

干坞止水系统及三轴搅拌桩施工方法

郭家蓉¹ 许良² 谢国兵³ 许昌云⁴

1. 南京西江丽水文化传媒有限公司, 中国·江苏 南京 211800

2. 南京河川建设工程有限公司, 中国·江苏 南京 211500

3. 泗洪县梅花镇水利站, 中国·江苏 宿迁 223900

4. 江苏东传工程建设有限公司, 中国·江苏 宿迁 223900

摘要: 干坞止水系统三轴搅拌桩施工方法, 属于沉管隧道施工技术领域。该三轴搅拌桩施工方法适用于承载力低的软弱土层区域, 根据软弱土层的渗透系数, 确定三轴搅拌桩的入桩深度, 三轴搅拌桩施工方法包括测量放样、开挖沟槽、桩机就位、制备水泥浆液及注浆、钻进搅拌及提升步骤; 制备水泥浆液及注浆步骤中, 水泥浆液的水灰比为 0.7, 水泥掺量为 20%, 注浆压力为 0.6~0.8MPa; 钻进搅拌及提升步骤中, 喷浆时利用自动监控系统监控喷浆泵的实时喷射量, 实时喷射量不小于最小喷射量。该施工方法通过精确的工艺参数, 及自动监控系统对喷射泵的作业进行监控, 为软弱土层区域提供一种可行的施工方案。

关键词: 干坞; 止水系统; 三轴搅拌桩; 施工方法

Construction Method of Dry Dock Water Stop System and Three-axis Mixing Pile

Jiarong Guo¹ Liang Xu² Guobing Xie³ Changyun Xu⁴

1. Nanjing Xijiang Lishui Cultural Media Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 211800, China

2. Nanjing River Construction Engineering Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 211500, China

3. Meihua Town Water Conservancy Station, Sihong County, Suqian, Jiangsu, 223900, China

4. Jiangsu Dongchuan Engineering Construction Co., Ltd., Suqian, Jiangsu, 223900, China

Abstract: The construction method of three-axis mixing pile for dry dock waterproofing system belongs to the field of immersed tube tunnel construction technology. This three-axis mixing pile construction method is suitable for areas with low bearing capacity in soft soil layers. Based on the permeability coefficient of the soft soil layer, the depth of the three-axis mixing pile is determined. The three-axis mixing pile construction method includes measurement and layout, excavation of trenches, positioning of pile drivers, preparation of cement slurry and grouting, drilling and mixing, and lifting steps; in the preparation of cement slurry and grouting steps, the water cement ratio of the cement slurry is 0.7, the cement content is 20%, and the grouting pressure is 0.6~0.8MPa; during the drilling, mixing, and lifting steps, the automatic monitoring system is used to monitor the real-time spraying volume of the spraying pump during spraying, and the real-time spraying volume is not less than the minimum spraying volume. This construction method monitors the operation of the jet pump through precise process parameters and an automatic monitoring system, providing a feasible construction plan for areas with weak soil layers.

Keywords: dry dock; water stop system; three axis mixing pile; construction method

0 前言

在沉管隧道工程中, 干坞是关键工序之一。干坞作为沉管管节的预制场地, 需要有稳定的支护结构来保证施工期间的安全, 还需要有可靠的止水体系和防洪体系来防止地下水、河道水和洪水的影响。

干坞施工需要充分考虑工程所在地的地域特性, 以确保沉管隧道工程的顺利进行。尤其是水文地质条件更为复杂的内河沉管隧道, 如位于中国的珠江三角洲地区的工程, 该地区存在沙湾断裂带, 并且气候温和、雨量充足, 土层分布复杂, 尤以淤泥、淤泥质土等软弱土层分布广泛; 该地区地质条件复杂, 土层承载力低、透水性小且含水率高, 导致干

坞的施工十分困难。目前对此类区域的施工经验较少, 现有的干坞系统难以应对地质如此复杂的干坞施工, 而干坞的止水系统对于干坞施工的成功至关重要。

止水帷幕是干坞止水系统的重要构成, 现有技术中, 中国发明专利 CN106894430A 公开了一种三轴搅拌桩止水帷幕施工方法, 在水文条件相差过大的富水淤泥质软土地层基坑中, 其提供了一种采用三轴搅拌桩进行止水帷幕施工的方法, 在三轴搅拌桩的施工中, 尤其是特殊地质条件下的施工, 水泥浆液的配制十分重要, 但该专利中并未提供水泥浆液配制参数, 考虑到施工质量, 不能直接应用该专利提供的方法。

因此, 如何提供一种适用于软弱土层的三轴搅拌桩止

水帷幕施工方法,是当前急需解决的一项技术问题。

1 技术方案

针对现有技术中存在的不足之处,提供了一种干坞止水系统、施工方法及止水系统三轴搅拌桩施工方法,通过精确的工艺参数,为承载力低的软弱土层区域提供了一种可行的施工方案。

第一方面,提供一种止水系统三轴搅拌桩施工方法,适用于承载力低的软弱土层区域,根据软弱土层的渗透系数,确定三轴搅拌桩的入桩深度,三轴搅拌桩施工方法包括以下步骤:

桩机就位:由现场施工员、桩机班长统一指挥桩机就位,移动前看清前、后、左、右各位置的情况,发现有障碍物应及时清除,移动结束后检查定位情况,及时纠正;成桩后,桩中心偏位不大于 50mm,桩底标高偏差不大于 100mm,桩身垂直度偏差不大于 0.5%。

制备水泥浆液及注浆:在施工现场配备自动搅拌系统和水泥罐,以确保浆液质量;水泥浆液的水灰比为 0.7,水泥掺量为 20%,注浆压力为 0.6~0.8MPa;要求加固后固体的 28 天无侧限抗压强度不小于 1.2MPa;水泥浆液配制好后,水泥浆液停滞时间不超过 2 小时,搁置超过 2 小时的水泥浆液,作废浆处理。

钻进搅拌及提升:三轴搅拌桩采用“两喷两搅”的施工工艺,采用隔桩跳打双孔全套复搅式成桩施工顺序;水泥和原状土均匀搅拌,下沉速度为 0.5~0.6m/min,钻头喷搅下沉至设计深度,在桩底搅拌喷浆 1 分钟后匀速搅拌提升并喷浆,提升速度为 0.9~1.0m/min,当钻头提升至地面以下 0.5m 时,停止喷浆;喷浆时利用自动监控系统监控喷浆泵的实时喷射量,实时喷射量不小于最小喷射量,最小喷射量利用式(1)进行计算^[1]。

2 附图说明

实施例三中轴搅拌桩的平面布置图如图 1 所示,实施例中三轴搅拌桩之间搭接的补桩示意图如图 2 所示,实施例中干坞止水系统的平面示意图如图 3 所示。

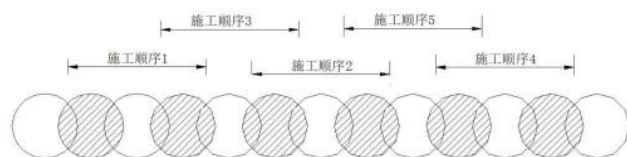


图 1 实施例三中轴搅拌桩的平面布置图

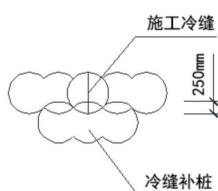


图 2 实施例三中轴搅拌桩之间搭接的补桩示意图

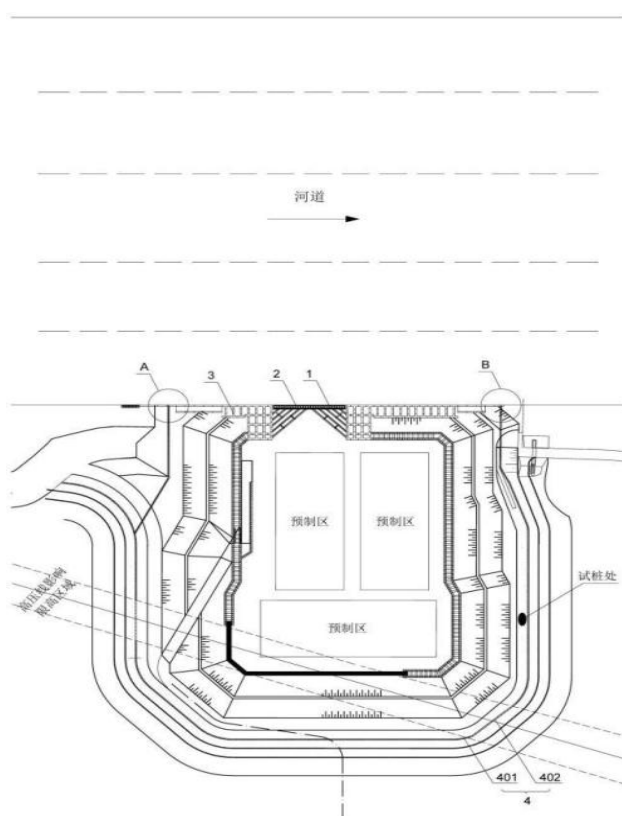


图 3 实施例中干坞止水系统的平面示意图

3 具体实施方式

如图 1 所示,在干坞止水系统、施工方法及止水系统三轴搅拌桩施工方法的一个实施例中,该止水系统三轴搅拌桩施工方法适用于承载力低的软弱土层区域,根据软弱土层的渗透系数,确定三轴搅拌桩 401 的入桩深度,三轴搅拌桩施工方法包括测量放样、开挖沟槽、桩机就位、制备水泥浆液及注浆、钻进搅拌及提升步骤:

测量放样:根据设计资料放出打桩宽度,测量现场地面标高,确定桩顶标高。

开挖沟槽:根据三轴搅拌桩 401 桩位中心线用挖机开挖沟槽,并清除地下障碍物,开挖沟槽余土应及时处理,以保证桩机水平行走。

桩机就位:由现场施工员、桩机班长统一指挥桩机就位,移动前看清前、后、左、右各位置的情况,发现有障碍物应及时清除,移动结束后检查定位情况,及时纠正;成桩后,桩中心偏位不大于 50mm,桩底标高偏差不大于 100mm,桩身垂直度偏差不大于 0.5%。

制备水泥浆液及注浆:在施工现场配备自动搅拌系统和水泥罐,以确保浆液质量;水泥浆液的水灰比为 0.7,水泥掺量为 20%,注浆压力为 0.6~0.8MPa;要求加固后固体的 28 天无侧限抗压强度不小于 1.2MPa;水泥浆液配制好后,水泥浆液停滞时间不超过 2 小时,搁置超过 2 小时的水泥浆液,作废浆处理。

钻进搅拌及提升:三轴搅拌桩 401 采用“两喷两搅”的施工工艺,如图 1 所示,采用隔桩跳打双孔全套复搅式成桩施工顺序;水泥和原状土均匀搅拌,下沉速度为 0.5~0.6m/min,钻头喷搅下沉至设计深度,在桩底搅拌喷浆 1 分钟后匀速搅拌提升并喷浆,提升速度为 0.9~1.0m/min,当钻头提升至地面以下 0.5m 时,停止喷浆;喷浆时利用自动监控系统监控喷浆泵的实时喷射量,实时喷射量不小于最小喷射量,最小喷射量利用式(1)进行计算,式(1)的表达式为:

$$q = \frac{1}{4\pi} \times D^2 \times aw \times TL \times (1 + S) \times v$$

式(1)中, q 为最小喷射量, D 为桩径, aw 为水泥掺量值, TL 为土体容重, S 为水灰比, v 为实时下沉速度或实时提升速度。

进一步地,三轴搅拌桩 401 应入桩至渗透系数不大于 5.2×10^{-4} cm/s 的岩层。

实施例中提供的三轴搅拌桩施工方法通过精确的工艺参数,为承载力低的软弱土层区域提供了一种可行的施工方案,并通过自动监控系统对喷射泵的作业进行监控,以确保达到所需喷射量;本实施例提供的三轴搅拌桩施工方法提高了施工效率和质量,解决了软弱土层区域干坞施工的一大技术难题,对类似地质条件的沉管隧道工程具有重要的实际应用价值。

在一些实施例中,钻进搅拌及提升步骤中,喷浆泵喷射的水泥浆液由浆液泵输送,当实时喷射量小于最小喷射量时,通过调节浆液泵的控制阀门调整输送量,以调整实时喷射量。通过调节浆液泵的控制阀门,精确控制水泥浆液的输送量,确保实时喷射量达到最小喷射量要求,从而保障施工质量。

在一些实施例中,钻进搅拌及提升步骤中,还包括通过自动监控系统监控水泥用量,单位时间内水泥用量利用式(2)进行计算,式(2)的表达式为:

$$F = q \times \frac{b}{1+S}$$

式(2)中, F 为单位时间内水泥用量, b 为水泥容重。通过精确计算单位时间内的水泥用量,确保每个作业班的水泥用量符合设计要求。

在一些实施例中,每个作业班根据单位时间内水泥用量核算当日水泥用量,以确保水泥用量达到设计要求。

在一些实施例中,桩机就位步骤中,如图 2 所示,三轴搅拌桩 401 的桩位搭接量利用式(3)进行计算,式(3)的表达式为:

$$m = L \times \Delta h$$

式(3)中, m 为桩位搭接量; L 为桩长; Δh 为桩身垂直度允许偏差,此处取 0.5%。通过对桩位搭接量的精确计算,保障施工质量。

在一些实施例中,三轴搅拌桩 401 施工时每作业班连续作业,当班次交替停歇时间超过桩内搅拌土体终凝时间

时,桩位搭接量至少加大 100mm。可以理解的是,本实施例中,搅拌土体是指水泥和原状土的搅拌后的混合物。

基于上述的三轴搅拌桩施工方法,还提供一种应用三轴搅拌桩 401 施工的干坞止水系统,干坞临河建造,如图 1 所示,干坞止水系统包括钢管桩墙 1、地下连续墙 3、防渗墙 2 和止水帷幕 4;其中,钢管桩墙 1 建造于坞口;地下连续墙 3 建造于钢管桩墙 1 两端并沿河道方向延伸,地下连续墙 3 与钢管桩墙 1 可拆卸连接;如图 2 所示,防渗墙 2 紧贴钢管桩墙 1 建造于钢管桩墙 1 的临河一侧;止水帷幕 4 建造于干坞周围,并与地下连续墙 3 连接;止水帷幕 4 包括建造于干坞周围的三轴搅拌桩 401,三轴搅拌桩 401 应用上述的三轴搅拌桩施工方法进行施工;如图 3 所示,止水帷幕 4 与地下连续墙 3 的连接处建造高压旋喷桩进行止水。

在上述示意性实施例中,实施例中提供的应用三轴搅拌桩 401 施工的干坞止水系统,通过钢管桩墙 1 为坞口提供坚固的物理屏障,有效防止河水的直接侵入;通过地下连续墙 3 增强止水系统的整体性,地下连续墙 3 与钢管桩墙 1 的可拆卸连接,既保证了结构的稳定性,也便于未来钢管桩墙 1 的拆除;通过防渗墙 2 进一步加强钢管桩墙 1 的防渗效果,特别是在临河一侧,对抗河水的渗透压力;止水帷幕 4 采用三轴搅拌桩施工方法,为干坞周围提供了一道坚实的防水屏障,有效地防止了地下水和河水的渗透;止水帷幕 4 与地下连续墙 3 的连接处的高压旋喷桩进一步密封了潜在的漏水点,确保了整个止水系统的严密性。综上,本实施例提供的干坞止水系统,通过多层次、多手段的综合防护,大幅提升了干坞的止水防渗能力,为沉管隧道工程的安全施工提供了有力保障。

在一些实施例中,如图 3 所示,在施工高度受限的区域,止水帷幕 4 采用高压线下塑性混凝土墙 402 进行建造。塑性混凝土墙相较于三轴搅拌桩 401,可以根据现场条件更为灵活地调整高度和厚度。

进一步地,止水帷幕 4 中,三轴搅拌桩 401 与塑性混凝土墙的接缝处增设高压旋喷桩进行冷缝处理。通过冷缝处理,有效地封闭潜在的漏水通道,进一步提高了止水帷幕 4 的密封性和防水效果。

基于上述的应用三轴搅拌桩 401 施工的干坞止水系统,本发明还提供了一种应用三轴搅拌桩 401 施工的干坞止水系统施工方法,应用于上述的应用三轴搅拌桩 401 施工的干坞止水系统,包括护岸止水施工和止水帷幕施工;具体地,

护岸止水施工:依次进行地下连续墙 3、钢管桩墙 1、防渗墙 2 的施工;根据软弱土层的渗透系数和承载力,确定地下连续墙 3、钢管桩墙 1、防渗墙 2 的入桩深度;具体地,地下连续墙 3、钢管桩墙 1、防渗墙 2 应入桩至渗透系数不大于 4.0×10^{-4} cm/s 且承载力不小于 2200Kpa 的岩层。

止水帷幕施工:采用三轴搅拌桩 401 进行止水帷幕 4 施工,三轴搅拌桩 401 与地下连续墙 3 连接处采用高压旋喷

桩进行止水，高压旋喷桩桩底标高与三轴搅拌桩 401 桩底标高一致。

在一些实施例中，如图 3 所示，在施工高度受限的区域，止水帷幕 4 采用高压线下塑性混凝土墙 402 进行建造，如图所示，高压线下塑性混凝土墙 402 的施工包括以下步骤：

一次成槽：利用成槽机在标高为 的施工面进行成槽施工。

基坑回填：将降低施工面标高步骤中开挖的基坑进行回填，回填至标高。

二次成槽：利用挖机在标高为 的施工面进行成槽施工。

上述示意性实施例中，由于现有的挖机无法进行大深度作业，通过基坑开挖降低施工面标高，先利用成槽机进行一次成槽施工，再利用挖机进行小深度成槽作业，克服了施工高度的限制，能够确保塑性混凝土墙的结构稳定性和防水性，为特殊条件下止水帷幕 4 的建造提供一种有效的解决方案。

需要说明的是，三轴搅拌桩 401 与高压线下塑性混凝土墙 402 的连接处采用高压旋喷桩进行冷缝处理，每组冷缝处理采用三根高压旋喷桩，高压旋喷桩呈“品”字形布置。通过冷缝处理，有效地封闭潜在的漏水通道，进一步提高了

止水帷幕 4 的密封性和防水效果^[2]。

4 有益效果

①提供的三轴搅拌桩施工方法，通过精确的工艺参数，为承载力低的软弱土层区域提供了一种可行的施工方案。

②提供的三轴搅拌桩施工方法，通过自动监控系统对喷射泵的作业进行监控，以确保达到所需喷射量。

③提高了施工效率和质量，解决了软弱土层区域干坞施工的一大技术难题，对类似地质条件的沉管隧道工程具有重要的实际应用价值。

④提供的应用三轴搅拌桩 401 施工的干坞止水系统、施工工艺，通过多层次、多手段的综合防护，大幅提升了干坞的止水防渗能力，为沉管隧道工程的安全施工提供了有力保障^[3]。

参考文献：

[1] 李秋实,张钰仑,杨归任,等.干坞止水系统,施工方法及止水系统三轴搅拌桩施工方法:202411072435[P].[2024-12-09].

[2] 牛溪竹,史建伟.三轴水泥搅拌桩止水帷幕的施工及监控制要点[J].铁路技术创新,2012(3):3.

[3] 苗云霞.三轴水泥搅拌桩止水帷幕技术在施工中的应用[J].山西建筑,2011,37(26):76-77.