



震动沉桩

吕保生 编著

人民交通出版社

震 动 沉 槽

畢保生 編著

人民交通出版社

本書是呂保生同志在解放思想鼓足干劲的情況下，用短短二十天的時間寫成的。其主要內容包括震動沉樁機的構造原理，震動沉樁法的優點，影響震動沉樁的基本因素，常用震動沉樁機的介紹，用震動沉樁機下沉木樁、木板樁、鋼板樁、鋼筋混凝土樁、鋼管樁以及大型鋼筋混凝土管樁等工程，是上述工程，尤其是淤泥工程，施工人員一本最好的參考式，對上述專科師生也很有參考學習的價值。

震 動 沉 樁

呂保生 編著

*

人 民 交 通 出 版 社 出 版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版業營業許可證出字第〇〇六號

新 華 書 店 發 行

人民交通出版社印刷廠印刷

*

1958年7月北京第一版 1958年7月北京第一次印刷

開本：787×1092 印張：1 1/2 張

全書：39300字 印數：1—1600冊

統一書號：15044·1337

定價：(9) 0.20元

目 录

前 言

第一章 震动沉桩机的构造原理及震动沉桩法的优点	3
第二章 影响震动沉桩的基本因素	5
第三章 几种常用的震动沉桩机及其使用范围	13
第四章 震动沉桩法的应用	20
(一) 下沉木樁和木板樁	21
(二) 下沉鋼板樁	27
(三) 拔除鋼板樁	35
(四) 下沉鋼筋混凝土樁	40
(五) 樁承載能力的計算	43
(六) 下沉鋼管樁	49
(七) 下沉大型鋼筋混凝土管樁和管柱	55

前 言

震动沉桩法，系在桩头上牢固地联结一震动沉桩机，使二者成为一体，当开动震动沉桩机时，桩亦随之沿本身縱軸方向发生往返的震动并借以顺利地沉入土壤之中。这种用震动沉桩的方法早在1935年即为苏联 Ю. Я. 施塔耶耳曼及 К. Н. 达勃尔瓦利斯基二氏所提出。1938年在 А. Д. 巴尔干的指导下，用震动沉桩法在水饱和的砂土中进行了下沉木桩及钢筋混凝土桩的实验，获得了初步成功。第二次世界大战后，苏联科学研究部门和施工单位根据不同的技术条件和要求试制了各种型式的震动沉桩机，并不断地加以改进，因之震动沉桩法的使用范围亦日趋广泛。在苏联水利工程和铁路桥梁工程中大量采用震动沉桩的施工经验证明，使用震动沉桩机较之使用一般用的汽锤及柴油打桩机等更为有效和经济。震动沉桩机不仅可用以下沉木板桩、钢板桩、木桩、钢筋混凝土桩、钢管桩，并可以下沉大直径的钢筋混凝土管柱。我国在修建武汉长江大桥工程中，下沉直径为1.55公尺的钢筋混凝土管柱，亦采用了震动下沉的方法，并取得了满意的效果。长江大桥工程局并试制了震动力更为强大的震动沉桩机，在砂土、砂砾和黏土中进行了下沉直径为3.0公尺及5.0公尺的大型钢筋混凝土管柱（即装配式钢筋混凝土薄壁沉井）的实验，亦获得了成功，因而更扩大了震动沉桩法的应用范围。随着我国社会主义建设的发展，震动沉桩法必将在各种工程中获得广泛的应用。兹根据个人学习的体会，将震动沉桩法作一简单介绍，供工作中参考。

第一章 震动沉桩机的构造原理及 震动沉桩法的优点

兹以 BП-1 型震动沉桩机下沉钢筋混凝土桩为例说明一般震动沉桩机的构造（如图 1）。震动沉桩机系由电动机及震动机两个主要部分所组成。在震动机内有四个转轴，转轴系借滚珠轴承牢固地安在震动机的箱壁上。在转轴上装有偏心重物（钢块，或称偏心锤），当其旋转时则发生离心力。在震动机箱盒顶面装有交流电动机，作为驱动转轴之用。在震动机箱盒底面装有联结桩头的杯形钢座。由于震动机内的转轴及偏心锤系分成左右相对称的两组，而且两组的旋转速度相等但方向相反，所以在旋转时各个偏心锤的离心力的水平分力互相抵消，但垂直分力则相加在一起形成垂直方向的（即向上和向下的）震动力（或称震扰力）。震动力的数值及方向系随着偏心锤的旋转位置按着对称的正弦曲线的规律而变化（如图 2）。震动机的最大震动力 Q 按下列公式计算：

$$Q = \frac{M}{g} \omega^2$$

式中： Q = 最大震动力（以公斤计）；

M = 偏心锤的动力矩，等于偏心锤的总重乘以偏心矩（以公斤公分计）；

g = 重力加速度，等于 981 公分/秒²；

ω = 偏心锤旋转时的角速度（以弧度/秒计）。

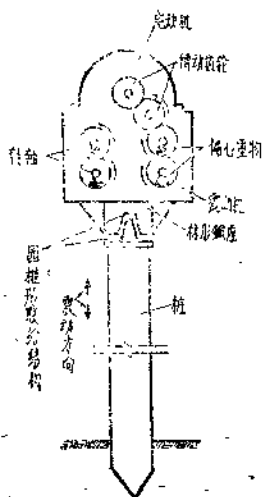


图1 BΠ-1型震动沉桩机构构造示意图

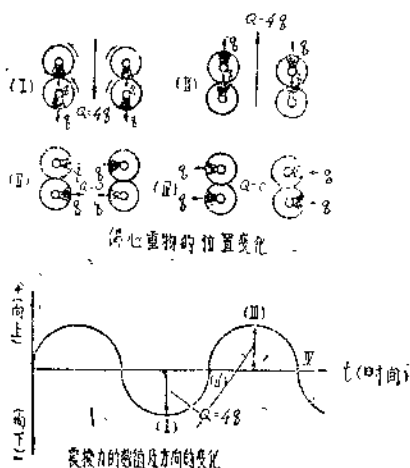


图2 震动机的反压力变化示意图

由于震动沉桩机与桩系刚性地联结成为一体，所以桩随着震动机所产生的震动力沿垂直方向上下震动。在震动过程中桩之所以能够下沉，一方面系由于在一定的震动频率和震幅时大大地减小了土壤对桩侧面上的摩阻力，另一方面由于震动体（震动沉桩机及桩）动能所产生的惯性力足以克服土壤在桩尖处的迎面阻力。

与锤击法相较用震动沉桩机沉桩的优点为：

- (1) 制造上较汽锤及柴油打桩机简单。
- (2) 使用方便，效能高，桩的下沉速度快。
- (3) 所耗用的动力少，所需要的附属机具设备亦少，因而沉桩成本低。
- (4) 能使桩平稳的下沉，使所沉的桩位置准确，且无将桩

头打坏之弊。

苏联在1951年用汽锤及震动沉桩机在砾石粘土质护母土壤中进行横断面为 40×40 公分的钢筋混凝土桩下沉至16公尺深的比较实验。实验结果如下：

(1) 用3吨拉库尔型单动式汽锤，打桩时间需3小时以上，用6吨同型汽锤则需2.5小时，但由于长时间的强烈锤击，桩的上部发生了很大的变形及损坏。

(2) 用低频率的震动沉桩机沉桩则仅需30分钟，桩之上部未发生任何损坏。

根据近年来在水电站施工中的经验，用震动沉桩机沉桩较用双动式汽锤沉桩，其速度可快2~5倍，工作费用至少可减小1~1.5倍。

在砂质土壤中用震动法沉桩最为有效和经济。与射水沉桩法相较，震动沉桩法消耗能量少，下沉速度快，因之工作费用小。在长江大桥工程中下沉直径为1.55公尺的钢筋混凝土管桩的比较实验证明，射水法或震动法均能将管桩沉入砂土中九公尺左右；但震动法较射水法所需要的附属机具设备（如高压水泵、输水管、射水管等）少，耗用材料也少，而下沉速度快20~30倍，耗用电量少12倍。当用震动法不能将桩沉至设计深度时可采用震动与射水的综合方法。

第二章 影响震动沉桩的基本因素

为了使受到震动的桩能够在土壤中顺利地地下沉，必须满足下列三个基本条件。

(一) 震幅不能小于某一定的限度 震幅与下沉速度的关系如图3所示。由图3可知，震幅数值必须在超过 A_0 （称为始沉震幅）时始能使桩下沉。始沉震幅 A_0 的数值取决于震动

频率、土壤类别、桩的尺寸及形状。震动频率愈小及桩的横断面积愈大时，则始沉震幅的数值愈大。桩的震动震幅超过始沉震幅愈大，则其下沉速度也愈大。在实际施工中决定所需要的震幅时，一方面要使所采用的震幅大于始沉震幅 A_0 ，另一方面要使下沉速度不能过大或过小，通常的允许下沉速度，在沙中可采用 4—6 公尺/分钟，在塑态粘土中可采用 1—2 公尺/分钟。根据经验资料，在具体施工中震动沉桩所需要的震幅可参照表 I。

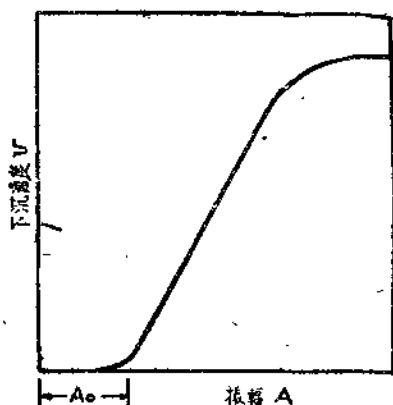


图 3 桩的下沉速度与震幅的关系

在水饱和的沙及软的塑态粘土中沉桩时
利下沉桩及板桩所需要的震幅 表 I

震 动 频 率 (每分钟若干次)	需 要 的 震 幅 以 公 厘 计	
	桩 的 横 断 面 积 小 于 100 平 方 公 分	桩 的 横 断 面 积 为 400~1,000 平 方 公 分
400~600	8.0~15.0	10.0~20.0
1,200~1,500	3.0~4.0	5.0~6.0
2,300~2,500	1.5~2.0	3.5~4.0

(二) 震动频率必须大于破坏频率 当桩在土壤中震动时，在一定的震动频率及震扰力的作用下土壤对桩侧面上的摩阻力开始遭到破坏，并使桩可以自由的移动，此时的震动频率

即称为破坏频率(ω_{cp})。为了保证有效地使土壤的摩阻力受到破坏并使桩能以自由移动,在桩的侧面单位面积上(在板桩则为单位长度上)所必需的震扰力的数值称为临界阻力(τ_{kp})。根据实验资料,各种情况下的临界阻力 τ_{kp} 列如表2,可以利用此表计算所必需的震动频率及震扰力。

临界阻力 τ_{kp} 数值表

表 2

桩 的 类 别 及 尺 寸	土 壤 性 质	临 界 阻 力 τ_{kp}
木桩, 直径为25~32公分的钢管桩, 沉入深度12~15公尺	塑态粘土, 软粘土质砂母	0.5~0.8吨/平方公尺
横断面为40×40公分的钢筋混凝土桩, 沉入深度15公尺	同 上	约0.6吨/平方公尺
单塊的槽形板桩	紧密坚硬的粘土质砂母	1.8~2.5吨/公尺
各种型式的钢板桩, 沉入深度10~12公尺	软的塑态的粘土及松软的沙	1.2 吨/公尺
一字形钢板桩, 沉入深度10~15公尺	紧密的中粒沙夹有砾石层	1.7 吨/公尺

(三) 下沉压力必须能克服土壤对桩尖处的迎面阻力 桩的自重及联结于桩上的震动沉桩机的重量构成了对桩的下沉压力。下沉压力与下沉速度的关系如图4所示。由图4可知, 下沉压力必须在超过某一定数值 P_0 。(称为始沉压力)时始能使桩下沉; 下沉压力加大, 则下沉速度亦随之增大, 但下沉压力超过有效界限 P_0 以后, 则下沉速度增加很小, 并逐渐接近于最大可能的速度 V_{max} 。始沉压力 P_0 的数值取决于土壤性质、桩的形状和尺寸及震动情况。为了保证桩在适当的速度下顺利下沉并使震动机的重量不致过重, 应按照施工所需要的下沉压力 P 来选用最轻的震动沉桩机, 在必要时可借在震动沉桩机上临时加载的方法以增加下沉压力。根据实验资料, 下沉压力的数

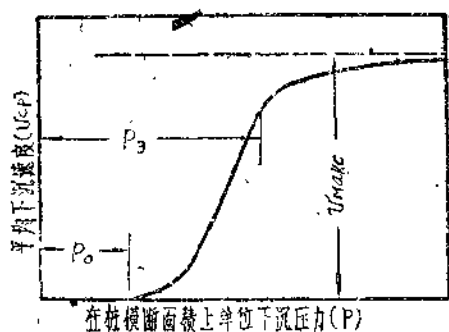


图4 桩的下沉速度与下沉压力的关系

在水饱和的沙及软粘土中沉桩的下沉压力表 表3

桩的横断面面积 以平方公分计	横断面的 形状	下沉压力以公斤/平方公分计	
		始沉压力 (P)	需要压力 (P)
100 以下	圆 形	0.8~1.2	1~2
400~800	圆 形	3.0~4.0	4~5
1,400~1,600	方 形	4.0~5.0	6~7

值列如表3。

上述影响震动沉桩的三个基本因素，也是决定对震动沉桩机的技术要求的基本条件，并可近似的用下列公式表示：

$$\frac{\alpha M}{Q_c + Q_B} \geq A \quad (1)$$

$$\frac{M\omega^2}{g} \geq T_{kp} \quad (2)$$

$$\frac{Q_c + Q_B}{F} \geq P \quad (3)$$

式中: M ~震动机中偏心重物的动力矩;

ω ~震动机中偏心重物旋轉时的角速度;

Q_c ~桩的重量;

Q_B ~震动沉桩机的重量;

A ~所要求的震幅, 可参照表 1 中所规定的数值;

α ~系数, 对钢筋混凝土桩采用 0.8, 对其他的桩则采用 1;

$T_{kp} = SL\tau_{kp}$ ~土壤对桩侧面上总的計算破坏阻力, S 为桩的横断面的周长, L 为桩的沉入深度, τ_{kp} 为临界阻力 (参看表 2 中所规定的数值);

F ~桩的横断面积;

P ~所要求的下沉压力 (参看表 3 中所规定的数值);

g ~重力加速度。

根据沉桩具体情况利用上列三个公式来决定所需震动沉桩机的偏心重物的动力矩、旋轉速度及震动沉桩机重量的最适当的数值。所要求的震幅 A 及轉速 ω 的关系按照实验資料可列如下式:

$$A = a \left(1 + \frac{b}{\omega} \right) \quad (4)$$

式中: a 及 b 为系数, 其数值可根据表 1 中 A 及 ω 的数值加以求算; 例如对較大断面的桩, $a = 0.12 \sim 0.15$ 公分, $b = 400 \sim 500 \text{秒}^{-1}$ 。

由公式 (4)、(1) 及 (2) 則得出:

$$M = \frac{a^2 b^2 (Q_c + Q_B)^2 \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4\alpha g T_{kp}}{ab^2 (Q_c + Q_B)}} \right]^2}{4\alpha^2 g T_{kp}} \quad (5)$$

$$\omega = \frac{2\alpha_g T_{kp}}{ab(Q_c + Q_a) \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4\alpha_g T_{kp}}{ab^2(Q_c + Q_a)}} \right]} \quad (6)$$

震動沉樁機的重量可直接利用公式(3)來決定。

由公式(5)及(6)可知，不同尺寸、形狀及重量的樁，其所要求的最適宜的震動沉樁機亦不相同。在下沉重型樁（主要的為鋼筋混凝土樁）時，則需使用具有較重偏心重物的低頻率的震動機。在下沉輕型樁（木樁，鋼管樁及鋁板樁等）則需使用具有較輕偏心重物的高頻率的震動機。例如在下沉鋼筋混凝土樁時，根據公式(5)及(6)所計算出的樁重 Q_c 與所要求的 ω 及 M 的關係如圖5所示。由圖5可知，樁重 Q_c 的變化對所要求的旋轉頻率 ω 的影響不大，並在樁重大於2,000公斤時一般可採用每分鐘550~600次的震動頻率；反之樁重 Q_c 的變化對所要求的 M 則影響很大。

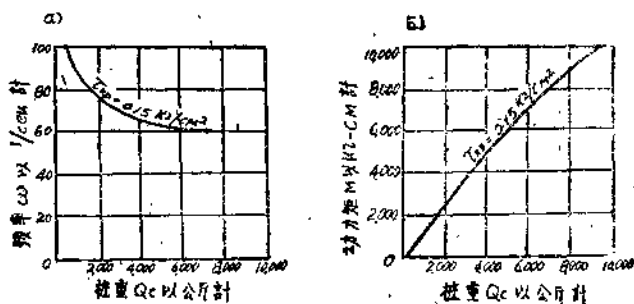


圖5 下沉鋼筋混凝土樁所要求的 ω 及 M

附注~圖中 ω 以若干分之一秒轉一弧度（1弧度=57.3度，1圓周=360°=2 π 弧度）計，也就是每一秒轉若干弧度。

又如下沉木桩时根据公式(5)及(6)所计算出的桩长与所要求的 ω 及 M 的关系如图6所示。由图6可知,当桩长 L 为4~16公尺时,其所要求的 ω 变化很大(震动频率在1,200~2,200次/每分鐘之間),但所要求的 M 则变化甚微。

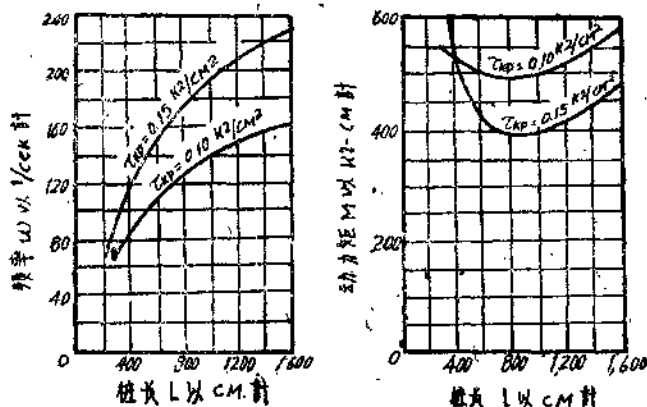


图6 下沉木桩所要求的 ω 及 M

桩的直径=25CM, 桩的沉入深度等于桩长

兹举一计算实例如下。长20公尺的一字形钢板桩需沉入含有砾石的饱和的沙中15公尺。

一块钢板桩的重量 $Q_c = 1,400$ 公斤;

震动机的重量(估计) $Q_b = 700$ 公斤;

由表2查出临界阻力 $\tau_{kp} = 17$ 公斤/平方公分;

总的破坏阻力 $T_{kp} = 17 \times 1,500 = 25,500$ 公斤;

公式(4)中系数: $a = 0.12$ 公分, $b = 450 \text{ 秒}^{-1}$ 。

由公式(5)及(6)得出:

$$M = \frac{0.12^2 \times 450^2 (1400 + 700)^2}{4 \times 981 \times 25500} \left[1 + \right.$$

$$+ \sqrt{1 + \frac{4 \times 981 \times 25500}{0.12 \times 450^2 \times 2100}} \Bigg]^2$$

$$\frac{4 \times 981 \times 25500}{4 \times 981 \times 25500}$$

$$= 980 \approx 1,000 \text{ 公斤-公分。}$$

$$\omega = \frac{2 \times 981 \times 25500}{0.12 \times 450 (1400 + 700)} \left[1 + \right.$$

$$\left. + \sqrt{1 + \frac{4 \times 981 \times 25500}{0.12 \times 450^2 \times 2100}} \right]$$

$$= 159 \text{ 秒}^{-1} \approx \text{震动频率为每分钟 } 1,500 \text{ 次。}$$

在选用震动沉桩机时，所要求的技术规格可参照表 4。

表 4

在一般土壤情况沉桩时选用震动沉桩机的初步参考资料

震动沉桩机的应用范围	最佳的震动频率(次/每分钟)	最大的动力矩(公斤公分)	计算沉桩压力(公斤/平方公分)	所需电力(瓩)
下沉重量在8吨以下的钢筋混凝土桩	550~600	7,000~8,000	6~8	60~80
下沉木桩，沉入深度至12公尺	1,500~2,000	500~600	4~5	30
下沉钢板桩，沉入深度至15公尺	1,500	1,000	25~30	40
下沉Φ325~350公厘的钢管桩沉入深度至16公尺(在修建就地灌注的桩时)	1,500	1,000~1,200	5~8	30
下沉木板桩，其厚度至75公厘	1,500~2,000	150	3~4	7~10
下沉木板桩，其厚度至50公厘	1,500~2,000	50~80	2~3	3~4

第三章 几种常用的震动沉桩机 及其使用范围

兹将苏联目前常用的几种震动沉桩机及其使用范围介绍如下。

(一) 101型低频率震动沉桩机

101型低频率震动沉桩机系由工程师 Л. Л. 米邱新及 В. Н. 杜皮可夫在技术科学博士 Л. Л. 巴尔干的指导下设计的, 适用于下沉钢板桩、钢管桩及钢筋混凝土桩。这种沉桩机不仅可在饱水的土壤中沉桩, 也可在密实的粘土中沉桩, 惟下沉速度很

101型低频率震动沉桩机的技术规格 表 5

技 术 规 格	单 位	数 量	
在不同情况所装配的电动机:		MT-52-8	MT-52-10
型 式			
容 量	瓩	38	45
转 数	转/分	720	574
重 量	公斤	497	1,010
震动机: 轴数	根	2	
轴的转数	转/分	450~880	
轴上全部偏心轮的重量	公斤	544	
最大偏心距	公分	14.7	
偏心轮最大动力矩	公斤·公分	8,000	
重量(不连桩帽及电动机)	公斤	1,822	
震动沉桩机的总重(连同MT-52-8型电动机及桩帽)	公斤	2,493	
外形尺寸: 高	公厘	1,243	
宽	公厘	1,160	
长	公厘	1,025	

小。在震动机中轉軸上的偏心錘能够加以調整，因之根据施工要求可以調節动力矩、震动力及电力的消耗。101 型震动沉桩机的技术规格如表 5。

(二) BП 型低频率震动沉桩机

BП 型低频率震动沉桩机系由苏联交通部桥梁科学研究所設計，有 BП 1, BП-2 和 BП-3 三种。BП-1 型震动沉桩机适用于下沉重型桩，鋼板桩及重量在10吨以下的刚性薄壁井筒；沉入深度随土壤性質而异，但以在天然密实度小的細砂中沉桩最为有效，在粘土中則功效很小。这种震动沉桩机通常用于在砂，砂質护堤及粘土質护堤中下沉横断面为 28×28 至 45×45 公分的鋼筋混凝土桩，桩的极限荷载可达100吨。

BП-2 型震动沉桩机适用于在砂中下沉入土深度不大（5~6公尺）的輕型桩如木桩，鋼板桩和横断面不大于 25×25 公分的鋼筋混凝土桩等，桩的极限荷载可达50吨。

BП-3 型震动沉桩机系重型沉桩机械，适用于下沉重量在15吨以下的井筒及重型桩，桩的极限荷载可达200吨以上。

BП 型震动沉桩机的技术规格如表 7。

(三) BПП 型震动沉桩机

上述 BП 型震动沉桩机系将电动机与震动机刚性的联結为一体，在使用上有下列两个主要缺点：

(1) 下沉压力与震幅的矛盾。根据第(二)节所述，为了順利沉桩必須保証一定的震幅及下沉压力，但这两种要求对震动沉桩机的重量来講是互相矛盾的。因为在下沉压力方面要求将震动沉桩机的重量加大，而在震幅方面則要求将其重量减小。因此在某种情况下，震动沉桩机就很难同时满足这两种互相矛盾的要求，致使其应用受到限制。

(2) 因为电动机系与震动机刚性的联結为一体，在震动沉