

《工程力学》增刊

ISSN1000-4750
CODEN GOLIEB
CN 11-2595/O₃

第三届
全国结构工程学术会议
论文集

PROCEEDINGS OF THE THIRD NATIONAL CONFERENCE ON
STRUCTURAL ENGINEERING

上

ISSN 1000-4750

中国 太原
TAIYUAN CHINA
6. 6 ~ 6. 9 , 1994



9 771000 475006

序

全国结构工程学术会议已经召开三届了。首届在徐州中国矿业大学，第二届在长沙湖南大学，这一届在太原太原工业大学。这届会议的主办单位是中国力学学会《工程力学》编辑委员会、太原工业大学和清华大学土木工程系。协办单位是国家教委结构力学课程指导小组，中国土木工程学会教育工作委员会，中国力学学会计算力学专业委员会，中国矿业大学矿山建筑系和河北农业大学城乡建设学院。这届会议的论文集共刊载论文 294 篇，反映了一年来的结构工程界丰硕的学术成果，其中邀请报告 24 篇，更是名家的上乘之作。

会议地点选在人杰地灵的山西省，全国有百分之七十的文物古迹荟萃于斯。东有太行，南有王屋，愚公移山的精神将激励我们在科学的崎岖道路上不断攀登，不断开拓。

锡杖游书海，
良文落笔端。
长歌迎泽路，
寿比五台山。

填句述怀，以表庆贺之意。

赠

《工程力学》主编

第三届全国结构工程学术会议

学术委员会主席

龙驭球

龙驭球

1994.6.6

上册 目录

特邀报告

王光远, 张淑华, 顾平, 论工程系统的全局优化.....	1
龙驭球, 壳体有限元述评.....	8
江见鲸, 贺小岗, 结构分析中的计算机仿真技术.....	14
刘西拉, 张春俊, 基于广义逆矩阵的特大增量步算法.....	21
刘锡良, 空间结构世界发展水平.....	36
李桂青, 抗风、抗震结构的模糊随机可靠度分析.....	39
何玉敖, 于国友, 层状场地中任意形状刚性埋置基础的动力分析.....	43
严宗达, 固体力学中关于按正交函数系展开的几个问题.....	51
吴健生, 何广民, 面向二十一世纪的结构工程.....	60
张誉, 赵鸣, 马云, 汽车冲撞刚性护栏冲击力的计算.....	64
寿楠椿, 竹学叶, 万科峰, 混凝土结构徐变分析理论.....	70
余寿文, 复杂微力——电系统的细观结构力学与破坏力学(提纲).....	75
易伟建, 成文山, 混凝土结构非线性分析的发展.....	77
赵国景, 散体流动与仓壁荷载分析.....	83
梁启智, 汤海波, 周期性反复荷载作用下剪力墙连梁抗震性能的非线性 有限元分析.....	89
唐锦春, 姚坚, 工程结构分析中的并行计算方法.....	95
秦荣, 岩土工程中的弹粘塑性随机样条函数法.....	100
钱在兹, 金贤玉, 钢筋混凝土受明火作用的综合研究.....	108
程耿东, 李华, 顾元宪, 一种新的全四边形单元生成方法.....	114
熊祝华, 金属材料屈服条件综述.....	122
董石麟, 组合网状扁壳动力特性的拟三层壳分析法.....	129
郑照北, 板壳有限元计算几何曲面法.....	135
钱七虎, 抗爆结构研究的若干进展(综述).....	153
崔京浩, 储液池地基处理的特点、方法及措施.....	164

力学分析

秦荣, 谢肖礼, 结构弹塑性问题的新方法.....	179
---------------------------	-----

鹿晓阳, 徐秉业, 岑章志, 分析管材二次塑性加工过程的一种单元模型 及数值方法.....	185
须寅, 龙取球, 一个对网格畸变不敏感的含转角自由度的三角形膜元.....	189
肖志斌, 唐锦春, 孙炳楠, 大跨板片空间结构形式探讨及受力性能分析.....	194
费英琼, 董亚民, 黄克智, 在基于 $\sqrt{J_e(a)/J}$ 失效曲线的延性断裂评定中 PD6493和EPRI两种模式的一致性研究.....	198
张其林, 沈祖炎, 陈叶军, 高速高架公路钢质护栏的数值计算和仿真研究.....	209
朱明程, 刘西拉, 效益型结构的双目标优化设计.....	213
刘闯, 刘西拉, 反映结构体系可靠性的加权指标.....	219
鹿晓阳, 徐秉业, 岑章志, 二维及三维可变结点Qmm6单元统一列式方法 和性能分析.....	225
刘应华, 岑章志, 徐秉业, 三维结构极限分析的数值方法.....	231
马建勋, 梅占馨, 土的增量型内时本构模型.....	235
邓长根, 沈祖炎, 傅耀民, 空间梁杆结构大位移非线性分析的一种实用方法.....	239
秦荣, 谢肖礼, 许英姿, 弹塑性层状地基分析的样条子域法.....	244
扶名福, 杨德品, 岩土介质大变形模糊塑性本构理论和应用.....	255
万秀芳, 匡文起, 应用余能原理计算建筑结构中采动附加内力.....	259
胡启平, 吴衍智, 变刚度框——剪结构协同分析的传递矩阵法.....	265
张建国, 蔡中民, 吴鸿平, 大挠度悬臂梁的一种解析求解方法.....	269
熊慧而, 结构极限分析理论中的几个问题.....	274
王辉, 秦飞, 岑章志, 王玉华, 王大云, 大侧斜螺旋桨叶片静动力分析.....	279
刘清君, 岑章志, GaLerkin对称型边界元法及其在软化分析中的应用.....	283
王依群, 沈祖炎, 潘士吉力, 双角钢组合“+”型截面极限屈服面及其数学表达式.....	287
王守信, 彭天国, 姜晓钟, 杨忠瑜, 用二次等参元解算工程中的三维接触问题.....	291
罗修纯, 传统疲劳分析方法的适用性与局限性.....	294
刘廷忠, 王耀国, 高淑梅, 弹性地基上连续梁力位移分析法的研究.....	298
刘廷忠, 王耀国, 高淑梅, 弹性介质中桩的力位移分析法.....	303
谭学民, 张根全, 崔亚萍, 双模数复合材料正交铺设厚层板弯曲时的 横向剪切影响.....	307
郝际平, 热荷载下圆板的后屈曲分析.....	312
周瑞忠, 工程裂缝防治效果的断裂力学评价.....	317
朱召泉, 陶桂兰, 弧形钢闸门结构优化设计.....	327
施东, 弯矩作用平面外有水平偏心支撑压弯构件弯扭屈曲承载力.....	331
魏德敏, 在集中载荷作用下拱的大变形.....	335
何庭蕙, 矩形平板在集中荷载作用下破坏形式及极限荷载等值线的研究.....	339
宋友贵, 毛传义, 王长兴, 坦克炮塔下座圈动态变形的一种工程计算方法.....	345

李守义, 王飞虎, 王选平, 拱坝拱圈性态研究.....	350
黄松梅, 马素菁, 孙 静, 重力坝坝踵界面裂缝应力强度因子的计算.....	354
田 泽, 孙学伟, 关于目前Key Curve 方法求解裂纹长度原理的思考.....	358
陶桂兰, 蔡志长, 朱召泉, 水工建筑物分缝结构间隙有限元分析.....	363
梁 斌, 俞焕然, 圆柱壳的强度优化设计.....	369
唐文勇, 刘士光, 顾王明, 王殿卿, 均布载荷下加筋板结构的大变形分析.....	373
周志岳, 刘鹄然, 板(带)轧辊挠曲变形与轧辊凸度的理论分析.....	378
许琪楼, 杨卫忠, 一对边简支矩形薄板在集中荷载作用下的弯曲解.....	385
虞爱民, 周怡之, 自然弯曲细长梁大变形弹性力学的广义变分原理.....	394
李尧臣, 金属板材冲压成型过程中的接触和摩擦.....	403
秦顺全, 变截面箱梁剪滞效应分析.....	412
李康元, 黄立独, 任礼行, 梁天培, 结构性能函数近似公式的改进.....	419
吴亚平, 薄壁箱梁剪力滞后及剪切变形双重效应分析.....	425
郝 伟, 魏 钢, 王松涛, 考虑节点剪切变形的钢框架二阶内力弹塑性分析.....	429
颜全胜, 曾庆元, 平面钢框架的极限承载力分析.....	433
刘义贤, 张业民, 浅基破坏的模糊概率分析.....	439
刘绍璋, 龙取球, 弹性力学方法在金属蜗壳外围钢筋混凝土结构分析中的应用.....	443
陈新孝, 石建光, 朱梅生, 偏心支撑钢筋砼门式框架结构的极限分析.....	447
李广义, 黄胜伟, 混凝土三铰拱渡槽内力分析及病害处理.....	451
李相麟, 矩形薄板大挠度问题的摄动——样条函数法.....	456
黄模佳, 扶名福, 郑超美, 考虑损伤的弯曲应力分析.....	463
曲庆璋, 梁兴复, 章 权, 弹性地基上四边自由矩形厚板的解.....	467
贺鹏飞, 顾明元, 吴人洁, 具有树枝状界面结构复合材料的弹性性能.....	471
金伟良, 广义结构可靠度的分析方法.....	475
胡雨村, 赵秀丽, 用于薄壳自由振动计算的广义协调元.....	479
朱先奎, 用变形比较法解变截面连续梁.....	484
俞焕然, 王 璠, 弹性环板振动屈曲及优化设计.....	488
蒋红斐, 常新生, 有限单元法中三角网的自动划分.....	492
朱俊杰, C 语言系统汉字化的方法及立体汉字的生成.....	496
齐佑民, 毛用礼, 计算薄板非稳定温度场的一种有限元程序.....	501

钢筋混凝土与试验

胡善龙, 包世华, 钢筋混凝土矩形截面内力变形弹塑性损伤广义本构模型.....	511
李 英, 崔京浩, 掺有膨胀剂的砂浆锚固性能的实验研究.....	515

蒋大骅, 肖小松, 砌体抗剪性能试验方法的研究.....	522
肖小松, 蒋大骅, 砌体结构软化的试验研究.....	527
李庆斌, 王光纶, 张楚汉, 混凝土II型裂缝的损伤断裂分析.....	534
李清富, 江见鲸, 建筑结构构件耐火可靠性评估方法的研究.....	538
陈 虬, 万 文, 混凝土框架结构的随机有限元分析.....	542
李爱群, 丁大钧, 曹征良, 唐 建, 带摩阻控制装置钢筋砼低剪力墙试验研究.....	546
王清湘, 赵国藩, 林立岩, 冷轧螺纹箍筋柱延性的试验研究.....	551
何广民, 王 岩, 高层轻砼框支剪力墙结构的弹塑性位移反应.....	557
崔江余, 唐业清, 郭晓辉, 李丽芬, 钢筋混凝土板弯曲破坏的极限承载力.....	563
薛立红, 蔡绍怀, 钢管与核心混凝土界面粘结强度的试验研究.....	569
黄靖宇, 李国强, 箱型钢柱空间滞回特性试验研究.....	575
金贤玉, 钱在兹, 混凝土受高温作用的破坏机理.....	580
金贤玉, 钱在兹, 混凝土构件受明火作用的温度场研究.....	584
姚林泉, 俞焕然, 平面刚架结构的等强度设计及其配筋.....	588
谢怀欣, 曹平周, 庄崖屏, 高强砼偏心受压长柱非线性全过程分析.....	592
吴子燕, 石志民, 钢筋——钢纤维混凝土板冲切强度计算及有限元分析.....	596
龚 玮, 胡钧涛, 高强度钢绞线与水泥石结合面粘结性能试验研究.....	601
郑传超, 王秉纲, 非均匀地基水泥混凝土路面板的力学分析.....	606
戴经梁, 郑传超, 凌子如, 郭渭彬, 钢纤维和钢丝网水泥混凝土的试验研究.....	610
石志民, 杨光华, 吴子燕, 钢筋——钢纤维混凝土板的冲切强度计算.....	614
卢亦焱, 钢纤维混凝土抗拉强度计算模式研究.....	619
高坚新, 陆大坪, 高强钢纤维混凝土薄圆板挠曲的实验研究和理论计算.....	625
杨彦克, 基体裂后钢纤维拔出韧性与“合理纤维长度”.....	629
李思明, 金国芳, 吕西林, 钢筋混凝土带缝剪力墙模型试验与研究.....	633
赵人达, 车惠民, 基于内时损伤概念的混凝土二维本构方程.....	637
施建平, 赵世春, 劲性钢筋混凝土梁刚度的试验研究及分析.....	643
方 志, 钢筋砼框架非线性有限元分析.....	648
田稳苓, 汪一骏, 无粘结部分预应力混凝土梁裂缝宽度计算.....	653
王新堂, T型截面钢筋砼纯扭构件承载力的解析计算.....	659
易伟健, 吴宇清, 高强混凝土压弯构件试验研究.....	663
田稳苓, 汪一骏, 部分预应力混凝土梁的裂缝宽度计算—名义拉应力法.....	670
张晋勋, 钢筋混凝土框架结构安定性分析初探.....	676
李朝弟, 张承柱, 刘信声, 混凝土梁的损伤扩展和承载能力分析.....	680
石建光, 刘海生, 乔开元, 钢筋砼双向板的挠度控制和挠度计算.....	688
李平先, 丁自强, 杨勇新, 论钢筋砼梁斜截面受剪承载力计算方法.....	692
边 凯, 康谷贻, 钢筋砼框架柱受剪性能研究.....	697

王春华, 有限元法计算高温 (火灾) 钢筋混凝土矩形截面梁内温度分布.....	700
卢兴江, 金贤玉, 甘霖, 钱在兹, 钢筋混凝土板平面问题的反分析研究.....	706
王春华, 李小红, 潘家鼎, 程超, 高温 (火灾) 后混凝土结构强度损伤程度 评估方法的探讨.....	711
谭学民, 王福明, 钢筋煤矸石混凝土低剪力墙计算研究.....	715
傅传国, 蒋永生, 一种框架梁端新型人工塑性铰的延性分析.....	719
姚谦峰, 周小真, 轻型复合墙板受力性能试验研究.....	724
杨国兴, 王际芝, 田景康, 结构试验实时监测系统 (RMSS)	728
王建江, L型锚栓在混凝土块体边缘承拉能力试验与分析.....	732
钱七虎, 黄小平, 郭志昆, 考虑面力作用的钢筋砼板承载力分析.....	736
郭兵, 双向低周反复荷载作用下钢筋混凝土宽扁梁框架内节点的试验研究.....	740
康国瑾, 钢筋混凝土承受拉应力时工作机理的试验探讨.....	744
赵鸿铁, 黄君方, 姜维山, 钢梁——配角钢的型钢砼柱边节点承载能力 的试验研究.....	748
龚尚龙, 杨丽梅, 江炳章, 部分预应力梁斜截面强度计算研究.....	752
周乐农, 预应力混凝土连续梁徐变内力重分布的研究.....	761
曹万林, 吴建有, 庞国新, 魏文湘, 闫昌德, 底部带支撑异型柱框架抗震性能 试验研究.....	769
吴建有, 曹万林, 魏文湘, 郝春森, 曲英华, L型柱抗震性能试验研究.....	773
曹万林, 魏文湘, 尹恩太, 高树军, 田宝发, 带门洞轻质填充墙异型柱框架 抗震性能试验研究.....	778
魏文湘, 曹万林, 吴建有, 曲英华, 郝春森, +字形柱抗震性能试验研究.....	782
蒲黔辉, 何广汉, 部分预应力混凝土连续梁桥受力性能研究.....	787
李翌新, 赵世春, 混凝土框架的损伤分析方法.....	791
韩林海, 于敏捷, 钢管混凝土构件基本力学性能的数值分析.....	796
赵艳林, 韦树英, 钢筋混凝土框架结构塑性极限分析的有限线半解析法.....	801
杨幼华, 薛爱, 高强混凝土边角局部承压试验研究.....	807
李天, 孙国良, 钢——砼组合梁的挠曲微分方程及挠度计算.....	811
潘家鼎, 王春华, 李小红, 程超, 高温冷却后预应力混凝土受弯构件 强度损伤的试验研究.....	815
朱瞰, 吕善功, 螺旋筋约束高强砼应力应变曲线试验研究.....	822
庄惠平, 张有智, 低合金钢在多个过载后的疲劳裂纹扩展.....	826
曹平周, 谢怀欣, 解慧玲, 偏心受压砖柱极限荷载分析.....	830

下 册 目 录

动力与稳定

梁启智, 丁海成, 离散时间系统的稳定瞬时最优控制.....	834
刘云波, 魏建国, 夏亨熹, 网架结构弹塑性动力响应分析.....	838
李正农, 李桂青, 多元模糊随机判别方法及其在震害预测中的应用.....	842
刘 季, 周 云, 宋根由, 结构控制研究与工程应用状况及展望.....	848
马立明, 何玉敖, 结构动力分析的混合时间有限元模型	854
何益斌, 沈蒲生, 型钢配筋框支墙和剪力墙结构在地震或单调荷载下 若干性能的研究.....	858
徐家云, 李桂青, 吴学军, 潘可荣, 主动控制力与结构物之间距离对 结构动力特性的影响.....	862
彭文韬, 徐家云, 李桂青, 半主动控制结构设计的研究.....	866
张 誉, 王 卫, 双向地震作用下不规则框架的扭转分析	870
周 强, 孙炳楠, 唐锦春, 悬索桥风振响应分析的状态空间法.....	876
杨红卫, 魏 珽, 汪一骏, 偏心结构平扭耦连振动分析方法的研究.....	881
熊志坤, 崔京浩, 爆炸及其对结构的影响.....	887
邓秀泰, 王新玲, 钢筋混凝土框——桁体系的静力计算及动力性能分析.....	895
邓长根, 多高层钢结构及其构件动力稳定性研究综述.....	900
王 伟, 陈 淮, 马成刚, 求解复杂结构动力响应的 Lanczos 方法.....	906
陈良才, 干 洪, 郭秉山, 非对称结构抗震计算的传递矩阵法.....	912
廖健敏, 王清敏, 丰定国, 姚谦峰, 基础滑移隔震房屋动力特性的试验研究.....	917
俞亚南, 漫湾水电站厂房坝段结构动力模型试验.....	924
张伟林, 结构动力分析的几个动态深梁单元.....	928
沈小璞, 段建中, 沈小平, 范 颖, 在软土地基上结构——群桩——地基 共同作用的动力特性分析.....	932
米正中, 地震作用下框架结构中总框架剪切刚度的计算.....	937
潘 泓, 李翼祺, 荷载——基础——地基动力相互作用分析.....	945
唐岱新, 赵 阳, 邵志民, 空心砖空腔墙静力稳定及抗震性能.....	950
丁继辉, 于希哲, 王 端, 损伤悬臂结构的模态与动应变的实验研究.....	958
张宗尧, 马良筠, 重力式码头及栈桥桥墩的抗震分析与现场测试.....	963
林 媛, 杨庆大, 郭乙木, 超强冲击波作用下地下双层竖井的动力响应数值 分析研究.....	966
殷学纲, 李 宾, 刚架结构的动力稳定性分析.....	970
骆子夜, 黄震球, 冲击载荷下单向加筋板的大变形塑性动力响应.....	975
黄宗明, 白绍良, 赖 明, 结构非弹性地震能量反应的分析方法.....	979

石春霞, 刘恭忍, 王克成, 章继光, 水工弧形钢闸门动力特性研究.....	987
张 陵, 诸德培, 脉动刹车时飞机主起落架的瞬态响应.....	991
桂国庆, 考虑坝——地基相互作用时重力坝的地震反应分析.....	996
刘文廷, 韩国城, 土石坝三维非线性随机地震反应分析.....	1000
刘述堂, 刘喜纯, 李长福, 电厂烟筒的刚度与质量对风振的影响.....	1004
郁时炼, 滕毓发, 圆环挡板和加筋挡板的防晃阻尼	1009
史三元, 薛守义, 多绳提升机井塔振动研究	1013
孙丽萍, 聂 武, 海洋立管的静稳定分析.....	1018
徐海燕, 房屋建筑中管道系统的地震反应分析.....	1022
申世强, 王杰贤, 风振力作用下构筑物基础水平位移计算.....	1026
朱厚勤, 郑际嘉, 刘土光, 武 剑, 纵骨架式船侧结构受刚性垂直首正向 碰撞任意位置时刚塑性动力分析.....	1030
武 剑, 郑际嘉, 刘土光, 李世其, 沈 哲, 平头旋转壳垂直入水时 冲击载荷研究.....	1036
罗修纯, 王顺强, 有局部削弱的简支梁的频率与振型.....	1042
田志昌, 赵根田, 利用滑移重物聚集和耗散能量.....	1046
刘义贤, 赵树立, 张业民, 应用尖顶突变预测场地地震孔压.....	1050
刘新宇, 隧道结构力学响应的动态分析实用方法.....	1054
金康宁, 无奇点边界元法分析简谐荷载下连续板的振动.....	1057
王柏生, 陈龙珠, 叶贵如, 杨 琳, 冲击荷载作用下减振层动力特性分析 及设计参数优选.....	1062
周怡之, 刘振华, 一种双模量弹性地基梁稳定问题的近似解法.....	1067
顾红军, 胡功笠, 跑道直接式盖被施工早期反射裂缝成因分析.....	1071
胡功笠, 顾红军, 场道“骑缝局部隔离法”研究.....	1076
胡颂嘉, 飞灰冲填坝的结构与稳定.....	1080
朱 唏, 周世军, 薄壁结构考虑约束扭转的稳定分析公式.....	1086
叶 宏, 崔京浩, 王志浩, 防止燃气爆炸下连续倒塌的结构措施.....	1091

桥梁岩土与地下结构

刘腾喜, 罗松南, 傅衣铭, 超薄壁箱梁桥的受力性能研究.....	1097
寿楠椿, 周建春, 万科峰, 东明黄河公路大桥刚构——连续组合体系桥型的 适应性研究.....	1101
竹学叶, 寿楠椿, 万科峰, 东明黄河公路大桥刚构——连续组合体系徐变分析....	1106
史其信, 吴向东, 王印海, 预应力混凝土连续弯梁桥空间非线性地震动力分析....	1110
史其信, 陈志鹏, 吴向东, 天宁寺立交二环主桥动力特性的试验研究.....	1117

廖天厚, 梅亚平, 曾伟明, 长跨薄壳桥的构造与计算理论研究.....	1123
屈本宁, 刘北辰, 倒张拱索桥固有特性研究.....	1130
王 刚, 自锚式劲性混凝土悬索桥.....	1134
李忠献, 周立志, 大型预应力钢筋砼弯曲箱型桥梁结构静载试验研究.....	1140
左成平, 赵德镜, 样条配点法分析万县长江大桥内力的几何与材料非线性影响.....	1144
李运光, 卫 光, 宋娃丽, 弯桥简化分析新法—广义刚接梁法.....	1150
张海龙, 城市立交桥异形板块的计算与设计.....	1154
王永平, 陈彦江, 付金科, 时间序列在桥面平整度谱分析中的应用.....	1158
黄 侨, 王宗林, 付金科, 齐嫩公路桥大吨位预应力锚下局压区的有限元 分析方法.....	1163
胡春清, 吴宜凤, 张浩阳, 正交异性曲板桥的内力分析.....	1167
彭守拙, 梁 毅, 花岗岩的渐进破坏和数值模拟.....	1171
谭晓明, 崔京浩, 考虑施工过程的盖挖逆作结构受力分析.....	1177
张国鑫, 钻井井壁底按折算荷载法的简捷设计.....	1181
孙 文, 孙树勋, 徐又建, 使用土工合成材料防渗、加筋土坝的有限元分析.....	1185
张延庆, 钻开油层井眼围岩结构模拟研究.....	1190
张业民, 刘义贤, 魏宝善, 地基砂土液化的模糊概率及应用.....	1194
王复明, 有限深非均质地基的力学计算.....	1199
胡钧涛, 王建江, 胶结式内锚头围岩应力场的计算方法.....	1204
韩大建, 黄炎生, 唐增洪, 珠江水下隧道的抗震研究.....	1208
周顺华, 刘恩军, 徐正良, 基坑工程地层移动计算模型.....	1212
黄宏伟, 杨林德, 隧洞支护结构的概率监控设计法.....	1216
高厚宽, 未来战争条件下的地下油库设计刍议.....	1220
齐长鑫, 汪树玉, 土坝坝基沉降的灰色系统分析.....	1227
赵锡钱, 挡土桩的有限元分析.....	1231
赵锡钱, 用半解析混合法计算单桩的垂直承载能力.....	1235
刘恭忍, 王克成, 赵 强, 地下厂房运行期温度应力分析(计及混凝土徐变效应).....	1238

高层与壳体

陈水福, 孙炳楠, 唐锦春, 考虑地基土作用的高层建筑风振反应的复模态分析.....	1243
吕西林, 张佑启, 关国雄, 剪力墙结构抗震耗能研究.....	1246
黄金枝, 闵 洪, 成学明, 高耸电视塔主动控制试验研究.....	1250
尉锦三, 刘安民, 包世华, 框—剪结构考虑楼板变形时的二阶分析.....	1256
周 蓉, 刘 铮, 吴敏哲, 高层钢框架结构节点域变形及其影响.....	1260
张铜生, 姚另安, 底顶层大空间高层建筑结构考虑楼板和地基变形时的	

内力位移计算.....	1265
林南薰, 陈渭彬, 陈靖东, 高层建筑筒体结构考虑建造过程和徐变的结构分析.....	1270
夏 风, 黄良璧, RC剪力墙的机构控制与弯矩调幅.....	1277
侯建国, 陈跃庆, 张维伦, 郝玉范, 高层框架—剪力墙结构分析程序的研制.....	1283
周 坚, 带有刚性转换层的高层建筑静力简化计算.....	1287
钟光珞, 高层筒体拟柱壳体结构样条有限环分析.....	1293
李长实, 王步云, 50米以上高层建筑抗震优化设计.....	1297
金宗长, “火炬大厦”复杂体型大开间框剪结构高层建筑抗震设计.....	1301
李家康, 陈礼刚, 青岛汇泉广场塔的结构分析与模型试验研究.....	1308
郁钧君, 许江宇, 李国强, 加刚性梁的双肢剪力墙结构 动静力分析(一)、(二).....	1314
刘建新, 一种新的剪力墙结构体系.....	1332
晏 华, 吕西林, 周德源, 多个刚性平面块假定分析方法研究 ——多塔楼、巨型门式建筑和楼板开大洞等 复杂体型的多高层建筑结构的计算.....	1336
李 淮, 何庭蕙, 何逢康, 应用假定应变元对壳体结构进行弹塑性跟踪分析.....	1340
杨 琦, 赵惠麟, 宋启根, 板片柱面壳体模型稳定性的试验研究.....	1344
顾王明, 刘土光, 唐文勇, 郑际嘉, 轴向流——固冲击下圆柱壳非弹性动力屈曲..	1349
顾王明, 唐文勇, 刘土光, 郑际嘉, 径向冲击载荷下圆柱壳的塑性动力屈曲研究..	1354
赵 雷, 陈 虬, 组合平壳单元的大位移刚度矩阵及其应用.....	1358
关富玲, 吴明儿, 翁文庆, 高博青, 索结构与膜结构的形态分析.....	1363
徐守泽, 曹 喜, 张蕴美, 空间网架结构弹塑性极限荷载的变分不等方程 ——线性互补方程解法.....	1370
黄呈伟, 刘北辰, 索网屋盖——圈梁的有限元调整计算.....	1375
严 慧, 熊 卫, 唐曹明, 斜拉网架结构静力、动力特性的研究.....	1379
崔昌禹, 严 慧, 预应力网架结构静、动力特性的研究.....	1385
汤广来, 陈良才, 郭秉山, 空间网架结构微机辅助设计系统.....	1391
武 剑, 江松青, 刘土光, 郑际嘉, 沈 哲, 弹性连接复合旋转壳模态综合分析..	1397
薛素铎, 刘景园, 可展开折叠式空间结构的研究现状与展望.....	1402
张沂东, 张文华, 深圳体育场网架工程制作与安装.....	1407

设计与施工

喻怀申, 王彦明, 桁架拱渡槽的后评价和设计优化.....	1409
任伟新, 江 峰, 曾庆元, 用可靠度理论确定高强度螺栓的设计轴力.....	1413
杨菊生, 河床式水电站厂房坝段结构特性研究.....	1417

罗金榜, 工程力学在矿区索道技术改造中应用初探.....	1421
程景山, 静载荷下组合机床床身变形的有限元计算.....	1425
陈忠达, 路面结构的模糊概率可靠度分析.....	1428
黄纲华, 郝仁官, 何 穷, 宝钢一号高炉炉壳有限元强度分析.....	1433
赵 军, 冷纪桐, 刘新卫, 潘晓光, 钢结构平台的优化设计与程序SSOP.....	1438
蒋小鸣, 周俊华, 甘正常, 建构筑物顶升纠偏技术及其受力分析.....	1442
肖亚明, 胡曙初, 王春藻, 王功伟, 砌体结构裂缝与控制问题研究综述.....	1447
贾金青, 安子河大桥楔性支承的设计与研究	1453
李本强, 史震古, 胡振鹏, 正交模拟与多目标动态规划方法在水利施工中的 应用研究.....	1457
田 原, 复合岩棉墙体节能建筑的应用.....	1461
邱 巍, 郑云龙, 金在律, 油船结构直接设计和分析系统.....	1465
许文斗, 结构工程设计与施工中最佳化的三个基本原理.....	1471
杨文斌, 乌海火车站人行天桥设计.....	1475
韩拴奎, 桥梁桩基施工设计方案.....	1479
谢国立, 引力模型在城市交通流量分布预测中的应用.....	1485
吴庆沛, 飞机前起落架结构及受载.....	1489
周光孔, 两则建构筑物结构方案和计算模式(一)、(二).....	1493
刘国华, 汪树玉, 高拱坝拱圈混合线型体形与封拱条件优化模型研究.....	1502
李兴代, 陈家夔, 胡保安, 既有钢筋混凝土厂房承载能力及 使用阶段极限状态的可靠性评估.....	1507
张文福, 张百龙, 基于可靠度的桁架设计.....	1512
牛荻涛, 王庆霖, 陈慧仪, 在役结构可靠性评价述评.....	1518
陈良才, 汤广来, 郭秉山, 董 平, 现浇钢筋混凝土框架结构房屋的 震害预测方法.....	1525
张 鑫, 建筑物加固若干工程实例.....	1529

论工程系统的全局优化

王光远 张淑华 顾 平
(哈尔滨建筑工程学院)

提要 当工程项目乃由若干结构组成一个系统时, 只有对这个工程系统整体进行全局的优化, 才能真正收到优化的效果。此外, 在工程优化中不仅要考虑近期的投资(工程造价), 还应考虑其长远经济和社会效益, 本文将介绍我们对此问题的一些主要观点和研究过程中遇到的难点及其处理方法, 包括: 优化控制参数的选定, 可靠度与相应最小造价间的关系, 损失期望的简化计算, 结构失效相关性, 以及在工程系统全局优化指导下的结构设计方法等。

关键词: 工程系统; 全局优化; 可靠度; 损失期望; 失效相关性

一、问题的提出

目前国内外的工程优化都是针对单个结构进行的所谓“结构优化设计”。当一个工程项目包括若干相互联系的结构时, 各个结构单独优化后组成的工程系统却不一定优化。这和各个构件单独优化后组成的结构不一定优化是相同的逻辑关系。

概括来说, 如果一个优化对象由若干相互联系的部分组成, 则各个部分单独优化后组成的整体不一定优化。从概念上来说, 这是因为整体的利益有时要求局部作出某些牺牲, 单独对各局部进行优化就不可能考虑这种情况。从数学上来说, 对各局部分别进行优化就割断了各个局部之间的联系和约束, 从而无法收到真正优化的效果。

在系统的全局优化中考虑各个结构间失效的相关性是个十分难以解决而又十分重要的问题。

另外, 目前国内外结构优化的目标函数中都没考虑结构的长远经济和社会效益, 这显然是一个重要的缺陷。

我们从 1985 年开始研究这些问题, 在文献[1]中介绍了 1990 年以前的研究成果, 目前仍在积极进行研究^[2-5]。

二、工程优化控制参数的选定

优化的控制参数就是优化目标和约束条件中所考虑的主要参数。

工程优化的目标是多种多样的, 包括其近期和长期的经济效益和社会效益、美学要求、投资、施工和使用方便等。这些目标只能在工程的规划、设计、施工和管理等不同阶段分别考虑。

我们把工程系统的全局优化放在工程项目的可行性论证、总体布置和结构选型之后, 与结构具体的变量设计之前。这属于概念设计阶段。这时工程系统中结构的选型、拓朴和材料等已经确定, 但尚未涉及结构的具体尺寸, 这阶段所研究的结构可称为概念结构。

这阶段的优化目标不仅包括近期投资(主要是工程造价),还应包括长远的经济和社会效益,后者包括服役期间使用单位企事业运营的直接经济效益和遇到灾害时工程失效带来的损失。可以证明^[1]：“运营效益的期望值最大”可以转化为“停业所带来的损失期望值最小”，因而可以和损失期望合并考虑。

这样，在工程系统优化和结构变量设计中的优化目标可简化为使造价 C 和损失期望 L 之和最小，这就形成了一个单目标优化，使问题得到极大的简化。

早在 1972 年，文献[6]首次建议在结构优化设计中采用目标函数

$$W(\bar{X}) = C(\bar{X}) + L(\bar{X}) \rightarrow \min$$

但是将工程结构使用期间的损失期望直接表为设计方案 $\bar{X}$ 的函数 $L(\bar{X})$ ，是十分困难的。故此文献[6]发表虽已二十余年，这个目标函数还未得到实际应用。

在概念设计阶段，我们所选用的优化参数必须具有高度的综合性，而且能满足以下条件：

- (1)要能充分代表各结构的功能和工程系统对结构的要求；
- (2)要能建立各级子系统间的联系约束；
- (3)要求这些参数之间具有明确的关系，并能进行分析和估算。

在长期的研究过程中，我们逐步深刻地认识到：可靠度 ψ 是工程优化的最佳控制参数。理由如下：

(1)一个设计对象的可靠度是它在一定条件下在预期的服役期中正常工作的概率。所以它具有双重性质：一方面作为下限，它是保证对象整体正常工作的数量指标；另一方面作为上限，它又是限制投资额的控制指标。所以经济和安全这一对主要矛盾可以在最优可靠度上得到最佳的协调。

(2)工程设计是根据现有的信息来预估该工程建成后服役期中的表现，工程项目未来的工作环境和所受干扰(地震，风荷载等)都有强烈的随机性。采用可靠度作为控制参数，可以很好地反映这种随机性。

(3)如上所述，优化目标中的损失期望很难直接表为设计方案 $\bar{X}$ 的函数 $L(\bar{X})$ ，当采取可靠度 ψ 为控制参数时，此函数可以转化为较为简单合理的形式 $L(\psi)$ 。

(4)在结构优化设计中，约束条件一般是对应力、位移、尺寸、频率等所加的限制。但其中有些局部条件(如某些构件的强度条件)并不全是结构正常工作的必要条件。而可靠度是从结构整体工作正常的角度提出要求的，因而它是结构正常工作的必要和充分条件。

(5)工程系统的优化处于概念设计阶段，这时还没有各个结构的设计方案，因而不可能对结构的局部细节提出限制条件，而工程系统的可靠度完全由各个结构的可靠度决定，它也不会同结构的局部细节发生直接联系，这有利于工程系统优化建模。这样，工程系统的优化将转化为工程系统可靠度的最优分配问题(见本文第三、七节)。

从 1985 年开始经过三年的探讨，我们才选定以造价 C 和损失期望 L 之和为各级(结构、子系统、总系统)的目标函数，以各级的可靠度 ψ 为控制参数，以工程系统的总投入或总可靠度为约束条件。又经过随后的多年的努力才初步完成了工程系统优化的建模工作和相应的理论框架。

三、工程系统全局优化的途径

按照上节所选定的参数,工程系统的全局优化就转化为工程系统可靠度的最优分配问题,优化的结果将为各个结构确定其最优可靠度,然后即可按此最优可靠度进行结构的优化设计。

我们以二级工程系统的优化为例说明解决问题的途径。设此系统共包括 J 个结构,其可靠度分别为 $\psi_j (j=1, 2, \dots, J)$, 系统的总可靠度为 ψ 。我们在文献[1]中给出了二种优化的模式和解法。

(1) 总可靠度约束下的优化

求最优可靠度分布

$$\{\psi_j\} = [\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_J]^T$$

使工程系统的总付出(造价 C 和损失期望 L)

$$W(\{\psi_j\}) = C(\{\psi_j\}) + L(\{\psi_j\}) \rightarrow \min$$

并满足

$$\psi \geq \psi_0$$

式中 ψ_0 为总可靠度的下限。

(2) 总付出约束下的优化

求最优可靠度分布

$$\{\psi_j\} = [\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_J]^T$$

使工程系统的总可靠度

$$\psi \rightarrow \max$$

并满足

$$W(\{\psi_j\}) = C(\{\psi_j\}) + L(\{\psi_j\}) \leq W_0$$

W_0 为总付出的限额,若不考虑损失期望 L ,则 W_0 就是投资的限额。

在此基础上,文献[1]还给出了多级串联工程系统全局优化的方法。

在文献[4]中,我们不仅对文献[1]中所提出的方法作了改进,而且给出了并联和表决工程系统的全局优化方法,还研究了比较简单的网络工程系统的全局优化问题。按照上述解决问题的途径,还必须建立各级造价与可靠度间的关系 $C(\psi)$ 、损失期望与可靠度间的关系 $L(\psi)$ 及各级子系统可靠度的计算方法(包括失效相关性的考虑)。在完成这些工作后才算建立了工程系统优化的计算模型,即完成了建模工作。在我们的研究中,这些工作是不断得到改进而渐趋完善的。

四、损失期望的简化计算

如前所述,结构和工程系统的长远经济效益(包括社会效益)的期望值可以转化为它们服役期中的损失期望。但即使对单个结构而言,损失期望的评估也是一个非常复杂的问题。这个问题包括三个方面:

1) 结构服役期的工作环境是一个随机过程,特别表现为各种自然灾害和人为灾害的发生过程。作为一个过程,其分布律是很难评估的;

2)与失效准则相关联的结构抗力的变化是一个模糊随机过程,而且与服役期的维修过程有关,在结构设计阶段是很难预估的;

3)投资的效益还与利息有关,也就是与投资先后的时机有关,因而与工作环境过程及维修策略有关,也是一个难以处理的问题。

但是,工程的长远效益又是一个非常重要的必须考虑的问题,因而在工程系统的优化模型中不得不对此作出极大的简化。应该说明,比较粗糙的评估和根本不考虑,在理论上有着本质的区别,在应用上会直接影响工程的经济和社会效益。

为了提出切实可行的评估方法,首先把工程系统和结构的失效简化为在其服役期间发生的一次性随机事件,这时的工作环境取其服役期内最严峻的环境,并假定抗力是一个常数,就等于设计的抗力,暂不考虑维修和利息等问题。

在这种情况下,对单个结构,当只有一个失效准则时,其损失期望 L 可写成

$$L(\psi) = (1 - \psi)D = (1 - \psi)(D^{(1)} + D^{(2)})$$

式中 $(1 - \psi)$ 为结构的失效概率, D 为结构失效带来的经济和社会损失,包括结构本身的直接损失 $D^{(1)}$ 和引发损失 $D^{(2)}$ 。

对有多种失效模式的工程系统及采用多个失效准则的单个结构,其损失期望 L 的表达式要复杂一些,但通过引入“折算失效损失”, L 都可表示为上式的形式^[1,4,5]。

在文献[4]中给出了串联、并联和表决工程系统损失期望 $L(\psi)$ 的近似估算方法。

五、结构可靠度与相应最小造价间的关系

在研究结构可靠度 ψ 与其造价 C 之间的关系时,首先遇到的就是一个概念性和逻辑性的困难:结构造价 C 与其可靠度之间不存在一一对应的函数关系。例如,对应于同一个造价 C ,由于设计方案好坏的差别,不同的方案可能具有不同的可靠度。同样,对应于同一个可靠度 ψ ,不同的设计方案可能具有不同的造价。

为了解决这一难题,必须对可靠度与造价间的关系给出更严格和合理的定义。例如,对应于该结构同一个可靠度 ψ 可能有多种造价,但是只应承认这些造价中的最小者 $C_{\min}$ 与该 ψ 相对应,因为其他较高的造价属于设计不周带来的浪费,而不是合理的造价。这样,我们就可以将 $C(\psi)$ 定义为与可靠度 ψ 对应的最小造价 $C_{\min}(\psi)$,即

$$C(\psi) \triangleq C_{\min}(\psi)$$

同理可以采用定义

$$\psi(C) \triangleq \psi_{\max}(C)$$

即与一定造价 C 对应的是它的最大的可靠度 $\psi_{\max}(C)$ 。

上述的二个定义是等价的对耦关系,利用它们求出的 $C(\psi)$ 和 $\psi(C)$ 互为反函数。

在理论上,当结构的选型、拓朴、材料等为已知时,按上述定义可以利用如下的数学规划求出函数 $C(\psi)$ 。

求设计向量 $\bar{X}$, 使结构造价

$$C(\bar{X}) \rightarrow \min$$

并满足

$$\psi(\bar{X}) = \psi_0$$

式中 ψ_0 为指定的可靠度值,求出的 $C_{\min}$ 即与 ψ_0 对应的 C 值。使 ψ_0 取一系列不同的值即可

得出函数 $C_{\min}(\psi)$, 按定义它就是所求的函数 $C(\psi)$ 。

但直接利用上述数学规划通过设计向量 $\bar{X}$ 为中介求函数 $C(\psi)$, 实际上是十分困难的。因为当结构稍复杂时, 由于结构的主要失效模式的搜索方法和各失效模式间的失效相关性问题的解决, 求 $\psi(\bar{X})$ 本身就很困难, 解该规划就更为困难了。

在有关可靠性工程的文献(如[7]、[8])中, 常常采用经验公式

$$\psi(c) = 1 - e^{-h(c-c_0)}$$

式中 h 与 c_0 为待定经验常数。我们在文献[1]中证明该式可有一定的理论解释并将其改写为

$$C(\psi) = [1 - \frac{1}{\alpha} \ln(1 - \psi)] C_0$$

常数 C_0 就是 $\psi \rightarrow 0 (\psi \neq 0)$ 时的造价, 常数 α 决定曲线的走势。这就是在概念设计阶段我们建议采用的一种半理论半经验的近似公式。

文献[1]给出了一个抗震结构的 C_0 和 α 的评估例子。首先根据设计经验近似地给出造价 C 和设计烈度 I_d 间的比例关系 $C(I_d)$, 以不设防(6度)的造价为基数。然后以“不坏”和“不倒”二种失效准则分别估计: 设计烈度为 I_d 而遇到实际烈度为 I 时不失效的概率 $\psi(I_d, I)$, 这样就可以利用点估计的方法求出上式中的常数 α 和 C_0 的评估值。

在文献[5]中进一步给出了单个抗灾结构可靠度 ψ 与相应最小造价 $C_{\min}$ 间的函数关系的求法, 限于篇幅, 这里只以抗震结构为例介绍其基本概念。

现行抗震设计规范^[9]规定, 按该规范设计的结构应满足“小震(多遇烈度)不坏、中震(设防烈度 I_d)可修、大震(罕遇烈度)不倒”的要求, 这就给出了按设防烈度 I_d 设计的结构一个综合性的抗力描述, 再结合该场地的地震危险性分析结果(该场地将来遭遇到超过地震动给定值的概率), 就可近似地求出按 I_d 烈度设防的结构的可靠度。改变 I_d 之值, 即可得出函数 $\psi(I_d)$ 。

然后我们按指定的设防烈度 I_d 进行常规优化设计:

求结构设计向量 $\bar{X}$, 使造价

$$C(\bar{X}) \rightarrow \min$$

并满足设计规范规定的一切约束条件

(设防烈度为 I_d)。

改变 I_d 之值, 即可得出函数 $C_{\min}(I_d)$ 。

由函数 $C_{\min}(I_d)$ 和 $\psi(I_d)$ 消去中介参数 I_d , 即得函数 $C_{\min}(\psi)$, 根据定义, 这就是我们所求的函数 $C(\psi)$ 。

六、结构失效相关性的考虑

工程系统可靠度的计算是其优化过程中非常关键的一环。为此, 合理地考虑各个结构失效间的相关性是非常重要的。过去由于不会处理, 往往假定各结构失效相互独立。这时对串联工程系统, 它的可靠度即为各结构可靠度之乘积。设某工程项目有 10 个结构, 每个结构的可靠度均等于 0.95, 则不考虑失效相关性时此串联工程系统的可靠度将为 $\psi = \prod_{j=1}^{10} \psi_j = (0.95)^{10} = 0.599$, 得出这样小的可靠度显然是不合理的。