

冲海积平原深厚软土地基水泥搅拌桩施工技术研究

王小龙 刘 德

中交一公局厦门工程有限公司 福建 厦门 361000

摘要：沿海地区地基处理难度高、地基结构强度与稳定性不足，通过采用水泥搅拌桩施工技术，利用高性能搅拌机设备深入土层进行充分搅拌，形成稳定、高强度的水泥土固结体。福州机场第二高速公路A5项目作为实例，通过精确的施工方法和严格的质量控制，结合一种自动监测系统，成功实施了该技术。施工后检测结果显示，单桩极限承载力和复合地基承载力均达到设计要求。针对施工中存在的问题，提出相应的改进措施，进一步提升了施工效率和工程质量。

关键词：沿海地区；地基处理；水泥搅拌桩；承载力；自动监测；施工质量控制

引言

水泥搅拌桩在中国已有四十多年的发展历史，被广泛应用于各类工程基础施工。受项目地理位置的影响，部分水泥搅拌桩需在沿海地区深厚软土层上施工，若施工质量差，极易在后续施工中发生路基沉降的现象，往往成为制约工程建设工期的瓶颈，也成为增加项目建设成本的主要因素之一。因此，通过前期试桩工作合理制定施工工艺，科学配置自动监测系统，最终实现水泥搅拌桩能高效优质施工的目标具有非常重要的意义^[1]。

1 工程概况

福州机场第二高速公路A5项目处于沿海地区，经勘测发现该区域以淤泥质软土地基为主，强度不足，地基处理范围比较大，对整体工程质量影响方面高。为确保该项目地基建设和运营效果合格，设计采用水泥搅拌桩施工，施工总计36280根，总长度460387m。该项目设计方案中水泥搅拌桩采用变径设计方式，其大部分桩体直径为0.5cm，而桩顶2m范围内将直径扩大到0.8m，桩体间隔按1.4~1.8m布置，满足沿海地区地质条件的施工需求。为确保本项目基础结构具备较高稳定性，地基处理深度范围达10~22m。

2 施工设备选择

该水泥搅拌桩设计桩径为0.5m，平均桩长为5~22m，综合桩径、桩长和工程数量考虑，选用PH-5D型双向搅拌机。

表1 设备参数表

部位	项目	参数
主机	加深加固 (m)	0~32m
	成桩直径 (mm)	≤800mm
	主电机 (KW)	55
	油泵电机 (KW)	7.5
	进提钻调速电机 (KW)	15

续表：

部位	项目	参数
喷浆系统	水泥浆搅拌机	4KW/3.14m ³
	输浆泵型号	JY150A

3 具体施工方法

3.1 场地平整

施工前组织施工人员采取现场清理措施，并进行场地平整。同时，施工结束后桩顶位置超出设计标准50cm，以确保桩顶标高符合技术标准。

3.2 桩位测量

按照设计方案进行测量放样，发挥GPS测量技术优势，使桩位定位精度合格，再使用白灰标记。放样结束后由质检人员、监理工程师复核检测，采用卷尺测量，偏差在合理范围内再继续施工。

3.3 钻机就位

按照工艺方案将钻机移动到施工位置，并对正钻头部位，确保偏差不得超过设计标准。身安装结束之后利用水平尺调整平整度，并确保钻杆垂直度符合技术方案。利用传感器实时监控垂直度参数，安装以及钻进阶段确保钻杆垂直度偏差控制在1%以内。

3.4 浆液配置

加水时采用自动定量设备，为保证浆液拌合均匀性，采用二级拌合方法：按试验配比计算出一根桩所需水泥和水的用量，水泥采用水泥罐散装水泥，水根据所需数量对设备进行设定计量。在容积为0.8m³，水灰比按0.6:1进行配置，对搅拌桶内的浆液进行第一级搅拌，充分搅匀(预搅时间≥4分钟)后将其流入储浆池内，由储浆池为钢箱结构，储浆池内设置搅拌机进行不间断搅拌，再由压浆泵输送至桩机喷浆口进行施工。同时在搅拌桶里进行下根桩的浆液的配制搅拌，如此循环进行。储浆

池内水泥浆比重现场实测为1.7~1.73g/cm³，施工过程中浆液始终保持均匀性，水泥用量按照下表1配制^[2]。

表2 水泥搅拌桩施工水泥用量

水泥掺量	每m水泥用量 (kg)	扩大头部分每m水泥用量 (kg)	桩长 (m)	每根桩所需水泥总量 (kg)
16%	53.4	136.7	16	1021.0

3.5 钻进

桩机安装完成后进行校正，精度合格即可开启动力系统，带动钻机钻头逐步钻进到地层结构内。当钻机钻入到规定深度后操控人员缓慢操纵钻机，使其转动速度减慢，并且开启螺旋输送机工作，使底部钻渣能够输送到地面。当钻进达到设计标高位置后，停止钻进作业，并再次开启加压装置。通过钻杆持续施压，使得内外钻杆沿着导向架向下移动。同时，底部钻头持续切削土体，并且叶片采取正转、反转方式切割作业。搅拌机持续下沉，最终达到钻进作业深度^[3]。

3.6 提升喷浆搅拌并重复该过程

通过试桩及后续各方验证，扩大头及下部桩体采用“四搅四喷”的工艺施工，开启搅拌机使其沿着导向架逐步向下进行土体切割，再开启泥浆泵向内部输送足够水泥浆，利用搅拌机不断向下沉，且通过两组叶片持续进行土体切割作业，直到最终达到设计标准为止。按照本项目工艺方案，搅拌下沉的过程中将速度设定为1~1.5m/min，并且持续观测现场施工情况，保证作业效果合格。随着搅拌机逐步运行，向上提升时逐步开展搅拌以及喷浆作业，设定速度范围1~1.5m/min，钻进速度上下限通过试桩，根据地基软硬程度不同施工难度确定。通过含水量较高的地层时应放慢提钻及下沉速度控制在0.5~0.8m/min之间。在施工过程中通过后台“桩智慧”自动监测各台钻机施工情况，实时掌握累计浆量、累计灰量、桩端电流、下钻速度、提钻速度、最大斜度、成桩时间；实时监控后台制浆加水量、加灰量、水灰比等实时数据；通过平台预警及时制止并修正施工，避免不合格桩体的产生。本项目水泥搅拌桩有长桩、短桩之分，成桩控制标准采用双控机制，长桩施工一般按照达到设计桩长为准，短桩施工按照桩端电流强度达到80A为准，提升喷浆要高出桩顶标高50cm，以利于保护桩头。上述工作结束后提升并关闭送浆泵，使搅拌机逐步向上提升，两组叶片正反向旋转，从而将底部泥土脱离地表20cm左右。提升搅拌阶段加强速度控制，使其保持在1.5m/min以下。如果施工阶段发现喷浆量难以达到现场施工标准，则需要复搅、补浆作业以提高处理效果^[4]。



图1 搅拌桩钻进过程监控

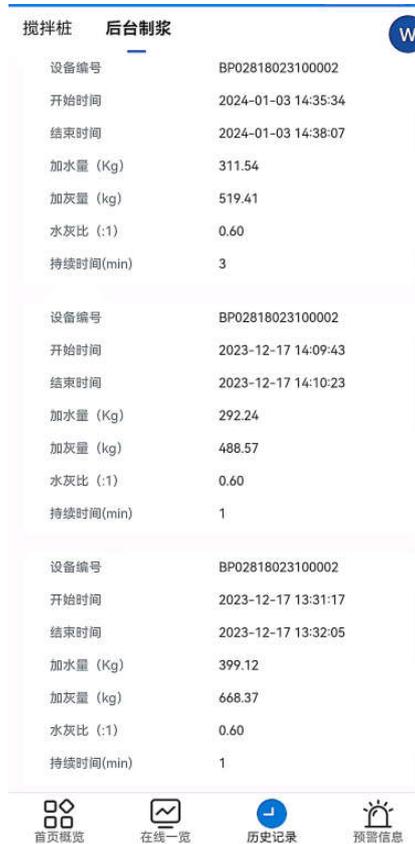


图2 搅拌桩后台制浆监控

3.7 清洗、移位

清洗作业开始前先进行钻头以及钻杆的提升,使其达到安全高度位置,确保清洗作业阶段不会给桩体施工效果产生任何影响。清洗工作开始后由工作人员给集料桶内加入一定量的清水,并且严格控制清水量,使其满足现场清洗作业要求,且防止水量过多产生资源浪费现象。清洗工作开始后打开设备压力控制阀门,使其保持低压射水操作,利用水的压力将管道清洗干净,使其内部没有任何浆液残留。清洗过程中利用低压射水的方式

完成清洗作业,且防止压力过高损坏管道各结构部分,为后续灌浆作业提供有力支持。清洗时关注出口位置的水质情况,直到达到清澈度的标准,说明内部管路清洗效果合格。在操作过程中加强精准性控制,然后再将设备稳定、安全的移动到下一位置^[5]。

4 施工检测

水泥搅拌桩施工结束后,成桩28d后开展静载试验进行性能参数检验,主要检测其单桩极限承载力和复合地基承载力,具体见表1、表2:

表3 单桩极限承载力

桩号	最大试验荷载(kN)	最大试验荷载作用下桩顶累计沉降(mm)	残余变形均值(mm)	单桩竖向抗压极限承载力取值(kN)
ynb3区	180	3.06	2.32	180

经过检测确定本项目单桩极限承载力为180kN,最大试验荷载180kN,累计沉降3.06mm,符合本项目地基处

理需求。

表4 复合地基承载力

桩号	最大试验荷载(kPa)	最大试验荷载作用下桩顶累计沉降(mm)	残余变形均值(mm)	单桩复合地基承载力特征值取值(kPa)
ynb3区	160	11.17	9.32	80

经过对复合地基承载力的检测,其达到80kPa,最大时间荷载160kPa,沉降量11.7mm,检测结果符合地基处理需求。

部件之一,其垂直度、稳定性对于取芯效果和施工质量产生直接影响。但目前施工过程中并未按照技术标准进行套管的固定,现场钻进作业阶段容易出现晃动现象,进而引发钻杆垂直度偏差严重,也会出现取芯偏斜的情况对成桩施工效果产生危害。

5 施工中存在的问题及改进措施

5.1 存在的问题

第一,水泥搅拌桩的后台设备配套相对简洁,施工过程中效率受到影响,无法满足高效施工需求。同时,施工现场作业阶段并未采取必要的储浆池防护设施。储浆池是存储浆液的主要设施,其运行的效果对浆液质量以及施工顺畅性存在直接影响。但目前很多工程项目施工过程中储浆池并未设置完善的防护装置,且没有采取相应的隔离与保护性措施。施工阶段一旦存在泄漏、溢出等现象导致材料浪费严重,也会引发环境污染性事件。第二,注浆管为管道输送的主要设施,其安装的牢固性、可靠性、稳定性对整个项目注浆施工效果有直接影响,也关系到工程项目是否安全。但目前应用过程中注浆管的固定效果较差,施工阶段存在随意甩动的情况而影响水泥搅拌桩施工效果。第三,桩端停留时间不足而影响桩端的强度和稳定性。如果桩端停留时间并未达到技术标准,给桩体结构强度、稳定性产生危害,且没有构建完善监测体系,导致桩体施工后强度、稳定性无法达到技术标准。第四,钻孔取芯机套管固定性不足而影响施工效果。钻孔取芯机中套管为必不可少的结构

5.2 改进措施

针对上述水泥搅拌桩施工过程中存在的各项问题,结合福州机场A5项目施工情况提出下述可行性改进措施,从而保证水泥搅拌桩施工效果达到目标。第一,现场施工落实文明施工措施,确保各项施工作业按照规定流程顺利完成,使得现场施工作业环境达到整洁、有序的效果。同时,结合项目施工需求进行后台设备不断调整,使整个系统达到完善性效果,切实提高施工的效率和质量。储浆池作为现场施工极为重要的基础设施,施工过程中采取必要的防护装置,保证其防护装置具备较高的稳定性,以免在施工作业阶段引发水泥浆污染、泄漏等情况,确保周边环境清洁,也能满足施工连续性标准。第二,对于注浆管牢固性不足的情况,结合现场施工需求设置必要的固定性设置,使得注浆管能够稳定连接在桩机结构上。同时,注浆管施工过程中由工作人员实时关注其固定性状态,如果出现松动或者甩动的情况需及时采取必要的固定性方式,保证施工后桩体质量达到目标。第三,针对桩端停留时间不足的情况,

对桩端结构施工全面监控,保证该位置停留时间在10s以上。施工阶段由现场管理人员通过自动监测平台进行实时监测,通过平台预警及时纠正施工错误。第四,针对钻孔取芯机套管牢固性不足的问题,结合设备特点以及现场施工需求采取牢固性措施,保证套管具备稳定性,使其施工时垂直度始终满足技术标准。同时,施工阶段关注套管作业情况,如果出现晃动情况则要更新改进套管固定性措施,使其钻进作业达到准确、高效的目的。

6 结语

沿海地区由于地质条件比较差、强度不足,无法满足工程建设施工需求,甚至引发严重的安全事故。根据沿海地区地质特点,分析地质条件因素,水泥搅拌桩施工适用沿海地区大部分的地基处理措施,水泥搅拌桩施工具有设备简单、施工方便、无振动、无噪音、对环境无污染,对土体无侧向挤压,施工周期短,工程造价低,能够充分利用现状软土加固达到路基承载能力的要求,并

为项目后续路基、桥梁工程尽早提供施工作业面;同时依托自动监测系统,实现远程多人实时在线监测,保证施工质量,避免资源浪费,极大提高了施工效率。

参考文献

- [1]李明旭.深层水泥搅拌桩施工质量控制及特殊情况的处理[J].中华建设,2024,(11): 151-152.
- [2]李小湘.惠州大道软土路基段水泥搅拌桩加固效果探究[J].中国公路,2024,(20):101- 103.
- [3]邓鸿昌,刘寰宇,孟繁路,等.临海闸泵工程深厚软土层水泥搅拌桩应用分析[J].工程建设与设计,2024,(19):226-228.
- [4]蔡兆威.水泥搅拌桩在软基处理中的应用分析[J].城市建设理论研究(电子版),2024, (27):142-144.
- [5]周磊.滨海区软弱地基工程特性及水泥搅拌桩加固效果[J].铁道建筑,2024,64(09): 127-132.