

二次注浆复合土钉墙在超深基坑支护中的应用

赵慎中, 宋珪, 江建华

(江西省地质工程(集团)公司, 江西 南昌 330029)

摘要:结合无锡地区典型的软土深基坑土钉墙支护工程实例, 简要介绍了超深基坑中二次注浆复合土钉支护技术的应用及施工控制; 并通过具体试验及监测结果, 就二次注浆土钉的承载力情况及二次注浆土钉墙施工过程中支护结构的沉降、水平位移情况进行了分析总结, 对其经济性进行了分析评价。

关键词:二次注浆; 复合土钉墙; 基坑支护; 超深基坑

中图分类号: TU473.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2012)11-0051-03

Application of Secondary Grouting Composite Soil Nailing Wall in Deep Foundation Pit Bracing/ZHAO Shen-zhong, SONG Gui, JIANG Jian-hua (Jiangxi Geoenvironmental Engineering (Group) Corporation, Nanchang Jiangxi 330029, China)

Abstract: Based on the typical deep foundation pit bracing project in soft soil in Wuxi, the application of secondary grouting soil nailed wall for deep foundation pit bracing and construction control were introduced. The bearing capacity of secondary grouting soil nail and settlement & displacement of bracing structure during construction were summed up to analyze and evaluate the economic with the special experiments and monitoring results. It shows that the secondary grouting soil nailed wall is an economical, fast and safe bracing method which can greatly increase the bearing capacity and has no unfavorable influences on the bracing structures.

Key words: secondary grouting; composite soil nailed wall; foundation pit bracing; ultra-deep foundation pit

复合土钉墙因其造价低、施工便捷、便于在施工过程中调整设计等突出优点, 在软土浅基坑($H \leq 7$ m)工程得到了广泛应用。但是由于软土的高含水量、高孔隙比、高压缩性和低承载力的特点, 造成传统的土钉承载力较低, 基坑围护存在很大的风险性, 鲜见在超深($H \geq 15$ m)基坑工程中的应用。通过用一定的技术措施改善土钉墙承载力, 从而安全应用于深基坑支护工程施工, 既可以大幅度的节约工程成本, 降低工程造价, 又能缩短工程工期。

土钉是靠注入的水泥浆液固化后与土体以及钉体之间的摩擦力作用于土体, 潜在滑裂面前的土体在土钉拉结作用下形成整体, 通过土钉末端加筋区域土体的侧压力, 阻止整体的侧向位移, 保证整体稳定性。二次注浆土钉是在一次注浆初凝后, 通过预留的注浆管, 利用压力压入水泥浆液, 加大水泥浆液固化体与土体以及钉体之间的摩擦力, 达到提高土钉承载力的效果。本文结合工程实例, 就二次注浆土钉的施工、施工中对周边土体的影响以及其经济性进行分析比较。

1 工程背景

1.1 工程简况

收稿日期: 2012-06-07

作者简介: 赵慎中(1953-), 男(汉族), 上海人, 江西省地质工程(集团)公司高级工程师, 岩土工程专业, 从事岩土工程工作, 上海市武威路88弄20号6楼(200331)。

无锡市某58层商业大厦, 建筑物高度208.8 m。其基坑呈缺角矩形, 东西长约115 m, 南北宽约130 m, 基坑占地面积约为12000 m², 主楼基坑开挖深度16.9 m, 是目前无锡市第一深基坑。

1.2 工程地质条件

基坑开挖范围内土层性能参数见表1。

表1 基坑开挖范围内土层性能参数

土层 序号	名称	厚 固快标准值		水平基床 系数/(kN· m ⁻³)	重度 /(MN· m ⁻³)	渗透系数 /(10 ⁻⁶ cm·s ⁻¹)		
		度 /m	φ /(°)			K_v	K_h	
②	粉质粘土	4.6	37.2	18.4	45	19.9	0.41	0.12
③	粉质粘土	2.3	29.5	22.0	32	19.7	5	10
④ _a	粘质粉土	3.5	11.9	25.6	28	19.1	100	200
④	粘质粉土	0.5	14.3	22.4	18	19.2	6.76	14.4

1.3 基坑支护方案选择

根据工程地质条件, 初步设计为3套方案比较选择。

方案一: 采用 $\varnothing 900$ mm 钻孔灌注桩方案, 三轴 $\varnothing 850$ mm 水泥搅拌桩止水, 3道钢筋混凝土支撑。此方案为常规做法, 造价高, 浅部施工周期短, 但下部2道支撑土方施工周期长。

方案二: 7.2 m 以浅采用普通复合土钉, 深部采用 $\varnothing 900$ mm 钻孔灌注桩方案, 三轴 $\varnothing 850$ mm 水泥

搅拌桩止水,2道钢筋混凝土支撑。此方案造价较低,浅部土钉施工周期长,但下部2道支撑土方施工周期短;土钉将借用控制红线外空间。

方案三:7.2 m以浅采用二次注浆复合土钉墙,深部采用 $\text{Ø}900$ mm 钻孔灌注桩方案,三轴 $\text{Ø}850$ mm 水泥搅拌桩止水,1道钢筋混凝土支撑。此方案造价低,由于只有1道钢筋混凝土支撑,大大减少了工期和造价。

综合考虑土钉出控制红线的成本、施工工期和工程造价,推荐采用方案三。

2 基坑支护方案

经方案对比分析,通过设计计算,本基坑浅层7.2 m 范围内采用二次注浆复合土钉墙支护,土钉长度9~15 m。深层7.2 m 以下采用 $\text{Ø}900@1100$ mm 钻孔灌注桩排桩形式作为围护墙,1道钢筋混凝土支撑。详情见图1。

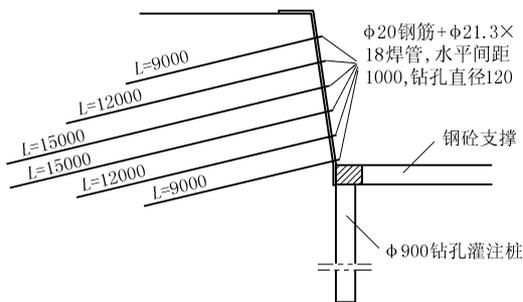


图1 复合土钉墙设计示意图

基坑5 m 以深采用 $\text{Ø}850$ mm 三轴水泥土搅拌桩作为止水帷幕。

3 二次注浆复合土钉墙应用

3.1 土钉墙施工工艺流程

定位放线→成孔→锚杆制作安装→编钢筋网片→焊接加强筋→配制砼→砼及浆体养护→喷射面层砼→配置注浆浆液→一次注浆→二次注浆→开挖下一层→循环上述施工至设计底标高。

3.2 定位放线

按设计图纸由测量人员确定每个土钉的位置后,打入 $\text{Ø}8$ mm × 300 mm 钢筋做标记,以便在成孔时准确定位,定位允许误差为 ± 100 mm。

3.3 土钉制作

土钉材料采用 $\text{Ø}20$ mm 钢筋加 $\text{Ø}21.3$ mm 焊管制作,钢筋每隔2 m 设置一道定位支架,定位支架采用 $\text{Ø}6.5$ mm 钢筋制作,每道设置3个均匀分布在锚杆四周。 $\text{Ø}21.3$ mm 焊管兼作二次注浆管使用,沿

焊管圆周开设注浆孔,孔径5~10 mm,梅花型布置,孔距为350 mm,在焊管头部6 m 范围内设注浆孔,采用橡胶圈单向阀,并与钢筋安装牢固。

3.4 土钉安装

土钉安装时,先采用回转钻机成孔,成孔直径120 mm,成孔倾角 12° ,成孔深度不小于设计深度。成孔后采用空压机高压气体进行清孔,将孔内泥渣排除干净后,将锚杆安放至设计深度。

3.5 扎钢筋网及焊拉接筋

采用 $\text{Ø}6.5@200$ mm 钢筋双向编扎钢筋网,土钉头部用2 $\text{Ø}12$ mm 螺纹钢井字压在钢筋网上。土钉与井字短钢筋、井字短钢筋与钢筋网之间均焊接连接。网格允许误差 ± 10 mm,钢筋网铺设时每边的搭接长度不小于一个网格长度或200 mm。

如地下水较丰富时,可在喷射混凝土坡面上安装PVC管(毛竹亦可)泄水,长250 mm 左右,上下左右间距2 m 分布,向下倾角约 30° ,并用软胶管联接集中排水,以减小地下水对混凝土面层的压力。

3.6 一次注浆

注浆时将注浆管插入孔底,边注浆边拔注浆管直至注满,孔口采用止浆塞(水泥袋纸)封堵,防止浆液外流,注浆压力控制在0.4~0.8 MPa 之间。

3.7 二次注浆

待一次注浆初凝后(约45 min),采用焊管进行二次注浆,二次注浆压力原则上不小于1.5 MPa,实际操作时以地面无隆起来控制。

4 施工实测效果分析

为检验二次注浆施工效果,采用土钉拉拔试验对土钉的抗拔力进行了测试。

相同条件下,在同一断面自上往下,不同层面中分别采用一次注浆和二次注浆打设2组土钉,养护7天后对土钉进行拉拔试验,试验方法如图2。上海市民防地基勘察院测试的土钉拉拔试验结果与设计计算对比如表2。

试验结果表明,同等土层条件下,二次注浆土钉



图2 土钉抗拔力测试方法

表2 土钉参数及拉拔试验结果统计表

土钉 编号	土层 层序	深度 /m	长度 /m	倾角 /(°)	直径 /mm	设计承 载力/kN	抗拔力试验结果/kN	
							一次注浆	二次注浆
1	②	2.2	9	12	150	28	55	123
2	②	3.4	12	12	150	55	73	135
3	③	4.6	15	12	150	75	90	167
4	④	5.8	15	12	150	94	95	173

抗拔力明显高于一次注浆土钉抗拔力;不同土层中,土体力学指标越高,二次注浆对土钉抗拔力的提高程度越明显。

表3 二次注浆土钉施工对竖直上方土体位移影响监测结果

位移	层序	深度 /m	s_1 /mm				s_2 /mm				s_3 /mm			
			24 h	48 h	72 h	累计	24 h	48 h	72 h	累计	24 h	48 h	72 h	累计
沉降	1	1.0	+1.54	+1.00	-2.47	+0.07	+1.60	+1.31	-1.82	+1.09	+0.92	+0.58	-2.41	-0.91
	2	2.2	+3.81	-1.33	-1.43	+1.05	+2.47	-1.40	-1.39	-0.32	+2.35	-0.77	-2.08	-0.50
	3	3.4	+1.65	-1.17	-0.43	+0.05	+1.77	-0.33	-1.07	+0.37	+1.54	-1.09	-0.46	-0.01
	4	4.6	+0.64	-0.77	-0.03	-0.16	+0.95	-0.45	-0.15	+0.35	+1.36	-0.33	-0.94	+0.09
水平	1	1.0	+1	+1	0	+2	-1	+1	-2	-2	-2	+1	0	-1
	2	2.2	0	+1	0	+1	0	0	-1	-1	+1	-1	0	0
	3	3.4	+2	-1	0	+1	0	-1	0	-1	+1	0	0	+1
	4	4.6	-1	+1	+1	+1	+1	0	0	+1	0	+1	-1	0

注:沉降位移正值代表抬升,负值代表沉降;水平位移正值代表向基坑内位移,负值代表向基坑外位移。

沉降位移监测数据显示,二次注浆后,土体出现微小的隆起,在48~72 h之间呈恢复原状趋势,72 h后基本恢复原状。由此判断,土体的抬升可以视为在瞬时压力作用下出现弹性变形,待压力释放后,土体恢复原状,对土体变形无不利影响。

水平位移监测数据显示,土钉施工过程中,土体没用明显有规律的位移趋势,考虑监测数据的误差,认为土钉注浆施工对土体水平位移没有明显影响。

6 经济效益分析

将初步设计的3套方案经济性进行对比,方案一成本最高,最不经济。再将方案二与方案三进行对比如下。

根据施工工艺,二次注浆土钉比普通土钉增加二次注浆管和二次注浆量,其施工成本增加约占30%,根据市场价格,土钉墙的综合单价约为420元/m²,本基坑周长422 m,土钉墙面积约为3200 m²,二次注浆复合土钉增加费用为:420×3200×30%=403200元。本基坑面积为12000 m²,按照一般设计,钢筋混凝土支撑工程量<1500 m³,根据市场价格,钢筋混凝土支撑综合单价约为1200元/m³,增加一道支撑的费用:1500×1200=1800000元。很显然,方案三在经济上明显优于方案二。

另外,二次注浆复合土钉施工工期基本同于普

5 土钉施工对基坑周边土体的影响

考虑到二次注浆压力远大于一次土钉注浆压力,为防止二次注浆对基坑安全造成不利影响,在土钉墙施工中,为反映土钉周围土体的变形位移,我们选取基坑最大位移点,即基坑长边中点位置进行位移监测。分别在基坑3条长边的中点断面上不同深度土钉注浆后24、48、72 h时对土钉竖直上方的土体进行了水平位移与沉降位移的监测,上海市民防地基勘察院所测的监测结果见表3。

通土钉墙,而方案二增加一道支撑,必然增加工程工期,方案三在工期上也优于方案二。

7 结语

(1)二次注浆复合土钉墙在超深基坑中应用是可行的,在大面积、深基坑施工中合理选用二次注浆复合土钉墙技术可有效降低施工成本,缩短施工工期。

(2)二次注浆可通过增加部分注浆量大幅度提高复合土钉的抗拔承载力,不同土层中,土体力学指标越高,二次注浆对土钉抗拔力的提高程度越明显。

(3)浅层土体特别是杂填土采用二次注浆会在24~48 h内使其上方土体微小隆起,在72 h后基本恢复原状;对边坡土体沉降无不利影响,对基坑水平位移无明显影响。

参考文献:

- [1] 秦四清. 土钉支护机理与优化设计[M]. 北京:地质出版社, 1999.
- [2] 严文武. 基坑支护的技术经济分析[J]. 建筑经济, 2000, (4).
- [3] 杨生彬, 刘志伟. 深基坑复合支护技术三维数值模拟研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(11).
- [4] 张强勇, 向文. 复合土钉墙支护模型及在深大基坑工程中的应用[J]. 岩土力学, 2007, (10).
- [5] 程效勇. 复合土钉技术在深基坑中的应用[J]. 土工基础, 2006, (3).