

# 高压旋喷桩内插预应力钢筋混凝土方桩 围护体系的设计与施工

张习上<sup>1</sup>, 赵卫政<sup>2</sup>, 张迎堂<sup>3</sup>

(1. 安徽岩土工程有限责任公司上海分公司, 上海 200122; 2. 江苏兴厦建筑安装有限公司上海分公司, 上海 200237; 3. 中交第二航务工程局第三工程有限公司, 江苏 镇江 213000)

**摘要:**在充分分析比较传统深基坑围护体系优劣的基础上, 将高压旋喷止水帷幕与预应力钢筋混凝土方桩相结合, 设计创新出一种新型的围护体系, 且将之运用于工程实例中, 大大降低了工程成本, 创造了巨大的经济效益。

**关键词:**深基坑围护体系; 内撑式围护体系; 高压旋喷桩; 振插预应力钢筋混凝土方桩; 止水帷幕; 挡土止水体系

**中图分类号:** TU473.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2013)06-0061-04

**Design and Construction of High-pressure Rotary Jet Grouting Pile Embedded with Pre-stressed Reinforced Concrete Squared Pile Enclosure System/ZHANG Xi-shang<sup>1</sup>, ZHAO Wei-zheng<sup>2</sup>, ZHANG Ying-tang<sup>3</sup>** (1. Anhui Geotechnical Engineering Co., Ltd., Shanghai Branch, Shanghai 200122, China; 2. Jiangsu Xingsha Construction Installation Co., Ltd., Shanghai Branch, Shanghai 200237, China; 3. China Communications 2nd Navigation Bureau 3rd Engineering Co., Ltd., Zhenjiang Jiangsu 213000, China)

**Abstract:** Based on the analysis and comparison of advantages and disadvantages of traditional deep foundation pit enclosure systems, a new enclosure system was created by combining high-pressure jet grouting curtain with pre-stressed reinforced concrete square pile, which was applied in the projects, and the construction cost was greatly reduced with huge economic benefits.

**Key words:** deep foundation pit enclosure system; internal-shoring retaining structure; high-pressure rotary jet grouting pile; embedding pre-stressed reinforced concrete square pile by vibration; water-proof curtain; soil and water retaining system

目前, 随着我国城市化发展建设进程的节奏大大加快, 大规模工程建设项目日益增多。由于现代城区建筑物相当密集, 市区内空闲土地面积缩减殆尽, 开发商不得不动足脑筋力求最大限度地开发利用地下空间, 随之而来的是各种深基坑开挖项目的大量上马, 且基坑深度不断向纵深发展, 因此对现今的基坑围护设计水平提出了更高的要求。

深基坑开挖过程中要求围护体系能够限制住周围土体的变形, 确保不会对邻近的建筑物、构筑物及周边地下管线产生危害。如若发生漏水事故, 将会造成不可估量的严重后果, 对周边居民和施工人员造成的人身伤害以及事故产生的经济损失都是巨大而惨痛的。上海地铁四号线南浦大桥车站盾构漏水事故、莲花路基坑违规开挖倒房事故等等都是活生生的教训。如何保证深基坑开挖过程中的安全、高效、经济且环保, 是当今乃至未来社会始终不容忽视的一大课题。

## 1 传统深基坑围护体系

目前上海等含水量较大的软土地区深基坑围护体系(本文所指深基坑特指开挖深度 10 m 以上的基坑)多采用内撑式围护结构, 内撑式围护结构由围护结构体系(挡土止水体系)和内撑体系 2 部分组成。围护结构体系又多采用钢筋混凝土灌注桩排桩挡土结合三轴(双轴)水泥土搅拌桩或高压旋喷桩止水、地下连续墙、SMW 工法加劲水泥土搅拌桩挡墙等形式。

### 1.1 钢筋混凝土灌注桩排桩挡土结合三轴(双轴)水泥搅拌桩或高压旋喷桩止水

灌注桩与三轴(双轴)搅拌桩或高压旋喷桩组合形成的围护结构体系, 能有效防止水泥土止水帷幕产生过大的变形和倾覆, 充分发挥灌注桩的挡土效果和水泥土桩的止水作用。在深基坑围护中采用钢筋混凝土灌注桩形成排桩式挡土墙, 早在 20 世纪 70 年代就开始在全国各地得到广泛应用。灌注桩作为支

收稿日期: 2013-03-26

**作者简介:**张习上(1980-), 男(汉族), 安徽人, 安徽岩土工程有限责任公司上海分公司副总经理、工程师, 法律、土木工程专业, 从事地基基础工程施工管理工作, 上海市东方路 738 号裕安大厦 704 室, ahytzxs@163.com; 赵卫政(1979-), 男(汉族), 江苏人, 江苏兴厦建筑安装有限公司上海分公司技术部经理、工程师, 土木工程专业, 从事建筑工程施工管理工作, 上海市龙川北路 436 弄 14 号 103 室。

护结构刚度较大,抗弯能力强,变形相对较小,挡土止水效果较好。施工过程中无震动,对周边建筑物、地下管线不会造成危害,但造价较高,现场湿作业多,施工速度较慢,且施工后需要养护,工期较长。

## 1.2 地下连续墙

地下连续墙技术起源于欧洲,1950年最先在意大利工程中应用,1959年日本引进此项技术,之后各国相继引用,我国也已引进20多年,现已经成为全世界各国深基坑施工的一种重要技术手段。该技术通过专用的成槽设备,沿着地下建筑物或构筑物的周边,按设计图示位置,开挖出具有一定宽度与深度的沟槽,用泥浆进行护壁,之后在槽内安放具有一定刚度的钢筋笼结构,再用导管水下灌注混凝土,分段施工,采用特殊方法进行接头,使之地下形成连续的钢筋混凝土墙体,能够同时起到挡土和截水的效果。

地下连续墙施工技术具有相当多的优点,如刚度大、整体性好,安全可靠,能够承受较大的水、土压力;在城市密集建筑群中施工,对相邻建筑和地下设施影响很小,且能贴近已建的建筑物施工,最小的距离可控制在1m左右;施工时振动小、噪声低,对邻近地基扰动少。但墙体接头技术处理较难,易发生渗水事故,施工中应加强接头施工的技术监控。同时地下连续墙技术工程造价偏高,选用时应进行充分的技术经济论证。

## 1.3 SMW工法加劲水泥土搅拌桩挡墙

SMW工法属于加劲水泥土搅拌桩挡墙,采用H型钢作为劲性材料,起源于日本。在水泥土桩中插入型钢形成加劲水泥土墙,不仅能大大提高墙体的抗弯与抗剪能力,而且墙体连续性好,抗渗能力强,对周围环境挤土作用也较小。与混凝土灌注桩、地下连续墙等围护结构相比较,无需进行泥浆处理,工艺简单,操作方便且无污染,目前也已得到广泛应用。但工法施工设备庞大,对施工场地要求较高,对施工场地的处理成本因此较高,且如深基坑开挖时间长会产生较高的型钢租赁费用。造价虽较地下连续墙有所降低,但仍然算不上最经济的围护形式。

以上几种传统的围护体系各有优劣,他们共同的缺点是工程造价偏高。为了有效地降低工程成本,笔者设计了一种新型的加劲水泥土挡墙围护体系,即选用成墙质量好、适用土层广的三重管高压旋喷注浆法作为止水帷幕,结合插入预应力钢筋混凝土方桩,形成一种新型的围护体系,相比较传统的围护体系而言更加经济。且施工设备轻便,施工速度快,稳定性高,造价较低,具有较好的耐久性和良好

的止水效果,且施工对周围土体扰动较小,市区内施工具有相当大的适用性。

## 2 高压旋喷桩内插预应力钢筋混凝土方桩施工工艺方法

高压旋喷桩施工设备简单轻便,噪声和振动小,施工速度快,机械化程度高,成本低,用途广。施工中借助高压浆液的水平射流不断切削土层并与切削下来的土体充分搅拌混合,最后在喷射力的有效射程范围内,形成一个由圆盘状混合物连续堆积成的圆柱状凝结桩体,连续搭接作业施工在地下形成封闭的止水帷幕,具有相当好的止水效果。同时采用内插预应力钢筋混凝土方桩作为加劲材料,显著提高墙体的刚度,达到止水和挡土合一的目的。

### 2.1 工艺简介

#### 2.1.1 三重管高压旋喷注浆法

高压旋喷注浆法适用土层较广,适用于淤泥、淤泥质土、砂土、粉土、粘性土、湿陷性黄土、人工填土及碎石土等土层。喷浆时钻杆一边缓慢旋转、一边徐徐提升、一边喷射水、气、浆在地基中旋喷形成直径较大、强度较高的圆柱状加固体,成桩最大深度可达40m,桩与桩搭接施工即可形成连续且完整的止水帷幕,三重管高压旋喷喷射流由高压水喷射流与其外部的压缩空气流组成,共同作用下破碎土体,可在地基中造成较大的空隙,有利于浆液填充。

高压旋喷桩施工操作注意要点:(1)施工前要进行场地平整,做好钻机定位,围护桩施工偏差 $\geq 2$ cm。要求钻机安放平稳保持水平,钻机必须保证垂直施工,钻孔的倾斜度 $\geq 1.5\%$ 。(2)检查高压设备和管路系统,其压力和流量必须满足设计要求。注浆管及喷嘴内不得有任何杂物,保持通畅。注浆管接头及各部位的密封圈必须良好。(3)施工前应作高压水射水试验,合格后方可喷射浆液。(4)在插管和喷射过程中,要注意防止喷嘴被堵,在拆卸或安装注浆管时动作要快。水、气、浆的压力和流量必须符合设计值,否则要拔管清洗再重新进行插管和旋喷。使用喷嘴时,若一个喷嘴被堵,则可采取复喷方法继续施工。(5)喷射时,要做好压力、流量和冒浆量的量测工作,并按要求逐项记录。钻杆的旋转和提升必须连续不中断。(6)深层喷射时,应先喷浆后旋转和提升,以防注浆管扭断。(7)搅拌水泥时,水灰比要求严格按照设计规定,不得随意更改,在喷浆过程中应防止水泥浆沉淀,使浓度降低。禁止使用受潮或过期的水泥。(8)施工完毕,立即拔出注

浆管彻底清洗浆管和注浆泵,各管路内不得有残余浆液和其他杂物。

高压旋喷桩施工 10 根桩左右即可让出一定的施工作业面,振插预应力钢筋混凝土方桩紧随其后,在旋喷桩水泥初凝前必须开始施工,以确保因沉桩困难硬性施工而影响止水帷幕的止水效果。

### 2.1.2 振插预应力钢筋混凝土方桩

预制钢筋混凝土方桩,普遍运用于桩基础工程,具有施工快捷、无污染、现场文明施工效果好等特点,且造价较低,仅为灌注桩的 50% ~ 60%,桩侧摩阻力大,强度较高,工厂预制桩时通过预应力筋对桩身施加预应力可使桩身具有较强的抗弯、抗剪能力,将其作为劲性材料用于围护体系中,可有效增强围护墙体的刚度及稳定性,起到很好的挡土作用。

预制方桩施工方法有静压法、锤击桩和振动沉桩法等。因围护施工作业面要求,且振动施工可增加旋喷桩止水帷幕水泥土的均匀性,故采用振动沉桩法施工。振动沉桩与锤击沉桩方法基本相同,不同的是用振动锤代替桩锤。操作时,桩机就位后吊起桩振动锤,使液压夹桩器夹紧桩头将桩吊起对正至设计桩位,便可启动振动锤进行沉桩至设计要求深度。沉桩宜连续进行,且必须在旋喷桩水泥初凝前施工,以防时间过久而难于沉入。一般控制最后 3 次振动,每次 10 或 5 s,测出每分钟的平均贯入度,不大于设计的数值即符合要求。围护桩以沉桩深度达到设计标高为度。

振动沉桩施工注意事项:(1)夹桩器必须夹紧桩头,以免滑动,否则会影响沉桩效率,损坏机具,同时也不安全;(2)振动锤和桩纵轴必须在同一垂直线上,保证桩身垂直度偏差  $\geq 0.5\%$ 。

### 2.2 设计实例

上海市青浦某工程,基坑面积 2300 m<sup>2</sup>,周长 200 m。2 层地下车库,开挖深度 8.7 m,局部落深坑达 10.1 m。拟建建筑物基坑西边距西侧河道最小距离仅 3 m 左右,距东侧住宅楼最小距离仅 6 m 左右,拟建场区南侧道路分布有地下管线,且基坑边距地下管线最近处约 8.0 m。因场地周边的复杂性,基坑围护设计的深度和宽度均须满足抗倾覆、抗滑移、抗渗透及整体稳定等要求。为了最大限度地减少施工对周边居民生活的影响,同时达到较好的止水效果,还要考虑降低挤土以避免对地下管线造成破坏,设计拟采用施工噪声较轻、挤土效应较小、止水效果较好的钻孔灌注桩挡土结合三轴水土搅拌桩止水加内支撑的传统围护体系。

施工前通过对工程地质勘察报告的研究发现,施工场地上部 5 m 范围为杂填土,有大量石块及建筑垃圾等障碍物,且相当密集,对围护工程的施工有着很大的影响。故需在施工前对场地进行翻土清障处理。因清障工作量较大,对原场地地基土进行了扰动,土体密实性受到了很大影响,若想继续施工三轴搅拌桩势必需先对扰动后土体进行压实后再铺设道渣及混凝土加固场地后才行,否则大型的三轴搅拌桩机无法安全施工。建设单位因清障已耗费了大量资金,为了降低建设成本,希望设计和施工单位能在围护体系上作适当调整,以便降低施工费用。

考虑基坑的整体安全性,不能降低原设计方案的挡土和止水效果,笔者建议保持原设计方案内撑体系不变,选择施工便捷的高压旋喷桩作为止水帷幕,内插预应力钢筋混凝土方桩劲性材料挡土,不但能够达到原设计方案同样的效果,更能在施工工艺方面为建设单位节约相当大的成本。

变更前后的平面及剖面如图 1 ~ 4 所示(取南部近道路一侧 10 m 范围)。

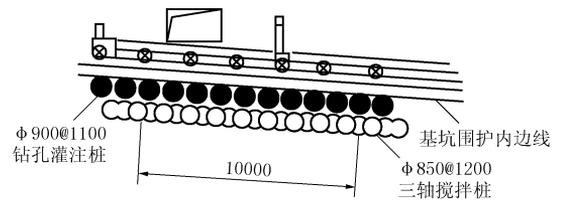


图 1 变更前的平面图

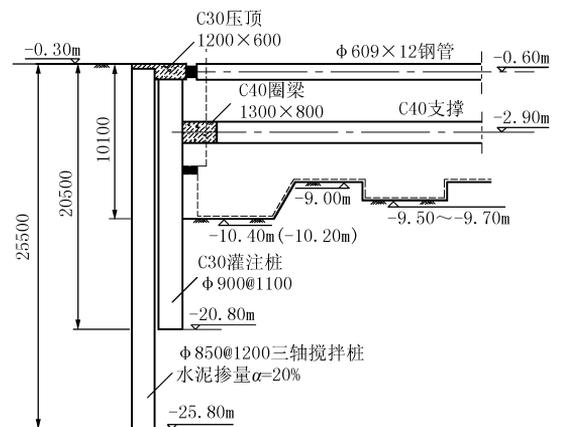


图 2 变更前剖面图

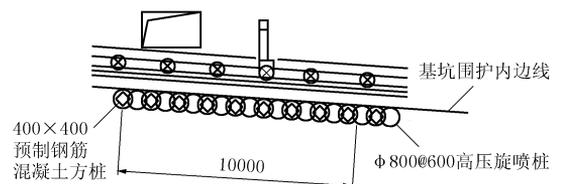


图 3 变更后的平面图

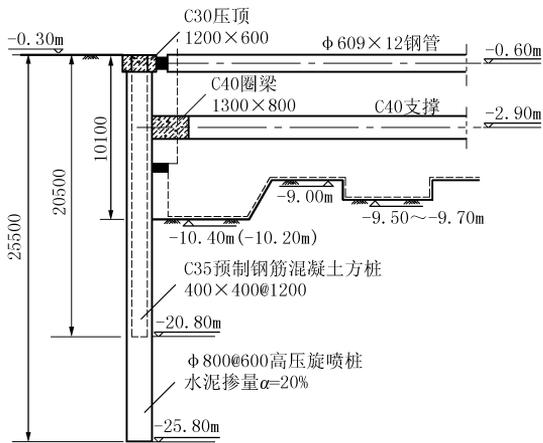


图4 变更后的剖面图

### 2.3 技术经济效果分析

表1 原设计与新设计方案经济效果对比

围护形式		桩长 /m	桩数/[根· (10延米) <sup>-1</sup> ]	工程量 /m <sup>3</sup>	单价 /元	合价 /元	单价/[元· (延米) <sup>-1</sup> ]
原设计方案	钻孔灌注桩结合 三轴搅拌桩	Ø900 mm 钻孔灌注桩	20.5	10	130.35	1200	156420
		三轴搅拌桩	25.5	8.3	218.21	230	50188
新设计方案	高压旋喷桩结合 插方桩	400 mm × 400 mm 预制方桩	20.5	8.3	27.22	1500	40830
		Ø800 mm 高压旋喷桩	25.5	16.67	213.56	280	59797

### 3 与其他两种围护体系的经济效果对比

笔者在设计过程中,除了将新型围护与原围护

#### 2.3.1 技术效果

实践证明,高压旋喷桩内插预应力方桩围护体系在上述工程中应用十分成功,确保了基坑安全顺利地开挖施工,在技术上非常可行。

#### 2.3.2 经济效果

笔者将新型围护体系与原设计方案进行了经济对比,详细参数见表1。

通过表1可以看出,新的围护设计方案比原设计方案每延米节约费用1万多元,整个基坑周长200余延米,直接节约成本200多万元,加上2种工艺的施工设备轻便所节省的场地处理费用,总计降低了成本近300万元,给建设单位带来了巨大的经济效益。

设计进行了对比外,还同时与其他两种传统围护体系作了比较,见表2所示。

表2 新设计方案与传统围护体系经济效果对比

围护形式		桩长 /m	桩数/[根· (10延米) <sup>-1</sup> ]	工程量	单价 /元	合价 /元	单价/[元· (延米) <sup>-1</sup> ]
高压旋喷桩结合 插方桩	400 mm × 400 mm 预制方桩	20.5	8.3	27.22 m <sup>3</sup>	1500	40830	10063
	Ø800 高压旋喷桩	25.5	16.67	213.56 m <sup>3</sup>	280	59797	10063
SMW 工法	三轴搅拌桩	25.5	8.3	218.21 m <sup>3</sup>	230	50188	14463
	插 H 型钢(考虑买断回收)	20.5	8.3	31.48 t	3000	94440	14463
地下连续墙	800 mm 厚	25.5	/	204 m <sup>3</sup>	1500	306000	30600

很明显,高压旋喷桩内插预应力钢筋混凝土方桩围护体系除了具备2种施工工艺本身的一系列优点外,在经济性方面也更胜于其他几种常用的传统基坑围护体系。

### 4 结语

设计和施工实例表明,高压旋喷桩内插预应力钢筋混凝土方桩围护体系在软土地基中完全可以发挥其良好的挡土止水效果。这种新型的围护体系有效降低了建设成本,同时满足了基坑围护施工安全、高效、经济且环保的要求,可在今后的建设项目中进行推广。

### 参考文献:

- [1] 徐洪球,姚燕明. 小型预制桩用于 SMW 工法基坑围护结构的计算分析[J]. 工程建设与设计,2003,(6).
- [2] 吴水根,康殿丙,先张预制抗拔方桩应用研究及技术经济分析[J]. 结构工程师,2009,(4).
- [3] 04G361, 预制钢筋混凝土方桩[S].
- [4] GB 50007-2002, 建筑地基基础设计规范[S].
- [5] 曾国熙,等. 桩基工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
- [6] 龚晓南,等. 深基坑工程设计施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [7] 刘作昌,高立明,杨辉廷,等. 新泰盛世佳苑摆喷帷幕止水与桩锚支护应用实例[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(5): 39-41.
- [8] 贺启鑫,张智博,季玉国,等. 大连临海超大深基坑旋喷桩止水帷幕施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(12): 54-57.