

ISSN1000 - 4750
《工程力学》增刊 CODEN GOLIEB
CN11 - 2595/O3

第八届 全国结构工程学术会议 论文集

第Ⅱ卷

PROCEEDINGS OF THE EIGHTH NATIONAL CONFERENCE ON
STRUCTURAL ENGINEERING

Vol. II

ISSN 1000-4750



中国 昆明
KUNMING, CHINA
10.22~10.25,1999

第II卷目录

三、钢筋混凝土与试验

冷弯薄壁焊接矩形管柱的承载力试验研究	唐 扬 沈祖炎 陈以一 (001)
纵筋及箍筋对构件受剪承载力计算影响的分析	王铁成 康谷贻 李砚波 (007)
剪—扭构件最小配筋率	康谷贻 王依群 (012)
组合梁考虑滑移效应时的挠度实用算法探讨	方立新 宋启根 孙 逊 (018)
钢筋砼框架与楼梯共同工作性能试验研究	曹万林 胡国振 周明杰 吴二军 郝春森 曲英华 (023)
钢筋砼修补梁长期荷载性能实验研究	刘金伟 谢慧才 熊光晶 (027)
人工神经网络在碱—集料反应中的应用	仇翠苹 刘兴业 王铁成 (033)
钢筋混凝土框架梁柱偏心节点抗剪承载力计算	马克俭 柳炳康 黄慎江 (037)
粘贴玻璃丝布加固钢筋混凝土楼板的试验研究	盛光复 赵考重 贾留东 (043)
钢骨混凝土压弯构件正截面承载力计算的程序设计	姚俊淦 江见鲸 (047)
厦门国际会展中心动静态风荷载的风洞实验	颜大椿 孙智利 黄 盛 李 红 王 捷 (053)
虎门悬索桥址的台风谱测量	颜大椿 干 辉 罗炽涛 张子华 叶 琦 (061)
磁测法测定焊缝残余应力	谢大吉 (068)
钢梁—钢筋混凝土柱节点在低周反复荷载作用下受力性能的试验研究	韩圣章 郝志军 杨建江 (072)
钢骨混凝土柱在低周反复水平荷载下的试验研究	徐 明 余 勇 程文灏 陈忠范 (078)
框支连续墙梁受力状态分析	徐福泉 赵 彤 于敬海 郭 弘 周同和 (084)
预应力木结构受力特性初步探讨	狄生奎 宋 蛟 宋 彧 (090)
双向受弯混凝土梁斜截面受剪承载力的试验研究	熊进刚 程文灏 虞锦晖 何高勛 (096)
复合材料与混凝土复合箱梁设计的研究	杨允表 金士元 (100)
混凝土小砌块墙体抗震试验研究	吴高烈 易伟建 (107)
对非饱和填土的动三轴试验研究	毕湘利 周顺华 王炳龙 (111)
外界力引起的钢筋振动对早龄期混凝土影响的试验与分析	金贤玉 金南国 (116)
早龄期粉煤灰混凝土损伤特性的试验研究	金贤玉 金南国 (122)
复合材料雷达罩鸟撞实验	许陆文 苗励刚 朱家志 罗文琳 (127)
复合材料模型实验中的相似刚度矩阵法	苗励刚 梅占华 许陆文 (132)
钢筋混凝土柱中钢筋锈蚀识别	朱四荣 李卓球 (137)
混凝土剪力墙荷载-位移全曲线非线性有限元分析的探讨	王艳晗 王福明 (142)
钢纤维混凝土三桩承台灰色关联分析	卢海林 李继祥 许成祥 (148)
腹部开设矩形孔 RC 梁的试验研究(I)	蔡 健 戴金华 吴泉霖 张剑麟 张学文 杨玉华 (152)

腹部开设矩形孔 RC 梁的试验研究(II)	
..... 张学文 吴泉霖 张剑麟 徐 进 蔡 健 杨玉华 戴金华	(158)
对穿暗牛腿式钢管混凝土柱节点试验研究	苏恒强 杨 春 蔡 健 (164)
钢筋混凝土开圆孔梁的拉压杆模型分析	李 静 蔡 健 (169)
几种常用混凝土收缩徐变模式中徐变系数计算的比较分析	梁志广 李建中 王军文 (175)
提高预应力高强钢丝耐久性的试验研究	张大鹏 聂宝春 刘瑞钾 (180)
某培训中心综合楼裙房钢筋混凝土梁开裂事故分析	赵考重 李安起 王 莉 (185)
多排配筋矩形截面钢筋砼柱的配筋量计算	颜卫亨 吴东红 张兴武 (189)
钢纤维高强砼冲切板强度的影响因素	林旭健 (195)
钢纤维混凝土叠合板正截面承载力计算	邹 菁 袁海庆 袁 军 汪 菁 (199)
外部粘贴 FRP 加固混凝土结构	欧阳煜 (205)
新型钢管混凝土节点试验研究	朱筱俊 杜向荣 梁书亭 蒋永生 (210)
环氧树脂光面钢筋粘结性能的试验研究	张 鹏 张 俊 李 青 黄天立 黄任常 (215)
大体积砼产生裂缝的原因及防治措施	宋继强 蔺石柱 郭建伟 (220)
钢筋砼双向板满足正常使用要求时最小板厚的设计方法	宋继强 石建光 郭建伟 (225)
河北省艺术中心工程风洞试验研究	
..... 王建东 王 军 吕一心 何龙德 董志成 赵桂林 许可法	(230)
钢筋混凝土低剪力墙非线性全过程分析方法	王新德 蓝宗建 (234)
基于动态可靠度的钢筋混凝土受压构件的耐久性分析	杨伟军 (240)
国外砌体规范关于配筋砌体剪力墙承载力计算的分析研究与借鉴	杨伟军 施楚贤 (245)
钢筋砼双向偏压 T 形截面柱正截面承载能力计算的相关方程法	
..... 赵建昌 林拥军 陈 志 黄 锐	(250)
钢筋砼双向偏压方柱正截面承载能力计算的等价弯矩法	赵建昌 (257)
Cora-3 判别法对钢纤维钢筋砼梁极限弯矩的模式识别	周 详 (263)
方形螺旋箍筋提高钢筋砼框架柱轴压比限值的研究	郭忠贤 刘志鸿 (269)
基于神经网络的钢筋砼梁极限受剪承载力计算模型	崔钦淑 (275)
劲性高强砼构件正截面承载力研究	贾金青 (279)
有限宽混凝土构件内 I 型微裂纹的弹脆性断裂分析	王 成 邓安福 (285)
石砌体结构理论研究与应用的现状	施养杭 余建星 (291)
早期推定混凝土强度方法的探讨	何锦云 董挺峰 (297)
无粘结部分预应力混凝土板结构的试验研究	房贞政 陈国栋 李旭红 陈红媛 (301)
预应力钢—混凝土组合结构的应用及其稳定问题的研究	韩 艳 房贞政 (307)
密筋高性能混凝土轴心受压应力—应变全曲线的试验研究	许凌云 刘汉中 朱 噉 (312)
部分预应力混凝土构件的弯矩—曲率关系	蒲黔辉 杨永清 何广汉 (318)
部分预应力混凝土梁的延性分析	蒲黔辉 杨永清 何广汉 (324)
钢筋混凝土十字形截面梁的截面延性分析	宋建夏 崔自治 (331)
自应力钢管轻砼中轻砼的本构关系及强度准则	李帼昌 钟善桐 程丽华 (337)

钢筋混凝土框架梁柱节点的分析模型	周湘赞 孙飞飞 顾祥林 (342)
FRP 预应力混凝土结构体系	顾祥林 (348)
砌体结构倒塌反应的计算机仿真及存在的问题	陈建兵 顾祥林 李 承 (355)
钢筋混凝土框架结构拆除爆破计算机仿真及存在的问题	李 承 顾祥林 陈建兵 (361)
异形截面构件三维单元的划分	王建新 徐振龙 王继宗 (367)
运用四折线弯距曲率模型的钢筋砼框架单调加载全过程试验的计算机仿真系统	陶陟峰 顾祥林 (373)
后装拔出法检测矿渣水泥混凝土强度曲线的建立	王 莉 赵考重 孙晓波 (378)
混凝土叠合构件截面弯矩一曲率关系分析	廖 莎 (382)
补偿收缩混凝土的抗裂性能探讨	刘祖文 (388)
水泥砂浆火灾损伤的红外热像检测与评定	杜红秀 代 红 孔德付 杨 震 (394)
预应力张拉过程监测及预应力损失分析	楼文娟 王文豪 俞顺年 (398)
低周反复荷载下高强砼短柱的延性研究	金 青 (404)
部分预应力砼梁的试验研究	郭在林 赵中玲 (410)
应变空间中混凝土的弹塑性本构关系	郭志昆 (417)
十字形钢骨砼框架柱承载力的图表解法	龚志文 陈福全 何连友 (425)
高效预应力在大连西岗文化大厦中的应用	张绍亮 关 群 (433)
预应力纤维塑料筋混凝土梁的受力性能	薛伟辰 (439)
大跨砼夹层板损伤过程实时监测	赵仁孝 邢方亮 马世英 李 智 (443)
预应力砼空心板抗弯刚度衰减规律的试验研究	邹毅松 (448)
中高层大开间钢筋砼异形柱框架结构模型振动台试验研究	王滋军 蒋永生 刘伟庆 汪 杰 徐 澄 (453)
钢筋混凝土 T 型截面简支梁加固方法的试验研究	孙家伟 张秀凤 (459)
重复加载对金属材料应力应变的影响的实验分析	方维凤 庄惠平 郭耀明 张 伟 (464)

四、设计与施工、可靠度、优化

多高层悬挂建筑结构及应用	刘郁馨 吕志涛 (468)
紧固孔原始疲劳质量控制与制孔技术研究	董登科 王俊扬 (474)
轮状结构馈源支撑系统	翟建祥 徐秉业 (480)
住宅维修决策与准则研究	王晓鸣 李桂青 (485)
三峡永久船闸全衬式闸室衬砌墙锚杆设计优化研究	苏 超 姜弘道 钱向东 (491)
钢筋砼超高层建筑层间位移的模型试验研究	蒋利学 胡绍隆 忻鼎康 邓景纹 贡春成 俞伟根 (497)
蠕变损伤失效概率模型的研究	刘长虹 陈 虬 (504)
近海钢导管架平台的可靠性分析与应用	王春光 石永久 王元清 李少甫 (509)

北京大学百周年纪念讲堂结构设计	尤天直 范 重 (516)
网格加筋圆柱壳的屈曲优化	沈岳明 王德禹 (524)
桁架梁结构系列优化设计	李聚轩 史维汾 徐克晋 (528)
新型拼装式钟罩形盒子结构	祝文君 张惠英 来晋炎 (533)
微动损伤防护技术研究	刘文宾 韩金铃 (538)
使在役结构工作状态良性化的装配误差法的再研究	邵建义 隋允康 (543)
两种耐久性方法在飞机典型结构中的应用	王志智 陈 丽 郑敏仲 (548)
莲沱特大桥拱上立柱及现浇横梁、盖梁施工	刘 鹤 陈佑新 (554)
智能化建筑结构计算书辅助形成系统研究	叶永毅 (561)
受腐蚀钢筋混凝土结构可靠性分析	郭院成 冯 亮 (565)
灾后维修结构的优化设计	李宝华 郭院成 申利梅 (569)
外包角钢加固柱正截面承载力实用算法	陈先明 彭 卫 (573)
带偏心支撑钢筋砼框架的设计	宋继强 石建光 那志宏 程 义 (577)
考虑围岩软化的圆形巷道粘弹塑性解析	梁发云 王家来 (582)
结构使用性的二级模糊综合评判方法	周建民 徐 伟 朱顺宪 (588)
南京国际金融中心钢管混凝土柱施工	顾伯禄 李忠中 刘建平 蒋永生 朱筱俊 (596)
板壳结构设计的仿真方法	万玉生 韩群芳 叶阿莉 严 鸿 (601)
基于 RBF 神经网络的结构动力损伤识别	饶文碧 李卓球 吴代华 (606)
张拉整体索穹顶结构的预应力优化设计	董智力 于少军 (610)
结构最优设计的智能优化方法	李 强 张仕民 贾学东 (616)
常用楼盖结构体系的技术经济比较初探	黄泰贇 李建芬 蔡 健 (622)
钢丝网架水泥聚苯乙烯夹芯板的应用	吴雅芬 杨滨康 (628)
用优化方法识别结构系统边界条件的新方法	刘玉明 易伟建 (638)
施工项目管理规划中的模糊集应用研究	李文华 李万庆 孟文清 (643)
井巷工程施工模糊工期控制方法研究	李文华 李玉文 齐启昌 宋书英 (647)
施工项目管理规划中的不确定性影响因素分析	李文华 孟文清 李万庆 (653)
施工项目管理规划中的模糊排序问题	李万庆 李文华 孟文清 (657)
基于可靠度的堤防工程加高加固决策模型	张俊芝 高延红 王 立 (661)
考虑抗力退化的在役结构可靠度验证荷载法	张俊芝 高延红 (666)
工业厂房中墙梁的优化设计	柳长江 蔺石柱 (672)
使用三维分析软件 TAT 应注意的若干问题	陈万滨 施养杭 (677)
未确知数学方法在建筑结构可靠度计算中的应用	周书敬 王有兴 王育德 (682)
灰色理论在建筑资源需求预测中的应用	周书敬 胡启平 李竹青 (688)
张拉整体结构的预应力优化	姜孝谟 袁 勇 高 日 徐国彬 (694)
软土地层中沉井工程及其施工技术的发展	吴红兵 (700)
某宿舍楼悬挑板阳台倒塌事故分析与设计探讨	焦红建 (708)
锚杆—模板支护抢险加固设计与施工	王跟锁 胡金华 刘永武 (712)

缓和曲线钢箱梁的放样计算	安瑞国 李皓玉 段 龙 (716)
深圳老虎坳滑坡治理工程	胡凌云 刘金兴 张德军 (720)
组合支座基础隔震砌体房屋设计探讨	施卫星 吴广荣 (726)
泵房抗滑稳定可靠性分析	申向东 韩克平 姬宝霖 (732)
非线性刚架系统可靠性分析	刘 刚 郑云龙 (738)
砖混结构托梁换柱改造	郭 东 马庆涛 张少华 (744)
某综合楼裂缝原因分析	张 鑫 王国富 马全安 李兆华 (748)
建筑物可靠性的实用鉴定方法	薛云沅 (753)
金属拱形波纹屋顶房屋围护结构设计	周献祥 张 辉 (757)
沉井工程非决定性时变系统的动态优化控制	傅浩军 黄金枝 何广民 (763)
施工因素对机场道面砟强度的影响	张 伟 方维凤 庄惠平 郭跃明 (770)
框架轻板住宅的系统工程	谢芝馨 郑秉秀 郑艺群 (774)
结构实验实时监测系统	褚丽歆 (778)
某高校教学楼的增层与改造	赵考重 韩 锋 田文宝 尹燕池 (782)

五、高层、壳体

高层建筑结构在竖向地震作用下的弹塑性时程分析	陆 兢 张铜生 (786)
三角锥组合网架弹塑性动力响应分析	赵士永 杜守军 夏亨熹 (792)
单双层组合网壳性能分析	王 蕾 孙晓辉 刘芸波 夏亨熹 (798)
一种新型的空间结构——无框张拉玻璃结构	刘向阳 刘锡良 陈志华 (804)
新型装配式四角锥网架结构体系的分析和研究	王剑锋 刘锡良 陈志华 刘 智 (810)
攀达穹顶体系	赵剑利 刘锡良 陈志华 王晓波 (816)
一种新型的大跨度空间结构——拉索拱	王晓波 刘锡良 李占军 陈志华 赵剑利 (821)
大底盘大孔口高层建筑结构考虑地基变形时的计算	包世华 闫焕金 王建东 (825)
大底盘多塔楼结构的二阶分析	闫焕金 王建东 包世华 (832)
群体高层建筑基于混合回归模型的风响应时域分析	王修琼 张相庭 (836)
50m 直径单层球网壳整体模型试验研究	
..... 张晔江 赵宪忠 陈以一 陈扬骥 沈祖炎 周向明 (842)	
上海国际会议中心脉动风压风洞试验研究	楼文娟 陈 勇 孙炳楠 (848)
单层球面网壳的优化设计	王秀丽 方有珍 朱彦鹏 (854)
单层球面网壳结构的性能研究	马 剑 徐国彬 (861)
索网结构的初始形状判定及静力分析	马 剑 徐国彬 (868)
网壳膜结构非线性地震响应分析	鲍 三 徐国彬 (874)
典型超高层建筑气动弹性模型的风洞试验研究	全 涌 顾 明 (882)
空间网架分析的半连续化求解方法	赵锡钱 丁成辉 (889)

隔层错跨剪力墙结构高层建筑纵向抗震设计	刘建新 张绍河 (893)
单层组合型双曲扭网壳静动力特性分析	曾银枝 李海旺 秦冬祺 聂世华 (897)
大跨度工业厂房中网架结构的形式	楼国山 (903)
轻骨料砼带边框剪力墙横梁作用的研究	赵世峰 程文灏 王福明 (907)
高层建筑采用钢筋混凝土柱的设计研究	侯善民 朱宁萍 程文灏 (913)
中等高度陶粒砼带边框剪力墙的有限元分析	许瑞萍 邢双军 (923)
高层建筑考虑空间协同作用的弹塑性时程分析	陈朝晖 明 伟 何 建 王 佶 (928)
新型高效防水剂— SP406 及其在高层建筑底板混凝土工程中的应用	董 宝 夏中涛 (934)
鞍形索网结构的塑性设计计算	贾乃文 姚一帆 (939)
空间网壳结构稳定问题研究进展及展望	李丽娟 (944)
全尺寸空间棱锥网架单元的试验研究	郝际平 L.C.Schmidt 邱 庆 (950)
高层建筑框筒结构空间分析的边值法	欧 谨 吕子华 (954)
罕遇地震时外挂板对高层钢结构减震作用估计	王立忠 罗 健 (960)
钢筋砼 L 型外挑板式楼梯内力计算	苏长吉 李根怀 李国梁 (967)

冷弯薄壁焊接矩形管柱的承载力试验研究

唐 扬

沈祖炎 陈以一

(上海市机电设计研究院, 上海 200040)

(同济大学, 上海 200092)

提 要 冷弯薄壁焊接矩形管是一种受力性能良好的高效截面。在地震荷载不占主导因素的前提下, 把此种类型截面的构件作为主要受力构件应用于多层及中高层建筑, 具有较好的经济效益。因此, 必须详细研究冷弯薄壁焊接矩形管的各种受力性能。本文报告了对两个钢种 (Q235 和 10PCu-Re) 的空钢管柱承载力的试验研究。

关键词 冷弯, 矩形截面管, 极限荷载, 变形能力, 局部屈曲

1 前言

在工业厂房和居住房屋的屋面系统、墙架系统和楼面系统中使用冷弯薄壁构件已经有很长的历史了。对于地震作用不占主导地位或在地震活动不频繁的地区, 在多高层框架的承重结构中应用冷弯薄壁焊接矩形管构件, 还需做进一步研究。作为主要受力构件的冷弯薄壁焊接矩形管柱, 通常截面尺寸比较大, 板件有较大的宽厚比, 要考虑由于局部屈曲所引起的结构强度和延性的损失。此次系列试验主要集中在研究薄壁大尺寸截面的冷弯薄壁焊接矩形管柱上。

2 试验概况

试件采用 Q235 和 10PCu-Re 两个钢种, 其中 10PCu-Re 钢具有较高的强度和耐腐蚀能力。试件的钢材性能详见表 1, 钢材试样取自冷弯型钢的平板部分。

柱子为箱形截面, 试件由两个冷弯薄壁槽形钢焊接而成 (见图 1), 所有试件的外形尺寸均为 300×380 。柱子外表面角点处弯曲半径分别为柱壁厚 3mm、5mm、7mm 的 5.83、3.5、2.5 倍。在柱截面较宽一侧焊有竖向加劲肋。对于长柱试件, 在柱高 1/2 处的管内侧焊接了一对 3mm 厚 C 型水平加劲板 (图 1)。试件的编号及主要尺寸详见表 2。

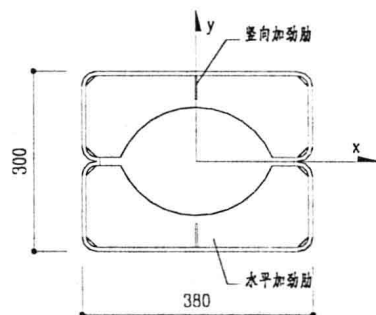


图 1 试件截面

唐扬, 男, 1967.10 出生, 工学硕士, 工程师

上海市建委资助项目

表 1 钢材的材料性能

钢 种	板 厚 (mm)	屈服强度 f_y (MPa)	极限强度 f_u (MPa)	延伸率 δ_5 (%)
Q235	3	297	420	40
	5	225	375	43
	7	215	392	41
10PCu-Re	3	362	477	39
	5	330	477	38
	7	277	445	30

表 2 试件尺寸一览表

试件编号	壁 厚 (mm)	截面面积 A (mm ²)	柱 长 L_0 (mm)	宽厚比	试件编号	壁 厚 (mm)	截面面积 A (mm ²)	柱 长 L_0 (mm)	宽厚比
SCQ3-1	3	4390	1060	57.5	SCR3-1	3	4239	1052	57.5
SCQ3-2	3	4382	1056	57.5	SCR3-2	3	4231	1052	57.5
SCQ5-1	5	7098	1054	34.5	SCR5-1	5	6831	1053	34.5
SCQ5-2	5	7269	1058	34.5	SCR5-2	5	6849	1052	34.5
SCQ7-1	7	9286	1055	24.6	SCR7-1	7	9575	1052	24.6
SCQ7-2	7	9333	1055	24.6	SCR7-2	7	9544	1052	24.6
LCQ3-1	3	4149	2750	57.5	LCR3-1	3	4561	2748	57.5
LCQ3-2	3	4140	2750	57.5	LCR3-2	3	4392	2750	57.5
LCQ5-1	5	7081	2748	34.5	LCR5-1	5	6815	2750	34.5
LCQ5-2	5	7149	2750	34.5	LCR5-2	5	6713	2752	34.5
LCQ7-1	7	9200	2750	24.6	LCR7-1	7	9628	2750	24.6
LCQ7-2	7	9428	2750	24.6	LCR7-2	7	9595	2749	24.6
LEQ3-1	3	4359	2750	57.5	LER3-1	3	4385	2750	57.5
LEQ3-2	3	4207	2750	57.5	LER5-1	5	6941	2744	34.5
LEQ5-1	5	7016	2749	34.5	LER5-2	5	6672	2748	34.5
LEQ5-2	5	7009	2748	34.5	LER7-1	7	9848	2748	24.6
LEQ7-1	7	9462	2748	24.6	LER7-2	7	9632	2748	24.6
LEQ7-2	7	9400	2750	24.6					

表 2 中试件编号的含义如下, 第一个字母 S 表示短柱, L 表示长柱; 第二个字母 C 和 E 分别代表中心受压和偏心受压; 第三个字母 Q 和 R 分别代表 Q235 和 10PCu-Re 钢; 后一位数字表示试件的壁厚。表中试件的截面面积及试件长度均为实测值, 宽厚比的计算中考虑了竖向加劲肋作为截面板件支承点的影响及截面板件的实际平直宽度。

短柱试验的加载方法及边界条件根据文献[1]确定, 并以使试件中央截面处四边各电阻片读数与其平均值相差低于 5% 作为试件“对中”的标志。

长柱试验中, 两个球铰分别安装在试件的两端。长柱轴压试验采用几何对中法固定加载球铰。长柱偏压试验中, 加载点偏心距为 100mm, 使试件绕强轴弯曲。所有试件均采用单调静力加载法。

3 轴心受压短柱试验

3.1 荷载—竖向变形曲线

图 2 和图 3 是轴压短柱的荷载—竖向变形 ($N-\delta$) 实测曲线, 图中的实线表示理想弹—塑性模型的荷载—变形曲线。由图 2 和图 3 中可见, 大约在屈服荷载的 50% 左右时, 轴压短柱的荷载—变形曲线与理想曲线出现分叉点, 屈服荷载由全截面面积和平均屈服应力决定。由于受到试件残余应力和局部屈曲的影响, 大宽厚比试件的承载力低于屈服荷载。而在小宽厚比试件中, 冷弯效应等引起的强度强化会使试件的实际承载力高于理想的屈服荷载。试验还表明, 竖向加劲肋太薄是不能起到减少板件宽厚比的支承作用的, 加劲肋截面应按文献 [3] 进行设计。

由图 2 和图 3 可见, 试件超过极限荷载后, 荷载—变形曲线的下降比较平缓。通过研究超过极限荷载后、试件达到 95% 极限荷载时的变形性能, 发现这时试件的竖向变形为屈服荷载时的 2~4 倍, 说明冷弯壁焊接矩形管柱具有较好的塑性变形性能。

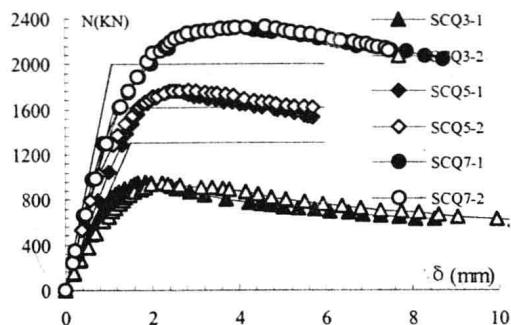


图 2 Q235 钢轴压短柱荷载—变形(纵向)曲线

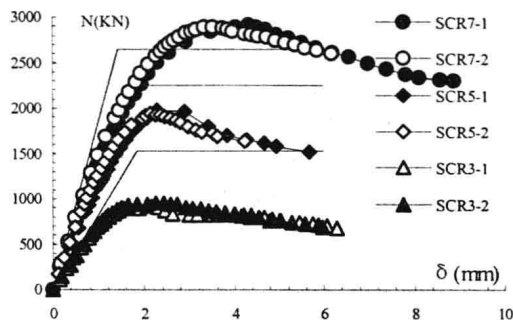


图 3 10PCu-Re 钢轴压短柱荷载—变形(纵向)曲线

3.2 局部屈曲的影响

短柱试件截面在同一位置内外壁应变的测量值详见图 4 的 SCQ3-1 和图 5 的 SCQ5-1。

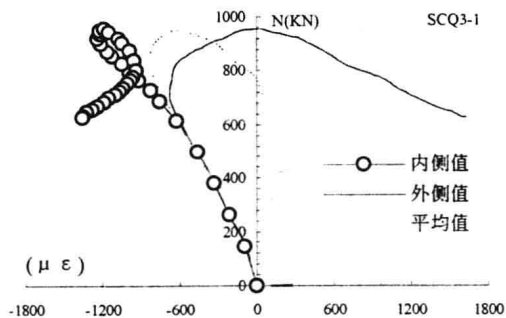


图 4 SCQ3-1 短柱截面测点应变曲线

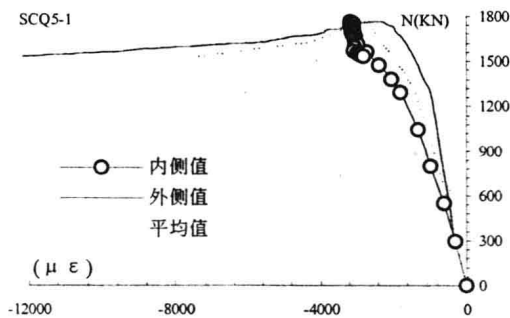


图 5 SCQ5-1 短柱截面测点应变曲线

对于 3mm 壁厚的构件, 在较低荷载水平下, 截面内外壁的应变值基本上完全相同, 经过分叉点后, 应变向相反的方向发展。说明由于局部屈曲, 壁薄的板件产生很大的弯曲变形; 对于 5mm 壁厚的构件, 在加载初始阶段, 其截面内外壁的应变值虽不相同, 但内外应变都向受压方向发展, 局部失稳产生的弯曲变形不如 3mm 板严重。

10PCu-Re 钢试件与局部屈曲相对应的临界宽厚比较小, 即使采用 5mm 厚的板件。也因局部屈曲的影响, 试件的承载力低于屈服荷载。这是与 Q235 钢试件不同之处。

4 轴心受压长柱试验

4.1 初始缺陷和破坏模式

长柱试件的最大初始挠度为试件全长的 0.2%。试验前观察到板件存在初始挠曲, 并带有不平度。由于柱子的初始缺陷和不可避免的加载偏心, 荷载—变形曲线比较复杂, 有些柱子在加载初期的弯曲方向与最终弯曲方向是不同的。

所有试件在加载至极限荷载左右时, 都发生明显的局部屈曲现象。局部变形大都出现在柱长的 1/4 处, 有些试件出现三至四处的凹陷和凸出。试件绕弱轴的长细比较小, 为 21~24, 矩形截面的抗扭屈曲能力又比较强, 试件破坏类型以局部屈曲为主, 但整体弯曲在一定程度上也减小试件的最大承载力。

4.2 荷载—竖向变形曲线

轴压长柱的荷载—变形特征曲线见图 6, 其中横向位移 δ 取自试件全长 1/2 处的侧向位移。从图中可见, 板壁较厚的 LCQ7-2 试件与壁厚较薄的 LCQ3-1 相比, 曲线下降比较平缓, 这表明板件较厚的试件塑性变形性能较好。

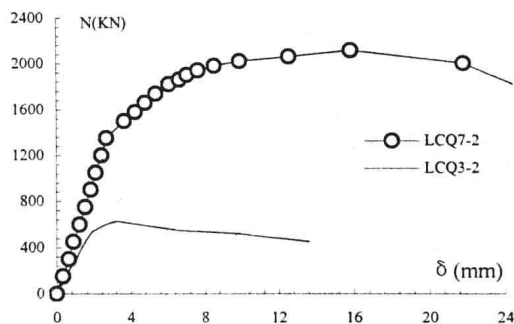


图 6 Q235 钢轴压长柱 $N-\delta_y$ 曲线

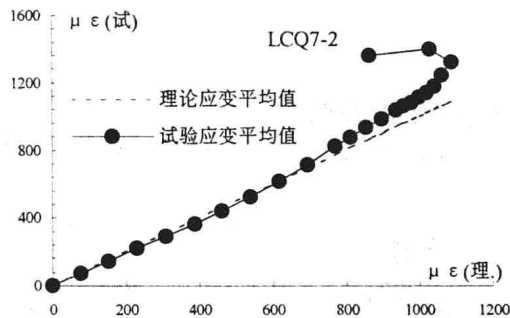


图 7 Q235 钢截面应变比较

4.3 应力分析

柱截面试验应变平均值与理论应变平均值（每级加载对应的荷载值与试件的截面面积和材料的弹性模量之商）的关系见图 7。从图 7 可见, 在荷载加载的初期, 理论应变平均

值和试验应变平均值基本重合,说明钢柱全截面工作;随着荷载的逐渐增加,压杆的弯曲也逐渐增大,板件发生鼓曲,此时两条曲线出现分岔。板件鼓曲导致部分截面承载能力的下降,并伴随着中和轴的移动,由于板件的屈后效应,此时试件并不立即破坏,仍然继续承受一定的荷载,具有屈后强度。

5 偏心受压长柱试验

试件名义偏心率 e_0A/W 在 0.6 ~ 0.8 内变化。变形主要以绕强轴的弯曲变形为主,并在加载过程中伴随着局部屈曲的现象。

除 3mm 壁厚的试件外,各个钢种每组两个试件极限试验承载力的差别相当小。

由图 8 的荷载—变形特征曲线可见,在到达极限荷载之前,除个别 3mm 壁厚的试件外,试件的塑性变形相当明显;在超过极限荷载之后,曲线的下降段还是比较平缓的。图中的曲线均由实测数据绘制而成,试件的侧向变形由直接作用在试件全长 1/2 处的位移计测得。

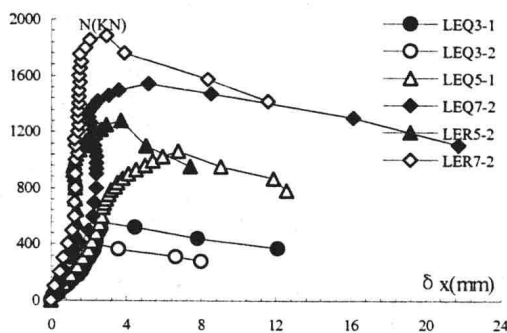


图 8 偏压长柱 $N-\delta x$ 曲线

试件的延性系数 (PUD) 采用下式定义,

$$PUD = D_u / D_y \quad (1)$$

式中, D_u 为试件承载力降至极限荷载 95% 时所对应的纵向位移值; D_y 为曲线的弹性阶段延长线与通过试件极限荷载点的水平线交点所对应的纵向位移值,

$$D_y = M_{yc} \cdot L^2 / (8EI) \quad (2)$$

用 $M_y(1-N/N_y)/(1-N/N_E)$ 代替公式 (2) 中的 M_{yc} , 其中 $M_y = (2I/h)f_y$, 得到

$$D_y = 0.25f_y L^2 (1-N/N_y) / (EI(1-N/N_E)) \quad (3)$$

式中, N_y 为屈服荷载; N 为极限荷载; N_E 为欧拉临界力; f_y 为屈服应力; L 是上下加载球铰之间的距离; h 为试件截面的长度。从试件的荷载—位移曲线中可求出延性系数 (PUD)。对于 Q235 钢, 3mm 壁厚试件的延性较差, 而 5、7mm 壁厚的柱子, 其 PUD 值接近 3.4 和 5.6。对于 3mm 壁厚试件而言, 轴向力比值是影响构件变形性能的主要因素之一, 为保证必要的塑性变形性能, 构件的设计轴向荷载需控制在较低的范围内。

6 承载力研究

表 3、4、5 分别列出三种构件试验的最大荷载试验值和计算值。三个表中 N_u 代表最大荷载试验值; N_y 由屈服强度平均值与全截面面积乘积得到; N_{cr} 是按照文献 [3] 规定的轴压

整体稳定系数乘以 N_y 得到的结果; N_p 为偏心受压试件能承受的最大计算荷载值, 在 N_p 的计算中, 应用了 Perry 的公式, 但用塑性极限弯矩 M_p 代替了弹性弯矩。在 N_y 、 N_{cr} 和 N_p 的计算中不考虑局部屈曲的影响。使用文献[3]公式计算轴压短柱、轴压长柱和偏压长柱的 N_{sc} 、 N_{cc} 和 N_{ec} 时, 引入有效截面的概念来考虑局部屈曲的影响。

表 3 轴心受压短柱最大荷载试验值与计算值

试件编号	N_m (KN)	N_m/N_y	N_m/N_{sc}	试件编号	N_m (KN)	N_m/N_y	N_m/N_{sc}	试件编号	N_m (KN)	N_m/N_y	N_m/N_{sc}
SCQ3-1	956	0.73	1.01	SCQ5-1	1764	1.09	1.37	SCQ7-1	2323	1.16	1.22
SCQ3-2	951	0.73	1.00	SCQ5-2	1767	1.09	1.37	SCQ7-2	2328	1.16	1.22
SCR3-1	923	0.60	0.81	SCR5-1	1970	0.87	1.19	SCR7-1	2910	1.10	1.21
SCR3-2	951	0.62	0.83	SCR5-2	1932	0.86	1.16	SCR7-2	2896	1.09	1.21

表 4 轴心受压长柱最大荷载试验值与计算值

试件编号	N_m (KN)	N_m/N_{cr}	N_m/N_{cc}	试件编号	N_m (KN)	N_m/N_{cr}	N_m/N_{cc}	试件编号	N_m (KN)	N_m/N_{cr}	N_m/N_{cc}
LCQ3-1	686	0.54	0.75	LCQ5-1	1510	0.97	1.24	LCQ7-1	1980	1.03	1.10
LCQ3-2	629	0.50	0.68	LCQ5-2	1550	1.00	1.27	LCQ7-2	2115	1.10	1.17
LCR3-1	942	0.65	0.88	LCR5-1	1835	0.86	1.18	LCR7-1	2645	1.06	1.19
LCR3-2	900	0.62	0.84	LCR5-2	1815	0.85	1.17	LCR7-2	2550	1.03	1.14

表 5 偏心受压长柱最大荷载试验值与计算值

试件编号	N_m (KN)	N_m/N_p	N_m/N_{ec}	试件编号	N_m (KN)	N_m/N_p	N_m/N_{ec}	试件编号	N_m (KN)	N_m/N_p	N_m/N_{ec}
LEQ3-1	556	0.68	0.84	LEQ5-1	1065	1.10	1.33	LEQ7-1	1500	1.32	1.35
LEQ3-2	432	0.53	0.62	LEQ5-2	1085	1.12	1.36	LEQ7-2	1543	1.36	1.39
LER3-1	659	0.69	0.82	LER5-1	1300	0.97	1.19	LER7-1	1970	1.32	1.41
				LER5-2	1280	0.95	1.17	LER7-2	1887	1.26	1.35

7 结论

通过对 35 个矩形冷弯薄壁焊接型钢空管柱的静载试验和研究, 表明矩形冷弯薄壁焊接型钢有比较高的承载力和变形能力。因此此种类型截面的构件作为主要受力构件应用于多层及中高层建筑是可能的。研究还表明, 设计公式得到的结果在一些范围内是与试验吻合的。同时必须严格控制构件的初始缺陷。

参 考 文 献

- 1 B. G. Johnston主编. 金属结构稳定设计准则解说. 北京: 中国铁道出版社, 1981
- 2 中华人民共和国国家标准. 钢结构设计规范. GBJ17-88, 1989
- 3 中华人民共和国国家标准. 冷弯薄壁型钢结构技术规范. GBJ18-87, 1987

纵筋及箍筋对构件受剪承载力 计算影响的分析

王铁成 康谷贻 李砚波

(天津大学建筑工程学院土木工程系, 天津300072)

提 要 钢筋混凝土受弯构件中纵筋用量以及箍筋强度等级是影响斜截面受剪承载力的重要因素。现行规范的受弯构件斜截面受剪承载力计算公式(GBJ10-89)没有计入纵筋用量的影响,且箍筋限于Ⅰ、Ⅱ级钢筋。本文研究了纵筋用量对斜截面受剪承载力的影响,分析和探讨了箍筋使用Ⅲ级钢筋时正常使用阶段的斜裂缝宽度控制等问题。

关键词 混凝土结构 纵筋 箍筋 受剪承载力 影响因素

1 前 言

现行钢筋混凝土构件斜截面受剪承载力设计是根据在一定范围的实验结果,考虑若干主要影响因素提出的。由于影响斜截面抗剪强度的因素较多,斜截面承载力计算公式尚不能全面反映结构实际受剪承载力的变化规律。

纵筋的抗剪作用主要反映在发挥“销栓”效应直接承担剪力以及由纵筋用量影响的混凝土骨料间的咬合作和剪压区高度。在小剪跨时,纵筋的“销栓”作用明显,试验表明,纵筋配筋率 $\rho < 1.0\%$ 时,对抗剪强度的影响很小。另一方面,随着箍筋强度的增大,构件的抗剪强度提高,但是使用高强度箍筋(强度大于Ⅱ级)时,正常使用阶段的裂缝宽度控制以及施工等方面存在有待解决的问题^[1]。现行斜截面承载力计算公式没有计入纵筋含量的影响,并且箍筋强度适用到Ⅱ级。为适应箍筋由Ⅱ级钢筋向Ⅲ级钢筋推广的需要,并且考虑水工中大体积构件和铁路桥涵构件中受力钢筋量大的特点,需要分析研究纵筋含量以及箍筋强度对斜截面抗剪强度的影响。

2 纵筋含量的影响^[2]

Placas和Regan最早提出了如下形式的考虑纵筋配筋率的无腹筋梁抗剪强度的计算公式。

$$v_c = 58(f'_c \rho d/a)^{1/3} \quad (\text{Psi}) \quad (1)$$

其后, Ferguson提出取

$$v_c = (0.8 + 100\rho) f'_c{}^{1/2} \quad (\text{Psi}) \quad , \text{ 但不大于 } 2f'_c{}^{1/2} \quad (2)$$

1977年美国ACI 426委员会建议采用如下形式:

$$v_c = (0.8 + 120\rho) f'_c{}^{1/2} \quad (\text{Psi}) \quad , \text{ 但不大于 } 2.3f'_c{}^{1/2}, \text{ 并不小于 } f'_c{}^{1/2} \quad (3)$$

图1表示纵筋配筋率对受剪承载力的影响的比较。图中的试验点均属剪跨比 $a/d > 2.5$ 的情况, 可以看出纵筋配筋率 ρ 的影响以 $\rho^{1/3}$ 表示较好, 当 $\rho > 1\%$ 时, 亦可近似表示为线性关系。

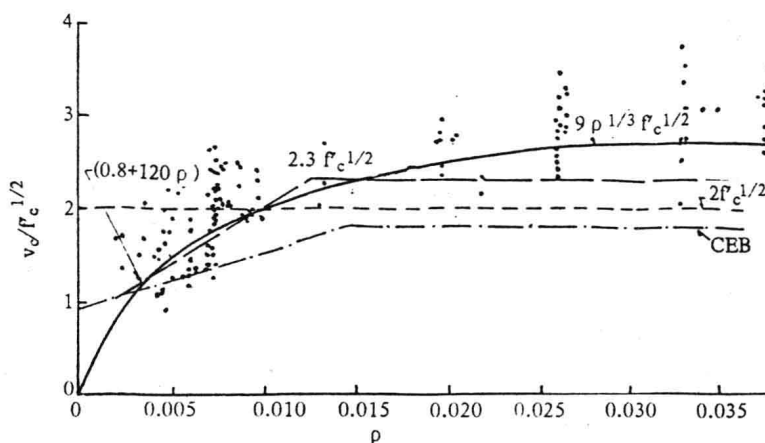


图1 纵筋配筋率对受剪承载力的影响

根据ACI 426的公式, 若取 $\rho = 0.01$, 可以得到美国规范的简化公式:

$$v_c = 2.0f'_c{}^{1/2} \quad (4)$$

由上式, 取 $f'_c = 0.8f_{cu}$, $f_t = 0.34f_{cu}^{0.55}$, 当 $F'_c = 4000 \text{ Psi} = 27.6 \text{ MPa}$ 时, $2.0f'_c{}^{1/2} = 0.366f_t$, 若考虑剪跨比影响的受剪承载力计算公式, 当剪跨比 $a/d \geq 3$ 时, 取 $V_c/bh_o = 0.44f_t$, 计算分析表明, 该值相当于纵筋配筋率 ρ 等于0.01的情况,

若考虑剪跨比影响的受剪承载力计算公式取为

$$V_c = \frac{1.35(1+20\rho)}{(\lambda+1.0)} f_t b h_0 \quad (5)$$

并取 $\rho=0.015$, 当 $\lambda=1.5$, 得 $V_c/bh_0=0.7f_t$.

图2是考虑剪跨比的影响分析, 受剪承载力由下式给出,

$$v_c = \frac{2}{\lambda} (0.8 + 120\rho) \sqrt{f'_c} \quad (\text{Psi}) \quad (6)$$

取 $\lambda=1.5$, $f'_c=27.6\text{MPa}$, 可以解得 $\rho=0.0168$, 大体与 $\rho=0.015$ 的配筋率相当。

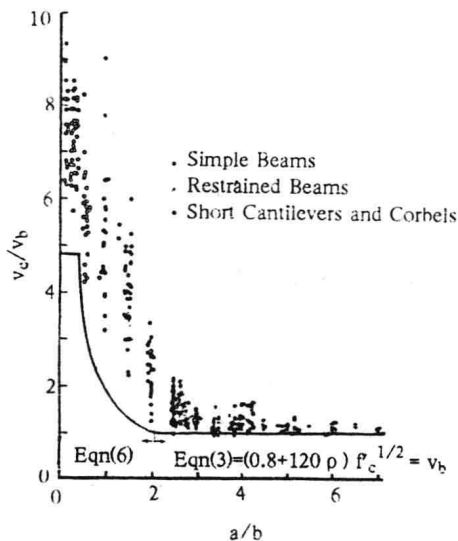


图2 剪跨比的影响

GBJ10-89中斜截面承载力计算公式是在分析试验资料的基础上, 提出的具有一定保证率的设计公式, 是试验点的偏下限。分析表明, 绝大多数的试验梁, 为了达到斜截面破坏, 其纵筋配筋率通常大于1%。但试验点的偏下限, 其纵筋配筋率大体在1.0%~1.5%左右。

对有关规范和建议公式的分析列于表1。可以看出, 纵筋配筋率 $\rho=2\%$ 和 $\rho=2.5\%$ 时, 较 $\rho=1.5\%$ 的承载力提高值分别控制在14%和20%以下为妥。为此, 考虑纵筋含量对受剪承载力的影响, 并考虑一定的余量, 建议纵筋配筋率 $\rho>1.5\%$ 时, 将受剪承载力的混凝土项乘以 $(1+20\rho)$ 形式的系数, 记入纵筋配筋率对抗剪强度的提高作用, 且当 $\rho>2.5\%$ 时, 取 $\rho=2.5\%$ 计算, 此时, 当纵筋配筋率 $\rho=2\%$ 和 $\rho=2.5\%$ 时, 较 $\rho=1.5\%$ 的承载力提高值分别为8%和15%。

表1 规范和部分建议公式考虑纵筋含量的分析

计 算 公 式		(1) ρ =1.5 %	(2) ρ =2.0 %	(3) ρ =2.5 %	(2)/(1)	(3)/(1)
Places和Regan的计算式 v _c =58(f _c ρ d/a) ^{1/3}		0.247Y	0.271Y	0.292Y	1.10	1.18
英国规范 (BS8110) v _c =[0.79P ^{1/3} (400/d) ^{1/4} /R _m][f _{cu} /25] ^{1/3} b _v d, (P=100 ρ)		1.14Y	1.26Y	1.36Y	1.10	1.19
欧洲规范 (Eurocode2) V _c =[τ _{Rd} k 1.2(1+0.333P)bd, (P=100 ρ)		1.50Y	1.666Y	—	1.11	—
ACI 426建议式 V _c =(0.8+120 ρ) f _c ^{1/2} 但不大于2.3f _c ^{1/2} , 并不小于f _c ^{1/2}		2.3f _c ^{1/2}	2.3f _c ^{1/2}	2.3f _c ^{1/2}	1.00	1.00
公路桥涵设计规范	1+0.5P	1.75	2.00	2.25	1.14	1.29
铁路桥涵设计规范	1+0.35P	1.53	1.70	1.88	1.11	1.23
本文建议式	1+0.20P	1.30	1.40	1.50	1.08	1.15

Y_代表纵筋用量以外的诸综合因素。

3 高强度箍筋对斜裂缝宽度的影响

国内外试验表明, 采用高强度箍筋 (Ⅲ级钢) 时, 穿过斜裂缝的箍筋应力可以达到屈服强度。同时, 在正常使用状态下, 使用高强度箍筋也应该保证斜裂缝宽度限值要求。

按现行规范斜截面承载力计算公式, 箍筋项系数 α_{sv} , 对于一般受弯构件, 取 $\alpha_{sv}=1.5$, 若箍筋由Ⅱ级钢筋调为Ⅲ级钢筋, 则其强度设计值由 310N/mm^2 增大到 360N/mm^2 , 增大1.16倍。当 $\alpha_{sv} < 1.29$ ($1.5/1.16=1.29$) 时, 使用荷载下的箍筋应力低于按现行公式计算的箍筋应力。另外, 集中荷载作用时, 箍筋项的系数 α_{sv} 取1.25, 且 $1.25/1.16=1.08$, 则 α_{sv} 的取值不应高于1.08。若集中荷载作用下矩形截面简支梁受剪承载力公式具有如下形式:

$$V_u = \frac{0.2}{(\lambda + 1.5)} f_c b h_o + \alpha_{sv} f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_o \quad (7)$$

按照冷轧螺纹箍筋混凝土梁抗剪性能的试验研究中斜裂缝宽度的计算方法^[3], 箍筋采用Ⅱ级钢时, 取 $f_{yv}=310\text{MPa}$, 混凝土采用C20 ($f_c=10\text{MPa}$, $f_{tk}=1.5\text{MPa}$), 纵筋配筋率 $\rho=0.01$, $\alpha_{sv}=1.25$ 。箍筋采用Ⅲ级钢时, 取 $f_{yv}=360\text{MPa}$, 混凝土用C25 ($f_c=12.5\text{MPa}$, $f_{tk}=1.75\text{MPa}$), 纵筋配筋率 $\rho=0.01$, 分别取 $\alpha_{sv}=1.25$, $\alpha_{sv}=1.10$ 。取规范的校准点 $\gamma_K=V/V_s=1.267$, 表2给出了按上述三种情况计算的最大斜裂缝宽度 $W_{\max}$ 。