

汽车高强度钢板冲压产品 回弹补偿和回弹控制研究

□ 成都普什汽车模具有限公司/闫庆禹 段彦宾

本文研究了两种回弹补偿方法联合使用预测回弹，利用数值模拟回弹补偿和逆向工程回弹补偿联合使用的方法。大大缩短了模具开发周期，降低了模具开发成本，是非常有效的高强度钢板产品回弹补偿方法。

在节能、环保和安全成为当今世界汽车工业关注的重要课题的大背景下，汽车轻量化技术的现实意义是毋庸置疑的。在不牺牲车辆安全性前提下新材料大量被应用，而这些新材料中高强度钢板运用最为经济和广泛。然而高强度钢板的成型难度大，回弹更大，回弹形式更为复杂，给保证产品精度、焊接精度以至整车精度带来困难。本文讨论了目前常用的回弹补偿方法，利用数值模拟回弹补偿和逆向工程回弹补偿联合使用的方法。利用公司的实际项目，用此回弹补偿方法对典型的B柱高强度钢板产品进行研究，证明了此方法的可行性。

汽车数量的增长对环境带来的压力越来越大，各类机动车辆排气污染已占城市大气部份污染物的70%以上。

经试验证实，车重每减轻10%，可节省燃油3%~7%，车重

每减少100kg，油耗可减少0.3L/百公里。如何在保证汽车安全性前提下降低车身质量是非常矛盾的，目前采用高强度钢板替代普通钢板最为经济，应用更为广泛。然而高强度钢板的成型难度大，回弹更大，回弹形式更为复杂，给保证产品精度、焊接精度以至于整车精度带来困难。

一辆轿车包含约300个冲压产品，需要约1 500套冲压模具。冲压模具开发周期占用汽车开发周期的2/3，而费用占整个汽车开发费用的1/2。高强度钢板模具的开发常因模具回弹问题造成模具报废，造成车型开发周期延长成本增加。

模具开发企业采用更精确的计算机模拟分析来预估回弹量，采用有效的回弹控制方法和回弹补偿方案，以达到缩短模具开发周期、减少模具改修次数的目的。对缩短汽车开发周期、降低汽车成本具有重

要的意义。

高强度钢板回弹补偿 研究现状

回弹模具补偿法，即通过对模具型面进行预修正，使得冲压件回弹后的形状刚好和设计模具相同，这种方法可以从根本上解决汽车外覆盖件成形的回弹问题。

Oral、余同希讨论了柱形弯曲回弹的模具补偿算法，王晓林进一步对非圆弧弯曲回弹的模具补偿算法进行了研究。

上海交通大学的汪晨、张质良利用反向回弹补偿进行模具设计的算法，循环利用技术机模拟分析确定回弹补偿量。采用此方法可以得到比较精确的回弹补偿量。

还有很多研究都取得了很大的进步，本文结合这些研究成果在实际产品中进行运用，并结合现代手段进行了研究。

典型高强度钢板产品的回弹补偿

1.B柱加强板的拉伸成形及回弹分析

本文选择的产品是B柱加强板，此产品是典型的汽车高强度钢板产品，该产品的模具由普什模具公司开发。下面对该产品与模具开发过程中的回弹补偿方法做详细的论述。

(1) 产品介绍。材质为JSC590RN-45/45，产品板料厚度为 $t=1.4\text{mm}$ 。对产品进行补充，铺设压料面，产品和工艺面图1。

(2) 将工艺面倒入分析软件中，建立有限元分析模型，划分网格，设定材料特性曲线，确定 n 值与 r 值，见图2。

(3) 其他条件设定，压边力、冲压力、摩擦系数、模具间隙。进行成形分析，并对成形分析结果进行回弹分析，结果如图3。

为了更好地研究回弹趋势与回弹量，我们在图6中不同位置作截面，分析不同位置的回弹变化，如图4。

从图4中可以看到回弹的不均匀性，产品形状复杂不对称致使坯料流入不均匀，造成成形后回弹的不均匀性。成形性的不均匀可以从变薄云图和流入量云图中判断，见图5。

2.数值模拟回弹补偿

拉伸的回弹不能代表产品回弹数值，在切边过程中部分内应力消失而造成的内应力场的平衡重新建立，因此，产品回弹趋势与回弹量可能发生改变。

建立切边线，导入模拟软件中。用导入的切边线生成切边边界节点并对局部节点进行调整，生成新单元将其应力、应变场进行传递，然后进行切边回弹模拟。将拉伸回弹分析结果与切边回弹分析结果进行比对，可以发现在切边前后

的回弹趋势基本相同，但切边后的回弹量较切边前大。最大不同是在切边后由于应力释放不均匀造成了产品一定的扭曲。分析结果见图6。

根据循环位移补偿法，反复3次模拟回弹数据进行回弹补偿

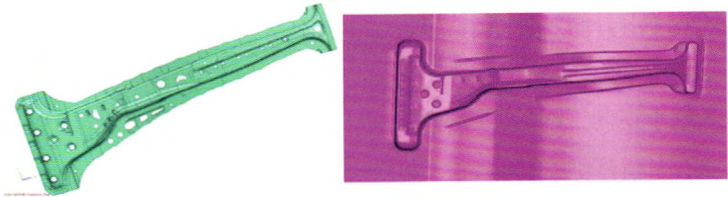


图1 产品数模和工艺补充面

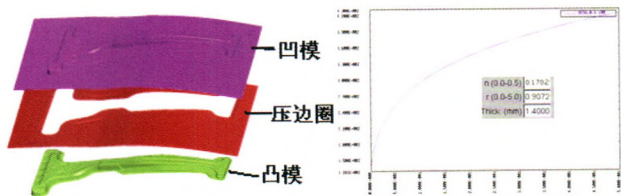


图2 有限元分析模型

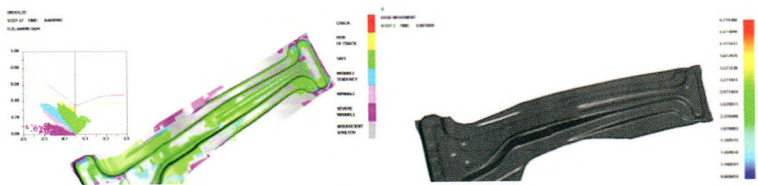


图3 成形分析和回弹分析结果

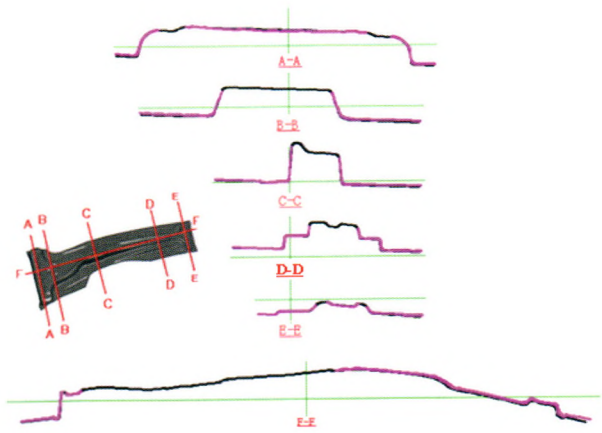


图4 回弹截面分析图

后得到用于加工的拉延补偿数据FACE1，补偿后的数据与产品比较如图7所示。

根据数值模拟补偿回弹的循环位移补偿法制造的拉延模，生产的拉延样件，如图8所示。

由于实际模具生产条件与数值模拟的理论条件存在差异，致使使用FACE1回弹补偿数据制造的模具生产出的产品还是存在少量回弹。

3.基于逆向工程的回弹补偿

通过数值模拟回弹补偿后，生产出来的产品还是有少量回弹，为了保证再次回弹补偿的准确性，采用基于逆向工程的回弹补偿方法。

对产品进行扫描，扫描后对采集的点云进行处理后，将扫描的点云与产品数模进行拟合。如图9。

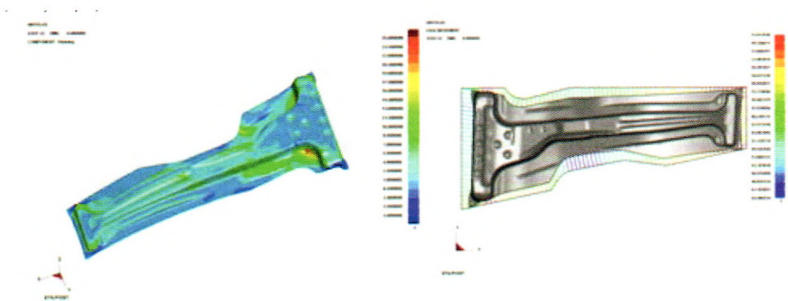


图5 变薄云图和流入量云图

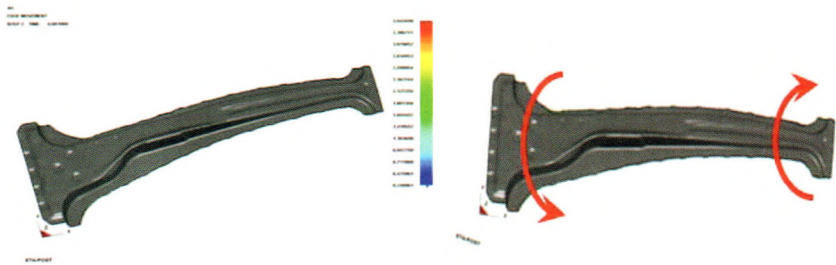


图6 切边后回弹模拟结果及扭曲方向

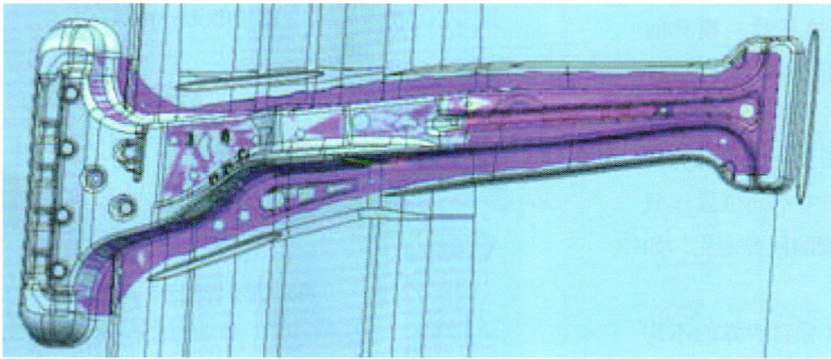


图7 回弹补偿数据FACE1



图8 FACE1数据的拉研样件

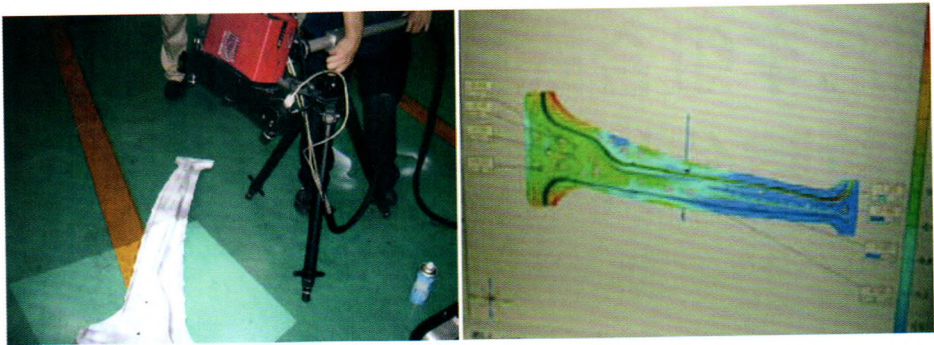


图9 三维扫描和扫描结果对比

对产品逆向扫描后得到了产品实际精确的回弹数据，根据回弹数据综合各种回弹因素，对拉延数据进行再次回弹补偿，得到拉延回弹补偿数据FACE2见图10。

用回弹补偿数据FACE2对拉延

模型面进行修正，最终得到合格的产品。如图11。

4.与以往回弹补偿方法的优势

本次对B柱的回弹补偿方法采用了数值模拟回弹补偿与逆向工程

回弹补偿相结合方法，对拉延数据进行了2次回弹补偿。仅对拉延模进行了1次较小的型面改修，对整形模进行了1次型面改修，总共2次回弹改修就获得了合格产品。表1统计了以往类似产品使用的回弹补偿方法与该修次数。

从表1中可以看到，用经验数据进行回弹补偿精确度最低；用数值模拟回弹补偿可以提高精度，但与实际数据仍有差异；采用软模的回弹补偿方法可以大大降低回弹改修次数，但成本高周期长。

本文采用了数值模拟回弹补偿与逆向工程回弹补偿相结合方法，同样达到了软模的效果，然而省去了软模的成本与开发软模的周期。

结语

本文研究了两种回弹补偿方法联合使用预测回弹，利用数值模拟回弹补偿和逆向工程回弹补偿联合使用的方法。通过实际项目，用此回弹补偿方法对典型产品进行研究，证明了此方法的可行性。用此方法取得了同软模法相同的效果，但大大缩短了模具开发周期，降低了模具开发成本，是非常有效的高强度钢板产品回弹补偿方法。

AUTO1950

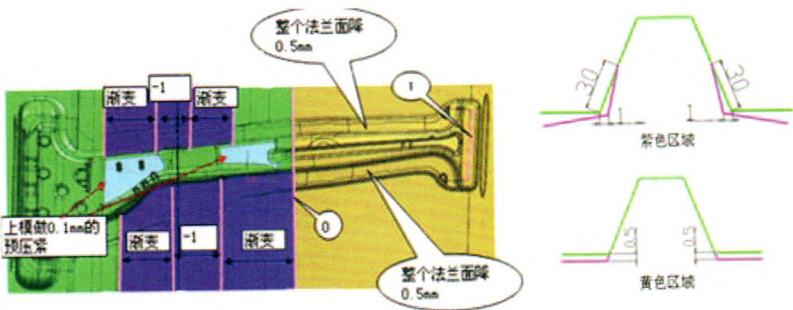


图10 回弹补偿数据FACE2

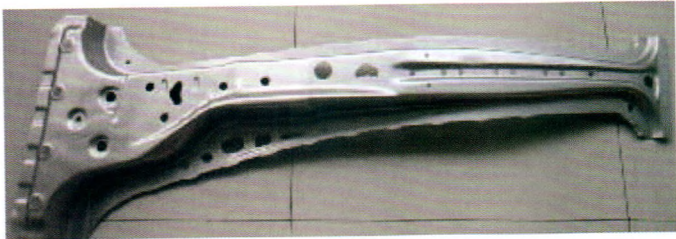


图11 合格产品

表1 类似产品回弹补偿方法与该修次数

序号	代号	材质	回弹补偿方法	回弹该修次数
1	BG-1	JSC590R 1.2t	经验数据回弹补偿	4
2	BG-2	JSC780Y 1.2t	经验数据回弹补偿	5
3	BG-3	JSC590R 1.4t	数值模拟回弹补偿	3
4	BG-4	JSC590R 1.2t	替代镶块（软模法）回弹补偿	2