

一种多拉杆多缸6 000 t LFT-D 复合材料液压机*

胡振新

(天津市天锻压力机有限公司,天津 300142)

摘要:文中介绍了一种多拉杆多缸6 000 t LFT-D 复合材料液压机。主要适用热塑性LFT-D、GMT和热固性SMC等复合材料模压工艺,也适用于预浸料模压工艺、碳纤维的模压成型工艺、高压RTM、低压RTM、湿法模压和IMC模内喷涂。同时液压机也预留有相应工艺的辅助机械接口和自动化接口,满足各种工艺条件下的生产需求和后期升级自动化需求。设备广泛应用于汽车零部件、高铁零部件、航空航天及军工等行业中。

关键词:多拉杆;多缸;LFT-D;复合材料;液压机

中图分类号:TH112 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-2354(2023)S1-0162-06

DOI:10.13841/j.cnki.jxsj.2023.s1.015

6 000 t LFT-D composite hydraulic press with multiple rods and cylinders

HU Zhenxin

(Tianjin Tianduan Press Co., Ltd., Tianjin 300142)

Abstract: A kind of 6 000 t LFT-D composite hydraulic press with multiple rods and cylinders is introduced in this paper, the hydraulic press is mainly suitable for varieties of composite material molding processes, such as thermoplasticity LFT-D, GMT, thermosetting SMC, PCM, carbon fiber molding process, HP-RTM, LP-RTM, wet molding and IMC. At the same time, the press also has the corresponding auxiliary mechanical interface and automation interface to meet the production needs. The press is widely used in automotive parts, high-speed rail parts, aerospace, military and other industries.

Key words: multi-rod; multi-cylinder; LFT-D; composite material; hydraulic press

YT71S-6000 复合材料液压机的设计制造,该公司根据北京某用户工艺要求完成的。该设备具有压制多种复合材料的模压成型工艺的功能,例如,热塑型LFT-D和GMT、热固性SMC和BMC、预浸料(PCM)、高压树脂传递工艺(HP-RTM, HP-CRTM)及湿法模压(Wet-Pressing)。该用户主要应用于LFT-D的模压工艺,其复合材料制件为新能源汽车行业的电池盖及底板等,如图1所示。



(a) 电池盖



(b) 底板

图1 复合材料制件

LFT是长纤维增强热塑性复合材料,具有以下优点:纤维长度长,明显提高制品的力学性能;比刚度和比强度高,抗冲击性能好,特别适合用于制作汽车部件;耐蠕变性能提高,尺寸稳定性好,部件成型精度高;耐疲劳性能优良;在高温和潮湿环境中稳定性更好;成型过程中纤维可以在成型模具中相对移动,纤维损伤小。

在新能源汽车行业中,LFT主要被用于制作结构和半结构部件,如前端模块、保险杠大梁、仪表盘骨架、电池托架、备用轮胎仓、座椅骨架、脚踏板及整体底板等。长纤维增强聚丙烯被用于新能源轿车的发动机罩、仪表盘骨架、蓄电池托架、座椅骨架、轿车前端模块、保险杠、行李架、备胎盘、挡泥板、风扇叶片、发动机底盘及车顶棚衬架等^[1]。

LFT-D成型技术是近年来新能源汽车复合材料行业中最受关注和市场应用增加最快的一种工艺技术。在LFT-D技术中,不仅纤维的含量及长度,而且连其基体聚合物也可以直接调整达到最终部件的要求^[2]。

* 收稿日期:2023-04-20;修订日期:2023-06-12

1 LFT-D基本工艺流程

LFT-D是长纤维增强热塑性复合材料在线直接生产制品的一种工艺技术。LFT-D模压生产线主要工艺流程如图2所示。

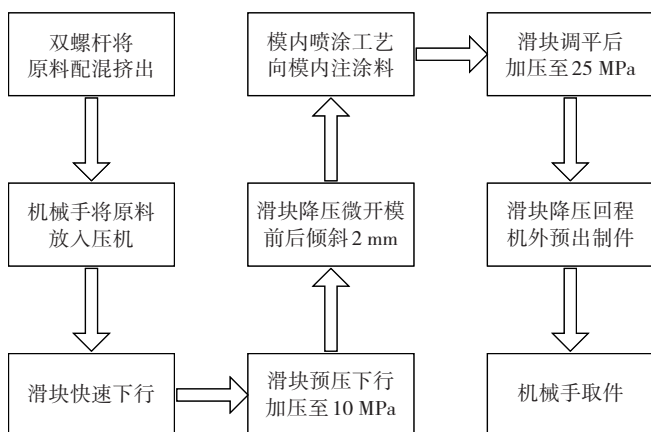


图2 LFT-D模压生产线主要工艺流程

具体流程说明如下：

(1)将聚丙烯(PP)原料和玻纤通过双阶双螺杆挤出单元配混,融合后根据质量及尺寸需要进行切割,传送到保温传动带中保温,等待压机发送可以送料信号指令;

(2)针刺式上料机械手依次将原料从保温传送带中搬运至压机模具中,搬运完毕后保温传送带闭合,上料机械手原地待命;

(3)压机进入半自动工艺流程,滑块快速下行,当上模接触LFT料片时,四角调平开始工作,保证滑块四角相对平整的预压下行,此时随滑块的慢速下行,LFT片料向下模型腔四周流动,当压力达到10 MPa时,滑块停止降压;

(4)滑块调平,加压下行,加压至25 MPa后,按工艺要求保压一定时间后,脱模缸微速开模,到开模结束后,滑块快速回程,同时外接下模的机外顶出阀组开始顶出制品;

(5)真空吸盘式下料机械手将压制完成的工件取出,放在外置工作台上。

至此,一个工艺循环流程结束。

2 YT71S-6000多拉杆多缸LFT-D复合材料压机

YT71S-6000多拉杆多缸LFT-D复合材料压机,因其工作台台面尺寸为左右5 000 mm,前后3 600 mm,开口高度为3 500 mm,滑块行程为2 800 mm,且用户厂房有限高要求,所以该压机的油缸布局设计为6个主工作油缸结构。采用6缸结构,不仅可以保证大台面下制品受力面均匀,保证制品的成型质量,而且可以降低上梁和滑块的高度,从而满足用户厂房的限高要求,同时还能降低压机的制造成本,进而减少客户的投资。

在同样吨位等级下,上下横梁与支柱接触面积越大,支柱的受力越均匀,集中应力就越小。故该压机共设计了16根拉杆的结构(即四角各设置4根拉杆),组合成预紧框架机身,该结构相比于传统4拉杆结构,拉杆的直径减小,数量增多,这样不仅减少了拉杆的制造费用,而且增大了各拉杆与上、下横梁的接触面积总和,使上、下横梁的接触压力减小,同时拉杆的受力也由4根分布到16根上,保证每根拉杆单体的受力减小,保证了压机整体刚度,如图3所示。

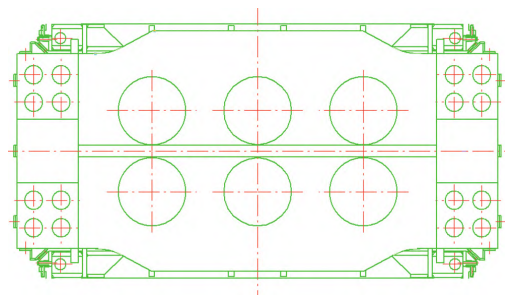


图3 YT71S-6000液压压机机身俯视图

该设备包含上横梁、下横梁、支柱、拉杆组合成框架式机身、滑块、6个主工作缸、4角4个调平油缸、左右支柱内侧两个回程油缸、液压系统、电气控制系统、安全系统、智能换模系统及其他辅助部件。预留自动化接口,配备足够的功能需求,满足智能化生产条件,满足各种工艺条件下的生产需求和后期自动化升级需求。

2.1 YT71S-6000多拉杆多缸LFT-D复合材料压机技术参数

YT71S-6000多拉杆多缸LFT-D复合材料压机技术参数如表1所示。

表1 YT71S-6000液压压机主要技术参数

序号	参数	数值	
1	公称力/kN	60 000	
2	开模力/kN	6 000	
3	调平力/kN	6 000	
4	回程力/kN	3 000	
5	最大开口/mm	3 500	
6	滑块行程/mm	2 800	
7	调平有效行程/mm	240	
8	工作台有效尺寸/mm	5 000 × 3 600	
9	滑块速度/(mm/s)	空程下行	800
		压制速度	1~80(可调)
		开模速度	1~80(可调)
		回程速度	600
10	调平精度/(mm/s)	1	± 0.05
		5	± 0.1
		10	± 0.2
		20	± 0.25

2.2 YT71S-6000 液压机机身结构分析

根据二维图样,对液压机进行三维建模。为使有限元分析时网格划分及迭代计算过程简化,对液压机机身部件进行简化,简化模型如图4所示。

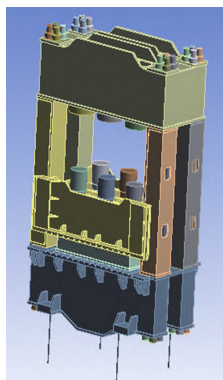


图4 三维简化模型

机身上横梁上面板及主肋板,下横梁上下面板及主肋板,滑块下面板及支柱4个立肋板材质均为Q345B钢,屈服强度为275 MPa,抗拉强度为470 MPa,其余材质均为Q235B钢,有限元分析时材质均设置为Q235B钢。

模型总体采用不同摩擦因数的Frictional约束来定义接触对,采用Fixed Support命令完全约束4个地脚螺栓处的自由度。6个主工作油缸及柱塞分别按照满载全压施加反向载荷,16个拉杆处分别施加预紧力。有限元模型如图5所示。

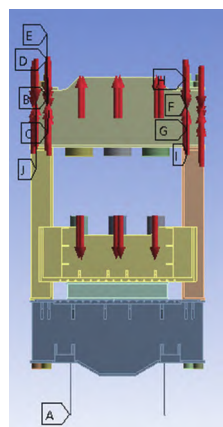


图5 有限元模型

在预紧时需要注意的是,模拟分析时拉杆的预紧过程与实际不同。实际的拉杆预紧过程比较复杂,主要因为拉杆数量较多,四角各4根拉杆,且先预紧的拉杆预紧力会在后面拉杆的预紧过程中有所减小。最优的预紧方案是四角拉杆按顺序同时预紧,最后预紧完再对先预紧的拉杆进行补压。

考虑该设备综合成本及利用率等因素,提供了两套预紧工具来对16根拉杆进行分步预紧,这就要求有一个合理的预紧方案。如图6所示,预紧方案:

采用两个预紧工具对角(对角分为左前支柱和右后支柱、左后支柱和右前支柱)同时预紧;每个支柱内含有4根拉杆,对4根拉杆按照位置分别标号为1,2,3,4。

预紧步骤:第1步,将预紧工具安装到左前支柱和右后支柱上标号为1的拉杆上,预紧缸预紧压力加压到1/2预紧的压力(12.5 MPa);第2步,将预紧工具安装到左后支柱和右前支柱标号为1的拉杆上,预紧缸预紧压力加压到1/2预紧的压力;第3部,依次按1/2预紧压力,预紧4个支柱的2号、3号拉杆;第4步,预紧各支柱4号拉杆时按公称预紧压力(25 MPa)预紧;第5步,依次按公称预紧压力(25 MPa)预紧4个支柱1号、2号、3号拉杆;最后一步,重新预紧4个支柱的4号拉杆,保证4号拉杆预紧压力达到25 MPa,至此预紧完毕。

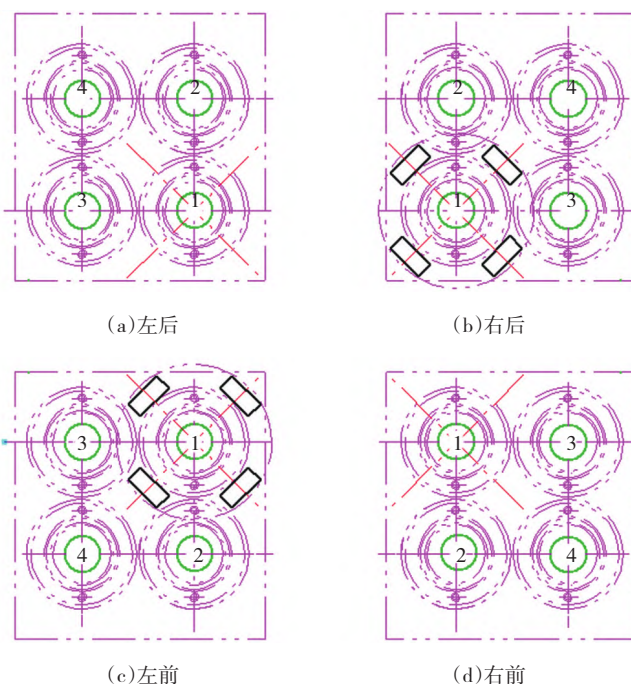


图6 预紧方案

有限元分析结果如下:

(1)上横梁等效应力分布如图7及图8所示。从图7可知,上横梁应力总体在92 MPa以下,且分布均匀,最大合成应力出现在主肋板等强度梁结构转角处(图8中的B处),此处应力偏高,明显影响应力向等强度梁中间区域(图8中的A区域)扩散。针对上述情况,设计时应进一步增大图8中的 α 角,同时减小A区域高度,使该等强度梁结构整体无应力集中,且整体高度适当,无冗余,方为最优方案。经过多次更改 α 角的大小及A区域的高度,最终确认方案为 α 角为 55° ,且将B处倒圆,圆角半径为200 mm。

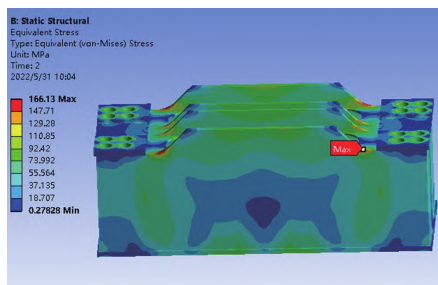


图7 上横梁等效应力

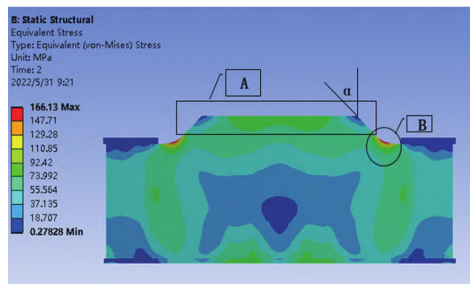


图8 上横梁等效应力

从图9可以看出,上横梁与拉杆锁紧所产生的局部挤压应力达140 MPa,出现在该处上面板与立肋板的连接处,此处的肋板材质为Q345B钢,小于许用应力。

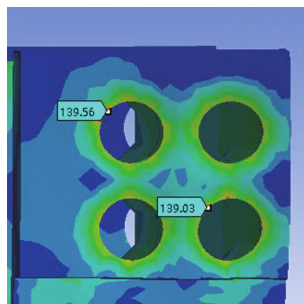


图9 上横梁与拉杆锁紧所产生的局部挤压

从图10可以看出,上横梁中心主缸前后位置应力最大,为135 MPa,此处的面板材质为Q345B钢,小于许用应力。

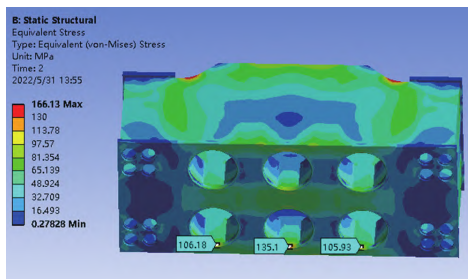


图10 上横梁主缸处应力

(2)下横梁等效应力分布如图11及图12所示。从图11可知,下横梁应力总体在90 MPa以下,且分布均匀,最大合成应力出现在主肋板等强度梁结构转角处(图11中的B处)的部分区域,此处应力偏高,明显影响应力向等强度梁中间区域(如图11中的A区域)扩散。针对上述情况,设计时应进一步增大图8中的 β 角,同时减小A区域高度,使该等强度梁结构整体无应力集中,且整体高度适当,无冗余,方为最优方案。经过多次更改 β 角的大小及A区域的高度,最终确认方案为 β 角为 55° ,且将B角处倒圆,圆角半径为800 mm。

从图12可以看出,与上横梁相同,下横梁局部挤压应力最大值为拉杆锁紧所产生的局部挤压应力,同样出现在下横梁下面板与立肋板的连接处,下横梁与拉杆锁紧所产生的局部挤压应力达125 MPa,此处的肋板材质为Q345B钢,小于许用应力^[3]。

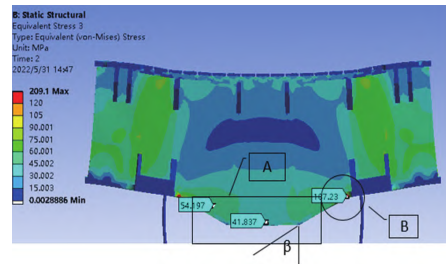


图11 下横梁等效应力

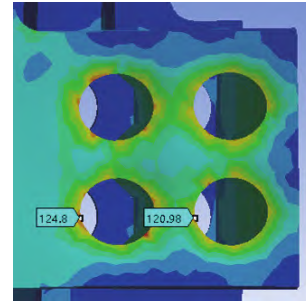


图12 下横梁与拉杆锁紧所产生的局部挤压

(3)滑块等效应力分布如图13所示。从图13可知,应力总体在30 MPa左右,最大应力为107.5 MPa,位置在与油缸连接的肋板处。

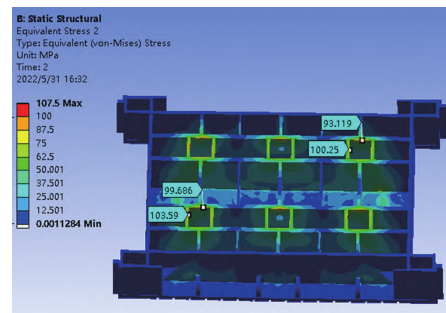


图13 滑块等效应力

(4)为了保证组合框架结构的液压机正常工作,必须使液压机在工作状态下,支柱与上横梁结合平面不产生间隙,因此,应对液压机的机身进行预紧。预紧状态时,拉杆被拉长,支柱被压缩,此时支柱受压应力。工作状态时,拉杆进一步被拉长,支柱压缩变形回弹,此时支柱受力大小相较于预紧状态时的受力有所减小。故模拟分析时主要分析支柱在最大受力时的应力状态,也就是预紧状态时的应力情况,如图14所示,应力大部分约为65 MPa,最大应力在支柱开孔圆角处,最大达156 MPa,为减小开孔处圆角应力,应尽可能增大圆角。

(5)结合设备使用工况,取液压机变形许用值 $f=0.002P$ (mm),其中, P 为压机公称压力(N),故本台液压机的最大变形许用值为12 mm^[4]。图15为机身总体变形示意图,最大变形量约为4.4 mm,其中纵向最大变形量为4.12 mm,均在变形许用值范围内。对于组合框架式压机机身而言,在全压工作状态下,上横梁与立柱之间是否开缝对液压机整体刚度、抗疲劳性及工件成形精度均影响显著^[5]。文中液压机模型在拉杆预紧应力系数取1的情况下,立柱与上横梁锁紧状况良好(如图16所示,仅开

缝 $0.206-0.2=0.006\text{ mm}$)。

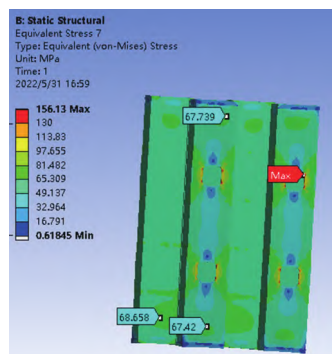


图 14 支柱预紧状态受力图

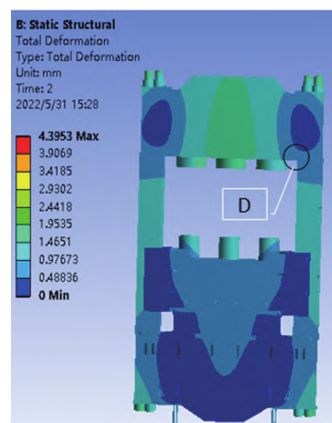


图 15 机身总体变形

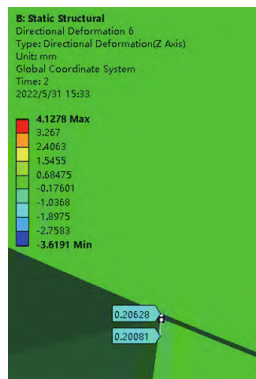


图 16 立柱与上梁开缝(图 13D 区域局部放大)

(6)图 17 及图 18 分别为上横梁与下横梁纵向变形,可以看出,上横梁下面板竖直变形量约为 $1.657-0.202=1.455\text{ mm}$ 。下横梁上面板竖直变形量约为 $0.39-(-0.61)=1\text{ mm}$ 。

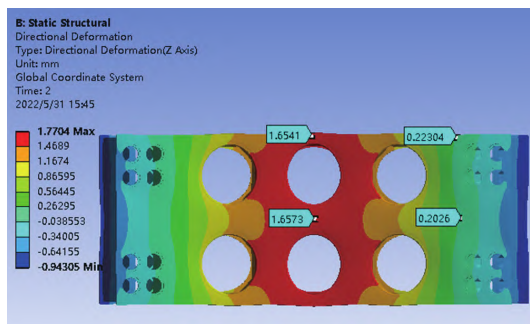


图 17 上横梁纵向变形示意图

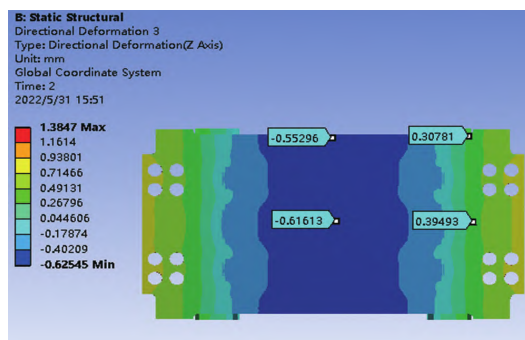


图 18 下横梁纵向变形示意图

经过分析计算,6缸16拉杆结构机身的强度、刚度及典型工况下关键零部件如上横梁、下横梁、滑块等的变形及应力满足要求^[6]。

2.3 智能换模系统

智能换模系统包括一台70 t蓄电池轨道换模车、一个80 t电动转盘和轨道。该套系统能够实现2个方向行走,如图19所示。

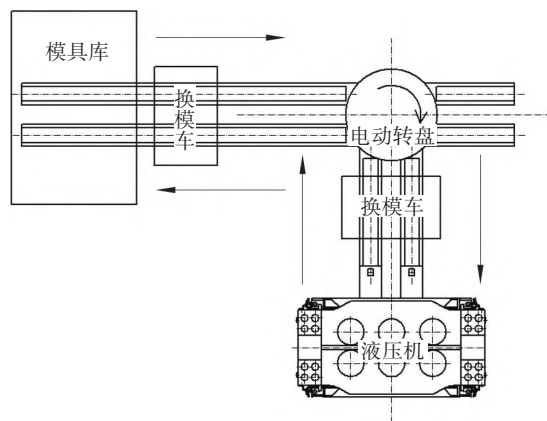


图 19 换模车行走示意图

电动转盘加轨道换模车是一种通过转盘转动,车体能够实现从一条轨道到另外一条垂直轨道上的物料转移方案。其原理是,电动平车运行至电动盘上,转盘旋转与垂直轨道对接,电动平车沿垂直于轨道方向运行,实现 90° 转弯,适用于环形轨道、交叉轨道等场合。转盘系统运行平稳,轨道对接精度高,可实现全自动电器控制。

蓄电池换模车由电源系统、传动系统、钢结构主架、行走机构、控制系统及故障诊断系统组成。蓄电池作为该车的电源,经过电器控制模块系统,给牵引电机提供电力并配备全自动智能充电机,实现换模车的启动、停止、前进、后退等功能。车上均配有安全警示和安全检测装置,遇到行人或障碍物立即报警并自动停止。蓄电池转运车上需带有十字定位中心线,用于模具的定位。

电动转盘是一种实现轨道平车原地转弯的设备,安装在两条轨道交叉的位置,其台面上铺设一条或多条轨道,轨道上表面与地面上的轨道上表面平齐,轨距与地面的轨距一致,平车完全运行至转盘上停止,转盘启动转动至需要的角度与地

面的轨道完成对接,平车再次启动沿对接后的轨道运行至指定的位置。可实现360°内的任何一个角度停止,也可实现井形十字交叉运行。电动转盘整体结构主要是由车架、回转装置、传动装置(电机、减速机、制动器)、定位装置、车轮、电器控制柜及操作装置等组成。

换模流程:在模具库中将模具吊装到蓄电池轨道换模车上→换模车沿轨道运行到电动转盘上→电动转盘顺时针旋转90°停止→换模车运行到压机内部停止→压机滑块下行接触模具停止(此时压机滑块会有约50 t的质量叠加到换模车上)→将滑块与模具连接(上下模具需锁紧)→滑块回程(带动上下模一起回程)→换模车移出压机至电动转盘处→电动转盘逆时针旋转90°停止→换模车移回模具库→完成换模。

该套换模系统可实现一键换模,液压机、蓄电池轨道换模车、电动转盘相互联动,不需要人员干预,按设定好的程序完成换模动作,换模准确性高,精度高,减少人员操作带来的风险。

3 结论

随着业内对LFT-D认知度的不断提高,以及汽车行业节能减排要求的日益严苛,LFT-D技术在国内的应用将逐渐增多。研制大型热塑性LFT-D长纤维模压成型工艺关键装备,实现对汽车覆盖件大批量、高效率、轻量化生产,为我国复合材

料在汽车产业中的应用提供了有力的保证,满足我国大多数企业实现汽车车身轻量化的要求,加快汽车产业的发展步伐,促进我国自主装备制造业的发展,具有重大意义。

参考文献

- [1] 赵振铎,刘延利.现代工业玻璃钢复合材料及成形技术[J].山东英才学院学报,2007,3:52-57.
- [2] 益小苏,杜善义,张立同.复合材料手册[M].北京:化学工业出版社,2009.
- [3] 宋继顺,张建民,李森.复合材料液压机偏载工况下滑块变形规律的研究[J].机械设计,2014,31(2):76-81.
- [4] 天津锻压机床厂.中小型液压机设计计算[M].天津:天津人民出版社,1977:95-140.
- [5] 俞新陆.液压机现代设计理论[M].北京:机械工业出版社,1987:31-38.
- [6] 刘景旺,王宏伟.15 000 kN三工位带偏载框式模锻压机机身有限元分析[C]//“装备中国”2017年“创新滨海SEW杯”高端装备创新设计大赛,2017:91-101.

作者简介:胡振新(1985—),男,高级工程师,学士,研究方向:液压机结构设计、机器自动化生产线设计。

E-mail:18649122930@163.com