

doi: 10.11835/j.issn.1000-582X.2023.206

乘用车流水槽多属性平衡设计

卜坤权¹, 周磊¹, 毛杰^{1,2}, 张亚楠¹, 张奔¹, 周昌水¹, 姚再起¹

(1. 宁波吉利汽车研究开发有限公司, 浙江宁波 315336; 2. 浙江大学能源工程学系, 杭州 310027)

摘要: 文章提出了流水槽区域采用结构加强类产品 (composite body solution, CBS) 支架方法, 将流水槽区域由于刚度不足引起的车内轰鸣噪声和行人保护成人头部得分进行平衡, 既可降低车内轰鸣噪声, 又能改善行人保护头部得分。将 CBS 支架材料基本参数、力学特性曲线与常见金属材料对比, 得到 CBS 骨架材料具有低杨氏模量、低屈服强度特性; 并根据材料应力应变力学特性曲线, 识别出行人保护成人头部得分对材料线性段和非线性段敏感度, 得到力学特性曲线屈服段对头部伤害更高的结论。基于三档全油门加速工况车内轰鸣噪声主要噪声传递函数 (noise transfer function, NTF) 贡献路径, 采用拓扑优化方法得到初始 CBS 支架轮廓结构, 根据模具成型需求将轮廓具体结构细化。对具体的 CBS 结构分别进行噪声和行人保护验证, 结果显示: 右悬置 Z 向激励到车内驾驶员外耳处响应噪声水平相比基础状态在 70~80 Hz 频段改善 2 dB, 在 150~170 Hz 频段改善约 3 dB, 行人保护相比基础状态得分提高 1 分, 达到了噪声和行人保护平衡的目的, 验证了此方法应用于解决车内轰鸣噪声和行人保护得分冲突的可行性, 为后续车型开发中遇到此类问题提供了解决方案。

关键词: 轰鸣噪声; 行人保护; 流水槽; 拓扑; 结构加强类产品 (CBS)

中图分类号: TB532

文献标志码: A

文章编号: 1000-582X(2024)09-070-11

Multi-attribute balance design of vehicle cowl

BU Kunquan¹, ZHOU Lei¹, MAO Jie^{1,2}, ZHANG Yanan¹, ZHANG Ben¹,
ZHOU Changshui¹, YAO Zaiqi¹

(1. Ningbo Geely Automobile Research and Development Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang 315336, P. R. China;

2. College of Energy Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, P. R. China)

Abstract: This paper proposes a composite body solution (CBS) bracket method to balance the interior rumbling noise caused by the cowl with the adult head score for pedestrian protection. This method not only improves the interior noise level but also enhances the head score for pedestrian protection. Firstly, a comparison of the basic parameters and mechanical properties of CBS scaffold material and common metal materials reveals that CBS scaffold material has the advantages of low Young's modulus and low yield strength. The sensitivity of adult head score for pedestrian protection to linear and nonlinear segments was distinguished according to the material's mechanical property curve, indicating that the yield section has a higher impact on head injury. Secondly, the topology optimization method is used to obtain the initial CBS contour structure based on the main noise transfer

收稿日期: 2022-04-21 网络出版日期: 2023-09-12

基金项目: 国家重点研发计划资助项目 (2020YFB1709404)。

Supported by National Key R&D Program of China (2020YFB1709404).

作者简介: 卜坤权 (1988—), 男, 主要从事汽车噪声振动研究, (E-mail) kunquan.bu@geely.com。

通信作者: 毛杰, 高级工程师, 博士后, (E-mail) maojie@geely.com。

function (NTF) contribution path of the vehicle roar noise, and the specific structure of the contour is refined. Finally, noise and pedestrian protection are verified for specific CBS structures. The results show that compared to the basic state, the roar noise from the Z-direction excitation of the right suspension to the driver's external ear in the car is improved by 2 dB in 70 Hz to 80 Hz frequency band and about 3 dB in 150 Hz to 170 Hz frequency band, and the score for pedestrian protection is 1 points higher than the basic state. This method achieves a balance between noise reduction and pedestrian protection, verifying the feasibility of this method to resolve the conflict between noise and pedestrian safety.

Keywords: booming noise; pedestrian protection; cowl; topology; composite body solution (CBS)

随着汽车在生活中的普及,客户对汽车乘坐舒适性要求越来越高。汽车踩油门加速是用户最常用的工况之一,该工况下出现轰鸣噪声会引起明显压耳感,使乘员出现不舒适的感觉。影响车内轰鸣的主要贡献区域为前风挡特别是前风挡下沿区域,目前主流解决方法是在流水槽内增加不同结构类型的金属加强支架,用来加强风挡下沿与流水槽之间的连接,增大风挡下沿刚度,从而提升风挡模态及刚度,但增加金属加强支架会降低行人保护头部得分,从而影响车型星级评判,这是目前汽车设计典型的属性相冲突的矛盾点之一,需要针对此矛盾点提出一种平衡的方法。

郭锦鹏等^[1]为了解决 2 600 r/min 下加速轰鸣问题,在空调进风口位置增加了 2 个加强支架,增加了风挡下沿安装面与流水槽之间的连接,提升风挡下沿刚度,促使风挡下沿玻璃安装面避开了声固耦合频率区域,减小了 6 dB 噪声,但未考虑行人保护性能。Jayanth 等^[2]通过增强流水槽上方通风盖板强度,提高客户感知质量和降低行人保护头部伤害的研究,但并未涉及流水槽及风挡下沿结构的研究,忽略了噪声性能;李京福等^[3]利用传递路径分析方法将轰鸣问题聚焦至流水槽部位,并在流水槽内增加了加强支架,使轰鸣噪声减小了 10 dB,但是也未考虑行人保护性能。上述研究未将轰鸣噪声和行人保护同时考虑,也忽略了两者之间的冲突关系。

文中基于材料的弹塑性能及结构特性,结合轰鸣噪声性能,利用数字拓扑算法对流水槽区域进行噪声轰鸣敏感点甄别,设计支架结构,再依据行人保护对支架结构和材料的敏感点,以及模具成型工艺对支架进行结构细化,最后对具体的结构加强类产品(composite bpdysolution, CBS)分别进行噪声和行人保护验证。结果显示:右悬置 Z 向轰鸣噪声水平相比基础状态在 70~80 Hz 频段改善了 2 dB,在 150~170 Hz 频段改善了 3 dB,行人保护相比基础状态得分提高约 1 分,达到了噪声和行人保护平衡的目的,验证了文中方法应用于解决轰鸣噪声和行人保护冲突的可行性,为解决此处汽车设计 NVH 与行人保护冲突点提供了一种解决思路和方案。

1 背景理论

在流水槽区域车内轰鸣噪声和行人保护冲突点上,车内轰鸣噪声主要关联为流水槽区域刚度,行人保护得分主要关联流水槽区域刚度和强度,依据材料力学特性曲线,CBS 骨架材料(常见 PA66+GF35)在杨氏模量和屈服强度方面相比钢材(比如 DC01)均低很多,可以利用此材料性能差异对流水槽区域支架进行拓展研究。

1.1 拓扑优化数学模型建立

连续体结构拓扑优化数学模型为

$$\begin{cases} \text{find } t=(t_1, t_2, \dots, t_n) T, \\ \min W=\sum_{i=1}^n f(t_i) \omega_i^0, 0 \leq t_i \leq 1, \\ \text{s.t. } \sigma_i \leq f(t_i) \sigma_i^0, \end{cases} \quad (1)$$

式中: t_i 为单元 i 的独立连续拓扑变量, $i=1, \dots, n$; σ_i 为单元 i 的 VonMises 应力; σ_i^0 为单元 i 的固有质量; n 为单元总数; $f(t)$ 为过滤函数^[4], $f(t)=t^3$ 。

单元性质参数识别采用

$$w_i = f(t_i) \omega_i^0, [\sigma_i] = f(t_i) \sigma_i^0, k_i = f(t_i) k_i^0, \quad (2)$$

式中: $[\sigma_i]$ 为单元许用应力; k_i 为单元刚度; w_i 为单元质量; k_i^0 为单元固有刚度^[5-8]。

1.2 行人保护头部伤害及得分评判

行人保护头部评价指标广泛采用头部损伤指标值(head injury criterion, HIC) C_{HIC} 来评价行人头部损伤程度。计算出各个头部损伤值,按照表1规则获取各个头部点得分,计算出所有头部得分比例,当前最新C-NCAP法规行人保护头部总分为10分,用头部得分比例乘以10得到最后行人保护头部得分。

C_{HIC} 值的计算公式为

$$C_{HIC} = \left[(t_2 - t_1) \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \alpha(t) dt \right)^{2.5} \right], \quad (3)$$

式中: $t_2 - t_1$ 为 C_{HIC} 值达到最大的时间间隔,理论要求不超过15 ms,即时间间隔大于15 ms的加速度值将被忽略; $\alpha(t)$ 为行人头部质心的合成加速度,常用重力加速度的倍数表示^[9]。

表1 行人保护头部得分评判规则

Table 1 Evaluation rules of head score for pedestrian protection

项目	伤害值范围	评分项	颜色	得分点数	得分数	总分
C-NCAP	默认满分项	1.00	默认满分项	0	0	
	0~650	1.00	绿色	4	4.00	
	650~1 000	0.75	黄色	13	9.75	
	1 000~1 350	0.50	橙色	13	6.50	
	1 350~1 700	0.25	棕色	9	2.25	
	1 700	0	红色	8	0	
	默认0分项	0	默认0分项/蓝色	0	0	
预估行人保护头部得分数(排除默认蓝色不得分项)				47	22.50	5.745

1.3 常见金属材料 and CBS 材料对比

常见金属材料在恒定方向受力拉伸下的应力-应变曲线如图1所示。图中, σ_p 为材料的弹性极限,表示材料保持完全弹性变形的最大应力,当试件应力小于屈服强度 σ_s 时,应力和应变表现线性关系;但应力超过屈服强度后,应力和应变表现为非线性关系。 ϵ_e 表示弹性变形阶段,屈服阶段以后,材料抵抗变形的能力恢复,必须加大载荷才能使变形继续产生,这称为材料的强化现象。材料屈服以后,卸载都是弹性的, E 表示斜率,在加载和卸载的过程中应力和应变服从各自的规律。当完全卸载后,试件中会存在残余变形, ϵ_p 表示塑性变形阶段。因此,材料发生屈服之后,应力和应变之间不再是单值对应的关系,而是与受力历史有关,这是区别于非线性弹性材料的基本属性。

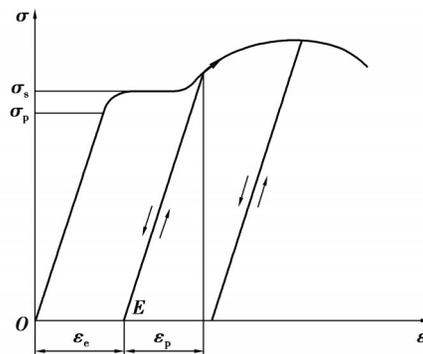


图1 弹塑性应力应变关系

Fig. 1 Elastic-plastic stress-strain relationship

金属材料根据其力学特性曲线不同可以用屈服强度来分类。材料屈服强度越高表示该材料越强、抵抗变形的能力越大,为了考虑行人保护头部得分,在流水槽区域的钣金材料常规采用低屈服强度一类,且该区域主要与车内加速轰鸣噪声水平相关,金属支架结构太弱会导致车内轰鸣噪声过大,而太强则会降低行人保护得分;CBS 材料(常见 PA66+GF35)具有低杨氏模量低屈服强度特点,详细材料参数对比见表 2 和图 2 所示,通过流水槽内支架结构优化可以达到刚度和强度分别满足车内轰鸣噪声水平和行人保护得分的需求。

表 2 材料基础参数对比表

Table 2 Basic parameters of materials

材料牌号	杨氏模量/GPa	材料密度/(t·m ⁻³)	泊松比	屈服强度/MPa
PA66+GF35	11.52	1.41	0.4	71.0
DC01	210.00	7.85	0.3	192.2
B280VK	210.00	7.85	0.3	319.3
B170P1	210.00	7.85	0.3	192.0
HC18Y	210.00	7.85	0.3	202.0

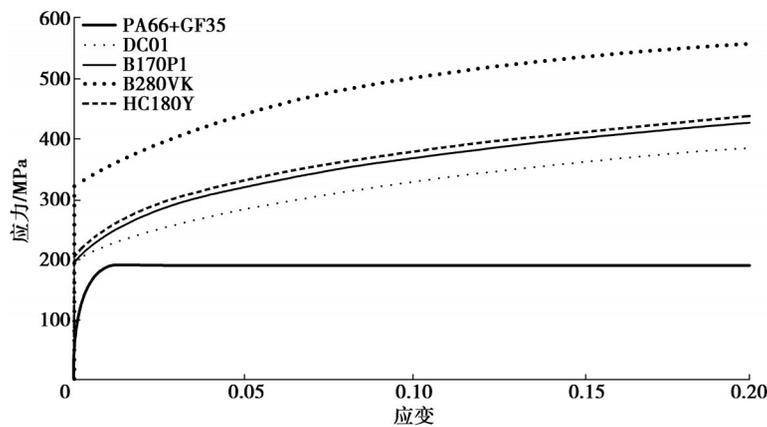


图 2 材料真实应力应变曲线对比

Fig. 2 Real stress-strain curves of materials

从表 2 和图 2 材料参数对比得出,CBS 材料(常见 PA66+GF35)杨氏模量相比金属材料低 18 倍,屈服强度相比 DC01 材料低 2.7 倍^[10-11]。

1.4 材料弹性受力段和塑性受力段

流水槽区域强度对该区域内行人保护头部得分影响较大,流水槽强度包含了材料的线性阶段和非线性阶段,需要甄别行人保护头部得分对材料这 2 个阶段的敏感度,因此,流水槽区域受行人保护头部撞击的受力过程分为弹性受力阶段和塑性受力阶段。

1.4.1 材料弹性受力段

假定如图 3 所示相同结构样件的 DC01 料和 CBS 料,根据胡克定律,使样件产生 ΔL 长度变形的计算公式为

$$\Delta L = \frac{F_N L}{EA}, \tag{4}$$

式中: A 为样件的横截面积; F_N 为样件所受的轴力; E 为样件材料的杨氏模量; L 为杆件初始长度。

从胡克定律计算公式得出,低杨氏模量的杆件更易拉伸和压缩,所以弹性阶段 CBS 料比 DC01 金属支架更易被压缩,对行人保护头部产生的阻力更小,能够获得更高的得分。

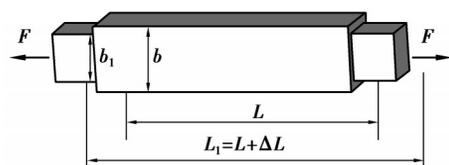


图 3 样件结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of sample structure

1.4.2 材料塑性受力段

任何工程材料能承受的应力都是有一定限度的,使材料丧失正常工作能力的应力称为极限应力。一般认为,塑性材料的极限应力是其屈服极限 σ_s ,常温、静载条件下,塑性材料拉伸和压缩的屈服极限基本相同,故拉、压许用应力也相同,为

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{n_s}, \quad (5)$$

式中: n_s 为屈服安全系数,安全系数的大小直接影响杆件的工作情况,若 n_s 值取得过小,许用应力过大,材料接近于极限应力,杆件工作的安全性差;若 n_s 值取得过大,材料的利用率太低,造成浪费,所以在确定安全系数 n_s 时需要兼顾安全性与经济性2个方面。一般的机械,采取经验选取;塑性材料 n_s 取1.2~2.2。

从式(5)得出,试件许用应力CBS料相比DC01料会小很多,试件发生屈服的外力也会小很多,CBS料试件更易屈服,这样在屈服过程中对行人保护头部的阻力也会较小,能够获得更高的得分。

2 轰鸣噪声与行人保护平衡

2.1 轰鸣噪声与行人保护基础状态

某车型为了解决加速轰鸣问题,在流水槽区域增加了金属加强支架,支架材料为DC01,厚度为1.2 mm,如图4所示。

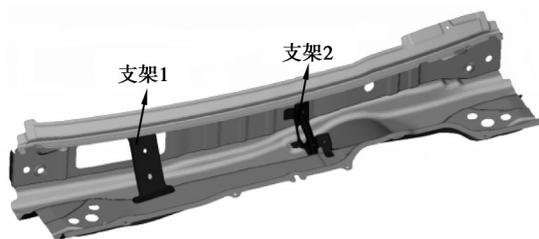


图4 流水槽区域支架示意图

Fig. 4 Schematic diagram of bracket in cowl

驾驶员外耳三档全油门加速工况噪声通过传递路径分析(transfer path analysis, TPA)分解至右悬置和后悬置2个主要噪声传递函数(noise transfer function, NTF)贡献路径,以75 Hz为例,如图5所示。

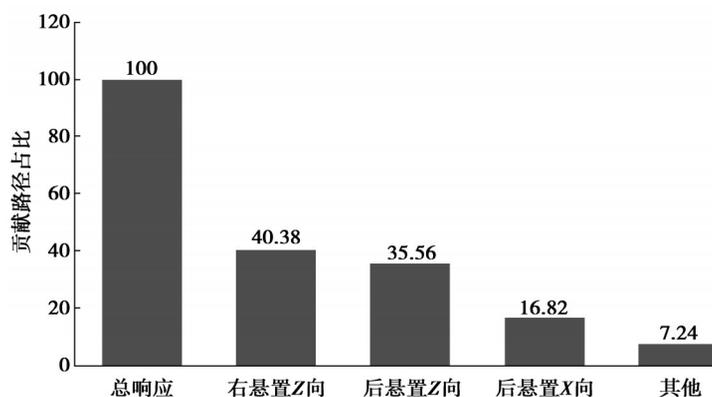


图5 三档全油门加速传递路径贡献示意图

Fig. 5 3-WOT path contribution

噪声传递函数NTF是指在车身上某激励依附点处受到激励作用时,激励通过车身各处传递,从而使车身壁板振动并向车内辐射噪声,这种力与噪声的关系称为车身结构声学传递函数,用声压级(sound pressure level, SPL)来表示,单位是dB。三档全油门加速工况2个主要贡献路径下右悬置和后悬置NTF曲线如图6所示,加速轰鸣段主要关注70~80 Hz和150~170 Hz两段。

基础状态流水槽区域行人保护头部根据C-NCAP法规划分碰撞区域如图7所示,行人保护基础状态得分如图8所示。从行人保护结果来看,流水槽区域三排头部伤害值均较大,得分也较低,结果非常不理想。

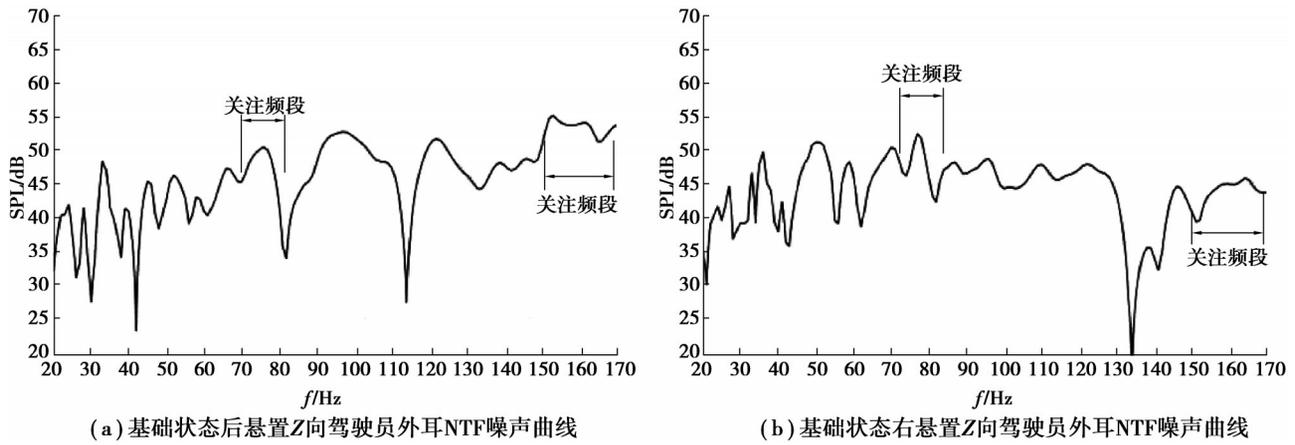


图 6 基础状态驾驶员外耳 NTF 噪声曲线

Fig. 6 Driver external ear NTF noise curve in basic state

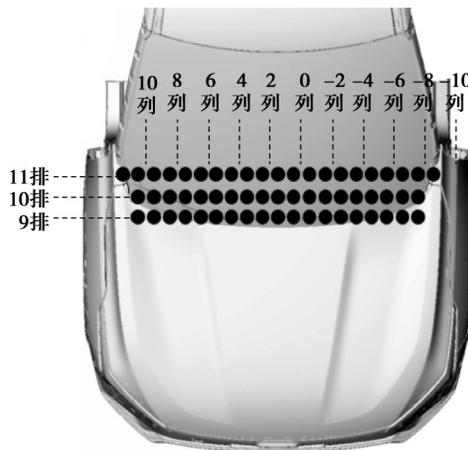


图 7 行人保护流水槽区域头部碰撞点

Fig. 7 Head impact points of pedestrian protection cowl area

		行人保护头部得分																				
		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
行人保护头部划分区域	2 600	16																				
	2 500	15																				
	2 400	14																				
	2 300	13																				
	2 200	12																				
	2 100	11	3130	3385	3791	4350	5065	5927	6947	8124	9468	11080	12971	15142	17603	20364	23435	26826	30547	34608	39029	43820
	2 000	10	3057	3320	3727	4286	5001	5863	6883	8060	9404	10916	12607	14478	16529	18860	21481	24402	27633	31184	35065	39286
	1 900	9	3020	3283	3690	4249	4964	5826	6846	8023	9367	10879	12570	14441	16492	18723	21144	23765	26606	29767	33248	37069
	1 800	8																				
	1 700	7																				
	1 600	6																				
	1 500	5																				
	1 400	4																				
	1 300	3																				
1 200	2																					
1 100	1																					
1 000	0																					

(a) 头部得分分布图

事件	日期	总分	伤害值	得分	颜色	得分点数	分数	总分	
C-NCAP	2022-02-18	10	默认满分		默认绿色	0	0.000		
			0	650	1.00	绿色	0	0.000	
			650	1 000	0.75	黄色	11	8.250	
			1 000	1 350	0.50	橙色	7	3.500	
			1 350	1 700	0.25	棕色	12	3.000	
			1 700		0.00	红色	17	0.000	
			DR			默认0分	0	0.000	
						默认0分	0		
行人保护头部得分						47	14.750	3.766	

(b) 评分表

图8 行人保护流水槽区域头部得分统计

Fig. 8 Head score for pedestrian protection cowl area

2.2 轰鸣噪声与行人保护极限状态验证

在基础模型状态基础上,分别去除支架1和支架2,验证NTF和行人保护,得到最差状态下的噪声结果如图9所示,支架去除后后悬置点相对驾驶员外耳在75 Hz升高了5 dB,在145 Hz升高了5 dB,在160 Hz升高了4 dB,升高较多,不可接受;支架去除后右悬置点相对驾驶员外耳在70 Hz升高了4 dB,在155~175 Hz升高了4.5 dB,升高较多,不可接受。

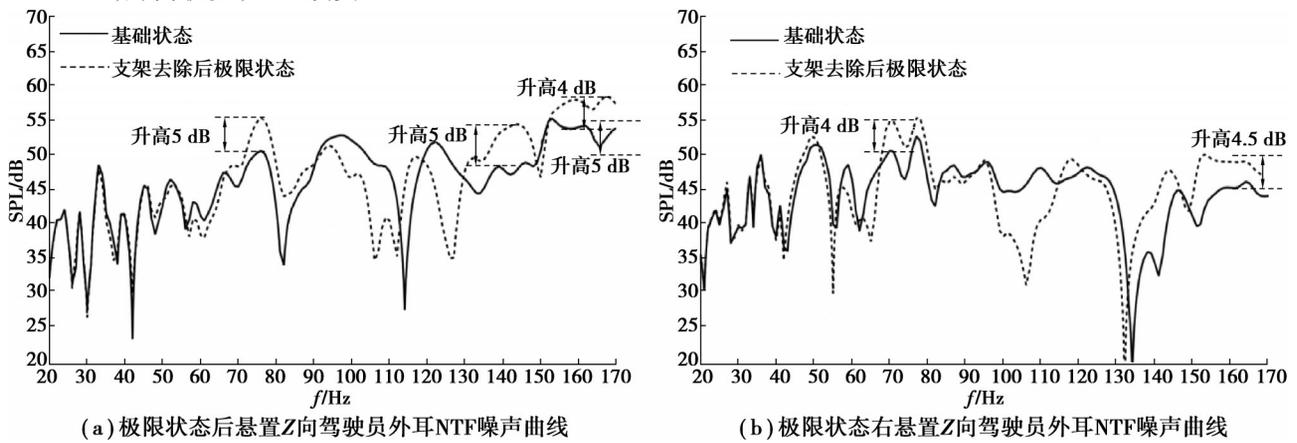


图9 极限状态驾驶员外耳NTF噪声曲线

Fig. 9 NTF noise curve of driver's outer ear in extreme state

支架去除后极限状态下流水槽区域行人保护头部得分为5.936分,如图10所示,相比基础状态提高了2.17分。

		行人保护头部得分																					
		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	
行人保护头部划分区域	2 600	16																					
	2 500	15																					
	2 400	14																					
	2 300	13																					
	2 200	12																					
	2 100	11			3150	3342	1794	872	719	636	628	610	605	610	622	636	732	853	1099	1350	1200		
	2 000	10			1862	1269	1221	1221	1432	1386	1386	1416	1360	1351	1432	1195	1256	1301	1901				
	1 900	9			1438	1342	758	719	814	1023	1065	1161	1056	1017	882	758	719	1344	1586				
	1 800	8																					
	1 700	7																					
	1 600	6																					
	1 500	5																					
	1 400	4																					
1 300	3																						
1 200	2																						
1 100	1																						
1 000	0																						

(a) 头部得分分布图

事件	日期	总分	伤害值		得分	颜色	得分点数	分数	总分
C-NCAP	2022-02-18	10	默认满分		1.00	默认绿色	0	0.000	
			0	650	1.00	绿色	7	7.000	
			650	1 000	0.75	黄色	10	7.500	
			1 000	1 350	0.50	橙色	12	6.000	
			1 350	1 700	0.25	棕色	11	2.750	
			1 700		0.00	红色	7	0.000	
			DR			默认0分	0	0.000	
						默认0分	0		
行人保护头部得分							47	23.250	5.936

(b) 评分表

图 10 极限状态行人保护流水槽区域头部得分统计

Fig. 10 Statistics of head score for pedestrian protection cowl area in extreme state

2.3 基于噪声拓扑优化

2.3.1 拓扑模型建立及参数设置

去除流水槽支架 1 和 2 状态下,设置拓扑变量空间如图 11 所示,拓扑变量与流水槽及风挡下沿采用 Tie 接触连接。定义拓扑变量如表 3 所示。

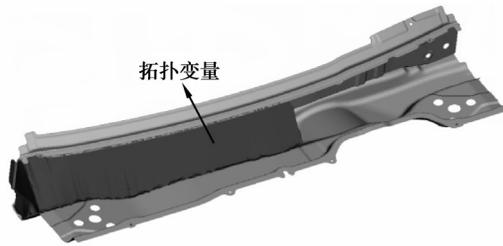


图 11 拓扑变量空间示意图

Fig. 11 Schematic diagram of topological variable space

表 3 拓扑变量设置表

Table 3 Topology variables

变量	变量 ID	属性	属性 ID1	属性 ID2
DTPL	1	PSOLID	14000000	14000001

定义设计变量,将极限状态下右悬置 Z 向和后悬置 Z 向变差的频率段作为设计变量频率段,如表 4 所示,将基础状态频率段下 NTF 值作为拓扑约束目标,如表 5 所示。

表 4 设计变量设置表

Table 4 Design variables

变量	ID	名称	响应类型	响应方向	边界	点号	目标	频率下限	频率上限
DRESP1	2	Z49	FRVELO	M-TZ	MAX	902	EXTN	49	50
DRESP1	3	Z70	FRVELO	M-TZ	MAX	902	EXTN	70	71
DRESP1	4	Z77	FRVELO	M-TZ	MAX	902	EXTN	77	78
DRESP1	5	Z144	FRVELO	M-TZ	MAX	902	EXTN	143	144
DRESP1	11	Z153	FRVELO	M-TZ	MAX	902	EXTN	153	173
DRESP1	12	Z76	FRVELO	M-TZ	MAX	104	EXTN	76	77
DRESP1	13	Z130	FRVELO	M-TZ	MAX	104	EXTN	130	148
DRESP1	13	Z130	FRVELO	M-TZ	MAX	104	EXTN	153	172

表5 约束变量设置表
Table 5 Constraint variables

约束变量	ID	变量	目标/名称
DCONSTR	1	6	51.0
DCONSTR	2	7	50.5
DCONSTR	3	8	52.5
DCONSTR	4	9	45.0
DCONSTR	11	20	45.0
DCONSTR	12	21	50.5
DCONSTR	13	22	48.0
DCONSTR	14	23	54.0

2.3.2 拓扑结果

求解后得到的初版拓扑结果如图12所示,主要贡献位置集中在流水槽中间位置,拓扑结构呈现“S”形。

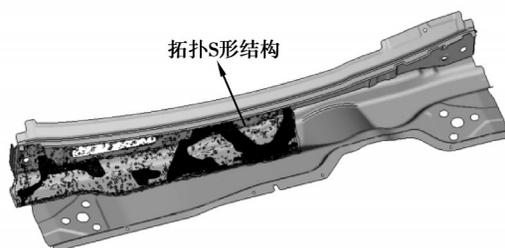
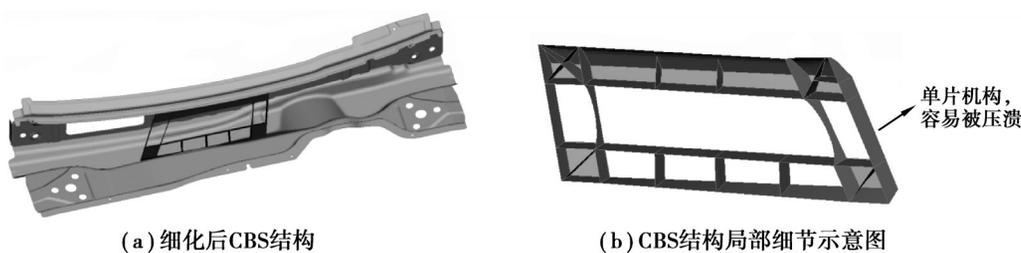


图12 拓扑结果示意图

Fig. 12 Schematic diagram of topology results

2.4 拓扑结果细化

设计CBS结构需结合塑料模具成型、进胶口位置、冷却缩印、脱模、回弹等工艺,参考拓扑优化结果、空间布置和工序等最终设计出的CBS结构为“口”形支架结构,如图13所示。



(a) 细化后CBS结构

(b) CBS结构局部细节示意图

图13 细化后CBS结构示意图

Fig. 13 Schematic diagram of CBS structure after refinement

2.5 噪声和行人保护验证

将细化后的CBS支架分别代入到对应有有限元模型进行噪声和行人保护验证,图14为噪声验证结果,CBS方案NTF效果与基础状态结果基本相当。

图15为行人保护验证结果,流水槽区域行人保护头部伤害值降低,得分从3.766分提升至4.787分,提升约1分,提升幅度明显,效果较好。

对比行人保护结果,金属支架和CBS支架相比,金属支架基本无变形而CBS支架局部已屈服变形,如图16所示,更易吸收碰撞能量,同时给头部造成的阻力也越小,使头部能够获得更高的得分。

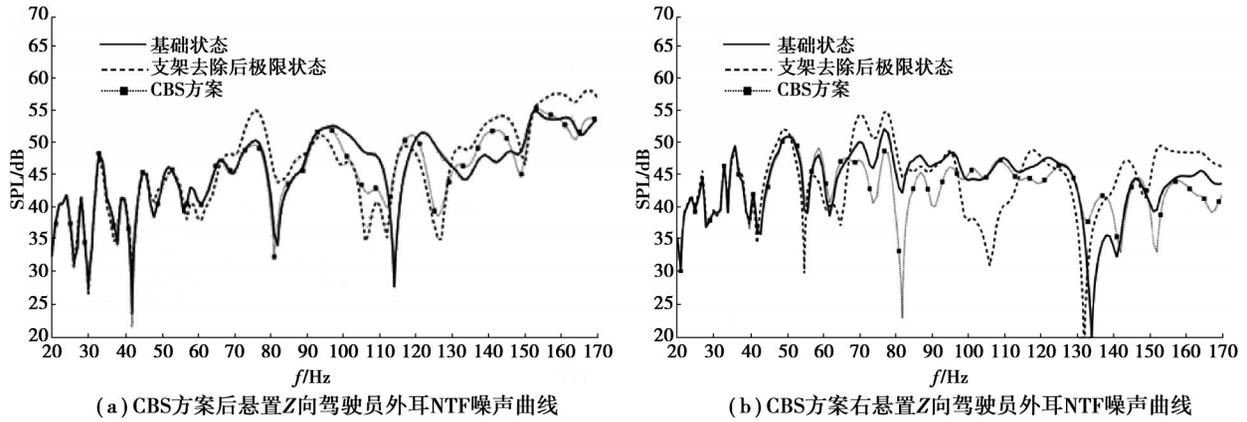


图 14 CBS方案驾驶员外耳 NTF 噪声曲线
Fig. 14 Driver external ear NTF noise curve in CBS scheme

		行人保护头部得分																					
		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	
行人保护头部划分区域	2 600	16																					
	2 500	15																					
	2 400	14																					
	2 300	13																					
	2 200	12																					
	2 100	11	3152	3157	1754	886	378	318	247	244	228	218	207	200	197	196	197	205	218	228	244	267	294
	2 000	10	3860			1501	750	648	548	448	348	248	148	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
	1 900	9	4428	4345	3738	3138	2538	1938	1338	738	138	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
	1 800	8																					
	1 700	7																					
	1 600	6																					
	1 500	5																					
	1 400	4																					
1 300	3																						
1 200	2																						
1 100	1																						
1 000	0																						

(a) 头部得分分布图

事件	日期	总分	伤害值	得分	颜色	得分点数	分数	总数	
C-NCAP	2022-02-18	10	默认满分		默认绿色	0	0.000		
			0	650	1.00	绿色	0	0.000	
			650	1 000	0.75	黄色	12	9.000	
			1 000	1 350	0.50	橙色	12	6.000	
			1 350	1 700	0.25	棕色	15	3.750	
			1 700		0.00	红色	8	0.000	
			DR			默认0分	0	0.000	
行人保护头部得分						47	18.750	4.787	

(b) 评分表

图 15 CBS方案行人保护流水槽区域头部得分统计

Fig. 15 Head scores for pedestrian protection cowl area in CBS scheme

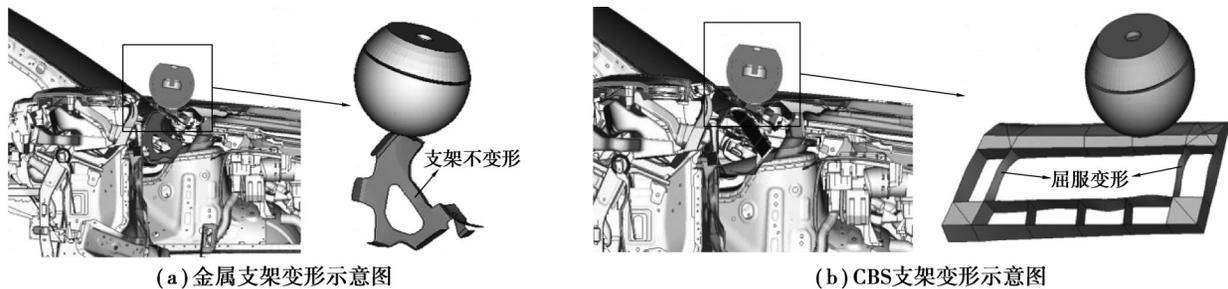


图 16 变形对比示意图

Fig. 16 Deformation comparison

3 结束语

1)验证了通过结构平衡设计方法应用于解决流水槽引起的车内轰鸣噪声和行人保护冲突问题的可行性。

2)验证了基于材料特性平衡设计应用于解决多属性问题的方向性和可行性。

3)基于流水槽区域噪声和行人保护得分平衡的问题,采用CBS结构和材料进行了方向性的验证,较好地解决了两者之间的矛盾,验证了此方法的方向性和有效性,为后续车型开发中遇到此类问题提供了解决方案。

参考文献

- [1] 郭锦鹏, 汤湧, 王超, 等. 关于某SUV车型加速轰鸣声问题的解决[J]. 汽车实用技术, 2018(7): 25-27.
Guo J P, Tang Y, Wang C, et al. The solution to the accelerated booming noise of one SUV[J]. Automobile Applied Technology, 2018(7): 25-27.(in Chinese)
- [2] Jayanth N, Agarwal A, Chandra Sekhar S. A methodology to enhance the directional load bearing performance of cowl cover and its effect on pedestrian head impact[C]//SAE Technical Paper Series. Warrendale, PA, United States: SAE International, 2020.
- [3] 李京福, 鄂世国, 葛鑫, 等. 基于传递路径分析对驾驶室内轰鸣问题的改进[J]. 汽车工程师, 2019(11): 55-57.
Li J F, E S G, Ge X, et al. Improvement of roar problem in cab based on transmission path analysis[J]. Auto Engineer, 2019 (11): 55-57.(in Chinese)
- [4] Sui Y K, Yang D Q. A new method for structural topological optimization based on the concept of independent continuous variables and smooth model[J]. Acta Mechanica Sinica, 1998, 14(2): 179-185.
- [5] 杨德庆, 刘正兴, 隋允康. 连续体结构拓扑优化设计的ICM方法[J]. 上海交通大学学报, 1999, 33(6): 734-736.
Yang D Q, Liu Z X, Sui Y K. ICM method for topology optimization design of continuum structure[J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University, 1999, 33(6): 734-736.(in Chinese)
- [6] Ab Razak M S, Othman M N, Sulaiman S N, et al. Composite optimization of automotive carbon fiber strut bar using hyperworks optistruct[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1793(1): 012072.
- [7] Wang N, An Z L, Bai D S, et al. Structural optimization of subway aluminum alloy car body analyzed by optistruct software[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 791(1): 012082.
- [8] Ge D D, Zhu L R, Xuan D J. Topology optimization in electric car body frame based on optistruct[J]. MATEC Web of Conferences, 2017, 100: 01016.
- [9] European New Car Assessment Program(Euro NCAP). Assessment protocol-overall rating, version8.2[S/OL]. Euro NCAP Secretary, [2022-02-01].<https://www.euroncap.com/en>.
- [10] 叶振兴, 王欧白, 钟绍信, 等. 高性能玻璃纤维增强PA10T/PA66复合材料研究[J]. 塑料工业, 2020, 48(5): 123-128.
Ye Z X, Wang O B, Zhong S X, et al. Research on high-performance PA10T/PA66 composites reinforced by glass fiber[J]. China Plastics Industry, 2020, 48(5): 123-128.(in Chinese)
- [11] 陈汉军, 杨挺, 赵向东. 短玻璃纤维增强PA66的各向异性拉伸模量和本构方程研究[J]. 汽车工艺与材料, 2018(5): 50-54.
Chen H J, Yang T, Zhao X D. Research on anisotropic tensile modulus and constitutive equations of short glass fiber reinforced PA66[J]. Automobile Technology & Material, 2018(5): 50-54.(in Chinese)

(编辑 詹燕平)