

郑州地铁某换乘基坑施工措施的监测分析

刘保亮*
上海隧道工程有限公司，河南 450000

摘 要：深基坑工程开挖施工过程中往往会引起支护结构内力和位移以及基坑内外土体变形等情况发生，风险性较大。本文以已施工完成的郑州地铁某换乘基坑施工的变形监测为实例，监测成果为工程关键技术方案的制定、技术措施的实施提供支撑，可为今后的类似工程提供参考。

关键词：地铁；换乘基坑；监测

一、前言

基坑坍塌事故与基坑监测息息相关，基坑工程监测通过设定监测项目的控制值，为施工开展提供及时地反馈信息，监测和保障基坑施工和周边环境的安全。

二、工程背景

（一）工程概况

郑州地铁某车站基坑总长为266 m，标准段地下二层开挖深度17.2~19.95 m宽度为21.7 m，钻孔灌注桩围护形式；地下三层换乘节点区域宽度为40 m，开挖深度25.74 m，采用地下连续墙围护结构形式。

表1 车站围护、基坑工程性质一览表

工程部位	围 护		支 撑	基 坑	
	形式/嵌固深度（m）	进入土层		深度（m）	基底土层
北端头井	φ1000@1200钻孔桩/ 嵌固深度15 m	（17）中砂层	三道支撑：第一、三道为混凝土支撑，第二道为φ609钢支撑	19.95	（17）中砂层
标准段	φ1000@1400钻孔桩/ 嵌固深度13.5 m	（17）中砂层	三道支撑：第一道为混凝土支撑，其余均为φ609钢支撑	18.3	（16）细砂层或 （17）中砂层
换乘段	800 mm厚地下连续墙/ 嵌固深度20 m	（34）粉质黏土层	五道支撑：第一道~第四道（斜撑）为混凝土支撑，第五道（直撑）为φ609钢支撑	25.74	（17）中砂层
南端头井	φ1000@1200钻孔桩/ 嵌固深度15 m	（17）中砂层	三道支撑：第一、三道为混凝土支撑，第二道为φ609钢支撑	19.95	（17）中砂层

（二）工程地质情况

表2 各层土物理学指标统计表

层号	岩性	层底埋深	平均层厚	孔隙比	液性指数	标贯击数	承载力特征值	压缩模量
		m	m	e	I _L	N	kpa	Mpa
（2）	黏质粉土	3.10~6.50	3.63	0.712	-0.17	9.6	120	6.84
（7-1）	粉质黏土	4.00~7.20	1.20	0.780	0.76	7.0	100	5.60
（8-1）	细砂	4.00~12.70	3.69			12.8	130	16.00
（9-1）	黏质粉土	8.00~11.40	3.90	0.754	0.32	8.5	100	5.95
（16-2）	黏质粉土	11.80~16.7	1.63	0.714	0.37	15.7	190	9.50
（16）	细砂	10.30~20.50	4.13			17.7	180	20.00
（17-1）	黏质粉土	22.00~36.80	1.48	0.605	0.28	17.2	260	8.43
（17-2）	细砂	19.00~23.50	3.30			24.8	260	22.0
（17）	中砂	22.30~36.80	8.84			37.2	290	30.00
（32-1）	细砂	39.70~44.20	5.56			41	290	25.00

*通讯作者：刘保亮，1984年7月，男，汉族，河南人，就职于上海隧道工程有限公司，工程师，本科。研究方向：市政工程。

本工程地下水位埋深4.70~6.50 m, 岩性以细砂为主, 其次为黏质粉土。各层土的物理学指标见表2。

三、换乘节点施工方案

车站换乘段基坑较其他部位基坑落低7.5 m, 属于较典型的坑中坑形式。换乘节点处为深、浅基坑开挖施工步骤和主要技术措施如下。

1. 分从两端头端头开始分层放坡开挖至标准段基坑底标高, 并放坡至换乘段部位, 换乘段部位结构暂不施工, 保留原状土。

2. 适当调整换乘段两侧相邻标段施工封位置, 为换乘段施工风险控制预留施工条件。

3. 及时施工换乘段两侧相邻两侧标准段砼垫层和底板。

4. 待底板混凝土强度达到设计要求后再进行开挖换乘段落深土方, 随挖随施工两道支撑, 挖至设计标高, 及时施工换乘段垫层及底板。

5. 落深坑施工时, 加强基坑稳定性控制措施的落实和监测数据的反馈。

本次监测工作为施工开展提供及时地反馈信息, 验证换乘节点深、浅基坑开挖施工方案的正确性、可行性; 可根据监测结果, 预估结构及其相邻介质的变形趋势, 以便于调整施工参数。

四、监测方案设计

换乘段基坑的开挖顺序将导致基坑各部位置变形不一, 并且相互影响, 因此在换乘部分围护墙顶部水平(竖向)位移监测点、围护墙体水平位移监测点必须在南北两次施工过程分别进行监测工作, 并在后施工过程中将先施工引起的变形量叠加统计在监测成果中。同时, 在基坑阳角处增加布置围护桩(墙)顶部水平及竖向位移监测点。

根据《城市轨道交通工程监测技术规范(GB50911-2013)》, 该车站围护(桩)墙顶部水平位移、围护(桩)墙顶部竖向位移、围护桩(墙)水平位移、立柱结构竖向位移、支撑轴力、地表竖向位移、坑外地下水位为本工程必测项。

(一) 围护结构(内部)水平位移监测(测斜)

本项监测是深入到围护结构内部, 以了解基坑开挖施工过程中, 围护结构在深度方向上的水平位移的情况。

1. 仪器

美国SINCO测斜仪, DATA MATE读数仪; 量程: $\pm 53^\circ$; 分辨率: 0.02 mm。

2. 工作原理

(1) 测斜管

在待测围护桩/地下连续墙内埋设一条专门制造的“测斜管”。测斜管用PVC塑料制成, 其内部有两对互成 90° 角的凹槽, 是为“测斜仪”使用的“定向槽”。

(2) 测斜仪

1) 一种有两对(四个)导轮的角度测量仪器, 其角度测量部分能测出测斜仪轴向与(即时的)铅垂线间的角度(t); 它的两对导轮间距离是定长“L”(一般 $L = 50\text{ cm}$)。

2) 使用时将导轮纳入测斜管待测方向的一对导槽中。

3) 当测斜仪停在测斜管的某深度位置时, 该处测斜管与铅垂方向的夹角 t 就被斜仪所测出。从简单的数学关系可知此位置时测斜管与铅垂位置偏开的距离(水平位移) $S = L \cdot \sin t$ 。

(3) 测点安装方法

测点(测斜管)埋置于围护桩/地下连续墙体内, 深度与围护桩等深。围护桩施工时测斜管固定在钢筋笼上, 埋入混凝土中。

(4) 测点布置原则

测点沿基坑周边布置, 在车站主体中原则上以10~15 m间隔安排一组。

(二) 围护结构顶部水平位移监测

1. 工作原理

利用前视固定点形成的测量基线, 用经纬仪测量地表各测点与基线间距离的变化。

2. 仪器

瑞士徕卡TCRA1201+R1000; 精度为 $1.0''$ 、 $1+1.5\text{ ppm} \times D$ 。

3. 测点布置方法

在围护桩/地下连续墙顶部的测点处埋入（或打入）顶部为光滑的凸球面的钢制测钉。测钉与混凝土体间不应有松动。

4. 测点布置原则

测点沿围护桩/地下连续墙顶布置，与“围护结构（内部）水平位移监测（测斜）”的测点一一对应。

（三）围护桩顶部垂直位移（沉降）监测

1. 工作原理

利用水准仪观测测点高程变化情况。

2. 仪器

瑞士徕卡DNA03数字水准仪，条码因瓦标尺。精度为0.3 mm/km。

3. 测点布置方法

测点布置与埋设同“围护桩/地下连续墙顶部水平位移监测”。

（四）支撑轴力监测

1. 钢支撑

钢支撑采用支撑轴力计来监测其支撑轴力的变化。仪器：钢弦式支撑轴力计，数字式读数仪；量程：0~3000（kN）；精度：2%。

2. 钢筋混凝土支撑

钢筋混凝土支撑采用在其内部钢筋上（预）设钢筋应力计的方法来监测其工作时的支撑轴力的变化。

仪器：钢弦式钢筋应力计，频率计（读数仪）；量程：+300/-150MPa；精度：2%。

3. 测点布置

分别在直撑和斜撑上进行监测。直撑部分每隔14 m左右取一个支撑断面，在其上下各道支撑上布置支撑轴力测点；选最长一根斜撑所在的断面的上下各道支撑上布置支撑轴力测点。在相应的支撑上布设轴力监测点，由上至下每道支撑布设一个监测点。

（五）地下水位监测

1. 工作原理

预埋水位测管于基坑外的土体内，用水位计测量，了解水位标高。

2. 仪器

仪器：美国SLOPE INDICATOR水位计；量程：40 m；分辨率：1 cm。

3. 测点布置方法

观测井布设在基坑的两侧长边外的土体中，距围护桩为1~2 m处。地下水位观测井深度不低于坑底以下2 m。设井时，先在土体内钻孔至设计深度，然后将带有进水孔的水位管放入孔中，再于管外回填中粗砂至进水段上方30 cm。管口设必要的保护装置。

（六）基坑周围地表沉降监测

1. 工作原理

利用水准仪观测测点高程变化情况。

2. 仪器

仪器：瑞士徕卡DNA03数字水准仪，条码因瓦标尺。精度：0.3 mm/km。

3. 测点布置方法

测点为顶部光滑的具有凸球面的钢制测钉。打入土体中的测钉要有足够的长度（0.8~1 m），测钉与土体间不允许松动。

（1）平行基坑的测点

在相应于“围护体（内部）水平位移监测（测斜）”，在布置测斜管的围护桩外侧2 m处的地表布置测点；并且均匀分布在整個基坑四周。

（2）垂直基坑的测点

沿基坑周边布置,间距10~15 m布设1组测量断面,每1测量断面在垂直基坑方向等深范围内布设5~6个观测点,观测点垂直基坑方向布置。

五、监测数据及分析

（一）地表沉降

监测数据表明,在车站南区基坑围护结构及降水施工期间,地表沉降变化呈缓下沉趋势。开挖期间南区地表沉降累计值-12.10 mm;北区地表沉降累计最大值为-5.20 mm。换乘节点区域地表沉降累计最大为-9.19 mm。垫层、底板施工期间,地表沉降变化较小,地表沉降也不明显,且变形曲线较为平缓。

（二）桩体测斜

测斜孔布设在基坑围护桩体内,能直接反应基坑开挖范围附近桩体的变形情况,由于基坑开挖,基坑内土压力突然减小,桩体围护外土层使整个桩体围护向基坑内方向运动。本工程监测结果开挖变形最大段深度范围为8~13 m,处于受力最大处。南区最大变形量为9.56 mm,北侧最大变形量为16.19 mm,换成段墙体测斜最大变形量为10.33 mm。均在可控范围。

（三）坑外水位

本工程监测结果坑外水位变化最大为-4075 mm,未达到设计报警。在车站基坑开挖阶段该基坑坑外水位在挖土施工期间受基坑降水的影响,前期变化不稳定。底板结构施工至顶板完成期间,并无较大变化量,后期变化量正常并保持稳定趋势。

（四）支撑轴力

在车站基坑开挖期间,前期挖土期间支撑及时撑上,随挖随撑,减少时空效应对基坑变形的影响,支撑压力稳步增大,并达到稳定值。施工期间,第一道混凝土支撑及二三道钢支撑轴力值均未达到报警值。

（五）桩顶竖向位移

桩顶垂直位移布设在基坑围护桩顶部,直接反应基坑开挖期间围护桩桩顶的变形情况。南侧基坑桩顶沉降最大累计变形为-5.65 mm,北侧基坑桩顶沉降最大累计变形为4.8 mm,换乘段基坑桩顶沉降最大累计变形为6.23 mm,均在可控范围。

六、结论

郑州地铁某车站根据基坑根据不同深度情况分别采用 $\phi 1000@1400$ 钻孔桩+三道支撑的支护形式和800 mm厚地下连续墙+五道支撑的支护形式,车站监测结果表明,标准段基坑、换乘节点基坑根据不同情况根据分别采取不同的围护形式,能够符合工程实际;换乘节点采取的施工部署和相应的技术措施是可行的。本文的研究内容可为相类工程提供参考。

参考文献:

- [1]宋建学,张杰晓.深基坑施工中的工程测量.施工技术[J]. 2002.33(2):138-139.
- [2]刘贵军.深基坑变形监测与分析研究[D].武汉大学. 2008.