

# 某地区地铁盾构施工地表沉降规律分析

冯 虎<sup>1</sup>, 张文成<sup>2</sup>, 孙士玲<sup>2</sup>

(1. 同济大学地下建筑与工程系, 上海 200092; 2. 上海同是工程科技有限公司, 上海 200090)

**【摘 要】** 通过对武汉地区某一地铁线盾构掘进施工过程中监测数据统计, 根据 Peck 理论, 得到汉口地区盾构施工引起纵横断面地表沉降的特点: 纵向上, 盾构机切口前 30m 以内和后 50m 以内为影响区域, 其中又以切口后 50m 为显著影响区, 盾构对某断面上影响范围在沿盾构中心轴线 10~18m; 盾构掘进引起的地表沉降数据累计变化控制指标宜为 -40mm, 盾构机切口通过监测断面 6~20m 范围内单次平均变化速率控制值宜为 -15mm/d。

**【关键词】** 地铁; 盾构施工; 地表沉降; Peck 公式

**【中图分类号】** U231

**【文献标识码】** B

**【文章编号】** 1001-6864(2010)08-0091-03

## RESEARCH ON SURFACE SETTLEMENT LAWS CAUSED BY SUBWAY SHIELD CONSTRUCTION IN WUHAN

FENG Hu<sup>1</sup>, ZHANG Wen-cheng<sup>2</sup>, SUN Shi-ling<sup>2</sup>

(1. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Shanghai Tongshi Engineering Technology Co., Ltd, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** After analyzing the monitoring data during shield construction in Wuhan, some characteristics of surface settlement in vertical and horizontal cross-section are got by Peck's theory. In vertical direction, 30m before and 50m after the incision of shield machine is the impact region, and 50m after the incision is the significant impact region. In the horizontal direction, the impact region of the cross-section is 10~18m away from the central axis of the tunnel. According to the statistical analysis, the control index of the cumulative surface settlement in shield construction should be -40mm. At the same time, the control index of the average rate should be -15mm/d after the incision of the shield machine passed the monitoring cross-section about 6~20m.

**Key words:** subway; shield construction; surface settlement; peck formula

武汉汉口地区工程地质、水文地质非常复杂,既有深厚软土,又有粉土、粉砂、互层及承压水的影响。在此种地质条件下进行地铁盾构施工,对变形控制有更加严格的要求,文中根据实测数据,对武汉地区盾构施工引起地表沉降变

化情况进行初步的分析,以期得到适用于武汉特殊地质情况下盾构施工对地表扰动的沉降控制标准。

### 1 区间隧道基本情况

#### 1.1 工程概况

### 参考文献

- [1] JCJ/T135-2001, 复合载体夯扩桩设计规程[S].
- [2] 钱鸿缙, 罗宇生. 湿陷性黄土地基[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1985.
- [3] 刘金砺. 桩基础设计与计算[M]. 北京: 中国建筑出版社, 1990.
- [4] 黄雪峰, 陈正汉, 等. 大厚度自重湿陷性黄土中灌注桩承载性状与负摩阻力的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(3): 338-346.
- [5] 黄雪峰, 陈正汉, 等. 大厚度自重湿陷性黄土地基处理厚度与处理方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(2): 4332-4338.

- [6] 周旭荣, 何满潮. 一种新的夯扩灌注桩单桩竖向极限承载力公式[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2005, 24(6): 859-860.
- [7] 夏林. 夯扩桩承载力的理论应用研究[J]. 武汉工业大学学报, 2000, 22(3): 28-30.
- [8] 龚晓南. 复合地基设计和施工指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [9] 南京水利科学研究院土工研究所. 土工试验技术手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.

**【收稿日期】** 2010-03-17

**【作者简介】** 朱彦鹏(1960-), 男, 甘肃庆阳人, 教授, 博士生导师, 从事黄土及湿陷性黄土地区支挡结构的设计与分析。

武汉地铁二号线一期工程某区间位于汉口,线路周边各种建筑物密集、地下管线密布,场地地貌为长江北岸冲积 I 级阶地。盾构起讫里程为:CK4 右 + 743.906 ~ CK5 右 + 758.399,右线长 1014.493m,左线长 1017.576m,总长 2032.069m。

区间设一个联络通道,与泵房合建,里程为:CK5(右) + 220.000;设有两个平面曲线,最小曲线半径 700m,线间距 12 ~ 15m。线路最大纵坡坡度 14‰,最小坡度 2‰,区间结构覆土厚度平均约 11m 左右。

该区间隧道为外径 6m,内径 5.4m,管片拼装衬砌的单洞圆形隧道,管片环宽 1.5m,管片混凝土标号为 C50、S12。

1.2 区间的地质情况

盾构隧道掘进的地层主要在(3-4)层和(3-5)层。(3-4)层粉质粘土夹粉土、粉砂,为褐灰~深灰色,软~流塑,高压缩性,夹少许有机质土,层厚 1.2 ~ 17.6m;(3-5)层粉质粘土、粉土、粉砂夹层,为褐灰色,中压缩性,以粉质粘土、粉土为主,粉质粘土呈软塑状态,粉砂呈松散状态。

2 地表沉降监测布点和量测方法

2.1 沉降监测布点

隧道纵向上沿中心轴线每隔 20m 布设一个监测断面;横向上,每个断面沿轴线中心点向两边每隔 3m 布设一个监测点,共布设 5 个测点。为减小路面结构对观测效果的影响,所有沉降点均埋设于原状土层内,由套管保护至地面。监测点埋深约 1.5m 左右,到原状土为止。

2.2 沉降量测方法

布设于中心轴线横断面上的观测点用于了解盾构施工对地面的影响范围,确定横向沉降槽曲线。现场每天跟踪监测的范围是盾构机前 30m,后 50m。以及时了解盾构施工引起的地表即时沉降,调整盾构掘进参数;同时也为了了解土体固结引起的地层损失以及后期的沉降趋势。地表沉降监测采用仪器为 AT-G2 精密水准仪,测量精度为 0.03mm。

3 地表沉降监测点的数据变化情况

3.1 单个测点的变化趋势

3.1.1 纵向影响范围

分析各个监测断面处的地表沉降过程,如图 1 ~ 3 所示,典型断面的监测数据如表 1 所示。

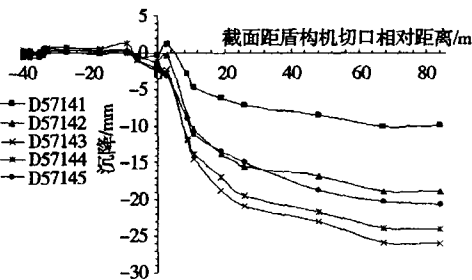


图1 D5714断面监测点数据随盾构机推进的变化曲线

经分析,盾构施工引发地表沉降过程可以大致做如下阶段的划分:

(1) 盾构机到达前较远处。当盾构机距离观测断面 20 ~ 30m 开外时,因盾构施工的对土层的轻微扰动、路面车辆活荷载碾压以及地下水位降低引起土体的固结沉降。

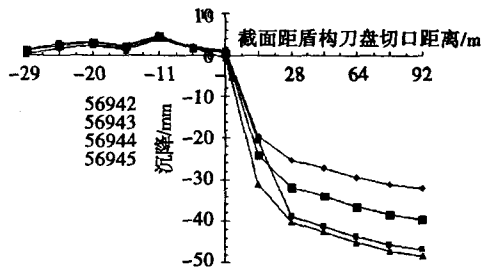


图2 D5694断面监测点数据随盾构机推进的变化曲线

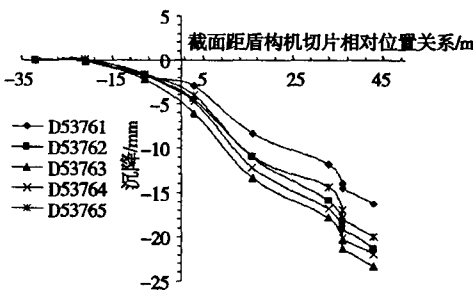


图3 D5376断面监测点数据随盾构机推进的变化曲线

表 1 监测数据

累计沉降 /mm	单次沉降量 /mm	切口环距 测点距离/m	区段隆沉 /mm	所占 比例
0	0	- 59		
0.69	-0.69	- 53		
0.11	0.58	-47		
-0.31	-0.42	-37	-1.0	3.87%
-0.66	-0.35	-29		
-0.56	0.1	-26		
-0.31	0.25	-20		
-0.59	0.9	-17		
-1.44	0.85	-11	-1.98	7.65%
-3.21	1.77	-9		
-2.29	-0.92	-1		
-10.31	-12.6	6		
-20.86	-10.55	28	-21.87	84.61%
-24.16	-3.3	47		
-24.56	-0.4	64	-1.0	3.87%
-25.16	-0.6	76		

(2) 盾构机到达前较近处。当盾构机距离观测断面 20 ~ 30m 内时,因盾构机推力对土体扰动影响的进一步加大、地下水位变化、开挖面塌落、施工参数(如土压、推力等)变化等多方面因素影响,地表产生轻微沉降或隆起。

(3) 盾构机掘进阶段。盾构机切口通过直到盾尾经过观测断面的 0 ~ 50m 内时,因盾构机主体脱出,浆液未及时充填、同步注浆量不足、施工中土体应力状态变化较大等多种因素引起地层损失,这是盾构施工过程中产生地表沉

降最主要的组成部分。

(4) 固结沉降阶段。由于盾构推进中的挤压作用和盾尾压浆作用等因素,土体骨架还会发生持续较长的压缩变形。在此土体蠕变过程中产生的地面沉降为固结沉降。

距监测数据统计,在汉口地区这类地质情况下,各阶段产生的地表沉降量所占的比重分别为:盾构机到达前较远处,地表产生的沉降仅占总沉降量的 0.5%~2%;盾构机到达前较近处,这类沉降占总沉降量的 5%~10%;盾构机掘进阶段,地表沉降占总沉降量的 80%~90%;后续固结沉降阶段,沉降占总沉降量的 1%~5%。

### 3.1.2 横向影响范围

通过研究该区间隧道现场实测的监测数据,并根据 Peck 公式对典型断面进行曲线拟合(如图 4、5、6)。假设断面监测点日变化量小于 1mm 时可以认为盾构对此点以外的影响忽略不计,通过对众多断面监测值统计分析,沿盾构中心轴线两侧,盾构机对横断面的影响范围为 10~18m 之内。

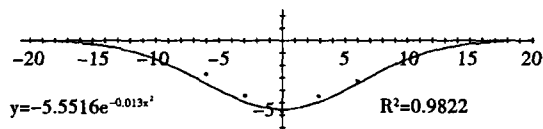


图4 D5573断面数据随盾构机推进变化曲线

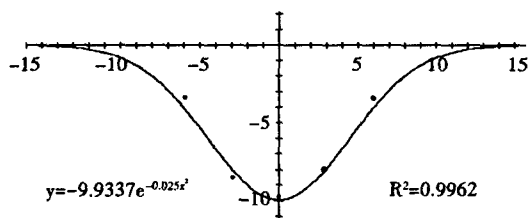


图5 D5714断面数据随盾构机推进变化曲线

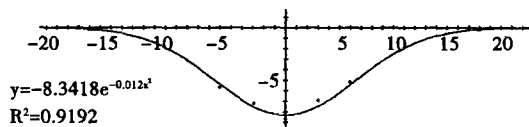


图6 D5553断面数据随盾构机推进变化曲线

### 3.2 各断面监测点单次日变化量(变化速率)与该断面到盾构切口距离的关系

选取各监测断面变化速率最大测点-盾构轴线中心点处监测点,根据该点和盾构机切口距离该点的距离绘制散点图(如图 7),可以看出,单次日变化量(变化速率)最大的点集中在距离盾构机刀盘切口处 6~20m 范围内。图中有两个异常点,A 点是因为注浆系统出现问题,盾构施工后注浆未及时跟进,引起过大沉降,B 点是 A 点异常发生次日的延续。同时,根据监测数据,盾构机切口通过监测断面 6~20m 范围内得到各监测点单日变化速率平均值为(仅计算中心轴线上监测点)-16.279mm/d。

通过对最大沉降统计,绘制下图 8。

通过图 8,可以看出,最大沉降量一般在 -40~-10mm 范

围以内,超过此范围的均为数据异常点。据此可以确定最大沉降控制值, +10~-40mm。

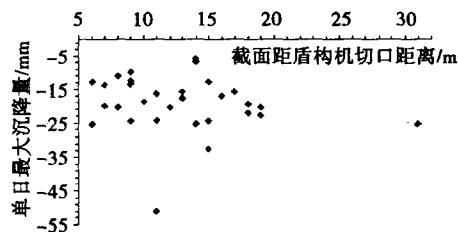


图7 截面距盾构机切口距离与截面单日最大沉降关系图

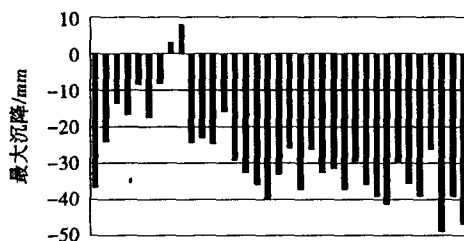


图8 实测最大沉降量统计

### 4 结语

(1) 盾构机切口前 30m 以外和后 50m 以外的区域为基本无影响区域,地表沉降基本可以忽略;盾构机切口前 30m 以内和后 50m 以内为影响区域,其中又以切口后 50m 为显著影响区,盾构通过该区域产生的沉降占总沉降量的 80%~90%。

(2) 盾构对其断面横向影响范围:盾构对某断面上沿盾构中心轴线向左右两侧延伸 10~18m 范围内,此范围外地表沉降累计量远小于 1mm,近似认为超过此范围后盾构对其无影响。

(3) 根据盾构纵向影响范围,地表沉降的监测区域应该为切口前 30m 切口后 50m,考虑到环宽为 1.5m,建议 4 环及 6m 一个纵向地表沉降监测点;根据盾构横向影响范围,应在盾构中心轴线向左右各 13m 内布设监测点,建议隔 3、3.7m 设一个监测点,每个断面共设 7 个点。

(4) 按照该区间现场实测监测数据的统计规律,建议对粉质粘土夹粉土粉砂层,盾构掘进引起的地表沉降数据累计变化控制指标为 +10~-40mm;盾构机切口通过监测断面 6~20m 单次平均量(变化速率)控制值为 -15mm/d。

### 参考文献

- [1] 姜启元,管攀峰,叶蓉. 软土盾构隧道的纵向变形分析[J]. 地下工程与隧道, 1998, (04): 78-86.
- [2] 铁道第四勘察设计院. 武汉地铁 2 号线一期工程某区间地质勘察报告[R]. 2007.
- [3] 中国地质大学(武汉). 武汉地铁 2 号线一期工程某区间施工监测方案[R]. 2009.

[收稿日期] 2010-03-04

[作者简介] 冯 虎(1982-),男,河南辉县人,博士研究生,研究方向:地下工程与安全监控技术。