

# 新能源汽车电池包的三元乙丙橡胶密封圈研究

高飞

[福特汽车工程研究(南京)有限公司,江苏 南京 230601]

**摘要:**介绍新能源汽车电池包的三元乙丙橡胶(EPDM)密封圈的设计和有限元分析以及电池包的安全性能测试。所用EPDM胶料具有良好的物理性能、抗应力松弛性能和抗压缩变形性能;对EPDM密封圈的有限元分析结果表明,在最小和最大实体工况下EPDM密封圈均可以提供可靠的密封性能;电池包燃烧和海水浸泡试验结果表明,采用EPDM密封圈的电池包的安全性能良好,满足国家标准要求。

**关键词:**EPDM;密封圈;电池包;新能源汽车;密封性能;安全性能;有限元分析

**中图分类号:**TQ336.4<sup>+</sup>2;O241.82

**文献标志码:**A

**文章编号:**1000-890X(2022)05-0364-05

**DOI:**10.12136/j.issn.1000-890X.2022.05.0364



目前,汽车市场上涌现出越来越多的新能源(电动)汽车。新能源汽车作为重要的交通工具,其电池包的密封一般要达到IP67防护等级,以确保汽车在行驶时无水进入电池包里面<sup>[1-2]</sup>,保证汽车行驶安全,避免因电池包密封问题引起的人身安全和财产损失。另外,电池包是安全部件,应满足GB/T 31467.3—2015《电动汽车用锂离子动力蓄电池包和系统 第3部分:安全性要求与测试方法》要求,即海水浸泡时不起火、不爆炸;在外部燃烧试验时电池包无爆炸现象,若有火苗,应在火源移开2 min内自熄,以确保电池包在发生电路短路或者遇到火源时可以快速熄灭火焰,保证人身安全。由于电池包安装在汽车的底盘部位,容易受潮或浸入雨水,因此电池包的密封设计至关重要<sup>[3]</sup>。

三元乙丙橡胶(EPDM)是乙烯、丙烯和少量非共轭二烯烃的共聚物<sup>[4]</sup>,其分子由化学稳定的饱和烃组成,只在侧链中含有不饱和双键,故EPDM的耐臭氧老化性能、耐热老化性能和耐候性能优异,EPDM被广泛应用于汽车工业中。

本工作探讨新能源汽车电池包的EPDM密封圈的设计和有限元分析以及电池包安全性能测试。

## 1 密封圈用EPDM胶料性能

### 1.1 物理性能

新能源汽车电池包的密封圈用EPDM胶料要求具有良好的物理性能<sup>[5-11]</sup>,老化前的物理性能指标为:邵尔A型硬度 (70±5)度,拉伸强度 >10 MPa,拉断伸长率 >200%,压缩永久变形(150 °C×22 h) <40%,撕裂强度 >17 kN·m<sup>-1</sup>,耐水性(100 °C×70 h水浸泡体积变化率) ±5%,耐低温性能(-50 °C×3 min) 不脆化;175 °C×70 h热空气老化后物理性能指标为:邵尔A型硬度变化 <+10度,拉伸强度下降率 <20%,拉断伸长率下降率 <20%。

### 1.2 抗应力松弛性能

新能源汽车电池包的密封圈用EPDM胶料具有很好的抗应力松弛性能<sup>[12]</sup>。根据GB/T 1685—2008《硫化橡胶或热塑性橡胶在常温和高温下压

**作者简介:**高飞(1990—),男,安徽阜阳人,福特汽车工程研究(南京)有限公司工程师,学士,主要从事新能源汽车电池包的开发工作。

E-mail:503436721@qq.com

**引用本文:**高飞. 新能源汽车电池包的三元乙丙橡胶密封圈研究[J]. 橡胶工业,2022,69(5):364-368.

**Citation:**GAO Fei. Study on EPDM sealing ring for battery pack of new energy vehicle[J]. China Rubber Industry,2022,69(5):364-368.

缩应力松弛的测定》测定EPDM胶料在85 °C × 2 000 h加速老化试验中的的应力松弛性能。

应力松弛率计算公式为

$$R(t) = \frac{F_0 - F_t}{F_0} \times 100\%$$

式中： $t$ 为时间，h； $R(t)$ 为应力松弛率，%； $F_0$ 为初始作用力，N； $F_t$ 为 $t$ 时的作用力，N。

EPDM胶料的应力松弛曲线如图1所示。

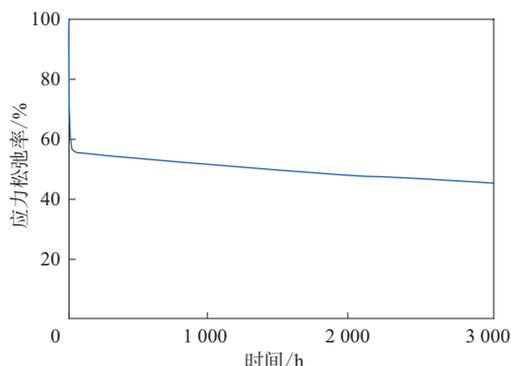


图1 EPDM胶料的应力松弛曲线

Fig. 1 Stress relaxation-time curve of EPDM compound

从图1可以看出，EPDM胶料的应力松弛曲线比较平缓，时间达到3 000 h，EPDM胶料的应力松弛率变化不大，抗应力松弛性能良好。

### 1.3 抗压缩变形性能

新能源汽车电池包的密封圈用EPDM胶料具有很好的抗压缩变形性能。在压力的作用下，EPDM胶料的压缩量基本呈线性增大；随着温度的升高，EPDM胶料的压缩量也增大(见图2)。因此，EPDM密封圈通过压应力可提供良好的密封

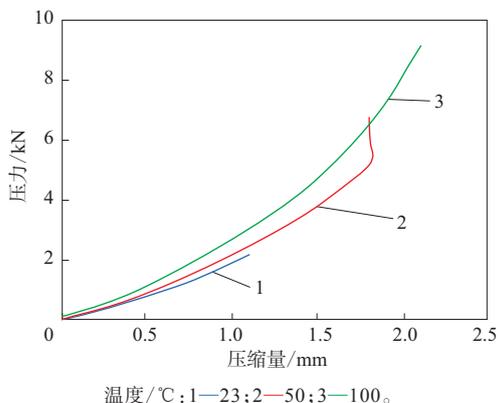


图2 EPDM胶料的压力-压缩量曲线

Fig. 2 Stress-compression curves of EPDM compound

性能<sup>[13]</sup>。

## 2 EPDM密封圈的结构设计

新能源汽车电池包的EPDM密封圈通过压应力进行密封，需要在电池盒上设计4.15 mm × 6 mm沟槽来配合密封圈的安装。在考虑密封圈自身公差和沟槽公差前提下，在密封圈结构设计中用CAE软件仿真分析不同工况下密封圈与沟槽的尺寸，以评估EPDM密封圈在不同工况下的可靠性。EPDM密封圈与沟槽的装配见图3，不同实体工况下EPDM密封圈与沟槽的参数见表1，配合结构见图4。

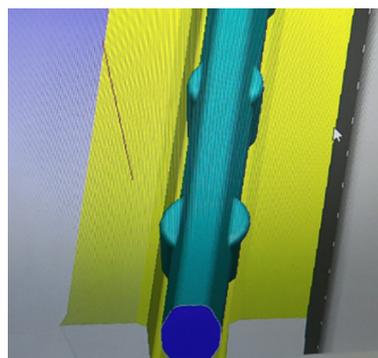


图3 EPDM密封圈与沟槽的装配示意

Fig. 3 Diagram of EPDM sealing ring and groove assembly

表1 不同实体工况下EPDM密封圈与沟槽的参数  
Tab. 1 Parameters of EPDM seal rings and grooves under different physical working conditions mm

项 目	最小实体工况	标准实体工况	最大实体工况
密封圈			
宽度	2.73	2.88	3.03
高度	7.60	7.80	8.00
固定筋宽度	4.40	4.55	4.70
稳定筋宽度	3.60	3.75	3.90
沟槽			
宽度	4.40	4.15	3.90
高度	6.10	6.00	5.90

## 3 有限元分析

对于新能源汽车电池包，如果EPDM密封圈在最小和最大实体工况下均可以提供足够的密封性能，那么EPDM密封圈在标准实体工况下更能满足密封要求，因此对在最小和最大实体工况下EPDM密封圈进行有限元分析。通过Hypermesh软件对

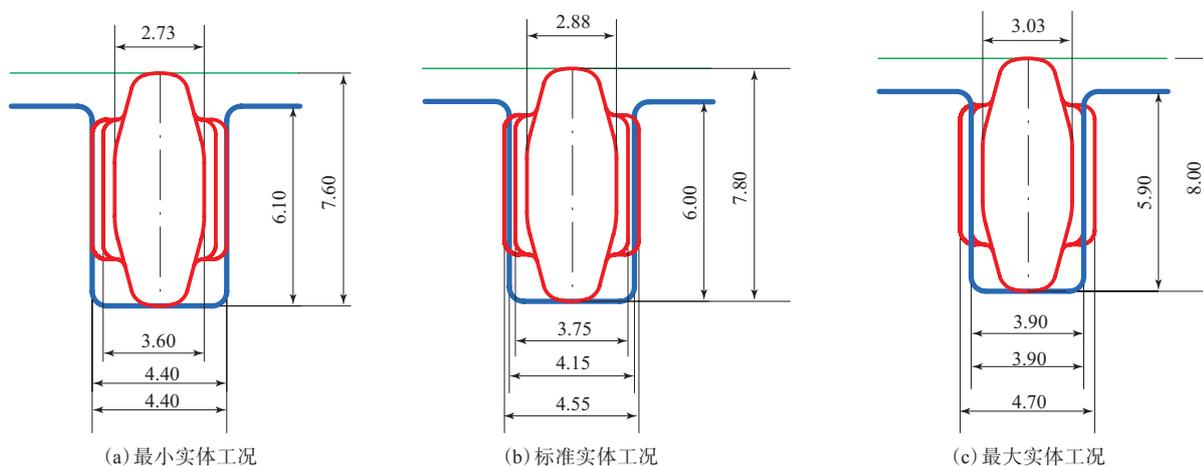


图4 在不同实体工况下EPDM密封圈与沟槽的配合结构示意图

Fig. 4 Diagram of EPDM sealing ring and groove matching structures under different physical working conditions

电池包进行网格划分和处理,通过Abaqus软件进行后处理和分析<sup>[14-18]</sup>。

图5示出了在最小实体工况下EPDM密封圈与沟槽应力的CAE分析结果。

从图5可以看出,在最小实体工况下EPDM密封圈的应力仍大于1 MPa,考虑横向公差的情况下,密封接触面仍有1 mm宽带的接触量,即在最小实体工况下,EPDM密封圈的密封面具有足够的压应力和良好的接触性能,EPDM密封圈可以提供足够的密封性能。

图6示出了在最大实体工况下EPDM密封圈与沟槽应力和应变的CAE分析结果。

从图6可以看出,在最大实体工况下EPDM密封圈的最大应力为6.52 MPa(23 °C),最大应变为

51%(100 °C),均在EPDM胶料的允许范围之内,即在最大实体工况下EPDM密封圈的密封面具有足够的压应力和良好的接触性能,EPDM密封圈在100 °C下仍能够提供可靠的密封性能。

#### 4 电池包的安全性能测试

电池包固定在整车底盘,因此受汽车底部环境影响很大。汽车起火时,电池包会受强烈的明火烧烤,而下雨天气电池包会受雨水浸蚀,因此要求电池包密封圈提供良好的密封性能,隔绝外部高温环境和避免雨水浸入。为了验证采用EPDM密封圈的电池包的安全性,按照GB/T 31467.3—2015对电池包进行安全性能测试,包括火烧试验(见图7)和海水浸泡试验(见图8)。

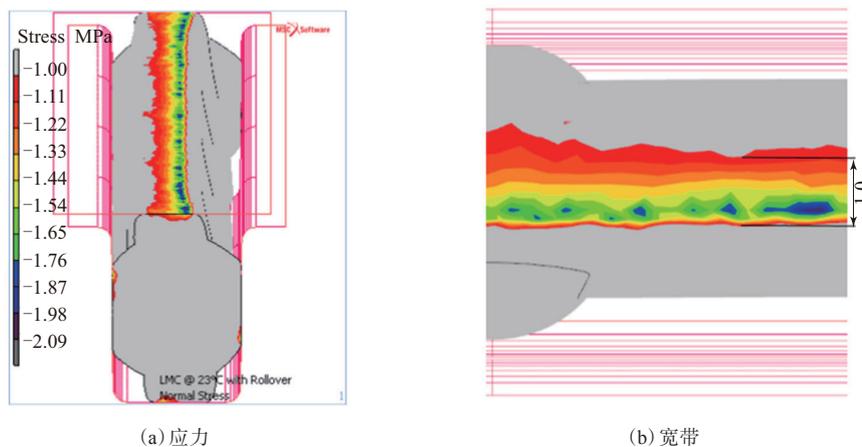
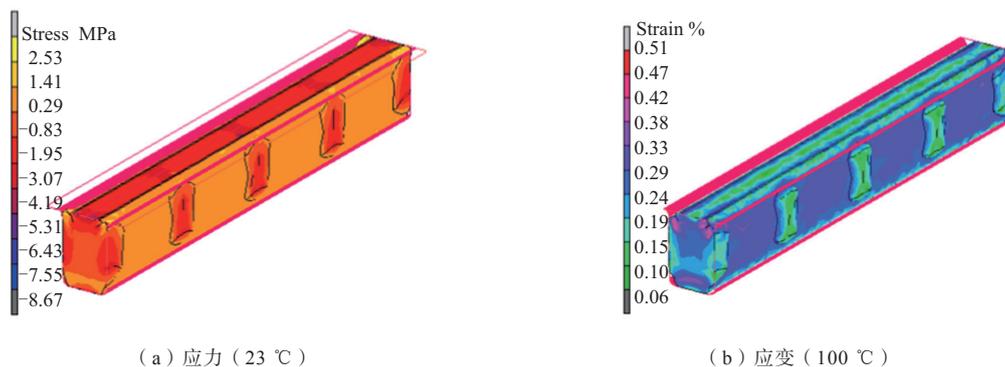


图5 在最小实体工况下EPDM密封圈与沟槽应力的CAE分析结果(23 °C)

Fig. 5 CAE analysis results of EPDM seal ring and groove stress under minimum physical working condition (23 °C)



(a) 应力 (23 °C)

(b) 应变 (100 °C)

图6 在最大实体工况下EPDM密封圈与沟槽应力和应变的CAE分析结果

Fig. 6 CAE analysis results of EPDM seal ring and groove stress and strain under maximum physical working condition



图7 电池包的火烧试验

Fig. 7 Fire test of battery pack

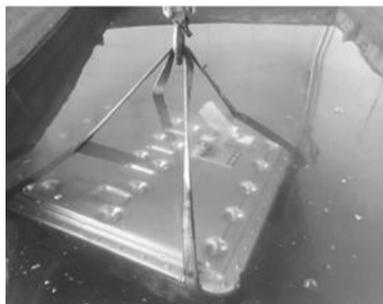


图8 电池包的海水浸泡试验

Fig. 8 Seawater immersion test of battery pack

试验结果表明:在燃烧测试后,采用EPDM密封圈的电池包无明火产生或者明火在2 min内自熄灭;在海水浸泡时,采用EPDM密封圈的电池包没有发生起火、漏电、爆炸及电解液泄漏等现象。因此,电池包的安全性能满足国家标准要求。

## 5 结语

新能源汽车逐渐成为汽车行业的重要支撑部分,其电池包的密封圈直接影响电池包的安全性

能,EPDM胶料具有良好的物理性能、抗应力松弛性能和抗压缩变形性能,可以应用于电池包密封圈。通过CAE仿真分析,可以设计出结构强度高和密封性能良好的电池包的EPDM密封圈;电池包火烧和海水浸泡试验结果表明,采用EPDM密封圈的电池包安全性能良好,满足国家标准要求。

## 参考文献:

- [1] 全国电气安全标准化技术委员会. 外壳防护等级:GB/T 4208—2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [2] 中华人民共和国工业和信息化部. 电动汽车 安全要求 第1部分:车载可充电储能系统(REESS):GB/T 18384.1—2015[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [3] 柯玉超,夏迎松,吴蕾,等. 电池包壳体用橡胶密封件密封性能的研究[J]. 橡胶工业,2020,67(7):483-488.  
KE Y C, XIA Y S, WU L, et al. Study on sealing performance of rubber seals for battery pack shell[J]. China Rubber Industry, 2020, 67(7):483-488.
- [4] 杨永清,马宇翔,王小龙. 生胶结构参数对三元乙丙橡胶性能的影响[J]. 中国粉体技术,2021,27(2):87-95.  
YANG Y Q, MA Y X, WANG X L. Influence of basic structural parameters on properties of EPDM[J]. China Powder Science and Technology, 2021, 27(2):87-95.
- [5] 朱正丽,刘佳,周腾. 硫化丁腈橡胶邵氏A硬度的测量不确定度评定[J]. 现代测量与实验室管理,2016,24(3):40-41.  
ZHU Z L, LIU J, ZHOU T. Evaluation of measurement uncertainty of Shore A hardness of vulcanized nitrile butadiene rubber[J]. Advanced Measurement and Laboratory Management, 2016, 24(3):40-41.
- [6] 张立群,金日光,耿海萍,等. 短纤维橡胶复合材料强度的理论研究 I 纵向拉伸强度的理论预测[J]. 复合材料学报,1998,15(4):89-96.  
ZHANG L Q, JIN R G, GENG H P, et al. Study on the theory of strength of short fiber/rubber composite I: Theoretical prediction of

- longitudinal tensile strength[J]. *Acta Materiae Compositae Sinica*, 1998, 15(4): 89-96.
- [7] 田丰,周兴,张俊.高扯断伸长率NBR橡胶配方研究[J].黑龙江科技信息,2011(12):63.  
TIAN F,ZHOU X,ZHANG J. Research on formulation of NBR with high elongation at break[J]. *Heilongjiang Science and Technology Information*, 2011(12): 63.
- [8] 邵天敏.压缩永久变形对O形圈密封性能的影响[J].润滑与密封,1997(4):47-49.  
SHAO T M. Influence of compression set on sealing performance of O-ring[J]. *Lubrication Engineering*, 1997(4): 47-49.
- [9] 符寿康,陶平,康鑫,等.高低温循环作用下三元乙丙橡胶胶料的压缩永久变形及回弹值研究[J].橡胶科技,2020,18(3):138-141.  
FU S K, TAO P, KANG X, et al. Compression set and resilience of EPDM under cyclic high and low temperature aging[J]. *Rubber Science and Technology*, 2020, 18(3): 138-141.
- [10] 全国橡胶与橡胶制品标准化技术委员会.硫化橡胶或热塑性橡胶低温脆性的测定(多试样法):GB/T 15256—2014[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [11] 李晓光,刘学深. EPDM抗撕裂性能的研究[J].技术与市场,2011,18(8):5-6.  
LI X G, LIU X S. Research on tear resistance of EPDM[J]. *Technology and Market*, 2011, 18(8): 5-6.
- [12] 林正伟,MARTIN H,史新妍.硅烷交联三元乙丙橡胶的制备与应用研究进展[J].橡胶工业,2021,68(6):464-470.  
LIN Z W, MARTIN H, SHI X Y. Progress in preparation and application research of silane crosslinked EPDM[J]. *China Rubber Industry*, 2021, 68(6): 464-470.
- [13] 王必勤,张智. EPDM闭孔发泡材料压缩应力松弛行为分析[J].胶体与聚合物,2010(4):167-170.  
WANG B Q, ZHANG Z. Study on stress relaxation behavior of EPDM foams with closed-cell[J]. *Chinese Journal of Colloids and Polymers*, 2010(4): 167-170.
- [14] 苏江,杨海波,宋建欣,等. Abaqus二次开发在三元乙丙橡胶/聚丙烯热塑性弹性体二维微观模型中的应用[J].橡胶工业,2015,62(6):340-342.  
SU J, YANG H B, SONG J X, et al. Application of secondary development of Abaqus in two-dimensional mesoscopic model of EPDM/PP thermoplastic elastomer[J]. *China Rubber Industry*, 2015, 62(6): 340-342.
- [15] 谭江华.橡胶与颗粒增强橡胶的力学行为及其有限元模拟[D].湘潭:湘潭大学,2008.
- [16] 张晨光,蔡垣.计算机仿真技术在热塑性弹性体(橡塑混合物)中的应用[J].塑料工业,2018,46(1):109-112.  
ZHANG C G, CAI Y. Application of computer simulation technology in thermoplastic elastomer (rubber-plastic mixture) [J]. *China Plastics Industry*, 2018, 46(1): 109-112.
- [17] 曹琨.计算机辅助橡塑工艺设计系统的优化研究[J].电脑与信息技术,2016,24(1):44-47.  
CAO K. Optimization research of the computer aided rubber process design system[J]. *Computer and Information Technology*, 2016, 24(1): 44-47.
- [18] 刘晓冰,高天一. CAD技术的发展趋势及主流软件产品[J].中国制造业信息化,2003,32(1):41-45.  
LIU X B, GAO T Y. The trend of CAD technology and dominant software[J]. *Mie of China*, 2003, 32(1): 41-45.

收稿日期:2021-11-23

## Study on EPDM Sealing Ring for Battery Pack of New Energy Vehicle

GAO Fei

[Ford Motor Research & Engineering (Nanjing) Co., Ltd, Nanjing 230601, China]

**Abstract:** The design and finite element analysis of the EPDM sealing ring for the battery pack of new energy vehicles and the safety performance test of the battery pack were introduced. The EPDM compound had good physical properties, stress relaxation resistance and compression deformation resistance. The finite element analysis results of the EPDM sealing ring showed that the EPDM sealing ring could provide reliable sealing performance under the minimum and maximum working conditions. The results of the battery pack combustion and seawater immersion test showed that the battery pack with EPDM sealing ring had good safety performance and met the requirements of national standards.

**Key words:** EPDM; seal ring; battery pack; new energy vehicles; sealing performance; safety performance; finite element analysis