

## 49-54 灌注桩抽芯钻进工况的自动识别

鄢泰宁 姚爱国 姚 邹

(中国地质大学·武汉·430074)

TU473.14

对钻孔灌注桩进行抽芯检验时,可能因钻头切断钢筋而使桩基承载力下降甚至整根桩报废。本文提出的方法可对钻头遇到钢筋的孔内工况进行自动识别,声光报警,并给出遇钢筋的深度,以防切断钢筋。文中还介绍了判断钢筋笼歪斜情况的简易方法。

关键词 抽芯检验 工况识别 微机应用

## 1 问题的提出



勘察施工

灌注桩属于隐蔽工程,工地结束后需要进行抽芯检验(抽芯钻进的数量为总用桩量的 10%),以确定桩身混凝土质量(裂缝数量、宽度、蜂窝、气泡是否离析、有无杂质等)、沉渣厚度和桩底基岩情况。其施工技术与传统岩芯钻探并无多大差异,但一些施工单位对灌注桩抽芯钻进心有余悸。因为桩身中布置了钢筋笼,尤其在较深的桩身上抽芯钻进可能会碰到甚至切断钢筋。

当前在抽芯钻进现场,工人只能根据循环槽中上返铁屑判断切到了钢筋,工作心里压力大。

为此,我们设计并进行了灌注桩抽芯检验的实钻模拟实验。为钻机配上功率、转速和进尺 3 种传感器与工业微机,就可进行抽芯钻进工况的自动识别与报警,并给出遇到钢筋的深度,为计算和测量钢筋笼歪斜角度提供依据。

## 2 实验设计与检测原理

## 2.1 模拟桩的制备

根据我校钻探实验大厅地沟的尺寸,制成了尺寸为  $500 \times 500 \times 933$  (mm) 的模拟桩,其水泥、碎石和砂子的规格、配比和养护质量完全按现场要求。桩身中埋有 3 根  $\varnothing 16$  螺纹钢,其露头坐标和设计的孔口见图 1。计算表明, $O_1$  孔遇到钢筋的设计深度  $h_1 = -600$ ,  $O_2$  孔的  $h_2 = -380$ 。

## 2.2 实验所用设备与钻头

## 2.2.1 设备

XY-4 钻机, BW-150 泵。

## 2.2.2 钻头

(1) 硬质合金钻头 为了节约经费,我们先用  $\varnothing 91$  的硬质合金钻头打  $O_1$  孔。切削刃为中八角柱状硬质合金,外出刃很小,水口为园弧形,以减小回转中遇到钢筋冲击力。

(2) 孕镶金刚石钻头 为市售专用抽芯钻头,外径  $\varnothing 91.8$ , 内径  $\varnothing 74$ , 14 个  $(7.6 \times 8)$  水口。

## 2.3 检测原理

由于抽芯钻进的对象是混凝土,我们感兴趣的只是钻头切到钢筋的工况,所以只须检测钻进扭矩和进尺。为了安装方便,不改变钻机的结构,采用间接法测扭矩,即测驱动电机的有功功率和回转器转速,再算出扭

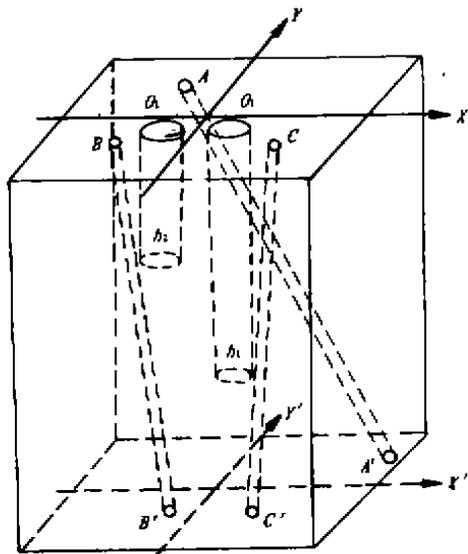


图1 模拟桩示意图

钢筋露头坐标:  $A(-101, 113, 0), A'(224, 110, -933);$   
 $B(-165, -91, 0); B'(-57, -44, -933); C(160,$   
 $-90, 0); C'(100, -44, -933)$ 。设计的孔口坐标:  $O_1$   
 $(88, -30, 0); O_2(-80, -52, 0)$

矩。

(1) 钻探有功功率传感器(见图2) 由电压互感器和电流互感器与功率变换器组成。它将电机有功功率转换成直流电压信号输出。

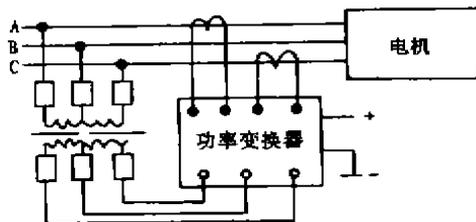


图2 钻探有功功率传感器结构图

(2) 立轴转速传感器(见图3) 为霍尔式。一个永磁体信号源保持与立轴同步回转而不参加立轴的上下移动, 探头内封装了霍尔开关。当立轴回转时, 信号源每接近一次霍尔开关, 就有一个脉冲霍尔电势输出, 则可利用测得的两次脉冲之间的时间得出转速。

(3) 扭矩的计算公式

50

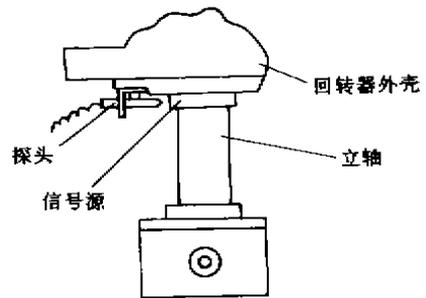


图3 立轴转速传感器

$$M = 9550N \cdot \eta / n \quad (N \cdot m)$$

(1)

式中:  $N$ ——测得的有功功率(kW);  
 $\eta$ ——钻机传动效率;  $n$ ——测得的钻机立轴转速(r/min)。

(4) 进尺传感器(见图4) 为光栅式。通过固定在油压卡盘横梁上的细绳和固定在传感器主栅光轴上的绳轮, 把给进的线位移转换成主光栅的角位移。由于光栅上刻有很细的透光缝隙(一圈500线), 故当主光栅相对指示光栅转动时, 透过的光有明暗变化, 其变化规律由光电转换器转换为与线位移成正比的脉冲电压输出。对电脉冲数进行累加并乘以系数算出进尺与机械钻速。

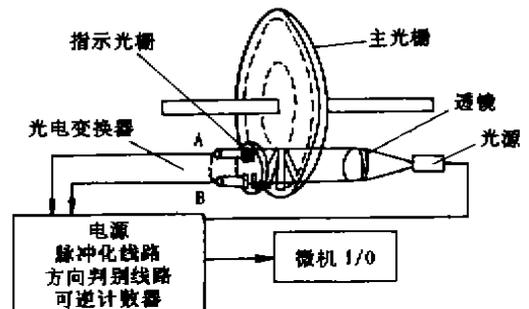


图4 进尺传感器原理图

上述采集和运算的内容均已写入微机软件。

### 3 实验及结果分析

严格按设计的开孔坐标把模拟桩固定

好后,分别用硬质合金钻头和金刚石钻头打  $O_1$  和  $O_2$  孔。

### 3.1 硬质合金钻进 $O_1$ 孔

钻进参数:钻压  $7\sim 8\text{kN}$ , 泵量  $30\sim 35\text{l/min}$ , 转速  $92\text{r/min}$ 。第一个回次的钻进过程记录曲线见图 5, 由于未接泵量传感器, 故图中斜的曲线未画出(下同)。

图 5 的曲线表明, 第  $0\sim 0.5\text{min}$ , 模拟桩表层混凝土不够致密, 故钻进扭矩较小 ( $700\sim 800\text{N}\cdot\text{m}$ ); 第  $0.5\sim 1.5\text{min}$  已进入混凝土的正常钻进, 功率和扭矩曲线不仅平均值增大, 而且脉动加剧; 第  $1.5\sim 3\text{min}$  为倒杆作业, 故扭矩为零(下同)。第  $3\sim 7\text{min}$  维持正常钻进, 扭矩在  $900\sim 1200\text{N}\cdot\text{m}$  范围内变化。自第  $8.5\text{min}$  起, 功率和扭矩曲线突然升高, 且脉动加剧, 扭矩值在  $600\sim 1500\text{N}\cdot\text{m}$  之间跳跃, 判断钻头已切到钢筋。这时显示孔深为  $605\text{mm}$ , 与  $O_1$  孔设计的遇钢筋深度吻合。提钻取芯(采取率  $95\%$ )未见到钢筋断头, 只是在泥浆槽的岩粉中发现了铁屑。可见钻头只是切到钢筋, 并未切断。

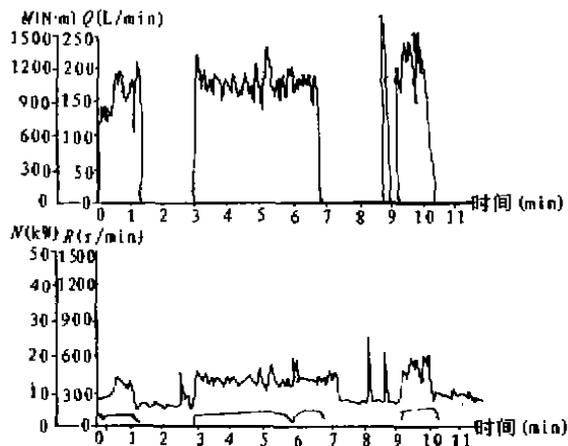


图 5 硬质合金钻进  $O_1$  孔的第一回次记录曲线

继续用相同的规程参数钻进  $O_1$  孔, 第二回次的曲线(见图 6)中扭矩一直在  $600\sim 1500\text{N}\cdot\text{m}$  之间跳跃, 说明钻头一直在切削

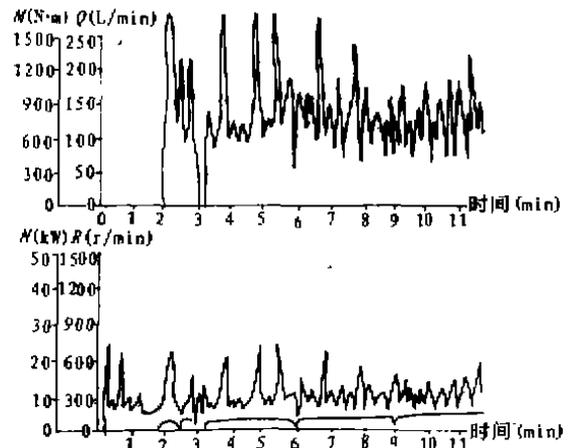


图 6 硬质合金钻进  $O_1$  孔的第二回次记录曲线  
钢筋。但第  $8\text{min}$  后曲线幅值下降, 这是钻头上的硬质合金切削具基本都崩断造成的。起钻后观察钻头证实了这一判断。

实践证明, 硬质合金钻头遇到钢筋时, 反应很明显, 它不仅成本低, 而且一般很难切断  $\varnothing 16$  的钢筋, 这对防止桩基报废事故是有利的。

### 3.2 孕镶金刚石钻头钻进 $O_2$ 孔

钻进参数: 初磨时钻压  $5\sim 6\text{kN}$ , 泵量  $32\text{l/min}$ , 转速  $92\text{r/min}$ ; 正常钻进时钻压  $7\sim 8\text{kN}$ , 泵量  $45\sim 50\text{l/min}$ , 转速  $380\text{r/min}$ 。第一回次的记录曲线见图 7, 其中第  $1\sim 5\text{min}$  为初磨, 这时的扭矩值较大, 主要是转速低所致。

第  $5\sim 9\text{min}$  为正常钻进混凝土, 扭矩为  $480\sim 650\text{N}\cdot\text{m}$ 。从第  $10\text{min}$  开始, 功率值突破  $30\text{kW}$ , 且抖动剧烈。对应的扭矩值在  $510\sim 950\text{N}\cdot\text{m}$  之间跳跃, 且钻速下降明显; 表明切到钢筋。这时的孔深显示  $370\text{mm}$ , 与  $O_2$  孔设计的遇钢筋深度吻合。

由于预埋的钢筋是倾斜的, 故必须两次切断才能取出, 于是在  $O_2$  孔继续打第二个回次(曲线从略), 从曲线中判断切断钢筋后, 起钻取出含有断钢筋的岩芯。

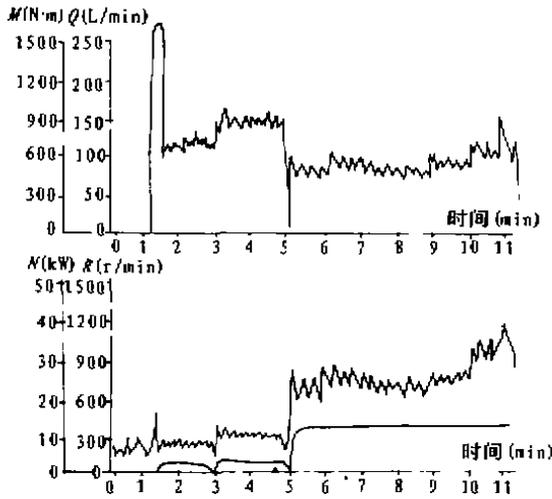


图7 金刚石钻进 O<sub>2</sub> 孔的第一回次记录曲线

#### 4 钻头切到钢筋的工况自动识别与报警方法

上述实验已证明及时识别钻头切到钢筋的工况是可行的,但为了方便现场使用,我们研制了不必观察荧光屏曲线就能自动识别与报警的方法。

众所周知,均值和方差是随机变量的两个重要数字特征,分别代表了参量的趋势部分和脉动部分。采用滚动算法累计计算扭矩的均值与方差,以变化系数  $K$  作为识别与报警的判据。

$$K = \sqrt{\frac{1}{n} (M_i - \bar{M})^2 / \bar{M}} \quad (2)$$

式中:  $M_i$ —扭矩瞬时值;  $\bar{M}$ —组内扭矩均值;  $n$ —组内采样个数

它的实质是单位均值的方差。将测得的  $K$  值与给定的临界值  $K_0$  比较,如果  $K > K_0$ ,则认为扭矩的新值脱离了其旧值的统计分布区间,立即报警“孔内工况已发生改变——切到钢筋”。为防止误报,可以让微机延时 10~20s,在连续获得  $K > K_0$  的结果后再声光报警。

下面以金刚石钻进 O<sub>2</sub> 孔第一回次的数

据为例(参见图 7),对该数据处理方法加以说明。

首先取金刚石钻头初磨后正常钻进的 3min 扭矩值求均值、方差和  $K$  值。第 5~7min 的扭矩瞬时值  $M_i$ (每 10s 一个)为: 650, 525, 625, 520, 625, 510, 610, 525, 600, 480, ……; 算得均值  $\bar{M} = 567$ ,  $\sigma = 57.5$ ,  $K = 0.102$ , 令临界值  $K_0 = 1.1K = 0.112$ 。

从第 8min 开始,边采集,边用滚动算法求该瞬时之前的组内均值、方差和  $K$  值,并与临界值  $K_0$  比较,其结果列于表 1。可见只有 8'10"这个瞬时  $K > K_0$ ,而其余各瞬时均为  $K < K_0$ ,故按前述不报警。同理,可判断出第 8,9min 亦属正常钻进。

根据第 5~9min 的数据可算得:  $M = 523.7$ ,  $\sigma = 54.8$ ,  $K = 0.105$ ,取临界值  $K_0 = 1.1K = 0.116$ 。再对第 10min 的数据边采集、边运算、边比较,其结果见表 2。因此,自第 10'30"起就会声光自动报警,以上滚动算法和逻辑判断在工业微机的软件中是很容易实现的。

表 1

采样时间 $t_i$	8'0"	8'10"	8'20"	8'30"	8'40"	8'50"
瞬时值 $M_i$	540	425	530	480	420	480
组内均值 $\bar{M}_i$		482.5	498.3	493.7	479	479.2
组内方差 $\sigma_i$		57.1	52.3	46.3	50.4	45.7
变化系数 $K_i$		0.118	0.105	0.094	0.105	0.095
与 $K_0$ 对比		$>K_0$	$<K_0$	$<K_0$	$<K_0$	$<K_0$

表 2

采样时间 $t_i$	10'0"	10'10"	10'20"	10'30"	10'40"	10'50"
瞬时值 $M_i$	630	720	840	510	720	945
组内均值 $\bar{M}_i$		675	730	675	684	728
组内方差 $\sigma_i$		45	86	120.9	109.7	139.6
变化系数 $K_i$		0.067	0.118	0.179	0.160	0.192
与 $K_0$ 对比		$<K_0$	$>K_0$	$>K_0$	$>K_0$	$>K_0$

#### 5 判断钢筋笼歪斜的方法

抽芯钻进中钻头切到钢筋,有两种可

能：一是钻孔打斜了；二是钢筋笼下歪了。前者可用测斜仪测钻孔顶角；而对后者则应设法测算出钢筋笼的倾角与方位，这对桩基检测和后续建筑施工是非常重要的。

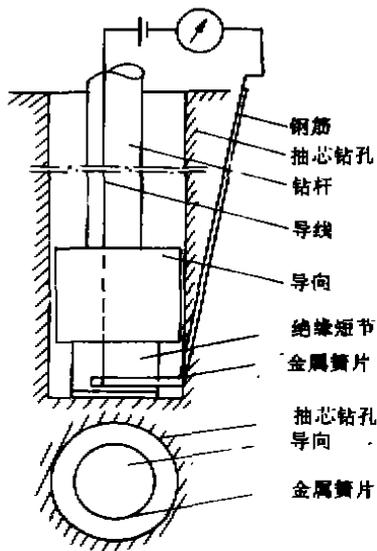


图8 专用工具结构图

### 5.1 抽芯孔为铅垂孔时，可按下述方法确定钢筋笼的倾角与方位

(1) 倾角 由于已知钢筋笼内径、桩基端面上的孔口坐标和孔径，报警时又给出了遇到钢筋的深度，通过简单的几何关系可以算出倾角。

(2) 方位 钻头切到钢筋后必然在孔壁上有钢筋露头，我们可以制作简单工具测出该露头的方位。该工具由带母线标记的钻杆、导向、绝缘短节、金属簧片和导线组成（见图8）。由于铁的电导率为  $1.0 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$ ，而混凝土（当孔内冲洗液中没有强电解质时）的电导率相对而言可以认为是无穷大。将该工具下至预定深度后，手动顺时针

慢转，一旦地表的欧姆表有反应，则说明簧片接触到钢筋露头，在地表测出母线对应的方位，再减去簧片端点与母线的夹角就得到孔内钢筋露头的方位，从而可确定钢筋笼的方位。

当钢筋露头很深时，可把图8中的簧片反装，再下孔逆时针转动测一次，求两次测得方位的平均值，即可消除因长钻杆柱扭转变形造成的误差。

### 5.2 抽芯钻孔为弯曲（斜）孔时，必须根据抽芯孔的顶角值来修正钢筋笼倾角

## 6 结论

(1) 对灌注桩抽芯钻进的工况进行自动识别与报警是十分必要的，它将减轻操作者的心理压力，避免因切断主筋造成桩基报废的重大经济损失。

(2) 实钻模拟实验表明，提出的检测仪表与识别准则及其算法软件，成功地实现了钻头切到钢筋工况的自动识别与报警，与实验设计相吻合，具有实用价值。加之所用传感器和工业微机价格便宜，具有推广价值。

(3) 笔者提出的判断钢筋笼歪斜情况的工具与方法简便可行，稍加改进可用于现场。

感谢李波、李金发、黄乘升三位同学所做的工作。

### 参考文献

- 1 鄢泰宁，顾家林. 微机在勘探技术中的应用. 湖北科技出版社, 1985.
- 2 周国钧, 牛青山. 灌注桩设计施工手册. 地震出版社, 1993.
- 3 李行善. 计算机测试与控制. 北京航空大学出版社, 1990.

## THE AUTOMATIC INSPECTION FOR THE STATUS WHILE CORING FROM BORE PILE

Yan Taining, Yao Aiguo, Yao Zhou

During the inspecting piles while coring from bore pile, it is possible that the rebars may be cut off by the bit, and result in which will decrease the capacity of the pile foundation and result in scrapping the pile. In order to avoid the cut off mentioned above, the paper provided the method which would be inspecting the status of drillingbit while coring from re-

inforced pile automatically. At the same time, it will send out alarm with sound and bright as well as point out the depth of the rebars. A simple and easy method which is possible to inspect the inclination of the cage of reinforcement is also introduced by the paper.

**Key Words:** inspection by coring, working status discernment, application of microcomputer

(上接第 48 页)

力的促进企业整体素质上台阶。再此,对资产重组、发挥效益的企业要在资金上予以扶持。

(6)集中资金重点扶持,重点发展。目前,各超硬材料企业普遍资金紧张,多营扶持资金有限,而每个超硬材料企业,无论大小,五脏俱全,各项配套设施和各种费用丝毫不比大企业少。不必要也不可能保证每个企业同步发展。要适当注入资金重点扶持几个企业,使其恢复生机,上档次,上水平。对

能上规模的制品项目(燕郊金刚石工业公司的干切片项目)要加大投入,形成新的经济增长点。

另外,在以资产为纽带,组建超硬材料集团,或是集中资金组建超硬材料销售中心等等方面做些尝试。当然,这触及到地勘单位的现有体制和管理模式等一系列问题,还需要做深入细致的研究工作。

## 《多工艺空气钻探》一书出版

地质矿产部科技重点攻关项目之一“多工艺空气钻进技术”经过有关院校、科研单位、生产单位广大技术人员努力合作,取得了一系列丰硕成果,技术经济效益与社会效益甚为显著。该成果于 1992 年列入国家科委《国家科技成果重点推广计划》,并于 1994 年被国家科委列入《国家科技成果重点推广计划创亿元产值项目 100 例》之一。

本书编著者包括参加该项目的单位和 20 余位科技人员与专家、教授。本书集中反映了该项目在气动潜孔锤钻探技术、空气双管反循环连续取样(心)钻探、气举反循环钻探技术、泡沫及泡沫钻探技术等领域内 20 多项技术成果与应用。中国地质勘查技术院项目总负责耿瑞伦和陈星庆任主编,由项目总顾问、中国工程院院士刘广志教授作序。全书 30 余万字。现已由地质出版社出版,并由勘探技术研究所情报室发行。

联系地址:河北省廊坊市金光道 77 号

邮编:102849

联系人:武玉兰

电话:0316-2015312