

第1章 高强钢角焊缝力学试验研究

1.1 引言

众所周知，角焊缝的力学性能与焊缝和荷载二者之间的夹角有很大关系，试验研究发现正面角焊缝（焊缝与加荷方向垂直）较侧面角焊缝（焊缝与加荷方向平行）有更高的强度，但是更差的接头变形能力。本试验拟研究在不同强度焊丝、不同焊缝与加荷的方向等影响下，角焊缝的力学性能；以及对目前各国规范对正面角焊缝承载能力设计的适用性进行分析。本次试验以高强钢 Q890 为母材，ER120 为焊材，考虑焊缝与受力方向的夹角，选取 0° （侧面角焊缝）、 15° 、 30° 、 45° D（单边双条焊缝）、 45° S（单边单条焊缝）、 60° 、 75° 、 90° （正面角焊缝）作为试验设计变量，每个角度得试件加工 6 个，共计 48 个。

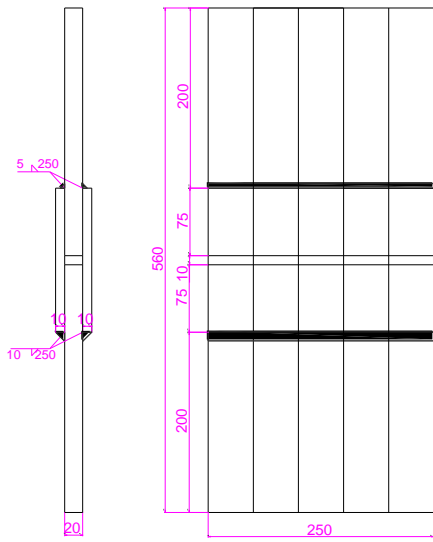
1.2 试验设计方案

1.2.1 试件设计及原始尺寸测量

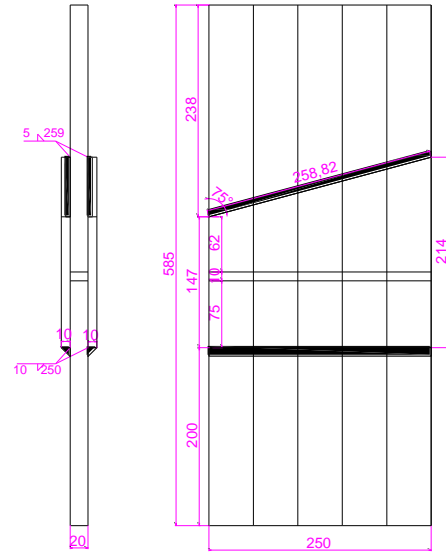
1.2.1.1 单边单条角焊缝试件设计

45° S（单边单条焊缝）、 60° 、 75° 、 90° （正面角焊缝）试件的加工步骤如下：

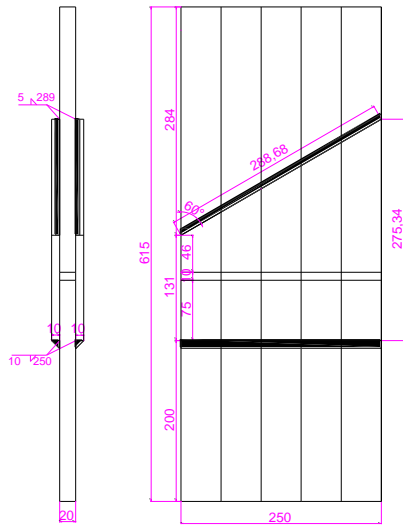
- （1）焊接出两块如图 1.1 的搭接接头焊件板；
- （2）在焊件两端各切去 50mm，消除起弧和灭弧的影响；
- （3）每块搭接接头焊件板切割加工成 3 个如图 1.2 至图 1.5 所示的试件，总共 6 个试件。
- （4）焊脚尺寸为 5mm 的角焊缝采用机加工的方式将焊缝的焊脚尺寸切割成标准的三角形截面，即消除余高的影响。



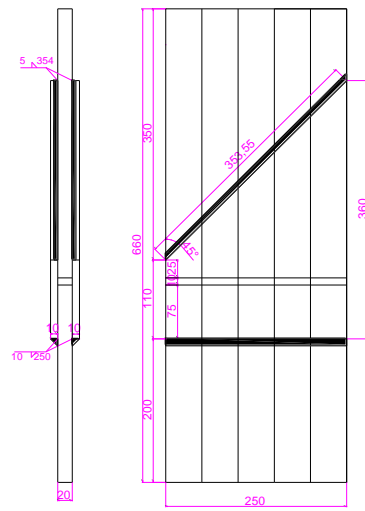
(a) 90°焊接件



(b) 75°焊接件



(c) 60°焊接件



(d) 45°焊接件

图 1.1 单边单条焊缝试件焊接件

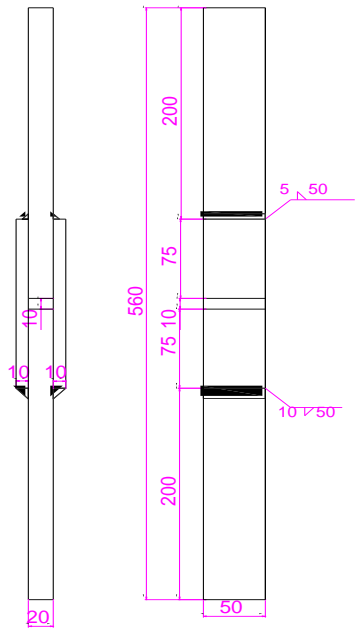


图 1.2 90°试件设计图

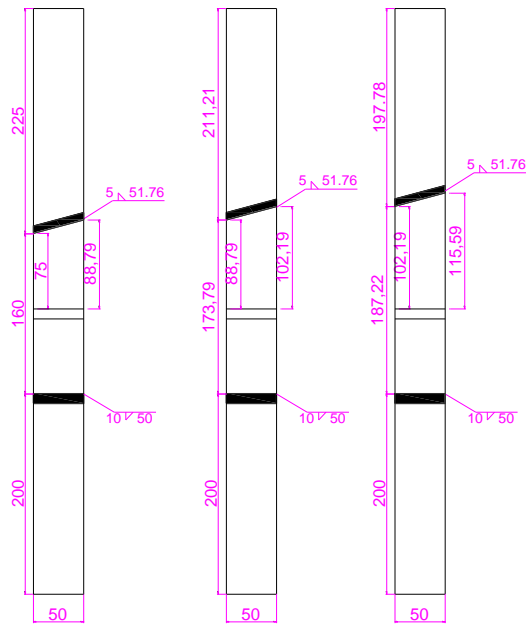


图 1.3 75°试件设计图

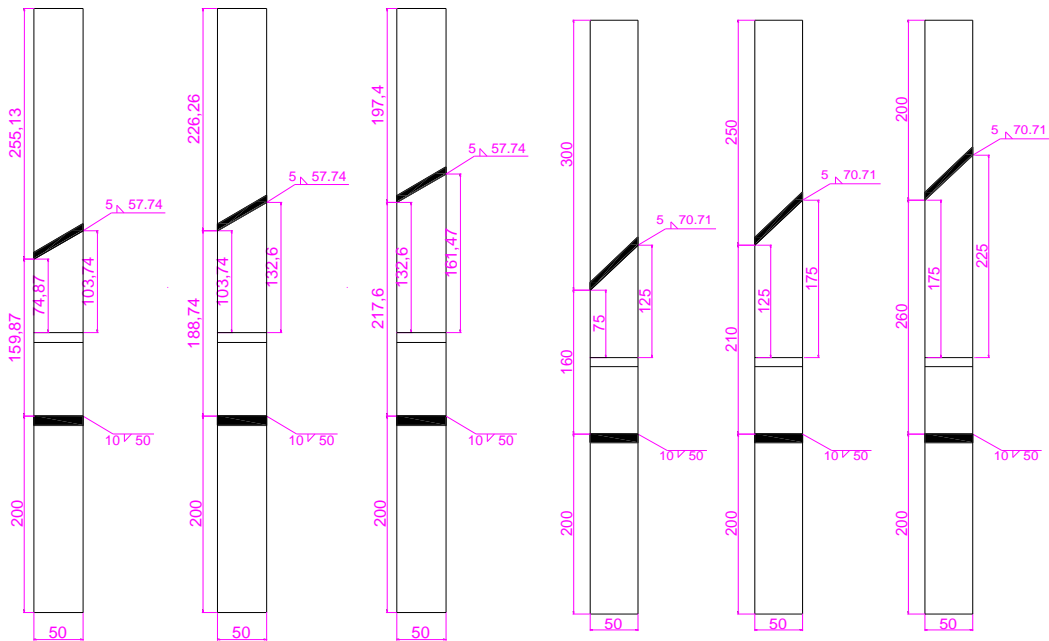


图 1.4 60°试件设计图

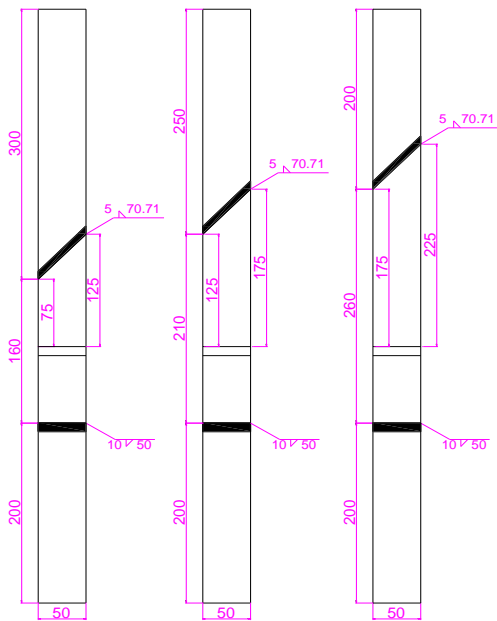


图 1.5 45° S 试件设计图



图 1.6 90°试件



图 1.7 75°试件



图 1.8 60°试件



图 1.9 45°S 试件

由于加工过程中的随机性，试件的焊脚尺寸和焊缝长度与设计尺寸会有一定误差，因为在试验前，需要对每个试件的实际尺寸进行详细的测量。沿着焊缝长度方向，每隔 10mm 测量一次焊缝截面的剪切边、受拉边和斜边，尺寸测量采用专业的焊脚尺，测量工具与试件测量示意图如图 1.10 和图 1.11 所示，表 1.1 汇总了单边单条焊缝类型每个试件实测数据的平均值。



图 1.10 焊脚尺

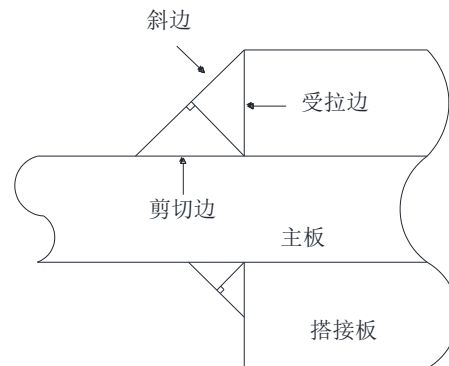


图 1.11 试件测量示意图

表 1.1 单边单条角焊缝试件实测值汇总

编号	1 号边				2 号边			
	剪切边 (mm)	受拉边 (mm)	斜边 (mm)	焊缝长度 (mm)	剪切边 (mm)	受拉边 (mm)	斜边 (mm)	焊缝长度 (mm)
45S_1	4.70	4.50	6.49	69.02	4.60	5.00	6.67	69.69

45S_2	4.60	5.00	6.64	69.45	4.70	5.20	6.96	69.64
45S_3	4.50	4.90	6.49	68.99	5.00	5.20	6.95	70.22
45S_4	4.80	4.90	6.91	69.25	4.90	5.00	6.74	70.75
45S_5	4.60	5.00	6.94	68.27	4.40	5.00	6.54	69.04
45S_6	4.80	5.00	6.65	68.80	4.40	4.90	6.49	69.19
60_1	4.70	5.10	7.06	57.17	5.00	5.00	6.91	57.91
60_2	4.63	5.00	6.61	57.46	5.00	5.00	6.87	58.93
60_3	4.80	5.00	6.82	57.76	4.80	5.20	7.14	57.56
60_4	4.70	5.10	6.90	57.68	4.90	5.10	6.87	58.86
60_5	5.00	4.40	6.38	57.28	5.20	5.00	7.06	58.56
60_6	4.80	5.00	6.83	57.47	5.00	4.95	6.89	58.88
75_1	4.50	5.00	6.50	52.23	4.92	4.64	6.68	51.38
75_2	4.82	4.50	6.69	51.89	5.46	4.32	6.62	52.75
75_3	4.62	4.60	6.46	51.68	5.40	4.60	6.80	52.30
75_4	4.76	4.66	6.61	51.74	4.80	4.72	6.51	52.36
75_5	4.70	5.00	6.67	52.31	5.00	4.94	6.72	52.40
75_6	4.70	4.40	6.68	53.51	4.50	4.40	6.50	53.65
90_1	5.00	5.00	6.89	49.94	5.12	4.30	6.71	49.98
90_2	4.63	4.90	6.42	49.99	5.00	4.90	6.80	50.01
90_3	4.80	5.00	6.85	50.04	4.70	4.90	6.93	49.99
90_4	4.90	5.00	6.73	49.95	5.20	4.95	6.83	49.98
90_5	5.40	5.00	7.35	50.01	5.08	4.30	6.70	50.07
90_6	5.30	4.50	6.70	50.02	5.60	4.50	6.97	50.06

1.2.1.2 单边双条角焊缝试件设计

15°、30°、45° D（单边双条焊缝）试件的加工步骤如下：

（1）在试件两端拼接 50mm 宽的引弧板，焊接时在引弧板上起弧，保证所需焊缝处焊接饱满，焊接完后采用机加工的方式将引弧板切掉。

（2）焊脚尺寸为 5mm 的角焊缝采用机加工的方式将焊缝的焊脚尺寸切割成标准的三角形截面，即消除余高的影响。

表 1.2 汇总了单边双条焊缝类型每个试件实测数据的平均值。

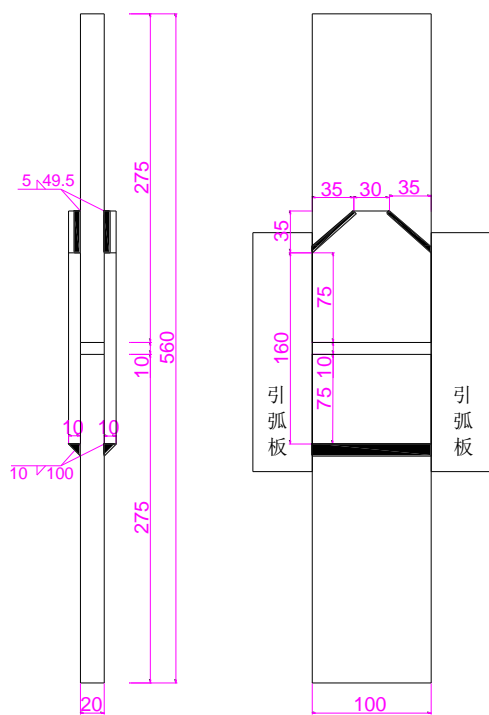


图 1.12 45 \mathcal{D} 试件设计图

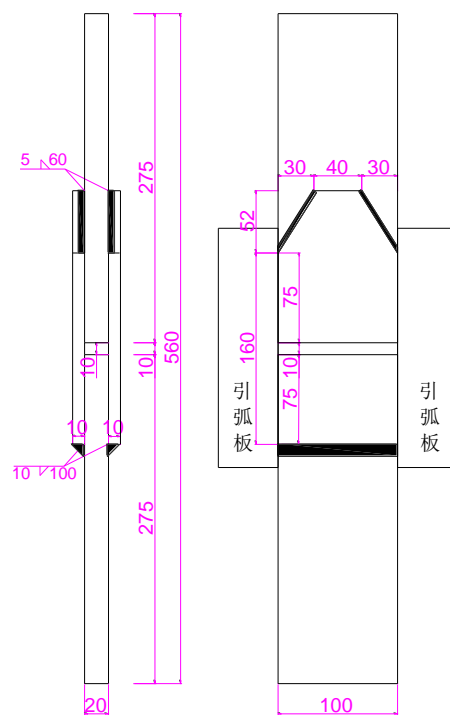


图 1.13 30 °试件设计图

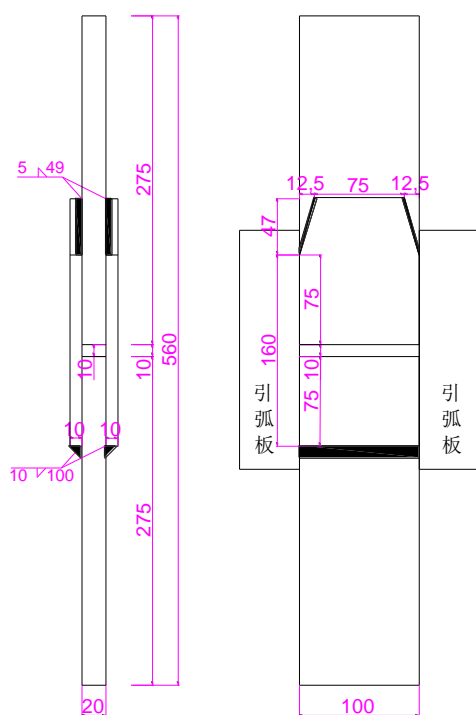


图 1.14 15℃试件设计图

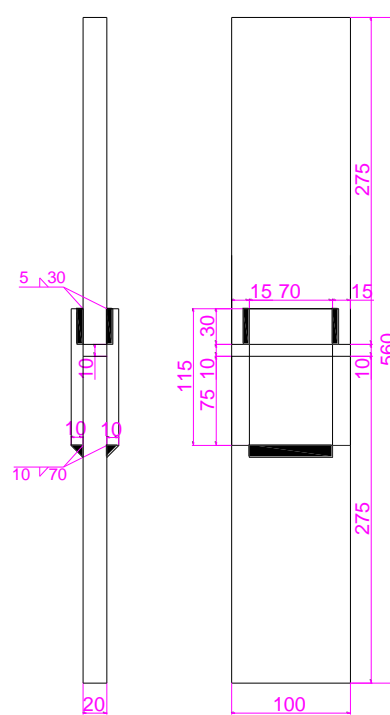


图 1.15 0°试件设计图



图 1.16 45° 试件

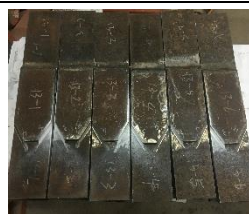


图 1.17 30° 试件



图 1.18 15° 试件



图 1.19 0° 试件

表 1.2 单边双条角焊缝试件实测值汇总

编号	1 号边					2 号边				
	剪切边 (mm)	受拉边 (mm)	斜边 (mm)	焊缝长度 (mm)	实际长度 (mm)	剪切边 (mm)	受拉边 (mm)	斜边 (mm)	焊缝长度 (mm)	实际长度 (mm)
00_1	5.60	5.00	7.71	29.10	56.18	5.10	5.10	7.22	27.95	63.03
00_2	5.10	5.30	7.49	30.71	48.40	5.10	4.60	6.94	31.73	51.58
00_3	5.50	5.20	7.81	34.09	51.20	5.00	6.10	7.91	35.00	49.46
00_4	4.90	4.20	6.21	31.75	52.98	4.40	4.10	5.90	32.60	50.99
00_5	5.00	5.30	7.17	33.52	57.94	4.80	4.90	7.13	31.80	54.27
00_6	4.80	4.60	6.63	33.02	55.39	5.20	4.30	6.74	31.73	52.13
15_1	4.80	4.00	6.28	51.24	61.58	4.90	4.00	6.20	47.87	56.28
15_2	5.20	3.60	6.30	50.73	62.00	4.80	3.50	6.00	49.81	63.03
15_3	4.40	4.40	6.10	49.99	58.26	4.40	3.90	5.80	51.45	57.00
15_4	4.90	4.00	6.30	49.71	62.53	4.60	4.40	6.50	51.60	67.41
15_5	4.20	4.50	6.10	52.85	65.32	5.00	3.50	6.10	49.87	62.66
15_6	4.90	3.70	6.20	47.02	56.80	5.30	3.50	6.30	47.75	59.35
30_1	4.20	3.80	5.80	60.62	81.91	4.30	4.30	6.10	62.40	79.98
30_2	4.50	4.20	6.10	62.66	78.94	4.80	3.80	6.10	60.81	76.55
30_3	5.00	3.60	6.20	62.05	85.63	4.70	4.20	6.20	61.32	87.00
30_4	4.50	4.00	6.20	61.48	74.44	5.50	4.00	6.90	61.84	73.00
30_5	4.60	4.40	6.50	62.38	75.99	4.90	4.30	6.40	60.33	69.12
30_6	4.60	4.20	6.20	62.20	77.26	5.00	4.00	6.30	60.35	75.64
45D_1	4.90	4.40	6.60	53.14	69.54	4.90	4.20	6.50	49.02	62.11*
45D_2	4.40	4.30	6.00	51.02	66.20	4.60	4.50	6.30	51.14	71.53
45D_3	5.00	4.10	6.30	48.94	66.30	5.40	4.00	6.60	48.77	57*
45D_4	5.40	3.70	6.30	52.32	68.92	4.80	4.30	6.40	49.90	65.5*
45D_5	4.90	4.40	6.30	48.74	65.00	4.70	4.40	6.50	51.00	66.45

45D_6	5.20	3.70	6.40	51.71	64.40	4.90	4.30	6.30	50.60	68.33
编号	3 号边					4 号边				
	剪切边 (mm)	受拉边 (mm)	斜边 (mm)	焊缝长度 (mm)	实际长度 (mm)	剪切边 (mm)	受拉边 (mm)	斜边 (mm)	焊缝长度 (mm)	实际长度 (mm)
00_1	5.40	5.00	7.47	30.28	37.71	5.70	5.20	7.68	32.24	53.34
00_2	4.70	3.70	5.80	28.88	45.71	5.40	5.00	7.54	33.96	51.16
00_3	5.10	5.30	7.29	31.24	45.70	5.50	4.80	7.00	30.67	50.14
00_4	4.70	4.30	6.20	33.94	53.61	4.60	4.40	6.20	34.79	57.34
00_5	5.20	4.90	7.24	33.64	48.83	5.20	5.00	7.47	35.00	56.91
00_6	5.00	3.70	6.35	31.98	51.52	3.80	4.20	5.80	31.79	52.72
15_1	4.70	4.00	6.20	47.87	56.61	4.50	3.90	6.00	50.75	62.88
15_2	4.00	4.40	5.90	48.62	60.73	5.20	4.50	6.80	51.48	58.66
15_3	4.80	3.80	6.10	48.38	61.68	4.30	4.50	6.20	49.93	58.75
15_4	4.50	4.20	6.10	50.34	62.37	4.70	3.20	5.70	49.27	59.87
15_5	4.80	3.60	6.00	51.51	59.29*	4.20	4.40	6.20	48.91	55.89*
15_6	5.30	3.30	6.20	46.95	60.75	4.50	4.40	6.30	52.20	71.04
30_1	4.70	4.30	6.30	61.46	77.85	5.00	4.00	6.40	59.01	83.19
30_2	5.00	4.00	6.30	60.18	84.33	4.40	4.50	6.20	59.26	76.02
30_3	4.40	4.40	6.30	62.52	79.28	5.30	4.00	6.40	63.56	83.73
30_4	4.90	4.00	6.40	61.52	77.07	4.30	4.20	6.00	63.33	85.23
30_5	5.50	4.20	6.70	59.86	79.57	4.70	4.10	6.30	63.70	77.14
30_6	5.50	4.10	6.90	57.18	76.29	4.60	4.20	6.20	61.06	76.24
45D_1	5.50	4.10	6.92	52.34	67.93	4.50	4.10	6.20	49.08	69.45
45D_2	4.50	4.50	6.27	52.88	67.77	4.80	4.00	6.30	51.11	74.78
45D_3	5.00	4.00	6.40	50.43	63.2*	4.60	4.60	6.50	52.00	67.47
45D_4	4.60	4.30	6.20	51.31	63.68	4.90	4.00	6.40	51.77	70.86
45D_5	5.00	4.30	6.38	49.98	65.1*	4.90	4.10	6.20	48.98	75.6
45D_6	5.10	4.50	6.60	50.42	67.30	4.90	4.60	6.50	51.67	66

1.2.2 试验装置及仪器操作

本试验在同济大学南校区的结构实验室进行，加载机采用液压伺服控制的 MTS 多功能试验机，加载能力为 2000kN。加载全程采用 1mm/min 的位移控制来模拟静力加载过程，应变及位移数据每秒采集一个点。

ARAMIS Digitai Image Correlation (DIC) -ARAMIS 三维光学全场变形和应变测量分析系统（简称“DIC 测量系统”）是一种全新的应变位移测量手段。在

物理力学性能测试中，使用 DIC 系统，有助于深入了解材料和零件的力学行为和性能，特别适用于测量瞬时和局部应变。DIC 技术采用非接触测量方式，适用于各种材料的静态和动态试验，获取完整的力学性能参数。本试验的位移数据主要来自于 DIC 全场应变测量系统。



图 1.20 MTS 多功能试验机

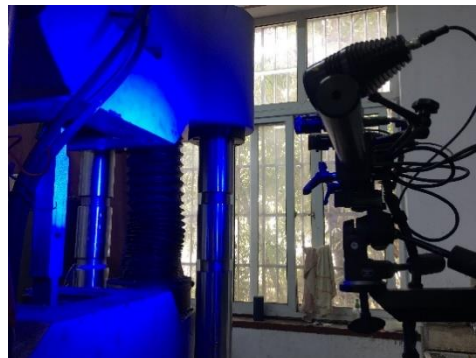


图 1.21 DIC 试验机

试件制作步骤分为：打磨、喷白色底漆、喷黑色散斑漆

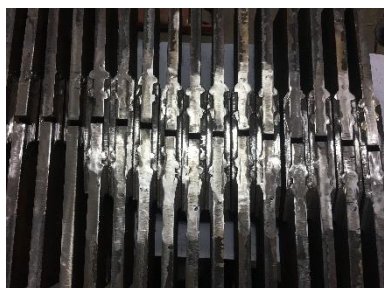


图 1.22 试件打磨



图 1.23 喷白色底漆



图 1.24 喷黑色散斑漆

1.3 试验结果分析

1.3.1 试件断后测量及断裂角度

试件破坏后，对试件的剪切边长度、断裂面长度、斜边长度和断裂角度进行了测量，试验后试件测量各个尺寸代表含义如下图 1.26 所示，断后角度的测量采用游标万能角度尺进行测量，如下图 1.25 所示。试件断后测量数据汇总至表 1.3 和表 1.4。



图 1.25 游标万能角度尺

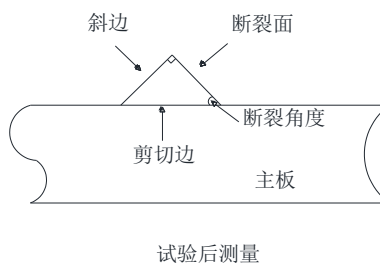


图 1.26 试验后试件测量示意图

表 1.3 单边单条角焊缝试件试验后测量数据汇总

编号	1 号边				2 号边			
	剪切边 a (mm)	断裂面 c (mm)	斜边 b (mm)	断裂角度 B	剪切边 a (mm)	断裂面 c (mm)	斜边 b (mm)	断裂角度 B
45S_1	6.12	4.93	1.89	15.33	6.43	5.22	2.15	17.67
45S_2	6.23	5.02	2.18	18.67	7.01	5.76	2.23	16.67
45S_3	5.97	4.90	1.87	16.33	6.81	5.24	2.88	23.33
45S_4	6.00	4.99	1.65	13.67	6.99	5.48	2.63	20.00
45S_5	6.42	5.21	2.15	17.67	7.01	5.73	2.36	18.00
45S_6	5.94	4.75	2.07	18.33	6.74	5.42	2.45	19.67
60_1	5.75	4.75	1.74	15.67	6.21	4.86	2.31	19.67
60_2	5.79	4.80	1.69	15.00	6.91	5.50	2.36	17.67
60_3	6.29	5.16	1.89	15.33	7.21	5.64	2.96	22.67
60_4	6.14	5.02	1.96	16.67	6.81	5.46	2.34	18.00
60_5	5.06	3.91	1.76	17.33	7.23	5.60	2.72	19.67
60_6	5.85	4.79	1.79	15.67	6.90	5.50	2.33	17.33
75_1	6.66	5.72	1.60	12.00	6.34	4.96	2.23	18.00
75_2	6.09	4.75	2.15	18.00	6.16	4.76	1.99	15.00
75_3	6.47	5.08	2.35	19.00	6.64	5.23	2.09	15.00
75_4	5.96	4.84	1.79	15.00	7.86	6.16	2.86	19.00
75_5	6.53	5.45	1.81	14.00	6.42	5.23	1.93	15.00
75_6	5.80	4.57	1.96	17.00	7.58	5.98	2.64	18.00
90_1	7.00	5.61	2.32	17.00	7.98	5.81	3.38	22.00
90_2	5.67	4.60	1.85	17.00	7.53	5.95	2.63	18.00
90_3	6.20	4.97	2.13	18.00	6.26	5.21	1.75	14.00
90_4	6.47	5.21	2.13	17.00	6.61	5.34	2.00	15.00
90_5	8.16	6.35	2.89	18.00	6.60	5.01	2.40	18.00

90_6	7.92	6.16	2.62	16.00	5.90	4.47	2.09	17.00
------	------	------	------	-------	------	------	------	-------

表 1.4 单边双条角焊缝试件试验后测量数据汇总

编号	1 号边				2 号边			
	剪切边 a (mm)	断裂面 c (mm)	斜边 b (mm)	断裂角度 B	剪切边 a (mm)	断裂面 c (mm)	斜边 b (mm)	断裂角度 B
00_1	7.99	5.38	5.19	40.00	7.26	5.14	5.46	48.67
00_2	6.20	4.47	4.15	42.00	6.22	4.17	4.48	46.00
00_3	6.88	4.84	6.04	59.00	7.05	6.12	7.25	66.33
00_4	6.15	4.10	5.54	61.67	6.01	4.11	4.78	52.33
00_5	7.26	5.30	5.48	48.67	6.12	4.38	4.48	47.00
00_6	6.57	4.76	6.14	63.33	5.45	3.50	4.66	58.00
15_1	7.15	4.58	5.32	48.00	5.29	3.55	2.90	31.00
15_2	6.30	3.78	3.99	37.00	6.87	4.29	4.14	34.67
15_3	6.83	4.88	4.09	36.33	5.58	3.73	3.74	41.67
15_4	6.28	4.39	2.99	25.50	7.13	4.98	4.44	38.00
15_5	5.45	4.03	3.12	34.50	6.66	4.02	4.21	37.00
15_6	6.32	3.92	4.12	39.33	6.13	4.01	2.96	24.00
30_1	6.61	4.48	4.26	39.67	7.13	5.12	4.12	34.67
30_2	6.36	4.68	2.90	25.00	5.84	4.07	2.72	24.50
30_3	5.55	3.65	2.83	27.00	6.96	4.75	4.16	35.67
30_4	8.30	5.62	5.13	37.33	7.78	4.80	4.84	36.33
30_5	6.19	4.86	2.17	18.00	5.36	4.25	1.67	15.00
30_6	5.59	4.15	2.40	23.00	5.61	3.88	2.72	26.00
45D_1	4.63	3.69	1.43	15.00	5.39	4.29	1.63	14.33
45D_2	7.22	5.13	4.24	35.33	6.54	4.80	3.22	28.00
45D_3	6.05	4.26	2.84	25.00	6.40	4.70	2.40	17.67
45D_4	6.93	4.86	2.84	19.33	6.57	5.00	2.48	19.33
45D_5	6.57	4.92	2.68	21.33	5.65	4.12	2.68	26.33
45D_6	6.73	4.12	4.15	35.67	7.05	5.05	3.32	25.67
编号	3 号边				4 号边			
	剪切边 a (mm)	断裂面 c (mm)	斜边 b (mm)	断裂角度 B	剪切边 a (mm)	断裂面 c (mm)	斜边 b (mm)	断裂角度 B
00_1	6.95	4.74	5.50	52.00	6.33	4.51	6.13	66.50
00_2	6.08	3.91	5.85	67.67	6.78	4.72	6.02	60.00
00_3	6.68	4.81	4.72	45.00	6.30	4.15	4.49	45.33
00_4	6.47	4.38	5.09	51.67	5.02	3.50	4.12	54.33
00_5	5.45	4.18	5.84	73.33	6.16	4.52	5.93	65.33
00_6	5.68	3.39	4.30	49.00	5.90	4.48	4.90	54.33

15_1	6.19	4.05	4.16	41.67	7.03	4.78	4.03	33.50
15_2	7.30	5.45	4.16	34.33	5.97	3.91	4.73	52.33
15_3	6.04	3.80	4.14	42.67	6.08	4.41	4.51	47.67
15_4	7.80	5.35	6.23	52.67	7.45	4.23	5.56	47.67
15_5	6.96	4.34	4.39	37.33	8.00	5.85	6.41	52.33
15_6	6.69	3.89	4.05	33.33	7.01	4.90	4.99	45.33
30_1	7.12	4.93	4.15	34.67	6.21	4.39	2.80	23.50
30_2	6.47	4.40	3.31	28.00	6.43	5.13	2.22	18.00
30_3	6.11	4.92	1.96	16.33	6.14	4.59	2.19	16.67
30_4	6.89	4.51	4.16	35.67	5.92	4.73	1.94	16.67
30_5	6.34	4.02	3.87	35.67	7.09	4.73	4.53	39.00
30_6	5.68	3.83	2.78	25.67	7.28	5.05	4.19	34.00
45D_1	6.80	4.32	3.98	33.33	6.44	4.46	3.71	34.00
45D_2	6.71	4.84	3.79	33.67	6.12	4.56	2.36	19.33
45D_3	6.00	4.36	2.46	20.67	5.82	4.63	1.99	17.67
45D_4	5.17	3.99	1.92	19.21	6.26	4.50	2.70	22.33
45D_5	7.17	5.01	3.64	28.33	6.70	4.43	4.09	36.33
45D_6	5.62	3.95	2.89	29.00	5.66	4.38	2.08	19.00

1.3.2 承载能力与变形能力

表 1.5 角焊缝试件承载能力和变形能力汇总

编号	极限荷载 P_u (kN)	断裂荷载 F_r (kN)	极限荷载对应的变形 ΔP_u (mm)			断裂荷载对应的变形 ΔF_r (mm)			荷载比 $\frac{F_r}{P_u}$	变形比 $\frac{\Delta F_r}{\Delta P_u}$	破坏方式
			左边	右边	平均	左边	右边	平均			
00_1	487.75	355.54	0.57	0.47	0.52	1.06	0.76	0.91	0.73	1.76	双边
00_2	456.00	246.68	0.33	0.21	0.27	1.21	0.69	0.95	0.54	3.47	单边
00_3	603.63	260.18	0.13	0.16	0.15	0.21	0.30	0.25	0.43	1.74	双边
00_4	512.16	342.28	0.12	0.13	0.12	0.12	0.13	0.13	0.67	1.02	双边
00_5	576.15	332.44	0.35	0.26	0.30	0.42	0.31	0.36	0.58	1.19	双边
00_6	581.23	332.17	0.29	0.27	0.28	0.32	0.31	0.31	0.57	1.13	双边
15_1	717.56	702.49	0.17	0.20	0.18	0.17	0.20	0.19	0.98	1.03	双边
15_2	746.93	706.34	0.28	0.36	0.32	0.32	0.44	0.38	0.95	1.20	双边
15_3	770.64	753.07	0.29	0.25	0.27	0.37	0.30	0.34	0.98	1.25	双边

个人简历、在读期间发表的学术论文与研究成果

15_4	772.73	687.19	0.57	0.36	0.46	0.68	0.43	0.56	0.89	1.21	双边
15_5	811.85	621.62	0.28	0.38	0.33	0.48	0.64	0.56	0.77	1.70	双边
15_6	839.21	746.33	0.36	0.32	0.34	0.61	0.55	0.58	0.89	1.70	双边
30_1	1077.31	1059.67	0.48	0.37	0.42	0.60	0.44	0.52	0.98	1.23	双边
30_2	1149.15	1088.26	0.52	0.51	0.52	0.56	0.54	0.55	0.95	1.07	双边
30_3	1149.56	1101.71	0.36	0.42	0.39	0.49	0.60	0.55	0.96	1.39	双边
30_4	1153.41	1100.08	0.47	0.31	0.39	0.54	0.34	0.44	0.95	1.13	双边
30_5	879.72	844.97	0.15	0.26	0.21	0.17	0.31	0.24	0.96	1.18	双边
30_6	1064.91	841.61	0.45	0.47	0.46	0.46	0.48	0.47	0.79	1.03	双边
45D_1	943.81	889.27	0.21	0.33	0.27	0.22	0.36	0.29	0.94	1.08	双边
45D_2	963.28	909.84	0.17	0.20	0.19	0.18	0.22	0.20	0.94	1.08	双边
45D_3	957.76	945.85	0.27	0.32	0.30	0.28	0.33	0.30	0.99	1.02	双边
45D_4	995.42	936.30	0.40	0.41	0.40	0.41	0.42	0.42	0.94	1.03	双边
45D_5	1004.68	746.98	0.23	0.22	0.22	0.24	0.22	0.23	0.74	1.05	双边
45D_6	891.67	843.55	0.12	0.16	0.14	0.12	0.17	0.14	0.95	1.04	双边
45S_1	635.52	616.91	0.20	0.25	0.23	0.21	0.25	0.23	0.97	1.01	双边
45S_2	675.87	669.32	0.29	0.39	0.34	0.30	0.44	0.37	0.99	1.09	单边
45S_3	658.33	575.75	0.25	0.37	0.31	0.26	0.41	0.33	0.87	1.07	单边
45S_4	681.18	619.87	0.43	0.47	0.45	0.44	0.51	0.48	0.91	1.07	双边
45S_5	677.05	664.56	0.38	0.47	0.42	0.38	0.48	0.43	0.98	1.01	双边
45S_6	665.30	552.35	0.43	0.58	0.51	0.46	0.68	0.57	0.83	1.12	单边
60_1	612.69	577.61	0.27	0.34	0.31	0.29	0.36	0.33	0.94	1.06	双边
60_2	612.73	565.97	0.30	0.36	0.33	0.32	0.39	0.35	0.92	1.07	双边
60_3	578.35	533.20	0.18	0.29	0.23	0.18	0.30	0.24	0.92	1.05	单边
60_4	636.56	610.21	0.35	0.36	0.35	0.36	0.37	0.36	0.96	1.02	双边
60_5	575.71	531.62	0.26	0.33	0.29	0.26	0.34	0.30	0.92	1.01	双边
60_6	618.01	594.60	0.26	0.29	0.28	0.27	0.30	0.29	0.96	1.03	双边
75_1	580.59	580.59	0.29	0.28	0.28	0.29	0.28	0.28	1.00	1.00	双边
75_2	584.38	487.52	0.37	0.37	0.37	0.40	0.41	0.41	0.83	1.09	双边
75_3	557.74	534.05	0.32	0.31	0.32	0.41	0.37	0.39	0.96	1.22	双边
75_4	504.87	446.19	0.40	0.33	0.37	0.43	0.34	0.39	0.88	1.06	双边
75_5	576.77	517.97	0.38	0.40	0.39	0.42	0.45	0.43	0.90	1.11	双边
75_6	548.47	502.48	0.31	0.30	0.31	0.33	0.32	0.33	0.92	1.07	双边
90_1	571.58	539.65	0.40	0.33	0.37	0.45	0.35	0.40	0.94	1.09	双边
90_2	501.34	481.94	0.31	0.26	0.28	0.32	0.26	0.29	0.96	1.04	双边
90_3	551.52	519.49	0.41	0.40	0.41	0.44	0.45	0.44	0.94	1.09	双边
90_4	549.41	526.89	0.37	0.30	0.33	0.42	0.34	0.38	0.96	1.13	双边
90_5	598.71	572.32	0.32	0.33	0.33	0.33	0.35	0.34	0.96	1.04	双边
90_6	566.21	556.80	0.27	0.33	0.30	0.27	0.34	0.31	0.98	1.03	双边

表 1.6 角焊缝试件荷载位移曲线汇总

