

钢管顶管施工的应力估算与监控

陈继光 曲 研

(广东省冶金建筑设计研究院, 广东广州 510080)

【摘 要】 通过理论计算与现场测试的验证, 提出钢管顶管设计时应力预估与施工时应力控制的新方法。

【关键词】 钢管; 顶管; 应力估算; 监控

【中图分类号】 TU 941

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2015.01.004

Stress Calculating and Site Measuring for Jacking Steel Tube

Chen Jiguang Qu Yan

(Guangdong Metallurgical and Architectural Design Institute, Guangzhou 510080, Guangdong, China)

【Abstract】 By theoretical analysis and on-site monitoring, this paper presents new method for stress pre-estimating and monitoring during steel tube jacking.

【Key words】 steel tube; pipe jacking; stress estimation; monitoring

0 引言

在钢管顶管设计时, 设计师必须确定钢管的壁厚。确定钢管壁厚除了要计算钢管在使用阶段承受水、土压力等外力作用下的应力与刚度外, 还必须对顶进施工过程中钢管的应力进行预测与计算。在国内现行的技术规范^[1]与手册^[2]中, 对钢管顶管施工应力的相应规定与建议尚不够详细与具体。

力会有偏心。B-B 断面以及在 A-A 与 C-C 断面之间的许多断面, 其受力较为复杂。与 A-A、C-C 的最大不同在于, 管道纠偏操作, 使之纵向发生弯曲, 而在断面上产生了弯曲应力。这个弯曲应力的大小主要取决于弯曲曲率。假定管道发生弯曲时仍然符合材料力学的平截面假定, 则这个纵向弯曲应力:

$$\sigma_b = \frac{D \cdot E}{2R} \quad (1)$$

式中: D 为管径; E 为弹性模量; R 为纵向弯曲半径。

1 设计阶段对施工期间受力的预估

由于管壁摩阻力与岩土条件、施工精度有关, 且岩土摩阻力本身也是一个统计预估值, 顶进时刀盘的阻力值也是经验预估值, 管道的纵向弯曲实际上是什么程度, 设计时并不确定, 因此我们把这个过程叫顶进期间纵向受力的预估。

对于 150 m 以上长距离顶管, 一般会设中继间来减少管道顶力。因此, 以设置中继间的一般情况进行顶力的预估, 见图 2。

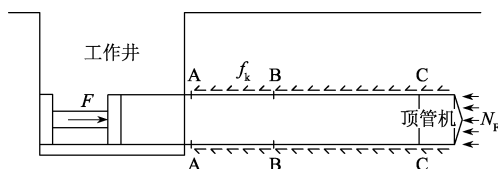
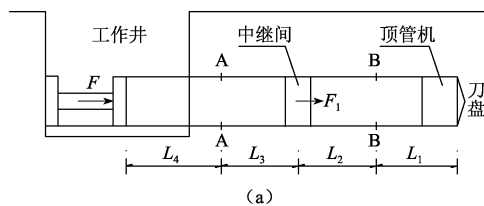


图 1 顶管纵向受力示意图

图 1 是不设中继间的顶管示意图。由于工作井内千斤顶的顶力 F 的作用, 顶管机头切削泥土挖出空间, 克服管壁土的摩阻力 f_k , 克服机头正面阻力 N_f , 管道前进并得以铺设。由于管壁土摩阻力是沿管道长度变化的, 管壁内的纵向应力也随截面变化。A-A, B-B, C-C 是三个典型断面。A-A 距工作井约一倍管径的距离, 假设 F 作用在截面形心, A-A 断面应力应该是 F 的均匀分布值。C-C 断面距离顶管机头与钢管接触面约 1 倍管径范围。该处应力受刀盘正面阻力影响较大。由于机头纠偏动作影响, 截面应



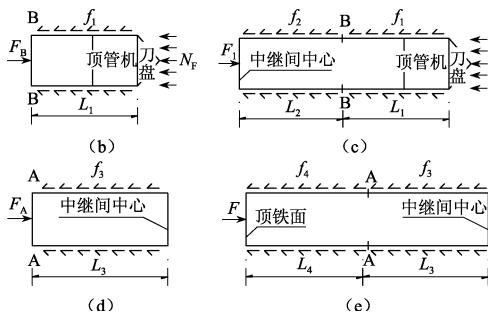


图2 设中继间顶管纵向受力图

断面 B-B 的总顶力为 F_B

$$F_B = N_F + \pi D L_1 f_1 \quad (2)$$

中继间的顶力为 F_1

$$F_1 = N_F + \pi D (L_1 f_1 + L_2 f_2) \quad (3)$$

断面 A-A 的总顶力为 F_A

$$F_A = \pi D L_3 f_3 \quad (4)$$

工作井内顶力为 F

$$F = \pi D f_4 (L_3 + L_4) \quad (5)$$

$$N_F = \frac{1}{4} \pi D^2 p \quad (6)$$

式中: $f_1, f_2 \dots f_n$ 为某段管穿过土层的摩阻力, kPa; D 为管外径, m; p 为刀盘泥水仓压力, 可取刀盘工作深度地下水压力加上 15 kPa。

以上公式与图表分析的是合力, 公式(1)所说的纵向弯曲应力在截面的合力为零, 故不计。通过以上计算得出各典型断面合力, 除断面面积即求出断面平均应力, 再与纵向弯曲应力叠加, 即可求出各典型断面的最大应力。从而检验选择的管壁厚度及中继间设置是否合理。

2 针对工程的应用

2.1 工程概况

广东省化州市截污主干管过鉴江顶管工程, 钢管顶进长度 217 m, 钢管规格为 DN 1600 mm × 18 mm, 该管为工具套管, 该管顶进结束后, 在其中套装 2 根 DN 700 mm × 10 mm 钢管为工作污水管。顶管纵断面及穿越地层的分布见图 3。

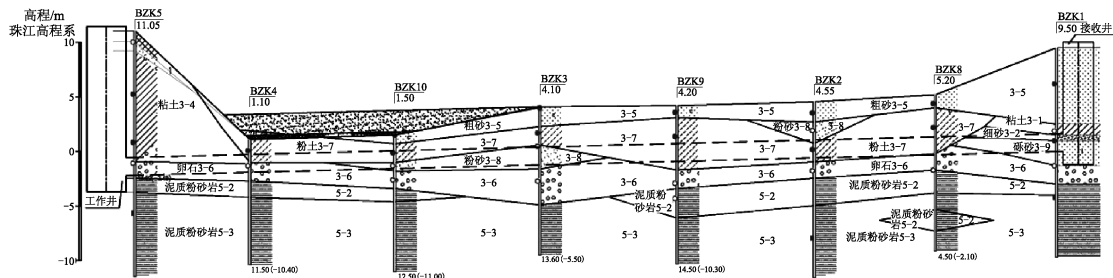


图3 过鉴江顶管地质纵断面图

图 3 中钢管穿越的地层的长度及该地层的管壁的摩阻力标准值见表 1。

表 1 顶管穿过土层摩阻力标准值

土层	穿过长度/m	摩阻力/kPa
卵石粘土混合层	48.0	11.0
粉砂粉土混合层	33.8	8.0
粉砂层	18	8.0
粉土层	84	8.0
砂砾层	33.2	11.0

注: 由于设计时无摩阻力测试值, 参照文献[1]取值

2.2 顶力及各典型断面受力的估算

管道全长设 6 个计算断面, 设置位置见图 4。

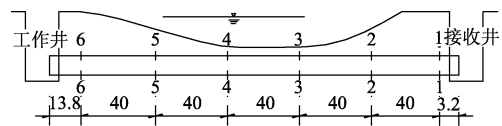


图4 典型断面分布图(单位:m)

用第 1 节的方法及公式(2)~(6)通过 Excel 表计算的结果见表 2。

表 2 典型断面最大内力估算值(不设中继间)

工况	顶进管节号	刀盘顶入距离/m	截面 1-1 的纵向内力 /kN	截面 2-2 的纵向内力 /kN	截面 3-3 的纵向内力 /kN	截面 4-4 的纵向内力 /kN	截面 5-5 的纵向内力 /kN	截面 6-6 的纵向内力 /kN
工况 1	第 2 节管	12.8~18.8	753.6					
工况 7	第 8 节管	48.8~54.8	753.6	2964.2				
工况 13	第 14 节管	85.8~91.8	602.9	2409.5	4556.8			
工况 18	第 21 节管	127.8~133.8	602.9	2210.6	3911.7	6146.4		
工况 23	第 28 节管	169.8~175.8	602.9	2210.6	3818.2	5513.3	7666.6	
工况 30	第 35 节管	211.8~217.8	753.6	2662.7	4282.5	5787.6	7452.6	10050.0
工况 31	出洞	217.8~223.8						

截面 5-5 的最大内力除以横截面积, 截面平均纵向压应力 $\sigma_c = 84.8$ MPa。以公式(1)计算纵向弯曲应力。对施工时管道的弯曲程度只能采取按文献[2]及

施工规范[3]的中轴线偏移值来换算。采用两规范中的较大值为 150 mm。弯曲半径与轴线偏差之间的关系见图 5。

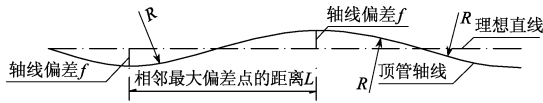


图5 轴线偏差和弯曲的关系

曲率半径 R 与 f 之间的关系为:

$$R = \frac{f^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2}{2f} \quad (7)$$

假定 $L=50$ m, 则 $R=2083$ m, 带入式(1)中得纵向弯曲应力 $\sigma_b=80.6$ MPa。对截面 5-5, 顶进应力与弯曲应力叠加应力 $\sigma=\sigma_x+\sigma_b=165.4$ MPa。满

足规范设计要求。对于截面 6-6, 接近管端, 弯曲应力不会出现最大的情况。

2.3 施工监测

为与理论计算对比, 本工程进行了现场监测^[4]。监测断面的布设, 如图 4 中的 1-1 到 5-5。每个断面布 4 个应力监测点, 见图 6。

根据 4 个应力监测位置的读数换算为内力, 部分工况的内力值见表 3。

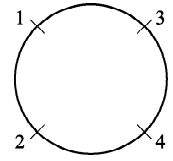


图6 应力监测点在断面上的位置

表3 监测断面的内力变化情况

工况	顶进管节号	截面 1-1 的纵向内力 /kN	截面 2-2 的纵向内力 /kN	截面 3-3 的纵向内力 /kN	截面 4-4 的纵向内力 /kN	截面 5-5 的纵向内力 /kN
工况 1	第 2 节管	298.8				
工况 7	第 8 节管	413.1				
工况 13	第 14 节管	720.4	1839.3	1987.2		
工况 18	第 21 节管	1518.8	1600.4	4969.6		
工况 23	第 28 节管	709.4	2768.7	7046.9	2829.3	4162.8
工况 30	第 35 节管	709.0	2436.5	8755.0	4771.9	5316.0

注: 本表的工况与理论估算值表(表 2)是基本一致的

所有工况中 5 个断面出现的最大压应力值及工况见表 4。

表4 监测断面测点的最大压应力值 MPa

断面 序号	测点 1	测点 2	测点 3	测点 4	所处工况
1-1	40.74	-10.04	26.15	-54.18	工况 16, 顶第 18 节管
2-2	-103.63	-80.92	25.22	88.17	工况 22, 顶第 27 节管
3-3	-189.77	-138.07	-120.15	65.05	工况 30, 顶第 35 节管
4-4	-119.77	-76.63	-25.02	17.75	工况 28, 顶第 33 节管
5-5	-118.10	-74.07	-42.66	2.31	工况 30, 顶第 35 节管

注: 表中正值为拉应力, 负值为压应力

将监测数据与第 2.2 节的内力理论计算值(见表 2)与应力估算值进行比较后, 可以总结出以下特点:

1) 与理论估算值比较, 监测值的离散性较大, 除少数工况超出估算外, 大部分小于理论值。分析是计算时所取摩阻力较大所致, 实际摩阻力较小。

2) 截面 4-4 和 5-5 的内力值小于理论值的程度比 1-1, 2-2 截面大, 也印证了计算摩阻力取值偏大。管道越长, 影响越大。

3) 截面 3-3 许多工况监测内力值明显大于理论值, 估计是该截面的数据异常。

4) 对监测数据的分析计算表明, 用监测应力计算的截面平均应力与理论计算变化趋势一致, 均小于理论估算值。用监测应力计算的截面弯曲应力, 在许多工况下, 都大于 90 MPa, 个别甚至大于 100 MPa, 大于理论估算值 80.6 MPa(式(1)及式(7)计算), 且均发生在 3-3 断面。说明截面弯曲应力的估算方法可

能与实际情况不符合。或者管道的纵向弯曲半径小于 2083 m。

3 结论

1) 顶管工程是步施工的动态过程, 在设计阶段应分断面进行断面受力估算, 用最大的受力来确定钢管壁厚。

2) 现场测试结果表明, 本文建立的断面内力分析方法, 能够包络施工的最不利工况。实测受力普遍小于估算值, 主要是所取得管壁摩阻力偏大所致。

3) 现场测试结果反映, 实测弯曲应力大于理论计算弯曲应力, 可能是平截面假定与实际有较大的差异, 也可能是管道纵向弯曲半径小于规范控制值, 还需要进一步研究。

参考文献

- [1] 上海市政工程设计研究总院: CECE246: 2008 给水排水工程顶管技术规程[S]. 北京: 中国计划出版社, 28-33, 79-86.
- [2] 余彬泉, 陈传灿. 顶管施工技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003: 156-158.
- [3] 住房和城乡建设部. GB 50268—2008 给水排水管道工程施工及验收规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 107-108.
- [4] 陈国瑞, 段中星, 王卫锋. 顶管应力监测与分析方法[J], 科学技术与工程[J]. 2012, 12(14): 3515-3518.

收稿日期: 2014-09-24