

90-2866

首届全国建筑振动学术交流会 论 文 集

中国工程建设标准化协会建筑振动专业委员会
机 械 工 业 部 设 计 研 究 院

1995 年 11 月 2 日—6 日 江苏无锡

首届全国建筑振动学术交流会 论 文 集

1995 年 11 月 2 日—6 日

江苏·无锡

中国工程建设标准化协会建筑振动专业委员会
机 械 工 业 部 设 计 研 究 院

前 言

为了推动我国建筑振动标准化工作的开展,经建设部批准,民政部备案,“中国工程建设标准化协会建筑振动专业委员会”成立了。该委员会的主要任务是:组织开展全国建筑振动领域的科学研究和学术活动,受主管部门委托制订、修订、审查和管理建筑振动方面的国家标准和行业标准,开展国际合作和学术交流,承担建筑振动的工程咨询和技术服务,组织编写发行建筑振动标准化的刊物和专著等。委员会的成立对促进我国建筑振动领域的科技进步和开展标准化工作必将起到积极的推动作用。

为了总结交流我国在建筑振动领域取得的成果和经验,进一步推动该学科的发展,建筑振动专业委员会将每两年召开一次学术交流会。“首届全国建筑振动学术交流会”由委员会挂靠单位机械工业部设计研究院负责并会同中国兵器工业第五设计研究院、华北电力设计院、冶金部建筑研究总院、中国环球化学工程公司等单位的专家组成组委会。自1995年5月发出征集论文通知以来,收到论文100余篇。论文主要内容包括:(1)动力机器基础设计、动力荷载作用下建筑物的设计、动力设备上楼的多层厂房楼盖抗微振设计、建筑物和设备隔振等方面的理论和科研成果、设计经验及典型实例等;(2)天然地基和桩基动力特性测试的理论、方法和先进仪器设备;(3)振动控制与治理;(4)振动理论与计算机方法。本论文集收集论文90余篇,可供建筑振动领域中从事科研、设计等工程技术人员和有关大专院校师生参考。

中国工程建设标准化协会
建筑振动专业委员会
1995年10月

目 录

第一篇 动力机器基础设计

动力机器基础设计中的若干问题	刘纯康(1)
高转速压缩机基础设计的几个问题	杨文君 张大德(7)
旋转式机器框架式基础的振动特征	翟荣民(13)
曲轴活塞压缩机基础的定心计算	李静波(20)
高转速透平机器构架式基础的振动分析与选型原则	冯文龙(25)
透平压缩机基础的动力计算方法	陈加叶(31)
透平压缩机设计中的抗力值	陈加叶(36)
活塞式压缩机基础联合底板整体计算的设计研究	
..... 朱光化 张大德 刘耀府 殷士伟 王锡康	(41)
汽轮机框架式基础的动力优化	程耿东 亢 战 王 钢(48)
水平冲击力作用下机器基础的动力设计理论研究	陈 炯(54)
水平冲击力作用下机器基础的动力设计实例	陈 炯(55)
桩的竖向刚度计算方法	刘纯康(73)
水平旋转耦合振动下地基惯性及刚度的研究	王锡康 谷耀武(83)
天然地基各向动力刚度的相互关系	杨先健(92)
红外目标仿真装置和三轴飞行仿真转台基础动力分析	孙 正(102)
钢球磨煤机基础的动力计算	邵晓岩 赵 锦 高泉波(109)
地基土的非线性特征对地基刚度的影响	许礼深 赵滇生(115)
高频液压振动台基础的设计	王瑞兰(121)
地基动力刚度系数和阻尼比的确定方法及工程实例	朱腾明 赵伯祥 张万昌(126)
地基阻抗矩阵的简化计算方法	楼梦麟(132)
西里泵站电机振动分析	李传智(138)
竖向振动荷载作用下的桩基动力性能分析	孙 强(144)
粘性土地基的刚度系数及阻尼比的研究	李 政 虞银红(148)
空间构架式动力机器基础 CAD 应用系统的研制与应用	贺步学(153)
中小型汽轮发电机基础设计中的几个问题	程 飞(157)
框架式动力基础的振动设计与动力测试	李霄峰(162)

第二篇 隔振设计

隔振设计中的若干问题	刘纯康(168)
空气弹簧的研究及在防微振领域的应用	俞渭雄(180)
发动机试验台隔振设计	黎益仁 茅玉泉(189)
1吨自由锻锤隔振基础的设计与实践	熊世树 唐家祥(195)

多振源场地中空压机基础减振设计·····	赵本初	李乾南(202)
锻锤隔振后砧座振幅的合理范围分析·····	杨国泰 揭小平 何成宏 辛 勇	(211)
高速压机的振动抗力与隔振设计·····	杨国泰 揭小平 何成宏	杨雪春(218)
螺旋压力机的冲击激振与隔振计算·····	何成宏 杨国泰 杨雪春 揭小平	(224)
低速压机隔振设计的合理频率范围·····	何成宏 杨雪春 黄菊花 杨国泰	(231)
5吨自由锻锤的隔振设计与计算机模拟·····	辛 勇 杨雪春 揭小平 杨国泰	(234)
液压机突然失荷的力学模型与液压机的隔振设计 ·····	黄菊花 孙 玲 揭小平 何成宏	(240)
低速压机启动、寸动和冲裁工件时的抗力分析与振动计算 ·····	揭小平 黄菊花 杨国泰 何成宏	(245)
摩擦阻尼器最优隔振参数研究·····	程志辉	(256)
+33m 楼面上大型风机的隔振基础设计·····	许国良	(262)
淮南工程碎煤机基础隔振设计·····	李树林	(266)
电子部五所消声室隔振设计·····	张晓欣	(272)
基础隔震房屋与脉动试验·····	唐家祥 李黎	(276)

第三篇 多层厂房楼盖抗微振设计

多层厂房楼盖抗微振设计中的若干问题·····	徐建	(282)
对《多层厂房楼盖抗微振设计规范》遗留的一些问题的初探·····	郭英俊 郭长城	(287)
多层厂房振动设备上楼隔振设计·····	杨 平 杨先健	(289)
纺织厂房织机上楼的结构设计·····	张 昕 蔡 剑	(295)
北京大兴绒毛厂技术改造工程楼盖动力分析和实例·····	周树森 耿 林	(300)
肋形楼板上的振动隔离·····	林 颖	(309)
楼盖上设置机器基础的问题探讨·····	乔 敏	(318)
泵房楼盖振动问题的处理·····	张 驰	(323)

第四篇 地基动力特性测试

基础扭转振动的激振与分析·····	绝 臻 李席珍 王瑞兰	(332)
地脉动测试·····	吴成元 李友鹏	(340)
应用波速法确定地基土动力参数的分析·····	王振坤	(346)
地面振动传播衰减研究的概况和发展·····	茅玉泉	(352)
动力基础测试和分析的研究·····	吴邦达	(363)
地基动力特性参数的分析与选择·····	黄何清	(369)
瞬态速度导纳确定基础动参数·····	刘兴满 陈龙华	(373)
定量判定桩身缺陷的研究·····	祝龙根 刘利民	(379)
火力发电厂动力基础动态测试与研究 ·····	许士斌 时 战 李桂华 李炳益 孙元贵	(386)
高应变动测的局限性及对策·····	梅 钰 方 平 万剑和 梁建新	(395)

单桩承载力动静试验对比分析·····	梅 钰 方 平 万剑和	梁建新(402)
动力响应分析法在崑江三桥大型桩基检测的成功应用·····		谢昌举(409)
火力发电厂大型辅机基础动力特性测试与分析 ·····	李炳益 李桂华 许士斌 时 战	唐秀近(415)
桩基低应变检测信号定量分析实录·····	贺怀建 柴华友	罗津辉(421)
HPD-12 型浮点式桩基动力检测仪软件系统 ·····	丁美英	王靖涛(427)

第五篇 振动控制

工程设计中常见的振动危害及防治·····		茅玉泉(433)
多层钢筋混凝土框架振动控制·····	童洁英 徐永利	杨先健(440)
火力发电厂厂房结构振动故障诊断 ·····	李炳益 李桂华 王平一 许士斌	吴晓暖(445)
上海东方明珠广播电视塔振动控制·····	施卫星	朱伯龙(450)
天津电视塔动力特性的实测研究·····	陈志鹏 王宗纲 庄小岩 王 纲	俞志雄(456)
建筑结构振动控制系统的参数分析·····	方 重	吕西林(462)
北京四元桥的动力特性现场实测与分析·····	王宗纲 陈志鹏	沈黎敏(467)
某厂压印车间振动测试及治理·····		崔喜山(473)
环境振动影响测试实例·····	霍志人	单志康(480)
无人工激励测试建筑物的动力特性·····	李 黎	邬传宇(484)
××发电厂付厂房振动诊断及治理·····	孟吉复 杨国平	彭贤豪(490)
关于打桩地面运动对房屋结构安全影响的实用评估方法·····	翟厚勤	岳雪芳(496)
碳纤维混凝土轻型拱桥动态性能分析·····	蒙 云	陈世民(502)
来阳电厂 200MW 机组给水泵基础振动改进技术研究 ·····	林任彪 张国忠	杨继明(508)
加筋土桥台动载试验和分析·····		高怀龙(514)

第六篇 振动理论

高层结构与土动力相互作用分析的耦合法·····	黄东升	卢水章(518)
非比例阻尼建筑结构振动的摄动分析·····	曲乃泗 张志明	牛国顺(523)
载荷识别的时域法在水工结构中的应用·····	郭永刚 董毓新	曲乃泗(529)
用瑞利---有限单元法计算板壳结构的冲击动荷系数·····		叶伟年(535)
移动式振动分析系统 CRAS 在建筑工程中的应用 ·····		郑万潜(540)
单向变厚度板的自由振动·····	刘彦青	郑建军(545)
变厚度圆板的非对称自由振动·····		郑建军(551)
群桩扭转粘弹性动力分析的 Laplace 数值反演法 ·····		郑建军(557)
腐蚀环境下混凝土结构动特性 SFEM 分析 ·····	陈世民 蒙 云	(563)
上海石油化工股份有限公司塑料厂 2PE 基础、厂房振动测试 ·····	赵小云 潘抗胜	荣家贤(569)

动力机器基础设计中的若干问题

刘纯康

单位:机械部设计研究院

邮政编码:100740

摘要: 本文对动力机器基础设计中的一些问题, 诸如地基土动力参数, 桩基刚度, 高转速机器基础, 联合基础等问题作了简要的说明。

国家标准动力机器基础设计规范 GBJ40-79《以下简称“79动规”》经过了十几年的实验考验, 基本上满足了设计要求, 但在使用该规范的过程中也提出了一些问题, 经过多年来国内各有关单位长期调查研究, 提出了一些新的研究成果, 现简要介绍如下。

一、关于地基土动力参数

(一) 天然地基抗压刚度系数 C_z 值, 在“79规范”颁布使用后, 不断有来函来人反映, 规范中的 C_z 建议值偏小, 实测结果要比规范中的数值大 40%~200%, 特别是地耐力大于 400Kpa 的地基土和岩石类土差别更大。这次在修订规范过程中, 我们收集了不同地区的现场基础块体共 50 多个振动测试资料, 大部分的试验基础下地基土的承载力标准值 f_k 为 80Kpa~300Kpa, 岩石和碎石类地基的资料较少, 经过对 50 多个现场试验块体的数据统计分析, 对照“79动规”中的 C_z 值, 在地基土承载力标准值 80Kpa~300Kpa 范围内, 原“79动规”所提供的 C_z 值与我们目前统计分析所得的结果是十分接近的, 但要说明一点, 就是原“79动规”中的 C_z 值是没有考虑地基土的参振质量, 因此, 我们目前统计分析所得的 C_z 值也是没有考虑地基土的参振质量, 也就是说, 实测分析的 C_z 值要比“79动规”中的 C_z 值要大, 但由于地基土的参振质量还没有充分的数据来定量, 无法在规范条文中给出, 因此, 规范中所提供的 C_z 值也只能不考虑地基土的参振质量, 这就是规范中所提供的 C_z 值偏低的原因, 这次修改规范基本上维持原“79动规”的 C_z 值, 只是把碎石类土和岩石类土去掉了, 因为在这方面的试验资料不多, 加之岩石的类别和风化程度不同, 其 C_z 值差别很大, 目前还无法提出合适的数值, 另外, 鉴于地基土的性质和构造类别较多, 规范中所提供的 C_z 值并不能适用于所有的地质情况, 因此, 在这次修订规范时, 将原来在“79动规”中规定在一般情况下按表选用 C_z 值改为一般应由现场试验确定, 如设计者有经验, 且又无条件做现场试验时, 可按本规范采用 C_z 值。

(二) 天然地基阻尼比, 在“79动规”中仅按基础的振型分别给出固定的数值, 即竖向阻尼为 0.15, 水平回转向第一振型和第二振型阻尼比分别为 0.08 和 0.12, 而从长期积累的 50 多个块体试验基础资料分析, 发现阻尼比不仅与振型有关, 而且还与土的性质和基础的质量比有较大的关系, 因此, 这次修订规范作了如下修改:

粘性土:

砂土、粉土

$$\xi_z = \frac{0.11}{\sqrt{\frac{m}{pA}}}$$

$$\xi_{x\phi 1} = \xi_{x\phi 2} = 0.5 \xi_z$$

式中: ξ_z ——天然地基竖向阻尼比;

m ——基础质量比;

m ——基组的质量

p ——地基土的密度;

A ——基础的底面积;

$\xi_{x\phi 1}$ $\xi_{x\phi 2}$ ——天然地基水平回转耦合振动第一、第二振型阻尼

比。

二、关于桩基刚度

关于桩基刚度,在“79动规”使用期间和修改规范前有不少反映,认为原来规范中的桩基刚度计算中来考虑桩本身的特性,包括截面形状,材料及其弹性影响,因此在有些情况下,与实测值相差较多,规范组及有关单位对桩基动力性能进行了长期的研究,提出最理论和实测的研究报告,但由于工作还未做到家,因此,这次规范修订中对桩基刚度来能作修改。为了使下次修订规范有所参考,本人对桩基刚度计算方法的具体建议,可另见本人所写的《桩的竖向刚度计算方法》一文。

三、关于活塞式压缩机基础

当二台或三台压缩机建在同一基础底板上的联合基础时,其动力计算方法,原“79动规”规定联合基础可将基划分为单台基础进行动力计算,并将计算可得振动幅值乘以0.8,这个规定是按苏联58年规范搬过来的,大家认为不尽合理,经负责分编单位和国内有关单位多年来对联合基础的理论研究和现场块体基础测试以及室内模型试验,提出了几种动力计算方法,为了简化计算,经编制组和参加单位分析研究,提出了在一定条件下,可将联合基础按大块式基础进行动力基础,其必要的条件是:

(1) 联合基础的固有圆频率应小于或等于划分为单台基础的固有圆频率的1.3倍;

(2) 联合基础的底板厚度不应小于600mm,且底板厚度与基础总高度之比不小于0.15。

此外,对于立式压缩机以外的功率小于80KW各类压缩机基础和功率小于500KW的对称平衡型压缩机基础,当其质量大于压缩机质量的5倍,基础底面平均静压力设计值小于地基承载力设计值的二分之一时,可不作动力计算以及对于操作层设在厂房底层的大块式基础在水平扰力作用下提出了简化动力计算公式,这样可以大大节省设计人员的工作量。

四、高转速机器和压力机基础

这次修订规范增加了透平压缩机基础热模锻压力机基础两章,因为在原“79动规”使用过程中,我们收到不少同行来信及来人,询问有关转速在3000r/min以上的透平压缩机基础和大、中型热模锻压力机基础的设计问题,为此编制组在1988年就确定要增加这部分内容,因为在上述设备基础的领域里,国内已累积了不少实践经验和调研资料,

有条件在这次修订规范期间进一步工作来完成这一任务，编制组会同有关单位进行了大量的调研工作和实测工作，汇集了多年来对高转速透平压缩机基础和热模锻压力机基础的设计、施工和科研的经验和实测数据，经过分析研究，提出了一整套的设计规定，其主要内容如下：

(一) 透平压缩机基础一般采用钢筋混凝土框架式基础，其尺寸规定为：

1. 基础底板厚度一般为 $1/10 \sim 1/12$ 底板板长，且不宜小于800mm。
2. 柱子截面的宽度不宜小于柱子净高的 $1/10 \sim 1/12$ ，并不得小于450mm；
3. 基础顶板厚度不宜小于其净跨度的 $1/4$ ，并不得小于800mm；

对于扰力小于15KN的透平压缩机，其基础尺寸满足上述要求者，可不作动力计算。

对于必需作动力计算的基础，规范修订稿中对此也作了动力和静力计算的规定。

(二) 热模锻压力机基础，以往的动力计算只考虑压力机在压制过程中由于压力机立柱的弹性伸长后突然消失所引起的竖向振动，而近年来生产实践证明，在压力机启动阶段，即离合器接合后，经过空滑，工作滑动和大飞轮与曲轴完全接合共同升速时的振动，特别是水平振动也很大，有时甚至大于锻压阶段的振动，因此，规范修订稿中规定要同时复算起动阶段的基础竖向和水平向振动以及压制阶段的基础竖向振动，规范给出了振动计算公式和允许振动值。同时还规定了公称压力小于12500KN的压力机基础可不作动力计算，以减少设计人员的工作量。

五、地面振动衰减的计算

原“79动规”附录中提出的地面振动衰减计算公式在使用过程中反映都较好，但不足之处在于公式中的系数太多，分档太大，选择合适的系数值较为困难，经过近十多年来规范编制组有关人员的深入调查研究，提出了如下的计算公式：

$$A_r = A_0 \left[\frac{r_0}{r} \xi_0 + \sqrt{\frac{r_0}{r}} (1 - \xi_0) \right] e^{-f_0 \alpha_0 (r - r_0)}$$

式中 A_r ——距振动基础中心 r 处地面上的振动线位移(m)；

A_0 ——振动基础的振动线位移(m)；

r_0 ——圆形基础的半径(m)或矩形及方形基础的当量半径 $r_0 = \mu_1 A/r$ ，此处 A 为基础底面积，当 $A \leq 10\text{m}^2$ 时， $\mu_1 = 1.0$ ； $A > 20\text{m}^2$ 时， $\mu_1 = 0.8$ ， $A = 10 \sim 20\text{m}^2$ 之间可采用插入法求 μ_1 ；

ξ_0 ——无量纲系数，可按表1选用；

α_0 ——地基土能量吸收系数(s/m)，可按表2选用。

f_0 ——基础上机器的扰力频率(Hz)，对于冲击机器基础，可采用基础的固有频率。

系 数 ξ 表1

土 的 名 称	$r_0(\text{m})$							
	0.5及以下	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7及以上
一般粘性土、 粉土、砂土	0.7-0.95	0.55	0.45	0.40	0.35	0.25-0.30	0.23-0.30	0.15-0.2
饱和软土	0.7-0.95	0.5-0.55	0.40	0.35-0.40	0.23-0.30	0.22-0.30	0.20-0.25	0.10-0.2
岩 石	0.8-0.95	0.7-0.8	0.65-0.70	0.60-0.65	0.55-0.60	0.50-0.55	0.45-0.50	0.25-0.35

注:①对于饱和软土,当地下水深1m及以下时, ξ_0 取较小值,1m~2.5m时取较大值,大于2.5m时,取一般粘性土的值;

②对于岩石复盖层在2.5m以内时, ξ_0 取较大值,2.5m~6m时取较小值,超过6m时取一般粘性土的 ξ_0 值。

地基土名称及状态		α_0 (s/m)
岩石 (复盖层1.5-2m)	页岩、石灰岩	$(0.385-0.485) \times 10^{-3}$
	砂岩	$(0.580-0.775) \times 10^{-3}$
硬塑的粘土		$(0.385-0.525) \times 10^{-3}$
中密的块石、卵石		$(0.850-1.100) \times 10^{-3}$
可塑的粘土和中密的粗砂		$(0.965-1.200) \times 10^{-3}$
软塑的粘土、粉土和精密的中砂、粗砂		$(1.255-1.450) \times 10^{-3}$
淤泥质粘土、粉土和饱和细砂		$(1.200-1.300) \times 10^{-3}$
新近沉积的粘土和非饱和松散砂		$(1.800-2.050) \times 10^{-3}$

注: ①同一类地基土上, 振动大的设备 (如10t, 16t锻锤), α_0 取较小值, 振动小的设备取较大值;

②同样情况下, 土壤孔隙比大者, α_0 取较大值, 孔隙比小者取较小值。

六、设计中已不采用的内容

(一) 原“79动规”中的桩基刚度条文中有爆扩桩的刚度计算条文, 因近年来国内已基本不采用爆扩桩, 而这次新的地基基础规范中已取消了爆扩桩的设计内容, 因此, 在修订本规范时也相应删除了有关条文。

(二) 原“79动规”冲击机器基础一章中有水爆清砂池基础的设计规定, 现因铸造工艺早已不采用水爆清砂, 因此予以删除。

七、使用规范中的几点说明

(一) 在计算机器基础的动力反应时, 选择地基土动力参数要力求准确, 要做到这一点很不容易, 因此选择参数时要留有适当的余地, 例如, 对于周期性扰力作用的机器基础, 若地基刚度选择不当, 则可能出现这样的情况, 即计算的基组固有频率与机器的扰力频率是错开25%以上, 基组不在共振区工作, 而实际的基组固有频率接近机器的扰力频率, 从而导致基础发生过大的振动, 为了避免上述情况的出现, 对于重要的或大型的机器基础, 应采用现场试验所得的地基土动力参数。对于一般机器, 若要按规范选用地基土动力参数时, 宜按下列原则选取动力参数: a) 当设计 $n < 7.50$ r/min 的低频机器的基础时, 可使基础的固有频率高于机器的扰力频率, 即基组处于共振前工作, 此时, 地基刚度取得低一点是偏于安全的, 反之, 若基组的固有频率不可能超过机器的扰力频率时, 也即机器的扰力频率高于基组的固有频率, 则地基刚度取低了就不安全, 可见取较小的地基刚度并不是所有情况都是安全的, 设计人员要根据机器的特性作出判断, 使选择地基土的动力参数值可能发生偏差偏于安全方面。

(二) 规范中动力计算是采用质量——弹簧——阻尼器的模式, 地基土作为无质量的弹簧来模拟, 而实际上是有一部分地基土的质量参加振动的, 在规范中未考虑这个因素

(天然地基)，因此，计算所得的基础振动位移幅值要比实测值大，这是偏于安全的，在规范中有关锻锤基础的计算公式中，地基土的参振质量，基础埋深作用以及阻尼等因素都包含在振动位移和频率调整系数 K_A 和 K_λ 中，不必再考虑了。

(三) 除锻锤基础外，其他机器基础的振动位移计算公式是假定基础设置在地面上的，实际上绝大部分的机器基础都是埋置的，实测证明基础四周的地基土有降低振动位移和提高基组固有频率的作用，规范中提出了基础埋深后地基刚度和阻尼比的提高系数计算公式，但必须指出的是：若基础四周的回填土夯得不密实甚至是松散的，则会大大降低其埋深的作用，此时，采用规范的计算公式就不合适了。

(四) 锻锤基础设计中有关锻锤砧座下采用橡胶垫，其最小厚度规范中作了规定，但在选用时应特别注意不要用得厚，否则在使用时砧座会跳动得厉害，影响操作和降低锻锤的效率，当然也不能薄于规范规定的最小厚度。

高转速压缩机基础设计的几个问题

杨文君、张大德

(化工部建筑设计技术中心站 邮编100029)

摘要 高转速压缩机基础设计

在我国化工、冶金、炼油等工业部门早已大量应用 $r > 3000 \text{ r.p.m}$ 的高转速透平压缩机基础,其设计和计算方法无专门标准,一般是沿用 $r < 3000 \text{ r.p.m}$ 的“汽轮机组和电机基础”规范条文。实践表明二者虽有共性,但实际存在本质差异。自70年代由于大量国外装置的引进需要,研讨其合理的设计与计算被提到日程并形成多种观点。本文简捷全面地概述了这类基础的设计与计算历程、振动实例、单自由度、多自由度、简化计算以及不作动力计算的论据,对基础构造设计提出若干实用性的建议。

在修订“动规”(GBJ40-79)中增编 $r > 3000 \text{ r.p.m}$ 的高转速压缩机基础的设计是客观需要,本文为读者提供了修订“动规”第六章透平压缩机基础的背景材料。

一、高转速压缩机基础列入“动规”的必要性与可能性

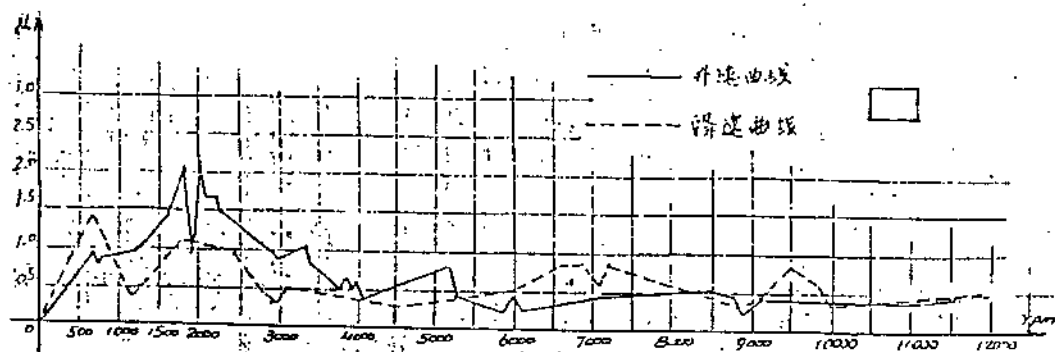
自七十年代中期我国引进第一批大化肥以来,化工、纺织、冶金、石油系统陆续引进乙烯、化纤、空分、化肥等成套装置,大功率、大容量的高速透平压缩机被广泛应用。近年来我公司承担的工程设计中,高转速压缩机多于活塞式压缩机,可以预料,在今后设计的化工装置中,高速透平压缩机仍将占有主要地位。

我们化工战线会同石油、冶金、纺织系统的同仁,自74年以来就开始对高速透平压缩机构架式基础的设计、实测、研究进行一系列工作,从设计会战开始到“透平压缩机构架式基础设计,计算资料汇编”的完成,从多次机组实测(共计九次实测66台)到“高速旋转式压缩机基础设计暂行技术规定”(化工部试行)(TC62A1-82)的颁布,标志我们对这类基础的设计有了一个质的飞跃。

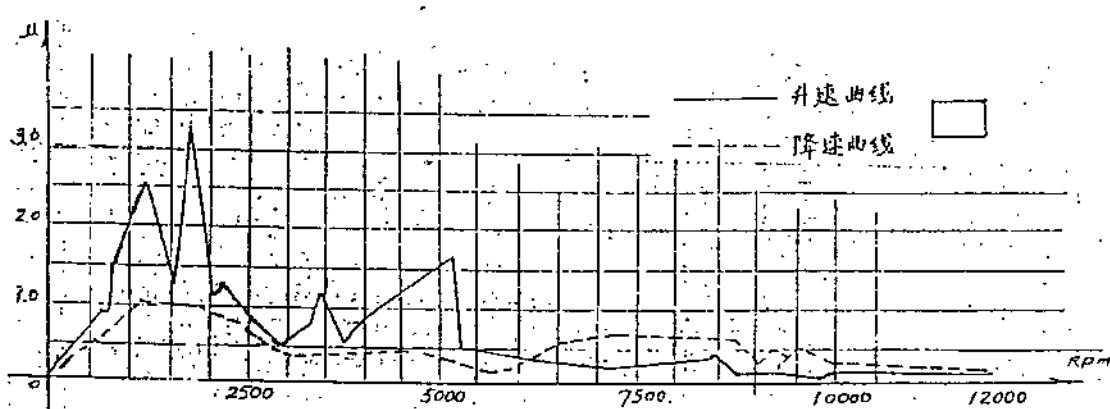
自83年开始进行“动规”修订工作以来,我们就列入“高转速机器基础”这个专题,围绕这个专题,我们进行了两方面的工作。一方面对近年来引进的88台机器基础进行资料收集和振动实测(下称88台资料)。另一方面在镇海石化总厂,对四台机组进行机器安装及灌浆前后,管道安装后及正常运转五种情况下的振动进行实测和分析,并进行多次讨论,使我们对这种机器基础的动力计算有了进一步的认识。因此,我们认为,在现今条件下,有必要也有可能把“高转速压缩机基础”作为专门的章节列入规范。

二、对单自由度和多自由度两种计算模型的讨论:

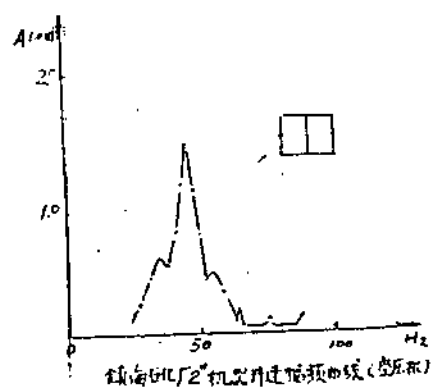
自七十年代中,化工部、冶金部分别从国外引进多台高转速压缩机、鼓风机时,有些外商对基础振幅要求极其严格,有些要求采用多自由度力学模型进行动力计算。



辽河化肥厂压缩机基础横梁跨中垂直频幅曲线



辽河化肥厂压缩机基础柱顶水平频幅曲线



辽河化肥厂2号机升速频幅曲线(空压机)



辽河化肥厂2号机降速频幅曲线(发电机)

图 1

面对这些大功率、大容量、高转速、且在企业中占重要地位，单机运转的大量机组，各设计单位非常重视，大多采用计算机进行多自由度的动力计算及强度计算。

1. 多自由度观点的一个重要论据，就是“机组的频幅曲线中，高频振幅不一定低于低频振幅”，这种情况在冶金部从瑞士引进的高炉鼓风机1:5模拟基础实验中，在同济大学与上汽搞的汽轮发电基础的模拟试验中，以及在镇海基础测振中确实存在。但是应该指出，虽然在高频型的共振峰大于低频型共振峰的情况，但即使在这种共振条件下，这些振动也没有超过规范规定的极限。

问题的关键在于：以上情况均是在单点激振情况下（无论是模型试验或实体基础）产生的结果，而实际机器属多点激振。由图1所示的四条机器开（停）车过程的频幅曲线表明：没有产生振动较大的高频共振响应，即高频共振峰小于基频共振峰（约为基频共振峰的1/2~1/3），且实测振幅小于计算振幅，机组振动异常平稳，完全满足设计要求。

这可以解释为在实际机器多点扰力作用下，虽然扰力方向相同，但高阶振型中各质点位移的相位不同，幅值会出现正负抵消的情况，故不会激发出明显的共振峰。这也可以解释为机器对基础（C砼厚顶板+机座底座+机壳+配管）支在数根柱上）的激振更接近于单自由度体系。

2. 二十年来陆续投产运行的已有百余台高转速压缩机基础，从安装到试车，正常生产已十多年，机组振动均很平稳，五、六十年代从苏联或东欧引进的或我国自制的同类机器基础也无一例外。从88台资料可见，这些机器由不同的国家制造，功率大小不一（从1300KW~17000KW），转速高低不同（有电机1500、3000rpm也有高转速4200~17000rpm），扰力大小不等（从3~80KN都有），有高速透平带动的、也有中速电机带动的，这些基础设计计算方法不同，有柔性基础（柱截面0.45X0.45左右）也有刚性基础（柱截面大至1.3X1.5m）。由于测振仪器精度有限，更由于实测振幅本身就很小，很难看出振幅变化的规律性，但有一个共同点，即机器正常运转时，机组振幅均很小，除辽阳石化公司有2台电机带动的压缩机基础振幅高达15.0 μ 左右以外（但其速度不算太大），其余八十台机组振幅均小于5.0 μ （见表1），83年以前实测的66台机组绝大部分也小于5.0 μ 。

表1 附录一 基础实测振幅分布情况（共82台）

	A<1.0 μ	A<2.0 μ	A<3.0 μ	A<4.0 μ	A<5.0 μ	A>5.0 μ
基础台数	13.0	46.0	68.0	71.0	79台	3台
所占百分率	15.8%	56.1%	82.9%	86.8%	96.3%	3.7%

鉴于机器升降速过程中高频共振不显著和机器正常运行时振幅很小这两个实际情况，越来越多的同志趋向于采用工程上简化易行的单自由度力学模型进行计算并希望进一步探索不进行动力计算（采用质量控制，体型控制）的可能性。

3. 采用计算程序对构架式基础进行多自由度计算，虽然在数学模型上力求精确，但是它仍存在假定方法的近似性，原始参数的随意性，如：实际的基础顶板很厚，但程序中没有按深梁考虑；机器主轴不是刚性，却按刚性轴考虑；扰力的取值和分布与安装精度关系极大；阻尼值实际上是随频率而变化却按常值考虑等等，还有一点十分重要的问题就是构架式基础上面有一个大的金属底座、机壳和管道的刚度，它们与基础的共同作用都大大改变了基础的动力特性，这在镇海测振中已得出明确的结论，这些近似性使多自由度计算的精确性失去实际意义。

4. 在我们引进机器谈判中，不少国家就明确要求用单自由度计算，只控制自频。如74年

引入美国Kellogg合成氨,尿素成套装置时,美方就明确要求采用单自由度的频率控制法,同时控制基础水平刚度及顶板重量。87年引进西德成套设备时,德方提供的标准计算书也是用单自由度方法计算纵横框架的竖向和横向自频,使其避开共振。

“U”部在82年正式推出的“高速旋转式压缩机基础设计暂行规定”中,提出用简化方法计算基础振幅,所提公式虽然是根据多自由度推导出来的,但其本质上也是一个单自由度计算公式。

三. 从算到不算的设想:

近年来,在对高速压缩机基础的设计、施工、实测、研究各方面积累较丰富的经验之后,不少同志越来越趋向于在一定的重量、体型控制下,可以不作动力计算的设想,这种想法的基点是:

1. 目前使用的高速机器,其转子平衡度相当高,扰力一般远小于计算值,在出厂前一般转子都要做低速动平衡试验,在某些情况下(如新产品的转子等)要做全速动平衡试验。由杭州制氧机厂的两个高速动平衡试验可以看出(见表2),转子经低速动平衡试验后,振动速度为1.4~3.77mm/s,经高速动平衡试验后,振动速度降低到0.55~1.4mm/s。由此可见,经全速动平衡后,机器扰力明显减小。

表2 杭州制氧机厂动平衡试验结果

	工作转速 n (rpm)	转子重量 (kg)	轴承跨距 (mm)	低速动平衡后		高速动平衡后	
				位置	振动速度	位置	振动速度
					mm/s N/cm ²		mm/s N/cm ²
吉化、化肥厂 空分透平转子	7758	1188.3	2282	联轴器端	~2.0 240	联轴器端	0.55 88
				自由端	~1.8 182	自由端	1.4 168
安阳钢铁公司 动力厂空分 氧气透平转子	14000	264.3	1427.1	联轴器端	~1.4 276	联轴器端	1.04 205
				自由端	~3.77 745	自由端	1.04 208

2. 构架式基础的基频远离机器扰频

一般构架式基础按单自由度计算时,其水平自频约为300~800rpm,垂直自频约为2000~4000rpm,远离高速压缩机的正常转速,因此机器正常运转时振幅均很小。如果我们在设计中把顶板厚度加大,柱子尺寸减小,基组自频下降,振幅则进一步减小。从多自由度的观点看来,顶板刚,则梁板自频将高于扰频,也是符合减小振幅的要求。

因此,采用合理的基础尺寸,安装上平衡度较好的机器,可以得到较为优良的振动体系,在这两个前提下就可以提出基础不必进行动力计算的界限:

- 扰力值小于20KN(由88台实测资料可见一般当扰力 $<30\text{KN}$,最大振幅 $<2.5\mu$)
- 顶板厚大于1.0m,柱子尺寸为500~700mm。
- 对振幅没有过于严格的要求。

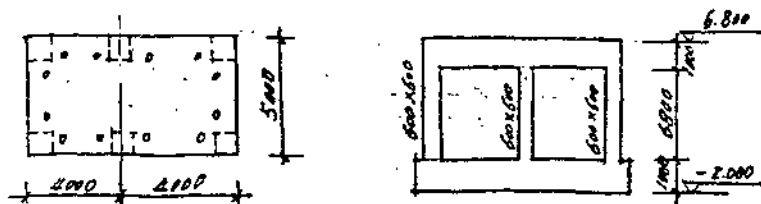
3. 国际上对高速压缩机基础亦有不必进行动力计算的趋向,如:

- 苏联动规经过几度反复,在58年、70年颁发的规范中明确规定:“每分钟转数超过1000

6. 日本神户制钢所提出“对平衡良好的高转速离心式压缩机,可按当量荷重进行基础的强度计算,不必再作强迫振动幅度的计算(即肯定是足够的)”。

由电机带动的高转速压缩机和以高转速平带带动的发电机。此时中、高转速的两类机器放在同一个基础上。由88台资料可以看出,电机的转子重量大于高转速转子,发电机抗力大于高转速平抗力,这类机器基础实测振幅一般较大,但振动速度仍满足规范要求。建议在动力计算中要按附录第4、第5章分别考虑,如需计算,将所得速度迭加。

从88台资料可见,高转速构架式基础梁和柱子尺寸均比一般结构大,其配筋量却不小,对于一般高度、跨度的构架式基础,我们可以根据经验,规定其最小配筋量,不再进行强度计算。下列基础和计算简图是根据这些资料归纳出来的,它可以包罗绝大部分实际的基础。



80.0KN/m

300.0KN

由此得出:

梁: $M_1 = M_2 = 139 \text{ kN-m}$

$M_y = 426 \text{ kN-m}$ $A_g = 20.3 \text{ cm}^2$ 实配 5 Φ 25 ($A_g = 24.54 \text{ cm}^2$)
($\mu = 0.43\%$)

