

高压旋喷桩联合注浆加固在吹填场区中的研究

章吟秋, 李 根

(浙江数智交院科技股份有限公司, 浙江 杭州 310030)

摘 要: 吹填场区中软土路基处理是填海公路工程中的难题。针对某沿海公路工程施工过程中出现高压旋喷桩不成桩及无法取芯现象, 结合地质及相关质量检测试验进行分析, 提出高压旋喷桩联合注浆加固的软基处理方法。试桩结果表明, 采用该方法进行软土地基加固后, 高压旋喷桩 120 d 无侧限抗压强度平均值为 1.81 MPa, 取芯率不少于 90%, 地基承载力不低于 200 kPa。可见采用高压旋喷桩+注浆的联合处理方法可有效提高桩体施工质量, 减少地基沉降量, 试桩采用的施工参数及施工工艺均可为类似软土地基治理提供参考。

关键词: 高压旋喷桩; 注浆; 吹填; 淤泥; 承载力

中图分类号: U416.1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)07-0372-03

Research on Combined Grouting Reinforcement of High-pressure Jet Grouting Piles in Reclamation Site Area

ZHANG Yinqiu, LI Gen

(Zhejiang Shuzhi Jiaoyuan Technology Co., Ltd., Hangzhou 310030, China)

Abstract: The treatment of soft soil subgrade in reclamation site area is a difficult problem in land reclamation highway engineering. In response to the failure of high-pressure rotary jet grouting piles and the inability to extract cores during the construction process of a coastal highway project, and combined with the analysis on the geological and relevant quality inspection test, a soft foundation treatment method for combined grouting reinforcement of high-pressure jet grouting piles is proposed. The test pile results show that after using this method for soft soil foundation reinforcement, the average unconfined compressive strength of high-pressure rotary jet grouting piles after 120 days is 1.81 MPa, the core rate is not less than 90%, and the foundation bearing capacity is not less than 200 kPa. It can be seen that the combined treatment method of high-pressure rotary jet pile and grouting can effectively improve the construction quality of the pile body, and reduce the settlement of the foundation. The construction parameters and techniques used for the test pile can provide reference for the treatment of similar soft soil foundations.

Keywords: high-pressure rotary jet grouting pile; grouting; hydraulic reclamation; silt; bearing capacity

0 引 言

高压旋喷桩因其加固技术简单、施工机械化程度以及工作效率均较高而广泛应用于软土路基加固, 不少学者对其应用进行研究^[1-4]。随着公路建设的发展, 吹填工程在沿海城市有广泛的应用, 一些学者^[5-6]对真空预压、水泥搅拌桩等措施在吹填工程中的应用进行了研究。随着高压旋喷桩施工技术的发展, 其加固深度可达 10~30 cm, 能够有效应用在吹填土体厚且软土层埋深较深的吹填场区, 但目前相关应用的研究较少。

本文以位于吹填场区的金鹏跨海大桥项目为

例, 以现场试桩试验为基础, 针对吹填场区提出高压旋喷桩联合注浆的联合加固方法, 并对取芯率、单桩承载力及抗压强度等参数进行检测, 分析成桩后桩体质量和路基加固效果, 为后续类似工程提供经验参考。

1 工程概况

金鹏跨海大桥工程位于舟山市定海区, 道路等级为二级公路, 设计速度为 60 km/h, 项目起点位于现状疏港路与纵二路交叉位置, 沿现状疏港路向西布设, 终点与大鹏岛规划西环路顺接。路线设计全长 2.2 km, 道路长 0.668 km。其中桩号 K0+060.0~K0+277.5 及 K2+145~K2+200 段为填方路基, 填高约 1.0~5.0 m, 均为软土路段。

金鹏跨海大桥路基段位于原吹填区域, 吹填厚

收稿日期: 2025-01-13

作者简介: 章吟秋(1991—), 女, 硕士, 工程师, 从事路基设计工作。

度约 5.5 m,且原场地填料部分来自于开山石料。原设计软土路段均采用高压旋喷桩处理,高压旋喷桩桩径为 60 cm,正三角形布置,桩间距 1.4~1.5 m,桩长均为 15 m(见图 1)。

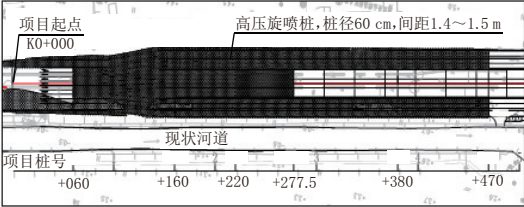


图1 高压旋喷桩桩位平面布置图

为保证吹填场区高压旋喷桩施工质量,软基施工前采用挖掘机将表层近 6 m 土体内超大粒径石块剔除(见图 2)。



图2 吹填场区石块开挖清理

2 场区地质条件

软基段表层为杂填土,厚度约 6 m,成分主要由块石、碎石组成,粒径 5.0~50.0 cm 不等,大小差异悬殊,棱角状,表面粗糙不平,少量为砾、砂充填,局部夹淤泥质土、黏性土,碎块石为近山体开挖后产生,堆填时间约 10 a 左右,土质极不均。

杂填土下方分布软土,主要由①₃、②₂层淤泥质土组成,其中①₃层为淤泥质粉质黏土,厚度约 1.3~9.1 m,②₂层为淤泥质黏土,厚度约 0.6~16.6 m。软土层具有含水量高、孔隙比大、压缩性高的性状,承载力很低,其具体特性见表 1。典型路段软基纵断面见图 3。

表1 软土主要物理力学性质一览表

土层	含水量 $\omega/\%$	液限 $\omega_L/\%$	天然孔 隙比 e	塑性指数 I_p	黏聚力 C/kPa	内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$
① ₃	43.7	37.7	1.222	16.0	11.3	3.3
② ₂	48.2	42.0	1.350	18.7	10.2	2.5

3 高压旋喷桩试桩试验

高压旋喷桩在平面上呈梅花形布设,设计直径

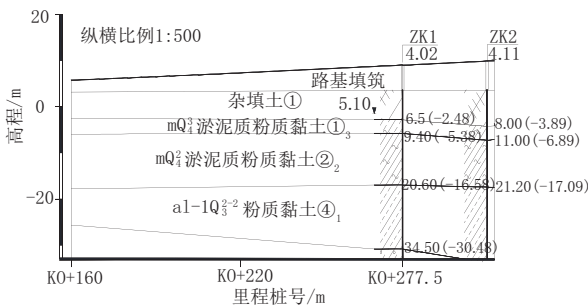


图3 典型路段软基纵断面图

为 600 mm,材料采用强度等级为 42.5 级普通硅酸盐水泥。

旋喷桩采用双管法,双管法的主要施工技术参数如下:浆液压力 20~40 MPa,水泥浆液比 0.8~1.2,旋喷速度 20 r/min,提升速度 0.2~0.25 m/min,喷嘴直径 2~3 mm,浆液流量 80~100 L/min(视桩径流量可加大),气流压力宜大于 0.7 MPa。

高压旋喷桩施工前采用 5 种不同水泥掺量进行试桩试验,其中水灰比采用 1,注浆压力采用 26 MPa。试验表明,针对本项目所在吹填场区地质条件,水泥掺量需达到 350 kg/m,单桩承载力能够达到 210 kN。具体试桩结果见表 2。

表2 高压旋喷桩试桩结果

序号	水泥掺量/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$)	试桩点数	单桩承载力/kN	抗压强度/MPa
1	275	4	163	不成桩
2	300	4	173	不成桩
3	325	4	191	1.29
4	350	4	210	1.71
5	375	4	230	2.1

当水泥掺量采用 350 kg/m 和 375 kg/m 时,高压旋喷桩上部 1~6 m 取芯破碎,6~15 m 芯样局部完整,呈柱状。后续调整提升速度和水灰比等条件进行试桩,桩顶以下 1~6.0 m 范围内取芯均困难,未呈现完整柱状。取芯芯样见图 4。



图4 取芯芯样图

对取芯破碎的原因进行分析,考虑到本项目填方路基位于原吹填场地,约 6 m 厚杂填土为开山碎

石块堆积而成,高压旋喷桩施工后桩体内部夹杂碎土,导致无法成型取芯,不满足规范要求的取芯率。

4 软基处理方案调整

根据现场实际情况,对软基处理方式进行调整,调整为注浆(上部5 m)+高压旋喷桩(下部5~15 m)。注浆设计要求如下:

- (1)注浆孔布置:注浆钻孔布置同原高压旋喷桩位置保持一致,平面上呈正三角形布设,钻孔间距为1.4~1.5 m。
- (2)注浆孔深度:根据杂填土厚度,确定注浆孔深度为5.5 m。
- (3)注浆材料及配比参数:42.5级普通硅酸盐水泥,水灰比W/C=0.6~2.0(具体根据现场注浆渗透情

- 况调整)。
- (4)注浆压力:实际注浆过程中注浆设备的泵压是跳动的,其值一般介于0.5~2.0 MPa之间。注浆压力达到设计终压并继续注浆15 min以上;进浆量一般为20~30 L/min以下。(可根据现场注浆渗透情况调整)
- (5)注浆方法:插入式管底注浆工法,单管单液,孔底注浆。

5 注浆+高压旋喷桩联合处理效果分析

5.1 高压旋喷桩质量检测

本次试桩试验中高压旋喷桩水泥掺量采用350 kg/m,水灰比采用0.6。对K0+060~K0+277.5段区域内12根高压旋喷桩进行检测,具体结果见表3。

表3 高压旋喷桩抽检成果							
序号	里程桩号	桩号	施工时间/m	检测时间/m	强度平均值/MPa	强度代表值/MPa	取芯率/%
1	K0+060~ K0+277.5	204-21	2024.1.18	2024.5.15	1.82	1.78	92.8
2		204-22	2024.1.18	2024.5.15	1.83	1.68	93.7
3		354-14	2024.1.18	2024.5.18	1.69	1.62	93.0
4		354-15	2024.1.18	2024.5.18	1.87	1.78	93.2
5		189-11	2024.1.19	2024.5.16	1.95	1.85	92.8
6		189-12	2024.1.19	2024.5.16	1.79	1.71	91.2
7		214-23	2024.1.19	2024.5.19	1.68	1.62	92.0
8		214-24	2024.1.19	2024.5.19	1.80	1.74	92.6
9		193-9	2024.1.20	2024.5.18	1.78	1.71	91.6
10		193-10	2024.1.20	2024.5.19	1.86	1.77	92.9
11		348-20	2024.1.20	2024.5.17	1.77	1.71	91.6
12		348-21	2024.1.20	2024.5.17	1.89	1.83	90.6

试验结果表明,高压旋喷桩桩身28 d无侧限抗压强度平均值不小于1.35 MPa,120 d无侧限抗压强度平均值为1.81 MPa,取芯率满足规范要求。

5.2 静载试验

采用全自动静载测试仪对注浆联合高压旋喷桩处理后地基承载力进行测量,选取3处测点,试验过程中总施加荷载为200 kN,检测结果见表4。

表4 静载试验成果表						
序号	检测地点	点号	总加荷 量/kN	总沉降 量/mm	回弹量/ mm	回弹 率/%
1	K0+060~ K0+277.5	200-20	200	6.66	2.69	40.4
2		213-13	200	2.76	1.07	38.8
3		220-21	200	3.31	1.09	32.9

试验结果表明注浆+高压旋喷桩联合处理后,地基承载力极限值均不少于200 kPa。

6 结 语

以金鹏大桥工程吹填路段软基处理方案为例,

- 结合地质、试桩试验及桩体检测情况,分析注浆+高压旋喷桩联合处理方法的有效性,得出以下结论:
- (1)针对吹填区域软基处理方案,应充分考虑到原场区内杂填土性质,结合项目特点采用有效的软基处理方法。
 - (2)针对舟山吹填场区软土特性,高压旋喷桩水泥掺量采用350 kg/m,水灰比采用0.6,桩身28 d无侧限抗压强度平均值不小于1.35 MPa,取芯率满足规范要求。
 - (3)吹填区采用注浆+高压旋喷桩联合处理的方式可有效避免桩体取芯失败现象,提高复合式桩体施工质量,且处理后地基承载力不少于200 kPa。

参考文献:

[1] 廖津和.高压旋喷桩地基加固工艺在超深黏土层中的应用[J].交通世界,2024(8):69-73.

[2] 戴燕青,余锦辉.高压旋喷桩在人工填石层下深层淤泥地基加固试桩效果[J].珠江水运,2024(3):25-28.