



■ 奇瑞汽车有限公司/王艳青 李 军 陈云霞 赵林平

连续变截面薄板 在汽车轻量化应用中的新进展

安全、节能与环保是当今汽车工业发展的主要目标，汽车轻量化技术为实现这一目标提供了保障。实现汽车轻量化技术的主要途径包括结构的合理设计和轻量化材料，其中轻量化材料还包括使用轻质新材料、高强钢薄钢板和基于新材料加工技术的轻量化结构用材。前两种途径的成本是普通钢板的2.5倍，于是基于第三种途径下的激光拼焊板、连续变截面薄板等新材料加工技术受到越来越多的重视。连续变截面薄板也叫差厚板(Tailor Rolling Blanks, TRB)，是在激光拼焊板(Tailor Welded Blanks, TWB)之后出现的，该技术最早由德国亚琛工业大学金属成形研究所(IBF)从1990年开始研究开发。TRB板是通过一种新的轧制工艺——柔性轧制技术而获得的，即在轧制过程中，通过计算机实时的调整轧辊的间距，从而轧制出在沿着轧制方向上具有预先定制的变截面形状的薄板。与TWB板相比，TRB板具有无焊缝、表面质量好、过渡区光滑连接且强度高、均匀性好等优点。

目前, TRB技术已经从最初的实验室研究发展到工业化生产阶段。德国Mubea公司与IBF技术合作, 已经建成两条TRB板生产线, 年产1500余万件TRB板零件, 为奥迪、宝马、通用等汽车制造厂家供货。国内, 东北大学对变截面轧制技术的研究也走在了世界前列。早在十多年前东北大学就开始研究变厚度轧制技术, 近年来对TRB板的试验研究也取得了一定成果, 已经成功开发相关部件, 并建立国内第一条TRB

板生产线。

TRB作为一种新的汽车轻量化工艺受到越来越多的重视,本文结合2002~2012年欧洲车身会议(ECB)中TRB板的应用情况,详细介绍了国内外TRB板技术的研究现状及其在汽车制造中的应用新进展、应用的关键技术和发展趋势。

TRB板在汽车制造中的应用与进展

TRB板为汽车轻量化提供了一种新的选择,设计师可以根据零部件的受力情况和结构要求选择不同厚度、不同长度、不同变截面尺寸与形状的TRB板,即“量身定做”。与等厚度板相比,减少了钢材的用量和实现性能的合理分布,不仅减轻了重量,而且性能得以提高。使用TRB钢板制作的汽车零部件如图1所示。



图1 TRB板在汽车上的应用

汽车轻量化

1.国外应用现状

欧洲车身会议历来是各大汽车厂商展示其新材料新工艺等先进技术的平台，2002~2012年TRB板在汽车上的应用情况见附表。由表中可以看出，德系车更偏好TRB技术的应用，这与TRB技术起源于德国密不可分，而且全世界首家TRB供应商也是德国的Mubea公司。德系车中用到TRB技术的有奔驰、宝马、大众、奥迪和欧宝，其中奔驰公司的应用比例最为突出。从2002年首次应用TRB板以后，后续几年奔驰公司加大了TRB的应用进度，2009年的E级车和2011年的B级车中TRB板单车件数均达到八个（见图2）。近几年，福特、雪铁龙等公司也相继推广应用TRB板零件。

TRB板在汽车上的应用情况

厂商	车型	时间/年	构件特点	件数	每辆减重/kg	厚度种类
奔驰	Benz E-Klasse	2002	TRB板	1	0.15	3
	Benz S-Klasse	2005	TRB板	1	—	—
	Benz new C-calss	2007	TRB板	2	4	6
	—	—	TRB板	1	2	—
	Benz E-calss	2009	TRB板	8	—	—
	Benz b-class	2011	TRB板	8	—	—
宝马	BMW 5 er, 6er	2003	TRB板	1	1.2	3
	BMW 5 er	—	TRB板	2	2.2	2
	BMW 6 er	—	TRB板	7	1.4	3
	BMW 3 series	2012	TRB板+热成形	2	1.3	3
大众集团	skoda octavia SK35X	2004	TRB板	2	0.7	2
	VW passat CC	2008	TRB板	1	0.5	3
	Audi Q7	2005	TRB板	1		
	Audi A6	2011	TRB板+热成形	1		7
	New Audi A3	2012	TRB板+热成形	1	10.2	11
雪铁龙	citroen C5	2008	TRB板	1		5
通用	opel insignia	2008	差厚管	1		
福特	Focus 2011	2011	TRB板+热成形	2	—	8
Wilhelm Karmann GmbH and Salzgitter AG	—	2007	TRB板	5	—	—

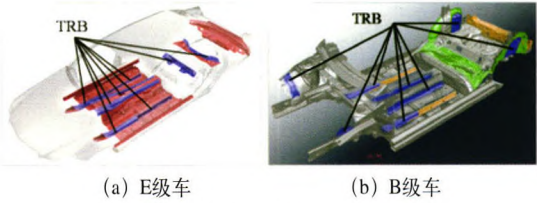


图2 TRB板在奔驰车上的应用

TRB零件设计特征表现如下：

(1) B柱 B柱在侧面碰撞中起到非常重要的作用，B柱受到碰撞的理想变形是S形（见图3a），即B柱上端不变形或产生少许变形，而在根部向内弯曲，从而给头部留出足够的运动空间，减少头部撞击到B柱或车窗的可能性。所以传统的B柱一般由多层钣金焊接而成（见图3b），且重点加强中段，这种设计虽然安全性得到保障，但是往往增加了B柱的重量。



图3 侧面碰撞时B柱变形模式及结构

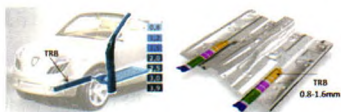
历年ECB会议上，将TRB板应用到B柱上已成为一种趋势。例如福特Focus 2011的B柱采用七种厚度，其根部最薄为1.35mm，中上部最厚达2.7mm，在侧碰时上端不变形或少许变形，根部向内弯曲，完全符合S形溃变。该B柱还结合目前较先进的热成形技术，在减重的同时显著提高安全性。宝马三系的B柱，同样采用TRB板+热成形，实现B柱强度与刚度分布的差异化，以满足侧碰对B柱性能的要求，实现对乘员头部和身体的保护，也实现了最大限度的轻量化。

(2) 横梁类零件 横梁类零件是侧碰中比较关键的结构件，在碰撞后要求这些横梁不应发生较大的变形，否则即使侧围本身刚度很好，也会有较大的侧向侵入量。通常，为了减少地板的变形，会增大地板横梁及其加强件，如适当增厚、提高材料强度和改进横截面等。TRB板出现后，设计师可以根据受力大小设计不同厚度截面的零件。例如雪铁龙C5后排座椅横梁，座椅横梁不仅在碰撞中起到关键作用，而且要固



定座椅的四个支脚，因而呈现两端厚中间薄的结构，不仅提高安全性而且零件得到轻量化。新奥迪A3的中底板横梁采用10个过渡区，提高碰撞安全性的同时单车减重10.2kg。奥迪A6前挡板加强横梁同时采用TRB+热成形，六个过渡区，实现厚度与强度分布优化，减重效果显著。

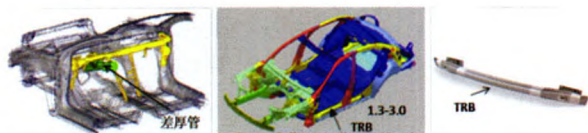
(3) 纵梁类零件 传统的前纵梁一般是内外钣金件通过点焊连接而成，现在很多乘用车的前纵梁采用前后两段，前段较薄、后段较厚，前后段采用激光拼焊连接。这是因为纵梁前段要求在前碰时有良好的压溃方式，充分吸收碰撞能量，而后段要求具有足够的刚度，允许少量的变形。但是由于焊缝的存在，激光拼焊前纵梁在碰撞时存在一些问题。Wilhelm Karmann GmbH and Salzgitter AG公司推出的TRB板前纵梁（见图4a），前薄后厚，过渡区均匀平滑，完美解决了前纵梁前后段吸能差异化，提高碰撞安全性。奔驰C级车2007年推出的前地板纵梁（见图4b）采用TRB技术，共五个过渡区，单车减重4kg，且碰撞性能和NVH性能得到很大提高。



(a) 前纵梁 (b) 奔驰C级车前地板纵梁

图4 TRB在纵梁类零件上的应用

(4) 其他零件 图5a为欧宝insignia的转向管柱，采用差厚管设计；图5b为宝马五系的门槛加强板，采用两种厚度，单车减重2.2kg；图5c为奔驰C级车的前保横梁，采用TRB板后减重约2kg。



(a) 欧宝insignia 转向管柱 (b) 宝马5系门槛加强板 (c) 奔驰C级车前保横梁

图5

TRB板为车身刚度和强度提供更多柔性的设计方案，目前已成为汽车轻量化的一种重要技术选择方案，在保证车辆安全性的同时实现减重，也受到世界各大汽车制造厂商的青睐。从近十年的欧洲车身会议报到中可以看出，TRB板在汽车上主要用在承载力的

各种梁、柱等加强件，过渡区数量也由一个增加至多个，而且近两年来，TRB板与热成形技术相结合，减重的同时提高零件的强度，这将是未来TRB板的发展趋势。

2.国内应用现状

目前，国内合资品牌中应用的TRB零件全部依赖进口，东北大学为实现TRB产品的国产化，做了大量的研究和推广工作。据报道，东北大学现已经与上海通用等单位合作，成功研发出变壁厚管（即差厚管）（见图6），用于新君威和新君越的共用件——仪表盘横梁，已完成试制，并搭载在整车上进行了相关道路试验。奇瑞公司近年来也十分重视汽车轻量化技术，在奇瑞某车型前纵梁上率先进行了TRB板调试，后期将与东北大学合作，在新车型上开发TRB零件。

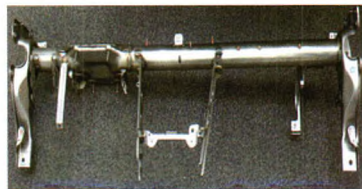


图6 仪表盘横梁变壁厚管

结语

TRB板用于汽车零部件可实现减重10%~40%，并提高车身的抗振性能和承载能力，已成为汽车轻量化的一种重要途径。但TRB板也存在一些不足，例如不能实现不同材质的轧制，不能实现曲线拼接、三维拼接和扩宽拼接等。同时，TRB板在汽车制造应用中还有一些关键的技术仍需解决，例如模具设计、冲压过程中的变形及材料流动性和板料回弹等，需要进行深入研究。

TRB板未来的发展趋势主要有：与TWB相组合，得到真正意义上的“任意拼接板”；多种厚度、多个过渡区组合的TRB板；与热成形结合，得到高强度、变厚度的汽车零件，达到同体厚度差异化及同体性能差异化，实现最优的节材效果；与液压成形相结合，得到空心连续变截面钢管，提高零件的扭转力学性能。

关键词：

TRB板 汽车 轻量化

(收稿日期20130931)