

浅谈水泥搅拌桩在公路深厚软基处理中的应用

范腾飞

中国公路工程咨询集团有限公司, 北京 100089

DOI:10.33142/ec.v2i2.207

[摘要]水泥搅拌桩具有加筋软土厚度大, 施工方便, 成本低, 基础处理效果好的特点。本文结合工程实际, 根据场地的工程地质、软土层分布等情况, 通过现场工艺研讨优化了成桩工艺参数, 探讨了影响水泥搅拌桩强度的因素, 并从水泥掺量管理, 设备工艺管理和桩身质量检测等方面提出了施工管理的控制措施。

[关键词]水泥搅拌桩; 深厚软基; 施工工艺; 质量控制; 检测

Application of Cement Mixing Pile in Deep Soft Foundation Treatment in Highway Engineering

FAN Tengfei

China Highway Engineering Consultants Corporation, Beijing Haidian, China 100089

Abstract: Cement mixing pile has the characteristics of large thickness of reinforced soft soil, convenient construction, low cost and good foundation treatment effect. In this paper, according to the engineering geology and soft soil distribution of the site, the process parameters of pile-forming are optimized through on-site technological discussion, the factors affecting the strength of cement mixing pile are discussed, and the control measures of construction management are put forward from the aspects of cement admixture management, equipment technology management and pile quality detection.

Keywords: Cement mixing pile; Deep soft foundation; Construction technology; Quality control; Inspection

深层软土具有含水率高, 压缩性高, 承载力低, 沉降量大, 沉降不均匀, 沉降稳定时间长, 易触变等特点。它在自然状态下具有轻微的强度, 一旦受干扰的土壤结构容易被破坏, 强度就会突然降低。不宜直接作为持力层。确保基础稳定是高速公路软基处理的重要问题。更换方法, 排水固结方法, 复合地基方法等水泥搅拌桩是一种软基处理方法。水泥浆和土壤经历一系列物理和化学反应, 形成具有足够强度和稳定性的水泥土。这成为增加基础强度的复合基础。由于加固效果显著, 加筋软土的厚度较大, 基础承载力迅速形成, 加固后土壤可以快速填充。它适应了快速建设的要求, 在中国得到了广泛的应用, 取得了良好的经济效益和社会效益。

1 工程概况

该项目是一流的高速公路, 全长 15.4 公里。地质条件较为复杂, 道路交叉区软土多为河相和湖泊冲积软土。厚度大, 上覆土层薄, 软土在空间均匀分布, 厚度变化不大。一般层厚度为 15~25 米, 局部截面的最大厚度为 32 米。除桥面坡段外, 路基均采用水泥搅拌桩湿法处理, 设计桩径 0.50 m。水泥掺量为 60 kg/m, 桩间距为 1.1~1.75 m, 桩长为 6.9~20 m, 以梅花形进行布设。

2 工程地质条件

根据地质调查报告, 该地层的上覆土层主要由粘性土和淤泥组成, 淤泥层连续分布在浅部。软土深浅, 厚度大, 下侏罗统罗岭组砂岩和砂质泥岩。软土层含有几层低液限粉砂层和粉砂层, 表层具有低液限粘土层。但其承载力较低, 软基搅拌桩处理的主要目标土层为: 1-2 层、2-2 层、2-3a 层。

表1 主要土层的物理力学指标

编号	土层名称	天然含水量 ω (%)	密度 ρ (g/cm ³)	天然孔隙比 e	塑性指数 I_p	液性指数 I_L	直剪快剪		压缩系数 α_{1-2} (1/MPa)	标贯击数 N
							粘聚力 C (kPa)	内摩擦角 ϕ		
1-2	淤泥质粉质粘土	42.5	1.78	1.18	14.9	1.35	10.6	3.8	0.68	3.4
2-2	淤泥质粉质粘土	39.2	1.80	1.10	14.8	1.12	12.0	3.8	0.57	5.6
2-3a	淤泥质粉质粘土	36.6	1.81	1.05	12.5	1.01	23.0	8.0	0.56	6.9

3 施工方案

本项目水泥搅拌桩施工区地质条件复杂，桩体土层较薄，顶土层较薄，软土层较厚，夹层淤泥和淤泥夹层在施工过程中，随着桩深增加，土压力和孔隙水压力增加，导致搅拌桩中的压力急剧增加。它容易出现在水泥浆上，例如损失，损失和不均匀混合。因此，在水泥搅拌桩正式施工之前，组织各种型号和不同的动力搅拌桩机进行试桩。业主组织了监督，设计单位和专家进行现场过程讨论，优化和总结了成桩过程。该项目采用单向湿喷，两喷和四搅拌工艺。增强材料由 42.5 级波特兰水泥制成。并采取几个控制纸浆，专用计算机平台记录桩工艺措施，形成科学合理的搅拌桩施工方案，确保桩的质量。

优化的施工工艺及配比参数如下：

- (1) 控制水灰比不大于 0.50，推荐采用 0.45 ~ 0.50；
- (2) 水泥用量按室内混合比试验确定，但应符合每米 60Kg 的要求；
- (3) 根据软土质量条件，如果含水量高，有机质含量高，酸度高，应适当增加石膏、粉煤灰等外掺剂（掺量由室内配合比试验确定），在不增加水泥量的情况下增加桩的强度；
- (4) 为增加浆液的和易性和稳定性，考虑部分地段天然含水量较高，建议添加高效减水剂或早强剂，剂量由室内混合比试验确定；
- (5) 钻速，提升速度，喷射压力，抽速和浆料密度等参数应相互匹配。喷浆提升速度宜控制在 0.5 ~ 0.8 m/min，复搅速度宜为 0.5 ~ 0.8 m/min；
- (6) 注浆压力应满足 0.4 ~ 0.6Mpa 要求。

4 水泥搅拌桩强度的影响因素

4.1 水泥参入比

对于水泥的强度来说，其会对水泥自身的比例增加来进行增加。对于水泥来说，其加固软土的主要措施是通过水泥和土壤相互融合产生的，而且还能够进行相应的反应，其次，离子和水泥两者之间进行反应，成效相对比较明显。而且，对于水泥来说，对整个土壤之间的水分有效的减少，这样就能够进一步保证土壤自身的凝固程度，加强水泥土壤自身的抗压程度，继而提升自身的强度，保证其自身的加固成效。对于工程的建设以及成本来说，需要在整个水泥搅拌桩建设的过程中对其材料的掺入程度为百分之十二到百分之二十，不过对于各个建设环境不同，因此，要根据建设的自身实际情况进行掺入。

4.2 含水量

水泥固化软土需要一定量的水参与反应。表 2 显示了水含量和强度之间的关系。当水泥土的水泥混合比相同时，水泥土的无侧限抗压强度随着含水量的降低而增加。

表2 含水率与无侧限抗压强度的关系

含水量 (%)	35	45	55	35	45	55
龄期 (天)	28	28	28	90	90	90
无侧限抗压强度 q_u (Mpa)	0.962	0.716	0.646	1.419	1.221	0.826

4.3 龄期

对于水泥土来说，其自身的强度在不断的提升。而且整个承重搅拌桩的建设来说，大部分都利用水平加载的混凝土来进行，主要的时间大概为九十天，起到一定的支撑作用。要想进一步减少养护的周期，就要加强水泥土的强度，提升其自身的强度时间。在水泥土大于三个月以后，其自身的强度就会降低。

4.4 有机质的主要含有量

对于水泥土自身的强度来说，其自身的有机质含有量与其自身的强度有着密切的联系。由于有机质含有量促使土壤自身的含水程度也在不断的增加，这就会导致其自身的可塑性增强，对于体积相对较大的就会膨胀，对于含有量低的就会渗透。由于土层自身有一定的酸性程度，因此，对于水泥自身的水化反应以及土壤的凝固有一定的影响，进而对水泥土自身的强度有所影响。对于有机质含有量的不同程度，水泥土的强度也会由于其自身的时间在不断的增强或者缩减。按照华东部门的主要经验显示，利用水泥搅拌桩的软土地基来对其进行加固的主要有机质含有量大概在百分之六左右。大部分的工程经验表明，对水泥土的磷石膏进行相应的添加，还能够提升自身的强度。对于水泥强度的增加能够对水泥的侵蚀有效的抵御，而且还要在后期进行强度的不断加强。

4.5 水泥强度和外加剂之间的关系

对于水泥土自身的强度来说，减水剂以及石膏粉的添加能够进一步提升其自身的强度，主要的原理条件就是在同样的建设背景下，减水剂能够对水泥自身的流动程度进行有效的改善，所以能够对其水灰比进行有效的使用。对水泥土里面的含水程度进行有效的改善，进而对其自身的抗压程度进行不断的提升，对于水灰比来说，保证其自身的稳定性，水泥自身的流动效果比较好，因此对于土壤自身的混合程度也就相对较强，均匀的程度不断提升，那么水泥土自身的成效就不断提升。对于石高峰和土壤颗粒要进行化学之间的反应，对其产生一定的凝聚力，进而提水泥土自身的强度。

5 施工管理控制

水泥搅拌桩是一个隐蔽的项目。因此，如何在施工过程中控制关键施工过程是管理者最关心的问题。

5.1 水泥用量管理

水泥用量是影响桩质的基本因素。

(1) 用电磁流量计记录浆液量(分段容积,单桩浆液量)。

(2) 为便于施工过程中水泥的使用监督,在施工前计算以下两个指标:①水泥浆比重 $\gamma = (1+ac)/(1/\text{水泥表观密度} + ac)$; 第二阶段的浆料量为 $D=k(1+ac)\gamma$, 其中 D 是浆料的量(每单位长度喷射的水泥浆的体积), v/m ; k 为每米水泥掺入量, kg/m ; ac 为水泥浆水灰比; γ 为水泥浆液比重, kg/L 。基于浆料量计算单桩的水泥浆量。

(3) 根据搅拌桩机的作业时间、单桩成桩时间计算的理论延米数应与实际成桩完成的延米数匹配。

5.2 设备工艺管理

桩的质量与地基处理的效果直接相关。施工过程中采用“两喷四搅”工艺。四次混合是为了确保水泥浆和地基土的混合时间(确保桩的任何一点的水泥土通过混合的 20 倍以上)这两种喷雾确保水泥浆均匀分布在桩体中,必须严格执行。喷射量的均匀性主要取决于钻头的速度和喷射压力。另外,桩顶以下 5m 内的施工质量予以高度重视,因为该部分对地基承载力具有最重要的影响。

5.3 成桩质量检测

为了满足设计要求,充分验证了方案的可行性,确保了工程桩的质量,主要进行了水泥搅拌桩的岩心试验和静载试验。

(1) 水泥搅拌桩取芯试验

现场取芯作业是混合桩质量检测的重要手段,可以直观地反映混合的均匀性,桩的强度和桩的承载层。为尽量减少对芯样的扰动,现场检测应在 28 天后采用金钢石岩芯钻探技术、双管单动取样器沿整桩长进行连续钻孔取芯,每 1 米取 1 个试件,进行室内无侧限抗压强度试验,了解和评价混合桩的水泥含量。强度,完整性,搅拌均匀性,桩长和桩端轴层性能。桩强度试验基于 28d 龄龄大于 0.8MPa 的无侧限抗压强度的平均值。

(2) 水泥搅拌桩静荷载试验

静载试验分为单桩和复合地基静载试验。复合地基承载力特征值 $f_{spk} \geq 150kPa$, 当沉降在允许范围内时,满足设计要求。

6 结语

对于水泥搅拌桩来说,其自身具有一定的速度性以及经济性,是相对科学的针对软基处理的有效性方法。而且,对于整个桩体周围来说,其四周的土质有效的提升,地基是通过桩体和土壤共同承载压力。所以,对于水泥搅拌桩的处理工艺来说,其自身的剪强程度不断的提升,地基的稳定程度也在不断的提升。桩基能够在整个自身的发展过程中进行填充,不仅能够提升建设的效率,还能够改善工程的质量。探究了影响桩体强度的因素,提出了合理的施工管理控制措施,利用科学的检测方法,施工效率大大提高,桩的质量得到保证。

[参考文献]

- [1] JGJ79—2012. 建筑地基处理技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [2] 王胤彪, 施斌. 某标段高速公路淤泥质软基采用浆喷桩法加固的质量问题分析[J]. 华南港工, 2006(4): 53-55.
- [3] 陈慧娥, 王清. 有机质对水泥加固软土效果的影响. 岩石力学与工程学报, 2005, 24卷增1: 5816-5821.
- [4] 唐文军. 水泥搅拌法加固软弱土层主要影响因素的研究[J]. 路基工程, 2005(5): 63-65.
- [5] 曹德洪. 浅谈浆喷桩施工质量控制与管理[J]. 公路, 2010(9): 89-93.

作者简介: 范腾飞, (1985-), 硕士研究生, 中级工程师。