

# Study of Control Technique of Tunnelling Parameters of Constructions of Underwater Shield Tunnel Adjacent to the Existing Tunnel

Kunyu Qin, Hui Wang

Sinohydro Bureau 8 Co. Ltd., Changsha Hunan  
Email: 360180262@qq.com

Received: Aug. 4<sup>th</sup>, 2018; accepted: Aug. 22<sup>nd</sup>, 2018; published: Aug. 29<sup>th</sup>, 2018

## Abstract

In order to study the construction impact of the underwater tunnel on the adjacent existing tunnel, based on the shield tunnelling engineering of Changsha Metro Line 4, the 3D numerical simulation analysis was conducted in this paper to explore the influence of shield tunnelling parameters to deformation of the existing tunnel including soil pressure, grouting pressure, grouting volume and excavation speed. The numerical simulation results show that: the soil pressure of the storage tank plays a key role of controlling the settlement of soil in front of the excavation face, and the greater the soil pressure, the smaller the maximum settlement deformation of the existing tunnel, but too high pressure will cause heave deformation of the existing tunnel; the increase of grouting pressure and grouting volume will reinforce the surrounding rock, then reduce the settlement of the existing tunnel, but the higher grouting pressure will also cause the large internal force of lining segments and soil heave, so the grouting pressure must be controlled within a reasonable range; while the tunnelling is faster, the settlement of the existing tunnel will increase. The optimal tunneling speed is obtained for the adjacent constructions. The studies of the optimization of shield parameters and the research results can provide technical basis for similar constructions.

## Keywords

Adjacent Construction, Soil Pressure, Grouting Pressure, Grouting Volume, Excavation Speed, Numerical Simulation

# 水下盾构隧道近接既有隧道掘进参数控制技术研究

秦坤元, 王 辉

中国水利水电第八工程局有限公司, 湖南 长沙

---

Email: 360180262@qq.com

收稿日期: 2018年8月4日; 录用日期: 2018年8月22日; 发布日期: 2018年8月29日

---

## 摘要

为研究水底隧道近接施工的影响, 依托长沙地铁4号线盾构隧道工程, 进行三维数值模拟分析, 探索近接施工中新建隧道盾构机土仓压力、注浆压力、注浆量和掘进速度对既有隧道的影响。数值模拟结果表明: 土仓压力对掌子面前方土体沉降起控制作用, 土仓压力增大, 既有隧道最大沉降会减小, 但压力过大会引起既有隧道隆起; 注浆压力与注浆量的增加会加强对围岩的加固, 明显减小既有隧道的沉降, 但较大的注浆压力会造成衬砌管片产生较大内力和土体隆起, 注浆压力需控制在合理的范围; 盾构掘进速度越快, 既有隧道的沉降变形越大, 以此得出了近接施工的最优掘进速度。本文所研究盾构参数的优化分析及研究结果可为类似工程施工提供技术依据。

## 关键词

近接施工, 土仓压力, 注浆压力, 注浆量, 掘进速度, 数值模拟

---

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## 1. 引言

盾构机施工, 在其掘进过程中需要考虑调整十几项施工参数, 以适应在不同地质条件、不同隧道埋深和地表建(构)筑物。各项参数不仅受到周围地质条件的影响, 且各参数之间相互影响作用明显, 因此, 需要从理论上计算出某项工程具体开挖环号对应的掘进参数。在实际施工中, 主要通过收集大量的盾构施工掘进参数数据资料, 并结合理论研究和试验研究等方法确定盾构掘进参数在各地层中的取值范围, 通过选取适当的掘进参数值进行试掘进, 通过监控量测反馈信息进行分析, 最终确定盾构施工参数。在盾构施工过程中, 通过调整和优化掘进参数以实现不同地层地质条件的要求。各参数对稳定开挖面和周围土体的扰动影响以及如何选取合适的掘进参数进行匹配, 对实际工程具有重要意义。在众多掘进参数中, 土仓压力、注浆控制、掘进速度被认为是影响地层变化、控制施工的主要因素。仇文革[1]首先对提出了盾构隧道近接施工的影响理论; Ng [2]和 Chakeri [3]等通过数值模拟对近接施工对既有结构和地层的影响进行分析, 并提出近接施工影响区划问题。凌昊[4]进行了离心模型试验对盾构隧道近接施工进行了影响性分析, 提出近接施工对既有隧道的受力和变形影响很大, 施工过程应加强监测和支护。李志明[5]对土压平衡盾构在黏土地层中的同步注浆浆液的填充模式及压力分布进行理论推导。结果表明, 浆液压力沿隧道纵向从盾尾往后逐渐减小, 盾尾处最大。林志[6]等通过理论分析和数值模拟双圆盾构隧道施工过程的相互影响, 并提出施工参数优化的建议。高健[7]通过编制有限单元数值分析程序计算地下水参数和盾构掘进速度的变化对隧道掘进面附近水头场的分布。林存刚[8]对软土中盾构掘进速度及非正常停机进行研究, 分析结果表明, 盾构掘进速度对盾构隧道施工引起的地表沉降具有显著性影响。周东伟[9]对深圳地铁号线富水砂层地段进行数值模拟, 分析不同掘进速度下引起的地表沉降和孔压变化。

综上所述现有研究国内外学者对水下盾构隧道施工近接施工参数影响问题进行了卓有成效的研究工作, 取得了阶段性的研究成果。但对最优化施工参数方面研究并不多见。本文以有限元为代表的数值模拟方法, 根据不同的地质情况, 建立反映土层特性、施工因素、辅助措施等各种因素的力学模型, 利用计算机能够快速对盾构机掘进过程进行预测, 及时调整相关工作参数并指导各种辅助工法的实施。因此本文结合阜碧区间 4 号线左右线下穿南湖路主线隧道工程, 选取主要的掘进参数, 对于本标段盾构掘进进行有限元优化数值计算, 分析施工参数对既有隧道的影响, 提出最优化施工参数, 对类似长沙穿越盾构施工提供指导。

## 2. 工程概况

根据长沙轨道交通四号线阜埠河路站 - 碧沙湖站区间盾构线路与既有南湖路隧道线路的位置关系, 既有隧道下穿南湖路隧道匝道, 区间隧道外轮廓至匝道底板最小垂直距离 11.776 m, 盾构顶板与匝道围护桩最小竖向净距 3.527 m; 区间隧道直接下穿南湖路隧道主线南线, 区间隧道外轮廓至南湖路隧道主线南线底板垂直距离 5.442 m。本方案选择下穿南湖路主线南线典型断面作为主要研究对象, 根据相对位置关系的特点分别对该断面做试验研究。该水下盾构工程采用  $\Phi 6250$  土压平衡盾构机掘进, 江底地层主要为强风化砾岩, 局部存在中风化砾岩。选择典型断面进行计算分析, 根据地质资料, 该处江水水深 6 m, 盾构隧道埋深为 10.906 m, 隧道全身处于强风化砾岩中。相关参数为: 隧道半径  $a = 3.14$  m, 承受内水水头  $h_a = 0$  m, 足够远处水头  $h_0 = 20$  m, 围岩原岩应力  $P_0 = 0.4$  MPa, 等效孔隙水压力系数  $\zeta = 1.0$ 。围岩弹性模量  $E = 45$  MPa, 泊松比  $\mu = 0.3$ , 粘聚力  $c = 50$  kPa, 内摩擦角  $\varphi = 37^\circ$  (图 1)。

## 3. 掘进参数优化模型

在掘进参数优化模型中, 根据实际施工, 模拟盾构外壳、盾构注浆压力、盾构土仓压力, 以及注浆影响层。其中, 盾构外壳模拟为钢外壳, 注浆压力以面压力形式施加于围岩, 土仓压力以面压力施加于掘进掌子面前方, 注浆影响层根据注浆量不同改变其属性加强效果。模型示意图如图 2~图 6。

为突出分析各施工参数的影响, 施工过程模拟中将 4 号线右线施工过程产生的变形清零, 对 4 号线左线施工模拟结果进行比较。不同工况模拟参数如表 1。

### 3.1. 盾构掘进土仓压力

土仓压力方面的研究主要集中于控制开挖面稳定和地表沉降的控制方面, 下面通过数值模拟不同土仓压力对既有隧道沉降值的影响进行分析(表 2)。

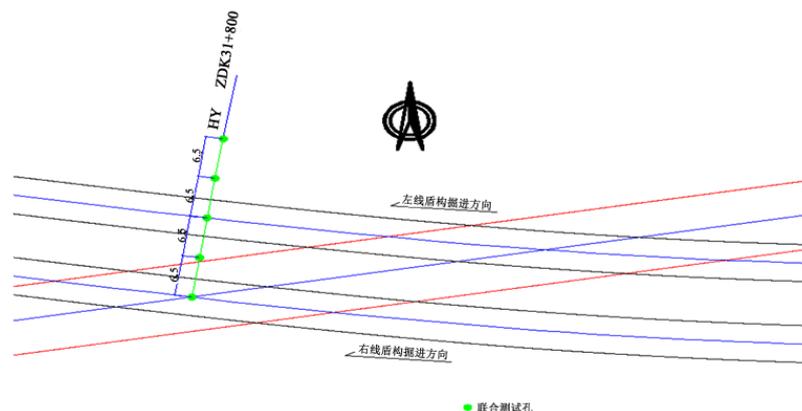


Figure 1. The plan of construction site  
图 1. 模型选取段平面图

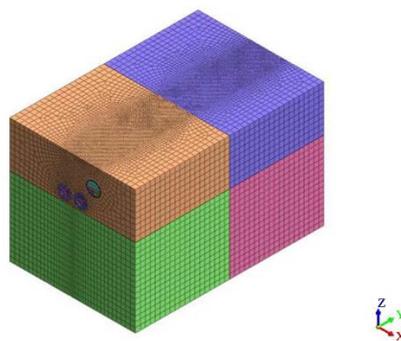


Figure 2. Parameter optimization finite element model  
图 2. 参数优化有限元模型

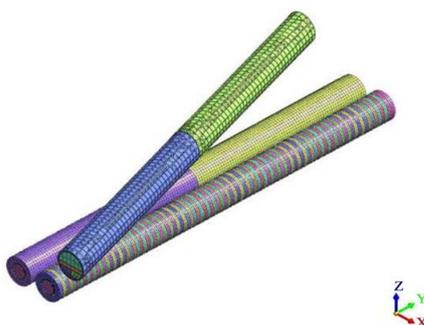


Figure 3. Figure of line 4 and the Nanhu Road tunnel positional relationship  
图 3. 4号线与南湖路隧道主线位置关系图

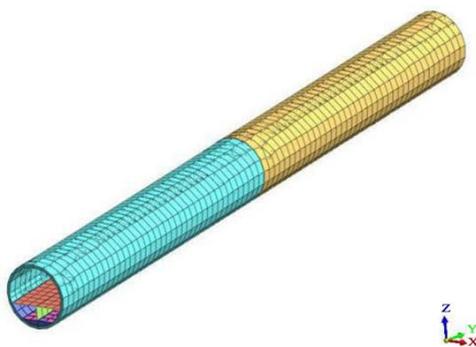


Figure 4. Nanhu road tunnel structure diagram  
图 4. 南湖路隧道主线结构图

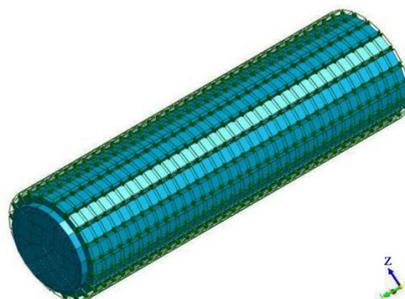


Figure 5. The grouting pressure schematic  
图 5. 注浆压力示意图

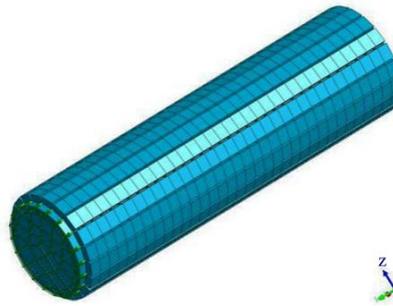


Figure 6. The earth pressure schematic  
图 6. 土仓压力示意图

Table 1. Table of the simulation operating parameters  
表 1. 模拟工况参数表

参数类型	Level-1	Level-2	Level-3	Level-4
土仓压力(bar)	1.5	2.0	2.5	3.0
注浆压力(bar)	2.0	2.5	3.0	3.5
注浆量(m <sup>3</sup> )	5.0	6.0	7.0	8.0
掘进速度(mm/min)	10	20	30	40

Table 2. Nanhu road tunnel settlement deformation  
表 2. 南湖路隧道沉降变形

土仓压力	位移图	最大沉降值
150 KPa		3.69 mm
200 KPa		3.73 mm
250 KPa		3.78 mm
300 KPa		3.84 mm

可以从云图发现, 土仓压力对掌子面前方土体沉降起控制作用, 掌子面前方的南湖路隧道部分在高土仓压力时变形较小, 同时由于隧道本身的刚度作用发挥比较明显, 南湖路隧道在土仓压力 150 KPa、200 KPa、250 KPa、300 KPa 作用下, 最大沉降变形依次为: 3.69 mm, 3.73 mm, 3.78 mm, 3.84 mm。

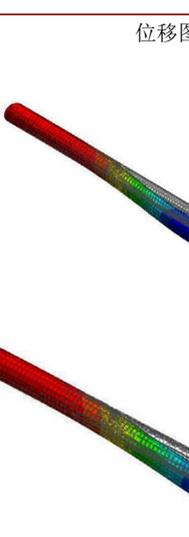
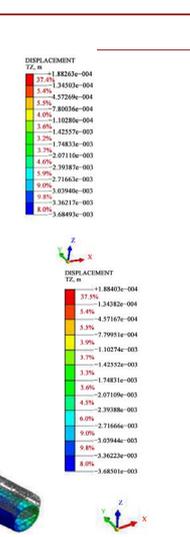
总结土仓压力不同时的有限元计算结果, 可以直接表现出土仓压力对于掌子面前方土体的沉降控制作用, 在低土仓压力时, 前方土体沉降变形较大, 而高土仓压力时, 前方土体沉降减小, 在一定范围之外出现隆起。本次模拟里程段盾构土仓压力选取 200 kPa 较为合适。

### 3.2. 盾构掘进注浆压力

下面通过数值模拟不同注浆压力对既有隧道沉降值的影响进行分析(表 3)。

同步注浆压力从 200 KPa 到 350 KPa, 南湖路隧道的沉降变形也较为相近, 在下穿中南湖路隧道出现了沉降, 数值在 3.69 mm 左右, 在隧道附加变形安全控制范围之内。总结有限元计算结果, 注浆压力对于地表以及南湖路隧道的影响, 在不同注浆压力时体现并不明显, 结合现场的施工反馈数据以及参考类似长沙区域盾构经验, 将本项目中的注浆压力设置为 250 KPa 较为合适。

**Table 3.** Nanhu road tunnel settlement deformation  
**表 3.** 南湖路隧道沉降变形

土仓压力	位移图	最大沉降值
200 KPa		3.68 mm
250 KPa		3.69 mm
300 KPa		3.69 mm
350 KPa		3.69 mm

### 3.3. 盾构掘进注浆量

盾构隧道同步注浆量的模拟, 是通过改变注浆等待层的材料参数完成的, 注浆量的增加会增大注浆液的扩散半径, 增大围岩加固圈, 下面通过数值模拟不同注浆量对既有隧道沉降值的影响进行分析(表 4)。

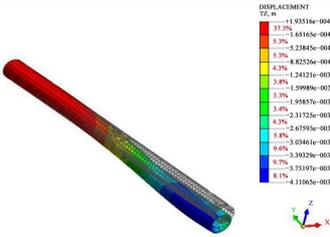
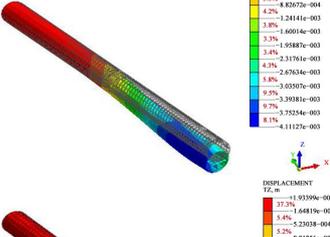
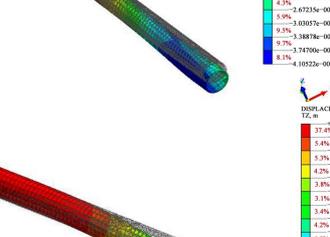
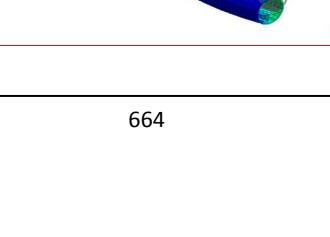
注浆量除了保证注浆层效果外, 对于围岩的加固作用也很明显。注浆量  $5.0 \text{ m}^3$ ,  $6.0 \text{ m}^3$ ,  $7.0 \text{ m}^3$ ,  $8.0 \text{ m}^3$ ; 而南湖路隧道最大沉降变形为:  $4.11 \text{ mm}$ ,  $4.11 \text{ mm}$ ,  $4.10 \text{ mm}$ ,  $4.08 \text{ mm}$ 。注浆量不同对于控制变形的影响不大但仍可发现规律, 随着注浆量的增加, 对于围岩的加固作用也越来越明显, 对软弱围岩则变形更为明显。 $5 \text{ m}^3$  以上的注浆量均可以保证注浆层的密实。综合有限元计算结果, 以及现场的注浆效果及施工监测数据反馈, 将盾构掘进的注浆量控制在  $7.0 \text{ m}^3$  左右为宜。

### 3.4. 盾构掘进速度

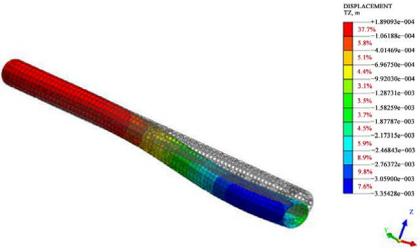
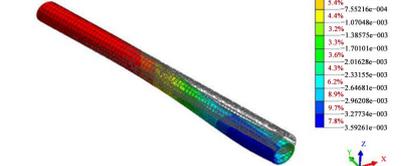
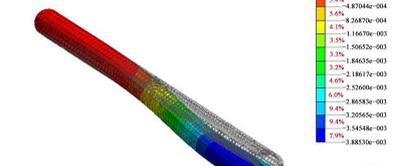
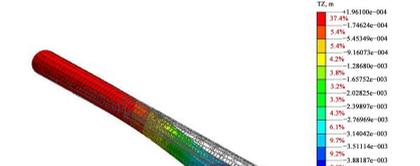
下面通过数值模拟不同掘进速度对既有隧道沉降值的影响进行分析(表 5)。

云图中列出了左线盾构隧道下穿南湖路段掘进速度不同时, 南湖路隧道沉降变形图, 其中掘进速度分别为  $10 \text{ mm/min}$ ,  $20 \text{ mm/min}$ ,  $30 \text{ mm/min}$ ,  $40 \text{ mm/min}$ 。从图中分析可知, 掘进速度越快, 南湖路隧道

**Table 4.** Nanhu road tunnel settlement deformation  
**表 4.** 南湖路隧道沉降变形

注浆量	位移图	最大沉降值
$5.0 \text{ m}^3$		$4.11 \text{ mm}$
$6.0 \text{ m}^3$		$4.11 \text{ mm}$
$7.0 \text{ m}^3$		$4.10 \text{ mm}$
$8.0 \text{ m}^3$		$4.08 \text{ mm}$

**Table 5.** Nanhu road tunnel settlement deformation  
**表 5.** 南湖路隧道沉降变形

掘进速度	位移图	最大沉降值
10 mm/min		3.35 mm
20 mm/min		3.59 mm
30 mm/min		3.89 mm
40 mm/min		4.25 mm

的沉降变形也越大, 最大沉降依次为: 3.35 mm, 3.59 mm, 3.89 mm, 4.25 mm。隧道在岩土体之中, 掘进引起前方岩土体受到扰动, 在掘进的时候, 掌子面前方的隧道会发生一定的沉降, 当掌子面之后的岩土体开挖时, 该处的岩土体变形更大, 这种影响逐渐影响到地表。相对于地表, 隧道首先受到影响, 并且出现沉降的响应。当速度 40 mm/min 时, 隧道变形已经为 4.25 mm。强风化砾岩性质较好, 当遇到性质较弱的岩土体时, 掘进速度的影响将更加不容忽视。掘进速度的控制应通过推进力与刀盘转速、渣土改良等情况相结合, 并根据具体的地质条件来综合控制, 施工中不断积累经验, 达到掘进开挖量、刀盘开口卸渣能力、螺旋机出渣速度的完美结合, 即为最优的掘进速度控制。综合有限元计算结果, 根据现场反馈的数据, 考虑到对于南湖路隧道的影响以及施工工期计划, 将掘进速度设置为 20~30 mm/min 之间为宜。

#### 4. 结论

1) 通过建立三维有限元模型, 对盾构不同类型掘进参数进行数值模拟研究, 根据近接既有隧道变形结果, 对掘进速度、土仓压力、注浆量与注浆压力分项研究, 得到长沙 4 号线阜碧区间最适宜掘进参数为: 掘进速度为 30 mm/min, 土仓压力为 2.0 bar, 注浆压力为 2.5 bar, 注浆量为 7.0 m<sup>3</sup>。为类似近接施

工提供盾构施工参数选取依据。

2) 盾构土仓压力增大, 隧道周围土体位移增大, 既有隧道最终沉降量减小, 但在推进过程中掌子面前方的土体会随土仓压力的增大由沉降量减少转变至地表隆起。在施工过程中应严格控制盾构土仓压力, 不能过大或过小, 防止地表产生隆起或塌陷, 影响周边环境的安全。

3) 从注浆压力与注浆量来看, 对既有隧道和地层的最终变形值影响不大, 但是同步注浆填充扩散效果对盾构机通过后的围岩稳定性具有较大的影响。

4) 盾构隧道掘进时, 掘进速度对既有隧道的沉降变形影响较大, 掘进速度越快, 越不利于围岩的稳定, 导致既有隧道沉降值越大, 要控制盾构掘进速度为最优掘进速度, 保证既有隧道的稳定性。

## 基金项目

国家自然科学基金资助项目(50908234)。

## 参考文献

- [1] 仇文革. 地下工程近接施工力学原理与对策的研究[D]: [博士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2003.
- [2] Ng, C.W.W., Lee, K.M. and Tang, D.K.W. (2004) Three-Dimensional Numerical Investigations of New Austrian Tunnelling Method (NATM) Twin Tunnel Interactions. *Canadian Geotechnical Journal*, **41**, 523-539. <https://doi.org/10.1139/t04-008>
- [3] Chakeri, H., Hasanpour, R., Ünever, B. and Hindistan, M.A. (2011) Analysis of Interaction between Tunnels in Soft Ground by 3D Numerical Modeling. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, **70**, 439-448. <https://doi.org/10.1007/s10064-010-0333-8>
- [4] 凌昊, 仇文革, 等. 双孔盾构隧道近接施工离心模型试验研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(9): 2849-2853.
- [5] 李志明, 廖少明, 戴志仁. 盾构同步注浆填充机理及压力分布研究[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(11): 1752-1757.
- [6] 林志, 朱合华, 夏才初. 双线盾构隧道施工过程中相互影响的数值研究[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(1): 85-89, 132.
- [7] 高健, 张义同. 盾构掘进速度对开挖面水头分布的影响[J]. 天津大学学报, 2010, 43(4): 287-292.
- [8] 林存刚, 吴世明, 张忠苗, 刘俊伟, 李宗梁. 盾构掘进速度及非正常停机对地面沉降的影响[J]. 岩土力学, 2012, 33(8): 2472-2482.
- [9] 周东伟, 张远荣. 盾构掘进速度与建筑物基础注浆加固对地表沉降与孔压变化影响的研究[J]. 铁道建筑, 2012(4): 89-92.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [hjce@hanspub.org](mailto:hjce@hanspub.org)