现代隧道技术 MODERN TUNNELLING TECHNOLOGY

文章编号:1009-6582(2019)05-0180-07

DOI: 10.13807/j.cnki.mtt.2019.05.024

福州软土地区土压平衡盾构隧道地表沉降 特性分析

钟俊辉^{1,2} 尹培林^{1,2} 刘 俊^{1,2}

(1中交四航工程研究院有限公司,广州 510230;2中交交通基础工程环保与安全重点实验室,广州 510230)

摘 要 文章依托福州软土地区地铁2号线某土压平衡盾构区间隧道,对盾构施工地表沉降监测数据和掘进 参数进行分析,总结了地表沉降的特点。结合沉降实测值,给出了地面沉降修正双曲线预测公式的参数。分析结果 表明:无论是福州软土地区土压平衡盾构施工升起的地层损失沉降、固结沉降,还是考虑固结沉降的长期沉降均符 合Peck公式;盾构掘进时可影响到刀盘前方30~50范围,产生少量隆起(沉降);地面沉降主要为盾尾脱离后3~5 d 内的地层损失沉降和扰动土体的固结沉降,测量期间分别约占总沉降的65%和32%,实际上固结沉降占比较之更 大;修正后的双曲线模型可为福州软土地层类似土压平衡盾构隧道工程条件下隧道中心轴线地面沉降预测提供一 定的借鉴,参数*a*,*b*和*c*取值范围分别为-0.14~-0.67 mm/d, -0.028~-0.042 mm⁻¹和-0.89~7.67 mm。

关键词 福州软土地区 土压平衡盾构隧道 地层损失沉降 固结沉降 Peck公式 双曲线模型参数取值 中图分类号:U455.43 文献标识码:A

1 前 言

近年来,随着我国城市建设的快速发展,地铁隧 道被广泛修建,土压平衡盾构法以其优越的性能得 到了空前的应用和发展,各城市地铁的修建经验逐 渐丰富。但是,不同城市间地质往往大不相同,各区 域盾构掘进参数设置和地表沉降特性也有所不 同¹¹⁻⁴¹。福州盆地上部存在广泛的黑色、灰色软土, 主要为淤泥和淤泥质土,厚度多在10 m以上,具有 高含水量、大孔隙比、低强度、高压缩性等性质,而且 还具有低渗透性、触变性和流变性等不良工程特点^[5]。 盾构施工时若掘进参数设置不当,很容易引起地表沉 降。而福州在城市地下空间的利用方面尚处于初始 阶段^[6],关于福州软土盾构施工的研究很少。本文以 福州地铁2号线某盾构区间为研究对象,分析盾构在 软土中掘进时的施工参数和地表沉降,得到相关的沉 降特性,为福州地铁设计和施工提供一定的借鉴。

2 工程概况和水文地质

2.1 工程概况 📡

福州地铁2号线尾部某区间,位于福州市东,为 闽江下游冲淤积平原地貌。该区间为双线隧道,线 间距约为15~45 m,隧道纵剖面为V型坡,最大坡度 为25‰。区间隧道右线总长度为1211.9 m,左线总 长度1217.543 m(长链5.615 m)。采用中交天河生 产的外径为6430 mm的土压平衡复合式盾构机,盾 构主机长8.7 m,辐条式刀盘,开口率为38%。隧道 衬砌为钢筋混凝土管片衬砌,管片外径为6200 mm,内径为5700 mm,环宽为1200 mm,采用"5+1 楔形块"错缝拼装,膨胀胶止水条接缝。

2.2 地质条件

区间整体地势平坦, 地形起伏较小, 隧道穿越 大量的淤泥质软土等不良地质体, 主要有<2-4-1>, <2-4-4>, <3-1>和<3-5>, 上部覆土厚度为 10.3~ 19.5 m, 主要为<2-4-1>, <2-4-4>和<3-1>, 各土层 物理力学指标见表 1, 地质剖面见图 1。

场地勘察时测得钻孔中初见水位埋深为0.50~

修改稿返回日期:2018-07-21

作者简介:钟俊辉(1991-),男,硕士,工程师,主要从事岩土工程、地下工程等领域的设计与科研工作,E-mail:1264343933@qq.com.

180 第56卷第5期(总第388期),2019年10月出版

Vol.56, No.5(Total No.388), Oct.2019

福州软土地区土压平衡盾构隧道地表沉降特性分析

	Table 1 Thysical and mechanical parameters of son layers						
编号	上巳	重度	粘聚力	内摩擦角	渗透系数	天然地基承载力	静止侧压力
が用う		$/(kN/m^3)$	/kPa	/(°)	/(m/d)	特征值/kPa	系数 K_0
<1-2>	杂填土	18.5	5	15	8.64	80	
<2-1>	粘土	18.7	34	10.5	0.001	120	0.45
<2-4-1>	淤泥	15.7	9.6	2.8	0.024	45	0.62
<2-4-4>	淤泥夹砂	15.8	10	2.9	0.2	50	0.62
<3-1>	粘土	18.9	34	10.5	0.024	180	0.49
<3-3>	中粗砂	19	3	32	10	180	0.37
<3-5>	淤泥质土夹薄层砂	17.1	13.5	5.2	0.2	65	0.63
<3-8>	卵石	21	5	35	30	450	0.28
<5-1>	残积砾质粘土	19.1	28	13	0.8	30	0.34

表1 土层物理力学参数 Table 1 Physical and mechanical parameters of soil layers



图1 隧道穿越土层剖面 Fig.1 Profile of the soil layers passed by the tunnel

2.30 m,混合稳定水位埋深为1.00~2.80 m,地下水 主要为上层滞水和承压水两种类型。

3 盾构监测方案

盾构隧道地表沉降主要分为横向和纵向沉降监测,沉降控制值为-30~10 mm,即沉降控制值为 30 mm,隆起控制值为 10 mm,布置原则如下:

(1)纵向地表监测点:沿隧道正线中心线每5环 (1环1.2m)布置一个监测点;

(2)横向地表监测点:盾构始发和接收100m范 围内,每10环布置一个横断面,其余为60环一个监 测横断面。横断面以盾构区间轴线为中心线,向外 以每2.5m,3.5m,5m布置一个测点,两侧布置7~9 个点,测点布置见图2。

监测工作紧随盾构掘进的进展,视盾构掘进情况距开挖前后≤20m保持每1天2次、距开挖前后≤ 50m保持每2d/次。



图 2 区间地表沉降点布置示意(单位:mm) Fig.2 Layout of the monitoring points for ground surface settlements (Unit:mm)

4 盾构隧道施工监测数据分析

4.1 地表沉降数据分析

4.1.1 纵向沉降分析

SDC111~SDC131为位于隧道轴线上方的地表 沉降点(编号原则:SDC111表示右线隧道第111环 的地表沉降监测点,另外XDC为左线沉降监测点), 对这5个连续测点沉降进行分析,得到沉降-时间曲 线和沉降速率-时间曲线,如图3~图7所示。图3~ 图7中,标注的环号为刀盘掘进时的位置;"刀盘通 过"和"盾尾通过"表示通过测点的时间。

从图 3~图 7 中可以发现,地表沉降值随刀盘与 测点位置变化,主要分为四个阶段:(1)当盾构刀盘 距离测点 3D~5D前,地表沉降开始变化,产生约 1~ 2 mm 隆起(或沉降)S₁;(2)刀盘通过测点期间,测点 产生沉降 S₂,较小,约 1.5 mm;(3)盾尾通过测点后, 短期内沉降迅速增加,期间产生较大的沉降 S₃;(4) 盾尾通过一定时间后,沉降速度变缓,直至稳定,期 间产生沉降 S₄。

> 第56卷第5期(总第388期), 2019年10月出版 181 Vol.56, No.5(Total No.388), Oct.2019



福州软土地区土压平衡盾构隧道地表沉降特性分析







图4 SDC116测点轴线上方地面沉降和沉降速度曲线 Fig.4 Curves of the settlements and rates above the axis at the SDC116 monitoring point





前两阶段沉降主要是由于盾构施工造成地层应 力变化而引起的,第三阶段沉降*S*3主要由于盾尾脱 出测点后产生的建筑间隙引起的,前三阶段属于地 层损失沉降时期。第四阶段属于固结沉降时期,在 软土地区盾构施工过程中,盾构掘进、盾壳与土体摩 擦和注浆等因素都对周围土体造成扰动,产生超孔 隙水压力。施工结束后,孔压消散,土体排水固结, 产生固结沉降^[4]。

 182
 第 56 卷第 5 期(总第 388 期), 2019 年 10 月出版

 Vol.56, No.5(Total No.388), Oct.2019







图7 SDC131测点轴线上方地面沉降和沉降速度曲线 Fig.7 Curves of the settlements and rates above the axis at the SDC131 monitoring point

由于软土粘聚力较大,具有一定的"时空效应", 需要一定时间才能填充建筑间隙,故地层损失沉降 在盾尾脱出一段时间后才结束,此后主要为固结沉 降。考虑到相对于地层损失的沉降速度,软土固结 排水缓慢,本文取沉降速率转折点作为二者的界限, 从图3~图7可看出,测点沉降速率转折点均发生在 盾尾离开测点3~5 d期间,本工程可取盾尾离开3~5 d作为地层损失沉降和固结沉降的分界线。林存刚 等^m在分析杭州庆春路过江隧道泥水盾构施工通过 砂质粉土地层的沉降数据时,认为盾尾脱离0~5 d 或6 d之前的沉降主要由地层损失引起,与本文所得 到的结果接近。

根据划分依据,SDC111~SDC131的第三阶段地 层损失沉降 S₃为9.29~14.55 mm,占总沉降的46%~ 82%,平均值占比为65%,历经时间3~5 d,平均沉降速 度为2.64~3.20 mm/d,总平均沉降速度为2.91 mm/d。 测量期间,固结沉降S₄为2.98~10.74 mm,占总沉降的 14%~54%,平均占比为32%,测点平均沉降速度为 0.43~1.07 mm/d,总平均速度为0.69 mm/d,由于固结沉 降还未完成,实际占比更大,实际平均沉降速度会更小。

对于隧道施工引起的轴线上方最大地表沉降随 时间变化的预测,林存刚等¹⁷对传统双曲线模型进 行修正,提出了修正后的双曲线模型:

$$S(t) = \frac{t}{a+bt} + c \tag{1}$$

式中:*S*(*t*)为*t*时刻的沉降值(沉降为负值);*t*为盾尾 脱离测点后的时间(d);公式前半部分(其中*a*,*b*参 数为常数)是盾尾脱出后*t*时刻的沉降值(*t*=0时为 0),后半部分参数*c*表征盾尾脱出时(*t*=0)的地面沉 降量,为常数。

图 8 和图 9 分别为盾尾脱出后 SDC121 和 XDC961测点沉降变化值及用公式(1)拟合的曲线。

对 SDC106~SDC131 和 XDC961~XDC976 测点 盾尾脱出后的沉降变化值用公式(1)进行拟合,所得 参数见表2。

各测点拟合公式中,相关性系数R均大于0.95, 双曲线拟合效果显著,a取值范围为-0.14~-0.67 mm/d,b取值范围为-0.028~-0.042 mm⁻¹,c取值为-0.89~7.67 mm。



图 8 实测及拟合的 SDC121 测点沉降随盾尾离开 时间变化曲线







图 9 实测及拟合的 XDC961 测点沉降随盾尾离开 时间变化曲线

Fig.9 Curves of the measured and fitted settlements varying with the time of shield tail passing at the XDC961 monitoring point

表2 隧道地表沉降双曲线模型拟合结果

 Table 2
 The fitting results of ground settlements by the

hyperbolic model

测点	<i>a</i> /(mm/d)	b/mm^{-1}	c/mm	相关性系数R
SDC106	-0.31	-0.030	-0.34	0.995
SDC111	-0.26	-0.030	0.06	0.992
SDC116	-0.20	-0.036	-0.68	0.991
SDC121	-0.17	-0.040	-0.89	0.987
SDC126	-0.14	-0.040	-0.23	0.956
SDC131	-0.17	-0.042	1.64	0.996
XDC961	-0.49	-0.039	6.54	0.96
XDC966	-0.42	-0.036	7.19	0.967
XDC971	-0.41	-0.038	7.67	0.962
XDC976	-0.67	-0.028	6.07	0.984

4.1.2 横断面沉降分析

对于隧道施工引起的横断面沉降的预测,工程 实践中应用最广泛的是Peck公式^[8]。

$$S(x) = S_{\max} \exp\left[\frac{-x^2}{2i^2}\right]$$
(2)

$$S_{\max} = \frac{V_s}{\sqrt{2\pi} i} = \frac{V_L \cdot \pi R^2}{\sqrt{2\pi} i}$$
(3)

式中:S_{max}为在曲线的对称点处所发生的最大沉降 (m);x为距隧道轴线的水平距离(m);V_L为单位长度 地层损失率;*i*为横向沉降曲线拐点至隧道轴线水平 距离,称为沉降槽宽度(m)。

对于沉降槽宽度i的取值,应用最普遍的是O'Relly和New[®]根据伦敦地区的经验提出的公式(4):

$$i = Kz_0$$
 (4)
式中: K 为沉降槽宽度系数; z_0 为隧道轴线埋深(m)。

用Peck公式对不同时间工况下的SDC121测点 横向断面沉降进行拟合,如图10所示;拟合相关系 数均大于0.95,拟合效果显著,计算结果见表3。





第56卷第5期(总第388期), 2019年10月出版 183 Vol.56, No.5(Total No.388), Oct.2019 福州软土地区土压平衡盾构隧道地表沉降特性分析

表 3 不同时间 SDC121 测点横断面沉降槽拟合参数 Table 3 The fitted parameters of transverse settlement trough at SDC121 monitoring point under different time

时间	04-22	04-24	04-29	05-01
脱出盾尾时间/d	3	5	10	12
沉降槽宽度i/m	5.15	5.45	5.49	5.74
沉降值S _{max} /mm	-12.1	-14.99	-18.11	-18.76
地层损失率V ₁ /(%)	0.48	0.63	0.77	0.84
宽度系数K	0.30	0.32	0.32	0.34
- 1	2 121/2			

从图 5 和表 3 中可以看出,随着盾构不断推进, *i*,*S*_{max}不断增大。4月19日,盾尾脱离测点后,*i*,*K*和 *V*_L随时间在不断增大,说明盾尾脱出后,地面沉降 值、影响范围和地层损失率仍在不断增大,最终隧道 两侧影响范围宽度约为25 m。

Peck公式中的地层损失假定土体不排水,实际 上软土地区长期沉降包括地层损失沉降和固结流 降^[4]。如 SDC121 测点横断面沉降,4月24日才是 Peck公式中地层损失沉降最终值。对区间隧道部 分横断面地层损失沉降进行拟合,结果见表4。

表4 不同横断面地层损失沉降槽拟合参数 Table 4 The fitted parameters of ground loss induced settlement trough at different transverse sections

			_		
断面	z_0/m	$S_{\rm max}/{ m mm}$	i∕m	$V_{\rm L}/(\%)$	K
XDC991	13.7	8.22	3.25	0.21	0.24
SDC11	13.9	6.12	4.51	0.21	0.31
SDC21	14.3	12.89	4.82	0.48	0.34
SDC121	17.1	14.99	5.45	0.63	0.32
XDC171	17.4	14.9	5.63	0.65	0.31
SDC436	22.2	10.57	8.9	0.67	0.40

从表4中可以看出,拟合相关系数均大于0.95, 拟合效果显著,说明地层损失沉降符合Peck公式。 Peck公式中地层沉降损失率V.范围为0.21~0.67,平 均值为0.48,沉降槽宽度系数K的范围为0.24~0.40, 平均值为0.32,要小于上海软土隧道的0.5¹¹¹,这是因 为其沉降包含了固结沉降。从表4中还可看出,随 着隧道覆土深度越大,沉降槽宽度*i*越宽。

4.1.3 固结沉降分析

为了进一步研究固结沉降特性,将总沉降减去 地层损失沉降(S₁,S₂,S₃之和),即为固结沉降S₄。从 图5中可看出,4月24日为SDC121测点横断面地层 损失和固结沉降分界限,对4月27日、4月30日和5 月1日的固结沉降S₄进行Peck公式拟合,拟合曲线

184 第56卷第5期(总第388期), 2019年10月出版

Vol.56, No.5(Total No.388), Oct.2019

见图 11。拟合相关系数分别为0.91,0.94和0.94,符合 Peck 公式分布,固结沉降槽宽度 *i* 分别为5.32 m, 5.78 m和6.54 m,说明随着扰动土体的不断固结,固 结沉降值和沉降槽宽度也不断增大。魏新江、蒙国 往等^[10,11]通过公式计算了在不同深度处的土体初始 超孔隙水压力,发现它们呈现出类似 Peck 曲线形 状,解释了固结沉降符合 Peck 曲线分布的缘由。

另外,从图11可看出,固结沉降零值位于15m 处,说明土体扰动区域较大,影响区域宽度达到30 m,较地层损失沉降影响范围更大。





4.2 掘进参数与沉降的关系

结合 SDC111~SDC131 测点纵向沉降,分析盾构 通过此期间的掘进参数设置情况。

式中尔为平衡土压力;γ为土体的平均重度;h为隧 道中心埋深;K₀为侧向静止平衡压力系数。

SDC111~ SDC 131 测点隧道上覆土为 13.6~ 14.2 m,穿越<2-4-4>淤泥夹砂,上覆土为杂填土和 淤泥,P₁=K₀γh₁=0.62×(3.0×18.5+13.7×15.7)=168 kPa, P₂=K₀γh₂=0.62×(3.0×18.5+14.3×15.7)=173 kPa,与实 际土舱压力设置值很接近。在前面分析发现,盾构 通过前,地表沉降(隆起)值很小,说明总推力和土舱 压力设置合理。

(2) SDC111~ SDC134 测点地层损失沉降值 S₃ 较大,可能原因是出土量过大,或者同步注浆量过小。

每环理论出土量计算公式为:

$$V_{\pm} = m\pi D^2 L/4 \tag{6}$$

式中:m为松散系数(淤泥为1.08~1.17);D为刀盘 开挖直径;L为环宽,取为1.2 m。 V_{\pm} =(1.08~1.17)× $\pi/4$ ×6.472×1.2=45.9 m³/环,每环出土量为45 m³,处 于理论出土量合理范围。

每环同步注浆量理论计算公式为:

 $V_{\ast} = \pi (D^2 - D^2_0) L/4 \tag{7}$

式中:D为刀盘开挖直径; D_0 为管片外径;L为环宽。 $V_{*}=\pi/4\times(6.45^{2}-6.20^{2})\times1.2=2.86 \text{ m}^{3}/环_{\circ}$

掘进期间,同步注浆量为5m³/环,建筑间隙填 充率为175%。由于盾构存在超挖或注浆量损失等 情况,175%的填充率偏小,导致产生10mm多的地 层损失沉降*S*₃。实际操作时,为了减少盾尾脱出后 的地层损失沉降,可将填充率提高到200%,并且保 证同步注浆的及时性。

5 结论

(1)本工程中,盾构掘进可影响至前方 3D~5D 范围,地面隆起(沉降)约1~2 mm;刀盘通过时,地面 开始沉降;盾尾脱离测点约3~5 d内,地面快速沉 降;此后逐渐减缓至稳定。其中地表沉降主要为盾 尾脱出后的地层损失沉降和固结沉降,分别占比 65%和32%。

(2) 福州软土地区, 盾构施工引起的地表沉降 由地层损失沉降和固结沉降组成, 取沉降速率转折 点作为地层损失和固结沉降的界限, 该工程中可将 盾尾离开监测断面约3~5d作为二者界限,3~5d之前的地面沉降主要由地层损失引起,之后的沉降由 扰动土体固结排水产生。

(3)本工程中,盾尾脱离后隧道轴线中心纵向沉降时程曲线可用双曲线公式进行较精确地拟合,参数*a*取值范围为-0.14~-0.67 mm/d,*b*取值为-0.028~-0.042 mm⁻¹,可适用于类似施工条件的地面沉降预测。

(4)福州软土地区土压平衡盾构施工时,无论 是地层损失沉降、固结沉降还是考虑固结沉降的长 期沉降,均可用Peck沉降曲线很好地拟合。随着盾 构的掘进,地层损失沉降槽宽度和地层损失率不断 增大,固结沉降槽宽度随着扰动土体的固结而增大。 地层损失沉降 Vi范围为 0.21~0.67,平均值为 0.48, 沉降槽宽度系数 K的范围为 0.24~0.40,平均值为 0.32,要小于上海软土隧道的 0.5,可用于类似施工 条件下的隧道工程地面横断面沉降的预测。

(5)地表最大沉降小于控制值,掘进参数(如土 舱压力和盾构推力等)设置合理。盾尾脱出后,及时 进行同步注浆,注浆填充率适当调高至200%,减少 盾尾脱出后的地层损失沉降。软土地区盾构施工时 应尽量减少地层扰动,以减少固结沉降。

参考文献 References

[1] 周佳娟, 蒙国往, 严 启, 等. 泥炭质地层盾构掘进地表及建筑物沉降研究[J]. 现代隧道技术, 2015, 52 (3): 160-167. ZHOU Jiamei, MENG Guowang, YAN Qi, et al. A Study on the Ground and Building Settlement Caused by Shield Tunnelling in a Peat Soil Stratum[J]. Modern Tunnelling Technology, 2015, 52 (3): \160=167.

- [2] 张云, 殷宗泽, 徐永福. 盾构法隧道引起的地表变形分析()) 岩石力学与工程学报, 2002, 21 (3): 388-392.
 ZHANG Yun, YING Zongze, XU Yongfu. Analysis on Three-dimensional Ground Surface Deformations due to Shield Tunnel[J].
 Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21 (3): 388-392.
- [3] 白永学, 漆泰岳, 吴占瑞, 等. 砂卵石层盾构施工地层损失原因分析与施工对策[J]. 现代隧道技术, 2012, 49 (3): 54-61.
 BAI Yongxue, QI Taiyue, WU Zhanrui, et al. Analysis of and Countermeasures to Causes of Ground Loss Induced by Shield Construction in Sandy Pebble Stratum[J]. Modern Tunnelling Technology, 2012, 49 (3): 54-61.
- [4] 张忠苗, 林存刚, 吴世明, 等. 泥水盾构施工引起的地面固结沉降实例研究[J]. 浙江大学学报(工学版), 2012, 46(3): 431-440. ZHANG Zhongmiao, LIN Cungang, WU Shiming, et al. Case Study of Ground Surface Consolidation Settlements Induced by Slurry Shield Tunneling[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2012, 46 (3): 431-440.
- [5] 郑国明. 影响福州城市地下空间开发的地质因素分析[J]. 地下空间与工程学报, 2013, 9 (1): 13-17. ZHENG Guoming. Analysis on Geological Factors of Exploiting Underground Space Resources in Fuzhou City[J]. Journal of Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2013, 9 (1): 13-17.
- [6] 谢含华,陈福龙,陶建华. 福建省中心城市地下空间开发利用问题探讨[J]. 地下空间与工程学报, 2016, 12 (2): 299-305. XIE Hanhua, CHEN Fulong, TAO Jianhua. Discussion about Development and Utilization of Underground Space in Fujian Center Cities[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2016, 12 (2): 299-305.
- [7] 林存刚, 吴世明, 张忠苗, 等. 泥水盾构隧道施工引起的地面沉降分析及预测[J]. 土木建筑与环境工程, 2012, 34 (5): 25-32. LIN Cungang, WU Shiming, ZHANG Zhongmiao, et al. Analysis and Prediction of Ground Settlement due to Slurry Shield Tunnelling

()

第56卷第5期(总第388期), 2019年10月出版 185 Vol.56, No.5(Total No.388), Oct.2019

, 01.50, 110.5(10tal 110.500), UCL

现代隧道技术 MODERN TUNNELLING TECHNOLOGY

in a River-crossing Tunnel[J]. Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering, 2012, 34 (5): 25-32.

- [8] RALPH B PECK. Deep Excavations and Tunnelling in Soft Ground[C]//Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Mexico City: Sociedad Mexicana de Mecanica de Suelos, A.C., 1969.
- [9] M P O'REILLY, B M NEW. Settlements above Tunnels in the United Kingdom: Their Magnitude and Prediction[C]// Tunneling 82, Proceedings of the 3rd International Symposium, Brighton, 1982.
- [10] 魏新江,陈伟军,魏纲,等. 盾构隧道施工引起的土体初始超孔隙水压力分布研究[J]. 岩土力学, 2012, 33 (7): 2103-2109.
 WEI Xinjiang, CHEN Weijun, WEI Gans, et al. Research on Distribution of Initial Excess Pore Water Pressure due to Shield Tunnel-ling[J]. Chinese Journal of Rock and Soil Mechanics, 2012, 33 (7): 2103-2109.
- [11] 蒙国往,周佳娟,高 波,等: 地铁盾构掘进引起的软弱地层沉降分析[J]. 现代隧道技术, 2017, 54 (6): 117-125.
 MENG Guowang, ZHOU Jiamei, GAO Bo, et al. Analysis of Ground Settlement Induced by Shield Tunnel Construction in a Soft Layer[J]. Modern Tunnelling Technology, 2017, 54 (6): 117-125.

Analysis on the Characteristics of Ground Surface Settlement Caused by EPB Shield Tunnelling in Fuzhou Soft Ground

ZHONG Junhui^{1,2} YIN Peilin^{1,2} LIU Jun^{1,2}

(1 CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co, Ltd, Guangzhou 510230; 2 CCCC Key Lab of Environmental Protection & Safety in Foundation Engineering of Transportation, Guangzhou 510230)

Abstract Based on a EPB shield running tunnel of Fuzhou metro line 2 in soft ground, it summarized the characteristics of ground settlement by analyzing the monitoring data and driving parameters during shield construction, and proposed the parameters of modified hyperbolic model for predicting ground settlement with consideration of the measured settlements. The analysis results indicate that the settlements caused by ground loss and consolidation during EPB shield construction in soft ground as well as the long-term horizontal settlements in transverse direction conform to the results by Peck equation; the affected scope during shield driving is 3D-5D ahead of the cutterhead and it results in small amount of heaving(settlement); the ground settlements are mainly the ground loss induced settlement and consolidation settlement of disturbed soil mass within 3–5 d after passing shield tail, with the percentages of 65% and 32% of the total settlement respectively in the course of measuring, and actually the percentage of final consolidation settlement is larger; the modified hyperbolic model can be used to predict ground settlements at central axis caused by EPB shield driving in soft ground of Fuzhou, and the ranges of parameter values of *a*, *b*, *c* are $-0.14 \sim 0.67 \text{ mm/d}$, $-0.028 \sim 0.042 \text{ mm}^{-1}$ and $-0.89 \sim 7.67 \text{ mm}$ respectively.

Keywords Soft ground in Fuzhou district; EPB shield tunnel; Ground loss induced settlement; Consolidation settlement; Peck formula; Parameter values of the hyperbolic model

186 第56卷第5期(总第388期),2019年10月出版

Vol.56, No.5(Total No.388), Oct.2019