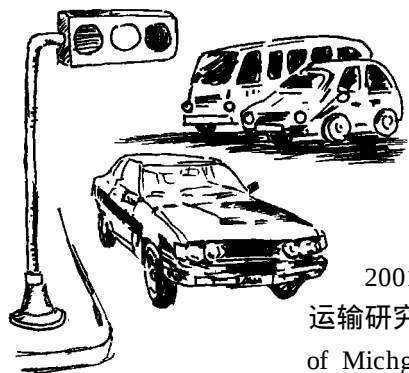




汽车设计与交通安全 中的物理知识

高凌云 编译

2001 年密歇根大学运输研究学院 (University of Michigan's Transportation Research Institute) 的负责人帕特里西娅·华勒说,“使用高速公路在让我们获益的同时,我们必须默认一定程度上的交通伤亡。目前对美国来说,可以接受的交通伤亡率是每年 40000 ~ 42000 人。”2004 年美国交通事故死亡 42636 人。交通事故(如图 1)已在美国年轻人的死因中高居榜首。

发生交通事故并导致伤亡,多数是由驾驶技术差、路况不好和汽车本身存在隐患等原因造成的。驾驶失误的原因很多,包括打瞌睡、缺乏经验、飙车、饮酒和走神。在各类事故中,瞌睡引起的事故可能要占 1/4。年轻男司机尤其危险。

农村地区道路以及州与州交界处的高速公路设计并不完善,常常是狭窄、昏暗,设计拙劣,路肩宽度不足或者根本没有路肩。当农村地区逐渐变成郊区时,交通流量往往超出设计预期。有限的交通管制措施使超速者毫无顾忌,这些偏僻道路距离急救医疗场所通常较远。在美国,一半的交通伤亡事故发生在每平方英里(1 平方英里 ≈ 6.7 平方千米)70 户以下的乡村地区。这里居住的人口不到美国总人口的 1/3,面积却占国土的 90%。

我们可以想出很多办法来改变不安全地驾驶方式、改造不安全的路段,这篇文章主要谈汽车设计方面的物理知识。在这里,我们假定减轻汽车重量可以提高燃油经济性,我们也认为减轻汽车重量可能要冒极大的风险。这一观点依据的是简单的物理

学原理,忽略了汽车结构、汽车间的不相容性 以及影响撞击伤害严重程度的乘客约束问题。

伤害的直接原因

撞车时发生的严重伤害主要是由两个直接原因造成的:第一个是硬接触,是指乘员被撞瘪的车壳挤压所伤,或是约束不当的乘员撞击坚硬的乘客舱表面而受伤;第二种情况叫做强迫减速伤害,是指汽车因撞击而强迫减速时乘客被所系安全带或弹出的气囊所伤害,这种伤害程度较轻,不过安全带或气囊的作用力仍有可能对乘员造成严重伤害。

我们首先考察前方撞击测试。图 2 所示为一辆中型小轿车正面撞击坚硬的刚性障碍物时的理想化速度 - 时间曲线图,以固定障碍物为参考系。小轿车的初始速度为每秒 15.6 米,坐在前排右座上的假



图 1 一辆中型小轿车的侧面被同等尺寸小轿车撞击后,乘客舱遭受严重挤压;在密歇根大学的一次汽车碰撞的研究中,测量系统确定了汽车车身相对于其原来表面的横向变形;正如文中所述,对真实道路交通事故和室内撞击试验进行的综合分析,将指导专业人员设计出更安全的汽车

前面提及,在马赫对牛顿绝对空间的批判中,就隐含着要求相对性原理与宇宙图景之间相互协调。不过,马赫要求这是通过宇宙总体或远方星体总和的引力来实现的;马赫当然不可能知道,按照现在的引力理论,一旦出现引力,惯性运动就不再存在,存在的是惯性运动的局域化,或者局部惯性运动。

是否存在相对性原理与宇宙学相互协调的理论呢?在区分惯性运动和局部惯性运动的意义上,应该存在。这也是相对性原理应该进一步发展到陆启铿提出的常曲率空时相对性原理的一个重要原因。

(中国科学院理论物理研究所 100080)

人最初距仪表盘 0.5 米,前面没有方向盘。最左边的具有最大持续减速度值的曲线,显示的是仪表盘速度的变化情况。如果乘客的速度变化与仪表盘速度变化保持一致,乘客将最为安全。如果汽车的减速负荷被平均分配到乘客的身体上,一名身体健康的乘客将会幸免于难。

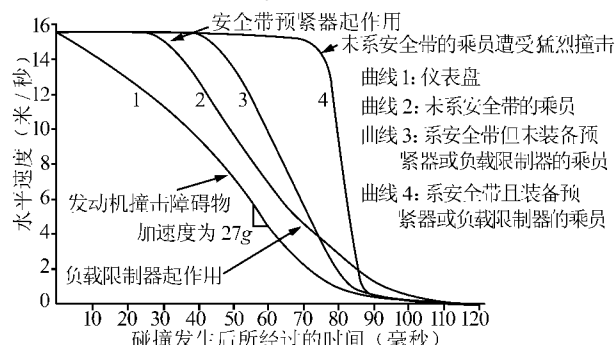


图2 小轿车以每小时 35 英里(约 56.32 千米)的速度正面撞击固定障碍物,前排座位上的假人被安全带以不同方式约束时的速度变化;曲线 1 代表汽车仪表盘的速度变化情况,碰撞发生后约 60 毫秒(1 毫秒 = 10^{-3} 秒)时汽车减速幅度最高为 $27g$

我们看看安全带的作用。图 2 中的曲线 4 描述了未系安全带的假人胸部速度变化情况。假人一直保持着小轿车原来的速度,直到与仪表盘相撞。在相撞的一瞬间,其速度锐减到与仪表盘一致。而这时其所受的合力是极端危险的,它不但强大,而且空间分布极不均匀。不太陡峭的曲线 3 表现的是受约束的减速情况,表明假人胸部系着常规的肩 - 腰式安全带,安全带避免了假人胸部撞击仪表盘。

大多数安全带都已改进、加装了预紧器和负载限制器。曲线 2 描述了以这种安全带约束的假人胸部速度变化。预紧器一旦感知汽车突然减速,就会立刻收紧松弛的安全带,从而较早地开始乘客的减速过程。预紧器通常使用与气囊相同的传感器。一般是用触发装置(在安全带的地板锚点处能够看到它)使带子收紧。负载限制器结构可以很简单,看起来像带子上可打开的折叠状结构,它在外力达到 6000 牛顿时会突然打开。为了防止安全带过度收紧而对乘客产生伤害,负载限制器在拉力大于限制负载时,终止回拉机构收紧安全带,限制作用在乘员胸部压力,以保障乘员的安全。

通过以上例子可以看出,安全带可以在致命撞击发生时挽救乘客的生命。从历史上看,安全带也是汽车所有安全设施中最为成功的。当然,安全带只有在使用时才能起到保护作用。2004 年美国的

安全带使用率达到 80 %,在有安全带强制使用法规的州和地区,这一比例则更高。安全气囊有助于分散安全带束缚乘客时对人体造成的局部压力,也给未系安全带的乘员提供了一些保护。安全带和安全气囊让乘员保持在适当的位置。前气囊对系安全带的驾驶员很有效,但对坐在前排的乘客是否有效尚不能确定。

侧面撞击与正面撞击非常不同。乘客舱通常被物体侵入,这时肩 - 腰式安全带不能有效约束乘客的侧向移动。图 3 是移动障碍物撞击小轿车侧面的试验数据,设计障碍物的重量、外形与小轿车相仿,它与小轿车成直角撞击车门。测得的速度 - 时间曲线描述了障碍物平稳的速度变化情况,汽车被撞一侧门槛处(这里可以粗略地描述小轿车的整个运动过程)的情况、车门在撞击开始时激烈的运动情况、假人司机座位下速度的变化情况。

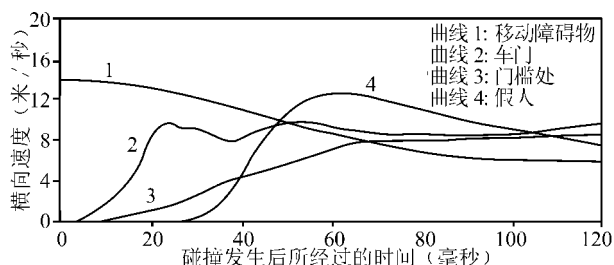


图3 在一次侧面撞击试验中,移动障碍物(曲线 1)与静止的小轿车成直角以每小时 31 英里(约 49.88 千米)的速度撞向车门,然后速度平稳地降低到每小时 15 英里(约 24.14 千米);小轿车门槛处的速度与其整个车体的侧向运动速度大体相当;急速侵入乘客舱的被撞车门将假人司机(曲线 4)推到右侧;假人座位下的最大加速度为 $70g$

小轿车总的侧向加速度只达到约 $10g$ 。撞击引起的对车门和假人的局部冲击力骤然产生。因障碍物撞击引起的加速度也要大得多。车门外表面向内的加速度约为 $1000g$,假人座位下的加速度约为 $70g$ 。这么大的加速度若只持续几毫秒可能还不造成伤害,但是这个过程有时要持续 20 毫秒。

在这些撞击试验中,汽车和假人都装有加速计,它们提供了实际交通事故中难以获得的详细信息。这些试验为生产商们制定汽车生产标准提供了详细数据。从 1978 年起,主要的标准化试验是速度为每小时 35 英里(约为 56.32 千米)的汽车正面撞向刚性障碍物的撞击试验。最近几年撞击试验有了很大发展,比如正面偏置式碰撞和撞击可变形障碍物的试验。根据撞击试验和相关的计算机仿真模拟,生产商们在汽车设计上做了许多精细改进,以提高汽

车的防撞性能。从前后的撞击试验照片中可以看出,主要的改进是加固了乘客舱、增强了乘客舱前方的能量吸收能力。

需要提醒的是,在交通事故中发生死亡的风险性只与大多数标准化试验中体现的汽车性能有粗略的对应关系。简单的几次撞击试验不可能涵盖所有可能的撞击方式,因此不可能为汽车设计提供所有可能的信息。此外,最近一个有关汽车侧面撞击的分析,表明了公路撞车事故的实际严重性,根据事故数据库中这方面的资料,测量的速度变化参量 Δv 要比标准化侧面撞击实验中的值大得多。

近期对使用安全带驾驶员严重伤害或死亡原因的调查

死伤原因	占死伤总人数的百分比
强迫减速	13
舱室被挤压	54
舱室未被挤压	24
失火、玻璃破碎等其他原因	9

本表数据来源于美国国家事故抽样系统防撞性数据系统1997~2003年的相关资料,只选取了事故原因明确的案例。

表格总结了接触被挤压舱室和接触未被挤压舱室的情况下,强迫减速过程中致伤数据相互比较的情况。约一半的严重伤亡是因乘客舱受到挤压所致。因为这些数据是基于少量样本(只有463个案例)的统计而得出的,所以存在较大的统计误差。然而,此次得出的结论与较早前的一项根据不同样本进行的研究所得结论相似。

如果两辆汽车相撞

从单独一辆汽车所做撞击试验中获得的分析结果,能否适用于两车相撞的情况?大众汽车公司事故调查组的负责人罗伯特·茹贝尔(Robert Zobel)用小轿车模型分析了两辆汽车正面对撞时的安全性问题,模型已“通过”以每小时35英里(约56.32千米)的速度正面撞击刚性、扁平障碍物的标准化试验。他首先考虑在保持乘客舱安全的条件下,对撞能量的传递问题。通过了固定障碍物撞击试验说明,小轿车能通过车头变形吸收自身的动能,使乘客舱不受挤压。但是必须考虑到两车之间发生的是非弹性正面对撞。茹贝尔能够证明,如果两辆小轿车以小于每小时70英里(约112.63千米)的速度相撞,无论汽车重量多大,理论上它们都可以安全地消耗掉对撞产生的动能。

然而,有两个需要注意的重要问题。首先,如果

其中一辆汽车车头的强度过高,另一辆汽车可能不得不吸收过多能量,从而威胁其乘客舱的安全。其次,如果相撞汽车车头的结构、材质不同,在正面对撞时不能同时吸收能量,那么相撞的能量可能会传入乘客舱。一辆车的刚性支撑点可能会与另一辆车的刚性支撑点完全错开。或者刚性支撑点在碰撞中发生侧向或纵向的变形和移动,以致它们与对撞汽车的柔性元件纠结在一起。

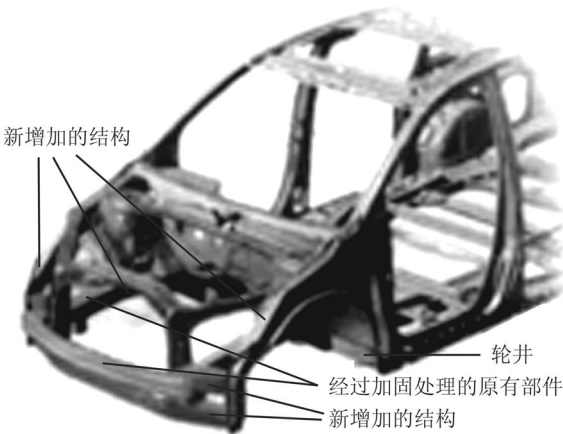


图4 丰田公司重新设计了2005款奥德赛的车头结构,这样当其与另一辆汽车相撞时,撞击冲力的空间分布将更均匀

对实际交通事故的深入研究表明,汽车间相互吸收撞击能量的能力通常较弱。本田公司对汽车的车头部分重新设计,增强了其能量吸收的能力。本田2005款奥德赛(Odyssey)的车头(如图4所示),通过加固保险杠上下的横梁和在轮井中增添加固的纵梁,使其分别在垂直、水平方向上更协调一致。由于这些增加的部件都是以高强度钢材制造的,所以并未加重车身重量。

茹贝尔对汽车正面对撞的分析,也考虑了乘员的强迫减速问题。他假设两车相撞时的速度小于每小时70英里(112.63千米),并且两车的乘客舱都完好无损。他又进一步假设两车重量的差别没有那么大,如果两车重量差别太大的话,根据动量守恒,重量较轻小轿车中的乘员会在减速过程中受伤。茹贝尔说,人体能够承受的最大加速度是30g,对于相撞的两辆汽车来说,要确保两车乘员都安全的话,两车重量之比不能大于1.6。他认为,在这个比例内,制造出正面对撞时仍能确保乘员安全的汽车是可能的。大部分美国人所开客车的重量都在2250~3600磅(约1~1.6吨)范围之内,其重量之比基本处于容许的比例范围内。但是,小轿车与轻型卡车

的重量之比已经超出了安全范围。

由于美国政府可能推出更为苛刻的燃油经济性标准,美国主要的汽车制造商、美国高速公路交通安全管理局(National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA)、美国公路安全保险协会(Insurance Institute of Highway Safety, IIHS)的安全专家们,以及美国国家研究理事会(National Research Council)在2001年进行的一项研究都得出同样的结论:轻型汽车的安全性根本不如重型汽车。结论基于以重量作为汽车典型特征的一次统计分析。然而,将汽车的安全性完全归结于汽车自重是一种误导。较重汽车一般能够给乘客提供更多保护,也往往是因为其体积一般较大、综合质量较高,并且增加了更多较新的安全技术措施。

德国布伦瑞克大学(Braunschweig University)的金斯-彼得·克莱斯(Jens - Peter Kreiss)和同事们通过对汽车电子稳定控制系统进行评估,认为汽车的其他一些因素比自重更重要。他们发现稳定控制系统可更多地改善轻型汽车的安全性。克莱斯解释说,原因是较重(可以理解为昂贵)小轿车的稳定性已经比较好。德国联邦道路研究所(German Federal Institute for Roads)的艾伯哈特·菲尔伯(Eberhard Faerber)提出:“如果重量以主要参数出现……原因在于它是事故数据库中最容易检索、最普遍使用的参数。”

较重小轿车往往体积也比较大,因而有更多溃缩空间和更大的乘客舱。最近的一项统计分析揭示了现有汽车大小与自重对安全系数的综合影响问题。分析者发现,对于同样大小的汽车,“重量轻的发生死亡事故的危险性往往较低;但是如果减小轴距和轮距,发生死亡事故的危险性就会增加。”需要指出的是,减轻自重不一定要减小汽车外形尺寸。

正面对侧面撞击事例值得单独分析。当一辆汽车正面撞击另一辆汽车的侧面时,被撞汽车发生伤亡的风险通常由车厢变形引起。正面对侧面撞击发生率变得越来越大,现在引起的死亡事故已经超过正面对撞的情形。

图5显示的是,一辆普通轿车司机一侧遭受图中类型汽车正面撞击时,被撞汽车驾驶员的死亡率与撞击车型之间的关系。虽然大型轿车重量是紧凑型轿车的1.6倍,但是当撞击车型从微型轿车到大型轿车,被撞汽车驾驶员的死亡率并没有太大变化。

但是当司机一侧遭受SUV型轿车撞击时,被撞汽车司机的死亡率将增加2倍多。而小型皮卡和标准皮卡的撞击,对被撞轿车司机来说,更是致命杀手。图6解释了原因。

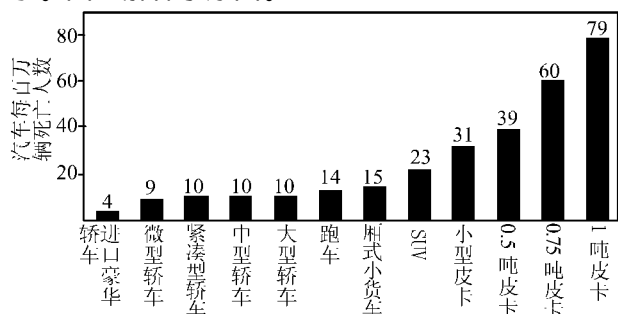


图5 小轿车司机一侧遭其他类型车辆正面撞击时,被撞汽车司机死亡风险与撞击车辆类型的关系
(数据来自美国死亡事故分析回报系统)

轻型卡车与轿车之间高度、强度和自重上的差异是主要的安全问题。皮卡或SUV车头的高度和局部强度,对其他车型来说极具危险性。标准皮卡的底盘(如图6所示)有两条水平“钢梁”,位置高,且一直延伸到车头。车身车架分离式结构的SUV给其他车辆的驾驶者也带来很大危险。



图6 2002款0.5吨道奇公羊(Dodge Ram)皮卡,它高而坚固的水平钢梁在事故中对被撞汽车非常危险;这种钢梁是大多数车身车架分离式轻型卡车的标准构件,乘客舱就独立地安装在上面,货厢可能焊接在坚固的底盘上

由于SUV和皮卡车头的高度,它们在正面撞向小轿车侧翼时,会对其造成极严重的威胁。正面撞击局部装有测压元件的刚性墙壁的试验,为建立垂直方向作用力剖面的单体模型,提供了有价值的信息。

改变轻型卡车的设计以降低其正面撞击小轿车侧翼时造成的人身伤害程度并非易事,这不仅是因为卡车的车身较高,而且因为卡车的车头很容易撞小轿车的驾驶舱——小轿车的驾驶舱通常离车头较近。有这样一项重大改进,就是对各种轻型卡车

采用可变悬挂技术,即在越野条件下自动升高底盘,在路面行驶时自动降低底盘。目前有些成品汽车已经采用可升降底盘。甚至可以更为大胆地设想,如果将美国所有的小轿车都换成轻型卡车,那么估计每年可以挽救三四千人的生命——这是美国每年交通死亡人数的 10 %!

车体结构与稳定性之间的关系

翻车事故大约占交通死亡事故的 1/4。尽管电子稳定控制系统对防止翻车起到越来越重要的作用,但是汽车的结构问题也是需要着重分析的。

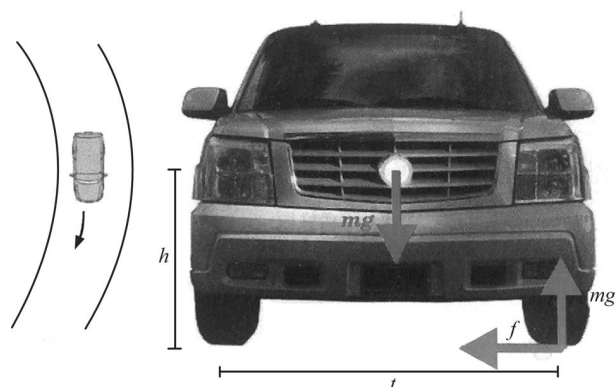


图 7 右转弯发生翻车时汽车的受力简图

在平坦的公路上,汽车在右转弯时有向外翻滚的趋势;相对于通过汽车重心的纵向轴,作用在左前轮上的力产生一个顺时针方向的翻滚力矩 mha ,汽车自身的重力产生一个反方向的力矩 $mg t / 2$,其中的 h 是汽车重心距地面的高度、 t 是两个前轮的间距;所以,如果加速度 a (以重力加速度 g 为度量单位) 超过稳定系数 $t / 2 h$,就会发生翻车

为了分析起来更简单,可以将一辆重量为 m 的汽车看作刚体,忽略悬挂系统的次级效应。转动前轮时,地面对轮胎施加一个侧向力 f ,产生的加速度 $a = f / m$,在运动学上这个加速度也由速度和拐弯半径决定。在平坦道路上,发生翻车的条件,也就是内侧轮胎开始离开路面的条件,即 $a / g = t / 2 h$,式中的 t 是同一车轴上两车轮之间的距离、 h 是汽车重心的高度、 g 是重力加速度(见图 7)。

品质因数 $t / 2 h$ 称为汽车的稳定系数 (static stability factor, SSF)。车身车架分离式 SUV 和皮卡稳定系数约为 1.0 ~ 1.2,轿车底盘的 SUV 或混合型汽车的稳定系数为 1.2,标准轿车的稳定系数为 1.4。由于干燥路面的侧向摩擦系数 μ 约为 0.8,如果在这种情况下急转弯,SUV 会打滑而不会翻车,原因是不能满足侧倾的条件,此时 $a / g \leq \mu < t / 2 h$ 。然而,诱发翻车的其他因素,还有汽车的悬挂重量(被悬挂系统支撑的重量,包括车体、乘客等等)使其向转弯方向倾斜;额外的负荷,比如乘客,常

常会提高汽车的重心。更经常的情况是,如果汽车撞上路沿或另一辆汽车,抑或是拐到松软或凹凸不平的路面上,汽车就很可能倾斜或翻车。但是即使如此,加大 t 值、降低 h 值,使稳定系数增大,翻车的危险也会降低。

事故数据库

虽然标准碰撞试验和装满仪器的假人能够为剖析交通事故致人伤害的原因提供一些信息,但这仍然不能替代对实际交通事故原因的仔细分析。死亡事故分析回报系统 (Fatality Analysis Reporting System, FARS) 是记载美国所有交通死亡事故的国家数据库。对于每一起事故,该系统都存有基于警方记录的数以百计的数据条目。另一个数据库是国家事故采样系统防撞性数据系统 (National Accident Sampling Systems Crashworthiness Data System, NASS CDS),它涵盖的事故采样信息更为详细,既有死亡事故、又有非死亡事故,每起事故的调查人员都会检验失事汽车的受损情况、访问事故受害者、存取警方记录和医疗报告,但该数据库只覆盖比例为 1 % 的重伤害事故。以每一起事故的严重程度为权重综合考虑,这些样本在美国具有统计意义上的代表性。

美国第三大数据收集系统是撞击伤害研究调查网络 (Crash Injury Research and Engineering Network),在该网络内合作的医学调查小组只对很少量的撞击事故进行深入研究。欧洲的一些地区,对撞击事故的调查则更为广泛。比如德国事故深入研究中心 (German In - Depth Accident Study) 就收集大量事故数据,调查人员经常能在事故发生后几分钟内赶到现场。

在深入调查事故时常常要记录 Δv ,这个令人关注的与速度有关的量,需要专业调查人员通过估计变形能量计算出来。对于每一辆汽车, Δv 是撞击中汽车变形阶段的速度变化值。要确定 Δv ,就要在同一水平线上不同的点上测量失事汽车相对于原表面横向变形的距离(如图 1 所示)。这些测量数据将输入计算机软件,软件可根据这些测量数据估计出导致非弹性变形作用力的近似值,再根据这些作用力的近似值计算出 Δv 。得出的 Δv 常作为撞击严重程度的指标。

要确定交通事故中的死亡、伤害风险,就需要有用来比较的所谓曝光数据。例如,司机的死亡风险是指交通事故中司机的实际死亡人数在潜在致命事

故中所占的比例。调查与特定汽车的特征有关的风险时,可能要调查登记在册汽车的相应数量。登记在册汽车的数据包括结构和车型,这样才能确定不同汽车类型存在的风险。或者在调查时可能要考虑风险与道路类型、司机特点或撞击形式的关系。完全确定司机、道路特性及撞击类型的风险是不太可能的,因为进行可靠而无偏差的测量有一定难度。

轻型汽车

减轻汽车重量有利于节省燃油,但这会同时降低汽车的安全性,研究和设计人员对此存有困惑。汽车重量减轻将大大降低汽车安全性这一观念,是因为对汽车重量与尺寸、品质之间的关系缺乏深入了解而产生的。对轻型汽车进行设计和技术上的革新,提高其安全性,一直没有受到足够的重视。

事实很明显,车身车架分离式轻型卡车在现有条件下还不能与轿车安全共存。采用新材料的技术革新有望改变这一局面。每千克重量吸收更多撞击能量的轻质坚固复合材料正在开发,而且产品性能正在生产过程中不断改善。这些技术会大大减少轻型卡车与小轿车撞击时出现的接触伤害。此外,这些新材料使设计出的汽车可以在内部空间不变的情况下减轻重量。另外,与不同类型、尺寸汽车撞击的相容性也需要做相应的试验和规范。

政府部门的严格规定与汽车厂商的巧妙设计,促成了改善汽车安全性的深刻变革。茹贝尔以汽车安全方面重要性逐渐递减的顺序列举了这样一些技术革新,它们是安全带、乘客舱安全性、电子稳定控制和安全气囊。我们发现汽车设计仍有进一步改善的空间,乘客舱可以造得更坚固。安全带和安全气囊应约束侧向移动,在撞击即将发生时将乘员固定在最安全的位置上。车头可以重新设计,使其能够充分吸收汽车相撞的能量。

(中国科学院高能物理研究所文献信息部 100049)

本文大部分内容译自 2006 年第 1 期 *Physics Today*, 依国内读者的阅读和思维习惯,在翻译时酌情进行了一些删节和修改。

汽车的相容性指汽车与其他车辆相撞时,在降低撞击对车内乘客伤害的同时,也能减少因冲击负荷过于集中而造成的对其他车辆的破坏性。

英文 Sports Utility Vehicle 的缩写,即运动型多功能车;特点是四轮驱动、强动力、越野性、宽敞舒适及良好的载物和载客功能。

原文为 pickup truck,国内多译作皮卡,即一种轻便小卡车。车头与一般 SUV 近似,驾驶室有双排座椅;后有类似卡车但又比卡车

小很多的货厢,货厢多为敞开式,也有与驾驶室连为一体的封闭式。

原文为 crossover,国内有混合车和酷越车两种译法;通俗地讲,就是将 SUV、轿车、皮卡、小型旅行车等功能集于一身的车型。它在外形上与 SUV 非常相似,但 SUV 使用卡车底盘,而它使用轿车底盘;因此它没有 SUV 那样强劲的越野及牵引力,却具有轿车一样良好的节油性能和操控性。

科苑快讯

以燃料电池为动力的 新型人造肌肉

美国达拉斯市德克萨斯大

学的雷·鲍曼(Ray H. Baughman)与同事们论证了一个新奇的想法,将改变机器人和假肢的设计思路——在人造肌肉中安装燃料电池,使燃料电池成为其自身机能的一个组成部分。新型人造肌肉在很多方面宛如天然骨骼肌:它消耗循环系统(镍钛导线)输送的氧气和燃料,同时其自身能够维持化学反应,持续保持工作状态;电化学回路就像神经一样控制着它的运动,产生的部分能量会储存在人造肌肉中。

普通电池限制着电动汽车和电动设备的性能,日本本田公司会走路的机器人阿西莫(ASIMO)由于电池容量的限制,充电后只能连续行走 45 分钟。内燃机虽然功率大,但对于许多机器人、移动医疗设备、小型泵、阀门、玩具和纳米器械而言,安装内燃机又是极不现实的。燃料电池与普通电池相比,具有无可比拟的优越性,因为燃料电池所用氢气和一些含氢有机物,如甲醇、糖类、脂肪和汽油等,每单位质量蕴含的能量大大高于普通电池。

人造肌肉中的燃料电池应用了两项技术:溶解在水中的氧气将电荷输送给单壁碳纳米管组成的薄膜,碳纳米管充电后伸长、弯曲,充电是燃料电池在断路是进行的:另一项技术是镍钛记忆合金在反应热的作用下发生相变,导致其尺度变化巨大,即反应热驱动人造肌肉的运动。研究者现在想为人造肌肉创造一个循环系统,以取代导线。因为流速每秒 0.1 毫米的甲醇,在低电压下热流密度可达每平方米 1 兆瓦,效率远高于导线传输。

目前,研究者们只能对一根人造肌肉纤维实现精确控制,怎样有选择地使肌肉纤维束达到天然骨骼肌那样的力度和强度,能够做各种动作,比如拿起或抛出皮球,仍然需要进一步研究。而用人造肌肉制造出能够自由奔跑跳跃的机器人,更需要很长时间才能实现。

(高凌云编译)
现代物理知识