

# 深层搅拌桩搅拌头结构和动力特性对 桩体搅拌均匀性的影响

李旭庆

(河南省地勘局地质二队,河南焦作 454000)

**摘要:**通过对搅拌头叶片的动力特性和切削搅拌机理分析,阐明影响桩体搅拌均匀性的主要因素是叶片的水平旋转速度和垂直运动速度,分析了搅拌头结构形式对搅拌均匀性的影响,提出了提高搅拌均匀性的途径。

**关键词:**深层搅拌桩;搅拌头;搅拌叶片;搅拌均匀性

中图分类号:TU473.1 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2009)09-0056-03

**The Effect of Mixing Bit Dynamics and Structure on Uniformity of CDM Pile's Body/LI Xu-qing** (2nd Geology Team under Henan Geology and Resources Survey Bureau, Jiaozuo Henan 454000, China)

**Abstract:** Based on the analysis on the dynamics and the cutting & mixing mechanism, the paper explained that the main factors which effect mixing uniformity of deep mixing pile body are the horizontal rotary velocity of the blade and the vertical motion, and analysis was also made on the effect of structure of stirrer to mixing uniformity. The approaches and measures to improve mixing uniformity were put forward.

**Key words:** deep mixing pile; stirrer; mixing blade; mixing uniformity

深层搅拌桩由于具有所需设备简单、施工速度快、工程造价低、环境污染小等特点,成为软土地基有效的处理方法之一而得到广泛应用。水泥土的搅拌均匀性直接影响着水泥土的强度,决定着成桩质量的好坏。经常出现在同一场地施工型号相同的钻机,由于所采用的搅拌头结构上不同,在基础开挖后,常出现桩体中水泥与土搅拌的均匀性并不不同的现象。因此对搅拌头的结构、动力特性进行分析以及它们对桩体搅拌均匀性的影响,将有助于在工程施工中针对地层特点,选择不同结构形式的搅拌头,从而提高水泥土的均匀性,提高成桩质量。

或下沉的速度。

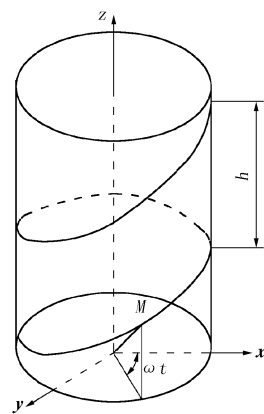


图1 叶片运动轨迹

当叶片旋转一周时叶片旋转过的螺距为:

$$h = 2\pi(v/\omega) \quad (2)$$

## 1.2 搅拌头叶片切削搅拌动力分析

### 1.2.1 搅拌头搅拌叶片切削搅拌机理

搅拌头下沉时,叶片首先以剪切形式切割原状土体。由于叶片具有一定的焊接角度,土体被切割后沿叶片倾斜的表面作相对运动。被切割的土体在沿叶片表面上升时,与上层已切割的土体逐渐发生向上挤压作用,上升至叶片的顶端后,离开叶片与上

## 1 搅拌头叶片运动过程的动力分析

### 1.1 搅拌头空间运动轨迹

搅拌头的搅拌叶片在工作时的空间运动轨迹为一螺旋线(见图1)。搅拌叶片上任意一点的运动轨迹方程为:

$$\begin{aligned} x &= a \cos \omega t \\ y &= a \sin \omega t \\ z &= vt \end{aligned} \quad (1)$$

式中: $a$ ——叶片上任意一点  $M$  与搅拌头中心的水平距离; $\omega$ ——叶片旋转的角速度; $v$ ——叶片上升

收稿日期:2009-03-17; 改回日期:2009-07-29

作者简介:李旭庆(1967-),男(汉族),河南济源人,河南省地勘局地质二队岩土工程公司副总工程师、工程师,探矿工程专业,从事岩心钻探、桩基工程、地基处理、供水工程、水利水电灌浆等的施工与技术管理工作,河南省焦作市解放东路,lixuqing671@sohu.com。

部已经被切割的土体一同下落至叶片背后的临空面,因此土体呈波浪状运动;切割→上升→降落。在波浪运动和挤压的过程中,水泥浆液与土体浸润混合。

搅拌头上升时,叶片顶端将切割与水泥浆拌合的土体,土体沿叶片上、下表面相对运动。叶片对水泥土混合物起切割、向下挤压作用。叶片的上、下表面对土体的挤压作用随叶片焊接角度和旋转角速度、下沉和提升速度而不同。

### 1.2.2 搅拌头搅拌叶片受力分析

土体被切割后,在叶片表面作相对运动时,叶片将克服切削刃迎刃面和侧面土的抗剪切阻力、土与叶片的摩擦阻力(见图2)。下沉过程中,上、下层叶片在切割土体时遇到的土状态不同,上层叶片切削的是已被扰动的土,因此受到的各种作用力要小。上升过程中,上、下叶片受力形式相同,只是会因各自焊接角度不同,所受的阻力大小不同,但以土体与叶片表面的摩擦力和土的抗剪阻力为主。

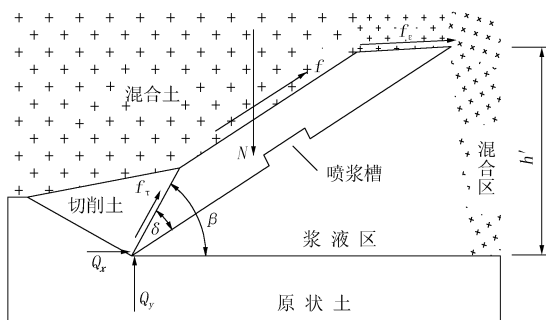


图2 叶片的受力分析(搅拌头下沉时)

下沉过程中,叶片受到的主要作用力为:土的压力  $N$ ,摩擦阻力  $f$ ,土对上切削刃的摩擦阻力  $f_s$ ,土对下切削刃的抗剪阻力  $Q$ ,其中:

$$N \approx \gamma l a \cos(\beta - \delta) H = \gamma l a \cos(\beta - \delta) vt \quad (3)$$

$$f \approx \mu N \cos(\beta - \delta) = \mu \gamma l a \cos^2(\beta - \delta) vt \quad (4)$$

$$f_s \approx \mu \gamma l (b / \sin \delta) H = \mu \gamma l b vt / \sin \delta \quad (5)$$

式中: $\gamma$ ——被切割破碎后(或与水泥浆混合后)的土的容重; $l$ ——片的长度; $a$ 、 $b$ ——叶片的宽度和厚度; $H$ ——叶片距地面的深度, $H = vt$ ; $\mu$ ——土与叶片的摩擦系数; $v$ ——叶片垂直运动速度。

土的抗剪切阻力  $Q$  由3部分组成:水平方向抗剪力  $Q_x$ ,垂直方向抗剪力  $Q_y$ ,切削刃与土的摩擦阻力  $f_s$ ,它们除了与土的剪应力有关,还与切削刃切入土中的深度有关。切入土层中的深度越深,即切割的土层越厚,叶片受的抗剪切阻力越大。

## 2 搅拌头叶片的运动速度对桩体搅拌均匀性的影响

从叶片切削搅拌机理可知,土体被切割的越薄,水泥浆与土越容易被搅拌均匀。由叶片运动的螺距公式(2)可以看出,控制叶片切削土体厚薄的在于叶片垂直运动的速度  $v$  和它的水平旋转角速度  $\omega$ 。搅拌头下沉时,如果叶片向下运动速度不变,提高叶片的旋转速度,可以降低叶片切削土的厚度,有利于水泥浆液与土的扩散混合,从而改善水泥浆与土搅拌均匀性。降低叶片下沉速度也可以降低切土厚度,但同时会降低成桩效率。

搅拌头提升时,如果保持叶片的旋转角速度不变,提升速度增大,叶片上升的螺距变大,即切割的土体厚度变大。当螺距  $h$  大于叶片的垂直投影高度  $h'$  时,叶片的上表面对与其接触的上部土体的挤压作用增大,而叶片下表面对下部土体的挤压作用减小,螺距间的土体得不到再次切割搅拌,降低了水泥土被切割搅拌的次数,并且随着叶片上升离地面越近,土对叶片上表面的压力减小,挤压作用逐渐减小,对桩体的密实性也不利。

因此,搅拌头提升时,要控制它的提升速度,也就是保持叶片的螺距  $h$  小于叶片的垂直投影高度  $h'$ 。如果要提高它的提升速度,就必须增大它的旋转角速度,降低切土厚度,保证  $h < h'$ ,增大叶片下表面对土的挤压作用,提高水泥浆与土的渗透扩散作用,同时也能提高桩体的密实性。

## 3 搅拌头的结构对桩体搅拌均匀性的影响

### 3.1 叶片的切削角( $\beta$ )与宽度( $b$ )

搅拌头叶片在深层搅拌桩施工中起着切割土体和强制搅拌两项作用。当下沉速度和旋转速度一定时,叶片切削的土体厚度也一定,叶片的切削角在一定的范围内,随着切削角和叶片宽度增大,被切削的土体在空间中的上下运动幅度加大,对土体与水泥浆液之间的挤压效应增大,水泥浆在土中的强制渗透扩散作用加大,对搅拌均匀有利,但叶片受到各种阻力将增大,功率消耗也将增大。

### 3.2 叶片的层数和每层叶片的数量

叶片的层数和每层叶片对搅拌均匀性的影响有直接的影响。从上面叶片的动力分析可以看出,适当增加每层叶片数量,可以减小切割土体的厚度,有利于浆液在土中的挤压扩散,提高拌合的均匀性。但是增加叶片的层数和每层叶片数量,尤其是增加底层叶片数量,将会增大搅拌头的摩擦阻力,加

大搅拌头所消耗的功率,并且将随着钻进深度增加而增大。因此,对底层叶片,以两个为宜。在桩机动力和地层条件许可时,可适当增加叶片层数和上层叶片数量,这样可增加对土体的重复拌合次数,提高搅拌的均匀性。

### 3.3 喷浆嘴的位置

喷浆嘴的位置设置对搅拌的均匀性也有直接的影响。如果将喷嘴的位置设置于底层叶片的上表面,随着深度增加,土的自重压力也将增大,靠水泥浆射流切割土体,离喷嘴距离越远,容易出现土与浆液混合不均,喷嘴容易被土粒堵塞,形成搅拌不均匀;如果喷浆嘴与叶片上表面距离越大,桩底的虚土越厚;将喷嘴设置在叶片体的中间(即把叶片中间镂空成槽),可以避免土体与浆液混合不完全,但将会降低叶片的整体强度。

在叶片的下表面开一个浅槽,使喷浆嘴设置于下表面,和浅槽位置保持一致,将会在叶片后部形成一个浆液区(见图2)。土体沿叶片相对运动至叶片顶端后,在重力的作用下将落入水泥浆液中。由于浆液射流在叶片下部形成的空间内喷射,不直接喷射土体,因此不会出现射流被靠近中心的大的土颗粒挡住,影响喷射作用半径,而且能保证在叶片的工作半径范围内浆液均匀分布。同时,由于不需很大的射流压力即可满足要求,这样就可以增大喷浆嘴

的直径,避免喷浆嘴被堵塞,从而保持浆液的连续性,使土与浆液能混合均匀,提高水泥与土搅拌的均匀性。另外桩底也不存在未与水泥浆混合的虚土。

## 4 结语

影响水泥浆与土的搅拌均匀性的关键因素是搅拌头叶片的垂直运动速度和旋转角速度。不能仅控制搅拌头的提升速度,而不考虑它的旋转速度;同时改善搅拌头结构,使之与桩机性能和地层相适应,可以提高水泥与土搅拌的均匀性。因此,提高深层搅拌桩水泥与土搅拌混合的均匀性,可以从以下几方面出发:

(1)在桩机功率满足要求的情况下,应优先提高搅拌头的旋转速度;

(2)针对地层特点,采用不同结构的搅拌头,使之与地层相适应;

(3)增大桩机设备的功率和钻杆的强度,使搅拌头不因孔深增加摩擦力阻力增大而降低旋转速度,这样可提高桩体深部的均匀性;

(4)增加搅拌头沿全桩身的上下重复搅拌次数。

## 参考文献:

- [1] 张祖培,刘宝昌. 碎岩工程学[M]. 北京:地质出版社,2004.

## YZX178 液动锤在石油井首钻成功

**本刊讯** 由中国地质科学院勘探技术研究所研发的适应于石油、天然气、地热钻井用 YZX178 液动潜孔锤,2009 年 8 月 14 日在胜利油田盐 222-3 探井首钻获得成功,取得一系列宝贵的数据和良好的使用效果,表明对液动锤的研究又迈出新的步伐。

石油、天然气、地热钻井领域,以钻井深度大(一般均超过 3000 m)、井内温度高(大于 100 ℃)、钻井参数大(常规钻压 150~200 kN、泵压 15 MPa、泵量 1800 L/min),它与其它钻进领域有很大的区别和差异。对于其的钻具也有更严格的要求,因此,很多在地质岩心钻探领域取得良好效果的机具及技术在这个领域应用都会出现困难,液动锤技术也同样,在钻井参数的适应上、钻具强度及安全上都需要做相当的改进。为此,我们通过重新设计分流装置,满足大泵量现状;强化运动密封,增加连续工作寿命,匹配石油钻井牙轮钻头井内寿命等措施。以便逐步适应石油钻井施工条件。

石油井首钻试验于 2009 年 8 月 10~14 日在胜利油田钻井五公司施工的盐 222-3 探井进行,入井深度从 3536 m 到 3621 m,在较大钻井参数(钻压 160 kN、泵压 16 MPa、转数 70

r/min、泵量 1800 L/min、泥浆粘度 85 s、泥浆密度 1.31 kg/L)情况下钻进可钻性 8 级含石英、片麻岩成分的砂砾岩,在液动锤正常连续工作的 50.6 h 钻进 70 m,液动锤不工作(相当于回转钻进)16.8 h 钻进 15 m,相比之下液动锤钻进钻效提高 55%;在液动锤钻压(150 kN)与纯回转钻进钻压(200 kN)相差 25% 的条件下钻效提高 41%。充分显示了液动锤钻进技术的优越性。通过这次初步试验,从液动锤技术方面实现了如下突破:

在石油钻井工艺条件下,液动锤连续工作寿命超过 50 h;入井深度超过 3600 m;泥浆粘度达到 85 s;钻压达到 160 kN;科学的分流结构满足钻井大泵量要求,钻效有明显提高。

同时该液动锤还存在连续工作寿命与匹配牙轮钻头有一定的差距,以及在斜孔和更大参数时的安全问题需要做更艰巨和细致的工作。

(此次试验由东营市海诚石油科技有限责任公司组织并得胜利油田众多部门和领导的关注和支持,得到 50107SL 钻井队全体干部和职工的通力合作,借此表示衷心的感谢。)

(苏长寿 供稿)