

# 钢筋浆锚对接连接技术研究

朱张峰

南京工业大学 土木工程学院

2022年12月

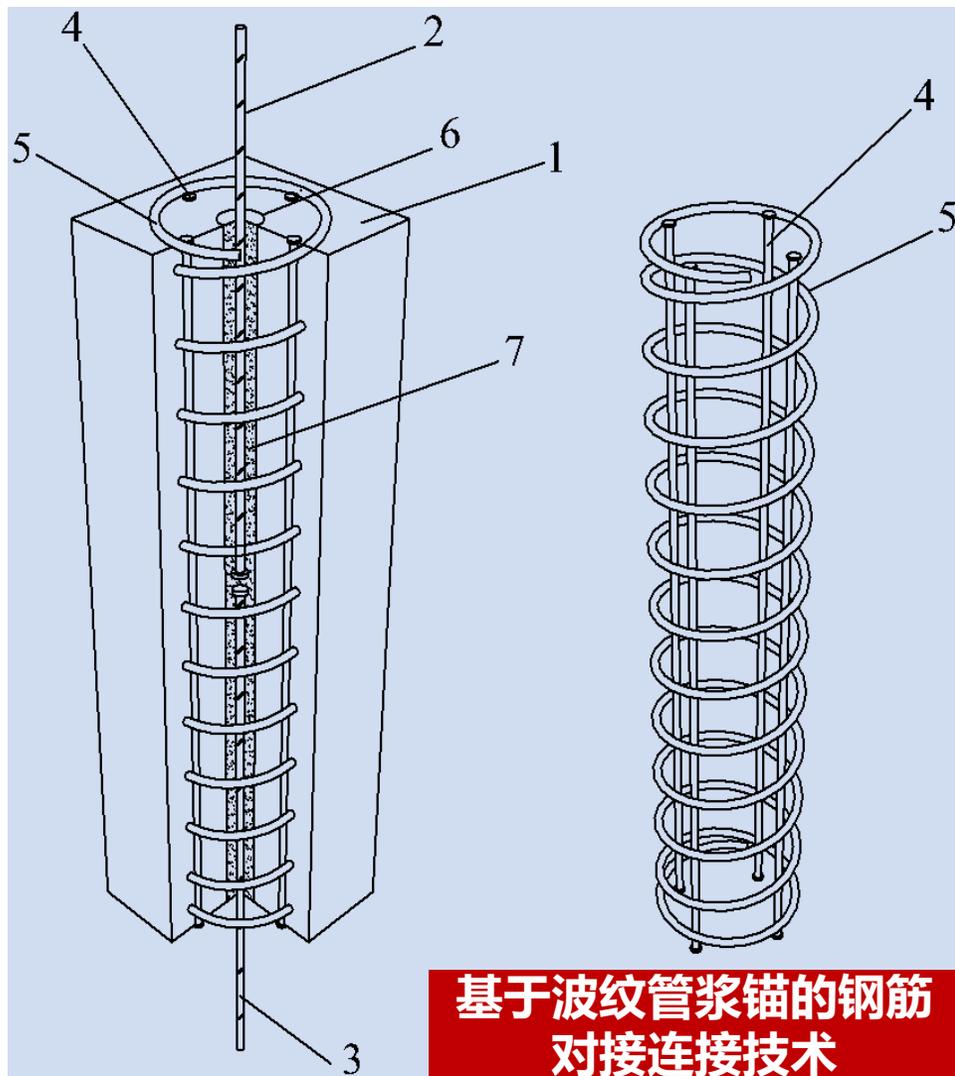
# 汇报提纲

1. 项目简介
2. 试验工作
3. 应用前景

# 汇报提纲

1. 项目简介
2. 试验工作
3. 应用前景

# 1 项目简介



1-预制构件；2,3-镦头钢筋；4-帮条钢筋；5-螺旋筋；  
6-波纹管；7-高强灌浆料

## □ 提升金属波纹管留孔钢筋浆锚连接技术（NPC）体系

研发基于波纹管浆锚的钢筋对接连接技术；

形成基于金属波纹管浆锚钢筋对接连接的剪力墙结构技术体系；

研发电梯井筒装配化技术；

采用阶梯形叠合板技术。

## □ 项目成果集成应用

编制CECS标准；

试点工程应用。

# 汇报提纲

1. 项目简介
2. 试验工作
3. 应用前景

## 2 试验工作

### 试验总体规划

- 基于新型钢筋浆锚对接连接技术，从接头、构件（剪力墙及电梯井筒）层面进行连接性能及抗震能力试验研究。
- 试验总体分为两阶段，即第一阶段的可行性试验、第二阶段的改进型试验。

### □ 接头单向拉伸试验及型式检验

探讨钢筋直径、锚固长度、混凝土强度等参数对接头性能的影响，第一批共计54个单向拉伸试件和9个型式检验试件。  
改进设计第二批试件，共18个单向拉伸试件和27个型式检验试件。

### □ 剪力墙构件抗震性能试验

探讨分布钢筋连接形式（跳接、全连接）、剪跨比（2.0、1.5）、轴压比（0.05、0.1、0.13）等不同参数的浆锚对接剪力墙抗震性能。第一批共计6个高墙足尺试件和6个矮墙足尺试件，第二批共计2个高墙足尺试件和2个矮墙足尺试件。

### □ 装配式电梯井筒抗震性能试验

探索电梯井筒预制装配的可靠形式，并通过试验研究其抗震能力，共计2个3/4缩尺试件。

## 2 试验工作

### 接头试验

### 第一批

试件编号	连接钢筋直径	混凝土强度等级	锚固长度	帮条钢筋
SJ 12-30-240	□ 12	C30	240 (20d)	4□ 8
SJ 12-30-300			300 (25d)	
SJ 12-30-360			360 (30d)	
SJ 12-40-180		C40	180 (15d)	
SJ 12-40-240			240 (20d)	
SJ 12-40-300			300 (25d)	
SJ 14-30-280	□ 14	C30	280 (20d)	4□ 8
SJ 14-30-350			350 (25d)	
SJ 14-30-420			420 (30d)	
SJ 14-40-210		C40	210 (15d)	
SJ 14-40-280			280 (20d)	
SJ 14-40-350			350 (25d)	
SJ 16-30-320	□ 16	C30	320 (20d)	4□ 8
SJ 16-30-400			400 (25d)	
SJ 16-30-480			480 (30d)	
SJ 16-40-240		C40	240 (15d)	
SJ 16-40-320			320 (20d)	
SJ 16-40-400			400 (25d)	

\*高亮为型式检验试件

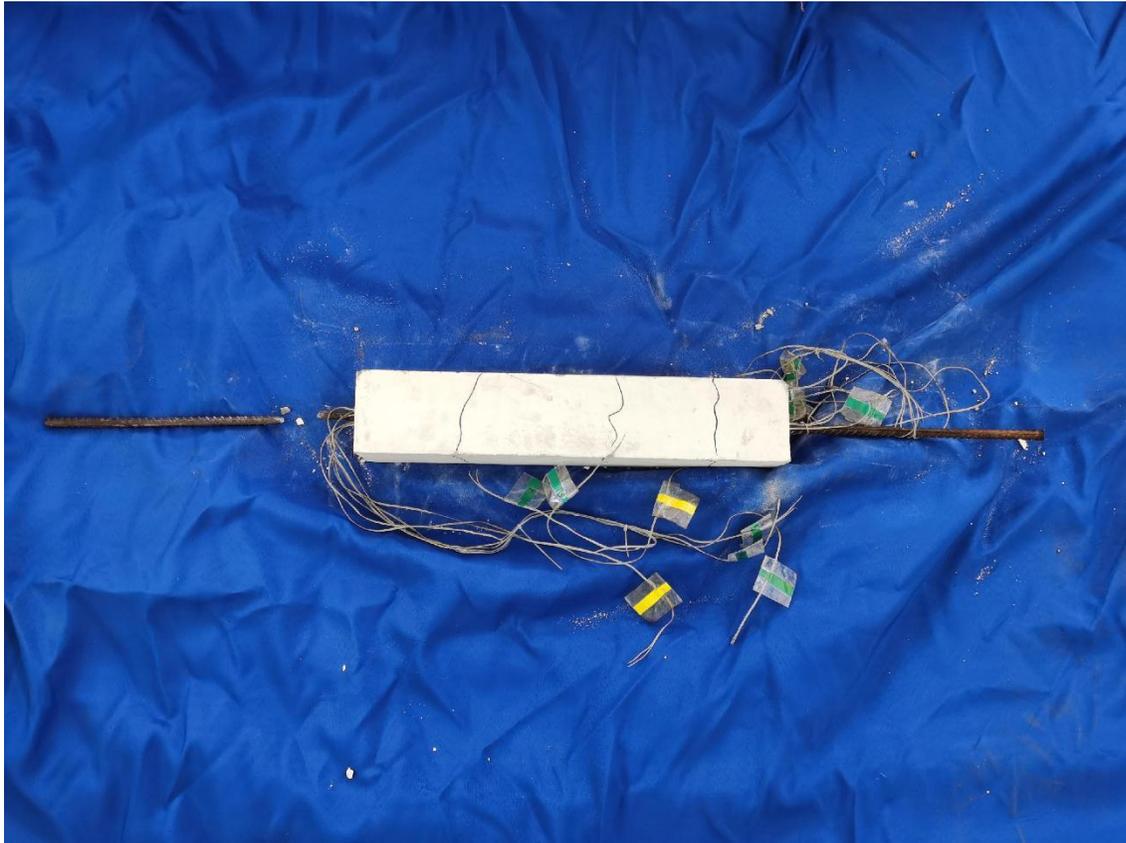


单向拉伸试验

## 2 试验工作

接头试验

第一批



钢筋母材拉断



混凝土中部拉断

## 2 试验工作

### 接头试验

### 第一批

对中单向拉伸试验结果

试件编号	211023000309-1	211023000309-2	211023000309-3	平均值
屈服强度 (N/mm <sup>2</sup> )	461	454	465	/
抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> )	661	661	645	/
残余变形 $u_0$ (mm)	0.058	0.112	0.225	0.132
最大力总伸长率 (%)	8.1	12.5	8.3	9.5
破坏形式	断于接头外钢筋	连接件破坏	连接件破坏	/

高应力反复拉压试验结果

试件编号	211023000309-4	211023000309-5	211023000309-6	平均值
抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> )	671	673	673	/
残余变形 $u_{20}$ (mm)	0.144	0.021	0.278	0.148
破坏形式	断于接头外钢筋	断于接头外钢筋	断于接头外钢筋	/

大变形反复拉压试验结果

试件编号	211023000309-7	211023000309-8	211023000309-9	平均值
抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> )	671	634	674	/
残余变形 $u_4$ (mm)	0.205	0.184	0.311	0.233
残余变形 $u_8$ (mm)	0.304	0.192	0.383	0.293
破坏形式	断于接头外钢筋	连接件破坏	断于接头外钢筋	/

### □ 14-25d-C30型式检验

- 抗拉强度满足机械连接 I 级接头要求。
- 高应力、大变形反复拉压试验结果满足满足机械连接 I 级接头要求。
- 单向拉伸试验残余变形不满足  $\leq 0.1$  的要求。

## 2 试验工作

### 接头试验

### 第一批

#### 破坏形态

- 钢筋拉断为合理破坏形态，混凝土拉断则由于帮条钢筋承载力不足引起。
- 混凝土拉断试件未发生明显的钢筋锚固失效。

#### 承载力

- 对于12、14的钢筋，锚固长度 $\geq 20d$  (C30)、 $\geq 15d$  (C40)，接头受拉性能基本能满足机械连接 I 级接头要求，混凝土拉断试件钢筋应力基本超过594MPa。
- 对于16的钢筋，由于帮条钢筋承载力相对较低，导致其接头性能明显不足，但 $\geq 25d$  (C30)、 $\geq 20d$  (C40) 接头表现良好。

#### 优化方向

- 根据连接钢筋直径，适当增大帮条钢筋截面积（帮条钢筋与连接钢筋面积比 $\geq 1.5$ ）。
- 连接钢筋锚固长度可按 $0.6L_{aE}$ 设计。

## 2 试验工作

接头试验

第二批

试件编号	连接钢筋直径	混凝土强度等级	锚固长度 <sup>1</sup>	帮条钢筋 <sup>2</sup>
SJ 16-30-368	□ 16	C30	368 (21d+2d)	6□ 8
SJ 16-40-304		C40	304 (17d+2d)	
SJ 16-50-288		C50	288 (16d+2d)	
SJ 18-30-414	□ 18	C30	414 (21d+2d)	8□ 8
SJ 18-40-342		C40	342 (17d+2d)	
SJ 18-50-324		C50	324 (16d+2d)	
SJ 14-30-322	□ 14	C30	322 (21d+2d)	5□ 8
SJ 14-40-266		C40	266 (17d+2d)	
SJ 14-50-252		C50	252 (16d+2d)	

\*高亮为型式检验试件

1. 按 $0.6L_{aE}$ 确定设计锚固长度， $2d$ 为考虑锚头钢筋的加工质量及施工误差。
2. 帮条钢筋与连接钢筋的截面积比：□ 16为1.5；□ 18为1.58；□ 14为1.64。

## 2 试验工作

接头试验

第二批



钢筋全部断于母材

# 2 试验工作

## 接头试验

## 第二批

报告编号: A01710232200691

第 2 页 共 2 页

对单向拉伸试验结果				
试件编号	211023006349-1	211023006349-2	211023006349-3	平均值
屈服强度 (N/mm <sup>2</sup> )	446	447	442	/
抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> )	659	649	615	/
残余变形 u <sub>s</sub> (mm)	0.013	0.081	0.043	0.046
最大力总伸长率 (%)	7.9	8.2	6.7	7.5
破坏形式	断于接头外钢筋	断于接头外钢筋	断于接头外钢筋	/
高应力反复拉压试验结果				
试件编号	211023006349-4	211023006349-5	211023006349-6	平均值
抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> )	669	654	672	/
残余变形 u <sub>90</sub> (mm)	0.083	0.119	0.079	0.094
破坏形式	断于接头外钢筋	断于接头外钢筋	断于接头外钢筋	/
大变形反复拉压试验结果				
试件编号	211023006349-7	211023006349-8	211023006349-9	平均值
抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> )	648	671	656	/
残余变形 u <sub>s</sub> (mm)	0.065	0.057	0.040	0.054
残余变形 u <sub>90</sub> (mm)	0.138	0.129	0.105	0.124
破坏形式	断于接头外钢筋	断于接头外钢筋	断于接头外钢筋	/

报告编号: A01710232200692

第 2 页 共 2 页

对单向拉伸试验结果				
试件编号	211023006350-1	211023006350-2	211023006350-3	平均值
屈服强度 (N/mm <sup>2</sup> )	436	438	448	/
抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> )	674	643	647	/
残余变形 u <sub>s</sub> (mm)	0.035	0.040	0.044	0.040
最大力总伸长率 (%)	7.0	5.0	7.2	6.5
破坏形式	断于接头外钢筋	断于接头外钢筋	断于接头外钢筋	/
高应力反复拉压试验结果				
试件编号	211023006350-4	211023006350-5	211023006350-6	平均值
抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> )	676	651	674	/
残余变形 u <sub>90</sub> (mm)	0.212	0.071	0.099	0.127
破坏形式	断于接头外钢筋	断于接头外钢筋	断于接头外钢筋	/
大变形反复拉压试验结果				
试件编号	211023006350-7	211023006350-8	211023006350-9	平均值
抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> )	669	652	644	/
残余变形 u <sub>s</sub> (mm)	0.046	0.024	0.061	0.044
残余变形 u <sub>90</sub> (mm)	0.102	0.063	0.130	0.098
破坏形式	断于接头外钢筋	断于接头外钢筋	断于接头外钢筋	/

报告编号: A01710232200693

第 2 页 共 2 页

对单向拉伸试验结果				
试件编号	211023006351-1	211023006351-2	211023006351-3	平均值
屈服强度 (N/mm <sup>2</sup> )	455	450	455	/
抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> )	657	649	652	/
残余变形 u <sub>s</sub> (mm)	0.085	0.018	0.017	0.040
最大力总伸长率 (%)	7.9	7.0	7.7	7.5
破坏形式	断于接头外钢筋	断于接头外钢筋	断于接头外钢筋	/
高应力反复拉压试验结果				
试件编号	211023006351-4	211023006351-5	211023006351-6	平均值
抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> )	654	656	669	/
残余变形 u <sub>90</sub> (mm)	0.169	0.018	0.193	0.127
破坏形式	断于接头外钢筋	断于接头外钢筋	断于接头外钢筋	/
大变形反复拉压试验结果				
试件编号	211023006351-7	211023006351-8	211023006351-9	平均值
抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> )	470	652	667	/
残余变形 u <sub>s</sub> (mm)	0.116	0.098	0.235	0.150
残余变形 u <sub>90</sub> (mm)	1.950	0.193	0.240	0.794
破坏形式	断于接头外钢筋	断于接头外钢筋	断于接头外钢筋	/

### □ 14组型式检验

- 抗拉强度满足机械连接 I 级接头要求。
- 单向拉伸试验残余变形、高应力及大变形反复拉压变形试验结果均满足机械连接 I 级接头要求。

## 2 试验工作

接头试验

第二批

### 试验结论

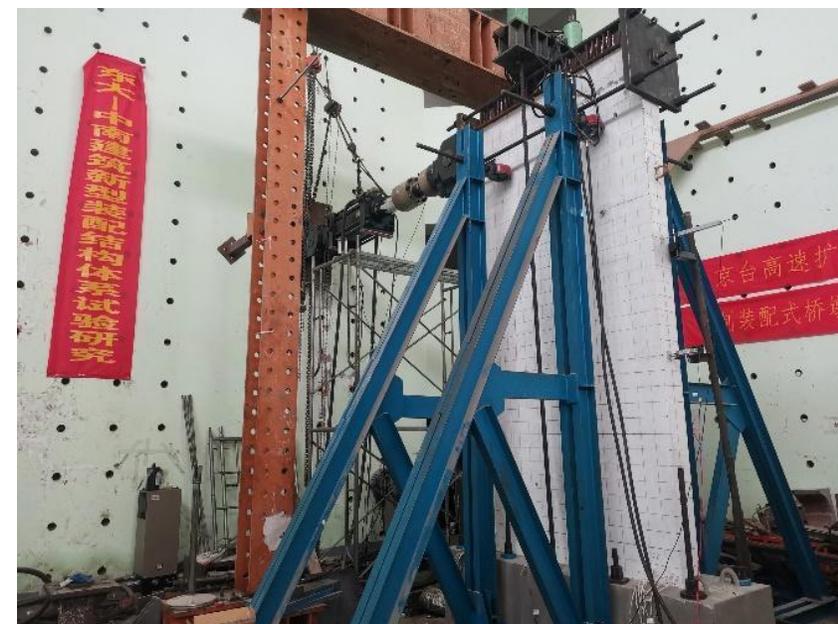
- 第二批试件均为钢筋拉断破坏，型式检验均满足机械连接 I 级接头要求；
- 帮条钢筋具有足够承载力，未发生混凝土拉断破坏；
- 0.6LaE锚固长度下，镦头连接钢筋锚固性能良好。

## 2 试验工作

### 剪力墙试验

### 第一批

序号	分组	试件编号	剪跨比	轴压比	试件做法
1	高墙	XJ1	2.0	0.13	现浇
2		XJ2		0.10	现浇
3		ZP1		0.13	边缘构件钢筋浆锚对接、竖向分布钢筋逐根连接
4		ZP2		0.10	边缘构件钢筋浆锚对接、竖向分布钢筋逐根连接
5		ZP3		0.10	边缘构件钢筋浆锚对接、竖向分布钢筋梅花形连接
6		ZP4		0.13	边缘构件钢筋浆锚对接、竖向分布钢筋梅花形连接
7	矮墙	XJ3	1.5	0.10	现浇
8		XJ4		0.05	现浇
9		ZP5		0.05	边缘构件钢筋浆锚对接、竖向分布钢筋逐根连接
10		ZP6		0.10	边缘构件钢筋浆锚对接、竖向分布钢筋逐根连接
11		ZP7		0.10	边缘构件钢筋浆锚对接、竖向分布钢筋梅花形连接
12		ZP8		0.05	边缘构件钢筋浆锚对接、竖向分布钢筋梅花形连接



低周反复水平荷载加载试验

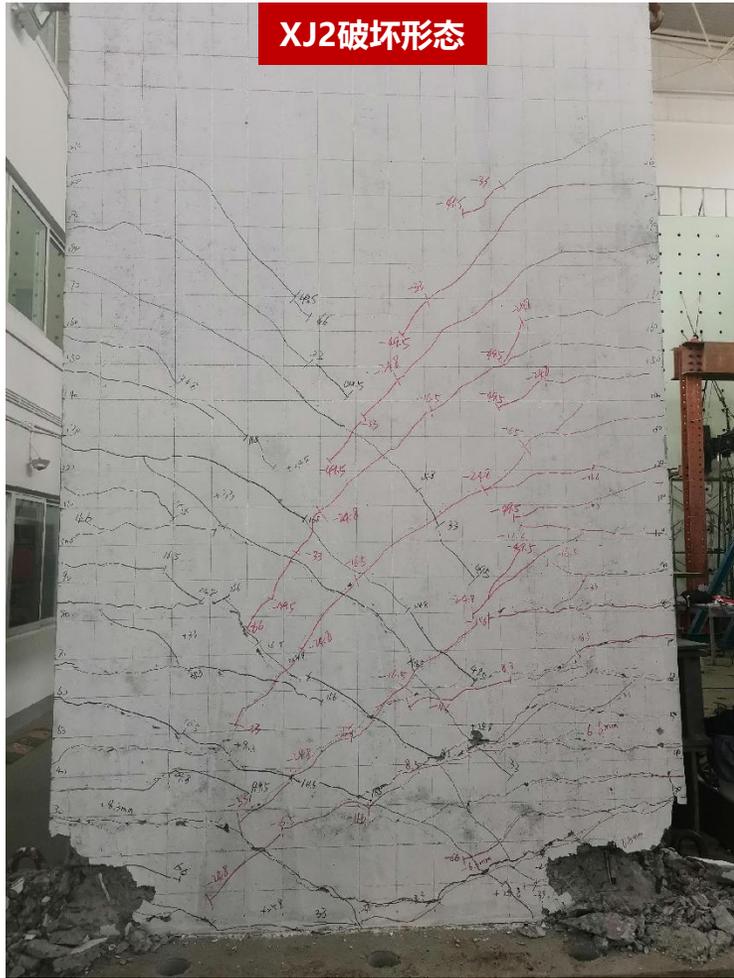
# 2 试验工作

剪力墙试验

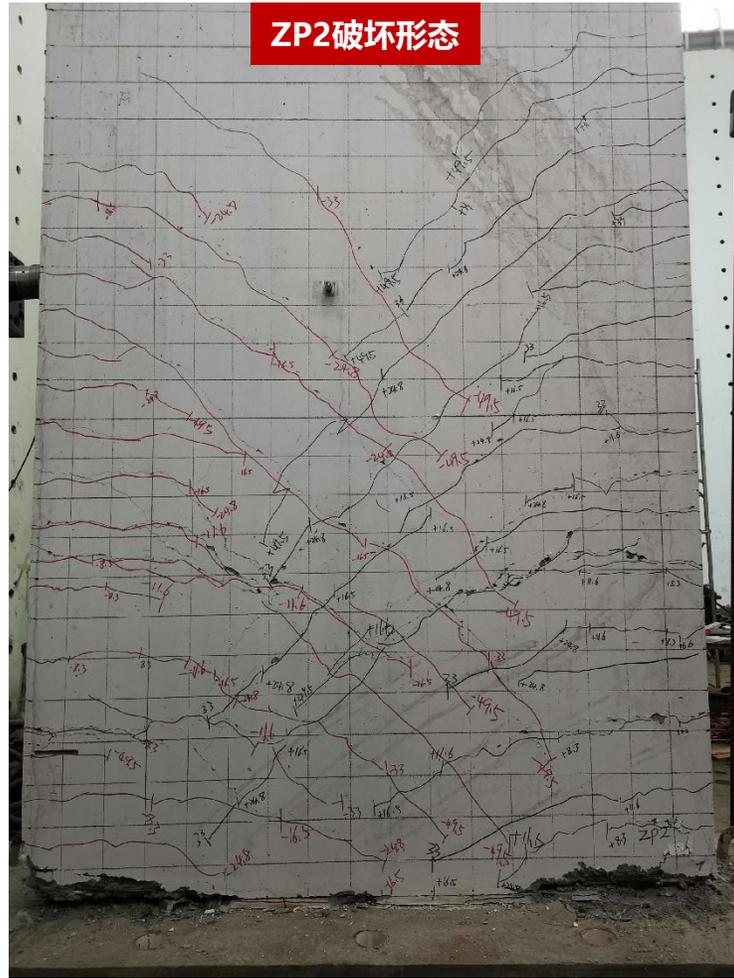
第一批

0.1轴压比高墙

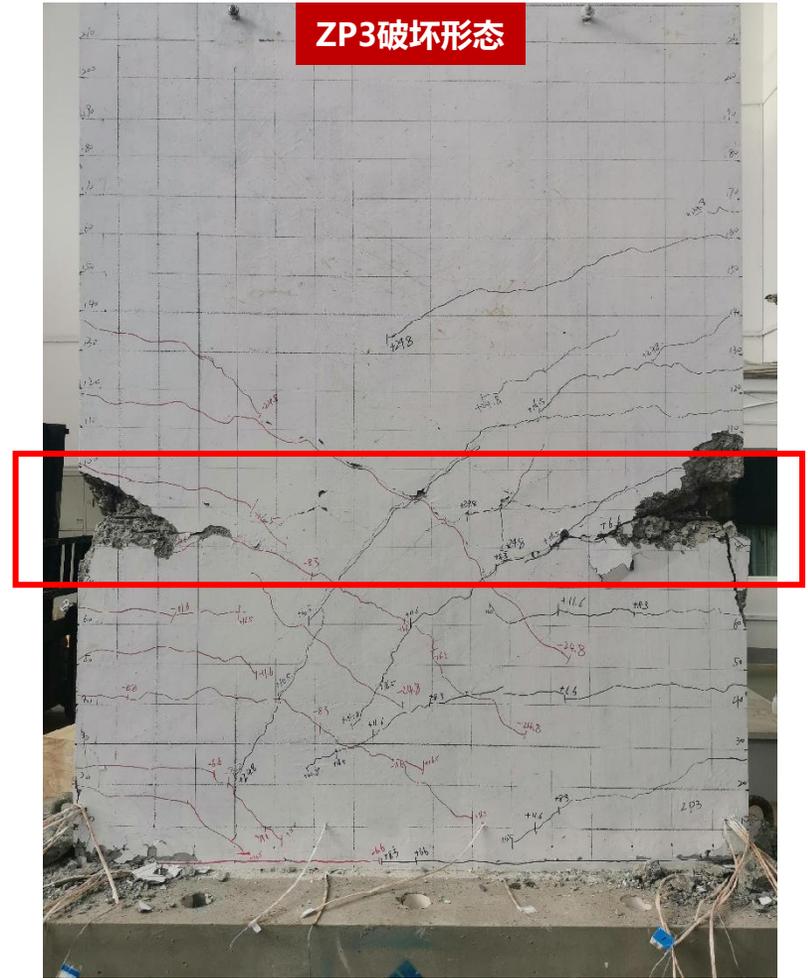
XJ2破坏形态



ZP2破坏形态



ZP3破坏形态



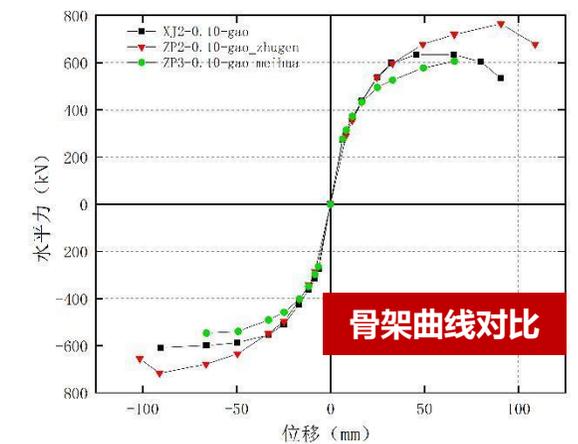
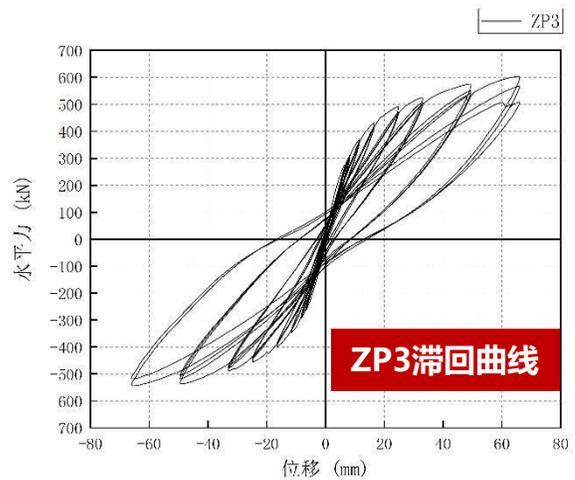
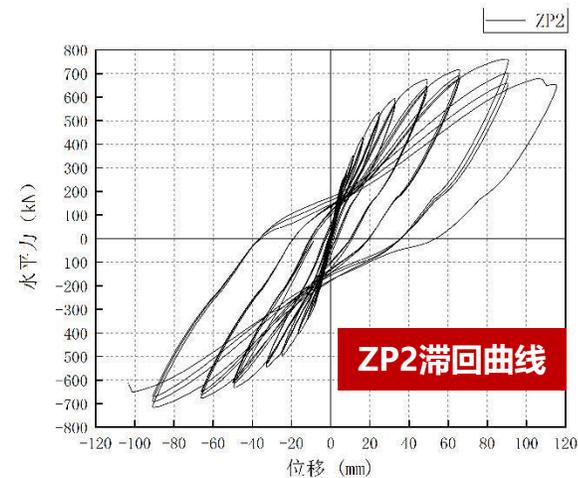
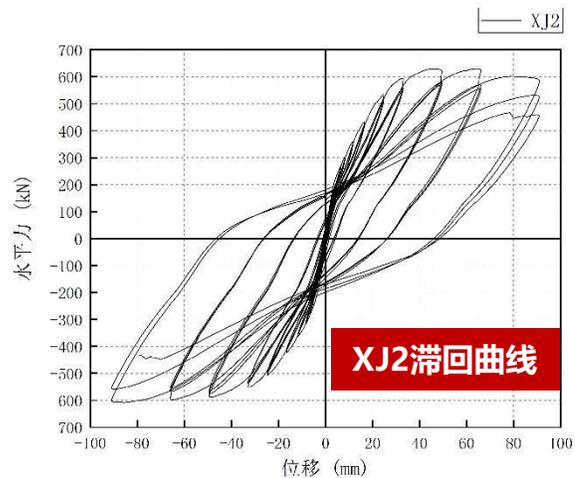
# 2 试验工作

## 剪力墙试验

## 第一批

### 0.1轴压比高墙

试件编号	承载力/kN	延性系数	试件做法
XJ2	634	3.6	现浇
ZP2	765	3.2	边缘构件竖向钢筋浆锚对接、 竖向分布钢筋逐根连接
ZP3	606	2.6	边缘构件竖向钢筋浆锚对接、 竖向分布钢筋梅花形连接



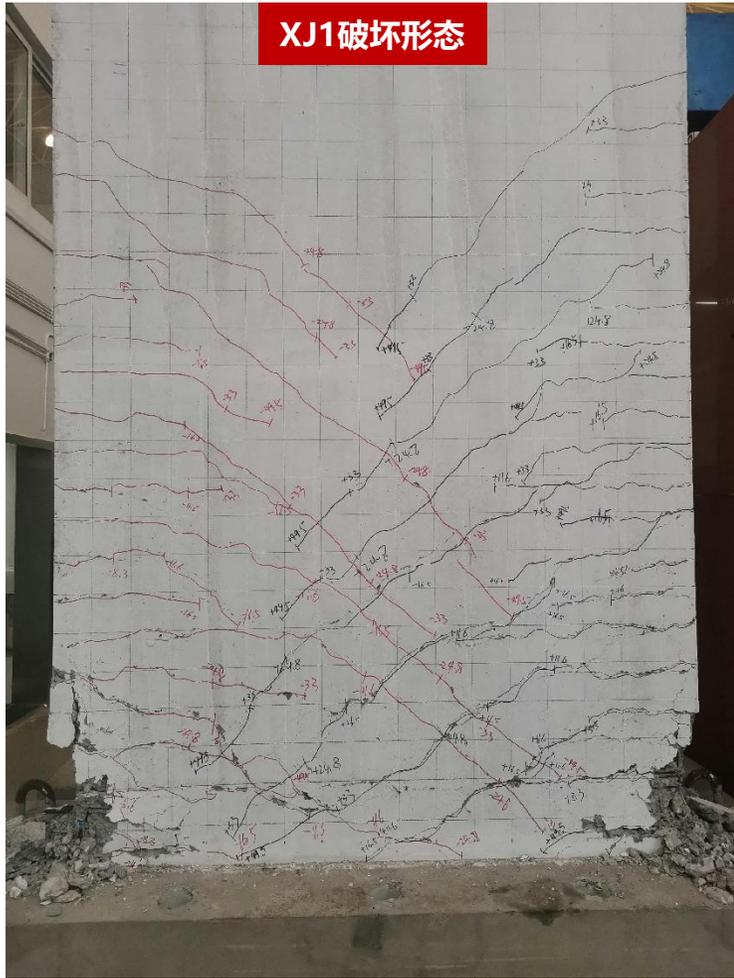
# 2 试验工作

剪力墙试验

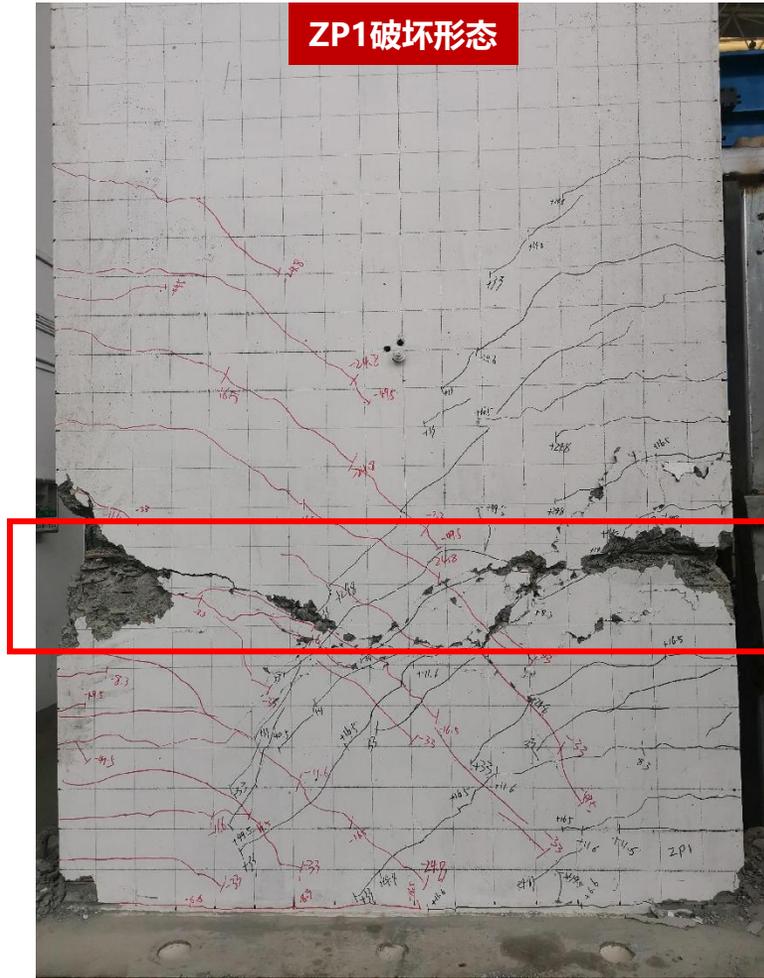
第一批

0.13轴压比高墙

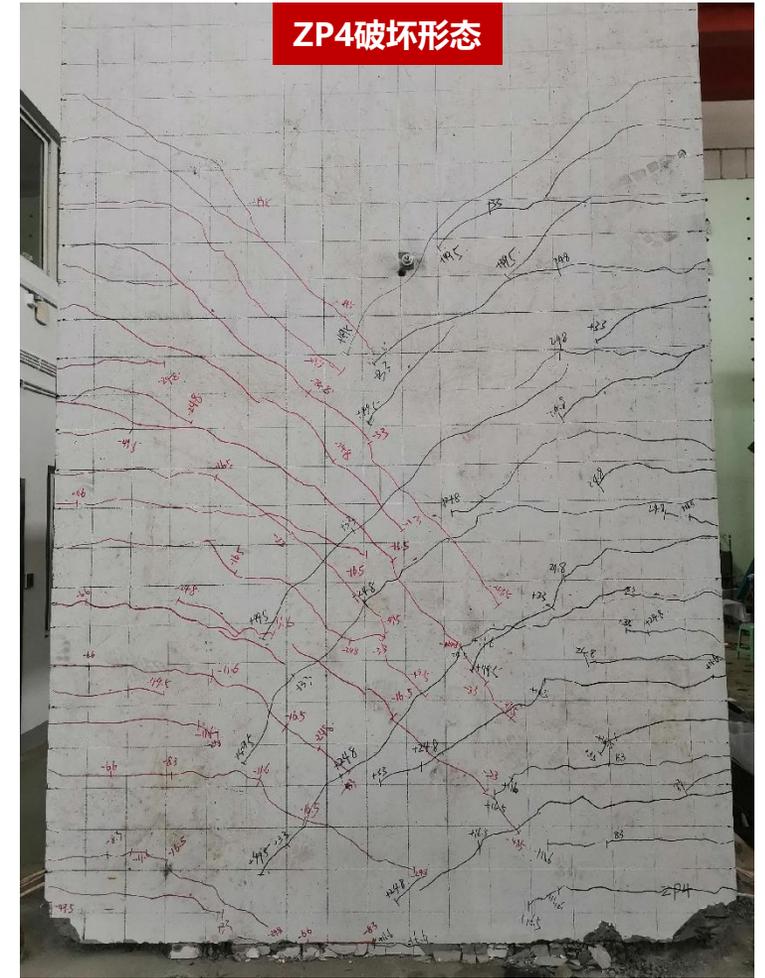
XJ1破坏形态



ZP1破坏形态



ZP4破坏形态



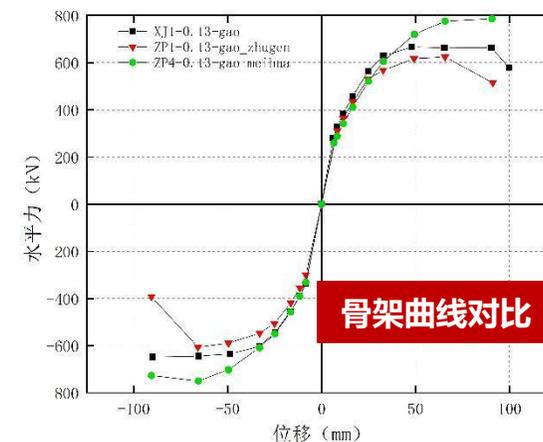
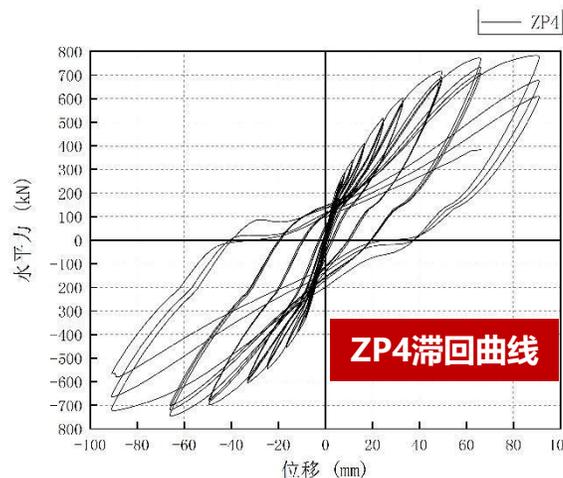
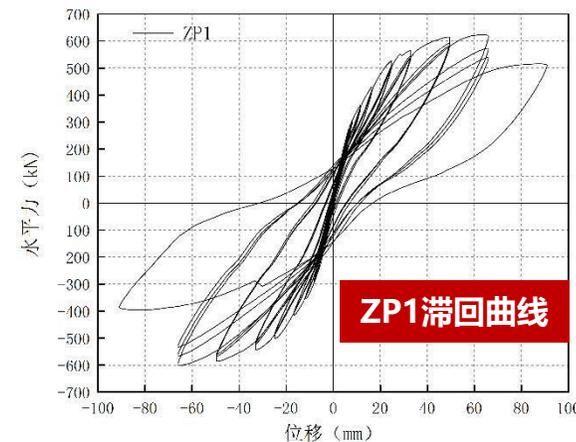
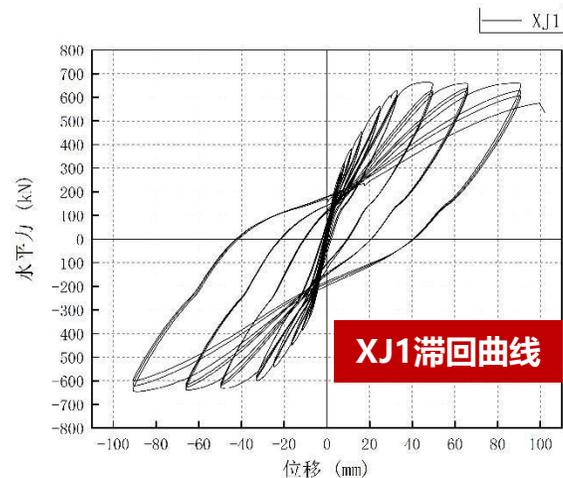
# 2 试验工作

剪力墙试验

第一批

## 0.13轴压比高墙

试件编号	承载力/kN	延性系数	试件做法
XJ1	667	3.5	现浇
ZP1	624	2.7	边缘构件竖向钢筋浆锚对接、 竖向分布钢筋逐根连接
ZP4	786	3.1	边缘构件竖向钢筋浆锚对接、 竖向分布钢筋梅花形连接



# 2 试验工作

剪力墙试验

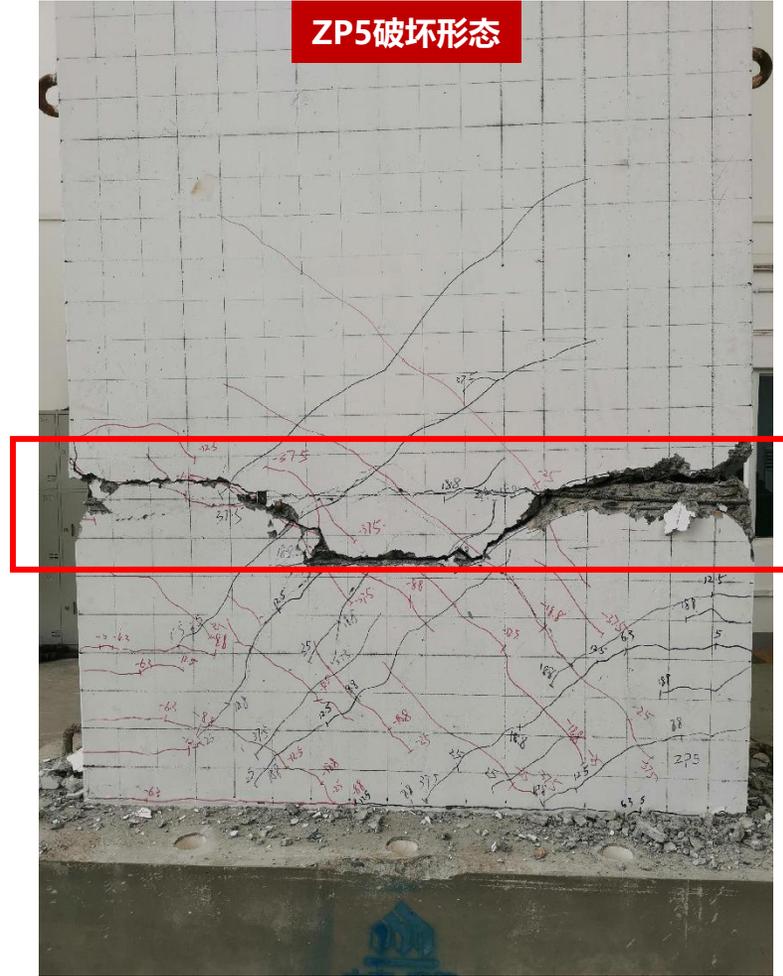
第一批

0.05轴压比矮墙

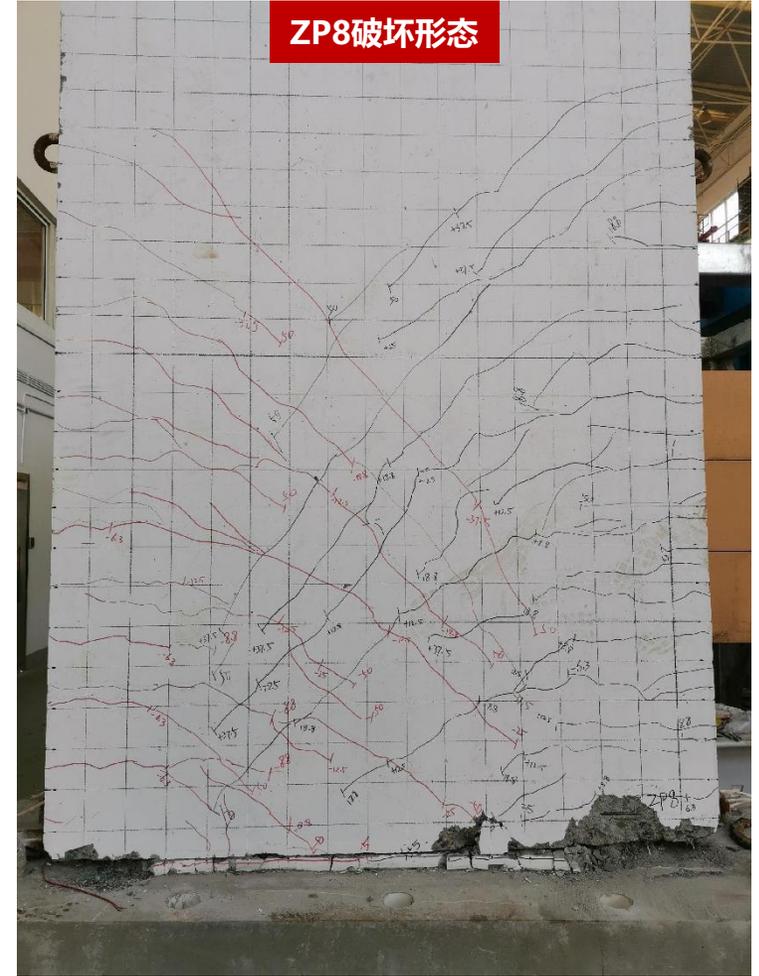
XJ4破坏形态



ZP5破坏形态



ZP8破坏形态



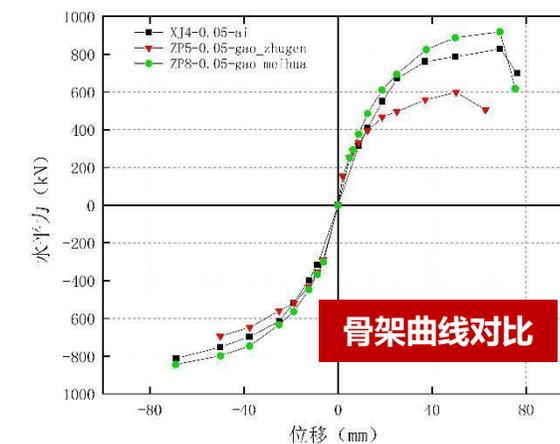
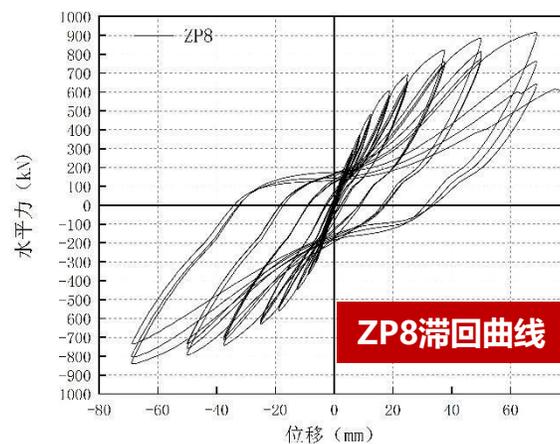
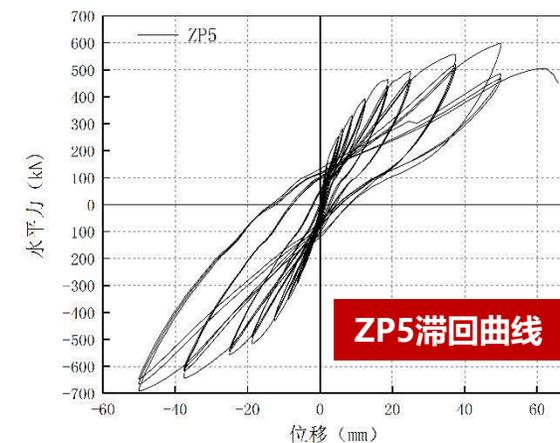
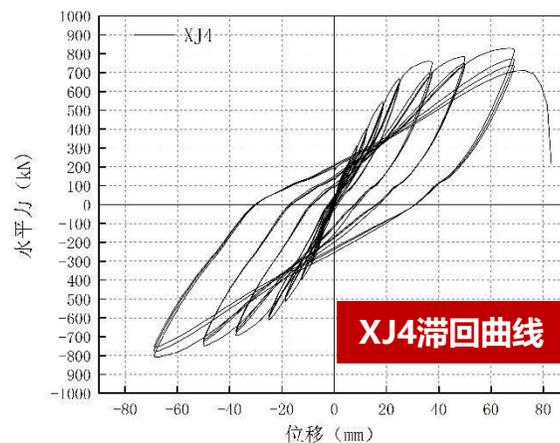
# 2 试验工作

## 剪力墙试验

## 第一批

## 0.05轴压比矮墙

试件编号	承载力/kN	延性系数	试件做法
XJ4	828	2.7	现浇
ZP5	694	2.1	边缘构件竖向钢筋浆锚对接、 竖向分布钢筋逐根连接
ZP8	919	2.2	边缘构件竖向钢筋浆锚对接、 竖向分布钢筋梅花形连接



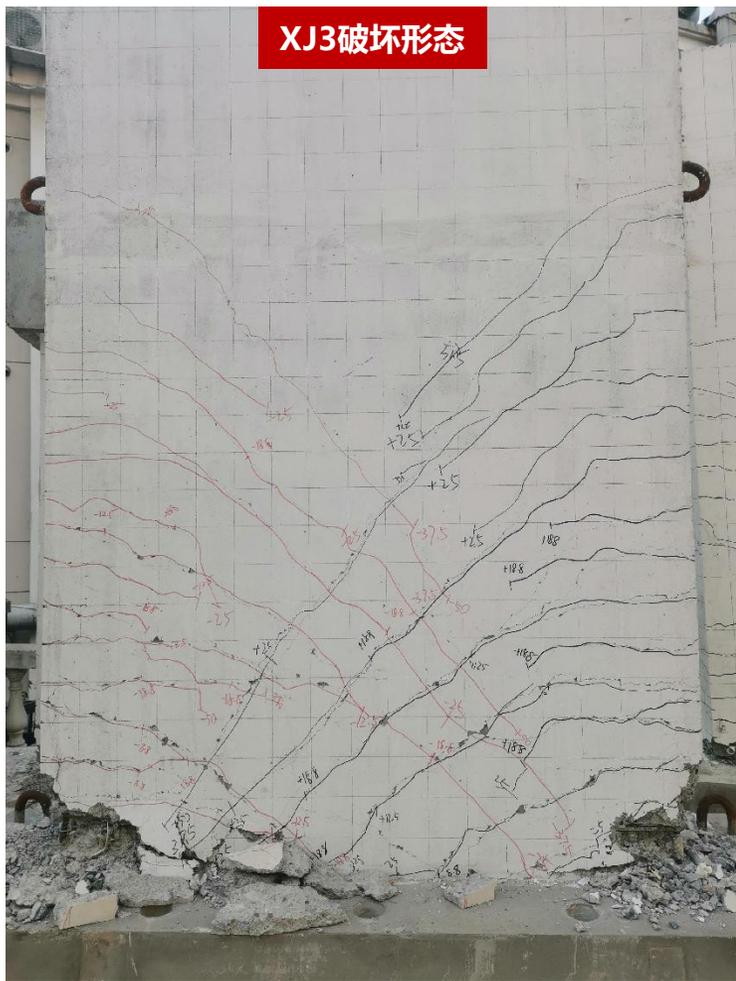
# 2 试验工作

剪力墙试验

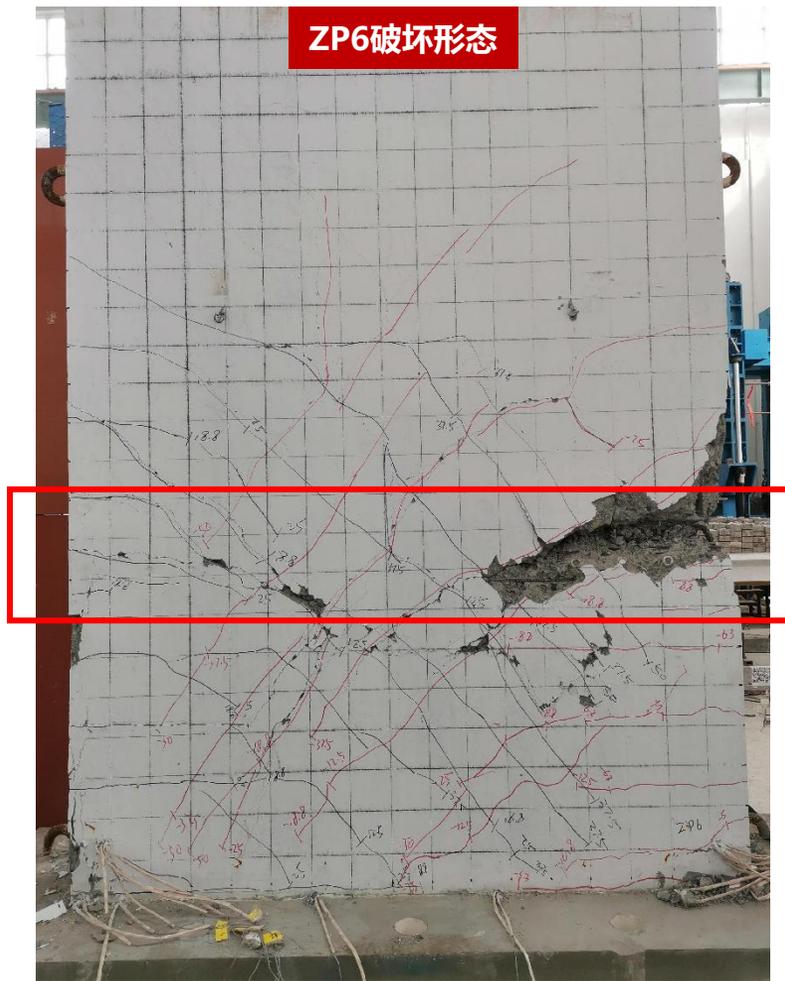
第一批

0.1轴压比矮墙

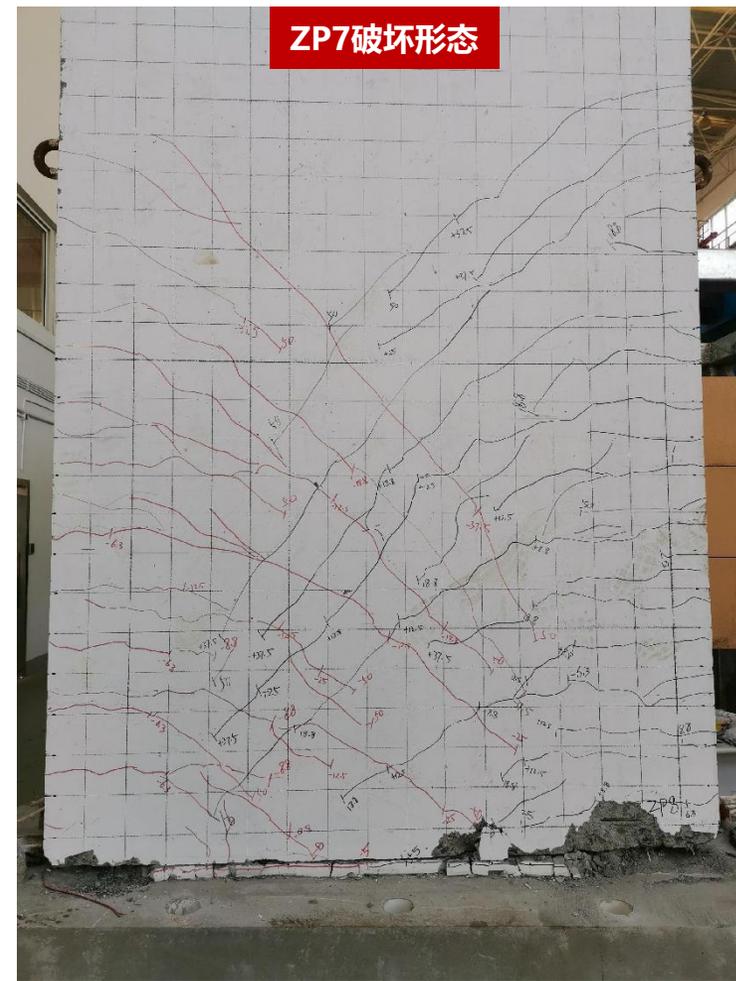
XJ3破坏形态



ZP6破坏形态



ZP7破坏形态



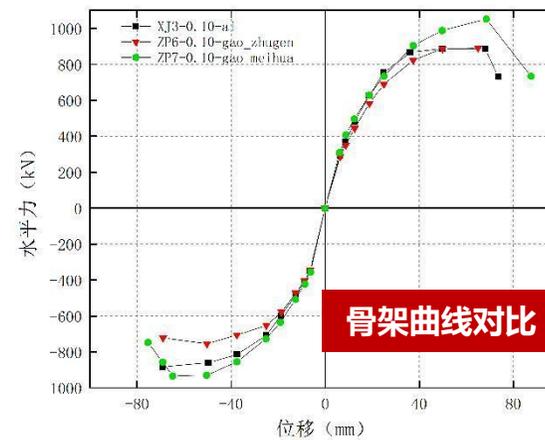
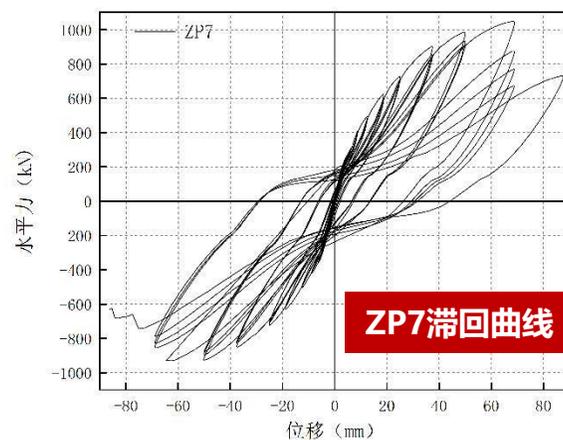
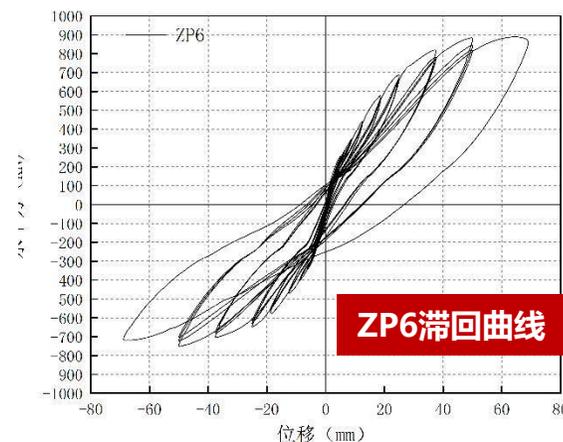
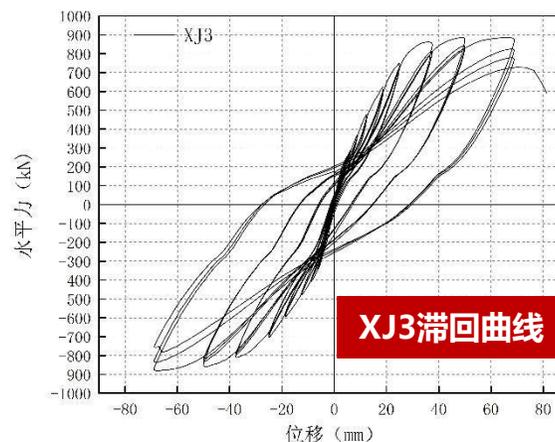
# 2 试验工作

## 剪力墙试验

## 第一批

### 0.1轴压比矮墙

试件编号	承载力/kN	延性系数	试件做法
XJ3	887	2.7	现浇
ZP6	887	2.6	边缘构件竖向钢筋浆锚对接、 竖向分布钢筋逐根连接
ZP7	1052	2.7	边缘构件竖向钢筋浆锚对接、 竖向分布钢筋梅花形连接



## 2 试验工作

### 剪力墙试验

### 第一批

#### 破坏形态

- 裂缝分布形态基本表现为弯剪状态，试件最终破坏均由受拉侧钢筋拉断导致，钢筋接头无锚固失效发生。
- 4/8装配式试件主裂缝发生在接头顶部（其中3个为逐根连接），分析可能由于接头构造造成截面超强引起。
- 分布区钢筋构造对试件破坏形态无明显影响。

#### 承载力

- 发生中部破坏的装配式试件承载力低于现浇对比试件，而未发生中部破坏的承载力有所提高（约20%）。
- 随着轴压比提高，试件承载力均呈上升趋势。
- 分布区钢筋构造对试件承载力无明显影响。

#### 延性

- 装配式试件较现浇对比试件延性整体有所降低，发生中部破坏的试件尤其明显，未发生中部破坏的试件与其承载力的提高可性能互补。
- 随着轴压比提高，试件延性矮墙呈上升趋势，高墙呈下降趋势。
- 分布区钢筋构造对试件延性无明显影响。



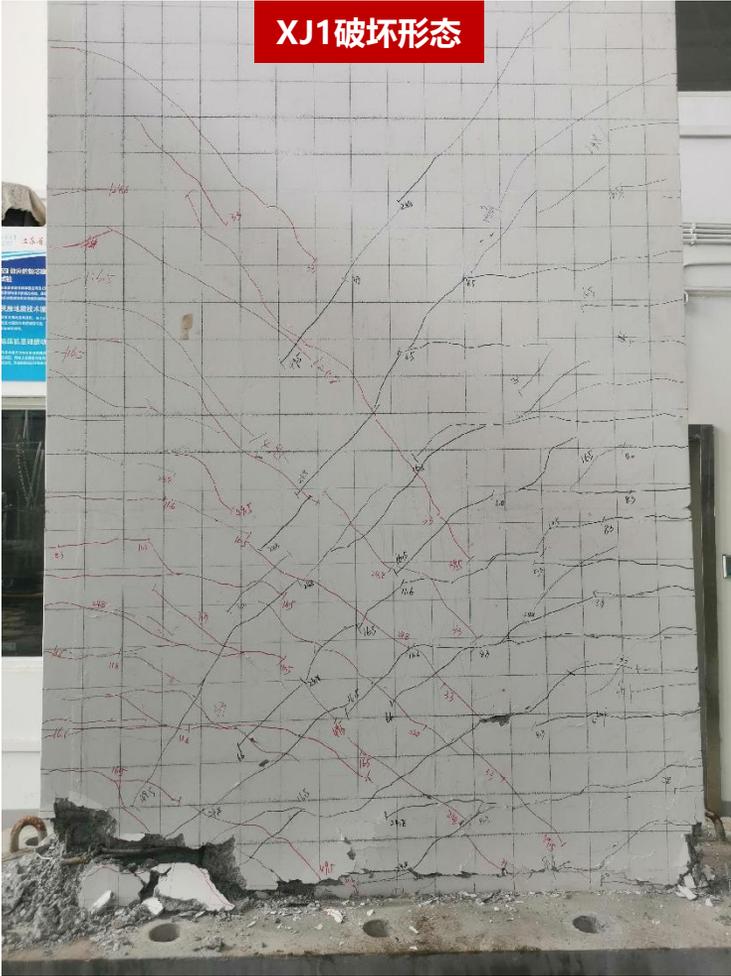
# 2 试验工作

剪力墙试验

第二批

0.13轴压比高墙

XJ1破坏形态



ZP1破坏形态



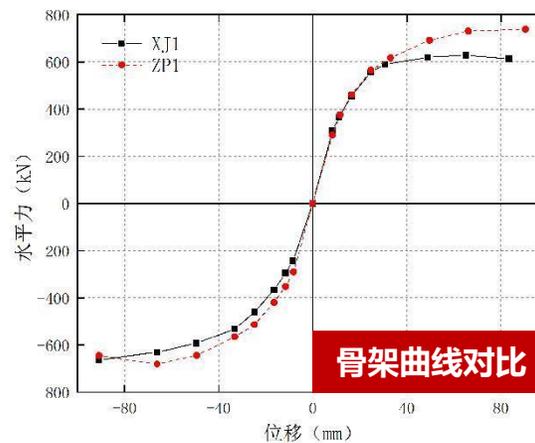
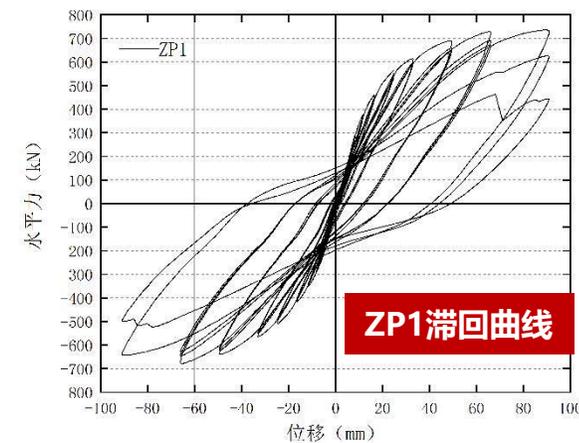
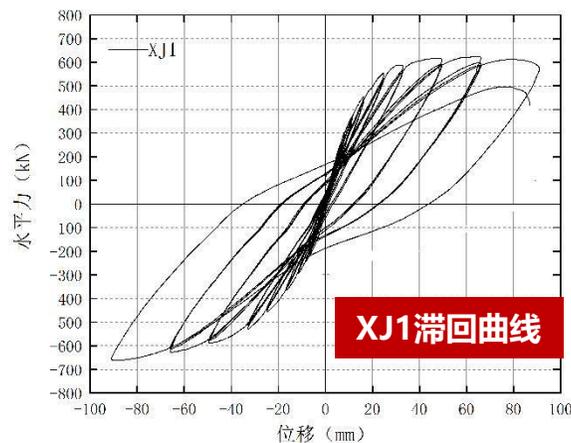
# 2 试验工作

## 剪力墙试验

## 第二批

### 0.13轴压比高墙

试件编号	承载力/kN	延性系数	试件做法
XJ1	626	3.4	现浇
ZP1	736	3.6	边缘构件竖向钢筋浆锚对接、 竖向分布钢筋逐根连接





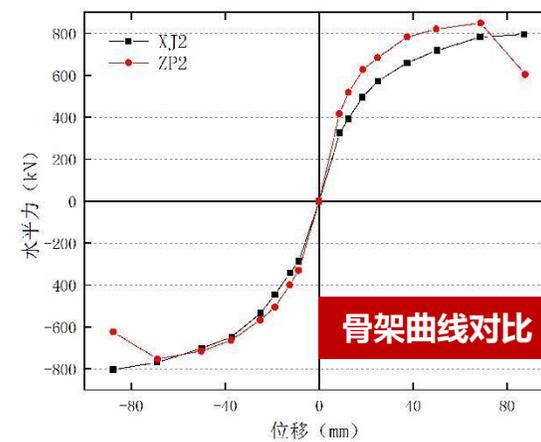
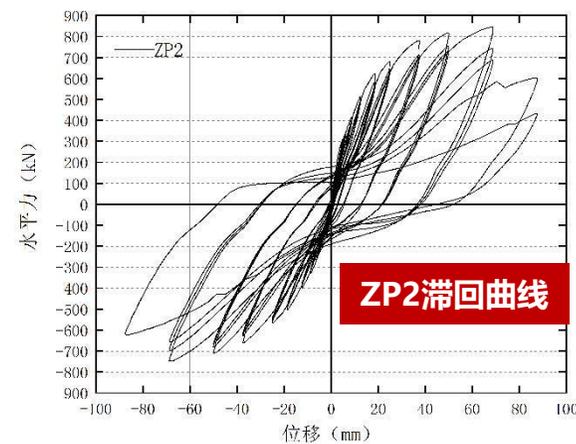
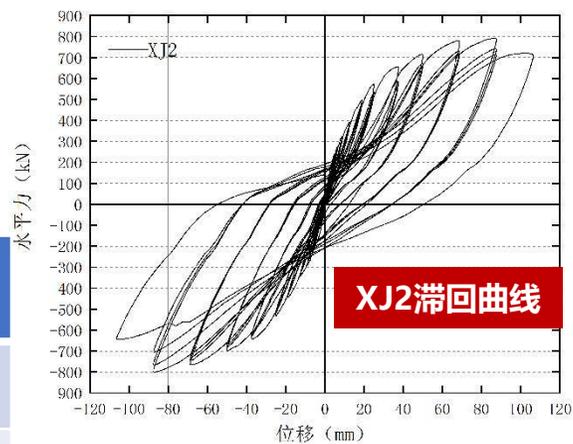
# 2 工作进展 | 试验研究

剪力墙试验

第二批

0.05轴压比矮墙

试件编号	承载力/kN	延性系数	试件做法
XJ2	793	3.5	现浇
ZP2	844	3.7	边缘构件竖向钢筋浆锚对接、 竖向分布钢筋逐根连接



## 2 试验工作

### 剪力墙试验

### 第二批

#### 破坏形态

- 裂缝分布形态基本表现为弯剪状态，试件最终破坏均由受拉侧钢筋拉断导致，钢筋接头无锚固失效发生。
- 装配式试件具有和现浇对比试件相似的破坏形态，可视为“等同现浇”。
- 改进措施有效改善了接头位置的截面超强，破坏形态理想。

#### 承载力

- 装配式试件承载力均高于现浇对比试件，高墙提高幅度明显，约为18%，矮墙则提高幅度不大（发生扭转），约6%。

#### 延性

- 装配式试件的延性均高于现浇对比试件。
- 改进措施有效抑制了接头顶端混凝土的破坏，提高了装配式试件的延性。

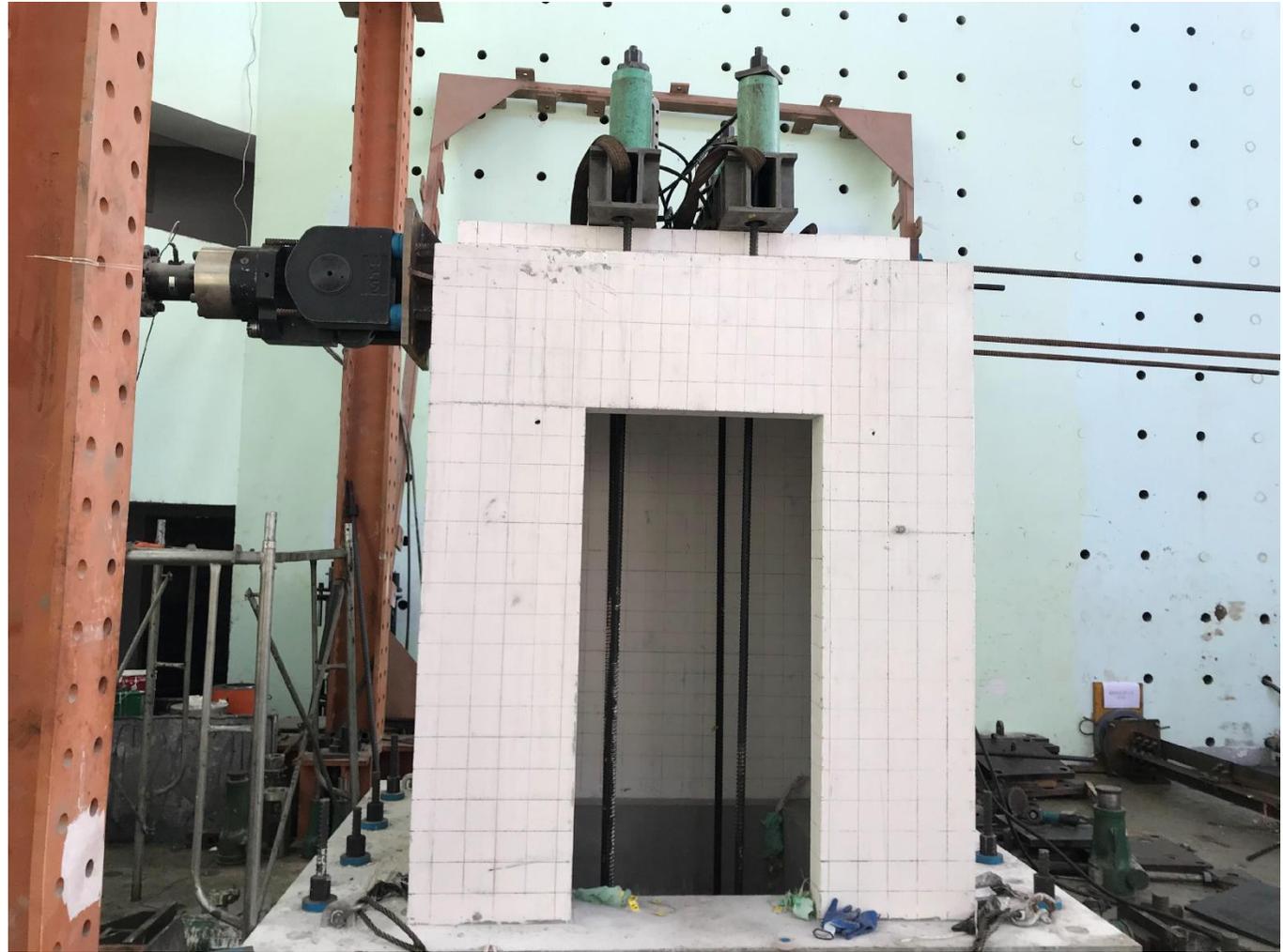
## 2 试验工作

### 电梯井筒试验

制作1个现浇、1个装配的电梯井筒试件，按3/4缩尺比例设计。缩尺后电梯井筒平面尺寸为1875mm×1875mm，墙厚均为150mm，并在一面墙上开洞，尺寸为825mm×1690mm。

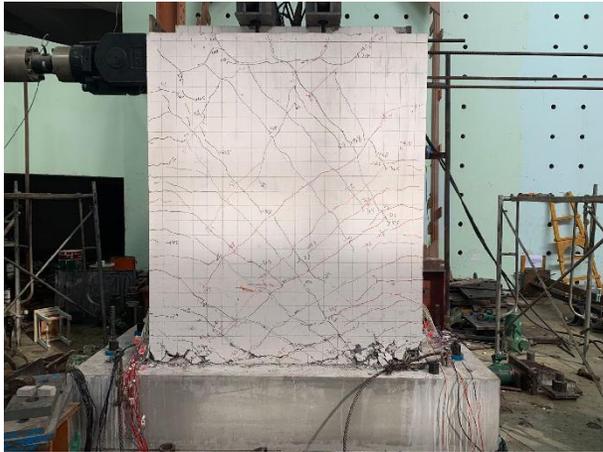
电梯井筒由2片C形预制构件组拼而成，连接部位设置在墙身中部，并通过295mm宽竖向后浇带实现连接。

采用低周反复水平荷载加载试验，加载方向沿开洞方向。

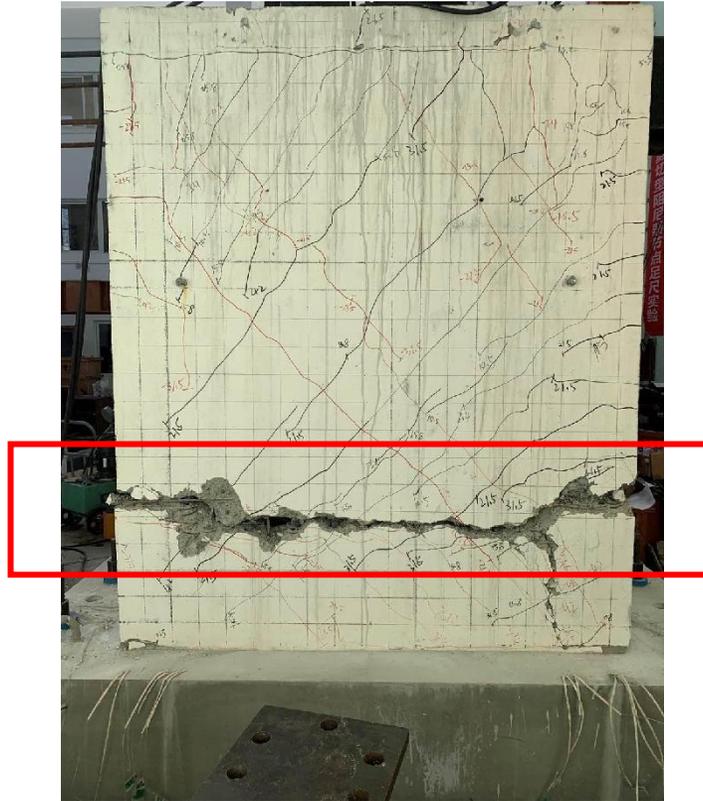


## 2 试验工作

### 电梯井筒试验



现浇电梯井筒破坏形态

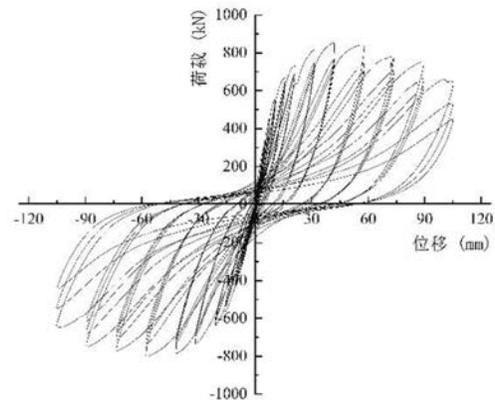


装配电梯井筒破坏形态

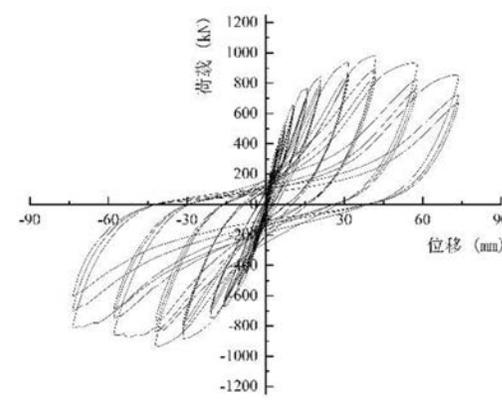
# 2 试验工作

## 电梯井筒试验

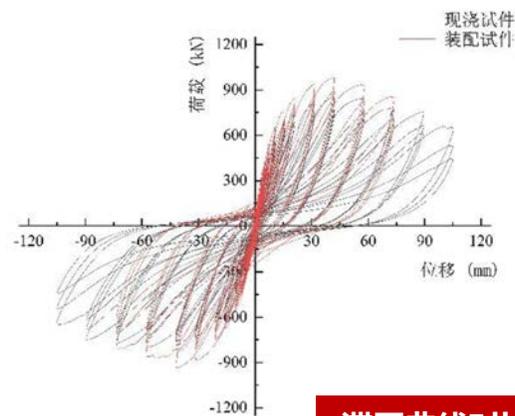
试件编号	承载力/kN	延性系数
XJ	853	4.82
ZP	982	3.70



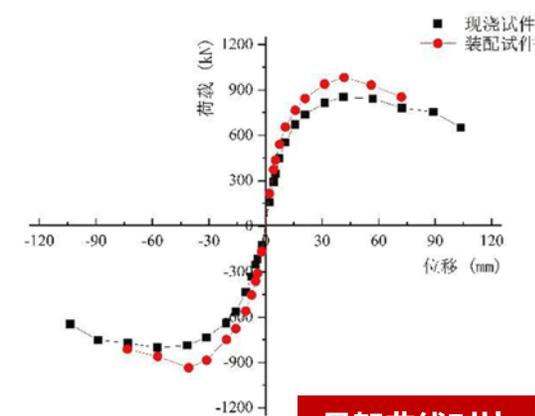
XJ滞回曲线



ZP滞回曲线



滞回曲线对比



骨架曲线对比

## 2 试验工作

### 电梯井筒试验

#### 破坏形态

- 裂缝分布形态基本表现为受剪状态，试件最终破坏表现为洞口上方连梁破坏及墙肢钢筋拉断、混凝土压溃，钢筋接头无锚固失效发生。
- 装配式试件在接头顶部形成主裂缝。

#### 承载力

- 装配式试件承载力较现浇有所提高（约15%）。

#### 延性

- 由于与加载方向垂直的受拉、压墙板接头顶部主裂缝的出现，导致装配式试件较早破坏，表现在加载峰值位移较小，从而造成其延性降低。

#### 优化方向

- 接头加强、边缘构件构造改进，可进一步提高电梯井筒抗震性能。
- 试验体量较大，且有第二批接头、剪力墙试验支撑，不再做实体试验。

# 汇报提纲

1. 项目简介
2. 试验工作
3. 应用前景

## 4 应用前景

项目	钢筋浆锚搭接	钢筋套筒灌浆连接	钢筋浆锚对接
传力机制	搭接传力	对接传力	对接传力
应用场景	抗震应用受到限制	基本无限制	基本无限制
接头性能检验	无法型式检验 应用前需模型试验验证	接头型式检验	接头型式检验
施工性能	简单，工效高 搭接长度长，容差大 钢筋长度长，偏差调整方便	困难，工效低 浆锚长度短，容差小 钢筋长度短，偏差难调整	简单，工效高 搭接长度较长，容差大 钢筋长度较长，偏差调整方便
接头经济性	费用相对最低 金属波纹管、钢筋搭接、灌浆料 费用	费用相对最高 套筒及配套灌浆料费用	费用相对适中 较浆锚搭接接头增加帮条钢筋 与螺旋筋的钢筋笼，但仍然低 于套筒费用

**感谢倾听!**

**敬请批评、指正!**