

基于碰撞数值模拟的汽车纵梁焊点布置方法

解跃青， 方瑞华， 雷雨成

(同济大学 汽车工程系， 上海 200092)

摘要：汽车碰撞试验研究表明，汽车纵梁是主要的吸能元件，不仅其结构尺寸和材料性能影响吸能能力，而且焊点质量和焊点分布方式也具有重要影响。作者以计算机模拟的方法对汽车纵梁进行研究，以焊点失效作为判断准则，分别对不同焊点间距和不同焊点布置方式的纵梁进行分析，着重探讨了焊点间距与位置的确立方法，提出焊点布置的新思路。研究表明，焊点间距为纵梁屈曲变形的半波长，并且布置在变形波平衡位置时效果最佳，可有效避免焊点失效。通过实例进行计算机数值仿真，结果印证了该方法的可靠性与正确性。

关键词：焊点；被动安全性；汽车纵梁；仿真

中图分类号：TP391.9 文献标识码：A 文章编号：0253—360X(2003)01—73—04



解跃青

0 序 言

电阻点焊是压力焊的一种，它在汽车制造、航空、航天等工业部门获得了广泛的应用^[1]。现代汽车车身普遍采用点焊技术进行结构连接，一辆载货汽车车身约有 2 000 多个焊点，轿车的焊点可多达 5 000 多个，可以说汽车车身是一个典型的点焊结构。焊点结构的特殊性对车身结构强度、刚度及汽车的被动安全性都有很大的影响。

汽车碰撞的试验研究表明，汽车纵梁是汽车碰撞的主要吸能件^[2]，不仅纵梁截面尺寸、厚度、长度、材料特性影响其变形方式和能量吸收能力，而且由于焊点质量、焊点分布方式影响着车身纵梁各部件间的动力学关系，进而对纵梁的变形模式、能量吸收及加速度变化等性能也将产生不可忽略的影响。

作者通过对薄壁梁碰撞吸能性能的分析，建立了焊点失效的力学模型。对焊点最佳位置进行数值分析，初步探讨了汽车纵梁焊点布置方法和间距的确立方法，并对焊点间距不同的汽车前纵梁和焊点间距相同，而布置方式不同的两薄壁梁进行了计算机碰撞仿真，对仿真结果进行分析研究，分析结果印证了焊点间距和位置的确立方法具有一定的正确性与可靠性。

1 焊点布置方法研究

在车辆结构的碰撞过程中，冲击动能通过结构部件的变形得到吸收和耗散，在一定的变形模式下，车辆结构应能承受较大的撞击载荷，最大限度地吸收撞击能量，使结构的变形向有利于保护乘员空间的方向发展。当碰撞发生时，结构的变形和应力将以波的形式迅速传播到整个结构，在非常短的时间内，结构将会产生复杂的动力响应及大变形，部分结构将由弹性状态进入塑性状态。对薄壁梁吸能能力研究表明，如果结构变形方式以波的形式发生有规则屈曲，而不是弯折或坍塌，梁的吸能效果最佳，是汽车碰撞纵梁变形方式研究追求的目标。

汽车纵梁大多由薄壁梁组成，在轴向压力的作用下，梁的变形模式主要决定于部件的几何形态而非材料特性。薄壁梁长度和厚度不同，将导致变形方式呈一个或多个半波形。根据 Mahmood H F 和 Paluszny A^[3] 等的研究，方形薄壁梁的临界失稳强度为

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E_s}{9} \left(\frac{t}{b} \right)^2 \left[\left(\frac{1}{4} + \frac{3}{4} \frac{E_t}{E_s} \right) \left(\frac{mb}{l} \right)^2 + 2 + \left(\frac{l}{mb} \right) \right], \quad (1)$$

式中： E_t 、 E_s 为材料的强化模量和弹性模量，对理想塑性材料， $E_t=0$ ，对完全弹性材料， $E_t=E_s$ ； t 、 b 、 l 、 m 分别为梁的厚度、截面宽度、长度、半波数。

设定 $\frac{\partial \sigma_{cr}}{\partial \lambda} = 0$ ，可得其变形的半波长为

$$\lambda = \frac{l}{m} = b \left(\frac{1}{4} + \frac{3}{4} \frac{E_t}{E_s} \right)^{0.25}. \quad (2)$$

对具有理想塑性的弹性材料($E_t=0$)的半波长将趋于 $\lambda=0.707b$,对于理想弹性材料($E_t=E_s$),半波长等于薄壁梁的横截面宽 $\lambda=b$ 。

理论上,焊点的布置应配合梁的变形形式。在汽车碰撞过程中,焊点失效是拉伸应力和剪切应力共同作用的结果。因此,焊点首先应考虑布置在变形梁上应力较小的部位,以防止焊点撕裂而失效。同时,焊点拉伸强度大约是剪切强度的60%~75%,即焊点抗剪切的能力较抗拉能力强,因此,还要考虑将焊点布置在拉应力较小的部位。

基于以上分析,对焊点分别位于变形梁皱折波峰和平衡位置的焊点4和焊点5(见图1)进行拉应力与剪切力的数值分析,分析结果如图2和图3所示。其中,实线为焊点4应力曲线,虚线为焊点5应力曲线。位于波峰焊点所受最大拉应力和剪切力较平衡位置焊点所受最大拉应力和剪切力分别增加了70%和30%。由此可见,焊点应尽量避免布置在变形皱折的波峰与波谷处,而皱折波峰与波谷间的平衡位置是布置焊点的理想位置。根据纵梁变形的半波长,可以确定焊点的最佳位置为平衡位置,焊点间距 $d=\lambda$ 。

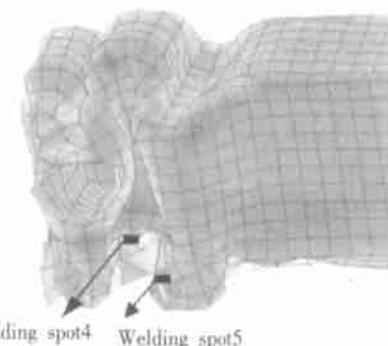


图1 焊点位置图

Fig. 1 Welding spots position plot

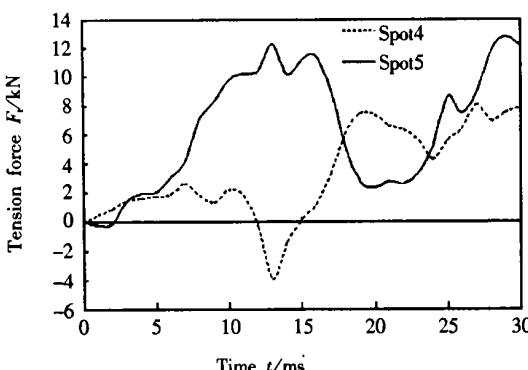


图2 焊点位置不同拉应力比较

Fig. 2 Tension force on different welding spot position

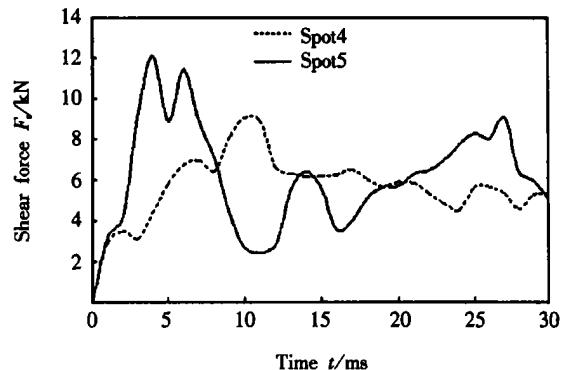


图3 焊点位置不同剪切力比较

Fig. 3 Shear force on different welding spot position

2 焊点布置方式的数值模拟

由于焊点几何结构上,金属组织上和力学性能上的不连续性,使焊点易于出现各种缺陷和应力集中现象,且焊点强度小于母材强度,汽车碰撞过程中,焊点失效往往是造成结构坍塌的主要因素。因此,传统汽车结构分析与被动安全性分析中将焊点视为刚体的方法是不完善的。焊点研究中引入焊点失效模型是保证模拟精确度的基本前提。模拟过程中可将焊点视为只传递轴向力 F_n 与剪切力 F_s 和扭矩的无质量梁单元。基于力的失效准则,将焊点失效准则定义^[4]为

$$\left[\frac{\max(F_n, 0)}{S_n} \right]^n + \left[\frac{|F_s|}{S_s} \right]^n \geq 1, \quad (3)$$

式中: S_n 和 S_s 分别表示焊点所能承受的极限轴向拉力和极限剪切力。

2.1 不同焊点间距比较分析

以某车前纵梁为计算模型,对焊点间距分别为30 mm、50 mm、80 mm 的纵梁进行计算机碰撞模拟。纵向碰撞速度为50 km/h。纵梁有限元模型如图4

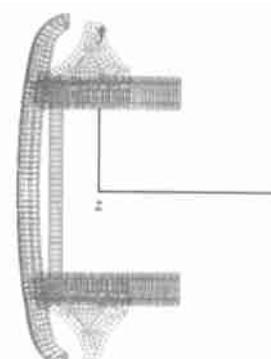


图4 纵梁有限元模型

Fig. 4 Finite element model of girder

所示,梁宽 b 为68 mm,厚度 t 为2 mm,材料为ST14钢,材料单点极限抗剪切力和抗拉伸力分别为11 000 N和7 700 N。三种不同焊点间距纵梁在30 ms内吸收的能量对比图如图5所示,相同节点加速度、位移对比图如图6、7所示。其中,虚线表示焊点间距为30 mm,实线表示间距焊点为50 mm,圆点线表示焊点间距为80 mm。从结果对比图中看出焊点间距50 mm的梁吸能能力最强,加速度波动范围较小,位移量也较小,由结果可知,将焊点间距确定为50 mm在三种试算方案中最为合理。根据理论分析,碰撞过程有材料的弹性变形和塑性变形的综合效果,可将ST14钢看作是具有理想塑性的弹性材料,由公式可知,焊点间距 $d = 0.707 \times 68 = 48.076$,数值分析结果与理论分析结果基本一致。

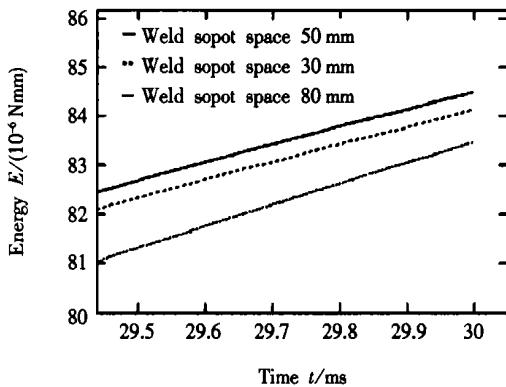


图5 焊点间距不同梁能量吸收对比

Fig. 5 Absorb energy curve of girder with different welding spot space

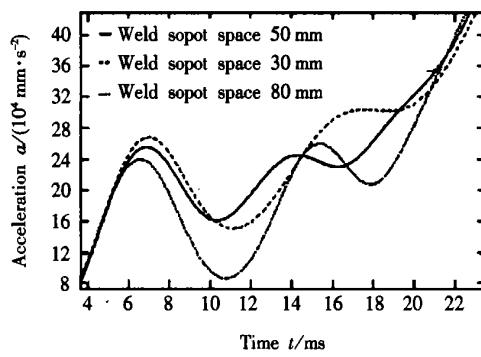


图6 焊点间距不同梁节点加速度对比

Fig. 6 Acceleration curve of girder node with different welding spot space

2.2 不同焊点位置的对比分析

对于相同间距的焊点由于位置分布不同也将对纵梁的被动安全性造成不同的影响,文中对上述车架简化为带圆管的薄壁帽形梁。有限元模型如图8所示。梁1焊点布置在平衡位置,梁2焊点分布在波峰、波谷,见图9、10。从碰撞结果图11、12来看,

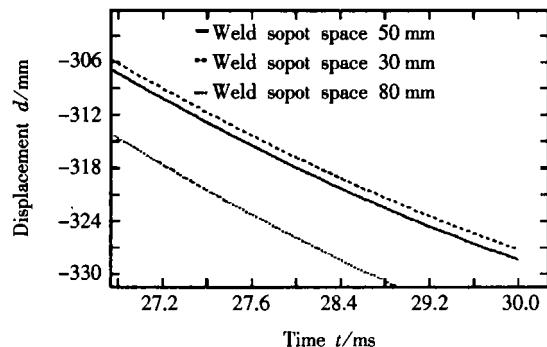


图7 焊点间距不同梁节点位移对比

Fig. 7 Displacement curve of girder node with different welding spot space

焊点在平衡位置的梁基本为有规则的屈曲,梁板与腹板变形模式基本吻合,焊点基本未撕裂。而焊点在波峰波谷的梁,焊点基本失效,梁板与腹板分离。从能量吸收曲线图13来看,在30ms时梁1吸收能

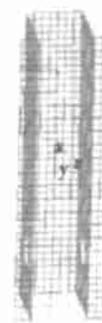


图8 简化纵梁有限元模型

Fig. 8 Finite element of predigested girder

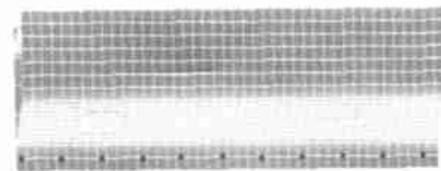


图9 纵梁1焊点布置图

Fig. 9 Welding spot distribution girder 1

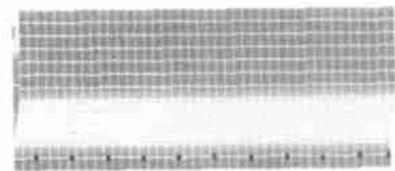


图10 纵梁2焊点布置图

Fig. 10 Welding spot distribution of girder 2

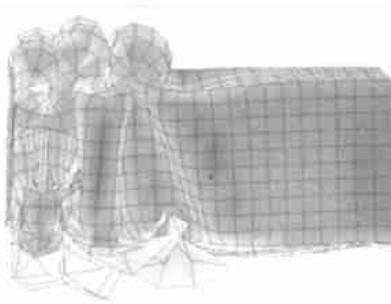


图 11 纵梁 1 碰撞结果图

Fig. 11 Crash result graph of girder 1

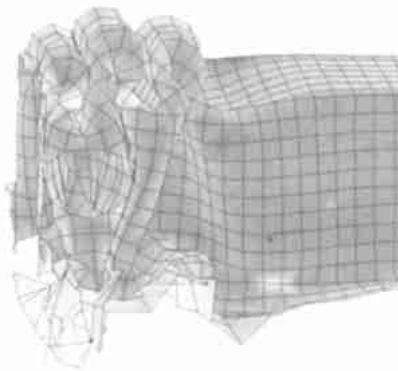


图 12 纵梁 2 碰撞结果图

Fig. 12 Crash result graph of girder 2

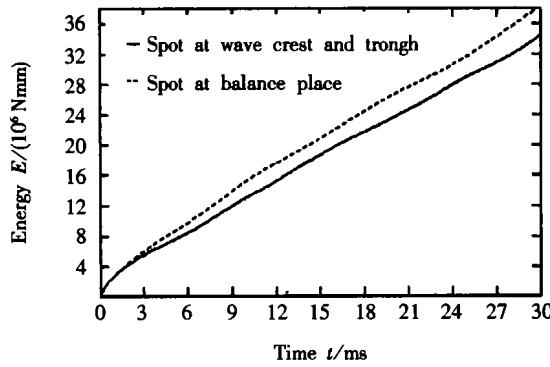


图 13 焊点布置不同梁吸收能量对比曲线

Fig. 13 Absorb energy curve of girder with different welding spot distribution

量为 3.8×10^7 Nmm, 梁 2 吸收能量为 3.42×10^7 Nmm, 梁 1 较梁 2 能量吸收能力提高了 1%。由此可见, 焊点位置分布的是否合理, 对梁的耐撞性能将产生很大的影响。焊点应布置在平衡位置, 可以减少焊点所受应力, 防止焊点失效, 提高纵梁的耐撞性能。

3 结 论

(1) 以某汽车纵梁为研究对象, 分别对不同间距和不同焊点位置进行了计算机模拟分析。作者认为, 当焊点间距为梁变形半波长时, 梁的吸能能力最强, 加速度和位移量较小, 综合效果较好。在相同的焊点间距的条件下, 焊点布置在梁屈曲变形的平衡位置, 梁产生有规则屈曲, 焊点不易失效, 而布置在波峰或波谷位置时, 焊点容易撕裂失效。

(2) 焊点布置方式对汽车被动安全性的影响不容忽视。研究结论对汽车焊接工艺具有现实的指导意义。

参考文献:

- [1] 拉达伊 D. 焊接热效应 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- [2] 贾宏波, 黄金陵, 谷安涛, 等. 车辆典型薄壁梁结构碰撞模拟研究与参数选择 [J]. 农业机械学报, 1998, 29(1): 24~28.
- [3] Mahmood H F, Paluszny A. Design of thin walled columns for crash energy management—their strength and mode of collapse [J]. Society Automotive Engineers, 1981, 13(2): 706~712.
- [4] 薛亮, 林忠钦, 姜正旭. 闭口帽型薄壁梁结构碰撞性能的数值模拟 [J]. 华东船舶工业学院学报, 1999, 13(4): 25~28.

作者简介: 解跃青, 女, 1973 年 1 月出生, 博士研究生。主要研究方向为汽车结构有限元分析、汽车的被动安全性。发表论文 5 篇。

Email: xyueqing@sina.com