

缝移动有辅助的作用,弱化了板厚不等的不均匀伸长引起的剪应力激增现象,加大了造型突变位置焊缝开裂缩颈的趋势,如图16所示。

#### (4) 拉伸模具刺破补料结构分析

拉伸模具双件间的刺破结构,是用来平衡内部成型过程中材料补充及时的,刺破位置为上下模到底-10mm,虽然补充了成型需要,但也阻碍了造型突变位置薄板侧平行焊缝方向的拉应力递增定型,增大了厚板侧传力区力量,导致焊缝出现到底前5mm大幅度位移,突增的厚板侧拉力造成薄板侧减薄的单向拉应力增加。强化了板厚不等的不均匀伸长引起的剪应力激增现象,加剧了造型突变位置焊缝开裂缩颈状态,鉴于上述情况,可以合理的调整刺破位置,尽量保证内部成型稳定均匀的情况下,关键点刺破,如图17所示。

#### (5) 拉伸模具造型突变位置成型圆角尺寸优化实验

修改上模造型突变位置反成型圆角,减短薄板侧形状线长应对板厚不等的不均匀伸长引起的剪应力激增现象,相对增强了造型突变位置厚板侧强变形区的变形程度,焊缝向厚板侧移动,并且薄板侧减薄更加严重,并没有得到好的实验结果,如图18所示。

#### (6) 拼焊板车门内板拉伸模具分析结语

车门内板外部产品造型区域设计的小圆角辅助内部复杂成型区域充分

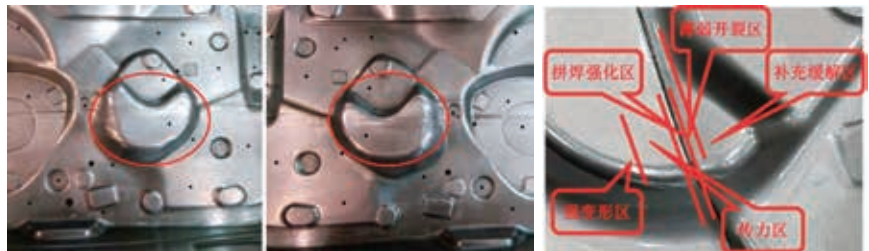


图15 拼焊板车门内板拉伸模具小圆角内部胀形过程中出现局部的严重磨损状态示意图



图16 拼焊板车门内板拉伸模具压料控料工艺控制点状态示意图



图17 拼焊板车门内板拉伸模具工艺切口刺破补料控制点状态示意图

减薄成型,加强了造型突变位置厚板侧传力区力量,同时加强了拼焊缝向厚板料区域移动的趋势;造型突变位置区域设计的小圆角辅助内部复杂成型区域充分减薄成型,加强了造型突变位置厚板侧强变形区的变形程度,减弱了内部胀形区域的变形程度,更加激化了板厚不等的不均匀伸长引起的剪应力激增现象;压料和控制料工艺控制点将厚板料径向移动控制的很

好,虽然保证了两侧法兰边焊缝移动量可控,但是无形中增大了外部产品圆角造型厚板侧传力区力量,对造型突变位置内部胀形区域的变形程度有加剧的作用,对控制焊缝移动有辅助的作用,弱化了板厚不等的不均匀伸长引起的剪应力激增现象,对造型突变位置焊缝开裂缩颈有好处,这无形中将造型突变位置厚板侧强变形区的一部分转化为传力区,平衡了内部

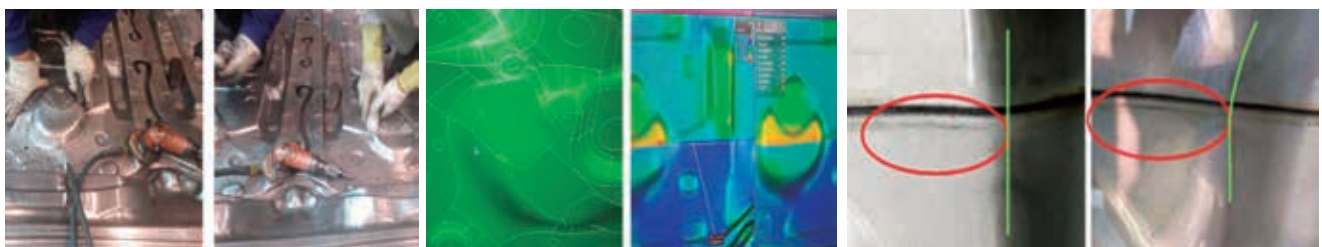


图18 拼焊板车门内板拉伸模具造型突变位置反成型圆角修改前后焊缝区域对比示意图

胀形区域的变形程度，弱化了板厚不等的不均匀伸长引起的剪应力激增现象；内部刺破位置需要调整，延迟刺破，尽量保证内部成型稳定均匀的情况下，关键点刺破，继续弱化板厚不等的不均匀伸长引起的剪应力激增现象；通过造型突变位置成型圆角尺寸优化实验，更是证明了车门内板外部产品造型区域设计的小圆角和造型突变位置区域设计的小圆角对造型突变位置成型稳定，焊缝移动量可控，弱化板厚不等的不均匀伸长引起的剪应力激增现象，对造型突变位置薄板侧

减薄合理有直接的优化效果。

### 2.2.4 综合分析

合并所有相关影响因素进行对比分析，见表1。

综合分析后，影响拼焊板车门内板焊缝开裂缩颈的主要原因：成型极限影响外部和内部受力均匀性，导致厚板与薄板减薄失衡，焊缝移动量失控，最终焊缝不稳定的开裂或缩颈；因此外部控料，内部阶段补料这样的思路，解决拼焊板车门内板拼焊缝开裂缩颈问题是可行的。

## 3 差厚拼焊板车门内板焊缝开裂缩颈解决思路

### 3.1 整体思路

清晰的解决思路指向：首先解决成型极限问题，然后考虑厚板和薄板均匀减薄，最后进行焊缝移动量控制，具体见表2。

### 3.2 思路一

3.2.1 拉延模具压料力平衡降压50KN，同时进行延时5mm刺破，主要成型控制点进料状态，如图19所示。

3.2.2 拼焊板车门内板主要成型控制点

表1 影响因素对比分析

序号	分析维度	进料线结论	成型圆角结论	刺破补料结论	成型状态结论	受力分析结论	综合结论
1	拉延模拟分析	拉延不失效的前提下，进料状态处于极限。	可以保证内部复杂成型区域充分减薄定型。	可以保证焊缝有足够的料合理成型，并可以平衡受力状态。	薄板胀形区域减薄未达到理想状态，影响焊缝成型状态。	造型突变位置拼焊缝合理成型，焊缝移动方向正确，焊缝偏移量可控	整体成型状态合理，造型突变位置焊缝成型合理。
2	拉延制件分析	拉延件焊缝与理论焊缝偏移趋势一致。		成型到底-5mm时，焊缝热影响区开始急剧减薄，说明内部阶段补料未起到用。		薄板成型时，减薄不均匀，导致传力区力量激增，影响了焊缝均匀受力状态，最终影响焊缝成型状态。	少进料的成型极限状态导致造型突变位置拼焊缝成型开裂缩颈。
3	拉延模具分析	增大外部产品圆角造型厚板侧传力区力量，加大了造型突变位置焊缝开裂缩颈的趋势。	圆角作用更加激化了板厚不等的不均匀伸长引起的剪应力激增现象。	可以将刺破位置调整至-5mm，延迟刺破，尽量保证内部成型稳定均匀的情况下，关键点刺破。	由于造型突变位置成型受力复杂，各方向受力相互牵制，实验结果显示，造型突变位置焊缝缩颈更加严重。		关键点补料未能起到作用；不考虑成型圆角的因素。
4	对比结论	实际进料状态超过理论进料状态，模具上实体筋的控料力度远远超过理论摩擦系数的摩擦力。	实际成型圆角状态符合理论设计圆角，模具上厚板区域变形程度超过理论的变形程度。	实际刺破点位置-10mm符合常规设计位置，但不适应现有零件及模具。	实际成型中薄板减薄未达到理论分析的均匀状态，焊缝缩颈加剧。	薄板和厚板不同方向的受力，各方向受力相互牵制平衡，一旦失衡，薄板侧减薄急剧，产生缩颈甚至开裂。	成型极限影响外部和内部受力均匀性，导致厚板与薄板减薄失衡，焊缝移动量失控，最终焊缝不稳定的开裂或缩颈。



表2 焊缝开裂缩颈解决思路汇总

属性	思路一	思路二	思路三	备注
问题描述	成型极限影响外部内部受力均匀性	厚板与薄板减薄失衡	焊缝移动量失控	综合原因造成的结果
思路确认	1. 外部周边法兰边降低压力 2. 同时内部补料优化, 延迟补料	1. 外部周边法兰边降低压力 2. 同时内部补料优化, 延迟补料 3. 同时拼焊板整体向薄板侧平移	1. 外部周边法兰边降低压力 2. 同时内部补料优化, 延迟补料 3. 同时拼焊板整体向薄板侧平移 4. 厚板侧压力间隙优化	消除相关因素影响

进料数据对比, 见图20。

实验件数据与模拟分析数据对比  
实验件数据与原出件数据对比

由以上数据可知, 思路一实验件相比模拟分析和原出件进料更多, 可以缓解外部和内部受力不均匀状态。

### 3.3 思路二

3.3.1 拉延模具压料力平衡降压50KN, 同时进行延时刺破, 板料位置向薄板侧平移5mm, 主要成型控制点进料状态, 如图21所示。

3.3.2 拼焊板车门内板主要成型控制点进料数据对比, 见图22。

实验件数据与模拟分析数据对比  
实验件数据与原出件数据对比。

由以上数据可知, 思路二实验件相比模拟分析和原出件进料更多, 可以缓解外部和内部受力不均匀状态, 同时厚板与薄板减薄状态仍然存在失衡。

### 3.4 思路三

3.4.1 拉延模具压料力平衡降压50KN, 同时进行延时刺破, 板料位置向薄板侧平移5mm, 厚板侧压料间隙均匀加大0.1mm, 主要成型控制点进料状态, 如图23所示。

3.4.2 拼焊板车门内板主要成型控制点进料数据对比, 见图24。

由以上数据可知, 思路三实验件相比模拟分析和原出件进料更多, 可以缓解外部和内部受力不均匀状态, 同时厚板与薄板减薄状态仍然存在

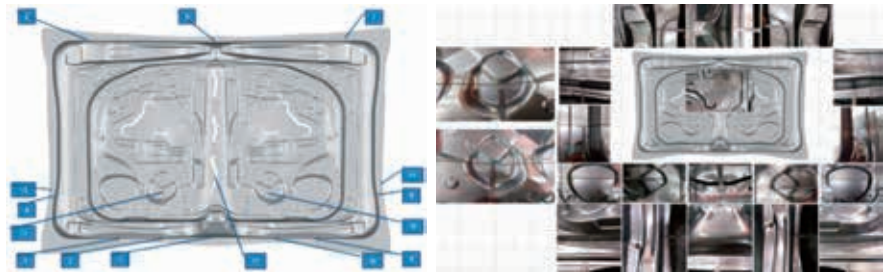


图19 拉延进行思路一实验并出试验件确认示意图

序号	位置	原出件进料量	模拟进料量	实验	备注	序号	位置	原出件进料量	模拟进料量	实验	备注
1	拉延侧中部	54.06	45.5	8.56	多进料	7	拉延侧中部	80	45.5	34.5	多进料
2	左电焊对应位置	29.20	15	14.20	多进料	8	左电焊对应位置	36	15	21	多进料
3	左电焊对应位置	52.28	48	4.28	多进料	9	左电焊对应位置	60	48	12	多进料
4	左门焊对应位置	30.80	49	-18.15	少进料	10	左门焊对应位置	50	49	1	多进料
5	左电焊对应位置	55.78	66.5	-10.74	少进料	11	左电焊对应位置	68	66.5	1.5	少进料
6	门焊侧中部	32.5	48	-15.50	少进料	12	门焊侧中部	37	48	-11	少进料
7	右电焊对应位置	55.78	47.5	8.28	多进料	13	右电焊对应位置	83	47.5	35.5	多进料
8	右门焊对应位置	30.80	42.5	-11.70	少进料	14	右门焊对应位置	48	42.5	5.5	多进料
9	右电焊对应位置	52.28	41.5	10.78	多进料	15	右电焊对应位置	60	41.5	18.5	多进料
10	右电焊对应位置	29.20	15.5	13.70	多进料	16	右电焊对应位置	38	15.5	22.5	多进料
11	拼焊工艺切口	18.17	14	4.17	切口全	17	拼焊工艺切口	11	14	-3	切口全
12	左电焊侧焊纹	79.89	72.5	7.39	内薄板侧缩颈	18	左电焊侧焊纹	80	72.5	7.5	内薄板侧缩颈
13	左门焊侧焊纹	33.95	50	-16.05	内薄板侧缩颈	19	左门焊侧焊纹	36	50	-14	内薄板侧缩颈
14	右门焊侧焊纹	33.95	52.5	-18.55	内薄板侧缩颈	20	右门焊侧焊纹	36	52.5	-16.5	内薄板侧缩颈
15	右电焊侧焊纹	79.89	71.5	8.39	内薄板侧缩颈	21	右电焊侧焊纹	80	71.5	8.5	内薄板侧缩颈

图20 思路一实验件数据对比示意图

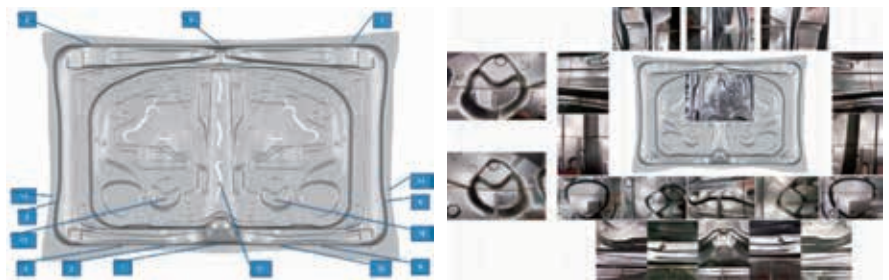


图21 拉延进行思路二实验并出试验件确认示意图

序号	位置	原出件进料量	模拟进料量	实验	备注	序号	位置	原出件进料量	模拟进料量	实验	备注
1	拉延侧中部	54.06	48	6.06	多进料	1	拉延侧中部	80	48	32	多进料
2	左电焊对应位置	29.20	21	8.20	多进料	2	左电焊对应位置	36	21	15	多进料
3	左电焊对应位置	52.28	48	4.28	多进料	3	左电焊对应位置	60	48	12	多进料
4	左门焊对应位置	30.80	51	-20.15	少进料	4	左门焊对应位置	50	51	-1	少进料
5	左电焊对应位置	55.78	66	-10.24	少进料	5	左电焊对应位置	68	66	2	少进料
6	门焊侧中部	32.5	47	-14.50	少进料	6	门焊侧中部	37	47	-10	少进料
7	右电焊对应位置	55.78	46	9.78	多进料	7	右电焊对应位置	83	46	37	多进料
8	右门焊对应位置	30.80	44	-13.15	少进料	8	右门焊对应位置	48	44	4	少进料
9	右电焊对应位置	52.28	44	8.28	多进料	9	右电焊对应位置	60	44	16	多进料
10	右电焊对应位置	29.20	20	9.20	多进料	10	右电焊对应位置	38	20	18	多进料
11	拼焊工艺切口	18.17	15	3.17	切口全	11	拼焊工艺切口	11	15	-4	切口全
12	左电焊侧焊纹	79.89	73	6.89	内薄板侧缩颈	12	左电焊侧焊纹	80	73	7	内薄板侧缩颈
13	左门焊侧焊纹	33.95	50	-16.05	内薄板侧缩颈	13	左门焊侧焊纹	36	50	-14	内薄板侧缩颈
14	右门焊侧焊纹	33.95	48	0.05	内薄板侧缩颈	14	右门焊侧焊纹	36	48	-12	内薄板侧缩颈
15	右电焊侧焊纹	79.89	73	6.89	内薄板侧缩颈	15	右电焊侧焊纹	80	73	7	内薄板侧缩颈

图22 思路二实验件数据对比示意图

失衡, 焊缝移动量接近模拟分析理论值, 焊缝移动可控。

### 3.5 思路整合

#### 3.5.1 拉延件思路一、思路二、思路三

叠加实验数据汇总，见图25。

实验件数据与模拟分析数据对比结果相比实验件数据与原出件分析数据对比结果，两种对比结果综合分析后显示：薄板一侧进料差值变化较小，依然处于少进料趋势；厚板一侧进料差值变化较大，少进料趋势已经逆转为多进料趋势；刺破开口仍未达到理论值；左右两侧厚薄板焊缝及左右件电机面焊缝逆转向薄板方向偏移，贴近理论趋势，接近理论值。实验件整体成型状态已经贴近理论成型状态，薄板区域的少进料状态，可以考虑在进料可控的前提下，缩减薄板一侧板料尺寸，力求出件后整体进料状态贴近理论进料状态。

3.5.2 拉延件实验薄厚板进料数据对比，见图26。

3.5.3 拉延件实验焊缝位移数据对比，见图27。

通过思路叠加实验进料数据汇总对比，焊缝移动量可控，对弱化板厚不均的均匀伸长引起的剪应力激增现象起着积极地作用，对造型突变位置薄板侧减薄合理有直接的优化效果，加上外部合理控料，内部成型关键阶段补料这样的思路，解决拼焊板车门内板焊缝开裂缩颈问题是非常有效的。

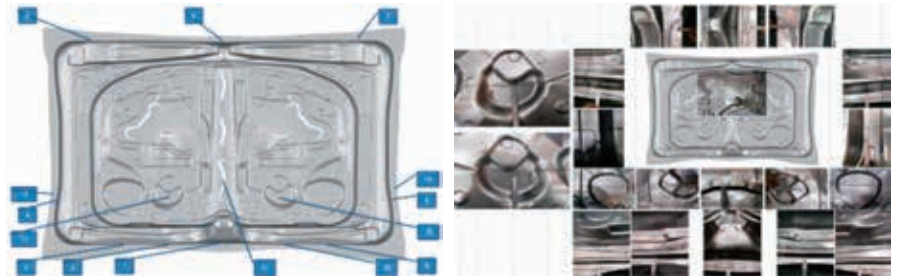


图23 拉延进行思路三实验并出试验件确认示意图

序号	位置	理论值/mm	实际值/mm	公差/mm	备注	序号	位置	理论值/mm	实际值/mm	公差/mm	备注
1	顶部中心	54.06	43	11.06	多进料	5	顶部中心	80	43	37	多进料
2	左电机对应位置	28.35	14.3	14.05	多进料	2	左电机对应位置	36	14.3	21.7	多进料
3	左焊缝对应位置	52.28	46	6.28	多进料	3	左焊缝对应位置	85	46	39	多进料
4	左门缝对应位置	30.85	53.5	22.65	少进料	4	左门缝对应位置	30	53.5	-23.5	少进料
5	左焊缝对应位置	16.76	36.5	19.74	少进料	5	左焊缝对应位置	38	36.5	1.5	少进料
6	左门缝对应位置	32.5	48.5	16	少进料	6	左门缝对应位置	57	48.5	8.5	少进料
7	左焊缝对应位置	33.85	45	11.15	少进料	7	左焊缝对应位置	48	45	3	多进料
8	左门缝对应位置	52.28	39.5	12.78	多进料	8	左门缝对应位置	80	39.5	40.5	多进料
9	左焊缝对应位置	29.35	13.5	15.85	多进料	9	左焊缝对应位置	39	13.5	25.5	多进料
10	左门缝对应位置	19.37	14.5	4.87	少进料	10	左门缝对应位置	55	14.5	40.5	少进料
11	顶部中心	79.88	74	5.88	内层收缩明显	11	顶部中心	90	74	16	内层收缩明显
12	左门缝对应位置	33.85	52	18.15	内层收缩明显	12	左门缝对应位置	30	52	-22	内层收缩明显
13	左焊缝对应位置	53.95	53	0.95	内层收缩明显	13	左焊缝对应位置	26	53	-27	内层收缩明显
14	左电机面焊缝	79.88	72	7.88	内层收缩明显	14	左电机面焊缝	90	72	18	内层收缩明显

实验件数据与模拟分析数据对比

实验件数据与原出件数据对比

图24 思路三实验件数据对比示意图

序号	位置	理论值/mm	实际值/mm	公差/mm	备注	序号	位置	理论值/mm	实际值/mm	公差/mm	备注
1	顶部中心	4.38	4.38	0	多进料	1	顶部中心	11	4.38	6.62	多进料
2	左电机面焊缝	4.38	4.38	0	多进料	2	左电机面焊缝	11	4.38	6.62	多进料
3	左焊缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	3	左焊缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
4	左门缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	4	左门缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
5	左焊缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	5	左焊缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
6	左门缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	6	左门缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
7	左焊缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	7	左焊缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
8	左门缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	8	左门缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
9	左焊缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	9	左焊缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
10	左门缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	10	左门缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
11	左焊缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	11	左焊缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
12	左门缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	12	左门缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
13	左焊缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	13	左焊缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
14	左门缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	14	左门缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
15	左焊缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	15	左焊缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
16	左门缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	16	左门缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
17	左焊缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	17	左焊缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
18	左门缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	18	左门缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
19	左焊缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	19	左焊缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
20	左门缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	20	左门缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料

实验件数据对比模拟分析数据汇总

实验件数据对比原出件数据汇总

图25 三种思路实验件进料数据对比示意图

序号	位置	理论值/mm	实际值/mm	公差/mm	备注	序号	位置	理论值/mm	实际值/mm	公差/mm	备注
1	顶部中心	4.38	4.38	0	多进料	1	顶部中心	11	4.38	6.62	多进料
2	左电机面焊缝	4.38	4.38	0	多进料	2	左电机面焊缝	11	4.38	6.62	多进料
3	左焊缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	3	左焊缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
4	左门缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	4	左门缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
5	左焊缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	5	左焊缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
6	左门缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	6	左门缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
7	左焊缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	7	左焊缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
8	左门缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	8	左门缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
9	左焊缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	9	左焊缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
10	左门缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	10	左门缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
11	左焊缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	11	左焊缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
12	左门缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	12	左门缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
13	左焊缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	13	左焊缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
14	左门缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	14	左门缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
15	左焊缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	15	左焊缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
16	左门缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	16	左门缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
17	左焊缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	17	左焊缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
18	左门缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	18	左门缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
19	左焊缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	19	左焊缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料
20	左门缝对应位置	4.38	4.38	0	多进料	20	左门缝对应位置	11	4.38	6.62	多进料

实验件数据对比模拟分析数据

实验件数据对比原出件数据

图26 三种思路实验件薄厚板进料数据对比示意图

序号	位置	理论值/mm	实际值/mm	公差/mm	备注	序号	位置	理论值/mm	实际值/mm	公差/mm	备注
12	左电机面焊缝	-18.88	-18.88	0	内层收缩明显	12	左电机面焊缝	-18	-18.88	0.88	内层收缩明显
13	左门缝对应位置	-18.88	-18.88	0	内层收缩明显	13	左门缝对应位置	-18	-18.88	0.88	内层收缩明显
14	左焊缝对应位置	-18.88	-18.88	0	内层收缩明显	14	左焊缝对应位置	-18	-18.88	0.88	内层收缩明显
15	左电机面焊缝	-18.88	-18.88	0	内层收缩明显	15	左电机面焊缝	-18	-18.88	0.88	内层收缩明显

生产焊缝位移

实验焊缝位移

生产焊缝位移

实验焊缝位移

实验件数据对比模拟分析数据

实验件数据对比原出件数据

图27 三种思路实验件焊缝位移数据对比示意图