外，他们还进行了有限元的模拟。结果显示，可以使用简单的模具设计、应用普通的压力来成形简单件。撞击力和柔性力能用于产生介质压力和提供介质的密封。然而，在这套装置中工件能被成形的尺寸和形状决定于受压过程中最大的冲击力和柔性力。

在国内对 VPF 的研究相对较少。南昌航空工业学院成功地用粘性介质作为软凹模加工出直升飞机上的难成形件。北京航空航天大学李新军等通过 VPF 实验与以水为介质的液压成形(HF)模拟的对比分析，得出了 VPF 成形过程中的一些工艺特点，并分析了 VPF 工艺在飞行器制造中的应用前景。哈尔滨工业大学王忠金等利用非均匀压边力板料粘性介质拉深成形方法，通过控制板料局部压边力的不同，使板料可控制地流入凹模口，板料成形具有顺序性，给出了拉深件几何形状和厚度分布[76]。郭斌，罗荣华，戴护民，邢晓冬[78]等人研制出了粘性压力成形专用设备。

1.3.5 液压拉深的应用现状[58]

由于在产品质量、经济性方面的明显的优势，目前液压拉深在工业中已经有许多应用。此技术在日本的应用较多，日本在 1987 年之前就已经有了 300 多种工件是利用液压拉深技术成形的了。已经应用了此工艺的材料包括软件金属，铝板材，钛合金和不锈钢板材，厚度大约 0.2~3.2mm。高强度的板材金属和涂覆有聚四氟乙烯的软质板材的液压拉深也有应用，成形尺寸从 30×30×30mm 到 1200×1000×250mm，应用领域大多数集中于灯具的反光系统，航空和汽车部件。

1．液压拉深技术在日本的应用主要集中于以下几个方面:

1) 光学反光装置。这些零件通常是由铝合金板材制造，几何形状复杂，而且尺寸较大。采用普通的旋压方法成形时经常需要 6 次成形，采用液压拉深技术则只需要一次成形就可以了。此外，通过液压拉深技术成形的工件其内表面质量更好，厚度分布也更加均匀了。相应的模具费用降低了，适合于小批量的生产。汽车反射罩的生产率是每分钟每台机器生产 8 件。一台机器每个月能生产出 20000 件。

2) 航空部件。航空部件要有高的安全性能，因而应该避免局部变薄现

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

象的发生。由于液压拉深过程中的“摩擦保持”效果，所以液压拉深工件的厚度分布相对而言更加均匀。许多铝合金的航空部件采用液压拉深成形来代替旋压成形。

3) 汽车零部件。由于需要更少的工步，减少了凹模，有部分汽车零件已经通过液压拉深来成形。除了汽车反光件，还有汽车面板部件（车身）都利用此技术来制造。比如厚 0.8mm，长 650mm，宽 420mm 的挡泥板饰件是使用这种方法成形的。Nakamura 等报道了液压成形在丰田汽车公司的应用，在该公司共有 11 个主要的部件通过这种技术来成形，包括挡泥板，里门等。随着多样化的市场需求，通过经济的液压拉深技术可以制造出好质量，而不贵的个性化汽车。

4) 厨具和家电用品。在这个领域的应用开始较早，但是没有更加详细的报道。

2．在其它国家拉深技术也有较多的应用：

在 1967 年的时候就有关于应用液压拉深技术成形反射罩等的锥形中空体的报道。只用一次拉深就可以成形中空的锥形工件。然而使用普通的拉深工艺时却需要五次拉深和一次精整。1996 年时，据报道在美国使用此项技术来生产汽车引擎上的上油面板。1977 年使用此技术来制造发动机的机盖（LDR=2.76）。在中国在 1970 年使用液压拉深技术来成形拖拉机油箱。在上世纪 80 年代，在广州的一个工厂生产出了深度 200mm 的不锈钢的杯体。成都飞机工业公司引进了 ABB 公司生产的 7.7 万吨橡皮液压成形机[79]。

除了上述的材料外，其它的材料比如纯铜和黄铜的液压成形也已经有相应的试验。液压拉深的应用主要集中于汽车工业。据报道荷兰金属公司和一个德国汽车公司已经将液压拉深技术用于成形汽车零件比如排气管和发动机支架，每年产量有 150 万件。成形件较复杂，质量较轻，便宜，表面质量较高，特别是使用高强度钢的时候这些优势更加明显。据报道液压成形已经用于通用汽车和德国的 Magna 国际公司的汽车零件的生产。

液压拉深可用于生产汽车拉深件中，获得小规模的产品效益。这主要是因为只需要一个刚性模具。柔性成形是一个生产原型零件的无与伦比的工艺，可以使用便宜材料来生产刚性的模具。可以使用同一套模具来生产具有不同壁厚的产品。液体室工艺允许在一次循环中生产出几个部件，还

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

不需要清洗模具。

液压拉深能减少模具费用（只需要一个精确制造的凹模或者是一个凸模），生产循环模具费用能被减少到原来的 75%，而研发周期时间减少到原来的 60%，这个工艺特别适于成形原型板材金属零件和少量生产的系列产品。BMW，VOLVO，Mervedes-Benz 和巴黎的 Lebranchu S.A 都已经装备了 quintus 压力机以实现液压拉深生产。有报道使用液压拉深来成形卡车车身零件，后护板和挖土机车门。在汽车工业中其它使用柔性成形技术的公司还有 SAAB，GM，Audi，Ford，Peugeot，Citroen 和 Renault。

随着板液压成形技术应用潜质不断被挖掘出来，技术上的瓶颈问题不断被解决，此项技术必定有很好的将来。从设备、工艺、理论与数值分析几个方面可看出它的某些发展趋势。设备方面的主攻方向是预紧钢带缠绕增强结构的板液压成形机；工艺上主要有拼焊板的液压成形，常温下低塑性材料的液压热成形、对胀成形、复合成形等；数值模拟技术主要用来进行优化和分析，以便对成形过程有更深的理解。另外，还可能与物理、化学等学科知识更紧密结合，以研究液体压力对板材内部变形机理的影响，探讨板材与模具之间的摩擦磨损，提高板材的成形性等。可以期望，不久的将来，液压成形技术将有更成熟、更广泛的应用[44]。

1.4 本课题的研究内容

1.4.1 问题的提出

由上述的介绍可知，拉深技术普通应用于生产过程中。而盒形件广泛应用于电子部件和汽车部件中，如电池盒、半导体盒和汽车反光镜、汽车油箱等。以盒形件为代表的非轴对称零件，由于同时存在直角边和圆边，因而在拉深过程中变形过程较为复杂。对盒形件的研究有助于盒形件拉深工艺的进步，同时对其它的非轴对称零件的拉深工艺的提高也能有很大的促进。

在液压拉深中使用了液体来代替刚性模具。在液压拉深过程中的“摩擦保持效果”和“溢流润滑效果”，有利于减小有害摩擦，增加有利摩擦。

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

从而可获得更好的工件表面质量和厚度分布，此外还能提高板材极限拉延比，相应地降低模具制造费用。然而，目前对于液压拉深的规律性研究相对较少，而且大部分研究工作主要集中于液压拉深对筒形件的成形的影响。而对于在实际生产中应用较广的盒形件、汽车覆盖件的研究较少。

1.4.2 本论文的组织路线

本人在硕士阶段的培养是根据宋玉泉教授的“科、教、产”一体化的培养模式进行的。“科”是指科学研究，本人的论文工作是本所的板材成形工艺研究的一部分。“教”是指人才培养，通过研一和研二的学习，本人已经在宋玉泉教授的指导下完成了基础课程的学习，并阅读了大量课题相关的文献，对拉深工艺及液压拉深工艺有了一定的认识和了解。“产”是指论文的研究成果对生产力的发展要有所贡献。我的研究生论文工作主要是研究液压拉深技术这一国内相对较新的技术，这将对我国对拉深技术的研究及应用提供一定的导向。

1.4.3 本论文的研究内容

由上综述可知，拉深工艺能用于生产中成形圆筒形件、阶梯圆筒形件、锥形件、球面零件等各种复杂的曲面零件。然而，由于传统的拉深工艺采用刚性模具，容易引起起皱、拉裂等缺陷。液压拉深技术由于有“摩擦保持效果”和“溢流润滑效果”的存在，所以使用此方法成形的零件具有表面质量好、厚度分布均匀、有较大的极限拉延比等优点。此外，液压拉深技术还有容易成形复杂件的潜质。从这种技术出现到现在，人们已经提出了多橡皮囊成形、液压机械拉深、充液拉深、粘性介质压力成形等技术。然而液压拉深技术的应用却相对较少，目前只在日本、瑞典、德国、美国等少数工业发达国家有应用，而且其应用领域也较小。这一方面是由于液压拉深设备昂贵，另一方面也是由于目前对于液压拉深规律的研究尚不完善。对于大多数提出的液压成形技术，人们只是简单介绍了其在拉深筒形件上的优势，而对其在非轴对称件上的应用研究相对较少。在实际工业生

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

产中的拉延件多是盒形件，汽车覆盖件等非轴对称件。所以对盒形件液压拉深技术的研究将有利于得出液压拉深技术的更普通的规律，并能推进液压拉深技术的应用。

在本论文中将主要研究以下内容：

1．总结盒形件的成形机理及工艺过程的研究进展。

2．将盒形件的液压拉深与传统拉深相比较，特别是对两种工艺成形的零件的壁厚分布及冲头压力等进行对比。

3．利用有限元数值模拟的方法对盒形件液压拉深技术中的几个重要影响因素进行分析。

4．提出新的液压拉深装备，并初步验证其优越性。

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