· 岩土工程 ·

地铁隧道小净间距并线段矿山法施工工艺研究

刘　伟，张忠文
（中煤科工集团 武汉设计研究院，湖北 武汉　430064）

摘　要：合适的施工工艺对小净间距隧道并线段施工尤为重要。以武汉地铁 7 号线南延线纸坊大街站—地铁小镇站段左线、右线及出入场线并线段下穿市政道路、建（构）筑物为背景，采用 Madis/GTS 数值模拟软件，对施工顺序不同的 2 种方案进行了模拟分析，选择了合适的施工工艺，即方案 1。并线段隧道施工中，进行了现场监测。监测数据显示，该工艺能很好地控制了地表沉降及隧道结构变形，保证隧道结构及地层稳定。

关键词：地铁隧道；小净间距；并线段；数值模拟；施工工艺

中图分类号：U455.4　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1002-6029(2019)06-0057-04

Study on Mine Construction Technology Applied to Jointion Section with Small Clear Distance of Metro Tunnels

LIU Wei，ZHANG Zhongwen
(*Wuhan Design and Research Institute*，*China Coal Technology and Engineering Group*，*Wuhan*　430064，*China*)

Abstract：A suitable construction technology would be important to construct the jointion section with a small clear distance of the metro tunnels.Based on the left metro line，right metro line and the jointion section of the metro access line between Zhifang Avenue Station and Metro Small Town Station on South Expanded Line of Wuhan Metro No.7 Line under passing through the municipal road and buildings as the background，the Madis/GTS numerical simulation software was applied to simulation and analysis on the two construction plans with different procedures. A suitable construction technology was selected as a plan one.In the tunnel jointion section construction，a site monitoring was conducted. The monitoring data showed that this construction technology could well control the surface ground subsidence and the tunnel structure deformation and could ensure the stability of the tunnel structure and the strata.

Key words：metro tunnel；small clear distance；jointion section；numerical simulation；construction technology

由于地铁路网规划、区间客运量配置和设备、车辆检修的需要，在一些地铁线路起、终点站，需设置出入段线，它是列车从车辆段（停车场）进入正线或由正线驶回段、场的运行线路，也是夜间沿线设备检修及各种检修车辆和机具、材料进出现场以及事故救援列车的运行路径。随着城市圈的发展，在城市轨道交通线网规划理念不断变化的情况下，地铁线路延长线工程不断出现，由此必将导致地铁隧道正线和出入段线在平面上的并行。

并线段隧道施工引起地表沉降[1]的程度主要取决于地质条件、隧道埋深、开挖跨度及施工方法等因素，其中施工方法的影响最为明显。出入段线由于已从正线分离出来，一般采用矿山法施工。爆破作用会对周围环境有较大影响，因此合理选择施工工艺，是控制地表、建（构）筑物及隧道本身变形、沉降的前提[2-4]。

收稿日期：2019-08-10　　**DOI：**10.19458/j.cnki.cn11-2456/td.2019.06.014
作者简介：刘　伟（1988—），男，湖北荆州人，工学硕士，工程师。Tel：13627110572，E-mail：314324330@qq.com
引用格式：刘　伟，张忠文．地铁隧道小净间距并线段矿山法施工工艺研究[J]．建井技术，2019，40(6)：57-60.

1 工程概况

根据城市地铁线路规划，城市地铁隧道修建有时不可避免地要下穿建(构)筑物。武汉地铁 7 号线南延线纸坊大街站—地铁小镇站区间右线起点里程为右 DK44+155，终点里程为右 DK46+799；区间左线起点里程为左 DK44+155，终点里程为左 DK46+797，左、右线中心线间距 13～40 m。自纸坊大街站出站后，设 1 条出入场线，位于区间左、右线之间，与正线的最小净间距为 1.64 m。出入场线与区间正线并线约 355 m 后，向东与左线成 17°左右夹角，从左线上方穿过；接着继续向东出地面，接入纸坊车站。

并线段依次下穿纸坊大街、中建·龙城小区商铺及幼儿园、砖混结构民房和江夏实验高中。该区段建(构)筑物位于隧道上方，建筑基础采用柱下独立基础、整体阀板、条形基础或天然基础等形式，位于隧道拱顶上方 16～20 m 处。纸坊大街地表下，市政管线众多，管线埋深约 1 m，隧道拱顶至管线的最小距离为 17.6 m。并线段隧道上覆地层主要为素填土、粉质黏土、红黏土夹碎石、红黏土和中风化灰岩，隧道大部分位于基岩中，局部隧道拱顶位于红黏土中。

2 数值模拟对比研究

通过 Madis/GTS 数值模拟软件，模拟分析并线段在 2 种不同施工工艺下的地表沉降及隧道结构变形、应力分布特征，选择合适的施工工艺。

2.1 数值模型的建立

并线段隧道正线及出入段线断面均为马蹄形，正线断面尺寸为 5.38 m×5.73 m(净宽×净高)，出入段线断面尺寸为 10.6 m×7.95 m(净宽×净高)。计算范围：隧道水平方向两侧取 3～5 倍洞径，取 80 m；隧道底面以下取 3～5 倍洞径[5-6]；顶面以上取至地表；穿越地层根据现场实测，高度取 50 m，纵向计算长度取 100 m。隧道模型(见图 1)尺寸为 100 m×80 m×50 m(长×宽×高)。

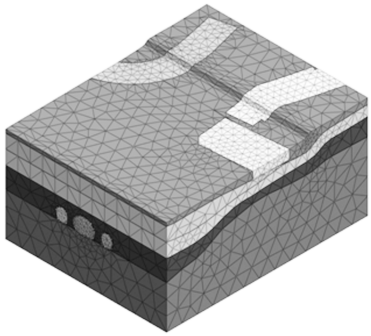


图 1 隧道数值模拟计算模型

并线段隧道拱顶处于红黏土层中，厚度约 1.2 m；隧道下部处于中风化灰岩中。正线初支厚度 250 mm，衬砌厚度 500 mm；出入场线初支厚度 350 mm，衬砌厚度 450 mm。初支喷射混凝土强度等级 C25，衬砌混凝土强度等级 C35。

按表 1 中所列的地层及隧道结构物理力学参数，对模型赋值。模型计算采用莫尔-库仑屈服准则，对 2 种工艺进行施工阶段对比分析。

表 1 地层及隧道结构物理力学参数

项 目	重度/(kN·m^{-3})	厚度/m	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)	泊松比	弹性模量/GPa
素填土	19.9	1.5	15	12	0.40	0.8
粉质黏土	19.9	8.5	32	15	0.36	1.6
红黏土夹碎石	19.6	6	38	16	0.46	1.7
红黏土	19.3	4	30	14	0.46	1.8
中风化灰岩	26.7	15	54	48	0.24	18.4
微风化灰岩	22	15	60	50	0.22	26.5
C25 喷射混凝土	25	0.35/0.25	—	—	0.21	25.0
C35 混凝土	26	0.45/0.50	—	—	0.21	32.5

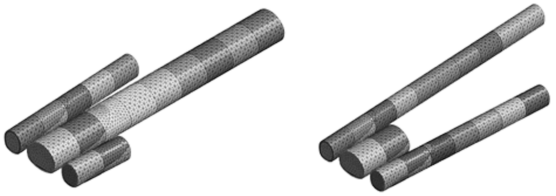
数值模拟 2 种方案的情况如下：

方案 1，先开挖出入场线，再开挖左线、右线；出入场线二衬领先左线 50 m，左线领先右线 30 m，如图 2(a)所示。

方案 2，先开挖左线、右线，再开挖出入场线；左线领先右线 30 m，右线领先出入场线 50 m，如图 2(b)所示。

2.2 围岩变形情况分析

通过数值模拟计算，得到 2 种方案下，出入场线、左线、右线纵向及横向上的地表沉降量，纵向

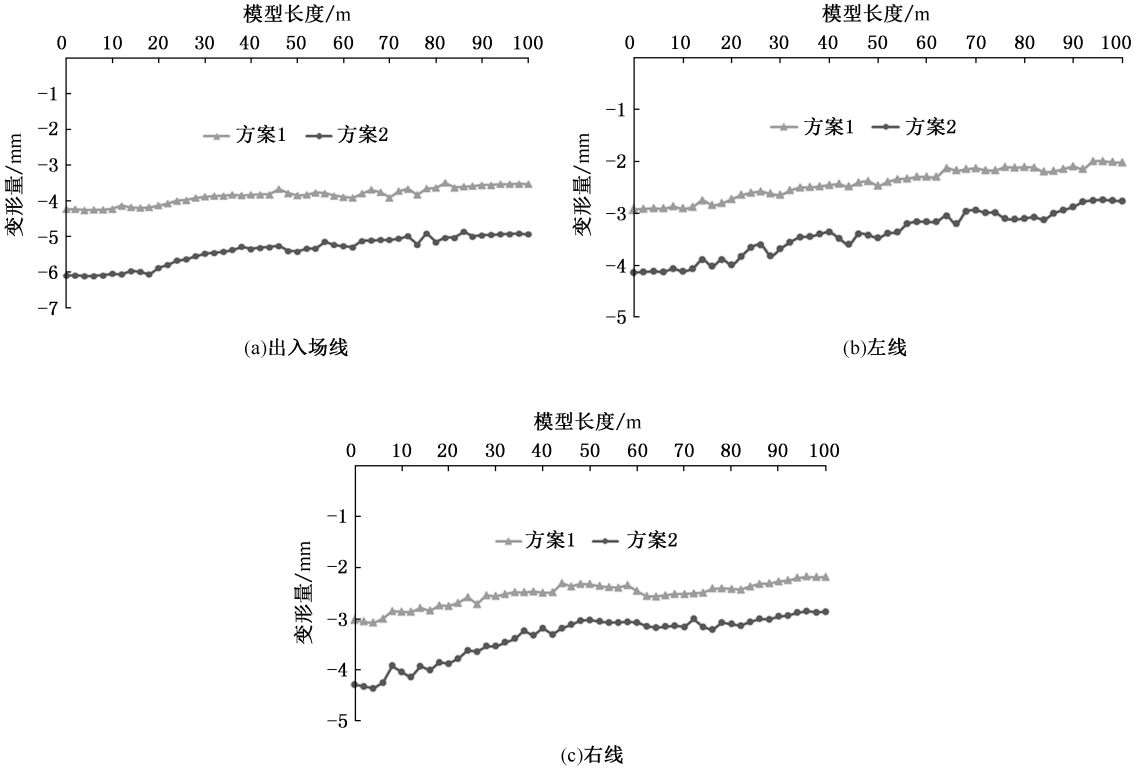


(a)方案1　　(b)方案2

图 2　2 种方案施工顺序

地表沉降曲线如图 3 所示。由图中可以看出，采用方案 1 施工顺序（即先开挖出入场线，再开挖左线、右线），能较好地控制地表沉降。

2 种方案下，隧道纵向地表沉降最大值如下：方案 1，出入场线 4.24 mm，左线 2.92 mm，右线 3.03 mm；方案 2，出入场线 6.12 mm，左线 4.14 mm，右线 4.29 mm。

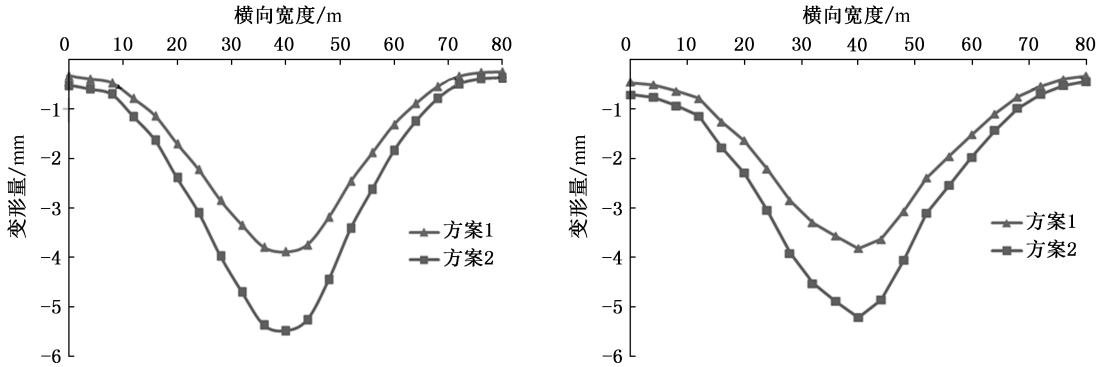


(a)出入场线　　(b)左线

(c)右线

图 3　2 种方案隧道纵向地表沉降曲线

2 种方案下，隧道纵向 30 和 50 m 处的横断面地表沉降曲线如图 4 所示。由图中可以看出，纵向 30 和 50 m 处，采用方案 1，隧道横断面地表沉降量均小于方案 2。纵向 10、70 和 90 m 处的隧道横断面地表沉降量，根据数值模拟计算结果，采用方案 1，也均小于方案 2。



(a)纵向30 m处　　(b)纵向50 m处

图 4　2 种方案纵向 30 和 70 m 处的横断面地表沉降曲线

由上述分析结果可知，方案 1 较方案 2 能更好地控制地表沉降变形。

2.3　隧道结构变形情况分析

隧道结构变形云图显示，2 种方案下，出入场线隧道变形均为最大。当采用方案 1 时，隧道最大顶板下沉量为 6.64 mm，最大横向变形为

4.91 mm；采用方案 2 时，隧道最大顶板下沉量为 8.95 mm，最大横向变形为 6.91 mm。

2 种方案下，出入场线隧道顶、底板变形曲线如图 5 所示，左、右线隧道顶板下沉曲线如图 6 所示。

由图 5、图 6 可知，采用方案 1 施工时，无论是出入场线隧道顶板下沉和底板隆起，还是左、右线隧道顶板下沉，均比方案 2 小。说明方案 1 能更好地保证隧道结构稳定。

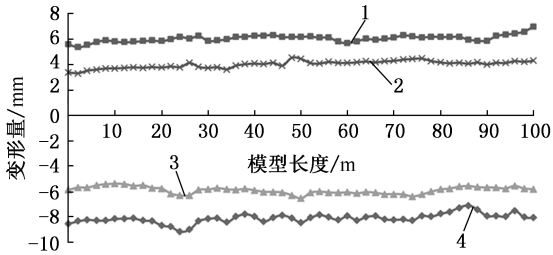


图 5 2 种方案出入场线隧道变形曲线

1—方案 2 底板隆起；2—方案 1 底板隆起；3—方案 1 顶板下沉；4—方案 2 顶板下沉

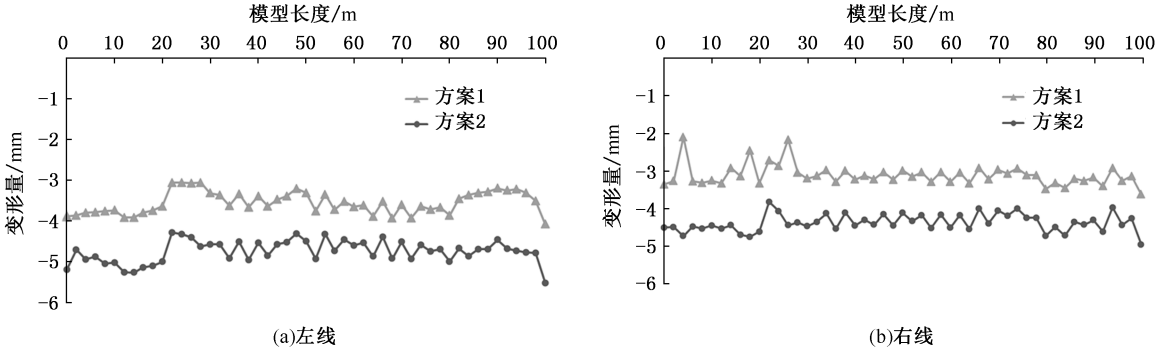


图 6 2 种方案左、右线隧道顶板下沉曲线

综合上述比较，隧道采用方案 1 施工，地表沉降、隧道结构变形均小于方案 2，隧道结构受力影响更小，因此推荐采用方案 1。即先开挖出入场线，再开挖左线、右线；出入场线二衬领先左线 50 m，左线领先右线 30 m。

3 现场实施

武汉地铁 7 号线南延线纸—地区间并线段施工时，采用了以下施工措施。

(1)并线段出入场线最先施工，之后再施工左线、右线，出入场线领先左线 50 m，左线领先右线 30 m。

(2)并线段出入场线隧道开挖采用 CD 法施工，左、右线隧道采用留核心土台阶法施工，光面控制爆破。

(3)出入场线隧道二衬施作 50 m 之后，衬砌强度达到设计值 80%以上，方可进行左线隧道施工。

(4)后施工隧道在靠近土(岩)柱侧的拱腰至轨面高度范围内的拱墙部位，增设超前注浆小导管，辅助施工。

(5)施工过程中，对地表沉降及隧道结构变形进行监测，确保施工安全。出入场线隧道地表沉降曲线及隧道结构拱顶下沉曲线分别如图 7、图 8 所示。

由图 7、图 8 可知，地表及隧道结构变形主要受到爆破震动的影响，在接近测点附近施工时，变形成线性增长。监测数据显示，地表沉降最大值为 5.91 mm，小于 30 mm，变形速率小于 2 mm/d；隧道拱顶最大下沉量为 2.98 mm，小于20 mm，变形速率小于 1 mm/d；变形得到了很好的控制，

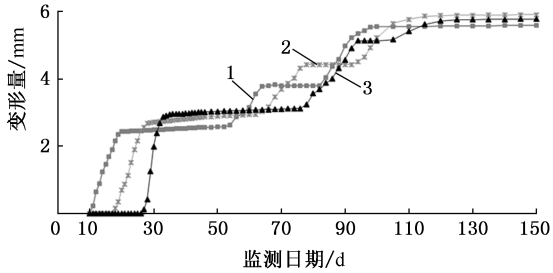


图 7 出入场线隧道中线上方地表沉降曲线

1—出入场线 10 m 处中点；2—出入场线 20 m 处中点；3—出入场线 30 m 处中点

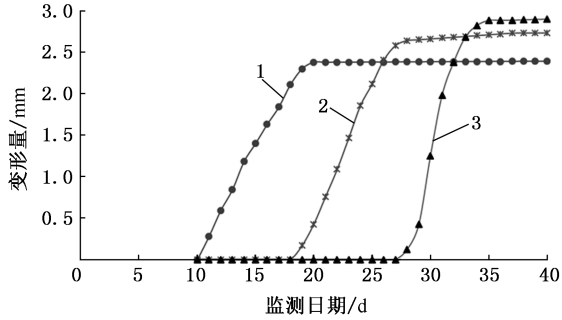


图 8 出入场线隧道拱顶下沉曲线

1—出入场线 10 m 处；2—出入场线 20 m 处；3—出入场线 30 m 处

(下转 48 页)