

可回收式预应力浆囊袋锚杆在软土地基基坑工程中的应用

蔡信国¹, 虞革新²

(1. 浙江博时市政园林建设有限公司, 浙江 杭州 311215; 2. 杭州江南绿城乐居建设管理有限公司, 浙江 杭州 310000)

摘要: 本文介绍了可回收式预应力浆囊袋注浆锚杆在某软土地基基坑工程中的应用情况, 内容主要包括工程概况与环境条件、工程地质条件、围护方案选择、拉锚式围护结构施工方法、围护结构计算分析、过程监测及监测结果等。该基坑工程施工过程安全, 表明该类锚杆在类似条件下具有较好的适用性, 可供同类工程的设计和施工借鉴。

关键词: 可回收; 浆囊袋注浆; 预应力锚杆; 基坑

中图分类号: TU74

文献标识码: A

文章编号: 2096 - 7195(2019)03 - 0078 - 06

作者简介: 蔡信国 (1970 -), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事工程管理工作。E-mail: 511159064@qq.com。

Application of recyclable pre-stressed bag grouting anchor in foundation pit of soft ground

CAI Xin-guo¹, YU Ge-xin²

(1. Zhejiang Boshi Municipal Garden Construction Co., Ltd., Hangzhou 311215, China;

2. Hangzhou Jiangnan Greentown Leju Construction & Management Co., Ltd., Hangzhou 310000, China)

Abstract: This paper introduces the application of recyclable pre-stressed bag grouting anchor in a foundation pit project of soft ground. The paper has highlighted on the environmental conditions, engineering geological conditions, selection of retaining scheme, construction method of retaining structure with the pull anchor, calculation and analysis of retaining structure, process monitoring and the monitoring results. The construction process of the foundation pit is safe, which has demonstrated that using recyclable pre-stressed bag grouting anchor in foundation pit of soft ground can provide good application in the design and construction of similar engineering projects.

Key words: recyclable; bag grouting; pre-stressed anchor; foundation pit

0 引言

伴随我国城市化程度的不断提高, 各类城市对于地下停车库、地下商业空间等的需求迅速增加, 基坑工程的平面尺寸和开挖深度日趋扩大。对于大尺寸的基坑工程, 传统的内支撑支护型式有建设成本高、建设工期长的显著不足, 而预应力锚杆是一种相对合理的替代型式, 可大大降低基坑支护成本, 缩短施工工期。但普通预应力锚杆因其锚固体直径较小, 在软土层中抗拔承载力较低, 其应用有一定局限性。

同时, 随着城市建设用地日趋紧张, 土地成本上涨, 地下建筑需充分利用土地, 导致基坑周边与用地红线距离较近, 锚杆超红线施工后形成地下障碍物的问题亦越来越被重视。传统的预应力锚杆技

术主筋不可回收, 带来了长期的地下障碍和环境污染问题, 严重影响了场地的二次开发利用, 给后续工程建设留下了隐患, 后期处理难度大且费用高。在我国深圳、厦门和郑州等地的地铁建设中为处理地基中废弃的锚杆问题都付出了巨大的经济 and 工期代价。

本文介绍的可回收式预应力浆囊袋注浆锚杆对普通锚杆进行了改进, 实现了锚杆筋材的回收, 并通过在杭州城西某软土地基某深基坑工程中的应用证明了其具有较好的适用性和经济性。

1 工程概况与环境条件

该地块总工程用地面积为 45040 m², 总建筑面积为 155027 m², 由 6 幢 3~4 层排屋和 9 幢 17~20 层住宅组成。设有一~二层连通的地下室, 地下室建筑面积为 51435 m²。

该工程 ±0.000 相当于绝对标高 5.700 m, 场地内自然地坪绝对标高为 4.000 m, 即相对标高为 -1.700 m (下文中标高除注明外均为相对标高), 但基坑南侧已建道路标高比场内高出 1.1~2.0 m, 在设计中另行考虑其超载影响。

该工程设有一~二层地下室: 地下一层的楼板面标高为 -4.900 m, 底板底标高为 -5.500 m, 主楼承台底标高为 -6.200 m; 地下二层底板面标高为 -8.800 m, 底板底标高为 -9.500 m, 主楼承台底标高为 -10.600 m; 周边地梁均上翻。

综合考虑承台、地梁等的间距和密度, 结构标高局部变化和电梯井坑中坑分布情况等, 取设计基坑基底标高分别为 -5.000~-11.700 m, 故设计基坑开挖深度为 3.30~10.00 m, 基坑设计等级为一级。

该场地东侧紧邻用地红线, 用地红线以东为待建绿化带。南侧与用地红线最小距离为 1.6 m, 用地红线以南为已建市政道路, 道路标高比场内超高 1.1~2.0 m, 市政道路下有各类市政管线, 管线与基坑边距离分别为 13.6~41.6 m。基坑西北侧与用地红线最小距离为 0.4 m, 用地红线以西为后建的规划道路; 西南侧紧邻用地红线, 用地红线以西为已建绿化带, 绿化带以西为现状河道 (常水位为绝对标高 1.350 m, 水深约 2.0 m), 河道与基坑边最小距离为 22.7 m。基坑北侧与用地红线最小距离为 6.6 m, 用地红线以北为已建市政道路, 路面标高比场内超高 0.5 m, 道路下有各类市政管线, 与基坑边最小距离分别为 8.0~26.2 m。基坑周边的环境条件如图 1 所示。

2 工程地质条件

根据勘察单位提供的该项目岩土工程勘察报告, 勘察深度范围内的场地地层按性质、特征可分为 7 个工程地质层、15 个亚层。基坑开挖深度影响范围内各土层主要物理力学性质指标见表 1 所示, 括号内为设计计算所采用的值。

3 围护方案选择

综合场地地理位置、土质条件、基坑开挖深度

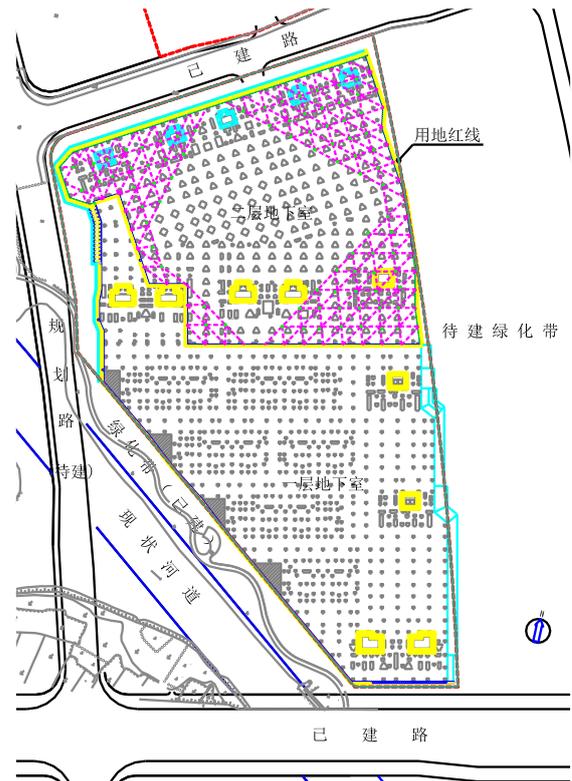


图 1 基坑周边环境示意图

Figure 1 Schematic diagram of surrounding environment of foundation pit

和周围环境条件, 该基坑工程特点如下:

- (1) 基坑开挖深度变化较大: 基坑开挖深度在 3.3~10.0 m 之间;
- (2) 基坑平面尺寸大: 基坑南北长度约 330 m, 东西向宽度约为 165 m, 周长 900 m;
- (3) 地基土质较差, 处于比较典型的软粘土地基。基坑底基本处于淤泥层中, 该土层物理力学指标较差, 但渗透性较小, 对坑底抗管涌比较有利;
- (4) 场地地基土层厚度变化较大, 尤其是对本基坑影响最大的淤泥质粉质粘土层厚度变化较大;
- (5) 基坑周边环境条件相对较好, 主要保护对象是南、北二侧的已建市政道路及地下管线;
- (6) 基坑施工工期要求高, 需在保证安全的前提下尽快完成地下室施工以满足开发进度计划要求。

由于该工程基坑开挖深度变化大, 土层厚度变化大, 四周环境条件各不相同, 采用任意一种单一的支护型式显然都无法满足要求, 因此必须充分考虑不同区域对支护结构的不同需求, 灵活采用不同的支护型式及各类组合型式。

表1 各土层物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of each soil layer

| 层号 | 土层名称 | w/% | γ (kN/m ³) | e | 地基承载力特征值 /kPa | 水平渗透系数 ($\times 10^{-6}$ cm/s) | 固结快剪 | |
|----------------|-------|------|----------------------------------|-------|------------------|------------------------------------|--------------|-------|
| | | | | | | | φ /° | c/kPa |
| ① ₁ | 填土 | | | | | | 15 | 10 |
| ① ₂ | 耕植土 | | | | | | 12 | 8 |
| ② | 粉质粘土 | 30.5 | 18.9 | 0.874 | 100 | 64.1 | 16.9 | 26.3 |
| ③ | 淤泥质粘土 | 46.0 | 17.4 | 1.316 | 70 | 0.3 | 7.8 | 8.2 |
| ④ | 粉质粘土 | 28.9 | 19.2 | 0.828 | 170 | 0.6 | 15.4 | 32.7 |
| ⑤ ₁ | 淤泥质粘土 | 38.6 | 18.0 | 1.102 | 90 | | 13.1 | 27.3 |
| ⑤ ₂ | 粉质粘土 | 30.2 | 19.1 | 0.859 | 150 | | 12.1 | 26.3 |

放坡开挖是最为经济的围护形式，在条件许可的情况下应优先考虑选用。但在软土地基中边坡位移较大，稳定性较差，尤其雨季时在渗流力作用下易产生整体失稳。因此该工程中只能在环境条件较好、开挖深度较浅的区域采用。

水泥土重力式挡墙具有施工速度较快、土方开挖方便等优点。但在软土中应用时围护结构位移偏大，对周边环境影响较大，容易引起基坑周边地表开裂。由于围护结构的宽度较大（一般为开挖深度的0.6~0.8倍），需占用一定场地，同时围护结构造价并不低。该工程有部分电梯井坑中坑位于淤泥质土层中，适宜采用水泥土重力式挡墙支护。

双排桩门架式围护结构通过前后排钻孔灌注桩、压顶梁和联系梁形成一个刚度相对较大的门架，从而提高围护结构整体的抗变形能力。由于不设置内支撑，因此具有施工速度快，施工方便等优点。但由于其本质仍属于悬臂式围护结构，因此在软土地基中变形仍然偏大。根据该基坑地质条件，在开挖深度和软土厚度较小，围护桩底可进入性质较好土层得到有效嵌固的区域可以采用门架式围护结构。

支锚式排桩墙围护结构虽然工程造价略高一些，但其通过支撑或锚杆对围护结构提供支点，具有围护结构受力合理、可靠性好、变形易控制、对周围环境影响小等优点，同时占用的场地较小。其中内撑式围护结构的支撑刚度大，对变形控制比较有利，但围护造价相对较高且施工周期相对较长；拉锚式围护结构通过预应力锚杆来为围护桩提供支点，也具有受力合理、变形易控制、对环境影响小、经济性好等优点，同时可在基坑中形成较大的挖土空间，大大方便挖土施工，加快施工进度。

本基坑平面尺寸大，且开挖深度变化较大，如

一层地下室区域采用一道内撑式围护结构，二层地下室采用二道内撑式围护结构，对工程造价和工期均影响较大，因此适宜采用拉锚式围护结构。但在软土地基中，由于软粘土自身强度较低，常规锚杆施工时注浆可控性差，锚杆抗拔力小，施工质量难以保证。为改进上述不足，该项目锚杆采用浆囊袋式土层预应力锚杆。

综合上述分析，根据“安全、经济、方便施工”的原则，该项目采用多种围护结构型式相结合：一层地下室区域根据场地和地质条件部分采用放坡开挖和双排桩门架式围护结构，其余采用拉锚式围护结构。二层地下室区域采用一道浆囊袋式土层预应力锚杆与一道钢筋混凝土内支撑组合的围护结构型式。

5 拉锚式围护结构施工方法

该工程中应用的浆囊袋注浆锚杆采用加浆囊袋及扩孔注浆施工工艺对常规锚杆的施工方法进行改进。由于采用加浆囊袋工艺，实现了注浆的可控性，从而保证了锚杆的质量。通过扩孔注浆增大了锚杆锚固段的直径，一般直径可在25cm以上，提高了锚杆的抗拔力。浆囊袋注浆锚杆具有施工工艺简便、锚杆抗拔力大、施工质量易控制、经济性好等优点，特别适合于在软土地基中的基坑工程使用。

普通的注浆工艺对地基中浆液的扩散很难有效控制，而采用浆囊袋后，水泥浆注入浆囊袋内，浆液的扩散受浆囊袋制约，从而保证浆液在可控范围（浆囊袋）内扩散。由于软土强度低，浆囊袋可以在土体中以预定的形状进行扩大，通常可以做成圆柱状锚杆体或数个间隔一定间距的圆柱状锚杆体，其直径可以扩大至成孔直径的一倍以上。同时

锚杆直径有保证（即为浆囊袋直径），锚杆抗拔力可以达到常规锚杆的2倍以上。另外由于注入浆体均位于浆囊袋中，通过控制注浆体的用量即可比较准确地判断锚杆的直径是否达到要求，因此施工质量比较容易控制。图2为某基坑工程施工现场开挖出的浆囊袋锚杆照片。



图2 浆囊袋锚杆整体形状

Figure 2 The shape of the bag grouting anchor

该工程基坑周边与用地红线距离较近，锚杆打设范围需超出用地红线，因此采用可回收式预应力浆囊袋注浆锚杆，在基坑土方回填后可将锚杆主筋回收，不会对周围环境形成地下障碍。

本基坑拉锚式围护结构具体施工方法如下：

(1) 一层地下室区域

排桩墙采用 $\Phi 600$ 钻孔灌注桩，中心距分别为 $800\sim 1000\text{ mm}$ ，混凝土强度等级 C25。设置一道可回收式预应力浆囊袋注浆锚杆，锚杆长度为 $12\sim 20\text{ m}$ ，水平中心距分别为 $800\sim 1000\text{ mm}$ ，锚头高度约为地表下 1.5 m ，锚杆倾角 15° 。一层地下室区域拉锚式围护结构典型剖面详见图3。

(2) 二层地下室区域

排桩墙采用 $\Phi 700\sim \Phi 800$ 钻孔灌注桩，中心距为 1000 mm ，混凝土强度等级 C25，设置一道可回收式预应力浆囊袋注浆锚杆和一道钢筋混凝土内支撑。锚杆长度为 $18\sim 20\text{ m}$ ，水平中心距为 1000 mm ，锚头高度约为地表下 1.3 m ，锚杆倾角

15° 。内支撑平面采用四个角撑的平面布置形式，该形式的支撑杆件受力合理，同时在基坑中部形成较大的挖土空间，大型机械可直接进入坑内挖土并设置挖土的临时通道，可加快挖土和出土速度。同时四个角撑之间相互关联较小，业主可根据开发进度要求，合理安排土方开挖和支撑凿除的顺序，以尽快实现销售目标。二层地下室区域围护结构典型剖面详见图4。

6 围护结构计算分析

在一层地下室区域的拉锚式排桩墙围护结构设计计算中，结合基坑开挖施工步骤，考虑下述三种工况：

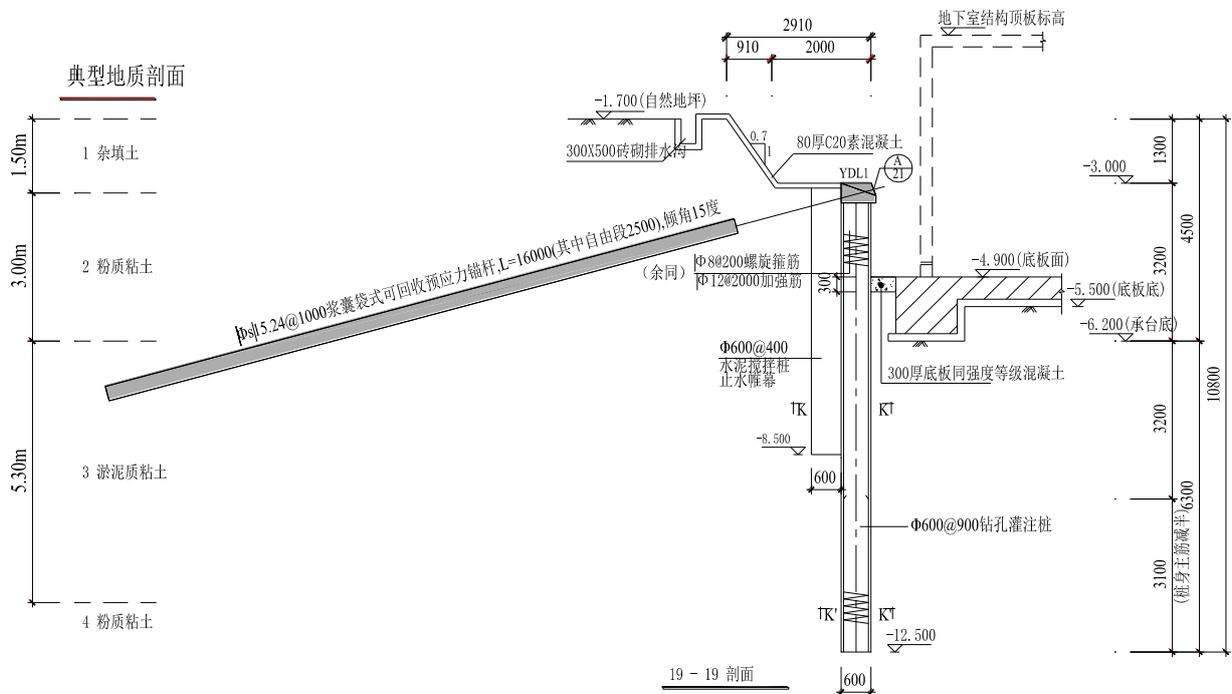


图3 一层地下室区域围护结构典型剖面图

Figure 3 Typical section of retaining structure of 1st story basement

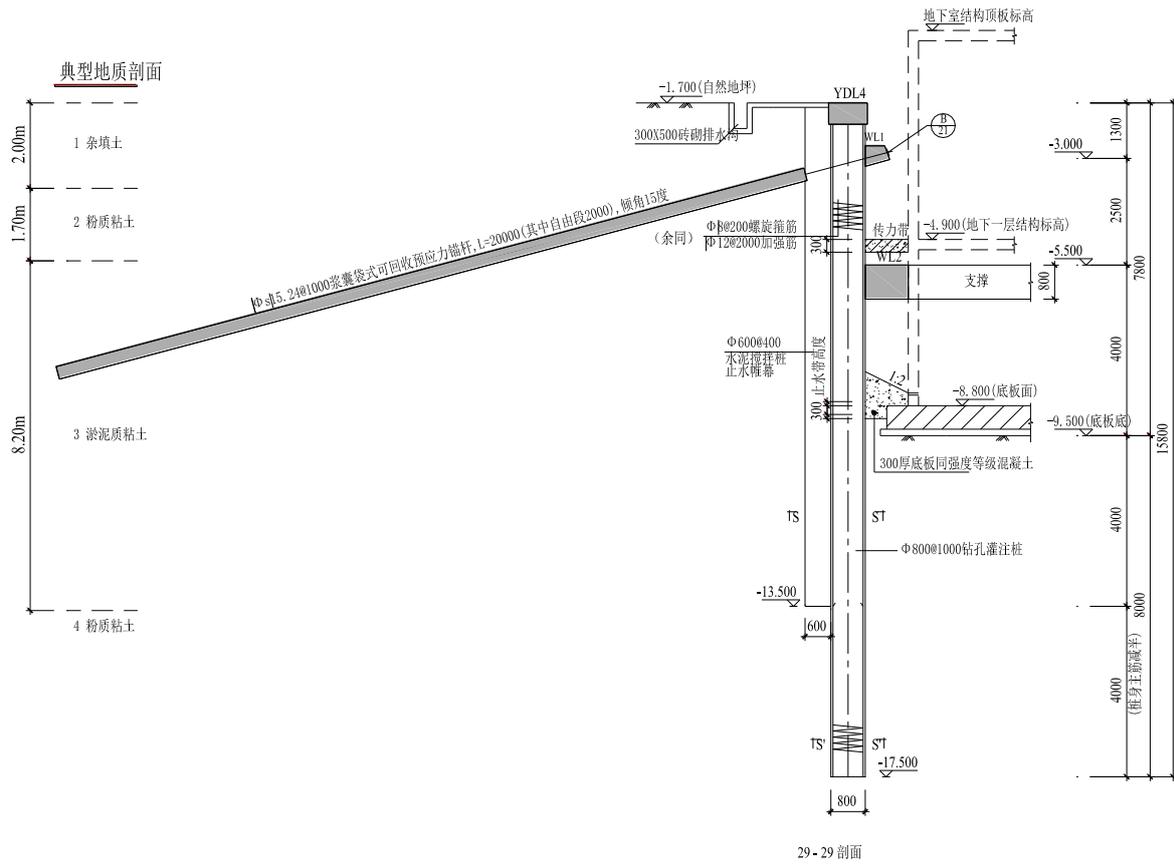


图4 二层地下室区域围护结构典型剖面图

Figure 4 Typical section of retaining structure of 2nd story basement

工况一：土方开挖至锚杆孔口标高，施工预应力锚杆；

工况二：土方开挖至基坑底，施工地下室承台、底板，并设置底板传力带；

工况三：地下室土方回填至锚头标高后，拆除并回收锚杆主筋。

各工况下典型剖面围护结构与变形包络图见图5。

在二层地下室区域的拉锚式排桩墙围护结构设计计算中，结合基坑开挖施工步骤，考虑下述五种工况：

工况一：土方开挖至锚杆孔口标高，施工预应力锚杆；

工况二：土方开挖至支撑底标高，施工围圈和支撑；

工况三：土方开挖至基坑底，施工地下室承台、底板，并设置底板传力带；

工况四：拆除支撑，施工地下一层楼板，并设置传力带；

工况五：地下室土方回填至锚头标高后，拆除并回收锚杆主筋。

各工况下典型剖面围护结构与变形包络图见图6。

7 过程监测

基坑围护体系随着开挖深度增加必然会产生侧向变位，关键是侧向变位的发展趋势如何。一般围护体系的破坏都是有预兆的，因此进行严密的基坑开挖监测非常重要。通过监测及时了解围护结构体系的受力状况，对设计参数进行反分析，以调整施工参数，指导下一步施工，如遇异情则可及时采取措施。

该基坑监测内容如下：

(1) 基坑开挖过程中周边深层土体的水平位移监测：共布置26孔，预警值为35 mm，位移发展速率不得连续三天超过3 mm/d。

(2) 钢筋混凝土支撑内力监测：预警值为6500 kN。

(3) 可回收式预应力浆囊袋注浆锚杆轴力监测：预警值为120 kN。

(4) 基坑周边道路及地下管线沉降观测。

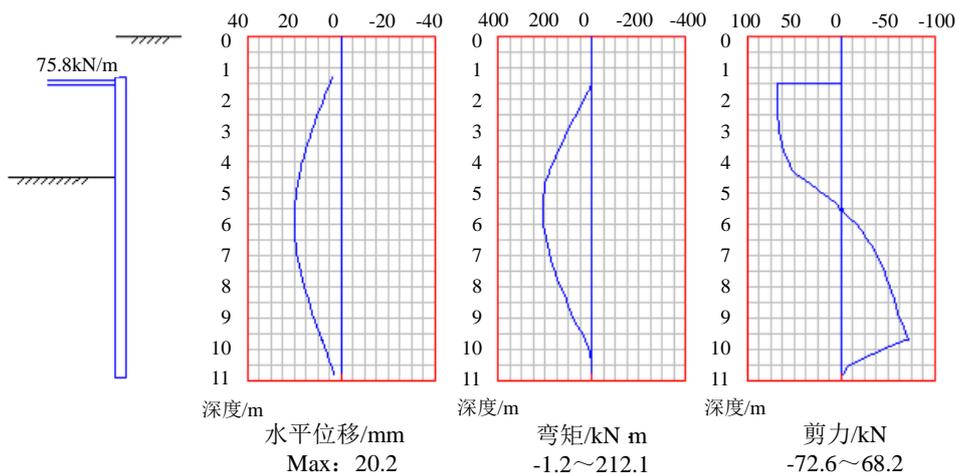


图5 一层地下室围护结构内力与变形包络图

Figure 5 Internal force and deformation envelope diagram of retaining structure of 1st story basement

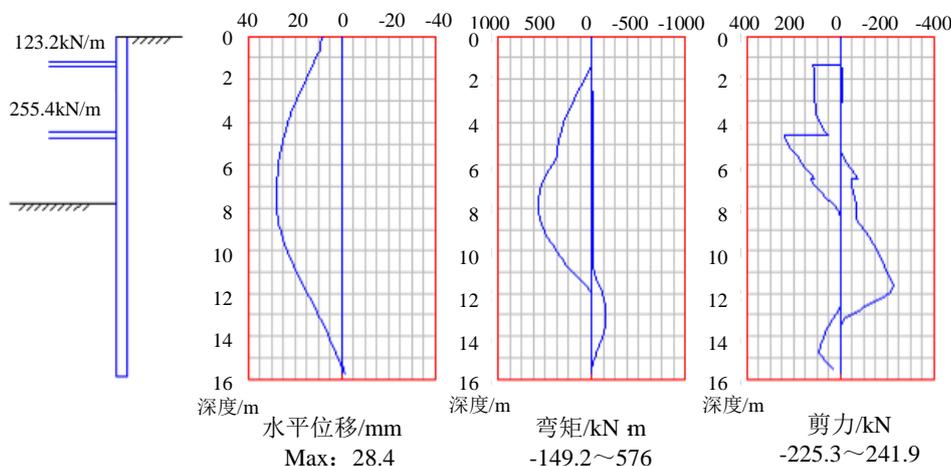


图6 二层地下室围护结构内力与变形包络图

Figure 6 Internal force and deformation envelope diagram of retaining structure of 2nd story basement

该工程已顺利完成地下室结构施工。根据基坑监测成果,在整个基坑施工过程中,各个深层土体水平位移监测孔的变形发展速率稳定,除1个测斜孔最大水平位移为39.76 mm,略大于预警值外,其余各项监测值均小于预警值。基坑施工未对周边市政道路、地下管线等造成明显影响。

8 结 论

该工程的施工及监测结果均表明,可回收式预应力浆囊袋注浆锚杆在该工程中的应用是成功的。该类型锚杆显著改进了普通锚杆在软土中抗拔承载力较低的问题,可适用于软土地基中的基坑工程,同时主筋可回收工艺可避免锚杆超红线遗留永久地下障碍物的问题,进一步扩大了该类锚杆的应用范围。对于平面尺寸大、设置内支撑对经济性和

工期影响较大的基坑工程,可根据开挖深度等设计条件,考虑采用可回收式预应力浆囊袋注浆锚杆完全或部分替代内支撑,能够显著减少造价和缩短工期。

参考资料:

- [1] 龚晓南. 深基坑工程设计施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [2] 刘国彬, 等. 基坑工程手册(第二版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [3] JGJ 120-2012 建筑基坑支护技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [4] 李红军, 张开普. 可回收式锚杆在基坑支护工程中的应用[J]. 建筑结构, 2019, 49(10): 110-114+21.
- [5] 赵海生. 基坑支护可拆型锚杆技术研究及应用[J]. 岩土力学, 2005(11): 75-79+83.