载货汽车纵梁新型冲压生产线

中国锻压协会 （北京 100048） 宋拥政

【摘要】阐述了载货汽车纵梁新型冲压生产线——辊形线、冲孔线、折弯线及变截面压形线的组成、结构、性能、特点及其应用与展望，对业内具有参考价值和指导作用。

纵梁是载货汽车车架的主要构件，常规板厚为5～8mm，屈服强度为450～550MPa，腹宽为150～320 mm，翼高为40～95mm，长度为4000～12 000mm，通常采用定尺板料，通过大型压力机和模具，分序进行落料、冲孔和成形。

近年来，载货汽车纵梁在材料性能、截面形状及专用生产线方面有许多新的进展。欧洲现行纵梁板厚为5～8mm，屈服强度为500～700MPa，薄板取高强度，厚板取弱强度。载货汽车纵梁的趋势是板材增厚、高强、高韧，截面要求加宽、加高，车架梁由双层变单层，而车架载能不变或者提高，前提是要降低车重和成本。欧洲现行以直截面梁取代变截面梁，我国也正朝着这个方向发展，因为直梁更容易组织生产，减少了大型压力机和模具的投资。

在生产工艺装备方面的重大技术进步主要有：用辊压成形直截面梁；用三面冲孔机冲裁直梁腹面和双翼面孔；用纵梁折弯机将直梁沿纵向折成前宽后窄的车架形状；用液压力机和模具成形出直梁前端的变截面部分。这些装备都是专用生产线模式，将机、电、液、气、模集于一线，采用数控技术，具有较高的生产效率、自动化程度、生产柔性与可靠性，以及顺畅的物流状态，能够较好地满足现代载货汽车纵梁多品种、小批量的生产要求。

一、纵梁辊压成形生产线

辊压成形纵梁，是将定宽板材卷料经在线校平、辊压成形和定长切断，使之成为所需的U形直截面梁。纵梁辊压成形生产线由上料单元、开卷单元、校平单元、剪料头单元、辊压成形单元、切断单元、下料单元、液压系统和电控系统组成（见图1）。其工艺流程为：上料→开卷→校平→剪头→辊形→切断→下料。

图1 辊压成形生产线

纵梁辊压成形生产线能够满足不同板厚、腹宽、翼高的多种规格纵梁成形，达到所要求的几何精度，缩短辊形换产调整时间，具有较高的生产效率（≥20m/min）与可靠性。

1. 上料、开卷、校平、剪料头单元

上料单元由上料车体、升降料架和液压传动系统等组成，用于将卷料运送至开卷机上。开卷单元为双支撑结构，由液压缸自动胀紧卷料将其展开，芯轴转速正反可调，也可被动拖动旋转，或对卷料施加反张力。校平单元由机身、牵引辊、多组校平辊和齿轮减速传动系统等组成，可对卷料进行粗校平。剪料头单元用于剪切卷头和卷尾，料头剪板机为液压双缸上传动形式。

2. 辊压成形单元

辊压成形单元是纵梁辊压成形生产线的核心部分，有闭式和开式两种结构形式。

（1）闭式辊压成形单元 由整体机座、平辊

架、立辊架、辊子模具、校直机、减速箱、万向联轴节、减速机和直流调速电动机组成。其中，整体机座为全钢焊接，有足够的刚度和安装表面，保证平辊架、立辊架和校直机在上面的精确定位。平辊闭式构架由一对左右对称的牌坊、上下两副平行的辊轴与滑块组成。根据成形工艺，需要14组平辊架构成辊压成形单元的主体。当改变纵梁板厚时，需手动调整平辊架上下辊轴的中心距。立辊架是辅助辊压成形装置，根据成形工艺需要，在平辊架之间设置6组立辊架，在平辊架内设置3组立辊架。

辊子模具分上辊模和下辊模，分别装在平辊架的上下辊轴上（见图2）。

当改变纵梁宽度时，需要停机调整上下模具的轴向对分隔片。当改变成形圆角时，需停机在基型辊模上安装对分式新圆角辊模。

图2 闭式辊压成形单元

校直机由机架、两组上下平辊、两组左右立辊、两组偏转调整机构组成，用来调整纵梁腹面、翼面的直线度和整根纵梁的扭曲度。

齿轮减速箱有多组，经联轴器沿纵向串联，置于平辊架的一侧，用来改变驱动扭矩的输入、输出方式，匹配平辊架上下辊模转动的速比关系，通过万向联轴节，实现对平辊架上下辊轴的双驱动或单驱动。直流调速电动机和减速机，为辊压成形单元提供初始变速驱动扭矩。

闭式辊压成形单元结构简单、经济实用，适合单一规格批量生产，通过调换辊模的轴向隔片，可少量适应纵梁腹宽的变化要求，但调换时间较长，会降低生产率。对于频繁换产工况，闭式辊压成形方式不能满足使用要求，这种情况下可选择开式辊压成形方式。

（2）开式辊压成形单元　开式辊压成形单元与闭式辊压成形单元的主要差别是将机座由整体式变为分体式，将平、立辊架由左右对称的封闭形式变为左右对称可开合的悬臂形式（见图3）。同时，整体辊轴左侧或右侧的一组驱动变为对左右悬臂辊轴的两组驱动。

图3 开式辊压成形单元

分体机座有两组，一组为固定形式，上面安装着成形一侧翼面的多组悬臂式辊架，多组经联轴器纵向串联的减速箱，以及减速机和直流调速电动机；另一组为可移动形式，安装着成形另一侧翼面的多组悬臂式辊架和减速箱。移动机座由直流调速电动机驱动蜗轮、蜗杆，来调节辊压成形单元的横向开度，实现纵梁腹宽变化的快捷调整，通过蜗轮副自锁、电动机抱闸和液压锁紧，保证开度调定不变。两组机座上对称安装的减速箱，由多组花键轴套横向联接，实现了全部悬臂辊轴的同步转动。

开式辊压成形模具安装在辊轴悬臂端，换产时不调换模具。对于载货汽车纵梁成形而言，由于腹面和翼面的内圆角R受到材料性能而非板厚的限制，当$R<11$mm时板材易裂开，所以开式辊压成形纵梁辊模对应内圆角R为11mm。上下悬臂辊轴的中心距，可通过其上的变位齿轮，进行机动无级调节，以适应纵梁板厚的变化。开式辊压成形单元斜对纵梁腹宽、板厚的变化，实现了不用换模的快速调整，较闭式单元显著提高了生产效率和使用柔性。

3. 切断单元

切断单元决定着整条辊压线的成形速度，由测长装置、模具和压力机组成。通常采用跟踪下切断方式，以达到纵梁辊压线成形速度为20m/min的产能要求。切断长度由测长装置构成的闭环系统控制，允许预设长度，一般最大辊压成形速度下切断长度误差为±3mm。

切断模具和压力机有两种组合方式：压力机固定模具跟踪；压力机与模具一体跟踪。

压力机固定模具跟踪方式，其压力机为机械式，冲压次数为40～80次/min，模具为一侧无废料斜切模，可沿导轨与纵梁随动。当纵梁穿过模具达到设定长度时，模具即与其同速到达压力机下行冲压点，切断时模具与压力机之间有滑动，断开时间约0.5s。一侧斜切的纵梁断口存在错扭和毛刺，当纵梁腹宽或翼高变化时，需要更换部分模具零件。

压力机与模具一体跟踪方式（见图4）。模具为两侧斜切模，上置液压缸驱动，斜切模通过机动调节开度，以适应纵梁腹宽变化，对应整个腹宽范围只需两套上模。两侧斜切有废料切断，在两侧斜切之前，要在设定长度对应的纵梁腹面上预冲出10mm×100mm的横向腰形槽。压力机与模具一体跟踪方式在最大辊压成形速度下切断长度误差为+2mm。两侧斜切因受力平衡，纵梁断口良好。

图4 压力机与模具一体跟踪切断单元

4. 下料单元

下料装置由辊子纵送装置与链条横送装置组成。定长切断的纵梁被其后成形的纵梁推动，沿纵送装置前移。链送装置可摆升摆降，沿横向布置在纵送辊之间，当纵梁沿纵向被推进到设定位置，链送装置摆升将纵梁托起，横送至相邻的转序或堆垛工位上。

5. 液压和电控系统

液压系统分别为上料、开卷、校平、剪切提供液压动力。纵梁辊压成形线电控系统由强电柜、操作台、外部检测元件等组成。设有调整、手动、自动工作方式。由PLC集中控制，配有人机界面，采用人机对话输入方式，具有长度设定、状态监控、自动计数、速度设定、自动/手动进给、连续剪切、故障报警及系统保护等功能。PLC、人机界面、直流调速装置等采用PROFIBUS-DP总线连接，实现了总线控制，提高了通信速度及抗干扰能力，降低了故障率和维修成本。开式纵梁辊压成形线还采用了基于PC控制的开放式数控系统，通过以太网接口进入工厂局域网，实现实时在线显示，具有自动编程与优化、工艺参数自动存储、故障自诊断及远程监控等功能。

二、 数控纵梁三面冲孔生产线

数控纵梁冲孔线由上料、下料、辊道和送料单元、腹面冲孔机、翼面冲孔机、液压、气动及数控系统组成。各机械部分沿纵向排布。用于冲裁U形直梁腹面、翼面上的大量连接孔和安装孔，并能够适应多种纵梁规格的冲孔要求，具有较高的孔位精度、生产效率和稳定可靠性，以及较长的模具寿命。

纵梁冲孔线工艺流程为：自动横向上料→数控纵向送料→数控横移，以及液压冲翼、腹面孔→数控纵向出料→自动横向下料。

（1）上下料单元　自动上料、下料单元分别位于生产线首尾两端，均由多组横向平排的电动链送机构组成。链条上有推料装置，电动机驱动链条往复运动，自动完成寻料和上料，或者自动完成下料并返回初始位置等待。

（2）辊道单元　为纵梁沿纵向移动提供支撑、定位、顶紧和驱动。由进料支撑辊、摩擦进料辊、出料支撑辊等组成。进料支撑辊安装在上料装置链条两侧，纵向进料时支撑纵梁腹板内面，并将纵梁翼板的后外面定位，前外面顶紧。摩擦进料辊安装在进料区域，由其上的电动机驱动料辊，摩擦带动纵梁沿纵向移动。出料支撑辊安装在下料装置的链条两侧，出料时用于支撑纵梁腹板的内面。

（3）送料单元　是两套相同的数控传送装置，用于将纵梁夹紧并沿纵向送进和移出，分别置于上料支撑辊之后和下料支撑辊之前。纵向夹紧进料、出料装置由滚珠丝杠、伺服电动机、夹紧油缸、浮动夹钳等组成（见图5）。

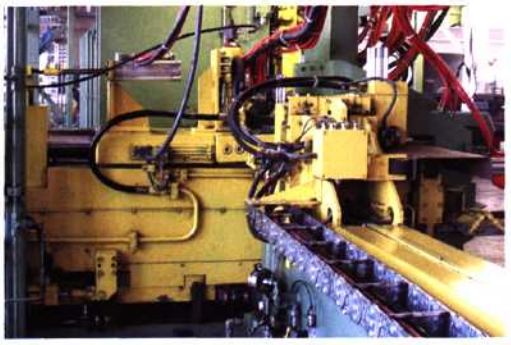

图5　夹紧出料装置和后翼面冲孔机

当纵梁被进料装置夹持并沿纵向移动到基准零位后，开始精确送进，进行冲孔，直到纵梁到达出料装置。出料装置将接替进料装置，保持对纵梁的夹持和精确送进，最终把纵梁送到下料装置上。进出料装置间排放着前后翼面冲孔机和腹面冲孔机，因此三面冲孔线可冲纵梁最小长度为5m。

（4）腹板冲孔机　主要包括固定床身、移动床身、冲孔油缸、模具与压料机构，以及进出料对中定位机构和前后检测装置等（见图6）。

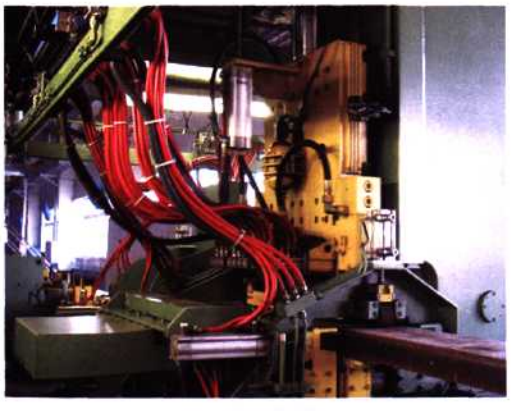

图6　腹面冲孔机

固定床身装有横向滚珠丝杠、导轨、伺服电动机等。移动床身通过导轨滑块与固定床身连接，在伺服电动机驱动下沿横向精确移动。移动床身上装有冲孔油缸、直线导轨、冲压滑块、冲孔模具与压料机构等。冲孔模具为双排直列式，其上模部分安装在冲压滑块上，通过气缸抽拉中间垫块实现选模，下模部分安装在移动床身的工作台上。压料机构实现冲孔前压料、脱模后离料。进出料对中定位机构安装在固定床身的进出料侧，对纵梁沿纵向移动进行对中定位。

前后检测装置分别以纵梁翼板的前后外面为基准，通过对应的精密位移传感器，检测出实际基准与名义基准间的差值，而后通过横向数控系统进行补偿，以保证翼板外面到冲裁孔径中心的尺寸公差。通常以翼板后外面为横向的实际检测基准。

（5）翼面冲孔机　由底座、移动机体、直列式模具和浮动装置等组成（见图5）。移动机体上部装有水平冲孔油缸、直线导轨、冲孔滑块和直列式模具。移动机体由4根立柱导向，液压支撑平衡机重，通过底座上的伺服驱动沿Z向精确移动。浮动装置保证冲孔时纵梁翼面靠到凹模上不会变形，送进时纵梁翼面与凹模留有间隙。翼面冲孔机在Z向装有精密位移传感器检测纵梁腹面偏差。在前翼面冲孔机的底座上还增加了横向伺服驱动装置，使移动机体沿横向移动，以适应纵梁宽度的变化。

（6）液压气动系统　液压系统由液压泵站、液压阀集成块、伺服阀、蓄能器及冷却装置等组成，用于控制夹紧、压料油缸，以及腹面、翼面冲孔油缸。冲孔缸工作时无杆腔和有杆腔均与蓄能器连通，形成差动快速冲压，蓄能器提供的有杆腔背压实现冲裁缓冲。采用机液先导控制的专用伺服阀，提高了冲孔缸的换向速度和冲裁入模量精度。气动系统由气源处理单元、气缸、气阀、磁感开关等组成，用于控制上料、夹紧、顶紧、选模及前后检测等。

（7）数控系统及冲孔编程　电控系统由强电柜、主操作台及移动按钮站组成，控制和协调整条生产线完成相应的工作。数控系统采用SIEMENS 840D 6轴控制，内置大容量PLC和硬盘，开放式系统界面友好，便于人机对话和程序管理，外部接口便于信息存储和程序转存，可通过以太网高速双向传输，或通过RS422或RS232正常双向传输。具有监控报警、故障自诊断、数据断电保持等功能，并可实时显示。全线采用了总线控制方式，工件自动编程软件，直接调用AUTOCAD图形或其他CAD软件生成的DXF、IGES格式的图形，通过人机界面

可自动生成纵梁冲孔程序。

（8）其他组线方案　以上介绍为三面冲孔线的基本组线形式。当纵梁腹面上存在部分较大的孔时，不宜组成直列式双排模通过腹面冲孔机冲裁，为了进一步提高冲裁生产效率，可复合形成其他组线方案。

三、数控纵梁折弯生产线

数控纵梁折弯线的最大折弯角度为±10°，角度控制精度为±0.1°，两折弯点间最小距离为300mm，以及生产率为4.5min/件。依次由上料、送料、成形、下料单元，以及气动、液压、电控系统组成（见图7）。主要用于对U形直截面纵梁及加强梁，沿纵向折弯成前宽后窄的车架形状，以适应纵梁板厚、腹宽、翼高、折弯角度的变化要求。具有柔性化、自动化、折弯模具自适应和折弯角度回弹自动补偿等特点，是传统模具压弯成形方式所不具备的。而传统的压弯成形需要大型液压力机和大量模具，且生产率低下。

图7　折弯机和送料单元

（1）上料、送料和下料单元　上料单元由固定料架、摆动上料架组成，满足坯料放置和上料需求，液压控制同步上料摆动。送料单元由输送辊道和伺服送料辊道组成，均可同步平行升降，以适应直梁折弯过程中输送高度的变化要求，通过伺服电动机、旋转编码器及光纤式光电开关，可精确完成料头定位、计长送料。下料单元由下料小车和固定堆料架完成出料及堆垛。

（2）成形单元　是纵梁折弯线的核心部分，由主机和模具组成。主机机身有固定和旋摆两部分，均为钢板焊接闭式结构，旋摆机身通过两侧同轴结构与固定机身相联，在油缸往复驱动下绕轴左右旋摆，在固定和旋摆机身上均装有压下油缸。专用折弯模具为多联组合式，对不同腹宽、板厚的纵梁具有自适应夹紧功能，对折弯过程中纵梁翼面变形能有效控制。通过旋转编码器、回弹检测光栅尺和机身旋摆比例控制器，使纵梁折弯、回弹角度均可精确测量和自动修正。

成形单元的工作过程为：当纵梁被精确送至第一个折弯点时，纵梁翼面被模具自适应夹紧，腹面被主机油缸压紧，旋摆机身向前（右）旋摆，纵梁被向下折弯，然后夹（压）紧装置松开，纵梁被自动送至第二个折弯点夹（压）紧，旋摆机身向后（左）旋摆，纵梁被向上折弯，成为前宽后窄的车架形状（见图8）。

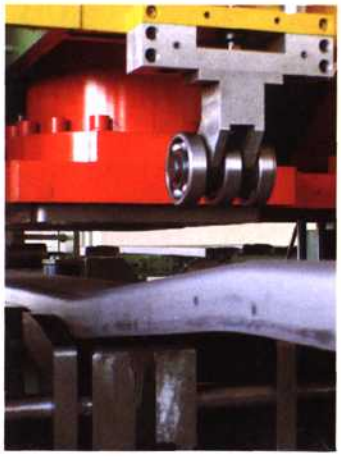

图8　纵梁被折弯成前宽后窄的车架

（3）液压、电控系统　液压系统由液压泵站、液压阀集成块、比例阀、蓄能器及冷却装置等组成，用于控制送料夹紧、升降油缸，以及模具上的多个夹紧油缸和机身主油缸与旋摆油缸。对机身旋摆油缸采用电液比例控制，保证了折弯精度。在重要油缸的进出口设有测压点，以利于故障诊断。

电控系统由PLC集中控制，配有人机界面，采用人机对话输入方式，具有折弯角度设定、数控伺服送料、状态监控、自动计数、故障报警、信息存储及实时显示等功能。同时设有调整、自动操作规范，可根据生产需求灵活调整部分工艺参数，以实现PLC、人机界面、伺服控制器的总线控制。

四、变截面成形生产线

部分车架要求直截面梁的前端呈变截面形状。通常采取割口、折弯和焊合的方式，但会导致纵梁前端的腹面扭曲、翼面锥口、强度减弱。新型的变截面成形是通过专用液压力机和成形模具，对U形直截面纵梁前端进行二次压力成形。经二次压力成形的纵梁变截面，几何形状稳定、美观，冷作硬化后强度略有提高。变截面专用液压力机公称力为10MN，最大变截面展开长度为2500mm。生产线由送料、成形、切割、下料单元，专用液压力机、成形模具和电控系统组成。

（1）送料、切割和下料单元　送料单元由输送辊道和变频送料辊道组成，沿纵向呈直线安装在成形专机的进料侧，可同步平行升降，以适应输送高度的变化要求，通过变频电动机、旋转编码器及光纤式光电开关，可精确完成料头定位、计长送料。纵梁前端被压成变截面后，送料单元将变截面部分送出压力机，通过人工等离子仿形切割，将变截面的多余翼面部分割除。下料输送辊道置于压力机出料端，经过人工割齐变截面的纵梁沿纵向送至生产线终端。

（2）专用液压力机和成形模具　压力机为宽台面四柱固定台式，上横梁、滑块和工作台为钢板焊接，机身由立柱和螺母构成封闭框架。采用恒功率双泵、双缸自重充液下行，两通插装阀式液压系统，能耗小，速度快，通流能力强。液压系统置于主机上横梁处，便于从四面接近工作台和连线使用。压力机的压力、速度和行程，可根据工艺需要进行调整。设有定压成形、定程成形工艺方式，固定控制、移动控制操作方式，以及调整、单次工艺规范。

每种规格的纵梁压制成为变截面，都需两套左右对称的变截面模具。每套模具有上模和下模，上模中有3组单作用压料缸，下模中有3组双作用顶料缸，具有压料和脱模功能。上下模座具有一定的通用性。

变截面成形过程为，纵梁前端被变频驱动送到要求的模具压制位置，压力机进入“单次”工作状态，即滑块快下、快转慢下、定压压制，在压制终了时滑块回程。在此过程中，上模压料板首先将纵梁腹面与下模压紧，直到滑块带动上模离开下模。当滑块回到上限位，下模顶料缸与送料单元共同将纵梁托起，而后送料单元将纵梁送出压力机。图9为正被送出压力机的变截面纵梁。

图9　正被送出压机的变截面纵梁

另外，还有将变截面多余翼面部分预先割除的组线方案。预割轨迹将是三维折线，可用机器人完成预割。预割后成形，可减少上模对下模的入模深度，提高上模工作寿命，并可降低模具和压力机高度，提高生产效率。

（3）电控系统　分为主机电控、辅机电控两部分，由强电柜、固定按钮站和移动按钮站组成，同上述其他生产线的电控系统一样，可控制和协调整条生产线完成相应的工作。

五、前景展望

综上所述，载货汽车纵梁生产线具有专用成套、数控柔性、自动高效、物流顺畅的显著特征。世界级的载货汽车纵梁冲压生产车间的装备布局，将是由一条辊压成形线打头，三条并列的冲孔线随后，再经过大型立体输送线对纵梁进行辨识、分类，然后分送到折弯线、变截面成形线、或纵梁端头切割线，继续后序制作，实现真正意义上的少库存或无库存，以及与节拍相匹配的即时化生产。

因此，保障生产线可靠运行，提高生产线工作性能，对生产线运行状态及时做出判断、调控和预警，实现智能化数字控制和网络化远程监测，将是纵梁新型冲压生产线研制和使用的发展趋势。MW

（20110320）