

# CSM 工法在天津软土地区超深基坑的应用

高凤栋, 廖春华, 胡正亮, 李海兵  
(天津市津勘岩土工程股份有限公司, 天津 300191)

**摘要:**以 CSM 工法内插型钢基坑围护方案在天津华润紫阳里停车场项目深基坑支护工程中的应用为实例, 结合实际施工效果及监测数据, 分析了 CSM 工法的特点及其在天津软土地区超深基坑围护中的应用前景。

**关键词:**基坑支护; CSM 工法; 型钢; 天津软土地区

**中图分类号:** TU473      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1672-7428(2014)05-0077-04

**Application of CSM Method in Super Deep Foundation Pit Support Engineering in Soft Soil Area of Tianjin/GAO Feng-dong, LIAO Chun-hua, HU Zheng-liang, LI Hai-bing** (Tianjin Jinkan Geotechnical Engineering Co., Ltd., Tianjin 300191, China)

**Abstract:** Take an example of application of CMS method in deep foundation pit support project with shaped steel interpolated in Tianjin, combined with the actual construction effects and monitoring data, analysis is made on the CMS method about its characteristics and its application prospect in super deep foundation pit support in soft soil area of Tianjin.

**Key words:** foundation pit support; CSM method; shaped steel; soft soil area in Tianjin

## 0 前言

随着城市的快速发展, 地下空间的开发与利用已成必然趋势, 基坑开挖深度也不断加大。深基坑多位于城市市区内, 周围建筑物繁多、道路交错、地下管线纵横分布, 对深基坑支护工程提出更严格、更复杂的技术要求, 不仅要确保支护结构的稳定, 还必须满足变形控制的要求。深基坑工程呈现出了深度深、规模大、条件多、变形小的趋势, 传统的深基坑设计与施工技术难以满足现代深基坑工程的需要。近年来, 与之有关的地下工程支护设计、施工技术和工艺、施工设备出现了深刻变革, 更高效、更安全可靠、更经济的施工技术和工艺、施工设备不断出现, 如: TRD 工法、CSM 工法等。通过调研, 对各工艺进行综合分析比较, CSM 工法又具有更大的优势和发展前景, 因为 CSM 工法具有施工速度快, 适合复杂场地条件下施工(占用施工场地小), 垂直度控制精度高(搅拌垂直度可达 1‰), 防渗效果好(渗透系数约  $5.0 \times 10^{-10}$ ), 削铣能力强(可削铣 35 MPa 以下地层), 成墙质量高(7 天强度可达 3 MPa) 和环保效果好等特点<sup>[1]</sup>, 可适用于超深基坑止水帷幕及支护桩等工程。

本文结合天津华润紫阳里停车场项目深基坑工程实例, 综合实际工程效果及监测数据, 对 CSM 法内插 H 型钢的支护形式在天津软土地区的应用前

景进行总结分析。

## 1 CSM 工法简介

CSM 是 Cutter Soil Mixing (铣削深层搅拌技术) 的缩写, 是一种创新性深层搅拌施工工法。本工法源自德国宝峨公司 2003 年开发的双轮铣深层搅拌技术, 结合了现有的液压铣槽机和深层搅拌技术进行创新的岩土工程施工技术<sup>[2]</sup>。双轮铣深搅工艺具有以下特点: (1) 施工过程的各项参数如深度、水泥浆流量、垂直度、铣轮旋转速度等信息实时显示在驾驶室的操作屏幕上, 供作业人员即时监测、判断、调整施工工况和设备运转情况, 实现了施工全过程控制, 从而提高工程质量和可靠度; (2) 铣轮的切削扭矩大, 最大可达 100 kN·m, 可以用于较坚硬的地层, 如粉砂、砂层、卵砾石层等复杂地层, 有很强的地层适应能力; (3) 内插劲性材料后可以将挡土止水集为一体; (4) 止水效果极佳; (5) 施工深度大, 目前杆式设备已到达 48.50 m, 悬挂式的可达 60 m; (6) 水泥石土均匀且强度高; (7) 垂直度控制较好。鉴于双轮铣深搅工艺和设备的优势、特点, 其可以很好的解决目前深基坑施工中存在的问题, 极大的提高了地下工程施工的安全可靠性。

该工法在德国、日本及荷兰等国的防渗、挡土墙和基础工程中广泛应用<sup>[3]</sup>, 在国内, 天津地区对 CSM

收稿日期: 2014-02-24

作者简介: 高凤栋(1955-), 男(汉族), 天津人, 天津市津勘岩土工程股份有限公司高级政工师, 人事管理专业, 从事基坑支护工程管理工作, 天津市南开区迎水道 20 号。

在超深基坑的应用走在全国的前列,完成了十几个工程实例,主要应用于止水帷幕及挡土墙,在天津地铁站及民用建筑地下车库等多个超深基坑中得到了应用,取得了很好的效果。目前国内引进的设备采用的是 Bauer BC40 主机,施工最深可达到 48 m,成墙厚度为 800、1000 及 1200 mm,单次成槽宽度为 2800 mm,套轮宽度为 300~400 mm,设备如图 1 所示。



图 1 Bauer BC40 型 CSM 设备

## 2 工程概况及工程地质条件

### 2.1 工程概况

华润紫阳里停车场项目基坑工程位于天津市和平区商业繁华的劝业场地区,人流密集;项目周边邻近狭窄的道路,地下结构外边线距离用地红线 1.1~3.2 m,场地紧张,基坑周边存在大量的地下管

线,东、西、北 3 侧紧邻居民区楼房,为天然基础,对变形要求严格,如图 2 所示。整体 3 层地下室,基坑开挖深度 14.4 m,基坑面积约 9390 m<sup>2</sup>,基坑周长为 380 m。



图 2 工程总平面布置图

### 2.2 工程地质与水文地质条件

本工程位于天津市和平区,属于软土地区,场地范围内主要存在杂填土、粘土、粉质粘土及粉土等土层,本场地 ⑨<sub>2</sub> 粉土层为第一微承压水含水层, ⑩<sub>2</sub> 粉土层为第二微承压水含水层,土层总体特征是含水率高、孔隙比大、强度低、压缩性高、整体透水性较弱。基坑影响深度内各土层物理力学性质参数如表 1 所示。

表 1 土层物理力学性质综合成果表

土层序号	土层名称	平均层厚 /m	重度 / (kN·m <sup>-3</sup> )	ω /%	e	I <sub>1</sub>	I <sub>p</sub>	φ / (°)	C /kPa	渗透性系数 / (cm·s <sup>-1</sup> )		透水性评价
										K <sub>v</sub>	K <sub>h</sub>	
① <sub>1</sub>	杂填土	1.4										透水
① <sub>2</sub>	素填土	1.7	19.3	33.27	0.93	0.89	14.0	8.67	13.95	5.34 × 10 <sup>-6</sup>	6.61 × 10 <sup>-6</sup>	微透水
④ <sub>1</sub>	粉质粘土	1.7	20.1	25.26	0.71	0.69	12.1	16.63	17.22	4.77 × 10 <sup>-6</sup>	5.58 × 10 <sup>-6</sup>	微透水
④ <sub>2</sub>	粉土	1.0	19.8	23.11	0.68	0.71	7.1	26.47	11.17	4.62 × 10 <sup>-5</sup>	5.58 × 10 <sup>-5</sup>	弱透水
⑥ <sub>1</sub>	粉质粘土	4.8	19.1	30.81	0.86	1.13	11.5	12.52	16.00	4.05 × 10 <sup>-6</sup>	4.95 × 10 <sup>-6</sup>	微透水
⑥ <sub>4</sub>	粉质粘土	4.8	19.6	27.38	0.77	0.97	10.9	17.46	18.90	4.37 × 10 <sup>-6</sup>	5.34 × 10 <sup>-6</sup>	微透水
⑧ <sub>1</sub>	粉质粘土	3.0	20.4	23.42	0.66	0.64	12.0	14.80	21.00	4.78 × 10 <sup>-6</sup>	5.65 × 10 <sup>-6</sup>	微透水
⑧ <sub>2</sub>	粉土及砂性大粉质粘土	3.6	20.2	23.42	0.66	0.64	12.0	14.80	21.00	5.74 × 10 <sup>-5</sup>	5.68 × 10 <sup>-5</sup>	微透水
⑨ <sub>1</sub>	粉质粘土	6.4	20.4	23.39	0.66	0.57	12.3	16.07	23.14	4.84 × 10 <sup>-6</sup>	5.77 × 10 <sup>-6</sup>	微透水
⑨ <sub>2</sub>	粉土	2.0	20.4	19.66	0.58	0.60	5.5	31.43	8.00	5.57 × 10 <sup>-5</sup>	6.44 × 10 <sup>-5</sup>	弱透水
⑩ <sub>1</sub>	粉质粘土	4.0	20.3	24.27	0.68	0.60	12.5	14.40	23.00	4.05 × 10 <sup>-6</sup>	4.93 × 10 <sup>-6</sup>	微透水

## 3 基坑支护方案

### 3.1 围护方案优选

本深基坑工程主要具有以下特点:(1)基坑挖深约为 14.4 m,属于超深基坑,基坑侧壁安全等级为一级;(2)地质条件相对较差,属于软土地区;(3)

距离周边道路、地下管线及居民区建筑较近,施工场地受限制,对变形要求严格。

经过研究,根据本基坑的工程地质与水文地质条件,结合周边环境及基坑深度,SMW 工法<sup>[4]</sup>围护不适合该基坑,因此,围护结构有 3 种方式可以选择:CSM 工法、地下连续墙及钻孔灌注桩 + 三轴搅拌桩止水帷幕,其经济技术比较见表 2 所示。

表 2 围护结构经济技术比较表

工法	围护结构造价 /万元	支护结果变形计算 /mm	支护结构占地空间 /m	施工对环境的影响	施工速度	止水效果
CSM	983	28.5	0.8	较小	快	好
地下连续墙	1475	24.6	0.8	中等	较快	好
钻孔灌注桩 + 止水帷幕	1112	27.5	2.1	较大	慢	一般

对同一个深基坑而言,可选择的支护方案一般有多种,不同的方案都存在不同的优缺点。就深基坑而言,需要综合安全性、经济性以及可行性等多个方面进行考虑。从表 2 可以看出,地下连续墙的造价比较高,钻孔灌注桩 + 止水帷幕的方案占地空间较大,部分区域超出用地红线,而 CSM 方案,造价最低,计算变形满足要求,占地空间小,因此,最终选择 CSM 工法围护方案。

### 3.2 方案简介

本工程结合了工程结构形式及场地特点,在保证安全的前提下,突出了快(缩短工期)、省(节约造价)、易(方便施工)。基坑支护总体思路为:开挖深度 14.4 m,基坑挡土止水体系采用 800 mm 厚双轮铣水泥土深层搅拌墙内插 H700 × 300 × 13 × 24 mm 型钢,型钢间距 800 mm。双轮铣深层搅拌墙成墙深度为地表以下 27.3 m,型钢有效长度 24.0 m,3 道钢筋混凝土内支撑,如图 3 所示。

基坑围护体的计算采用规范推荐的竖向弹性地基梁法<sup>[5]</sup>,按水土合算,土的  $c$ 、 $\varphi$  值采用直剪快剪指标标准值,地面超载取 15 kPa。计算结果见表 3。

## 4 施工情况及效果

### 4.1 施工情况简介

华润紫阳里停车场项目于 2012 年 9 月初开始进场施工,整个工程共完成 138 幅 CSM 搅拌墙,墙有效长度 25.5 m,插入型钢 466 根,型钢长度 24 m,CSM 墙及型钢施工历经 45 天,2012 年 12 月初基坑开挖到底,地下结构已施工完毕并回填,型钢已回拔,型钢回收率 95.8%。施工过程中未发现渗漏情况,土方开挖及降水顺利进行,如图 4 所示。

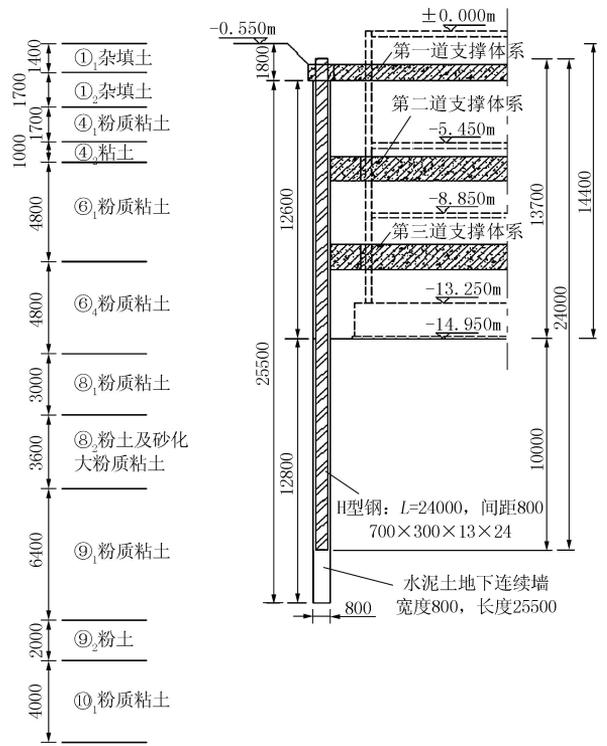


图 3 围护方案剖面图

表 3 基坑围护计算结果表

整体安全系数	抗倾覆安全系数	最大位移 /mm	最大设计弯矩 / (kN · m)
1.54	1.41	28.5	925.7



图 4 基坑开挖效果图

### 4.2 基坑监测结果

在施工期间对深基坑的桩顶的水平位移和周边道路沉降量进行了监测,监测结果如图 5、图 6 所示。

从图 5 及图 6 可以看出,深基坑开挖卸荷后,桩顶的水平位移不断的加大,最后趋于基本稳定状态,稳定后桩顶的最大水平位移为 27.5 mm,周边道路最大沉降值为 15.7 mm,均满足规范和保护环境的要求。

## 5 CSM 工法应用前景分析

鉴于双轮铣深搅工艺和设备的优势、特点,其可以很好的解决目前深基坑施工中存在的问题,极大的提高了地下工程施工的安全可靠性。根据国外的

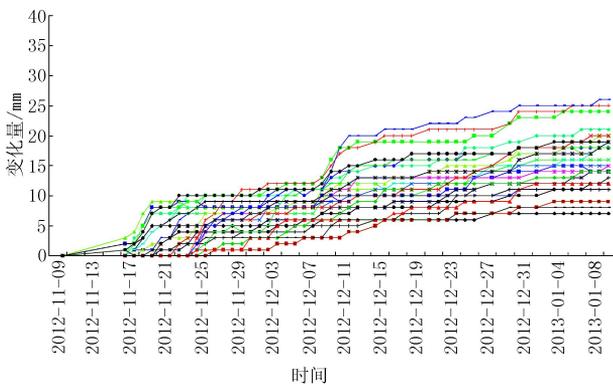


图5 桩顶位移曲线图

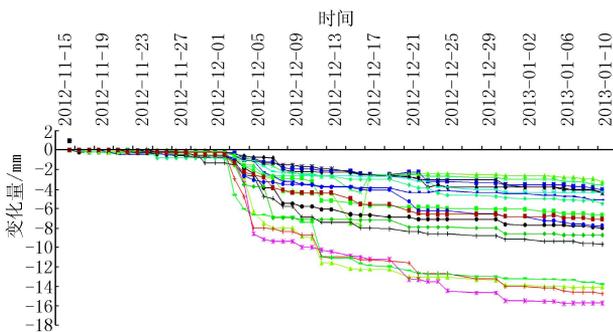


图6 周边道路沉降监测值

应用案例和国内目前地下工程的开发情况,该工艺在以下方面具有广泛的应用前景。

(1) 深度 > 14 m 超深基坑或城市中心周边环境复杂、保护要求较高的止水帷幕工程,因其可靠的接头处理方式和较高的垂直度,形成一种无缝的水泥土止水墙体,最大限度的避免了因地下水造成的安全和质量事故。

(2) CSM 工法 + H 型钢代替传统连续墙,基坑工程完成后,可以回拨 H 型钢重复利用,减少资源消耗,降低工程成本。

(3) 地下轨道交通工程的地铁车站、换乘站等的基坑支护工程挡土止水体系。

(4) 地下轨道交通工程盾构进出洞的加固,可以有效降低地铁盾构施工进出洞的风险。

(5) 水利工程的防渗墙,因该工法使用建筑材料水泥单一广泛,且施工深度较大,形成的墙体强度高,止水性能极佳,且可以有效节约资源,降低成本。

## 6 结语

(1) 通过CSM工法在华润紫阳里地下停车场项

目超深基坑中的成功实施表明:CSM 工法内插型钢,对周边环境影响小,有利于保护周边建筑及基础设施,施工泥浆易处理,有利于城市环保,墙体无缝搭接成墙效果好,工期快,占地小,造价相对较低,可代替传统地下连续墙工艺作为超深基坑的围护结构,安全可行,特别是结合天津软土地层的特点,CSM 工法作为一种新的工艺值得广泛应用和大力推广。

(2) CSM 工法相比其它围护结构具有很多优势,如设备行走施工便利、垂直精度高、削铣能力强、防渗效果好、功效高、占地小、环保等优点,对于目前天津地下空间的开发利用,是一种机遇、也是一种挑战。

(3) CSM 工法作围护结构与主体结构分离,主体结构侧墙可以施工外防水,与地下连续墙相比主体结构整体性及防水性能均较好,可降低后期围护成本。

(4) 在国际上,CSM 工法已经是一种很成熟的工艺,各发达国家在积极提升、推广该工艺的应用。在国内,天津地区在 CSM 工法的引进走在前列,作为防渗墙和挡土墙成功实施了十几个项目,取得了良好的效果。随着 CSM 工法理论的完善和施工的创新,CSM 工法凭借其独特的优势,在软土地区的地下空间资源开发中将发挥更大的作用。

## 参考文献:

- [1] 吴海艳,林森斌. CSM 工法在深基坑支护工程中的应用[J]. 路基工程,2013,(2):168-173.
- [2] 霍镜,朱进,胡正亮,等. 双轮铣深层搅拌水泥土地下连续墙(CSM 工法)应用探讨[J]. 岩土工程学报,2012,34(S1):666-670.
- [3] 毕元顺. 双轮铣深搅(CSM)工艺在基础工程中的应用[A]. 中国水利学会地基与基础工程专业委员会第十一次全国学术技术研讨会论文集[C]. 2011.
- [4] 张璞,柳荣华. SMW 工法在深基坑工程中的应用[J]. 岩土工程界,2008,12(2):75-77.
- [5] JGJ 120-2012,建筑基坑支护技术规程[S].
- [6] 储长付,罗传华,赵安民. 拉森钢板桩在铜陵地区基坑支护中的运用实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(4):51-55.
- [7] 柳孝荣,罗兴. CMW 工法在隧道基坑支护工程中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(3):60-62.
- [8] 姜立峰,王宁,徐连宝. SMW 工法在天津空客 A320 总装线项目基坑支护中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(2):43-44,47.