

盾构开挖盾尾空隙引起的地层移动

北方交通大学 刘 军 张 弥

摘要: 本文为了探讨在砂土层中盾尾空隙对地层移动的影响,进行了模型实验,通过实验获得了不同盾尾空隙对地层移动的影响,用回归分析拟合了有关地层沉陷曲线,为了获得砂土层中的内部移动形态,采用了近景摄影这一新方法,最后用邓-肯(Duncan J. M)模型的有限元方法对实验结果进行了比较。

1. 前 言

随着我国城市建设的不断发展,市内可供利用的地面面积越来越显得不足,如何把地下空间充分利用起来,已经是人们共同注意的问题。近期的城市建设规划,已经把地下空间纳入了建设的范围。

在城市范围内,尤其是在软弱地层中,往往采用盾构法施工。此时引起地层移动的原因主要是:部分土石向孔洞挤入,土石颗粒随之补位的缘故。挤入的情况有以下几个方面:

1. 盾构工作面前方土石的挤入;
2. 盾构尾部间隙土石的挤入;
3. 盾构调正方向时,土石挤入超挖部位;
4. 盾构切口环上突缘引起的超挖,土石挤入间隙;
5. 土层排水后,固结而沉陷。

后一种情况的沉陷在游泥地层修建地铁时占总沉陷的40%以上。通常挤入孔洞的土石体积约为隧道体积的1~2%,尽管体积的相对量不大,但完全足以引起地层的移动。

盾构法施工引起地层移动的因素很多,但在不同地区因地质情况不同,地层移动的主要原因有所不同。例如,北京铁路枢纽东西地下径线,隧道通过的土层为砂粒土、砂、卵石土互层,不含水。若采用特殊盾构【如泥水盾构】施工则工作面土石的挤入即可减少,最小盾构盾尾空隙土石损失对土地层移动的影响就显得特别突出,固结的影响也很少。

2. 模型实验情况

2.1 模型实验

模型实验是在长150×100×90立方厘米的长方体框架中进行的。前后两块是150cm×90cm厚8mm的玻璃。在玻璃内侧贴了为近景摄影测量用的控制点。为了测定砂土中的位移,在玻璃内测设置与砂同步移动的标志点。

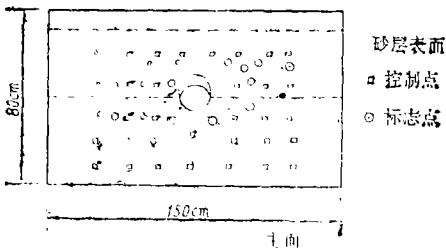


图 (1)

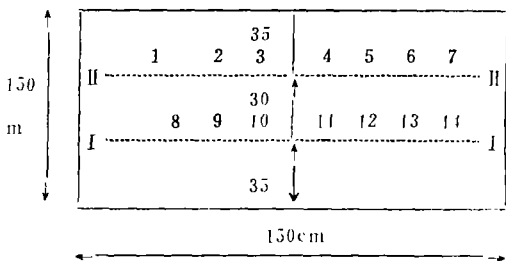


图 (2) 上平面

为了测定砂层表面的位移,在图 (2) 所示的砂层断面 I—I, II—II 上布置了两排多七个测点。测试仪器采用的是同济大学设计的电子引伸仪,最大量程为 20mm。实验是在埋深为: $H=1.5d$ 、 $2.0d$ 、 $2.5d$ 情况下进行的,由五组不同的管径组成。即: $\phi 131\sim\phi 115$ 、 $\phi 131\sim\phi 117$ 、 $\phi 131\sim\phi 119$ 、 $\phi 131\sim\phi 121$ 、 $\phi 129\sim\phi 121$ 。形成不同的盾尾最大空隙有: $S=16\text{mm}$ 、 14mm 、 12mm 、 10mm 、 8mm 。在实验中固定内管、拉动外管模拟盾构移动,使砂层发生位移。

2.2 砂的参数试验

在邓肯 (Dan can · J · M) 模型中代表非线性特征的两个参数,切线杨氏模量 E 和切线泊桑比 U ,随应力状态而变。可以根据应力状态直接算出相对应的 E 和 U ,从而求得切线弹性矩阵 (D_T)。

邓肯模型所需要的相关参数是通过常规三轴试验获得的。在实验中用的砂是平砂,有关参数见表—1。

一般来讲采用邓肯 (Dven · J · M) 模型有以下优点:

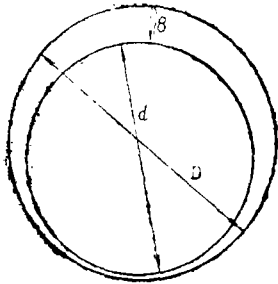


图 (3)

邓 肯 模 型 参 数 值

表—1

参 数 名 称	计 算 值	参 数 名 称	计 算 值
$K(\text{kg}^2/\text{cm}^2)$	488.65	$Kb(\text{kg}/\text{cm}^2)$	41.75
$C(\text{kg}/\text{cm}^2)$	0.0	Rf	0.788
n	0.534	m	0.143
$\varphi(0^\circ)$	36.52°	$Kvr(\text{kg}/\text{cm}^2)$	586.38
$\Delta\varphi(0^\circ)$	5.10°	V	0.35
$\alpha(\text{kg}/\text{cm}^2)$	1.568		

(1) 参数可以从算规三轴试验中获得

(2) 对有效应力分析和总应力分析可以用相同的关系

3. 对于已经计算过的很多不同土层类型的参数,它可以有数估计在实际问题中遇到的很多土层参数,这些参数亦完全可以用来评价试验结果的可靠性。

3. 实测结果

通过五组不同的管径公式组合,在埋深为1.5, 2.0, 2.5, 进行共计十五种不同间隙的实验。

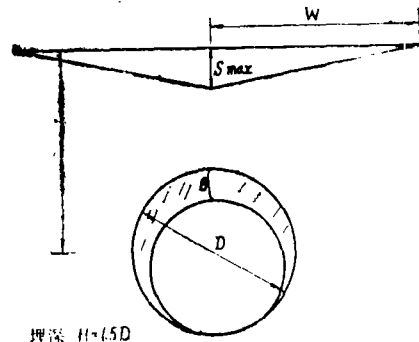
结果为表2、表3、表4所示。

在试验中,介质砂是在一定高度自由落下形成的。

由表—2、表—3、表—4,我们可得到如下的一些曲线图,从图中我们可看出埋深、沉陷槽宽 W 等相互关系。

横断面沉陷图

图(8)表示在埋深 $H=1, 5D$ 模型I—I断面上地表沉陷图



图(4) 埋深 $H=1.5D$

表—2

δ	16	14	12	10	8
S_{max}	15,456	14,03	13,734	10,984	7,24
W	31,099	31,171	30,657	30,854	30,108
V_s	3091,327	2726,9902	2356,194	1979,20	1570,79

注: δ : 空隙最大值(mm)

S_{max} : 地表最大沉陷值(mm)

W : 沉陷槽宽(cm)

V_s : 空隙体积(cm^3 单位长度)

埋 深 $H=2.0D$

表—3

δ	16	14	12	10	8
S_{max}	14,65	13,825	10,15	8,9	6,75
W	34,19	33,655	31,15	34,94	34,59
V_s	3091,327	2726,902	2356,19	1979,2	1570,79

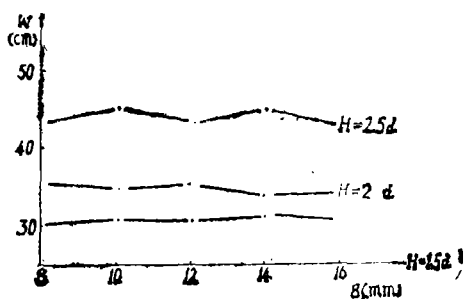
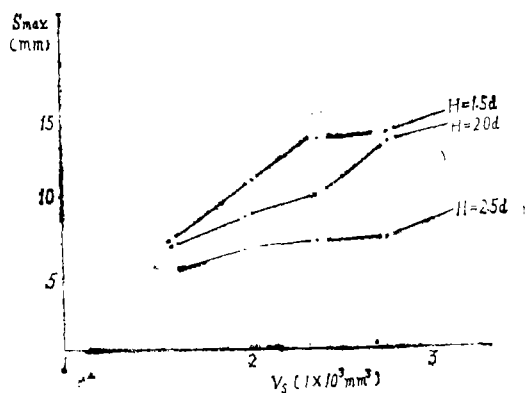
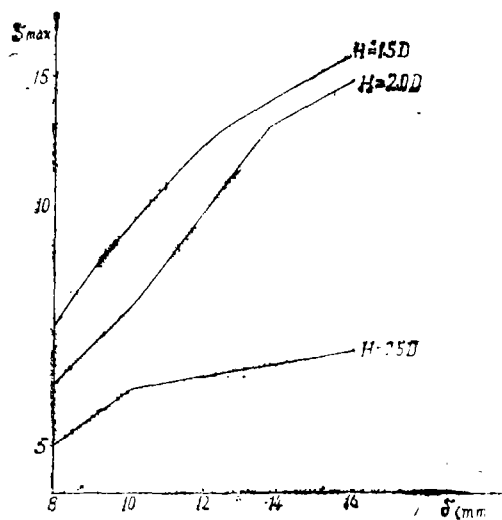
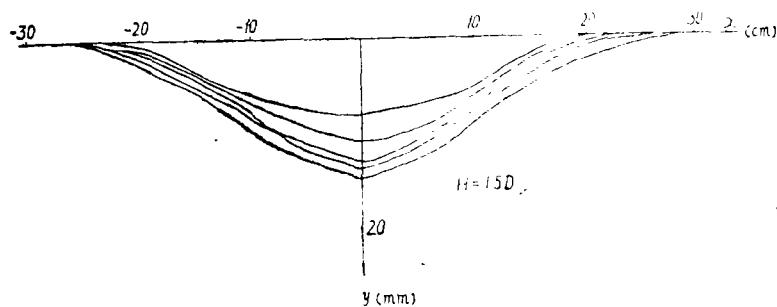
埋 深 $H=2.5D$

表—4

δ	16	14	12	10	8
S_{max}	8,775	7,175	6,95	6,65	5,1
W	42,99	43,04	43,17	43,34	43,12
V_s	3091,327	2726,9	2356,19	1979,2	1570,79

注: 表—2、表—3、表—4中 δ 、 S_{max} 、 W 、 V_s 是在图(2)断面I—I测定的。

图上1~5条曲线分别表示 $\delta=16mm, 14mm, 12mm, 10mm, 8mm$ 时地表沉陷


 $\delta-W$ 关系曲线 图 (5)

 V_s / S_{max} 关系曲线 图 (6)

 $\delta-S_{max}$ 关系曲线 图 (7)


断面 I—I 地表沉陷图 图 (8)

3.5 有限元计算结果

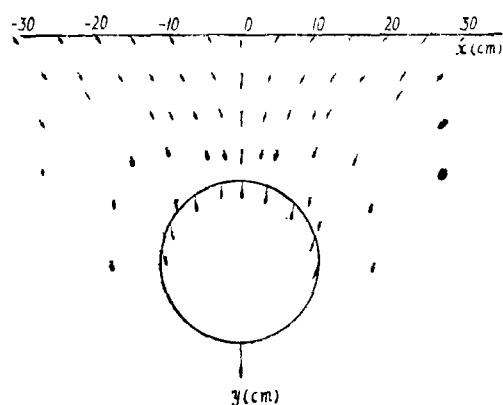
为了从理论上获得有关地层移动的动态,我们采用邓肯模型进行了有限元计算。在埋深 $H=1.5D$ 时,获得以下数据。

表—5

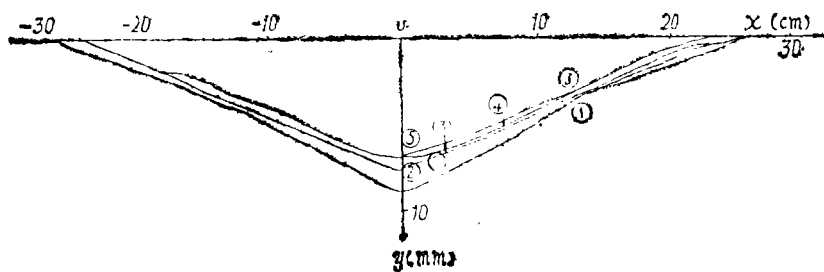
S (mm)	16	14	12	10	8
S_{max}	8,44	8,135	6,889	6,619	6,467

表中: S_{max} 是有限元计算值

在 $S=16$ mm 时/有限元计算深层砂介质移动情况图 (9)



图(9)



断面 I—I 地表沉降图

注: 1~5 曲线分别表示 δ 为 16mm、14mm、12mm、10mm、8mm 时断面 I—I 地表沉降。〔有限元计算结果〕

图(10)

4. 结果分析

4.1 由图(5)可以看出,在隧道埋深一定的情况下。沉陷宽 W 趋于一个常数,盾尾空隙的影响不大,只与隧道的埋深有关。由图(6)可知,空隙体积的大小。在埋深一定时与最大沉陷 S_{max} 有一定的影响范围,当空隙体积超过某一值时, S_{max} 在埋深一定时为一常数,主要原因是砂介本有一定内供效应。

由图(7)可知,在隧道埋深一定时,空隙 δ 与地表最大沉陷值 S_{max} 基本与图(6)所出现的情况相同,当 δ 超过某一值时, S_{max} 在埋深一定时趋向一常数。

根据图(8)曲线1($S=16\text{mm}$)可以用已态概率曲线进行公式,则地表沉陷值 S 的计算公式为

$$S = S_{max} e^{-x^2 / 2i^2} \quad (1)$$

式中的 $i = 9.825\text{cm}$

$$S = 15.456 e^{-x^2 / 2 \times (9.825)^2}$$

i : 是曲线反弯点的横坐标值

迪尔等人与佩克已证明直径等于 D 的道在水平轴线上的埋深等于 Z 时。沉陷断面宽度方
程为

$$2i/D = (2/D)^n \quad (2)$$

Z : 道中与至地表的距离

D : 道直径

n : 参数, 对流砂为 0.5, 粒性土近似为 1 对石为 5~10 在埋深 $H=Z=1.5D$ 时, 由公
式 (2) 可得

$$i = Z^n / 2D^{n-1} \quad (D = 13.1 \text{ cm})$$

$$= 8.022$$

由公式 (2) 求出的 i 与曲线拟合的 i 基本一样。

这说明试验结果与佩克公式是相符合的。在确定盾尾间隙所引起的地面沉陷仍可采用佩
克公式, 但佩克公式不能告诉人们地层内部移动的动态。

4.2 有限元计算结果与试验结果比较

由表—6 可知, 实验所测地表沉陷值 $S_{\max.1}$ 与有限元计算的 $S_{\max.2}$ 相比, 偏大。造成计
算与实测值偏差的主要原因有: 在砂介表面设置仪表

埋 深: $H = 1.5D$

表—6

$S(\text{mm})$	16	14	12	10	8
$S_{\max.1}$	15.456	14.03	13.734	10.984	7.24
$S_{\max.2}$	8.44	8.135	6.88	6.69	6.46

注: $S_{\max.1}$: 实测值 (mm)

$S_{\max.2}$: 有限元计算值 (mm) 时, 由于砂比较松散, 百分表的测杆易插入砂表面内。而引起实测误差; 另一个
原因是内管与玻璃很难密贴, 而引起一部砂流入内管仪表的设置不能完全与砂表面垂直亦是一个因素。

5. 结 论

5.1 通过模型试验我们可以得到, 在埋深一定而空隙大小不同的情况下, 沉陷槽的宽
 W 趋近一常数, 影响范围在 $W \approx 2.5 \sim 3.5D$ 之间范围变化, 盾尾空隙与地表沉陷值 S_{\max} 之间
的关系呈线性变化。但与超过某临界值时 S_{\max} 只与埋深有关, 横断断面沉陷槽曲线基本上符
合已态概率曲线, 在已知的盾尾空隙 δ 值, 可以直接从曲线上量出地表最大沉陷值 S_{\max} 。

5.2 有限元方法用来计算地表层沉陷是可靠的, 它可以得到迪尔等人得出的横断曲线
所不能得到土层内部移动情况。用有限元预测地表沉陷值比试验实测要经济得多。

参考文献 (略)