

Research on Different Process Parameters and Stability Response of High Pressure Jet Grouting Pile in Water Environment Management of Greater Bay Area

Fengwu Wang Juanjuan Chen Liqiang Xu

Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Beijing, 100082, China

Abstract

High-pressure jet grouting pile method is coupled with high-pressure jet technology and slurry reinforcement technology to impact and reconstruct the original foundation sand soil, which is one of the most widely used soft ground treatment methods. Existing studies mainly focus on the influence of a single construction process or construction parameters on the quality of high-pressure rotary piles, while there is less research on the response between process parameters and the stability of high-pressure rotary piles. In this paper, based on the comprehensive water environment management project in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area watershed, a field test on the stability of high-pressure jet grouting pile is conducted to systematically and comprehensively explore the response relationship between five process parameters and the stability of high-pressure rotary piles, including different cement content, water-cement ratio, soil depth, soft soil water content and additives, in order to provide a more detailed technical reference for relevant soft foundation treatment projects.

Keywords

high pressure jet grouting pile; process parameters; stability

大湾区流域水环境治理中不同工艺参数与高压旋喷桩稳定性响应研究

王逢武 陈娟娟 徐立强

北京市市政工程设计研究总院有限公司, 中国·北京 100082

摘 要

高压旋喷桩法是结合高压射流技术和浆液加固技术,对原有地基砂土进行冲击和重构,是应用最为广泛的软土地基处理方法之一。当前研究主要聚焦于单一施工工艺或者施工参数对高压旋喷桩质量的影响,而关于工艺参数与高压旋喷桩稳定性之间的响应研究较少。论文基于粤港澳大湾区流域水环境综合治理项目,开展高压旋喷桩稳定性现场试验,系统和全面探讨不同水泥含量、水灰比、土层深度、软土含水量及添加剂五个工艺参数与高压旋喷桩稳定性之间的响应关系,以期对相关软基处理工程提供更为细致的技术参考。

关键词

高压旋喷桩; 工艺参数; 稳定性

1 工程背景

随着工业化、城镇化的快速推进,中国水资源短缺、水环境污染等一系列问题日益突出^[1]。粤港澳大湾区是中国建设世界级城市群的重要空间载体,然而其地质结构中淤泥层较厚导致地基承载力偏低,地下管网易出现下沉错位、渗漏、破损、变形等问题,制约着中国生态文明建设的持续发展。

为确保地下市政管网工程的质量,桩基础的承载力是

重要因素。高压旋喷桩法是耦合高压射流技术和浆液加固技术,对原有地基砂土进行冲击和重构,是应用最为广泛的软土地基处理方法之一^[2]。然而,不同的施工工艺及参数会对高压旋喷桩的质量产生影响,史本宁等^[3]探究了双重管和三重管两种工艺、不同水灰比和泥浆泵压力下,高压旋喷桩成桩质量的差异。娄健等^[4]针对高压旋喷桩间距离、施工工艺以及浆液喷射压力等施工参数,对隧道浅埋段围岩的强度和整体性进行探究。诸葛爱军等^[5]通过对高压旋喷桩的施工工艺进行改善,使其在不同土层的适用性得到了提高。

目前,这些研究主要聚焦于单一施工工艺或者施工参数对试桩质量的影响,大多属于施工经验的规律性总结,而对相关工艺参数与高压旋喷桩稳定性之间的响应研究较少。

【作者简介】王逢武(1990-),男,中国江西萍乡人,硕士,工程师,从事水污染控制技术研究。

论文基于粤港澳大湾区流域水环境综合治理项目，选择中山市某河涌作为高压旋喷桩试验区，系统和全面探究不同的水泥含量、水灰比、土层深度、软土含水量及添加剂五个工艺参数与高压旋喷桩稳定性之间的响应关系，以期对相关软基处理工程提供更为细致的技术参考。

2 材料和方法

2.1 试验区概况

本研究基于粤港澳大湾区流域水环境综合治理项目，选取中山市某河涌两岸作为试验区。该地区位于河涌两岸，两岸道路宽约 4~8m，地面标高为 7.8~8.0m。河涌受潮汐影响，水深为 0.5~3.5m，常年最高水位约为 0.5~2.0m。

高压旋喷桩桩位布置见图 1。

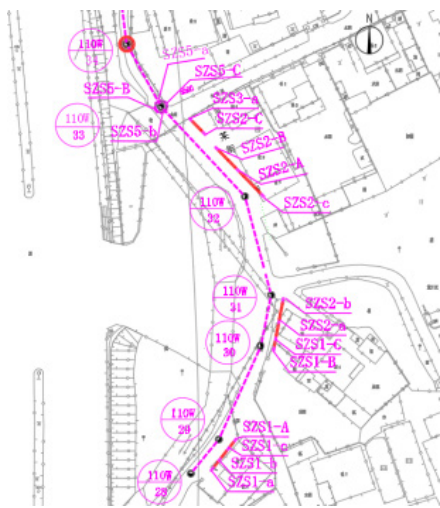


图 1 高压旋喷桩桩位布置

根据当地水文地质资料以及现场勘察，场地地下水埋藏类型以及赋存方式有上层滞水和第四系孔隙水两种。本次勘察期间为丰水季节，根据现场勘探孔观测：初见地下水位埋深为 0.60~2.70m（标高 0.60~2.36m），稳定地下水位埋深为 0.50~3.10m（标高 -0.98~2.22m）。场地地下水位随季节变化，年变化幅度约为 0.50~2.50m。

根据河涌区域地质资料，分析试验区的软土覆盖厚度大、含水率高、地基承载力较低，是典型的珠三角地区软土地基。该种流塑状的淤泥采用高压旋喷桩技术是可行的，但受水泥含量、土层深度、软土含水量及添加剂等多种因素影响，其成桩效果难以控制。

2.2 试桩方案

本次试验根据项目要求，试桩桩径为 500mm，选用 90kg/m、90kg/m（0.3% 水玻璃）、100kg/m、100kg/m（0.3% 水玻璃）、110kg/m、110kg/m（0.3% 水玻璃）、120kg/m、120Kg/m（0.3% 水玻璃）、130kg/m、130kg/m（0.3% 水玻璃）10 种规格，水灰比 0.9：1、0.95：1 和 1：1 分别各制备 3 根，共计试桩 90 根。本次研究抽取 17 组（每组 3 根）试桩芯进行检测，其抽取试桩的工艺参数如表 1 所示。

表 1 试验桩工艺参数表

试桩序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
水泥用量 (kg/m)	90	100	100	100	110	110	110	110	110
水灰比	0.9	0.9	0.95	1	0.9	0.95	1	0.9	0.9
水玻璃 (%)	/	/	/	0.3	/	/	/	0.3	0.3
试桩序号	10	11	12	13	14	15	16	17	
水泥用量 (kg/m)	110	120	120	120	120	120	120	130	
水灰比	1	0.9	0.95	1	0.9	0.95	1	0.9	
水玻璃 (%)	0.3	/	/	/	0.3	0.3	0.3	/	

2.3 试验检测

试桩现场配备称量机具，用于水泥、水的称量，计算出单根高压旋喷桩所用水泥、水的重量。按照配比配置水泥浆液，采用比重计测量水泥浆液配比。水泥浆液通过储浆槽注入孔内，储浆槽体积 0.5m³，可算出每用一槽水泥浆所用水泥用量，除以提升高度校核每米水泥用量。

成桩 14 天进行桩径尺寸检测，采用开挖基坑的方式进行检测；应达到龄期 28 天后采用钻芯法检测桩身完整性并取样做抗压强度试验。试样的单轴无侧限抗压强度为 $q_u > 1.0\text{MPa}$ 。

3 高压旋喷桩控制

3.1 高压旋喷桩设计要求

现根据 JGJ 79—2012《建筑地基处理技术规范》^[6]中“7.4 旋喷桩复合地基”，旋喷桩方案确定后，应结合工程情况进行现场试验，确定施工参数及工艺。

旋喷桩复合地基承载力特征值和单桩竖向承载力特征值应通过现场静载荷试验确定。对有粘结强度增强体复合地基应按下式计算：

$$f_{spk} = \lambda m \frac{R_a}{A_p} + \beta (1 - m) f_{sk} \quad (1)$$

其中， λ 为单桩承载力发挥系数，可按地区经验取值； R_a 为单桩竖向承载力特征值，kN； A_p 为桩的截面积， m^2 ； β 为桩间土承载力发挥系数，可按地区经验取值。

3.2 高压旋喷桩施工要求

现根据 JGJ 79—2012《建筑地基处理技术规范》^[6]中“7.4 旋喷桩复合地基”，旋喷桩施工应符合下列规定：①施工前，应根据现场环境和地下埋设物的位置等情况，复核旋喷桩的设计孔位；②旋喷桩的施工工艺及参数应根据土质条件、加固要求，通过试验或根据工程经验确定。单管法、双管法高压水泥浆和三管法高压水的压力应大于 20MPa，流量应大于 30L/min，气流压力宜大于 0.7MPa，提升速度宜为 0.1~0.2m/min；③水泥浆液的水灰比宜为 0.8~1.2。

4 结果分析

4.1 稳定性评价原则

本次试验对不同工艺参数的试桩进行检验，选择芯样完整性和强度等级两项指标对其稳定性进行分析。参照规范 DBJ/T13-146—2012《建筑地基检测技术规程》，当试桩芯样完整性达到Ⅱ类及以上、强度等级大于 1MP 认定为稳定性合格。

4.2 不同水泥含量下稳定性分析

水泥含量是影响高压旋喷桩稳定性的重要参数之一,本次试验水泥含量分别为90kg/m、100kg/m、110kg/m、120kg/m和130kg/m,以探究不同水泥含量与高压旋喷桩之间的响应关系。图2展示了不同水泥含量下试桩稳定性检测结果。结果显示随着水泥含量的增大,试桩完整性和强度等级也随之提高。在本试验中,当试桩水泥含量达到120kg/m时,试桩稳定性已达到合格标准。

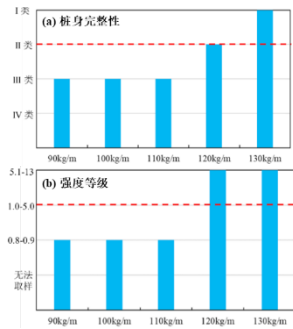


图2 不同水泥含量下试桩稳定性检测结果

4.3 不同水灰比下稳定性分析

水灰比是指混凝土拌合物中用水量与水泥用量的重量比值,是决定混凝土强度、耐久性和其他一系列物理力学性能的主要参数。本次试验水灰比分别设定为0.9、0.95和1。其检测结果如图3所示,可以发现水灰比为0.9、0.95和1时,试桩的完整性和强度等级均合格。

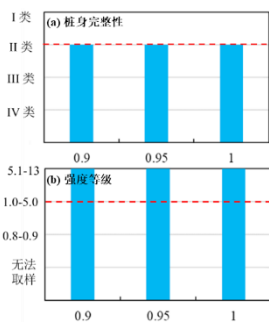


图3 不同水灰比下试桩稳定性检测结果

4.4 外加剂使用情况下稳定性分析

加入外加剂可以使得混凝土具有更好的物理性能和较高的抗压强度、抗拉强度。其中,水玻璃的加入还能使混凝土具有较好的耐腐蚀性能,本次试验分别对混凝土加入0.3%的水玻璃,以探究其对试桩稳定性的影响,检测结果如图4所示。结果显示,在未加入水玻璃水,其试桩完整性为三类,强度等级属于0.8~0.9MPa,未能达到合格等级。然而,在

加入0.3%水玻璃后,其完整性和强度等级均达到合格。

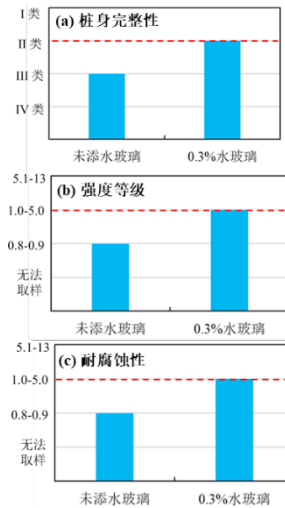


图4 水玻璃对试桩稳定性检测结果

5 结论

论文基于粤港澳大湾区流域水环境综合治理项目,论文选取水泥含量、水灰比、土层深度、软土含水量及是否加入水玻璃五个工艺参数,探讨了其不同工艺参数与高压旋喷桩稳定性之间的响应关系。根据本次现场试桩试验及取芯检测得出以下结论:随着水泥含量的增加,试验桩完整性和强度等级均显著提升。试桩完整性随着水灰比参数的提升在一定程度上会下降。在加入0.3%水玻璃后,试桩成桩率和强度等级均有着显著提升。综合考虑高压旋喷桩的稳定性和经济性,此次试桩最优配合比为水泥用量为120kg/m,水灰比为0.9以及水玻璃添加0,本研究可为相关地层地基处理提供经验和参考。

参考文献

- [1] 薛松,高星.流域水环境综合治理EPC项目合作绩效影响因素研究[J].水利经济,2022,40(6):47-54+103-104.
- [2] 潘华林,钱和平,蔡泽恩,等.高压旋喷桩加固高灵敏软土地基现场试验研究[J].地基处理,2021,3(1):71-75.
- [3] 史本宁,焦学尧.基于高压旋喷桩试桩的滨海滩涂淤泥层软基处理[J].水运工程,2020(S1):35-39.
- [4] 姜健,徐华,韩富庆,等.隧道浅埋段软弱围岩高压旋喷桩地表加固机理及现场试验方案设计[J].公路,2022,67(8):403-409.
- [5] 诸葛爱军,孙力,赵克来,等.高压旋喷桩在砂卵石石层的质量问题及控制措施[J].中国港湾建设,2019,39(3):47-51.
- [6] JGJ 79—2002 建筑地基处理技术规范[S].