

盾构穿越地铁既有线对既有线的保护沉降控制

吴沫桥

(中铁十九局轨道交通工程有限公司 北京顺义 101300)

摘要: 由于地下工程的快速发展,地下盾构施工取得了巨大的进步。盾构法起源于英国,在日本和德国得到大力发展。但是在我国,盾构法的起步相对较晚,在1950年以后才初步开始采用盾构法进行隧道以及地下管道工程的施工,进入21世纪以来,盾构法在我国开始大规模应用,关于盾构法及其相关理论知识也应必须得到进一步的完善。有鉴于此,本章将对盾构法及其盾构施工所造成地铁既有线的地层沉降控制进行理论阐述与分析。

关键词: 盾构; 地铁既有线; 沉降控制

一. 引言

截至目前,我国各大省会城市以及经济发展比较强的城市基本都有地铁,或者规划在未来建设地铁,我国未来还会有更多的城市加入地铁建设的大浪潮,这将会呈现出不断增长的趋势。在当今这个经济大循环的背景之下,盾构法已作为中国现代修建地铁桥梁的一条主要隧道施工设计方法,很有必要对其有一个清晰的认识与了解。盾构法开挖实际上也就是指直接利用高速盾构机直接在建筑物地面及地面以下进行各种隧道基础的开槽、挖掘、埋进土等施工作业的方法。盾构机适用性很强,可以在相对软弱的含水层、江河海底以及城市复杂地区等各种地层土体应用。盾构机作为地下隧道开挖掘进的主要施工机械,主要包括掘进开挖、管片支护衬砌等功能^[1]。盾构法也是目前地铁隧道修建时所采取的最主要的施工方法,因为其施工过程中掘进开挖速度快、容易控制且对周围环境不会造成太大的影响,更重要的是对施工质量具有保障性,施工的安全性也较高。

二. 地层沉降形成机理

2.1 工程概况

深圳地铁9号线西延线科技城站~红树湾站区间,采用 $\Phi 6280\text{mm}$ 盾构机进行施工,成环隧道外径 $\Phi 6.0\text{m}$,内径 $\Phi 5.4\text{m}$ 。左线628~638环下穿2号线右线(604~614环),640~650环下穿2号线左线(598~608环),最小垂直间距为1.895m。穿越位置位于沙河高尔夫球场范围。



图 1-2 穿越地段线路平面图

盾构下穿2号线处地质情况如下:<1-1>素填土、<2-1>淤泥质粘土、<3-5>砾砂、<6-2>硬塑状砾质粘性土、<12-1>全风化花岗岩、<12-2-1>强风化花岗岩。

2.2 工程重难点

(1)施工距离近,从2号线既有运营隧道下方穿越,最小垂直距离约1.895m。

(2)地质条件较为复杂,存在基岩突起,典型上软下硬地层。且以前2号线、11号线施工均在此处出现地表沉降问题。

(3)地面为沙河高尔夫球场,该球场地面为砂层填土,透水量非常大,地表松软且不稳定。

2.3 地层沉降形成机理分析

隧道盾构掘进施工时,难免会引起地层沉降与地层变形,其主要表现在地层的损失与受扰动土体的沉降固结。

(1)地层损失

地层损失顾名思义就是指在开挖隧道的过程中,由于各种各样的施工因素所导致的地层土体流失。对于地层土体的流失,主要包括隧道开挖施工过程中所留下的施工空隙以及隧道掌子面的超挖或者欠挖等,其具体表现在下述几个方面:

①开挖面的土体移动。在地下盾构隧道施工建设进程中,掘进的掌子面经常会先受到一个直接来自地下盾构隧道推进系统的顶进推力,当地面盾构系统的盾构顶推应力稍小于地面掘进系统掌子面的自身应力时,掘进系统掌子面上就会先产生一个应力的释放,朝向一个与地下盾构系统顶进压力相反的方向缓慢移动,此时便会直接产生一个地层损失,造成盾构系统上方的地层快速向下沉降;同理,当盾构推进的顶推应力大于掘进掌子面自身应力时,掘进掌子面就会受到挤压,此时土体会发生向上的位移,造成盾构上方地层向上隆起。

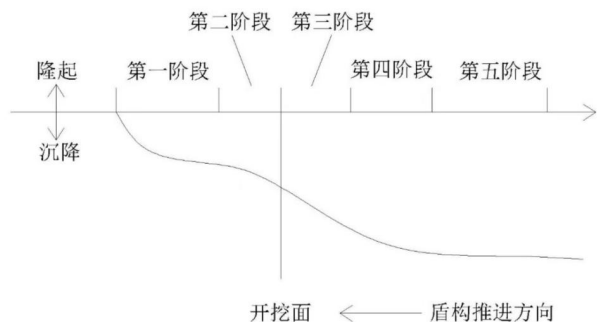
②盾构掘进后退。当盾构机中止施工时,如果负责顶进的千斤顶出现顶推力减小或者往回缩的情况时,这可能会导致盾构机的后退,从而将影响开挖掌子面的稳定,引起掌子面的垮塌或者松动,造成地层损失。

③土体挤入盾尾空隙。在盾构掘进开挖进程中,由于盾壳直径比衬砌管片直径稍微大一点,当盾构通过时,盾尾衬砌管片和围岩土体会存在较小的空隙,将其称之为盾尾空隙。如果在开挖前进的同时,不能及时地补充注浆或者注浆量不足,尤其是在盾尾脱出时,将产生很大的空隙,将使得土体往空隙处移动,引起土体的损失。特别是在土体稳定性不高且含有地下水的条件下,这是诱发地层损失最主要的原因,此外,在黏土地层中,盾构推进时盾壳壳体会粘结部分土体,致使围岩土体大块脱落与缺失,这时盾尾空隙的产生尤其明显,对盾尾空隙的注浆量以及注浆的及时补充就有较高的要求。

(2)受扰动土体固结

在隧道盾构开挖施工推进过程中,由于隧道盾构快速向前推进而对施工周围岩土表面存在很大的挤压应力以及在盾构开挖通过隧道之后进行的施工围岩土体表面注浆以及加固灌浆等一系列施工的危险因素,致使其周围的土体孔隙水压力突然增大,形成一个超临界孔隙水压区,但是孔隙水压力并不是一直存在,其会随着时间的推移而渐渐消散,而在这个消散期间,土体可能发生排水固结的情况,进而造成地层损失。

此外,还会存在一些受到扰动的土体,并经过了相当长时间的压缩与变形,在这缓慢压缩与变形期间所引起的地层损失,也称次固结沉降,其地层土体孔隙和灵敏度都较大,且地层土体具有流塑性时,在此种情况下,受扰动土体的固结沉降会持续相当长一段时间,一般在几年以上,总沉降量占比也相对较高。



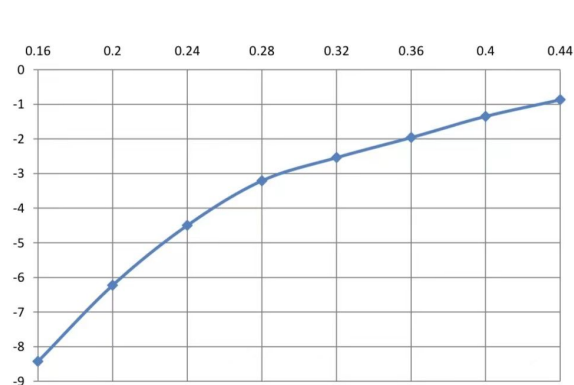
地层沉降特征

四. 盾构下穿地铁既有线路沉降保护控制措施

4.1 同步注浆量

盾构下穿过程中,同步注浆浆液对盾尾间隙得到

充分填充,可使得周边土体和管片紧密结合,增大整体性,阻止既有隧道的下移。因此盾尾间隙填充是否饱满决定了既有隧道位移情况。数值模拟引入等代层厚度来量化同步注浆层厚度,盾尾间隙厚度是 0.28m,分别取等代层厚度为 0.16m, 0.20m, 0.24m, 0.28m, 0.32m, 0.36m, 0.40m, 0.44m 进行有限元模拟计算分析盾构下穿工程施工过程不同的同步注浆量对既有隧道沉降的影响,得到既有隧道在整个模拟下穿过程中既有隧道最大累计沉降量和不同同步注浆量变化关系及比例变化如图 1 所示。



从上可以看出,整体来说既有隧道最大累计沉降量随着同步注浆量的增加而减小。

当同步注浆层厚度大于盾尾间隙厚度时,同步注浆层厚度分别为 0.28m, 0.32m, 0.36m, 0.40m, 0.44m 时,所对应既有隧道累计最大沉降值分别稳定在 -3.21mm、-2.54mm、-1.96mm、-1.35mm、-0.87mm,随着同步注浆量的加大,既有隧道的最大沉降量缓慢减小,沉降量的变化速率基本一致,可视为线性变化。可见当注浆层厚度大于盾尾空隙厚度,提高注浆量仍可以有效的减小既有隧道沉降。但是随着同步注浆量不断加大,盾构机周边土体受到挤压作用,会导致土体隆起,影响既有隧道结构安全。

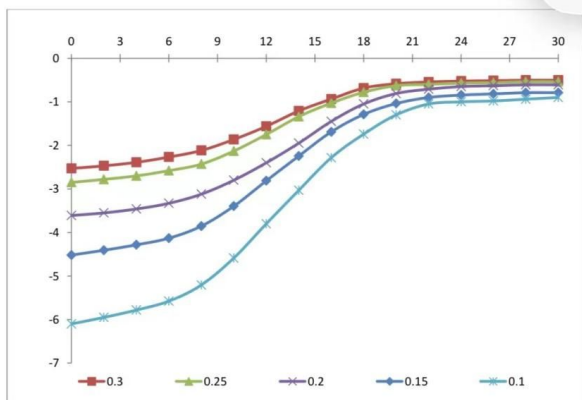
当同步注浆层厚度小于盾尾间隙厚度时,同步注浆层厚度分别为 0.16m, 0.20m, 0.24m 时,所对应既有隧道累计最大沉降值分别稳定在 -8.43mm、-6.23mm、-4.50mm,随着同步注浆厚度的减小,既有隧道的最大累计沉降量显著增大,沉降的速率也随同步注浆量减小而不断增大,可见同步注浆量会导致盾尾间隙还存在空隙,引起周边土体大幅度沉降,严重影响既有隧道结构安全性。所以调整同步注浆量改善既有隧道沉降时,必须设定最少同步注浆量可以填充盾尾间隙。根据同步注浆量理论值:

$V = 3.14 \times (6.28^2 - 6^2) / 4 \times 1.5 = 4.05 \text{ m}^3$, 实际注浆量必须控制为理论注浆量的 130%~250%,即控制同步注浆量为 5.26~10.13 m^3 , 适量提高同步注浆量,增大注

浆充盈率有效减小盾构机周边土体的沉降。

4.2 土舱压力

土压盾构平衡要维持稳定主要依靠的是土舱中有充分土体时所产生的压力。一般来说,当土舱压力与开挖面水、土压力达到三者平衡状态,周边土体所受扰动是最小的。因此合理的土舱压力能有效控制周边土体的位移情况。由工程资料在下穿阶段静止水土压力为 0.20MPa ,在此取 5 组不同的土舱压力分别是 0.10MPa 、 0.15MPa 、 0.20MPa 、 0.25MPa 和 0.3MPa 进行有限元模拟计算分析既有隧道结构在盾构下穿工程施工过程中发生的沉降,得到既有隧道在整个模拟下穿过程的沉降槽断面曲线如图 2。



从上可以看出,随着土舱压力增加,既有隧道沉降减小,研究各曲线对应的沉降槽曲线形状可以得出,各曲线大体成正态分布,与 Peck 公式的预测吻合。盾构在横断面挖掘的影响范围基本相同;横向沉降显著影响区域在距离隧道中心 $0\sim 2D$ ($0\sim 2D$ 表示隧道中心线两侧 2 倍挖掘直径)的范围。

当土舱压力分别为 0.1MPa 、 0.15MPa 、 0.2MPa 、 0.25MPa 、 0.3MPa 时,既有隧道最大累计沉降分别是 -6.10mm 、 -4.51mm 、 -3.61mm 、 -2.85mm 、 -2.53mm 。当土舱压力小于静止水土压力 0.20MPa 时,盾构下穿区范围内既有地铁隧道沉降显著增大,说明在土场压力小于开挖面静止水土压力时,开挖面及前方一定范围内土体发生向洞内的弹塑性或塑性变形,进而可能发生剪切破坏导致开挖面坍塌。当土舱压力大于静止水土压力 0.20MPa 时,盾构下穿区范围内既有地铁隧道沉降有所减小,但是减小的幅度趋于缓和,说明土舱压力应高于静止水土压力,这样有利控制既有隧道沉降,但是过高的土舱压力引起既有隆起变形。可见,土舱压力应控制在静止水土压力 $1.1\sim 1.3$ 倍范围内最佳。

建议和措施:

(1)在盾构下穿既有隧道工程中,对既有隧道结构

产生影响最大的位置是在盾构隧道正上方的既有隧道截面处,该位置是既有隧道结构的沉降峰值发生处,而且受力也较为不利。因此,应在该截面附近进行加密布置监测点,在盾构下穿施工之前,反复复核盾构监测系统的后视点、测站点数据,并通过人工测量管片姿态复核自动测量系统数据,确保监测结果无误。在盾构下穿施工过程时,增加人工巡查和自动监测频率。

(2)改变施工参数。通过有限元模型结果分析可知,既有隧道结构在盾构下穿过程所产生的沉降随着同步注浆压力、同步注浆量和土舱压力的增大而不断减小,因此可以采取适量加大同步注浆压力、同步注浆量或土舱压力降低盾构下穿对既有隧道结构影响。

(3) 监测措施

在整个施工过程中不但要采取更为严格而科学的施工方法,而且需要采用高精度、自动化的隧道监测设备监控隧道变形,以即时的隧道变形数据为施工指导,精心组织,精心施工,方能使穿越获得成功。

地面监测

区间施工监测,每天监测两次,每天出一份监测报告

自动化监测

9 号线西延线区间盾构下穿 2 号线隧道施工过程中,为确保 2 号线成型隧道稳定,对盾构施工过程加强自动化监测手段,在 2 号线成型隧道内布设监测断面,布设原则为侧穿段隧道间距 9m 范围内,每 5m 布设一个监测断面;重叠段每 5m 布设一个监测断面;穿出段隧道间距 20m 范围内,每 10m 布设一个监测断面。

5. 结束语

地铁隧道盾构下穿既有地铁隧道工程中,对既有地铁运营隧道的变形控制标准基本都是毫米级的。因此,很有必要对盾构下穿地铁隧道施工对既有隧道结构产生变形的各种影响因素进行深入研究分析,总结新建隧道结构和既有隧道结构的变形规律,找出优化盾构下穿工程的对策,确保穿越工程的更安全、可靠、合理。

参考文献:

- [1]侯玉伟.盾构隧道侧向穿越桩基时对桩体土体及地面变形的影响[J].城市轨道交通研究,2010(5):71-74
- [2]李永盛,黄海鹰.盾构推进对相邻桩体力学影响的实用计算方法[J].同济大学学报:自然科学版,1997(3):274-280
- [3]张顶立.城市地下工程建设安全风险及其控制[M].北京:化学工业出版社,2012
- [4]黎永索,阳军生,邓宗伟,等.盾构隧道下穿地下建筑物时的地表沉降分析[J].防灾减灾工程学报,2013(6):705-711