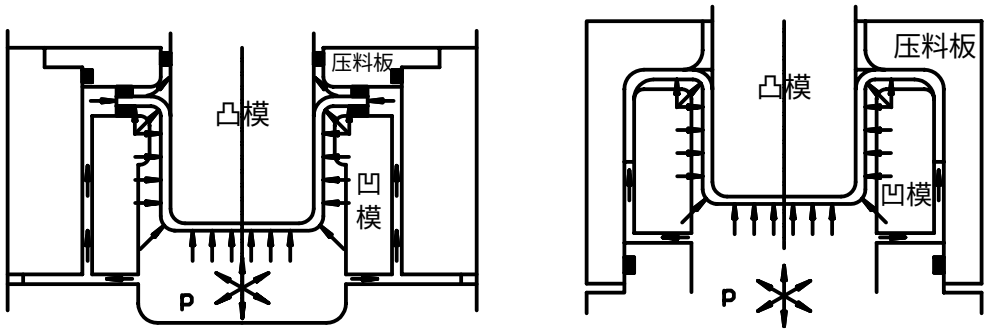
所示的方法成功地加工出拉深比达 3.3 的筒形件，此后对此方法进行改进，提出了周向液压充液反拉深技术，如 1-11(b)所示，拉制出拉深比达 6 的零件。在文献[70]中日本的中村和中川指出了径向加压的液压反拉深（Reverse Deep Drawing with Hydralic Counter Pressure Using the Peripheral Pushing Effect）的原理，并针对此工艺方法做了实验，讨论了这种方法的断裂类型。在文献[70]中将断裂形式分为三种：X－型断裂（发生在冲头的圆角处）、Y－型断裂（发生在凹模圆角处）、Z－型断裂（发生于反拉深的胀形区）。X－型断裂表明背压不足以将已拉深部分紧贴在冲头上来避免相对滑动。Y－型断裂在传统背压拉深方法中常在压边力过大时发生。在这种新方法中会因缺少前道工序拉深壳体的推力而发生。而 Z－型断裂则是由于初始液体压力的过度胀形所致。



（a）周向液压充液拉深　　（b）周向液压充液反拉深

图 1-11　周向液压充液拉深技术

以色列的 Yossifon 和 Tirosh 考虑了周向压力下法兰弯曲的不稳定性分析，并将能量方法应用于弯曲和起皱的现象的分析中，推导出毛坯外形（$\sqrt{E/Yt}/b$），法兰宽度（1－ρ）和抑制弯曲的最小液体压力之间的关系。Yang 等人利用有限元方法对此项技术进行了分析，优化了工艺参数，并将其应用到传统拉深成形中，使零件拉深比得到了极大的提高。

5. 无模充液拉深成形技术（Hydromechanical deep drawing without draw die）

无模液压拉深成形技术的原理如图 1-12 所示。在板材成形过程中，液室中的液体压力均匀地加载在板材的下表面，同时，压力也加载在板材的周向，协助板材成形，从而可以极大地提高板材的成形性。此技术综合了

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

橡皮囊成形、充液拉深成形和周向液压成形等技术的优点，使之具有以下优点[71]：

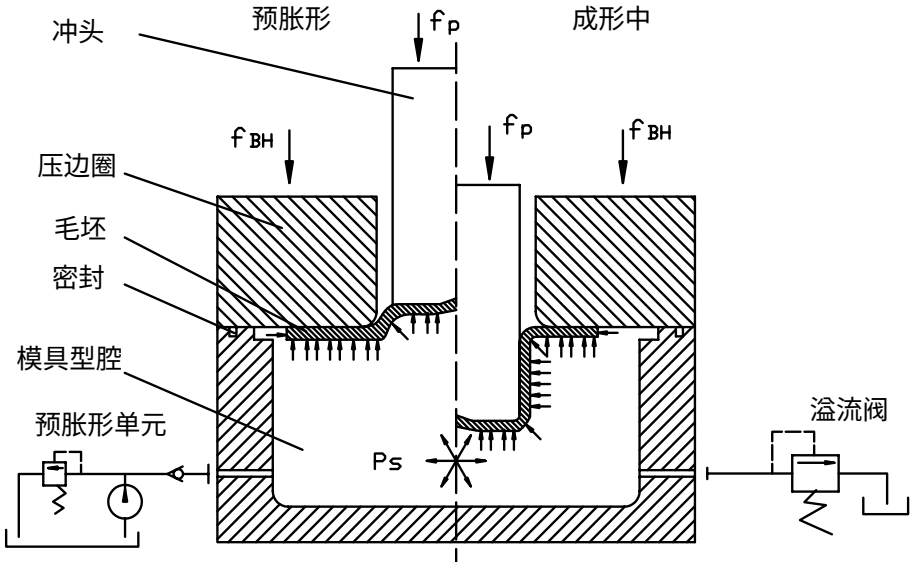


图 1-12　无模充液拉深

1) 加载在法兰上的力是均匀的且等于液体的作用在模具型腔上的压力。这种“纯”的边界条件使得更加容易对充液机械拉深（HDD）进行模拟。

2) 通过对溢流阀的调节能很容易精确地控制作用于模具型腔的压强。

3) 随着冲头位置的作用选择适当的液体压强，可以成形零件而不让毛坯和拉深模具有接触（拉深过程中零件外表面没有任何刮痕）

4) 对毛坯周向的压强等于模具型腔内的液体压强。这个周向压强增加了最大拉延比。

5) 模具简单不需要特殊的密封装置。

6) 没有橡皮膜参与成形，消除了由于橡皮膜受损而造成的模具寿命问题。并且对于低硬度材料或镀层板的成形，不会造成成形零件的表面划伤。

Aalborg 大学已经对此项技术进行了大量的研究，并拉制出拉深比稳定达 2.86 的 Al-1050-Ho 筒形件，最大拉深比达到了 3.0；用 Al-Mg-Si 系列铝合金拉深时，其拉深比达 2.46。

Aalborg 大学还利用数值模拟技术深入研究了板材在此项成形技术中

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的变形规律，探讨了各种工艺参数对零件成形性的影响，比较了各种屈服准则对铝合金零件模拟精度的影响。在采用 BARLART 89 屈服准则对铝合金零件的成形过程进行模拟时，模拟结果与实验结果较为接近，证明 BARLART 89 可以很好地表达铝合金板材的成形（符合 FCC 晶体材料结构）。

6. 液压成对成形（hydroforming of sheet metal pairs）

液压成对成形是德国于 90 年代提出的一种板料成形新工艺(hydroforming of sheet metal pairs)。德国的 P. Hein 和 F. Vollertsen[72]提出了此工艺，并做了实验及有限元模拟来证明此工艺的可行性。此外，他们已经对铝合金的液压成形进行了实验和理论分析，并提出了提高这种材料的可成形性的几种不同的方法[73]。

板件成对液压成形时，首先将叠放的两块平板毛坯放置在上下凹模中间，压边后充液预成形，边缘切割，对边缘采用激光焊接技术焊接。然后，在两板间充液加压进行最终校形，如图 1-13。这种工艺适于成形舱体零件，有助于生产出实现各种交通工具轻型化的零部件。

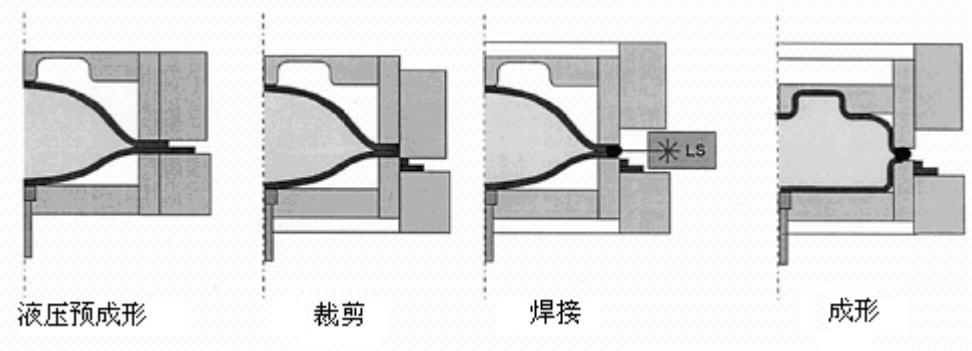


图 1-13　液压成对拉深

此工艺的主要优点是：

1) 能在交叉区域成形有很大不同点的中空体。

2) 可将几个工艺过程组合到一个模具中（比如成形，剪切和焊接）。

3) 通过组合拉深和拉伸工艺极好地利用了材料的可成形性，提高了应力分布的一致性和部件的强度。

4) 此外，采用液压成对成形可缩短生产周期，产品与模具贴合程度好，

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

尺寸精度高，弹性变形小，通过高压塑性变形使残余应力接近完全消除。

7. 粘性介质压力成形（viscous pressure forming，VPF）

粘性介质压力成形(VPF)是近几年发展起来的一种板料柔模成形工艺。传统的板材液压成形使用有添加剂的水作为压力介质。然而，VPF 在液压成形的过程中使用粘性材料介质。此工艺能提高密封性能，减少泄漏，更加容易处理小批量的试验生产[74]。在这种方法的简单应用中，成形介质被压入板材要被成形的一面，而从另一面可以通过一个或者多个端口来进行可控减压。对于更加成熟的应用则可以提供一个实时“ 自适应模具 ”来改变模具形状和材料的成形过程以提高成形件的成形精度[75]。

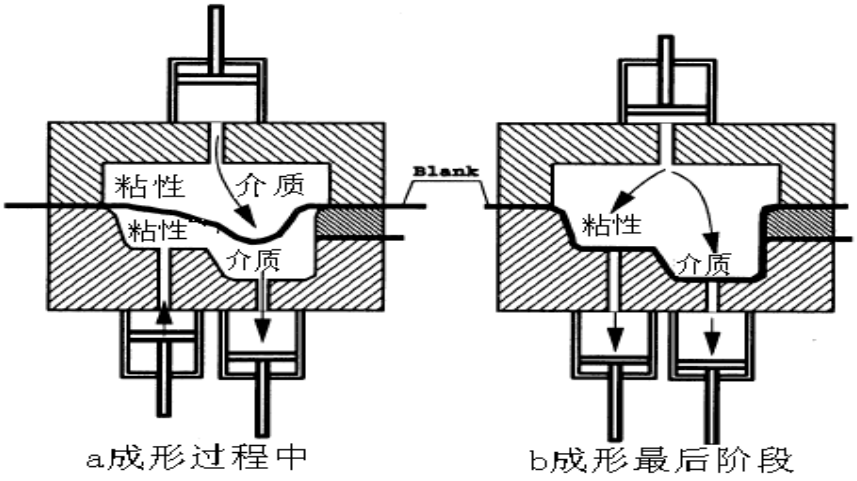


图 1-14　粘性介质压力成形

成形过程如图 1-14。在成形过程中，首先将板料置于凹模型腔上，闭合型腔，并压紧压边圈，将粘性介质从板料的两侧(或某一侧)注入并充满模具型腔。然后以一定速度向下推动主活塞内(上活塞)的粘性介质，同时凹模处活塞向上推动介质以保证在其附近的板料下表面有一定压力使之暂缓变形，凹模处活塞向下运动，从而使与板料下表面接触的介质层和介质体中有一种理想压力分布，使凹模处先产生变形，继续加压，控制各个出口介质的流动和各处压边力的大小，调节压力分布，金属以一种理想方式成形。最后，当板料变形近似于凹模型腔的形状时，调节并加大压边力，降低凹模处活塞缸内压力，使介质同时从下面的两个活塞缸流出，继续推动主活塞，使板料最终变形贴模，加压校形，获得精确和满意的零件。在

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

成形过程中粘性介质形成理想非均匀分布的压力是这一工艺中的关键因素，并且认为粘性介质从两边流入更有利于板料延伸的均匀性。

粘性介质压力成形技术的特点如下[76]：

1) 板料成形过程可控　由于粘性介质的使用，在板料上下表面产生非等静压场，可以按需要来控制和优化板材的成形过程；

2) 可提高板料成形性能　由于粘塑性介质的存在，改变了板料在成形过程中的流动模式及应力状态，平均成形压力值高，从而大大提高了板料的成形性；

3) 显著提高产品尺寸精度与形状精度，减少回弹　该工艺是在粘性介质产生的高压作用下使零件成形，因而增加了三向压应力的成分，减少了回弹量，提高了零件的尺寸精度；

4) 零件表面粗糙度降低　在成形过程中板料通过高压介质作用而形成的“凸坎”流入凹模，这样就减少了板料的机械擦伤，使零件表面粗糙度降低；

5) 零件厚度分布均匀　粘性高压介质与板料之间存在摩擦力，同时粘塑性介质应变速率敏感性使其在模具型腔内能迅速建立起压力，板料变薄使介质变形抗力增加，从而对板料的变薄起阻碍作用，因此板料局部变薄率下降，厚度分布均匀；

6) 模具通用性强　更换不同的凹模或者凸模就可以用同一套装置来成形不同形状的零件，大大降低了成本；

7) 工作环境好，介质不粘零件，零件破碎时不发生飞溅。

此方法由于粘性介质的物理特性，可望在成形技术上实现冲压加工过程的实时控制，以期充分扩展变形区，最大限度地发挥材料本身的塑性变形能力。

美国的 Leonid B. Shulkin[77]等设计了一个八点的 BHF（压边力）控制系统和一个弹性的压边圈，并进行了实验分析和数值模拟。指出了 VPF 方法需考虑材料、需要更大的夹紧力等不足之处，和其在成本上的优势。为了验证 VPF 工艺的成形能力 Mustafa Ahmetoglu[74]等在 ERC/NSM 实验室使用三种不同的材料 AKDQ 钢(AISI 1004)，铝合金 6111-T4 和 Inco718 SPF 做了一系列的实验。这些材料都是在汽车和飞机制造业中使用的金属。此

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net