

DOI: 10.3785/j.issn.2096-7195.2024.01.012

【新装备新工艺】

# 帽型H型钢嵌合型组合桩在软土基坑中的应用

金小荣<sup>1</sup>, 郭永<sup>2</sup>, 秦康<sup>3</sup>, 莫立成<sup>1</sup>, 孙樵<sup>1</sup>

(1. 浙江大学建筑设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310028;

2. 浙江华蕴基础工程有限公司, 浙江 湖州 313211; 3. 日铁咨询(北京)有限公司上海分公司, 上海 200040)

**摘要:** 本文介绍了帽型H型钢嵌合型组合桩及其工程应用, 主要内容涉及帽型钢板桩的相关介绍及该围护体系的设计和施工等方面。将热轧宽幅帽型钢板桩和H型钢通过简易嵌合装置连接组成帽型H型钢嵌合型组合桩, 因其工厂化加工和简易嵌合连接, 具有组合形式丰富、对周边环境影响小、工期短、工序简单、运输方便、抗弯刚度大、止水性能好、轻量化、绿色可回收等特点。本文以杭州市拱墅区某软土基坑新建小学及社会停车库工程为例, 提出了帽型H型钢嵌合型组合桩的设计和施工方案, 并通过现场监测分析验证了嵌合型组合桩实际运用的可行性和安全性, 对该工法的推广和应用贡献了较大参考价值。该围护型式在实际工程中的成功运用, 可为类似工程提供借鉴。

**关键词:** 基坑支护; 帽型H型钢嵌合型组合桩; 工法特点; 工程实例

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2024)01-0098-06

## Application of H+Hat shaped embedded steel sheet pile in soft soil foundation pits

JIN Xiao-rong<sup>1</sup>, GUO Yong<sup>2</sup>, QIN Kang<sup>3</sup>, MO Li-cheng<sup>1</sup>, SUN Qiao<sup>1</sup>

(1. The Architectural Design & Research Institute of Zhejiang University Co., Ltd., Hangzhou 310028, Zhejiang, China;

2. Zhejiang Huayun Foundation Engineering Co., Ltd., Huzhou 313211, Zhejiang, China;

3. Nippon Steel Consulting (Beijing) Co., Ltd., Shanghai Office, Shanghai 200040, China)

**Abstract:** This work introduces the H+Hat shaped embedded steel sheet pile and its engineering application. The primary focus is on introducing the hat-shaped steel sheet piles and the design and construction of the enclosure system. H+Hat shaped embedded steel sheet pile is a combination of hot-rolled wide-width hat-shaped steel sheet piles and H-shaped steel through a simple fitting device. The simple fitting connection offers various combination forms and possesses characteristics such as minimal impact on the surrounding environment, short construction period, straightforward process, convenient transportation, high flexural rigidity, good water-proof performance, light weight, and green recyclability. Using the construction project of a new primary school and social parking garage in a soft soil foundation pit in Gongshu District, Hangzhou City, as an example, this work proposes the use of H+Hat shaped embedded steel sheet pile. On-site monitoring and analysis were employed to verify the feasibility and safety of the practical application of the embedded piles. This contribution adds significant reference value to the popularization and application of this construction method.

**Key words:** foundation pit support; H+Hat shaped embedded steel sheet pile; characteristics of construction methods; engineering examples

## 0 引言

在市政建筑、边坡治理、地下空间开发等领域, 基坑支护得到了广泛应用。目前, 国内的基坑支护

结构形式有TRD工法桩、灌注桩、PC工法组合钢管桩、HC工法桩及钢板桩等<sup>[1-4]</sup>。

深基坑工程中的常用结构为灌注桩和SMW工法桩, 但时常出现渗漏现象。PC工法桩质量可靠,

收稿日期: 2021-11-15

作者简介: 金小荣(1977—), 男, 浙江杭州人, 博士, 正高级工程师, 国家注册土木(岩土)工程师, 长期从事基坑围护和地基处理等岩土工程设计工作, 主要参与PC工法桩和HC工法等研究工作。E-mail: 369057407@qq.com。

但其成功应用需专业设备。钢板桩具有绿色可循环、工期短、可有效止水等特点, 因此受到了广泛关注, 但是目前国内市场上流通的钢板桩无法直接应用在深大基坑中。

H 型钢惯性矩大, 截面的分配合理, 截面力学性能好, 具有抗弯刚度大、工期短、绿色可回收、钢材用量省等特点<sup>[5-11]</sup>。帽型钢板桩与普通钢板桩相比具有轻量化、止水性好等特点。单位长度 900 mm 宽帽型钢板桩比 400 mm 宽普通钢板桩用量减少约 15%, 且单位长度 900 mm 宽帽型钢板桩锁口数约为 400 mm 宽普通钢板桩锁口数的 44%。

帽型 H 型钢嵌合型组合桩是将世界上单桩幅宽最大 (900 mm) 的热轧帽型钢板桩 (日本制铁株式会社产品) 和 H 型钢通过简易嵌合装置相互固定形成的组合桩。帽型 H 型钢嵌合型组合桩目前已在杭州三里亭 36 班九年一贯制学校项目 (开挖深度 6.2 m、1 层地下室、粉砂土基坑) 和杭政工出[2021]11 号地块 (开挖深度 9.2 m、2 层地下室、黏土基坑) 等工程中成功应用。帽型 H 型钢嵌合型组合桩在基坑工程中的应用日益广泛, 具有较高的研究价值, 而 H 型钢与帽型钢板桩的连接是该组合桩的关键, 因此本文重点研究了帽型 H 型钢嵌合型组合桩的连接方式。

## 1 帽型 H 型钢嵌合型组合桩施工工艺

帽型 H 型钢组合桩根据连接方式分为焊接型<sup>[12]</sup>和嵌合型<sup>[13]</sup> (见图 1)。传统的焊接型帽型组合桩, 需要用角焊的方式将 H 型钢和帽型钢板桩连接, 进而使组合桩共同发挥作用, 而工程完成后回收组合桩, 又需将组合桩拆分, 造成了材料和人员的浪费。区别于传统的焊接型方式, 嵌合型组合桩是通过简易嵌合装置组合了 H 型钢和腹板厚度薄、惯性矩大的热轧宽幅帽型钢板桩 (见图 1 和图 2)。帽型 H 型钢施工方便, 可采用振动打桩锤进行打拔。帽型 H 型钢嵌合型组合桩的嵌合装置见图 3, 打桩前预先在帽型钢板桩翼缘内侧通长焊接一定宽度的板条; 打桩过程中将 H 型钢一端翼缘嵌入帽型钢板桩腹板与加设板条之间而使两者结合为整体。在组合桩处于工作状态时, 该嵌合装置的存在能确保帽型钢板桩与 H 型钢相互间不发生脱离; 工程完成后回收组合桩, 只需将 H 型钢与帽型钢板桩抽离, 便于拆分及再次使用。

帽型 H 型钢嵌合型组合桩的止水功能由制造精度高、锁口止水性能好的帽型钢板桩承担。出于安全性考虑, 可不考虑帽型钢板桩的刚度贡献, 完

全由与之组合的 H 型钢承担。

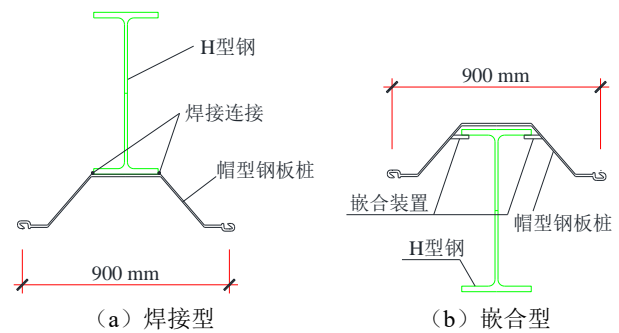


图 1 帽型 H 型钢组合桩连接方式

Fig. 1 Connection of H+Hat shaped combined steel sheet pile



图 2 帽型 H 型钢嵌合型组合桩工程现场

Fig. 2 Photo of H+Hat shaped embedded steel sheet pile



图 3 帽型 H 型钢嵌合型组合桩的嵌合装置

Fig. 3 Insertion device of H+Hat shaped embedded steel sheet pile

帽型 H 型钢嵌合型组合桩的主要特征如下:

(1) 刚度大、规格多样

嵌合型组合桩完全是由 H 型钢来抵抗侧向土压。由于 H 型钢与 U 型钢板桩相比刚度更大, 因此其控制基坑变形的能力更强。

与国产窄幅 H 型钢常用最大规格 (H-900×300×16×28) 组合后, 其截面模量可达 9 989 cm<sup>3</sup>/m, 力矩可达 3 446 kN/m (钢板桩屈服强度 295 N/mm<sup>2</sup>, H 型钢屈服强度 345 N/mm<sup>2</sup>)。考虑到 H 型钢的市场流通性, 通常情况下, 帽型钢板桩会与常用规格的 H 型钢 (H-700×300×13×24) 进行组合设计。

(2) 优异的止水性能

本组合桩的连接方式无论是焊接型或是嵌合型, 其止水功能都由帽型钢板桩承担。帽型钢板桩由于锁口热轧成型制作精度高, 因此止水效果好。

图4为本组合桩在武汉市某基坑支护工程中的应用实例。方案采用了帽型H型钢嵌合型组合桩和钻孔灌注桩结合三轴水泥搅拌桩的支护结构，并比较了两种围护的止水性。图5中帽型H型钢嵌合型组合桩止水效果好，未发生漏水现象；而钻孔灌注桩漏水严重，需要在外围另外施工止水帷幕。



图4 武汉市某基坑支护工程实例

Fig. 4 Example of a foundation pit support project in Wuhan



图5 挡土墙止水性比较

Fig. 5 Comparison of water-proof performance of retaining walls

(3) 施工形式丰富、设备规模小

本组合桩的施工既可采用冲击锤、液压锤和振动锤等施工机械，也可采用静压静拔设备施工。嵌合型组合桩的施打是对帽型钢板桩和H型钢分别

进行的，因此与焊接型组合桩相比，所需的打桩设备规模相对较小。

(4) 循环利用、经济降造、绿色环保

不同于钻孔灌注桩和SMW工法桩在基坑施工完成后无法回收，本组合桩可绿色循环利用，通过回收利用围护桩不仅可以减少对环境的影响，也可以降低工程造价。该组合桩施工结束后不会在土层中形成永久障碍物，因此该工法更加绿色环保。

(5) 提高使用灵活性、可节约成本

帽型钢板桩与H型钢通过简易嵌合装置连接的灵活性，使两者既可成为嵌合型组合桩运用于深基坑支护工程中，又可单独将帽型钢板桩运用于浅基坑支护工程中。与此同时，H型钢作为常规型材，也可单独灵活运用于基坑支护围檩部分及水平支撑等场合。这样就能针对不同深度基坑灵活选取相对应的围护结构体系，更有助于提升帽型钢板桩与H型钢的使用效率。

## 2 工程应用实例

### 2.1 工程概况

杭州拱墅区某软土基坑新建小学及社会停车库工程，由3栋地上5层的教学楼、1栋地上4层的行政楼、1栋地上5层的食堂及1个地下1层的地下室组成。基坑四周东西南北面均为拟建主要道路。最大开挖深度约7.1m，坑底落于淤泥质黏土层中。基坑周边环境见图6。

单位：m

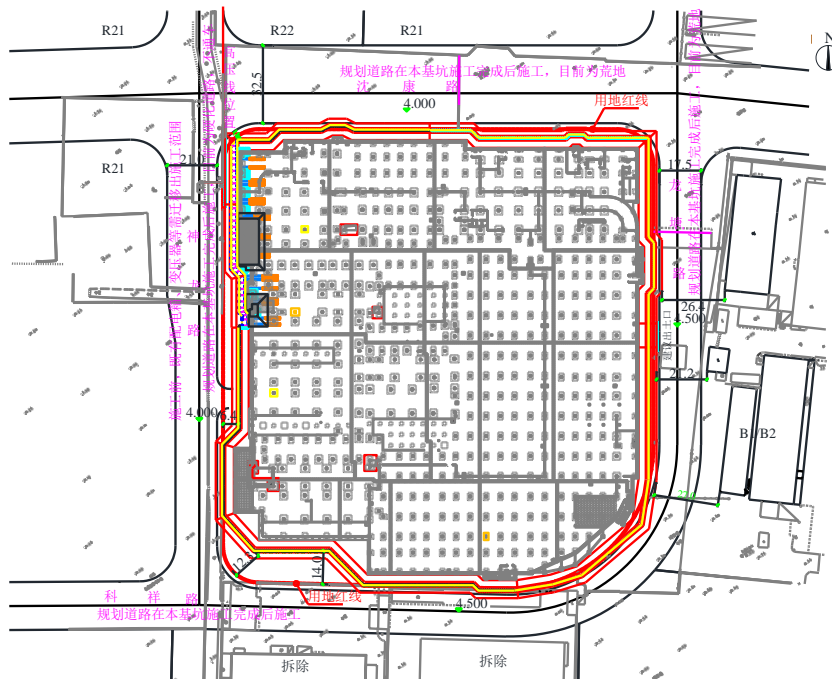


图6 基坑周边环境图

Fig. 6 Surrounding environment of the foundation pit

2.2 工程地质条件

工程场地位于冲海积平原区,地形开阔平坦。地基呈水平分布,地面沉降等比较稳定。表层以下 20 m 主要由杂填土、淤泥质黏土构成。表层约 2 m 为回填土的堆积,其下层为粉质黏土、淤泥质黏土。地下水位约在地表以下 0.7 m。地基土层主要物理力学指标见表 1。

表 1 地基土层主要物理力学指标

Table 1 Physical and mechanical parameters of soil

土层序号	土层	平均层厚/ m	重度/ (kN/m <sup>3</sup> )	内摩擦角 $\varphi$ /(°)	黏聚力 c/kPa
① <sub>1</sub>	粉质黏土	1.3	18.6	10.5	24.8
②	淤泥质黏土	6.4	16.9	2.3	7.5
③ <sub>1</sub>	粉质黏土	2.6	19.1	12.2	39.9
③ <sub>2</sub>	粉质黏土 夹粉土	2.9	18.4	14.4	21.3
④ <sub>1</sub>	粉质黏土	5.8	18.9	14.6	46.7

2.3 帽型 H 型钢嵌合型组合桩的设计方案

(1) 总体设计方案

本基坑四周均为拟建主要道路,规划区域范围内周边无已建建筑物。在基坑西侧部位,由于其地质条件本身相对较差,且需要设置工地出入口,考虑到重型施工机械的影响,采用了刚度很大的 PC 工法桩结合局部被动区进行加固处理。基坑西南部位及北侧部分区域,由于侧向支护刚度的需要,采用了刚度较大的帽型 H 型钢嵌合型组合桩支护形式。其他基坑区域内采用了常规拉森钢板桩支护。

(2) 帽型 H 型钢嵌合型组合桩的设计方案

经分析计算,帽型 H 型钢嵌合型组合桩采用长度 9 m、型号 NS-SP-10H 的帽型钢板桩以及长度为 12 m 和 14 m、型号 700×300×13×24 的国产 H 型钢。该支护墙延长约为 300 m,共由 340 根帽型钢板桩与 224 根 H 型钢构成。帽型钢板桩作为止水帷幕,H 型钢作为承担侧向水平力的构件。从经济性角度出发,首先帽型钢板桩的设计长度短于 H 型钢;与

此同时,H 型钢插二跳一的组合方式也能够降低每延米用量,提高经济性。帽型 H 型钢嵌合型组合桩支护剖面图和截面图分别见图 7 和图 8。

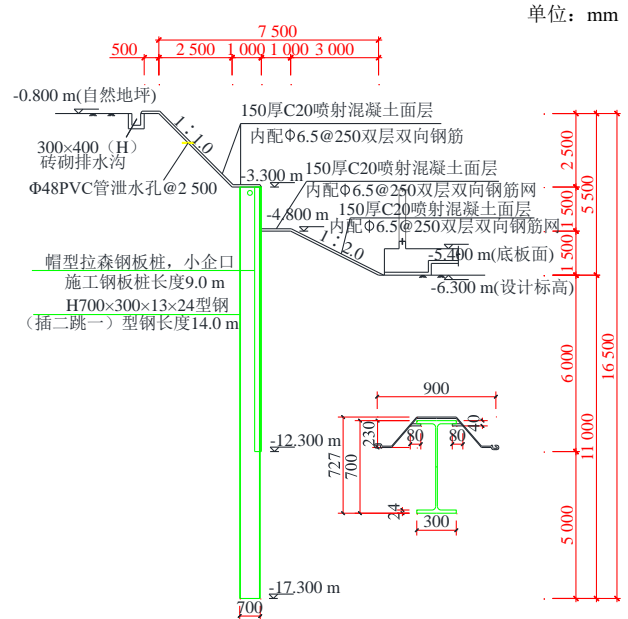


图 7 帽型 H 型钢嵌合型组合桩支护剖面图

Fig. 7 Supporting profile of H+Hat shaped embedded steel sheet pile

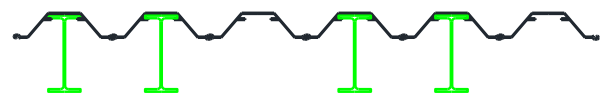


图 8 帽型 H 型钢嵌合型组合桩截面图(插二跳一)

Fig. 8 Section of H+Hat shaped embedded steel sheet pile (every two jumping one)

帽型 H 型钢嵌合型组合桩的力学性能指标详见表 2。

帽型 H 型钢嵌合型组合桩由于帽型钢板桩与 H 型钢的可分离性,在二次运输(进场及出场)过程中能节约存放空间,从而大大提高运输效率。与此同时,无论是仓库的保存或现场的临时堆放,两种材料可分开叠放保管,因此可大量节约场地占用空间。其次,为确保焊接质量及现场施工的顺利进行,嵌合装置在帽型钢板桩翼缘两侧的焊接固定作业已在工厂完成,大大提升了施工效率。

表 2 帽型 H 型钢嵌合型组合桩力学性能指标

Table 2 Mechanical parameters of H+Hat shaped embedded steel sheet pile

钢材规格	组合桩尺寸	每延米墙身					
		宽度/ mm	高度/ mm	截面面积/ (cm <sup>2</sup> /m)	惯性矩/ (cm <sup>4</sup> /m)	截面模量/ (cm <sup>3</sup> /m)	重量/ (kg/m <sup>2</sup> )
帽型钢板桩	H 型钢						
NS-SP-10H	HN700×300×13×24	900	727	293.7	145 926	4 178	230.8
日标 SYW295, 9 m	国标 Q235, 12 m/14 m						

## 2.4 帽型 H 型钢嵌合型组合桩的施工

帽型 H 型钢嵌合型组合桩采用了专用机械(臂长 16.5 m、激振力 35 kW)对其分别进行打入,通过现场分析,前期帽型钢板桩与 H 型钢的平均植桩时间分别为 2 分钟/根与 1 分钟/根。后期每天可完成植桩 50 套(1 套标准组合桩由 1 根帽型钢板桩与 1 根 H 型钢组成,施工延长约 45 m),故可在短时期内形成钢质连续墙。现场打桩情况如图 9 和图 10 所示,基坑围护结构完成后场景如图 11 所示。

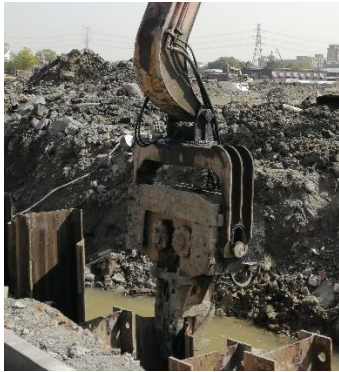


图 9 帽型钢板桩的打桩情况

Fig. 9 Construction overview of hat-shaped steel sheet pile

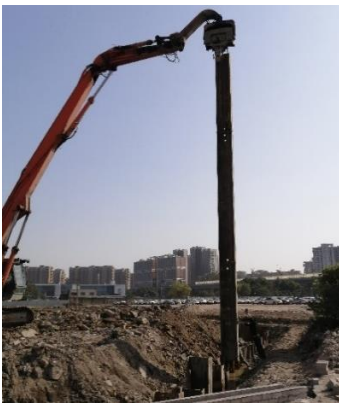


图 10 H 型钢的打桩情况

Fig. 10 Construction overview of H-shaped steel



图 11 基坑围护结构完成后场景

Fig. 11 Photo after completion of foundation pit bracing structure

## 2.5 基坑监测

根据本工程监测报告<sup>[14]</sup>,对周边环境和土体侧向位移等进行监测情况来看:深层土体水平累计位

移 27.05 mm,地表累计沉降 16.02 mm,均未超过警戒值,表明该工程的基坑围护设计及施工均是成功的。

## 3 结 论

通过帽型 H 型钢嵌合型组合桩在软土基坑的成功应用,主要小结如下:

(1) 帽型 H 型钢嵌合型组合桩作为基坑支护结构应用于基坑工程是安全有效的。因其刚度由 H 型钢和帽型钢板桩决定,与传统的拉森钢板桩相比,变形控制效果更佳。

(2) 采用嵌合型组合桩工法,由于帽型钢板桩与 H 型钢的可分离性,能节约运输时的存放空间,从而大大提高运输效率,可大量节约场地占用空间。嵌合型组合桩在国内的基坑工程中作了有益尝试,仍需进一步研究和探讨其受力机理。

(3) 与传统基坑支护方案相比,本工法具有施工快速便捷、可重复灵活使用、对周围环境影响小及经济性好等优点。

(4) 该工法进一步推广应用尚需制定相关标准、研发专用设备和细化嵌合装置等。

## 参考文献

- [1] 潘泓,王加利,曹洪,等. 钢板桩围堰在不同施工工序下的变形及内力特性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32(11): 2316-2324.  
PAN Hong, WANG Jia-li, CAO Hong, et al. Research on deformation and internal force characteristics of steel sheet pile cofferdam under different construction procedures[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013, 32(11): 2316-2324.
- [2] 李朋,罗阳波. 钻孔灌注桩技术在建筑工程施工中的应用分析[J]. 居舍, 2020(23): 49-50.  
LI Peng, LUO Yang-bo. Application analysis of bored pile technology in building engineering construction[J]. Ju She, 2020(23): 49-50.
- [3] 金小荣,陈树龙,吴国彬,等. 一种新型绿色围护工艺——PC 工法桩[J]. 地基处理, 2019, 1(3): 87-90.  
JIN Xiao-rong, CHEN Shu-long, WU Guo-bin, et al. PC pile—an innovative recycle pit support technology[J]. Chinese Journal of Ground Improvement, 2019, 1(3): 87-90.
- [4] 李爱地,李成勋,董莹. 淤泥质软土深基坑 SMW 工法

- 桩围护结构施工技术研究[J]. 现代隧道技术, 2014, 51(5): 180-185.
- LI Ai-di, LI Cheng-xun, DONG Ying. Research on construction techniques for an SMW retaining structure for a deep foundation pit in soft muddy soil[J]. Modern Tunnelling Technology, 2014, 51(5): 180-185.
- [5] 李伟, 吴斌, 丁勇. H型钢防屈曲支撑抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2013, 34(12): 94-102.
- LI Wei, WU Bin, DING Yong. Experimental study on seismic behaviors of H-section steel buckling-restrained braces[J]. Journal of Building Structures, 2013, 34(12): 94-102.
- [6] 李瑛, 唐登, 朱浩源. H型钢构建的绿色深基坑支护体系初探[J]. 科技通报, 2017, 33(2): 177-180, 230.
- LI Ying, TANG Deng, ZHU Hao-yuan. Preliminary study of steel retaining system in green deep foundation pit[J]. Bulletin of Science and Technology, 2017, 33(2): 177-180, 230.
- [7] 张哲, 李国强, 孙飞飞. 波纹腹板H型钢研究综述[J]. 建筑钢结构进展, 2008, 10(6): 41-46.
- ZHANG Zhe, LI Guo-qiang, SUN Fei-fei. State-of-the-art of research on H-beam with trapezoidally corrugated webs[J]. Progress in Steel Building Structures, 2008, 10(6): 41-46.
- [8] 高海建, 奚铁, 孙飞飞. 热轧H型钢的轧制及其工程应用[J]. 建筑钢结构进展, 2002, 4(1): 33-40.
- GAO Hai-jian, XI Tie, SUN Fei-fei. The fabrication and application of hot rolled H-shaped steel[J]. Progress in Steel Building Structures, 2002, 4(1): 33-40.
- [9] 冉岸绿, 孙旻, 王浩, 等. 新型H型钢支撑工程应用浅析[J]. 施工技术, 2018, 47(增刊4): 52-55.
- RAN An-lü, SUN Min, WANG Hao, et al. Brief analysis of application effect of the fabricated and prestress H-section beams steel struts[J]. Construction Technology, 2018, 47(S4): 52-55.
- [10] 金小荣, 赵海佳, 李斌, 等. 某既有基坑加深后围护结构加固技术[J]. 地基处理, 2020, 31(4): 312-316.
- JIN Xiao-rong, ZHAO Hai-jia, LI Bin, et al. Reinforcement technology for the retaining structure of an existing foundation pit after deepening[J]. Chinese Journal of Ground Improvement, 2020, 31(4): 312-316.
- [11] 梅若非. 钢支撑与混凝土支撑效果实例分析[D]. 武汉: 武汉工程大学, 2016.
- MEI Ruo-fei. Example analysis of steel support and concrete support effect[D]. Wuhan: Wuhan Institute of Technology, 2016.
- [12] 金小荣, 郭永, 永津亮祐, 等. 帽型H型钢组合钢板桩在软土基坑中的应用[J]. 地基处理, 2020, 2(2): 176-180.
- JIN Xiao-rong, GUO Yong, Ryosuke Nagatsu, et al. Application of H+Hat combined steel sheet pile in soft soil foundation pit[J]. Chinese Journal of Ground Improvement, 2020, 2(2): 176-180.
- [13] TATSUTA M, TESHIMA K, MATSUI N, et al. Approach to development of overseas construction steel product market in the civil engineering field[R]. Nippon Steel & Sumitomo Metal Technical Report, 2016: 133-140.
- [14] 杭州市铁路北站单元地块小学及社会停车库项目基坑开挖监测报告[R]. 上海: 武汉地质工程勘察院上海分院, 2021.
- Monitoring report of foundation pit excavation for primary school and social parking garage project in Hangzhou North Railway Station[R]. Shanghai: Wuhan Geological Engineering Survey Institute Shanghai Branch, 2021.