

ISSN1000-4750  
《工程力学》增刊 CODEN GOLIEB  
CN11-2595/O<sub>3</sub>

第七屆  
全國結構工程學術會議  
論文集

第Ⅱ卷

PROCEEDINGS OF THE SEVENTH NATIONAL CONFERENCE ON  
STRUCTURAL ENGINEERING  
Vol. II

中國 石家莊  
SHIJIAZHUANG, CHINA  
10.7 ~ 10.12, 1998

ISSN1000-4750  
《工程力学》增刊 CODEN GOLIEB  
CN11-2595/O<sub>3</sub>

# 工程力学

ENGINEERING MECHANICS

增刊  
1998

中国力学学会主办  
中国力学学会《工程力学》期刊社

# **第七届 全国结构工程学术会议**

**( 石家庄 10.7 ~ 10.12, 1998 )**

**主办单位**

**中国力学学会结构工程专业委员会**

**中国力学学会《工程力学》编委会**

**石家庄铁道学院**

**清华大学土木工程系**

**协办单位**

**教育部工科力学指导委员会**

# 第二卷目录

## 三 钢筋混凝土与试验

|                 |                                          |     |
|-----------------|------------------------------------------|-----|
| 吕建刚 张进秋 李彦路 王光远 | 承弯钢砼结构细观界面应变实验研究.....                    | 001 |
| 林立岩 国建龙 耿 昕     | 钢管砼叠合柱——一种抗震性能良好的新型柱.....                | 007 |
| 林旭健 郑作樵         | 高强钢纤维砼矩形截面构件的抗扭强度.....                   | 011 |
| 苗吉军 张 誉         | 钢筋混凝土结构施工过程安全性分析的研究.....                 | 015 |
| 郭院成 霍 达         | 受腐蚀钢筋砼杆系结构的塑性极限分析.....                   | 020 |
| 胡孔国 宋启根 刘和元     | 喷射混凝土加固柱在低周反复水平荷载下的<br>试验研究.....         | 025 |
| 王铁成             | 预应力混凝土结构中混合材料充填程度的<br>超声波检测.....         | 030 |
| 李 翔 龚绍熙         | 双跨框支墙梁的有限元分析及内力计算.....                   | 034 |
| 罗建辉 刘光栋 尚守平     | 混凝土破坏曲面的描述新方法.....                       | 039 |
| 刘郁馨 刘永福 吕志涛     | 悬挂预应力混凝土悬臂大梁设计.....                      | 044 |
| 周志勇 赵惠麟 刘承宗     | 带裂缝梁动态特性计算及其逆问题求解的<br>矩阵摄动法.....         | 050 |
| 李 珠 树学锋 吴桂英 张善元 | 山西日报社多功能大厅现场实测.....                      | 055 |
| 赵永刚 梁为民 王显耀 朱 健 | C—P 混杂纤维增强混凝土弯曲疲劳性能的<br>试验研究.....        | 059 |
| 张少波 华 渊 姜稚清     | C—P 混杂纤维混凝土弯曲疲劳损伤模型及<br>寿命预测.....        | 064 |
| 华 渊 张少波 姜稚清     | 杭州市铁路新客站站房大楼表面风压分布<br>风洞试验研究.....        | 069 |
| 王平山 楼文娟 孙炳楠 唐锦春 | 一般大气环境条件下混凝土中钢筋<br>开始锈蚀时间的预测.....        | 075 |
| 曹立勇 胡凌华 陈宗麟     | 高层建筑结构空间模型振动台抗震试验的<br>混凝土模拟材料性能初步研究..... | 080 |
| 张伟平 张 誉         | 部分预应力混凝土控制裂缝实用设计方法.....                  | 084 |
| 张家华 吕志涛 王功勋     | 用有限元法分析横向焊接钢网纤维加强的<br>钢筋混凝土柱.....        | 089 |
| 徐金法 徐文平 吕志涛     | 混凝土双筋截面高度取值研究.....                       | 093 |
| 周思柱 张传立 S.T Man | 大跨预应力结构抗震试验研究.....                       | 099 |
| 史耀宇 宋建夏 柴立志     | 斜弯桥的激动力试验和分析.....                        | 104 |
| 施卫星 李正升 徐 磊 黄昌正 |                                          |     |
| 刘 俊             |                                          |     |
| 孙全胜 王 昊 董秀军     |                                          |     |

|                        |                                            |     |
|------------------------|--------------------------------------------|-----|
| 王命平 刘晓春                | 深受弯构件的剪切传力模型.....                          | 109 |
| 吴东红 张兴武                | 偏压工形钢筋砼柱承载力的简便计算.....                      | 114 |
| 何锦云 高自湘                | 邯邢地区混凝土强度的早期推定.....                        | 119 |
| 迟维胜 邵式亮 王绍亮            | 装配式结构先、后浇混凝土界面非线性<br>有限元分析.....            | 123 |
| 薛建阳 赵鸿铁                | 混凝土内含角钢骨架梁裂缝研究与计算.....                     | 128 |
| 邬卫东 许光本 廖文胜 清 晨<br>曾令州 | 砼中钢筋直径及保护层厚度的无损测定.....                     | 133 |
| 赵灿晖 商从晋                | 无粘结部分预应力混凝土梁斜截面抗裂剪力<br>计算新探.....           | 139 |
| 何广杰                    | 建筑工程中大尺寸结构砼收缩应力考虑.....                     | 144 |
| 张 亮 金伟良 鄢 飞 宋兆云        | 基于函数型神经网络的结构耐久性分析.....                     | 149 |
| 黄霭明 李少云                | 管壁初始竖向应力对钢管混凝土柱承载能力的<br>影响.....            | 155 |
| 洪 桔 周志祥 江炳章            | 无粘结部分预应力砼梁的裂缝宽度.....                       | 164 |
| 侯作富 晏石林 沈大荣            | 三维复合材料的力学性能研究.....                         | 171 |
| 欧阳煜                    | 火灾后钢筋混凝土框架结构的二阶分析.....                     | 176 |
| 崔钦淑 许 杰 何锦云            | 高强砼有腹筋约束梁抗剪强度的计算探讨.....                    | 180 |
| 袁海庆 邹 菁 袁 军            | 钢纤维预应力叠合板结合面性能初探.....                      | 185 |
| 钱 春                    | 混凝土内埋设膨胀螺栓的边界影响研究.....                     | 190 |
| 卢兴江                    | 混凝土基础冲切破坏的统一算法.....                        | 195 |
| 季 韬 裘 涛                | 钢筋砼截面性能的研究.....                            | 200 |
| 季 韬 裘 涛                | 钢纤维砼构件截面性能的研究.....                         | 205 |
| 朱筱俊 卢建峰 侯善民 梁书亭        | 开槽钢管混凝土柱轴心受压试验研究.....                      | 210 |
| 蒋永生                    | 预应力砼夹芯板正截面承载力分析.....                       | 215 |
| 徐 悦 苏幼坡                | 采用夹层板理论推导预应力混凝土夹芯保温屋面板<br>开裂荷载及挠度的解析式..... | 218 |
| 王 岚                    | 箱形截面翼缘对复合受力下构件强度及<br>破坏的影响.....            | 224 |
| 杜红秀 张 雄                | 火灾混凝土红外热像检测实验研究.....                       | 229 |
| 杜赞华                    | 钢筋混凝土矩形截面拉弯扭构件极限扭矩的<br>试验分析.....           | 234 |
| 张晋元 赵奎生 戎 贤            | 粗直径双钢筋大开间无梁密肋楼板的<br>理论分析和试验研究.....         | 239 |
| 罗素蓉                    | 框架顶层角节点的受剪承载力计算.....                       | 244 |
| 申冬建 孟保艳                | T形截面双向偏心受压柱的稳定性研究.....                     | 249 |
| 王增春 陈 栋 夏明耀            | 大面积混凝土在变形荷载作用下的应力控制.....                   | 254 |

|                 |                                          |     |
|-----------------|------------------------------------------|-----|
| 刘 群             | 形状记忆合金混凝土构件变形控制研究.....                   | 259 |
| 蔡 健 李 静         | 钢筋混凝土圆孔梁在集中荷载作用下的试验研究.....               | 264 |
| 肖建庄 陈 隽 李 杰     | 钢筋混凝土异型柱结构体系.....                        | 268 |
| 赵 军 高丹盈 朱海堂     | 钢筋纤维增强部分砼梁受弯性能分析的<br>计算机方法.....          | 273 |
| 乐运国 张青梅 李遇春     | 高强度混凝土损伤断裂判据研究.....                      | 278 |
| 程梅笑 徐文平         | 开孔圆形塔筒截面承载力计算方法.....                     | 284 |
| 周 安 柳炳康 黄慎江 许家兵 | 地震力作用下钢筋混凝土约束短柱临界剪跨比.....                | 288 |
| 周献祥             | 砖砌体结构顶层横墙斜裂缝分析及防治措施.....                 | 293 |
| 周献祥 熊德青         | 钢筋砼 ( SRC ) 梁的刚度叠加计算.....                | 298 |
| 秦士洪 姚爱军         | 预应力砼裂缝控制的可靠性分析.....                      | 303 |
| 秦士洪 姚爱军         | 预应力砼结构物的裂缝控制对耐久性的影响.....                 | 311 |
| 汪国华 周志祥         | 关于 PFRC 梁预应力损失估算的探讨.....                 | 317 |
| 王小平 蒋沧如 袁海庆 代 红 | 18M 跨 W666 金属拱型波纹屋顶承载力试验及<br>结果分析.....   | 322 |
| 周 详 胡春宇         | 利用平面壳元及叠代法对预应力混凝土<br>夹芯保温屋面板进行有限元分析..... | 327 |
| 苏幼坡 王绍杰         | 钢筋混凝土梁的受剪承载力计算方法分析.....                  | 332 |
| 赵树红 叶列平         | 钢纤维混凝土二维方向系数的边界效应.....                   | 337 |
| 赵艳华 郑建军 周欣竹 熊 军 | 变形钢筋在陶粒混凝土中的粘结应力分布.....                  | 342 |
| 麻建锁 刘汉阳         | 偏心支撑钢筋砼框架与框架剪力墙的比较研究.....                | 346 |
| 石建光 宋继强 程 义 朱丽华 | 手动加载系统中加载速率的控制.....                      | 351 |
| 陈忠安 赵永茂 刘 进     | 钢管混凝土肋拱的横向稳定性分析.....                     | 356 |
| 王 宇 何广汉 杨永清 蒲黔辉 | 体外预应力混凝土结构在我国桥梁建设中的<br>应用现状及急需解决的问题..... | 362 |
| 王炳灵             | 叠合梁的最小配筋率及设计建议.....                      | 366 |
| 王海良 刘永前         |                                          |     |
| 龙炳煌             |                                          |     |

#### 四 钢结构、桥梁、水工与地下

|                 |                        |     |
|-----------------|------------------------|-----|
| 陈艾荣 刘志刚 项海帆     | 悬索桥横向等效风荷载.....        | 371 |
| 王解军 刘光栋         | 预应力砼连续刚构桥施工的主动控制.....  | 378 |
| 张 延 楼文娟 彭 卫 唐锦春 | 两种边界支承板在桥梁结构上的应用.....  | 383 |
| 蔡元奇 段克让 黄光明 代益华 | 复杂坝基对大坝工作状态的影响.....    | 388 |
| 陈观福 伍鹤皋 郝 鹏 王 辉 | 加劲环式地下埋管的外压稳定分析.....   | 393 |
| 卓卫东 房贞政 上官萍     | 斜拉桥塔体锚固区应力分析.....      | 397 |
| 许德庆 罗小青         | 地下洞室局部稳定性评价的复变函数法..... | 402 |

|                 |                            |     |
|-----------------|----------------------------|-----|
| 李惠彬 郑兆昌 应怀樵     | 对国内外桥梁损伤诊断几种方法的评述.....     | 407 |
| 李运光 宋娃丽         | 箱梁桥的剪滞效应影响.....            | 415 |
| 侍克斌 陈祖森 侯 杰 唐新军 | 考虑垫层减压效果后过水土石围堰下游坡砦        |     |
| 杨建国             | 楔形护板的三维受力分析.....           | 419 |
| 周志祥 张江涛         | 荣经大桥拓宽加固研究.....            | 425 |
| 许凌云 王晓光 朱 噉 刘利珍 | 多层钢胶复合材料有限元分析与试验验证.....    | 430 |
| 王 成 瞿光义         | 软岩隧道施工监测反馈计算方法.....        | 435 |
| 杨庚宇 赵少飞         | 土坡稳定分析圆弧滑动法的解析解.....       | 440 |
| 王克海 王连海         | 钢桁梁桥悬拼施工中晃动问题的研究.....      | 445 |
| 王 忠 彭大文         | 预应力对箱梁剪滞效应的影响分析.....       | 449 |
| 王志力 曾茂强 刘华音 吴荣光 | 地下连续墙的水平变位控制方法研究.....      | 454 |
| 王志力 曾茂强 刘华音 吴荣光 | 有关地下连续墙在建筑工程中的一些实际应用的      |     |
|                 | 探讨.....                    | 458 |
| 张俊平 李新平 高荣堂     | 桥梁结构检测若干问题的探讨.....         | 463 |
| 王钧利             | 桥头跳车对公路桥梁动力效应及其疲劳损伤分析..... | 468 |
| 张宏杰 夏 禾 黄绚晔     | 钢板梁桥横向刚度加固及其试验分析.....      | 473 |
| 邓思华             | 拱坝与基础协同工作的应力分析.....        | 479 |
| 雷建民             | 从累积耗能与变形两方面对钢筋砦桥墩的         |     |
|                 | 弹塑性分析.....                 | 484 |
| 袁海庆 卢哲安 魏文晖 陈应波 | 桥面铺装层结构静力及动力的有限元分析.....    | 488 |
| 项贻强             | 苏州迅达电梯有限公司主干道桥承载能力的        |     |
|                 | 分析及试验研究.....               | 494 |
| 陈佑新 董淑棉 王道斌     | 莲沱特大桥钢管混凝土主拱上索挂梁预制、        |     |
|                 | 移梁及吊装.....                 | 498 |
| 龙炳煌 李书进 彭少民     | 对称配筋均匀受热条件下砦结构线差温度         |     |
|                 | 应力计算.....                  | 513 |
| 罗晓群 龚 铭 张其林     | 任意梁系钢结构单元理论及 CAD 实现.....   | 518 |
| 袁向荣 高勇利 卜建清 满洪高 | 板梁桥上移动荷载识别.....            | 523 |
| 宋娃丽 王凤岐 宋新力     | 桩柱式墩台水平力的分配计算.....         | 528 |
| 段树金 李云峰         | 关于应急拼组工程结构的设计计算.....       | 532 |
| 梁志广 李建中 石现峰     | 预应力混凝土斜拉桥的时效行为分析.....      | 536 |
| 石现峰 李建中 梁志广     | 施工方法对混凝土连续梁桥内力及变形的影响.....  | 543 |
| 王军文 李建中 梁志广     | 预应力组合梁桥的时效分析.....          | 550 |
| 王树栋 鲍存坤 李云峰 刘嘉武 |                            |     |
| 于志国             | 公路应急分载梁的研究试验.....          | 556 |
| 李运生 张彦玲 戴运良 张博庆 | 芜湖大桥板桁组合结构空间自振特性分析.....    | 561 |
| 常春伟 王炳灵 鲍存坤 周宏业 | 高速铁路行车速度对桥上列车走行性的影响.....   | 566 |
| 常春伟 岳渠德 张博庆 戴运良 | 提速后轮对跳轨问题的分析.....          | 572 |



|                 |                                    |     |
|-----------------|------------------------------------|-----|
| 于志国             | 我国国防交通应急工程结构研究 .....               | 577 |
| 沈凤生 张金良 汪 强 袁 群 | 故县水库大坝溢流坝段反弧段稳定分析及<br>处理措施研究 ..... | 584 |

## 五 高层与壳体

|                 |                                                                  |     |
|-----------------|------------------------------------------------------------------|-----|
| 刘锡良 张 勇 张福海     | 金属拱型波纹屋顶在我国的应用现状及<br>存在的问题 .....                                 | 589 |
| 王建东 包世华 闫焕金     | 大底盘大孔口高层建筑结构的二阶分析 .....                                          | 594 |
| 赵士永 杜守军 夏亨熹     | 四角锥组合网架结构弹塑性动力响应分析与比较 .....                                      | 598 |
| 张铜生 陆 兢         | 高层建筑结构空间杆系一层模型在多维地震波<br>作用下的时程分析——单、双向及扭转地震波<br>输入下结构的反应比较 ..... | 604 |
| 阎奇武 沈蒲生         | 二级动态子结构法在框筒结构动力特性<br>空间分析中的应用 .....                              | 609 |
| 王粤晖 邹银生 王选民     | 筒体结构分析的筒段有限元法 .....                                              | 614 |
| 邸 元 袁明武         | 钢筋混凝土高层建筑结构计算机辅助设计程序<br>ASD 的研制 .....                            | 623 |
| 赵才其 陆金海 赵惠麟     | 板杆组合网壳结构稳定性的缺陷分析 .....                                           | 628 |
| 龚景海 刘锡良         | 网壳结构稳定分析程序 .....                                                 | 633 |
| 周 广 刘锡良 姜忻良     | 平板网架结构分析的超级样条子域法 .....                                           | 638 |
| 杜恩阁 何广民 赵丽君     | 高层建筑结构设计的若干问题 .....                                              | 643 |
| 韩庆华 尹 越 丁 阳 刘锡良 | 高层建筑顶部塔形网架结构的自振特性及<br>地震反应分析 .....                               | 648 |
| 孙树立 陈 璞 袁明武     | 楼板面外刚度对建筑结构横向刚度的影响 .....                                         | 652 |
| 尹 越 韩庆华 丁 阳 刘锡良 | 高层建筑顶部塔形网架的设计 .....                                              | 657 |
| 康 胜 叶列平         | 双功能开缝剪力墙弹性状态受力分析 .....                                           | 661 |
| 张家良             | 网架的模块变换设计法 .....                                                 | 666 |
| 刘永华 刘圣元         | 组合网壳稳定性的理论分析和试验研究 .....                                          | 671 |
| 毛蓉萍             | 高层结构设计中长悬臂构件的竖向地震作用 .....                                        | 682 |
| 赵福顺 赵玉星         | 肋板楼盖与网架杂交应用的实践 .....                                             | 687 |
| 赵玉星 邹志斌 迟文广     | 组合网架的浇筑式钢板结点 .....                                               | 692 |
| 李国强 张 洁         | 我国高层建筑钢结构的发展状况 .....                                             | 697 |
| 赵锦锴             | 等步距浇筑与滑升<br>——适用于高层建筑滑模的施工方案的 .....                              | 703 |
| 黄吉锋             | 转换层计算中带转角自由度的三维元 .....                                           | 707 |
| 童丽萍 赵湘育 李 明     | 玻璃幕墙结构中中空玻璃的非线性力学分析 .....                                        | 714 |



|                 |                                               |     |
|-----------------|-----------------------------------------------|-----|
| 童丽萍 张晓萍         | 温度变化对玻璃幕墙结构的影响及其分析 .....                      | 718 |
| 袁政强 白绍良 李正良     | 巨型框架体系悬挂结构与普通结构考虑<br>次结构影响的比较分析 .....         | 724 |
| 王克海 朱 晔         | 斜拉网架结构非线性分析 .....                             | 729 |
| 陈月明 叶继红         | 佳木斯篮球馆单双层鞍形组合网壳 .....                         | 734 |
| 梁书亭 田玉基 蒋永生 马 辉 | SRC 和 RC 梁式托柱转换层结构抗震性能的<br>对比试验研究 .....       | 739 |
| 梁书亭 马 辉 蒋永生 田玉基 | 转换层结构中转换梁、上部框架梁、框支柱<br>相对刚度变化对结构受力性能的影响 ..... | 744 |
| 宁 利 赵 鸣         | 角柱刚度对筒体结构受力性能的影响 .....                        | 750 |
| 汤永净 侯学渊         | 高层建筑逆作法施工的测试与分析 .....                         | 755 |
| 林继德             | 圆柱壳分析的一种新方法 .....                             | 760 |
| 何广杰 张瑞云         | 异形柱的工程设计探讨 .....                              | 763 |
| 蔡江勇 蒋沧如 彭少民 王克显 | 高层组合筒体稳定分析 .....                              | 768 |
| 陈彦明             | 高层组合筒体局部竖向协同分析 .....                          | 773 |
| 蔡江勇 王建平 蒋沧如 王克显 |                                               |     |
| 陈彦明             |                                               |     |

# 承弯钢砼结构细观界面应变实验研究

吕建刚 张进秋 李彦路

王光远

(军械工程学院一系, 石家庄 050003)

(哈尔滨建筑大学, 哈尔滨 150008)

**提 要** 本文采用云纹干涉法及其载波技术, 对圆筋和人字纹筋两种钢砼结构试件承受弯曲载荷的不同材料间界面应变进行了实验分析, 测取和确定了钢筋与混凝土的界面应变分布, 结果表明: 钢砼结构, 由于配料成分性能的差异, 其内部的应力应变状态极为复杂, 沙石骨料水泥材料, 及其与钢筋之间, 不仅存在挤压的正应变, 而且存在较大的剪应变, 钢筋与混凝土的界面区域, 存在明显的挤压带和剪切带, 这对于从细观上分析钢砼结构的应力, 应变状态, 认识钢砼结构的破坏机理有重要意义。

**关键词** 钢砼结构, 云纹干涉, 载波, 界面应变

## 一、引 言

钢砼结构是由水泥、沙石骨料、钢筋等组成的复合材料结构, 由于其组成成份力学性能的差别, 使得载荷作用下钢砼结构的内部受力情况极为复杂, 沙石骨料间及其与钢筋的连结界面, 不仅受到相互挤压和拉伸作用, 而且相互间有较强的剪切作用, 并且由于骨料形状的复杂性和分部的随机性, 局部区域可能存在严重的应力或应变集中, 这都可能使该区域成为钢失效的混结构首发区域, 因此, 有必要从细观上对钢砼结构的应力应变行为进行认识和分析, 作者首次用现代光测力学的云纹干涉法对钢砼结构试件的沙石骨料及其与钢筋间的界面形变进行了细观力学实验分析, 云纹干涉法是利用光栅技术与激光技术的位移场测量方法, 它具有全场, 实时。条纹清晰的优点, 有极高灵敏度, 作者采用 1200 线/mm 的位相型正交型光栅, 灵敏度可达 0.42 微米, 相当于波长量级。因此, 特别适用于局部, 细观应变分析。但云纹干涉法是表面位移场测量方法, 对结构内部的变形无法测量, 为此, 作者运用开法, 对欲测的截面进行研磨开, 本文作者制作了两组共四个试件, 分别承受压缩和弯载荷, 为了尽量减少开法所带来的失真, 作者采用两种措施, 一, 对称布筋保持试件及载荷分布的对称性, 二, 对剖开钢筋采用多半圆形, 这样剖开面混凝土材料部分对其仍存在一定的向内的裹紧作用, 每组试件分普通圆形钢筋和人字纹筋两种, 以分析其应变性能的差别。另外, 为进一步研究混凝土结构骨料间的相互影响, 作者又制作了一方形混凝土试件。为一种新型的光测力学方法, 云纹干涉法有其自身的不足, 一是尚不能脱离隔

震台,距工应用尚有一定的距离,二是光栅面积小,只适合于局部测量。通过本实验,作者体会到云纹干涉法用于钢砼结构,尚有许多有前景的科题,如地震载荷作用下钢砼结构残余形变及损伤累积问题等,都可用云纹干涉法得到较好的解决。

## 二、钢砼试件的制做

钢混试件的几何外形如图 1 所示,两个试件分别采用 $\varnothing 12$  的 I 级圆形钢筋和人字纹筋,他们的力学性能见表 1

表 1 钢筋的力学性能

| 截面  | 型号                        | 屈服极限 (mPa) | 极限强度 (mPa) | 弹性模量 (mPa)          |
|-----|---------------------------|------------|------------|---------------------|
| 圆 形 | $\varnothing 12\text{mm}$ | 371        | 446        | $2.0 \times 100000$ |
| 人字纹 | $\varnothing 12\text{mm}$ | 367        | 440        | $2.1 \times 100000$ |

试件采用普通混凝土浇注,水泥采用 325#普通硅酸盐水泥,,混凝土配合比为水泥:水:细骨料:粗骨料=1: 0.6: 1.5: 2.2,细骨料是指最大粒径小于 2.5mm 的沙料,粗骨料是指最大直径为 5mm—20mm 之间的碎石料,混凝土的立方强度为  $27\text{N/mm}^2$ 。考虑到实际钢砼结构中混凝土对钢筋的握裹作用,钢筋的截面如图 1 中多半圆形,并且在试件两侧对称不筋,以尽量减少因剖面引起的失真。

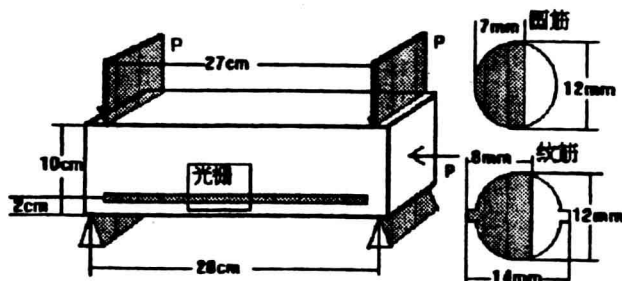


图 1 受弯钢砼试件外形

试件模型在温湿环境中养护 28 天,而后进行表面磨光处理,在如图 1 中的位置复制一层 1200 线/mm 的正交位相型光栅,复制用的胶粘剂为了 xy-508 环氧树脂胶,固化时间为 24 小时,光栅由北京光学仪器厂光栅室制做。

## 三、实验装置及过程

实验光路如图 2 所示,用三反镜可同时测取每一级载荷下的  $u, v$  位移场条纹图,在每一级载荷下,分别遮挡准直镜的 A,B 和 C,D 部分,可分别得带其  $u$  和  $v$  场条纹。加载装置为一手动加力架,其最大载荷可达  $1.5\text{t}(15,800\text{N})$ ,载荷的大小由传感器显示。首先在零载荷下,调节试件栅位置,因栅线密度为 1200 线/mm,使其 2 级衍射光沿原光路返回,其 1 级安设即垂直于试件栅表面调节三反镜,使其正负 1 级衍射光相重合,即条纹场为零

场,而后即可进行加载,用全息I型干板记录其每一级载荷下的 $u, v$ 位移场条纹。由于加载

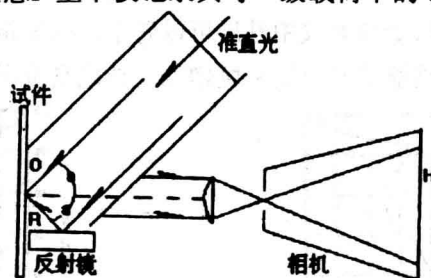
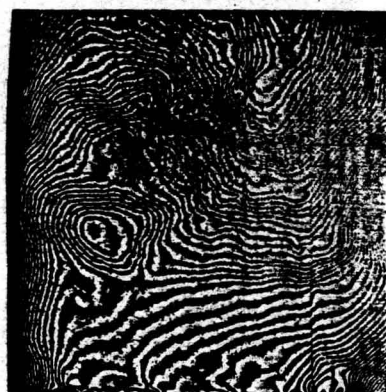


图2 实验光路图

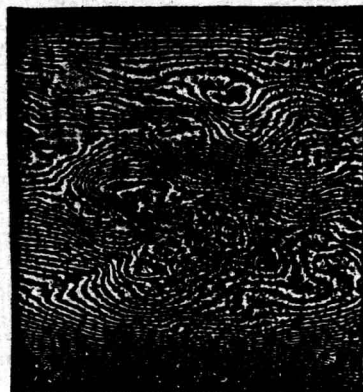
能力最大为 15, 800N, 远未达到试件的极限强度, 因此, 未能拍摄到试件发生局部损伤的条纹图。

#### 四、实验结果分析

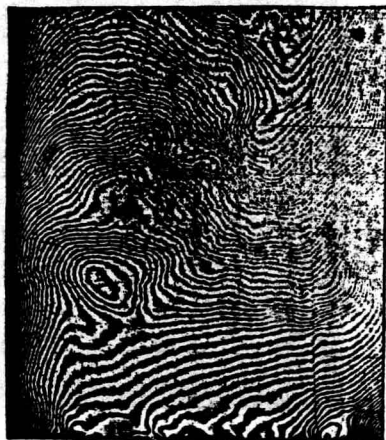
图3为人字纹筋试件在不同弯曲载荷下的 $u, v$ 位移场条纹图, 可以看出, 弯曲段只是试件中部很小一段, 即在图1的加载方式下, 受弯段的长度仅为受力段的长度减去二



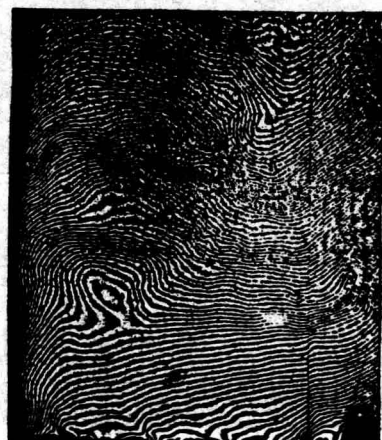
$P=0.6t$   $u$  位移场条纹



$P=0.9t$   $v$  位移场条纹



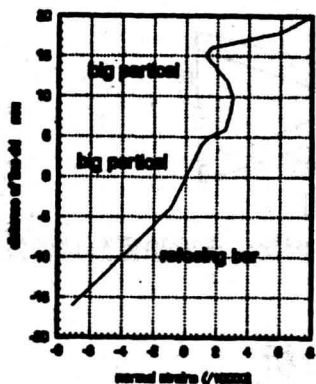
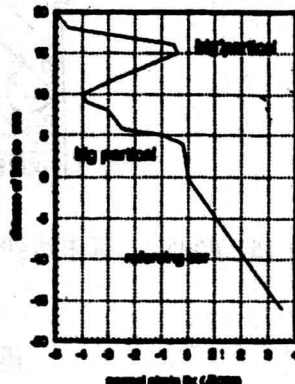
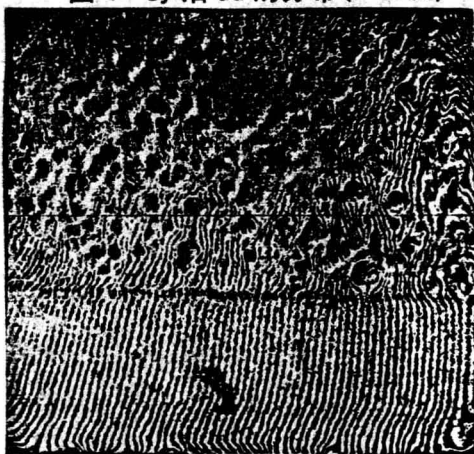
$P=1.0t$   $u$  位移场条纹



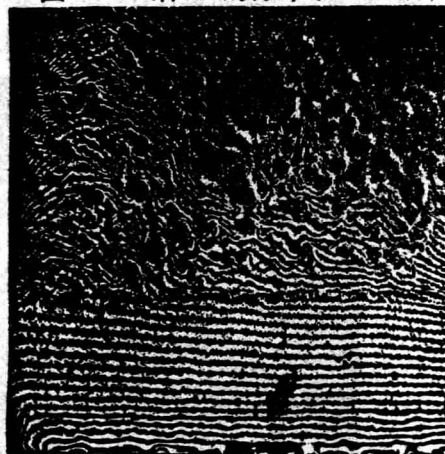
$P=1.2t$   $v$  位移场条纹

图3、人字纹筋试件承弯 $u, v$ 场条纹图

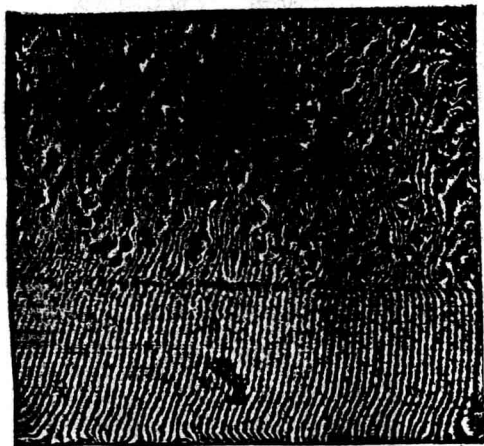
倍的横向尺寸, 这从一个侧面证明了圣文南原理的正确性。弯曲载荷作用下, 钢筋试件远比压缩载荷的情况复杂, 从  $u$  场条纹中性层可以看出, 由于钢筋的上下非对称, 使其纯弯段中性层下移。这是由于钢筋试件一侧刚度增加, 造成刚度不均匀, 引起中性层下移。从

图4  $\varepsilon_y$  沿  $dd$  的分布 ( $P=0.9t$ )图4  $\varepsilon_x$  沿  $ee$  的分布 ( $P=1.0t$ )

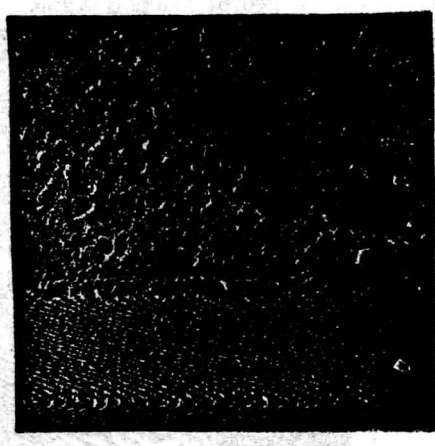
P=0.5t u 位移场条纹



P=0.8t v 位移场条纹



P=0.9t u 位移场条纹



P=1.0t 加载波后 v 位移场条纹

图6 弯曲载荷下圆筋试件  $u, v$  位移条纹

$p=0.9t$  的  $v$  场条纹图可以看出,  $v$  场条纹, 除骨料区域外, 基本平直, 即横向应变  $\epsilon_y$  为正, 而横向应变  $\epsilon_x$  为负, 为挤压应变。而中性层以上部分, 纵向应变  $\epsilon_x$  为挤压应变, 为负值, 为横向应变  $\epsilon_y$  应为正值。

图 4 对应线的  $dd$  的  $\epsilon_y$  分布曲线, 可以看出, 再中性层以上区域, 由于骨料的相互作用, 造成部分水泥细质材料部分存在相互挤压, 另外, 钢筋上部纹牙由于钢筋与混凝土间刚度失配, 存在明显的剪切变形。图 5 为  $p=1.0t$  时  $\epsilon_x$  沿  $ee$  的分布曲线, 可以看出,  $\epsilon_x$  的分布基本上与纯弯梁的  $\epsilon_x$  分布特性基本相同, 只是由于骨料的相互作用, 中性层上部骨料间细质材料部分的应变非严格按直线分布。

图 6 为弯曲载荷下作用下, 圆筋试件的不同荷载级下的  $u, v$  位移条纹, 可以看出: 圆形钢筋由于其整体刚度较人字纹筋小, 中性层下降较少, 大约在大骨料区域。因此, 整个钢筋纵向正应变  $\epsilon_x$  基本相同, 其横向挤压应变也很规律。为进一步观察钢筋与混凝土界面剪切变形, 对  $p=1.0t$  的  $u$  位移场施加横向载波, 可以清楚的看到钢筋与混凝土界面剪切变形, 剪切变形应沿钢筋长度方向基本相同, 表现为条纹横向间距相同, 而上侧界面剪切变形小于其下侧。因此, 受弯梁钢筋与混凝土界面的切脱最大可能发生在下侧。

从上面两种配筋试件的条纹图可以看出, 人字纹筋与混凝土界面有很好的融合作用即其界面剪切应变不明显, 而圆形筋试件则相对较差。

为进一步研究骨料间的应变行为, 作者又制做了承受压缩载荷的正方形试件, 其各材料配合比同上面两试件, 其碎石骨料略大一些, 试件表面复制 1200 线/的单线栅, 图 7 为压缩载荷作用下, 试件位移场条纹图。

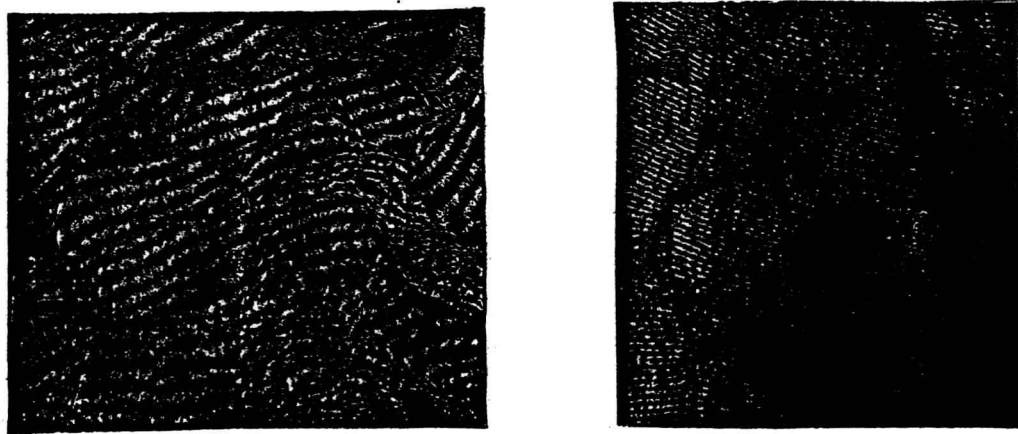


图 7 混凝土压缩试件  $u$  场条纹

可以看出: 混凝土骨料间的形变是极为复杂的, 从整体上看, 试件的  $u$  场条纹基本平直, 表现为垂直方向的压缩应变, 但从局部细观分析, 骨料间细质材料部分的变形受到骨料大小、形状、相对位置的共同作用, 不仅存在压缩应变, 而且存在正应变和剪切应变。一般地看, 平直分布的长形骨料, 其上下两侧细质材料部分受到压缩应变作用, 骨料两侧发生剪切变形。在两骨料相对较近的区域, 骨料间的相对错动可造成其细质材料部分较大的剪应变存在。

## 五、结论

钢筋结构由于配筋不同, 骨料形成的复杂和分布的随机性, 其细观应力应变问题十分复杂。总体来看, 钢筋与混凝土界面间, 由于刚度失配, 存在剪切变形, 对圆形筋, 该剪切变形沿钢筋长度方向分布相等, 对月牙形纹筋, 则界面剪切应变的分布呈锯齿形。

在弯曲载荷作用下, 月牙形纹筋由于纹牙的存在, 与混凝土有较好的溶合性, 由于钢筋的加入, 大大增加了试件一侧的刚度, 使得弯曲载荷作用下的试件中性层向布筋一侧偏移。圆形筋试件由于钢筋与混凝土间的刚度失配, 使其受弯侧界面存在较大的剪切变形, 比月牙形纹筋更易发生切脱破坏。

现代光测力学的云纹干涉法对于刚混结构的细观应力、应变分析是行之有效的, 它具有实时全场和条纹清晰的优点, 是其它实验力学方法所难以达到的。

## 参考文献

- [1] 戴福隆等, 现代光测力学. 科学出版社, 1991
- [2] 吴波, 欧进萍, 主余震作用下钢砼结构损伤分析. 哈建大博士论文 1994
- [3] 吕建刚, 王光远. 钢砼结构界面应变实验研究 哈建大博士后出站报告 1996



# 钢管砼叠合柱

## —— 一种抗震性能良好的新型柱

林立岩

(辽宁省建筑设计研究院, 沈阳 110005)

国建龙 耿昕

(沈阳和泰大厦建设指挥部, 沈阳 110001)

**提 要** 以钢管高强砼为核心的钢筋砼叠合柱是一种抗震性能好, 又能节省造价的新型柱结构。本文介绍这种柱的工作机理、试验情况和工程设计应用。

**关键词** 叠合柱、钢管、高强砼、抗震性能

### 一、叠合柱的工作机理

地震区高层建筑采用钢筋砼柱结构, 在罕遇地震时要避免柱截面边缘砼过早达到极限压应变, 产生压溃破坏。应使柱截面一侧的纵筋先屈服, 另一侧的边缘砼后压溃, 使柱子具有一定的耗能转动能力和延性。众所周知, 砼的极限压应变值为 0.0033, 当柱子由于强震引起的弯矩和轴力产生的边缘压应变值达到和超过 0.0033 时即产生边缘压溃现象, 应控制正常使用阶段(设计工况)柱的压应变值, 使之不致过大且应与极限压应变值留有足够的差值。通常用“设计轴压比”来加以控制, 在设计工况下确定一个较小的轴压比限值, 实际上即是控制设计工况下砼的压应变值。

柱截面在偏心受压时的压溃破坏往往从受压区边缘开始, 因此控制轴压比应首先控制柱截面四周边缘部分的轴压比, 使截面破坏处于延性好的大偏压状态; 而对于柱子截面的核心部分, 由于压应变较小, 轴压比的控制可以放宽。

合理的柱截面设计应使柱截面的外围部分(压应变最大区)取较小的设计轴压比而截面的核心部分可取较大的轴压比。

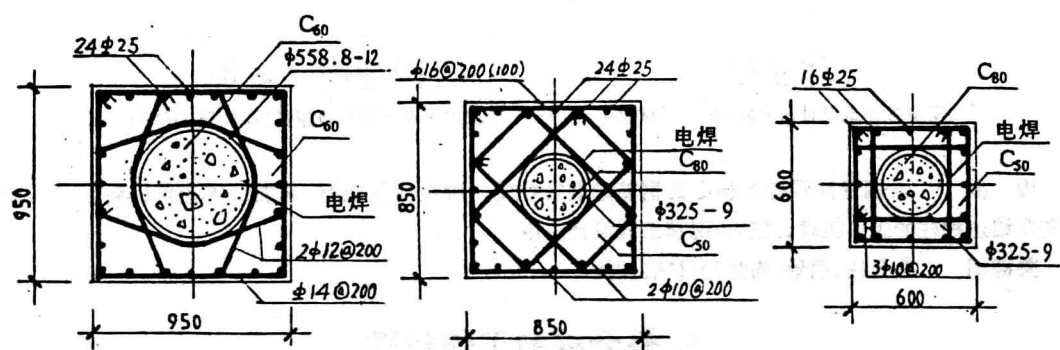
要在一个柱截面设计中不同部位采取不同的轴压比限值, 唯有通过叠合的办法才能实现。

叠合柱的施工分两期进行, 先施工核心部分, 当核心柱承受一定的轴力后(约施工到楼层总数的 1/3 时)再浇筑外围部分的砼, 使新老砼叠合成整体共同承受后期施加的荷载。只要事先设计好新老砼的截面积、竖向刚度和叠合时间, 则可以准确算出两部分承担的轴力和轴压比。

### 二、钢管高强砼叠合柱

叠合柱可以减少外围砼的轴压比, 但要明显减少柱断面, 节约工程造价则宜在柱截面的

核心部位增设钢管高强砼, 作为承受早期荷载的受力柱, 后期在外围叠合浇筑钢筋砼, 形成钢管砼叠合柱。图 1 为几个已建成工程的柱断面。



a) 辽宁邮政枢纽叠合柱

b) 沈阳和平区地税大楼叠合柱

c) 和泰大厦叠合柱

图 1 钢管砼叠合柱断面

钢管砼叠合柱有如下特点:

1、钢管砼柱是一种成熟有效的受力构件, 作为早期受力柱, 尽量用较小的钢管直径, 加上管内高强砼即可获得很大的承载力, 早期轴力一般占总轴力的  $1/4 \sim 1/3$ 。

2、钢管砼具有很大的竖向刚度, 特别是当管内浇筑高强、高弹性模量的高性能砼时其刚度更大, 柱的竖向刚度  $\sum EA$  由三部份组成:  $\sum EA = \sum_{cl} A_{cl} + \sum_a A_a + \sum_{c2} A_{c2}$  式中  $E_{cl}$ 、 $E_a$ 、 $E_{c2}$  和  $A_{cl}$ 、 $A_a$ 、 $A_{c2}$  分别为外围砼、钢管和管内砼的弹性模量和截面积。后期荷载按刚度分配的结果, 可有效减小外围砼的轴压力和轴压比。如果外围砼的设计轴压比控制在一个给定的允许值, 则可明显减少柱子的截面积。

3、钢管与外围砼通过箍筋焊接, 试验表明<sup>[1]、[2]</sup>, 两种材料间连接性能良好, 在柱子破坏阶段也具有足够的连接, 整个柱子符合平截面假定。

4、核心钢管的存在, 增强了柱断面的抗剪能力, 比单靠箍筋抗剪更有效, 即使在短柱情况下, 亦容易做到强剪弱弯;

5、由于外围钢筋砼对核心钢管砼的约束, 计算叠合后的核心钢管砼的承载力时一般可以不计钢管的长细比和荷载偏心率的影响, 按文献[3]计算时,  $\varphi_L$ 、 $\varphi_e$  均可取 1.0, 使核心钢管砼的承载力得到最充分的发挥。

当采用钢管砼柱, 楼盖为钢筋砼肋形楼盖时, 梁与钢管砼在节点处相交, 节点处理好坏, 关系到结构的传力和抗剪性能, 且很大程度上影响到结构的技术经济指标。叠合柱的钢管尺寸虽然比普通钢管砼柱略小, 但也存在同样的问题。我们在进行叠合柱的研究同时, 首次