

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2023.06.019

不同壳体材质头盔耐候性评估

李景菲, 沈振, 葛凌慧, 冯晓雷

(浙江省产品质量安全科学研究院, 杭州 310000)

摘要:为评估不同壳体材质电动自行车头盔的耐候性能,利用3种人工加速老化试验[紫外、65℃热氧、双85(温度85℃、相对湿度85%)湿热]及大气暴露和室内保存等方式对定制的4种不同材质头盔样品进行处理,并对不同老化阶段头盔的安全防护性能进行测试,采用扫描电子显微镜、热重分析、动态力学分析等手段对样品的微观形貌、热性能进行分析。结果表明,经各加速老化处理后头盔的吸收碰撞能量加速度峰值均小于150g($g=9.80665\text{ m/s}^2$),仍能在实际使用中发挥安全防护作用,这主要得益于头盔缓冲层的存在。依据老化后样品形貌变化、破裂情况及刚度性能,评估壳体材质显示,聚碳酸酯/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料合金料样品性能最优;评估老化方式显示紫外老化影响最小,65℃热氧老化次之,双85湿热老化后头盔变形严重且破裂情况增多,不符合实际的使用场景。经双85湿热老化后,样品微观形貌显示其断面微孔结构增加,而热稳定性变化不大。头盔壳体材质直接影响碰撞试验后样品是否破裂,头盔吸收碰撞能量加速度峰值受其缓冲层影响较大,刚度性能可以作为头盔壳体材质性能有效评估指标。

关键词: 头盔; 壳体材质; 安全防护性能; 老化; 耐候性

中图分类号: TQ325 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2023)06-0116-08

Weather Resistance Evaluation of Helmet with Different Shell Materials

Li Jingfei, Shen Zhen, Ge Linghui, Feng Xiaolei

(Zhejiang Institute of Product Quality and Safety Science, Hangzhou 310000, China)

Abstract: In order to evaluate the weather resistance of electric bicycle helmet with different shell materials, three accelerated aging tests [ultraviolet (UV) aging, 65 °C hot air aging, 85/85 (85 °C, RH 85%) humidity-heat aging], atmospheric exposure and indoor storage methods were used for treating four customized helmet samples with different materials. The safety protection performances of helmets in different aging stages were tested, and the microscopic morphology and thermal properties of the samples were analyzed by scanning electron microscopy, thermogravimetric analysis and dynamic mechanics analyzer. The results show that the peak acceleration of the collision energy absorbed by the helmet after each accelerated aging treatment is less than 150g ($g=9.80665\text{ m/s}^2$), and it can still play a safety protection role in actual use, mainly due to the existence of the helmet buffer layer. According to the morphology change, rupture and stiffness performance of the sample after aging, the evaluation of the shell material shows that the PC/ABS alloy sample has the best performance. The evaluation of the aging method shows that the effect of UV aging is the smallest, followed by 65 °C hot air aging, and the helmet is seriously deformed and has more cracking situations after 85/85 humidity-heat aging, which does not meet the actual use scenario. After 85/85 humidity-heat aging, the micromorphology of the sample shows that the cross-sectional microporous structure increases, but the thermal stability is not changed much. The helmet shell material directly affects whether the sample is broken after the crash test, and the peak acceleration of the collision energy absorbed by the helmet is greatly affected by its buffer layer, and the stiffness performance can be used as an effective evaluation index for the material performance of the helmet shell.

Keywords: helmet ; shell material ; security protection performance ; aging ; weather resistance

基金项目: 浙江省市场监督管理局项目(20210103)

通信作者: 李景菲, 中级工程师, 主要研究方向为日用消费品质量安全分析及高分子材质老化研究

收稿日期: 2023-03-30

引用格式: 李景菲, 沈振, 葛凌慧, 等. 不同壳体材质头盔耐候性评估[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(6): 116-123.

Li Jingfei, Shen Zhen, Ge Linghui, et al. Weather resistance evaluation of helmet with different shell materials[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(6): 116-123.

头盔作为头部保护的装具,应用范围广,是消费者日常出行和运动竞技中不可或缺的保护工具,合格的头盔能够有效地保障消费者的人身安全。伴随着电动车出行的快速发展,与之相关的交通事故和伤害事件一直处于高位^[1],随着2020年6月“一盔一带”安全守护行动的开展,骑乘人伤亡率较往年明显下降。目前GB 811-2010《摩托车乘员头盔》和GB 24429-2009《运动头盔 自行车、滑板、轮滑运动头盔的安全要求和试验方法》是骑乘头盔主要执行标准,新国标GB 811-2022《摩托车、电动自行车乘员头盔》将于2023年7月1日正式替代GB 811-2010。前期由于市场需求,在电动自行车头盔国标的缺位情况下产生了一些自行车头盔的团体标准,如:乐清市、深圳市、江苏省、浙江省等省市相关的行业协会制定的T/TXB 001-2019, T/SEIA 003-2019, T/JSEBA 001-2020, T/ZJBE 001-2020等电动自行车乘员头盔技术要求及检测规范。新旧国标及相关的团体标准针对头盔初始防护性能都有明确要求,其中吸收碰撞能量、刚度、耐穿透等指标最能代表头盔的安全防护性能。前期相关研究者也对电动自行车头盔初始防护性能开展了相关分析,如任静娜等^[2]对电动自行车头盔进行抽检,发现市面上头盔主要在佩戴装置强度、吸收碰撞能量性能、头盔耐穿透性能等方面存在不达标问题,合格率在60%左右;卢骋等^[3]依据摩托车头盔B类盔及相关团体标准的要求,根据电动自行车头盔实际使用场景,调整检测参数和项目,进行质量安全风险分析,发现腾空圈结构头盔在碰撞吸能、耐穿透性能和侧向刚性上均无法满足安全防护要求。

头盔作为循环长久使用产品,使用环境一般为室内保存或者户外放置,经历环境中的光、氧、热、水等各种暴露场景,且暴露老化主要针对外层壳体,因此评估头盔壳体的耐候性,对于厂家生产销售运转周期、指导产品保质期及消费者使用防护均具有一定的现实意义。目前GB 811-2010和GB 24429-2009中关于头盔保质期要求是:使用期限由工厂根据产品情况提出。在车用头盔领域,符合安全标准的主流头盔外壳材质,以丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)和聚碳酸酯(PC)/ABS合金居多^[4],其作为高分子材料,会受热、光、氧等作用产生老化^[5-7]。相关技术专家反馈ABS原料头盔一般规定有效期3年,部分企业规定有效期5年。根据现有

了解的情况,头盔生产企业基本没有对生产的头盔做老化方面的安全检测研究,相关研究文献主要针对壳体材质原料,制备样条来测试,根据样条的拉伸强度及缺口冲击强度评估头盔成品的老化性能^[8-11]。由于产品性能受原料配方、工艺、涂层及质量过程控制等方面影响,因此标准样条试验测试与实际制成产品之后老化有一定的差异^[12-14]。为评估不同壳体材质头盔的安全防护性能,须排除其它因素影响,笔者通过控制生产工艺及保证产品结构一致情况下,只改变头盔壳体材质,然后定制样品,并进行双85(温度85℃、湿度85%)湿热、紫外、65℃热氧加速老化及大气暴露和室内保存处理,评估不同老化阶段头盔的安全防护性能及微观形貌、热性能变化,以对不同壳体材质头盔耐候性进行系统评估。

1 实验部分

1.1 头盔壳体材料

样品A:材料为PC/ABS合金,GP-5006B,PC质量分数为70%,韩国LG公司;

样品B:材料为ABS,PA-709,中国台湾奇美实业股份有限公司;

样品C:材料为ABS PA-709加10%色母粒,中国台湾奇美实业股份有限公司;

样品D:材料为ABS,DG-417,天津大沽化工股份有限公司。

1.2 主要仪器及设备

紫外加速老化试验机:ZW-735型,青岛众邦仪器有限公司;

热氧老化箱:DHG-850型,无锡四联科技有限公司;

湿热老化箱:DHS-500型,无锡四联科技有限公司;

吸收碰撞能量测试用抗冲击试验机:HT-6011型,东莞市宏图仪器有限公司;

刚度测试用抗压试验机:HT-6021型,东莞市宏图仪器有限公司;

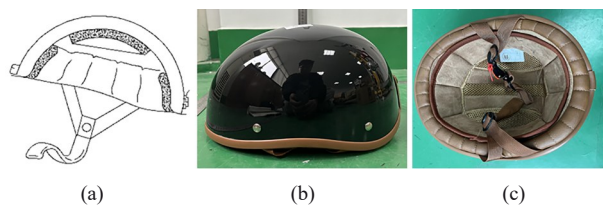
扫描电子显微镜(SEM):Sigma 300型,德国蔡司公司;

热重(TG)分析仪A:TGA 2型,梅特勒托利多科技(中国)有限公司;

动态力学分析(DMA)仪:Q800型,美国TA仪器公司。

1.3 试样制备

头盔试验样品均委托某企业按照成品工艺生产,为无护目镜B3型半盔(图1),头盔壳体按照注塑-边缘磨坏-喷底面漆-清漆步骤,使用相同模具、工艺生产制备,成品质量在540~600 g范围内,缓冲层为黑色聚苯乙烯泡沫(EPS) [厚度 (1.4 ± 0.2) cm,密度 (15 ± 0.5) kg/m³,EPS原料来自天津斯坦利新型材料有限公司],舒适衬垫均为棕色皮及麂皮绒,佩戴装置也均使用同样材质,除壳体材质不同外,缓冲层、内衬材料均相同。



a—B3型半盔; b—头盔样品外观; c—头盔样品内衬

图1 试验用头盔

1.4 老化测试过程

室内保存及大气暴露老化:依据GB/T 3681-2011,采用自然日光气候暴露法(方法A)进行,试验地点为杭州,平均气温17.8℃,湿度70.3%,年日照时数1765 h,2021年11月投样,2023年2月试验结束,和室内保存(样品原包装放在室温环境中)一样共设定5个阶段,分别为3M,6M,8M,12M,15M(M代表月),试验历时15个月。

紫外老化:依据GB/T 2812-2006中关于紫外线照射(A法)要求,采用450 W的短脉冲高压氙气灯,头盔顶部最高点至灯泡距离为150 mm \pm 5 mm,正常工作时箱内温度不超过60℃,将样品处理500,800,1200 h,共3个阶段。

热氧老化:热氧老化箱温度为65℃ \pm 2℃,箱内温度均匀,试验过程中应保证头盔不接触箱体内壁,将样品处理500,800,1200 h,共3个阶段。

双85湿热老化:湿热老化箱温度为85℃ \pm 2℃,相对湿度为85% \pm 2%,在湿热老化箱中将样品处理200,500,800 h,共3个阶段。

1.5 测试与表征

安全防护性能检测:原始性能检测中,平行试样为3顶头盔,各试验周期阶段的性能检测平行试验为2顶,测试环境为温度21℃ \pm 5℃,相对湿度40%~80%。

吸收碰撞能量测试:依据GB 811-2010中5.9条款规定的B类头盔要求试验,具体的,测试高度设

置为1600 mm,使用“大”型号头型,21℃ \pm 5℃处理4~6 h后,选用平砧撞击,最终结果取加速度峰值最大值。

横向轴刚度测试:依据GB 811-2010中5.6条款要求试验,虽然GB 811-2010中4.2.5条款规定刚度测试只适用于A类盔,不过作为评估,依旧采用该方法,为了确保验证可靠性,只采集横向轴刚度数据作为评估指标。

耐穿透测试:依据GB 811-2010中5.10条款规定的B类头盔要求试验。

SEM表征:经过喷金后观察样品表面形貌。

TG分析:从室温以10℃/min的速率升温至700℃,氮气氛围。

DMA:空气氛围下,选择振幅10 μm,频率3 Hz,升温速率2℃/min,测试温度范围从室温至140℃,选用单悬臂模式,预先施加0.5 N的预紧力以保证测试样品始终被夹紧。

2 结果与讨论

头部对冲击的耐受能力,是制定头盔防护性能的重要依据。美国韦恩州大学以人头部受到的冲击加速度的大小和作用时间定量提出了“WSTC人体头部对冲击的耐受曲线”^[15],该曲线显示碰撞加速度峰值决定着发生撞击时佩戴者实际受到的冲击力,当碰撞加速度峰值大于450g($g=9.80665$ m/s²,为重力加速度,下同)时,使用者就会有极大的生命危险,通常认为,冲击加速度的峰值需要小于400g,200g的作用时间小于2 ms,150g的作用时间小于4 ms,人体头部可不发生颅骨骨折或脑震荡^[16],这也是GB 811-2010中相关技术指标的主要依据,合格的头盔应能承受上述冲击,以达到保护人头部的作用。

为后续各老化项目阶段的测试分析做基准,对4种不同材质头盔的吸收碰撞能量进行测试,虽然GB 811-2010未对B3型头盔的刚度提出要求,笔者认为该指标能够表现产品的耐碾轧性,因此,选择头盔的横向轴刚度测试作为头盔性能的一种评估项目。对头盔的耐穿透性能进行评估,将初始及经不同老化项目处理的4批样品进行1 m高钢锥坠落试验,发现钢锥均未穿透头盔与头模接触,这主要得益于EPS缓冲层的存在。

2.1 不同老化处理对头盔吸收碰撞能量性能影响

头盔的初始吸收碰撞能量测试结果见表1,加速度峰值结果均小于150g,经低温处理后产品的加

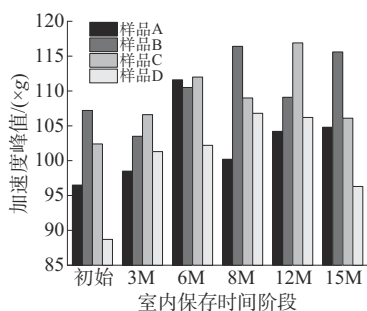
速度峰值明显高于常温处理的,说明低温环境会导致头盔本身吸收碰撞能量增加,对应实际中头盔在冬天的耐冲击性较夏天差。另外,样品A,B,C初始吸收碰撞能量相近,说明三者在此初始状态下具有相似的防护性能,而观察发现试验后样品D出现了明显裂口,低温裂口340 mm,常温裂口134 mm,而其加速度峰值却明显降低,主要是由于壳体破裂时会吸收掉部分的冲击力、头盔内的传感器受到的冲击能量在壳体破裂瞬间得到部分释放、壳体破裂后缓冲层参与了头盔受到冲击时碰撞能力的吸收等多方面因素综合影响导致。

表1 四种壳体材质头盔初始吸收碰撞能量测试结果

样品 编号	加速度峰值/(×g)	
	低温处理后	常温处理后
	(-20℃±2℃处理4h)	(21℃±5℃处理4h)
样品A	111.2	96.5
样品B	114.5	107.2
样品C	111.4	102.4
样品D	99.3	88.7

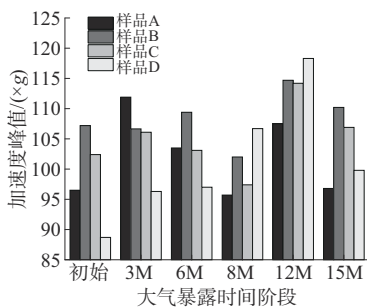
注: $g=9.80665\text{ m/s}^2$, 为重力加速度。

室内保存及大气暴露老化后吸收碰撞能量结果如图2和图3所示。试验发现,相比室内存放,大气暴露15个月后样品的光泽度明显降低,而由图2和图3可以看出,所有样品在不同阶段加速度峰值均集中在80g~120g范围内。为了更直观地与初始加速度峰值对比,列出了各阶段加速度峰值相对初始



$g=9.80665\text{ m/s}^2$, 为重力加速度

图2 室内保存吸收碰撞能量测试结果



$g=9.80665\text{ m/s}^2$, 为重力加速度

图3 大气暴露吸收碰撞能量测试结果

值的变化率及样品C和样品D的壳体破裂情况,见表2和表3。由表2看出,对于各老化阶段,总体上样品D变化率相对最大,样品B最小;结合表3及实际测试过程现象,发现样品D出现壳体破裂的情况最多,样品A,B在整个过程中均无出现破裂。大气暴露作为最贴合实际使用的老化方式,进一步证明壳体的材质对于头盔的外观和性能有直接关系;对于无破裂的样品A,B而言,大气暴露对此批产品的实际使用寿命预测具有强借鉴意义,以2023年250天工作日为例,按照工作日每天大气暴露8h,则一年约2000h,15M大气暴露对应使用期限约为 $15 \times 30 \times 24 / 2000 = 5.4\text{ a}$,预计实际使用5.4a后仍具备良好的安全防护性能。

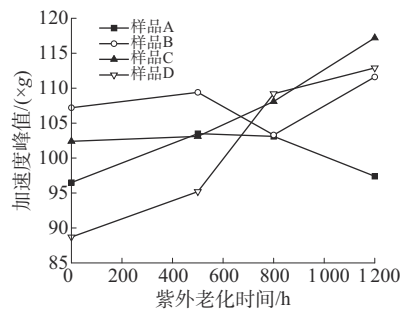
表2 室内保存及大气暴露头盔的加速度峰值变化率 %

样品 编号	室内保存阶段					大气暴露阶段				
	3M	6M	8M	12M	15M	3M	6M	8M	12M	15M
样品A	2.1	15.6	3.8	8.0	8.6	16.0	7.3	-0.8	11.4	3.4
样品B	-3.5	3.1	8.6	1.8	7.8	-0.5	2.1	-4.9	7.0	2.8
样品C	4.1	9.4	6.4	14.2	3.6	3.6	0.7	-4.9	11.5	4.4
样品D	14.2	15.2	20.4	19.7	8.6	8.6	9.4	20.3	33.4	9.1

表3 室内保存及大气暴露头盔的壳体破裂情况

样品 编号	室内保存阶段					大气暴露阶段				
	3M	6M	8M	12M	15M	3M	6M	8M	12M	15M
样品C	无	无	无	无	无	无	无	1处裂口	无	无
样品D	3处裂口	无	3处裂口	3处裂口	3处裂口	3处裂口	无	2处裂口	3处裂口	3处裂口

为了评估单一老化条件对头盔吸收碰撞能量的影响,分别采用紫外、65℃热氧和双85湿热对头盔进行加速老化。紫外老化及65℃热氧老化后吸收碰撞能量测试结果如图4和图5所示,相应的加速度峰值变化率见表4,样品C,D的壳体破裂情况见表5,实际照片如图6所示。可以看出,在紫外及热氧老化条件下,经吸收碰撞能量测试后,所有样品的加速度峰值也均集中在80g~120g范围内,从加速度峰值变化率看,样品D的加速度峰值增加最明显,与室



$g=9.80665\text{ m/s}^2$, 为重力加速度

图4 紫外老化吸收碰撞能量测试结果

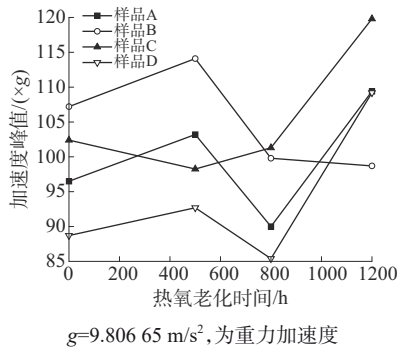


图5 热氧老化吸收碰撞能量测试结果

表4 紫外及65℃热氧老化头盔的加速度峰值变化率 %

样品编号	紫外老化时间/h			65℃热氧老化时间/h		
	500	800	1200	500	800	1200
样品A	7.3	6.8	0.9	6.9	-6.7	13.4
样品B	2.1	-3.6	4.1	6.4	-6.9	-7.9
样品C	0.7	5.6	14.5	-4.1	-1.1	17.0
样品D	7.3	23.1	27.3	4.5	-3.7	23.1

表5 紫外及65℃热氧老化头盔的壳体破裂情况

样品编号	紫外老化时间/h			65℃热氧老化时间/h		
	500	800	1200	500	800	1200
样品C	无	无	无	2处裂口	无	1处裂口
样品D	3处裂口	2处裂口	1处裂口	3处裂口	2处裂口	无

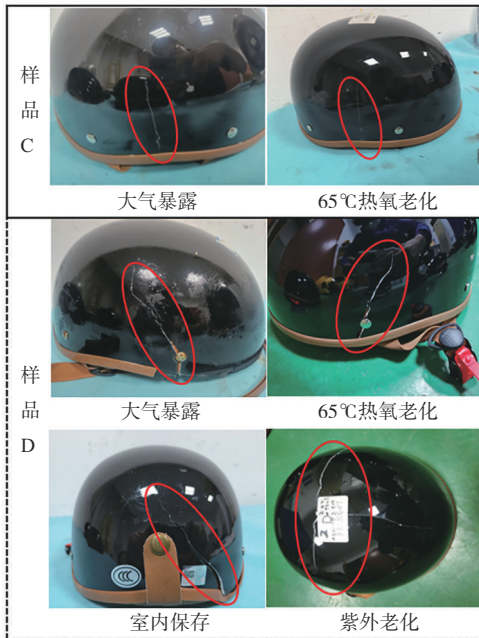


图6 样品C、D部分壳体破裂情况实际照片

内保存及大气暴露老化表现出相似的现象。

样品A,B在两个老化项目各阶段中均无出现破裂,样品D出现裂口最多,相对于紫外老化,样品C经65℃热氧老化后也出现了裂口(图6)。对于样品A,B,可以看出1200h紫外老化及1200h65℃热氧老化处理不足以对头盔外观及防护性能产生明显影响,这是由于涂层的存在和壳体冷凝的聚合

物形态,使老化过程中紫外线的渗透或氧气的扩散受到限制,建议后续评估紫外线影响时,可从取消涂层、大幅增加老化处理时间或适当提高热氧老化温度等方面考虑。

湿热加速老化数据及试验后产品裂口情况见表6,湿热老化800h前后4种材质头盔样品形貌变化如图7所示。由表6和图7可以看出,对于样品A,整个湿热老化过程中未出现裂口及形貌的严重变形,湿热处理800h后,其加速度峰值增加14%,也在安全范围内;样品D在初始及湿热处理3个阶段中均出现了裂口,加速度峰值变化不大;样品B,C吸收碰撞能量测试显示,湿热老化处理200h后,其加速度峰值均降低25%左右,这是因为两个样品试验后都出现了裂口;800h后,头盔严重变形,其吸收碰撞能量加速度峰值降低40%左右,这是由于壳体脱落,吸收了更多的能量。需要指出的是,除样品A外,另外3个样品均发生了严重变形(图7),已丧失了使用价值,这与聚合物的本身特性有关,ABS含有双键,在双85湿热老化条件下,其相关性能下降更多地与聚丁二烯的链降解、链断裂和交联相

表6 不同湿热老化时间的吸收碰撞能量测试结果

样品编号	加速度峰值/(xg)				碰撞试验后破裂情况			
	初始	200h	500h	800h	初始	200h	500h	800h
样品A	96.5	101.6	88.9	110.5	无	无	无	无
样品B	107.2	79.9	88.0	66.5	无	2处裂口	无	1处裂口;壳体脱落
样品C	102.4	77.3	76.2	58.2	无	2处裂口	2处裂口	3处裂口;壳体脱落
样品D	88.7	100.4	91.1	90.4	1处裂口	2处裂口	2处裂口	2处裂口

注:g=9.80665 m/s²,为重力加速度。



图7 湿热老化800h前后4种材质头盔样品形貌变化

关,加之水分可直接与分子中的双键、腈基反应生成极性基团和低分子物^[7],导致头盔样品宏观表现为软化、变形、硬化等现象。样品C比样品B变形更严重,这可能由于黑色填料的加入影响到了本体ABS树脂交联结构;样品A由于存在大量PC相(70%)其形貌变化最小。湿热老化为最常规的加速老化手段,为有效评估头盔使用寿命,建议适当降低湿热老化温度。

2.2 横向轴刚度性能变化

面对碾轧的风险,良好的头盔刚度性能能够有效的防止骑乘人员头部受到的碾轧冲击,对不同老化方式最后老化阶段的老盔进行横向轴刚度性能测试,有最大形变量及残余形变量两个指标(最大形变量:在630 N作用下,沿试验轴的形变量与初始载荷30 N的形变量相差不大于40 mm;残余形变量:逐渐卸载恢复载荷30 N时,所测形变量与初始载荷30 N的形变量相差不大于15 mm)。为评估老化后壳体的本体性能,选择残余形变量作为评估指标,结果见表7。

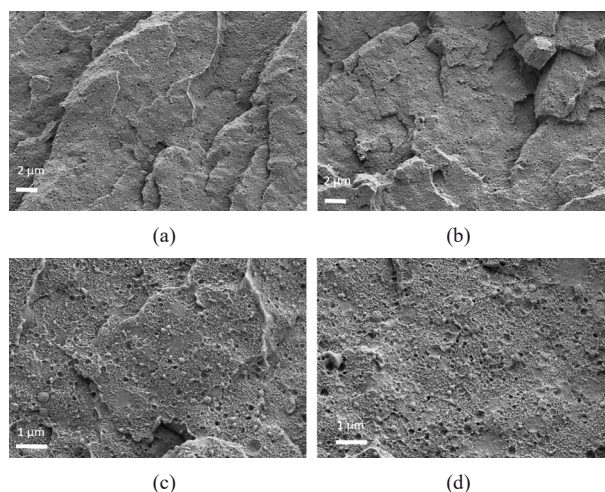
表7 四种材质头盔横向轴刚度性能测试之残余形变量 mm

样品编号	初始	室内保存-15M	大气暴露-15M	紫外老化-1 200 h	热氧老化-1 200 h	湿热老化-800 h
样品A	12.46	8.01	7.71	11.43	8.30	形变过大,试验终止
样品B	12.40	8.09	6.39	12.44	10.16	1.46
样品C	12.52	8.02	8.03	12.07	10.18	0.62
样品D	11.74	6.70	8.80	16.93	8.32	2.52

表7数据显示,对于样品A,B,大气暴露15个月后的残余形变量比室内保存15个月的更低,说明大气暴露更易导致头盔刚度增加。紫外老化1 200 h后,样品A、样品C残余形变量略有降低、样品B的基本不变,而样品D的残余形变量增加了近45%;65 °C热氧老化1 200 h后,头盔的残余形变量均有降低。湿热老化处理800 h后,样品B,C,D变形严重且表面坚硬,在外观异形情况下,按照相同方法测试的残余形变量在3 mm之内,说明头盔变得更硬、韧性大幅降低,这与吸收碰撞能量测试时的现象一致,是因为聚合物相在湿热环境下的交联和硬化导致。而对于样品A,湿热老化800 h后却是另外一种相反的表现,这可能因湿热过程中水汽的影响,导致样品A中PC水解,使其产品本身的硬度降低,整个湿热阶段下的吸收碰撞能量测试均无破裂也从另一方面佐证了这个现象。

2.3 形貌及热性能分析

根据各老化项目试验后样品状态,为进一步评估壳体材质老化后微观性能,选择形貌变化较大的湿热老化处理后样品,由于样品C,D本身破裂情况较多,且ABS为较为普遍使用材料,结合材质,对样品B初始及湿热老化800 h后的样品断面采用SEM进一步分析,如图8所示。由图8可以看出,初始头盔呈现出相对致密的分层结构,赋予头盔在遭受冲击时共享很大的应力传递效果。然而,经过800 h湿热老化过程后,样品B微孔结构增加,断面表现出松动现象,应力传递效果降低,硬度变大,宏观表现为碰撞能量测试时出现破裂,横向刚度测试时,形变量小。



初始:a—放大1万倍;c—放大3万倍

湿热处理800 h:b—放大1万倍;d—放大3万倍

图8 样品B断面初始及湿热处理800 h后的SEM图

样品B湿热老化后的TG曲线如图9所示。图9中不同湿热老化时间对应的曲线几乎重叠,说明湿热老化对样品B热稳定性影响较小。

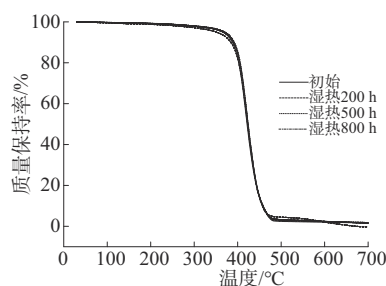


图9 样品B经湿热老化后的TG曲线

DMA也被用来描述聚合物的玻璃化转变。图10给出了双85湿热老化后样品B的储能模量和损耗因子曲线。由图10看出,储能模量从最初的1 825 MPa下降到约1 325 MPa(老化800 h),说明材

料弹性特性降低;损耗因子峰值对应温度从最初的112.5℃到109.8℃(老化800 h),说明材料的玻璃化转变温度有所降低。以上表明湿热老化后的ABS分子链断裂降解,导致头盔硬化变脆,储能模量降低,但玻璃化转变温度仅降低2.4%,整体热稳定性变化不大略有减少。

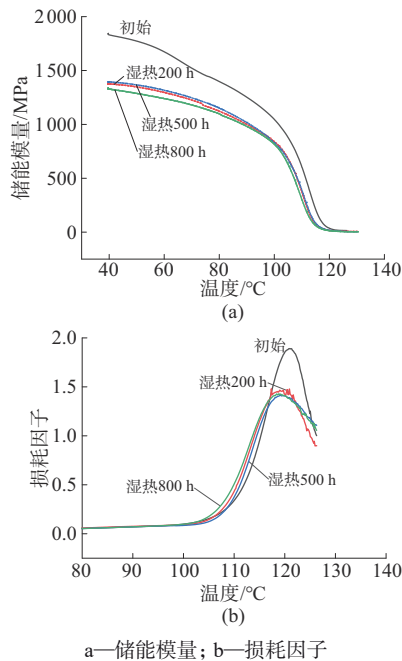


图10 样品B经湿热老化后的DMA曲线

3 结论

利用人工加速老化试验及大气暴露和室内保存等手段对4种不同壳体材质头盔进行老化处理,并通过对不同老化阶段的安全防护性能及部分样品的形貌及热性能分析,系统评估了壳体材质对头盔耐候性影响。得到如下结论。

(1)试验结果表明,经各老化处理后,对于不同壳体材质头盔,虽然头盔吸收碰撞能量加速度峰值变化率有差异且破裂情况也不同,但其加速度峰值均小于150g,说明其仍能够在实际使用中发挥安全防护作用,这主要是因为其安全防护性能受整体结构影响,主要得益于EPS缓冲层的存在,特别是当产品破裂时缓冲层能吸收很大一部分碰撞能量。需要指出的是,虽然均能满足安全防护性能,但一般来说,对于消费者而言,若头盔发生破裂,已经不符合实际使用场景。

(2)根据老化后样品形貌、吸收碰撞测试后破裂情况及刚度性能,评估壳体材质,发现ABS DG-417头盔(样品D)性能最差,配色母粒的ABS PA-709头

盔(样品C)次之,ABS PA-709头盔(样品B)与PC/ABS GP-5006B头盔(样品A)相当,PC/ABS GP-5006B头盔更优,可见头盔壳体的破裂情况及头盔刚度性能与壳体原料材质直接相关。

(3)评估老化方式,显示紫外老化对头盔性能的影响最小,65℃热氧老化次之,双85湿热老化下头盔破裂概率大且产品变形严重,不符合实际的使用场景,这对于后期产品老化评估具有借鉴意义,如后期进行头盔老化性能评估,可适当降低湿热老化温湿度,提高热氧老化温度及老化时长,增加紫外老化时长等。

(4)经双85湿热老化后,样品B的微观形貌及热性能分析显示,其产品表面微孔结构增多,但产品的热稳定性变化不大。由于老化探索研究的局限性及时限要求,加速老化试验与户外自然老化试验的对应关系还有待进一步验证,这对于预测头盔的实际使用寿命十分必要。

参考文献

- 李成志,李洋,何庆.电动自行车交通事故中骑车人伤害程度的影响因素分析[J].交通工程,2019,19(4):37-43.
Li Chengzhi, Li Yang, He Qing. Factors affecting injury severity of electric bike riders in road crashes[J]. Journal of Transportation Engineering, 2019, 19(4):37-43.
- 任静娜,梁山.电动车头盔产品质量风险影响因素浅析[J].文体用品与科技,2021(22):196-198.
Ren Jingna, Liang Shan. Analysis of the factors influencing the product quality risk of electric vehicle helmets[J]. Science & Technology of Stationery & Sporting Goods, 2021(22):196-198.
- 卢骋,沈振,周慧忠.电动自行车乘员头盔质量安全风险研究[J].质量与标准化,2020(11):41-44.
Lu Chen, Shen Zhen, Zhou Huizhong. Electric bike occupant helmet quality and safety risk research[J]. Quality and Standardization, 2020(11):41-44.
- 何勇.电动两轮车碰撞事故中不同头盔对头部落地损伤的防护性能研究[D].厦门:厦门理工学院,2022.
He Yong. Research on the protective performance of different helmets against head injury on landing in electric two-wheeler (ETW) collision accidents[D]. Xiamen: Xiamen University of Technology, 2022.
- 李晓茜,钟浩.高分子材料光老化研究方法综述[J].环境技术,2016,34(5):107-109.
Li Xiaoqian, Zhong Hao. Progress in study of polymer light aging behaviors[J]. Environmental Technology, 2016, 34(5):107-109.
- 陆园,张晓璐,蔡智奇,等.ABS的耐候老化研究[J].工程塑料应用,2016,44(5):87-90.
Lu Yuan, Zhang Xiaolu, Cai Zhiqi, et al. Study on weather resis-

- tance of ABS[J]. *Engineering Plastics Application*, 2016, 44(5): 87-90.
- [7] 向江涛,杨小奎,杨晓然,等. ABS塑料低压低温气候环境适应性快速评价方法[J]. *装备环境工程*, 2022, 19(2):85-90.
Xiang Jiangtao, Yang Xiaokui, Yang Xiaoran, et al. Rapid evaluation method for climate environment adaptability of ABS plastic at low pressure and low temperatures[J]. *Equipment Environmental Engineering*, 2022, 19(2):85-90.
- [8] 申屠宝卿,解孝林,蔡启振. ABS的老化及其防老化[J]. *工程塑料应用*, 1997, 25(1):53-56.
Shentu Baoqing, Xie Xiaolin, Cai Qizhen. Ageing and anti-ageing of ABS[J]. *Engineering Plastics Application*, 1997, 25(1):53-56.
- [9] 王玉海,石光,杨丽庭. ABS材料人工加速老化与户外自然老化的相关性[J]. *工程塑料应用*, 2016, 44(11):85-91.
Wang Yuhai, Shi Guang, Yang Liting. Relationship between artificial accelerated weathering and outdoor natural weathering for ABS resin[J]. *Engineering Plastics Application*, 2016, 44(11): 85-91.
- [10] 何超雄,陈日平,官焕祥,等. 耐候ABS加速老化性能研究[J]. *广东化工*, 2021(16):5-6, 9.
He Chaoxiong, Chen Riping, Guan Huanxiang, et al. Study on the accelerated aging performance of weather-resistant ABS[J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2021(16):5-6, 9.
- [11] 周长兰,王旭,胡燕. 无机纳米粒子对ABS抗紫外线老化性能的影响[J]. *工程塑料应用*, 2005, 33(4):47-49.
Zhou Changlan, Wang Xu, Hu Yan. Effect of nano inorganic materials on weather ability of ABS[J]. *Engineering Plastics Application*, 2005, 33(4):47-49.
- [12] 马令庆,李云蹊,郝玉密,等. 空调白色面板ABS材料光老化研究[J]. *家电科技*, 2021(1):110-113.
Ma Lingqing, Li Yunxi, Hao Yumi, et al. A study on light-aging resistance of air conditioner white panel materials of ABS[J]. *Journal of Appliance Science & Technology*, 2021(1): 110-113.
- [13] 李颖,肖敏,杨万均,等. 某弹药包装筒用改性ABS塑料贮存寿命评估研究[J]. *装备环境工程*, 2013, 10(3):5-7, 43.
Li Ying, Xiao Min, Yang Wanjun, et al. Storage life evaluation of modified ABS plastic for ammunition packaging[J]. *Equipment Environmental Engineering*, 2013, 10(3):5-7, 43.
- [14] 王宇超. ABS树脂的热氧化研究[D]. 长春: 长春工业大学, 2018.
Wang Yuchao. Investigation of thermo-oxidative aging ability for ABS resin[D]. Changchun: Changchun University of Technology, 2018.
- [15] 马春生,黄世霖,张金换. 颅脑撞击损伤的生物力学机制研究综述[C]//中国汽车工程学会2003学术年会. 北京:清华大学汽车安全与节能国家重点实验室, 2003:1 088-1 094.
Ma Chunsheng, Huang Shilin, Zhang Jinhuan. Review on the research of head impact injury biomechanics[C]//SAE-China 2003 Annual Conference. Beijing: State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy of Tsinghua University, 2003: 1 088-1 094.
- [16] Takhounts G, Eppinger R, Campbell J, et al. On the development of the SIMon finite element head model[J]. *Stapp Car Crash Journal*, 2003, 47:107-133.
- [17] 吕争青,卜乐宏. ABS塑料的湿热老化性能研究[J]. *上海第二工业大学学报*, 2000(1):14-20.
Lyu Zhengqing, Bu Lehong. Study on the wet heat aging performance of ABS plastic[J]. *Journal of Shanghai Polytechnic University*, 2000(1):14-20.