	3.45	34	3.47	3.68
27	2.83	3.10	35	3.93	5.68
28	2.80	3.01	36	2.68	4.44
21-36 号管平均值				3.07	3.66

以上分析我们可以得到如下结论:

(1) 在正常稳定顶进情况下, 平均顶力为 3.07t/m, 与前面拟合公式的平均顶力基本一致;

(2) 按各管节顶进时出现的峰值进行平均计算, 平均顶力为 3.66t/m;

(3) 工具管前端的面力为 100t, 摩擦力为 20t, 共计 120t;

四、基于顶管机推力条件下的顶进长度

1、考虑各种因素下的最大顶进长度

目前所采用的顶管机具备的最大推力为 1200t, 取其 90% 为设计顶力, 即 1080t。另外工具管阻力为 120t; 并根据在顶进中的出现突变增加值情况, 最大按 200t 考虑。于是, 可用于玻璃钢顶管的顶力仅剩下 760t。

由于已扣除了工具管阻力、突变增加值, 并考虑了 10% (120t) 的余量, 按玻璃钢顶管正常稳定顶进计算是较为合理的, 可取其平均顶力为 3.1t/m 计算:

$$760 \div 3.1 = 245\text{m}$$

因此, 基于顶管机推力条件下, 并考虑各种因素的最大顶进长度为 245m。

2、改进顶进工艺的顶进长度

如果通过改进顶进工艺, 如控制顶进速度、控制顶力递增值、减少管线偏移量, 则可以适当减少突变增加值。如仅考虑 100t 的突变增加值, 在无注浆减阻的条件下其顶进长度为:

$$860 \div 3.1 = 277\text{m}$$

五、注浆减阻效应分析

本次在顶进过程中, 仅在顶第 17 号、21 号和 30 号管时实行了注浆减阻, 并且注浆不是很充分。因此本次实验基本上属于在无注浆减阻的情况下所进行的施工。由图 1.1 可以看到, 在第 17 号管实行注浆后, 有一明显顶力降低台阶, 降低幅度大约在 20% 左右, 这说明注浆减阻还是很有效果的。这在试验段以后施工的 W4-W6、W6-W8 井段中得到证明 (见表 2)。

部分顶管段施工情况汇总

表 2

顶管井段	W3-W4 (试验段)	W4-W6	W6-W8
管段长度 (m)	118	236	236
平均日顶进长度 (m/d)	7.8	17	19.3
正常顶进时顶进速度 (mm/min)	50-55	60-75	80-90
可记录的最大顶力 (t)	684	480	610
平均摩擦力 (t/m)	3.07	1.61	1.23
推算最大单管顶进距离 (m)	245	466	617

备注: 在 W3-W4 试验段顶管施工中没有采用注浆减阻措施; 在 W4-W6、W6-W8 井段的施工中采用了注浆减阻措施。