

# 特大断面浅埋偏压隧道 CRD 工法下 围岩位移变形规律

陈莹, 林从谋, 黄金山, 黄志波, 付旭

(华侨大学 岩土工程研究所, 福建 泉州 362021)

**摘要:**以国内罕见的大跨度超大断面浅埋偏压隧道——前欧隧道为工程背景,通过现场试验获得围岩变形数据,运用速率上限截断方法及小波理论对数据进行处理,并运用 Ansys 对开挖过程进行二维模拟,获得了一些变形规律:右上导坑的水平方向收敛计算值为 18 mm,明显比其他 2 个方向值 8.6 mm,3.8 mm 大得多,而全断面水平方向收敛计算值 7.9 mm 与其他 2 个方向值 4.5 mm,4.4 mm 基本相同,均与实测值规律相同;右上导坑收敛曲线受开挖工序影响比较明显,呈现出明显的周期性,而全断面收敛曲线周期性不明显。

**关键词:**特大断面隧道;围岩位移;变形规律;数值模拟

**中图分类号:**TU312.1 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2013.01.018

## The surrounding rock deformation laws of shallow-buried biased super-large cross-section tunnel excavated via CRD method

CHEN Ying, LIN Cong-mou, HUANG Jin-shan, HUANG Zhi-bo, FU Xu

(Institute of Geotechnical Engineering of Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

**Abstract:** On the engineering background of rare domestic large-span and super-large cross-section tunnel—Qianou tunnel, data of surrounding rock deformation was obtained through in-situ monitoring. Firstly, those data were cut off by upper limited velocity method; Then, they were analysed by Wavelet. Besides, a 2-D numerical model was set up by ANSYS to simulate the construction process. Some deformation laws were obtained as follows: The horizontal convergent calculated value of upper right heading was 18 mm, which was obviously much more than another two orientations, 8.6 mm and 3.8 mm respectively. While, the horizontal convergent calculated value of whole section was 7.9 mm, which was approximately coincident with another two orientations, 4.5 mm and 4.4 mm, respectively; The construction method had a comparatively more obviously influence on the convergent curve of upper right heading, which showed an obviously periodical character, while, the periodical character showed by the convergent curve of whole section was not that obvious.

**Key words:** super-large cross-section tunnel; surrounding rock deformation; deformation laws; numerical simulation

收稿日期:2012-04-25

基金项目:福建省交通科技发展课题资助项目(200910)

作者简介:陈莹(1986—),女,福建省龙岩市人,华侨大学硕士研究生,主要研究方向为隧道与地下工程设计与施工技术。

通信作者:林从谋(1957—),男,福建省福州市人,华侨大学教授,博士,主要研究方向为隧道与岩土工程设计与施工技术。

## 0 引言

由于特大断面隧道具有开挖面积较大、扁平率低、施工工艺复杂等特点,可能导致围岩变形规律和受力情况与小断面隧道有所不同.不少学者及工程技术人员就此进行了大量的理论研究和工程实践.张建国等<sup>[1]</sup>结合厦门东通道(翔安)海底隧道,对比分析了现场监测和数值模拟2种方法,为隧道的信息化施工提供了依据.万明富等<sup>[2]</sup>通过对沈大高速公路单洞4车道公路隧道施工现场的监测,探讨了大跨隧道开挖下的围岩变形规律.李海威等<sup>[3]</sup>通过FLAC3D软件对浅埋偏压隧道进行模拟,分析了围岩应力和位移变化规律.高飞等<sup>[4]</sup>从隧道不同开挖顺序出发,对浅埋偏压隧道采用预留核心土开挖方法的施工过程进行了数值模拟,给出了不同开挖顺序下围岩和支护结构的变形及应力分布规律.M. J. Kavvas<sup>[5]</sup>通过对隧道地表进行变形监测并总结规律,由此来选择和控制隧道开挖和支护的方法.

前欧隧道为特大断面隧道并且处于浅埋偏压段,受力条件十分复杂,围岩变形规律难以类比,针对这个工程实例,本文拟进行该隧道在特殊地质地形条件下的变形的现场试验,总结归纳特大断面隧道的变形规律,为日后类似工程提供依据.

## 1 工程概况与测点布置

### 1.1 工程概况

前欧隧道纵坡为1.0%和-1.74%,起始桩号为ZK357+036-ZK357+782,长度746 m.平均埋深44.3 m,开挖断面跨径22.036 m,高14.677 m,地面坡比为1:2.65.

### 1.2 施工难点

该隧道施工中存在以下难点:隧道断面大、跨度大、扁平率大;隧道承受偏压作用;隧道拱顶埋深小,如果施工不当,容易形成围岩失稳,产生冒顶、塌方等险情;隧道右侧为正在运营的高速公路的高边坡,要求严格控制爆破参数;需要克服没有设计标准、施工规范、控制指南等技术空白的困难.

### 1.3 测点布置

隧道洞身段采用CRD法开挖,在前欧隧道洞身段施工过程中需进行拱顶下沉量和周边收敛量监测,施工工序及测点布置如图1所示.

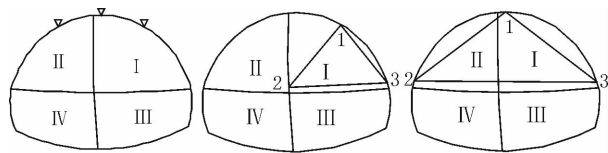


图1 浅埋偏压段CRD施工工序及测点布置示意图

## 2 试验数据分析

### 2.1 数据处理方法

在现场试验的过程中,测点常会发生意外,因此试验数据中不可避免地带有一定的误差.本文基于隧道围岩的位移速率必有上限的思想,用位移速率上限截断法处理数据,再采用Matlab 7.1中的小波工具箱进行去噪处理<sup>[6]</sup>,小波函数选取Db4,最大尺度为3.选取典型测试断面ZK357+140为分析对象,其小波去噪结果如图2—图4所示.

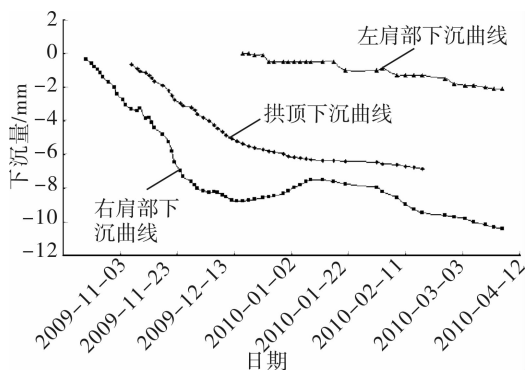


图2 ZK357+140断面下沉曲线汇总

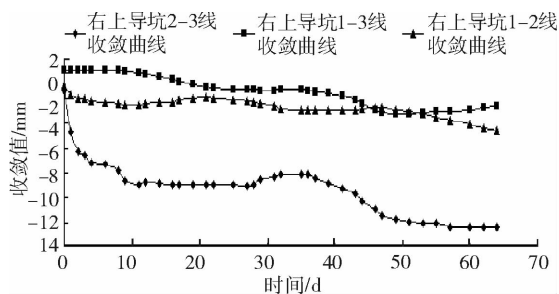


图3 ZK357+140断面右上导坑洞内收敛曲线

### 2.2 结果分析

#### 2.2.1 洞内下沉分析

图2为断面下沉曲线在尺度3下分解再重构的波形,由图2可知:隧道拱顶最大下沉量约6 mm,右拱肩约11 mm,而左拱肩约2 mm.其主要由系统误差造成,比如测点挂钩弯曲等;也可能是该隧道在浅

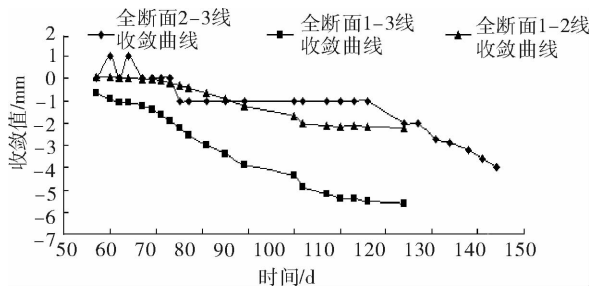


图4 ZK357+140断面全断面洞内收敛曲线

埋偏压、特殊地质条件下的一种间接反映。总结曲线规律有：1)下沉曲线起点处斜率最大,说明下沉速率与掌子面到试验断面的距离有关,掌子面到试验断面的距离越大,对断面的影响越小,这种形态关系近似为对数或指数关系。2)CRD工法分4个导坑开挖,由各段曲线的斜率可看出,开挖不同导坑对断面的下沉都有影响,开挖右侧导坑对右侧试验点影响较大,对左侧影响较小,反之亦然;开挖上部导坑对拱圈顶部的下沉影响较大,下部开挖导坑则影响较小。3)下沉曲线显示出周期特征,“右上导坑开挖→左上导坑开挖→右下导坑开挖→左下导坑开挖→折撑”为一个循环周期。

**2.2.2 洞内右上导坑收敛分析** 根据图3可知:隧道右上导坑1-2测线收敛值约4.5 mm,2-3测线约12 mm,1-3测线约3.5 mm。原因是右上导坑开挖后,在初始地应力场下围岩应力释放,水平方向的应变较大,有利于减小隧道扁平率,说明初始应力场对隧道开挖比较有利。总结曲线规律有:1)隧道右上导坑开挖后,内部3条测线均缩短,说明在原岩应力场作用下,隧道断面向内收缩,利于隧道稳定;2)其余规律与图2所得规律类同。

**2.2.3 洞内全断面收敛分析** 根据图4可知:隧道全断面1-2测线收敛值约2.5 mm,2-3测线约4 mm,1-3测线约6 mm。收敛值基本相同,说明隧道周边收缩均匀,利于隧道稳定。总结曲线规律有:1)隧道右上导坑开挖后,内部3条测线均缩短,说明在原岩应力场作用下,隧道断面向内收缩,有利于隧道稳定;2)收敛曲线起点的斜率比较平缓,说明拱圈封闭利于隧道变形控制;3)不同导坑的开挖对试验断面的收敛有一定影响,但不明显;4)收敛曲线的周期特征不明显。

## 3 数值模拟分析

### 3.1 计算模型及边界条件

#### 3.1.1 计算假设和简化 假设和简化条件如下:

1)隧道及围岩的受力和变形是平面应变问题;2)岩体初始应力场不考虑构造应力,仅考虑其重力场;3)除围岩用理想弹塑性模型,并服从Mohr-Coulomb屈服准则外,其余材料均考虑为弹性材料;4)围岩使用四节点的平面单元PLANE42来模拟,同时打开平面应变的选项开关,初衬使用梁单元BEAM3来模拟,锚杆采用杆单元LINK1来模拟。

**3.1.2 材料属性** 模拟计算时假设围岩为单一、均质的连续介质,围岩计算参数为围岩级别V级,弹性模量 $1.50 \times 10^9$  Pa,泊松比0.32,密度 $2\ 200$  kg/ $m^3$ ,凝聚力 $2.00 \times 10^5$  Pa,摩擦角 $30^\circ$ 。其余材料计算参数见表1。

表1 材料计算参数表

材料	弹性模 $\times 10^{10}$ /Pa	泊松比	密度/ $kg \cdot m^{-3}$	厚度/ 直径/m
喷射砼及工字钢	2.55	0.23	2 500	0.450
竖撑、横撑	2.55	0.23	2 500	0.200
锚杆	20.00	0.30	7 800	0.025

注:锚杆加固区厚度4 m,锚杆直径25 mm,长度4 m,环向间距100 cm。

**3.1.3 边界条件** 模型两侧边界的水平方向被约束,底边界垂直方向被约束,建立计算模型网格如图5所示。

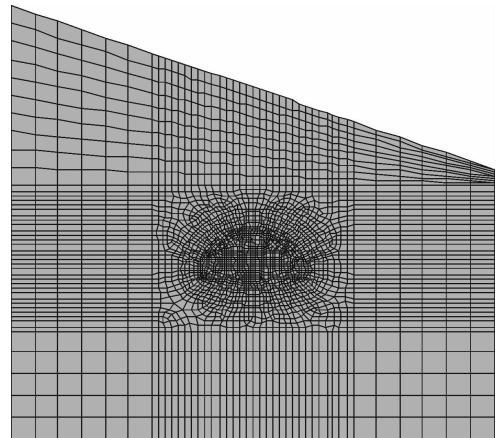


图5 建模网格图

### 3.2 模拟结果及分析

本文对CRD法施工的工序进行数值计算,得到收敛曲线与拱顶沉降曲线(见图6—图8),并进行实测值与数值计算结果的对比分析(见图9)。

可以看出:1)数值计算的变形比实测值要大,原因是实测值是在隧道初衬完成后进行监测,监测的变形量具有一定的滞后性;2)对比拱顶下沉收敛

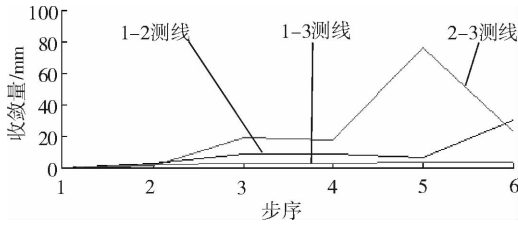


图6 ZK357 + 140 断面右上导坑洞内收敛曲线

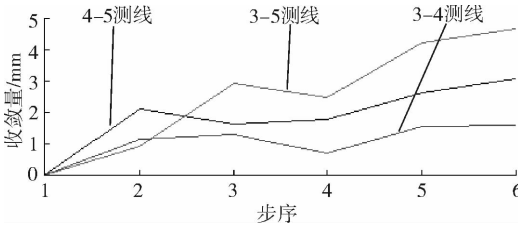


图7 ZK357 + 140 断面全断面洞内收敛曲线

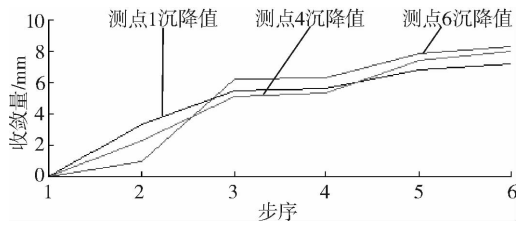


图8 ZK357 + 140 断面下沉曲线汇总

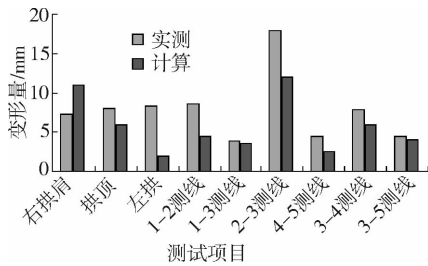


图9 ZK357 + 140 断面实测值与计算值变形量柱状比较图

值,测点1的实测值小于计算值,是由于测点1存在系统误差造成的;3)右上导坑2-3测线水平收敛值为18 mm,明显大于另外2条测线(收敛值为8.6 mm和3.8 mm),全断面3-5测线水平收敛值为7.9 mm,和其余2测线相差不大(收敛值分别为4.5 mm和4.4 mm),分析原因为开挖右导坑,断面形状近似一个圆,扁率较小,全断面开挖后形状近似一个椭圆,扁率较大,具有较好的传力作用,能将竖向压力传向两侧,从而能较好地抵抗隧道起拱线附近的水平位移,达到拱圈周边均匀向内收缩的效果。

## 4 结论

本文以国内罕见的大跨度超大断面浅埋偏压隧道前欧隧道为工程背景,通过现场试验获得围岩变形数据,运用速率上限截断方法及小波理论对数据进行处理,并运用 Ansys 对开挖过程进行二维模拟,获得了一些变形规律。

1) 现场的第一手资料存在一定的粗差和误差,运用速率上限截断再进行小波去噪处理,可提高数据的可靠性。

2) 右上导坑的水平方向收敛值为18 mm,明显比其他2个方向大得多,而全断面水平方向收敛值7.9 mm,与其他2个方向基本相同.原因是右上导坑近似圆形,而全断面近似椭圆形,椭圆的上半部分相当于一个压力拱,能将竖向压力传向两侧,使拱圈周边均匀向内收缩。

3) 右上导坑收敛曲线起点的斜率最大,而全断面收敛曲线起点的斜率比较平缓,原因在于全断面时隧道初衬闭合,形状最利于受力,隧道稳定性较高。

4) 右上导坑收敛曲线呈现明显的周期性,而全断面收敛曲线周期性不明显.原因是隧道封闭成环以后工作性能具有相当大的改善,受工序影响较小,安全性提高。

5) 拱顶沉降与收敛量的计算值均比实测值大,其原因是实测值在隧道初衬完成后进行监测,测得的变形量具有一定的滞后性。

### 参考文献:

- [1] 张建国,王明年,李姝. CRD 法各施工部对隧道结构内力的影响分析[J]. 路基工程,2009(1):50.
- [2] 万明富,海洪,刘剑平,等. 大跨度隧道开挖围岩变形稳定监测与主动控制[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2006(7):149.
- [3] 李海威,李德武,常卫锋. 浅埋偏压隧道围岩力学与变形研究[J]. 兰州交通大学学报 2012,31(1)43.
- [4] 高飞,李云鹏. 长哨浅埋偏压隧道施工顺序与支护力学行为分析[J]. 隧道建设,2009(1):19.
- [5] Kavvas M J. Monitoring ground deformation in tunneling: Current practice in transportation tunnels [J]. Engineering Geology, 2005, 79(1/2):93.
- [6] 李建平,唐远炎. 小波分析方法的应用[M]. 重庆:重庆大学出版社,1999.