

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2014.06.024

惠州龙门第二自来水厂基坑监测分析

屈江龙, 张建龙, 汤 恺, 冼家驹

(广东工业大学, 广东 广州 510006)

摘要: 结合惠州龙门第二自来水厂基坑特点及支护形式和周边环境, 有针对性地制定了基坑监测方案。通过使用测斜仪、全站仪、水准仪和水位计等对基坑的深层水平位移、边坡坡顶水平位移、周边需保护建筑的沉降、周边土体沉降和周边的地下水位等项目进行了跟踪监测。结果表明: 各项监测项目之间存在一定的关联性, 对各监测项目的连续监测数据进行综合分析可知, 各监测项目的结果具有良好的一致性。为了确保现有水厂的正常运营, 及时反映基坑自身及周边环境的实际状态, 有必要对基坑工程进行动态监测。

关键词: 基坑支护; 监测; 水平位移; 沉降

中图分类号: TU433

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2014)06-0123-06

Monitoring Analysis for the Pit of the Second Water Treatment Plant in Longmen, Huizhou

QU Jiang-long, ZHANG Jian-long, TANG Kai, XIAN Jia-ju

(Guangdong University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510006, China)

Abstract: According to the characteristics of the supporting structures and surrounding environment of the foundation pit of the second water treatment plant in Longmen, Huizhou, a targeted monitoring scheme for the foundation pit was established. The horizontal displacement of depth layers and the slope top, the settlement of surrounding buildings and soil, as well as the underground water level were monitored by using the inclinometer, total station, level and water level indicator. The monitoring results indicate that the monitoring items are related to some extent, and the results of which are in consistency based on the comprehensive analysis of the continuous monitoring data. It's necessary to monitor the foundation pit dynamically, in order to ensure the regular operation of the existing water plant and reflect the virtual condition of the foundation itself and the surrounding environment in time.

Keywords: supporting structures of the foundation pit; monitoring; horizontal displacement; settlement

1 工程概况

本基坑工程位于惠州市龙门县境内, 基坑大致呈南北走向, 平面形状呈“凸”字形, 长边长 90.4 m, 短边宽处 18.8 m, 窄处 15.3 m 宽。基坑开挖深度 5.5 m, 分两阶段开挖, 一阶段开挖上面 3 m, 二阶段开挖剩余的 2.5 m。具体开挖时, 采取分段开挖的方法, 先挖基坑中部土体, 然后对基坑周边土体进行跳挖施工。基坑东侧需保护建筑物较多, 且基坑周边邻近建筑物距离基坑开挖边缘近, 其中②号楼为

一层储水塔, ③号楼为水厂的自来水处理设备房, 有较多的管线、设备, 因此应严格控制基坑的沉降变形, 以防基坑开挖影响水厂的正常运营使用。此外, 距 SW₁ 侧边 10 m 左右有个水塘, 对地下水位有些影响。

1.1 工程地质与水文地质条件

根据相关工程地质勘查报告, 场地地层岩性自上而下为: (1) 人工填土层, 厚 1.5 m ~ 2.5 m, 平均厚 2.0 m; (2) 砂质粘土层, 厚 3.5 m ~ 4.5 m, 平均厚 4.0 m; (3) 细砂层, 厚 0 m ~ 3.0 m, 平均厚 1.5 m;

(4) 中、粗砂层,厚 0 m~14.6 m,平均厚 7.3 m;(5) 岩石强风化层厚 0 m~7.5 m,平均厚 3.75 m;(6) 砂质粘土层,厚 0 m~13.8 m,平均厚 6.9 m;(7) 岩石中风化层,厚 0 m~0.8 m,平均厚 0.4 m;(8) 岩石微风化层厚 0 m~1.4 m,平均厚 0.7 m;(9) 细、中砂层,厚 0 m~5.4 m,平均厚 2.7 m。

场地范围内地下水主要为基岩裂隙水和第四系孔隙潜水,埋深一般为 1.6 m~3.0 m。间断性分布的砂层为主要含水层。

1.2 基坑支护方案

根据基坑开挖深度和工程地质条件、周边环境和拟建建筑物的设计要求,按照行业标准和广东省建筑基坑支护的有关规范和规定^[1-3]进行基坑支护设计。综合地形条件、基坑开挖深度以及工程地质勘探情况,在基坑顶部设置 1 000 mm×800 mm 冠梁,基坑东侧靠近建筑物采用钻孔灌注桩支护方案,支护桩做法:桩长 $L=20$ m, $\Phi 1000$ mm@1200,在基坑外侧,支护桩之间用直径为 800 mm 的旋喷桩联合起来进行止水;基坑其余部位施工采用 1:1 放坡开挖,喷射细石混凝土护面,局部冲孔桩加固,具体做法为:在坡面上打设直径为 $\Phi 16$ mm,长 1.5 m 的短钢筋,沿坡面@1500×1500 布置,成型后用 $\Phi 8$ mm@200×200 的钢筋网固定在坡面上,再在坡面上喷 80 mm 厚的 C20 混凝土。此外,沿坡面与短钢筋错开,按品字形布置 $\Phi 100$ mm@2000×2000 PVC 泄水管。钻孔桩处剖面为一级、其余剖面为二级基坑支护。

2 基坑监测目的与内容

基坑东侧需保护建筑物较多且距离较近,②号楼和③号楼有较多的管线,设备。基坑开挖时对周边需保护的建(构)筑物影响大,实行信息化施工^[4],一方面减少对邻近建(构)筑物的影响,保证基坑施工的安全性;另一方面可作为优化施工方案的依据,提供有效的施工决策根据,加快施工进度^[5],节约成本。针对本基坑特点,依据有关规范^[3,6],确定基坑监测内容如下:基坑周边土体的深层水平位移、基坑边坡坡顶水平位移、基坑周边建(构)筑物的沉降、基坑周边地下水位,该工程涉及的基坑监测的主要项目及各监测项目报警值和控制值见表 1。

在最具代表性的结构位置处布置测点,以达到用最少的监测工作量反映出整个基坑的稳定状况。监测项目确定后,考虑监测项目特点、工程实际情况、基坑地质状况和基坑围护方案四大因素,根据相关经验和理论预测来确定测点布设范围和密度^[7]。

基坑监测平面布置见图 1。

表 1 监测项目和报警值要求

监测项目	仪器	报警值 控制值	数量
冠梁顶部 水平位移	Leica NA03 全站仪	30 mm 40 mm	3 点
周边土体变 形(测斜)	测斜管 测斜仪	40 mm 45 mm	2 孔
建筑物沉降 /差异沉降	Leica NA03 全站仪	15 mm/1:1500 20 mm/1:1000	6 点
基坑周边 地下水位	水位计	1000 mm 1500 mm	2 孔
基坑周边 土体沉降	WILD NA2 精密水准仪	40 mm 50 mm	6 点

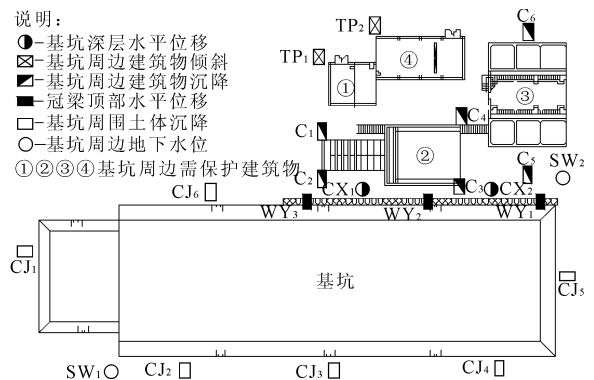


图 1 基坑监测平面布置图

3 基坑监测方案

3.1 基坑周边土体深层水平位移监测

基坑开挖施工过程中,随着基坑开挖深度的不断增大和地下水位的变化,都将导致基坑外侧深层土体的物理力学性状发生改变,进而引起深层土体的侧向变形,基坑周边土体深层水平位移的监测作为测定深基坑侧向变形的重要方法^[8-9],工程上多采用埋设测斜管结合测斜仪进行测定。

(1) 测点埋设:根据基坑支护方案及周边环境的特点,在一级基坑支护(钻孔灌注桩支护)侧的中部挠曲较大位置处埋设两根测斜管。埋设过程如下:采用 $\Phi 110$ 钻机定位开孔,成孔偏斜度不得大于 1° ,钻孔深度平均 28 m。第一根测斜管用堵头封死,然后逐节在孔口对接,慢慢放入孔中。测斜管至预定深度后,校正导向槽的方向,使导向槽垂直或平行与挡土墙轴线方向。在测斜管与钻孔壁之间用砂填充,并做好孔口保护装置。具体基坑测斜点埋设示意图如图 2。

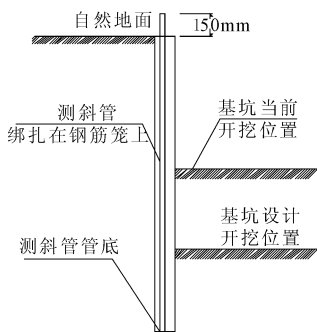


图2 测斜管埋设示意图

(2)监测方法:测斜管埋入基岩,认为管底不动。测量时,沿测斜管十字定向槽将测斜仪探头下放至管底,然后拉动测线提升探头,期间每隔0.5 m距离测读一次数据,由管底至管口完成一个方向的测试,将探头旋转180°,按上述步骤,完成另一个垂直方向的位移测试;将数据导入计算机,通过公式转换,按测点的分段长度,计算出不同高程处的实际水平位移(基坑开挖过程中测量值计算得到的位移值与初始位移的差值即为每隔0.5 m由于开挖引起的位移量),整理相关数据,绘出深度~位移变化曲线图,可作为施工决策的有效依据^[10]。监测过程中根据监测所得的累计位移量和位移变化速率的大小调整监测频率,该工程监测频率初步定为1次/d。

3.2 基坑边坡坡顶水平位移监测

(1)测点埋设:在距离基坑大于15 m的稳定区域布设至少3个水平位移基准点,以进行坡顶水平位移监测,水准基点如图3所示。本基坑仅在钻孔灌注桩支护侧冠梁顶部布置了水平位移监测点,如图3所示。水平位移监测点标可以采用冠梁顶部预留钢筋的方法,在钢筋顶部勒刻十字,或采用后期埋设。

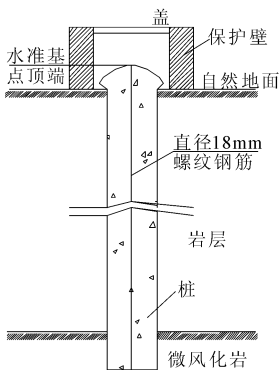


图3 水准基点埋设示意图

(2)监测方法:依据工程实际情况和相关测量规范的要求,冠梁顶部水平位移监测采用Leica NA03全站仪,配合小棱镜或反光膜片,按二级观测精度要求,采用小角度法观测计算位移点点位,该工程监测

频率为1次/d。

3.3 基坑周边建(构)筑物沉降监测

基坑周边一定范围内的建(构)筑物作为基坑监测的重点对象,一般可分为垂直位移、水平位移和倾斜监测三项,其中以垂直位移(沉降)监测为主。通常情况下将测点布置在建筑物的四周角点、中点以及内部承重墙(柱)上,其余地段按间距15 m~20 m布置。在距离基坑较近的②号楼和③号楼建(构)筑物拐角处共布设了6个测点,测点平面布置图如图1所示,如此布设测点可以较为全面地反映建(构)筑物的不均匀沉降。

(1)测点埋设:在不受基坑变形影响的附近地方选择至少3个基准点。沉降观测点采用螺栓式观测标志,将其埋入建筑物立柱中。钢筋深埋水准点,先将粗螺纹钢埋入基岩2 m左右,再用混凝土浇筑牢固^[11],埋设详图见图3。

(2)监测方法:采用Leica NA03全站仪、2M钢瓦水准尺,按现行国家水准测量规范^[4]中二级精度的有关规定,运用光学测微法原理结合平差计算各测点的高程,首次监测数值作为监测点的初始高程,后期监测数值为变化后的高程,目前测得的高程减去初始高程即为累积沉降量,前后两次高程之差为本期沉降量,运用沉降速率法^[9]导出相关数据在EXECL表格中绘出沉降速率~时间关系曲线,该工程监测频率为1次/d。

3.4 基坑周边地下水位监测

基坑开挖过程中受地下水位变化的影响较大,通常在靠近基坑围护结构外侧土体内埋设水位监测管来测定基坑周边地下水位的变化情况。测点埋设:先在设计点位钻孔定位,然后将直径为100 mm的PVC管插入定位孔内,在此之前先在PVC管周边按间距100 mm钻梅花型入水孔,并在钻孔处用过滤网包裹住PVC管,防止泥砂流入管内,具体水位孔埋设示意图如图4所示。该工程监测频率为1次/d。

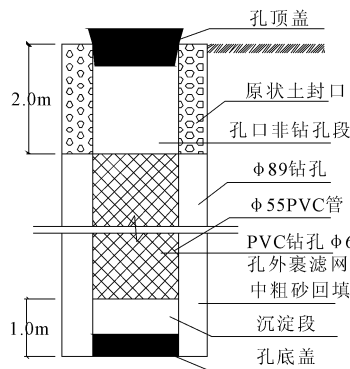


图4 水位孔埋设示意图

4 基坑监测情况分析

4.1 土体深层水平位移监测结果分析

本基坑主要在钻孔桩侧埋设了两个测斜孔,一个为土体测斜,一个为支护结构(钻孔灌注桩)上测斜,编号分别为 CX_1 和 CX_2 。2013 年 8 月 7 日建立初值,2013 年 10 月 1 日最后一次监测,期间共进行了 42 次监测。考虑到数据的连续性和科学性,这里仅取测斜 CX_1 的监测结果进行分析。从图 5 可知,随着开挖深度的增加,基坑内土体卸载,基坑外主动土压力增加,朝基坑内挤压围护结构,致使围护结构向基坑内变形^[12]。至 8 月 13 日,基坑开挖至底, CX_1 位移已达到 7.43 mm,随着部分底板的浇筑,土体深层水平位移继续增大,但增加速率减小。8 月 18 日后土体测斜出现了短暂的减小,主要是由于浇筑的那部分底板达到一定的强度,对基坑周边土体压力释放和侧向变形都起到了一定的限制作用。土体侧向位移经历短暂的减小后,伴随着另外一部分底板的浇筑,8 月 21 日后,土体侧向位移又持续增加,8 月 26 日位移达到最大值,最大值为 11.27 mm。侧向位移轻微变动后又减小,8 月 31 日侧向位移为 9.68 mm。随着后期各部分底板的浇筑施工,基坑周边土体压力不断变化,9 月份管口水平位移在 7.27 mm 与 9.48 mm 之间摆动。随着底板的逐步浇筑,将围护结构连成一个整体,整体刚度增大,抵抗基坑两侧土体压力的能力增加,迫使土体深层水平位移逐渐趋于稳定。10 月 1 日最后一次测得位移为 9.26 mm。

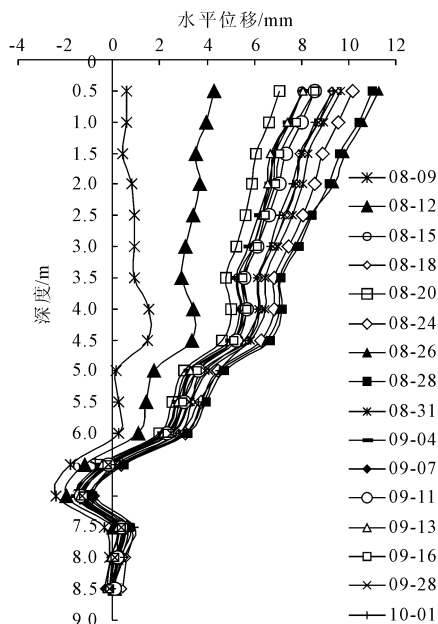


图 5 CX_1 深层水平位移变化曲线图

监测结果表明:由于基坑开挖为 5.5 m,在坑外主动土压力的作用下,基坑维护围护结构受力性状类似于悬臂梁,土体深层水平位移的最大值出现在基坑顶部附近,最小值在基坑底部,曲线形态整体上呈“扫帚”形。基坑底板的分段浇筑,致使基坑周边土体压力不断变化,土体深层水平位移呈现出阶段性的“加速变形减慢变形”的规律。此外,土体深层水平位移的最大值仅 11.27 mm,远小于设计规定的控制值(45 mm),且 9 月份测斜 CX_1 的监测数据又仅在较小的范围内变动,所以基坑处于较稳定状态。

4.2 冠梁顶部水平位移监测结果分析

本基坑钻孔灌注桩支护侧为一级基坑支护,按相关规范的规定在基坑垂直支护侧冠梁顶部布置了三个水平位移监测点,编号分别为 WY_1 、 WY_2 和 WY_3 ,如图 1 所示。2013 年 8 月 7 日建立初值,2013 年 8 月 28 日最后一次监测,期间共进行了 18 次监测。由图 6 可知,三个监测点表现出相似的变化趋势。监测初期,随着基坑开挖深度的进一步加深,三个监测点水平位移都有不同程度的增加。8 月 12 日基坑开挖至底,8 月 13 日开始底板浇筑,随着底板的浇筑施工,冠梁顶部水平进一步向坑内发展。由于已浇筑部分底板强度的增长,影响了围护结构的侧向位移,因此测点 WY_1 和 WY_2 在 8 月 19 日出现了转折,测点 WY_3 则在 8 月 18 日出现了转折点,这与土体测斜 CX_1 的变形情况较为吻合。8 月 21 日至 8 月 26 日三个监测点的水平位移均呈增大趋势,8 月 26 日测点 WY_1 和 WY_2 都达到最大值,分别为 -2.91 mm 和 -2.30 mm, WY_3 则在 8 月 28 日达到最大值 -2.20 mm。三个监测点中 WY_1 值最大, WY_3 值最小, WY_2 值居中,三测点的水平位移监测值最终分别稳定在 -2.80 mm、 -2.30 mm 和 -2.20 mm。

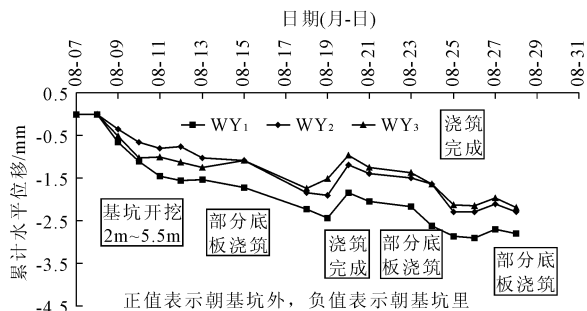


图 6 基坑边坡顶部水平位移变化曲线图

监测结果表明:三个监测点的水平位移按 $WY_3 \rightarrow WY_2 \rightarrow WY_1$ 位置呈增大趋势,一定程度上说明坑

外土体向基坑内变形的发展趋势,即由北向南逐渐增大。另外,冠梁顶部水平位移的监测值均较小,监测结果一定程度上印证了土体深层水平位移的监测结果,同样说明了基坑处于稳定态。

4.3 邻近建筑物沉降监测结果分析

基坑毗邻①、②、③、④号建筑物,四栋需保护的建筑物中以②号离基坑较近,因此取②号楼建筑上的监测点 C_1 、 C_2 、 C_3 和 C_4 进行分析。由②号楼建筑沉降数据处理后绘制的时间-沉降变化曲线可知邻近建筑物各监测点的沉降变化趋势十分相似^[13],但在数值上却有较大的差距。在明挖施工过程中,建筑物沉降主要经历了从基坑开挖至底板浇筑阶段和结构浇筑至顶板回填阶段两个阶段^[14],这里仅对前一阶段进行分析。2013年4月26日建立初值,2013年8月28日最后一次监测,期间共进行了35次监测。期间建筑物沉降较为明显。如图7所示,监测初期,4月26日至5月19日近一个月的时间里,四个监测点的沉降量都较小,最大值出现在 C_3 测点,数值为 6.42 mm。5月19日基坑开始开挖,②号楼建(构)筑物上四个测点的累计沉降量均逐步增大,其主要原因有以下两点:一方面,随着基坑开挖深度的增大,开挖面土体应力得以释放,造成开挖面土体向基坑内变形,致使基坑周边土体下沉,建(构)筑物也随之下沉;另一方面,基坑开挖降水过程中,随着地下水位降低,含水层排水导致周边土体下沉引起建筑物下沉^[10]。但各测点增大的量有所区别,即出现了不均匀沉降,增加的幅度按 $C_3 \rightarrow C_2 \rightarrow C_4 \rightarrow C_1$ 的次序递减,②号楼建筑物变成为沿 $C_1 \rightarrow C_3$ 对角线方向倾斜沉降,这与测点与基坑距离的远近相吻合。6月2日和6月6日两次测得测点 C_3 的累计沉降量均超控制值,其中6月6日测点 C_3 的累计沉降量已达 24.51 mm,建筑物上出现了裂缝,此时基坑开挖至约 2 m 处。监测人员据此向施工单位报警,最终施工方决定暂停开挖。停挖期间,由土体孔隙比变化引起的缓慢固结沉降导致累计沉降值进一步增大,至8月4日测点 C_3 的累计沉降量 34.01 mm,8月4日基坑再次开挖至开挖到坑底期间,随着开挖深度的加大,各测点的沉降略有增大,但增加的速率较小,主要原因是:前期开挖产生的沉降和停挖期间的固结沉降已经使得基坑周边土体变得密实,改变了原有土体的物理力学性质。底板浇筑后,各测点沉降量的增加都很平缓,并逐步趋于稳定,最后一次监测四个测点 C_1 、 C_2 、 C_3 和 C_4 的最大值分别为 15.29 mm、23.08 mm、24.05 mm 和 38.19 mm。有三个测点

的沉降量超控制值,相邻点之间的差异沉降最大值为 15.11 mm(C_2 与 C_3 之间)。

监测结果表明:②号楼出现了不均匀沉降,大致上沿 C_1 到 C_3 对角线方向朝基坑侧倾斜变形,这与基坑边坡坡顶三个测点的水位移在空间上的变化情况相互印证。此外,8月7日以后建筑物各测点的沉降量变化较小,一定程度上解释了土体深层水平位移和和基坑边坡坡顶水平位移较小的原因。

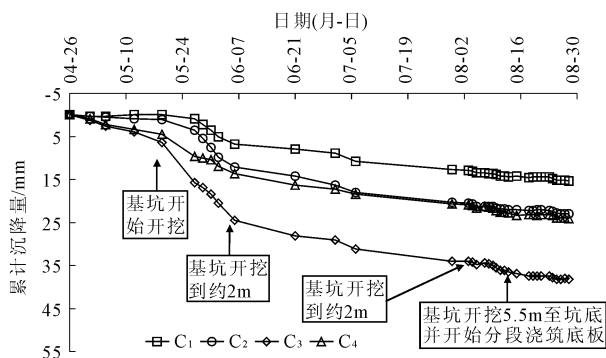


图7 邻近建(构)筑物累计沉降变化曲线图

4.4 基坑周边地下水位监测结果分析

结合本基坑周边的环境、水文地质条件和基坑自身特点,仅在基坑的两对角上布置了两个水位监测点,编号为 SW_1 和 SW_2 。2013年8月7日建立初值,2013年9月28日最后一次监测,期间共进行了40次监测。对两个水位孔的监测数据进行处理分析,并归纳绘制水位随时间变化曲线图,如图8所示。由图8可知,水位孔 SW_2 较为稳定,仅在 -0.4 m ~ 0.5 m 之间轻微地摆动。水位孔 SW_1 的变化则较为明显,2013年8月8日至2013年8月10日两天的时间内,水位就由 0.00 m 近似直线地增长到 2.17 m,2013年8月10日至2013年9月4日期间,水位孔 SW_1 的监测值基本上在 2.00 m ~ 3.00 m 之间摆动,且一直处于超控制值状态。2013年9月4日后,随着底板的逐步浇筑完成,水位孔 SW_1 的监测值逐渐减小,基坑周边地下水位逐渐恢复,2013年9月16日,监测数据为 1.26 m。

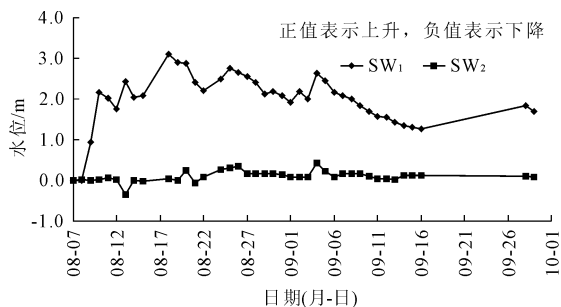


图8 水位随时间变化曲线图

监测结果表明:基坑开挖过程中水位孔 SW₁ 的水位增长迅速,很长一段时间维持在高水位,主要原因有两点:一是基坑外水源较充足(距离水位监测点 SW₁ 约 10 m 处有一水塘);二是坑外土壤渗透性较好(SW₁ 侧砂层较厚),短时间内有大量地下水朝基坑方向渗流。正是由于这两点才出现了图 8 所示的水位随时间的变化曲线图。

5 结 论

通过对惠州龙门第二自来水厂基坑施工过程中的各监测项目进行跟踪监测及监测分析得出以下结论:

(1) 由于围护结构处于悬臂状态,在坑外主动土压力的作用下,土体深层水平位移的最大值在顶部,最小值在底部,曲线形态整体上呈“扫帚形”。

(2) 在基坑开挖影响范围内建筑物上各测点的沉降规律十分相似,但沉降量因测点与基坑的距离、地下水升降及变形体周边约束等因素的影响而有较大差别,变形具有明显的空间工程效应^[15]。

(3) 基坑边坡坡顶的水平位移的变化规律与土体深层水平位移的变化规律得到了相互印证,此外②号楼的不均匀沉降导致的倾斜变形方向与钻孔灌注桩桩上三个冠梁顶部水平位移监测点的变化方向一致;说明了监测方案的合理性与监测数据的可靠性。

参考文献:

- [1] 广东省建设委员会. DBJ/T15 - 20 - 97. 广东省建筑基坑支护工程技术规范[S]. 广州:广东省工程建设标准协会,1997.
- [2] 中华人民共和国建设部. GB50330 - 2002. 建筑边坡工

程技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.

- [3] 中国建筑科学研究院. JGJ120 - 99. 建筑基坑支护技术规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [4] 杨有海,王建军,武进广,等. 杭州地铁秋涛路车站深基坑信息化施工监测分析[J]. 岩土工程学报,2008,30(10):1550-1554.
- [5] 余荣平. 广州某建筑基坑监测及位移分析[J]. 岩土工程界,2009,(1):59-60,63.
- [6] 中华人民共和国建设部. GB50026 - 07. 工程测量规范[S]. 北京:中国计划出版社,2007.
- [7] 张建龙,汤 恺,罗顺飞,等. 广佛线地铁朝安站 D 出口基坑监测分析[J]. 水利与建筑工程学报,2013,11(4):161-164.
- [8] 安关峰,宋二祥. 广州地铁琶州塔站工程基坑监测分析[J]. 岩土工程学报,2005,27(3):333-337.
- [9] 夏才初,李永盛. 地下工程测试理论与检测技术[M]. 北京:同济大学出版社,1998.
- [10] 陈开圣,彭小平. 测斜仪在滑坡变形监测中的应用[J]. 岩土工程技术,2006,20(1):39-41.
- [11] 罗顺飞,张建龙,赵庆强. 广州石牌东商业大厦基坑支护工程监测分析[J]. 水利与建筑工程学报,2012,10(4):121-126.
- [12] 赵庆强,张建龙,王 辉,等. 深圳地铁 2 号线侨香站基坑监测分析[J]. 水利与建筑工程学报,2011,9(5):129-134.
- [13] 陆培毅,刘 畅,顾晓鲁. 深基坑支护结构支撑系统简化空间分析方法的研究[J]. 岩土工程学报,2002,24(4):471-474.
- [14] 张明聚,由海亮,杜修力,等. 北京地铁某车站明挖基坑施工监测分析[J]. 北京工业大学学报,2007,32(10):874-878.
- [15] 保华富,李仕胜,廖建军,等. 建筑物场地稳定性监测实施及成果分析[J]. 水利与建筑工程学报,2007,5(4):44-50.