

DOI: 10.3785/j.issn.2096-7195.2025.01.012

【工程应用】

自稳式支护技术在基坑工程中的应用

窦红瑞

(中铁十四局集团建筑工程有限公司, 山东 济南 250014)

摘要: 传统基坑支护一般选用钢筋混凝土支撑或钢支撑, 虽然技术性和安全性能得到较好地保证, 但也存在安拆费时费工、经济性不强、对环境不友好的弊端。近年来, 出现了一种自稳式基坑支护技术, 相较于传统基坑支护施工, 自稳式基坑支护的主要特点是能够实现基坑直立开挖, 不仅改善了工作环境, 提高了挖土效率, 而且通过钢构件的回收和重复利用, 有效降低了工程造价, 显著缩短了工期。本文以某地下车库基坑开挖为背景, 对自稳式基坑支护体系的施工细节进行介绍, 分析了基坑变形控制效果, 并与传统支护形式在工期、经济效益、环境效益等方面进行比较, 以期同类基坑施工提供一种新型、高效、经济的支护技术参考。

关键词: 自稳式基坑支护; 直立开挖; 回收; 效益比较; 施工细节

中图分类号: TU47

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2025)01-0090-11

Application of self-stabilizing support technology in foundation pit engineering

DOU Hongrui

(China Railway 14th Bureau Group Construction Engineering Co., Ltd., Jinan 250014, Shandong, China)

Abstract: Traditional foundation pit support generally uses reinforced concrete or steel support. While these methods provide reliable technical performance and safety, they also have notable drawbacks, such as time-consuming and labor-intensive installation and dismantling, limited economic efficiency, and negative environmental impacts. In recent years, a self-stabilizing foundation pit support technology has developed. Compared to traditional construction methods, the main characteristic of self-stabilizing foundation pit support is its ability to achieve vertical excavation, which not only improves the working environment and excavation efficiency but also significantly reduces project costs through the recycling and reuse of steel components and substantially shortens the construction period. Taking the construction of an underground parking garage foundation pit as a background, this article introduces the construction details of the self-stabilizing foundation pit support system and compares it with traditional support forms in terms of construction period, economic benefits, and environmental impacts. The study demonstrates the system's significant advantages, providing a highly efficient, cost-effective, and environmental friendly support solution, aiming to provide a valuable technical reference for similar foundation pit construction projects.

Key words: self-stabilizing foundation pit support; vertical excavation; recycling; comparison of benefits; construction details

0 引言

城市建筑用地越来越稀缺, 为了满足人们日益扩大的功能需求, 地下空间不断被挖掘, 建筑基坑向着“深度大、面积广”的方向发展, 传统基坑支护形式及计算方法已不适用于新形势下的基坑研究^[1], 支护类型的选择直接关乎工期和成本, 同时

也受到安全和环保等因素的制约。

目前, 基坑工程的深度和规模不断增加, 这使得对基坑支护技术的要求也越来越高^[2]。为了应对这一挑战, 设计人员不断探索新的支护技术, 以满足日益增长的安全和稳定需求。目前, 常用的基坑围护结构有桩式支护和地下连续墙支护^[3]。软土地区基坑内支撑普遍采用钢筋混凝土结构(如图1)

收稿日期: 2024-01-30; 修回日期: 2024-03-13; 录用日期: 2024-04-25

作者简介: 窦红瑞(1984—), 男, 内蒙古自治区包头市人, 本科, 工程师, 从事施工管理工作。E-mail: dhr_911@163.com。

或钢结构, 在施工过程中存在一些问题, 如安装后导致施工空间狭小, 拆除时产生大量的建筑垃圾, 切割混凝土时产生噪声与扬尘 (如图 2), 不利于工人健康, 也给周围环境和居民生活带来了不良影响。此外, 基坑支护技术的研究也存在着争议, 如支护结构的优化设计、新型支护材料的研发相对滞后^[4]等, 这些问题在一定程度上限制了支护技术的进一步发展, 也给工程安全和稳定带来了挑战。



图 1 传统钢筋混凝土支撑

Fig. 1 Traditional reinforced concrete support



图 2 钢筋混凝土支撑拆除作业

Fig. 2 Support dismantling

为了解决这些问题, 可以考虑采用一些新型的支护技术, 如使用轻质材料代替钢筋混凝土结构或钢结构, 以减少施工空间的占用, 提高挖土效率; 采用绿色施工技术, 降低噪声、扬尘和废物排放等; 此外, 还可以通过优化支护结构设计, 以提高支护结构的稳定性和安全性。孙剑平等^[5]介绍了一种“双排桩-锚杆”自稳定支护体系, 研究了不同开挖工况下双排桩桩顶位移、土体深层位移、土压力、锚杆内力等变化规律; 郝建兵等^[6]介绍了一种三角桁架装配式单侧模板自稳定支撑系统; 王明湖^[7]介绍了一种预应力锚索支撑体系在地铁车站基坑中的施工工艺, 并阐述了预应力锚索的施工原理。

本研究探讨一种近年来出现的自稳式基坑支护技术, 期望这项技术能为基坑工程提供一种新型、高效、经济的支护技术, 为相关领域的研究和实践提供新的思路和方法。

1 自稳式基坑支护技术

1.1 支护概述

自稳式基坑支护技术采用斜向前撑桩或后拉杆, 替代了传统的水平内支撑, 与冠梁、围护桩和配筋垫层等共同组合形成了一种新型支护结构。该技术的核心在于利用钢构件代替了传统的钢筋混凝土支撑, 这使得支护结构的组合形式更加灵活多样, 提高了适用性。

在自稳式基坑支护结构中, 直立开挖土层是其主要特点。这种技术不仅保证了基坑的安全, 而且通过钢构件的回收和重复利用, 有效地降低了工程造价, 提高了挖土效率, 显著缩短了工期。

自稳式基坑支护形式一般有 3 种, 如图 3 所示。

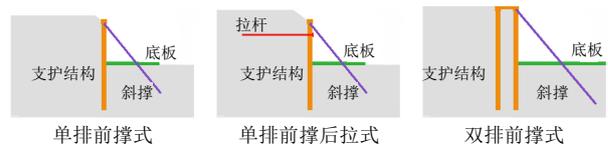


图 3 自稳式基坑支护分类

Fig. 3 Classification of self-stabilized foundation pit support

自稳式基坑支护结构中的前撑不同于传统钢管斜抛撑, 后者施工工序包括: 基坑降水→围护体施工→盆式开挖、基坑周边留土→浇筑垫层、底板→斜抛撑施工→留置土挖除→浇筑垫层、底板→逐层换撑, 拆除斜抛撑、预埋件等^[8]。可以看出, 传统钢管斜抛撑需要在坑内挖土后设置, 由于斜抛撑下留置土的存在, 基坑周边的地下结构必须根据实际情况增加施工缝, 这无疑会延长工期; 由于工期延长, 斜抛撑的租赁期也会相应延长, 这会增加工程的成本和风险; 在施工过程中, 需要多次使用吊车和其他机械设备进行土方的运输和施工, 不仅会加大工程的成本, 也会对施工现场的环境造成一定的污染; 钢管斜抛撑施工工序复杂, 对施工人员的技能和经验要求较高, 如果施工人员经验不足或者操作不熟练, 就可能会影响工程的质量和进度。

自稳式基坑支护结构中的后拉部分与传统围护结构的锚拉施工无较大差异。

1.2 适用环境

自稳式基坑支护主要适用于以下环境:

深度限制: 适用于挖深在 12 m 以内的基坑。

面积较大：特别适合于面积较大的基坑，尺寸宜在 20 m 以上，可以更好地发挥其规模优势，尤其是在使用盆式开挖方式时，其工期及经济效益尤为显著。

地质条件：主要适用于一般土质，如填土、黏性土等，土层中石块粒径不宜超过 10 cm。

1.3 受力特点

(1) 抗水平位移

基坑开挖可能导致支护结构向坑内产生水平位移的趋势，这种位移如果不加以控制，会导致支护结构的失稳，进而影响到整个建筑的安全^[9]。

为了应对这个问题，可以将斜向钢管与排桩通过顶压连成整体，以提供强大的水平抗力，防止支护结构受到过大的压力；还可以使用后拉钢管提供额外的水平抗力，通过拉结作用，可以进一步减小支护结构的位移，提高结构的稳定性。抗水平位移示意如图 4 所示。

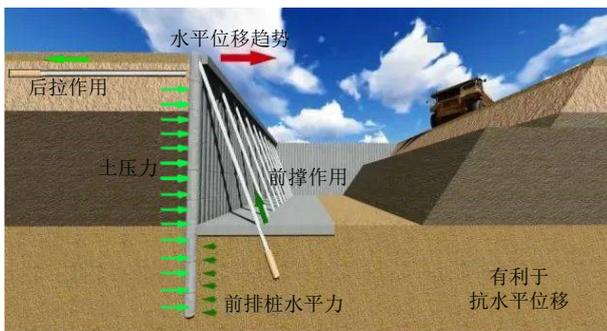


图 4 自稳式基坑支护抗水平位移示意图

Fig. 4 Illustration of horizontal displacement resistance in self-stabilized foundation pit

(2) 抗隆起

基坑开挖造成坑内土体向上隆起^[10]，前撑钢管和配筋垫层有效连接，不仅增强了钢管压屈稳定，而且配筋垫层能够吸收和分散部分土压力，增强排桩与土体的摩擦力，从而减小了排桩的位移。抗隆起示意如图 5 所示。

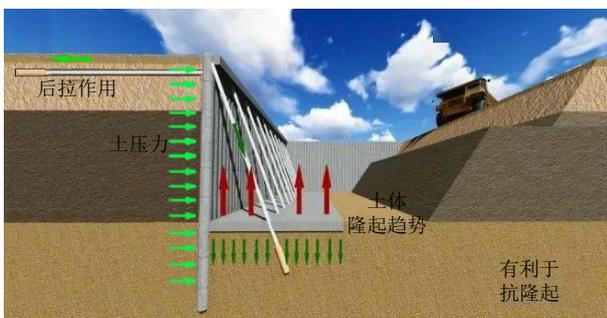


图 5 自稳式基坑支护抗隆起示意图

Fig. 5 Illustration of anti-uplift in self-stabilized foundation pit

(3) 抗倾覆

在许多情况下，支护结构会发生向坑内转动的

趋势，这可能会对整个工程的安全性产生威胁^[11]。

为了应对这种趋势，应设法增强支护结构的稳定性。前撑作用和后拉作用共同形成了抵抗力矩，前撑可以防止支护结构向坑内倾斜，后拉可以限制支护结构的转动。

对于双排桩支护结构，前排桩的抗压性能和后排桩的抗拔性能也是提高支护结构整体稳定性的重要因素。前排桩通常会承受较大的压力，因此需要具有较高的抗压强度和稳定性。后排桩则主要承受拉力，因此需要具备一定的抗拔能力，以防止支护结构发生转动。抗倾覆示意如图 6 所示。

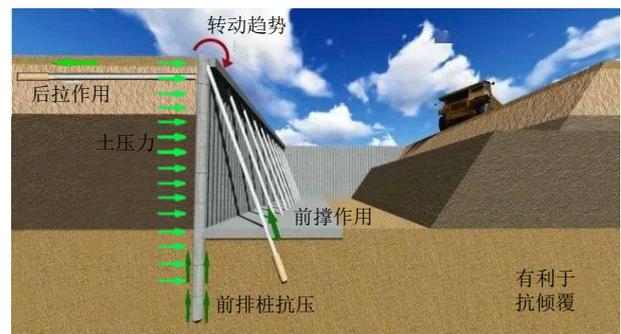


图 6 自稳式基坑支护抗倾覆示意图

Fig. 6 Illustration of anti-overturning in self-stabilized foundation pit

1.4 技术优势

自稳式基坑支护技术与传统基坑支护形式相比，具有以下优势：

(1) 显著提升了施工效率，并大幅缩短了工期。与现有的水平支撑基坑相比，该技术无需安拆多道混凝土支撑或钢支撑，简化了基坑施工工序。同时，它实现了敞开式挖土^[12]，一次性开挖至坑底，地下结构的施工不会受到复杂水平支撑的影响，也节省了支撑、立柱拆除的施工工期，进一步提升了地下工程施工效率。基坑开挖工作面对比如图 7 所示。

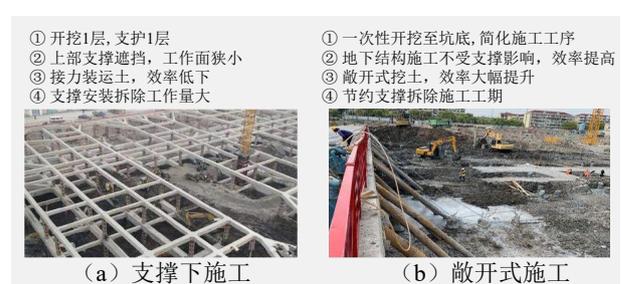


图 7 开挖工作面对比

Fig. 7 Comparison of excavation surfaces

(2) 大幅减少了材料用量，降低了工程造价。通过使用较少的倾斜前撑，代替了大量的钢筋混凝土支撑或钢支撑，明显降低了栈桥板、立柱桩、连接件等临时结构的投入，不仅节约了钢筋混

凝土或钢材，也直接降低了工程造价；另外，自稳式基坑技术经过多年的创新与积累，已经形成了包含设计、施工、检测、监测的成套技术^[13]，并经历了大量应用案例的检验，这些实践经验使得该技术的应用更加成熟可靠，实现了降本提效的目标。材料投入对比如图 8 所示。

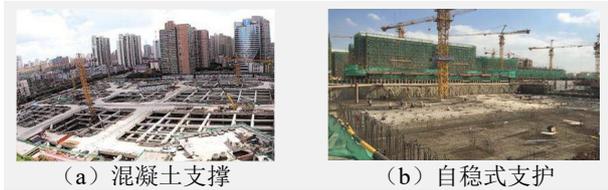


图 8 材料投入对比

Fig. 8 Comparison of material input

(3) 低碳环保，环境影响小。这一技术大大减少了临时钢筋混凝土的用量，既节约了社会资源，又降低了碳排放^[14]。而且，由于不需要进行大量的混凝土拆除作业，降低了施工过程中的噪音和扬尘，施工过程更为绿色环保。环境影响对比如图 9 所示。

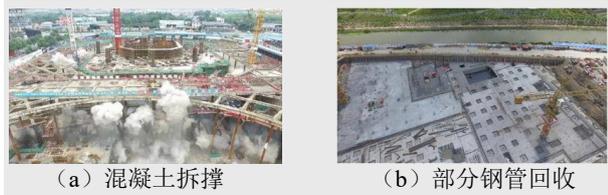


图 9 环境影响对比

Fig. 9 Comparison of environmental impact

总之，自稳式基坑支护技术是一种高效、绿色、环保的组合式基坑支护新技术，在提升施工效率、缩短工序时长、降低材料用量、改善施工环境等方面优势显著。

2 工程实例

2.1 基坑概况

菏泽奇珍文化艺术中心项目位于山东省菏泽市高新区西安路与泰山路交叉地块内，西临陈庄西路，北临泰山路，东临西安路，南临菏泽国际会展中心。地下车库结构形式为 2 层框架结构，基坑围护结构采用直径 0.8 m 的灌注桩，兼作止水帷幕。基坑标准段尺寸为 120 m×20 m，开挖深度约 12 m，周围建筑较为密集，基坑南北两侧分布有住宅区和商业建筑，工期及安全压力较大。基坑平面布置如图 10 所示。

2.2 围护结构设计情况

基坑内支撑原设计为 2 道钢筋混凝土支撑，距地面分别为 3 m 和 7 m。在保证安全的前提下，综合考虑地质条件、施工工期、成本投入以及对周围

环境影响等因素，并且为了响应双碳减排和绿色建筑的政策要求，拟采用仅设单排前撑式自稳支护技术。斜撑使用 $\Phi 395 \times 10$ 钢管，单根长度 20 m，打射角度为 45° ，钢管间距 3 m，周围共打设钢管斜撑 70 根；提前在斜撑对应位置打设 $\Phi 600$ 高压旋喷桩，处理长度约 15 m；在孔内插入钢管斜撑，斜撑底端插入旋喷桩内约 2 m；最后浇筑冠梁，将斜撑顶端埋入冠梁内。基坑典型剖面见图 11，底板处详图见图 12。

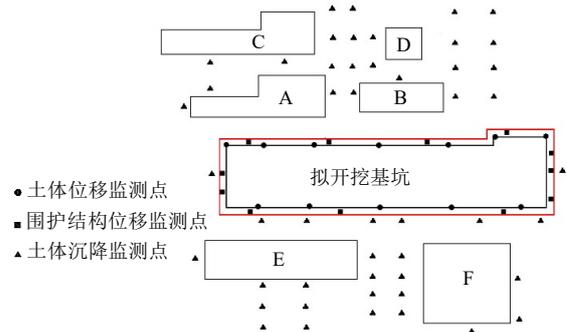


图 10 基坑平面布置

Fig. 10 Layout of foundation pit

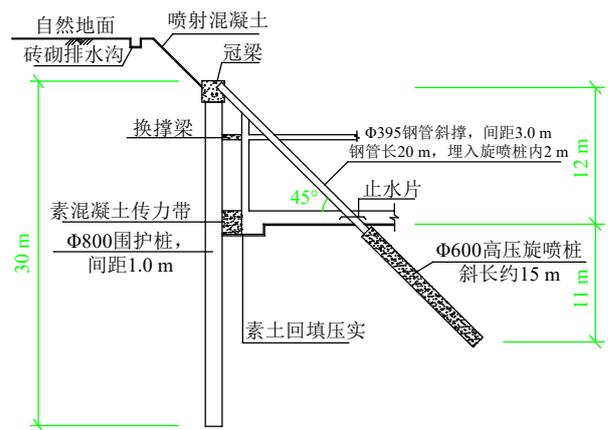


图 11 基坑典型剖面图

Fig. 11 Typical section of foundation pit

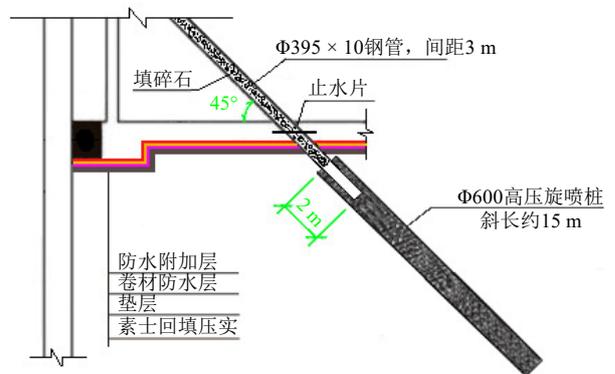


图 12 底板处详图

Fig. 12 Detailed drawing of the bottom plate

2.3 地层特性

地勘报告显示，场地周围地层分布较为稳定。场地自上而下地层特性见表 1。

表1 场地地层特性
Table 1 Site stratigraphic characteristics

分层	地基土评价
第四系人工填土层 (Q_4^m)	①杂填土：透镜状分布，颜色杂乱，略带潮湿，松散至稍松散，由多种物质混合而成，大小一般在1~5 cm。
	②素填土：大部分地段可见。层状或似层状，颜色以褐黄色、灰褐色和灰白色为主。湿度较高，质地松散，有时会出现少量的软土、碎石和贝壳。
	③碎石土：部分地段可见。由块石和碎石组成，多为褐黄色、褐红色、灰色，湿度适中，稍微压实。含有少量砂土、黏性土，块石的大小一般在1~5 cm。
第四系残积层 (Q_4^e)	④粉质黏土：层状，通常呈棕桐、黑棕，软塑状态。土质较为平坦，带有沙粒质感。
	⑤黏质粉土：层状或似层状，暗红色或棕黄色，硬塑，主要由粉砂岩和泥质粉砂岩风化残积土构成。
	⑥淤泥质粉质黏土：层状或似层状，灰色，流塑，含有机物，并带有轻微腐烂气味。
	⑦砂质粉土：层状或透镜形式，棕黄色，具韧性，属于混凝土类型的风化残留物。
	⑧全风化泥质粉砂岩。

2.4 计算结果分析

(1) 变形及内力

围护结构变形采用有限元分析法，利用 MIDAS GTS 地基模块建立基坑有限元模型如图 13 所示，计算基坑开挖中围护结构及斜撑的内力和变形情况。相关土层参数按地勘报告中的数值取用，采用“ m 法”进行内力计算， m 值由软件自动生成，地面超载及邻近道路荷载按 10 kPa 考虑，地面坡度、围护桩及斜撑布置等信息按图 14 取值。

围护桩的位移及内力包络图如图 15 所示，可以看到，最大位移为 20.1 mm，最大弯矩为

1 490.3 kN·m，最大剪力为 494.7 kN。

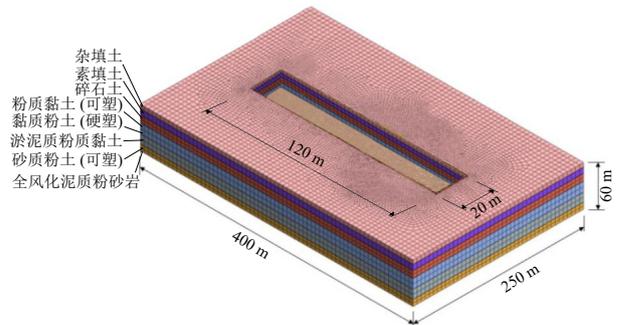


图 13 基坑有限元模型

Fig. 13 Finite element model of foundation pit

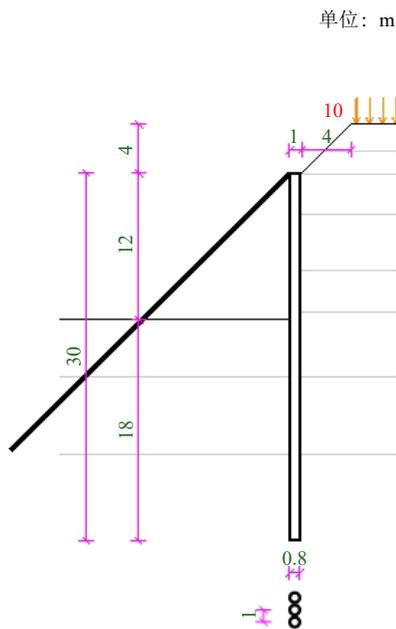


图 14 围护结构构造参数

Fig. 14 Structural parameters of the retaining wall

▼ 基坑	
地面标高/m	0
基坑断面编号	1
安全等级	一级
第一级基坑深度/m	16
▼ 围护桩	
混凝土等级	C30
桩径/mm	800
整体桩间距/mm	1 000
露出长度/m	0
嵌入深度/m	18
▼ 斜撑	
间距/mm	3 000
长度/m	32
倾角/(°)	45
等效支撑刚度/(MN/m ²)	20

放坡

	坡高/m	坡宽/m	台宽/m
1	4	4	1
2			

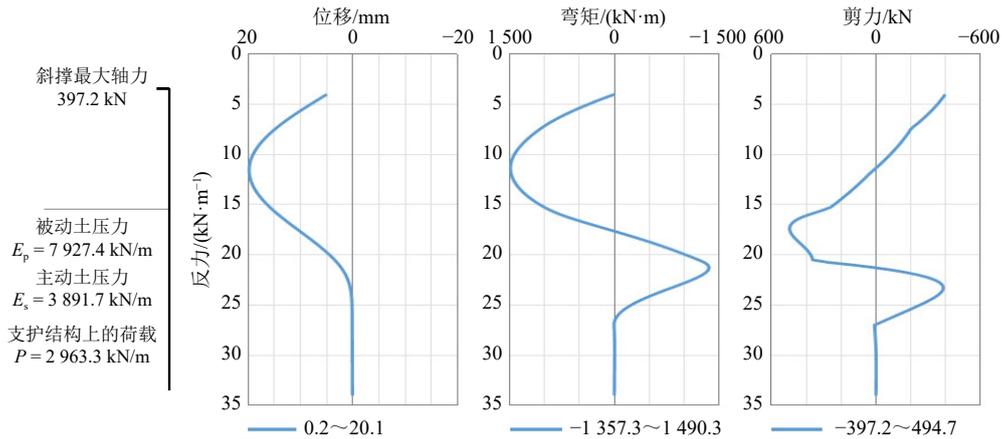


图 15 变形及内力包络图

Fig. 15 Enveloping diagrams of deformation and internal forces

从图 15 中可以看出，无论是位移还是弯矩，中间部位都会鼓出，呈现由小到大再缩小的趋势。这种变形特征表明，在基坑开挖过程中，土体受到围护结构的限制和桩顶荷载的作用，导致土体产生压缩和变形。由上部分内力变形曲线可知，此种曲线类似于“围护桩加 1 道内支撑”或者“桩锚围护”的形式。由于内支撑的存在，桩顶变形得到了限制，因此曲线由上到下数值逐渐增大。这说明内支撑对减小桩顶变形起到了很好的作用。而内力再减小是由于深度达到坑底后，坑内被动土压力开始发挥作用，抵消掉一部分主动土压力。随着深度的增加，被动土压力足以抵抗主动土压力，使得内力与变形逐渐趋于零。

斜撑轴向力标准值为 $N=1\ 685.3\ \text{kN}$ < 撑承载力，桩特征值为 $R=2\ 479\ \text{kN}$ ，满足要求。

(2) 整体稳定

采用瑞典条分法对开挖过程进行整体稳定分析，结果如图 16 所示。安全系数 $K=2.69$ ，满足要求。

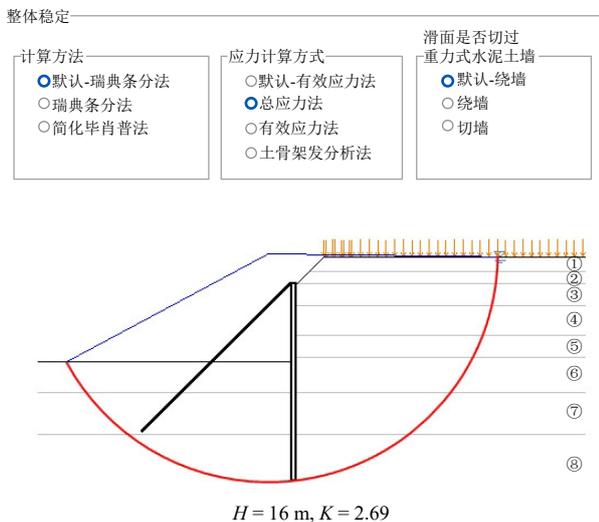


图 16 整体稳定性计算结果

Fig. 16 Calculation results of overall stability

3 施工流程

(1) 围护桩施工

围护结构施工通常为钻孔灌注桩（如图 17 所示）或咬合式排桩，工艺较为常规不再赘述。



图 17 围护桩施工

Fig. 17 Construction of retaining piles

(2) 斜向钻进高压旋喷桩

由于钢管撑为斜向，若全部采用钢管，底板以下的钢材回收困难只能遗弃，可将底板以下部位的斜撑用高压旋喷桩代替，将斜撑底端插入旋喷桩内，底板以下部分的钢管在底板完成后被遗弃，回收底板以上钢管，可节省大量钢材。高压旋喷桩施工时，可通过调节钻杆的入土角度斜向打设^[15]（如图 18 所示）。

(3) 插入斜撑钢管

斜撑位置设置在围护桩空档处，一端位于冠梁内，另一端插入旋喷桩内约 2 m。斜撑采用 $\Phi 395 \times 10$ 钢管，间距约 3 m，水平倾角为 45° 。

由机械臂拎起一端，挖机配合吊住另一端对准设计孔位，将斜撑钢管打设至设计标高（如图 19 所示）；下插钢管时，须随时校正倾斜角。

为增大钢管刚度，扩大钢管的受力面积，可在钢管内填满碎石（如图20所示）。



图 18 斜向钻进高压旋喷桩

Fig. 18 Diagonal installation of high-pressure rotary piles



图 19 打设斜撑钢管

Fig. 19 Setting up inclined braced steel pipe



图 20 填碎石

Fig. 20 Filling gravels

(4) 浇筑冠梁

凿除围护桩桩头，绑扎冠梁钢筋（如图21所示），支立模板并浇筑混凝土（如图22所示）。

(5) 土方开挖



图 21 绑扎冠梁钢筋

Fig. 21 Fixing steel for capping beams



图 22 浇筑冠梁

Fig. 22 Casting capping beams

按正常开挖方法，分层分段开挖土方，直至坑底设计标高。

(6) 施做底板，回收部分钢管

铺设防水板并浇筑垫层，施工底板，切割回收底板以上部位的钢管。

4 应用效果及评价

4.1 工期分析

各种类型的支撑工期对比情况见表2。

对比可知，传统支撑方式由于工序较多，需要分步开挖和支护，耗时费力，在施工效率方面落后于自稳式支护。由此可知，在基坑规模扩大时，自稳式支撑的优势将更加明显，工期差异会进一步拉大。

4.2 基坑变形及内力分析

利用基坑智能监测系统^[16]对基坑开挖过程的变形及内力进行实时监测，获得基坑变形及内力曲线如图23所示。

根据监测数据，实测值比计算值要小，开挖过程中变形最为显著处集中在基坑竖向范围的中部，与单跨简支梁相似，最大变形为15.0 mm，未超过计算值的20.1 mm。总体来看，计算值与实测值较为吻合，在挖掘过程中，日变化量均未超过报警值

(4 mm/d)。施工中按要求分层、分段开挖，及时浇筑垫层及底板，可以保证基坑安全性，且周边道路、建筑物及管线均未受到影响，表明自稳式基坑支护在安全性和刚度计算方面可靠性较好^[17]。

表 2 支撑方式工序时间对比

Table 2 Time-consuming comparison of different supporting methods

工序	传统水平支撑	自稳式斜撑	工期节省
支撑施工	需在支护桩、立柱桩施工完毕后，整体开挖至支撑底部，浇筑支撑垫层、钢筋绑扎、浇筑和养护，预计25 d，占用总工期25 d。	可紧随支护灌注桩一起施工，支护灌注桩施工完毕3 d后即可施工，流水作业，斜撑施工预计6 d，不占用总工期。	25 d
土方开挖	挖机须站在支撑上开挖、接驳，效率低下。	敞开式开挖，开挖效率高。	8 d
支撑拆除	需在地下楼层板换撑板带施工完毕并达到强度后方可拆除，预计养护+拆除时间约14 d，占用总工期14 d。	拆撑简单，底板完成后根据基坑监测结果决定是否拆除，拆撑在地下结构内部完成，不影响主体结构向上施工，不占用总工期。	14 d
地下结构施工	地下结构施工完全处于水平支撑以下，功效较低：大范围水平角撑须待所涉及区域换撑完成后方可拆除，对各号楼单体施工工期影响较大。	不影响各号楼单体地下结构的施工	15 d

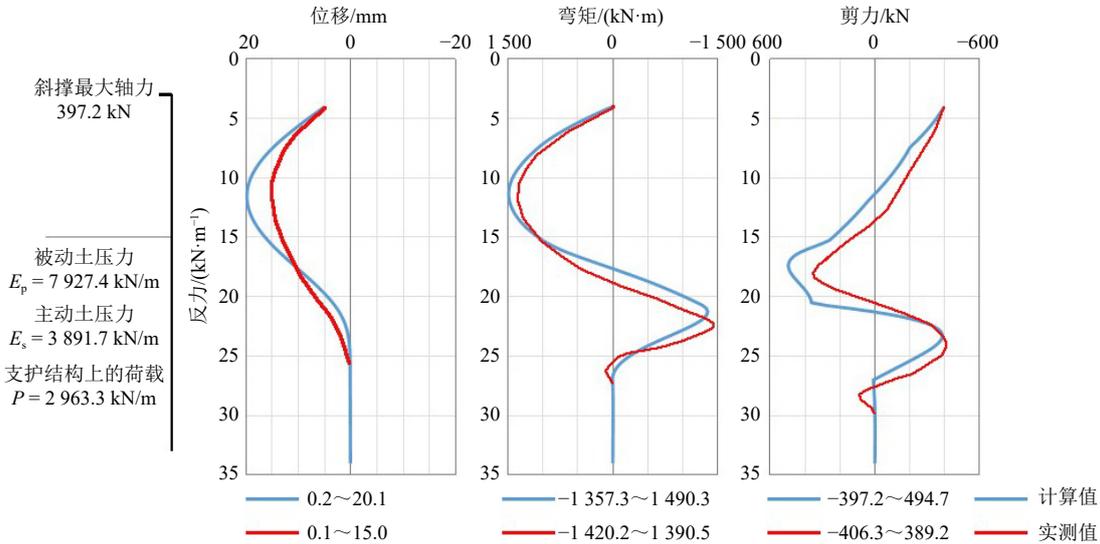


图 23 围护结构变形及内力比较

Fig. 23 Comparison of deformation and internal forces

4.3 地下水监测结果

同样利用基坑智能监测系统，自动捕获基坑施工过程中坑内和坑外潜水水位的变化情况，如图 24 所示。可以发现，坑内水位基本上按照设计要求保持在坑底以下 0.5 m。通过排水和回灌等措施，坑外的最大降深达到了 47 cm，最小降深为 9 cm。表明施工过程中坑内外的水位基本保持了稳定，对周围环境几乎无影响。

4.4 经济效益分析

对于此等规模的基坑，传统内支撑一般为 2 道钢筋混凝土支撑或 2 道钢管支撑，混凝土支撑梁尺寸为 0.7 m×0.7 m，钢管选用 Φ395×10。3 种支撑方式下，冠梁混凝土和基坑土方开挖量基本相同，

混凝土支撑梁存在切割处理的问题，处理费用包括混凝土废料吊装、外运、填埋等，为综合单价；水平钢管支撑比单排斜撑的钢管使用量大，除部分钢立柱外基本能全部回收，而单排斜撑由于是斜向打设，底板以下部位拔出较为困难，只能回收底板以上部分，若全部采用钢管，每次约有 1/3 的钢管不得不留置在地下，但若采用旋喷桩代替底板以下钢管，可节省大量钢材，每次仅有约 1/10 的钢管留置在地上，而且由于是施工单位自有资产，处理费用主要为钢材吊装费用，单价为吊车台班单价。对几种支撑方式差异部分进行经济性对比，费用比较情况见表 3~表 5。

按钢管支撑平均周转 5 次考虑：

水平钢管支撑每次花费 $10\,500+1\,672\,800 \times 1/5=345\,060$ 元;

单排斜撑每次花费 $6\,300+144\,000+[678\,300/(9/10)] \times 1/5=301\,033$ 元。

可以看出,钢筋混凝土支撑需要耗用大量混凝土,且材料无法回收利用,费用最高。单排斜撑相比水平钢管支撑,节省了平撑、连接件、活络头、加劲肋等构件,通过底部使用高压旋喷桩代替钢管,可节省大量钢材;相比钢筋混凝土支撑,减少了平撑、立柱、栈桥等构件。考虑基坑规模变大,支撑数量增加时,自稳式基坑支护的经济优势将更加明显。

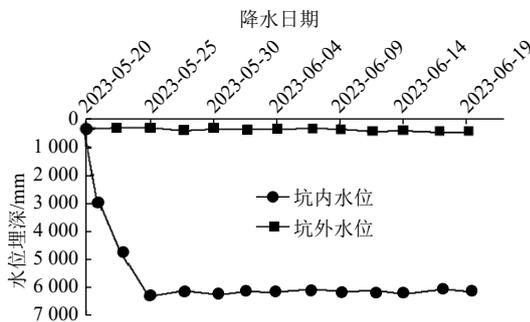


图 24 地下水位时程曲线

Fig. 24 Time history curves of groundwater level

表 3 钢筋混凝土支撑经济性分析

Table 3 Economic analysis of reinforced concrete braces

项目	工程量	单价/元	小计/元	合计/元
钢筋混凝土梁内支撑	800 m ³	550	440 000	515 000
绳锯切割	10台班	1 100	11 000	
混凝土处理	800 m ³	80	64 000	

注: 间距为3 m。

表 4 水平钢管支撑经济性分析

Table 4 Economic analysis of horizontal steel tube support

项目	工程量	单价/元	小计/元	合计/元
型钢加工	328 t	5 100	1 672 800	1 683 300
支撑拆除	5台班	2 100	10 500	

注: 间距为3 m。

表 5 单排斜撑经济性分析

Table 5 Economic analysis of single-row inclined braces

项目	工程量	单价/元	小计/元	合计/元
型钢加工	133 t	5 100	678 300	822 930
支撑拆除	3台班	2 100	6 300	
高压旋喷桩	1 200 m	120	144 000	

注: 型钢加工间距为3 m, 高压旋喷桩70根。

4.5 环境效益分析

与传统现浇支撑体系相比,自稳式基坑支护的绿色施工优越性体现在多个方面。

首先,自稳式基坑支护可以显著减少约 60% 以上的不可回收材料的消耗,如螺栓、焊条等,不仅为建筑企业节省了材料成本,而且减少了资源的浪费,有助于实现资源的可持续利用。此外,与传统现浇支撑体系相比,自稳式基坑支护降低了对混凝土和木材等资源的依赖,这对于减少碳排放、降低对环境的压力具有积极意义。

其次,自稳式基坑支护的安装和拆卸过程非常便捷,这使得施工周期较传统现浇支撑体系缩短了 70% 以上^[18]。这一显著优势不仅大大减少了施工时间和人工成本,而且加快了施工进度,提高了工程效率。与此同时,施工现场的噪音和污染也得到了大幅降低,这无疑提升了施工现场的安全性和舒适性。

自稳式基坑支护还可以减少约 50% 以上的建筑垃圾产生,进一步减轻了对环境的压力。

此外,自稳式基坑支护的应用还提高了施工现场的环境质量,降低了能源消耗和废气排放,对于提升施工现场的形象、保护周边环境以及推动绿色建筑的发展具有重要意义。

5 结 论

自稳式支护技术在本基坑工程中应用十分成功,不仅满足了工期及周边环保要求,同时也大大提升了土方的开挖效率,施工速度有明显的提升。监测结果也表明各项指标均控制得较好。

然而,自稳式基坑支护技术也存在一些缺点:如土体自稳能力较差时可能会出现失稳情况,需要采取相应的措施进行加固和维护;在含卵石多的地层或砂性地层打设困难;虽然每次钢管总用量比普通水平钢管支撑要少,但仍会有少部分钢管回收难度大而被废弃;基坑开挖过程中引发的土体变形规律还未被熟练掌握等。

参考文献

[1] 郑邦岩,陈国平. 基坑围护桩(墙)设计探讨[J]. 地基处理, 2010, 21(2): 29-38.
ZHENG Bangyan, CHEN Guoping. Discussion on design of retaining pile (wall) for foundation pit[J]. Ground Improvement, 2010, 21(2): 29-38.

[2] 卢冬冬. 深基坑支护技术的发展现状及展望[J]. 安徽建

- 筑, 2022, 29(6): 113-114.
- LU Dongdong. Development status and prospect of deep foundation pit support technology[J]. *Anhui Architecture*, 2022, 29(6): 113-114.
- [3] 常斌. 高层建筑工程深基坑支护施工技术研究[J]. *建材发展导向*, 2023, 21(2): 115-117.
- CHANG Bin. Research on deep foundation pit support construction technology of high-rise building engineering[J]. *Development Guide to Building Materials*, 2023, 21(2): 115-117.
- [4] 张石, 陈富朋, 董岳, 等. 深基坑支护结构优化设计研究[J]. *黑龙江交通科技*, 2023, 46(10): 121-124, 182.
- ZHANG Shi, CHEN Fupeng, DONG Yue, et al. Research on optimization design of deep foundation pit support structure[J]. *Heilongjiang Jiaotong Keji*, 2023, 46(10): 121-124, 182.
- [5] 孙剑平, 孟祥旭, 何天武, 等. 富水软弱地层双排桩深基坑力学特性研究[J]. *山东建筑大学学报*, 2023, 38(5): 17-24.
- SUN Jianping, MENG Xiangxu, HE Tianwu, et al. Study on mechanical characteristics of deep foundation pit with double-row piles in soft strata with rich water[J]. *Journal of Shandong Jianzhu University*, 2023, 38(5): 17-24.
- [6] 郝建兵, 王智, 张善友, 等. 埃及 CBD 项目自稳定装配式三角桁架单侧模板支撑系统设计与应用[J]. *施工技术*, 2020, 49(21): 94-97.
- HAO Jianbing, WANG Zhi, ZHANG Shanyou, et al. Design and application of prefabricated triangle truss self-stabilized single sided formwork in CBD project in Egypt[J]. *Construction Technology*, 2020, 49(21): 94-97.
- [7] 王明湖. 预应力锚索支撑体系在地铁明挖基坑中的应用[J]. *国防交通工程与技术*, 2016, 14(1): 74-77.
- WANG Minghu. On the application of the reinforcing anchor rope supporting system to the open-cut foundation pit of the tube[J]. *Traffic Engineering and Technology for National Defence*, 2016, 14(1): 74-77.
- [8] 曾虹程. 基坑中钢管斜抛撑的应用及盆边土方开挖施工技术[J]. *建筑施工*, 2012, 34(12): 1133-1135.
- ZENG Hongcheng. Application of steel pipe inclined bracing to foundation pit and construction technology for earthwork excavation along basin edge shaped foundation pit[J]. *Building Construction*, 2012, 34(12): 1133-1135.
- [9] 乔晨, 王素芳. 某工程深基坑支护失稳处理[J]. *武汉大学学报(工学版)*, 2018, 51(增刊 1): 201-204.
- QIAO Chen, WANG Sufang. Treatment of instability of deep foundation pit supporting[J]. *Engineering Journal of Wuhan University*, 2018, 51(S1): 201-204.
- [10] 李瑛, 张金红, 刘兴旺, 等. 止水帷幕对软黏土基坑抗隆起稳定性的影响分析[J]. *地基处理*, 2019, 1(3): 29-32.
- LI Ying, ZHANG Jinhong, LIU Xingwang, et al. Analysis on the influence of waterproof curtain on heave-resistant stability of excavations in soft clay[J]. *Chinese Journal of Ground Improvement*, 2019, 1(3): 29-32.
- [11] 黄俊光, 阮菲, 李健津, 等. 深基坑多支点支护结构抗倾覆计算讨论[J]. *建筑结构*, 2021, 51(10): 123-127.
- HUANG Janguang, RUAN Fei, LI Jianjin, et al. Discussion on anti-overturning calculation of multi-support retaining structure in deep foundation pit[J]. *Building Structure*, 2021, 51(10): 123-127.
- [12] 陈晓丰. 中山医院深基坑工程敞开式逆作法施工技术[J]. *上海建设科技*, 2013(5): 43-47, 53.
- CHEN Xiaofeng. Open top-down construction technology for deep foundation pit engineering of Zhongshan Hospital[J]. *Shanghai Construction Science & Technology*, 2013(5): 43-47, 53.
- [13] 上海市建设协会. 自稳式基坑支护结构技术标准: T/SCDA012—2021[S]. 上海: 同济大学出版社, 2021.
- Shanghai Construction Association. Technical Standard for Self-Stable Retaining Structure of Foundation Excavation: T/SCDA012—2021[S]. Shanghai: Tongji University Press, 2021.
- [14] 蔡敏, 朱雪健, 单灿灿, 等. 装配式可回收基坑支护结构碳排放与能耗计算分析[J]. *安徽建筑*, 2022, 29(3): 67-70.
- CAI Min, ZHU Xuejian, SHAN Cancan, et al. Calculation and analysis of carbon emission and energy consumption of assembled recyclable foundation pit supporting structure[J]. *Anhui Architecture*, 2022, 29(3): 67-70.
- [15] 张飞. 试析前撑注浆钢管自稳式支撑体系在建筑基坑中的应用[J]. *住宅产业*, 2020(6): 51-56.
- ZHANG Fei. Application of self-stabilized steel pipe support system with pre-brace grouting in building foundation pit[J]. *Housing Industry*, 2020(6): 51-56.

