

# 盾构隧道下穿河流对地表沉降影响和控制措施

崔金汉

中铁十六局集团北京轨道交通工程建设有限公司，北京

收稿日期：2022年3月11日；录用日期：2022年3月28日；发布日期：2022年4月8日

## 摘要

盾构法作为一种新型的地铁隧道施工工法，以其安全性较高、适应各种不同地层、对周边环境影响较小等优点，应用越来越广泛。当盾构长距离下穿河流时，施工对土体的扰动较大，施工风险和施工难度也随之加大。为保障盾构下穿河流过程中的施工安全，以此地层为工程背景，通过Midas软件对注浆压力、掘进压力和覆土厚度进行了数值模拟，研究它们对地表沉降影响进行了分析，发现在不同参数下，地表沉降和变形是不同的，最终确定了盾构参数的安全取值范围；提出了降低相关施工风险的控制措施。

## 关键词

盾构法，下穿河流，数值模拟，控制措施

# The Influence and Control Measures on the Surface Subsidence of the Shield Tunnel Running through the River

Jinhan Cui

Beijing Rail Transit Engineering Construction Co., Ltd., China Railway 16th Bureau Group, Beijing

Received: Mar. 11<sup>th</sup>, 2022; accepted: Mar. 28<sup>th</sup>, 2022; published: Apr. 8<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

As a new type of subway tunnel construction method, the shield method is more and more widely used due to its advantages of high safety, adaptability to various strata, and less impact on the surrounding environment. When the shield tunnel runs down the river for a long distance, the construction will disturb the soil mass greatly, and the construction risk and construction difficulty will also increase. In order to ensure the construction safety of the shield tunneling through the river, with the stratum as the engineering background, the grouting pressure, the driving

pressure and the thickness of the covering soil were numerically simulated by Midas software, and their influence on the surface subsidence was analyzed. Under different parameters, the surface settlement and deformation are different. Finally, the safe value range of shield parameters is determined. Control measures to reduce related construction risks are proposed.

## Keywords

Shield Method, Undercrossing River, Numerical Simulation, Control Measures

Copyright © 2022 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

随着我国社会经济的快速发展,城市空间的需求急剧增加,但是空间资源十分有限,空间需求与空间资源的矛盾日渐突出[1]。目前,地铁隧道施工工法主要有明挖法和暗挖法,其中暗挖法包括矿山法、盾构法等工法,盾构法因为其在施工过程中干扰小、较为安全等优点,得到了越来越广泛的应用[2]。由于盾构线路的规划是十分复杂的,盾构施工时不可避免地会下穿河流。当采用盾构法下施工下穿河流段时,施工对河流段造成更大的土体扰动,控制扰动变形与土层沉降的难度系数也会变大。因此,对盾构下穿河流施工扰动控制展开研究,进而控制地表沉降是十分必要的[3]。是近年来,很多研究人员都对盾构施工下穿河流段对地表沉降影响开展了深入的研究,张程[4]等人以青岛地铁四号线沙子口站-崂山第六中学站区间施工为背景,提出了盾构下穿潮汐河期间,河床加固、及时调整盾构掘进参数等控制措施来降低施工风险,达到动态化施工的效果,确保了盾构下穿潮汐河的顺利施工;吕贻坤[5]等对盾构下穿河流砂卵石地层的施工技术研究,研究了盾构下穿区间的施工工艺,针对项目实际情况提出了加固、掘进过程控制、二次注浆加固等施工技术措施;李自力[2]等人对盾构长距离下穿越河流数值模拟及施工参数优化设计进行研究,分析了注浆量、注浆压力对隧道整体结构位移,得出了注浆压力和注浆量的参考范围;杨建寅[6]等人对软土地层盾构下穿河道沉降变形分析,为确保盾构穿越风险源河道时能够安全有效地施工,得出下穿河流段与非河流段注浆压力。基于此,本文以盾构下穿河流为工程背景,通过有限元仿真模拟研究注浆压力、掘进压力和覆土厚度对地表沉降规律进行分析。

## 2. 数值模拟基本假定及参数选取

### 2.1. 基本假定

- 1) 假定盾构区间的岩土均质分布均匀,且理想的弹塑性材料,不排水。
- 2) 管片砌接缝的刚度进行修正,看成一个整体的来计算。
- 3) 开挖面的土体移动的模拟通过施加顶进压力来实现,且掘进压看作为均布荷载,沿开挖面均匀布置。
- 4) 对模拟过程进行简化,暂不考虑地层固结变形和地下水的渗透。
- 5) 管片每环宽度 1.5 m。
- 6) 模拟过程中不考虑土体的构造应力,仅考虑重力场为初始应力场。

### 2.2. 材料物理学参数确定

根据施工项目部在盾构掘进处的土层信息主要成分,结合本施工项目中隧道开挖处土层信息中粉土、

砂质土占据主要成分，且施工隧道位于第六层，下穿河流位于第一、二层，综合以上土层土质信息为后面的盾构隧道挖掘仿真模拟研究提供隧道开挖处土层土质物理特征信息，各地质层土质参数信息如表 1 所示。

**Table 1.** Information on soil parameters of each geological layer

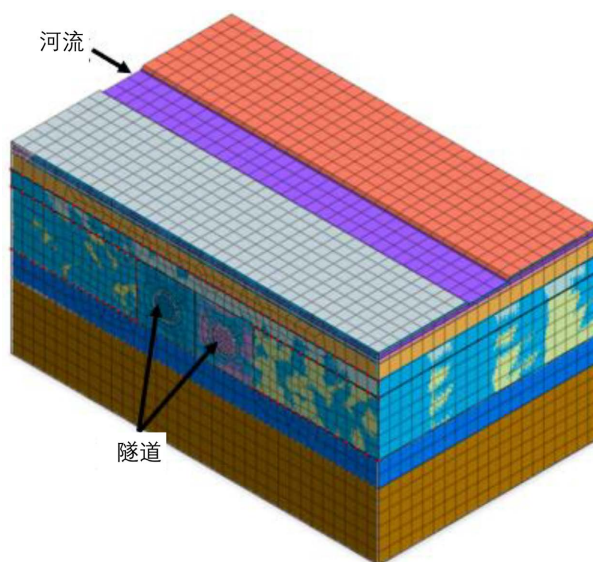
**表 1.** 各地质层土质参数信息

材料	弹性模量(KN/m <sup>2</sup> )	泊松比	凝聚力(KN/m <sup>2</sup> )	摩擦角( $\phi$ /°)	容重(kN/m <sup>3</sup> )
杂填土	6000	0.33	8	15	17.0
素填土	8000	0.3	10	12	18.0
粘质粉土	90,000	0.3	7	24	18.6
砂质粉土夹粉砂	145,000	0.45	5	30	19.0
粉砂夹砂质粉土	210,000	0.45	5	32	19.5
粉砂	320,000	0.45	5	33	19.4
砂质粉土	200,000	0.3	6	26	19.0
淤泥质粉质黏土夹粉土	115,000	0.45	13	11	17.9

### 3. 模拟分析

#### 3.1. 模型的建立

模型的研究对象为盾构隧道、隧道周围岩土体和盾构下穿的河流及其地表沉降，推进隧道对周围地层的影响范围在 3~5 倍隧道直径，模型长度为 100 m，掘进方向的长度是 60 m，每隔 1.5 m 为一环，因此隧道被分割为 40 环，高度 50 m，为了消除边界效应，故建立的三维有限元模型的尺寸为 100 m × 50 m × 60 m。河宽 10 m，水深 0.8 m，两侧均为浆砌石护坡。模型的边界条件为：在模型四周边界施加法向约束，模型底部施加全约束，模型上表面为自由面，x 向为水平方向，并与隧洞开挖方向垂直，用横向来表示；y 向为盾构机掘进方向，用轴向来表示；z 向：竖直方向，竖直向上为正，符合右手螺旋定则三维计算模型如图 1 所示。



**Figure 1.** 3D computational mode

**图 1.** 三维计算模型

### 3.2. 计算结果分析

#### 3.2.1. 不同的注浆压力对地层沉降的影响

为了避免盾构管片衬砌出现防水垫层损坏及裂缝,导致漏水等问题的发生,需要进行盾构壁厚注浆层;由于管片衬砌与盾尾脱离后,管片基本处于悬空状态,注浆还可以使衬砌管片位置的固定性提高;若盾尾间隙物充填浆液不足,容易导致纵向管片螺栓受力升高,在剪切力的影响下不能发挥整体性能。因此,注浆压力对盾构施工的安全性起着至关重要的作用,分别模拟注浆压力的数值分别为0 MPa、0.3 MPa、0.4 MPa、0.5 MPa、0.6 MPa,研究在地表处(河流段和非河流段)的沉降。模拟结果如图2和图3所示。

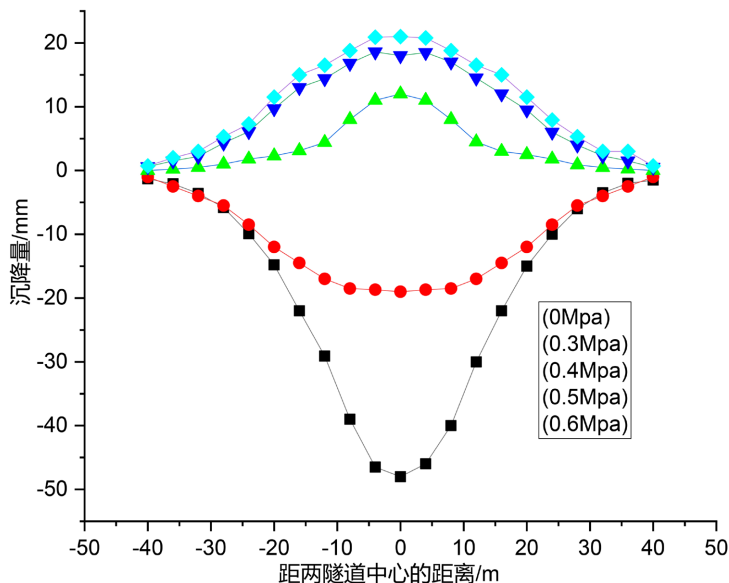


Figure 2. Influence of grouting pressure on surface subsidence of river section  
图 2. 注浆压力对河流段地表沉降的影响

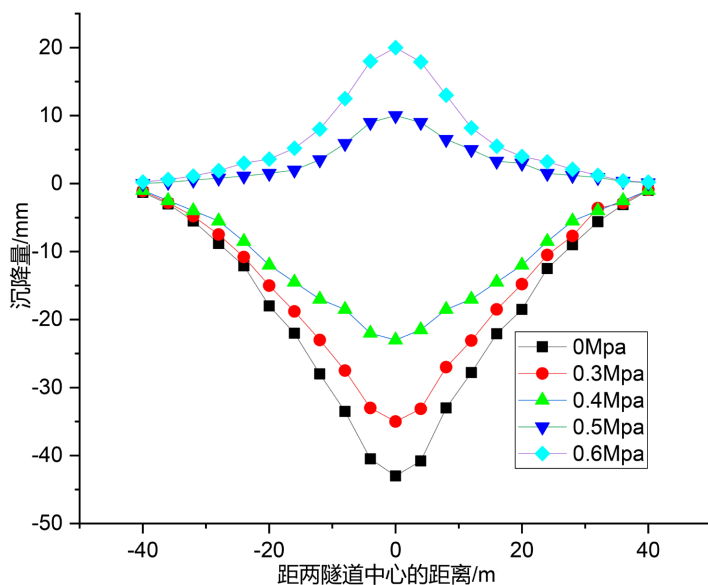


Figure 3. Effects of grouting pressure on surface subsidence in non-river sections  
图 3. 注浆压力对非河流段地表沉降的影响

由图可知，双线隧道地表沉降曲线的变化呈凹槽型，且服从正态分布，双线隧道施工时盾构隧道对地表沉降量的影响沿着两隧道中点的轴线对称，且最大的沉降(隆起)量在两隧道中心线上方，并且变形值随着远离隧道的方向逐步减小。在五种注浆压力下，随着注浆压力的提高地表沉降也随之减小，直至出现地表隆起。在下穿河流段当注浆压力为 0.3~0.4 MPa 的注浆压力时地表沉降相对较小；在下穿非河流段当注浆压力为 0.4~0.5 MPa 地表沉降相对较小。

### 3.2.2. 不同的掘进压力对地层沉降的影响

盾构法修建隧道时，由于掌子面前方的水文地质情况复杂多变，掘进压力是影响盾构掘进稳定性的

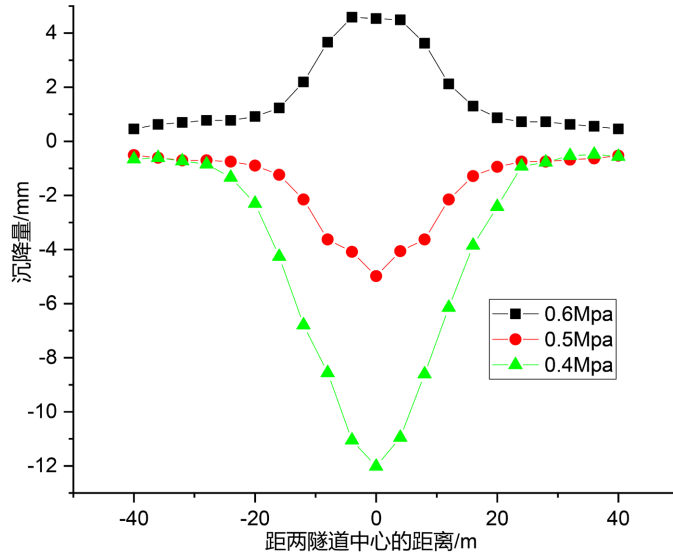


Figure 4. Influence of excavation pressure on surface subsidence of river section

图 4. 掘进压力对河流段地表沉降的影响

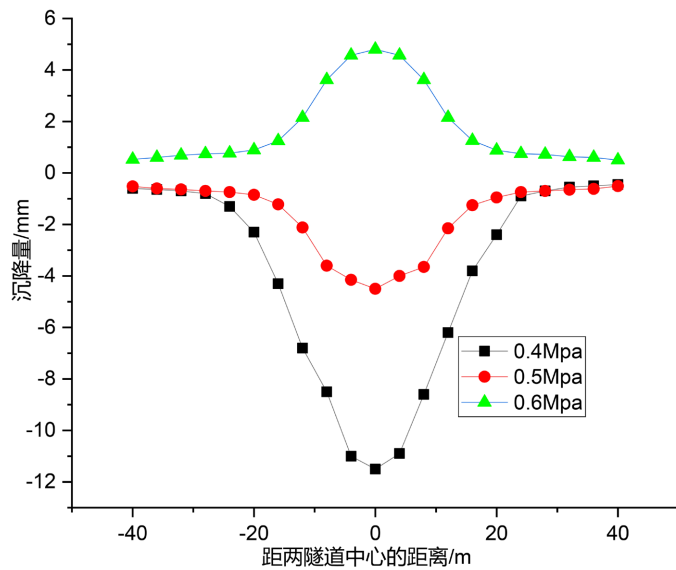


Figure 5. Influence of excavation pressure on surface subsidence in non-river section

图 5. 掘进压力对非河流段地表沉降的影响

一个关键的、直接的因素，开挖面土体的应力处于动态变化中因此需要不断调整掘进压力，若掘进压力严重失衡容易导致地表沉降或者隆起严重。针对这种情况，在开挖面分别施加 0.4 Mpa、0.5 Mpa、0.6 Mpa 3 种不同的掘进压力，进行对比分析，河流段与非河流段模拟结果如图 4 和图 5 所示。

由图可知，双线隧道地表沉降曲线的变化呈凹槽型，且服从正态分布，双线隧道施工时盾构隧道对地表沉降量的影响沿着两隧道中点的轴线对称，且最大的沉降(隆起)量在两隧道中心线上方，并且变形值随着远离隧道的方向逐步减小。在三种掘进压力下，随着掘进压力的提高地表沉降也随之减小，直至出现地表隆起。施工人员应在考虑初始开挖面与盾构开挖面沉降影响的基础上，合理选择掘进压力在下穿河流段和下穿非河流段使用 0.5 MPa 较为适合。

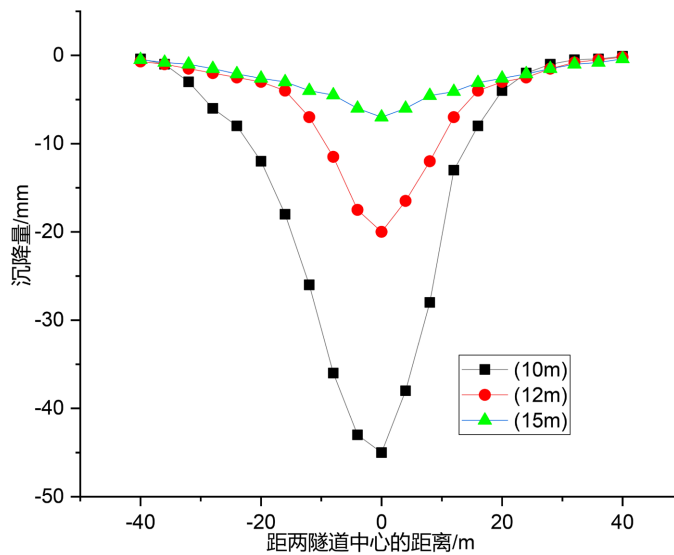


Figure 6. Influence of covering soil thickness on surface subsidence in river sections

图 6. 覆土厚度对河流段地表沉降的影响

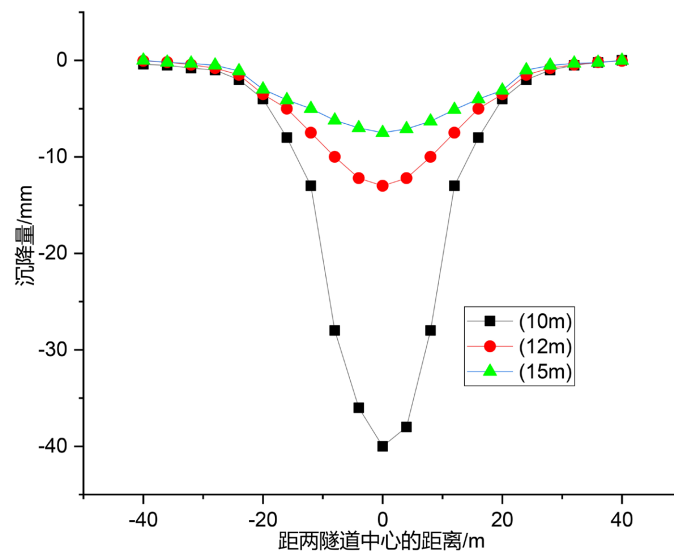


Figure 7. Influence of covering soil thickness on surface subsidence in non-river sections

图 7. 覆土厚度对非河流段地表沉降的影响

### 3.2.3. 不同的覆土厚度对地层沉降的影响

本施工区间的覆土厚度 9.19~15.97 米, 不同的覆土厚度对地表的沉降也会有影响, 为了反映盾构覆土厚度对大堤沉降的影响, 分别取覆土厚度为 10 m、12 m、15 m 进行有限元数值模拟, 图 6 和图 7 分别为盾构下穿河流段和非河流段不同覆土厚度对地表沉降的影响。

由图可知, 双线隧道地表沉降曲线的变化呈凹槽型, 且服从正态分布, 双线隧道施工时盾构隧道对地表沉降量的影响沿着两隧道中点的轴线对称, 且最大的沉降(隆起)量在两隧道中心线上方, 并且变形值随着远离隧道的方向逐步减小。在三种覆土厚度下, 当覆土厚度变厚时, 地表沉降会受到覆土厚度的影响, 沉降量会减少, 因此在进行设计时尽量增大埋深以减小地表沉降量。

## 4. 结论

本文章根据下穿河流区间, 通过有限元仿真, 分析了不同注浆压力、掘进压力覆土厚度对下穿河流段与非河流段对地表沉降量的影响, 主要结论如下:

- 1) 地表的最大沉降量位于隧道中心线附近, 并且沉降量会随着距离隧道中心水平距离的增加而减小。
- 2) 地表沉降曲线的变化趋势基本一致, 都呈凹槽型, 且服从正态分布。
- 3) 盾构掘进参数的安全取值范围为在下穿河流段时注浆压力为 0.3~0.4 MPa 左右, 在下穿非河流段时注浆压力为 0.4~0.5 MPa 左右地表沉降相对较小; 掘进压力在下穿河流段和下穿非河流段使用 0.5 MPa 较为适合; 地表沉降会受到覆土厚度的影响, 在进行设计时尽量增大埋深以减小地表沉降量。

## 参考文献

- [1] 冯晓九, 缪愔澜, 魏浩, 等. 富水粉砂地层盾构隧道穿越河流沉降控制[J]. 常州大学学报(自然科学版), 2021, 33(1): 77-84.
- [2] 李自力, 潘青, 曹志勇, 等. 盾构长距离下穿越河流数值模拟及施工参数优化设计研究[J]. 现代隧道技术, 2020, 57(S1): 442-449.
- [3] 黄海. 大直径盾构施工引起的钱塘江大堤沉降研究[D]: [硕士学位论文]. 浙江: 浙江工业大学, 2018.
- [4] 张程. 盾构下穿潮汐河控制技术研究[J]. 铁道建筑技术, 2021(9): 124-127.
- [5] 吕贻坤. 盾构下穿河流砂卵石地层的施工技术研究[J]. 智能城市, 2021, 7(9): 142-143.
- [6] 杨建寅. 软土地层盾构下穿河道沉降变形分析与控制措施[J]. 工程机械与维修, 2021, 297(2): 63-65.