

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 50699 - 2011

液压振动台基础技术规范

Technical code for hydraulic vibrator foundation

2011 - 05 - 12 发布

2012 - 05 - 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

液压振动台基础技术规范

Technical code for hydraulic vibrator foundation

GB 50699 - 2011

主编部门：中国兵器工业集团公司

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 2 年 5 月 1 日

中国计划出版社

2011 北 京

中华人民共和国国家标准
液压振动台基础技术规范

GB 50699-2011

☆

中国计划出版社出版

(地址:北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 4 层)

(邮政编码:100038 电话:63906433 63906381)

新华书店北京发行所发行

世界知识印刷厂印刷

850×1168 毫米 1/32 2.125 印张 50 千字
2011 年 12 月第 1 版 2011 年 12 月第 1 次印刷
印数 1—6000 册

☆

统一书号:1580177·728

定价:13.00 元

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 1033 号

关于发布国家标准 《液压振动台基础技术规范》的公告

现批准《液压振动台基础技术规范》为国家标准,编号为 GB 50699—2011,自 2012 年 5 月 1 日起实施。其中,第 8.0.1 条为强制性条文,必须严格执行。

本规范由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

二〇一一年五月十二日

前 言

本规范是根据原建设部《关于印发〈2006年工程建设标准规范制订、修订计划(第二批)〉的通知》(建标[2006]136号)的要求,由五洲工程设计研究院会同有关单位编制完成。

本规范在编制过程中,编制组进行了广泛深入的调查研究,总结并参考了国内外先进技术经验,在全国范围内,多次征求了有关单位及业内专家意见,对一些重要问题进行了专题研究和反复讨论,最后经审查定稿。

本规范的特点在于液压振动台频率宽,激振力大,需用地基阻尼控制共振,根据实测、分析和比较,采用双峰法并发展为多峰法,提高了振动台基础的地基阻尼比,可使设计经济,但比弹性半空间等效集总体系莱斯默比拟法的地基阻尼比为低,不失安全;又在于当阻尼比较大,位移或加速度幅频响应曲线峰点不明显或消失时,采用速度幅频响应曲线相对宽度计算阻尼比。

本规范共分8章和2个附录,主要技术内容包括:总则、术语和符号、基本规定、地基动力特征参数测定、基础动力计算、基础构造、基础施工和检验等。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释,中国兵器工业集团公司负责日常管理,五洲工程设计研究院负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送五洲工程设计研究院科技质量部(地址:北京市宣武区西便门内大街85号,邮政编码:100053),以便今后修订时参考。

本规范主编单位、参加单位、主要起草人和主要审查人:

主 编 单 位:五洲工程设计研究院(中国五洲工程设计有限公司)

参 加 单 位：北京东方振动和噪声技术研究所
中国地震局工程力学研究所
中国航空工业规划设计研究院

主要起草人：吴邦达 马冬霞 吴丽波

主要审查人：应怀樵 杨先健 黄浩华 俞渭雄 单志康
茅玉泉 吴成元 李友鹏 邹 宏

目 次

1 总 则	(1)
2 术语和符号	(2)
2.1 术语	(2)
2.2 符号	(2)
3 基本规定	(6)
3.1 一般规定	(6)
3.2 地基和基础的计算规定	(7)
3.3 地基动力特征参数	(7)
4 地基动力特征参数测试	(11)
4.1 一般规定	(11)
4.2 测试内容及数据处理	(11)
5 基础动力计算	(19)
6 基础构造	(20)
7 基础施工	(21)
8 检 验	(22)
附录 A 基础动力计算基本公式	(23)
附录 B 用竖向速度幅频响应曲线相对宽度计算 地基阻尼比	(34)
本规范用词说明	(36)
引用标准名录	(37)
附:条文说明	(39)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(2)
3	Basic requirement	(6)
3.1	General requirement	(6)
3.2	Characteristic requirement for calculation of subsoil and foundations	(7)
3.3	Characteristic parameter of dynamic properties of subsoil	(7)
4	Characteristic measurement of parameter of dynamic properties of subsoil	(11)
4.1	General requirement	(11)
4.2	Contents of measurement and data processing	(11)
5	Dynamic calculations of foundations	(19)
6	Structural requirement of foundations	(20)
7	Construction requirement of foundations	(21)
8	Inspection	(22)
Appendix A	Basic equations of dynamic calculations of foundations	(23)
Appendix B	Measuring subsoil damping ratio with the relative width of the vertical velocity amplitude-frequency response curve	(34)

Explanation of wording in this code	(36)
List of quoted standards	(37)
Addition; Explanation of provisions	(39)

1 总 则

1.0.1 为了在液压振动台基础的建造中贯彻执行国家的技术经济政策,做到技术先进、安全适用、经济合理、确保质量,编制本规范。

1.0.2 本规范适用于车辆道路模拟、建(构)筑物地震模拟等试验中使用的液压振动台地基基础的勘察、设计、测试、施工和验收。

1.0.3 液压振动台基础的技术要求除应执行本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 基组 foundation set

液压振动台基础和基础上的机器、附属设备、填土的总称。

2.1.2 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)与它引起的线位移(角位移)之比。

2.1.3 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

2.2.1 作用和响应:

1 用于动力计算:

P_z ——激振器的竖向扰力;

P_x ——激振器的水平扰力;

p_k ——标准静荷载下基础底面平均静压力;

M_φ ——激振器的回转扰力矩的总称;

M_ψ ——激振器的扭转扰力矩;

A_z ——基组重心处的竖向线位移;

A_x ——基组重心处的水平向线位移;

A_φ ——基础的回转振动角位移的总称;

A_ψ ——基础的扭转振动角位移的总称;

$A_{z\varphi}$ ——基础顶面控制点在水平扰力 P_x 、扰力矩 M_φ 及竖向扰

力 P_z 偏心作用下的竖向线位移；

A_{xp} ——基础顶面控制点在水平扰力 P_x 、扰力矩 M_φ 及竖向扰力 P_z 偏心作用下的水平向线位移；

ω ——激振器扰力的圆频率；

ω_{nz} ——基组竖向固有圆频率；

ω_{nx} ——基组水平向固有圆频率；

$\omega_{n\varphi}$ ——基组回转固有圆频率；

$\omega_{n\psi}$ ——基组扭转固有圆频率；

ω_{n1} ——基组水平回转耦合振动第一振型固有圆频率的总称；

ω_{n2} ——基组水平回转耦合振动第二振型固有圆频率的总称。

2 用于测试分析：

A_m ——基础竖向振动位移幅频响应曲线峰点线位移的总称；

A_{m1} ——基础水平回转耦合振动位移幅频响应曲线第一振型峰点水平线位移；

$A_{z\varphi_1}$ 、 $A_{z\varphi_2}$ ——第一、二台传感器测出的基础水平回转耦合振动位移幅频响应曲线第一振型峰点竖向线位移；

$A_{m\psi}$ ——基础扭转振动位移幅频响应曲线峰点水平线位移的总称；

f_{nd} ——基础竖向有阻尼固有频率；

f_m ——基础竖向振动幅频响应曲线峰点频率的总称；

f_{m1} ——基础水平回转耦合振动幅频响应曲线第一振型峰点频率的总称；

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；

$f_{m\psi}$ ——基础扭转振动幅频响应曲线峰点频率的总称；

$f_{n\psi}$ ——基础扭转振动无阻尼固有频率。

2.2.2 计算指标：

- C_z ——天然地基抗压刚度系数；
 C_φ ——天然地基抗弯刚度系数；
 C_x ——天然地基抗剪刚度系数；
 C_ψ ——天然地基抗扭刚度系数；
 K_z ——天然地基抗压刚度；
 K_φ ——天然地基抗弯刚度；
 K_x ——天然地基抗剪刚度；
 K_ψ ——天然地基抗扭刚度；
 k_{pz} ——单桩抗压刚度；
 K_{pp} ——桩基抗弯刚度；
 m ——基组的质量，为 m_t 、 m_m 及 m_s 之和；
 m_t ——基础的质量；
 m_m ——基础上机器设备的质量；
 m_s ——基础上回填土的质量（用于埋置的阶梯形基础）；
 m_z ——基础竖向振动的参振总质量，包括基组质量和地基参振质量；
 m_{xp} ——基础水平回转耦合振动的参振总质量，包括基组质量和地基参振质量；
 m_ψ ——基础扭转振动的参振总质量，包括基组质量和地基参振质量；
 \bar{m} ——基组质量比；
 ζ_z ——天然地基的竖向阻尼比；
 $\zeta_{x\varphi 1}$ ——天然地基的水平回转向耦合振动第一振型阻尼比；
 $\zeta_{x\varphi 2}$ ——天然地基的水平回转向耦合振动第二振型阻尼比；
 ζ_ψ ——天然地基扭转向阻尼比。

2.2.3 几何参数：

- A ——基础底面积；
 I ——基础底面对通过其形心轴的惯性矩；
 J ——基组对通过其重心轴的转动惯量；

I_z ——基础底面通过其形心轴的极惯性矩；

J_z ——基组通过其重心轴的极转动惯量；

h ——基础高度；

h_1 ——基组质心至基础顶面的距离；

h_2 ——基组质心至基础底面的距离。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 液压振动台基础设计时应取得下列资料：

- 1 激振器的个数、每个质量及运动部分质量；
- 2 激振器的扰力及扰力矩大小、方向及作用位置；
- 3 激振器激振频率范围；
- 4 激振器最大行程、速度及加速度；
- 5 附加设备质量及扰力与扰力矩大小、方向及作用位置；
- 6 设备底座详图，包括附加设备位置、预埋螺栓位置、管沟位置及其孔洞尺寸。

3.1.2 液压振动台基础设计时应取得所在建筑物的下列资料：

- 1 建筑物的施工图；
- 2 在建筑物内位置及邻近部分的建筑物基础详图及管沟布置图；
- 3 建筑物的地质勘察资料，振动台基础底面应布置钻孔，孔深应至硬土层或岩层或不小于 20m，提供土层压缩波、剪切波波速、剪切模量及泊松比。

4 地基动力特性参数的测试资料。

3.1.3 振动台基础应与建筑物基础及上部结构分开，净距分别不应小于 100mm 及 50mm。当两者基础紧邻，基础底面应同深。

3.1.4 振动台基础顶部四周应与混凝土地面分开，缝宽应为 50mm，深应为 500mm，可用聚苯乙烯泡沫板填塞，可不做隔振缝。基础四周的回填土应分层夯实，压实系数 λ_c 不应小于 0.94。

3.1.5 有振动的管道应与建筑物脱开，必要时可用柔性连接。有振动的管沟应与建筑物基础用缝分开。

3.1.6 振动台所在的建筑物在构造上应按抗震设防烈度不低于7度设计,且不低于当地设防烈度要求,应将屋面荷载增加5%~10%计算屋面板、屋架及托架,但不应传给柱子及基础。

3.1.7 振动台基础在天然地基上时,承载力特征值 f_{ak} 小于150kPa的应进行地基处理或用桩基。

3.1.8 基组的重心与基础底面形心宜在同一竖线上。

3.2 地基和基础的计算规定

3.2.1 液压振动台基础底面地基平均静压力应符合下式的要求:

$$p_k \leq 0.8f_a \quad (3.2.1)$$

式中: p_k ——标准静荷载下基础底面平均静压力(kPa),标准荷载为基础自重及其上的回填土重及机器自重(kN);

f_a ——修正后的地基承载力特征值(kPa)。

3.2.2 液压振动台基础顶面的振动容许值应符合下列规定:

- 1 最大振动线位移不应大于0.10mm;
- 2 最大振动速度不应大于10mm/s;
- 3 最大振动加速度不应大于0.1g。

注:g为重力加速度。

3.3 地基动力特征参数

I 天然地基

3.3.1 液压振动台基础在天然地基上的基本动力参数可由现场试验确定,试验方法应按本规范第4章方法进行。当无条件进行试验并有经验时,可按本规范第3.3.2条~第3.3.8条规定确定,并对块体基础计算所得的竖向或水平向振动线位移,可不按现行国家标准《动力机器基础设计规范》GB 50040—96中第3.3.11条进行折减,但应按本规范第8章检验。

3.3.2 天然地基的抗压刚度系数 C_s 可按下列规定取用:

- 1 当基础底面积大于或等于20m²及埋深不小于2.0m时,

可按图 3.3.2 采用,并乘以系数 η , η 的取值应符合下列规定:

- 1) 当 f_{ak} 大于 300kPa, η 取 1.0;
- 2) 当 f_{ak} 不大于 300kPa, 黏性土 η 取 1.1, 粉土 η 取 1.0, 砂土 η 取 0.9。

2 当基础底面积小于 20m^2 , 大于 10m^2 时, 抗压刚度系数 C_z 可采用图 3.3.2 中的数值乘以底面积修正系数 β_r 。 β_r 可按下式进行计算:

$$\beta_r = \sqrt[3]{\frac{20}{A}} \quad (3.3.2)$$

式中: A ——基础底面积(m^2)。

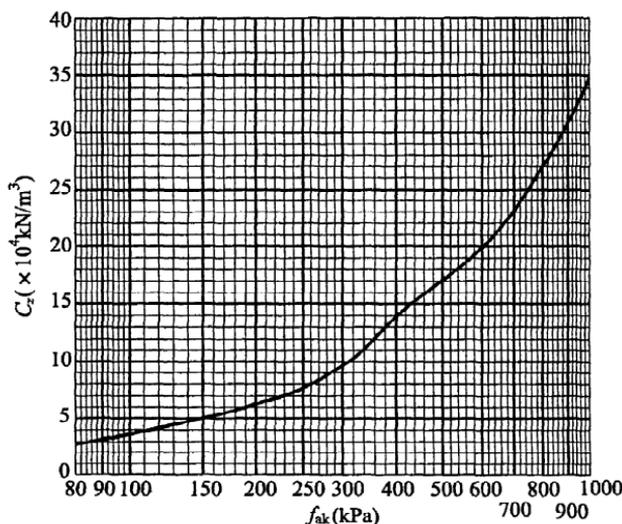


图 3.3.2 天然地基的抗压刚度系数 C_z 与地基承载力特征值 f_{ak} 关系统计曲线

3.3.3 天然地基的抗弯、抗剪、抗扭刚度系数可按现行国家标准《动力机器基础设计规范》GB 50040—96 第 3.3.5 条计算。

3.3.4 天然地基的抗压、抗弯、抗剪、抗扭刚度可按现行国家标准《动力机器基础设计规范》GB 50040—96 第 3.3.6 条计算。

3.3.5 天然地基抗压刚度系数的埋深提高系数可按现行国家标准《动力机器基础设计规范》GB 50040—96 第 3.3.7 条计算。

3.3.6 天然地基抗压刚度系数值按本规范第 3.3.2 条及第 3.3.5 条提高后的总值不得大于现行国家标准《动力机器基础设计规范》GB 50040—96 表 3.3.2 内的数值的 2 倍。

3.3.7 天然地基阻尼比可按下述方法进行计算：

1 竖向阻尼比可按下列公式计算：

$$\zeta_z = \frac{0.18}{\sqrt{(1-\nu)\bar{m}}} \quad (3.3.7-1)$$

$$\bar{m} = \frac{m}{\rho A^{1.5}} \quad (3.3.7-2)$$

式中： ζ_z ——天然地基竖向阻尼比；

\bar{m} ——基组质量比，不宜大于 0.8，否则可调整基础尺寸；

m ——基组的质量(t)；

ρ ——地基土的密度(t/m³)；

ν ——地基土的泊松比，按本规范第 3.1.2 条得出。

2 水平回转向、扭转向阻尼比可按现行国家标准《动力机器基础设计规范》GB 50040—96 第 3.3.9.2 款计算。

3.3.8 埋置基础的天然地基阻尼比，埋深提高系数可按现行国家标准《动力机器基础设计规范》GB 50040—96 第 3.3.10 条计算。提高后的阻尼比， ζ_z 不应大于 0.5， $\zeta_{\varphi 1}$ 、 ζ_{ψ} 不应大于 0.3。

II 桩 基

3.3.9 桩基的基本动力参数可由现场试验确定，试验方法应按本规范第 4 章方法进行。当无条件进行试验并有经验时，可按本规范第 3.3.10 条、第 3.3.11 条规定确定，但应按本规范第 8 章检验。

3.3.10 桩基刚度可按现行国家标准《动力机器基础设计规范》GB 50040—96 第 3.3.13 条～第 3.3.18 条规定确定。计算桩基的固有频率和振动线位移时所需参数可按该规范第 3.3.19 条、第

3.3.20 条规定确定。

3.3.11 摩擦桩桩基竖向阻尼比 ζ_{pz} 可取无桩时承台在天然地基上的阻尼比增加 0.05, 可按现行国家标准《动力机器基础设计规范》GB 50040—96 第 3.3.21.2 款确定水平回转向、扭转向阻尼比, 并可按该规范第 3.3.22 条确定桩承台埋深对阻尼比的提高作用, 提高后的 ζ_{pz} 不应大于 0.5, $\zeta_{Dx\varphi 1}$ 、 $\zeta_{D\psi}$ 不应大于 0.3。

4 地基动力特征参数测试

4.1 一般规定

4.1.1 振动台基础设计前,宜在现场进行模块基础试验。

4.1.2 模块基础应在拟建基础附近具有类似结构的原状土层上,其尺寸可为 $2.0\text{m}\times 1.5\text{m}\times 1.0\text{m}$,数量不宜少于2个,混凝土强度等级不应低于C25。当工程需要,尺寸可适当加大,长宽比不应大于1.5,高宽比不应大于0.6。此时,模块基础的基组质量比 \bar{m} 宜与设计基础接近。

4.1.3 当模块基础用桩基时,可按现行国家标准《地基动力特性测试规范》GB/T 50269—97第4.3.2条进行,桩距、桩截面及混凝土强度等级应与拟建基础的桩相同,桩长应达到拟建基础桩尖地层。

4.1.4 模块基础基坑坑壁至模块基础的四周距离应大于500mm,坑底土层应保持原状结构,坑底面应保持水平面。

4.1.5 模块基础的施工尺寸应准确,其顶面应抹平抹光,预埋激振器连接螺栓位置应准确,施工时可采用定位模具。螺栓位置、大小及长度应由测试单位按激振器要求提供。

4.2 测试内容及数据处理

4.2.1 模块基础用激振法测试应包括强迫振动和自由振动,并应沿竖向和纵横水平方向分别测试,且应分明置和埋置两种情况,埋置时四周回填土应分层夯实,压实系数 λ 不应小于0.94。

4.2.2 用激振法测试时,除另有说明外,应按现行国家标准《地基动力特性测试规范》GB/T 50269—97第4章的规定进行。测试幅频响应时,激振抗力频率宜在 $3\text{Hz}\sim 50\text{Hz}$ 范围内变化,对于硬

土层或岩层应提高。频率间隔在共振区内应小于 1Hz,在共振区外应为 1Hz~2Hz,逐个测试。基础共振时的线位移不宜大于 0.1mm。

4.2.3 模块基础强迫振动的数据处理,可按现行国家标准《地基动力特性测试规范》GB/T 50269—97 第 4.5.1 条的规定进行。

4.2.4 模块基础自由振动的测试方法及数据处理,可按现行国家标准《地基动力特性测试规范》GB/T 50269—97 第 4.4 节、第 4.5 节的规定进行,可用波形起始段无滞后的位移传感器。

4.2.5 模块基础地基振动测试应提供下列地基动力参数:

- 1 地基竖向及水平回转向第一振型以及扭转向的阻尼比;
- 2 地基抗压、抗剪、抗弯和抗扭刚度系数;
- 3 地基竖向和水平回转向以及扭转向的参振质量。

4.2.6 模块基础桩基振动测试应提供下列动力参数:

- 1 桩基竖向和水平回转向第一振型以及扭转向的阻尼比;
- 2 单桩的抗压刚度;
- 3 桩基抗剪和抗扭刚度系数;
- 4 桩基竖向和水平回转向以及扭转向的参振质量。

4.2.7 测试结果应包括下列内容:

- 1 测试的各种幅频响应曲线及幅频数据表;
- 2 地基动力参数测试值的分析计算表;
- 3 地基动力参数的设计值分析计算表;
- 4 上述第 4.2.5 条、第 4.2.6 条的地基动力参数。

4.2.8 数据处理结果,应得到下列幅频响应曲线:

- 1 基础竖向振动为基础竖向线位移的幅频响应曲线(A_z-f);
- 2 基础水平回转耦合振动为基础顶面测试点沿 x 轴的水平线位移的幅频响应曲线($A_{xp}-f$),及基础顶面测试点由回转振动产生的竖向线位移的幅频响应曲线($A_{zp}-f$);
- 3 基础扭转振动为基础顶面测试点在扭转扰力矩作用下的水平线位移的幅频响应曲线($A_{xp}-f$)。

4.2.9 测试时宜分别用定扰力、变扰力激振。当用定扰力激振时,应同时得出位移、速度及加速度随频率变化的幅频响应曲线。当只能用定扰力激振时,可用其加速度幅频响应曲线峰点频率 f_{ma} 代替本规范第 4.2.10 条~第 4.2.12 条有关公式中的变扰力位移幅频响应曲线峰点频率 f_{me} 。当只能用变扰力激振时,可将变扰力(P)的位移幅频曲线($A \cdot f$)化作单位定扰力位移幅频响应曲线($A/P \cdot f$),并得出峰点频率。

4.2.10 地基竖向动力特征参数可按下列公式计算:

1 当只能用变扰力激振时,地基竖向阻尼比可按式(4.2.10-1)计算,除此之外,均可按式(4.2.10-1)~式(4.2.10-3)计算,并取平均值。

$$\zeta_z = 0.707 \sqrt{1 - (f_{mc}/f_{me})} \quad (4.2.10-1)$$

$$\zeta_z = 0.707 \sqrt{1 - (f_{mc}/f_{mv})^2} \quad (4.2.10-2)$$

$$\zeta_z = 0.707 \sqrt{1 - (f_{mv}/f_{me})^2} \quad (4.2.10-3)$$

式中: ζ_z ——地基竖向阻尼比;

f_{mc} ——竖向定扰力振动位移幅频响应曲线峰点频率(Hz);

f_{me} ——竖向变扰力振动位移幅频响应曲线峰点频率(Hz);

f_{mv} ——竖向定扰力振动速度幅频响应曲线峰点频率(Hz)。

2 基础竖向无阻尼和有阻尼固有频率,可分别按下列公式计算:

$$f_{nz} = \sqrt{f_{mc} \cdot f_{me}} \quad (4.2.10-4)$$

$$f_{nd} = f_{nz} \sqrt{1 - \zeta_z^2} \quad (4.2.10-5)$$

式中: f_{nz} ——基础竖向无阻尼固有频率(Hz);

f_{nd} ——基础竖向有阻尼固有频率(Hz),可用冲击法测试做验证。

注:1 f_{nz} 应接近 f_{mv} ,允许偏差为 10%,相差较大时,应研究 f_{mc} 与 f_{me} 的取点是否合理,或测试精度是否可靠。

2 当有关曲线峰点不明显或消失($\zeta_z = 0.6 \sim 1.0$)时,可用附录 B 计算 ζ_z 。

3 基础的参振总质量、地基抗压刚度和抗压刚度系数、单桩抗压刚度和桩基抗弯刚度,可分别依次按下列公式计算:

$$m_z = \frac{K_z}{(2\pi f_{nz})^2} \quad (4.2.10-6)$$

$$K_z = \frac{P_c}{A_{mc}} \cdot \frac{1}{2\zeta_z \sqrt{1-\zeta_z^2}} \quad (4.2.10-7)$$

$$C_z = \frac{K_z}{A} \quad (4.2.10-8)$$

$$k_{pz} = \frac{K_z}{n_p} \quad (4.2.10-9)$$

$$K_{pp} = k_{pz} \sum_{i=1}^n r_i^2 \quad (4.2.10-10)$$

式中: m_z ——基础竖向振动参振的总质量(t),包括基础,激振设备及地基参振质量,当大于基础质量 m_f 的 2 倍时,应取 m_z 等于 $2m_f$;

K_z ——地基抗压刚度(kN/m);

P_c ——定扰力值(kN);

A_{mc} ——定扰力竖向振动幅频响应曲线峰点线位移(m)。

C_z ——地基抗压刚度系数(kN/m³);

k_{pz} ——单桩抗压刚度(kN/m);

K_{pp} ——桩基抗弯刚度(kN·m);

r_i ——第 i 根桩中线至基础底面形心回转轴的距离(m);

n_p ——桩数。

4.2.11 地基在轴 x 向水平回转向动力特征参数应按下列公式计算:

1 当只能用变扰力激振时,地基水平回转耦合第一振型阻尼比可按式(4.2.11-1)计算,除此之外,均可按式(4.2.11-1)~式(4.2.10-3)计算,并取平均值。

$$\zeta_{x\varphi_1} = 0.707 \sqrt{1 - (f_{m1c}/f_{m1e})} \quad (4.2.11-1)$$

$$\zeta_{x\varphi_1} = 0.707 \sqrt{1 - (f_{m1c}/f_{m1v})^2} \quad (4.2.11-2)$$

$$\zeta_{x\varphi_1} = 0.707 \sqrt{1 - (f_{m1v}/f_{m1e})^2} \quad (4.2.11-3)$$

式中： $\zeta_{x\varphi_1}$ ——基础水平回转向第一振型阻尼比；

f_{m1c} ——水平定扰力振动水平回转位移 $A_{x\varphi}$ — f 幅频响应曲线第一振型峰点频率(Hz)；

f_{m1e} ——水平变扰力振动水平回转位移 $A_{x\varphi}$ — f 幅频响应曲线第一振型峰点频率(Hz)；

f_{m1v} ——水平定扰力振动水平回转速度 $V_{x\varphi}$ — f 幅频响应曲线第一振型峰点频率(Hz)。

2 基础无阻尼固有频率可按下式计算：

$$f_{n1} = \sqrt{f_{m1c} f_{m1e}} \quad (4.2.11-4)$$

式中： f_{n1} ——基础水平回转耦合振动第一振型无阻尼固有频率(Hz)；

注： f_{n1} 应接近 f_{m1v} ，允许偏差为 10%，相差较大时，应研究 f_{m1c} 与 f_{m1e} 的取点是否合理，或测试精度是否可靠。

3 基础水平回转振动的参振总质量，应按下列公式计算：

$$m_{x\varphi} = \frac{P_x (\rho_1 + h_3) (\rho_1 + h_1)}{A_{m1} (2\pi f_{n1})^2} \cdot \frac{1}{2\zeta_{x\varphi_1} \sqrt{1 - \zeta_{x\varphi_1}^2}} \cdot \frac{1}{i^2 + \rho_1^2} \quad (4.2.11-5)$$

$$\rho_1 = A_x / \Phi_{m1} \quad (4.2.11-6)$$

$$\Phi_{m1} = \frac{|A_{x\varphi_1}| + |A_{x\varphi_2}|}{l_1} \quad (4.2.11-7)$$

$$A_x = A_{m1} - h_1 \Phi_{m1} \quad (4.2.11-8)$$

$$i = \sqrt{\frac{1}{12} (l^2 + h^2)} \quad (4.2.11-9)$$

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、激振设备和地基参振质量，当 $m_{x\varphi}$ 大于基础质量的 1.4 倍时，应取 1.4 倍；

P_x ——作用于 x 方向的水平定扰力(kN)；

ρ_1 ——基础第一振型转动中心至基础质心距离(m)

i ——基础回转半径(m)；

Φ_{m1} ——基础第一振型峰点的回转角位移(rad)；

A_{φ_1} ——第一台传感器测出的基础水平回转耦合振动第一振型竖向峰点线位移(m)；

A_{φ_2} ——第二台传感器测出的基础水平回传耦合振动第一振型竖向峰点线位移(m)；

L_1 ——两台竖向传感器的间距(m)；

A_x ——基础质心处的水平线位移(m)；

A_{m1} ——基础水平回转耦合振动第一振型水平向峰点线位移(m)；

h_1 ——基础质心至基础顶面距离(m)；

l ——平行于扰力方向的基础边长(m)；

h ——基础高度(m)；

h_3 ——基础质心至激振器水平扰力距离(m)。

4 地基抗剪刚度和抗剪刚度系数、抗弯刚度和抗剪刚度系数,应按下列公式计算:

$$K_x = m_{\varphi} (2\pi f_{nr})^2 \quad (4.2.11-10)$$

$$f_{nr} = f_{n1} / \sqrt{1 - h_2 / \rho_1} \quad (4.2.11-11)$$

$$C_x = \frac{K_x}{A} \quad (4.2.11-12)$$

$$K_{\varphi} = J (2\pi f_{n\varphi})^2 - K_x h_2^2 \quad (4.2.11-13)$$

$$f_{n\varphi} = \sqrt{\rho_1 \frac{h_2}{i^2} f_{nr}^2 + f_{n1}^2} \quad (4.2.11-14)$$

$$C_{\varphi} = \frac{K_{\varphi}}{I} \quad (4.2.11-15)$$

式中: K_x ——地基抗剪刚度(kN/m)；

f_{nr} ——基础水平向无阻尼固有频率(Hz)；

C_x ——抗剪刚度系数(kN/m³)；

K_{φ} ——地基抗弯刚度(kN·m);

$f_{n\varphi}$ ——基础回转无阻尼固有频率(Hz);

h_2 ——基组质心至基础底面的距离(m);

C_{φ} ——抗弯刚度系数(kN/m³);

J ——基础对通过其重心轴的转动惯量(t·m²);

I ——基础底面对通过其形心轴的惯性矩(m⁴)。

4.2.12 地基扭转向动力特征参数应按下列公式计算:

1 当只能用变扰力激振时,地基扭转向阻尼比可按式(4.2.12-1)计算,除此之外,均可按式(4.2.12-1)~式(4.2.12-3)计算,并取平均值:

$$\zeta_{\psi} = 0.707 \sqrt{1 - (f_{m\psi c} / f_{m\psi c})^2} \quad (4.2.12-1)$$

$$\zeta_{\psi} = 0.707 \sqrt{1 - (f_{m\psi c} / f_{m\psi v})^2} \quad (4.2.12-2)$$

$$\zeta_{\psi} = 0.707 \sqrt{1 - (f_{m\psi v} / f_{m\psi c})^2} \quad (4.2.12-3)$$

式中: ζ_{ψ} ——地基扭转向阻尼比;

$f_{m\psi c}$ ——定扰力扭转振动水平位移 $A_{x\psi}$ - f 幅频响应曲线峰点频率;

$f_{m\psi v}$ ——变扰力扭转振动水平位移 $A_{x\psi}$ - f 幅频响应曲线峰点频率;

$f_{m\psi v}$ ——定扰力扭转振动速度 $V_{x\psi}$ - f 幅频响应曲线峰点频率。

2 基础扭转振动无阻尼固有频率可按下式计算:

$$f_{n\psi} = \sqrt{f_{m\psi c} \cdot f_{m\psi v}} \quad (4.2.12-4)$$

式中: $f_{n\psi}$ ——基础扭转振动无阻尼固有频率(Hz)。

注: $f_{n\psi}$ 应接近于 $f_{m\psi v}$, 允许偏差为 10%, 相差较大时应研究 $f_{m\psi v}$ 与 $f_{m\psi c}$ 的取点是否合理, 或测试精度是否可靠。

3 基础扭转振动的参振总质量, 应按下列公式计算:

$$m_{\psi} = \frac{12J_z}{l^2 + b^2} \quad (4.2.12-5)$$

$$J_z = \frac{M_{\psi} l_{\psi}}{A_{m\psi c} \omega_{n\psi}^2} \cdot \frac{1}{2\zeta_{\psi} \sqrt{1 - \zeta_{\psi}^2}} \quad (4.2.12-6)$$

$$\omega_{n\psi} = 2\pi f_{n\psi} \quad (4.2.12-7)$$

式中： m_{ψ} ——基础扭转振动的参振总质量(t)，包括基础、激振设备和地基参振质量(t)；

J_z ——基础通过其重心轴的极转动惯量($t \cdot m^2$)；

M_{ψ} ——激振设备的扭转力矩($kN \cdot m$)；

l_{ψ} ——扭转轴至实测点的距离(m)；

$A_{m\psi c}$ ——定扰力扭转振动水平位移 $A_{x\psi} - f$ 幅频响应曲线峰点线位移(m)；

$\omega_{n\psi}$ ——基础扭转振动无阻尼固有圆频率(rad/s)；

b ——基础宽度(m)。

4 地基的抗扭刚度和抗扭刚度系数，可分别按式(4.2.12-8)和式(4.2.12-9)计算：

$$K_{\psi} = J_z \cdot \omega_{n\psi}^2 \quad (4.2.12-8)$$

$$C_{\psi} = K_{\psi} / I_z \quad (4.2.12-9)$$

式中： K_{ψ} ——地基抗扭刚度($kN \cdot m$)；

C_{ψ} ——地基抗扭刚度系数(kN/m^3)；

I_z ——基础底面对通过其形心轴的极惯性矩(m^4)。

4.2.13 由明置模块基础或桩基础测试的地基阻尼比、地基刚度系数及地基参加振动的当量质量用于设计振动台基础时，应进行有关换算，可按现行国家标准《地基动力特性测试规范》GB/T 50269 第 4.6 节的规定进行。换算后的设计值， ζ_z 不应大于 0.5， $\zeta_{r\varphi 1}$ 、 ζ_{ψ} 不应大于 0.3。且天然地基的抗压刚度系数 C_z ，不应大于现行国家标准《动力机器设计规范》GB 50040 表 3.3.2 规定的 2 倍。

5 基础动力计算

5.0.1 基础动力计算,除应按现行国家标准《动力机器基础设计规范》GB 50040—96 第 4.3.3 条~第 4.3.6 条公式计算外,尚应符合本规范附录 A 的规定。

5.0.2 基础动力计算时,如有多个激振器,可根据实际使用情况,当激振力不同时达到最大值时可以折减,其折减系数由工艺单位提出。

6 基础构造

6.0.1 钢筋混凝土振动台块体基础宜扁平,宜为方形或矩形,平面尺寸长宽比不宜大于 1.5,高宽比不宜大于 0.6,必要时可在底部放阶加宽。放置激振器的凹坑坑壁厚度不宜小于 0.6m,凹坑底板厚不宜小于 2m。混凝土强度等级不低于 C25,应采用低水化热水泥。当遇地下水时应用防水混凝土。

6.0.2 基础主要钢筋应用钢号 HRB335,根据激振力大小、基础大小和施工时钢筋骨架的稳定性进行配筋,直径不应小于 $\phi 12$ 。顶面、底面、四周及坑内外壁可用 $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 钢筋网,放置激振器的坑底应用双层钢筋网,并应上下错开。基础内部配 $500\text{mm} \times 500\text{mm} \times 500\text{mm}$ 三向钢筋网。

6.0.3 基础底面应设置混凝土垫层厚 100mm,四周应宽出底面 100mm,混凝土强度等级宜采用 C15。

6.0.4 基础在管道洞孔或缺口处应将被截断钢筋同面积的各半分别补加于洞口左右两侧和上下两面。

7 基础施工

7.0.1 基础应预埋螺栓与基座板连接或直接与设备连接,应严格保证螺栓位置准确。基座板及螺栓应由工厂提供,基座板应留灌浆孔。

7.0.2 与设备或管道连接的专用预埋件或支座(支架)应由工厂提供,并应由土建施工预埋。

7.0.3 基础施工时应严格控制水灰比和坍落度,且应分层连续浇灌,每层厚度应按施工实际条件确定,不应留施工缝。混凝土应严格振捣密实,不得有空隙孔洞。

7.0.4 基础施工时应采取措施避免混凝土凝固时产生温度裂缝,浇灌时天气温度不宜过高或过低。施工时间宜在春、秋季节,在冬季应采取保暖措施,在夏季对砂石骨料应采取冷却措施,必要时可用冰屑代替水拌和混凝土。

7.0.5 基座板底应用二次浇灌层,并应用灌浆料填塞密实,浇灌前应用加压的水将原有混凝土面冲洗干净,并应充分浸润保证灌浆料与基座板的紧密结合。

7.0.6 施工中应用调平螺栓调平基座板,调平螺栓应先行润滑。然后拧紧地脚螺栓,检查基座板的装配公差。其后浇灌浆料,待凝固后松开调平螺栓。待砂浆及混凝土达到设计强度后,应对每个地脚螺栓施加预应力,大小应由设计规定。

7.0.7 在条件许可时,基础坑可在建筑物屋盖施工后在室内开挖,以免雨水浸泡地基,并应预留 30cm 厚土层作保护,并应在浇灌混凝土基础垫层时挖除。

7.0.8 基础施工应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定。

8 检 验

8.0.1 液压振动台的混凝土基础施工完毕并达到设计强度后,必须对基础进行振动测试以作检验。

8.0.2 在设备安装调试后,应用设备激振器激振进行测试,并应满足本规范第 3.2.2 条规定;同时,检验地基动力参数测试值与设计值是否接近。

附录 A 基础动力计算基本公式

A.0.1 基础动力计算时,应确定基础上的扰力和扰力矩的方向和作用位置(图 A.0.1)。

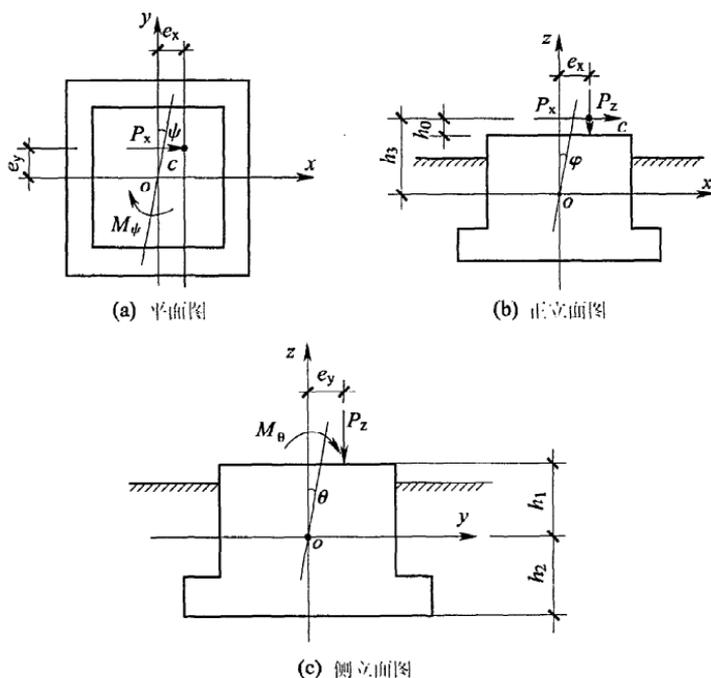


图 A.0.1 扰力、扰力矩示意图

注: o 点为基组重心, 即坐标原点; c 点为扰力作用点。

A.0.2 基组在通过其重心的竖向扰力 P_z 作用下, 其竖向振动线位移和固有圆频率的计算应符合下列规定:

- 1 线位移和固有频率可分别按式(A.0.2-1)、(A.0.2-2)

计算。

$$A_z = \frac{P_z}{K_z} \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{nz}^2}\right)^2 + 4\zeta_z^2 \frac{\omega^2}{\omega_{nz}^2}}} \quad (\text{A. 0. 2-1})$$

$$\omega_{nz} = \sqrt{\frac{K_z}{m}} \quad (\text{A. 0. 2-2})$$

$$m = m_f + m_m + m_s \quad (\text{A. 0. 2-3})$$

式中： A_z ——机组重心处的竖向线位移(m)；

P_z ——激振器的竖向扰力(kN)；

ω_{nz} ——机组的竖向固有圆频率(rad/s)；

m ——机组竖向振动的总质量(t)；

m_f ——基础的质量(t)；

m_m ——基础上机器设备的质量(t)；

m_s ——基础上回填土的质量(t)；

K_z ——基础的地基抗压刚度(kN/m)；

ω ——激振器的扰力圆频率(rad/s)；

ζ_z ——地基的竖向阻尼比。

2 最大线位移 $A_{z\max}$ 可按下列公式计算：

1) 当 P_z 为定扰力, 且 $\omega = \omega_{nz} \sqrt{1 - 2\zeta_z^2}$ 时:

$$A_{z\max} = \frac{P_z}{K_z} \cdot \frac{1}{2\zeta_z \sqrt{1 - \zeta_z^2}} \quad (\text{A. 0. 2-4})$$

2) 当 P_z 为变扰力, 且 $\omega = \frac{\omega_{nz}}{\sqrt{1 - 2\zeta_z^2}}$ 时:

$$A_{z\max} = \frac{P_z}{K_z} \cdot \frac{1}{2\zeta_z \sqrt{1 - \zeta_z^2}} \quad (\text{A. 0. 2-5})$$

式中： $A_{z\max}$ ——机组垂心处的竖向最大线位移(m)。

A. 0. 3 机组在水平扰力 P_x 和竖向扰力 P_z 沿 x 向偏心矩作用下, 产生 x 向水平、绕 y 轴回转 (即 $x-\varphi$ 向) 的耦合振动 (图 A. 0. 3), 其基础顶面控制点的竖向和水平线位移的计算, 应符合

合下列规定：

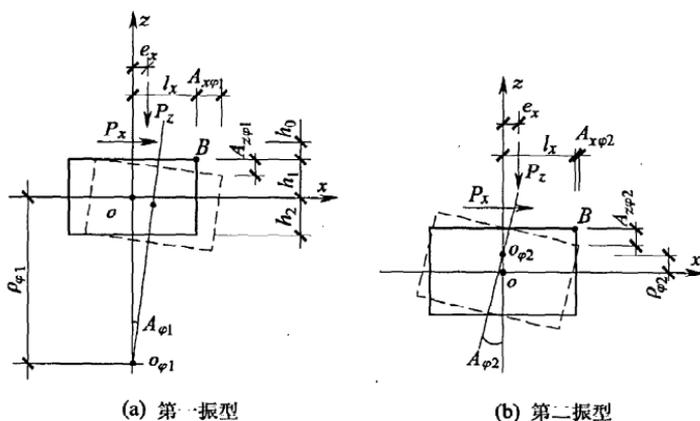


图 A.0.3 基组沿 x 向水平、绕 y 轴回转的耦合振动的振型

1 基础顶面控制的竖向和水平线位移应分别按下列公式计算：

$$A_{z\varphi} = (A_{\varphi 1} + A_{\varphi 2}) l_x \quad (\text{A.0.3-1})$$

$$A_{x\varphi} = A_{\varphi 1} (\rho_{\varphi 1} + h_1) + A_{\varphi 2} (h_1 - \rho_{\varphi 2}) \quad (\text{A.0.3-2})$$

$$A_{\varphi 1} = \frac{M_{\varphi 1}}{(J_y + m\rho_{\varphi 1}^2)\omega_{n\varphi 1}^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{n\varphi 1}^2}\right)^2 + 4\zeta_{x\varphi 1}^2 \frac{\omega^2}{\omega_{n\varphi 1}^2}}} \quad (\text{A.0.3-3})$$

$$A_{\varphi 2} = \frac{M_{\varphi 2}}{(J_y + m\rho_{\varphi 2}^2)\omega_{n\varphi 2}^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{n\varphi 2}^2}\right)^2 + 4\zeta_{x\varphi 2}^2 \frac{\omega^2}{\omega_{n\varphi 2}^2}}} \quad (\text{A.0.3-4})$$

$$\omega_{n\varphi 1}^2 = \frac{1}{2} \left[(\omega_{nr}^2 + \omega_{n\varphi}^2) - \sqrt{(\omega_{nr}^2 - \omega_{n\varphi}^2)^2 + \frac{4mh_2^2}{J_y} \omega_{nr}^4} \right] \quad (\text{A.0.3-5})$$

$$\omega_{n\varphi 2}^2 = \frac{1}{2} [(\omega_{nr}^2 + \omega_{n\varphi}^2) + \sqrt{(\omega_{nr}^2 - \omega_{n\varphi}^2)^2 + \frac{4mh_2^2}{J_y} \omega_{nr}^4}] \quad (\text{A. 0. 3-6})$$

$$\omega_{nr}^2 = \frac{K_r}{m} \quad (\text{A. 0. 3-7})$$

$$\omega_{n\varphi}^2 = \frac{K_\varphi + K_x h_2^2}{J_y} \quad (\text{A. 0. 3-8})$$

$$K_\varphi = C_\varphi I_y \alpha_{x\varphi} \quad (\text{A. 0. 3-9})$$

$$M_{\varphi 1} = P_x (h_1 + h_0 + \rho_{\varphi 1}) + P_z e_x \quad (\text{A. 0. 3-10})$$

$$M_{\varphi 2} = P_x (h_1 + h_0 - \rho_{\varphi 2}) + P_z e_x \quad (\text{A. 0. 3-11})$$

$$\rho_{\varphi 1} = \frac{\omega_{nr}^2 h_2}{\omega_{nr}^2 - \omega_{n\varphi 1}^2} \quad (\text{A. 0. 3-12})$$

$$\rho_{\varphi 2} = \frac{\omega_{nr}^2 h_2}{\omega_{n\varphi 2}^2 - \omega_{nr}^2} \quad (\text{A. 0. 3-13})$$

2 最大竖向和水平线位移 $A_{z\varphi\max}$ 、 $A_{x\varphi\max}$ 的计算应符合下列规定：
情况 1：可分别按下列公式计算。

$$A_{z\varphi\max} = (A_{\varphi 1\max} + A_{\varphi 2}) l_x \quad (\text{A. 0. 3-14})$$

$$A_{x\varphi\max} = A_{\varphi 1\max} (\rho_{\varphi 1} + h_1) + A_{\varphi 2} (h_1 - \rho_{\varphi 2}) \quad (\text{A. 0. 3-15})$$

1) 当 P_x 、 P_z 为定扰力，且 $\omega = \omega_{n\varphi 1} \sqrt{1 - 2\xi_{x\varphi 1}^2}$ 时，

$$A_{\varphi 1\max} = \frac{M_{\varphi 1}}{(J_y + m\rho_{\varphi 1}^2)\omega_{n\varphi 1}^2} \cdot \frac{1}{2\xi_{x\varphi 1} \sqrt{1 - \xi_{x\varphi 1}^2}} \quad (\text{A. 0. 3-16})$$

并以 ω 代入式(A. 0. 3-4)中，可得 $A_{\varphi 2}$ 。

2) 当 P_x 、 P_z 为变扰力，且 $\omega = \frac{\omega_{n\varphi 1}}{\sqrt{1 - 2\xi_{x\varphi 1}^2}}$ 时，

$$A_{\varphi 1\max} = \frac{M_{\varphi 1}}{(J_y + m\rho_{\varphi 1}^2)\omega_{n\varphi 1}^2} \cdot \frac{1}{2\xi_{x\varphi 1} \sqrt{1 - \xi_{x\varphi 1}^2}} \cdot (1 - 2\xi_{x\varphi 1}^2) \quad (\text{A. 0. 3-17})$$

此时， $M_{\varphi 1}$ 用变扰力计算，并以 ω 代入式(A. 0. 3-4)中可得 $A_{\varphi 2}$ 。

情况 2：可分别按下列公式计算：

$$A_{x\varphi\max} = (A_{\varphi 1} + A_{\varphi 2\max})l_x \quad (\text{A. 0. 3-18})$$

$$A_{x\varphi\max} = A_{\varphi 1}(\rho_{\varphi 1} + h_1) + A_{\varphi 2\max}(h_1 - \rho_{\varphi 2}) \quad (\text{A. 0. 3-19})$$

1) 当 P_x, P_z 为定扰力, 且 $\omega = \omega_{n\varphi 2} \sqrt{1 - 2\zeta_{x\varphi 2}^2}$ 时,

$$A_{\varphi 2\max} = \frac{M_{\varphi 2}}{(J_y + m\rho_{\varphi 2}^2)\omega_{n\varphi 2}^2} \cdot \frac{1}{2\zeta_{x\varphi 2} \sqrt{1 - \zeta_{x\varphi 2}^2}} \quad (\text{A. 0. 3-20})$$

并以 ω 代入式(A. 0. 3-3)中, 可得 $A_{\varphi 1}$ 。

2) 当 P_x, P_z 为变扰力, 且 $\omega = \frac{\omega_{n\varphi 2}}{\sqrt{1 - 2\zeta_{x\varphi 2}^2}}$ 时,

$$A_{\varphi 2\max} = \frac{M_{\varphi 2}}{(J_y + m\rho_{\varphi 2}^2)\omega_{n\varphi 2}^2} \cdot \frac{1}{2\zeta_{x\varphi 2} \sqrt{1 - \zeta_{x\varphi 2}^2}} \cdot (1 - 2\zeta_{x\varphi 2}^2) \quad (\text{A. 0. 3-21})$$

此时, $M_{\varphi 2}$ 用变扰力计算, 并以 ω 代入式(A. 0. 3-3)中可得 $A_{\varphi 1}$ 。

3 最大线位移的选取应符合下列规定:

1) 定扰力作用时: 按情况 1、2 分别计算, 两者中取最大者。

2) 变扰力作用时: 按情况 1、2 分别计算, 两者中取最大者。

式中: $A_{x\varphi}$ —— 基础顶面控制点, 由于 x 向水平绕 y 轴回转耦合振动产生的竖向线位移(m);

$A_{x\varphi}$ —— 基础顶面控制点, 由于 x 向水平绕 y 轴回转耦合振动产生的 x 向水平线位移(m);

$A_{\varphi 1}$ —— 基组 $x-\varphi$ 向耦合振动第一振型的回转角位移(rad);

$A_{\varphi 2}$ —— 基组 $x-\varphi$ 向耦合振动第二振型的回转角位移(rad);

$\rho_{\varphi 1}$ —— 基组 $x-\varphi$ 向耦合振动第一振型转动中心至基组重心的距离(m);

$\rho_{\varphi 2}$ —— 基组 $x-\varphi$ 向耦合振动第二振型转动中心至基组重心的距离(m);

$M_{\varphi 1}$ —— 绕通过 $x-\varphi$ 向耦合振动第一振型转动中心 $O_{\varphi 1}$ 并垂

- 直于回转面 ZOX 的轴的总扰力矩 ($\text{kN} \cdot \text{m}$);
- $M_{\varphi 2}$ —— 绕通过 $x-\varphi$ 向耦合振动第二振型转动中心 $O_{\varphi 2}$ 并垂直于回转面 ZOX 的轴的总扰力矩 ($\text{kN} \cdot \text{m}$);
- $\omega_{n\varphi 1}$ —— 基组 $x-\varphi$ 向耦合振动第一振型的固有圆频率 (rad/s);
- $\omega_{n\varphi 2}$ —— 基组 $x-\varphi$ 向耦合振动第二振型的固有圆频率 (rad/s);
- ω_{nx} —— 基组 x 向水平固有圆频率 (rad/s);
- ω_{ny} —— 基组绕 y 轴回转固有圆频率 (rad/s);
- h_2 —— 基组重心至基础底面的距离 (m);
- K_x —— 基础抗剪地基刚度 (kN/m);
- K_φ —— 基组绕 y 轴的地基抗弯刚度 ($\text{kN} \cdot \text{m}$);
- J_y —— 基组对通过其重心的 y 轴的转动惯量 ($\text{t} \cdot \text{m}^2$);
- I_y —— 基础底面对通过其形心 y 轴的惯性矩 (m^4);
- C_φ —— 地基抗弯刚度系数;
- $\alpha_{x\varphi}$ —— 见现行国家标准《动力机器基础设计规范》GB 50040—96 中, 式 (3.3.7-2);
- e_x —— 激振器竖向扰力沿 x 轴向的偏心距 (m);
- h_1 —— 基组重心至基础顶面的距离 (m);
- h_0 —— 水平扰力作用线至基础顶面的距离 (m);
- $\zeta_{x\varphi 1}$ —— 基组 $y-\theta$ 向耦合振动第一振型阻尼比;
- $\zeta_{x\varphi 2}$ —— 基组 $y-\theta$ 向耦合振动第二振型阻尼比;
- $A_{\varphi 1\text{max}}$ —— 基组 $x-\varphi$ 向耦合振动第一振型最大回转角位移 (rad);
- $A_{\varphi 2\text{max}}$ —— 基组 $x-\varphi$ 向耦合振动第二振型最大回转角位移 (rad);
- $A_{y\varphi\text{max}}$ —— 基础顶面控制点, 由 x 向水平绕 y 轴回转耦合振动产生的最大竖向线位移;
- $A_{x\varphi\text{max}}$ —— 基础顶面控制点, 由 x 向水平绕 y 轴回转耦合振动产生的最大 x 向水平线位移。

A. 0. 4 基组在回转力矩 M_0 和竖向扰力 P_z 沿 y 向偏心矩作用下, 产生 y 向水平、绕 x 轴回转(即 $y-\theta$ 向)的耦合振动(图 A. 0. 4), 其竖向和水平向线位移的计算, 应符合下列规定:

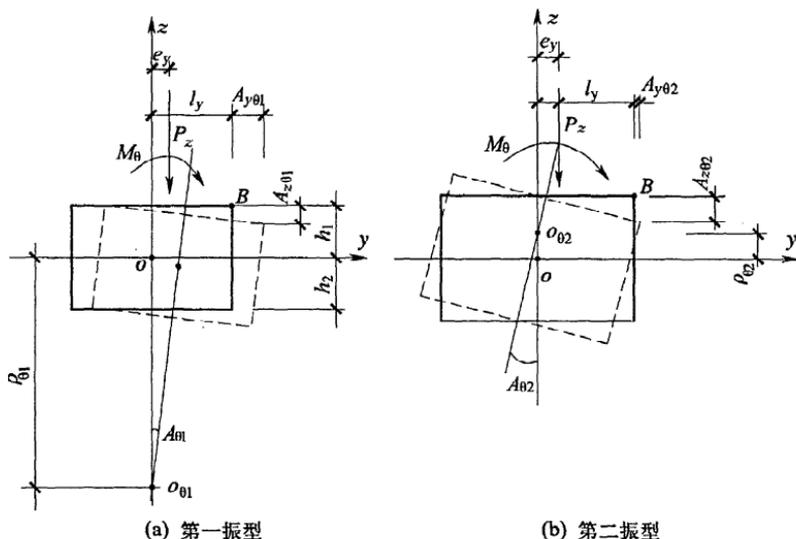


图 A. 0. 4 基组沿 y 向水平、绕 x 轴回转的耦合振动的振型

1 竖向和水平线位移应分别按下列公式计算:

$$A_{z\theta} = (A_{\theta 1} + A_{\theta 2}) l_y \quad (\text{A. 0. 4-1})$$

$$A_{y\theta} = A_{\theta 1} (\rho_{\theta 1} + h_1) + A_{\theta 2} (h_1 - \rho_{\theta 2}) \quad (\text{A. 0. 4-2})$$

$$A_{\theta 1} = \frac{M_{\theta 1}}{(J_x + m\rho_{\theta 1}^2)\omega_{n\theta 1}^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{n\theta 1}^2}\right)^2 + 4\xi_{y\theta}^2 \frac{\omega^2}{\omega_{n\theta 1}^2}}} \quad (\text{A. 0. 4-3})$$

$$A_{\theta 2} = \frac{M_{\theta 2}}{(J_x + m\rho_{\theta 2}^2)\omega_{n\theta 2}^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{n\theta 2}^2}\right)^2 + 4\xi_{y\theta}^2 \frac{\omega^2}{\omega_{n\theta 2}^2}}} \quad (\text{A. 0. 4-4})$$

$$\omega_{n\theta 1}^2 = \frac{1}{2} \left[(\omega_{ny}^2 + \omega_{n\theta}^2) - \sqrt{(\omega_{ny}^2 - \omega_{n\theta}^2)^2 + \frac{4mh_2^2}{J_x} \omega_{ny}^4} \right] \quad (\text{A. 0. 4-5})$$

$$\omega_{n\theta 2}^2 = \frac{1}{2} \left[(\omega_{ny}^2 + \omega_{n\theta}^2) + \sqrt{(\omega_{ny}^2 - \omega_{n\theta}^2)^2 + \frac{4mh_2^2}{J_x} \omega_{ny}^4} \right] \quad (\text{A. 0. 4-6})$$

$$\omega_{ny}^2 = \omega_{nz}^2 \quad (\text{A. 0. 4-7})$$

$$\omega_{n\theta}^2 = \frac{K_\theta + K_x h_2^2}{J_x} \quad (\text{A. 0. 4-8})$$

$$K_\theta = C_\varphi I_x \alpha_{i\varphi} \quad (\text{A. 0. 4-9})$$

$$M_{\theta 1} = M_\theta + P_z e_y \quad (\text{A. 0. 4-10})$$

$$M_{\theta 2} = M_\theta + P_z e_y \quad (\text{A. 0. 4-11})$$

$$\rho_{\theta 1} = \frac{\omega_{ny}^2 h_2}{\omega_{ny}^2 - \omega_{n\theta 1}^2} \quad (\text{A. 0. 4-12})$$

$$\rho_{\theta 2} = \frac{\omega_{ny}^2 h_2}{\omega_{n\theta 2}^2 - \omega_{ny}^2} \quad (\text{A. 0. 4-13})$$

2 最大竖向和水平线位移 $A_{z0\max}$ 、 $A_{y0\max}$ 的计算和选取,可分别以 y 代 x , θ 代 φ , 代入式(A. 0. 3-14)~式(A. 0. 3-21), 并按有关说明进行。式中: A_{z0} ——基础顶面控制点, 由于 y 向水平绕 x 轴回转耦合振动产生的竖向线位移(m);

$A_{y\theta}$ ——基础顶面控制点, 由于 y 向水平绕 x 轴回转耦合振动产生的 y 向水平线位移(m)。

$A_{\theta 1}$ ——基组 $y-\theta$ 向耦合振动第一振型的回转角位移(rad);

$A_{\theta 2}$ ——基组 $y-\theta$ 向耦合振动第二振型的回转角位移(rad);

$\rho_{\theta 1}$ ——基组 $y-\theta$ 向耦合振动第一振型转动中心至基组重心的距离(m);

$\rho_{\theta 2}$ ——基组 $y-\theta$ 向耦合振动第二振型转动中心至基组重心的距离(m);

$\omega_{n\theta 1}$ ——基组 $y-\theta$ 向耦合振动第一振型的固有圆频率(rad/s);

- $\omega_{n\theta 2}$ ——基组 $y-\theta$ 向耦合振动第二振型的固有圆频率(rad/s);
- ω_{ny} ——基组绕 y 轴回转固有圆频率(rad/s);
- $\omega_{n\theta}$ ——基组绕 x 轴回转固有圆频率(rad/s);
- J_x ——基组对通过其重心的 x 轴的转动惯量($t \cdot m^2$);
- K_θ ——基组绕 x 轴的地基抗弯刚度($kN \cdot m$),由现场实测获得;
- I_x ——基础底面对通过其形心 x 轴的惯性矩(m^4);
- $M_{\theta 1}$ ——绕通过 $y-\theta$ 向耦合振动第一振型转动中心 $o_{\theta 1}$ 并垂直于回转面 zoy 的轴的总扰力($kN \cdot m$);
- $M_{\theta 2}$ ——绕通过 $y-\theta$ 向耦合振动第二振型转动中心 $o_{\theta 2}$ 并垂直于回转面 zoy 的轴的总扰力($kN \cdot m$);
- M_θ ——绕 x 轴的激振器扰力矩($kN \cdot m$);
- e_y ——激振器竖向扰力 P_z 沿 y 轴向的偏心距(m);
- α_{xp} ——见式(A. 0. 3-9)的说明;
- $\zeta_{\theta 1}$ ——基组 $y-\theta$ 向耦合振动第一振型阻尼比;
- $\zeta_{\theta 2}$ ——基组 $y-\theta$ 向耦合振动第二振型阻尼比。

A. 0. 5 基组在扭转扰力矩 M_θ 和水平扰力 P_x 沿 y 轴向偏心作用下(图 A. 0. 5),产生绕 z 轴的扭转振动,其水平扭转振动线位移的计算,应符合下列规定:

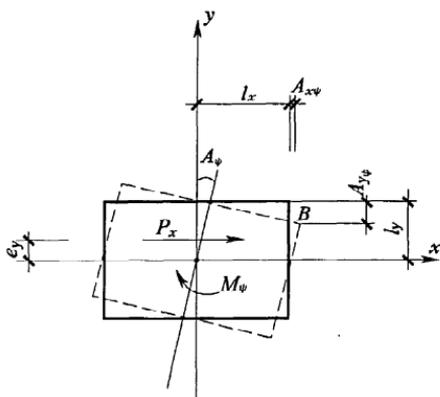


图 A. 0. 5 基组扭转振动示意图

注: B 点为基础顶面控制点。

1 水平扭转线位移可按下列公式计算：

$$A_{x\psi} = \frac{(M_\psi + P_x e_y) l_y}{K_\psi \sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{n\psi}^2}\right)^2 + 4\zeta_\psi^2 \frac{\omega^2}{\omega_{n\psi}^2}}} \quad (\text{A. 0.5-1})$$

$$A_{y\psi} = \frac{(M_\psi + P_x e_y) l_x}{K_\psi \sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{n\psi}^2}\right)^2 + 4\zeta_\psi^2 \frac{\omega^2}{\omega_{n\psi}^2}}} \quad (\text{A. 0.5-2})$$

$$\omega_{n\psi} = \sqrt{\frac{K_\psi}{J_z}} \quad (\text{A. 0.5-3})$$

2 最大线位移 $A_{x\psi\max}$ 、 $A_{y\psi\max}$ 的计算，应符合下列规定：

1) 当 P_x 和 M_ψ 为定扰力或由定扰力产生，且 $\omega = \omega_{n\psi} \sqrt{1 - 2\zeta_\psi^2}$ 时，可分别按下列公式计算：

$$A_{x\psi\max} = \frac{(M_\psi + P_x e_x) l_y}{K_\psi \cdot 2\zeta_\psi \sqrt{1 - \zeta_\psi^2}} \quad (\text{A. 0.5-4})$$

$$A_{y\psi\max} = \frac{(M_\psi + P_x e_y) l_x}{K_\psi \cdot 2\zeta_\psi \sqrt{1 - \zeta_\psi^2}} \quad (\text{A. 0.5-5})$$

2) 当 P_x 和 M_ψ 为变扰力或由变扰力产生，且 $\omega = \frac{\omega_{n\psi}}{\sqrt{1 - 2\zeta_\psi^2}}$

时，可分别按下列公式计算：

$$A_{x\psi\max} = \frac{(M_\psi + P_x e_x) l_y}{K_\psi \cdot 2\zeta_\psi \sqrt{1 - \zeta_\psi^2}} \cdot (1 - 2\zeta_\psi^2) \quad (\text{A. 0.5-6})$$

$$A_{y\psi\max} = \frac{(M_\psi + P_x e_y) l_x}{K_\psi \cdot 2\zeta_\psi \sqrt{1 - \zeta_\psi^2}} \cdot (1 - 2\zeta_\psi^2) \quad (\text{A. 0.5-7})$$

式中： $A_{x\psi}$ ——基础顶面控制点 B 由于扭转振动产生沿 x 轴向的水平线位移(m)；

$A_{y\psi}$ ——基础顶面控制点 B 由于扭转振动产生沿 y 轴向的水平线位移(m)；

M_ψ ——激振器的扭转扰力矩(kN·m)；

P_x ——激振器的水平扰力(kN)；

e_y ——激振器的水平扰力沿 y 轴方向的偏心距(m);

l_y ——基础顶面控制点至扭转轴在 y 轴方向的水平距离(m);

l_x ——基础顶面控制点至扭转轴 x 轴方向的水平距离(m);

J_z ——基组对通过其重心轴的极转动惯量($t \cdot m^2$);

K_ψ ——基础的地基抗扭刚度($kN \cdot m$);

$\omega_{n\psi}$ ——基组的扭转振动固有圆频率(rad/s);

$A_{x\psi\max}$ ——基础顶面控制点 B 由扭转振动产生沿 x 轴的最大水平线位移;

$A_{y\psi\max}$ ——基础顶面控制点 B 由扭转振动产生沿 y 轴的最大水平线位移。

A.0.6 基础顶面控制点 i 沿 x 、 y 、 z 轴各向的总振动线位移 A_i 可按下式计算:

$$A_i = \sum_{j=1}^n A_j \quad (\text{A.0.6})$$

式中: A_j ——第 j 个扰力或扰力矩,对基础顶面控制点 i 产生的线位移(m)。

附录 B 用竖向速度幅频响应曲线 相对宽度计算地基阻尼比

B.0.1 在竖向定扰力作用下,位移和加速度幅频响应曲线峰点不明显或消失($\zeta_z = 0.6 \sim 1.0$)时,若速度幅频响应曲线有峰点(图 B.0.1),可用曲线相对宽度按下列公式计算地基竖向阻尼比:

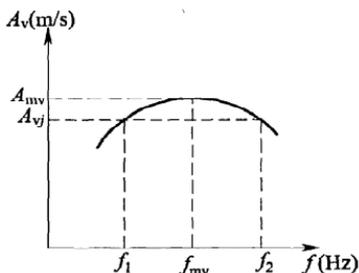


图 B.0.1 竖向速度幅频响应曲线

注: $f_{mv} = f_{nc}$ 。

$$\zeta_z = \frac{\sum_{j=1}^n \zeta_{sj}}{n} \quad (\text{B.0.1-1})$$

$$\zeta_{sj} = \left\{ \frac{1}{2 \left(\frac{1}{\beta_j^2} - 1 \right)} \left[\sqrt{1 + \frac{(\alpha_2^2 - \alpha_1^2)^2}{4}} - 1 \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (\text{B.0.1-2})$$

$$\alpha_i = \frac{f_i}{f_{mv}} \quad i=1,2 \quad (\text{B.0.1-3})$$

$$\beta_j = \frac{A_{vj}}{A_{mv}} \quad j=1,2,3 \quad (\text{B.0.1-4})$$

式中: ζ_z ——地基竖向阻尼比;

ζ_{sj} ——对应于 β_j (振幅比) 的地基竖向阻尼比, β_j 在速度幅频响应曲线峰点附近取点, 点数为 3;

- f_{mv} ——速度幅频响应曲线峰点频率(Hz);
 A_{mv} ——速度幅频响应曲线峰点振幅(m/s);
 A_{vj} ——速度幅频响应曲线上 β_j 所对应的振幅(m/s);
 α_i ——频率比;
 f_i ——速度幅频响应曲线上对应于 A_{vj} 的频率 Hz。

B. 0. 2 基础的参振总质量、地基抗压刚度和抗压刚度系数、单桩抗压刚度和桩基抗弯刚度,可分别按下列公式计算:

$$m_z = \frac{K_z}{(2\pi f_{mv})^2} \quad (\text{B. 0. 2-1})$$

$$K_z = \frac{P_c}{A_{mv}} \cdot \frac{2\pi f_{mv}}{2\zeta_z} \quad (\text{B. 0. 2-2})$$

$$C_z = \frac{K_z}{A} \quad (\text{B. 0. 2-3})$$

$$k_{pz} = \frac{K_z}{n_p} \quad (\text{B. 0. 2-4})$$

$$K_{pp} = k_{pz} \sum_{i=1}^n r_i^2 \quad (\text{B. 0. 2-5})$$

式中: m_z ——基础竖向振动参振的总质量(t),包括基础,激振设备及地基参振质量,当大于基础质量 m_f 的 2 倍时,应取 m_z 等于 $2m_f$;

K_z ——地基抗压刚度(kN/m);

P_c ——定扰力值(kN);

C_z ——地基抗压刚度系数(kN/m³);

k_{pz} ——单桩抗压刚度(kN/m);

K_{pp} ——桩基抗弯刚度(kN·m);

r_i ——第 i 根桩中线至基础底面形心回转轴的距离(m);

n_p ——桩数。

B. 0. 3 由第 B. 0. 1 条计算的模块或桩基的竖向地基阻尼比,当按第 4. 2. 13 条进行有关换算时,换算后的设计值 ζ_z ,可大于 0. 5,但不应大于 0. 8, ζ_{vp1} 及 ζ_v 可取为 $0. 5\zeta_z$ 。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对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:

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:

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:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”。

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

《动力机器基础设计规范》GB 50040—96

《地基动力特性测试规范》GB/T 50269—97

《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204

中华人民共和国国家标准

液压振动台基础技术规范

GB 50699 - 2011

条文说明

制定说明

本规范在制定过程中,对液压振动台基础进行了振动测试、调查研究、征求意见、总结了经验和教训。

自从 20 世纪 70 年代末我国改革开放以来,从国外引进不少液压振动台,时至今日,仍在引进,国内亦力争自行制造。由于液压振动台频率范围宽,扰力大,能进行定扰力、变扰力及随机振动等试验,因而用途广泛。大多用于车辆道路模拟、建筑物及构筑物地震模拟等试验,特别在国防工业,在兵器、航天、航空、航海及核动力等领域用得更多。

振动台基础为大型强振基础,设计要求较高,既要满足产品试验要求,又要保证建筑结构安全以及不影响工作环境、不影响周围居民生活。而现行国家标准《动力机器基础设计规范》GB 50040 不包括此类振动台基础,因此设计中缺乏依据,包括国外设计的在内,已出现不少问题:有的使地面裂缝、墙壁裂缝;有的使周围居民不安,只得限制使用;有的由于振动很大不得不加固改造,甚至拆除重建。这些问题大多属于设计不当、构造不周所致,因此需要制定规范以保质量。

由于液压振动台的频带宽,由低而高,基础无法避免共振,且激振力又大,需由地基阻尼控制,需充分发挥阻尼作用。为此多年前规范编制组建立测试研究课题,对国内不少振动台基础及模块基础进行测试,经分析与比较,认为可以提高,因此本规范对本类基础提高了地基阻尼比。

本规范在测试过程中,不断使用新仪器和新技术,例如用起始波形无滞后的位移传感器测冲击,用全息实时分析新技术同时得出位移、速度及加速度振动响应曲线,为多峰法提供便利。模块基

础的激振用新研制的激振力较大、频率较高、波形清晰、能携带的电磁激振器,避免了长期以来用激振频率不高的机械式偏心块激振器,在地基刚度高的地层上测不到峰点的缺点。

总的说来,本规范在理论分析及测试技术与方法上,引用了新的科技成果。

为了使用方便,并与国家规范协调,不致造成混乱,术语、符号、公式尽量参考或引用国家规范。

为了广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定,本规范编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明,还着重对强制性条文的强制性理由作了解释。但是本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

目 次

1	总 则	(45)
2	术语和符号	(46)
2.1	术语	(46)
2.2	符号	(46)
3	基本规定	(47)
3.1	一般规定	(47)
3.2	地基和基础的计算规定	(47)
3.3	地基动力特征参数	(48)
4	地基动力特征参数测试	(49)
4.1	一般规定	(49)
4.2	测试内容及数据处理	(49)
5	基础动力计算	(52)
6	基础构造	(53)
7	基础施工	(54)
8	检 验	(55)
附录 A	基础动力计算基本公式	(56)
附录 B	用竖向速度幅频响应曲线相对宽度计算 地基阻尼比	(57)

1 总 则

1.0.1 本条说明规范中心思想是既技术先进,又安全可靠。

1.0.2 本条说明本规范使用的有关范围。若用于类似的振动设备基础,应考虑有无不同的要求。

1.0.3 设计液压振动台基础时,除本规范已有规定外,尚应符合现行国家标准《动力机器基础设计规范》GB 50040—96、《地基动力特性测试规范》GB/T 50269—97、《建筑地基基础设计规范》GB 50007 及《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定,以及其他有关国家现行规范。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1~2.1.3 对本规范中需要定义或解释的主要术语作了规定。凡规范条文中已作规定或意义明确不需解释的未列出。

2.2 符 号

2.2.1~2.2.3 本规范中已将主要符号列出。为便于查阅按“作用和响应”、“计算指标”、“几何参数”分类列出。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 本条规定了设计液压振动台基础时所需要的工艺设备资料。

3.1.2 本条规定了设计液压振动台基础时所需要的建筑场地资料。

3.1.3 液压振动台基础必须与建筑物基础及上部结构分开,以避免基础振动直接传递到建筑物。当两者基础远离,基础底面可不同深,视具体情况在设计中确定。

3.1.4 基础用浅缝与混泥土地面分开,可避免地面相接处裂缝。不做隔振缝,可增加地基阻尼比及刚度。

3.1.5 有振动的管道、管沟与建筑物及其基础脱开,以免传递振动或产生局部共振。

3.1.6 因第 3.2.2 条规定基础振动速度不大于 $0.1g$,相当于 7 度地震时的加速度,故建筑物在构造上应不低于 7 度要求。根据实测,基础振动时屋面梁或屋架的加速度为 $0.05g \sim 0.1g$,故屋面荷载应增加 $5\% \sim 10\%$ 。

3.1.7 振动台基础地基必须有一定的强度,以免受振动沉降。

3.1.8 要求基组的重心与基础底面形心在同一竖线上,以免产生偏心。当不在同一竖线上时,可参照现行国家标准《动力机器基础设计规范》GB 50040—96 第 3.1.14 条处理。

3.2 地基和基础的计算规定

3.2.2 根据国内一些液压振动台基础的使用情况和测试情况,一般控制基础的振动线位移不大于 0.10mm ,振动速度不大于

10mm/s, 振动加速度不大于 $0.1g$ 是适宜的, 可保证建筑结构安全。如果振动影响邻近精密设备, 可根据设备要求, 考虑基础振动限制值, 必要时可对振动台基础进行主动隔振, 或对精密设备基础进行被动隔振, 一般可在工房位置布置上将两者远离。

3.3 地基动力特征参数

I 天然地基

3.3.2 图 3.3.2 是一条根据一些振动台基础和模块基础实测统计的曲线, 基础有一定的埋深和底面积, 并与地基承载力特征值对应。由于本规范的天然地基阻尼比及刚度系数均已提高, 因此对计算所得竖向或水平向线位移不进行折减。

3.3.7 此处系引用地基半空间等效集总体系莱斯默比拟法公式, 折减 50% 而得公式(3.3.7-1)。这是与多峰法分析的阻尼比比作比较并参考国内外资料得出的。

II 桩基

3.3.11 摩擦桩桩基竖向阻尼比是根据一些振动台桩基础和其他桩基础的测试得出的。

4 地基动力特征参数测试

4.1 一般规定

4.1.1 液压振动台基础比较大,设计前可在现场进行模块基础试验,以取得实际的地基动力特性参数,可使设计经济合理、安全可靠。

4.1.2 由于地基动力特征参数与基础大小及埋深关系很大,必要时可适当加大模块基础及埋深,在硬土层或岩层,亦宜加大,以使更符合实际。

4.1.5 模块基础上预埋螺栓位置,必须注明要求准确,以便激振器顺利安装。过去在测试中经常出现螺栓位置不准,安装困难,延误工作。

4.2 测试内容及数据处理

4.2.1~4.2.8 这几条说明测试内容及数据处理内容。

4.2.9 测试时最好能分别用定扰力、变扰力激振。激振时,一个测点最好能同时用两、三种传感器,能直接得出位移、速度及加速度幅频响应曲线,也可用全息实时分析新技术得出,较为简便。有的激振器只能做定扰力激振,可用定扰力作用下的加速度幅频响应曲线峰点频率代替变扰力作用下的线位移幅频响应曲线峰点频率。由于有的激振器只能做变扰力激振,可将变扰力(P)幅频响应曲线化为单位定扰力幅频响应曲线,即在变扰力线位移幅频($A-f$)曲线的 f 轴上取点 f_i ,在曲线上可得对应点 A_i ,相应的扰力为 $P_i = m_0 e (2\pi f_i)^2$, m_0 为激振器旋转部分质量, e 为其偏心距。 A_i/P_i 即为在单位定扰力作用下的线位移,逐点进行,可得单位定扰力幅频($A/P-f$)响应曲线。

4.2.10~4.2.12 在现行国家标准《地基动力特性测试规范》

GB/T 50269 中,第 4.5.3 条、第 4.5.6 条、第 4.5.10 条计算地基阻尼比是用只能计算单一位移幅频响应曲线的点峰法,本规范将其改用多峰法,用位移、速度及加速度多根曲线共同分析。

经推导,点峰法公式可由位移幅频响应曲线相对宽度峰点左半宽(图 1)导出,得出的阻尼比随频率增大而减小,在共振区偏低(图 2)。由于长期以来它是作为国家动力机器基础设计规范的阻尼比取值依据,因而规范值偏低。由于该规范不包括液压振动台基础,因此不宜引用,以免使基础设计偏大而不经济。与使用正常的按半空间理论等效体系比拟法设计的大型液压振动台基础实例相比,按其设计基础要加大很多,要多用几百乃至一千多立方米的钢筋混凝土,有的多用 1 倍以上。有的还需加大房屋跨度,更不经济。

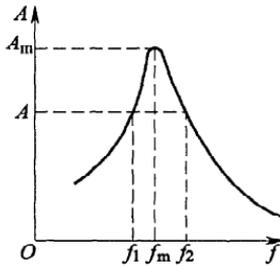


图 1 位移响应曲线相对宽度

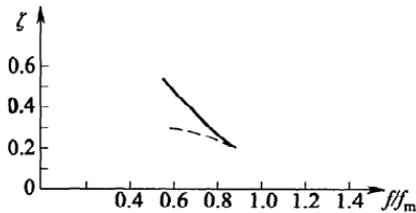


图 2 用点峰法分析位移响应曲线的 ζ

注:实线为变扰力 P_c 作用, f_m 为 f_{mc} ; 虚线为定扰力 P_c 作用, f_m 为 f_{mc} ; f_m 为峰点频率。

对于多峰法,因有多条曲线共同分析,由于只用品与峰的频率

比,不用振幅比,直接求出阻尼比。在公式推导中,只假定固有频率相等,其变化较小;未假定参振质量、地基刚度相等,因其随频率变化较大。根据实测与分析,用多峰法得出的阻尼比较大。多峰法系由双峰法发展而成,原始的双峰法,系用机械式偏心块激励器的变扰力曲线,并化作单位定扰力曲线,用两者峰点频率作计算,由于变扰力曲线有时峰点不明显,不便确定而不便计算,因此有的测试单位曾弃而不用,同样原因也不用点峰法。后来增测了定扰力的速度与加速度曲线,其峰点频率 f_{mv} 为 f_n , f_{ma} 可代替 f_{me} , 这样便可计算,并形成多峰法,因此是否用速度与加速度曲线是两法的区别。

又经实测波速,用于半空间理论等效集总体系比拟法得出的阻尼比一般很大。因其假定地基为匀质弹性体,实际上远非匀质,且有分层,有的底下尚有硬层,使振波反射,减少了辐射阻尼,应予折减,与多峰法分析的阻尼比作比较,约需折减 50%。以某实际大型液压振动台基础设计为例,用现行国家标准《动力机器基础设计规范》GB 50040—96、双峰法、半空间等效集总体系比拟法得出的阻尼比,包括埋深提高在内,分别为 0.19、0.51、0.95,前者过小、后者过大。因此目前以用双峰法或多峰法分析为宜,其值比现行国家标准《动力机器基础设计规范》GB 50040—96 中规定的大,较为经济,比等效集总体系的为小,不失安全。

当地基阻尼比较大,位移及加速度响应曲线峰点不明显,甚至消失($\zeta=0.6\sim 1.0$),此时点峰法或多峰法不能用,但只要速度响应曲线尚有峰点,可用其曲线相对宽度全宽导出计算公式,见附录 B。在此与位移曲线(图 1)不同,在共振区的阻尼比不低,可以使用。从而较大的阻尼比亦能计算,由于为首次试用,现只用于竖向。

5 基础动力计算

5.0.1 基础的动力计算可按现行国家标准《动力机器基础设计规范》GB 50040—96 中第 4.3 节有关条文进行,由于该节只是计算某一工作频率(定频)时的位移,而液压振动台的扰力频带宽,由低而高(变频),故需求出最大位移而作补充,为了便于说明和使用,已将补充公式插在其后,一并列入附录 A。

6 基础构造

6.0.1 本条系根据基础整体稳定性,并参考了国内不少振动台基础尺寸而提出的。

6.0.2 基础配筋需根据激振力大小和基础大小进行配置。

7 基础施工

7.0.1 激振器的连接是一个很重要的问题,不少激振器需经常移动,固定于基座板的 T 形槽内,而基座板又固定于基础上,通过基座板可使激振力均匀分布于基础。如果激振器位置固定不变,且出力不大,亦可直接固定于基础上。基础上的预埋螺栓必须准确,施工中不能扰动,需用定位模具。固定基座板的螺栓需加预应力,可使连接处长期受压而牢固,不致松动。

7.0.3、7.0.4 由于基础为大块式,与普通大体积基础不同,应具有耐振性,力求避免混凝土凝固时产生的水化热而裂纹裂缝,需从材料、施工操作、施工时间严格考虑。

7.0.7 可使基础在室内施工,夏天阴凉,有利降温,冬天便于取暖,有利冬季施工。由于基坑后开挖,基础底与邻近房屋柱基础底是否同深,有否影响,应事先考虑。

8 检 验

8.0.1 液压振动台的混凝土基础施工完毕,对基础应进行振动测试,按本规范第 8.0.2 条检查是否满足有关规定,并积累资料,为今后设计参考。由于涉及振动是否影响建筑结构安全,故此条测试为强制性条文,应予遵守。

附录 A 基础动力计算基本公式

A. 0. 2 式(A. 0. 2-5)为简化公式,将式(A. 0. 2-4)中的 P_z 等量于最大线位移时的变扰力值,即

$$P_z = m_o e_o \left(\frac{\omega_n}{\sqrt{1-2\zeta_z^2}} \right)^2 \quad (1)$$

将式(1)代入式(A. 0. 2-4)可得

$$\begin{aligned} A_{z_{cmax}} &= \frac{m_o e_o}{m \omega_n^2} \left(\frac{\omega_n}{\sqrt{1-2\zeta_z^2}} \right)^2 \cdot \frac{1}{2\zeta_z \sqrt{1-\zeta_z^2}} \\ &= \frac{m_o e_o}{m} \cdot \frac{1}{2\zeta_z \sqrt{1-\zeta_z^2}} \cdot \frac{1}{1-\zeta_z^2} \\ &= A_{z_{cmax}} \cdot \frac{1}{1-2\zeta_z^2} \\ \text{或 } A_{z_{cmax}} &= A_{z_{cmax}} \cdot (1-2\zeta_z^2) \end{aligned} \quad (2)$$

式中: $A_{z_{cmax}}$ ——定扰力作用时的最大线位移(m);

$A_{z_{cmax}}$ ——变扰力作用时的最大线位移(m);

m_o ——激振器旋转(运动)部分质量(t);

e_o ——激振器旋转(运动)部分偏心距(固定行程)(m)。

式(2)即式(A. 0. 2-5)的简写式,为定、变扰力等量时的两者最大线位移之间的关系式,可用 ζ_z 表示,两者可互求,可用以简化计算。

A. 0. 3、A. 0. 5 式(A. 0. 3-17)、式(A. 0. 3-21)、式(A. 0. 5-6)、式(A. 0. 5-7)亦为简化公式,推导方式(A. 0. 2-5)类似而从略。

附录 B 用竖向速度幅频响应曲线 相对宽度计算地基阻尼比

B.0.1 式(B.0.1-2)不适用于只取曲线左半宽而令 α_2 为零时的计算,另有公式(从略),取曲线半宽有误差,宜用全宽。

当 $\zeta_r < 0.6$,式(B.0.1-2)虽亦可计算,由于首次试用,暂不用。当 $\zeta_r > 0.6$,可使最大线位移接近或等于当量静位移;有时在工作频率限度内,不需质量也可控制加速度。

S/N:1580177·728



9 158017 772807 >



统一书号:1580177·728

定 价:13.00 元