

UDC

中华人民共和国行业标准



YS 5222—2000

P

J 109—2001

---

# 动力机械基础地基动力 特性测试规程

**Specification for subsoil dynamic property  
test of dynamic machine foundation**

2000—12—12 发布

2001—07—01 实施

---

中国有色金属工业协会发布

中华人民共和国行业标准

**动力机器基础  
地基动力特性测试规程**

Specification for subsoil dynamic property  
test of dynamic machine foundation

**YS 5222—2000**

主编单位:中国有色金属工业

西安勘察设计研究院

批准部门:中国有色金属工业协会

施行日期:2001年7月1日

中国计划出版社

2001 北 京

## 前 言

本规程是根据原中国有色金属工业总公司中色设管字[1998]04号文和国家有色金属工业局国色规字[2000]121号文下达的《岩土工程勘察技术规程》(17项)修订计划,对《动力机器基础地基动力特性测试规程》(YSJ 222-91、YBJ 21-91)进行修订而成。

本规程共五章三个附录,其主要内容是规定了地基和桩基的动力特性参数的现场测试和资料整理的技术要求。本次修订对测试仪器、测试方法、参数计算等作了修改。

本标准由中国有色金属工业协会归口管理,在执行本规程过程中,如发现本规程条文有欠妥之处,请将意见直接函寄中国有色金属工业工程建设标准规范管理处(北京市复兴路12号,邮编100038)。具体解释工作由中国有色金属工业西安勘察设计研究院(陕西省西安市西影路46号,邮政编码710054)负责。

本规程主编单位和主要起草人:

**主 编 单 位:**中国有色金属工业西安勘察设计研究院

**主要起草人:**邱祖全 谭昌奉

# 1 总 则

**1.0.1** 为统一动力机器基础地基动力特性测试方法,保证地基动力特性的测试质量,做到技术先进合理,成果准确可靠,制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于有色冶金工业建设岩土工程勘察中的天然地基和人工地基的动力特性测试。其他行业的同类工作可参照执行。

**1.0.3** 地基动力特性的测试方法,应根据机器基础类型确定,属于周期性振动的机器基础地基,宜采用强迫振动测试;属于非周期性振动的机器基础地基,宜采用自由振动测试。

**1.0.4** 地基动力特性的测试除应执行本规程外,尚应符合国家和本行业现行的有关标准的规定。

## 2 术语、符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 强迫振动测试 test of coerce vibration

对测试基础施加一简谐扰力,测定基础在各种频率下的振幅和共振频率,确定地基动力特性的各种参数的试验。

#### 2.1.2 自由振测试 test of freedom vibration

对测试基础施加一瞬间冲击荷载,使基础及基础以下地基同时产生振动,测定其振幅和共振频率,确定地基动力特性的各种参数的试验。

#### 2.1.3 地基刚度 stiffness of subsoil

地基抵抗变形的能力,其值为施加于地基上的力(力矩)与它引起的线变形(角变形)之比。

#### 2.1.4 水平回转耦合振动 vibration coupled with translating and rocking

基础沿一水平轴平移并绕另一水平轴同时产生回转振动的耦合振动。

### 2.2 符 号

$A_o$ ——测试基础底面积

$A_m$ ——基础竖向振动的共振振幅

$A_{m_1}$ ——基础水平回转耦合振动第一振型共振峰点水平振幅

$A_{zp}$ ——基础水平回转耦合振动第一振型共振峰点竖向振幅

$f_d$ ——基础有阻尼固有频率

$f_m$ ——基础竖向振动的共振频率

- $f_{m_1}$  ——基础水平回转耦合振动第一振型共振频率  
 $f_{nz}$  ——基础竖向无阻尼固有频率  
 $f_{n1}$  ——基础水平回转耦合振动第一振型无阻尼固有频率  
 $f_{nx}$  ——基础水平向无阻尼固有频率  
 $f_{n\varphi}$  ——基础回转无阻尼固有频率  
 $h$  ——测试基础高度  
 $h_t$  ——测试基础的埋置深度  
 $I$  ——基础底面对通过其形心轴的惯性矩  
 $J$  ——基础对通过其重心轴的转动惯量  
 $K_{pz}$  ——单桩抗压刚度  
 $K_{pq}$  ——桩基抗弯刚度  
 $K_z$  ——地基抗压刚度  
 $K_x$  ——地基抗剪刚度  
 $K_\varphi$  ——地基抗弯刚度  
 $m_f$  ——测试基础的质量  
 $m_z$  ——基础竖向振动的参振质量,包括基础、激振设备和地基参加振动的当量质量  
 $m_{x\varphi}$  ——基础水平回转耦合振动的参振质量,包括基础、激振设备和地基参加振动的当量质量  
 $\alpha_z$  ——基础埋深对地基抗压刚度的提高系数  
 $\alpha_x$  ——基础埋深对地基抗剪刚度的提高系数  
 $\alpha_\varphi$  ——基础埋深对地基抗弯刚度的提高系数  
 $\beta_z$  ——基础埋深对竖向阻尼比的提高系数  
 $\beta_{x\varphi_1}$  ——基础埋深对水平回转向第一振型竖向阻尼比的提高系数  
 $\eta$  ——与基础底面积及底面静应力有关的换算系数  
 $\xi$  ——与基础的质量比有关的换算系数

$\zeta_z$  ——地基竖向阻尼比

$\zeta_{x\varphi_1}$  ——地基水平回转向第一振型阻尼比

### 3 测试仪器与设备

**3.0.1** 地基动力测试仪器与设备由激振设备、拾振器、放大器、采集与记录装置、数据分析装置构成,其规格和精度应符合以下规定:

**1** 强迫振动测试的激振设备,应能产生单一的垂直或水平的简谐振动。机械式激振设备的工作频率宜为  $3\sim 60\text{Hz}$ ,电磁式激振设备的扰力不宜小于  $600\text{N}$ 。

自由振动测试的竖向激振可采用铁球,其质量宜为基础质量的  $1/100\sim 1/150$ 。水平回转向振动可采用木锤或橡胶锤。

**2** 拾振器宜采用竖直和水平方向的速度传感器,其通频带应为  $2\sim 80\text{Hz}$ ,阻尼系数应为  $0.65\sim 0.70$ ,电压灵敏度不应小于  $30\text{V}\cdot\text{s/m}$ ,最大可测位移不应小于  $0.5\text{mm}$ 。

**3** 放大器应采用带低通滤波功能的多通道放大器,其振幅一致性偏差应小于  $3\%$ ,相位一致性偏差应小于  $0.1\text{ms}$ ,折合输入端的噪声水平应低于  $2\mu\text{V}$ 。电压增益应大于  $80\text{dB}$ 。

**4** 采集与记录装置宜采用多通道数字采集和存储系统,其模/数转换器(A/D)位数不宜小于 12 位,幅度畸变宜小于  $1.0\text{dB}$ ,电压增益不宜小于  $60\text{dB}$ 。

**5** 数据分析装置应具有频谱分析、抗混淆滤波、加窗及分段平滑等功能。

**3.0.2** 测试仪器与设备的使用应符合以下要求:

**1** 机械式激振器在夏天应加稠的润滑油,冬天应加较稀的润滑油,其可控硅调速器的电源与测试仪器所用交流电应从总电源处分开供电。

电磁式激振器应调节好顶杆的适中位置。

**2** 仪器间的输入、输出阻抗应相匹配,其连接导线应有屏蔽



作用,电绝缘良好。应设置地线。

**3** 仪器应有防尘、防潮性能,其工作温度应在 $-10\sim 50^{\circ}\text{C}$ 范围内。在现场测试时,对测试设备、仪器均应有防雨、防晒和防振动等保护措施。

**4** 测试仪器应每年在标准振动台上进行系统灵敏度系数的标定,以确定灵敏度系数随频率变化的曲线。当更换元件或检修仪器设备而影响其灵敏度时,应重新标定。标定时,应选择低频台。

## 4 测试方法

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 进行地基动力特性测试前,宜取得下列技术资料:

- 1 机器的型号、机组容量、功率、质量、工作转速等;
- 2 基础型式、尺寸及基底高程;
- 3 拟建基础附近的工程地质资料;
- 4 拟建场地的地下管道、电缆等的资料;
- 5 拟建场地及其附近的干扰振源;
- 6 当采用桩基时,桩的截面尺寸和桩的长度及间距。

**4.1.2** 地基动力特性测试前,应根据选定的测试方法制订测试方案,测试方案应包括下列内容:

- 1 测试目的及要求;
- 2 试验场地的地质情况;
- 3 测试方法和测试设备;
- 4 测试内容和测点布置图(当采用强迫振动测试时,应有预埋螺栓或预留螺栓孔的位置图);
- 5 资料整理方法;

**4.1.3** 对测试基础一般应分别做明置和埋置两种情况的振动测试。对埋置基础,其四周的回填土应分层夯实。

**4.1.4** 测试场地应避开外界干扰振源,测点应避开水泥、沥青路面、地下管道和电缆等。

**4.1.5** 试验土层要保持其天然结构与湿度,冬季试验时要防止土的冻结。

## 4.2 试验准备

**4.2.1** 测试基础应置于设计基础的邻近处,其基底标高应与设计基础的标高一致,其下覆土层结构宜与设计基础的土层结构相同。测试基础附近(一般在2~5m之内)应配有钻孔,土层描述应按国家现行行业标准《岩土工程现场描述规程》YS5205执行,并取土样测试其物理、力学性质指标。

**4.2.2** 试坑坑壁至测试基础侧面的距离应大于0.5m;坑底面应保持测试土层的原状结构,测试基础底面与坑底面应在同一水平平面。

**4.2.3** 当试坑底面位于水位以下时,在进行测试基础的浇注前应排水,试验时,应使水位保持在测试基础底面处。

**4.2.4** 天然地基或人工地基的测试基础应为块体基础,其尺寸应采用 $2.0\text{m} \times 1.5\text{m} \times 1.0\text{m}$ ,其数量不宜少于2个,当超过2个时,超过部分的测试基础可改变其面积和高度。对竖向加固的人工地基,块体基础的底面积宜符合基础下加固体的等效加固面积。

**4.2.5** 桩基础应采用2根桩,桩间距应设计桩基础的间距,应制作桩台作为测试基础。桩台边缘至桩轴的距离可取桩间距的 $1/2$ ;桩台的长宽比应为2:1,其高度不宜小于1.6m,当需做不同桩数的对比测试时,应增加桩数及相应桩台的面积。

**4.2.6** 当设计采用大而轻的基础时,应按相应的比例采用小质量比的模型测试基础。

**4.2.7** 测试基础浇注前,基底土层表面应用水平尺找平。

**4.2.8** 测试基础的混凝土强度等级不宜低于C15。测试基础的制作尺寸应准确,浇注的混凝土应搅拌均匀,浇注时应捣实混凝土,并应抹平浇注的测试基础顶面。浇注后短时间不能进行试验时,可暂时用素土回填,试验时再将其清除。

**4.2.9** 当采用机械式激振设备时,在浇注测试基础时应预埋连接激振器底架的地脚螺栓或预留孔,地脚螺栓的埋置深度应大于

0.4m,下端应为弯钩形;地脚螺栓或预留孔在测试基础平面上的位置应符合下列要求:

1 预埋地脚螺栓的间距应与激振器底架的螺栓孔距一致;

2 竖向振动测试时,激振设备的竖向扰力应与基础的重心在同一竖直线上;

3 水平振动测试时,水平扰力宜在基础沿长度方向的轴线上。

**4.2.10** 当采用预制的测试基础时,应将其平稳的吊入采用水平尺找平的试坑内,预压一定的时间后方可进行试验,砂类土预压时间宜为 5~12h,粘性土预压时间不宜少于 24h。

**4.2.11** 当现场有合适的已建基础可利用作为试验基础时,除应满足本规程 5.0.1 条的规定外,测试人员还应了解已建基础的尺寸、质量、重心、形心位置等。

### 4.3 强迫振动测试

**4.3.1** 安装机械式激振设备时,应将激振器、电机固定在底架上,底架与测试基础应紧密接触、牢固连接。用皮带连接激振器和电机轮时,皮带松紧应适度。在测试过程中螺栓不应松动。

**4.3.2** 传感器应用橡皮泥或石膏固定在测试基础上,激振设备的扰力作用点及传感器安装位置可按下列方式设置:

1 竖向振动测试时,其扰力作用点应与测试基础的重心在同一竖直线上;应在基础顶面沿长度方向轴线的两端各布置一台竖向传感器(见图 4.3.2-1)。

2 水平回转振动测试时,激振设备的扰力应为水平向,水平扰力的作用点宜在基础水平轴线侧面的顶部;在基础顶面沿长度方向轴线的两端各布置一台竖向传感器,在中间布置一台水平向传感器(见图 4.3.2-2)。

**4.3.3** 传感器设置后,应量测并记录其距离。

**4.3.4** 连接顺序应为:无级变速器、直流电机、激振器,测量仪器

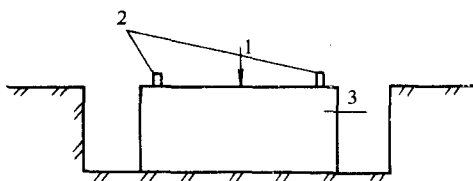


图 4.3.2-1 竖向振动测试的布置图

1—激振力方向 2—传感器 3—测试基础

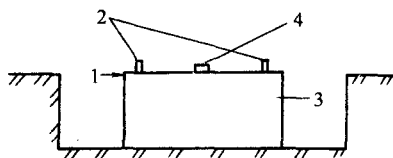


图 4.3.2-2 水平回转振动测试的布置图

1—激振力方向 2—竖向传感器 3—测试基础 4—水平传感器

按传感器、放大器、采集与记录装置的顺序连接。

**4.3.5** 试验电源电压应接近于仪器的额定电压。当电压不稳时,应设置稳压装置。

**4.3.6** 试验过程中,应避开或减少其他振源对试验的干扰。

**4.3.7** 接通电源,使激振器试转,检查设备的安装情况,发现异常,应及时处理。

**4.3.8** 幅频响应测试时,激振设备的扰力频率间隔,在共振区外不宜大于 2Hz,在共振区内应小于 1Hz;共振时的振幅不宜大于  $150\mu\text{V}$ 。

**4.3.9** 输出的振动波形,应采用显示器监视,待波形为正弦波时方可进行记录。发现异常时,应查明原因并及时重做试验。

## 4.4 自由振动测试

**4.4.1** 竖向自由振动的测试,可采用铁球自由下落,冲击测试基础顶面的中心处,应在基础顶面沿长度方向轴线的两端各布置一

台竖向传感器。

**4.4.2** 水平回转自由振动的测试,可水平冲击测试基础水平轴线侧面的顶部,在基础顶面沿长度方向的两端各布置一台竖向传感器,在中间布置一台水平向传感器。

**4.4.3** 测试次数均不应少于 3 次,实测的固有频率或最大振幅的相对误差不应小于 3%,否则应检查测试系统,查明原因后及时重做试验。

**4.4.4** 测试方法还应按本规程 4.3.3、4.3.5、4.3.6 条执行。

## 5 资料整理

### 5.1 一般规定

#### 5.1.1 强迫振动测试应提供以下资料：

1 竖向振动测试的基础竖向振幅随频率变化的幅频响应曲线( $A_z-f$  曲线)、地基竖向阻尼比、基础竖向振动的参振总质量、地基的抗压刚度和抗压刚度系数、单桩抗压刚度和桩基抗弯刚度。

2 水平回转耦合振动测试的基础顶面测试点沿  $X$  轴的水平振幅随频率变化的幅频响应曲线( $A_{x\varphi}-f$  曲线)、基础顶面测试点由回转振动产生的竖向振幅随频率变化的幅频响应曲线( $A_{z\varphi}-f$  曲线)、地基水平回转向第一振型阻尼比、基础水平回转耦合振动的参振总质量、地基的抗弯刚度和抗弯刚度系数。

#### 5.1.2 自由振动测试应提供以下资料：

1 竖向振动测试的地基竖向阻尼比、基础竖向振动的参振总质量、地基的抗压刚度和抗压刚度系数、单桩抗压刚度和桩基抗弯刚度。

2 水平回转耦合振动测试的地基水平回转向第一振型阻尼比、地基的抗弯刚度和抗弯刚度系数。

#### 5.1.3 测试报告应按以下内容编写：

- 1 试验目的及要求；
- 2 试验场地的位置、地形、地貌及地质情况；
- 3 试验仪器、设备的主要性能；
- 4 试验方法；
- 5 资料整理方法；
- 6 各测点典型的  $A-f$  曲线或振动波形、试验成果汇总表；
- 7 对测试结果的分析与评价。

**5.1.4** 桩基应提供以下动力参数:

- 1 单桩的抗压刚度;
- 2 桩基抗剪刚度系数;
- 3 桩基竖向和水平回转向第一振型的阻尼比;
- 4 桩基竖向和水平回转向的参振质量。

**5.1.5** 天然和人工地基应提供如下动力参数:

- 1 地基抗压、抗剪、抗弯刚度系数;
- 2 地基竖向和水平回转向第一振型的阻尼比;
- 3 地基竖向和水平回转向的参振质量。

**5.1.6** 地基动力参数的试验值,可根据测试成果按本规程附录 A、附录 B 的格式表示。地基动力参数的设计值,可按本规程附录 C 的格式表示。

## 5.2 强迫振动测试

**5.2.1** 竖向振动测试的参数应按下列要求计算:

1 地基竖向阻尼比,应在  $A_z-f$  幅频响应曲线上,选取共振峰峰点和  $0.85f_m$  以下不小于 3 点的频率和振幅(见图 5.2.1-1、图 5.2.1-2),按式(5.2.1-1~5.2.1-5)计算:

$$\zeta_z = \frac{\sum_{i=1}^n \zeta_{zi}}{n} \quad (5.2.1-1)$$

$$\zeta_{zi} = \left[ \frac{1}{2} \left[ 1 - \sqrt{\frac{\beta_i^2 - 1}{\alpha_i^4 - 2\alpha_i^2 + \beta_i^2}} \right] \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.2.1-2)$$

$$\beta_i = \frac{A_m}{A_i} \quad (5.2.1-3)$$

$$\alpha_i = \frac{f_m}{f_i} \quad (\text{当为变扰力时}) \quad (5.2.1-4)$$

$$\alpha_i = \frac{f_i}{f_m} \quad (\text{当为常扰力时}) \quad (5.2.1-5)$$

式中  $\zeta_z$ ——地基竖向阻尼比;



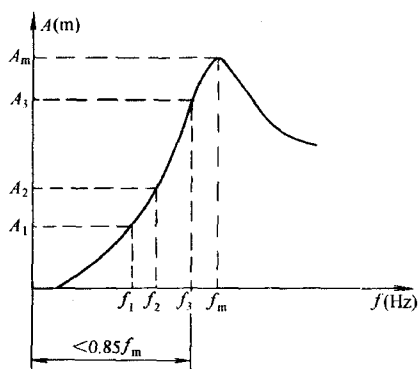


图 5.2.1-1 变扰力的幅频响应曲线

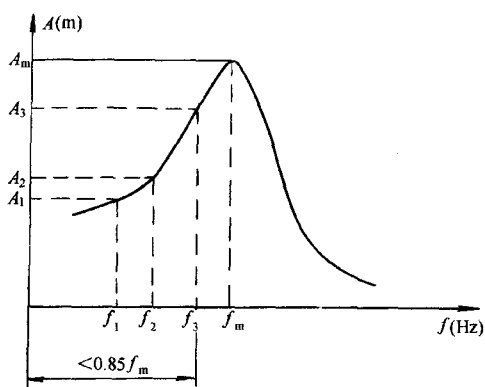


图 5.2.1-2 常扰力的幅频响应曲线

$\zeta_{zi}$ ——由第  $i$  点计算的地基竖向阻尼比；

$f_m$ ——基础竖向振动的共振频率(Hz)；

$A_m$ ——基础竖向振动的共振振幅(m)；

$f_i$ ——在幅频响应曲线上选取的第  $i$  点的频率(Hz)；

$A_i$ ——在幅频响应曲线上选取的第  $i$  点的频率所对应的

振幅( $m$ )。

**2** 基础竖向振动的参振总质量,应按式(5.2.1-6~5.2.1-8)计算:

$$m_z = \frac{m_0 e_0}{A_m} \cdot \frac{1}{2\zeta_z \sqrt{1 - \zeta_z^2}} \quad (\text{当为变扰力时}) \quad (5.2.1-6)$$

$$m_z = \frac{P}{A_m (2\pi f_{nz})^2} \cdot \frac{1}{2\zeta_z \sqrt{1 - \zeta_z^2}} \quad (\text{当为常扰力时}) \quad (5.2.1-7)$$

$$f_{nz} = \frac{f_m}{\sqrt{1 - \zeta_z^2}} \quad (\text{当为常扰力时}) \quad (5.2.1-8)$$

式中  $m_z$ ——基础竖向振动的参振总质量( $t$ ),包括基础、激振设备和地基参加振动的当量质量,当  $m_z$  大于基础质量的 2 倍时,应取  $m_z$  等于基础质量的 2 倍;

$m_0$ ——激振设备旋转部分的质量( $t$ );

$e_0$ ——激振设备旋转部分质量的偏心距( $m$ );

$P$ ——电磁式激振设备的扰力( $kN$ );

$f_{nz}$ ——基础竖向无阻尼固有频率( $Hz$ )。

**3** 地基的抗压刚度和抗压刚度系数、单桩抗压刚度和桩基抗弯刚度,应按式(5.2.1-9~5.2.1-14)计算:

$$K_z = m_z (2\pi f_{nz})^2 \quad (\text{当为变扰力时}) \quad (5.2.1-9)$$

$$f_{nz} = f_m \sqrt{1 - 2\zeta_z^2} \quad (\text{当为变扰力时}) \quad (5.2.1-10)$$

$$K_z = \frac{P}{A_m} \cdot \frac{1}{2\zeta_z \sqrt{1 - \zeta_z^2}} \quad (\text{当为常扰力时}) \quad (5.2.1-11)$$

$$C_z = \frac{K_z}{A_0} \quad (5.2.1-12)$$

$$K_{pz} = \frac{K_z}{n_p} \quad (5.2.1-13)$$

$$K_{p\varphi} = K_{pz} \sum_{i=1}^n r_i^2 \quad (5.2.1-14)$$

式中  $K_z$  ——地基抗压刚度(kN/m);  
 $C_z$  ——地基抗压刚度系数(kN/m<sup>3</sup>);  
 $K_{pz}$  ——单桩抗压刚度(kN/m);  
 $K_{pp}$  ——桩基抗弯刚度(kN·m);  
 $r_i$  ——第  $i$  根桩的轴线至基础底面形心回转轴的距离(m);  
 $n_p$  ——桩数。

### 5.2.2 水平回转耦合振动测试的参数应按下列要求计算:

1 地基水平回转向第一振型阻尼比,应在  $A_{xp}-f$  曲线上选取第一振型的共振频率( $f_{m1}$ )和频率为  $0.707f_{m1}$  所对应的水平振幅(见图 5.2.2-1、图 5.2.2-2),按式(5.2.2-1、5.2.2-2)计算:

$$\zeta_{xp_1} = \left\{ \frac{1}{2} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{A}{A_{m1}} \right)^2} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (\text{当为变扰力时}) \quad (5.2.2-1)$$

$$\zeta_{xp_1} = \left\{ \frac{1}{2} \left[ 1 - \sqrt{1 + \frac{1}{3 - 4 \left( \frac{A_{m1}}{A} \right)^2}} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (\text{当为常扰力时}) \quad (5.2.2-2)$$

式中  $\zeta_{xp_1}$  ——地基水平回转向第一振型阻尼比;

$A_{m1}$  ——基础水平回转耦合振动第一振型共振峰点水平振幅(m);

$A$  ——频率为  $0.707f_{m1}$  所对应的水平振幅(m)。

2 基础水平回转耦合振动的参振总质量,应按式(5.2.2-3~5.2.2-9)计算:

$$m_{xp} = \frac{m_0 e_0 (\rho_1 + h_3) (\rho_1 + h_1)}{A_{m1}} \cdot \frac{1}{2 \zeta_{xp_1} \sqrt{1 - \zeta_{xp_1}^2}} \cdot \frac{1}{i^2 + \rho_1^2} \quad (\text{当为变扰力时}) \quad (5.2.2-3)$$

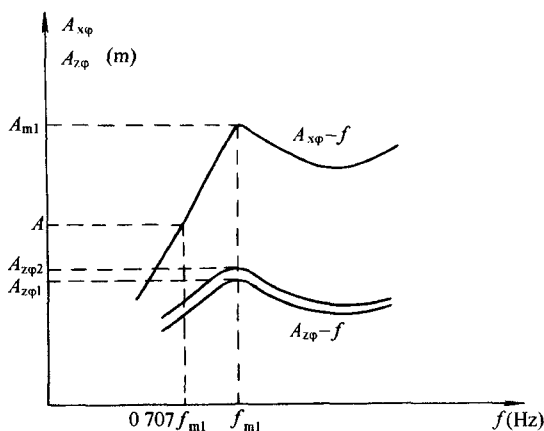


图 5.2.2-1 变扰力的幅频响应曲线

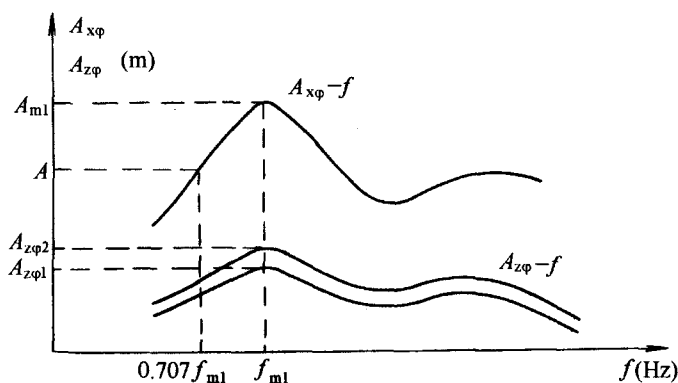


图 5.2.2-2 常扰力的幅频响应曲线

$$m_{x\varphi} = \frac{P(\rho_1 + h_3)(\rho_1 + h_1)}{A_{m1}(2\pi f_{n1})^2} \cdot \frac{1}{2\zeta_{x\varphi_1}\sqrt{1-\zeta_{x\varphi_1}^2}} \cdot \frac{1}{i^2 + \rho_1^2}$$

(当为常扰力时) (5.2.2-4)

$$f_{nl} = \frac{f_{ml}}{\sqrt{1 - 2\zeta_{x\varphi 1}^2}} \quad (\text{当为常扰力时}) \quad (5.2.2-5)$$

$$\rho_1 = \frac{A_x}{\varphi_{ml}} \quad (5.2.2-6)$$

$$\varphi_{ml} = \frac{|A_{z\varphi_1}| + |A_{z\varphi_2}|}{l_1} \quad (5.2.2-7)$$

$$A_x = A_{ml} - h_2 \varphi_{ml} \quad (5.2.2-8)$$

$$i = \left[ \frac{1}{12} (l^2 + h^2) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.2.2-9)$$

式中  $m_{x\varphi}$ ——基础水平回转耦合振动的参振总质量( $t$ ),包括基础、激振设备和地基参加振动的当量质量,当  $m_{x\varphi}$  大于基础质量的 1.4 倍时,应取  $m_{x\varphi}$  等于基础质量的 1.4 倍;

$\rho_1$ ——基础第一振型转动中心至基础重心的距离(m);

$A_x$ ——基础重心处的水平振幅(m);

$\varphi_{ml}$ ——基础第一振型共振峰点的回转角位移(rad);

$l_1$ ——两台竖向传感器的间距(m);

$l$ ——基础长度(m);

$h$ ——基础高度(m);

$h_1$ ——基础重心至基础顶面的距离(m);

$h_3$ ——基础重心至激振器水平扰力的距离(m);

$h_2$ ——基础重心至基础底面的距离(m);

$f_{nl}$ ——基础水平回转耦合振动第一振型无阻尼固有频率(Hz);

$A_{z\varphi_1}$ ——第 1 台传感器测试的基础水平回转耦合振动第一振型共振峰点竖向振幅(m);

$A_{z\varphi_2}$ ——第 2 台传感器测试的基础水平回转耦合振动第一振型共振峰点竖向振幅(m);

$i$ ——基础回转半径(m)。

**3** 地基的抗剪刚度和抗剪刚度系数,应按式(5.2.2-10~5.2.2-13)计算:

$$K_x = m_{x\varphi}(2\pi f_{nx})^2 \quad (5.2.2-10)$$

$$f_{n_1} = f_{m_1} \sqrt{1 - 2\zeta_{x\varphi_1}^2} \quad (\text{当为变扰力时}) \quad (5.2.2-11)$$

$$C_x = \frac{K_x}{A_0} \quad (5.2.2-12)$$

$$f_{nx} = \frac{f_{n_1}}{\sqrt{1 - \frac{h_2}{\rho_1}}} \quad (5.2.2-13)$$

式中  $K_x$  ——地基抗剪刚度(kN/m);

$C_x$  ——地基抗剪刚度系数(kN/m<sup>3</sup>);

$f_{nx}$  ——基础水平向无阻尼固有频率(Hz)。

**4** 地基的抗弯刚度和抗弯刚度系数,应按式(5.2.2-14~5.2.2-16)计算:

$$K_\varphi = J(2\pi f_{n\varphi})^2 - K_x h_2^2 \quad (5.2.2-14)$$

$$C_\varphi = \frac{K_\varphi}{I} \quad (5.2.2-15)$$

$$f_{n\varphi} = \sqrt{\rho_1 \frac{h_2}{i^2} f_{nx}^2 + f_{n_1}^2} \quad (5.2.2-16)$$

式中  $K_\varphi$  ——地基抗弯刚度(kN/m);

$C_\varphi$  ——地基抗弯刚度系数(kN/m);

$f_{n\varphi}$  ——基础回转无阻尼固有频率(Hz);

$J$  ——基础对通过其重心轴的转动惯量(t·m<sup>2</sup>);

$I$  ——基础底面对通过其形心轴的惯性矩(m<sup>4</sup>)。

## 5.3 自由振动测试

**5.3.1** 竖向振动测试的参数应按下列要求计算:

**1** 地基竖向阻尼比,应按式(5.3.1-1)计算。

$$\zeta_z = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{n} \ln \frac{A_1}{A_{n+1}} \quad (5.3.1-1)$$

式中  $A_1$  ——第 1 周的振幅(m);

$A_{n+1}$  ——第  $n+1$  周的振幅(m);

$n$  ——自由振动周期数。

2 基础竖向振动的参振总质量,应按式(5.3.1-2~5.3.1-7)计算(图 5.3.1-1)。

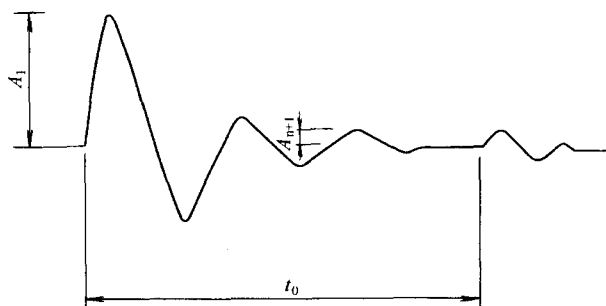


图 5.3.1-1 竖向自由振动波形

$$m_z = \frac{(1 + e_1) m_1 v}{A_{\max} \cdot 2\pi f_{nz}} \cdot e^{-\Phi} \quad (5.3.1-2)$$

$$\Phi = \frac{\operatorname{tg}^{-1} \frac{\sqrt{1 - \zeta_z^2}}{\zeta_z}}{\frac{\sqrt{1 - \zeta_z^2}}{\zeta_z}} \quad (5.3.1-3)$$

$$f_{nz} = \frac{f_d}{\sqrt{1 - \zeta_z^2}} \quad (5.3.1-4)$$

$$v = \sqrt{2gH_1} \quad (5.3.1-5)$$

$$e_1 = \sqrt{\frac{H_2}{H_1}} \quad (5.3.1-6)$$

$$H_2 = \frac{1}{2} g \left( \frac{t_0}{2} \right)^2 \quad (5.3.1-7)$$

式中  $A_{\max}$  ——基础最大振幅(m);

$f_d$  ——基础有阻尼固有频率(Hz);

$v$  ——铁球自由下落时的速度(m);

$H_1$  ——铁球下落高度(m);

$H_2$  ——铁球回弹高度(m);

$e_1$  ——回弹系数;

$m_1$  ——铁球的质量(t);

$t_0$  ——两次冲击的时间间隔(s)。

**3** 地基抗压刚度、单桩抗压刚度和桩基抗弯刚度,应按式(5.3.1-8~5.3.1-11)计算。

$$K_z = m_z(2\pi f_{nz})^2 \quad (5.3.1-8)$$

$$C_z = \frac{K_z}{A_0} \quad (5.3.1-9)$$

$$K_{pz} = \frac{K_z}{n_p} \quad (5.3.1-10)$$

$$K_{pz} = K_{pz} \sum_{i=1}^n r_i^2 \quad (5.3.1-11)$$

**5.3.2** 水平回转振动测试的参数应按下列要求计算:

**1** 地基水平回转向第一振型阻尼比,应按式(5.3.2-1)计算:

$$\zeta_{x\varphi_1} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{n} \ln \frac{A_{x\varphi_1}}{A_{x\varphi_{n+1}}} \quad (5.3.2-1)$$

式中  $A_{x\varphi_1}$  ——第1周的水平振幅(m);

$A_{x\varphi_{n+1}}$  ——第  $n+1$  周的水平振幅。

**2** 地基的抗剪刚度和抗弯刚度,应按式(5.3.2-2~5.3.2-8)计算(图 5.3.2)。

$$K_x = m_i \omega_{n_1}^2 \left[ 1 + \frac{h_2}{h} \left( \frac{A_{x\varphi_1}}{A_b} - 1 \right) \right] \quad (5.3.2-2)$$

$$K_\varphi = J_c \omega_{n_1}^2 \left[ 1 + \frac{h_2 \cdot h}{i_c^2} \cdot \frac{1}{\frac{A_{x\varphi_1}}{A_b} - 1} \right] \quad (5.3.2-3)$$



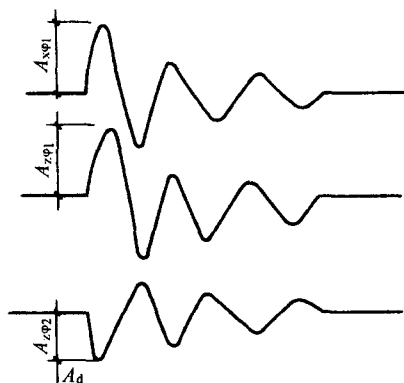


图 5.3.2 水平回转耦合振动波形

$$J_c = J + m_i \cdot h_2^2 \quad (5.3.2-4)$$

$$i_c = \sqrt{\frac{J_c}{m_f}} \quad (5.3.2-5)$$

$$\omega_{n_1} = 2\pi f_{n_1} \quad (5.3.2-6)$$

$$f_{n_1} = \frac{f_{d_1}}{\sqrt{1 - \zeta_{x\varphi_1}^2}} \quad (5.3.2-7)$$

$$A_b = A_{x\varphi_1} - \frac{|A_{z\varphi_1}| + |A_{z\varphi_2}|}{l_1} \cdot h \quad (5.3.2-8)$$

式中  $m_f$  ——基础的质量(t);

$J_c$  ——基础对通过其底面形心轴的转动惯量( $t \cdot m^2$ );

$A_{x\varphi_1}$  ——基础顶面的水平振幅(m);

$A_b$  ——基础底面的水平振幅(m);

$f_{d_1}$  ——基础水平回转耦合振动第一振型有阻尼固有频率(Hz)。

## 5.4 地基动力特性参数的换算

### 5.4.1 由明置块体基础或桩基础测试的地基竖向、水平回转向

第一振型阻尼比,用于动力基础设计时,应进行质量比的换算,其换算系数 $\xi$ 值可按式(5.4.1-1、5.4.1-2)计算:

$$\xi = \frac{\sqrt{m_r}}{\sqrt{m_d}} \quad (5.4.1-1)$$

$$m_r = \frac{m_0}{\rho A_0 \sqrt{A_0}} \quad (5.4.1-2)$$

式中  $\xi$  ——与基础的质量比有关的系数;

$m_0$  ——测试块体基础或桩基础的质量( $t$ );

$m_r$  ——测试块体基础或桩基础的质量比;

$m_d$  ——设计基础的质量比;

$\rho$  ——地基土的密度( $g/cm^3$ )。

**5.4.2** 测试基础埋深作用对设计基础地基的竖向、水平回转向第一振型阻尼比的提高系数,应按式(5.4.2-1~5.4.2-3)计算:

$$\beta_z = 1 + \left[ \frac{\zeta'_{x0}}{\zeta_{x0}} - 1 \right] \frac{\delta_d}{\delta_0} \quad (5.4.2-1)$$

$$\beta_{x\varphi_1} = 1 + \left[ \frac{\zeta'_{x\varphi_1 0}}{\zeta_{x\varphi_1 0}} - 1 \right] \frac{\delta_d}{\delta_0} \quad (5.4.2-2)$$

$$\delta_0 = \frac{h_t}{\sqrt{A_0}} \quad (5.4.2-3)$$

式中  $\beta_z$  ——基础埋深对竖向阻尼比的提高系数;

$\beta_{x\varphi_1}$  ——基础埋深对水平回转向第一振型阻尼比的提高系数;

$\zeta'_{x0}$  ——埋置块体基础或桩基础测试的地基竖向阻尼比;

$\zeta'_{x\varphi_1}$  ——埋置块体基础或桩基础测试的地基水平回转向第一振型阻尼比;

$\zeta_{x0}$  ——明置块体基础或桩基础测试的地基竖向阻尼比;

$\zeta_{x\varphi_1}$  ——明置块体基础或桩基础测试的地基水平回转向第一振型阻尼比;

$\delta_0$  ——测试块体基础或桩基础的埋深比;

$\delta_d$ ——设计基础或桩基础的埋深比；

$h_t$ ——测试块体基础或桩基础的埋置深度(m)。

**5.4.3** 由明置块体基础或桩基础测试的竖向、水平回转向的地基参加振动的当量质量,当用于计算设计基础的固有频率时,机器基础的地基参加振动的当量质量( $m_d$ ),按式(5.4.3-1、5.4.3-2)进行计算:

$$m_{dz} = (m_z - m_f) \frac{A_d}{A_0} \quad (5.4.3-1)$$

$$m_{d\varphi_1} = (m_{\varphi_1} - m_f) \frac{A_d}{A_0} \quad (5.4.3-2)$$

式中  $A_0$ ——测试基础或桩基础的底面积( $m^2$ );

$A_d$ ——设计基础或桩基础的底面积( $m^2$ );

$m_f$ ——测试基础或桩基础的质量(t)。

**5.4.4** 由2根或4根桩的桩基础测试的单桩抗压刚度,当用于桩数超过10根桩的桩基础设计时,应分别乘以群桩效应系数0.75或0.9。

**5.4.5** 由明置块体基础测试的地基抗压、抗剪、抗弯刚度系数以及由明置桩基础测试的抗剪刚度系数,用于机器基础的振动和隔振设计时应进行底面积和压力换算,其换算系数应按式(5.4.5-1)计算:

$$\eta = \sqrt[3]{\frac{A_0}{A_d}} \cdot \sqrt[3]{\frac{P_d}{P_0}} \quad (5.4.5-1)$$

式中  $\eta$ ——与基础底面积及底面静应力有关的换算系数;

$P_0$ ——测试基础底面的静压力(kPa);

$P_d$ ——设计基础底面的静压力(kPa),当  $P_d > 50\text{kPa}$  时,应取  $P_d = 50\text{kPa}$ 。

**5.4.6** 测试基础埋深作用对设计埋置基础地基的抗压、抗剪、抗弯刚度的提高系数,应按式(5.4.6-1~5.4.6-3)计算:

$$\alpha_z = \left[ 1 + \left( \sqrt{\frac{K_{z0}}{K_{z0}}} - 1 \right) \frac{\delta_d}{\delta_0} \right]^2 \quad (5.4.6-1)$$

$$\alpha_x = \left[ 1 + \left( \sqrt{\frac{K'_{x0}}{K_{x0}}} - 1 \right) \frac{\delta_d}{\delta_0} \right]^2 \quad (5.4.6-2)$$

$$\alpha_\varphi = \left[ 1 + \left( \sqrt{\frac{K'_{\varphi 0}}{K_{\varphi 0}}} - 1 \right) \frac{\delta_d}{\delta_0} \right]^2 \quad (5.4.6-3)$$

式中  $\alpha_z$ ——基础埋深对地基抗压刚度的提高系数；

$\alpha_x$ ——基础埋深对地基抗剪刚度的提高系数；

$\alpha_\varphi$ ——基础埋深对地基抗弯刚度的提高系数；

$K_{z0}$ ——明置块体基础或桩基础测试的地基抗压刚度(kN/m)；

$K_{x0}$ ——明置块体基础或桩基础测试的地基抗剪刚度(kN/m)；

$K_{\varphi 0}$ ——明置块体基础或桩基础测试的地基抗弯刚度(kN/m)；

$K'_{z0}$ ——埋置块体基础或桩基础测试的地基抗压刚度(kN/m)；

$K'_{x0}$ ——埋置块体基础或桩基础测试的地基抗剪刚度(kN/m)；

$K'_{\varphi 0}$ ——埋置块体基础或桩基础测试的地基抗弯刚度(kN/m)。

## 附录 A 强迫振动测试地基动力参数计算表

**A.0.1** 当根据强迫振动测试的结果确定地基动力参数试验值时,可按附表 A.0.1-1、A.0.1-2 的格式计算。

表 A.0.1-1 地基竖向动力参数测试计算表

工程名称: \_\_\_\_\_

| 基础<br>号 | 参数<br>状态 | $f_m$<br>(Hz) | $A_m$<br>(m) | $f_1$<br>(Hz) | $A_1$<br>(m) | $f_2$<br>(Hz) | $A_2$<br>(m) | $f_3$<br>(Hz) | $A_3$<br>(m) | $\zeta_s$ | $m_z$<br>(t) | $K_z$<br>(kN/m) | $C_z$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|---------|----------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|-----------|--------------|-----------------|-------------------------------|
|         | 明<br>置   |               |              |               |              |               |              |               |              |           |              |                 |                               |
|         | 埋<br>置   |               |              |               |              |               |              |               |              |           |              |                 |                               |
|         | 明<br>置   |               |              |               |              |               |              |               |              |           |              |                 |                               |
|         | 埋<br>置   |               |              |               |              |               |              |               |              |           |              |                 |                               |

测试:

计算:

校核:

负责人:

年

月

表 A.0.1-2 地基水平回转向动力参数测试计算表

工程名称: \_\_\_\_\_

| 基础号 | 参数<br>状态 | $f_{ml}$<br>(Hz) | $A_{ml}$<br>(m) | $0.707f_{ml}$<br>(Hz) | $A$<br>(m) | $A_{mp1}$<br>(m) | $A_{mp2}$<br>(m) | $l$<br>(m) | $l_1$<br>(m) | $h$<br>(m) | $h_1$<br>(m) | $h_2$<br>(m) | $h_3$<br>(m) | $\xi_{vq1}$ | $m_{xp}$<br>(t) | $K_x$<br>(kN/m) | $C_x$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | $K_\phi$<br>(kN·m) | $C_\phi$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|-----|----------|------------------|-----------------|-----------------------|------------|------------------|------------------|------------|--------------|------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|--------------------|----------------------------------|
|     | 明置       |                  |                 |                       |            |                  |                  |            |              |            |              |              |              |             |                 |                 |                               |                    |                                  |
|     | 埋置       |                  |                 |                       |            |                  |                  |            |              |            |              |              |              |             |                 |                 |                               |                    |                                  |
|     | 明置       |                  |                 |                       |            |                  |                  |            |              |            |              |              |              |             |                 |                 |                               |                    |                                  |
|     | 埋置       |                  |                 |                       |            |                  |                  |            |              |            |              |              |              |             |                 |                 |                               |                    |                                  |
|     | 明置       |                  |                 |                       |            |                  |                  |            |              |            |              |              |              |             |                 |                 |                               |                    |                                  |
|     | 埋置       |                  |                 |                       |            |                  |                  |            |              |            |              |              |              |             |                 |                 |                               |                    |                                  |

测试:

计算:

校核:

负责人:

年

月

## 附录 B 自由振动测试地基动力参数计算表

**B.0.1** 当根据自由振动测试的结果确定地基动力参数试验值时,可按附表 B.0.1-1、B.0.1-2 的格式计算。

表 B.0.1-1 地基竖向动力参数测试计算表

工程名称: \_\_\_\_\_

| 基础<br>号 | 参数<br>状态 | $m_1$<br>(t) | $H_1$<br>(m) | $f_d$<br>(Hz) | $A_1$<br>(m) | $A_{n+1}$<br>(m) | $t_0$<br>(s) | $\zeta_s$ | $m_z$<br>(t) | $K_z$<br>(kN/m) | $C_z$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|---------|----------|--------------|--------------|---------------|--------------|------------------|--------------|-----------|--------------|-----------------|-------------------------------|
|         | 明<br>置   |              |              |               |              |                  |              |           |              |                 |                               |
|         | 埋<br>置   |              |              |               |              |                  |              |           |              |                 |                               |
|         | 明<br>置   |              |              |               |              |                  |              |           |              |                 |                               |
|         | 埋<br>置   |              |              |               |              |                  |              |           |              |                 |                               |

测试:

计算:

校核:

负责人:

年 月

表 B.0.1-2 地基水平回转动力参数测试计算表

工程名称: \_\_\_\_\_

| 基础号 | 参数<br>状态 | $f_{dl}$<br>(Hz) | $A_{sp1}$<br>(m) | $A_{x_{n+1}}$<br>(m) | $A_{sp2}$<br>(m) | $l_1$<br>(m) | $h$<br>(m) | $h_2$<br>(m) | $m_i$<br>(t) | $J$<br>( $\text{t}\cdot\text{m}^2$ ) | $\sum_{i=1}^n$ | $K_x$<br>( $\text{kN}/\text{m}$ ) | $C_x$<br>( $\text{kN}/\text{m}^2$ ) | $K_\varphi$<br>( $\text{kN}\cdot\text{m}$ ) | $C_\varphi$<br>( $\text{kN}/\text{m}^3$ ) |
|-----|----------|------------------|------------------|----------------------|------------------|--------------|------------|--------------|--------------|--------------------------------------|----------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---|---|
|     | 明置       |                  |                  |                      |                  |              |            |              |              |                                      |                |                                   |                                     |   |   |
|     | 埋置       |                  |                  |                      |                  |              |            |              |              |                                      |                |                                   |                                     |   |   |
|     | 明置       |                  |                  |                      |                  |              |            |              |              |                                      |                |                                   |                                     |   |   |
|     | 埋置       |                  |                  |                      |                  |              |            |              |              |                                      |                |                                   |                                     |   |   |
|     | 明置       |                  |                  |                      |                  |              |            |              |              |                                      |                |                                   |                                     |   |   |
|     | 埋置       |                  |                  |                      |                  |              |            |              |              |                                      |                |                                   |                                     |   |   |

测试: \_\_\_\_\_ 计算: \_\_\_\_\_ 审核: \_\_\_\_\_ 负责人: \_\_\_\_\_ 年 月



## 附录 C 提供设计应用的地基动力参数计算表

**C.0.1** 当根据强迫振动测试和自由振动测试结果计算供设计使用的天然地基及桩基动力参数时,可按附表 C.0.1-1、C.0.1-2 的格式计算。

表 C.0.1-1 天然地基动力参数计算表

工程名称: \_\_\_\_\_

| 基础<br>编号 | 参数<br>状态 | $C_z$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | $C_x$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | $C_y$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | $\zeta_z$ | $\zeta_{avg_1}$ | $m_{dz}$<br>(t) | $m_{dxy}$<br>(t) |
|----------|----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|------------------|
|          | 明置       |                               |                               |                               |           |                 |                 |                  |
|          | 埋置       |                               |                               |                               |           |                 |                 |                  |
|          | 明置       |                               |                               |                               |           |                 |                 |                  |
|          | 埋置       |                               |                               |                               |           |                 |                 |                  |
|          | 明置       |                               |                               |                               |           |                 |                 |                  |
|          | 埋置       |                               |                               |                               |           |                 |                 |                  |
|          | 明置       |                               |                               |                               |           |                 |                 |                  |

测试:

计算:

校核:

负责人:

年

月

表 C.0.1-2 桩基动力参数计算表

| 工程名称: _____ |    |                    |                    |                               |           |                 |                 |                  |  | 负责人: _____ |  | 年 | 月 |
|-------------|----|--------------------|--------------------|-------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|------------------|--|------------|--|---|---|
| 基础号         | 参数 | $K_{PZ}$<br>(kN·m) | $K_{Pq}$<br>(kN/m) | $C_X$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | $\zeta_c$ | $\zeta_{sep_1}$ | $m_{de}$<br>(t) | $m_{dep}$<br>(t) |  |            |  |   |   |
|             | 状态 |                    |                    |                               |           |                 |                 |                  |  |            |  |   |   |
|             | 明置 |                    |                    |                               |           |                 |                 |                  |  |            |  |   |   |
|             | 埋置 |                    |                    |                               |           |                 |                 |                  |  |            |  |   |   |
|             | 明置 |                    |                    |                               |           |                 |                 |                  |  |            |  |   |   |
|             | 埋置 |                    |                    |                               |           |                 |                 |                  |  |            |  |   |   |
|             | 明置 |                    |                    |                               |           |                 |                 |                  |  |            |  |   |   |
|             | 埋置 |                    |                    |                               |           |                 |                 |                  |  |            |  |   |   |
| 测试: _____   |    | 计算: _____          |                    | 校核: _____                     |           | 负责人: _____      |                 |                  |  |            |  |   |   |

## 本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待,对于要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的用词:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的用词:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的用词:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

表示有选择,在一定条件下可以这样做的用词采用“可”。

2 条文中指定应按其他有关标准、规范执行时,写法为:“应符合……的要求或规定”或“应按……执行”。

统一书号:1580058·471

---

定价:108.00 元

中华人民共和国行业标准

动力机器基础  
地基动力特性测试规程

YS 5222—2000

条文说明

## 目 次

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| 1 总 则 .....           | (521) |
| 3 测试仪器与设备 .....       | (522) |
| 4 测试方法 .....          | (523) |
| 4.1 一般规定 .....        | (523) |
| 4.2 试验准备 .....        | (523) |
| 4.3 强迫振动测试 .....      | (525) |
| 4.4 自由振动测试 .....      | (525) |
| 5 资料整理 .....          | (527) |
| 5.2 强迫振动测试 .....      | (527) |
| 5.3 自由振动测试 .....      | (527) |
| 5.4 地基动力特性参数的换算 ..... | (528) |

# 1 总 则

**1.0.1** 为了使地基动力特性现场测试、计算方法规范化、统一化,提供符合实际的工程设计所需的地基动力特性参数,特制订本规程。

因近几年在动力参数测试的仪器、方法有较大的变化,故这次修订在原规程基础上作了较大的修改。

**1.0.2** 本规程适用于原位测试确定天然地基(包括湿陷性黄土、红粘土、软土、膨胀土、残积土等各种特殊土)、人工地基(包括换填法、预压法、强夯法、振冲法、土或灰土挤密桩法、砂石桩法、深层搅拌法、高压喷射注浆法等人工加固的地基)及桩基的动力特性参数。

天然地基、人工地基与桩基的测试方法、使用的设备和仪器、现场工作、数据处理方法等相同,仅是测试基础的尺寸不同。块体基础适用于除桩基础以外的天然地基和人工地基的测试。本规程中提到的测试基础即包括块体基础和桩基础(含桩台)。

**1.0.3** 测试方法不同,由测试资料计算的地基动力参数也不完全一致,因此测试方法的选择,应与设计基础的振动类型相符合。这样所得到的地基动力特性参数,才能更符合设计基础的实际情况。

### 3 测试仪器与设备

**3.0.1** 机械式激振设备的扰力一般能满足要求。由于块体基础水平回转耦合振动的固有频率及在软弱地基上的竖向振动固有频率较低,因此要求激振设备的最低频率,最好在 3Hz 以下就可测得振动波形,这样测出的完整资料才能较好地满足数据处理的需要;而桩基础的竖向振动固有频率高,要求激振设备的最高工作频率,最好能达到 60Hz 以上,以便能测出桩基础的共振峰。电磁式激振设备的工作频率范围很宽,只是扰力太小时对桩基础的竖向振动激不起来,因此规定扰力不宜小于 600N。



## 4 测试方法

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 本条提出测试时所应具备的资料,目的在于依据取得的设计有关参数选择测试方法便于现场测试时避开干扰振源和地下管道、电缆等的影响。

**4.1.2** 为了做好测试工作,在测试前应制订测试方案。包括测试目的和要求、测试方法、测试仪器、激振方法、数据处理方法等内容。应根据工程设计的要求,确定测试基础的数量、尺寸。对采用强迫振动测试的测试基础,应有预埋螺栓或预留螺栓孔的位置图。

**4.1.3** 进行明置基础的测试可以获得基础下地基的动力参数;进行埋置基础的测试可以获得埋置后对动力参数提高的效果。有了这两者的动力参数,就可进行机器基础的设计,因此测试基础应分别做明置和埋置两种情况的振动测试。而基础四周回填土是否夯实,直接影响埋置作用对动力参数提高的效果,因此在进行埋置基础的振动测试时,四周的回填土一定要分层夯实。

### 4.2 试验准备

**4.2.1** 由于地基的动力参数与土的性质有关,如果测试基础下的地基土与设计下的地基土不一致,测试资料计算的动力参数就不能用于设计基础,因此试验基础的位置应选择在拟建基础附近相同的土层上。试验基础的基底标高,最好与拟建基础基底标高一致。但考虑到有的动力机器基础高度大,基底埋置深,如将小的试验基础也置同一标高,现场施工与测试工作均有困难,此时可视基底标高的深浅以及基底土的性质确定。关键是要掌握好试验基础与拟建基础底面的土层结构相同。

**4.2.2** 基坑坑壁至试验基础侧面的距离应大于 0.5m,其目的是为了在做基础的明置试验时,基础侧面四周的土压力不会影响到基础底面土的动力参数。但若距离太大,作埋置测试时,回填土的工作量大。应根据现场具体情况使距离略大于 0.5m 即可。坑底应保持原状土,否则将直接影响测试结果。

**4.2.4** 本条规定了块体基础的尺寸和数量。块体数量最少 2 个,超过 2 个时可改变超过部分的基础面积保持高度不变,获得底面面积变化对动力参数的影响,或改变超过部分基础高度而保持底面积不变,获得基底压力变化对动力参数的影响。对竖向加固的复合地基可按照双桩或多桩承担的地基处理面积制做块体基础,其底面积不宜小于  $3.0\text{m}^2$ 。基础尺寸应保证抗力中心和基础重心在一垂线上,高度应保证地脚栓的锚固深度,又便于测试基础埋深对地基动力参数的影响。机器基础的底面一般为矩形,为了使试验基础与设计基础的底面形状相类似,本条规定了采用矩形基础,且其长、宽、高均具有一定的比例。

**4.2.5** 桩基的刚度,不仅与桩的长度、截面大小和地基土的种类有关,还与桩的间距、桩的数量等有关。试验基础的桩数不能太多,根据以往试验的经验,1 根桩(带桩台)的测试效果不理想,2 根、4 根桩(带桩台)的测试效果比较好,但 4 根桩的测试费用较大,因此本条规定为 2 根桩,如现场有条件作不同桩数的对比时,也可增加 4 根桩和 6 根桩的测试。由于桩基的固有频率比较高,桩台的高度应该比天然地基的基础高度大,故规定为 1.6 米。桩台边至桩轴的距离应等于桩间距的  $1/2$ 。桩台的长宽比应为  $2:1$ ,规定的目的是为了使 2 根桩的测试资料计算的动力参数,在折算为单桩时,可将桩台划分为 1 根桩的单元体进行分析。

**4.2.7** 坑底面应为水平面,测试基础浇灌后才能保持其重心、底面形心、竖向激振力位于同一垂线上。

**4.2.8** 基础顶面如果做得特别粗糙,高低不平,在安装激振器时,基底板与基础顶面接触不好,传感器也放不平稳,直接影响测

试效果。因此,在试验基础图纸上,注明基础顶面的混凝土应随捣随抹平,不宜事后用水泥砂浆抹平。

**4.2.9** 在现场作准备工作时,一定要注意基础上预埋螺栓或预留螺栓孔的位置。预埋螺栓的位置要严格按试验图纸上的要求,不能偏离,只要有一个螺栓偏离,激振器的底板就安装不进去。预埋螺栓可采用定位模具以保证位置准确。预留螺栓孔的面积不应小于  $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ ,孔太小了,灌浆不方便。螺栓的长度不小于  $400\text{mm}$ ,主要是为了保证在受动力时有足够的锚固力,不被拉出,具体加工时螺栓下端可制成弯钩或焊一块铁板,以增强锚固力。在试验工作结束以前,螺栓的螺丝扣一定要保护好,以免碰坏。

### 4.3 强迫振动测试

**4.3.1** 在振动测试过程中,地脚螺栓很容易被震松,一旦被震松后,测的数据就不准。为避免地脚螺栓在测振过程中被震松,在测试前,应在地脚螺栓上放上弹簧垫圈,然后再用两个螺母将其拧紧,每测完一次,都必须检查一下螺母是否被震松,如在测试过程中有松动,则应将机器停下拧紧后重新测定,松动时测的资料作废。

**4.3.8** 在共振区以内(即  $0.75f_m \leq f \leq 1.25f_m$ ,  $f_m$  为共振频率),频率应尽可能测密一些,最好是  $0.5\text{Hz}$  左右,这样便于找到峰点,减少误差。共振时的振幅不大于  $150\mu\text{V}$ ,一是因为振幅大了,峰点更难测得;二是振幅太大,影响地基土的动力参数。周期性的机器基础,当  $f \geq 10\text{Hz}$  时,其振幅都不会大于  $150\mu\text{V}$ 。

### 4.4 自由振动测试

**4.4.1** 竖向自由振动测试时,为减少高频波的影响,避免基础顶面被冲坏,可在基础顶面中心放一块稍厚的橡胶垫。有时会出现波形不好的情况,测试时应注意检查波形是否正常。

**4.4.2** 基础水平振动测试加采用木锤敲击,敲击点在基础侧面轴线顶端,比较易于产生回转振动。可以沿长轴线(与强迫振动时水平激振力的方向一致)敲击,也可沿短轴线敲击,提供设计所用参数时,应与设计基础水平扰力的方向一致。

## 5 资料整理

### 5.2 强迫振动测试

**5.2.1** 由  $A_z-f$  幅频响应曲线计算的地基竖向动力参数,其计算值与选取的点有关,在曲线上选不同的点,计算所得的参数不同。为了统一,除选取共峰点外,尚应在曲线上选取 3 点,计算平均阻尼比  $\zeta_z$  及相应的  $K_z$  和  $m_z$ ,这样计算的结果误差不会太大。根据经验可按下列原理选点:

- 1 对出现“鼓包”的共振曲线,“鼓包”上的点不选;
- 2  $0.85f_m < f < f_m$  区段内的点不选;
- 3 低频段的频率选择,不宜取得太低,应取波形好的,量波误差小的频率。

**5.2.2** 由于水平回转耦合振动的共振频率一般在十几赫兹左右,低频段波形较好的频率大约在  $8H_z$  左右,  $0.85f_1$  以上的点不能取,则共振曲线上剩下可选用的点就不多了。因此,水平回转耦合振动资料的阻尼比计算只取共振峰点频率  $f_{m1}$  及相应的水平振幅  $A_{m1}$  和另一频率为  $0.707f_{m1}$  点的频率和水平振幅  $A$ 。

### 5.3 自由振动测试

**5.3.1** 计算固有频率时,应从记录波形的  $1/4$  波长后面部分取值,因第一个  $1/4$  长受冲击的影响,不能代表基础的固有频率。

**5.3.2** 由于基础水平回转耦合振动测试的阻尼比,较竖向振动的阻尼比小,实测的自由振动衰减波形比较好,从波形上量得的固有频率与强迫振动试验实测的固有频率基本一样。其缺点是:不像竖向振动那样,可以计算出总的参振质量  $m_z$  (包括土的参振质

量,而  $K_z$  也包括了土的参振质量),只能用试验基础的质量计算  $K_x$ 、 $K_\varphi$ 。由于水平回转耦合自由振动实测资料不能计算土的参振质量,因此在提供设计人员使用的实测资料时,一定要注明哪些刚度系数中包括了土的参振质量影响,用这些刚度系数计算基础的固有频率时,也必须将土的参振质量加到基础的质量中。

## 5.4 地基动力特性参数的换算

**5.4.1** 地基的阻尼比随基底面积的增大而增加,随基底下静压力的增大而减少,因此,由试验资料计算的阻尼比必须经测试基础的质量比与设计基础的质量比换算修正后,才能用于动力机器基础的设计。

**5.4.2** 基础四周的填土能提高地基的阻尼比,并随基础埋深比的增大而增加。因此,必须将试验基础的埋深比换算至设计基础的埋深比,进行修正后的阻尼比,才能用于设计有埋置的动力机器基础。

**5.4.3** 基础振动时地基土参振质量值,与基础底面积的大小有关。因此,由试验块体基础和桩基础明置测试计算的地基参振质量,必须经设计基础与测试基础的底面积换算修正后,才能用于动力机器基础的设计。

**5.4.4** 本条规定由 2 根或 4 根桩的桩基础测试资料计算的  $K_{zh}$  值,应分别乘以群桩效应系数 0.75 或 0.9 后,才能提供给设计群桩基础应用。

**5.4.5** 地基动力参数与基础底面积、基底应力等有关。因此,由试验基础实测计算的地基动力参数应用于机器基础的振动和隔振设计时,必须进行相应的换算后,才能提供给设计应用。

**5.4.6** 基础四周的填土能提高地基刚度系数,并随基础埋深比的增大而增加。因此,必须将试验基础的埋深比换算至设计基础的埋深比,进行修正后的地基刚度系数,才能用于设计有埋置的动力机器基础。桩基的抗剪刚度  $K_x$  值,除与桩的材料、截面积和桩

数有关外,主要取决于基底下地基土抗剪刚度系数,因此提供设计应用时的换算方法可与试验块体基础的相同。

统一书号:1580058·471

---

定价:108.00 元