

Brief Introduction to the Effect on Automobile Design Based on the 2018 C-NCAP Pedestrian Protection Test Procedure

Tan Binghua, Li Bo, Zhao Zheng, Tu Jingang, Zhang Linbo

Chery Automobile Co., WuHu, AnHui Province, China, 241006

Email:tanbinghua@mychery.com

Abstract: Pedestrian protection is a key point of the automobile safety field in recent years, in the NCAP evaluation standard of the mostly developed countries, it has been listed in the auto safety score for a long time, while in the version of C-NCAP-2018 begins to lead in the pedestrian protection evaluation. The introduction of pedestrian protection will offer a new challenge of the car front end styling, car body design and engine cover structure design etc. Referring to the basic requirement of the pedestrian protection of C-NCAP 2018 and combining the pedestrian protection research & development work of our Corp. on automobile research models, this paper develops a finite element simulation research to the pedestrian protection test procedure, and it makes an investigation to the effect on the car design of the C-NCAP 2018, providing reference for the pedestrian protection performance research and development of new motorcycle type.

Keyword: C-NCAP 2018, pedestrian protection, finite element simulation, body shell design, the car front end styling, package

浅谈 2018 版 C-NCAP 行人保护测试规程 对汽车设计的影响

谭冰花, 李博, 赵正, 涂金刚, 张林波

奇瑞汽车股份有限公司, 中国安徽省芜湖市, 241006

Email:tanbinghua@mychery.com

摘要: 行人保护是近几年汽车安全领域关注的重点, 在全球大多数发达国家的 NCAP 评分标准中, 早已被列为汽车安全评分项目, C-NCAP 在 2018 版将开始引入行人保护的评价。行人保护的引入, 对汽车前端造型、总布置以及车身设计等提出了新的挑战。本文参照 2018 版 C-NCAP 行人保护的基本要求, 结合公司前期和在研车型的行人保护开发, 探讨 2018 版 C-NCAP 行人保护测试规程对于汽车设计的影响, 为新车型的行人保护性能研发提供了参考。

关键词: 2018 版 C-NCAP, 行人保护, 车身设计, 前端造型, 布置

1 引言

中国是一个典型的混合型交通国家, 许多道路都是人、自行车和机动车共同使用, 这就增加了人与车发生碰撞的机会。在各种交通事故中, 相对于驾驶员和乘员而言, 行人、骑自行车人以及其他弱势交通参与者在交通事故中的伤亡情况更加严重, 超过 1/4 的死亡人数为交通弱者, 而这一比例在某些大型城市中甚至能够达到 50%。随着近年来国内汽车保有量不断增加, 国内的交通事故出现了一定程度的增长, 行人的伤亡率和绝对数量都在持续增加, 行人的安全受到了极大的威胁, 因此在中国引入并实施车辆行人保护性能评估已刻不容缓。目前, 在全球大多数发达国家的 NCAP 评价标准中, 行人保护性能评估是整车星级评价的重要组成部分, 而 C-NCAP (China new car assessment program) 在将在 2018 年引入新车行人保护性能的评价。

C-NCAP 行人保护评价的引入，对中国市场销售的车辆前端造型及设计提出了新的挑战。本文参照 2018 版 C-NCAP 行人保护评价的基本要求，结合公司车型的行人保护开发状况，初步探讨 2018 版 C-NCAP 行人保护测试规程对于汽车设计的影响，为行人保护性能研发提供参考与建议。

2 2018 版 C-NCAP 行人保护测评方法

基于 GTR09 制定的行人保护法规《GB/T24550-2009 汽车对行人的碰撞保护》已于 2010 年 7 月 1 日正式推荐实施，而 2018 版 C-NCAP 对行人的头部（包括成人和儿童）和腿部（上、下腿型）保护性都提出了更为严格的要求。

2018 版 C-NCAP 行人保护的评价由头部和下腿部两部分组成，如图 1 所示。对于头部冲击试验，由车辆制造厂商提供仿真预测值，用验证试验点得分除以相应点预测值计算出修正系数（修正系数介于 0.75-1.25 的范围内是可接受的），根据实际试验结果与修正系数得出最终头部得分。对于腿部碰撞试验，单次试验中存在多个评价参数，得分最低的参数决定了试验的最终成绩。每个评价参数的变量包含两个限值，一个高的限值一个低的限值。当伤害值处于两个限值之间，则通过线性差值计算得分，下腿部得分是通过满分与最大得分率来计算得到。

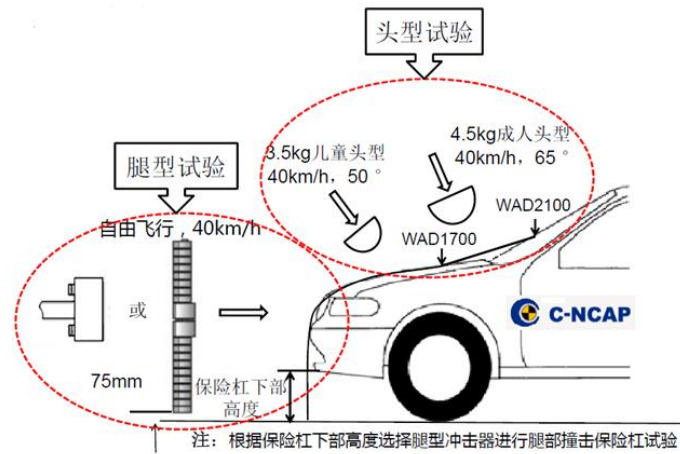


Figure 1. 2018 C-NCAP pedestrian protection test project
图 1. 2018 版 C-NCAP 行人保护测试项目

2018 版 C-NCAP 中规定，行人保护总分为 15 分，其中头部性能总分为 12 分，腿部性能总分为 3 分，行人保护权重为 15%。行人保护单项星级分值设定如表 1，并且表中列出了与 Euro NCAP 星级分值的对比。

Table 1. 2018 C-NCAP pedestrian protection single star rating criteria
表 1. 2018 版 C-NCAP 行人保护单项星级评价标准

星级	行人保护得分比例	
	2018 版 C-NCAP，总分 15	Euro NCAP(2016-2019)，总分 48
5 星+	75%	/
5 星	70%	60%
4 星	60%	50%
3 星	50%	40%
2 星	40%	30%
1 星	<40%	20%

3 行人保护现状分析以及目标规划

3.1 基于 2018 版 C-NCAP 的行人保护现状与难点

我国从 2007 年初开始对欧洲和日本以及全球的行人保护法规进行了全面的研究。根据全球技术法规（GTR09/2008）制定了国内首部行人保护法规 GB/T24550-2009，并于 2010 年 7 月 1 日起正式批准，成为推荐性国家标准。虽然在法规的制约下，各大汽车制造商和一些研究机构纷纷投入专门的人员和先进的设备从事行人保护的开发工作，但由于缺乏强制性标准，行人保护还不够重视。结合 2018 版 C-NCAP 对现有车型进行评价，就行人保护单项得分而言，表格 2 中列出了公司几款量产车型的行人保护得分情况，头部得分较低，导致得分率不能满足 5 星要求。

行人保护设计是一项综合设计，需要同时考虑前端造型、发动机舱总布置、结构设计、材料选择以及测试方法等多方面因素，并对其进行综合平衡，还应兼顾整车耐撞性、低速碰撞、强度耐久和 NVH 等性能要求。同时行人保护设计贯穿车型开发的整个过程：车辆前端造型直接决定着行人保护的实现方法和难易程度；总布置设计时需要保留足够的变形吸能空间，并将硬点和危险区域进行合理布置；工程设计时，需要详细考虑铰链、风挡装饰板、雨刮系统、翼子板及其支架、发动机罩内板、保险杠、大灯支架等设计的影响。行人保护要求的提高，各性能之间的冲突会更加明显，如何平衡各个性能之间的冲突是当前国内汽车企业产品开发的难点，也是当前国内汽车企业产品开发的一项重要内容。

3.2 2018 版 C-NCAP 行人保护五星目标分解

对比 2018 版 C-NCAP 与 Euro NCAP (2016-2018)，C-NCAP 行人保护的要求更加严厉，星级门槛相对较高。部分当前 Euro NCAP5 星车，按照 2018 版 C-NCAP 评价，仅仅能获得 4 星。

为了获得 2018 版 C-NCAP 整体 5 星评定，对行人保护模块的头部与下腿部得分进行目标设定，如下表格 3。如果满足 2018 版 C-NCAP 5 星，则需要行人保护头部得分达到 8 分，下腿部得分为满分，这对汽车设计开发提出了更高的要求，制造厂商必须在车辆开发前期就把行人保护融入到每个设计细节当中。

Table 2. Company models 2018 edition C-NCAP pedestrian protection score
表 2. 公司车型 2018 版 C-NCAP 行人保护得分

	头型	腿型	得分率
车型一	6.22	2.82	56.13%
车型二	6.52	2.11	57.6%

Table 2. For the 2018 version of the C-NCAP pedestrian protection target decomposition
表 2. 针对 2018 版 C-NCAP 行人保护目标分解

行人保护目标分解			
	项目	满分	五星目标
2018 版 C-NCAP	头部	12	8
	下腿部	3	3
满分		15 分	
得分率		11/15=73.33%	

4 对汽车设计和开发的影响

2018 版 C-NCAP 行人保护法规的要求对汽车设计的影响体现在如下几个方面：

4.1 对前端造型的影响

汽车造型是汽车研发初期非常重要的环节，汽车造型对行人安全的影响至关重要。造型设计周期较长，工程师需要对造型进行可行性分析、优化，再分析、再设计，直到造型冻结。基于行人保护法规，碰撞区域越小对行人保护越有利。因此在造型阶段，应通过造型优化，尽可能缩小行人保护的碰撞区域并规避某些硬点，以满足行人保护的要求。

1. 头部碰撞区域设计。结合 C-NCAP 中行人保护划线区域，头部碰撞区域的硬点主要集中在碰撞区域边缘，可以在造型初期调高造型面、使用造型特征线或者合理布置分缝线的位置，使头部碰撞区域避开边缘的硬点，使得碰撞区域划线向内侧移动从而缩小碰撞区域，减少对头部伤害的硬点。图 2（a）中，A 区域为发动机盖与翼子板后端靠近发动机盖铰链位置，此区域刚度和强度较高，碰撞过程中不易压溃变形，能量不易被分散，将会对头部造成很大伤害，可在造型分析中划分翼子板和发动机盖分缝线时，尽量把分缝线调整到侧面基准线之外；如图 2（b）所示，图 2（a）中，B 区域为发动机盖与大灯分缝区域，由于发动机盖与大灯安装横梁的间隙非常小，而且此区域刚度较大，头部 HIC 较大，可以在造型初期通过调整大灯造型面，使碰撞区域内缩，避开刚度较大区域，如图 2（c）所示。

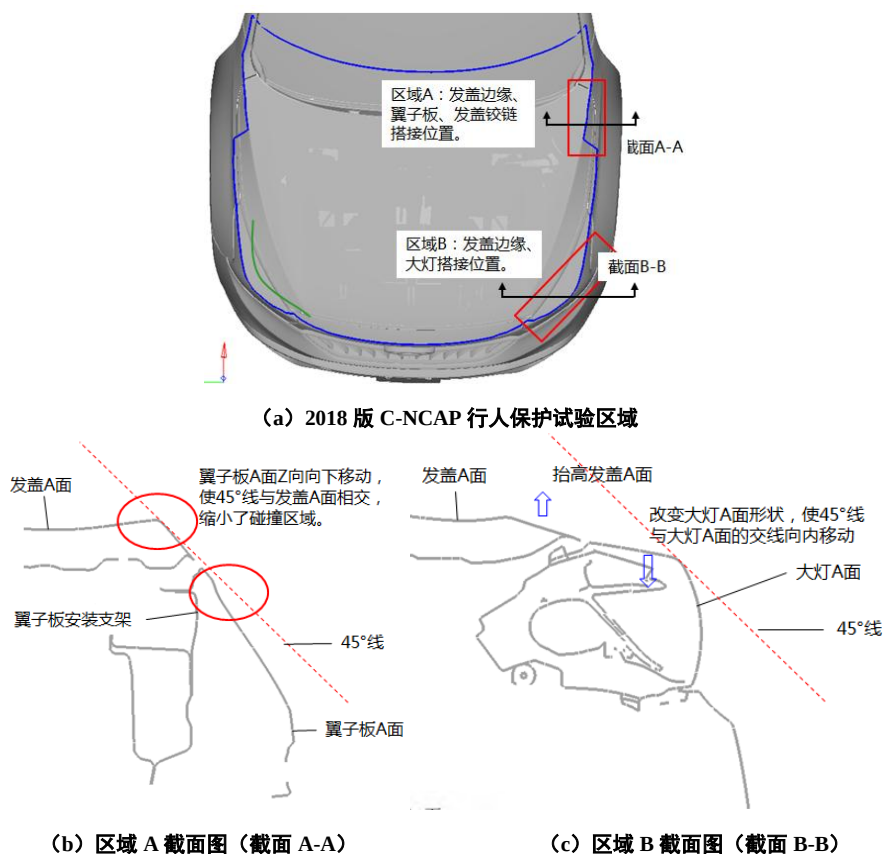


Figure 2. 2018 edition C-NCAP pedestrian protection head test area

图 2. 2018 版 C-NCAP 行人保护头部试验区域

2.下腿部碰撞区域设计：2018 版 C-NCAP 中行人保护下腿部碰撞区域是由两个保险杠角或者是保险杠横梁最外侧围成的区域决定，两者相比较，区域大的作为行人保护下腿部碰撞区域。碰撞区域越小对行人保护小腿碰撞越有利，因此许多车型在前保险杠造型上进行有针对性的设计，增加造型凸包，并且严格控制前保横梁的宽度，从而使得行人保护下腿部的碰撞区域缩小，最大程度避开前大灯、前雾灯等区域，来提升行人保护下腿部碰撞性能。目前像本田 CR-Z 及奥迪 A4L 等车型，在造型设计时充分考虑了行人保护要求，在前保险杠前端增加造型凸包来控制小腿碰撞区域，如图 3（a）所示，下图 3（b）中的公司车型也提一下。在保险杠造型方面，要尽量保证车辆前端平齐，更有利于保护行人的小腿。

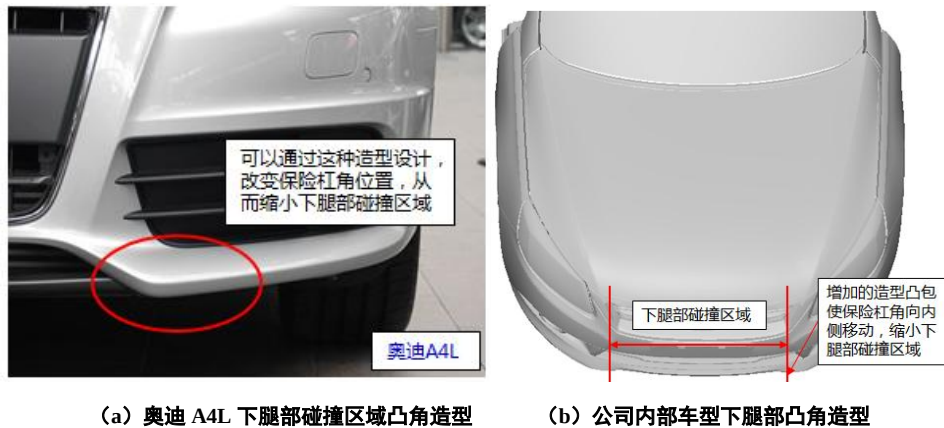


Figure 3. conducive to the design of Pedestrian Leg Protection

图 3. 有利于行人下腿部保护的设计

4.2 对车辆总布置的影响

在车辆正向开发过程中，布置与造型工作在预研阶段启动。因此在造型初期，就可根据布置和造型，基于目标值，对划线区域内的布置硬点与造型的间隙进行校核，以初步确认是否满足行人保护要求。

1.头部试验区域硬点间隙：对于头部碰撞区域间隙为发动机盖造型面与硬点的距离，影响头部碰撞的常见硬点有：蓄电池、保险丝盒、空气滤清器、发动机盖锁扣、发动机盖铰链、发动机盖内板加强筋、水箱上横梁、大灯等。在布置前期，可以考虑通过造型使碰撞区域缩小，将硬点布置在测试区域之外，比如发动机盖铰链，发动机盖锁等；但布置在发动舱中间位置的硬点，像蓄电池、保险丝盒、空气滤清器等部件，无法规避在碰撞区域之外，所以一般还是采用满足间隙要求的方式来满足目标。蓄电池、电器盒一般布置在前舱左侧（沿车身方向），由于人机工程以及造型原因，发动机盖总是向前倾斜，越靠近发动机盖外侧，发动机盖外板距离硬点的距离越来越小，且因蓄电池、电器盒非常坚硬且体积大，因此在造型与布置的时候，必须要保证硬点间隙充足，以满足行人保护的目标要求。

2.下腿部试验区域硬点间隙：在车辆行人小腿保护设计中，腿部响应和腿部的运动学姿态密切相关。下腿部的运动姿态跟车辆前端整体造型有很大关系。首先，保证前保蒙皮外表面没有特别突出的尖角和硬物，以便很好的保护行人；其次，要保证前保横梁与前保蒙皮 A 面之间的吸能空间 S1，如图 4 所示。在此基础上，还需要在下部增加小腿保护梁，来控制小腿的惯性运动。小腿保护梁的高度 H 以及与前保横梁在 X 方向的相对位置 S2，可以改变小腿在碰撞过程中的运动姿态，防止小腿部在运动过程中向内弯曲，如图 4 所示。根据柔性小腿的损伤机理，合理的小腿保护梁离地高度，有利于控制腿型的运动姿态，降低伤害值。总之，如果硬点与造型 CAS 间隙值远小于间隙目标，则需要重新调整造型面或硬点布置，以满足间隙要求，给行人保护保留足够的空间。

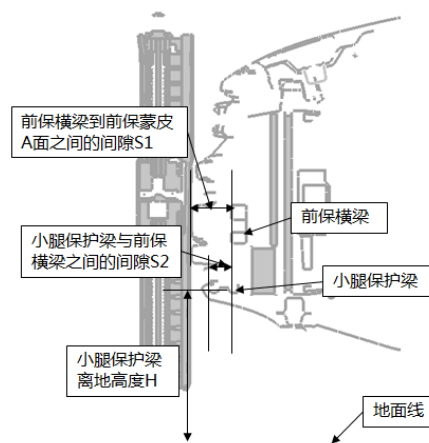


Figure 4. Sketch map of the hard point gap in the leg test area under pedestrian protection

图 4. 行人保护下腿部试验区域硬点间隙示意图

4.3 对整车结构设计的影响

影响行人保护的因素，除去前端造型和碰撞空间之外，碰撞区域关键件的结构设计也起着重要的作用。在前端造型和空间满足行人保护要求的前提下，优化车身结构设计，可以有效降低行人伤害值，满足行人保护法规的要求。

1. 发动机盖内板

在碰撞过程中，头部首先接触发动机盖外板，外板变形，带动内板一起变形，向下运动并吸收碰撞能量。如果运动过程中变形过大，头部会与发动机前舱里面的部件发生二次碰撞，造成更严重的伤害。为了减小行人头部伤害，设计能够吸收更多头部碰撞能量的发动机盖内板，是基于行人保护设计发动机盖的关键。

在发动机盖内板设计上，可以分区域考虑发动机盖内板设计，主要有以下几点：第一，发动机盖中间位置，此区域发动机盖外板距离下部硬点空间充足，可以适当弱化发动机盖内板，尽可能取消发动机盖内板的加强筋，如图 5（a）所示。第二，发动机盖周边区域。由于造型原因，在此区域，发动机盖外板距离下部硬点以及车身骨架空间较小，需要适当增加发动机盖内板强度，可以局部抬升内板，增大内外板之间的截面空间，吸收更多能量。第三，可以采用铝发动机盖，使发动机盖内板均匀弱化，结构设计可以采用蜂窝状或者是烤盘式结构，来增加吸能，减少头部伤害，如图 5（b）。



(a) 中间位置弱化的发动机盖内板

(b) 铝发动机盖内板结构

Figure 5. Engine cover plate structure

图 5. 发动机盖内板结构

2. 发动机盖铰链

发动机盖铰链区域，由于铰链的高硬度对行人头部保护效果不佳，在造型初期可以通过合理布置铰链以及外部造型，尽可能把铰链布置在头部碰撞区域之外，但受到造型风格限制，不能布置在碰撞区域之外的车型，要重新考虑降新方案，以降低发动机盖铰链位置的头部伤害值。通过优化铰链结构，使铰链部分有足够的变形空间以及较低的刚度，使铰链在碰撞过程中吸收足够多的能量，以减少对头部的伤害。随着技术不断发展，发动机盖铰链可以采用碰撞后可压溃或者可断裂的结构，以减弱发动机盖铰链区域碰撞后的强度，满足行人保护的需要。

3. 前大灯

由于以往前大灯的设计未考虑行人保护，本身刚度较大，压溃吸能能力较弱，并且前大灯体型较大，周边预留空间较小，头部在碰撞过程中，由于空间限制，无法向下运动，造成头部伤害值过大。为了满足行人保护的要求，可以在前期造型设计阶段，尽可能使头部碰撞区域向内缩小，避开大灯、发动机盖、翼子板、shotgun 重叠区域。但是由于整车的造型需要，大灯部分位于行人保护的头部碰撞区域，为了减少头部伤害值，前大灯的设计需要考虑以下设计：第一，弱化安装支架，使其在撞击过程中断裂，如图 6。第二，前大灯周围必须留充分的溃缩空间，避免撞击过程中与周边件接触。这样在碰撞过程中，头部接触大灯并且受力导致大灯支架沿弱化导向槽断裂，并且整体掉落，减少头部加速度，降低头部伤害值。

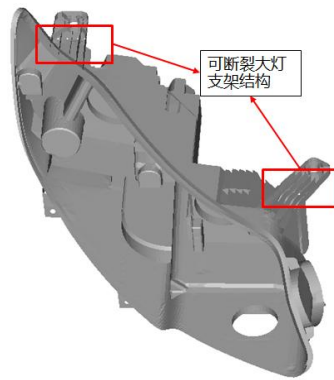


Figure 6. Pedestrian protection headlight design requirements

图 6. 行人保护大灯设计要求

4. 翼子板

在翼子板和发动机盖侧分缝线区域，由于翼子板刚度和强度都较高，头部碰撞到此区域翼子板不易压溃变形，能量不易被分散，对头部造成很大的伤害，不能满足行人保护的要求。首先在造型阶段，通过合理的造型，尽量把分缝线调整到头部碰撞区域之外，但由于车辆设计受造型风格限制，很多时候不能保证。造型确定之后，为了降低此区域头部伤害值，可以通过使 shotgun 外板 Z 向下移，增大侧分缝线与 Shotgun 外板的 Z 向空间距离，如图 7 (a) 所示，从而使头部碰撞时有更多的吸能空间。如果 Z 向距离过大，则需要通过支架来连接翼子板与 shotgun，翼子板支架在考虑其刚度时还要更多考虑行人保护作用，通过选择适当的料厚、材料并且弱化结构，使其吸收一定的能量的同时更易压溃变形，减少对头部的伤害。如图 7 (b) 所示，为考虑行人保护的翼子板支架截面图。

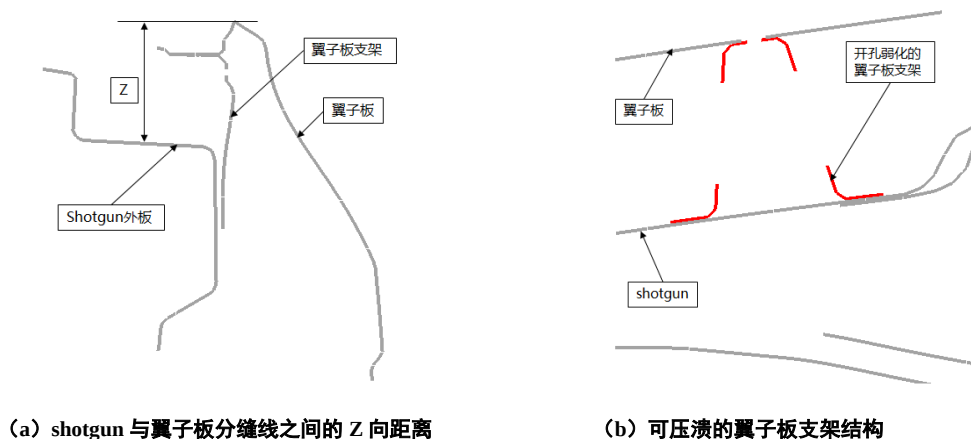


Figure 7. Wing design requirements
图 7. 翼子板设计要求

5. 雨刮

由于雨刮的特殊结构，且雨刮总成处于行人保护头部碰撞区域之内，要降低雨刮对于头部的伤害，主要有以下两个方面：第一，通过风挡装饰板的合理造型与雨刮总成的合理布置，将雨刮输出轴布置在发动机盖下方，这样头部碰撞时无法与雨刮轴直接接触，在一定程度上降低头部伤害值，如图 8 (a)。第二，由于第一种方式对雨刮的总布置要求较高，而且就算雨刮布置在发动机盖下方，由于空间限制，发动机盖在碰撞过程中变形还是会接触雨刮轴，同样会对头部造成伤害。可以根据要求设定合理的雨刮轴压溃力，在碰撞过程中，雨刮轴受力达到极限值，整体压溃下沉，增加碰撞空间，并且本身整体刚度下降，从而降低头部伤害，如图 8 (b)。

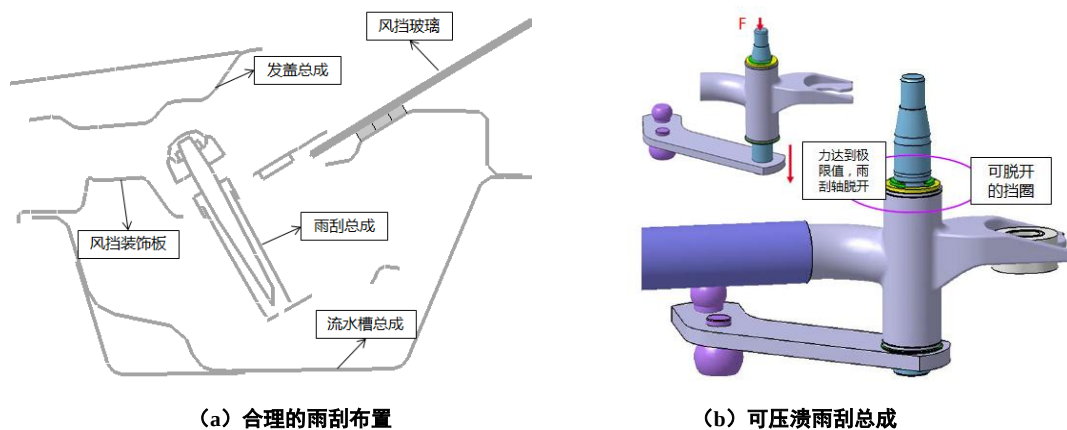


Figure 8. Wiper design requirements
图 8. 雨刮设计要求

4.4 新技术的应用

随着法规的实施和市场准入门槛的提高，以及目前国内对行人保护的认知及重视的程度，越来越多的主动行人保护技术开始应用：

主动弹起式发动机盖。该系统利用发动机盖弹升技术以及先进的监控技术，在检测到行人与车辆前端发生碰撞时，车辆会启动发动机盖弹升控制模块，使发动机盖在汽车与行人发生碰撞的瞬间，利用弹簧、气体发生

器或者电动马达使发动机盖瞬间弹起至一定高度，增加发动机盖下方的自由变形空间，避免行人头部与发动机盖下方硬物的二次碰撞，同时可以通过增加发动机盖变形和提供弹性支撑进一步吸收碰撞能量，减少行人头部伤害。

车外行人安全气囊系统。车外行人安全气囊系统是以气囊为碰撞缓冲装置，其工作方式与传统的汽车安全气囊一样，不同的是这个气囊可以对车外的行人进行保护，对行人的生命提供保障。目前使用的主要有两种，一种是发动机盖气囊，一种是前围气囊。对于发动机盖气囊，碰撞前有一个碰撞预警传感器激发，保持充气状态时间可达数秒钟。充气后的发动机盖气囊可在前挡风玻璃、发动机盖后端中间的位置展开，并且延伸到 A 柱两侧以及挡风玻璃上，不仅能够盖住玻璃底部还可以盖住雨刮器总成以及发动机盖铰链位置的致命硬点，可以更好的保护头部，降低头部伤害值；对于前围气囊，前围气囊会在左右前大灯之间部位展开，由保险杠顶端延伸到发动机盖表面，可以更好的保护行人下腿部，降低腿部伤害值。

智能安全保护系统。该系统能够对行人采取主动保护，在事故发生前就及时通知驾驶员，避免车祸的发生或者将伤害降至最小。这些车载设备包括安装在车身各个部位的传感器、激光雷达、红外线、超声波传感器、盲点探测器等，具有事故检测功能，能随时通过声音、图像等方式向驾驶员提供车辆周围以及车辆本身的必要信息，并可以自动或者半自动地进行车辆控制，做出最快的反应，从而有效的防止事故发生。

5 总结与展望

2018 版 C-NCAP 行人保护的加入，对汽车设计提出了更高的要求，主要有以下几点：

首先，新法规对汽车造型的要求更加严格。为了尽可能缩小行人保护头部与下腿部的碰撞区域对汽车前端造型，发动机罩、翼子板的造型约束较大，前大灯的位置以及那些棱角分明的线条（如发动机盖特征线与分缝线等）会受到很大的约束。

第二，行人保护性能与整车耐撞性、强度耐久和 NVH 等性能之间的矛盾更加突出，如何在复杂的因素中找到平衡点，设计满足各种性能的汽车是当前各个主机厂的难点。

第三，传统的汽车结构设计不能满足新法规的要求，从而催生了各种新技术的广泛应用，随之而来的就是成本的增加，这对主机厂来说又是一个更大的挑战。随着国家对行人保护越来越重视，加上各汽车企业设计人员的共同努力，相信这些难点肯定会得到解决，新推出的汽车产品在行人保护方面做得会越来越来好，对行人的伤害程度会降到最低。

参考文献 (References)

- [1] 吕晓江, 王纯, 刘卫国, 等. 基于行人保护的乘用车前部造型设计优化[J]. 汽车安全与节能学报, 2011, 2(9): 206-211.LV.
- [2] 陈金华, 黄向东, 赵克刚, 等. 基于儿童行人头部保护要求的发动机罩锁扣碰撞性能研究 [J]. 汽车技术, 2011(2): 26-30.
- [3] 陈金华, 黄向东, 汪俊, 等. 基于理想方波减速度的发动机罩溃缩距离的分析 [J]. 汽车工程, 2012, 24(5): 457-460.
- [4] 徐福慧, 王栋, 李博, 王亚军, 吴沈荣, 等. 行人保护冲击前大灯实验与模拟对比研究 [A]. The 12th International Forum of Automotive Traffic Safety, 2015,12:157-158.
- [5] 叶新宇. 汽车前翼子板安装点的布置和设计 [J]. 机械工程师, 2011(3).
- [6] 赵继峰. 总布置设计对行人保护的重要影响 [J]. 汽车工程师, 2009(2).
- [7] 葛如海, 吴淼, 陈晓东, 车彬彬. 基于行人保护的发动机罩铰链研究 [J]. 汽车技术, 2008, (12): 28-31.
- [8] 加里布朗. 关于全球行人保护要求不断提高情况下的车辆设计展望 [EB/OL]. 轻型汽车技术, 2012, (2/3/4/5): 188-189.
- [9] Konosu A, Issiki T, Suzuki H. Information on flexible pedestrian legform impactor type GT (Flex-GT), TEG-033 [R]. Bergisch: Flex-PLI Technical Evaluation Group(Flex-TEG), 2007.
- [10] Lee Y H, Joo Y J, Park J S, et al. Robust design optimization of frontal structures for minimizing injury risks of flex pedestrian legform impactor [J]. Int'l J Automotive Tech, 2014, 15(5): 757-764.