

# Research on Control Parameters of Shield Construction in Silty Sand Stratum

Yuntao Dong<sup>1</sup>, Xiubao Niu<sup>1</sup>, Kuo Dong<sup>1</sup>, Jun Huang<sup>1</sup>, Zhenying Cui<sup>1</sup>, Qianqian San<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Second Engineering Company, China Railway Construction Bridge Engineering Bureau Group, Shenzhen Guangdong

<sup>2</sup>Shanghai Key Laboratory of Durability and System Safety of Rail Transit, Tongji University, Shanghai

Email: 952968312@qq.com

Received: Jun. 24<sup>th</sup>, 2020; accepted: Jul. 21<sup>st</sup>, 2020; published: Jul. 28<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

At present, the construction technology of cross-river tunnels in which mud-water balance shields are used to penetrate saturated clay soil layers is becoming mature, but there are few studies on shields passing through rivers in long distances in fine sand-layers. The key problems in construction need to be resolved. This paper relies on the Huadian Lingwu Power Plant's intelligent heating project to Yinchuan City to conduct research on the shield tunnel crossing the Yellow River silty sand formation. Through the statistics of driving parameters such as thrust, driving speed, cutter head speed, cutter head torque, average soil bin pressure and other field monitoring data during the excavation process, the variation rules of each parameter and the settlement of the parameters to the surface settlement during the excavation process are analyzed influences.

## Keywords

Mud-Water Balance Shield, Silty Sand Formation, Driving Parameters, On-Site Monitoring

# 粉细砂地层盾构施工控制参数研究

董云涛<sup>1</sup>, 牛秀宝<sup>1</sup>, 董阔<sup>1</sup>, 黄君<sup>1</sup>, 崔振英<sup>1</sup>, 散骞骞<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中国铁建大桥工程局集团第二工程公司, 广东 深圳

<sup>2</sup>同济大学上海市轨道交通结构耐久与系统安全重点实验室, 上海

Email: 952968312@qq.com

收稿日期: 2020年6月24日; 录用日期: 2020年7月21日; 发布日期: 2020年7月28日

## 摘要

目前我国在应用泥水平衡盾构穿越饱和黏土土层的越江隧道施工技术日渐成熟, 但对盾构在细砂土层中远距离下穿河流的研究较少, 施工中关键性难题有待解决。本文依靠华电灵武电厂向银川市智能化供热

项目,对盾构隧道穿越黄河粉细砂地层工程开展研究。通过对掘进过程中的推力、掘进速度、刀盘转速、刀盘扭矩、平均土仓压力等掘进参数和现场监测数据的统计,分析各个参数的变化规律以及掘进过程中各参数对地表沉降变形的影响。

## 关键词

泥水平衡盾构,粉细砂地层,掘进参数,现场监测

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着我国城市化的不断推进,城市可使用土地日渐趋紧,因此合理的开发和利用地下空间势在必行。盾构法施工具有速度快、安全性能高、对周围环境影响较小的优点,在城市地下空间的开发中得到了广泛应用。

张忠苗[1]等通过对比盾构隧道施工引起的大堤沉降和其他断面的地表沉降,分析了盾构在大堤下施工引起的地表沉降更大的原因;陈相宇[2]等结合长沙市南湖路湘江隧道工程实例,分析了大直径泥水盾构斜下穿湘江西岸大堤时大堤超载、偏压及大堤下卧饱和粉细砂地层引起的施工风险,同时,提出大堤超载作用下泥水压力控制、大直径盾构斜下穿大堤时盾构顶推力的调整以及饱和粉细砂地层中盾构掘进速度的控制建议;怀平生[3]等以特拉维夫红线轻轨工程为背景,通过对土层进行试验分析,在充分考虑富水库卡地层土层特性和隧道线形设计的基础上,对盾构刀盘结构、刀具布置、铰接设计、扭矩配置等关键问题进行详细研究。

由于粉细砂地层的承载力低、渗透系数大、地层松散、自稳能力较差等特点,盾构在粉细砂地层进行掘进时,地表经常发生管涌、塌陷,造成不均匀沉降,使得邻近构筑物发生开裂、下沉,甚至结构损毁,给盾构掘进施工带来很大的安全风险[4] [5] [6] [7] [8]。本文以宁夏某盾构隧道穿越黄河粉细砂地层为背景,开展盾构掘进施工控制参数研究,为类似工程施工提供参考。

## 2. 工程概况

华电灵武电厂向银川市智能化集中供热项目(一期)供热管道穿越黄河段隧道,采用泥水平衡盾构施工。隧道长 1838 m,穿越黄河段约 1200 m。隧道开挖直径 9.05 m,管片外径 8.7 m,内径 7.9 m,壁厚 350 mm,环宽 1.6 m,错缝拼装。隧道上覆土厚度最厚处约为 30 m,纵向呈 V 字型纵断面,最大纵坡 4.64%,最小纵坡为 0.3%。隧道穿越地层主要为饱和富水的细砂地层。如图 1 所示,穿黄段地层主要物理力学学指标见表 1。

## 3. 现场监测数据分析

论文选取盾构在河东岸 DK2+580~DK2+700 段的施工参数和地面沉降值进行对比分析。刀盘转速控制在 1.15~1.2 r/min,泥水仓平均压力控制在 2.7~3.2 bar,刀盘推力主要控制在 20,202~40,401 kN 范围内,部分参数波动幅度相对较大。掘进速度离散性相对较大,在 30~70 mm/min 间波动,刀盘扭矩(绝对值)主要在 800~6000 kN·m 之间波动。相应地表沉降观测点数据见表 2。

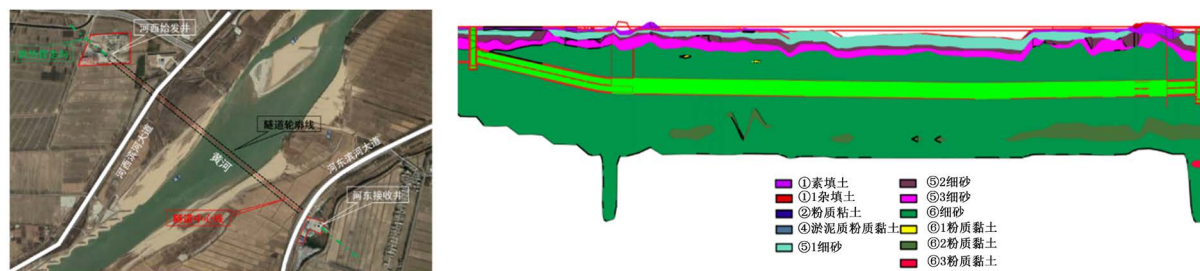


Figure 1. Schematic diagram of the location of the tunnel passing through the yellow section

图 1. 穿黄段隧道位置示意图

Table 1. Soil physical and mechanical parameters

表 1. 土层物理力学参数

| 土层    | 重度<br>$\gamma/\text{kN/m}^3$ | 含水量<br>$w/\%$ | 孔隙比<br>$e$ | 压缩系数<br>$a_{1-2}$ | 黏聚力<br>$c/\text{kPa}$ | 内摩擦角<br>$\varphi/^\circ$ | 渗透系数<br>$k/\text{cm/s}$ | 泊松比<br>$\mu$ |
|-------|------------------------------|---------------|------------|-------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|--------------|
| 素填土   | 17.6                         | 27.6          | 0.922      | 0.48              | 29.7                  | 6.4                      | $7.53 \times 10^{-5}$   | 0.42         |
| 淤泥质粉土 | 16.6                         | 48.0          | 1.357      | 0.80              | 4.9                   | 11.6                     | $2.0 \times 10^{-6}$    | 0.38         |
| 细砂    | 17.6                         | 31.0          | 0.945      | 0.19              | 2.7                   | 27.4                     | $5.01 \times 10^{-3}$   | 0.34         |
| 细砂    | 20.5                         | 17.9          | 0.498      | 0.05              | 9.1                   | 43.7                     | $1.92 \times 10^{-3}$   | 0.3          |
| 粉质黏土  | 20.8                         | 18.4          | 0.516      | 0.05              | 58.1                  | 6.7                      | $3.95 \times 10^{-6}$   | 0.33         |

Table 2. Daily settlement statistics table of measuring points

表 2. 测点每日沉降统计表

| 日期        | 各测点每日沉降值 |         |         |         |         |         |         |
|-----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|           | DK2+700  | DK2+680 | DK2+660 | DK2+640 | DK2+620 | DK2+600 | DK2+580 |
| 2018/7/3  |          |         |         |         |         |         | 2.6     |
| 2018/7/4  |          |         |         |         |         | 1.2     | 5.6     |
| 2018/7/5  |          |         |         |         | 2.6     | 7.9     | 6.1     |
| 2018/7/6  |          |         |         | 2.6     | 5.6     | 4       | 7.4     |
| 2018/7/7  |          |         | 1.9     | 5.6     | 7.1     | 6.6     | 4.5     |
| 2018/7/8  |          | 1       | 4.5     | 7.1     | 6.4     | 4.8     | 4.9     |
| 2018/7/9  | 6.9      | 6.3     | 7.8     | 6.4     | 4.5     | 4.5     | 2.6     |
| 2018/7/10 | 8.6      | 5.2     | 5.4     | 4.5     | 4.9     | 7.1     | 4.8     |
| 2018/7/11 | 6.7      | 4.6     | 4       | 4.9     | 2.6     | 3.7     | 3.5     |
| 2018/7/12 | 6.4      | 7.9     | 3.9     | 2.6     | 4.8     | 2.4     | 0.9     |
| 2018/7/13 | 3.6      | 4.6     | 4.4     | 4.8     | 3.5     | 1       | -0.8    |
| 2018/7/14 | 3.9      | 5.4     | 3.2     | 3.5     | 0.9     | 0.5     | 1.1     |
| 2018/7/15 | 3.7      | 1.1     | 5.2     | 0.9     | 0.2     | 0.2     | 0.9     |
| 2018/7/16 | 3.1      | 1.2     | 0.7     | 0.2     | 0.6     | 0.4     | -0.6    |
| 2018/7/17 | 3.7      | 0.4     | 0.4     | 0.6     | 0.4     | 0.5     |         |
| 2018/7/18 | 1        | 0.5     | 0.4     | 0.4     | -0.5    |         |         |
| 2018/7/19 | 0.4      | 0.2     | 0.2     | -0.5    |         |         |         |
| 2018/7/20 | 0.6      | 0.4     | -0.3    |         |         |         |         |
| 2018/7/21 | 0.3      | -0.1    |         |         |         |         |         |
| 2018/7/22 | -1.3     |         |         |         |         |         |         |

由表 2 可知, 各测点的每日沉降值变化规律基本一致: 盾构切口到达断面之前, 产生的地表沉降较小, 在盾构切口到达断面时产生较大的沉降并在盾构切口离开后逐渐减小。

通过不同测点处施工参数对该点盾构切口到达日沉降值和自盾构切口到达日开始的一定时间内的累计沉降值可以定性评价施工参数对地表沉降产生的影响。

盾构施工对周围环境造成的影响与开挖面稳定程度密切相关, 盾构开挖面的稳定是通过压力舱的支护压力来实现的。一般来说, 在盾构施工中, 开挖面支护压力过小, 会出现地面沉降甚至坍塌; 开挖面支护压力过大, 则会造成地表隆起。施工中的监测数据很好的证明了这一点, 如图 2 所示, 各环地表沉降与该环处的开挖仓平均压力近似成反比。

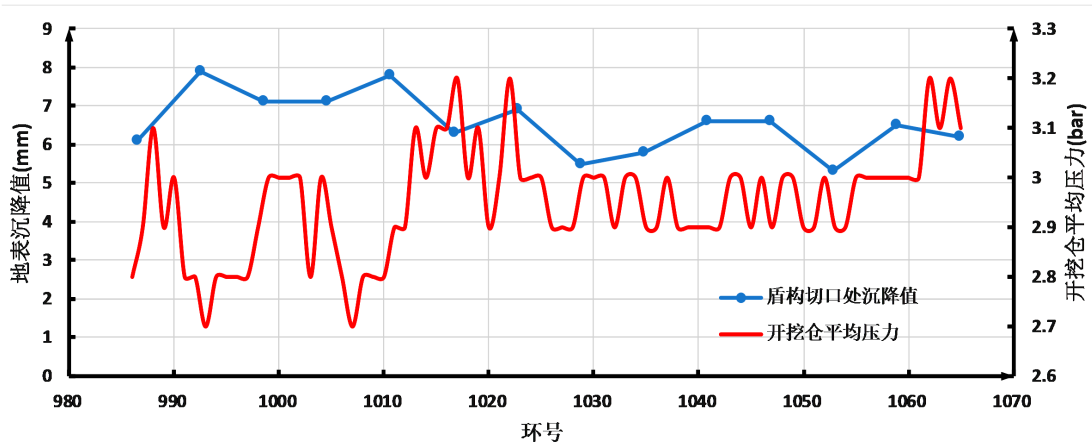


Figure 2. Schematic diagram of average pressure of excavation bin and surface settlement  
图 2. 开挖仓平均压力与地表沉降示意图

在施工中, 开挖仓平均压力减小时, 由于存在着盾构姿态调整以及其他施工参数的调整, 难以较好地平衡开挖面的土压力, 引起地表沉降变大, 甚至可能诱发刀盘前方土体失稳。

当刀盘推力偏小时, 将会难以平衡开挖面土体的土压力, 从而导致该处地表沉降值增大。如图 3 所示, 刀盘推力与地表沉降近似呈反比关系, 刀盘推力较小处对应的地表沉降值较大。由此可知, 盾构刀盘推力设置偏小, 将引起较大的地表沉降。

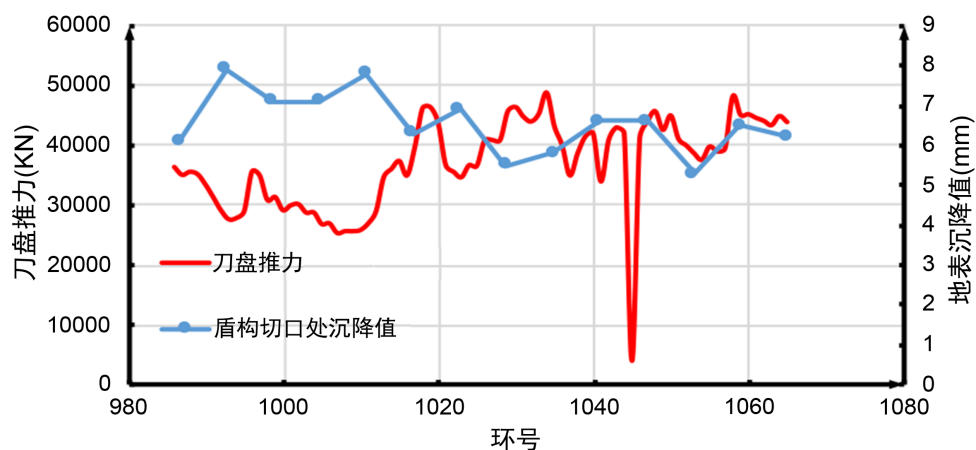


Figure 3. Schematic diagram of cutter head thrust and surface settlement  
图 3. 刀盘推力与地表沉降示意图

目前对于泥水平衡盾构推进速度的理论研究还比较少,实际施工中多是根据经验进行控制。从减小地层扰动的角度来说,究竟是以较慢的速度还是正常或较快的速度进行穿越,目前工程界并没有统一的认识。

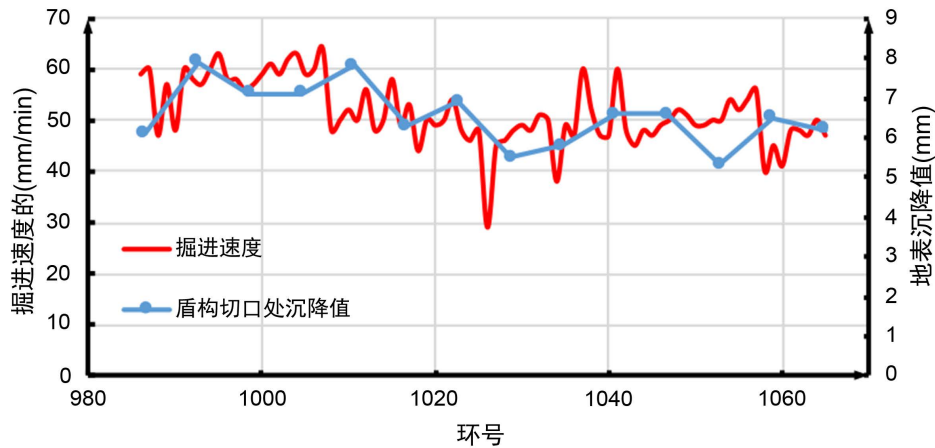


Figure 4. Schematic diagram of driving speed and ground subsidence

图 4. 掘进速度与地表沉降示意图

从图 4 中可知:当掘进速度处于较低水平时,对应的地表沉降值相对较小;同时对掘进速度的变化分析可以发现当掘进速度较为均匀时产生的地表沉降同时较小。

因此,依据该项目盾构穿越施工的经验,可以认为盾构在穿越建(构)筑物及砂层中掘进时应保持慢速均匀的掘进速度,能够取得较好的效果。在施工过程中需要控制掘进速度保持在一定范围内同时尽量做到匀速掘进,减少对开挖面土体的动荷载以及对土体产生的扰动。

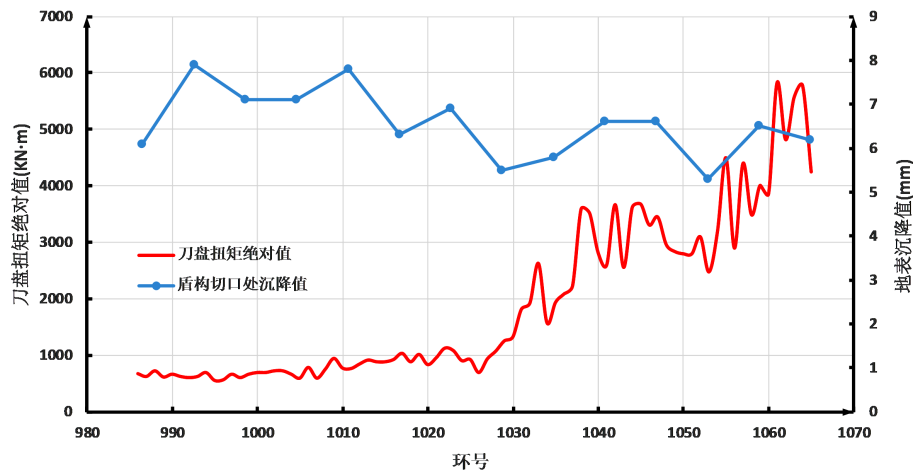


Figure 5. Schematic diagram of absolute value of cutter head torque and surface settlement

图 5. 刀盘扭矩绝对值与地表沉降示意图

从图 5 中可以看到,刀盘扭矩与地表沉降间的关系并不明显,刀盘扭矩对于地表沉降的影响小于开挖仓总压力,刀盘推力和掘进速度的控制产生的影响。但通过对 1030~1040 环部分的分析发现,刀盘扭矩绝对值波动过大时,会导致该处的地表沉降增加。刀盘扭矩的设置主要与开挖面的岩土性质有关,需要针对实际情况对刀盘扭矩进行调整,减少刀盘的磨损。同时在扭矩调整过程中需尽量控制其波动范围,避免波动过大对地表沉降产生影响。

## 4. 结论

综上所述, 在施工过程中起初地表沉降较大, 之后适当增加开挖仓总压力和刀盘推力等施工参数, 使得地表沉降量减小同时使得相应的施工参数与地层实际条件相符, 减少对于刀盘产生的磨损。

## 参考文献

- [1] 张忠苗, 林存刚, 吴世明, 等. 过江盾构隧道穿越大堤的地层沉降分析及控制[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(6): 977-984.
- [2] 陈相宇, 谢壮, 曾学艺, 等. 粉细砂地层大直径盾构下穿大堤风险控制研究[J]. 地下空间与工程学报, 2015, 11(4): 1033-1038.
- [3] 怀平生, 安宏斌, 白晓岭, 漆伟强, 杨志勇. 以色列富水库卡地层盾构选型研究[J]. 隧道建设(中英文), 2020, 40(2): 276-282.
- [4] 李桂花. 盾构法施工引起的地面沉陷的估算方法[J]. 同济大学学报, 1986(2): 126-135.
- [5] 张云, 殷宗泽, 徐永福. 盾构法隧道引起的地表变形分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(3): 388-392.
- [6] Lee, K.M. and Rowe, R.K. (2011) Effects of Undrained Strength Anisotropy on Surface Subsidence Induced by the Construction of Shallow Tunnels. *Canadian Geotechnical Journal*, **26**, 279-291. <https://doi.org/10.1139/t89-037>
- [7] Rowe, R.K. and Lee, K.M. (1992) An Evaluation of Simplified Techniques for Estimating Three-Dimensional Undrained Ground Movements Due to Tunnelling in Soft Soils. *Canadian Geotechnical Journal*, **29**, 39-52. <https://doi.org/10.1139/t92-005>
- [8] Rowe, R.K., Lo, K.Y. and Kack, G.J. (1983) A Method of Estimating Surface Settlement above Tunnels Constructed in Soft Ground. *Canadian Geotechnical Journal*, **20**, 11-22. <https://doi.org/10.1139/t83-002>