

建筑科学研究报告

REPORT OF BUILDING RESEARCH

1984

No 3—2

3×3米模拟地震振动台的研制

Research and Manufacture of 3×3m Seismic
Shaking Table

中国建筑科学研究院

CHINA ACADEMY OF BUILDING RESEARCH

提 要

本文梗概地论述了 3×3 米模拟地震振动台的工作原理、性能指标和各部分的研究设计、制造工艺、安装施工、试验的全过程；同时，简要说明了这座振动台主要部件的功能及今后的发展。

负责单位和参加人员：

中国建筑科学研究院工程抗震研究所

专题负责人：汪森华、陈永光、宇秉训

专题参加人：方天培、王亚勇、王栋梁、乔朋、李扬生、何少平、张自平、林其宽、封晓平、赵湘平、柴永祥、彭上达等同志。（以上按姓氏笔划为序）

参加研制单位：

机械工业部北京工业自动化研究所

机械工业部广州机床研究所

执笔：宇秉训

Research and Manufacture of 3 × 3 m Seismic Shaking Table

Institute of Earthquake Engineering

Abstract

This paper presents briefly the principle of operation of 3 by 3 sq. m. of seismic shaking table and its function, specification, as well as whole process of research, design, manufacturing technology, installation work and experiments of each part of this device. The development plan of this shaking table in the future and its function of main parts have also been introduced here.

目 录

前言.....	(1)
一、主要性能指标.....	(2)
二、工作原理.....	(2)
三、机械部分.....	(3)
四、液压系统.....	(6)
五、电控、数据采集与处理系统.....	(7)
六、基础.....	(8)
七、测试与使用情况.....	(9)
参考资料.....	(9)

3×3米模拟地震振动台的研制

前 言

地震会给人类的生命财产造成严重的灾难和巨大的损失，人们对唐山地震至今记忆犹新。在人类尚未认识地面运动规律之前，工程抗震和地震预报同样占居不可忽视的地位，是一个问题在两个方面的研究。因此，加强工程抗震的科学研究，提高我国工程抗震的科学技术水平，是一项迫切而艰巨的任务。

借助模拟地震振动台，可以不受客观条件的限制在室内再现地震状态，可以按计划对工程结构物或其模型进行动力试验；同时，又能充分地反映试验对象的动态特性。模拟地震振动台是研究工程结构物的破坏机理、验证抗震理论、考核抗震措施的不可缺少的现代科学实验手段。这正是世界多地震国家都在积极建造模拟地震振动台的主要原因。

根据国家计委下达的研究任务，经原国家建委主管部门的核准，由中国建筑科学研究院抗震所负责组织研制模拟地震振动台。

这座振动台的总体设计，既要从当前的急需和现实条件出发，又要考虑到长远的发展。为此，振动台的研制工作贯彻“分期研究”、“分期建设”的原则。从总体来说，最终要有可能建成一座中型的三向振动台，在基础、动力源、机械部件诸方面都留有充分余地；从当前的研制任务来说，以实现单向水平正弦运动为基本目标。图1为该振动台第一期工程外貌；图2是该振动台今后发展为三向振动台的方案。

加振器和静压导轨两项，分别由机械部北京机械工业自动化研究所和机械部广州机床研究所负责，抗震所参加并统筹设计研究。经过参加本项目研制工作的全体同志四年多的努力，并通过各项设备的运转试验、联机调试，以及满负载试验与测试，各项技术指标均已达到预定的要求，于一九八三年八月十一日至十四日在北京通过部级鉴定，获得良好的评价。

这是我国完全依靠自己的力量，研制成功并已投入使用的第一台模拟地震振动台。

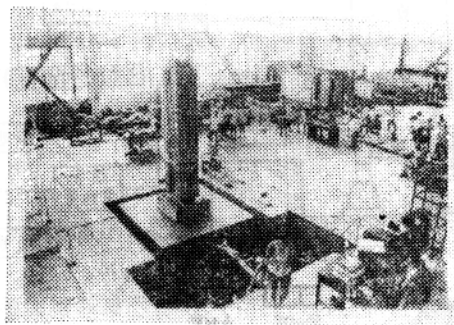
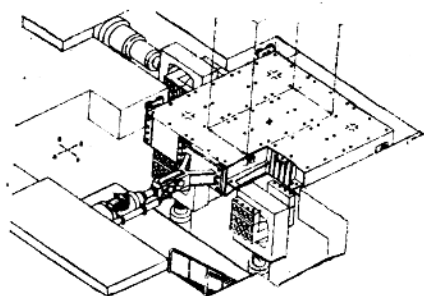


图1 3×3m模拟地震振动台第一期工程



注—加振油缸

*—高压支撑

技术指标:

平台尺寸 3m×3m

载重 15t

位移 $A=100\text{mm}$

速度 $V=20\sim40\text{cm/S}$

加速度 $a=1g$

频率 $f=0.1\sim30\text{Hz}$

倾覆力矩 30T—m

图2 本振动台今后发展为三向振动台的方案

一、主要性能指标

平台尺寸: 3 × 3 m、最大负载15t、最大推力25t、倾覆力矩30t·m、最大位移±100mm、最大速度 40cm/s、最大加速度 1g、频率范围 0.1~20Hz, 波形: 正弦波。

二、工作原理

工作原理如图3所示。正弦信号等通过模拟控制装置将微弱的电信号送往电液伺服阀, 使来自泵站的高压油转换并放大为流量和压力输入加振器, 加振器通过联接部件、钢平台、静压导轨支撑、侧导向装置等, 使振动台按指令实现预期运动。同时, 阀系和加振器位移、加速度等检测信号, 作为负反馈送回模拟控制装置, 组成大、小闭环回路的自动控制系统。振动台的运转、各部分的保护和联锁则是通过电气操纵系统来实现的。此外, 试验对象的动态反应的检测, 是通过数据采集系统、A/D、D/A、转换器和DJS130计算机及其附属仪器组成的数据采集与处理系统来实现的。

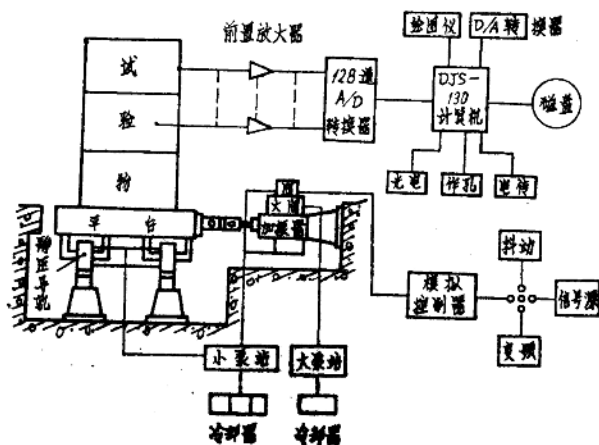


图3 3×3米模拟地震振动台的工作原理简图

三、机械部分

(一) 加振器和伺服阀

加振器由上、下轴承座、静压轴承、缸体、缸盖、活塞杆、底座及位移传感器等组成。缸体上装有三级伺服滑阀，高压油通过模拟电控使活塞杆产生往复直线运动。加振器的额定推力为25t，行程为±10cm。加振器、伺服阀是振动台的心脏部分。

加振器的直径为200mm，两端与轴承座联接，并用密封圈密封，侧面安装过渡板和伺服阀。等截面双作用活塞杆直径为150mm，活塞与缸体之间用两组密封圈和挡圈密封。活塞有效面积为203cm²，活塞杆最大冲程为±11.6cm，缓冲腔单边为9mm。

静压轴承，是四个对称油腔并有径向进油的毛细管节流结构，压力油通过毛细管节流器进入油腔，将活塞杆“浮”在中间位置。当受到径向负荷时，油腔压力发生变化平衡径向负荷。经试验，静压轴承可承受300kg—M的颠覆力矩，油膜刚度为177kg/μ。由于加振器是水平安装在基础上，容易造成油腔压力不等和漏油现象，因此，静压轴承的回油采用抽油的办法，使回油腔形成负压。这样不但提高了轴承刚度，而且还避免了漏油。

位移传感器是差动变压器形式，其连杆芯棒与活塞杆联接并随同运动，外套和其它零件固定在底座上。传感器有三组线圈，初级线圈通过载波讯号，当芯棒随活塞杆运动时，两组次级线圈内即产生电流，通过位移测量仪即可测出位移量的大小，其线性度为4%。

伺服阀为DYC—10型三级大流量电液伺服阀，包括控制阀和功率阀。其工作压力为210kg/cm²，空载流量为1150l/min、90°相频宽为60HZ。控制阀DXC—10—10是动圈两级滑阀式，两级之间用直接位移反馈。激磁式动圈力马达的激磁电压30V，电流1A，动圈额定控制电流300mA，-3db幅频宽230HZ，90°相频宽120HZ。功率阀是直径为40mm的滑阀，阀芯位移由内装的差动变压器检测，再经解调放大实现电反馈。整个三级电液伺服阀额定输入电压为1.25V，满振幅-3db幅频宽110HZ，90°相频宽55HZ，输入信号振幅为 $\frac{1}{2}$ 额定值时，幅频宽130HZ，相频宽60HZ，输入为 $\frac{1}{4}$ 额定值时，幅频宽180HZ，相频宽75HZ。

加振器油柱共振频率： $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2\beta A g}{LW}}$ ，式中油的体积弹性模量 $\beta = 7000\text{kg/cm}^2$ ，

$A = 203\text{cm}^2$ ，管路长度 $L = 1.2 \times 11.6 = 13.92\text{cm}$ （1.2是考虑油管等效长度），满载15吨时可动部分重量 $W = 25,000\text{kg}$ （包括活塞杆重量、平台重量、静压导轨可动部分重量和负载重量）

$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2 \times 7000 \times 203 \times 981}{13.92 \times 25000}} = 14.6\text{HZ}$ 。空载时，可动部分重量 $W_0 = 10000\text{kg}$ ，

$f_0 = 22.56\text{HZ}$ 。加振器系统（包括油柱、活塞杆、联接件及螺栓、平台局部变形等）刚度为210t/cm。

3×3m振动台特性曲线和加振器单台验收（用2.5t负载）时的特性曲线如图4所示。

伺服阀验收时，进行了温度零飘、压力零飘、位移—电压曲线、频率响应和阶跃响应试验。

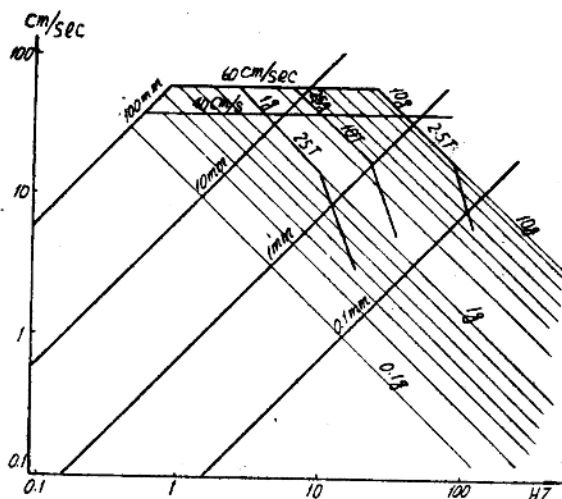


图4 3×3米振动台特性曲线

(二) 钢 平 台

钢平台是与静压导轨、加振器相联的承载装置，在振动台中起着承上启下的作用，台面尺寸和承载能力是标志着振动台规模的重要指标。

钢平台要求是重量轻、刚度大，而且要容易施工。钢平台的设计、计算是交替进行的，即先有一个初步设计，在这个基础上进行总体计算和局部变形计算，又在计算基础上修正钢平台的结构设计。现将设计制造与计算结果简要说明如下：

1. 钢平台的结构、尺寸与制造工艺

钢平台尺寸为 $2.91\text{m} \times 2.91\text{m}$ ，厚度为 0.6m ，底面施工孔为 $0.5 \times 0.6\text{m}$ ，净重 4.6t 。为提高整体刚度，仅在平台底面开施工孔，其余诸面与隔板都成封闭的箱形结构。在承载力大的凸台部位都有四条主筋板，以提高平台的局部刚度。为适应安装静压导轨，将平台分成九个等分格。平台上、下面板和四周侧板厚 25mm ，其余隔板和筋板均为 10mm ，凸台为 30mm ，全部采用普通碳素钢，焊缝为对角焊。焊缝高度分别为 6mm 和 12mm ，平台四周采用单U型破口自动焊接，以保证焊透焊平。面板与凸台的焊接，是先在凸台上打了四个 50mm 直径的孔，用塞焊法消除间隙，然后凸台四周再对角焊。钢平台焊毕后需经校正，并进行热处理消除焊接应力。最后对三个方面的凸台进行机械加工、打孔、攻丝，完成整个工艺过程。

钢平台备有36个直径为 40mm 的穿通平台的光孔，36个 $\text{M}36 \times 3$ 的专用螺孔，都是为安装试件设置的。侧面加工了两对平面为实现侧向定位时作为基准面用。

钢平台加工后，做了精度检查。平台在钳工平台上划线测量时，四角边缘处高低误差为 1mm ，平台在 3m 全长上的不平度 $\leq 5\text{mm}$ ，轮廓尺寸误差为 2mm ，机加工面的不平度和不垂直度为 0.02mm 。

2. 钢平台的计算

钢平台的计算包括总体计算和局部变形计算。

(1) 总体计算结果表明：平台在最大负载 15t 、最大倾复力矩 $30\text{t}\cdot\text{m}$ 时，有足够的安全系数，平台面板负载每平方米不大于 6t 是安全的，平台的自振频率为 200HZ ，当负载和平台

总重为25t时, 自振频率为69HZ。

(2) 局部变形计算: 局部变形是按实际尺寸和设定的三种边界条件进行的。其中按较恶劣情况计算, 最大挠度处的位移为28 μ 。

(三) 静压导轨

振动台的平台支承装置, 是振动台又一重要部件。通常采用连杆球铰或静压导轨。

连杆球铰具有结构简单、自重轻、成本低的优点。但由于连杆落差产生的几何干涉和球铰间隙的非线性影响, 即使电控加以补偿, 也难以完全克服, 在高频时尤为突出。

静压导轨能克服连杆球铰的弊病, 以提高系统的控制精度, 而得到迅速发展和广泛应用。但它的自重较大, 结构复杂、成本较高。

这座振动台的发展方向是三向同时运动。为此, 经综合分析, 选择了静压导轨的支承方式。

静压导轨是由U形导轨、矩形框架和两组半球静压支撑组成。导轨固定在平台上, 框架固定在加振器的活塞杆上, 两组半球分别装在导轨上下的框架上。半球体的平面和球面上开设油腔, 螺旋节流器分别装在球体和球座内。通入高压油后, 半球的平面与导轨、球面与球面之间, 形成四层高刚度油膜。平台在导轨支撑下, 在两层静压油膜之间滑动, 摩擦系数为 10^{-5} , 用几公斤的力就可以将几百吨的振动台推动。此外, 球座和导轨允许转动, 以便于安装调试。这种结构的静压导轨, 不但可以起到支撑作用, 而且可以使激振力忠实地传递到平台上。

该静压导轨的承载能力为40t; X向的位移为 $\pm 10\text{cm}$; Y向的位移为 $\pm 5\text{cm}$; 允许转角为 $\pm 1^{\circ}30'$, 可以满足这座振动台的三向运动要求。

由于这种形式的静压导轨在我国是第一次研制, 对研制过程中的试验工作十分重视。在正式设计之前, 用有限元法在电子计算机上进行分析计算的基础上, 又做了有机玻璃模型, 利用相似理论和全息摄影方法, 取得了设计依据。静压导轨做毕后, 曾做过静载试验、动载试验和偏载试验, 找出了油膜厚度、温度、粘度、压力、流量的关系, 验证了主要性能指标: 其油膜刚度为800kg/ μ 。

在安装于振动台之前, 静压导轨进行了严格的清洗和反复调平。试运转时, 当平台和负载为20t, 被静压支撑浮起后, 一个人不费力气便可推动自如, 达到了设计要求。

总之, 静压导轨应用于振动台的实践证明是可行的, 有效的。

(四) 导向装置和联接部件

1. 导向装置

3 $\times$ 3m 振动台要求首先实现单向水平运动。因此, 要用导向装置来使振动台严格保持沿主轴线方向的往复运动, 并用导向装置限制台面水平扭动和平移。今后, 振动台进一步实现双向或三向运动时, 将采用闭式静压导轨来导向, 以克服倾覆和扭转力矩。目前采用的导向装置将随之拆除。

由于该导向装置是一种临时设施, 因此, 设计了一种比较简单的滚轮式导向机构。对称安装在平台两边的基础侧墙上, 间距为2.5m, 滚轮与平台侧面的滑板成滚动接触, 实现平台的往复直线运动。

滚轮式导向机构是在滚轮支架上装一个直径为140mm的滚轮, 滚轮内的轴承通过心轴与支架联接在一起。支架通过四条地脚螺栓和蝶形弹簧固定在基础侧墙上, 通过调整斜铁和蝶

形弹簧上的螺母,来消除导轮和滑板的间隙。调试和试验结果表明,这种导向机构是可行的、实用的。

2. 联接部件

平台与加振器活塞杆之间的联接,本应采用静压导轨,因第一期工程要求的是单向水平运动,因此,在设计上采取了过渡性设施。随着振动台的改造和发展,联接部件亦将被静压导轨所取代。

联接部件是由三角形叉架、中间联接板、叉形接头、销轴和止退螺母将平台和加振器活塞杆联接在一起,各个另件具有足够的刚度,并采用细牙螺纹和止退垫圈等措施,防止松动和消除间隙。此外,联接部件和静压导轨的轴向尺寸是一致的,以便将来实现互换。

由于静压导轨通油后将平台浮起微小高度,如果台面与加振器采用刚性联接,则在大推力的活塞杆上,将产生不可忽视的弯矩。因此,在设计中采用了两个销轴一个自由度的绞接方式,以便自动调整中心,从而保证了加振器活塞杆不承受大的弯矩。加振器与平台之间采用绞接后,如果绞接的各个过渡环节间隙稍大,将严重影响振动台的性能。因此,在设计和制造中都采取了严格的措施来减少销轴和配合孔的间隙。

四、液 压 系 统

根据模拟地震振动台的工作特点,要求系统负载能力大、流量大、清洁度高,静压导轨系统不允许突然泄压,工作时间又要根据试验对象的不同而不同。为此,采用恒压变量泵和蓄能器组、冷却系统、多级过滤以及电气操作联锁保护系统等组成了一个完整而庞大的液压系统。

(一) 主油路系统

主油路系统分为主油路(对功率阀供油)和辅助油路(对一、二级伺服阀、加振器的静压轴承供油)两部分。

主油路有两套油源。一套为大泵站,主泵为两台ZB740轴向柱塞变量泵,排量 $481\text{cm}^3/\text{rad}$,压力 $210\text{kg}/\text{cm}^2$,流量分别为 $707\text{l}/\text{min}$ (260kw)和 $471\text{l}/\text{min}$ (185kw),容积效率96%。由于该泵自吸能力差,故配2cy-38/2.8-1两台齿轮泵为吸口的前置泵。另一套油源为两台YCS-F80液压柜,自成系统并联于供油系统。两套油源不同时工作,可根据试验对象的不同和调试需要,开闭闸阀分别供油,但共用一个蓄能器组。

油箱尺寸考虑到油的温升、杂质的沉淀、气泡的消除以及蓄能器组油的回流等因素,确定为长2.5m、宽1.8m、高1.2m。油箱上附设空气滤清器、液位继电器、水冷却器、电加热器、铜热电阻以及监视仪表、电磁阀等组件。

滤油器是防止油的污染、保护系统不出故障的重要部件。尤其是液压伺服系统的伺服阀和静压轴承、静压导轨,对油的清洁度要求很高。为此,本系统采用多级滤油器的保护系统,包括吸油口100目的铜丝网滤油器、柱塞泵进油口 40μ 的低压粉末冶金滤油器(FL-800D)、高压管道则设置 $10\sim 20\mu$ 的高压粉末冶金精滤油器(FL-700D)和 10μ 高精度双向纸质滤油器、并有报警装置,最后接入功率阀进油口。此外,在一、二级伺服阀、静压轴承和静压导轨的进油口处,都装置了 10μ 的高精度的纸质航空滤油器,这些滤油器都要定期更换,以保证油的精度。

管道是根据流速、流量、压力等要求设计的。高压管道采用20号冷拔无缝钢管、低压管

道采用镀锌水煤气管和部分紫铜管。此外,还配制了高低压橡胶软管、塑料软管。通过法兰联接、丝扣联接、焊接、扩口和软管接头等方式与管道联接在一起。

管道先进行了预安装,拆后经酸洗、中和、涂油、吹扫,二次安装后又经过长时间的循环清洗,然后把油排除干净,仔细清洗油箱和液压件,并更换了滤油器,重新注入新油又循环一段时间,方投入使用。系统中采用30号工程液压油,这种工作油液虽然本身精度等级较低,但由于采取上述措施,从而保证了液压系统正常运行。

该液压系统中用了40l、10l、0.6l皮囊式蓄能器。这种蓄能器体积小、重量轻、响应快。在主油路中用九个40l蓄能器作为贮能装置,能在短时间内释放出能量,以减小主电机的功率。在二级伺服阀进油口处安装了0.6l蓄能器,能起到缓冲作用。在功率阀进、出油口处安装了10l蓄能器,以起到缓冲和消除脉动作用。在静压导轨的液压柜出油口处,安装了两个40l蓄能器,是防止停电或出现故障时作应急能源,以保护静压导轨。

辅助油路是由一台YGS—F80液压柜供油,该液压柜不但提供一、二级伺服阀用油,而且通过减压后提供静压轴承的用油。液压柜是由手动变量轴向柱塞泵SCY—14—1B,配30kw电机、水冷却器、纸质滤油器、温度控制装置及溢流阀、减压阀、单向阀、电磁阀等组装而成。当压力为210kg/cm²时,泵的最大流量为80l/min。

(二) 静压导轨液压系统

由一台液压柜给四组静压导轨供油,液压柜的规格、性能与主油路液压柜相同,只是多设置了两个40升蓄能器。根据负载不同,其压力和流量也发生变化,一个静压导轨需流量在7.5~20l/min的范围,系统采用50号机械油。

在该液压系统中,特别注意油的过滤精度。在液压柜上装有ZU—H100型高精度的纸质滤油器,滤油精度为10 μ ;在每个静压导轨进油腔之前,都装有YL—5C型高精度的航空纸质滤油器,滤油精度亦为10 μ ,从而保证了液压系统中油介质的清洁度。

每个静压导轨都配有一组(两个)小齿轮泵,作为抽吸静压导轨上下油腔排出的液压油,并使之输送回油箱。

液压系统中设有保护装置。在压力油路上装有远程压力表和电接点压力表,使操纵台上随时可以通过二次仪表显示系统压力;当油路压力低于一定值时,可立即报警。此外,在静压导轨的承压油膜不正常或出现导轨金属面接触时,电回路接通,随即报警。

静压导轨的管道设计,以及管道安装施工的工艺过程,基本上与主油路管道处理相同。

五、电控、数据采集与处理系统

(一) 模拟控制系统

本振动台是属于位置控制的伺服系统,首先分析了只有位移反馈的传递函数。由于系统的固有阻尼小,在共振区出现较大的峰值。为了提高系统的稳定性,降低共振峰、扩展频宽,拟采用速度和加速度状态变量反馈来实现。加速度传感器安装在活塞杆上,测得的加速度值反馈到伺服放大器;同时,又利用位移信号和加速度信号,通过微分和积分合成一个低漂移、低噪音的宽频带的速度信号,也反馈到伺服放大器,从而构成了三参量反馈控制系统,控制振动台按指令信号振动。

(二) 电气操纵控制及保护系统

液压源是模拟地震振动台的动力源，液压源又依靠电力驱动。因此，设计了电气和液压系统相结合的一套电气操作控制及保护系统。这套操作控制系统，可以按指令要求各个部件按一定顺序工作，保证振动台正常运行。一系列的控制、自锁、互锁等环节都是通过电气操纵控制和保护系统来实现的。

(三) 计算机数据采集与处理系统

在模拟地震振动台的振动试验中，采用计算机可以大大地提高整个系统的灵活性、精确度及使用效率。概括起来，计算机可以起到以下四点作用：1. 动态地精确采集多通道实验数据；2. 对试验数据进行处理；3. 提高随机振动波形的再现精度；4. 对试件进行保护，以防试件没有达到预定的目标而被破坏。

该系统采用内存64KB的DTS-130计算机，配有容量为5MB的磁盘；128通道的模—数转换器；一个通道的数—模转换器；光电输入机；绘图仪；电传打字机和穿孔机等设备。在这个系统中还研制了模—数、数—模的接口电路及数据采集与处理专用软件。

六、基 础

(一) 基础的设计与施工

在基础设计中，考虑了将来改造发展为三向振动台的可能性。基础为开口箱形钢筋混凝土结构，并沿主振X向扩展，以增大刚度，降低振幅；另一水平Y向的基础，考虑以试验室中6,000t-m的静力台座为基础安装加振器；垂直Z向留有高度余地。

基础的外廓尺寸为12000×7000×4350mm，底板厚为1500mm；内廓尺寸为6630×5000×2850mm。用200号混凝土连续现浇，钢筋混凝土总重为750t。此外，在基础X向两端留有填充铁砂或灌铅的基坑，以备增加基础的质量。

根据勘探报告，基础下卧层的工程水文地质条件很差：地下水位在-1.9~2.1m，而且在-3.5~4m和-6.2~7m处，有两层饱和轻亚粘土层，具有触变特性。为了防止其在振动情况下液化，打了9m长、断面尺寸为250×250mm的钢筋混凝土桩，桩顶高-3.9m，间距为1.5×1.5m，共35根。桩头截去的外露钢筋与基础地脚螺栓支架接在一起。在基础施工时，采取井点降水的方法开挖基坑和浇捣混凝土基础。

基础中的预埋地脚螺栓及其支架，是施工中的关键地方。如果地脚螺栓与基础联接不牢，在高频激振下的位移和加速度将会被吸收。设计上要求地脚螺栓要有足够的刚度，而且对地脚螺栓及其支架的安装精度要求也很高。为了保证地脚螺栓间的相互几何精度，制作了两组大型支架(3000×3000×600mm，2860×1000×960mm)，把96条M42高强度地脚螺栓分别固定在支架上。安装时调整两组支架在X、Y、Z方向的立体交叉尺寸和精度(三个方向的不同轴度误差为±1mm、每组螺栓中心距误差为±1mm)，最后又与基础钢筋、桩头钢筋焊在一起，防止混凝土捣固过程中的位移。

在施工中用经纬仪、水准仪、方水平、钢丝线、线坠等同时使用相互校准。

(二) 基础的动力分析

本基础采用质量—阻尼—弹簧模型，考虑台面负载与基础藕合作用(包括水平与倾覆回转运动)。计算了基础在振动台作简谐运动和模拟地震运动时的动力反应。计算结果表明，体系自振频率分别为：7.72HZ、5.32HZ(垂直振动)，7.90HZ、11.02HZ、(水平振动)，

基础最大水平位移（最大水平激振，且在共振频率 7.90HZ 情况下）为 0.4mm，最大水平加速度为 100gal，约为台面最大加速度的 5%，台面最大倾角为 4'，基础最大倾角为 4"~5"，约为台面最大倾角的 1.8%。

基础建成后，曾用撞击法和在激振过程中扫频等方法进行了测试，其结果与计算基本上是吻合的。

七、测试与使用情况

3×3m 模拟地震振动台，从八三年初开始试运转以来，排除了许多故障，反复地做了几十次调试。曾对系统进行了满负载、空载和最大功能、状态反馈、控制方法、台面纵横振动、基础振动以及对环境的影响等主要项目的试验。此外，还记录了振动台的位移和加速度波形，测试结果表明，这座振动台第一期工程的设计指标均已达到，个别指标有所超过。

这座振动台通过鉴定的一年多来，曾做过若干钢筋混凝土构件试验、有机玻璃模型试验、中国银行钢筋混凝土（600×4500×400mm）柱子花岗石饰面的抗震试验，以及结点可靠性的试验。研究了试验物的动力特性和破坏机理，获得了必要的数据，在工程抗震的研究工作正在发挥着作用。

参 考 资 料

1. 工程抗震研究报告〈3×3 米模拟地震振动台研究报告〉83—18 1983、汪森华、陈永光、宇秉训等
2. 工程抗震研究报告〈3×3 米模拟地震振动台试验报告〉83—23 1983、张自平、李扬生、封晓平
3. 模拟地震振动台加振器的研究报告、总结、说明书、验收试验报告 1983、机械工业部北京工业自动化研究所十室
4. 大流量伺服阀研究报告、总结、说明书、试验报告 1982、机械工业部北京工业自动化研究所五室
5. 模拟地震振动台静压导轨支撑块研究、总结报告 1980、机械工业部广州机床研究所四室



0.302