

# 水泥搅拌桩处理软基的施工及质量控制

何智宇

(广州市公路管理局, 广东广州 510000)

**摘 要:**在国道主干线广州绕城公路小塘至茅山段采用水泥搅拌桩方法处理软基施工中,采取了有针对性的质量控制措施,有力地保证了搅拌桩处理软基的施工质量,取得了良好的处理效果。

**关键词:**软土地基;地基处理;水泥搅拌桩;施工工艺;质量控制措施

**中图分类号:**TU472.36 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2005)04-0081-03

## 0 引言

水泥搅拌桩是用于加固饱和软粘土的一种方法,就是利用水泥、水配制成浆液等作为固化剂,用专用的搅拌钻机将固化剂等喷入软土地基中,并将软土与固化剂强制搅拌,利用固化剂与软土之间所产生的一系列物理化学反应,使软土结成具有一定强度的水泥桩体而形成复合地基的一种施工方法。美国在二战后研制开发成功一种就地搅拌桩(MIP),1953年日本从美国引入这种方法,国内在1977年10月开始进行深层搅拌桩的室内实验和施工机械的研制工作。由于水泥搅拌桩具有能有效减少总沉降量、能承受较大的加荷速率、抗侧向变形能力强、可大大缩短施工期等优点,目前在高速公路建设领域应用得较为广泛。

在以往的工程实践中,水泥搅拌桩处理软土地基施工中常存在如下一些问题:水泥用量难控制;均匀性差、强度低;沉降得不到有效减少,达不到设计意图,甚至还有沉降量反而增大了等,影响了加固效果。因此,在施工过程中采取何种科学的施工工艺和有效的质量控制措施,确保水泥搅拌桩处理软基的加固效果,成了需要克服的难题。以下结合国道主干线广州绕城公路小塘至茅山段C03合同段施工水泥搅拌桩加固桥头软基项目,谈一点水泥搅拌桩处理软基施工过程中应采取哪些质量控制措施的粗浅认识。

## 1 施工概况

根据地质勘探揭示,该项目区软土主要以淤泥、淤泥质亚粘土及淤泥质粘土为主,软酥一流塑状,具

有天然含水量高(最高含水量达到122%)、高压缩性和抗剪强度低等特点,其对路基、路面以及人工构造物具有很大的破坏作用,在桥台以及小型构造物的地基处理中,采用了水泥搅拌的方案。

该项目中水泥搅拌桩桩径采用50 cm,间距1.1~1.3 m,桩长11~12 m,桩位在平面上按照梅花形布置。水泥搅拌桩要求桩身无侧限抗压强度 $R_{28}=0.8\text{ MPa}$ , $R_{90}=1.2\text{ MPa}$ ,要求28 d单桩允许承载力和允许复合地基(三桩)承载力分别达到300 kPa和130 kPa,根据这个要求,结合该项目地质情况和以往施工经验,经过水泥土实验,确定水泥用量70 kg/m,水泥浆的水灰比为0.5。

## 2 施工工艺

### 2.1 施工机械

水泥搅拌桩的施工机械为钻机、粉浆机和空压机。

(1)钻机:是水泥搅拌桩的主要成桩机械,应具有动力大、操作灵活、能按不同速度均匀地正向钻进和反向提升、能前后左右自行移动的功能。

(2)喷浆设备:是定量发送浆体材料的设备,包括储灰罐、发送装置、计量控制装置等,是施工的关键设备。

(3)压缩机:为水泥搅拌桩施工提供一定压力的气源,使水泥浆液克服喷浆口土体阻力而喷入土中。

### 2.2 要加强对施工机械设备的检验

(1)每台桩机必须配置可以控制桩身每米喷浆量的记录器,且记录器上应当准确地自动记录操作时间、深度、喷浆量、桩位编号、复搅深度、复搅次数等参数。

(2)桩机上的气压表、转速表、电流表、电子称必须经过标定,不合格的仪表必须更换。

(3)每台桩机钻架相互垂直的两个面上各设置

收稿日期:2005-04-04

作者简介:何智宇(1970-),男,陕西西安人,工程师,从事工程管理工作。

一个 0.5 kg 重的吊线锤,并画上垂直线。

(4)在每台桩机的钻架上画上钻进刻度线,标写醒目的深度。

(5)钻头直径的磨损量不得大于 1 cm。

### 2.3 加强对原材料的检验

(1)所用水泥必须经过试验室抽检,满足规范的要求。并尽量不采用那些产量较小、质量不稳定的小水泥厂生产的水泥。

(2)水泥的堆放应该符合防雨、防潮的要求,严禁使用过期、受潮、结块、变质的水泥。

### 2.4 施工前必须进行工艺试桩

不同地段具有不同的地质条件,为了克服盲目性,确保加固地基收到预期的效果,在施工前必须进行工艺试桩,试桩数量不少于 5 根。试桩的目的是:

(1)提供满足设计喷浆量的各种操作参数。如管道压力、灰罐压力、钻机提升速度、钻进速度、搅拌速度等。

(2)验证搅拌均匀程度及成桩直径。

(3)确定该地质条件下,水泥土配合比是否适用于现场,选择符合质量要求的合理掺灰量。

(4)确定该地质条件下,掌握下钻和提升的阻力情况,选择合理的技术措施。

(5)确定进入持力层的判别方法。

(6)检测桩身的无侧限抗压强度是否满足设计要求,即 28 d 强度不得低于 0.8 MPa,检验 28 d 单桩允许承载力和允许复合地基(三桩)承载力是否分别达到 300 kPa 和 130 kPa。

(7)检验加固剂分布的均匀性和有效加固长度能否符合设计要求。

### 2.5 作业流程

清理场地→施工放样→钻机定位→钻进到设计深度(预搅)→成桩→调平→送风→喷浆、搅拌、提升→离地面 50 cm 停止喷灰→复搅(一边搅拌一边喷浆)下沉→至桩底停止搅拌、喷浆 1 min→搅拌提升→至桩顶→关闭电源,钻机移位。

## 3 质量控制

### 3.1 工艺控制

(1)施工前一定要按设计要求将每根桩的桩位用小木桩(或小竹片)定出,施工时将钻头对准定位小木桩,使桩位偏差控制在允许范围之内。

(2)预搅时钻进速度不宜过快,要根据不同土层加以控制,最高钻进速度控制在 1.0 m/min。

(3)成桩过程中,钻头提升速度与喷灰量必须协

调一致,使水泥掺量均匀准确。提升速度控制在 0.4~0.7 m/min,搅拌转数控制在 30~50 r/min,钻进、复搅、提升时管道压力控制在 0.1~0.2 MPa,喷浆时管道压力控制在 0.25~0.4 MPa,计量装置施工前必须标定准确,施工过程中还需经常校验。

(4)复钻搅拌是提高桩体质量的一项重要措施,必须在规定的深度范围内认真复钻搅拌,使水泥土得到充分的搅拌和压实。

(5)在钻进和提升的整个过程中都应使钻机转盘水平,机架垂直,机身平稳,以保持桩体的垂直度误差不大于允许值。

(6)水泥须经室内试验合格后才能使用,施工时送灰必须连续,不得有中途断灰现象。若遇机械故障造成断灰,需采取“复打”措施,“复打”重叠长度不得小于 1 m。

(7)深度和直径均不得小于设计要求。

(8)认真做好施工原始记录,施工过程中发生的情况都应在原始记录中反映,对不符合要求的粉喷桩应注明采取的措施和补救方法。

### 3.2 质量控制措施的重要环节

搅拌桩施工过程中,重点要控制好三个重要施工环节和日水泥用量、日进度两个指标。

#### 3.2.1 桩长按进入持力层控制

根据该项目水泥搅拌桩加固桥头软基试验研究成果,与塑料排水板处理方案相比,采用搅拌桩处理沉降量要减小 25%~49%,沉降的分布亦有明显的改变,在桩身范围内的沉降量减小很多,而桩尖以下的软土沉降量有所增大。在桩长 11 m 范围内的沉降量与桩尖以下沉降量的比值达 1:1.5。而且由于大部分荷载由桩体承受,所以桩周土中孔隙压力较低,而桩尖以下土体中的孔隙压力较大,而且很难消散,因此,搅拌桩宜尽量打至持力层上(一般控制为  $q_c=800$  kPa)并且进入持力层 50 cm 左右。在施工过程中,桩底设计标高往往与持力层并不一致,施工人员容易出现以设计标高控制桩长的现象,如在桩尖下尚留几米软土,这样,则会有较大的工后沉降量,由于排水不畅,预压很长时间也很难稳定。故搅拌桩实际施工桩长应按进入持力层控制。判别是否进入持力层的方法可由钻机钻到最深时的下钻速度和电流表的读数来判定,这两个参数是在工艺试桩时由监理确定,一般是下钻速度 0.5 m/min,电流值是额定电流值的 125%以上。

#### 3.2.2 浆液计量控制

粉喷桩的质量好坏与水泥掺入量的多少及均匀

性有直接的关系,因此,如何来计量固化剂是控制的关键。目前一般较为常用的电子称重法与钻机深度相结合的计量装置,它能在记录上反映深度、相对应每延米的喷浆量、总灰量等。浆液计量控制主要应注意以下两点:

(1)固化剂浆液要严格按预定的配合比拌制,制备好的浆液不得离析、不得停置过长(不超过 2 h),液倒入时要加筛过滤,以免浆内结块,损坏泵体。

(2)泵送浆液前,管路应保持潮湿,以利输浆。现场拌制浆液,必须有专人负责记录固化剂、外掺剂用量,并记录泵浆开始、结束时间。要保证喷浆的均匀性,关键是掌握好钻头的提升速度。因水泥浆喷入为人工控制,必须避免出现为满足每米喷浆量的要求,施工人员根据记录器显示凑数字,而人为导致的喷浆不均匀现象。

(3)从开始喷浆到钻头处出灰有一定时间,钻机钻至桩底后,必须预喷停留一段时间,方可提钻。停留时间由管道长度等确定。如果钻至桩底后即喷浆提钻,则桩底实际有一段空桩,反而搅动破坏了桩底原状软土,使沉降量加大。

### 3.2.3 复搅控制

水泥与土搅拌均匀程度是关系到搅拌桩桩体强度的关键因素。大量的施工实践已充分证明搅拌桩复搅与不复搅的质量相差甚大。钻头喷出的浆液往往呈脉冲状,若不充分搅拌,浆液在桩中呈现层状,形成一种“夹生”,这样的桩即使水泥掺入量再多也没有强度。复搅的作用在于通过充分的搅拌使粉体与土及水得到比较完全的接触与作用,促使桩体的形成。为了确保搅拌的均匀性,施工时要严格掌握好钻机提升速度、搅拌叶旋转速度等,并应尽量采用全桩复搅以保证质量。该项目桩长较长、土体天然含水量较高、粘性重,因此采用“二喷四搅一停”的施工工艺,即:钻进→钻至桩底后慢档提升、喷灰、搅拌至停灰面→钻进、复搅复喷至桩底→提升、搅拌至停灰面→移位。防止出现“沉桩”现象。

### 3.2.4 日水泥用量与日进度指标的质量控制措施

(1)施工过程中,应随时注意钻机的水平度和垂直度、钻进深度、喷浆深度、停浆标高、复搅深度、喷浆的管道压力、浆罐内的水泥加入量、剩余浆液量等,并作好记录。

(2)技术人员要及时收取记录器打印记录,并校

核时间、桩号的连续性等。

(3)技术人员每日施工结束后对施工现场水泥用量和记录器打印记录中的水泥用量加以统计、对比。

(4)水泥须经室内试验合格后才能使用,施工时送灰必须连续,不得有中途断灰现象。若遇机械故障造成断灰,需采取“复打”措施,“复打”重叠长度不得小于 1 m。

(5)技术人员应当核对前后左右的桩的深度和成桩时间,如果深度相差较大或相同深度的桩成桩时间相差很大,则认为存在搅拌不均或其他原因,要具体分析,采取相应补救措施。

(6)技术人员应根据钻杆的提升速度、每台桩机的日工作数等,确定每日完成延米数的每根桩的施工时间。如果某台桩机完成的延米数超过规定值较多或某根桩记录器打印记录显示时间少于规定值较多,则认为存在搅拌不均或其他原因,要具体分析,采取相应补救措施。

### 3.2.5 事后检测阶段的质量控制措施

水泥搅拌桩施工完成后,应按规定频率进行取芯、无侧限抗压强度、单桩及复合地基承载力试验。对检测发现的问题,如未穿透软土层、部分断灰、喷灰不均匀、强度不足等,应严格进行加密、补桩等处理。

取芯时,取芯位置应取在桩径 1/2 处,而不应取在桩中心处,因粉喷桩桩体中心是钻杆占据的空间,成桩后中心部位强度较低,易造成桩体强度偏小的假象;钻孔取芯时要注意保持钻机平衡,避免因钻杆倾斜而造成斜孔,导致取芯失败;取芯长度应比桩长长 50 cm 左右,以检验桩底土性状。

## 4 结束语

在国道主干线广州绕城公路小塘至茅山段水泥搅拌桩处理软基施工过程中,我们采取了有针对性的质量控制措施,实验检测证明该项目的水泥搅拌桩完全达到了设计标准,桩身无侧限抗压强度  $R_{28} = 0.8 \text{ MPa}$ ,  $R_{90} = 1.2 \text{ MPa}$ , 28 d 单桩允许承载力和允许复合地基(三桩)承载力分别达到 300 kPa 和 130 kPa。有力地保证了水泥搅拌桩处理软基的施工质量和处理效果,达到了预期的目的,有效地减少了桥头沉降。

• 短讯 • 云南澜沧江特大桥在修建中,其悬索桥索塔张拉纠偏技术、拼装固定式索鞍技术、散索套施工技术和钢筋混凝土叠合梁技术为国内悬索桥设计和施工首创。