

文章编号:1001-4888(2018)03-0442-09

绕丝加固预损钢筋混凝土柱的抗震性能试验研究^{*}

司建辉, 赵侃, 尹太龙, 刘茂社, 田建勃

(西安理工大学土木建筑工程学院, 陕西西安 710048)

摘要:对4根钢筋混凝土柱进行了模拟地震的预损伤、预损伤后绕丝加固和加固后的低周往复荷载破坏试验,研究了绕丝加固地震损伤钢筋混凝土柱的抗震性能。根据试验数据分析了试件的承载力、延性性能、刚度退化及耗能能力。试验结果表明:经过绕丝加固修复后的预损伤试件,其延性性能和极限位移得到了明显提高;钢筋混凝土柱的预损伤程度对预损伤后的加固效果有重要影响。在轻度损伤程度情况下,绕丝加固柱恢复并超过受损前的抗震性能;预损伤越大的柱经绕丝加固后其延性、耗能能力、刚度和承载力越小。

关键词:钢筋混凝土柱;绕丝加固;低周反复荷载;预损伤;抗震性能

中图分类号: TU375 **文献标识码:** A **DOI:** 10.7520/1001-4888-17-010

0 引言

《建筑抗震设计规范》的设防目标要求建筑物做到“大震不倒、中震可修、小震不坏”,建筑结构经历过地震作用后都会出现各种不同程度的损伤,导致建筑的使用功能降低,甚至是建筑达不到安全要求。对于地震中受损的钢筋混凝土结构,考虑到财力、物力等经济因素,现实情况并不允许将其全部推倒重建,只能采用适当技术措施对其进行加固补强处理,因此对震损钢筋混凝土柱的加固研究具有重要的现实意义。

关于钢筋混凝土柱的加固方法有增大截面法^[1,2]、外包钢加固法^[3-5]、预应力法、纤维复合材料加固法^[6-8]、绕丝加固法^[9]等。本文基于侧向约束能够提高钢筋混凝土柱的极限承载力且能够分担相应的剪力份额的技术原理提出绕丝加固技术。该技术通过对钢丝绳施加一定的预紧力将所缠绕钢丝绳在钢筋混凝土柱轴向方向外侧形成紧密接触,以此来实现加强对柱内部混凝土的有效约束,同时该技术施工简便、适用性强、加固效果明显。国内外对绕丝加固钢筋混凝土柱研究较多的是震前加固,但对于经历过地震损伤后的钢筋混凝土柱进行绕丝加固的抗震性能的研究较少。

本文通过对钢筋混凝土柱进行模拟地震预损伤、预损伤柱绕丝加固和加固后的低周反复荷载破坏试验,研究绕丝加固不同损伤程度钢筋混凝土柱的极限承载力、极限位移、耗能能力和延性系数,结合对比柱(未加固柱)和绕丝加固不同预损伤程度 RC 柱的抗震性能,比较论证了绕丝加固 RC 柱的有效性。

1 试验概况

1.1 试件设计与材料性能

本文试验混凝土柱选择长细 $L_0/b=5$ 的混凝土短柱,柱身截面采用 $240\text{mm}\times 240\text{mm}$,柱高为

^{*} 收稿日期:2017-01-13;修回日期:2017-04-18

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51608441, 51308455),陕西省自然科学基金研究计划资助项目(2017JQ5032),陕西省高校科协青年人才托举计划项目(20170513),西安理工大学科技创新计划项目 2015CX019

通讯作者:司建辉,博士,副教授,主要研究领域:混凝土结构理论及结构优化仿真分析研究。Email: sjhfr@163.com

1200mm,混凝土设计强度等级 C30,保护层厚度 25mm;纵筋采用 HRB335 带肋钢筋,直径为 12mm,共配置 4 根;箍筋采用 HPB300 钢筋,直径为 8mm。箍筋在柱子两端加密布置间距 100mm,柱中位置箍筋间距 150mm。每根柱布置 22 个电阻应变片,布置在混凝土柱的柱中位置的纵筋、箍筋和混凝土柱表面上。每根纵筋中部位置布置一个,每个柱表面中心位置处布置一个。将布置应变片的 7 根箍筋分别编号:A1、A2、A3、A4、A5、A6 和 A7,具体布置如图 1 所示。

钢筋混凝土柱加固所用钢丝绳结构为 6×13 公称直径 4mm 的镀锌钢丝绳,即单股 13 根细钢丝,共 6 股,钢丝绳截面面积为 12.56mm²,经过实测,其弹性模量为 1×10⁵ MPa,拉伸强度为 1761.9MPa,极限应变为 0.0129。试件所用的材料及其性能详见表 1。

表 1 材料性能指标
Tab. 1 Material performance index

材料 类型	弹性模量 /GPa	立方体抗压强度 /MPa	钢筋屈服强度 /MPa	极限抗拉强度 /MPa
C30	32.2	37.8	—	1.97
B12	272.6	—	342	486
A8	254.7	—	338	490
钢丝绳	117.5	—	—	1761

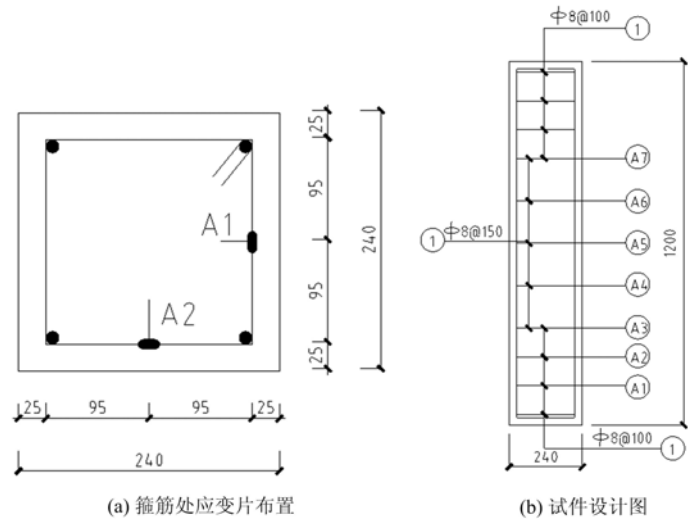


图 1 应变片布置示意图
Fig. 1 Sketch map of strain gauge

1.2 试件预损伤及加固处理

试件预损即为模拟钢筋混凝土柱在遭遇多遇地震作用下受到的地震损伤。在地震作用下建筑结构的主要破坏是由于结构的低周往复疲劳累积损伤引起的,因此本试验中钢筋混凝土柱的预损伤通过预先施加低周反复荷载来实现。

为了模拟地震造成的损伤,加固之前对试件 Z-2、Z-3 和 Z-4 在低周反复荷载作用下进行预损伤处理,柱 Z-1 作为对比试件不加固直接加载至破坏;柱 Z-2 在低周反复荷载作用下预损伤至试件出现最大裂缝宽度为 0.5mm 时停止试验;柱 Z-3 在低周反复荷载作用下预损伤至试件出现最大裂缝宽度为 1.0mm 时停止试验;柱 Z-4 在低周反复荷载作用下预损伤至试件出现最大裂缝宽度为 1.5mm 时停止试验。在构件预损伤的基础上对各个受损柱绕丝加固,且进行低周反复荷载试验至试件破坏。本文作者自主设计并制作了一套控制钢绞线预应力的加固装置,装置包括用于加力的套筒和短钢筋,以及用于控力的扭矩扳手。在西安理工大学材料及工程学院材料实验室使用电脑式伺服控制材料试验机进行了大量拉伸试验,整理得出一组具有 85% 保证率的钢绞线预应力—扭矩值的对应关系曲线。试验过程中进

行了因钢绞线长度变化的系数换算,并结合长春机械科学研究院有限公司提供的 CRIMSCOD 夹式引伸计产品进行了变形值验算,结果表明预应力值控制较为准确,误差可控制在 $\pm 8\%$ 以内。轴向绕丝时,对每根钢丝绳施加 1kN 的预应力,由于预应力数值较小,对轴压比的影响可以忽略。

钢筋混凝土柱在进行绕丝加固前要对混凝土表面进行打磨平整、粉刷白灰(便于观察裂缝)、在钢筋混凝土柱轴向方向平行绕丝(绕丝间距为 40mm)、用钢丝绳夹头卡扣固定钢丝绳与柱表面形成紧密接触。钢丝绳具体加固方式如图 2 所示,各试件的加固参数见表 2。表 2 中受损程度采用裂缝宽度进行控制,各试件 Z-1、Z-2、Z-3 和 Z-4 预裂裂缝宽度所对应的位移转角分别为 0、1/84、1/56 和 1/46。在试验过程中,为便于观察裂缝的宽度,试验时将加载速率设置较小值,用读数显微镜来观察和记录裂缝的宽度。

表 2 试件的加固参数

Tab. 2 Reinforcement parameters of specimens

试件编号	轴压比	轴力/kN	受损程度(裂缝宽度/mm)	位移转角
Z-1	0.1	83	—	0
Z-2	0.1	83	0.5	1/84
Z-3	0.1	83	1	1/56
Z-4	0.1	83	1.5	1/46



图 2 加固现场图

Fig. 2 Reinforcement site



图 3 TDS-303 静态数据采集仪

Fig. 3 TDS-303 static data collector

1.3 加载制度及测量

本试验在西安理工大学结构大厅进行,试验采用低周反复加载试验法,水平拉压荷载由 MTS 100T 液压伺服作动器来施加,作动器与试件由加载端连接,轴压比取值为 0.1,轴力(83kN)在试验过程中保持固定不变。加载制度采用位移控制,采用 2mm 级别加载,每级荷载往复循环加载 2 次,加载至荷载下降到极限荷载(即滞回曲线最大峰值荷载)的 85% 时认为试件破坏,停止试验。

试验全过程由伺服控制器及微机控制,在试验过程中通过静态电阻应变采集仪 TDS-303(图 3)采集钢筋、箍筋和混凝土的应变数据。因本试验的柱子设计成单根柱,需要通过事先设计的限位计和地锚螺栓将柱子下

端固定使下部成为固定端。试验加载装置及加载现场如图 4、图 5 所示。

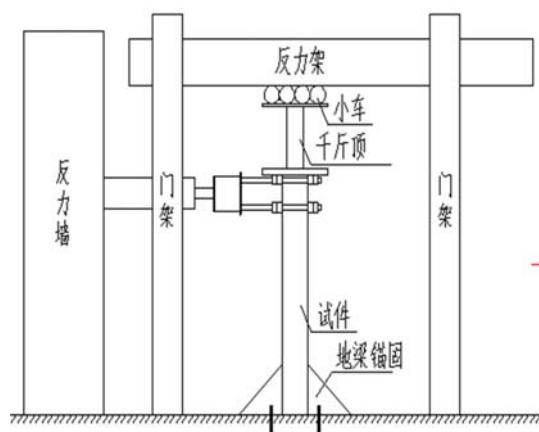


图4 加载装置示意图

Fig. 4 Schematic diagram of loading device



图5 加载现场

Fig. 5 Loading site

2 试验现象及破坏形态

对比柱 Z-1 不加固直接加载至破坏。加载初期当水平侧移较小时,水平力较小,试件表面观察不到变化,试件的荷载一位移滞回曲线基本上为直线,滞回环的面积很小,当水平侧移达到 4mm 时,在柱子的受拉面距离柱根部 30mm 位置处出现第一条水平裂缝,此时对应的水平荷载为 17kN。随着水平侧移的加大,水平荷载逐渐增大,混凝土柱根部角部混凝土鼓起脱落,同时平行于作用力的柱面出现与垂直于作用力的柱面高度相同的裂缝,且裂缝数量逐渐增多,裂缝逐渐横向发展且宽度增大,水平裂缝在拉压作用下张开闭合,最后柱子四个面不同高度的裂缝在柱子的四周各自贯通成“一圈”。继续加载,观察到距离柱根部 30mm 的水平贯通裂缝宽度达到 3mm,当水平侧移达到 36mm 时,对应的滞回曲线峰值荷载下降为 0.85 倍的极限荷载,此时试件已破坏,试验结束,Z-1 破坏形态见图 6。

柱 Z-2 预损伤至试件出现水平裂缝开展的最大宽度达到 0.5mm 时停止试验,经绕丝加固后加载至破坏。对 Z-2 进行预损伤时加载初期现象与对比柱加载初期现象基本一致,当水平位移加载至 12mm 时,用放大镜读数观察到距柱根部 20mm 处的水平裂缝宽度达到 0.5mm,停止试验,然后进行绕丝加固后继续加载。加固后加载初期,由于轴向钢丝绳的约束作用,损伤柱的原有裂缝开展缓慢,位移加载至 16mm 时,裂缝宽度显示为 0.5mm,当施加正向(东)推力时,受拉一侧的钢丝绳明显被拉紧;施加反向(西)拉力时,受压一侧的钢丝绳被拉紧。随着加载位移的增大,原有水平裂缝宽度逐渐增大,加载至 30mm 时,裂缝宽度发展为 1.5mm,继续位移加载至 40mm 时,最大裂缝宽度达到 2.5mm,并且对应的滞回曲线峰值荷载下降为 0.85 倍的极限荷载,试件已破坏,试验结束,破坏形态如图 7 所示。



图6 Z-1 破坏形态

Fig. 6 Z-1 failure mode

柱 Z-3 预损伤至试件出现水平裂缝开展的最大宽度达到 1mm 时停止试验,经绕丝加固后加载至破坏。对 Z-3 进行预损伤时加载初期现象与对比柱加载初期现象基本一致,水平位移加载至 18mm 时,距柱根部 30mm 的第一条水平裂缝宽度发展为 1mm,停止试验。加固后加载初期,由于轴向钢丝绳的约

束作用,损伤柱的原有裂缝开展缓慢,随着加载位移的增大,当施加正向(反向)推力(拉力)时,加固柱的受拉(受压)一侧钢丝绳明显被张拉,钢丝绳起到了一定的约束混凝土水平裂缝发展的作用,位移加载至 42mm 时,最大裂缝宽度达到 2mm,此时对应的滞回曲线峰值荷载下降为 0.85 倍的极限荷载,试件已破坏,试验结束,柱 Z-3 的破坏形态见图 8。



图 7 Z-2 破坏形态
Fig. 7 Z-2 failure mode



图 8 Z-3 破坏形态
Fig. 8 Z-3 failure mode



图 9 Z-4 破坏形态
Fig. 9 Z-4 failure mode

柱 Z-4 预损伤至试件出现水平裂缝发展的最大宽度达到 1.5mm 时停止试验,经绕丝加固后加载至破坏。此试件预损伤程度为严重震损程度,当加载位移为 22mm 时,柱根部水平裂缝在柱四周贯通,最大裂缝宽度达到 1.5mm,此时承载力下降到 0.85 倍极限荷载,试件已破坏,停止试验进行绕丝加固。加固后原有裂缝在水平推拉作用下张开闭合,荷载增长缓慢,当加载位移达到 40mm 时,最大水平裂缝宽度达到 4mm,此时对应的滞回曲线峰值荷载下降为 0.85 倍的极限荷载,试件已破坏,柱 Z-4 的破坏形态见图 9。

3 试验结果分析

由图 6 至图 9 各试件的破坏形态可以看出,各试件破坏位置主要集中在柱端位置,各试件在柱底端 300mm 范

围内产生了数条水平裂缝,水平裂缝在拉压作用力下张开闭合,在柱端形成了严重的塑性铰,最终水平裂缝宽度增大且在柱四周贯通,试件破坏。通过试件的破坏形态分析可知,各柱破坏形态为弯曲破坏。

3.1 水平荷载—位移滞回曲线

滞回曲线是指试件在往复荷载的作用下,得到的构件荷载—变形曲线。各试件的滞回曲线如图 10 所示。

从各个钢筋混凝土柱的滞回曲线可以得出以下几个结论:

(1) 加载初期各试件共有的滞回特性:当加载位移较小时,试件的荷载位移基本呈线性增大,滞回环的面积很小,滞回曲线基本表现为直线,说明构件处于弹性工作阶段。随着加载位移的增大,滞回曲线逐渐向位移轴方向靠拢,滞回环包围的面积逐渐变大,试件进入弹塑性工作阶段。随着加载位移的继续增大,构件屈服,试件的水平承载力达到峰值荷载后开始下降,滞回曲线不断向位移轴方向靠拢,直至试件破坏。

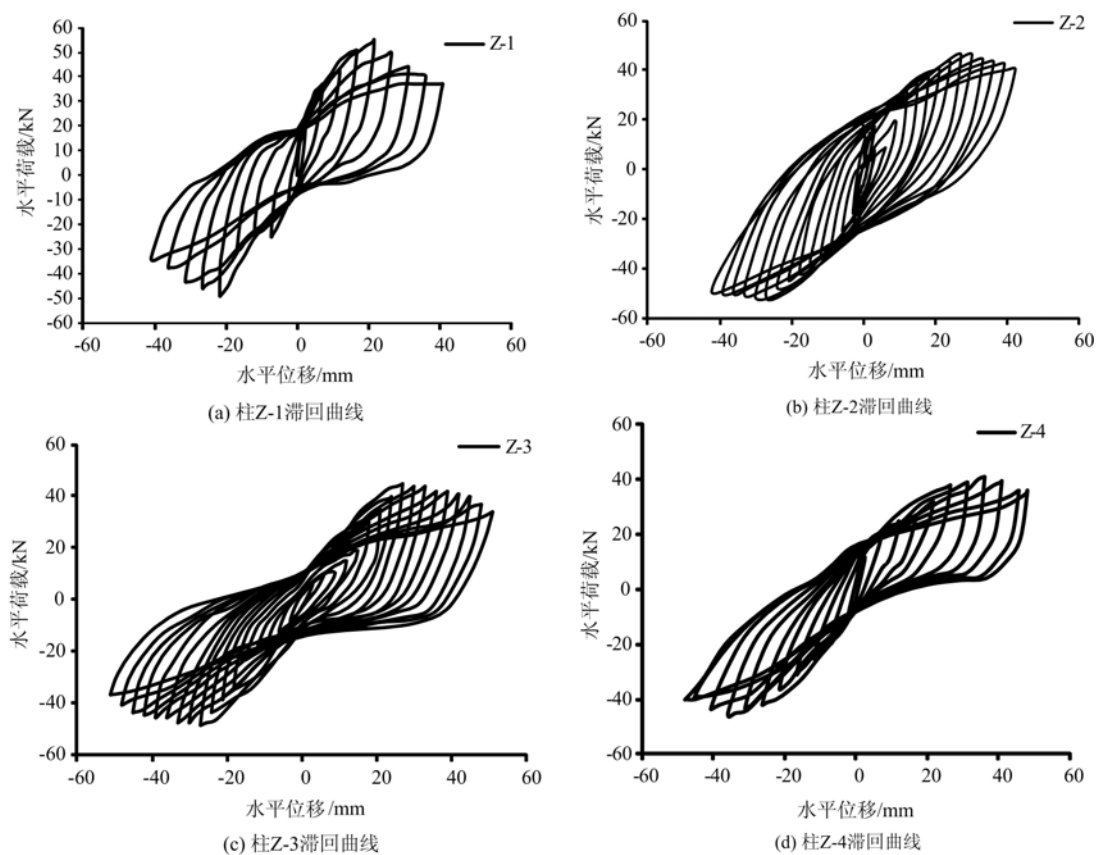


图 10 各试件滞回曲线图
Fig. 10 Hysteresis curve of each specimen

(2) 各试件水平承载力达到极限荷载后,随着每级位移的继续增加,荷载开始下降,对比柱(未加固柱)下降速率很快,但经加固的预损伤柱在达到极限荷载后下降幅度相对不大,反映出不同预损伤程度 RC 柱经绕丝加固后具有较好的延性。柱 Z-2 绕丝加固后其滞回曲线饱满成“梭”形,承载力基本达到对比柱的极限承载力,而且其延性较对比柱延性提高明显。柱 Z-3 和柱 Z-4 滞回曲线出现明显的捏拢现象,加固后极限承载力较对比柱 Z-1 极限承载力有所降低,但其极限位移和延性提高明显。

3.2 各试件骨架曲线的对比和分析

骨架曲线能够较明确地反映结构的承载力、变形等性能,各试件的骨架曲线(预损伤骨架曲线和加固后骨架曲线)如图 11 所示。

延性性能常用延性系数来表示,延性系数是结构或构件塑性变形能力的重要指标,能够反映结构或构件抗震性能的优劣。位移延性系数 μ 的定义为: $\mu = \Delta u / \Delta y$ 。其中, Δu 定义为滞回曲线上荷载下降到 85% 峰值荷载时对应的位移; Δy 为屈服位移,即构件屈服时屈服荷载所对应的位移值,根据骨架曲线,可以得到各试件特征点对应的荷载大小和顶点位移,求得其位移延性系数如表 3 所示。

表 3 各试件延性系数表

Tab. 3 Ductility coefficient of each specimen

试件编号	屈服位移/mm	极限位移/mm	位移延性系数
Z-1	7.9	29.3	3.48
Z-2	9.2	41.3	4.51
Z-3	11.9	48.1	4.03
Z-4	11.0	42.9	3.90

由各试件的骨架曲线和各试件的延性系数对比分析可以得出:

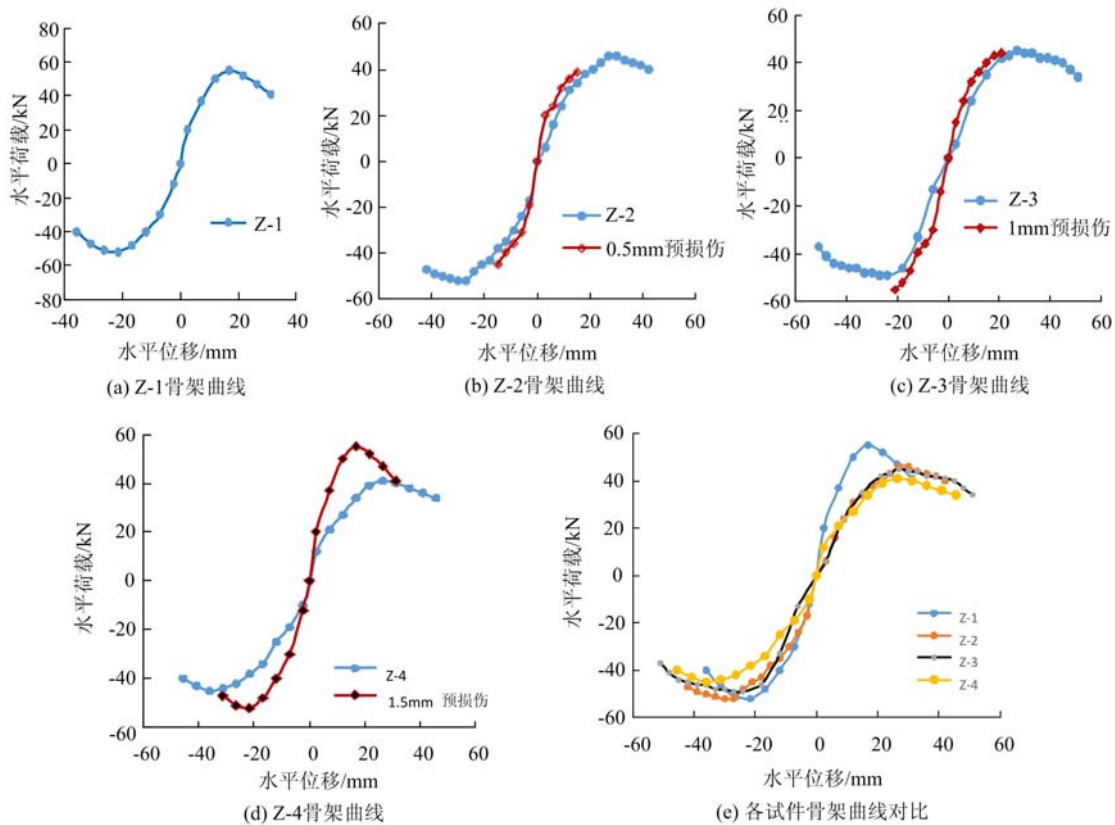


图 11 各试件骨架曲线对比图

Fig. 11 Comparison of skeleton curves of specimens

(1) 各试件在低周反复荷载作用下,在水平侧移较小时,位移与荷载的关系基本为直线,随着位移的增大及水平裂缝宽度的增大,骨架曲线上段斜率开始变小,而且正向加载骨架曲线与反向加载骨架曲线基本对称,推拉极限荷载相差不大。加固柱与对比柱相比,加固柱 Z-2、Z-3、Z-4 的屈服位移和极限位移大于对比柱的屈服位移和极限位移,显示出加固柱具有良好的延性变形能力。

(2) 相对于未加固柱,各预损伤柱绕丝加固后各柱的恢复力较对比柱的恢复力都有不同程度地降低,震损程度越小,加固后承载力水平恢复越高;震损程度越大,柱的恢复力下降越多。说明结构损伤后,修复加固只能部分恢复损伤,损伤不完全可逆,修复加固后柱仍存在残余损伤。但就延性而言,加固后各试件延性都得到了明显的提高,加固柱在侧移较大的情况下侧向力较为稳定。

(3) 加固柱的延性性能以及承载力恢复水平与预损伤程度成反比关系,加固柱位移延性系数在 3.90~4.51 之间,与对比柱的位移延性系数相比,Z-2 的位移延性系数提高了 29.6%,Z-3 的位移延性系数提高了 15.8%,Z-4 的位移延性系数提高了 12%。各加固柱延性提高明显,同时具有较好的抗侧移能力,表明绕丝加固柱具有较高的抗震安全储备。

3.3 刚度退化分析

为了反映出试件的整体刚度退化情况,引入割线刚度 K_i

$$K_i = \frac{|+P_i| + |-P_i|}{|+\Delta_i| + |-\Delta_i|}$$

其中, K_i 为第 i 次加载时的割线刚度,当为位移控制模式时取 2 次循环的平均值; Δ_i 为第 i 次峰值点水平侧移值。

各试件的刚度退化曲线见图 12 所示。随着位移的增加,试件的割线刚度逐渐减小,加载初始阶段刚度曲线斜率较大,后期趋于平缓,说明钢筋混凝土柱虽然刚度变小,在水平侧移增大的情况下仍然可以承受一定的荷载。对比柱 Z-1 割线刚度退化较快,各受损柱 Z-2、Z-3 和 Z-4 加固后初始割线刚度对比柱 Z-1 的初始刚度小,说明绕丝加固对于震损柱的刚度提高效果不明显,震损柱的初始刚度退化与受

损程度有关,轻度受损柱 Z-2 初始刚度下降较小,严重受损柱 Z-3 和 Z-4 初始刚度下降幅度较大。

3.4 能量耗散分析

在工程结构抗震中,结构的耗能能力普遍采用等效粘滞阻尼系数 h_e 的大小来评价。试验主要阶段各试件的等效粘滞阻尼系数见表 4,其中 h_{ey} 、 h_{em} 、 h_{eu} 分别表示试件在屈服荷载、峰值荷载、破坏荷载所对应的等效粘滞阻尼系数。

由表 4 可见:各试件的等效粘滞阻尼系数随着位移的增加而增大,反映出随着位移的加大,试件的耗能能力逐渐增强。其中加固试件 Z-2 的等效粘滞阻尼系数 h_e 最大,反映在滞回曲线中其滞回曲线饱满成梭形,耗能能力最强。说明绕丝加固轻度预损伤的 RC 柱,可以提高柱的耗能性能。试件预损伤程度越大,加固试件的耗能能力越弱。

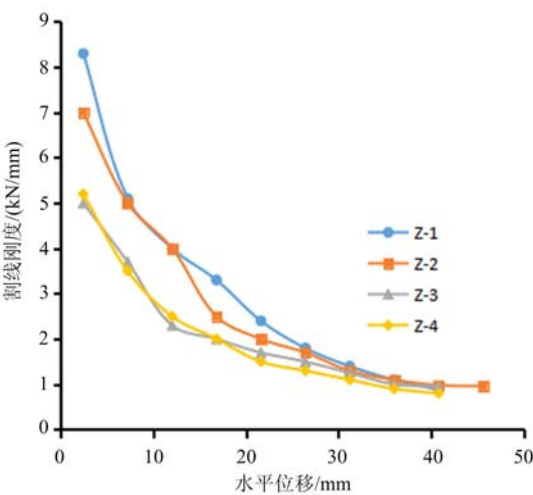


图 12 各试件的刚度退化曲线对比图
Fig. 12 Comparison of stiffness degradation curves

表 4 试件等效粘滞阻尼系数

Tab. 4 Equivalent viscous damping coefficients of specimens

试件编号	屈服点 h_{ey}	峰值点 h_{em}	破坏点 h_{eu}
Z-1	0.143	0.186	0.21
Z-2	0.152	0.194	0.23
Z-3	0.148	0.171	0.202
Z-4	0.127	0.160	0.166

4 结论

(1) 预损伤后的钢筋混凝土柱经过绕丝加固后,其延性性能明显提高,加固柱的延性性能以及承载力恢复水平与预损伤程度成反比关系,加固柱位移延性系数在 3.90~4.51 之间,与对比柱的位移延性系数相比,Z-2 的位移延性系数提高了 29.6%,Z-3 的位移延性系数提高了 15.8%,Z-4 的位移延性系数提高了 12%,各加固柱延性系数提高明显,同时具有较好的抗侧移能力,表明绕丝加固柱具有较高的抗震安全储备。

(2) 钢筋混凝土柱的预损伤程度对其加固效果影响较大。预损伤程度较轻的钢筋混凝土柱经加固修复后,其承载力基本恢复到对比柱的承载力,抗震能力恢复到预损前的抗震性能。

(3) 预损伤程度较轻的钢筋混凝土柱经加固修复后,滞回曲线饱满且无捏拢现象,加固效果最好;严重预损伤试件加固后,其承载力和刚度较对比柱的承载力和刚度有一定的退化,但其延性和极限变形能力提高明显。

参考文献:

[1] 卜良桃,袁超,鲁晨,等. 聚乙烯醇纤维水泥砂浆钢筋网加固 RC 柱偏压性能试验研究[J]. 建筑结构, 2013, 43(8):82—88 (BU Liangtao, YUAN Chao, LU Chen, et al. Study on bearing capacity of PVA-ECC steel mesh reinforced concrete column subjected to eccentric load[J]. Building Structure, 2013, 43(8):82—88 (in Chinese))

[2] 刘利先,时旭东,过镇海. 增大截面法加固高温损伤混凝土柱的试验研究[J]. 工程力学, 2003, 20(5):18—23 (LIU Lixian, SHI Xudong, GUO Zhenhai. Experimental investigation of strengthened reinforced concrete columns after exposure to high temperature[J]. Engineering Mechanics, 2003, 20(5):18—23 (in Chinese))

[3] Chai Y H, Priestley M J N, Seible F. Analytical mode for steel jacketed RC circular bridge columns[J]. Journal of

- Structural Engineering, 1994, 120(8):2358—2376.
- [4] 王新玲, 冯香玲, 牛学娇. 碳纤维布和角钢复合加固损伤混凝土柱抗震性能理论研究[J]. 建筑结构, 2013, 43(7):14—16 (WANG Xinling, FENG Xiangling, NIU Xuejiao. Seismic performance of the injury RC column strengthened by angle steels and CFRP sheets[J]. Building Structure, 2013, 43(7):14—16 (in Chinese))
- [5] 欧阳煜, 戚继亮, 蔡志鸿. 外包钢加固低强混凝土偏压柱试验研究[J]. 建筑结构, 2011, 41(6):71—93 (OUYANG Yu, QI Jiliang, CAI Zhihong. Experimental research on low strength RC eccentric compression columns strengthened with angle steel[J]. Building Structure, 2011, 41(6):71—93 (in Chinese))
- [6] 周长东, 白晓彬, 赵锋, 等. 预应力纤维布加固混凝土圆形截面短柱轴压性能试验[J]. 建筑结构学报, 2013, 34(2):131—140 (ZHOU Changdong, BAI Xiaobin, ZHAO Feng, et al. Experimental study on circular concrete short columns strengthened with pre-stressed FRP under axial compression[J]. Journal of Building Structure, 2013, 34(2):131—140 (in Chinese))
- [7] 吴刚, 姚刘镇, 杨慎银, 等. 嵌入式 BFRP 筋与外包 BFRP 布组合加固钢筋混凝土方柱性能研究[J]. 建筑结构, 2013, 43(19):10—14 (WU Gang, YAO Liuzhen, YANG Shenyin, et al. Seismic behavior of square RC columns strengthened by near-surface-mounted BFRP bars and BFRP sheets jacketing[J]. Building Structure, 2013, 43(19):10—14 (in Chinese))
- [8] 龚永智, 张继文, 蒋丽忠, 等. 高性能 CFRP 筋混凝土柱的抗震性能[J]. 中南大学学报:自然科学版, 2010, 41(4):1506—1513 (GONG Yongzhi, ZHANG Jiwen, JIANG Lizhong, et al. Seismic behavior of concrete columns reinforced with CFRP[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2010, 41(4):1506—1513 (in Chinese))
- [9] 王用锁, 潘景龙. 体外绕丝约束混凝土轴压特性的试验研究[J]. 工业建筑, 2007, 37(1):104—106 (WANG Yongsuo, PAN Jinglong. Experimental study on confined concrete wound with steel cable under axial compression [J]. Industrial Construction, 2007, 37(1):104—106 (in Chinese))
- [10] GB 50010—2010 混凝土结构设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2011 (GB 50010—2010 Code for design of concrete structures[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011 (in Chinese))
- [11] GB 50367—2013 混凝土结构加固设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2013 (GB 50367—2013 Code for design of reinforced concrete structures[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013 (in Chinese))

Seismic performance experimental study of spiral hoops strengthened steel reinforced concrete column with pre-damage

SI Jian-hui, ZHAO Kan, YIN Tai-long, LIU Mao-she, TIAN Jian-bo

(School of Civil Engineering and Architecture, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: In this paper, low cycle repeated loading destructive experiment was carried out for 4 spiral hoops strengthened steel reinforced concrete columns with pre-damage to study their seismic performance. Based on experimental data, the bearing capacity, ductility, stiffness degradation, and energy dissipation capacity of specimen were analyzed systematically. Experimental results show that after spiral hoops strengthening, both ductility and ultimate displacement are improved obviously; the pre-damage degree has important influence on strengthening effect of steel reinforced concrete column. In the case of mild pre-damage, the seismic performance of spiral hoops strengthened column not only restores but also exceeds that of column without pre-damage. In the case of severe pre-damage, the ductility, energy dissipation capacity, stiffness and bearing capacity of spiral hoops strengthened column are degraded.

Keywords: reinforced concrete column; spiral hoops strengthening; low cycle repeated loading; pre-damage; seismic performance