

ISSN1000-4750

《工程力学》增刊 CODEN GOLIEB

CN11 - 2595/O₃

第六届 全国结构工程学术会议 论文集

第三卷

PROCEEDINGS OF THE FIFTH NATIONAL CONFERENCE ON
STRUCTURAL ENGINEERING

Vol.3

ISSN 1000-4750



中国 南宁
NANNING, CHINA
10.22 ~ 10.26, 1997

第三卷目录

六 动力与稳定

赵跃堂 钱七虎 李志成 卢红标	平面波加载器底部垫层材料设置研究	001
李志成 钱七虎 赵跃堂 卢红标	隔震沟减震效率有限元研究	006
张善元 李 珠 孙华东 李 耀 王显耀 朱 健	充液金属薄壁圆柱壳轴向压缩屈曲性能实验研究	011
李桂青 李秋胜	抗风结构时变动力可靠性理论	015
何放龙 邹银生 扶长生 黄 斌	高层建筑多塔联体结构地震反应分析	021
王树和 严宗达	压电层合薄壳振动主动控制的有限元分析	028
刘郁馨 张 旭 吕志涛	悬挂楼层的动力反应分析	033
施卫星 朱伯龙 杨续义	上海东方明珠广播电视塔筒体与 环梁节点抗震性能研究	038
崔红玉 严宗达	结构中复杂动力系统处理方法的探讨	043
姚学锋 杨 桂 姚振汉 戴福隆 方 竞	先进复合材料自行车架的动力学特性分析	050
周 坚	单自由度高柔桥墩的动力稳定	056
李 黎 黄尚斌 唐家祥	高耸结构振动控制中的多频调谐阻尼器	061
王肇民 刘学利	摆式水箱对电视塔的风振控制研究及设计	066
张系斌 黄玉盈	用FE/LT方法求液固耦合动力响应	071
郭玉荣 邹银生	复杂体型砌体结构房屋弹塑性地震反应时程分析 ..	076
张家华 朱筱俊 吕志涛	多高层建筑预应力混凝土框架转换层结构抗震设计 时程分析法的计算建议	081
刘文锋 何玉敖	多态混合控制的控制机理	086
李书进 李桂青	结构控制中圆柱形浅水TLD的减隔震	091
王凌云 林建华	基于模糊神经网络的任意干扰力下的结构主动控制 ..	096
谢慧才	两个同心圆环的磁弹性稳定性	102
刘庆华 徐 虎	单柱式钢筋混凝土桥墩在水平地震作用下的 损伤分析	108
王 伟 王焕定 张永山 李 暄	钢管混凝土短柱支座基底隔振性能研究	113
宋金峰 屈铁军	减震消能系统在结构抗震加固中的应用	118
王森林 杜喜凯 李忠献	地震激励下高层建筑TLD控制及其优化	124
李宏男 王苏岩 贾俊辉	基础滑移隔震砌体房屋抗倾覆高宽比限值	132
李宏男 王苏岩 代金峰	利用TMD减小高层建筑地震反应的研究	136
李志成 陶 莉 郑必勇	桩基小应变动测计算机仿真及教学软件	141

韦鹏生	混沌神经网络在结构地震反应分析中应用初探....	146
张琨联	单层厂房纵向抗震计算方法探讨.....	151
张文芳 程文壤	工程结构场地地震特征的研究理论和计算分析....	157
龚志文 邹 坪 叶 平	底二层框-墙组合墙房屋的抗震计算.....	163
曲庆璋 梁兴复 章 权 曲 蕾	矩形悬臂板的非线性动力分析.....	172
史三元 董挺峰	煤矿工业厂房楼盖竖向动力特性分析.....	175
孙凤明	集中质量对楼盖竖向自振频率的影响研究.....	179
黄熙明 周福霖	TMD—结构体系模型试验研究和计算机仿真分析	183
叶凌云 乔天民 张善元 秦冬琪	土坯窑洞弹性地震反应分析.....	190
李福厚 伍 俊 裴广勇 陈洛燕	浅埋结构共振的大变形计算.....	195
刘 林 陈英俊	主动TMD对桥梁地震反应的控制分析.....	200
李春祥 刘艳霞 代玉娟	结构振型控制系统的稳定性分析.....	205
余 震 宋一乐 杨国平 李正农	高层建筑摆锤减震方法的试验研究	
孟吉复 陈 谦 刘丽艳 陈宁旭		212
李正农 宋一乐 龚义斌 孟吉复	百色水利枢纽第二级升船机前筒柱部分	
赖耀祺	抗震可靠度分析.....	216
彭大文 王 忠	中承式钢管砼肋拱桥的地震响应分析.....	220
高向宇 周福霖 闫维明 许详生	一栋68层劲性钢筋混凝土建筑结构模型	
	抗震性能试验研究.....	224
田 琪 朱东生	桥墩刚度对铁路车桥系统横向振动的影响.....	229
韩传峰 李正升 施卫星	框架结构隔震性能对比试验研究.....	234
王正伟 杨建明 瞿伦富 吴玉林	转桨机组桨叶开度对桨叶振动特性的影响	
贺永成		239
胡彦明 卢永友 孟吉复	多层结构顶部吸震器减震特性研究.....	244
阎兴华	可控消能减震剪力墙结构体系分析.....	249
张系斌 罗兴隆	半无限长弹性杆与文克勒地基上的地基板	
	横向冲击力的近似计算.....	254
陈 隽 李 杰	结构动力参数识别方法研究.....	257
彭建设 张敬宇 杨 杰	解环板动力响应的时域配点DQ半解析法.....	262
陈彦江 张春秋 张春鹏	公路桥梁车辆荷载的动力作用.....	265
王立忠 罗 健	设外挂板高层钢结构弹性地震分析.....	271
罗永坤 徐亚军	异型柱框架剪力墙结构抗震分析.....	276
张鸿儒 阎贵平 夏 禾	高速铁路桥梁支座动力特性的试验研究.....	282
阎贵平 夏 禾 姜 勇	盆式支座对桥梁动力特性的影响.....	288
孙 卓 阎贵平 张鸿儒	板式支座对桥梁动力特性的影响研究.....	295
夏 禾 阎贵平 张鸿儒	支座位移对桥上高速列车运行安全的影响.....	301
曹万林 刘玉彬 桓 伟 王宝营	异型柱空框架模型抗震性能试验研究.....	308

蒋兆栋 杨泽华 陈以一
晏 华
方 秦 柳景春 张亚栋

叶清华 荆建梅
陈世鸣
赵红华
曹双寅 邱洪兴 傅曼丽
黄襄云
刘丰年 李宏男
何益斌 何放龙

杨晓英 易伟建

周小文 濮家骝 包承纲
张孔修 潘祥林
贾立宏 翁 翥
张 勇 李茂生 刘建武
邹金林 俞季民 刘祖德
宋琪瑛 张志刚 刘 矛 王成华

谢国立 单静美
高兑现 贾明彦
钟岱辉 张晓杰 刘卫东
干 钢 吴世明
刘瑞钾 张大鹏 崔双立 李志祥
刘 丛
刘炎海 王 旭
黄金枝 史文清 张家春
王炳龙 周文杰 陈龙安
王 旭 于志强 刘炎海

李希元

王钧利

轻钢加层后结构基频的简化分析	313
中国金融大厦非线性时程反应分析	317
爆炸荷载作用下钢板与钢筋混凝土组合梁 动力响应分析	321
立式重型精密金属切削机床的动力模型研究	326
钢-混凝土组合梁的相关屈服失稳	331
肋的刚度对扁球网壳稳定性的影响分析	335
外套框架增层结构的抗震性能与控制	339
自动复位基础隔震机构的动力分析	344
高层与高耸结构利用TLD抗风研究	350
某高层办公楼屋顶增设铁塔后结构非线性 地震反应分析	355
带裂缝梁振动特征值灵敏度研究	360

七 地基与岩土

盾构隧道衬砌土压力确定方法	366
地基规范和新规范体系的几个问题	372
基桩动测中爆破冲击载荷的有限元优化	377
锚固技术在深圳机场边坡加固中的应用	382
预沉降群桩基础试验研究	387
变刚度垫层上单独基础工作机理试验与 设计方法研究	392
包头第二热电厂扩建工程地基处理选型	398
桩基承台三维等参元弹性应力变形分析	402
状态向量法在桩与地基相互作用分析中的应用	406
成层地基中桩顶导纳曲线的特性研究	411
旋喷桩复合地基承载特性的试验研究	417
群桩基础的矩阵分析	423
深基坑支护体系的动态优化控制研究	427
土工固格网整治铁路路基床下沉病害的研究	432
套阀管法实施桩侧灌浆提高钻孔灌注桩 承载力的机理研究	438
上海市区饱和软粘土的三维非线性粘弹塑性 流变分析	443
混凝土灌注桩承载力的可靠性分析	453

牛志荣 马晓蓉	两种碎石桩处理软弱地基比较.....	459
何金华 吴逸群	软土基坑工程数值模拟研究.....	464
姜忻良 郑 刚 张新旺	各向异性模拟的复合地基分析方法.....	471
李 宏	太钢1549mm热连轧地基方案的研究.....	476
秦 荣 谢肖礼	桩与桩相互作用分析的QR法.....	481
朱彦鹏 张安疆 王秀丽	m法求解桩身内力与变形的幂级数解.....	486
朱彦鹏 王秀丽 张安疆 周茗如	人工灌注桩水平承载力的试验研究	
宋 或 林厚秦 贾广学 沈 莉		493
王国体 陈 兵	地基非线性变形参数实测及应用.....	501
李宏辉	考虑竖直力的桩基础有限元计算方法及工程应用...	506
陈奕柏	强夯加固软土地基效果的综合检测.....	511
叶清华	人工挖土大孔灌注护坡桩对隔振效果的试验分析...	516
邓正贤 崔京浩	深基坑土钉支护稳定性分析.....	519
张 群 崔京浩	土钉支护边界位移控制法有限元分析.....	524
吴 刚	裂隙岩体模型的卸荷破坏试验研究.....	529
沈振中 吴中如	一种适用于硬岩的粘弹塑性模型.....	535
陈新法 干 钢	飞机跑道动土压试验研究.....	540
翁 翕	围岩与衬砌相互作用的粘弹性分析.....	546
段兵廷 王年云 邹金林	条形均布超载作用下挡土墙上土压力分析.....	552
李 哲 简 政 黄松梅	岩石与混凝土 I-II 复合型界面裂缝临界 断裂曲线的研究.....	557
麻凤海 范学理 王泳嘉	开采引起地表沉陷的时间空间过程分析.....	562
谷 倩 谢伟平 彭少民	群桩承台的三维有限元分析.....	571
李维滨 庞同和 蒋永生 杨海庆	钻孔压浆桩荷载传递机理的试验研究.....	575
李 进 蒋永生 陈德文	深基坑支护系统应用软件的技术实现.....	580
朱 钢 盛克苏 彭少民	深基坑支护桩设计的平面杆系有限元方法.....	585
王建新	碎石桩单桩P-S曲线推导与应用分析.....	590
白 冰 李遇春	减荷条件下上埋式圆形结构物周边土压力分析.....	594
宋建夏 史耀宇 柴立志	多层砖混房屋考虑结构整体作用的墙下 条形基础设计探讨.....	599
吴爱凤 施宏峰	超细水泥的特性及其在软土地基处理中的应用.....	604
何金华 季冲平	水泥土搅拌桩挡墙的侧向位移分析与计算.....	609
宋二祥	无限地基数值模拟的传输边界.....	613
张 鑫 牟宏博 孔 超	土钉支护技术在软土中的应用.....	620
崔 岩 吴世红 宋二祥	排水渗流对地下结构外水压的影响.....	624
陈新法	动土压传感器主要技术参数的理论探讨.....	629

平面波加载器底部垫层材料设置研究

赵跃堂 钱七虎 李志成 卢红标

(南京工程兵工程学院人防工程系, 210007)

摘 要: 合理选择平面波加载器底部的垫层材料可以大大提高爆炸荷载作用下各物理参量的测试精度, 尤其是土压力传感器频响不是很高的情况下选择合适的垫层材料可以避开部分高频分量所带来的影响。本文简单介绍了本单位 $\Phi 900$ 土平面波加载器调试阶段底部反射垫层材料选择的理论研究工作。

关键词: 加载器, 垫层, 反射

一、前言

爆炸荷载作用下, 土中一维波传播问题一直是地下防护结构研究的重点[1]。在爆炸远区, 爆炸冲击波对地表的作用使土中产生的压缩波, 一般可以近似为一维压缩波。土中压缩波传播特性以及土与土中结构相互作用问题的研究可以得出结构上的荷载及在此荷载作用下结构的破坏性态, 此类研究从方法上讲有两类: 第一类是理论方法研究, 如借助于动力有限元方法对土中压缩波传播特性或土与结构相互作用问题进行研究, 或者进行简化的解析分析; 另一类研究是实验研究, 通过再现一维波的方法来研究土中压缩波传播的有关问题, 理论方法研究的特点是可重复及灵活性好, 但不合理的数学模型会使计算结果与实际情况严重不符。而实验方法由于是实际情况的模型重现, 在消除了模型引起的误差及试验综合系统误差后, 一般会得出较合理的结果。国内外有关土中波的传播问题研究均为借助于理论与实践方法相结合的方法。

$\Phi 900$ 土平面波加载器正是为进行此项研究而研制的设备[2], 由于使用软硬环箱体, 从而在试验中可以最大限度地控制试验箱体产生的二维效应(或称剪切波平面传播效应)。该设备试验箱体试验段长9.0米, 内径0.9米, 箱体为硬环(铝合金环)与软环(橡胶环)相间粘结而成的纵向柔软而横向刚硬的组合体, 加载使用模爆器中导爆索起爆和栅板过滤加载技术, 以保证所形成爆炸波的平面性, 波传播中的平面性则由箱体纵向刚度小而径向刚度大(模拟径向应变为零)这一特殊构造来保证, 这是由于试验加、卸载过程中箱体中试验介质纵向变形与箱体同步, 故试验箱体边壁的摩擦效应(剪切效应)变得很小, 从而真正实现试验箱体内土中压缩波传播的平面性。

Φ900土平面波加载波器的研制可进行以下的试验工作: (1) 土中一维平面波传播特性的试验, 其中包括峰值应力衰减、质点速度变化、压缩波波速、波前和持续时间随深度的变化等; (2) 试验材料参数变化对波传播的影响, 如不同类型土对土中波传播的影响、成层土系中层面的反射、折射现象; (3) 不同埋深的刚壁及刚性障碍物上的正反射试验以确定土中结构上的荷载; (4) 用于研究不同深度的土静动单轴应力-应变关系等。

Φ900土平面波加载器试验时形成的爆炸荷载具有丰富的高频成份, 使得试验量测过程中误差分析与消除相对来说变得很重要, 特别是底部边界接近于刚性反射而造成的高频响应会严重影响试验结果的分析, 尤其是土压力的量测。因此, 试验中常用设置吸收反射垫层的方法来消除这种影响。本文研究正是基于这一考虑在试验箱体的底部设置一吸收反射垫层, 从而滤去底部反射应力的低频成分, 减少测试误差。

本文拟选用的垫层材料为比实验介质刚性小的材料, 置于试验介质底部附近, 这样在一维波情形下反射垫层相当于一支承于非线性弹簧上的一软弱夹层, 从而达到吸能与耗能的目的。反射垫层材料的选取会影响试验结果, 本文借助于动力有限元方法对不同垫层材料及厚度情况进行了数值研究, 为合理选择反射垫层材料提供必要的理论依据。

本文第二部分介绍了理论计算模型, 其中包括有限元模型及计算参数选取依据。第三部分介绍了动力有限元方法计算的结果, 并对结果进行了分析。第四部分为本文的结论。

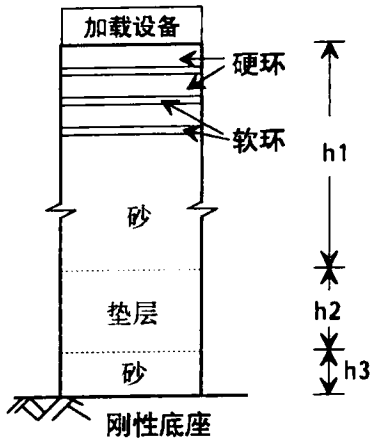
二、理论计算模型

由于土平面波加载器(见图一)使用了软硬环相间的圆柱形箱体, 故计算模型能简化为空间轴对称问题, 侧向约束为水平方向支撑边界, 垂直方向可以运动, 箱体底部为钢筋混凝土地板, 由于其刚度比砂大得多, 因此可以认为是刚性支撑。计算中采用的爆炸荷载波形为有压时间的三角形荷载, 升压时间为5毫秒, 峰值应力根据设计要求取1MPa, 正压作用时间取20毫秒, 见图二。试验箱体中砂的本构模型采用双折线型递减硬化弹塑性模型, 见图三, 其中材料参量由平面波加载器静力调试结果[3]确定, 取变形模量78.5MPa, 比重1385Kg/m³, 泊松比取0.3。

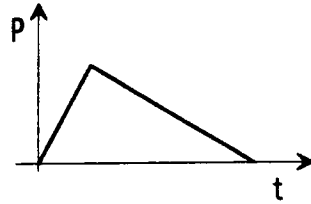
网格划分后, 共有节点 1031个, 八节点等参单元300个, 采用非线性动力有限元程序[4], 对不同的h1、h3、h3及不同的垫层材料参数分别进行计算。考虑到试验设备的实际情况和传感器布置的要求, 我们取h1为常数。

三、计算结果及分析

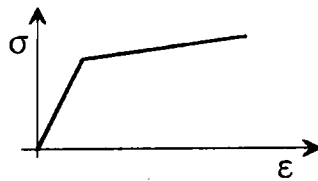
数值计算结果列于以下图四~图七中,其中图四为无垫层与有垫层的计算结果比较,图五为不同厚度垫层的计算结果,图六、图七分别为垫层材料的两个主要材料参量变形模量 E 和泊松比 ν 参数取不同数值时的计算结果比较,图四中变量 Y 代表所观察点距离地板的距离。



图一、平面波加载器示意图

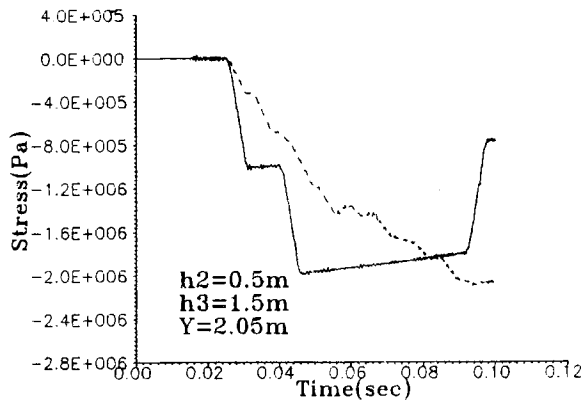


图二、荷载波形示意图

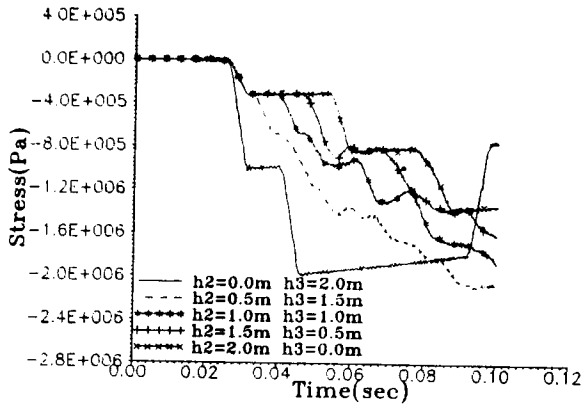


图三、砂应力-应变关系示意图

由图四中无垫层的计算结果(实线)可见底部明显有刚性反射,且反射系数近似等于2,垫层的变形模量取 7.85MPa ,比重 500Kg/m^3 ,泊松比 0.3 ,计算结果显示有垫层存在时垂直方向应力时程曲线(虚线)明显变缓,没有出现过陡的变化。

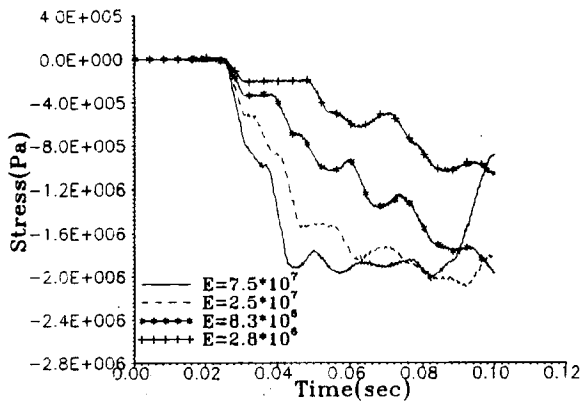
图四 有、无垫层时深度 $h = 2.05\text{m}$ 处的应力时程比较

图五为不同垫层厚度时 2.05m 处应力时程曲线,其中垫层的材料参数同图四。由图可见垫层厚度对计算结果影响很大,垫层越厚,应力的时程曲线越缓。在实验量测条件允许的条件下,应尽量设置长的软弱垫层。



图五 垫层厚度大小对应力时程的影响

图六、图七分别为取不同垫层材料参数时2.05m处应力时程曲线，图六为垫层泊松比取常量0.3时，不同变形模量对应力时程的影响，由图可见弹模越小，曲线越平缓，而且很明显。图七为变形模量取常数25MPa，不同泊松比对应力时程的影响，由图可见垫层泊松比的变化对应力时程的影响较小。由此计算结果分析可知，合理地选择材料及厚度对试验有重要意义。

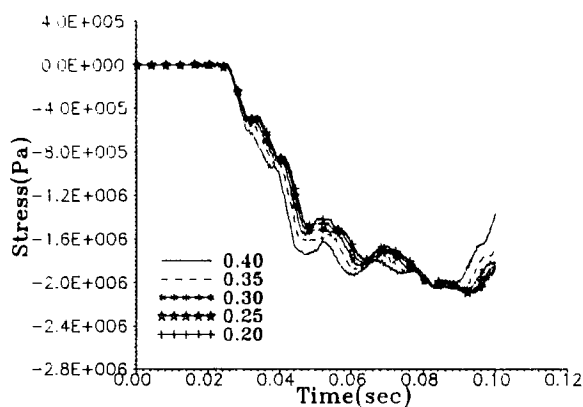


图六 垫层材料变形模量对应力时程的影响

四、结论

本文介绍了土平面波加载器研制及试验中反射垫层材料的选择及埋设位置对试验测试结果的影响，其中垫层材料越厚、刚性越小，反射应力波通过时越平缓，这在实验实施过程中可以作为参考。

本文有关反射垫层研究方法同样适合于一维波情况下土中不同材料及厚度上的反射问题研究。



图七 垫层材料泊松比对应力时程的影响

参 考 文 献

- (1) 钱七虎等 《防护结构计算原理》，工程兵工程学院，1982年
- (2) 《Φ900土平面波加载器研制论证报告》，工程兵工程学院，1994年6月
- (3) 《Φ900土平面波加载器研制调试报告》静力调试部分，工程兵工程学院，1996年12月
- (4) D. R. J. OWEN, E. HINTON Finite Elements in Plasticity: Theory and Practice, Pineridge Press Limited, Swansea, U.K. 1980.

隔震沟减震效率有限元研究

李志成 钱七虎 赵跃堂 卢红标

(南京工程兵工程学院人防工程系, 210007)

摘 要: 隔震沟用于爆炸或其它原因引起的地震动减震是一个简便易行的方法, 且已广泛应用于爆破工程的地震动控制^[1], 本文对隔震沟用于减震在理论上进行了研究, 借助于动力有限元方法对爆炸引起的地震动的传播进行分析, 同时对隔震沟的几何尺寸对减震效率的影响做了一些探讨。

关键词: 隔震沟 隔震效率 有限元

一、前 言

各种震动源, 如爆炸、打桩、结构物倒塌与地面撞击等都会引起震动源附近结构物的振动, 当振动超过一定程度, 会引起结构物开裂, 地基沉降等, 严重的会导致结构物的破坏, 因此控制地震动的大小是工程施工及设计部门一大难题[1]。

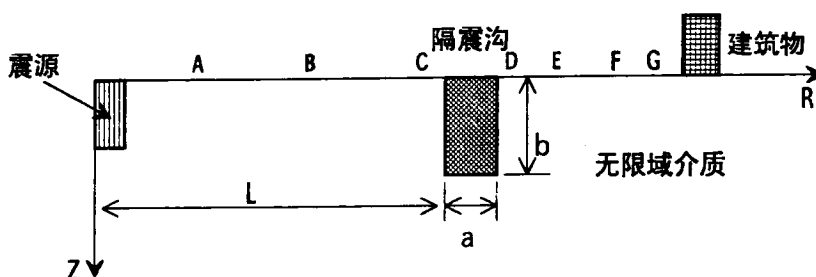
目前解决地震动问题的方法主要有以下二种, 第一是减少震动源的强度, 这是主动防护方法; 对工程爆破, 在不能减少一次爆破装药量的前提下, 采用分段延时爆破技术可有效地减弱地震动。对桩基施工问题, 采用静压或钻孔的施工方法来代替锤击或振动沉管的施工方法, 这样可有效地控制地震动对结构物的破坏, 当减少震动源震动强度方法仍无法满足附近结构物的振动控制要求时, 常采用第二类方法, 即被动防护的方法; 其中最常用的方法主要是设置隔震沟来减弱地震动的大小; 工程上常用的隔震沟有两种即硬沟与软沟; 硬沟方法是在要防护方向设置一排桩来减弱地震动, 此方法造价高, 故工程中使用较少; 软沟是指在主要防护方向挖掘一条地沟或人为制造的破碎带, 用来减弱地震动, 此方法简便易行且造价低, 但缺点是开挖时会人为造成边坡失稳及附近土介质沉陷问题, 因此沟一般不会很深, 从而影响隔震效率, 硬沟无此缺点。

隔震沟用于地震动的被动防护在工程中有许多问题需要研究解决, 如沟的宽度对隔震效率的影响, 沟的深度与隔震效率之间关系, 沟的平面形状对隔震效率的影响等等, 所有这些问题研究可以通过用理论与现场试验方法进行, 但现场试验方法介质情况单一, 试验过程控制困难, 因此探讨有效的理论研究方法将会成为隔震沟隔震机理研究的热点。鉴于硬沟在工程中使用较少, 故只针对软沟进行研究, 以下文中隔震沟均是指软沟。

本文拟在以下方面做些工作, 探讨动力有限元方法用于工程爆破问题时隔震沟减震研究的可行性, 其次研究一下隔震沟的宽度与深度对隔震效率的影响。文中第二部分是理论分析部分; 包括有限元分析模型, 模型参数分析, 计算结果及分析。第三部分是本文的结论。

二、理论分析

由地下或地面爆炸引起的地震动强度很大[2, 3], 加之面波衰减慢, 常会造成邻近结构物的破坏, 前述所知, 在爆炸源与结构物间设置隔震沟可有效地减少地震动大小。见图一。



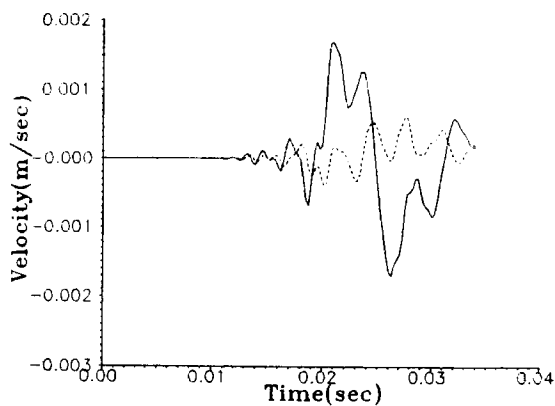
图一、简化的隔震沟设置示意图

本文用轴对称问题动力有限方法对这一情况进行分析[4], 将图一进行有限元网格离散, 图中 $L=70\text{m}$, $AB=BC=DE=EF=FG=10\text{m}$, 计算区域R方向取 120m , Z方向取 64m , 共计2045个节点, 1951个四节点等参元。在无限边界方向设置粘滞阻尼边界, 以吸收入射波能量, 避免人工边界反射造成的计算误差。

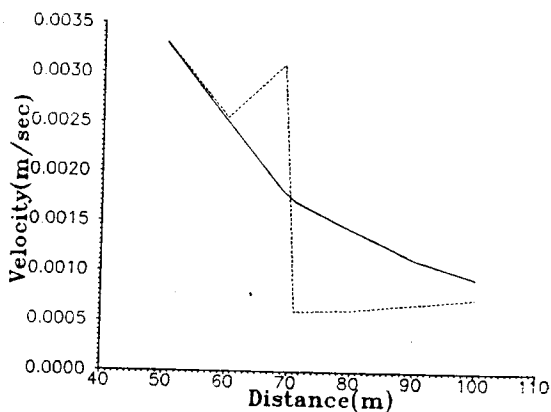
计算中介质取弹塑性模型[5], 震源荷载取有升压时间的三角形荷载, 升压时间取 5ms , 荷载峰值取 10MPa , 正压作用时间取 100ms 。计算中取不同的隔震沟深度和宽度, 输出地表的速度大小, 这主要是由于现行规范中地震动大小是否造成结构破坏主要是由地震动峰值速度决定的。计算结果见图二~图六。

图二是有沟与无沟情况下, 沟后方D点速度时程曲线对比, 其中沟的宽度和深度分别为 2m 和 8m , 图中实线代表无沟情况, 虚线代表有沟情况, 图中纵轴代表地表水平方向运动速度, 比较两条时程曲线可以看出设置隔震沟可以有效地减少地表速度峰值大小, 从而减少地面结构物的破坏程度。此外垂直方向的地表运动速度也能得出相同的结论。

图三是有沟与无沟时沿地表R方向上水平运动速度峰值变化曲线, 其中沟的宽度和深度分别为 2m 和 4m , 图中实线代表无沟的情况, 虚线代表有沟的情况。由这些曲线可以看出有沟时在应力波通过隔震沟前后地表运动速度有一个明显的下降, 而且其大小明显小于无沟时的情况, 垂直方向地表运动速度峰值也有类似的结论。



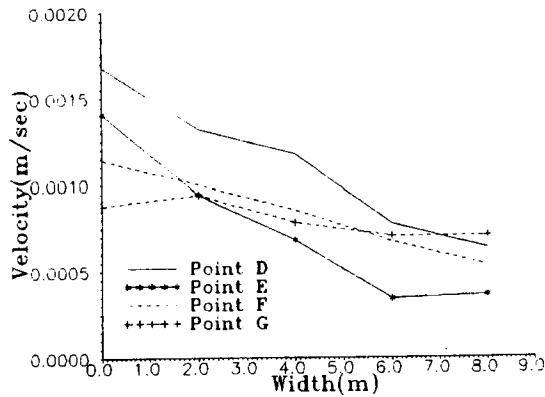
图二 有、无沟时D点速度时程曲线对比



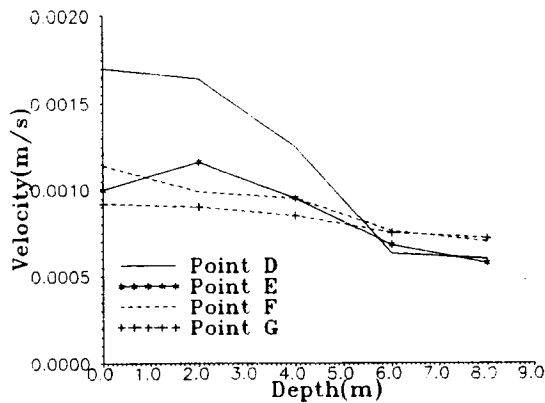
图三 有、无沟时沿地表速度峰值变化曲线

图四讨论隔震沟宽度对速度峰值变化影响,其中沟深取4m,沟宽度分别取0m、2m、4m、6m和8m,由本文计算可知,沟宽对隔震效率有很大的影响,而且距离沟越近,隔震效益就越明显。

图五是隔震沟沟深对速度峰值变化的影响,其中沟宽取4m,沟深度分别取0m、2m、4m、6m和8m,由本文计算可知,沟深对隔震效率也有很大的影响,而且距离沟越近,隔震效益就越明显。



图四 沟宽对D、E、F和G点速度峰值变化曲线



图五 沟深对D、E、F、和G点速度峰值变化曲线

三、结论

通过本文研究得出以下结论:

1. 动力有限元方法分析隔震沟隔震效果是一种可行的方法, 且此研究方法的进一步完善可直接应用于隔震沟的设计问题。
2. 隔震沟的宽度和深度对隔震效率的影响都很大, 而且距离隔震沟越近, 这种影响就越明显, 究其原因是隔震沟的存在使得在附近区域应力波可以“发散”出去, 而且距离沟越近, 这种作用就越明显。

本文研究工作仅是对隔震沟隔震研究的一点介绍, 其中没有涉及到笔者正在进行的其它研究内容, 如应力波的波长对隔震沟的隔震效率的影响, 将应力波特性和隔震沟的几何特征有机结合提高隔震沟的隔震效率以及现场条件和施工成本等。

参 考 文 献

- (1) 张雪亮, 黄树棠等著《爆破地震效应》 地震出版社, 1981. 6
- (2) G. A. 波林格(刘锡荟等译)《爆破振动分析》 科学出版社, 1975年
- (3) 林学圣《土石爆破》 工程工程学院, 1985. 10
- (4) D. R. J. Owen, E. Hinton Finite Elements in Plasticity: Theory and Practice , Pineridge Press, 1980.
- (5) W. F. Chen, E. Mizuno Nonlinear Analysis in Soil Mechanics, Elsevier Science Publishers, 1990

充液金属薄壁圆柱壳 轴向压缩屈曲性能实验研究*

张善元 李珠 孙华东 李耀 王显耀 朱健

(太原工业大学应用力学研究所 030024)

摘 要 本文报导了充液金属薄壁圆柱壳轴向压缩屈曲性能的探索性实验研究。实验表明,由于壳内封闭液体的存在,相比内空的金属薄壁圆柱壳屈曲性能表现出极大差异,如临界载荷有所提高,特别是“下临界载荷”显著提高,屈曲模态呈轴对称形式,后屈曲过程一直保持在较高载荷水平等。

关键词 充液圆柱壳, 轴向压缩, 液体内压, 屈曲模态, 临界载荷

一、前言

由于圆柱壳特殊的几何构型,使其成为工程中最常使用的结构元件之一,对其在各种受载条件下屈曲强度的研究是应用力学界长期关心的基本课题之一,尤其是轴向压缩圆柱壳屈曲载荷的实验值与线性理论经典结果之间存在极大差异(实验值为理论预测的15—60%),这一问题的研究大大推动了各种非线性结构稳定理论和屈曲强度缺陷敏感性研究的发展。迄今为止,对圆柱壳在轴压,均匀内(外)压,弯矩作用,扭矩作用及其这些载荷联合作用下的屈曲问题以及塑性屈曲,动力屈曲等已经进行了广泛的研究,对其屈曲的机理和特征有了充分的理解和认识,并得到了一系列指导各种复杂受载条件下工程设计的研究成果^[1-5]。

本项实验着眼于研究充液金属薄壁圆柱壳在轴向压缩时的屈曲性能,这是一个有着重要理论价值和应用前景的课题。由于涉及到固液耦合作用,是一个相当复杂的力学过程。容易直观地想到,充液金属薄壁圆柱壳受到轴向压缩时,轴向要缩短,封闭的体积要缩小,由于液体压缩性很小,则在壳内形成内压和壳壁共同作用来抵抗外部的作用。然而,液体的内压随着壳的变形而变化,确定壳的屈曲载荷和液体的压力是耦合在一起的,给理论分析增加了更多的困难。最近,我们在试验机上进行了一些探索性的试验,观察到充液金属薄壁圆柱壳屈曲变形的一些基本特征和有趣的现象,如液体存在提高了柱壳受轴压时的屈曲载荷,屈曲模态呈轴对称环带,屈曲后的载荷主要由液体承受并保持在较高的载荷水平,对缺陷的敏感性有所改善等。所有这些对进一步系统地研究该类问题有一定的指导意义,以下先描述实验的情况,然后对实验的结果作一些定性的分析。

二、实验方案与实验装置的设计

本实验主要设备采用 Instron 万能试验机,采用位移传感器测定轴向压缩位移,采用百分表测定径向位移,采用液压传感器测定柱壳内压。记录采用高精度数字电压表记录液压传感器测定内压,采用 X-Y 记录仪记录轴力与轴向压缩位移,并采用 Fluker 多通道数据采

* 本文系国家自然科学基金、山西省自然科学基金资助项目

集仪将 Instron 万能试验机, 位移传感器和数字电压表提供的数据自动存储和打印以供使用离散数据。整个实验装置的设计与联接参见图 1 及图 2。轴力控制采用 Instron 万能试验机, 精度高, 利于控制; 记录装置完善, 共采用三套记录方案: (1) 从数字电压表及 Instron 液显可人工读出内压与轴力的数据, (2) 数字电压表、轴力控制输出到 Fluker 数据采集仪数据, 自动记录数据, 避免人工读数误差, (3) 位移传感器, 数字电压表, Instron 均接到 X-Y 记录仪, 同步绘制轴力与轴向压缩关系图及轴力与内压的关系图; 测试系统进行了准确标定, Instron 万能材料试验机采用压力环标定, 液压传感器、Fluker 数据采集仪、数字电压表及位移传感器也均采用相关设备进行了标定, 从而保证实验的整体精度。

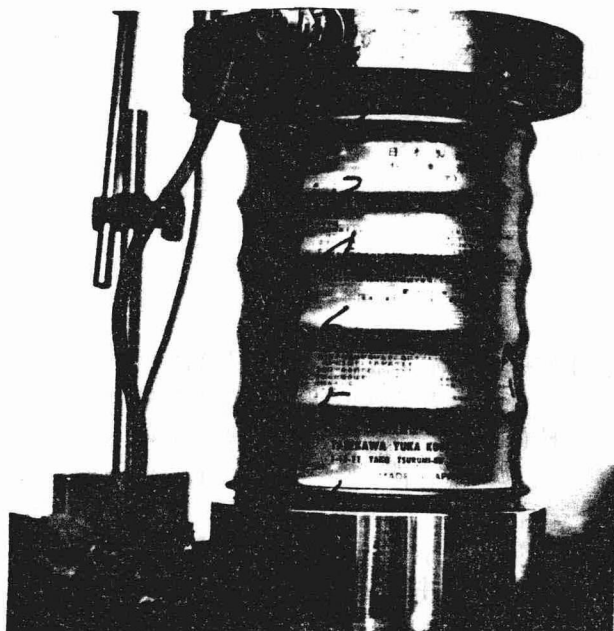
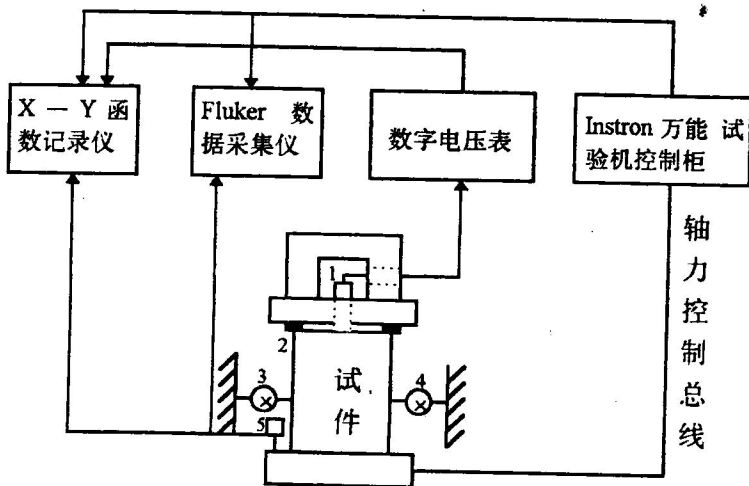


图 1 充液金属薄壁圆柱壳轴压下的实验装置



1 为液压传感器, 2 为密封圈, 3、4 为两个测径向位移的百分表, 5 为大量程顶针式位移传感器

图 2 充液金属薄壁圆柱壳轴压下的实验装置联接图