

DOI: 10.3785/j.issn.2096-7195.2022.01.009

【工程应用】

# 对土岩组合基坑混凝土支撑轴力监测的一点思考

张桢树<sup>1</sup>, 薛飞<sup>2</sup>, 张励<sup>1</sup>, 廖建军<sup>1</sup>, 王世杰<sup>3</sup>, 廖成西<sup>4</sup>

(1. 杭州天恒投资建设管理有限公司, 浙江 杭州 310004; 2. 杭州市城市基础设施建设管理中心, 浙江 杭州 311103;  
3. 腾达建设集团股份有限公司, 浙江 台州 318050; 4. 中国中铁隧道股份有限公司, 河南 郑州 450001)

**摘要:** 文章结合之江路工程2号盾构工作井及始发段的土岩组合基坑施工监测实例, 阐述了当前基坑施工监测普遍存在的问题, 分析和探讨对土岩组合基坑的混凝土支撑轴力监测设计与施工进行合理优化的可能性。在实际的施工监测工作中, 不能简单根据单根混凝土支撑轴力平均累计值是否达到或超过设计提供的控制值作为报(预)警的依据。应根据现场施工工况, 密切关注支撑平均轴力变化的趋势, 同时参考围护结构自身变形位移、基坑周边土体位移等其他监测数据, 对支撑轴力的变化进行综合分析判断。笔者建议由设计单位根据基坑工程实际工况和施工监测相关数据, 重新进行复核算, 并提出综合安全评估指标, 得出可靠结论, 达到既安全又经济的工程建设效果。可供本工程其他工作井基坑或类似基坑工程设计、施工监测过程中参考。

**关键词:** 土岩组合基坑; 混凝土支撑轴力; 施工监测; 初始值; 设计控制值; 轴力偏差; 优化

中图分类号: TU44

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2022)01-0073-08

## Ideas on monitoring the axial force of concrete support in soil-rock composite foundation pit

ZHANG Zhen-shu<sup>1</sup>, XUE Fei<sup>2</sup>, ZHANG Mai<sup>1</sup>, LIAO Jian-jun<sup>1</sup>, WANG Shi-jie<sup>3</sup>, LIAO Cheng-xi<sup>4</sup>

(1. Hangzhou Tianheng Investment & Construction Management Co., Ltd., Hangzhou 310004, Zhejiang, China;

2. Hangzhou Urban Infrastructure Construction Management Center, Hangzhou 311103, Zhejiang, China;

3. Tengda Construction Group Co., Ltd., Taizhou 318050, Zhejiang, China;

4. China Railway Tunnel Co., Ltd., Zhengzhou 450001, Henan, China)

**Abstract:** In this paper, based on the soil-rock combination foundation pit of Zhijiang Road project, the common problems in the current construction monitoring of the foundation pit were elaborated, and the possibility of reasonable optimization of the axial force monitoring design and construction of the concrete support of the soil-rock combination foundation pit were analyzed and discussed. During the actual monitoring period, the average accumulated value of axial force of single concrete support cannot be used as early-warning index. It is necessary to pay close attention to the change trend of the average axial force of the support according to the site construction conditions, and make a comprehensive analysis and judgment on the change of the axial force by making reference to the deformation of retaining structure and soil displacement around the foundation pit and other monitoring data. It is suggested that according to the real working condition of foundation pit and construction monitoring data, the designer should re-check the calculation, and put forward the comprehensive safety evaluation index, so as to achieve both safe and economic effect. This study can provide a reference in the design and construction monitoring on similar projects.

**Key words:** soil-rock composite foundation pit; axial force of concrete support; monitoring; initial value; design control value; axial force deviation; optimization

## 0 引言

随着现代城市建设的快速发展, 地下空间的立体开发是未来发展的大趋势。而基坑作为地下空间

开发过程中的主要通道, 由于工程地质条件、周边环境及施工技术管理等原因, 基坑变形、坍塌等安全事故时有发生。为了确保深基坑工程施工作业中的安全可靠, 基坑动态监测是十分必要的。在当前

收稿日期: 2021-09-23

作者简介: 张桢树(1970—), 男, 高级工程师, 注册安全、监理、造价工程师, 长期从事市政工程管理。E-mail: zzs701213@163.com。

基坑施工监测实践中, 基坑工程的混凝土(钢)支撑轴力受测量仪器制造精度、安装工艺水平、自然温差、初始值测取以及知识水平等诸多因素影响, 导致实际测试结果与设计理论值之间有很大的差异, 普遍存在实际测试结果大于设计控制值的现象。本文通过对之江路工程2号盾构工作井及始发段土岩组合地层中深基坑工程的混凝土支撑轴力施工监测实例的分析研究, 认为基坑支撑轴力设计与施工监测时应根据工程实际工况条件, 通过采用“一井一值”的精细化管理, 科学合理地确定土岩组合基坑的监测指标, 以此达到既安全施工, 又节约经济的工程建设管理目标。

## 1 工程概况

之江路工程(梅灵南路—水澄路)全长约6.3km, 沿线布设有1~7号共7个盾构工作井, 根据施工总

进度计划安排, 2号工作井及始发段先行施工。2号工作井及始发段深基坑长163m(桩号SK1+382~SK1+545), 基坑宽度22.4~25.5m, 开挖深度23.63~26.38m。基坑围护采用 $\Phi 1200@1000$ 钻孔咬合桩, 共设3道混凝土支撑(第1、2、4道)+1道钢支撑(第3道)。主线与匝道高低跨位置的坑中坑采用1:0.2放坡开挖。咬合桩有筋桩长度为地面至基底以下3.0m, 无筋桩长度为地面至中风化岩层1.0m(吊脚桩)。因盾构始发施工需要, 洞门范围内有筋桩用等截面玻璃纤维筋代替钢筋。基坑工程安全等级为一级, 重要性系数取1.1, 环境保护等级为一级。采用明挖顺作法施工。2号盾构工作井及始发段基坑总平面布置图见图1。

本文选取2号工作井及始发段SK1+485~SK1+545节段(长约60m)基坑作为分析研究对象, 对应的横断面为5-5与6-6剖面图, 其围护结构形式及相关参数见表1。

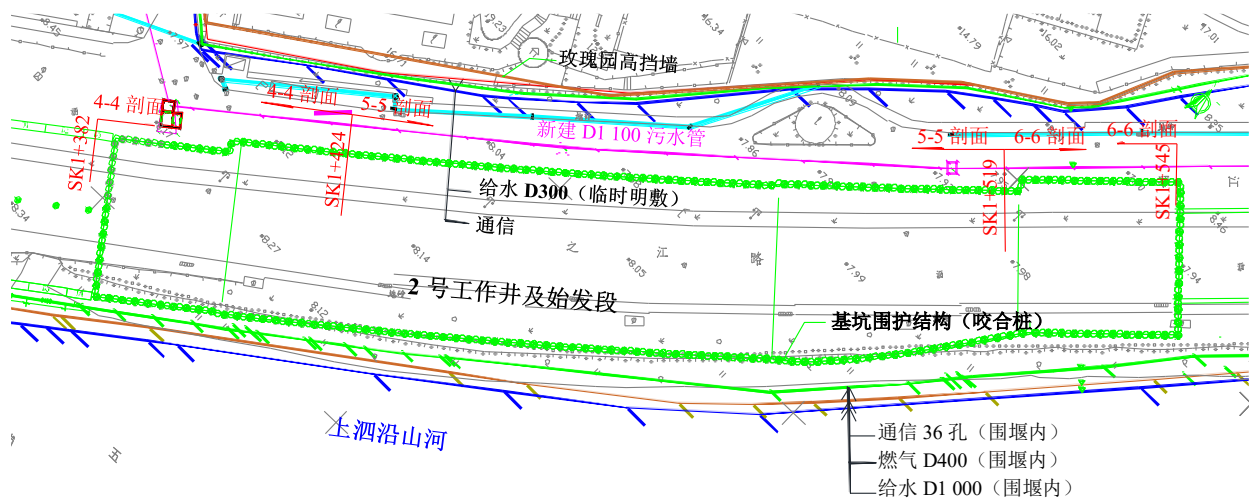


图1 2号工作井及始发段基坑总平面布置图

Fig.1 General layout of No.2 foundation pit

表1 2号工作井SK1+485~SK1+545节段基坑围护结构形式一览表

Table 1 List of retaining and protection structure for No.2 foundation pit retaining in segments SK1+485~SK1+545

剖面编号	桩号	主线挖深/m	匝道挖深/m	围护形式	支撑道数	冠梁、支撑梁截面尺/mm
5-5	SK1+485~SK1+519	24.66~25.05	17.68~19.61	$\Phi 1200@1000$ 钻孔咬合桩	3道混凝土支撑 +1道钢支撑	冠梁 1200×1000 混凝土连系梁 600×800 第1道混凝土支撑 800×1000
6-6	SK1+519~SK1+545	26.38	—			第2、4道混凝土支撑 1000×1000 第3道钢支撑 $\Phi 800 \times 16$

## 2 工程地质及水文地质条件

### (1) 工程地质

根据本工程的岩土工程勘察报告, 2号盾构井

及始发段基坑开挖施工主要涉及5个土(岩)层, 典型地质剖面图见图2和图3(地质柱状图)。其工程特征自上而下分述如下:

① 碎石填土: 杂色, 稍密为主, 主要由碎石、

碎砖、混凝土块等建筑垃圾及少量生活垃圾组成, 表部 30 cm 左右多为混凝土路面, 硬杂质粒径约 2~10 cm, 最大粒径 50 cm 以上, 含量占 55%~65%, 夹黏性土和砂土, 岩性成分较杂, 均一性差。层厚约 2.13~3.09 m。

②<sub>1</sub> 粉质黏土 (al-mQ<sub>4</sub><sup>3</sup>): 灰色, 松散-稍密, 湿-很湿, 含云母、氧化铁。层厚约 0.5~1.21 m。

④<sub>1</sub> 淤泥质粉质黏土: 灰色, 流塑, 含少量有机质。属高压缩性土。层厚约 0~4.20 m。

⑩<sub>a-1</sub> 全风化泥质粉砂岩: 紫红色, 粉砂质、泥质结构, 原岩结构基本破坏, 已风化成砂状、黏土状。层厚约 1.2~2.9 m。

⑩<sub>c-2</sub> 强风化凝灰质含砾砂岩: 紫红色, 碎屑结构, 矿物成分已大部分风化, 呈碎块状, 含有中风化状的砾石。层厚约 3.7~9.6 m。

⑩<sub>c-3</sub> 中风化凝灰质含砾砂岩: 紫红、青灰色, 碎屑结构, 岩芯呈短柱状、长柱状, 岩体较完整, 砾石粒径一般为 1~3 cm, 最大粒径大于 8 cm, 砾石母岩成份主要以砂岩、凝灰岩为主, 钙质胶结。RQD=25%~70%, 属软岩, 岩体基本质量等级为 V 类, 未发现空洞和软弱夹层。天然单轴抗压强度 4.4~21.3 MPa, 平均值 8.5 MPa, 标准值 7.9 MPa。层厚约 0~6.4 m。

⑩<sub>a-3</sub> 中风化泥质粉砂岩: 紫红色, 粉砂质、泥质结构, 部分矿物成分风化, 岩芯呈柱状、短柱状。

裂隙不甚发育, 锤击声稍清脆, 可击碎。岩芯采取率 80%~90%, RQD=60%~85%, 属软岩, 岩体较完整, 岩体基本质量等级为 V 级。天然单轴抗压强度 2.2~14.8 MPa, 平均值 5.9 MPa, 标准值 5.59 MPa。平均分布在基坑深度 16.4 m 以下。

(2) 水文地质

该基坑工程涉及主要地下水为第四系松散岩类孔隙潜水和基岩裂隙水两大类。第四系松散岩类孔隙潜水的含水层具有埋藏浅、水量小、变幅大的特点。动态变幅一般在 1.0~3.0 m 左右, 实测潜水位埋深为 1.40~5.80 m, 相应高程 1.81~7.41 m; 风化基岩裂隙水由于裂隙张开和密集程度、连通及充填情况都很不均匀, 具有各向异性, 导致降水井出水量存在不确定性。其地下水主要受大气降水入渗补给, 向山下或以泉方式排泄或侧向补给松散岩类孔隙水。泉水出露少, 泉流量小于 0.5 L/s, 水量贫乏。2 号井及始发段设计采用坑内积水明排, 坑外设置应急降水井兼观测井的排水方案。

综合以上资料可知, 2 号盾构井及始发段基坑工程为典型的土岩组合基坑, 基坑上部以碎石填土、软岩为主, 局部为较软岩; 基坑中下部以中风化凝灰质含砾砂岩、泥质粉砂岩为主, 岩体较完整, 未发现空洞和软弱夹层, 岩体质量基本等级为 V~IV 级。基坑工程地质整体较好, 水文地质条件较简单。

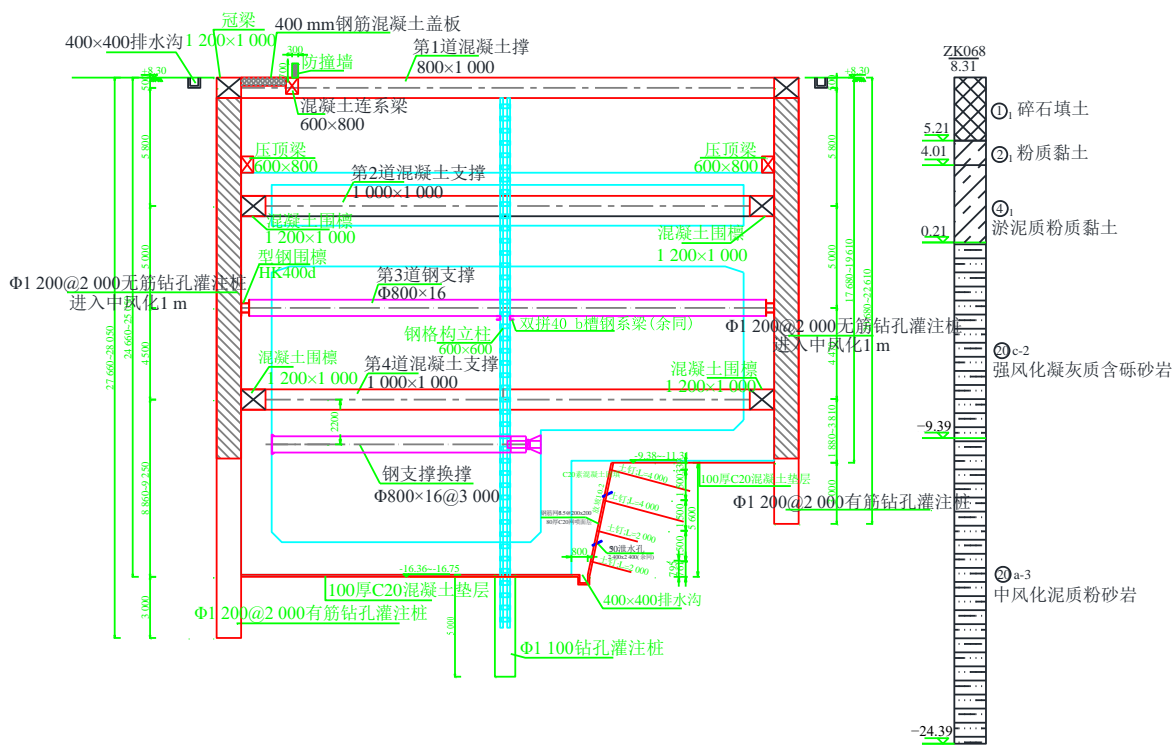


图 2 基坑 5-5 横剖面图  
Fig. 2 Cross section 5-5

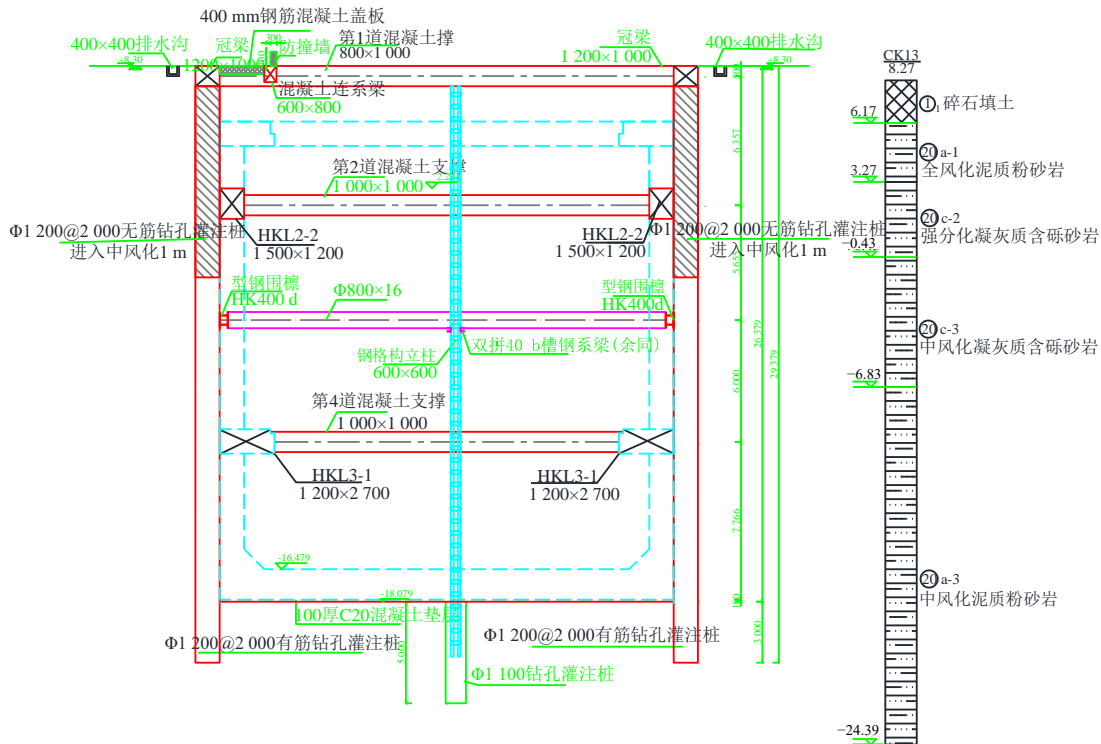


图3 基坑6-6横剖面图  
Fig. 3 Cross section 6-6

### 3 基坑施工与监测情况分析

2号盾构井及始发段深基坑 SK1+485~SK1+545 节段第1道混凝土支撑于2021年01月03日浇筑完成,2021年01月15日首次对第1道支撑轴力进行监测(见图4),连续3d采集完成初始值后开始第1层土方开挖施工。根据对第三方监测单位提供的2021年01月15日—6月19日连续监测的第1道混凝土支撑轴力数据统计分析,见表2与图5,可以初步判断混凝土支撑轴力变化基本规律,即随着基坑开挖深度的增加,支撑的监测轴力值有较大变化,表现为逐渐增大趋势。

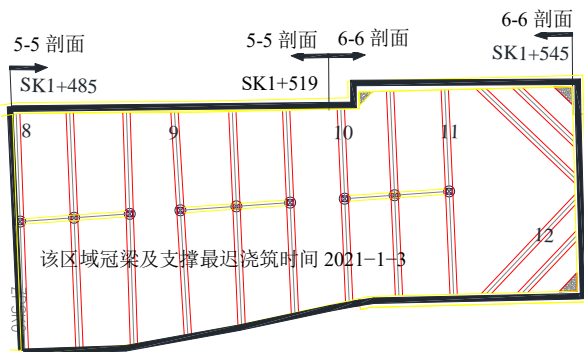


图4 基坑 SK1+485~SK1+545 段第1道混凝土支撑梁平面布置图

Fig. 4 Layout plan of the first concrete strut at SK1+485~SK1+545

注:8~12均为埋设有钢筋应力计的混凝土支撑编号。

基坑按审批通过的专项施工方案进行分段分层开挖。开挖至2021年04月06日,基坑 SK1+485~SK1+521 段(长36m)完成第3层土石方开挖,第4道混凝土围檩及支撑也已完成,平均挖深约16.8m;SK1+521~SK1+545 端头井段(长24m)第3层土方开挖也基本完成(但第4道混凝土支撑暂未架设),平均挖深约19.1m。基坑当日首次出现报警情况,具体警情如下:第1道混凝土支撑测点 ZCL10-1 轴力值达7125kN,首次累计超过黄色预警值(6650kN);第2道混凝土支撑测点 ZCL11-2 轴力值达9423kN,首次累计超过黄色预警值(8400kN)。参建各方迅速召开了基坑安全警情分析会,初步分析 ZCL10-1、ZCL11-2 两个预警点处混凝土支撑轴力偏大的主要原因是因为第3道钢支撑架设不规范(如未完全与钢围檩正交、偏心受力;轴力计与钢支撑端头的接触面钢垫板刚度不足,施加轴力后使得钢垫板和围檩变形严重,使轴力消散过快等),导致钢支撑轴力偏小,未有效分担基坑侧壁主动土压力。随后通过采取加密钢支撑、复加第3道钢支撑轴力、控制坑边附加荷载等一系列改正措施后,评估基坑安全处于总体稳定状况,可以恢复开挖施工。

再挖至4月15日,该段基坑局部已经开挖见底,但底板混凝土尚未浇筑。第2道混凝土支撑测点 ZCL8-2、ZCL9-2 实测轴力值分别达8422kN、

8 512 kN, 累计均超过黄色预警值 (8 400 kN); ZCL10-2、ZCL11-2 实测轴力值分别达 10 212 kN、10 425 kN, 累计均超过橙色报警值 (10 200 kN), 见表 3 与图 6。经现场检查各道混凝土支撑外观, 未发现有变形、裂缝等异常情况, 基坑围护结构变形、土体位移等其他监测指标也均属正常。参建各方再次召开基坑警情分析会, 经专家及与会工程技术人员共同研究讨论、综合分析, 以及设计重新复核并调

整混凝土支撑轴力控制值, 结论判定为基坑整体稳定, 安全可控。随后采取分段快速施作混凝土底板, 及时封底等主要施工技术措施。随即于 2021 年 4 月 26 日率先完成中间节段 (SK1+500~SK1+520) 的底板浇筑, 并于 5 月 9 日完成最后一块主体结构底板混凝土浇筑。底板混凝土浇筑全部完成后, 影响区域内围护结构及周边环境变形均趋于稳定, 未有异常安全情况发生。

表 2 SK1+485~SK1+545 节段第 1 道混凝土支撑轴力监测数据摘录 (2021-01-15—2021-06-19)

Table 2 Axial force of the first concrete bracing at SK1+485~SK1+545 segments

测点编号	位置	监测日期及支撑轴力/kN												
		01-15	02-04	03-06	03-16	03-26	04-06	04-15	04-26	05-16	05-26	06-05	06-12	06-19
ZCL8-1		—	4 885	5 239	5 788	6 122	5 784	4 923	4 699	4 265	4 612	4 015	4 263	4 439
ZCL9-1	第 1 道	2 621	2 974	3 321	3 069	3 914	4 512	4 326	5 121	5 514	5 922	5 211	5 177	5 369
ZCL10-1	混凝土支撑	459	2 897	3 589	4 021	5 894	7 125	7 452	8 402	8 641	8 711	8 617	8 523	8 695
ZCL11-1		3 938	3 314	3 694	4 125	5 023	5 685	6 112	6 641	6 485	6 132	6 352	6 457	6 214

注: (1) 仪器名称: 振弦读数仪 608 A; (2) 第 1 道混凝土支撑 ZCL8-1~ZCL11-1 预警值 6650kN (70%), 报警值 8075kN (85%), 控制值 9500kN; (3) 表格中黄色数字表示达到或超过“预警值”, 红色数字表示达到或超过“报警值”。

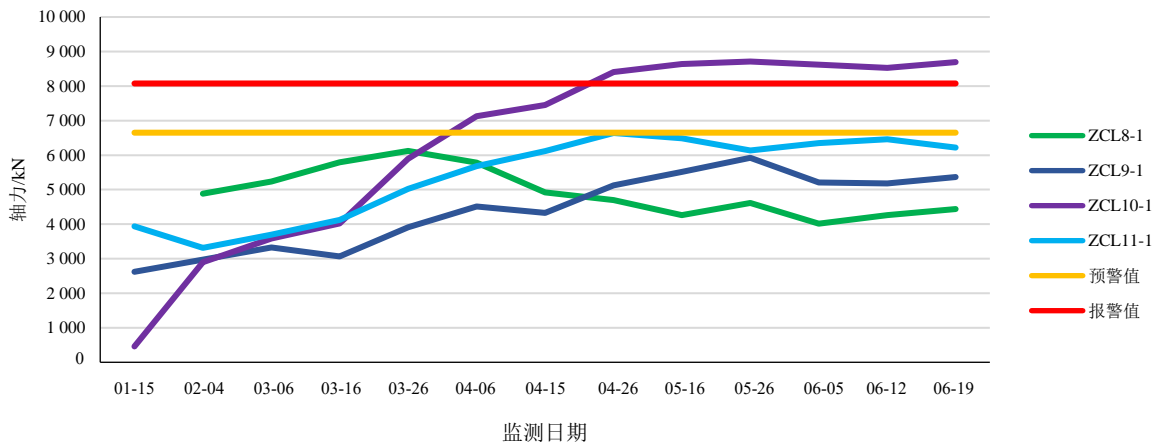


图 5 SK1+485~SK1+545 节段第 1 道混凝土支撑轴力监测数据折线图 (2021-01-15—2021-06-19)

Fig. 5 Axial force curve of the first concrete support at SK1+485~SK1+545 segments

表 3 SK1+485~SK1+545 节段第 2 道混凝土支撑轴力监测数据摘录 (2021-03-16—2021-06-05)

Table 3 Axial force of the second concrete bracing at SK1+485~SK1+545 segments

测点编号	位置	监测日期及支撑轴力/kN										
		03-16	03-26	04-06	04-13	04-15	04-26	05-06	05-10	05-16	05-26	06-05
ZCL8-2		2 956	3 364	5 798	6 458	8 422	10 558	10 512	10 255	10 298	10 523	—
ZCL9-2	第 2 道	684	2 847	6 894	7 322	8 512	10 263	10 201	10 302	10 714	10 362	10 284
ZCL10-2	混凝土支撑	1 122	4 851	7 784	8 122	10 212	11 587	11 812	11 544	11 212	10 788	10 699
ZCL11-2		1 587	5 614	9 423	9 685	10 425	11 874	11 421	10 978	10 986	11 021	11 255

注: (1) 仪器名称: 振弦读数仪 608 A; (2) 第 2 道混凝土支撑 ZCL8-2~ZCL11-2 预警值 8 400 kN (70%), 报警值 10 200 kN (85%), 控制值 12 000 kN; (3) 表格中黄色数字表示达到或超过“预警值”, 红色数字表示达到或超过“报警值”。



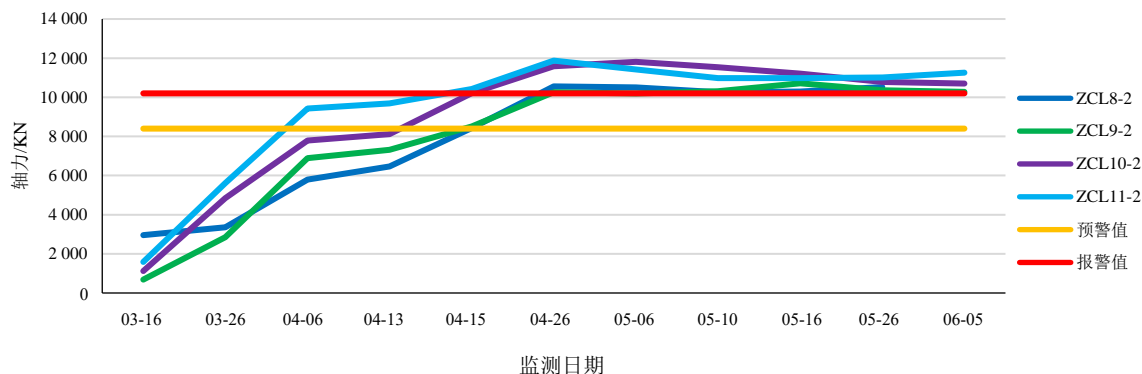


图6 SK1+485~SK1+545节段第2道混凝土支撑轴力监测数据折线图(2021-03-16—2021-06-05)

Fig. 6 Axial force curve of the second concrete bracing at SK+485~SK1+545 segments

经对该基坑工程第1、2、4道混凝土支撑轴力5个多月的连续跟踪监测,并对监测获取数据进行整理统计分析,见表2~4及折线图5~7,初步得出如下结论:

(1) 基坑第1道混凝土支撑ZCL10-1测点位于两个开挖段的分界线平面位置(里程桩号为SK1+520)、第2道混凝土支撑ZCL11-2测点处于盾构工作井平面中间位置(见图4),在第1、2层土方开挖过程中,第1、2道支撑轴力值均处于正常变动范围。4月6日基坑第3层被动土已挖完,平均挖深16.8~19.1m,第1、2道混凝土支撑实测轴力值首次分别超过6650kN、8400kN的黄色预警值(70%控制值)。分析主要原因是随着开挖深度增加,基坑外侧壁主动土压力随之增大,而第3道钢支撑未及时有效分担土压力,坑侧壁主动土压力全部由第1、2道混凝土支撑承担。因此基坑工程施工应充分合理利用地层土体的时空效应规律,开挖到位后快速跟进下一道支撑架设是十分重要的,正所谓“快挖快撑”。

(2) 基坑第2道混凝土支撑最大轴力峰值出现在4月26日的ZCL11-2测点,最大值为11874kN;第4道混凝土支撑最大轴力峰值也同日出现在ZCL10-4测点,最大值为10321kN(因第3道为钢支撑,施加轴力一般不大于4000kN,故本文不再详细讨论)。支撑最大轴力均发生在基坑开挖已经见底(被动土全部挖完),但尚未完成底板混凝土浇筑及混凝土强度未形成之前的时间段,混凝土支撑轴力基本超过设计提供的报警值。

(3) 本基坑属于上土下岩的“上软下硬”土岩组合基坑,同期同平面投影位置的第2道支撑与第4道混凝土支撑轴力比较,总体上表现为“上大下小”,如ZCL9-2与ZCL9-4、ZCL11-2与ZCL11-4监测点

之间均有明显体现,基坑支撑轴力大小与地层土岩性质有密切的相关性。该基坑上部地层以碎石填土、粉质黏土或淤泥质粉质黏土为主,土层塑性大,自稳能力差,产生的主动土压力也大;而基坑下部地层主要以强、中风化凝灰质含砾砂岩、中风化泥质粉砂岩为主,强度高、岩体内摩擦角大,整体性好,岩层的主动土压力也小。分析认为下部支撑结构设计参数有一定的优化调整空间。

(4) 实测混凝土支撑轴力值虽已大大超过报警值,但基坑围护结构并未出现裂缝、变形等不安全或不稳定等异常迹象,一直到支撑拆除,基坑始终处于安全稳定状态。究其原因,实际上是支撑最大轴力尚未达到支撑自身的轴向极限承载力,即支撑结构体系强度、刚度及稳定性未遭到外力破坏或失效。依据现行的相关设计施工规范估算,第1道800mm×1000mm C35钢筋混凝土支撑的正截面轴向承载力约为14320kN;第2、4道1000mm×1000mm C35钢筋混凝土支撑的正截面轴向承载力约为16650kN;而本基坑混凝土支撑轴力出现的最大值(4月26日第2道混凝土支撑ZCL11-2测点11874kN)约为支撑正常使用极限承载力的71%左右,现浇混凝土支撑轴向承载力仍留有较多的安全储备。

(5) 基坑混凝土支撑轴力持续时间较长。主体结构施作完成,伴随着主体结构混凝土强度提高,逐步分担支撑部分压应力,基坑内力体系也由围护结构过渡到主体结构承担,直至支撑全部拆除后完全替代。基坑形变(内力)需要较长一段时间重新达到平衡稳定。

(6) 基坑混凝土支撑轴力的初始值宜在支撑浇筑完成28d后测取。由于实际基坑开挖施工都是以混凝土支撑是否达到设计规定强度作为主要的

前置控制条件, 如 2 号盾构井及始发段基坑按照设计要求, 冠梁及第 1 道混凝土支撑达到设计强度的 85% 后可开挖施工。经同条件试验测试, 2 号工作井基坑混凝土支撑达到 85% 设计强度约为 12 d (受混凝土配合比、施工环境、工后养护等因素影响), 支撑混凝土的硬化收缩还未完全稳定。但受工程工期

限制, 难以等到 28 d 后支撑混凝土基本收缩变形稳定后才开挖。而基坑支撑轴力初始值必须在开挖前采集完成, 因而初始值一般也是在 28 d 之前完成采集的。这样就无法有效剔除因混凝土的硬化收缩而使钢筋应力计产生的附加压应力。按此监测得到的数值, 结果势必比实际值偏大, 反映不出真实结果。

表 4 SK1+485~SK1+545 节段第 4 道混凝土支撑轴力监测数据摘录 (2021-04-08—2021-05-30)

Table 4 Axial force of the fourth concrete bracing at SK1+485~SK1+545 segments

测点编号	位置	监测日期及支撑轴力/kN								备注	
		04-08	04-15	04-26	05-06	05-10	05-16	05-26	05-27		05-30
ZCL8-4	第 4 道 混凝土支撑	—	1 785	8 745	9 325	9 261	9 202	8 756	8 714	—	6 月 1 日后因主体结构侧墙施工, 监测频率降为 1 次/3d, 后续支撑轴力均小于预警值。
ZCL9-4		—	2 814	8 562	8 874	9 145	9 356	9 045	9 214	9 254	
ZCL10-4		3 895	7 789	10 321	10 123	10 025	9 865	9 566	9 856	9 814	
ZCL11-4		—	—	3 325	6 955	7 368	8 789	8 824	8 655	8 603	

注: (1) 仪器名称: 振弦读数仪 608 A; (2) 第 4 道混凝土支撑 ZCL8-2~ZCL11-2 设计预警值 9 600 kN (80%), 报警值 10 800 kN (90%), 控制值 12 000 kN; (3) 表格中黄色数字表示达到或超过“预警值”。

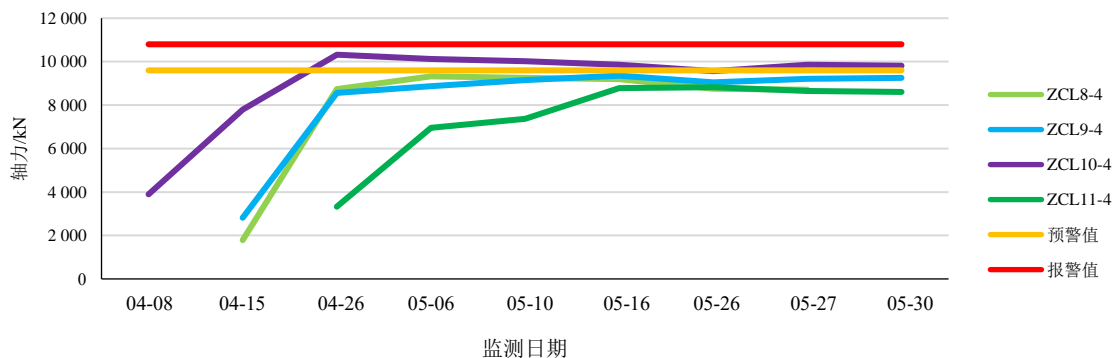


图 7 SK1+485~SK1+545 节段第 4 道混凝土支撑轴力监测数据折线图 (2021-04-08—2021-05-30)

Fig. 7 Axial force curve of the fourth concrete support at SK1+485~SK1+545 segments

## 4 目前基坑监测普遍存在的问题

目前基坑混凝土支撑轴力监测中, 大多采用埋设振弦式钢筋应力计, 通过手持式数显频率仪现场测试传感器频率, 再换算成支撑轴力。由于受仪器制造精度、安装工艺水平、自然温差等客观敏感因素影响, 钢筋应力计测得的数据未必是真实的支撑轴力值。

(1) 对于埋设钢筋应力计的混凝土支撑轴力初始值的测取方法, 《建筑基坑工程监测技术标准》(GB 50497—2019) 第 6.7.5 条规定: “内力监测宜取土方开挖前连续 3 d 获得的稳定测试数据的平均值作为初始值”。《标准》虽有规定, 但在实际监测操作上尚不统一, 还是存在一些理解偏差或争议。该标准只规定“土方开挖前连续 3 d 获得的稳定测试数据”的单一初始值测取前置条件, 笔者认

为不够全面明确, 没有涉及支撑混凝土的具体强度控制要求。因为应力计测得的初始值大小与混凝土支撑的浇筑完成时长有着密切关系。支撑混凝土在前期硬化收缩变形过程中, 产生的压应力逐渐增大, 混凝土固化稳定前测取获得的支撑轴力, 一般都偏大, 故初始值测取时间的选择非常重要。

(2) 一般设计提供的支撑轴力控制值或报警值存在“模板化、格式化、通用化”, 未能真正做到“一井一值”。笔者认为对于支撑轴力控制值的确定, 需要在安全和经济之间找到一个平衡。预(报)警值控制太严, 会给施工带来不便, 施工技术要加强, 经济投入也会增加; 反之如预(报)警值控制太宽, 安全系数降低, 风险等级也随之升高, 会对基坑支护结构和周边环境安全带来威胁。

(3) 在实际施工监测操作中, 施工监测或第三方监测方往往出于“为了安全、数据宁可偏大, 不

可偏小”的观念,提供的轴力监测报告数据基本没有扣除初始值。故随着基坑开挖深度不断增加,支撑轴力值短时间很快接近或超过设计报(预)警值,极易产生“假报警”或误报。虽然是“假报警”,但参建主体各方又不得不及时组织召开基坑警情分析会,查找原因并采取有效措施,控制支撑轴力变化速率及累计控制值。如此,不但牵涉项目主要技术、管理人员的大量精力,也增加了人力、物力的投入。既不科学,也不经济。

## 5 结论和建议

深基坑工程属于地下工程,基坑处于力学性质相当复杂的地层中,且常位于周边环境复杂的市区内,周边地上及地下建(构)筑物保护要求高,存在较大的不确定性。加之工程设计参数选择假定、估算简化的自身缺点,以及地下工程施工过程中存在着诸多偶然因素的影响,使得对基坑支护结构监测所获得的数据和设计预算的数值存在很大的差异。笔者结合之江路工程2号盾构井及始发段基坑施工监测的具体情况,提出混凝土支撑轴力设计与施工监测的优化建议。

(1)对于土岩组合或岩体基坑,因其地质条件和岩(土)层稳定性均较良好,设计在确定混凝土支撑轴力控制值时,应根据基坑实际工况,科学合理确定支撑轴力控制值和预(报)警值。建议参考混凝土支撑标养试块检测值或现场回弹强度值,重新复核并调整混凝土支撑轴力控制值。如2号盾构井及始发段基坑混凝土支撑原设计强度为C35,经现场多次回弹检测试验,实际强度达到C40以上。经设计复核验算后,将第2道1000mm×1000mm混凝土支撑轴力控制值由原来12000kN调整至13700kN,预警值由原来的70%提高到80%,报警值由85%提高到90%后,预(报)警频率明显降低。更好地解决混凝土支撑内力监测中较为普遍出现的结果异常的问题,同时也大大缩短了基坑开挖施工工期。

(2)对于开挖面积较大或长条形基坑,建议保留一小段基坑(1~3道支撑间距)暂不开挖,作为该基坑混凝土支撑轴力试验段,待该段支撑混凝土达到28d后再综合测取平均轴力值,作为其他邻近混凝土支撑的参考初始值。

(3)在实际的监测工作中,不能简单根据单根混凝土支撑轴力平均累计值是否达到或超过设计提供的报警值作为报警依据。在关注平均轴力累计值的同时,需要结合施工工况关注其变化趋势,并

应结合围护结构自身变形位移、基坑周边土体位移等其他监测数据,对支撑轴力的变化进行综合分析判断,才可得出可靠结论。建议由设计单位根据基坑工程现场实际工况进行复核验算,提出综合安全评估指标,经工程五方主体、施工监测及第三方监测单位共同研究后确定,达到既保证基坑安全,又经济施工的效果。

(4)建议将《建筑基坑工程监测技术标准》(GB 50497—2019)第6.7.5条修改为:“内力监测宜取土方开挖前连续3d获得的稳定测试数据的平均值作为初始值。若采用现浇混凝土支撑,其混凝土强度宜满足设计规定强度值后方可开始测取”。

(5)由于目前国内仍缺乏可直接测量混凝土支撑轴力的有效实用仪器,以及更先进、更接近于实际的理论计算方法,因此,对混凝土支撑轴力变化与基坑变形关系,以及可能引发基坑安全风险等级变化的规律,还有待进一步的研究和探讨。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑基坑工程监测技术标准: GB 50497—2019[S]. 北京: 中国计划出版社, 2020.  
Ministry of housing and urban rural development of the People's Republic of China. Technical Standard for Monitoring of Building Excavation Engineering: GB 50497—2019[S]. Beijing: China Planning Publishing House, 2020.
- [2] 谢长岭, 周晔, 刘干斌. 基坑混凝土支撑轴力监测初始频率的选取[J]. 浙江建设, 2013, 8(8): 34-36.  
XIE Chang-ling, ZHOU Ye, LIU Gan-bin. Initial frequency selection of axial force monitoring for reinforced concrete brace in foundation pit[J]. Zhejiang Construction, 2013, 8(8): 34-36.
- [3] 吴增伟. 关于混凝土支撑轴力计算方法的一点看法[C]//广东省土木建筑学会地基基础专业委员会2008学术交流论文集. 广州, 2010: 99-102.  
WU Zeng-wei. Several ideas of calculation method for the axial force of concrete supports[C]//Guangdong Civil Architecture Society Foundation Professional Committee 2008 Academic Exchange proceedings. Guangzhou, 2010: 99-102.
- [4] 李文峰. 对地铁基坑混凝土支撑轴力监测精准性的探讨[J]. 隧道建设, 2009, 29(4): 424-426.



