

# 水泥搅拌桩在淤泥质黏土层的施工与质量控制<sup>\*</sup>

王佳, 曾国东

(佛山市公路桥梁工程监测站有限公司, 广东 佛山 528041)

**摘要:** 分析了水泥搅拌桩在软基施工中普遍存在的问题, 从处理土层性质、室内配合比试验、工艺性试桩、大面积施工质量检测、钻芯验证等方面总结了其施工质量控制措施, 并以广东某高速公路水泥搅拌桩软基处理工程为例进行分析。结果表明, 水泥搅拌桩处理珠江三角洲冲积平原地区的淤泥质黏土, 在一定施工参数条件下, 采用“两喷两搅”的施工工艺、17% 的水泥掺量, 桩体施工质量有保障, 无侧限抗压强度能达到 1.2 MPa。

**关键词:** 公路; 软基; 淤泥质黏土; 水泥搅拌桩; 质量控制

**中图分类号:** U416.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2019)02-0070-03

水泥搅拌桩以水泥为主固化剂, 通过特制的机械将水泥等固化剂喷入土体并充分强制搅拌, 使水泥和软土之间产生一系列物理、化学反应而形成具有整体性、水稳定性和一定强度的水泥土桩, 提高软土地基承载能力。与其他软基处理方法相比, 水泥搅拌桩具有价格低廉、施工速度快、对环境污染小等特点, 广泛应用于广东省公路工程软基处理。水泥搅拌桩施工属于隐蔽性工程, 目前缺少经济、高效的检测方法, 加强对施工前和施工过程的质量监管十分必要。

## 1 水泥搅拌桩软基处理中存在的问题

由于种种原因, 水泥搅拌桩软基处理中存在较多质量问题。1) 施工技术难度较大。水泥搅拌桩成桩质量受地层影响大, 遇到泥炭土、有机质含量较高的土、塑性指数大于 25 的黏土、地下水 pH 值小于 4 和地下水具有腐蚀性等土层时成桩质量难以保障。2) 施工管理难度大。施工单位现场管理混乱, 偷工减料现象比比皆是, 且存在打标桩的现象, 施工过程管理难度大、成本高。3) 质量检测方法落后、代表性不强。目前检测方法主要有钻芯、静载试验, 检测频率低, 仅为 0.1%~0.5%, 这种通过抽取极少数样本来评价整个场地处理效果的方法欠妥。4) 质量检测工序滞后。水泥搅拌桩施工完成达到龄期后才进行质量检测, 如果检测结果不合格, 需扩大检测甚至大面积处理, 既影响工期, 又增加施工成本。

以往的研究主要针对水泥搅拌桩成桩效果方面

的技术问题, 而对打桩设备改进和大面积施工管理不够重视。另外, 珠江三角洲冲积平原淤泥质黏土分布十分广泛, 具有含水量高、孔隙率大等特点, 是软基处理的重点、难点。针对上述问题, 该文从施工前质量控制、试桩质量控制及大面积施工质量控制三方面总结水泥搅拌桩施工质量控制措施, 提出适合于珠江三角洲冲积平原淤泥质黏土处理的水泥掺量和施工工艺参数。

## 2 质量控制措施

### 2.1 施工前质量控制

#### 2.1.1 地层性质分析

软基施工前应熟悉土层的基本物理力学性质, 为设计水灰比、水泥用量、下沉及提升速度等施工参数提供理论基础。首先查阅项目的勘察报告, 熟悉主要处理土层分布规律、各土层的物理力学指标、软土分布范围和厚度变化情况, 同时核查软基处理设计图纸, 了解桩型及桩位布置情况。必要时选择有代表性的区域进行静力触探试验、十字板剪切试验判别土层的软弱情况或钻孔取样(软土应取原状样)进行含水量、有机质、pH 值等参数测试。

#### 2.1.2 施工设备和原材料的检查

(1) 施工设备。检查计量装置(流量计、深度计、电压表、喷浆压力表等)的完好性; 检查设备主要参数(机架高度、电机功率等)是否满足要求。

(2) 原材料。委托第三方检测机构对水泥关键指标(密度、比表面积、标准稠度用水量、凝结时间、

<sup>\*</sup> 基金项目: 广东省交通运输厅科技项目(2013-02-003)

胶砂强度等)进行检测,满足要求方能使用。水泥现场应堆放于干燥的库房内,并做好防雨、防潮措施。严禁使用受潮、结块的水泥。

2.1.3 处理土配合比试验

为了经济、合理地确定水泥搅拌桩加固地基的技术参数,确定与地基土加固相适应的水泥品种、标号和掺量,委托第三方专业机构对典型地段的主要处理土层钻探取样进行室内配合比试验。配合比一般由养护龄期和固化剂(水泥)掺量决定,如养护龄期通常分为 7、28 及 90 d,水泥掺量按施工图设计文件要求取中值、+1%和-1%进行试验,地质情况较复杂时,可在此基础上适当增加+2%、-2%等水泥掺量进行试验。采用外掺剂时,根据设计文件或业主要求选择外掺剂的种类和掺量。

2.2 试桩质量控制

2.2.1 施工参数设计

在水泥搅拌桩大面积施工前,根据场地土层情况、室内配合比试验结果及类似工程经验进行现场工艺性试桩,验证室内配合比,掌握适用于该区段的成桩经验,检验机具性能及施工技术参数(搅拌次数、下沉和提升速度及泵送压力等)。同一工程地质条件下试桩数不少于 3 根。

2.2.2 过程监督和效果验证

试桩期间,对每根试桩全程进行监督旁站,重点核查配合比、水泥用量及相关施工工艺参数,如出现偏差及时纠正,并对整个过程做好详细记录。达到龄期后采用抽芯检测法进行效果验证。

2.2.3 工艺总结

综合分析检测结果、钻孔芯样及土层情况,对试桩工艺进行全面评价,对试桩施工中存在的问题提出整改意见和建议,确定水泥用量和相关施工工艺参数,形成处理路段水泥搅拌桩施工工艺指南指导下阶段的大面积施工。

2.3 大面积施工质量控制

2.3.1 质量监测系统

试桩取得成功后,剩下的核心问题是如何管理好施工作业人员、规范操作行为。可引入一套水泥搅拌桩施工质量监测系统,该系统主要对搅拌设备(流量计、深度仪、GPS、测斜仪及电流计)进行一定加装改造,利用互联网技术对施工进行实时、全过程监测,不间断采集桩深度、水泥用量、施工工艺等关键施工数据并实时上传、存储至云端服务器,通过电脑、手机等随时随地查阅。若某参数超于允许偏

差,现场及后台即刻自动报警,查明原因并加以解决后再解除警报。

2.3.2 质量巡查和指导

大面积施工期间不仅配置监测系统,还需有经验的技术人员深入现场巡查。一方面对现场原材料管理、设备状况及施工过程进行日常巡查,发现问题及时督促改进;另一方面,系统报警后立即赶赴现场核查原因,提出解决措施。

2.3.3 效果验证

工程桩达到龄期后,分段采用钻芯检测法,按照 0.2%~0.5%的比例进行效果验证,为专项验收检测奠定基础。

3 实例分析

3.1 工程概况及地质条件

广东省某高速公路 FCK0+580—745 段处于珠江三角洲冲积平原,属第四系松散土类工程地质(I 区),地形较平坦,鱼塘局部密布,地下水较浅。第四系松散层由冲积粉质黏土、砂土、卵砾石及软土组成,基底由石灰系灰岩、炭质灰岩、角砾状灰岩等组成。土层自上而下依次为:1)素填土。褐黄色,可塑,厚度约 2.90 m。2)淤泥质黏土。深灰色,流塑,厚度约 8 m。3)中砂。褐灰色,稍密,厚度约 0.9 m。4)粉质黏土。灰黄色,可塑,厚度约 1 m。5)强风化灰岩。灰色,裂隙发育。软土层的物理力学性质和承载力见表 1。

表 1 淤泥质黏土层的物理力学指标

项目		指标值
天然密度/(g·cm <sup>-3</sup> )		1.66
天然含水量/%		63.8
初始孔隙比		1.64
塑性指数		21.5
有机质含量/%		2.30
压缩模量/MPa		2.39
直接快剪	不排水抗剪强度/kPa	2.3
	不排水内摩擦角/(°)	3.0
固结快剪	不排水抗剪强度/kPa	5.7
	不排水内摩擦角/(°)	6.2
承载力/kPa		45

3.2 室内配合比试验

该路段水泥搅拌桩按正三角形布置,桩径 50 cm,平均桩长 14 m,28 d 设计强度 1.2 MPa,桩间距

1.3 m,主要处理土层为淤泥质黏土。结合设计要求,采用浆喷法施工,固化剂采用 42.5R 级普通硅酸盐水泥,水灰比 0.5。水泥掺量分别采用 15%、

17%、19%,每组分别制作 7 和 28 d 无侧限抗压强度试件各 3 件进行试验。配合比设计及强度试验结果见表 2。

表 2 室内配合比设计及强度试验结果

组别	水泥掺量/ %	水泥用量/ (kg · m <sup>-1</sup> )	土用量/ (kg · m <sup>-1</sup> )	水用量/ (kg · m <sup>-1</sup> )	外加剂用量/ (kg · m <sup>-1</sup> )	强度均值/ MPa	
						7 d	28 d
1	15	48.90	326	24.45	0.489	0.73	1.12
2	17	55.42	326	27.71	0.554	1.02	1.65
3	19	61.94	326	30.97	0.619	1.51	2.36

根据强度试验结果,水泥搅拌桩无侧限抗压强度随着水泥掺量、龄期的增加而增长,其中水泥掺量是影响强度的主要因素。最合理水泥搅拌桩配合比为水泥:处理土:水:外加剂=55.42 kg:326 kg:27.71 kg:0.554 kg=1:5.88:0.5:0.01。

### 3.3 工艺性试桩

在该路段均匀选取三处代表性位置进行工艺性试桩。施工参数如下:下沉速度 0.6 m/min,提升速度 0.8 m/min,转速 35 r/min,下沉时喷浆压力 0.40 MPa,采用“两喷两搅”施工工艺、17%水泥掺量。试桩过程全程监督旁站,记录异常情况。经检测,28 d 后 3 根试桩无侧限抗压强度为 1.42~4.56 MPa,且芯样基本连续、完整(见图 1)。

### 3.4 大面积施工

大面积施工前,对搅拌设备进行加装改造。施



图 1 试桩芯样

工中运用软基施工质量监测系统监管,实时掌握成桩深度、水泥用量、搅拌速度等施工信息,严格把控现场施工质量。成桩 28 d 后,随机选取 3 根桩进行钻芯检测,检测结果见表 3。

由表 3 可知:3 根桩均呈现一致的规律,即淤泥

表 3 芯样无侧限抗压强度检测结果

桩号	取样深度/m	强度/MPa		芯样状态描述	结论
		检测值	平均值		
5—198 <sup>#</sup>	2.40~2.55	2.23	2.42	芯样基本连续、完整,呈长、短柱状和块状,搅拌均匀,拌和体固结良好	合格
	6.50~6.70	1.67			
	12.45~12.65	3.36			
9—115 <sup>#</sup>	1.85~2.00	1.89	3.14	芯样连续、完整,呈长、短柱状,搅拌均匀,拌和基本均匀,拌和体固结良好	合格
	6.65~6.85	1.72			
	11.70~11.90	5.82			
13—179 <sup>#</sup>	2.15~2.30	2.01	2.70	芯样基本连续、完整,呈长、短柱状,搅拌均匀,拌和体固结良好	合格
	7.00~7.20	1.43			
	12.65~12.85	4.65			

质黏土的强度明显低于上部(素填土)、下部(砂土、粉质黏土)土层强度。说明施工工艺相同的条件下,淤泥质黏土层强度最低,处理效果相对较差。从节省工程造价的角度,水泥用量和施工工艺参数可根据土层性质进行调整。考虑到该路段主要处理土层

为淤泥质黏土,施工过程中未作区分。

## 4 结论

- (1)在一定施工参数条件下,采用“两喷两搅”

(下转第 83 页)

## 4 结论

该文以级配偏差值为指标设计离析级配,并根据有效沥青油膜厚度等效的原则计算离析级配的油石比。通过研究 SMA-13 离析的吸水率、空隙率、马歇尔稳定度、流值等体积指标,发现现有针对离析的分类标准并不合适,轻度和中度离析指标差别不大,且轻度离析时各项体积指标下降较大,建议将轻度离析重新定义为严重离析。通过试验分析离析后沥青路面的水稳定性及高温稳定性等路用性能,发现细集料减少有助于提高 SMA-13 路面的水稳定性,细集料增加则对路面的水稳定性基本没有影响;无论是细集料增加或粗集料增加所发生的离析,动稳定度均有所下降,即沥青路面的高温稳定性有所下降,且细集料增加对动稳定度的影响比粗集料增多的影响更大。

### 参考文献:

- [1] 尹健标,王端宜.沥青路面施工离析与早期损坏关系的研究[J].中外公路,2010,30(2).
- [2] 丛林,郑晓光,郭忠印.施工离析对沥青混合料性能的影响分析[J].同济大学学报:自然科学版,2007,35(4).
- [3] 包秀宁,张肖宁.路面颗粒材料离析性的评价方法[J].华南理工大学学报:自然科学版,2010,38(3).

- [4] 韩立志,梁增洁,彭余华,等.AC-25 级配离析的分形评价标准及预测方法[J].长安大学学报:自然科学版,2014,34(6).
- [5] Taisir S Khedaywi, Thomas D White. Effect of segregation on fatigue performance of asphalt paving mixtures [J]. Transportation Research Record, 2015(4).
- [6] 胡佳寅.沥青混合料级配离析特性的分形评价与控制技术研究[D].西安:长安大学,2013.
- [7] 周泽汉.沥青混合料离析特性研究[D].长沙:长沙理工大学,2008.
- [8] 陈长锡.沥青混合料装料、卸料过程中的离析研究[D].西安:长安大学,2015.
- [9] 张肖宁.沥青路面施工质量控制和保证[M].北京:人民交通出版社,2009.
- [10] 沙庆林.沙庆林院士论文选集[M].北京:人民交通出版社,2010.
- [11] 唐娟.沥青混合料离析与评价指标[D].西安:长安大学,2008.
- [12] 周吴军.基于分形理论沥青路面离析判别方法研究[D].长沙:湖南大学,2009.
- [13] JTG E20-2011,公路沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [14] 祝海折.快速评价沥青混合料离析新方法的应用研究[J].公路交通技术,2016(2).

收稿日期:2018-07-13

(上接第 72 页)

的施工工艺、17%的水泥掺量,水泥搅拌桩处理珠江三角洲冲积平原淤泥质黏土的成桩效果较好,桩体施工质量有保障,无侧限抗压强度能达到 1.2 MPa。

(2) 水泥搅拌桩无侧限抗压强度随着水泥掺量、龄期的增加而增长,其中水泥掺量是影响强度的主要因素,施工中应严格控制水泥最低用量。

(3) 运用质量监测系统对桩长、喷浆量、搅拌速度及钻进速度等关键参数进行实时监控,能极大地降低水泥搅拌桩大面积施工管理难度和成本。

(4) 打桩施工中可根据土层情况,对打桩设备进行升级改造,自动调整水泥用量和相关施工工艺参数,遇到桩底土层性质与设计不符时自动调整桩长,实现打桩智能化及对每根桩、每个土层的精细化施工,最大限度保障水泥搅拌桩施工质量。

### 参考文献:

- [1] JGJ 79-2012,建筑地基处理技术规范[S].

- [2] 陈波.水泥搅拌桩处理软基施工中的监理质量控制措施[J].浙江水利科技,2008(3).
- [3] 吕国庆.浅谈水泥搅拌桩处理软基施工的质量控制措施[J].广东科技,2007(3).
- [4] 聂海岩,岳海飞,刘辉.浅谈软土地基水泥搅拌桩施工和管理[J].公路交通科技:应用技术版,2010(7).
- [5] 彭子泳,许发明.水泥搅拌桩加固软土地基应用技术研究[J].广东公路交通,2012(3).
- [6] 李宜成,高国龙,王庆,等.滨海地区淤泥质黏土水泥土搅拌桩施工技术研究[J].广东土木与建筑,2018(9).
- [7] 谢胜华,刘松玉,杜广印.双向粉喷桩处理海相软土室内强度对比分析[J].安徽工业大学学报:自然科学版,2013,30(3).
- [8] 朱云飞,寇盼盼.水泥搅拌桩配合比设计[J].公路交通科技:应用技术版,2018(9).
- [9] 齐善忠,郑俊垚.地质条件对水泥搅拌桩桩体强度影响的试验研究[J].黄河水利职业技术学院学报,2018,30(4).

收稿日期:2018-12-18