

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2022.11.006

道路工程大直径超深水泥搅拌桩施工技术研究

包 珍

(中国铁建港航局集团有限公司, 广东 珠海 519000)

摘要: 珠江三角洲地区软土深厚, 道路工程经常采用 50 cm 直径的水泥搅拌桩复合地基处理方式。珠海某项目市政道路采用桩径 80 cm、桩长约 27 m 搅拌桩, 为工程施工带来了较大难度。为保证工程质量, 增加工程经济效益, 采取钻头优化方案改进了叶片, 由常规的 2 层 4 组叶片改进为 3 层 6 组叶片, 每层叶片投影方向垂直, 能增加搅拌次数, 提高搅拌均匀度。同时增加双道叶牙, 有效增加浆液的流动顺畅程度。优化了喷浆口, 由一个喷浆口位于钻头底部喷浆改进为钻杆底端左右两侧喷浆, 有效缓解了喷浆口堵塞和淤泥回流。优化了喷浆压力, 喷浆压力一般为 0.4~0.6 MPa, 在第 1 次搅喷过程中采用上限 0.6 MPa, 第 2 次搅喷采用 0.4 MPa。优点在于第 1 次搅拌时先喷出超额水泥浆液进行搅拌, 第 2 次减少喷浆压力可控制总浆液用量, 有效提高了桩身质量, 并控制了成本。改进了钻杆钻进速度, 水泥搅拌桩桩机功率为 45~55 kW, 施工时钻杆下沉及提升速度控制在 0.5~0.8 m/min, 下沉时采用上限值, 提升时采用下限值, 确保加固深度范围内土体搅拌均匀。通过以上措施提高了搅拌桩桩身强度并保证桩体完整。经检测, 桩身完整、有效桩径、桩长、桩体强度均符合设计。

关键词: 道路工程; 技术优化; 施工方法; 水泥搅拌桩; 齿状钻头

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2022) 11-0043-06

Study on Construction Technology of Large Diameter Ultra-deep Cement Mixing Pile in Road Engineering

BAO Zhen

(CRCC Harbour and Channel Engineering Bureau Group Co., Ltd., Zhuhai Guangdong 519000, China)

Abstract: As the soft soil in the Pearl River Delta area is deep, 50 cm diameter cement mixing pile composite foundation is often used for road engineering. A municipal road in Zhuhai City adopts the mixing piles with diameter of 80 cm and length of 27 m, which brings great difficulty to the project construction. In order to ensure the quality and enhance the economic benefits of the project, the optimized scheme of drill bit is adopted to improve the blades, the conventional 2-layer 4-group blades are improved to 3-layer 6-group blades, the projection direction of each layer of blades is vertical, which can increase the mixing times and improve the mixing uniformity. At the same time, double-channel teeth are added to effectively increase the smoothness of slurry flow. The jetting nozzle is optimized from a jetting nozzle located at the bottom of the drill bit to spraying on the left and right sides of the bottom end of the drill pipe, which effectively relieved the blockage of the jetting nozzle and the silt backflow. The jetting pressure is optimized, which is generally 0.4~0.6 MPa, the 0.6 MPa upper limit is used in the first stirring and jetting process, and 0.4 MPa is used for the second stirring and jetting. The advantage is that in the first time of mixing, excess cement grout is sprayed for mixing, and in the second time, the total grout dosage can be controlled by reducing the jetting pressure, which effectively improved the quality of pile body and controlled the cost. The drilling speed of the

收稿日期: 2021-04-14

基金项目: 中国铁建港航局集团 2021 年科研项目 (2021-B24)

作者简介: 包珍 (1978-), 男, 广东广州人, 硕士, 高级工程师. (343536010@qq.com)

drill pipe is improved. The power of the cement mixing pile driver is 45–55 kW. During construction, the sinking and lifting speeds of the drill pipe shall be controlled within 0.5–0.8 m/min. the upper limit value shall be used for sinking and the lower limit value shall be used for lifting to ensure that the soil within the reinforcement depth is evenly mixed. Through the above measures, the strength of the mixing pile body is improved and the integrity of the pile body is guaranteed. The testing shows that the pile body is complete, the effective pile diameter, pile length and pile strength are meet the design requirements.

Key words: road engineering; technology optimization; construction method; cement mixing pile; toothed bit

0 引言

水泥搅拌桩技术引入国内已有 20 多年的发展, 具有设备简单, 施工方便, 无振动, 无噪音, 对环境无污染, 对土体无侧向挤压等众多优点^[1]。但大直径超深水泥搅拌桩一直受桩身完整度差、桩体质量难以控制等问题困扰。为改善以上问题, 通过改进施工设备与施工工艺的方法, 提高工程质量。最终水泥搅拌桩成桩效果好, 各项检测指标均符合设计要求。

1 工程概况

本项目道路填土高度为 2.0 m, 软基处理设

计水泥搅拌桩均按照正方形(矩形)布置, 设计桩径为 0.8 m, 设计桩间距为 2.0 m, 桩间设置桩径 0.6 m, 桩长为 8 m 的水泥搅拌桩短桩进行加固处理, 如图 1 所示。桩顶设 1 层双向塑料土工格栅和 50 cm 后碎石垫层褥垫层。水泥搅拌桩施工工艺: 四搅四喷, 水泥掺量: 20% (重量比, 淤泥重度 16.0 kN/m^3); 设计水灰比为 0.5~0.6, 水泥土 28 d 抗压强度不低于 0.6 MPa, 水泥土 60 d 抗压强度不低于 0.8 MPa, 90 d 抗压强度不低于 1.0 MPa; 水泥搅拌桩 90 d 单桩承载力不低于 300 kN。正式大面积施工前, 应进行不少于 5 根的工艺性试桩^[2]。

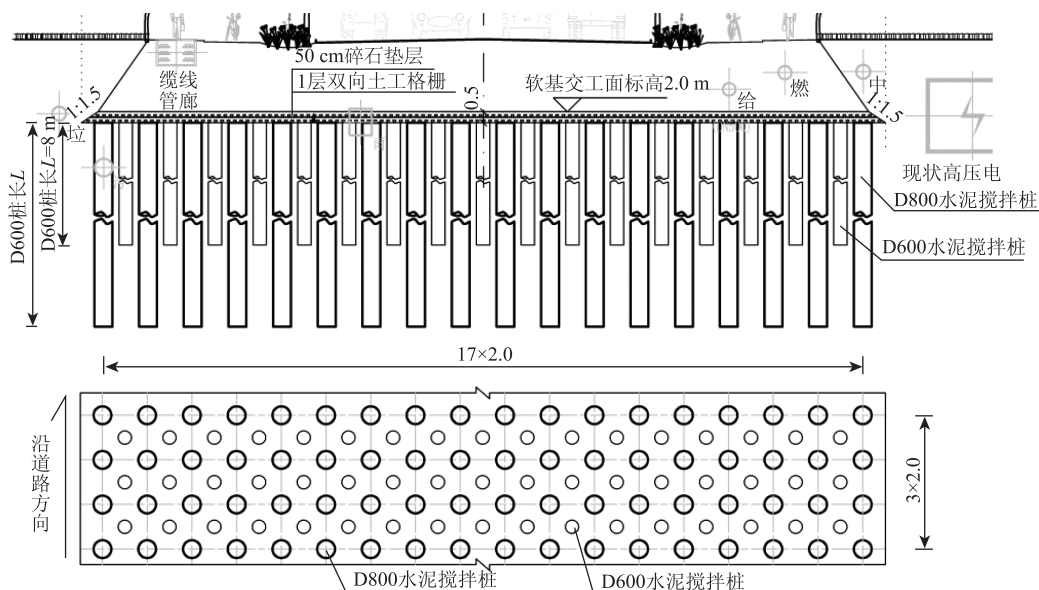


图 1 水泥搅拌桩复合地基软基处理标准断面图 (单位: m)

Fig. 1 Standard section of soft foundation treatment for cement mixing pile composite foundation (unit: m)

复合地基常规设计中采用桩径 50 cm, 桩长小于 20 m 方式, 施工中采用双层叶片钻头, 四搅四喷工艺^[2]。

2 地质情况

根据钻探揭露的地层自上而下为: 地表水; 人

工填土层 (Q_4^{ml}); 第四系海陆交互相沉积层 (Q_4^{mc}); 残积层 (Q^{el}); 下伏基岩为燕山三期侵入花岗岩 ($\gamma 52(3)$)。

(1) 人工填土: 褐黑、黄褐、灰黄、褐灰等杂色, 稍湿~湿, 松散~局部稍密状, 主要由黏性土混砂组成, 含约 10%~30%左右的碎石, 粒径约 2~

8 cm, 为人工回填而成。平均厚度约 2.00 m。

(2) 第四系海陆交互相沉积 (Q_4^{mc})

① 淤泥: 灰黑色, 饱和, 流塑, 成分以黏粒为主, 含有机质及少量贝壳碎片, 黏性好, 切面光滑, 干强度高, 韧性高, 无摇振反应, 具腐臭味, 局部夹薄层粉细砂。目前揭露的厚度为 12.50~31.50 m, 平均约 19.00 m。

② 淤泥质黏土: 灰黑色, 饱和, 软塑, 成分以黏粒为主, 含有机质, 黏性好, 切面光滑, 干强度高, 韧性高, 无摇振反应, 略具腐臭味, 局部夹薄层粉细砂。该层在场内较广泛地分布, 目前揭露的厚度为 3.10~24.40 m, 平均约 12.00 m。

③ 黏土: 褐红、褐黄、灰黄、灰白、褐灰色, 湿, 可塑, 成分以黏粒组成, 黏性好, 切面光滑, 干强度高, 韧性高。该层在场内基本都有分布, 目前揭露的厚度为 1.40~37.50 m, 平均约 7.00 m。

④ 中砂: 褐灰、灰黄、褐黄、灰白色, 饱和, 稍密, 成分以石英中砂为主, 含 10%~25% 的黏粒, 局部含黏土较多, 分选性较好, 颗粒级配良。目前只是局部揭露出该层, 目前揭露的厚度为 1.10~10.80 m, 平均约 6.60 m。

(3) 第四系残积层 (Q_4^{el})

砂质黏性土: 灰白、灰黄、褐黄、褐红色, 稍湿~湿, 硬塑, 成分以长石风化形成的次生黏土矿物为主, 含约 25% 左右的石英砂, 干强度中等, 韧性中等, 无摇振反应, 浸水易崩解、软化。目前只是局部揭露出该层, 目前揭露的厚度为 1.10~14.20 m, 平均约 4.00 m。各地层物理力学性能如表 1 所示。

表 1 各层物理力学性能统计表

Tab. 1 Statistical table of physical and mechanical properties of each layer

地层	含水量/ %	密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	液性 指数	塑性指数/ %	有机质 含量/%
淤泥	63.8	1.60	1.66	21.8	3.36
淤泥质黏土	52.2	1.68	1.35	18.9	0
黏土	31.0	1.92	0.35	17.4	
中砂	28.5	1.90	0.30	16.3	
砂质黏性土	25.4	1.88	0.20	15.4	

3 重难点分析

(1) 区域特点

本项目所处的洪湾港北片区位于珠江三角洲的南部前缘, 因特有的地理位置及地质成因, 使得该地区滨海相软土及其所处环境呈现出明显的区域特

征, 是全国报道中最软的软土, 在该条件下进行的大规模地基处理成本高、技术难度大^[3]。

(2) 目前水泥搅拌桩应用特性

水泥土搅拌桩复合地基是一种能有效提供承载力和控制工后沉降的深厚软基处理较常用的地基加固方法。然而实际工程中, 由于天然形成、环境污染或海水入侵等原因, 地下水和土的矿化度很高, 这使得水泥土性能随时间衰减很快, 对水泥搅拌桩成桩质量要求较高^[4-5]。

(3) 大直径超深桩特点

大直径超长水泥搅拌桩设备功率要求高、桩径大、桩长深、质量控制难度大, 采用常规工艺施工无法满足设计及规范要求^[6], 如表 2 所示。

表 2 常规搅拌桩与大直径超深桩对比

Tab. 2 Comparison between conventional mixing pile and large diameter ultra-deep pile

项目	常规水泥搅拌桩	大直径超深搅拌桩
桩径/cm	50	80
截面面积/ m^2	0.196	0.502
桩长/m	≤ 20	25~28
施工工艺	四搅四喷	四搅四喷
水泥掺量/%	16~18	18~20

① 径大

水泥搅拌桩软土地基处理中设计常规以 50~60 cm 为主, 本研究水泥搅拌桩桩径为 80 cm, 直径较大, 对于搅拌桩机械设备功率要求高。

② 身长

《复合地基技术规范》(GB/T 50783—2012) 中规定搅拌桩喷浆搅拌法的加固深度不宜大于 20 m, 本工程搅拌桩设计长度为 25~27 m, 极容易出现断桩、强度低、短桩等质量事故, 对于工程施工带来了极大难度。^[7]

③ 质复杂

项目位于滨海地区, 地下水位高, 淤泥及淤泥质黏土层厚度达 33 m, 其中淤泥层厚 24.5 m, 对于水泥搅拌桩成桩质量影响较大。

4 施工技术优化方案

4.1 钻头优化

(1) 3 层叶片

水泥搅拌桩机的钻头叶片常规由厚度 2 cm, 宽 10 cm 2 层 4 组叶片组成^[8], 根据大直径搅拌桩特点增加 1 道叶片, 形成 3 层 6 组叶片, 每层叶片投影方

向相互垂直,间距 50 cm。优点为增加水泥浆液与淤泥质土的搅拌次数,达到更加充分的搅拌效果,提高搅拌均匀度,提高桩身强度,保证桩体完整性。钻头图如图 2 所示。

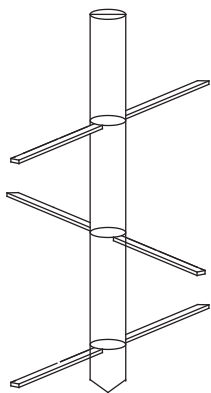


图 2 3层叶片钻头

Fig. 2 Three-layer bladed drill

(2) 双道叶牙

水泥搅拌桩机的钻头双层叶片上分别在外缘、中间部位焊接一道合金钢牙齿,高 2 cm,优点在于进一步提高搅拌均匀性。为桩周方向提供浆液流畅通道,进一步提高了搅拌均匀性,保障桩身强度值。结构图如图 3 所示。

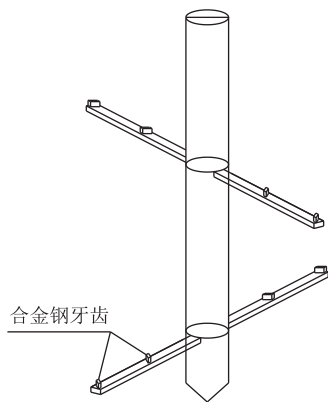


图 3 钻头加设叶牙

Fig. 3 Blade teeth added on drill pipe

4.2 喷浆口优化

水泥搅拌桩机的喷浆口位于钻杆中心,钻头底部,施工过程中经常出现堵塞、淤泥回流等现象^[9-10],导致出浆量不足、断浆等影响桩身质量。本项目中采用 2 个喷浆口形式,分别位于钻杆底端左右两侧,双口喷浆既保证了喷浆量足又克服了堵塞现象,有效提高了桩身质量。

4.3 喷浆压力优化

搅拌桩施工过程中喷浆时注浆泵出口压力 0.4~

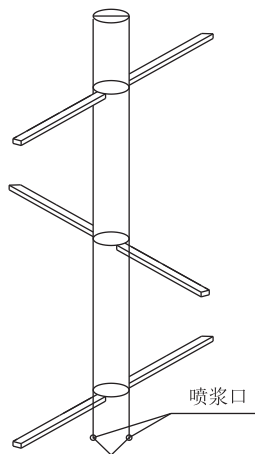


图 4 钻头喷浆口设置

Fig. 4 Setting of drill pipe nozzles

0.6 MPa^[11],为了浆液与土体搅拌更充分,并控制好总浆液用量,第 1 次一搅一喷时喷浆压力采用上限值,即 0.6 MPa,第 2 次一搅一喷时喷浆压力采用下限值,即 0.4 MPa。优点在于第 1 次搅拌时先喷出超额水泥浆液进行搅拌,第 2 次可控制总浆液用量,有效提高了桩身质量,并控制了成本^[12]。

4.4 钻杆升降控制

水泥搅拌桩桩机功率为 45~55 kW,施工时钻杆下沉及提升速度控制在 0.5~0.8 m/min,下沉时采用上限值,提升时采用下限值,确保加固深度范围内土体搅拌均匀,当钻头提升至距原地面 0.3~0.5 m 时,可停止喷浆。

5 施工注意事项

(1) 做好场地的平整工作,并有足够的承载力^[13],施工中应保持搅拌桩机底盘的水平 and 导向架的竖直,搅拌桩的垂直偏差不得超过 1%^[14]。

(2) 设计要求的水泥掺量暂定为 20%,应通过试桩确定最佳水泥掺量,建议采用 18%,20%,22%,这 3 种水泥掺量进行试桩。

(3) 水泥每次投料后拌和时间不得少于 3 min,待压浆前将浆液倒入集料池中,配置的灰浆应流动性好^[15],不离析,便于泵送、喷搅,灰浆应搅拌均匀,现制现用,加滤网过滤,制拌好的水泥浆不得停置时间过长,超过 3 h 不得使用^[16]。

(4) 搅拌钻头直径不小于 800 mm,应每天检查 1 次,磨损量不得大于 10 mm,及时加焊或更换叶片。

(5) 搅拌机下沉到设计深度后,喷浆 30 s 保证桩底的加固质量,然后再按规定速率边喷浆边提升搅拌机。

(6) 施工过程中, 如遇到停电或特殊情况造成停机导致搅拌中断时, 应将搅拌机下降至停浆点以下 1 m 处, 待恢复供浆时再喷浆搅拌, 以防止出现不连续桩体^[17]。

6 效果检验情况

经委托珠海市建设工程质量监督站检测 A35, A36, A48, A49, A64, A65, A117, A118, A136, A153, A154, A171, A172, A189 等 14 根水泥搅拌桩, 检测结果如下。

(1) 桩长

设计桩长 25 m, 取芯长度 24.8 m, 实取芯桩 22.4 m, 取芯率 99.2% (因取芯操作问题, 造成沉渣积累, 扶正器无法下去)^[18], 按桩长 25 m 计, 取芯率 89.6%, 实际施工可达到验收合格标准。

(2) 完整性

取芯后桩身完整性较好, 芯样连续, 水泥搅拌均匀。

A35, A49, A65, A189 受检桩芯样多数呈长柱状, 少数呈短柱状、块状, 胶结好, 手感坚硬, RQD 指标 0.056, 桩身完整性判定为 I 类。

A36, A48, A64, A117, A136, A153, A154 受检桩芯样多数呈长柱状, 少数呈短柱状、块状, 大多数芯样胶结较好, 手感较硬。局部芯样松散或芯样水泥含量少, RQD 指标 0.112, 桩身完整性判定为 II 类。

A118, A171, A172 受检桩芯样多数呈长柱状, 少数呈短柱状、块状, 大多数芯样胶结较好, 手感较硬。局部芯样松散或芯样水泥含量少, 呈可塑性且芯样长度大于 1 倍桩径, 桩身完整性判定为 III 类。

检测结果表明 I 类桩占 28.6%, II 类桩占 50.0%, III 类桩占 21.4%, 合格桩占 78.6%。

(3) 桩身强度

14 根水泥搅拌桩从芯样上、中、下 3 个不同位置取样, 水泥土芯样抗压强度代表值为 0.64 ~ 1.56 MPa, 水泥土抗压强度 28 d 设计值为 0.6 MPa, 满足设计要求。

7 结论

(1) 滨海地区深软土地质条件下 D800 mm、27 m 大直径超长水泥搅拌桩施工可采用桩机钻头优化改进、钻杆喷浆口的增设、喷浆压力调整、钻进及提升速率的控制等综合措施, 保证桩身施工质量。

(2) 大直径水泥搅拌桩的桩距按 2.0 m 正方形

布置, 施工过程中未发现桩土挤压造成断桩现象, 桩距设计合理。

(3) 通过多次试验及检测结果表明工艺适应性强, 效果明显, 操作简单, 质量、安全保障性高等特点, 可广泛应用于类似软土地基处理水泥搅拌桩工程施工中。

参考文献:

References:

- [1] 王晓晶, 李家宏. 软土地基水泥搅拌桩的应用 [J]. 当代化工研究, 2018 (4): 179-180.
WANG Xiao-jing, LI Jia-hong. Application of Cement Mixing Pile in Soft Soil Foundation [J]. Modern Chemical Research, 2018 (4): 179-180.
- [2] 陈晨. 水泥搅拌桩技术在道路软土路基处理中的应用 [J]. 工程建设与设计, 2020 (21): 215-216.
CHEN Chen. Application of Cement Mixing Pile Technology in Treatment of Road Soft Soil Subgrade [J]. Construction & Design for Engineering, 2020 (21): 215-216.
- [3] 张启顺. 双向水泥搅拌桩在软土路基地基处理中的应用 [J]. 铁道建筑, 2014 (11): 119-121.
ZHANG Qi-shun. Application of Bidirectional Cement Mixing Pile in Treatment of Soft Soil Road Base [J]. Railway Engineering, 2014 (11): 119-121.
- [4] 谢稳章. 水泥搅拌桩软基处理技术在施工质量控制方面的措施 [J]. 广西城镇建设, 2020 (12): 76-77.
XIE Wen-zhang. Measures of Cement Mixing Pile Soft Foundation Treatment Technology in Construction Quality Control [J]. Cities and Towns Construction in Guangxi, 2020 (12): 76-77.
- [5] JTG/T D31-20—2013, 公路软土地基路堤设计与施工技术细则 [S].
JTG/T D31-20—2013, Technical Guidelines for Design and Construction of Highway Embankment on Soft Ground [S].
- [6] 王亚. 复合地基在沿海公路深层软土地基处理中的应用 [J]. 工程建设与设计, 2020 (22): 34-35.
WANG Ya. The Application of Composite Foundation in Deep Soft Soil Foundation Treatment of Coastal Highway [J]. Construction & Design for Engineering, 2020 (22): 34-35.
- [7] 李瑶. 水泥搅拌桩在江门地区软基处理中的应用研究 [J]. 中国水运, 2020, 20 (10): 153-155.
LI Yao. Application of Cement Mixing Pile in Soft Foundation Treatment in Jiangmen Area [J]. China Water Transport, 2020, 20 (10): 153-155.

- [8] 陈昌祺. 超深水泥土搅拌桩技术与应用 [J]. 地下工程与隧道, 2011 (3): 5-8, 56.
CHEN Chang-qi. Super-deep Cement-soil Mixing Pile Technique and Its Application [J]. Underground Engineering and Tunnels, 2011 (3): 5-8, 56.
- [9] 亢秀山, 曾赛堂, 廖科, 等. 深层水泥土搅拌桩在城市规划区道路淤泥质土处理中的应用 [J]. 工程技术研究, 2020, 5 (17): 58-59.
KANG Xiu-shan, ZENG Sai-tang, LIAO Ke, et al. Application of Deep Cement Soil Mixing Piles in Treatment of Silty Soil on Roadways in Urban Planning Areas [J]. Engineering and Technological Research, 2020, 5 (17): 58-59.
- [10] 田佳平. 提高水泥搅拌桩成桩一次合格率 [J]. 建材与装饰, 2018 (47): 297-298.
TIAN Jia-ping. Improving Primary Qualification Rate of Cement Mixing Pile [J]. Construction Materials & Decoration, 2018 (47): 297-298.
- [11] 赵志国, 张瑾. 水泥搅拌桩在道路中的应用 [J]. 中国高新技术企业, 2014 (18): 85-86.
ZHAO Zhi-guo, ZHANG Cui. Application of Cement Mixing Pile in Road [J]. China High-Tech Enterprises, 2014 (18): 85-86.
- [12] 李东火. 市政工程施工中水泥搅拌桩技术使用注意要点分析 [J]. 四川水泥, 2018 (6): 14.
LI Dong-huo. Analysis on Key Points of Attention in Application of Cement Mixing Pile Technology in Municipal Project Construction [J]. Sichuan Cement, 2018 (6): 14.
- [13] 司家鑫. 复合型搅拌桩机在地基加固改良中的应用 [J]. 建筑机械化, 2016, 37 (6): 46-48.
SI Jia-xin. Complex Mixing Pile Machine in the Application of the Improved Foundation Reinforcement [J]. Construction Mechanization, 2016, 37 (6): 46-48.
- [14] 秦飞. 公路水泥搅拌桩施工质量影响因素及控制分析 [J]. 交通世界, 2020 (11): 46-47, 49.
QIN Fei. Analysis on Influencing Factors and Control of Construction Quality of Highway Cement Mixing Pile [J]. Transpo World, 2020 (11): 46-47, 49.
- [15] 唐瑞龙, 郭续, 武小宇, 等. 水泥搅拌桩施工成桩质量控制技术 [J]. 施工技术, 2019 (增1): 230-232.
TANG Rui-long, GUO Xu, WU Xiao-yu, et al. Quality Control Technology for Cement Mixing Pile Construction [J]. Construction Technology, 2019 (S1): 230-232.
- [16] 李守庆. 水泥搅拌桩处理软土地基的施工 [J]. 交通世界, 2015 (1): 32-33.
LI Shou-qing. Construction of Cement Mixing Pile to Treat Soft Soil Foundation [J]. Transpo World, 2015 (1): 32-33.
- [17] 吴兰. 公路水泥搅拌桩质量检测 [J]. 交通世界, 2016 (1): 20-21.
WU Lan. Quality Test of Highway Cement Mixing Pile [J]. Transpo World, 2016 (1): 20-21.
- [18] 杨建军, 黄市生. 搅拌桩机对水泥搅拌桩强度的影响研究 [J]. 住宅与房地产, 2020 (24): 108.
YANG Jian-Jun, HUANG Shi-Sheng. Study on Influence of Pile Mixer on Strength of Cement Mixing Pile [J]. Housing and Real Estate, 2020 (24): 108.