

# 钢支撑轴力伺服系统对地铁深基坑变形的影响研究

王 科<sup>1</sup> 李建清<sup>2</sup>

1. 江苏盛华工程监理咨询有限公司 江苏 徐州 221000

2. 水利部海委引滦工程管理局 天津 300384

**摘要:**某区域地表以下30m区域中分布有丰富的软弱黏性土,且具有含水率高、压缩力高、硬度小和流变特性好的特征。在这种特殊地质环境下,实施地铁车站较深基坑的开挖施工时必须合理调节支护系统应变和受力情况,以保证周围路基、所建结构和市政管道的变形稳定性。

**关键词:**工程概况;监测项目;监测成果

## 1 伺服系统工作原理

钢支撑轴的伺服系统主要应用在地基开挖过程和对周边环境需要较高等的工程,可以进行24h的监测,可对应力变形进行低压自动伺服高温自动告警等,对基坑本身和周边环境进行全方位的自动安全防护。钢撑头还包含了压力感应器和超声波位移传感器,用于检测和在现场检测支撑的轴压力大小和位置。控制系统按照设定的轴力值和动作范围进行动态调节。当检测到钢支座实际承受的轴力小于设定值后,控制系统即开始实施轴力自动补偿;当系统检测到钢支撑结构的轴力值超过设定值后,控制系统将自动减小轴力,使之维持在规定的范围内,保证基坑本身和周围变形的安全范围。控制系统也可在控制端自动调节轴力值,以满足各种情况下的轴力数值变化。

## 2 工程概况

### 2.1 基坑概况

某地铁站的基础围护结构中设有二堵封堵墙,将基坑分成左(1~13轴)、中(13~30轴)、右(31~43轴)3段,距离分别为左92.1m、中144.9m、右100.2m,分二期进行。其左、右二段均为第一期基坑,中间段则为第二期基坑。第一期基坑的南端头井坑挖深约16.815m,平面上包宽度为26.84m×15.70m,按基坑的纵深要求共设有五道基础,其中一道为800mm×900mm的砼基础,另外四道则是0609( $f=16\text{mm}$ )的钢管基础。一期工程基坑标准段开挖总深为15.084m,平面外包宽22.04~23.04m,按基坑深度方向布置了四道支柱,其中第一道为800mm×900mm钢筋直径的砼支柱,其他均为0609( $f=16\text{mm}$ )的钢支柱<sup>[1]</sup>。

车站头井以南为市政道路,轨道下方则为既有的轻轨交通线区间,轨底高度为-17.366m,距车站的地平面高度最近为27m;道路下方,同时布置着生活用水、煤气、工业污水等重要的硬性管道。为保证既有的地铁线路区

间和主要城市线路的运行安全,对地南端头井的第2、3、4通道基础使用了钢支撑轴力,伺服系统对围护结构和支撑强度的变化加以了控制。

### 2.2 地质条件

#### 2.2.1 场地地层分布

①<sub>1</sub>号人工填土,层厚:1.20~6.20,层底标高:4.00~-1.93;

①<sub>2</sub>浜底淤泥,层厚:0.50~1.80,层底标高:1.40~-1.49;

②褐黄~灰黄色粉质黏土,层厚:0.50~3.00,层底标高:2.14~-0.50;

③灰色淤泥质粉质黏土,层厚:0.50~5.00,层底标高:-0.82~-5.26;

③<sub>1</sub>灰色砂质粉土,层厚:0.50~3.40,层底标高:-0.34~-3.97;

④灰色淤泥质黏土,层厚:3.60~8.10,层底标高:-6.98~-11.69;

⑤<sub>1</sub>灰色黏土,层厚:0.50~11.60,层底标高:-9.10~-21.25;

⑤<sub>1j</sub>灰色砂质粉土,层厚:2.00~3.20,层底标高:-14.39~-17.51;

⑤<sub>3-1</sub>灰色粉质黏土,层厚:5.00~11.70,层底标高:-21.84~-25.77;

⑤<sub>4</sub>灰绿色黏土,层厚:1.60~4.30,层底标高:-23.84~-27.37;

⑥暗绿~草黄色黏土,层厚:1.40~10.90,层底标高:-13.98~-26.26;

⑦<sub>1</sub>草黄~灰色砂质粉土,层厚:1.10~11.20,层底标高:-22.44~-30.31;

⑦<sub>2</sub>草黄~灰色粉细砂,层厚:2.70~11.20,层底标高:-29.56~-41.26;

⑧<sub>1</sub>灰色黏土, 层厚: 4.20~15.30, 层底标高: -33.88~-45.46;

⑧<sub>2</sub>灰色砂质粉土夹粉质黏土, 层厚: 未穿层底标高: 未穿。

### 2.2.2 承压水

在拟建的地方存在着赋存在⑤<sub>u</sub>层中的微承压水、在⑦<sub>w</sub>层中, 以及在②<sub>2</sub>层中(与②<sub>3</sub>层连通)中的承压水。基坑开挖后, 抗承压水头的稳定性应满足式(1)的要求。

$$P_{cz}/P_{py} \geq 1.05 \quad (1)$$

式中: $P_{cz}$ —坑底开挖表面下至承压的含水层结构顶板上所覆土的自驱力, 地下水位以下kPa; $P_{py}$ —承压水压力, kPa。

据测算, 由于一期工程基坑标准段、南端头井 $P_{cz}/P_{py}$ 值均为零点三九, 所以土方在施工过程中均要按要求降压, 避免水突涌。

### 3 监测项目监测点布置

一期基坑的设计级别是二类, 但鉴于环保要求是二类, 所以检测级别为二类, 同时在基坑的自然本体上也增加了围护建筑上部下沉和水平移动、建筑围护结构下部深层水平位移、建筑支护轴向动力、立柱隆沉监测站、坑外地下水水位变化等检测内容, 在周围环境中也增设了坑外土壤地表下剖面沉降、市政管道变化、附近房屋地面沉降变化等检测内容。

围护区域沉降和水平位移监测点之间的距离, 通常为10~12m;地下连续墙深层水平位移按每四幅墙布置一孔, 平均布置长度为20~24m, 南端头井每侧边布置1孔;在南端头井的每侧边设置一小孔;南端头井每侧面布置1口;支撑轴向动力监测站在40~48m布置了一口观测断面, 南端头井每侧边布置1口;支撑轴力监测站在地面40~48m布置了一个观测断面, 在南端头井的西侧斜支架上布置一个轴力观测断面, 混凝土基础在上、下、左、坑外地表沉降观测断面的布设宽度一般为40~48m, 南端头井的每侧边布置了一个观测断面, 因施工对现场环境影响大, 坑外地表下沉断面监测点一般仅允许布置在距离坑外一倍的开挖深度范围, 坑外地表沉降观测断面的布设宽度一般为40~48m, 南端头井的每侧边布置了一个观测断面, 因施工对现场环境影响大, 坑外地表下沉断面监测点一般仅允许布置在距离坑外一倍的开挖深度范围, 每条地表竖向位移控制断面上布置五个监控点, 从密至疏布置, 与基坑边线的间距依次为2m、4m、7m、11m、15m;南端头井南侧地铁七号线盾构区间变形监控委托专用监管机构进行, 基坑监控人员不另布点监控;市政线路区域监测站的宽度为20m。

## 4 监测成果分析

### 4.1 标准段深层水平位移监测

4.1.1 某车站的一期施工在基坑标段内并没有安装钢筋支撑轴的数控机床, 而是采用钢支撑预应力采用传统的油泵+液压千斤顶施工, 预应力施加值仅为设计支撑轴线受力值的百分之七十。第一道混凝土基础获得强度后完成了第二层土地的施工, 围护结构内外侧产生压力并开始向基坑内移动, 基坑的移动轨迹显示了典型的约束后的特征, 即开挖平面附近移动较大, 向上方和下方逐步降低, 由于砼基础拥有很大的强度, 第2级土地施工过程中地下连续墙移动一般不大。

4.1.2 第2、3、4道基础均采用了六百零九钢架, 但由于其安装时间较小, 且地基的暴露年限少, 对时间效应也较小, 但由于基础强度较低, 对地下连续墙的作用又比一般基础结构较弱, 所以在第3、4、五层土方浇筑过程中地下连续墙深层水平的速度, 明显超过了第二层挖掘后的速度。第二层土方开挖宽度为4.2m, 形成的最深层平面位置为13.55mm, 而每层厚度土方开挖所形成的平均位移量则为3.2mm;钢支撑结构架设后的土方开挖总宽度约为9.7m, 围护结构引起的最深层平面位移量为32.59mm, 而每米厚度土方施工所引起的平均移动量为3.4mm, 可见在钢管基础施工过程中对围护结构侧向移动量的限制作用明显弱于砼基础。

4.1.3 监测末期标准段的西侧, CX2测孔最大偏移值出现在距离基坑底部上部仅零点五m时, 累计量高达44.22mm, 仅为基坑挖深的0.29%;西侧CX34测孔的最大位置出现在基坑底部近2.0m位置, 累计量高达43.46mm, 仅为正常基坑挖深的0.29%。

### 4.2 端头井深层水平位移监测

4.2.1 端头井基坑的第2、3、4道钢支撑, 采用了钢支撑的轴向动力数控机床, 通过数控泵站+液压螺旋千斤顶实施轴向动力, 以轴力施加值为基础设计出轴力值, 通过控制计算机在现场检测支撑下的轴力值和位移率。若在第一道混凝土支撑达到强度之后进行了第二层土方的开挖, 从三个测孔的最深层水平位移曲线中可以看出, 钢支撑的架设前端头井所围护的变形曲线与标准段变形曲线形态很接近, 因前端头井的施工仍处于标准阶段, 对标准段地下连续墙的钢筋体产生了干扰, 由于标准段在土方还未施工前就已出现了少量移动, 所以在第二层的土方施工过程中标段总体移动率已超过了端头井6~7mm。端头井的水平宽度为南宽东西狭布置, 在第二级土方施工过程中南面围护施工表现的明显高出了东西侧面围护施工的最大变形量, 6~7mm。

4.2.2 第3层为土方在施工时进行的第二道钢撑伺服系统检测,现场人员对钢撑的轴力差进行了补偿,我们发现卷材井三侧围护工程在支持底以上的横向移动受到了有效限制:南侧和西侧围护工程在各层土方施工活动中的增量仅2mm,东侧围护工程基本无变化,支持底以下围护施工位移有少许增大。第四层土方施工后坑外水土围压强度进一步增加,并采用数控机床提高了轴向推进强度,虽然东侧围护工程的地基以上结构均无显著改变,但南侧、西面的围护施工却均存在着向坑外方向的移动量,尤以南段最宽边段较为突出,且累计移动量全部为负,亦即为由底层的墙体在空间方向上向坑外方向的土体;由于坑外水土围压和承压水降压等手段的共同作用下,在该级土地开挖过程中的底部墙体表现出在地面上的明显移动。而第五段土方开挖的基坑外水土围压力也继续加大,第4道钢撑也增加了轴力值,基坑三侧工程的基础底板以上和以下均没有出现明显移动<sup>[2]</sup>。

4.2.3 端头井三侧的围护物深层水平位移拐点都发生在10~11m深处,则这个深度相对于第四道钢支撑的安装高度,说明钢支撑轴向驱动数控机床对上部围护工程体的横向移动有很好的限制效果,对底部围护工程体也有明显的变形限制效果。伺服系统的使用,改善了由原有的支撑支护系统所带来的围护工程墙应变特性的最大变化率,使围护工程墙的最大位移量大幅的减小,并使最大变形位移量也明显减小。端头井的平均水深虽比标段水深大约一点七三m,但在监测末期的最大累计位移量却要小得多,且其三侧围护工程墙的最深层水平位移量较大幅度地都在二十一mm以下,仅为基坑总挖深度的百分之零点一二。

#### 4.3 坑外地表剖面沉降监测

4.3.1 建筑围护结构的最深层水平位移率是决定坑外断面地表沉降率的最重要影响因子,而建筑围护渗漏时所产生的坑外混凝土体胶结之后也会影响地表剖面沉降量,而坑外工具、挖机、建筑机械等的超载,也都是影响建筑地表沉降率所不能忽略的原因。

4.3.2 本研究报告在除端头井和标准段坑之外,均选择了一个地表沉降剖面的实测数据,以评价和研究其长

历时的变化轨迹。其中:DB21为端头井坑外地表沉降剖面, DB2为标准段坑外地表沉降剖面。

4.3.3 DB21断面位处于地基的最南面,因为靠近施工大门,与土方工人和地面运输人员的交流比较频繁,且由于在混凝土基础开挖时有大量钢筋和钢管撑堆放在地表,所以产生了很大的坑外超载,在基坑施工时土层地表均有明显下沉现象,至第三层土方施工结束时最大的土层地表下沉已达25.41mm,交于对应围护工程的最深层水平位置约为10个mm;后续土方施工进行中,随着坑周材料的超载移除,地表下沉速度也得到了合理减少,在土方浇筑完成后的最大沉降量提高了十二mm,同时相对于围护施工的最大深度水平位移也提高了十三mm,由此可见减少围护施工最大深度水平移动对于减少地表下沉的重要意义。

4.3.4 DB2断面位于标准段西侧,地表上仅有少量钢筋及钢管撑等施工材料的超载,且土方运输车辆较少,地表剖面沉降主要由围护深层变形所引起,在基坑开挖前的最大沉降仅十mm左右,地表下沉现象大多出现在基坑土方施工阶段中,但在深层部土方施工阶段中的地表沉降速度明显高于浅部土方施工速度,与围护深层水平位移变化速度的相关性也较强。坑底板施工结束后,围护结构内深层的位移逐步收敛,坑外土壤进入次固结阶段,在土壤中的剖面倾斜将逐渐收敛。在研究末期,剖面的最大沉降量仅为四十四点八七mm,对应围护的最深层平面位移量仅为四十四点二二mm,而前者与后者的差值约为0.92,和杨敏、刘涛的调查数据一致。

#### 结语

传统的砼浇注使用时浪费严重,复加质量一般难以达到工程要求,用钢撑轴力伺服系统自动控制支承轴力值可以很好地解决这一难题,轴力减弱时可进行补偿,有效防止围护结构的横向移动。

#### 参考文献

- [1]杨敏.卢俊义.基坑开挖引起的地面沉降估算[J].岩土工程学报,2010,32(12):1821-1828,
- [2]刘涛.基于数据挖掘的基坑工程安全评估与变形预测研究[D].上海:同济大学,2007.