

# 广州某超深基坑监测与结果分析

廖珊珊，方大勇，李思平

(广东省水利水电科学研究院；广东省水利重点科研基地，广州，510610)

**摘要：**本文通过广州某超深基坑监测实例和结果分析，说明采用桩锚支护体系的超深基坑监测过程中支护结构变形和锚索拉力变化的一些特点和应注意的问题，提出桩锚支护体系中以测斜和锚索拉力作为超深基坑支护体系安全监测主控手段的观点，对同类工程有较好的参考价值。

**关键词：**超深基坑；桩锚支护；基坑监测；测斜；锚索拉力；支护桩桩顶沉降

## 1 引言

随着城市建设的发展，地价日趋昂贵，向空中求发展、向地下深层要土地便成了建筑商追求经济效益的常用手段，基坑施工的开挖深度从最初的 5~7m 发展到目前 10~20 米。同时，在大城市核心商务区域，考虑超高层建筑物地下停车配套的需要，出现了开挖深度 20~30m 的超深基坑。超深基坑属于复杂的临时性工程，地质条件的不确定性对支护体系的安全影响相对普通的基坑工程有显著增加，全面的深基坑监测已成了工程建设必不可少的重要环节。

## 2 工程概况

本项目基坑大致呈矩形，面积为 9066 m<sup>2</sup>，开挖深度约 30.5m，周长 367m。该基坑南面紧靠一条 60 米宽市政道路，南侧边线距该道路的地下行车隧道约 20 米，东面为 16 米宽的规划路，西面紧靠 10 米宽规划路。该基坑采用人工挖孔支护桩加预应力锚索支护体系，其中基坑北侧距离某地下车库项目仅 13 米，地下车库基坑深 11 米，考虑与地下车库协调，把该部分土体整体铲除并采用放坡加土钉支护形式，同时采用单排深层水泥土搅拌桩止水。该基坑主要特点有：1、基坑开挖深度深。本项目基坑开挖深度约 31m，是目前广州大面积开挖的基坑中深度最大的基坑。同时，由于深度大，相当部分土层已经为岩层，需爆破开挖，造成工期相应延长，本项目现场监测历时 2 年。2、围护桩为吊脚桩。

场地地质勘察报告显示，场地岩土种类较多，且不均匀，岩性（风化程度）变化较大。场地岩土层按成因类型可分为填土层、冲淤积成因的淤泥质土、粉质粘土和粘土、粉细砂、中粗砾砂和残积成因粉质粘土，基岩为泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩、砂砾岩和砾岩。本场地基岩埋藏浅，第四系土层层厚约 7~9 米，中微风化岩埋深约 9~15 米。场地浅部地下水主要为赋存于杂填土及淤泥质粉细砂、中粗砂的孔隙水。其补给来源以大气降水及生活排污为主，含水层分布较稳定，总厚度 1.50~3.00m，其水量较丰富。深部地下水主要为赋存于强~中风化岩中的裂隙水，其水量主要受岩层裂隙的发育状况及充填情况控制，水量中等。实测地下水埋深 0.60~1.40m。

## 3 监测内容

根据设计图纸要求和现场实际情况，本基坑具体监测项目如下：围护桩测斜（11 孔）；围护桩水平位移（19 点）；土体（岩石）侧向位移（12 孔）；地下水位（10 孔）；临近建筑物、隧道及地面沉降（29 点）；锚杆（索）拉力（41 点）。各测点（孔）平面布置图如图 1 所示。

本项目支护桩为吊脚桩，支护桩中的测斜管安装要注意测管底部需进入不动层且超过基坑开挖深度 3m 以上。测管安装有两种方法：1、支护桩浇筑完成后采用抽芯法钻孔安装埋设；2、在支护桩浇筑的时候预埋导管，浇筑完成后再沿预埋导管钻孔安装埋设测斜管到指定深度。本项目采用第二种方法埋设测管。

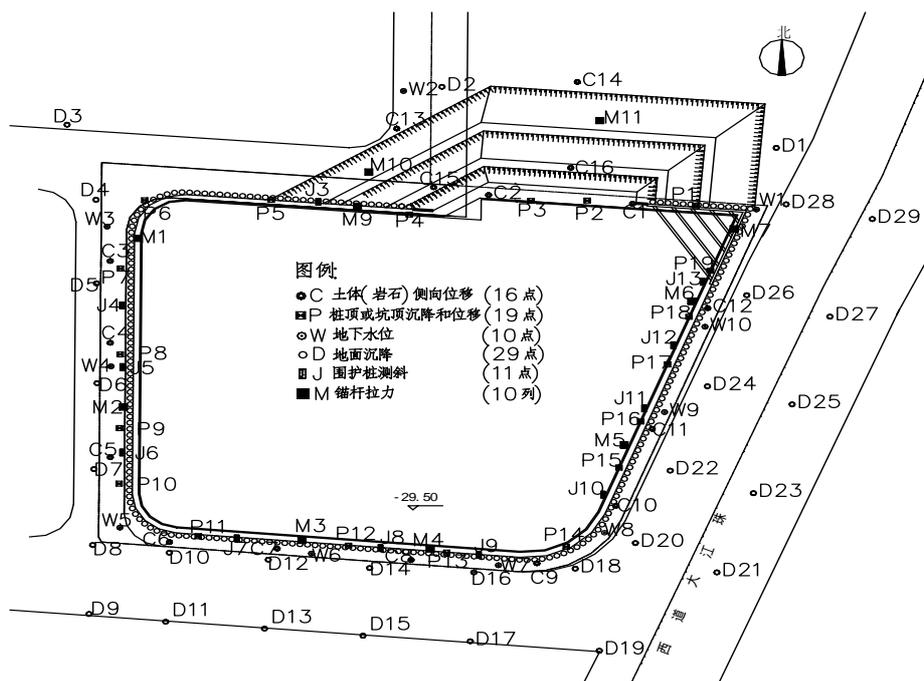


图1 基坑测点布置平面图

## 4 测量结果及分析

### 4.1 支护水平位移观测

水平位移各测点最终累计位移情况如图2所示，部分典型水平位移观测点的位移时间曲线如图3所示。由监测结果可见，除基坑北侧放坡段两个观测点水平位移为32.2mm和23.6mm外，支护桩顶水平位移量均小于20mm。

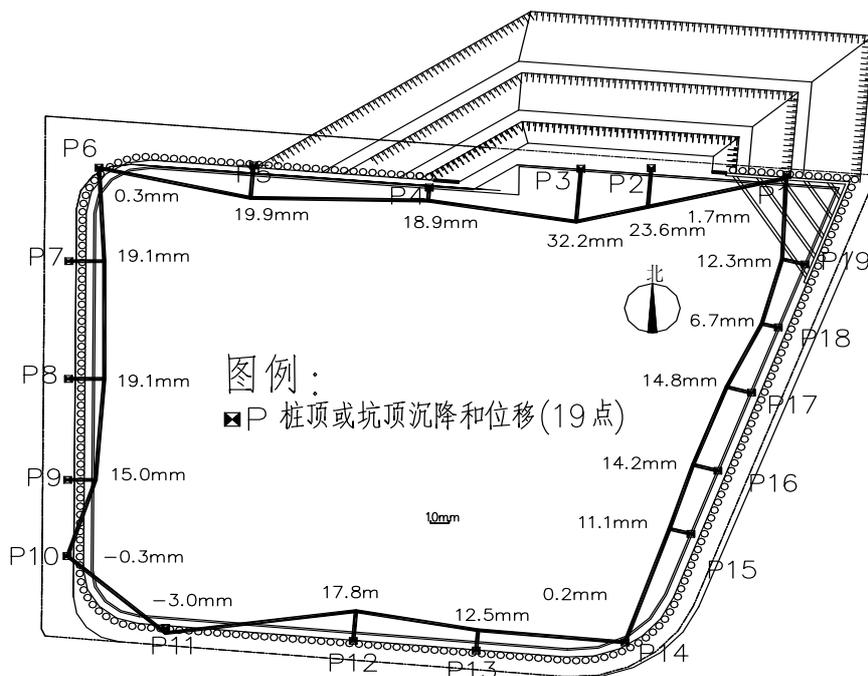


图2 基坑水平位移最终累计位移分布图

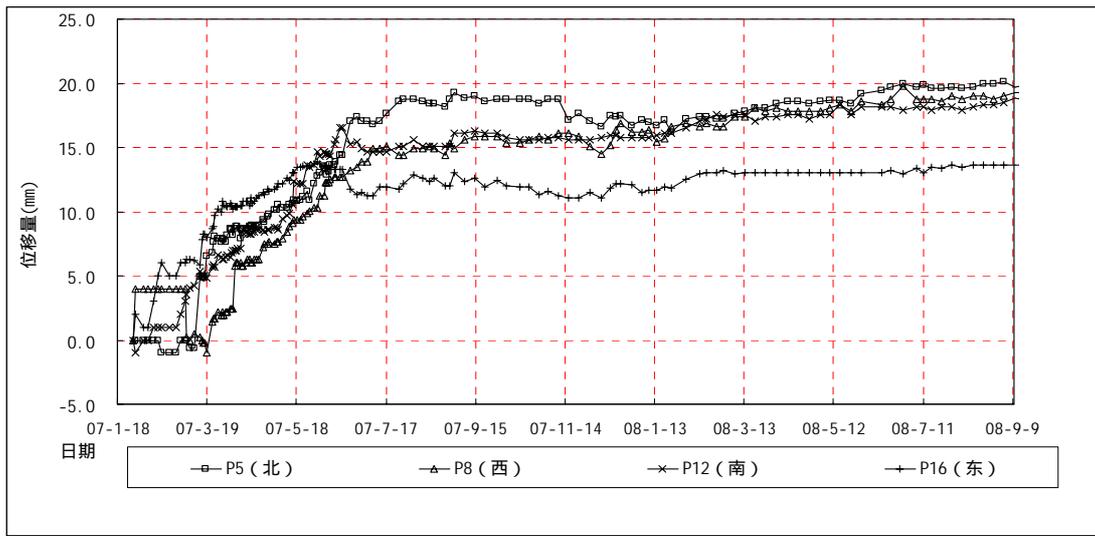


图 3 基坑水平位移时间曲线图

通过图 2，可以知道基坑角部的桩顶水平位移测点 P1、P6、P10、P14 的最终水平位移累计值分别为 1.74mm、0.34mm、-0.34mm 和 0.21mm，而其余桩顶测点水平位移累计值介于 6.72 ~ 19.9mm 之间，符合在基坑拐角处变形较小，基坑中部变形较大的一般规律。由图 3 可看到，基坑在进行开挖施工的时，桩顶水平位移随开挖深度的不断增加而增加。当基坑接近设计高程时，其位移时间曲线趋于平缓，当基坑完成开挖后，桩顶水平位移基本不变，说明基坑支护结构处于相对的稳定状态。

#### 4.2 测斜观测

(1)、顶部水平位移较大处，其桩身侧向变形也较大

测斜各测孔累计最大位移量在 2.8 ~ 39.1mm 间。支护桩测点侧向位移最大值见图 4，土体测点侧向位移最大值见图 5。比较围护桩顶部水平位移分布图（图 2）与围护桩侧向位移最大值分布图（图 5），二者的规律较为一致，顶部水平位移较大处，其桩身侧向变形也较大，反之亦然。

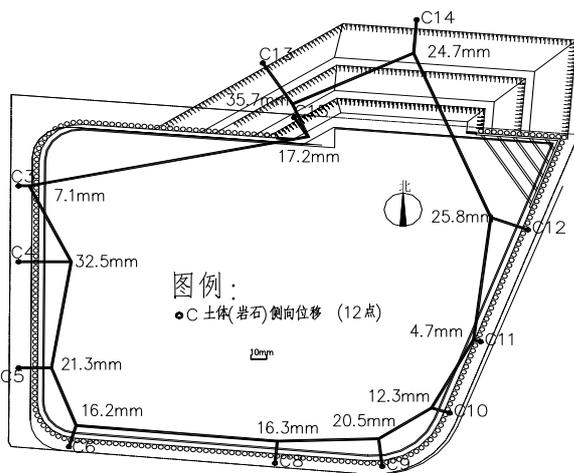


图 4 土体侧向位移最终累计位移量分布图

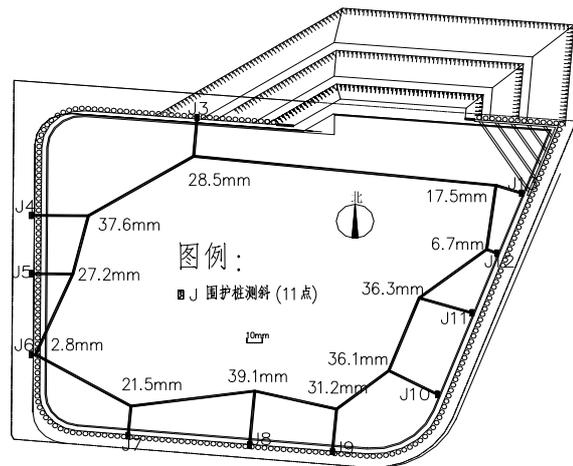


图 5：支护桩侧向位移最终累计位移量分布图

基坑南侧支护桩测斜点 J8 及相应位置土体测斜点 C8 的位移图见图 6、图 7。

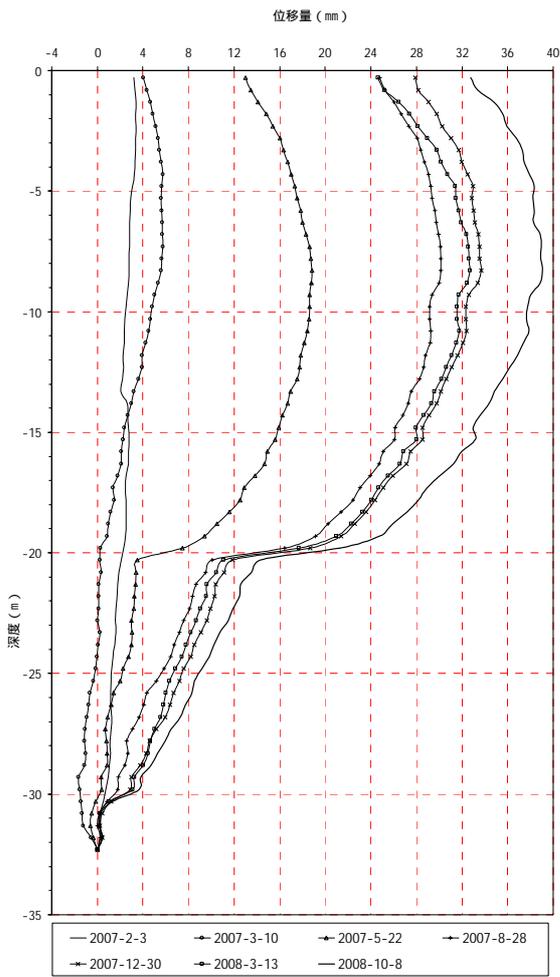


图 6 支护桩侧斜点 J8 侧向位移曲线

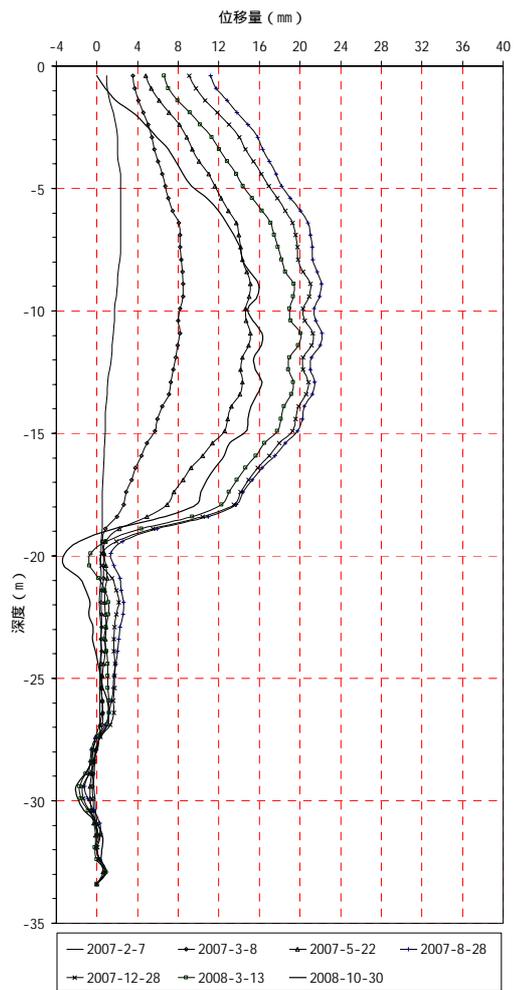


图 7 土体侧斜点 C8 侧向位移曲线

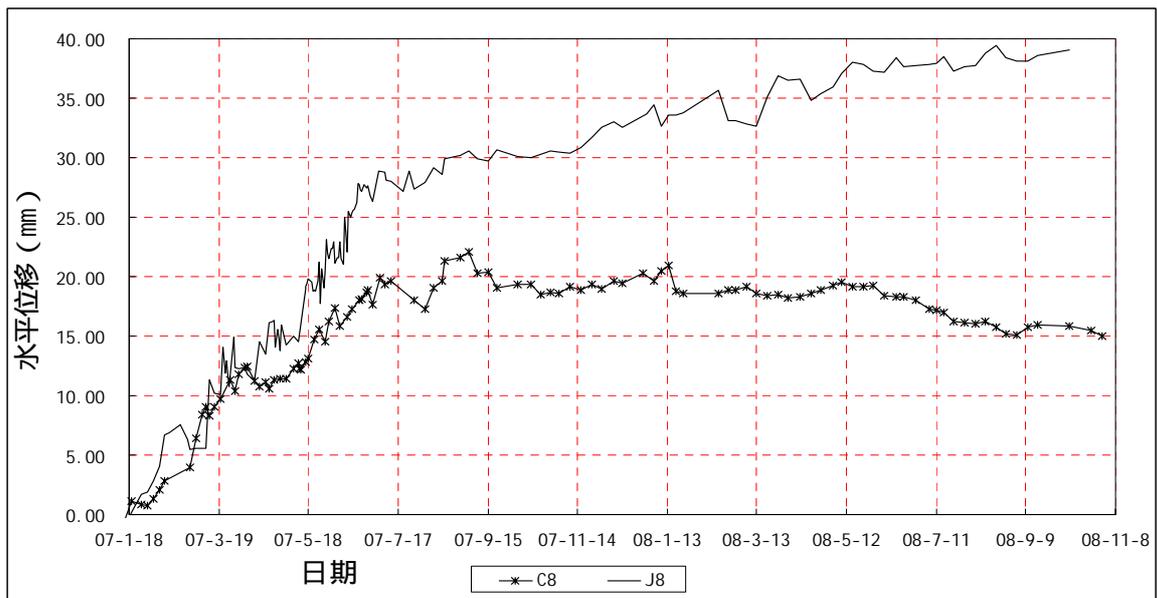


图 8 支护桩与土体侧斜点相邻位置-8.3m 深度侧向位移时间曲线

支护桩的变形曲线大体上呈弓状，支护桩最大变形位置很多时候不在支护结构顶部。

测孔的最终累计位移量的最大值一般集中在测管的中上部，但在支护桩顶，出现这种现象的原因，是由于设置支护锚索的缘故。一般在开挖到一道锚索标高下 1.5m 左右，才能进行锚索的施工，在这一过程中，该锚索的拉力大部分将由上一道锚索及其以下被动土压力承担，当该道锚索发挥作用时，支护桩已产生较大的拱出变形，对锚索进一步施加预应力已难以改变支护桩的水平变形方向，在后续的基坑开挖工序，支护桩进一步朝基坑内方向变形。随着开挖深度的增加，最大位移水平点随之下移并最终稳定在某个深度上。对于 J8 测点，由于第二道锚索以下地质条件较好，而且下面三层的锚索间距相对较小，所以最大位移点下移至 8.3m 深度就未继续向下移动。

由图 6 还可以看到，当基坑开挖至 15m 深时，支护桩最大位移约 6mm，开挖至设计标高时，支护桩最大位移约 36mm。此后，尽管不再进行开挖，支护桩位移还是在缓慢而持续地增加，至主体建筑施工地下三层时，最大位移增加至 39mm（见图 8）。从测斜变形速率看，基坑开挖至设计高程后，测点位移时间曲线趋于平缓，基坑支护结构处于相对稳定状态。

### 4.3 沉降观测

(1) 支护桩顶部沉降观测各测点累计沉降量在 1.55 ~ 6.94mm 之间。各测点累计沉降值见图 9，西、南及东侧 P7、P12、P17 点沉降时间曲线见图 10。比较支护桩顶部水平位移测点最终累计值与支护桩顶部各沉降测点最终累计值，总体上来讲，桩顶水平位移大的桩，其沉降也相应较大。

在广州地区，一般基坑支护桩桩底均超过基坑底且进入岩层，支护桩桩顶沉降较少，但对于超深基坑，由于有吊脚桩出现，支护桩顶的沉降是需要重点关注的监测环节。

(2) 周边地面沉降观测各测点累计沉降量在 3.38 ~ 36.62mm 之间。各测点累计沉降值情况见图 9，南侧及东侧 D14、D15、D24、D25 点沉降时间曲线见图 11。

通过图 9，可知除了基坑北部的 D2、D4 测点的沉降最终累计值达到 36.62mm 与 33.01mm，其余测点的沉降最终累计值均未超出设计方给出的 30mm 的控制值。从图 11 显示的沉降测点的变形速率看，基坑开挖至设计高程后，测点位移时间曲线趋于平缓，周边地面变形相对稳定。

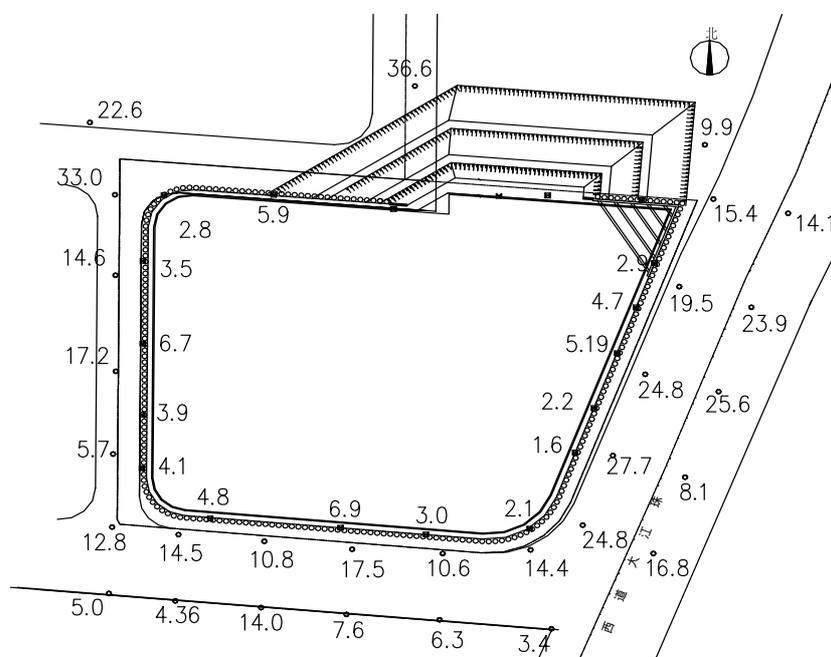


图 9 基坑周边地面及桩顶沉降分布图（单位：mm）  
（基坑内数值为桩顶沉降，基坑外数值为周边地面沉降）

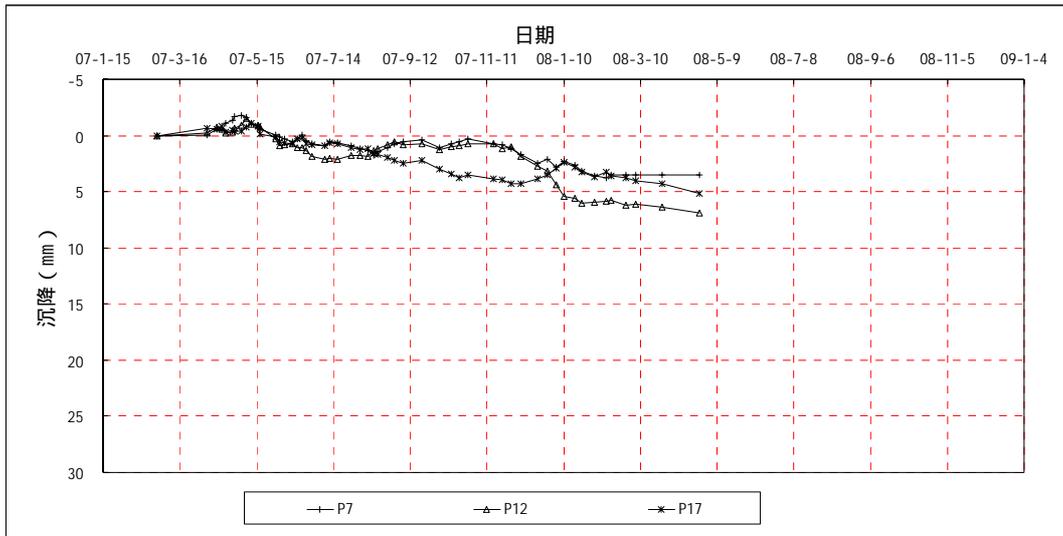


图 10 基坑西、南、东侧三个点桩顶沉降时间曲线

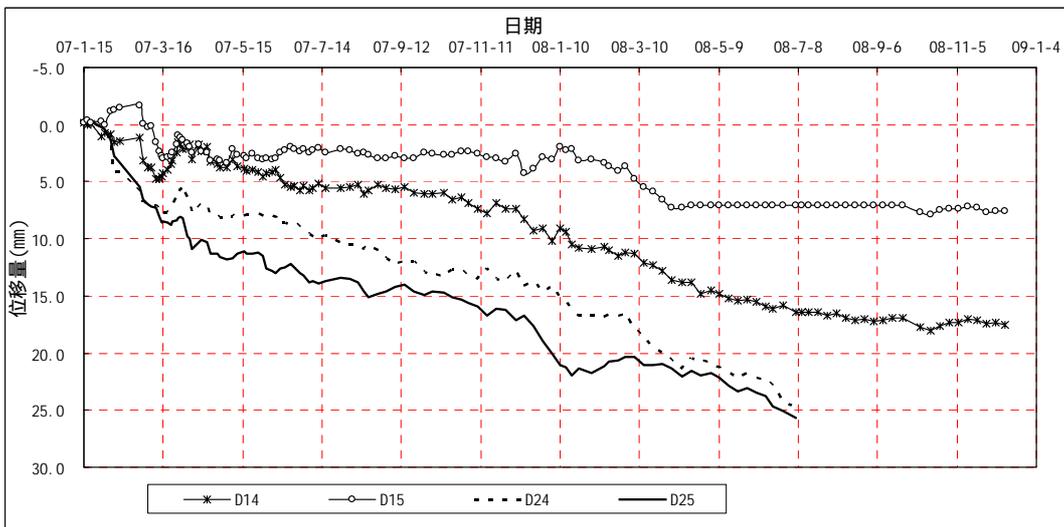


图 11 基坑南侧、东侧四个观测点地面沉降时间曲线

#### 4.4 基坑周边地下水位观测

地下水位观测孔共有 10 个，除 W2、W7 外，其余测孔测得的地下水位深度在 1.91 ~ 6.39m 之间。基坑东南侧的 W7 测孔水位降深较大，为 12.32m，水位降至基岩面以下，说明该处基岩较破碎，岩层裂隙发育。而北侧的 W2 测孔处于放坡开挖段，没有设置防渗帷幕，因此水位随着基坑内降水而降至基岩面 12.28m。

#### 4.5 锚索拉力观测

图 12 为锚索拉力柱状图，可以看出，各排锚索间中间位置的锚索拉力相对较大，顶部和底部的锚索拉力相对较小。

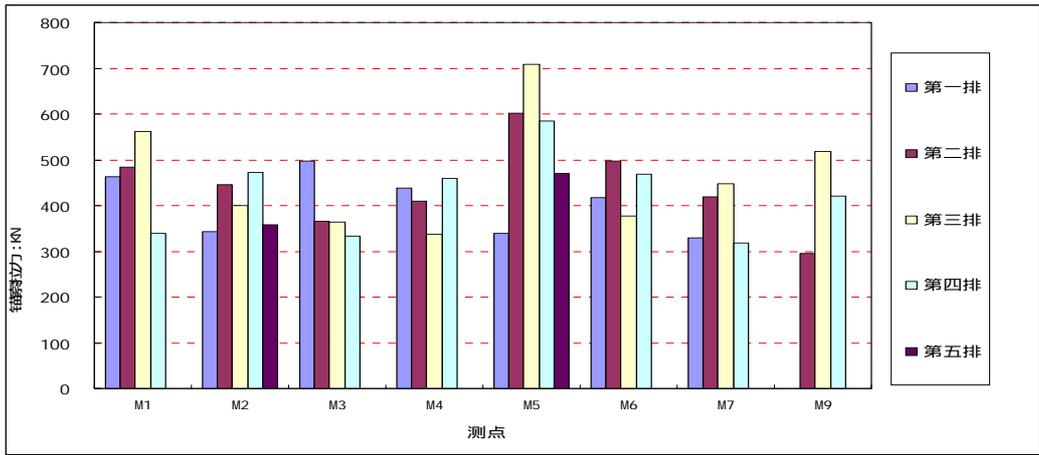


图 12 锚索拉力柱状图

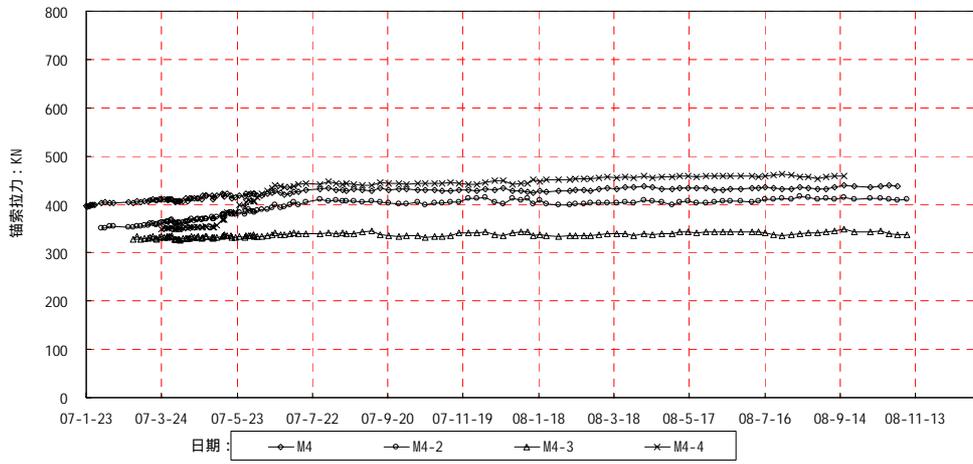


图 13 M4 测点各排锚索拉力时间曲线

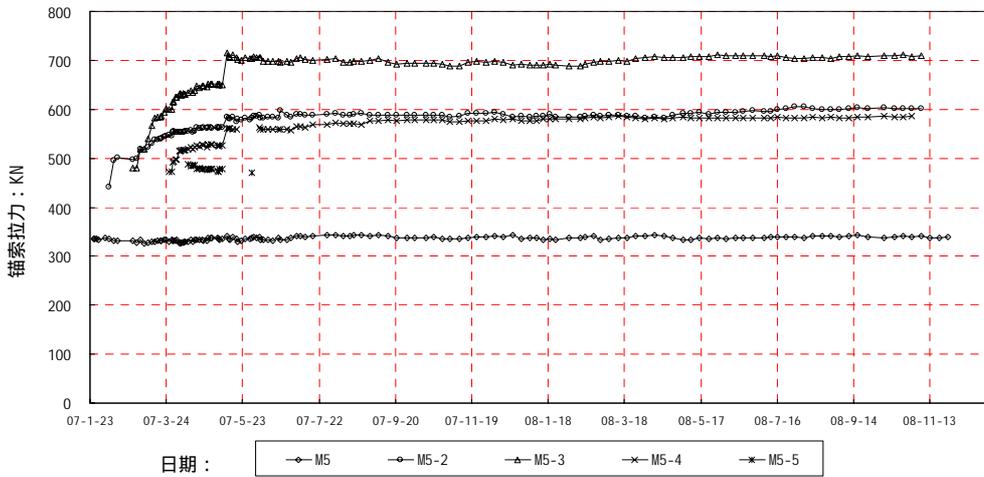


图 14 M5 测点各派锚索拉力时间曲线

将 M4 及 M5 的锚索拉力时间曲线对比（图 13、14），可以发现，锚索拉力较小者，其拉力基本为一恒定值，而最终拉力较大的锚索在基坑继续开挖初期有较明显的拉力增加趋势，达到最大值后基本保持恒定。以上事实表明，拉力终值较小的锚索处主动土压力较小，锚索施加的预应力达到或超过主动土压力，因此在开挖过程中锚索受力不增加。当预应力小于主动土压力，在基坑开挖过程中，随着基坑的挖深，被动土压力逐渐减少，主动土压力超过预应力的那部分荷载逐渐转由锚索来承担，于是锚索拉力不断增加直至主动土压力完全由锚索承担，此后锚索拉力不再增加。

对于一般基坑项目，测点的锚索拉力值在锚索张力锁定后基本相对稳定，没有随土方的下挖而大幅度增加。本项目，M4、M5、M6、M9 锚索测点位置 2、3、4 排锚索拉力增加较大，其中 M5 测点位置第三排锚索锚头拉力值从 480kN 的锁定值增加到 709kN，接近 824kN 的拉力设计值，结合附近测斜孔 J11 位移值量达到 30mm，我单位发出警戒信号，此时基坑开挖深度约为 23m。相关单位采取相应的加固措施，确保了后续工程的顺利进行。加固后，锚索拉力相对稳定，在后续土方开挖过程中未有大的变化。

## 5 结论

本项目通过全面的实时监测，监测数据及时反馈指导施工，相关单位及时采取相应的加固措施，确保了基坑施工的安全。

对于超深基坑，在进行全面监测的基础上应尤其注意下几点：1、对于采用吊脚桩支护的超深基坑应注意支护结构顶部沉降变化情况。2、超深基坑支护结构的最大变形位置很多时候不在支护桩顶部，测斜测量是反映支护体系安全的关键项目。3、对于采用桩锚支护体系的基坑，锚索拉力是反映是支护体系安全的基本指标。锚索拉力相对设计预应力有较大增加的位置，一般也是地质条件较差，存在工程隐患的位置，应给予充分关注。建议在采用桩锚支护体系的超深基坑中，以测斜和锚索拉力作为判断支护体系安全监测的主控手段。

### 参考文献:

- [1] 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
- [2] 刘健航, 侯学渊, 基坑工程手册[M], 北京: 中国建筑工业出版社, 1997
- [3] GB50497-2009, 建筑基坑工程监测技术规范, 北京: 中国计划出版社, 2009