

海洋石油

渤海12号平台钢管桩试验研究报告集

3

1979

海洋石油勘探局勘探开发设计研究院出版

PDG

渤海 12 号平台钢管桩试验研究 工作组成单位及支援单位

主持单位

石油部海洋石油勘探局勘探开发设计研究院
石油部海洋石油勘探局海上工程处

参加单位

交通部第一航务工程局科学研究所
南京工学院土木工程系
国家建委建筑科学研究院地基研究所
石油部施工技术研究所
天津大学精密仪器系
国家海洋局海洋仪器研究所
南京水利科学研究所
北京市地质地形勘测处
北京市计量管理局
天津市地质处

支援单位

天津市计量管理局振动组
天津市橡胶工业研究所
天津大学水利系
天津大学化工系
铁道兵 89131 部队
交通部第三航务工程局科学研究所
天津市水利科学研究所
开滦矿务局唐山矿

参加现场测试工作人员

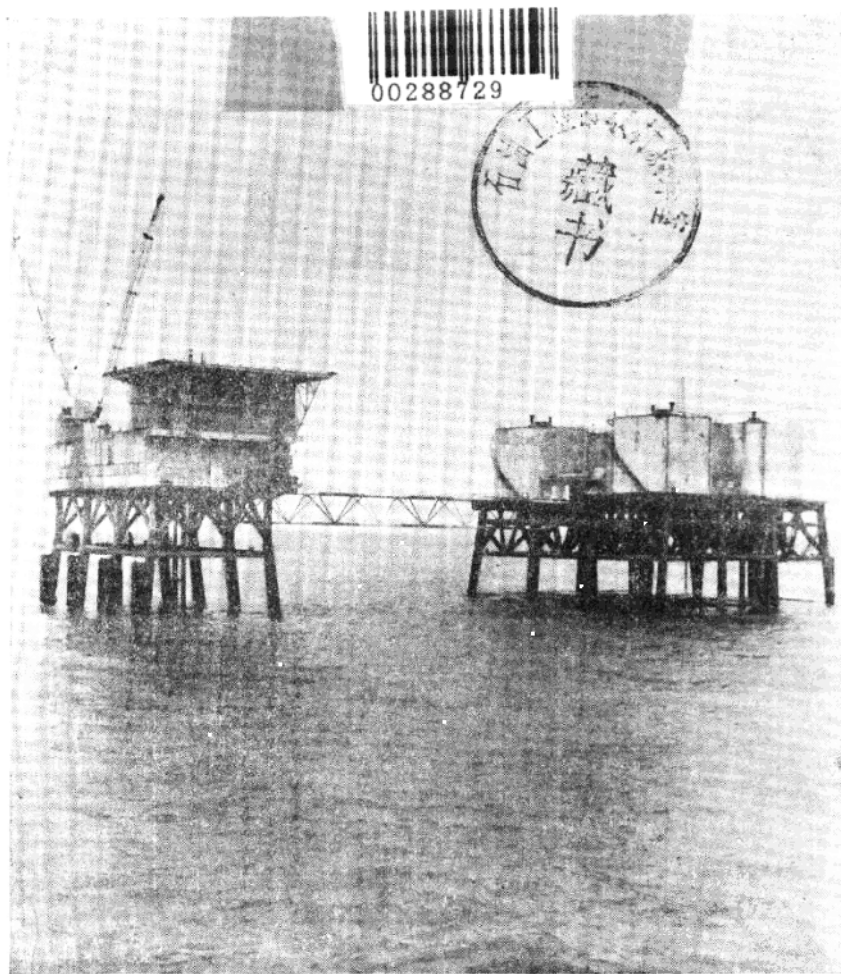
项 目	单 位	人 员
桩身粘贴电阻应变片	海洋石油勘探局 一航局科研所 天津大学化工系	李贵洲 刘楚凡 何世纪 章季申 张东瀛 葛同仁 殷建华 郑时风 吴明凤 孙久成 吴保利 孟庆善 何修浩 罗道良等22人 刘静香 方兆麟 秦嘉才 许美莹等6人
动 力 试 桩	海洋石油勘探局 南京工学院 石油部施工技术研究所 一航局科研所 建委建研院地基所 天津大学精仪系 北京市计量管理局 海洋仪器研究所	井开城 杨彦民 刘楚凡 何世纪 张红联 章季申 郑时风 吴明凤 殷建华 张东瀛 孙久成 吴保利 卢洪祥 翟玉忠等20余人 唐念慈 沈慧容 项忠权 潘如钧 李家桢 徐志华 刘永源 刘静香 杨德元 张 棣 柴本柱 王连儒 秦嘉才 范纯诚 刘兴录 林玉驹 鹿景荣等11人 盛敏学 许玉昆 黄丽良
垂 直 承 载 力 试 验	海洋石油勘探局 南京水利科学研究所 北京地质地形勘测处	刘楚凡 何世纪 章季申 殷建华 张东瀛 郑时风 吴明凤 孙久成 冯铁成 朱小雨 王伯衍 王占生 武长成等7人



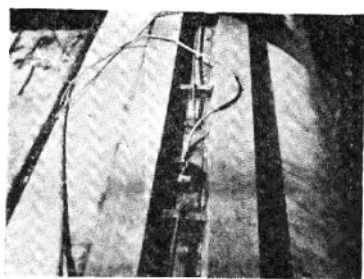
200350299

4831

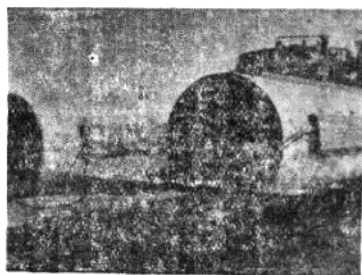
試驗現場實況



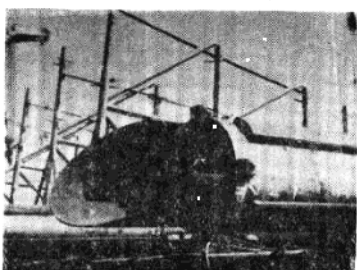
照片 1 桩基試驗現場——渤海12號平台



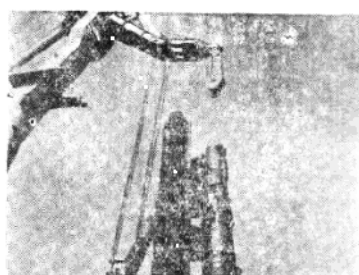
照片 2 桩身贴片带构造



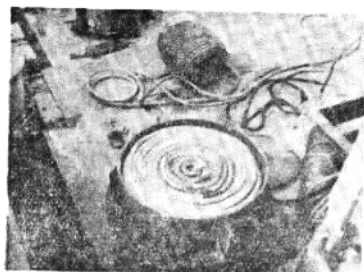
照片 3 下段桩子留电缆



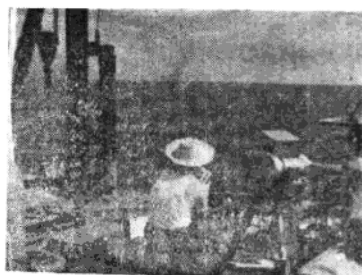
照片 4 接桩构造



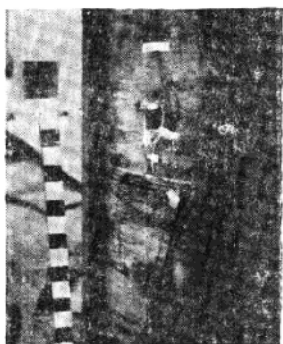
照片 5 从107号浮吊上以MB70柴油锤打入试桩



照片 6 桩帽及锤垫(用白棕绳盘制)



照片 7 高速摄影测定桩锤特性



照片8 桩身上设置的加速度计



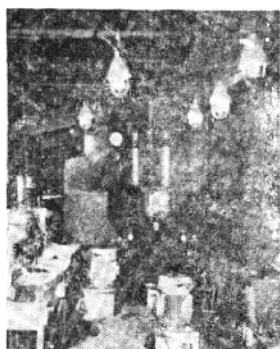
照片9 仪表间(动测)



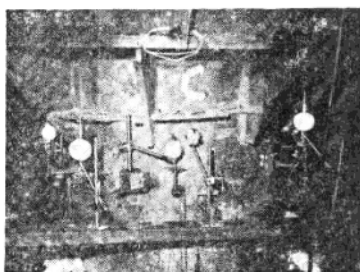
照片10 接桩后穿敷电缆



照片11 入海处的试桩及基准桩



照片12 静载试验(2号试桩)



照片13 桩顶及应变杆沉降测量
(1号试桩)

摄影：海洋石油勘探局勘探开发设计研究院 霍玉忠 吴春明

目 录

试验现场实况 (照片)

渤海12号平台钢管桩试验研究工作组成单位及支援单位

参加现场测试工作人员

一、动力试验研究报告

前 言	(3)
1. 概 况	(4)
2. 打桩设备、打入过程及测试序列	(7)
3. 加速度的测试与分析	(12)
4. 锤击应力的测试与分析	(19)
5. 锤心落高和锤击速度的测定	(24)
6. 打桩锤击数的测定	(29)
7. 贯入度及回弹量的测定	(29)
8. 动测资料的波动方程分析	(30)
9. 若干应用问题的探讨	(43)
10. 结 论	(46)
附录 A 一维波动方程及其差分解	(47)
附录 B 波动方程打桩分析计算程序《BF81》(1979年修改本)	(52)
附录 C 波动方程分析参数常用参考值	(60)
附录 D 地基土的振动三轴试验结果	(62)
参考文献	(65)

二、垂直承载力试验研究报告

前 言	(69)
1. 概 况	(69)
§ 1 工程地质情况	(69)
§ 2 试验桩结构及施工	(71)
§ 3 试桩场地布置	(72)
2. 加载及量测	(76)
§ 1 试验过程	(76)
§ 2 加载设备及量测系统	(77)
§ 3 千斤顶率定	(77)
3. 试验成果及分析	(78)
§ 1 试验方法	(78)
§ 2 极限承载力的确定	(78)

§ 3 桩侧摩阻力和端承阻力·····	(87)
4. 结论·····	(99)
参考文献·····	(100)

三、桩身粘贴电阻应变片工艺试验研究报告

前言·····	(103)
1. 概况·····	(103)
§ 1 试桩工程的性质特点与要求·····	(103)
§ 2 各阶段经历时间·····	(104)
2. 方案的确定·····	(104)
§ 1 防水工艺及构造·····	(104)
§ 2 温度补偿片的设置方法·····	(109)
§ 3 导线的绝缘性能·····	(109)
3. 现场施工·····	(110)
§ 1 桩身贴片带的构造·····	(110)
§ 2 各道工序简介·····	(111)
4. 断线事故的处理·····	(112)
5. 电阻应变片工作性能及合格率·····	(113)
§ 1 工作性能·····	(113)
§ 2 合格率·····	(114)
6. 主要器材·····	(115)
7. 结论和意见·····	(116)

渤海12号平台钢管桩试验研究报告集之一

动力试验研究报告

海洋石油勘探局勘探开发设计研究院 刘楚凡 张东瀛

南 京 工 学 院 唐念慈

第一航务工程局研究所 方兆麟

建委建研院地基研究所 刘兴录

石油部施工技术研究所 潘如钧

天 津 大 学 林玉驹 鹿景荣

前 言

根据我国渤海油田多年试点开发的经验,在钢质导管架式桩基平台的建设中,桩基础的设计与施工是平台建设比较困难的关键问题之一。当前面临的问题是:(1)钢桩的用钢量很大,在水深25米的海域,钢桩用钢已占整座平台结构用钢的四分之一以上。(2)海上打桩施工工期长,顺利情况下约占平台结构海上施工期的三分之二以上,遇到困难时,可延误数月之久。(3)确定单桩容许承载力的海上桩基静载试验,目前已很难进行,展望未来,随着单桩承载力的进一步增大,反力支承系统已无法解决。

但迄今我们所依据的技术手段却还限于沿用桩型和规模都迥然不同的水港构筑物及陆上工民建桩基的设计经验和渤海已建平台的少量数据。而指导施工的唯一工具,还是以简单的牛顿撞击理论为基础古老的打桩公式。

运用一维波动方程进行打桩分析的新技术,在近年来获得了巨大发展。波动方程早在1865年已由圣维南提出。它求解一根自由支承的细长弹性杆件,在一端受到撞击后的应力波的传播规律。三十年代曾有人将打桩过程作为杆件内应力波的传播问题来研究,此时在古典的波动方程中引入反映桩周土阻力的参数项 R :

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{E}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \pm R$$

上式的通解在数学上比较复杂,不能适应多样变化的实际工程情况,因而难以推广应用。直到五十年代后期是史密斯(*Smith*)首先提出了波动方程在桩基中应用的差分数值解法^[1],将上式变为由高速数字电子计算机求解一个理想化的锤——桩——土系统内的各分离单元的差分方程组(公式推导详见附录A)。从而第一次为人们提供了一种手段,能在严密的物理学模型及数学计算基础上,分析受到许多复杂因素影响的打桩问题。

近年来,在国际上随着海洋石油工业的兴起,近海石油钻采平台桩基工程的规模十分巨大。所用的蒸汽桩锤的锤心重达125吨,一次锤击能量高达219吨一米,最大桩长已达376.5米,单桩重已达430吨,单桩承载力高达5000吨以上。海上打桩施工时须要用复杂的附属设施,例如送桩、水下可卸式接头等等,往往都要消耗大量的锤击能量。这样大的规模,显然已经不可能再用静载压桩试验来为设计提供承载力数据,而动力打桩公式也已失去实际意义。

与此对比,运用波动方程进行打桩分析的技术却得到了迅速的发展。据文献资料介绍,至今国外打桩分析波动方程专用计算机程序已有十余种之多^{[1][2]}。每种程序有其不同的特点和功能,并已被应用到海洋石油平台的桩基设计施工中去,成为设计施工的常规组成成分。

桩基工程中应用波动方程新技术,可以解决多种生产实际问题。根据海洋石油桩基平台的特点,其着重点可归结为以下四个方面:

(1)在给定的锤——桩——土的组合下,预先确定桩锤能将桩打入的最大深度和合理深度,并予估桩的打入速率。

(2)在已知的土质条件情况下,根据实际打入情况,确定桩在打入时的最大静阻力及

* 括号内数字为文末所附参考文献序号,下同。

其沿桩身的分布。

(3) 确定桩身组成的最佳设计。桩身截面积不仅影响打桩应力的_{大小}，还因为桩身刚度的变化而直接影响桩锤的打桩能力。

(4) 选择最佳的垫层材料，在保证不产生过大的打桩应力条件下保持高效率地沉桩。

本次试验就是运用波动方程进行打桩分析的一次尝试，希望能为我国海洋平台的桩基设计施工引进先进技术、填补这项空白迈开第一步。

1. 概 况

§1-1 试验目的及内容

为了运用波动方程进行打桩分析的新技术，对两根试验钢桩在开口打入过程中，进行了以下测试：

- (1) 使用桩身粘贴的电阻应变片——动态应变仪——光线示波器实测桩身打桩应力。
- (2) 使用加速度计——电荷放大器——光线示波器实测桩帽和桩顶的加速度。
- (3) 使用高速摄影机实测锤心落高和运动速度（包括撞击、爆发过程中的瞬时速度）。
- (4) 在一些特定深度上连续10~20锤的桩的手工实测平均贯入度与回弹量。
- (5) 测定桩通过各地层时每米的锤击数。
- (6) 测定桩内土塞泥面标高的变化。
- (7) 记录打入历时和总锤击数。

进行上述的测试工作和实测这些数据主要是为了：

- (1) 作为波动方程计算机程序的输入数据。
- (2) 作为判断一些未进行实测的计算参数选用是否恰当的依据。
- (3) 予测桩的静承载能力。
- (4) 研究柴油锤的工作性能。
- (5) 对比锤击应力波在桩身中的计算与实测的传播规律。
- (6) 检验测试方法及仪表的工作性能。

§1-2 试验场地和试桩的构造与打入

(1) 本次试验场地的位置详见图1-1。1978年8月17日至24日，1号试桩及2号试桩在渤海12号平台(照片1)打入过程中进行了动力试验。当地水深24.5米，试验时气象一般良好，风力小于4级。地层土质资料见图2-6和“渤海12号平台钢管桩垂直承载力试验研究报告”(以下简称“垂直承载力试验研究报告”)的有关部分，土层的振动三轴试验资料见附录D。

(2) 桩身构造。1号桩由上、中、下3段拼接而成(3.0+12.18+56.9=72.08米)。2号桩由中、下2段拼接而成(12.19+56.92=69.11米)。钢管外径均为 $\phi 900$ 毫米，桩壁厚度的设计主要根据静载试验要求和利用已制备的生产用桩子制桩段而决定，壁厚的变化

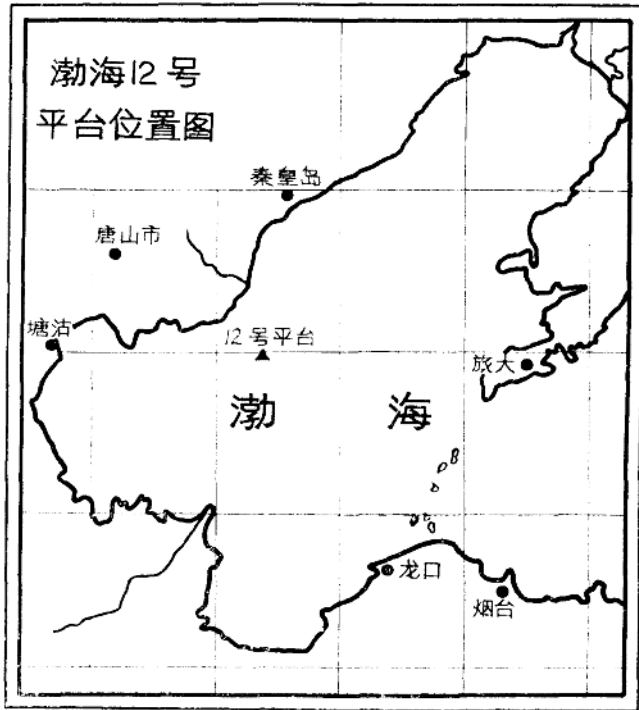


图 1—1 试验场地的地理位置

范围为14~36毫米。各桩段均由钢板正卷成单节圆筒后焊接而成。材质均为2C~4C船用钢板。2根试验桩都不带桩尖开口打入。桩身构造、加速度计和电阻应变片测点位置示于图1—2（照片3、4）。由图可见，1号桩除了多接3米长的上段桩外，其余部分与2号桩都相同，长度尺寸尾数的差异是由于制作所引起的误差。

（3）试桩插桩及打入时，导管架上设置有为保持试验桩垂直位置的导向构造，见“垂直承载力试验研究报告”的图1—5所示。

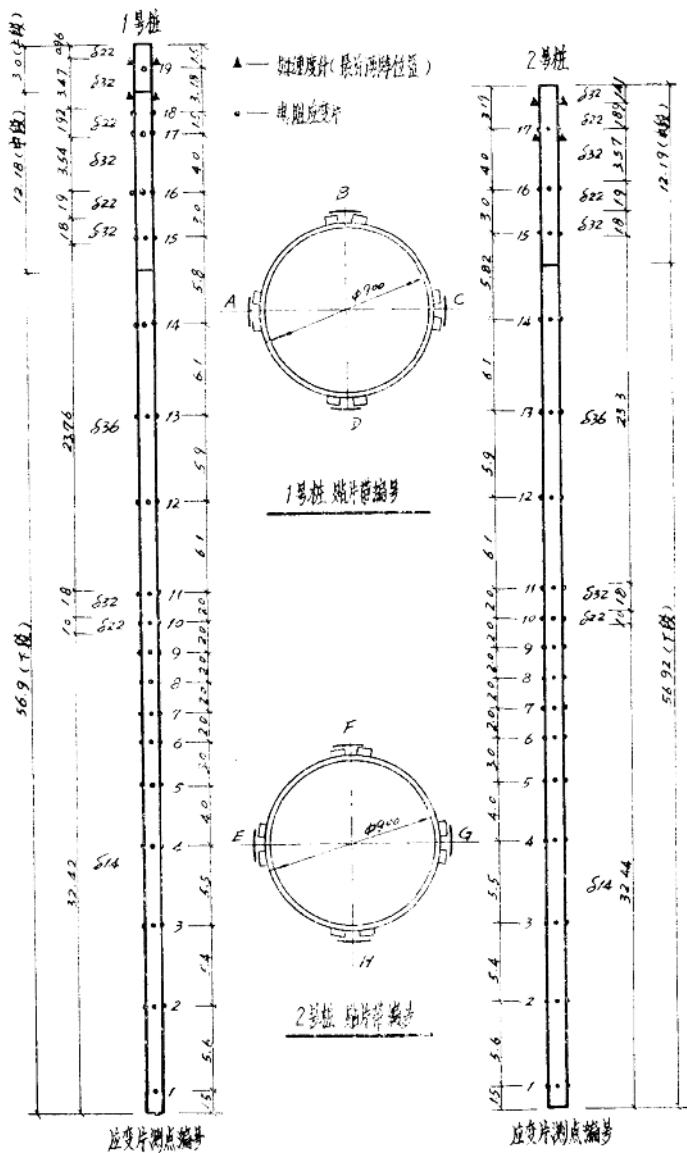


图1—2 试验桩分段、壁厚及测点布置
 (单位: 桩长以米计, 壁厚 δ 以毫米计, 桩外径 ϕ 以毫米计)

2. 打桩设备、打入过程及测试序列

§2-1 打 桩 设 备

(1) 打桩锤。采用日本生产的M40及MB70柴油打桩锤（照片5）。

表2—1 柴油锤主要性能指标

桩 锤 型 号	M B 7 0	M 4 0
总重量（吨）	21.1	11.6
锤心（上活塞）重量（吨）	7.2	4
锤击能量（落高2.5米时）（吨—米）	18	10
锤击速率（次/分钟）	38—60	42—60

日厂规定MB70锤的极限工作条件是：

(a) 当桩的每锤下沉量，即桩的有效贯入度与回弹量之和，小于9毫米时应立即停锤。

(b) 当桩每锤下沉量小于15毫米时应在10分钟以内停锤。

(c) 当桩的每锤有效贯入度小于1毫米时，即使每锤下沉量按(a)、(b)规定仍属许可时也应立即停锤。

在海洋平台桩基工程和此次试验桩的打入过程中，锤心落高和贯入度都经常超过日厂规定的数值和要求。

MB70锤的外形及几何尺寸见图2—1所示。

日厂给出的MB70锤的工作过程见图2—2所示。

生产该锤的日厂给出了快速目测锤心落高的参考数据，见图2—3及表2—2。此次试验中

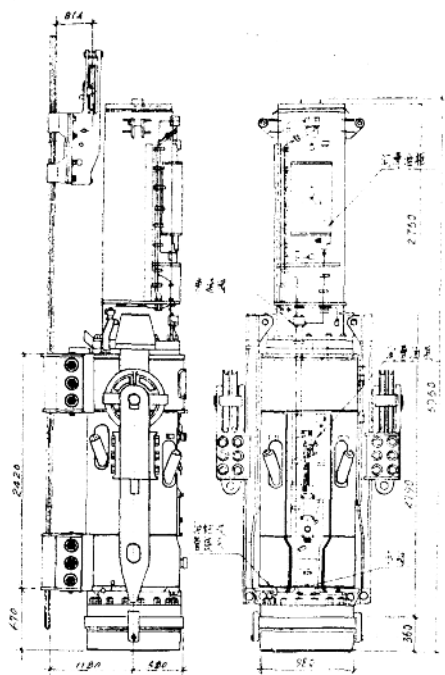


图2—1 MB70锤外形及尺寸（毫米）

曾予应用，效果良好，见高速摄影测试部分的介绍（表5—1）。

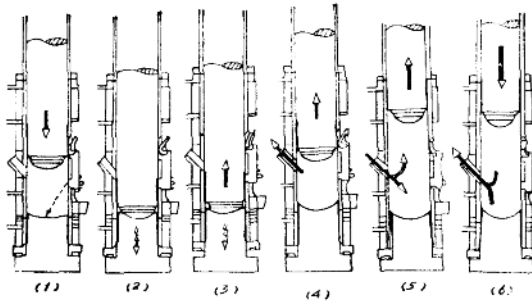


图 2—2 MB70锤工作过程说明

- (1) 喷油及压缩，(2) 锤击及雾化，(3) 燃烧及爆发，(4) 排气，
(5) 吸气，(6) 扫气

表 2—2 MB70锤目测的锤心落高

位置	锤心外露高度 L (米)	锤心相应落高 S (米)
O	0	1.900
A	0.225	2.125
B	0.300	2.200
C	0.550	2.450
D	0.700	2.600
E	0.900	2.800
F	2.472	4.170

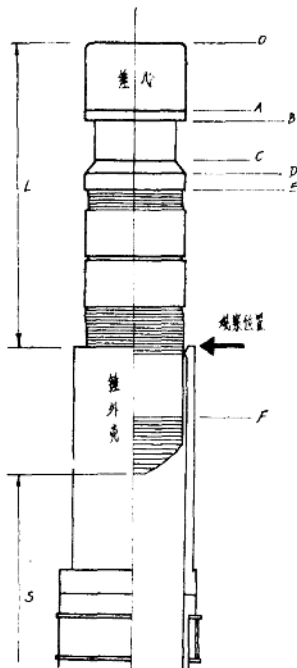


图 2—3 MB70锤目测锤心落高的方法

(2) 桩帽及锤垫。桩帽采用平盖形钢板全焊式构造。镶板厚度为10厘米，外形及尺寸见图2—4及照片6。锤垫材料采用白色棕绳（ $\phi 40$ ，用3股 $\phi 19$ 绞成），层层盘放，总厚度约为35厘米。打桩结束后的残余高度约为28厘米。在两根试桩打毕后曾在台座上进行了一次锤垫的静力压缩试验，用500吨千斤顶直接放在锤垫顶面加载，测定压力与变形的关系，求得换算割线弹性模量 $E = 896$ 公斤/厘米²，恢复系数为0.86左右，从而推算得锤垫在冲击块下的刚度为235吨/厘米，见图2—5所示。

(3) 打桩方法。M40锤采用吊打的方法。MB70锤采用打桩架施打。打桩架高19米。施工时将打桩架放置在临时铺设的施工甲板上，桩顶高出施工甲板的极限高度为13米。M40及MB70锤均须由起重船进行吊锤作业。

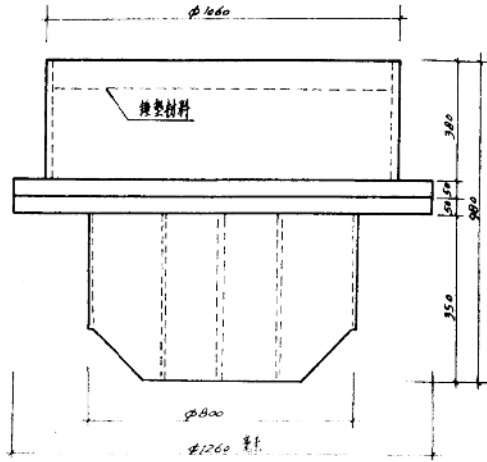


图 2—4 平盖形钢板全焊式桩帽

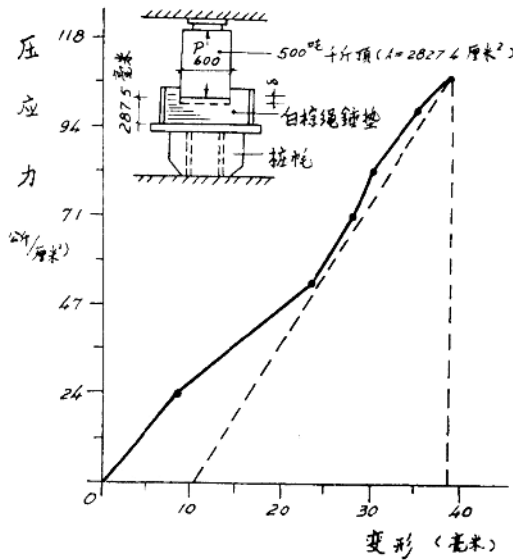


图 2—5 测定白棕绳锤垫的刚度