第50卷 第6期 哈尔滨工业大学学报 Vol. 50 No. 6
2018年6月 JOURNAL OF HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY Jun. 2018

DOI: 10.11918/j.issn.0367-6234.201711107

T形RC剪力墙抗震变形指标限值试验

陈彬彬[1]，季 静[1,2]，谢舜光[1]，韩小雷[1,2]，陆怀坤[1]，崔济东[1]

(1.华南理工大学 土木与交通学院，广州 510641; 2.亚热带建筑科学国家重点实验室(华南理工大学)，广州 510641)

摘 要: 为研究T形钢筋混凝土(RC)剪力墙的抗震性能及其变形指标限值，根据中国现行规范要求，设计了12个不同剪跨比、设计轴压比及暗柱纵筋配筋率的T形RC剪力墙试件，通过低周往复试验对其破坏形态、滞回性能、耗能能力、变形能力进行研究.根据试验结果，提出基于骨架曲线和基于试验现象的划分方法，将12个试件划分为完好、轻微损坏、轻中等破坏、中等破坏、较严重破坏、严重破坏6个性能状态，并得到各试件不同性能状态对应的变形指标限值; 同时结合收集的T形RC剪力墙试验结果进行回归分析，建立T形RC剪力墙不同性能状态下的变形指标限值与剪跨比、设计轴压比及暗柱纵筋配筋率之间的关系.结果表明: 随着剪跨比的减小，试件的破坏形态由弯曲破坏转向弯剪破坏; 基于骨架曲线的性能状态划分方法能建立起T形RC剪力墙变形指标限值与损伤程度的对应关系，具有合理性与适用性; 其中T形RC剪力墙的变形指标限值与剪跨比、暗柱纵筋配筋率呈正相关性，与设计轴压比呈负相关性.

关键词: 钢筋混凝土; T形剪力墙; 低周往复试验; 基于性能设计方法; 变形指标限值; 回归分析

中图分类号: TU375 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2018)06-0064-07

Experimental study on seismic deformation index limits of T-shaped RC shear walls

CHEN Binbin[1], JI Jing[1,2], XIE Shunguang[1], HAN Xiaolei[1,2], LU Huaikun[1], CUI Jidong[1]

(1.School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China;
2.State Key Laboratory of Subtropical Building Science (South China University of Technology), Guangzhou 510641, China)

Abstract: To investigate the seismic performance and deformation index limits, twelve T-shaped reinforced concrete (RC) shear walls with different shear span ratios, design axial compression ratios and longitudinal reinforcement ratios of boundary element were designed according to Chinese current codes. The specimens were tested under low frequency cyclic loading to study the seismic behaviors such as failure pattern, hysteretic characteristic, energy dissipation capacity and deformation capacity. According to the test results, corresponding deformation index limits of six performance states were obtained with two methods based on skeleton curve and experimental phenomena. Regression analysis was conducted with collected experimental results to build the correlations of deformation index limits at different performance states and shear span ratios, design axial compression ratios and longitudinal reinforcement ratios of boundary element. The results show that the failure patterns of specimens are transformed from flexural failure to flexural-shear failure with the decrease of shear span ratio. It is reasonable and feasible to establish the relationship between deformation index limits and damage extents of T-shaped RC shear walls based on skeleton curve. While the deformation index limit has positive correlations with shear span ratio and longitudinal reinforcement ratio of boundary element, there is a negative correlation between deformation index limit and design axial compression ratio.

Keywords: reinforced concrete; T-shaped shear wall; low frequency cyclic loading test; performance-based design; deformation index limit; regression analysis

钢筋混凝土(RC)剪力墙为高层建筑结构重要的承重及抗侧力构件，在实际工程中，往往会在剪力墙端部布置翼缘，使得在荷载作用下墙体与翼缘产生相互作用[1]，形成T形剪力墙等.

国内外学者对T形RC剪力墙开展了相关试验研究，Thomsen等[2]、Sittipunt等[3]、Palermo等[4]根据T形RC剪力墙试验结果发现带翼缘的RC剪力墙与矩形剪力墙的抗震性能与破坏形态存在较大差异; 李青宁等[5-6]通过试验发现T形短肢剪力墙存在明显的剪力滞后现象; 傅剑平等[7-8]通过试验发现构件抗弯承载能力是影响其剪切效应的决定性因素; 曹万林等[9]通过试验研究对比T形带暗支撑短肢剪力墙与普通剪力墙的抗震性能水平差异; 朱张峰等[10]通过试验研究对比了T形预

收稿日期: 2017-11-22
基金项目: 国家自然科学基金(51378221); 广州市科技计划项目(201504010008); 华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室重点研究项目(2015ZA05)
作者简介: 陈彬彬(1990—)，男，博士研究生;
韩小雷(1964—)，男，教授，博士生导师
通信作者: 季 静，cvjingji@scut.edu.cn

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

制装配式剪力墙与现浇剪力墙的抗震性能；吕西林等[11-12]通过缩尺 RC 剪力墙试验发现较强的约束边缘会使其延性及耗能水平有所降低.上述研究主要集中在对 T 形剪力墙的抗震性能方面的探讨，少有对 T 形剪力墙不同破坏状态与变形值之间定量关系的深入研究.

为此，本文通过改变剪跨比、设计轴压比及暗柱纵筋配筋率设计了 12 个 T 形 RC 剪力墙试件进行低周往复试验，分析其破坏形态、滞回性能、耗能能力、变形能力等结果，建立构件不同性能状态下损伤程度与变形值之间的定量对应关系，同时结合收集的试验结果进行回归分析，建立 T 形 RC 剪力墙不同性能状态的变形指标限值.

1　试验概况

1.1　试件设计与制作

根据《建筑抗震设计规范》[13]和《混凝土结构设计规范》[14]，设计了 12 个 T 形 RC 剪力墙试件，翼缘截面尺寸为 400 mm×130 mm，腹板截面尺寸为 720 mm×130 mm，墙体净高 H 分别为 1 300 mm、1 700 mm、2 200 mm.试件设计了 1.65、2.12、2.71 三种剪跨比（λ），0.2、0.5 两种设计轴压比（n）和 1.55%、2.42%两种暗柱纵筋配筋率（ρ），共 12 种组合，分别为编号 TW1～TW12 的 12 个试件，基本参数见表 1，几何尺寸及配筋见图 1.试件所使用混凝土和钢筋材料实测性能见表 2、表 3.

表 1　试件基本参数

Tab.1　Parameters of specimens

编号	加载批次	暗柱配筋		墙体配筋		剪跨比	设计轴压比
		纵筋	箍筋	竖向分布筋	水平分布筋		
TW1	1	10 Φ 8（1.55%）	Φ 8@80	Φ 6@125	Φ 8@125	1.65	0.2
TW2	1	10 Φ 10（2.42%）	Φ 8@80	Φ 6@125	Φ 8@125	1.65	0.2
TW3	1	10 Φ 8（1.55%）	Φ 8@80	Φ 6@125	Φ 8@125	1.65	0.5
TW4	1	10 Φ 10（2.42%）	Φ 8@80	Φ 6@125	Φ 8@125	1.65	0.5
TW5	2	10 Φ 8（1.55%）	Φ 8@80	Φ 6@125	Φ 8@125	2.12	0.2
TW6	2	10 Φ 10（2.42%）	Φ 8@80	Φ 6@125	Φ 8@125	2.12	0.2
TW7	2	10 Φ 8（1.55%）	Φ 8@80	Φ 6@125	Φ 8@125	2.12	0.5
TW8	2	10 Φ 10（2.42%）	Φ 8@80	Φ 6@125	Φ 8@125	2.12	0.5
TW9	2	10 Φ 8（1.55%）	Φ 8@80	Φ 6@125	Φ 8@125	2.71	0.2
TW10	2	10 Φ 10（2.42%）	Φ 8@80	Φ 6@125	Φ 8@125	2.71	0.2
TW11	2	10 Φ 8（1.55%）	Φ 8@80	Φ 6@125	Φ 8@125	2.71	0.5
TW12	2	10 Φ 10（2.42%）	Φ 8@80	Φ 6@125	Φ 8@125	2.71	0.5

注：设计轴压比 $n=1.2N/(f_c A)$，N 为施加在顶部的轴压力，f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值，A 为试件截面面积.

表 2　混凝土实测力学性能

Tab.2　Mechanical properties of concrete　　MPa

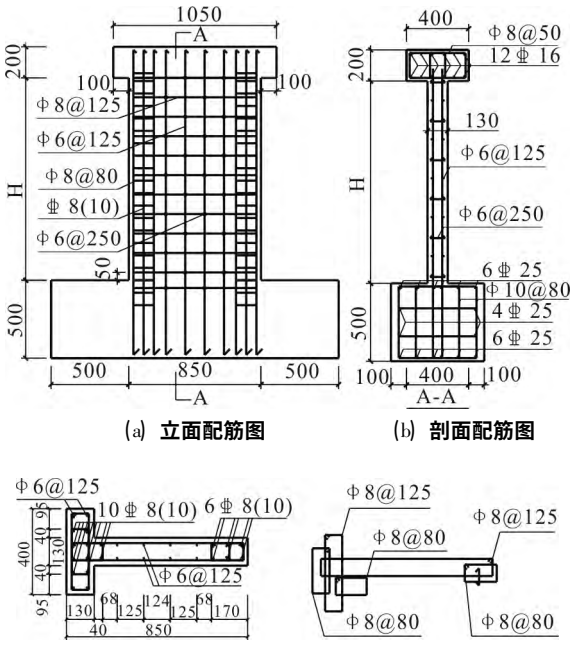
批次	$f_{cu,m}$	$f_{cu,k}$	f_{ck}	f_c
第一批（TW1～TW4）	35.08	30.07	20.11	14.36
第二批（TW5～TW12）	34.18	24.50	16.39	11.71

注：$f_{cu,m}$ 为立方体抗压强度均值，$f_{cu,k}$ 为立方体抗压强度标准值，f_{ck} 为轴心抗压强度标准值，f_c 为轴心抗压强度设计值.

表 3　钢筋实测力学性能

Tab.3　Mechanical properties of reinforcement bars

批次	型号	屈服强度 f_y/MPa	抗拉强度 f_u/MPa
第一批（TW1～TW4）	Φ 6	467	660
	Φ 8	364	573
	Φ 8	426	653
	Φ 10	533	687
第二批（TW5～TW12）	Φ 6	424	654
	Φ 8	430	575
	Φ 8	497	696
	Φ 10	439	636



(a) 立面配筋图　(b) 剖面配筋图

(c) 试件截面尺寸及配筋图

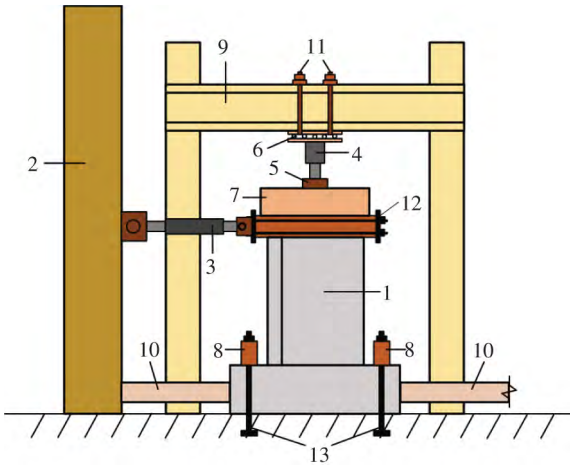
图 1　试件几何尺寸及配筋图（mm）

Fig.1　Geometry and reinforcement details of specimens（mm）

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1.2　加载装置与加载制度

试验的加载装置见图 2.



1.试件 2.反力墙 3.MTS 作动器 4.液压千斤顶 5.球铰 6.滚轴 7.刚性垫梁 8.压梁 9.反力架 10.水平固定梁 11.竖向千斤顶固定螺栓 12.水平连接装置 13.地锚螺栓

图 2　加载装置示意

Fig.2　Test setup

试验首先施加轴压力并维持恒定，然后施加水平荷载进行低周往复试验，先使翼缘受压加载(正向加载)，后使翼缘受拉加载(负向加载).水平荷载的施加采用荷载、位移混合控制的加载制度[15]：试件屈服前，采用力控制，每级递增 20~40 kN 加载，每级荷载循环一次；当试件最外层纵筋屈服或荷载-位移曲线显著偏离直线时，认为试件屈服，以正负向屈服位移平均值作为试件屈服位移 Δ_y；试件屈服后，采用位移控制，以屈服位移 Δ_y 的倍数进行循环加载，每级位移加载循环三次，加载至试件破坏，直至试件丧失竖向承载力或者水平承载力下降至峰值承载力的 50%左右.

2　结果及分析

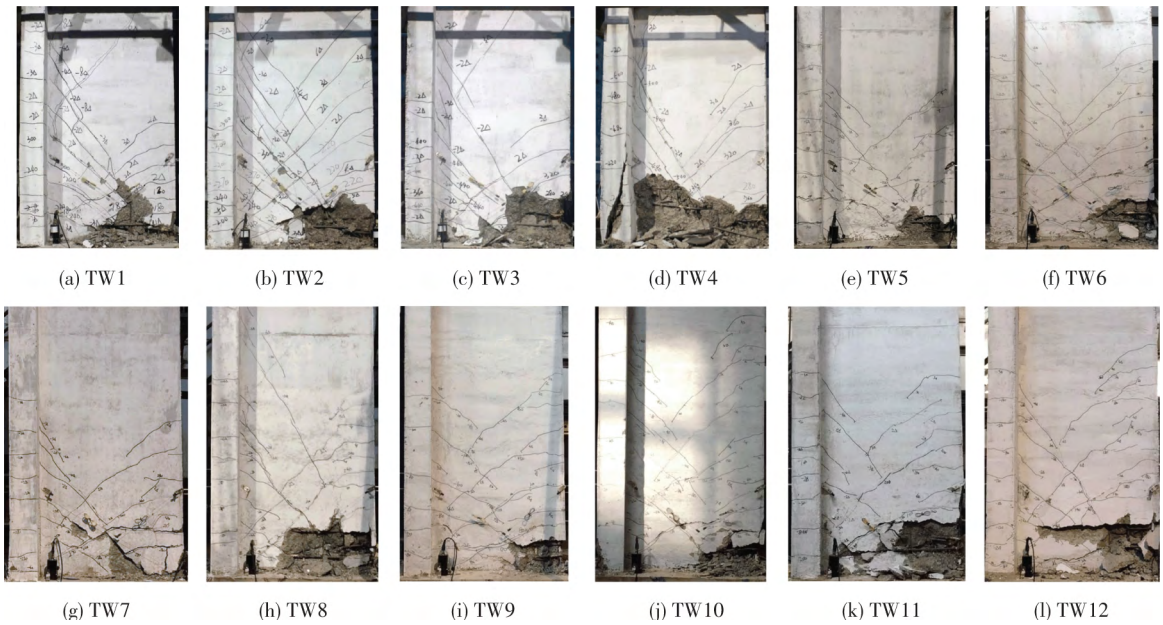
2.1　破坏形态和破坏过程

12 个 T 形剪力墙试件的最终破坏形态见图 3.根据试验结果，试件的破坏形态主要分为弯曲破坏和弯剪破坏两种.

1) 弯曲破坏：试件屈服前，墙身裂缝以水平裂缝为主，且集中于底部塑性区.试件屈服后，在试件底部约 0.5 倍截面高度范围内出现塑性铰，墙身部分水平裂缝斜向延伸形成斜裂缝，但裂缝宽度较小；试件无翼缘端首先破坏.试件破坏时，全部纵筋及大部分水平筋、箍筋屈服；塑性区无翼缘端混凝土被压碎，暗柱纵筋被压曲或拉断，构件塑性区无翼缘端破坏严重，而翼缘端损伤轻微，仅出现裂缝.试件 TW5~TW12 发生弯曲破坏.

2) 弯剪破坏：试件屈服前，试件翼缘与腹板端部产生水平裂缝，随后有较多水平裂缝向腹板中心斜向延伸.试件屈服后，墙身产生大量交叉斜裂缝，裂缝宽度较大；与弯曲破坏相比，弯剪破坏试件剪切变形所占比例更高，斜裂缝的倾角更大，裂缝分布范围至试件全高；试件无翼缘端首先破坏，在竖向荷载作用下破坏加剧，试件承载力迅速下降.试件破坏时，墙体中部产生较大宽度的交叉斜裂缝，混凝土严重剥落；试件无翼缘端根部破坏严重，塑性区大块混凝土压碎、剥落，暗柱纵筋压曲、拉断，而翼缘端轻度损伤，有较大宽度裂缝产生.试件 TW1~TW4 发生弯剪破坏.

由试验结果可知，剪跨比对破坏形态的影响最大.随着剪跨比的减小，T 形剪力墙的破坏形态由弯曲破坏转向弯剪破坏.



(a) TW1　(b) TW2　(c) TW3　(d) TW4　(e) TW5　(f) TW6

(g) TW7　(h) TW8　(i) TW9　(j) TW10　(k) TW11　(l) TW12

图 3　试件破坏形态

Fig.3　Failure patterns of specimens

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.2　滞回曲线及骨架曲线

各试件的顶部水平荷载 P-位移角 θ 滞回曲线及骨架曲线分别见图 4、5.

由图 4 可知: 1) 由于设置翼缘，T 形剪力墙不对称，试件滞回曲线的正、负向特征明显不同.正向加载时，翼缘受压，无翼缘端暗柱纵筋受拉，滞回曲线较为饱满，耗能能力较强; 负向加载时，翼缘受拉，无翼缘端暗柱纵筋易于压曲，混凝土压碎，滞回环面积在试件承载力到达峰值后明显减小，耗能能力较弱; 2) 弯曲破坏试件(TW5 ~ TW12) 的滞回曲线较为饱满，在加载初期滞回环内凹呈“弓”形，后期发展为反“S”形，试件的变形及耗能能力较好; 与弯曲破坏相比，弯剪破坏试件(TW1 ~ TW4) 剪切变形所占比例增大，剪切效应产生，捏缩效应增强，滞回曲线饱满程度降低，耗能能力减弱; 3) 随着剪跨比的增大，试件耗能能力增强; 随着轴压比的增大，试件承载力显著提高，但捏缩效应增强，耗能能力减弱; 随着暗柱纵筋配筋率的增大，试件滞回环特性变化不大，承载力有所提升.

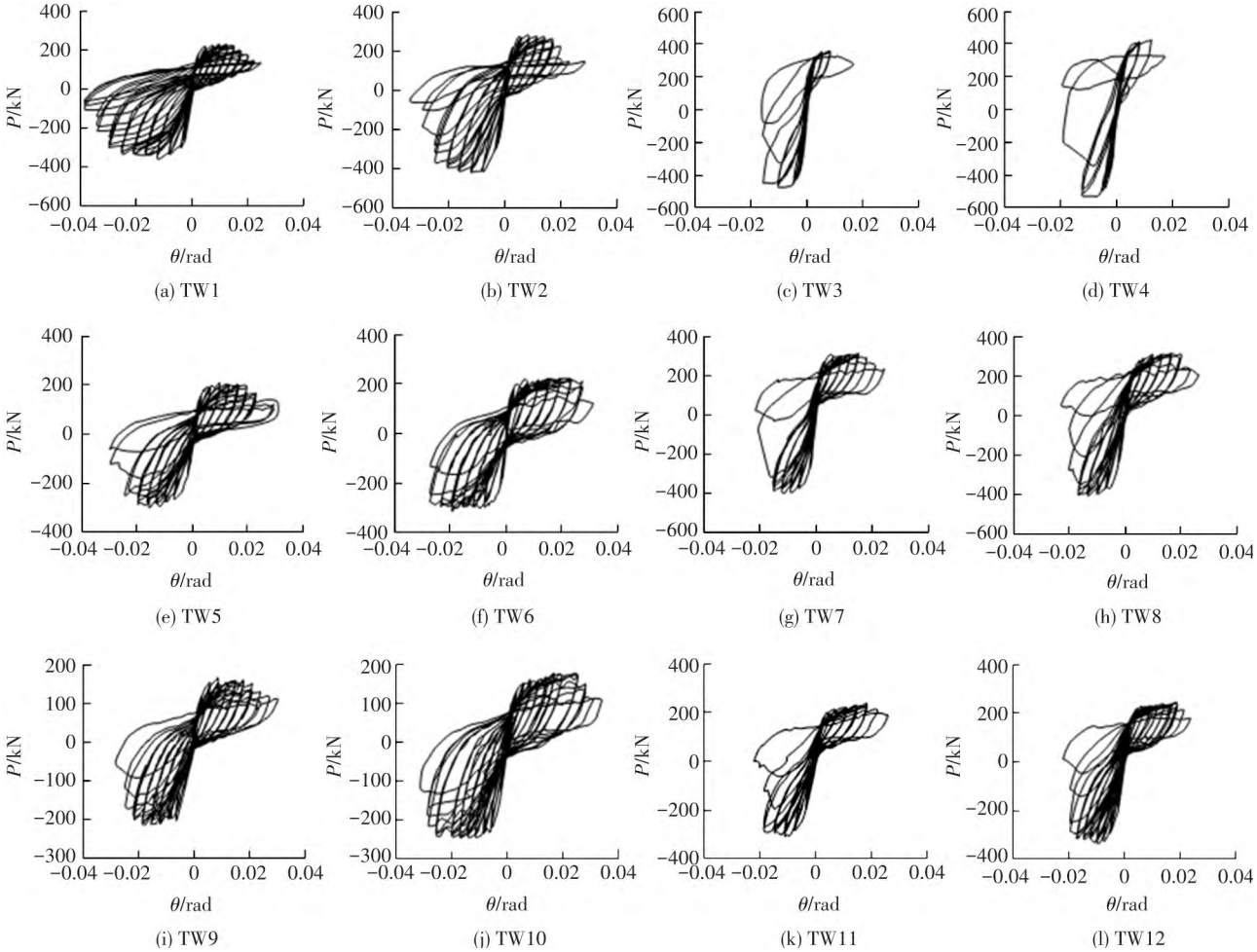


图 4　试件顶部水平荷载 P-位移角 θ 滞回曲线

Fig.4　P-θ hysteretic loops of specimens

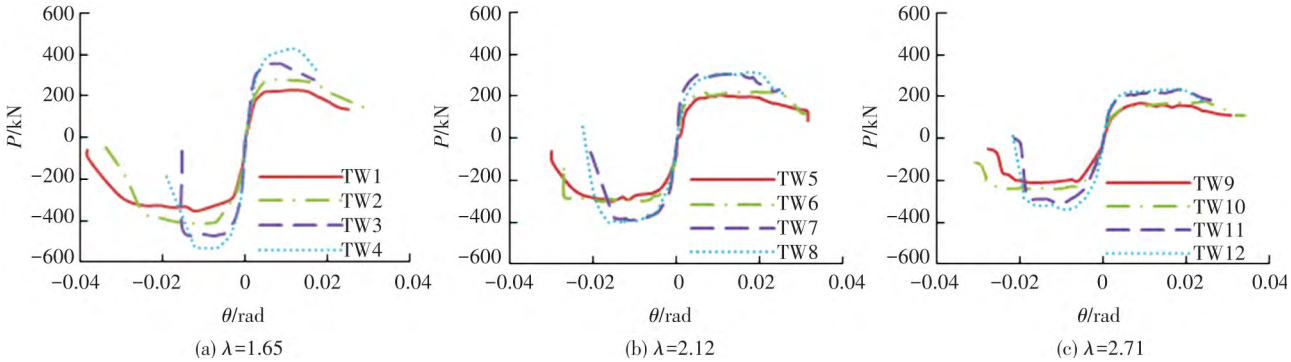


图 5　试件顶部水平荷载 P-位移角 θ 骨架曲线

Fig.5　P-θ skeleton curves of specimens

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

由图 5 可知，试件的骨架曲线正负向具有差异性.与正向加载相比，负向加载时，由于翼缘配置的竖向钢筋受拉，试件承载力明显大于正向，但试件承载力到达峰值后，无翼缘端暗柱纵筋易于压曲，混凝土过早压碎，负向迅速丧失承载力，延性降低，高轴压比时尤为明显.

对比不同参数下的骨架曲线，可以看出：1) 增大暗柱纵筋配筋率，能提高试件的承载力，对弯剪破坏试件尤为明显；对弯曲破坏试件的变形能力影响不大，但会降低弯剪破坏试件的变形能力；2) 增大轴压比，试件承载能力显著增大，但骨架曲线下降段变陡，变形能力变小，弯剪破坏试件尤为明显；3) 增大剪跨比，试件骨架曲线的平台段变长，下降段变缓，变形能力变强.

3　变形指标限值

3.1　变形指标限值的划分

采用变形指标限值定量评估 T 形 RC 剪力墙的抗震性能和变形能力.结合相关研究成果[16-17]及规范[13]对性能状态的划分标准，将 T 形 RC 剪力墙划分为 6 个性能状态：完好(G_1)、轻微损坏(G_2)、轻中等破坏(G_3)、中等破坏(G_4)、较严重破坏(G_5)、严重破坏(G_6)，构件超过严重破坏状态为失效.采用以下两种方法确定构件不同性能状态的变形限值.

1) 方法一：基于骨架曲线的划分方法

根据试验骨架曲线，由 Park[18]等效屈服点方法确定的位移角为“完好”状态的变形限值 θ_1；水平承载力下降 20%对应的位移角为“较严重破坏”的变形限值 θ_5；“严重破坏”的变形限值 θ_6为构件丧失竖向承载力与水平承载力下降至峰值承载力的 50%两者对应位移角的较小值；轻微损坏、轻中等破坏与中等破坏的变形限值 θ_2、θ_3与 θ_4由 θ_1和 θ_5等分插值所得，见式(1)～(3)[19].基于骨架曲线的变形限值划分结果见图 6.

$$\theta_2 = \theta_1 + 0.25(\theta_5 - \theta_1), \tag{1}$$

$$\theta_3 = \theta_1 + 0.50(\theta_5 - \theta_1), \tag{2}$$

$$\theta_4 = \theta_1 + 0.75(\theta_5 - \theta_1). \tag{3}$$

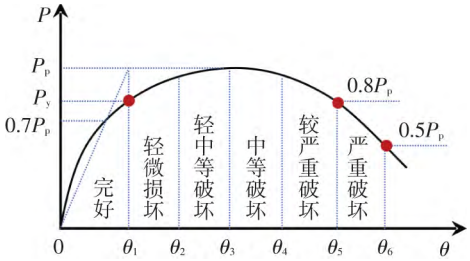


图 6　基于骨架曲线的变形限值划分方法

Fig.6　Definition of deformation index limits based on skeleton curve

2) 方法二：现象特征点划分法

试验过程可归纳出的 10 个主要的试验现象：(1) 开裂；(2) 暗柱约束区受拉纵筋屈服；(3) 墙面最大裂缝宽度达到 1 mm；(4) 墙面最大裂缝宽度达到 2 mm；(5) 混凝土保护层轻微剥落；(6) 混凝土保护层严重剥落；(7) 暗柱纵筋外露；(8) 暗柱纵筋压曲；(9) 暗柱纵筋拉断；(10) 构件丧失轴向、侧向承载能力.根据主要试验现象出现的先后次序与损伤程度，上述(1)～(10)主要破坏现象可划分至不同性能状态中，见表 4，各性能状态的变形限值为对应试验现象位移角的最小值，分别为 $t_1 \sim t_6$.

将方法一确定的变形指标限值 $\theta_1 \sim \theta_6$与方法二确定的变形指标限值 $t_1 \sim t_6$进行对比，统计结果见表 5.由对比结果可知，$\theta_1/t_1 \sim \theta_6/t_6$的均值为 0.96～1.18，表明根据骨架曲线划分的性能点位移角限值与试验现象位移角限值总体上十分接近；标准差为 0.05～0.36，方差为 0.002～0.13，表明比值离散性较小.

综上所述，$\theta_1 \sim \theta_6$与 $t_1 \sim t_6$吻合程度高，采用基于骨架曲线的划分方法能有效反映构件在不同性能状态下的损伤情况，得到的不同性能状态下的变形限值见表 6.

表 4　剪力墙构件各性能状态对应损伤程度

Tab.4　Damage extent of each performance state of reinforced concrete shear wall

性能状态	试验现象
完好	(1)～(2)
轻微损坏	(3)
轻中等破坏	(4)～(5)
中等破坏	(6)～(7)
较严重破坏	(8)～(9)
严重破坏	(10)

表 5　性能点与现象点变形值对比

Tab.5　Comparison of deformation limits between performance points and phenomenon points

统计参数	θ_1/t_1	θ_2/t_2	θ_3/t_3	θ_4/t_4	θ_5/t_5	θ_6/t_6
平均值	1.07	1.02	1.09	1.06	1.18	0.96
标准差	0.36	0.27	0.24	0.19	0.18	0.05
方差	0.13	0.07	0.06	0.04	0.03	0.002
最小值	0.53	0.56	0.71	0.60	0.75	0.86
最大值	1.94	1.69	1.63	1.47	1.51	1.00

3.2　关键性能点变形限值的回归分析

由 3.1 节基于骨架曲线确定性能状态的划分方法可知，“完好”(G_1)状态、“较严重破坏”(G_5)状态、“严重破坏”(G_6)状态是确定试件变形限值与损伤情况的关键性能点.为进行 T 形 RC 剪力墙关键性能点变形限值的回归分析，从公开发表的文献收集了 24

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

个 T 形 RC 剪力墙试件的低周往复试验数据，收集结果见文献[17]. 从收集的 24 个试件及设计的 12 个试件共 36 个试件（翼缘与腹板的截面高度之比为 0.56~1.33）中，提取控制参数剪跨比 λ、设计轴压比 n、暗柱纵筋配筋率 ρ（%）及正负向 3 个关键性能点的变形限值（θ_1、θ_5、θ_6），建立 T 形 RC 剪力墙正负向关键性能点变形限值的回归公式，其余的变形限值 θ_2、θ_3 与 θ_4 可由 θ_1 和 θ_5 等分插值得到.

表 6　各试件不同性能状态的变形指标限值

Tab.6　Deformation index limits for different performance states of specimens

试件编号	方向	完好	轻微损坏	轻中等破坏	中等破坏	较严重破坏	严重破坏
TW1	正向	0.002 8	0.007 0	0.011	0.015	0.019	0.025
	负向	0.003 3	0.010 0	0.017	0.023	0.030	0.035
TW2	正向	0.003 2	0.007 6	0.012	0.016	0.021	0.029
	负向	0.004 1	0.009 5	0.015	0.020	0.026	0.029
TW3	正向	0.002 4	0.005 9	0.009	0.013	0.016	0.017
	负向	0.002 4	0.005 6	0.009	0.012	0.015	0.016
TW4	正向	0.003 8	0.007 0	0.010	0.013	0.017	0.017
	负向	0.003 0	0.005 9	0.009	0.012	0.014	0.018
TW5	正向	0.003 9	0.008 7	0.014	0.018	0.023	0.031
	负向	0.004 3	0.009 5	0.015	0.020	0.025	0.029
TW6	正向	0.002 7	0.008 9	0.015	0.021	0.028	0.031
	负向	0.003 2	0.009 2	0.015	0.021	0.027	0.027
TW7	正向	0.001 8	0.006 7	0.011	0.016	0.021	0.023
	负向	0.003 3	0.006 5	0.010	0.013	0.016	0.019
TW8	正向	0.004 1	0.008 7	0.013	0.018	0.023	0.027
	负向	0.004 7	0.008 2	0.012	0.015	0.019	0.021
TW9	正向	0.004 2	0.009 0	0.014	0.019	0.023	0.031
	负向	0.005 8	0.010 2	0.015	0.019	0.023	0.025
TW10	正向	0.004 3	0.010 4	0.017	0.023	0.029	0.034
	负向	0.005 1	0.010 9	0.017	0.023	0.028	0.030
TW11	正向	0.003 4	0.008 9	0.014	0.020	0.025	0.026
	负向	0.005 6	0.008 9	0.012	0.015	0.019	0.019
TW12	正向	0.003 1	0.008 0	0.013	0.018	0.023	0.024
	负向	0.004 2	0.008 0	0.012	0.015	0.019	0.020

正向关键性能点变形限值回归公式：

$$\theta_1 = 0.003\,9 + 0.000\,8\lambda - 0.006\,0n + 0.000\,4\rho,$$

$$\theta_5 = 0.005\,6 + 0.008\,6\lambda - 0.017\,2n + 0.003\,7\rho,$$

$$\theta_6 = 0.009\,1 + 0.011\,1\lambda - 0.036\,1n + 0.003\,7\rho.$$

负向关键性能点变形限值回归公式为：

$$\theta_1 = 0.003\,5 + 0.000\,1\lambda - 0.005\,4n + 0.001\,2\rho,$$

$$\theta_5 = 0.014\,4 + 0.001\,6\lambda - 0.007\,0n + 0.001\,0\rho,$$

$$\theta_6 = 0.014\,7 + 0.002\,7\lambda - 0.019\,7n + 0.002\,5\rho.$$

T 形 RC 剪力墙变形限值随着剪跨比、暗柱纵筋配筋率的增大呈增大趋势，随着设计轴压比的增大呈减小趋势.

4　结　论

1) T 形 RC 剪力墙的破坏形态主要受剪跨比影响，随着剪跨比减小，破坏形态由弯曲破坏转向弯剪破坏.

2) 弯剪破坏剪力墙试件的变形和耗能能力低于弯曲破坏试件，但通过降低设计轴压比、降低截面抗弯承载力等措施可以适当提高弯剪破坏剪力墙的抗震变形和耗能能力.

3) 采用基于骨架曲线的划分方法能合理有效地反映 T 形 RC 剪力墙在不同性能状态下的损伤程度，

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

由此可建立构件变形限值与损伤程度的对应关系.

4) 建立T形RC剪力墙试件关键性能点的变形指标限值的回归公式,其中变形指标限值随剪跨比、暗柱纵筋配筋率增大而增大,随设计轴压比增大而减小.

参考文献

[1] 史庆轩,王斌,王朋,等. 双轴加载下RC带翼缘剪力墙抗震性能对比分析[J]. 福州大学学报(自然科学版),2013,41(4):712-716.
SHI Qingxuan, WANG Bin, WANG Peng, et al. Comparison and analysis for seismic performance of RC shear wall with flanges under biaxial loading [J]. Journal of Fuzhou University (Natural Science Edition), 2013, 41(4): 712-716.

[2] THOMSEN J H, WALLACE J W. Displacement-based design of slender reinforced concrete structural walls-experimental verification [J]. Journal of Structural Engineering, 2004, 130(4): 618-630.

[3] SITTIPUNT C, WOOD S L. Influence of web reinforcement on the cyclic response of structural walls [J]. ACI Structural Journal, 1995, 92(6): 745-756.

[4] PALERMO D, VECCHIO F J. Behaviour of three dimensional reinforced concrete shear wall [J]. Journal of the American Concrete Institute, 2002, 99(1): 181-189.

[5] 李青宁,李晓蕾,闫艳伟,等. 钢筋混凝土短肢剪力墙抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报,2011,32(4):53-62.
LI Qingning, LI Xiaolei, YAN Yanwei, et al. Experimental research on seismic performance of reinforced concrete short-leg shear wall [J]. Journal of Building Structures, 2011, 32(4): 53-62.

[6] 李青宁,李晓蕾,雷伟宁. T形与L形短肢剪力墙破坏规律及刚度延性研究[J]. 建筑结构,2010,40(2):37-39,44.
LI Qingning, LI Xiaolei, LEI Weining. Study on destruction law and stiffness ductility of T-shaped and L-shaped short shear wall [J]. Building Structure, 2010, 40(2): 37-39, 44.

[7] 傅剑平,吴雁江,皮天祥,等. 工字形截面延性剪力墙肢抗震抗剪性能试验[J]. 重庆大学学报(自然科学版),2004,27(12):52-55,67.
FU Jianping, WU Yanjiang, PI Tianxiang, et al. Experimental research on seismic shear capacity of I-shape ductile reinforced concrete structural walls [J]. Journal of Chongqing University (Natural Science Edition), 2004, 27(12): 52-55, 67.

[8] 傅剑平,汪锦林,白绍良. 工字形、T形钢筋混凝土剪力墙抗震抗剪试验[J]. 重庆建筑大学学报,2008,30(3):22-26.
FU Jianping, WANG Jinlin, BAI Shaoliang. The seismic shear capacity of I-shaped and T-shaped reinforced concrete structural walls [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2008, 30(3): 22-26.

[9] 曹万林,常卫华,宋文勇,等. 带暗支撑T形截面短肢剪力墙抗震性能试验研究[J]. 世界地震工程,2005,21(2):25-30.
CAO Wanlin, CHANG Weihua, SONG Wenyong, et al. Experimental research on seismic behavior of T-Shaped short pier shear wall with concealed bracings [J]. World Earthquake Engineering, 2005, 21(2): 25-30.

[10] 朱张峰,郭正兴. 装配式短肢剪力墙平面模型抗震性能试验[J]. 哈尔滨工业大学学报,2012,44(4):94-99.
ZHU Zhangfeng, GUO Zhengxing. Test research on seismic performance of plane model of new precast concrete short-limbed shear wall [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2012, 44(4): 94-99.

[11] 龚治国,吕西林,姬守中. 不同边缘构件约束剪力墙抗震性能试验研究[J]. 结构工程师,2006,22(1):56-61.
GONG Zhiguo, LU Xilin, JI Shouzhong. Experimental study on seismic behavior of RC shear walls with different boundary restraints [J]. Structural Engineers, 2006, 22(1): 56-61.

[12] 章红梅,吕西林,杨雪平,等. 边缘构件配箍对钢筋混凝土剪力墙抗震性能的影响[J]. 结构工程师,2008,24(5):100-104,118.
ZHANG Hongmei, LU Xilin, YANG Xueping, et al. Influence of boundary stirrup on seismic behavior of reinforced concrete shear walls [J]. Structural Engineers, 2008, 24(5): 100-104, 118.

[13] 建筑抗震设计规范: GB 50011—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2010.
Code for seismic design of buildings: GB 50011—2010 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.

[14] 混凝土结构设计规范: GB 50010—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2010.
Code for design of concrete structures: GB 50010—2010 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.

[15] 建筑抗震试验规程: JGJ/T 101—2015[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2015.
Specification for seismic test of buildings: JGJ/T 101—2015 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015.

[16] 戚永乐. 基于材料应变的RC梁、柱及剪力墙构件抗震性能指标限值研究[D]. 广州: 华南理工大学,2012.
QI Yongle. Research on deformation limits of RC beams, columns and shear walls based on material strain [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.

[17] 王骜亚. 基于材料应变的T形钢筋混凝土剪力墙变形性能指标研究[D]. 广州: 华南理工大学,2015.
WANG Aoya. Research on deformation limits of T-shaped RC shear wall based on material strain [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015.

[18] PARK R. Evaluation of ductility of structures and structural assemblages from laboratory testing [J]. Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, 1989, 22(3): 155-166.

[19] 孙典龙. 矩形截面RC剪力墙的抗震性能及其性能指标试验研究[D]. 广州: 华南理工大学,2016.
SUN Dianlong. Experimental research on the seismic performance and performance index limits of RC shear wall with rectangular section [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016.

(编辑 赵丽莹)

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net