

# 地铁基坑地表变形规律的研究

龚治兴

上海勘察设计院(集团)有限公司 上海 200433

**摘要:**随着我国城市化建设的加快,当下大型城市中地铁的数量以及规模建设发展迅猛,逐渐成为城市开发的必要配套工程项目。在地铁车站的建设中,开挖深基坑施工是必然的施工措施。在施工中,由于深基坑开挖中会对原本的岩土结构造成破坏,为避免带来严重的经济损失,要对周边地表变形量进行实时监测,这对工程施工安全具有重要的影响。开展对深基坑施工过程中带来的地表变形量规律进行研究,这对促进地铁工程安全具有积极作用。

**关键词:**地铁;深基坑;地表变形

随着我国地铁项目建设数量的不断增加,当下国内的地铁建设中也逐渐暴露出各种问题。在施工中出现的事故次数也在不断增加。由于地铁项目的特殊性,在施工中会对周边建筑造成较大的影响,严重时甚至会出现坍塌事故。这些意外事故的发生,会直接对地铁的施工人员生命安全造成威胁。在地铁施工中对施工风险进行规避,这在地铁工程安全管理中格外受到关注。在地铁项目施工中,风险控制是相关研究中一个十分重要的研究内容。于此同时对风险因素进行监测,也是在地铁建设中必要的环节。

## 一、地铁深基坑变形监测的重要性

随着人们生活水平的提高,对出行的需求也在不断增加,造成我国当下的交通压力变得越来越大。高架桥等建设方式会导致人们在交通中产生窒息感,造成城市空闲狭隘等问题,对空间流畅性以及城市的宜居性造成影响,这种建设方式也逐渐被人们摒弃。相比之下地铁的方式极大程度上节约了空间,并且为人们带来了更加便捷舒适的出行体验,为此得到了人们的广泛欢迎。但地铁在建设中,设计大范围的地下工程,同时地铁站建设具有空间大,结构多样化并且基坑深度深等特点。在这种大范围的地下施工中,伴随而来的是大量的岩土工程方面的难题。在深基坑建设中,涉及到测绘等多个学科的内容,而且设计到地质学以及力学领域的管理,这种综合性的特点造成了深基坑管理难等问题,同时在深基坑施工中,一旦出现质量安全问题,势必会造成十分严重的后果<sup>[1]</sup>。

在相关研究中,如何通过合理的支护结构保障地铁站的施工安全已经成为当下研究中的热门话题。在大量的实践结果中表明,如果在施工设计中存在开挖方案不合理或支护结构不合理等问题,极易造成现场混乱甚至基坑变形过大的问题,甚至会出现深基坑坍塌的重大安

全事故。这种意外的出现不仅会造成工程成本的增加,同时也会威胁到施工人员的个人生命安全。在整个工程施工中,实际监测过程与预计变化值之间会存在一定的差异,究其本质是由于基坑工程地层性质具有一定的变异性 and 离散性特点,仅仅通过地质勘探的方式难以对整个土层的情况进行预估。于此同时在深基坑开挖中,整个支护结构的受力状态处于动态变化的状态下,在挖掘中,结合地面堆载等因素,会造成地面的受力结构不断发生波动。在深基坑施工中,会对周边的地表变形产生较为突出的影响,为保证深基坑施工的安全稳定,在深基坑施工建设中,采取科学的手段对地表等变化规律进行监测十分重要,这是保证深基坑施工中不会带来安全问题,影响周边环境的重要基础。

## 二、地表沉降监测设计方案

### (一)工程概况与监测频率

在此以某工程为例,进行分析。该工程在坑的北侧有居民住宅小区,小区居民楼平均高度为六层。其余三侧是城市的交通干道,车辆人流密集。在开发中,整体施工长度为210m。盾构机发井深度24.6m。根据相关规定进行划分,该基坑可以定义为一级基坑。

在整个工程施工中,考虑到工程对周边建筑可能造成的影响,通过布置监控对建筑物一级地表的沉降情况进行监控,在布置中根据先关的布置要求,观测点数量一共设置29个。根据相关文件多大精度要求,水准仪, dini03 或 dna03。监测方式采用几何水准法,在整个监测的频率设定中将其分为两个阶段,分别为基坑开挖期间和基坑开挖完成后。当开挖阶段中,深度小于5米时,1次/3d监测。开挖深度在5-10米区间时,1次/2d监测,当开挖深度在15米以上时,2次/1d监测。深基坑开挖阶段结束后,也要定期对其进行监测。在前7d时,1次/d

监测; 7~15d, 阶段, 1次/2d监测; 15~30d阶段1次/3d。在一个月之后, 保持每周一次的监测频率即可。在对前期的数据进行分析后, 确定现场处于稳定状态后, 可以将监测频率调整为1次/月<sup>[2]</sup>。

## (二) 监测结果分析

在基于现场监测结果的基础上, 要对现场的数据等进行分析, 结合地铁建设沉降的类型, 对造成地表沉降变形的主要因素进行分析, 在此整理了引起变形的部分因素:

表1 引起地表沉降的原因统计

类型	原因	影响因素	沉降机理
初始沉降	地下水下降	空隙水压力降低	孔隙比降低
	土体密实度提高	有效应力增加	土壤固结
	开挖土方	土体应力降低	内外应力改变
开挖沉降	地下连续墙变形	反向土压力增加	弹性变形
	钢支撑变形	有效应力增加	弹性变形
	混凝土支撑变形	有效应力增加	弹性变形
	搅拌桩施工	有效应力增加	支护应力
后续沉降	周围建筑物沉降变形	应力压缩	压缩

在为期数月的监测后, 对期间七个月累计的监测点数据值进行分析。在进行分析中由于施工过程对一部分监测点造成了破坏, 但通过监测点的变化趋势进行分析, 个别分测点对整体结果的影响不大。并不会对整体结果造成较大的影响。

### 1. 横断面监测结果

在对横断面的监测结果分析中, 同一横断面在地表沉降的影响下, 通过变化量计算公式对不同测点的沉降量进行分析。在沉降量累计变化最大的位置位于DK180+905-1, 沉降值大小为30.7mm。在对整个地表沉降监测值的数据进行分析后, 对其中关键的两个横断面数据进行深入研究, 整个横断面变化趋势如下图所示:

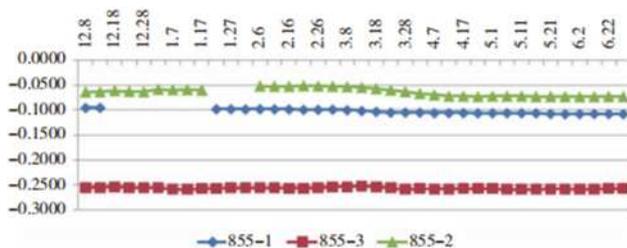


图1 横断面1监测点变化趋势图

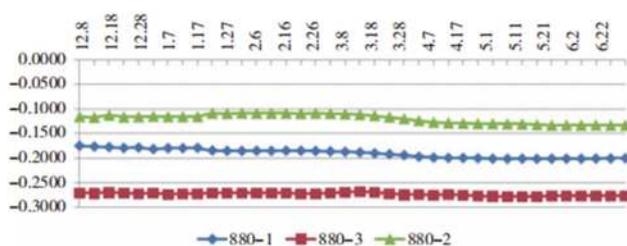


图2 横断面2监测点变化趋势图

在上述趋势图中, 由于施工中一部分的监测点被临时覆盖, 因此造成整个测量过程出现断续的情况, 从上图中的图片断续情况可以明显看出这一问题。但在整体的趋势研究分析中, 个别监测点数据的丢失, 对整体结果的影响很小。从图1的变化曲线中可以看出, 在三月中旬开始, 监测点的下降趋势明显。结合施工情况进行分析, 在三月中旬这一时间阶段, 现场施工正处于基坑开挖阶段, 并且挖掘深度在15米左右, 开挖中出现的土质以淤泥以及黏土为主。在整体开挖过程中, 由于工程不间断的进行开挖, 造成地下连续墙体的支撑应力出现变化, 因此造成土层下沉是必然的趋势。整个工程持续到四月份, 随着开挖阶段的完毕, 整个深基坑的地表沉降情况逐渐减小, 直到最后逐渐变为零。由此可见在地表沉降中, 造成沉降变化的主要因素是开挖造成的影响<sup>[3]</sup>。

### 2. 纵断面监测结果

在基于横断面监测的基础上, 对建筑物纵断面的监测结果进行统计中, 在此选取的是北向靠近建筑物侧的监测点, 主要分析方式以对比为主。在图3与图4中, 对多组数据进行处理后, 绘制纵断面监测点变化趋势图。

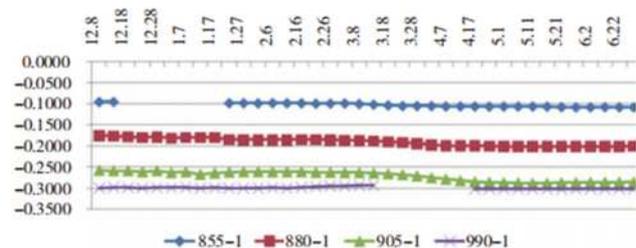


图3 纵断面监测点变化趋势图

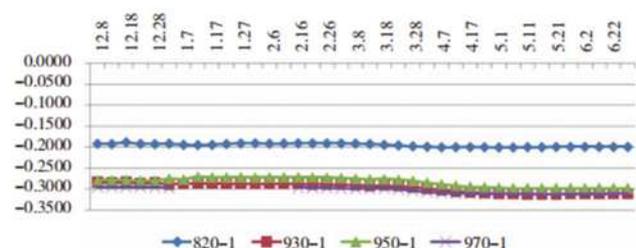


图4 纵断面监测点变化趋势图

由图3、图4的统计结果可知, 在深基坑北侧方位, 同一断面的监测点在沉降变化表现结果中趋势大致相同。在其中差异点位置中, 在结合工程实践探究得知, 造成该处墙体水平位移变化量很小的原因在于, 当墙体发生位移时, 造成墙体与地表之间的摩擦力增加, 进而对土壤下沉造成阻碍作用。

### 三、地表沉降变形分析

从整个地表的沉降规律来看, 在地铁深基坑施工中,

产生沉降变形的主要在两个时间阶段中, 主要在递增期和激降期。

#### (一) 递增期

递增期指的是从工程基坑尚未开挖阶段一直到施工中期。在此阶段中也可以分为两个小阶段, 分别是未开挖阶段, 和开挖至十米左右的阶段。在未开挖阶段中, 此阶段造成土壤应力出现变化的主要原因是地下连续墙施工带来的影响, 随着地下连续墙施工陆续结束, 地下的土质会达到应力平衡状态, 此阶段的沉降变化很小, 支撑体也没有明显的受力变化。当开挖深度在十米左右时, 此时距离设计深度尚有一定的距离, 随着深度的在增加, 土质的受力条件也发生了变化, 周边结构逐渐承受有效应力, 土壤结构出现了应力变化, 此时地下连续墙也会受到不同方向的挤压效果, 因此会造成深基坑出现一定的侧变形现象。在此阶段中, 随着深度的增加, 会陆续的布置混凝土和钢结构的支撑, 通过搅拌桩等对土层进行加固, 因此会对走遍土层的应力变化产生一定的缓解效果, 此时地下连续墙对土层的维稳性造成了部分限制, 因此此时地层并非百分百无变化<sup>[4]</sup>。

#### (二) 激降期

激降期值得是开挖阶段中的中后段, 此时明挖区间的施工阶段基本完成, 上方土层带来的沉降压力主要由顶部混凝土横撑支撑, 侧向的形变压力通过钢结构作用为连续墙施加应力, 使彼此之间达到一个平衡的状态。在此期间沉降值会发生距离的变化, 主要特点是测点的高度会急剧下降, 这也是整个工程中测点高程下降最大的一个阶段, 一般会是一日均沉降量的2~4倍。

#### (三) 缓变期

缓变期指的是在开挖阶段结束后, 由于挖掘工程已经结束, 此期间整个地下基坑受到的力学状态比较稳定, 在灌注桩等的作用下达到受力平衡的效果, 此时沉降点的变化趋于稳定, 沉降值也十分平缓。

### 四、深基坑引起变形规律分析

在实际工程建设中, 深基坑工程导致的地质结构变形的影响因素众多, 在此将其分为空间效应和时间效应两大类进行讨论。

#### (一) 空间效应

1. 受到基坑平面形状变化带来的空间效应影响, 在实际施工中, 深基坑平面尺寸无法达到无限大, 因此必然会伴随着空间效应。

2. 在基坑施工中, 由于不同部位存在土层条件差异化分布的因素, 因此带来了空间效应的影响。

3. 深基坑在开挖中, 不同部分深度存在差异, 因此会产生不同的空间效应。

4. 深基坑开挖中由于开挖不同部分之间存在开挖深度的差异, 因此会带来空间效应。

5. 深基坑开挖中出现降水差异造成空间效应。

6. 在土方施工中顺序不同产生空间效应。

7. 在对基坑不同位置进行支护中, 由于长度、刚度等因素的影响, 围护桩会因此产生空间效应。

8. 水平支撑的安装以及安装顺序不同造成空间效应。

9. 水平支撑不连续, 并且不同位置产生温度变化差异, 因此出现空间效应。

10. 温度变化引起空间效应。如部分地区动机深基坑布置中, 围护桩周围的泥土受到冷冻因素的影响出现冻胀, 在成水平支撑中不同位置产生温度变化差异, 由此造成空间效应。

11. 在深基坑挖掘过程中, 会采用立柱、围护桩等方式避免土层出现位移。但在施工中不可避免出现回弹现象以及围护墙出现竖向位移, 因此会造成空间效应。

在深基坑施工中, 地表在受力变化的影响下, 出现变形问题这都属于三维空间问题, 因此在施工中需要对地表变形进行模拟分析, 结合工程实际情况以及周边环境等, 对建筑物变形的空间效应进行分析, 这能让深基坑变形模拟更加真实, 在对变形量等进行计算分析中, 计算结果和准确度都会有所提高。在深基坑周边存在显著的非对称性载荷时, 通过三维软件对整个深基坑空间模型进行模拟分析十分重要<sup>[4]</sup>。

在深基坑施工中, 当开挖至地下水位以下的黏土层时, 深基坑工程不仅会存在空间效应的影响, 还会伴随着显著的时间效应出现。在此之中, 深基坑的变形包括围护墙, 水平支撑等都与时间有关。

1. 在进行支护施工中, 会产生对土体扰动的情况, 由此产生时间效应。

2. 在深基坑的挖掘施工中, 会造成土体中超静孔隙水压力的固结, 这种情况也会引起时间效应。

3. 在土方开挖以及水平支撑建设中, 由于施工顺序的不同会因此产生时间效应。

4. 施工中造成土体流变会造成时间效应。

5. 深基坑施工中出现地下水渗流, 会因此产生时间效应。

在深基坑施工中, 周边地表沉降是深基坑工程对土地产生的显著影响变化之一, 在对地表沉降走势进行分析是, 可以基于深基坑地表沉降的数据变化为基础, 结

合小波时间序列模型对地表沉降变化的趋势进行分析, 在此之后结合工程实况, 对建立的预测模型进行分析, 通过实测结果与预测模型之间相互对比, 通过互相印证修正预测模型, 让预测结果与实测变化结果相吻合, 实现较为理想的变形预测的最终效果, 为施工方案的设计组织提供有力参考, 起到保证工程的正常施工的最终目的。

### 五、结束语

综上所述, 本文对地铁深基坑的施工特点进行分析, 阐述了深基坑监测的重要性。并在此基础上结合支护结构等对沉降变形造成影响的因素, 综合监测数据的实际变化, 对整个沉降过程进行了分析研究。根据不同施工阶段的特点, 可以将沉降变化分为三个周期, 分别为递增期、激降期、缓变期。在整体开挖中, 支护结构对整个项目的稳定性产生了不可忽视的影响。

### 参考文献:

- [1]丁进选, 魏铜祥, 陈致富. 淤泥质土层地铁基坑施工对周边地表沉降的影响变形规律分析[J]. 福建建设科技, 2019 (06): 47-50+60.
- [2]郭超, 郭延勇, 李洪宝, 贺彬. 地铁深基坑施工引起周边地表沉降变形规律分析[J]. 粉煤灰综合利用, 2018 (02): 71-74.
- [3]胡斌, 王新刚, 冯晓腊, 胡启晨, 王伟. 武汉地铁某深基坑开挖对周边高架桥影响的分析预测与数值模拟研究[J]. 岩土工程学报, 2014, 36 (S2): 368-373.
- [4]段立莉, 牟林, 孙扬. 地铁深基坑变形规律及影响因素数值模拟研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 7 (12): 38-43.
- [5]田洪营. 土岩地层组合支护下地铁深基坑开挖监测及数值模拟研究[D]. 青岛理工大学, 2011.