

# 顶管下穿铁路的施工技术参数、变形监测分析

吴晗卿

上海浦东建筑设计研究院有限公司杭州分公司 浙江 杭州 310000

**摘要:** 本研究以上海市某市政管线在顶管施工工艺下穿铁路路基和桥梁项目为案例, 对比分析顶管规范条文与实际软土地基项目中的顶进技术参数适用性。通过现场施工试顶参数及变形监测数据, 逐步调整确定软土地基下适宜的技术参数和指标。通过与规范中的顶进技术参数进行对比, 提出这些参数在不同地质条件下是否适用仍需进一步论证的问题。

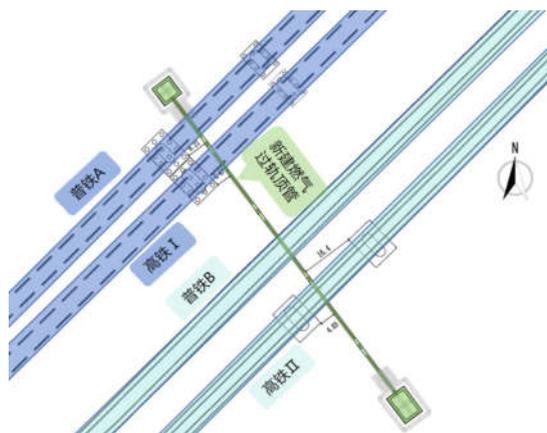
**关键词:** 顶管施工; 淤泥土; 顶进速率; 铁路路基、桥梁; 变形监测

为减少基础设施设备的影响或开挖面积, 非开挖施工方式如顶管、定向钻和盾构在市政和铁路工程中得到广泛应用。当前我国铁路正面临新线路建设的机遇, 但也面临着现有铁路密集、施工困难和交叉管线众多等挑战。为解决这一问题, 顶管施工成为不可或缺的手段之一。

## 1 工程概况

### 1.1 项目概况

项目位于上海市闵行区, 新建的燃气护套管, 由西往南采用顶管工艺依次下穿普铁A、高铁 I、普铁B、高铁 II, 合计4条铁路, 共8股道。燃气护套管管径为D1500 钢筋砼管(外径1800mm), 采用泥水平衡法顶管施工, 总长度102m。



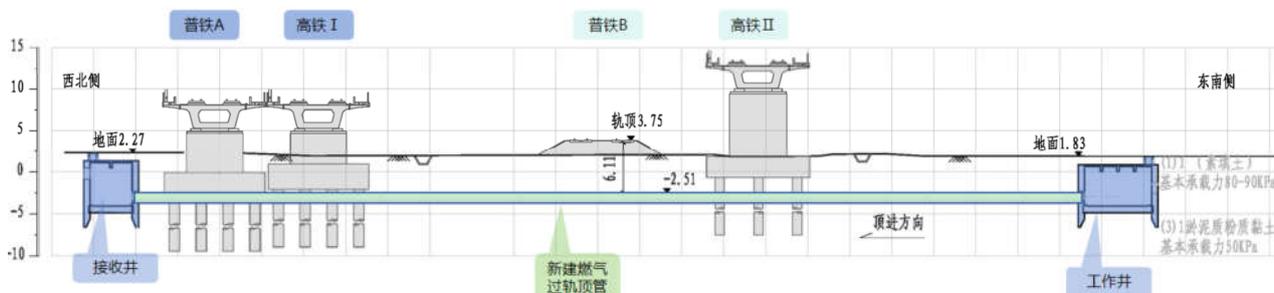
顶管下穿铁路平面位置示意图

### 1.2 工程地质

燃气管顶管段土层从上往下依次为1(1)素填土、

(3) 1淤泥质粉质黏土。顶管段埋深约为5.4m, 穿越铁路

下方的主要地基土层为(3) 1层, 土层承载力为50Kpa;



顶管下穿铁路纵断面示意图

## 2 顶力分析(规范试算与实践数据对比)

根据该节点的基础数据, 采用3个规范公式试算本次顶管最大顶力, 试算数据如下:

### 2.1 顶管规范试算

1) 08版顶管规范最大顶力试算

$$\begin{aligned}
 F_0 &= F_1 + N_F \\
 &= \pi \times D_1 \times L \times f_k + \pi / 4 \times (D_g^2) \times \gamma_s \times H_s \\
 &= \pi \times 1.8 \times 96.9 \times 5.0 + \pi / 4 \times (2.2^2) \times 18.9 \times 4.3 \\
 &= 3048.1KN
 \end{aligned}$$

2) 16版顶管规范最大顶力试算

$$\begin{aligned}
 F &= F_1 + F_2 \\
 &= \pi \times D \times L \times f + \pi / 4 \times (D_g^2) \times R_1 \\
 &= \pi \times 1.8 \times 96.9 \times 5.0 + \pi / 4 \times (2.2^2) \times 30.6 \\
 &= 2856.2KN
 \end{aligned}$$

3) 20版(征求意见稿)顶管规范最大顶力试算

$$\begin{aligned}
 F_0 &= F_1 + N_F \\
 &= \pi \times D_1 \times L \times f_k + \pi / 4 \times (D_g^2) \times P \\
 &= \pi \times 1.8 \times 96.9 \times 5.0 + \pi / 4 \times (2.2^2) \times 18.9 \times (4.3 + 2.2) \\
 &= 3205.8KN
 \end{aligned}$$

2.2 实践数据

本次顶管采用的2个油顶(单个油顶直径为0.35m, 单个千斤顶为200t), 根据燃气顶管实际数据记录, 油顶的压力表读数(最大施工顶力)约11MPa, 换算成最大顶力为2130KN。

2.3 顶力对比分析

3个规范的最大顶力计算均考虑了管道外壁与土层的摩擦力与顶管机迎面阻力之和, 主要区别在于迎面阻力计算公式中的土压力值。“08版顶力”仅考虑顶管机覆土对于顶管机的土压力对顶管机造成的土压力, “16版顶力”仅考虑顶管机下半部1/3的被动土压力, “20版顶力”则考虑了顶管机覆土以及顶管机直径深度的总的土压力, 因此顶力计算大小基本上为“20版顶力” > “08版顶力” > “16版顶力”。

通过上述工点1以及下表中工点2~4的实际顶进数据、与3个规范的各点计算顶力数值比较, 可以比较清晰的看到:

1) “20版顶力”的最大顶力除管顶覆土较深的节点, 会少于实际顶力值, 其余试算顶力均大于实际顶力, 该点顶力过大的原因有很多, 不能排除是该节点施工的时候, 触变泥浆压力过低或者量过少引起管道外壁摩擦力过大, 从而顶力偏大。

2) 由于各点使用的千斤顶油缸直径不一样, 造成实际顶管压力表读数与实际最大顶力并不成正比。

3) 相同长度, 相同覆土的情况下, 管径越大, 相应最大顶力也越大。

该项目7个工点顶管数据统计表

顶管工点	管道外径m	顶进长度m	管壁摩擦系数kN/m <sup>2</sup>	平均覆土m	刀盘电机kw	刀盘电流A	08版顶力试算kN	16版顶力试算kN	20版顶力试算kN	实际压力Mpa	实际最大顶力kN
1	1800	96.9	5	4.3	30*2	30-45	3048	2856	3206	11	2130
2	2420	52.3	5	3.66	22*4	80-100	2419	2179	2751	10	1924
3	960	52.3	5	5.1	22	15-20	928	833	966	6	1155
4	1200	52.3	5	4.85	15*2	20-25	1170	1047	1230	6	1155

注: 上表均为人工读数, 且压力表读数精度较低, 存在一定的误差, 仅供变化分析参考。

3 顶进速率对比分析

3.1 顶管规范要求

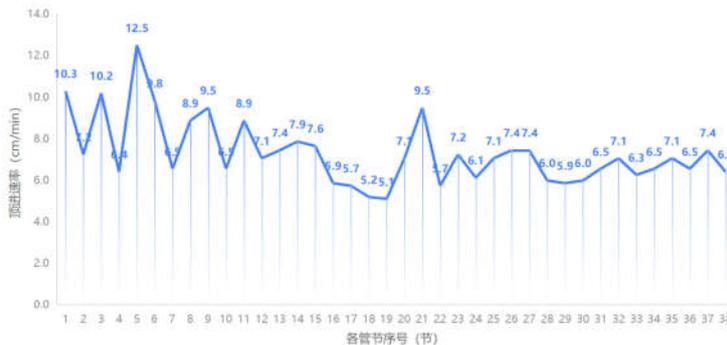
“08版”: 油泵应与千斤顶性能相匹配。油泵流量宜满足顶进速度100mm/min的要求。

“16版顶管规范”、“20版(征求意见稿)顶管规范”:

1、顶管机在始发洞口外侧土体加固区的初始顶进速度宜小于10mm/min;

2、顶管机进入土层后正常顶进时, 顶进速度宜小于30mm/min;

3.2 实际顶速



顶管各管节的平均顶进速率折线图

### 3.3 顶进速率对比分析

在燃气护套管实施顶进过程中发现,由于铁路两侧顶管工作井、接收井洞口及周边地基均有进行双轴水泥搅拌桩加固,由工作井始发的初始试顶顶进速度大约在10cm/min左右,实操过程中发现,若顶速小于3cm/min,顶管机头则明显呈现出下沉趋势;在后续的常规土层(基本为淤泥土层)顶进过程中,同时顶管外壁采用触变泥浆减阻措施,单个管节平均速率基本上维持在5~8cm/min之间。

## 4 位移、沉降分析

### 4.1 监测数据

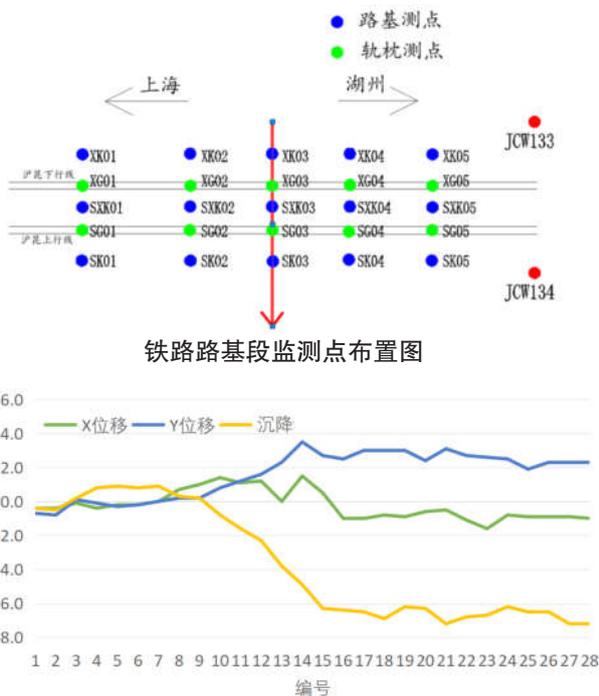


图4 SXX03点X、Y位移、沉降值变化折线图

根据SXX03点位的数据,可以看到顶进前1~9次以及后续15~28次(远离铁路路基段)监测,X、Y位移以及沉降值的折线均较为平缓;而10~14次下穿铁路路基段位移及沉降值增幅明显,但累计数据未超预警值。

### 4.2 位移、沉降数据分析

本次未对该项目进行有限元模型计算,但参考郝晓

光<sup>[4]</sup>针对顶管下穿路基的有限元模型分析结论:“顶管施工推进到距离铁路路基中心线约3D距离时,铁路路基竖向变形开始显著变化,当掘进面穿越中心线3D距离后,铁路路基变形将逐步趋于缓和并维持稳定。横向变形影响范围较大。”以及戴世颖<sup>[2]</sup>针对顶管对铁路沉降控制分析结论:“轨道最大沉降影响深度自中心向两侧递减,趋势明显。”

这两个结论分析基本适用于SXX03及其他监测点的实测数据。因此顶管在其铁路与顶管轴线方向的一定范围内应考虑适当加密监测及其频率,同时增加横向的监测断面。

## 结论

1、顶管的顶进过程中,管外壁与土体接触引发摩擦阻力,顶管头部刀盘切削土体,导致前端土体掉落至前仓,使得顶进端瞬间受到多方向的作用力。施工操作的不同直接影响顶力的大小,而顶力过大可能导致土体拱起或沉降,对地表或周边结构稳定性造成影响。因此,在顶进过程中,可考虑采用触变泥浆以减少摩擦力、增加横向监测断面及频率、吊扣轨梁等措施以减少顶管对铁路的影响。

2、建议在进行顶管之前设置试顶阶段,并按照试顶参数进行实施。顶管规范中有关顶速、顶力等技术参数的要求仍需进一步优化,施工参数需要人工操作,例如触变泥浆的输出压力、顶速等。同时,对监测数据要保持密切关注。通过合理控制施工参数,路基的变形和位移可以基本可控。

## 参考文献

- [1]吴亚明.顶管下穿铁路工程既有线路加固施工技术分析[J].四川水泥,2023,(03):254-256.
- [2]戴世颖.顶管下穿运营铁路数值模拟与沉降控制分析[J].地基处理,2022,4(03):241-247.
- [3]李金书.顶管下穿运营高速铁路桥梁安全影响分析[J].铁道建筑技术,2022,(02):84-88.
- [4]郝晓光.顶管下穿铁路路基变形影响规律及顶进参数分析[J].铁路节能环保与安全卫生,2018,8(03):167-172.