

长螺旋旋喷搅拌水泥石帷幕桩及其应用

何世鸣, 李江, 孙根岩, 贾城, 杨敏, 杜高恒, 黄鑫峰

(北京建材地质工程公司, 北京 100102)

摘要:介绍了一种新的专利技术——长螺旋旋喷搅拌水泥石帷幕桩, 尤其适用于北京等硬土地区在已施护坡桩之间做帷幕, 克服砂卵石等硬地层, 比其它方法在技术可靠、施工高效、安全文明、经济环保 4 方面有明显优势。同时介绍了该技术在北京大学留学生公寓楼基坑工程中的应用, 确保了西侧 5 栋高教住宅楼的安全和正常使用。

关键词:长螺旋旋喷搅拌桩; 止(隔)水帷幕; 深基坑支护; 帷幕施工

中图分类号:TU473.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2008)08-0031-05

Introduction of Long Auger Rotary-jet Mixing Soil-cement Curtain Pile and the Application/He Shi-ming, Li Jiang, SUN Gen-yan, JIA Cheng, YANG Min, DU Gao-heng, HUAN Xin-feng (Beijing Building Material Geological Engineering Company, Beijing 100102, China)

Abstract: A new patent technology of long auger rotary-jet mixing soil-cement curtain pile was introduced, which was especially applicable to the curtain between slope protection piles in stiff clay with advantages of the reliable technology, high construction efficiency, safety, economy and environmental protection. The application case of a foundation pit engineering of foreign students' dorm in Peking University was presented.

Key words: long auger rotary-jet mixing pile; water-proof curtain; deep foundation pit support; curtain construction

0 前言

水泥石帷幕桩由于其施工简便、成本低廉, 而被广泛应用于地基处理、基坑支护及止水帷幕桩等领域, 但搅拌桩在现有设备条件下施工较硬土层, 受到极大限制。单纯旋喷桩, 在现有设备条件下施工较硬土层, 同样受到这样或那样的限制。例如某工程采用了在每两根钢筋混凝土护坡桩(桩中心间距 1.6 m)之间设置 2 根直径 600 mm 的单管旋喷水泥石帷幕桩, 基坑开挖后, 观测止水效果并不理想, 而且个别旋喷水泥石帷幕桩垂直度也未能达到设计要求。为此, 人们开始积极地改进方法, 采用复合的方式解决问题便应运而生。

公开号 CN1078519 专利公开的“钻孔注浆成桩法及钻具旋喷装置”(92106176.5)采用了在长螺旋钻具上设置旋喷装置的方法, 扩大了旋喷和长螺旋两种工艺的适用范围。

公开号 CN2223653 专利公开的“喷搅注浆处理地基装置”(95216200.8), 提供了一种用深层搅拌法和高压喷射法相结合的喷浆处理地基装置, 以达到增大地基面积、增大承载力的目的。

公开号 CN1504613 专利公开的“防水桩挡墙的成型方法及其使用的螺旋钻机”(02153752.6), 其

防水桩挡墙的成型方法, 包括以下步骤: (1) 用螺旋钻机钻孔, 钻到设计的旋喷深度时, 开动泥浆泵, 调整水泥浆喷嘴的喷射压力和螺旋钻钻杆的钻进速度, 使水泥浆喷嘴旋喷水泥浆, 形成扩孔护壁; (2) 待钻孔达到设计的钻孔深度时, 使钻杆停止转动, 此时一边提升钻杆, 一边压灌混凝土, 混凝土压灌到设计高度时, 形成混凝土桩; (3) 根据设计的需要按上述步骤依次成桩, 形成防水挡墙。

另一种防水桩挡墙的成型方法, 其包括以下步骤: (1) 用螺旋钻机钻孔; (2) 待钻孔达到设计的钻孔深度时, 使钻具停止转动, 调整喷嘴的方向、钻具的提升速度和喷嘴压力, 此时一边提升钻具, 一边压灌混凝土, 同时定喷水泥浆, 定喷到设计高度后, 定喷停止, 混凝土压灌到设计高度时, 移开钻具, 将钢筋笼插入桩孔内的混凝土中至钻孔底部, 形成钢筋混凝土桩; (3) 根据设计的需要按上述步骤依次成桩, 形成防水挡墙。

1 已有专利技术存在的不足

专利“钻孔注浆成桩法及钻具旋喷装置”(92106176.5)主要用于形成扩大头; “喷搅注浆处理地基装置”(95216200.8), 主要用于地基处理, 提

收稿日期: 2008-02-17

作者简介:何世鸣(1965-), 男(汉族), 河北涉县人, 北京建材地质工程公司副总工程师、教授级高级工程师, 国家一级注册建造师, 一级项目经理, 兼中国地质大学研究生导师, 北京工业大学和长春工程学院客座教授, 探矿工程专业, 从事岩土工程设计施工及技术质量管理和新技术研发工作, 北京市朝阳区望京西路 50 号-1 卷石天地大厦 4 层, he.shi.ming@263.net。

高承载力;“防水桩挡墙的成型方法及其使用的螺旋钻机”(02153752.6),其中防水桩挡墙的成型方法主要用于在制作钢筋混凝土护坡桩的同时利用旋喷形成防水挡墙。现就“防水桩挡墙的成型方法”存在的不足进行分析。

1.1 可行性差

以北京地区直径800 mm护坡桩支护体系为例,桩间距一般常用1.5~1.6 m,桩间净距为0.7~0.8 m,采用上述任何一种旋喷方法,其喷射半径至少要达到0.4~0.45 m才可保证形成连接好的“防水挡墙”,保证止水效果,但是从北京地区基坑开挖来看,还没有一个成功的实例。换言之,该方法在大部分情况下,要形成可靠的“防水挡墙”,距离实践还有一段距离。

1.2 施工参数不匹配

采用边压灌混凝土边选喷提升钻具,两者之间需要一个合适的匹配参数,否则只能保证其中一项的正常效果,如果保证压灌混凝土连续(其泵量固定),喷射的效果则保证不了,反之亦然。要保证喷射的效果,则压灌混凝土连续就有困难。

1.3 水泥用量偏大

因该工法实质是以旋喷为主的工法,水泥用量偏大,以直径600 mm钻头旋喷桩为例,每米水泥用量达200~350 kg。

2 发明内容

为了克服以上专利技术的不足,发明了本旋喷搅拌水泥土桩施工方法,提高了止水帷幕的可靠性。

该旋喷搅拌水泥土帷幕桩主要是针对在已施护坡桩之间止水用,既要可靠,还要省钱;再则保证施工速度快,现场文明。采用长螺旋钻机较普通的搅拌桩机、旋喷桩机大得多的强大动力和扭矩穿透较硬土层。帷幕桩径可根据护坡桩间距选定。其中旋喷搅拌钻具外径通常可选0.4、0.6、0.8 m。

2.1 保证止水效果可靠,必须保证帷幕桩与护坡桩之间紧密结合

(1)首先,从桩位上保证,帷幕桩位于两护坡桩之间或稍偏后(外)一些(5~20 cm),保证帷幕桩中心距护坡桩中心不大于45 cm,帷幕桩稍偏后一些,有一点好处,即是护坡桩间土在承受土压力产生变形同时,能紧靠护坡桩,使得帷幕桩与护坡桩结合的更紧密,止水效果更好。

(2)限制帷幕桩与护坡中心距目的是保证旋喷或定喷的半径限制在一个可靠的范围内,保证旋喷

或定喷时能有效的切削、翻搅这部分土保证其均匀,达到不留“缝隙”的目的。

(3)在施工参数上,应保证:下钻时即采用固定速度进行旋喷,到底后上升时再以固定速度进行旋喷或定喷、摆喷。

(4)引孔:事先松动土层,既保证桩位准确,同时增加喷射可靠性,减小搅拌的阻力。

2.2 比“防水桩挡墙”施工方法省钱

关键就是省水泥,“防水桩挡墙”改进技术后核心是长螺旋置换后旋喷,首先需要把全孔的土排出,留下的孔需全部用水泥浆包括留下孔壁上的土混合物填充。水泥用量偏大,为此要省水泥,孔内的土不宜全部置换,本发明旋喷搅拌桩就是以旋喷和搅拌复合的方式形成帷幕水泥土桩,大部分土自然在孔内,通过旋喷搅拌使之均匀;用水泥量小,根据现场试验,以钻具外径600 mm,帷幕桩外径同样达到800 mm以上,可节约水泥50%。

2.3 保证施工速度快

钻头上除了侧面对称设置2~6个喷嘴外,在底部设置一个或多个喷嘴,提高其切削、翻搅的能力,较硬土层也可快速钻进,大大减小其搅拌下钻的阻力。

2.4 保证现场文明施工

孔口少返浆,采用了部分长螺旋钻杆与搅拌钻具复合的钻具,进行了孔内部分取土,保证了孔口少返浆或不返浆。该复合钻具的特征是上部1/4~1/3是长螺旋钻杆。可将孔内的土部分排出,下部为搅拌钻具,为保证其搅拌效果,又在钻杆上焊接了若干横向钻杆用齿,其钻头除了在侧面(用螺旋叶片包住)对称设置2~6个喷嘴外,尚在底中设置一个或多个喷嘴,其喷嘴体与腔体采用过盈结合,或将喷嘴体加热后打入,冷却后形成密闭。

3 施工工艺

其施工工艺流程见图1。

4 工程实例

4.1 工程概况

北京大学留学生公寓位于北京市海淀区中关村,是一个集住宿、餐饮、会议、文化交流、办公休闲、健身娱乐于一体的综合性公寓园区。本工程于公寓园区西部,1、2、3号楼地下部分连为一体,4、5号楼地下部分连为一体,六号楼单独为一体。1~6号楼均为筏板基础。本工程±0.00=51.90 m。

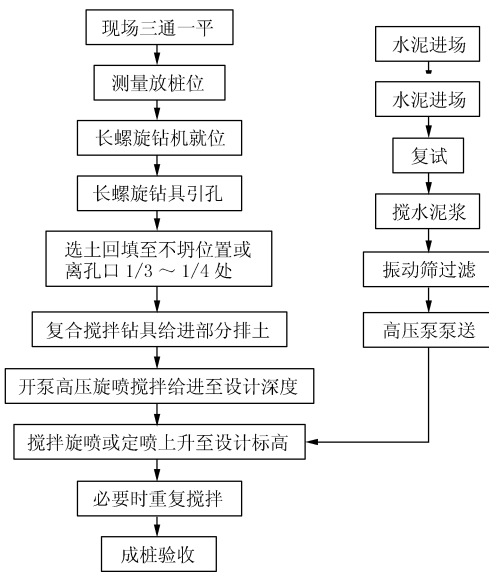


图 1 旋喷搅拌水泥土桩止水帷幕施工工艺流程图

4.2 工程地质条件

拟建场地为永定河冲积扇的中部,地形平坦,各钻孔孔口绝对标高为 49.49 ~ 49.809 m(平均按 49.6 m 考虑)。

根据钻孔资料及土工试验资料,拟建场地地层分为人工填土层及一般第四系沉积层,划分为 7 个大层,地层描述如下:

(1) 人工填土(Q^{ml})

①素填土,褐黄、灰褐、灰黑色,软塑~可塑,主要由粉质粘土组成,含少量树根及碎石、灰渣等建筑垃圾,个别钻孔顶部为水泥路面;

①₁杂填土,灰褐色,稍湿,松散,主要成分为建筑垃圾;

(2) 新近期沉积物(Q^{nl})

②₁砂质粉土,褐灰色、青灰色、局部褐黄色,很湿,稍密,夹有粘质粉土及粉质粘土,含有小贝壳及朽树根;

②₂粉砂,褐黄色、灰褐色,饱和,中下密~中密,局部密实,含有机质,局部夹有砂质粉土及粘质粉土,偶夹有细砂薄层,分布不均;

②₃粉质粘土,灰色、褐灰色,可塑,夹有重粉质粘土,含有贝壳等有机质及少量姜石,分布不均;

②₄粘质粉土,褐灰色,很湿,中密,含有云母片,分布不均。

(3) 一般第四系冲积物(Q^{al})及冲积物(Q^{al+pl})

③₁粉质粘土,褐黄色,可塑局部夹有粘质粉土,含少量姜石,分布不均;

③₂粘质粉土,黄、褐黄色,局部褐灰色,湿~很

湿,中密,夹有粉质粘土,含少量姜石及铁锰质氧化物,分布不均,局部缺失;

③₃细砂,褐黄色,中下密,饱和,含有云母和氧化铁;

④₁细砂,褐黄、黄褐色,饱和,含有云母碎片,局部含有少量姜石;

④₁砂质粉土,褐黄色,很湿,中密,含有少量云母碎片;

④₂粘土,褐黄色,可塑,仅 64 号孔揭露;

⑤₁重粉质粘土,黄褐色、褐黄色,可塑~硬塑,含有少量铁锰质氧化物及姜石;

⑤₁粉砂,褐黄色,饱和,中密,在⑤重粉质粘土中以透镜体形式产出;

⑤₂粉质粘土,褐黄色,可塑;

⑤₃砂质粉土,褐黄色,很湿,中密,含有云母;

⑥₁粘土,黄褐、褐黄色,可塑,含少量铁锰结核及姜石,偶夹有重粉质粘土薄层;

⑥₁粘质粉土,褐黄色,很湿,中密,含有云母片;

⑦₁砂质粉土,黄褐色、褐黄色,湿~很湿,密实,偶夹有粉砂及粘质粉土,局部缺失;

⑧₁细中砂,褐黄色、黄色,中密~密实,主要有石英质的颗粒组成,含少量云母碎片;

⑨₁卵石,杂色,饱和,密实,成分以微风化的安山岩为主,含少量石英砂岩、辉岩,中粗砂充填,粒径一般为 30 ~ 40 mm,最大约 60 mm,含量约 30% ~ 70%,冲击钻进较为困难;

⑩₁细砂,褐黄色、饱和,中上密,含有少量云母碎石,分布不均,仅部分钻孔揭露;

⑪₁粘土,褐黄、黄色,可塑~硬塑,夹有姜石,偶夹有粘质粉土及重粉质粘土薄层;

⑪₁粉质粘土,褐黄、黄褐色,硬塑;

⑫₁卵石,杂色,饱和,密实,成分以微风化的安山岩为主,含有少量石英质砂岩,中粗砂填充,粒径一般为 30 ~ 40 mm,最大约 60 mm,含量约 60% ~ 70%,本层未钻穿。

4.3 水文地质条件

4.3.1 地下水类型

据勘察揭露,场地内地下水有 4 层,主要为第四系地层中的孔隙水、微承压水和承压水,稳定水位为 0.8 ~ 3.40 m,水位标高为 46.20 ~ 48.82 m。主要受大气降水和地下径流补给,水位应季节性而变化。各层地下水类型及附存条件见表 1。

4.3.2 历史水位

1959 年地下水位接近地表,近 3 ~ 5 年水位绝

表 1 场地地下水类型

层号	主要含水层地层名称及层号	地下水类型
1	② ₁ 砂质粉土、② ₂ 细砂	台地潜水
2	④细砂	台地潜水
3	⑦砂质粉土、⑧细中砂、⑨卵石	微承压水
4	⑫卵石	承压水

对标高 49.0 m。

4.3.3 腐蚀性评价

根据水质分析结果,场地地下水对混凝土无腐蚀性;但在干湿交替条件下,对钢筋混凝土结构中的钢筋有弱腐蚀性。

4.4 降水方案

考虑上层潜水及第二层水变化幅度,根据场地降水施工条件、地下水的降深及地层的渗透性,综合考虑 3 侧采用了管井降水方案,西侧由于临近 4 栋 6 层居民楼,决定采用止水帷幕。

4.5 西侧止水帷幕

由于西侧已有 4 栋 6 层居民楼,距离基坑边缘 5 m 左右,采用管井降水方案易导致建筑物产生沉降,故西侧选用了护坡桩之间设置旋喷搅拌水泥土桩止水帷幕。

本工程采用桩间高压旋喷搅拌水泥浆形成全封闭止水帷幕,可靠的切断坑内外水力联系。该旋喷搅拌桩桩径为 800 mm,桩长 15.5 m(从地表下 2.0 m 计算),在现有的每 2 根护坡桩中间布置 1 根旋喷搅拌桩。

4.6 旋喷搅拌水泥土桩止水帷幕施工参数及施工

4.6.1 施工参数

(1) 止水帷幕桩成孔直径 600 mm,孔深 15.5 m,护坡桩间净距 0.8 m,桩位置在两根 Ø800 mm 护坡桩的正中心向基坑外略偏移 10~20 cm。

(2) 桩垂直度允许偏差 0.5% 以内;

(3) 喷射水泥浆水灰比 1.3~1.8,喷射压力 20~30 MPa;

(4) 钻杆转速 15~21 r/min,提升速度 1.0~1.5 m/min。

4.6.2 施工工艺

(1) 放线定桩位。

(2) 水泥用 P. O32.5,进场复试。

(3) 施工机械及附属设施:改装的液压步履式长螺旋钻机、往复式高压注浆泵、配电柜、搅浆筒、振动筛、滤网等。

(4) 施工前对桩位进行校验,保证帷幕桩的位置准确。

(5) 引孔:用 Ø600 mm 长螺旋钻具钻孔,钻机移至桩位,钻机调平、调直,钻至设计标高,回填钻出的虚土至适当为止。

(6) 引孔完毕后,将长螺旋钻具更换为喷搅复合钻具,组装调试旋喷搅拌设备,确保设备运转正常,注浆管路畅通。

(7) 按照设计水灰比对水和水泥质量进行计量,在搅浆桶里搅拌均匀后,经 60 目振动筛过滤后,放入储浆池中。

(8) 储浆池中放置泥浆泵,对水泥浆进行不间断搅拌,防止水泥浆沉淀。

(9) 注浆泵泵头用细目纱网罩罩住,防止吸入粗颗粒物而堵塞钻头喷嘴。

(10) 复合喷搅钻具向下钻进时同时开动注浆泵,泵送高压水泥浆至孔内,边旋喷边搅拌,给进至设计标高,按设计提升速度提升钻具,同时旋喷搅拌,至孔口时停止泵送水泥浆和搅拌,提升钻具至下一孔位;

(11) 每 20 根帷幕桩从钻孔返出的水泥土浆液中取样,留置一组试块,试块尺寸为 10 cm × 10 cm × 10 cm。

4.7 质量控制

帷幕桩施工应符合下列规定:

(1) 孔深允许偏差为 -50 mm ~ +100 mm;

(2) 孔距允许偏差为 ±100 mm;

(3) 垂直度允许偏差为 ±0.5%。

4.8 应注意的问题

(1) 注浆泵泵压 ≤20 MPa,不得大于 30 MPa;

(2) 钻具喷射注浆时的提升速度 ≥1.5 m/min;

(3) 旋喷搅拌水泥土帷幕桩施工前应针对现场地层进行旋喷搅拌试验,掌握喷射压力和孔内喷射直径的关系,水泥浆液喷射量和钻具提升速度的关系,水泥掺量和止水帷幕抗渗性能的关系,设定合理的施工技术参数。

4.9 主要设备参数

4.9.1 启动柜

采用天津源顺五金电器设备厂生产的 XL21 启动柜,额定电压 380 V,额定电流 100 A。

4.9.2 往复式高压注浆泵

采用天津市聚能高压泵有限公司生产的 XPR-90E 型高压注浆泵。其性能参数为:柱塞直径 80 mm,排出管直径 10~25 mm,排出流量 217 L/min,额定功率 90 kW,工作压力 23 MPa, $r=1.00$ 。

4.9.3 高压泵电动机

采用衡水电机股份有限公司生产的 Y280M-4 型三相异步电动机,功率 90 kW,电压 380 V,额定电流 164.3 A。

4.9.4 钻机

采用徐州鹏达基桩工程机械研究所生产的 KLB632 型液压步履式长螺旋钻机(进行改装),钻孔直径 400~600 mm,钻杆转速 21 r/min,输出扭矩 48 kN·m,钻孔深度 32 m,工作面最大坡度 2°,许用拔钻力 390 kN,动力头功率 55 kW×2,外形尺寸 10.4 m×13.32 m×38.9 m(工作状态)、13.29 m×3.1 m×2.5 m(运输状态),整机质量 53.6 t。

4.9.5 振动筛及筛网

采用改装型振动筛,网目数为 60。立式过滤网,网目数为 60。

4.10 成桩情况

帷幕桩施工完成后,对施工情况进行现场检查,开挖后考察帷幕桩成桩及止水效果,经检验,成桩情况良好,达到设计要求。经现场测量,桩径可达 900 mm,帷幕桩与护坡桩连接紧密,止水效果显著。成桩情况见图 2、3。



图 2 帷幕桩与护坡桩连接处



图 3 帷幕桩桩径

旋喷搅拌桩施工完成后,根据成桩情况及前期经验,又进行了进一步实验钻具下降过程中以用旋喷搅拌形式钻进,达到设计深度后调整钻头喷嘴的方向,以定喷的形式提升钻具,最终形成水泥土板组

合桩,其长度达 1.35 m。成桩效果同样良好,见图 4。

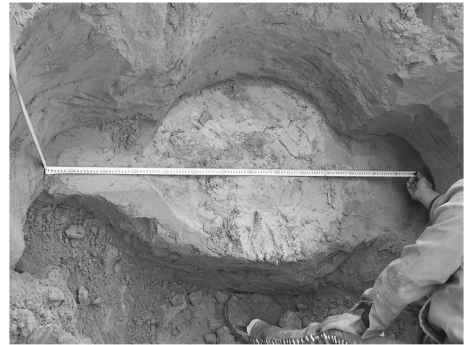


图 4 成桩效果图

5 性价比及整体效果

5.1 工程量造价对比

通过本次施工,对现场原料用量及对实际工作量统计,与在 2 根护坡桩之间布 2 根旋喷桩相比,可知此项技术不仅效果好,而且大大降低了工程造价。

工程量造价对比计算见表 1。

表 1 工程量造价对比表

桩型	材料费 / (元·m ⁻¹)	机械费 / (元·m ⁻¹)	人工费 / (元·m ⁻¹)	根数	桩长 /m	延米数/m	合计 /元
旋喷搅拌水泥土桩	155	110	30	83	15.5	1286.5	379517.50
旋喷桩	160	105	30	166	15.5	2573	759035.00

5.2 开挖后的整体效果(图 5)



图 5 开挖后的整体效果图

6 结语

通过该工程开挖现场检验,能满足设计要求,结合之后的数项工程的应用,证明该长螺旋旋喷搅拌桩止水帷幕技术跟其他技术相比具有明显的 4 大特点:止水可靠;施工速度快;节约造价;便于文明施工。尤其在较硬土层施工更具明显优势。目前正在大力推广应用。