

# 双向水泥搅拌桩在深层淤泥地质条件下的研究应用

曹志征

中交一公局集团有限公司

**摘要:**随着我国交通的不断发展,各种特殊的环 境不断出现,挑战着我国道路建设的进度,因此,开发全新的地基处理技术就十分重要。双向水泥搅拌桩就是我国企业应对深层淤泥地质地基的有效方法。本文就深层淤泥的成因与危害着手,全面分析双向水泥搅拌桩与常规水泥搅拌桩的不同之处,并以长江沿岸的深层淤泥地质为例,提出双向水泥搅拌桩的应用模式。

**关键词:**双向水泥搅拌桩;深层淤泥;应用路径

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.14.055

近年来,在淤泥地基基础上,双向水泥搅拌桩技术已被广泛采用。它的工作原理是将水泥等固化物质的浆液通过注浆泵送至搅拌器,由喷浆器的小孔喷射,然后由搅拌头在地基深层进行现场拌和,经过一系列的物理、化学反应后硬化,再与桩间土结合,形成一种新型的混合地基,以提高基础的承载力。深埋混凝土搅拌桩成桩质量的有效控制,保证其加固效果,是工程实践中亟待解决的问题。

## 一、淤泥地质的成因、特点以及危害性

### (一) 淤泥地质成因

我国的许多地区都存在淤泥地质环境,特别是江河三角洲地区的冲积平原最为常见。在漫长的历史过程中,由于地球偏移角的存在,北半球的河流都会在某种程度上向右倾斜,这样的话,就会有一部分土壤被冲刷下来,在某个位置堆积,形成一个三角洲。江河三角洲地区的土壤结构相对疏松,地质环境相对脆弱。场地表层以下均为第四系,属于晚些时候的地质历史阶段,固结程度比较低。

### (二) 淤泥地质特点

淤泥土是指在湖沼、谷地、滨海、河滩等地区形成的细颗粒土壤。其中,灰白色黏性土层是一种具有高度敏感性和可压缩性的低密度淤泥,在荷载作用下,易发生明显的沉降变形,土体渗透率低,固结速率慢,是路基的主要压缩层,对路面的沉降控制有严重的负面影响<sup>[1]</sup>。

### (三) 淤泥地质的危害性

路基的加固工作是道路建设中的一个关键环节,相关人员应当按线路的位置和有关技术要求进行施工。在施工时地基要承担路面的荷载,这就要求路基既要具有很高的强度,又要具有一定的耐用性和稳定性。由于淤泥土质的孔隙比大,可压缩性高,自然含水率高,并且不能保证地基的承载力,因此,在施工中,施工人员一旦忽略了淤泥土质地基的加固工作,就有很大的可能引起路基的塌陷。当路基施工速度过快时,软土未及时进行加固,则会因荷载作用而产生超过土体抗剪强度的剪力,以至于产生局部剪力破坏,从而导致路堤在施工时发生滑坡和纵裂,进一步造成软弱地基的失稳。因此,

施工人员在施工中如果不采取相应的措施对地基进行加固工作,则很可能会导致路面塌方,从而影响到道路的正常使 用。

## 二、双向水泥搅拌桩法与单向水泥搅拌桩法的异同

单向水泥法和双向搅拌法的加固机制存在着明显的差异,以往在淤泥路基中使用的单方向水泥搅拌桩在搅拌时,往往会采用单向叶轮。目前国内许多地区使用的双向混凝土搅拌桩都是由原来的混凝土搅拌桩改进而来,采用上下两层叶片,在施工过程中,两个叶片同时搅拌。目前双向水泥搅拌桩已在江苏、上海、浙江等省市的淤泥土质地基加固工程中得到了广泛的应用,既保留了单向水机搅拌桩技术的优势,又克服了这一技术的不足,既不会产生振动,也不会产生噪音,不会污染环境,还不会造成地面隆起,而且能将淤泥土质与混凝土充分搅拌,因此可以进一步保证成桩的质量<sup>[2]</sup>。具体的差异如下所示:

1、在过去的单向水泥土搅拌桩中,在喷射完水泥浆后,水流会顺着钻杆向上,从而导致桩身上部的水泥含量较高,下部的混凝土含量较低,从而大大降低了桩长而采用了双层搅拌桩后,两层混凝土搅拌桩在搅拌过程中旋转的方向不同,这样可以有效地阻止泥浆的上浮,从而保证了混凝土浆料与土壤的混合,使混凝土在桩基上均匀分布,使得混凝土搅拌桩的处理深度达到20-25m。

2、同向转动是传统单向水泥搅拌桩技术的特点之一,这种特性导致其不能保证水泥土的均匀混合,很容易产生分层结构,从而影响桩身的强度。目前的双向搅拌桩采用的是不同方向、不同速度的旋转浆叶,使水泥浆在两个浆叶间保持稳定,水泥混合均匀,从而提高了桩的成桩质量,也能进一步提升了深桩的质量。

3、新型的双向搅拌桩能做到上部和下部叶片在不同的方向上同时转动,从而消除了二者的环向作用力,而不会出现以往单向搅拌机的单向搅动问题,可以尽量减少桩周土体的扰动,确保桩身的垂直度,从而使成桩达到良好的综合效果。

## 三、具体应用

### (一) 项目简介

安徽芜湖高速公路工程位于长江中下游地区,在地基加固施工时运用了水泥搅拌施工方式,主要目的时减少该地区河道周围淤泥土质、粉质黏土等对地基承载能力的影响,进一步提高路基质量,使其满足设计要求。因此,相关人员在利用双向混凝土搅拌桩进行地基加固时,首先要解决养殖池塘、旧河道的排水问题,尽可能去除塘底的腐殖质物质等淤泥的残留,然后用砂土进行加固,确保其机械稳定性,然后进行混凝土搅拌桩的打桩工作<sup>[3]</sup>。

长江河漫滩和阶地,是由于冲刷作用而形成的。上

部为灰色、深灰色淤泥质粉质黏土，有流动的形态，局部有少量的粉土，通常厚度为10~30m；下半部分是黄灰色、黄褐色、可塑-硬塑的粉状黏土，厚度为5~15m<sup>[4]</sup>。本次的道路路基加固工作使用了可以采取双向水泥搅拌桩的施工工艺，以降低工程成本。水泥搅拌桩是一种广泛应用于淤泥地基的施工技术，它的施工工艺简单，施工成本低，工期短，适用范围广，加固效果好。但根据此处的地质条件，为了解决混凝土凝固时间慢、深层软土难以成型的问题，需要对该技术进行进一步的优化。

### （二）加固工作要求

1、施工人员应当去除深灰色、有腐殖味的淤泥质土壤，并利用少突等物质进行重新填充，再用低水分的粉质土进行分层碾压，以保证施工机械能够安全到位，从而进一步强化淤泥地质地基的成桩质量。

2、本工程对水泥搅拌桩施工工艺进行了优化，将“2喷4搅”工艺中的提钻时注浆优化为下钻时注浆，这样既能确保钻孔顺畅，又不堵管，又能确保灌注桩的均匀性，确保成桩质量。

3、长江三角洲地区有大量的地下水，施工人员进行加固工作前，应当在水泥中加入DN-HPC高效减水剂，以确保成桩质量。

4、从经济的角度考虑，双向水泥搅拌桩选用等边三角形的梅花形布置，桩身长度为8~18m，坡脚线长度为1m，间隔1.1~1.4m，桩身直径50cm。在淤泥土层较浅的地段，混凝土搅拌桩应穿透淤泥土层，且深度不低于100cm。

5、施工人员应当在水泥搅拌桩的顶部，设置40cm的碎石+2个双向钢塑复合网片，在边坡的碎石一侧，用反滤包边土工布将其整体固定。

6、做好地基成桩后的检测工作，混凝土搅拌桩成桩的7天后桩身抗压强度应不低于0.8MPa，28天的强度不低于1.6MPa，90天的强度不低于2.4MPa。在搅拌桩成桩28天后，工程人员需要进行单桩和复合地基的受力测试。

### （三）试桩

在运用水泥搅拌桩进行的淤泥地基加固工作正式开工前，为保证该区域的水泥搅拌桩施工安全，需要进行成桩工艺试验。试桩工作的目标是保证所获得的技术参数均处于最佳状态（如钻机搅拌次数、水泥水灰比、泵送时间、泵送压力、提升速度、下钻速度、复搅深度等）。另外，为保证所采用的施工工艺，使成桩的各项指标达到要求，施工人员还应当对不合格的桩身进行调整。

#### 1. 成桩工艺试验要求

在试桩过程中，试验桩数量应达到5个以上。应满足设计图纸上的各种参数（例如，每平方米的掺灰）。为保证搅拌均匀，施工人员必须采用“4搅2喷”的施工技术。

#### 2. 试桩检测

（1）在成桩7天之内，施工人员需要利用轻型触探仪对加固后的土壤进行钻孔收集，并检测搅拌的均匀性。采用比较分析的方法，通过采集设备的打桩次数，

对搅拌桩进行强度测试。28日后，施工人员需要按管理人员的要求，在相关混凝土桩的各个部位进行钻孔取材。

（2）在成桩后，水泥搅拌桩的平均抗压强度应在0.8MPa以上。此外，在取芯的时候，施工人员一定要确保试样的完整性和强度。

（3）由于《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》（JTJ-01796）对相关的检测规范和检测频率没有明确的记载，故而本工程参照《建筑地基处理技术规范》（JGJ79-2012）第七章“复合地基”第3节“水泥土混合地基”的有关要求，对相关样品进行了抽样检验<sup>[5]</sup>。

（4）现场进行荷载测试（目前交通运输部还没有标准），参照GB50007-2011和《建筑地基处理技术规范》中的《建筑地基基础设计规范》。根据置换率、地质条件和单桩承载力等因素，对水泥搅拌桩的基础承载能力进行了分析，其基础承载能力一般在150kPa以上。

#### 3. 试验数据

在实验中得出试验桩的水灰比具体数值为，水：水泥：减水剂=25.45：63.22：6.322，在试桩工作中，混凝土搅拌桩的桩身长度、搅拌桩的强度、以及其对路面的承载作用能达到上述技术标准的要求，能够进行下一轮的施工工作。

### （四）操作要点

#### 1. 施工前的准备

（1）材料进场和检验：本工程中采用42.5等级的普通硅酸盐沪宁图，并且掺入DN-HPC高效减水剂。在混凝土出场后，相关人员应当对相关材料做好保护，做好防水，防潮工作，在施工之前，做好对混凝土、减水剂等物料的抽样检查工作，在确认质量达标后方可进行施工工作。

（2）施工设备的进场和检验：施工单位应将搅拌桩的计量器具，测量GPS，全站仪，测试设备，交由第三方机构进行校准，并出具检验报告，保证设备合格。

（3）人员准备：一个工作小组由一位现场工程师、一位现场质量检验员、2位钻机操作员、3位普工组成。

（4）现场清理：本工程位于养殖塘和老河道附近，相关人员在工程开始后，应当优先挖除底层的淤泥物质，再用砂土或其他土壤进行回填工作，保证压实系数不低于0.9，压实率不低于90%。同时，为保证钻井设备的稳定性，在地表积水时，应开挖集水坑进行排水，并在钻井基础上安装钢管。

#### 2. 测量放样

施工人员应当按设计图纸规定的桩距和实地考察，绘制出各段混凝土搅拌桩的桩位布置图，并交由管理、设计单位审批。施工人员先根据设计图纸放出中线和边线，然后按已核准的桩位平面布置图用卷尺进行测量，然后用竹子或木头做标记。桩位偏差不能超过5厘米，在施工期间要继续强化现场监督，严禁擅自挪动桩上的标志，并对桩位进行复测，保证桩位精度。

#### 3. 桩机进场和安装

在此阶段施工之前，施工单位必须对现场进行彻底的清理，以确保路面平整，同时采用横尺、锤球调整整个机架的水平，以及钻杆的垂直度。下面描述了相关的方法：

1、将锤球吊至桩架顶端后，用钢尺对其进行精确地测量。

2、为了保证桩机的单桩强度达到设计要求，桩身的垂直度应小于绳索的有效长度（高度）之比的1.5%；当桩机平台超过1.5%时，应采取“千斤顶+下层枕木”的方法进行调整<sup>[6]</sup>。

4. 制备水泥浆

水泥浆料的配比工作应当严格按照试验桩的配比数据进行。同时，为确保配比资料的准确性，相关企业应组织专门的人员对有关内容进行详细的记录（主要是水泥浆料的制备灌浆、水泥掺量、外加剂掺量、泵送浆液的时间）。

该项目的水泥浆料是现场配制的，并保证在使用中满足下列条件：

1、为了便于管内抽吸和设备的喷搅，所制得的水泥必须具有良好的流动性，不能发生离析。

2、具体施工应采用“随拌随用”的方法，并要求施工人员在均匀搅拌下加入过滤剂。

3、混凝土若已完成搅拌，其静止时间应小于2小时；如果静止时间超过2小时，则应及时废弃。

5. 钻孔和混凝土喷浆

在混凝土的打孔、喷浆时，在搅拌机的动力装置开始工作后，施工人员应先松开缆绳，让机器的钻杆可以对着导轨进行施工，并将土壤压入；同时，为确保该沉降速度能控制在0.8~1.5米/分钟，可采用电机电流表（对电流低于70A）进行控制。根据设计图纸计算出的桩长，以原地表标高为参考，利用钻杆长度对桩底进行控制，确保桩长不小于设计桩长。当搅拌头在钻井时下沉时，为了避免其堵塞，必须进行喷浆。

6. 反转提升和灌浆工作

当双向水泥搅拌桩机达到设计深度后，搅拌头应当在该部位继续搅拌1-2分钟，以保证泥浆和桩底的泥土充分混合，达到施工的需要。

在搅拌头起吊时，必须保证施工速度缓慢，以使泥浆能均匀地混合。此外，在搅拌器已经露出地表，进行钻孔作业时，应注意喷浆头的钻孔和下沉速率（0.8~1.5m/min）。

7. 钻头提出地面，结束喷浆工作

当搅拌器上升到工作基准表面0.5米时，泥浆喷注就应当停止。在复合搅拌沉陷期间，持续注水，直到达到设计加固深度，喷水压力不低于0.4MPa，流速通常在0.5-0.8m/min左右，再由反方向提起。

将桩机清理干净，然后进行下一桩的施工，按照上面所说的3.5.2-3.5.7进行。在移动桩机之前，先将适当的清水倒入搅拌桶内，然后启动泥浆泵，将剩余的泥浆和搅拌头清理干净，然后才能进行移桩。

四、技术优化后的效率分析

（一）优化前后的效率对比

本工程的原设计案拟采用传统的双向水泥搅拌桩技术，但在实际工程中发现传统的施工工艺并不能完美契合长江三角洲地区淤泥加固工作的需求，因此在向管理层申报后，泵工程采用了优化后的工艺，两者具体的对比如数如下表1所示。

表1 传统工艺和优化工艺的对比

使用技术	施工效率	质量	经济合理性
传统技术	喷浆口堵塞率高，施工效率低下	施工连续性较差，施工工作容易中断，施工质量较差	效率较低，经济性差
优化后技术	喷浆口堵塞率低，施工效率较高	能有效确保连续性，叫编辑高板工作较为均匀	效率较高，经济性较强

（二）不同处理方案的效率对比

崩瓷工程方案拟定阶段，还对高压旋喷桩、CFG桩、预应力管桩对施工成本、工作效率、质量控制、安全环保及对周围建筑物的影响等因素进行比较。结果表明，在地质条件较好的区域，使用改良后的技术有着较好的施工标线。具体数据如表2所示。

表2 相关处理方案的影响数据

施工方法	工程成本（元/m）	工作效率	施工质量	环境污染性	周边环境影响
水泥搅拌桩	38.6	高	较好	弱	较小
高压旋喷桩	45.6	高	较好	弱	较小
CFG桩	419	低	较好	强	较大
预应力管桩	215	低	较好	强	较大

五、结束语

综上所述，在淤泥路段地基加固过程中路段采用双向水泥搅拌桩施工工艺，既可提高施工效率，又可确保桩基强度、承载能力，避免出现地表凸起现象，同时还不会对周边环境造成严重的不良影响，达到降低噪音、降低对环境污染的目的。相关企业应当全面应用好这一全新工艺，并对其不断优化，使其能适应各种不同的淤泥环境，提升施工质量。

参考文献

[1]康亚普. 土木合成材料在公路软基处理中的应用[J]. 建筑工程技术与设计. 2018, (34).

[2]刘伟, 王鹏飞, 陈承明. 长江沿岸深层软土双向水泥搅拌桩施工技术[J]. 广东建材, 2022, 38(06): 70-72.

[3]谭旭. 水泥搅拌桩在淤泥质黏土层的施工技术[J]. 四川建材. 2021, (8).

[4]贝建忠, 赵瑞东, 李伟仪, 陈良志. 水泥搅拌桩复合地基综合强度指标方法在岸坡设计中的适用性分析[J]. 水运工程, 2022(05): 184-190.

[5]程建英. 双向水泥搅拌桩的设计和施工质量控制[J]. 四川水泥, 2022(03): 217-219.

[6]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.