

基于安全监管下的新能源汽车热安全发展分析

朱培培¹ 李新波¹ 王焰孟¹ 龚建源²

(1.中国汽车技术研究中心有限公司,天津 300300;2.Ontario Virtual School, Toronto M2N0G3)

【欢迎引用】朱培培,李新波,王焰孟. 基于安全监管下的新能源汽车热安全发展分析[J]. 汽车文摘, 2023(10): 38-44.

【Cite this paper】ZHU P P, LI X B, WANG Y M. The Analysis of Thermal Safety Development for New Energy Vehicles Based on Safety Supervision [J]. Automotive Digest (Chinese), 2023(10): 38-44.

【摘要】随着新能源汽车日益增多,新能源汽车起火安全事故频繁发生,国家层面高度重视新能源汽车安全问题,已在生产端、使用侧等多方面有所行动。通过研究新能源汽车热安全问题现状,对其相关安全监管政策法规进行详细分析,并结合现状特点提出相关企业建议,重点聚焦动力电池等相关部件,以期对解决新能源汽车热安全问题起到促进作用,也为国内整车企业及零部件供应商的热管理发展方向提供参考。

关键词:新能源汽车;安全监管;热失控;热管理

中图分类号:U469.72 文献标识码:A DOI: 10.19822/j.cnki.1671-6329.20220263

The Analysis of Thermal Safety Development for New Energy Vehicles Based on Safety Supervision

Zhu Peipei¹, Li Xinbo¹, Wang Yanmeng¹, Gong Jianyuan²

(1.China Automotive Technology & Research Center Co. Ltd., Tianjin300300; 2.Ontario Virtual School, Toronto M2N0G3)

【Abstract】With the increasing number of new energy vehicles and the frequent occurrence of new energy vehicle fire safety accidents, the national level attaches great importance to the safety issues of new energy vehicles and has taken action in various aspects such as production and usage. By studying the current situation of thermal safety issues in new energy vehicles, conducting a detailed analysis of relevant safety regulatory policies and regulations, combining the characteristics of the current situation, proposing relevant enterprise suggestions, focusing on power batteries and other related components, in order to promote the solution of thermal safety issues in new energy vehicles and provide reference for the development direction of thermal management for domestic vehicle enterprises and component suppliers.

Key words: New Energy Vehicle (NEV), Safety supervision, Thermal runaway, Thermal management

0 引言

传统燃油汽车所带来的环境问题和资源问题日益严峻,节能减排法律法规也日益严苛,因新能源汽车在缓解环境污染、实现碳达峰、碳中和方面发挥重大作用,使新能源汽车产业迅速发展^[1]。然而,近年来新能源汽车热安全问题频发,《2022年1-11月国内新能源汽车自燃事件统计》显示,2022年1-11月被媒体报道的相关自燃事件总计71起,起火场景包括充电中、静止停放、发生碰撞、行驶过程等^[2]。同时,国家高度重视新能源汽车安全问题,目前已在生产端、使用侧多方面采取行动,出台新能源汽车安全体系建设指

导意见,发布部分动力电池安全相关标准,出台法规强化热失控管理。目前,电动汽车使用的安全监控,一方面是靠国家监管平台、行业监管平台,另一方面是靠车企平台。

在此基础上,本文从新能源汽车热安全问题现状出发,分析国家层面的政策、法规安全监管举措,进一步分析新能源汽车热安全发展趋势并给出相关指导建议。

1 新能源汽车热安全现状分析

近年来,新能源汽车热安全问题频发,新能源汽车召回次数呈逐年上升趋势,电动汽车起火安全事故数量也持续升高。

2023年3月,国家市场监督管理总局发布了《关于2022年全国汽车和消费品召回情况的通告》^[3],该通

告显示2022年国内汽车召回204次,同比下降12.4%,涉及车辆448.8万辆,同比下降48.6%,如图1所示。

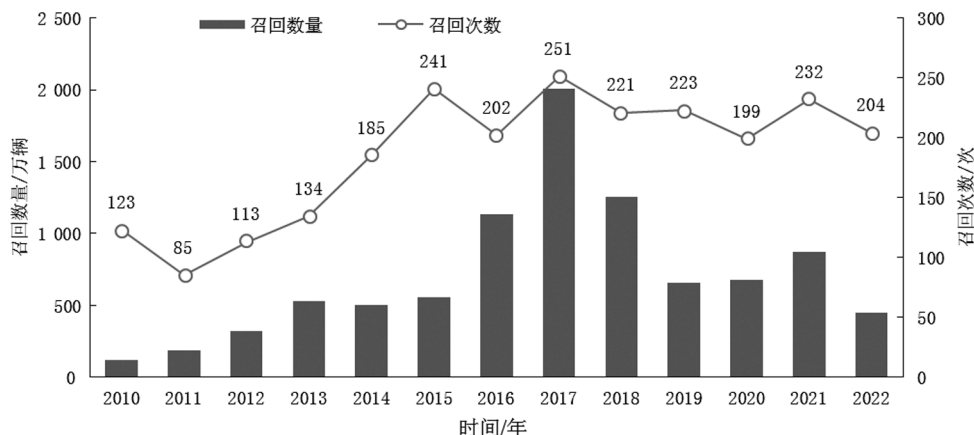


图1 2010—2021年我国汽车产品召回次数及数量

与此同时,随着越来越多的车企放弃燃油汽车转向发展新能源汽车,新能源汽车的召回率也有所上涨。依据国家市场监督管理总局发布的数据,2022年新能源汽车召回47次,涉及车辆121.2万辆,占全年召回总数量的27.0%^[4];新能源汽车召回数量比上年增长31.5%,呈上升趋势,如图2所示。

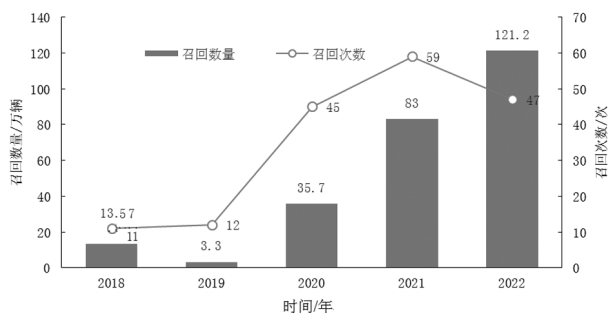


图2 2018—2021年我国新能源汽车产品召回次数及数量

在新能源汽车安全事故方面,近年电动汽车起火安全事故数量持续升高。根据不完全统计,2021年全年公开报道的起火事故共276起,相比2020年增长了123%。排除2020年上半年疫情影响,仅从5月份到12月份的事故来看,2021年事故数量相比2020年增幅93.9%^[2]。2014—2021年,电动汽车起火事故数量年均复合增长率达95%,如图3所示。

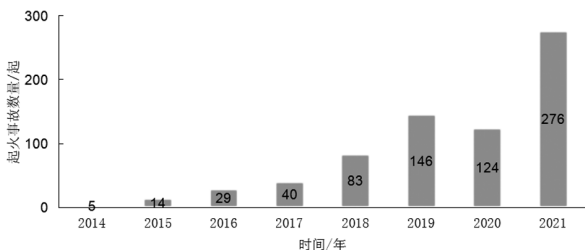
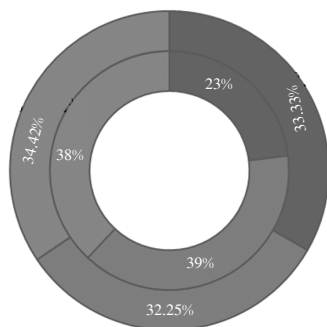


图3 2014—2021年电动汽车起火事故趋势

从事故发生状态分析来看,2021年电动汽车充电过程中起火事故占总事故数的33.33%,在充电中、行驶中、静置时3个状态中的车辆起火事故占比基本一致,与2020年数据比,充电中发生起火事故的比例增加,如图4所示。



■ 充电时起火 ■ 行驶中起火 ■ 静置时起火

注:内环为2020年数据,外环为2021年数据

图4 车辆起火时状态统计

同时,根据2018、2019年国内新能源汽车事故调查,发生起火事故的车辆所用电池类型以三元电池为主,2019年占比为60%,电池形状以方壳形为主。2018年占比57%,电池形状以圆柱为主。从电动汽车起火发生状态来看,电动车起火大多发生在充电和静置状态,如图5所示。

2 国际新能源汽车热安全监管政策法规

安全监管是汽车产业发展的基本保障。美国、日本、韩国等发达国家在安全技术、法规、保障体系方面采取了积极措施提升安全性能。

2.1 安全法规

根据技术发展,美国、欧盟、日本等多国对已颁布

法规不断进行修订补充,或多国联合发布国际通用的全球性法规。

2017年9月,美国国家高速公路交通安全管理局(NHTSA)颁布修订联邦机动车辆安全标准(FMVSS) No.305^[5],对电动车辆的电解液泄漏和电击防护进行详细规定,开始采纳全球技术法规(GTR)的13号条例“氢和燃料电池汽车”中对电气安全的各类要求^[6]。2018

年3月,美国、欧盟、日本及我国共同牵头编写的《电动汽车安全全球技术法规》(EVS-GTR)获得通过^[7]。该法规明确电动汽车整车以及动力电池的安全性能技术规范,同时对电动汽车安全性能检验、检测、试验方法提出具体要求,以期确保在各种复杂环境下,电动汽车发生正面及侧面碰撞时,最大程度保护驾驶员及乘客安全。

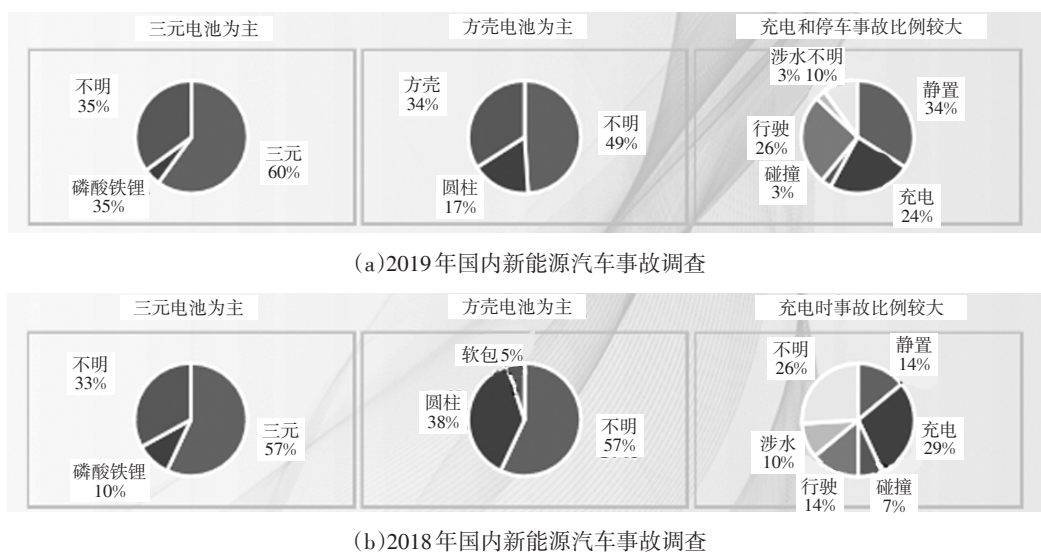


图5 2018—2019年国内新能源汽车事故调查分析

2.2 安全保障措施

一方面,各国政府会适时颁布强制性标准强化安全性能。2016年3月,欧盟议会规定通过国际安全标准,要求2019年前欧盟区域内全部电动汽车都要强制性加装汽车噪声警告系统。2018年,日本国土交通省要求日本国内新型电动汽车都需安装靠近行人发出声音提醒装置。

另一方面,通过严格的检测、检验促进充电基础设施安全性。国外的权威性测试机构对保障充电桩质量起到重要推进作用,例如美国保险商实验室根据国际自动机工程师学会(SAE International)对充电设备电能质量及测试方法的规定对充电桩进行检验^[8]。

3 我国新能源汽车热安全监管政策法规

近年来,我国也高度重视新能源汽车安全问题,已从产品安全、网络安全逐步延伸到信息安全,并围绕公告准入、安全隐患排查、安全召回及事故处理、数据安全、沙盒监管方面出台了系列管理政策及规定。

3.1 生产端强化安全监管

《工业和信息化部关于修改〈新能源汽车生产企业及产品准入管理规定〉的决定》中提到,要建立运行安全状态监测制度;增加技术要求,要求地方主管部

门对新能源汽车生产企业的产品合规性进行监督,对产品是否符合安全技术标准做出规定;要求企业能够保证产品质量和安全生产管理^[9]。《新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)》中也提及,要求加强安全生产和监管,强化市场主导;指出政府职责政策法规制定、安全监管和市场秩序维护,强化安全保障体系重要性。

3.2 使用侧进行安全排查、加强企业检测平台自查

工信部2020年6月发布《关于开展新能源汽车安全隐患排查工作的通知》指出,重点对已售车辆和库存车辆进行安全排查;要求各地区售后服务机构设置故障处理联系人,对于发生3级故障的车辆需1日内上报国家和地方监管平台;要求企业检查安全监测系统功能是否符合国家标准要求,是否及时反馈车辆安全信息^[10]。2022年初,工信部在加强新能源车安全监管工作会议中提出,组织开展安全隐患排查,加大对闲置车辆和营运车辆的核查力度;进一步强化车辆运行监控体系,组织新能源汽车3级监控系统运行检查和效能评估。

此外,2022年4月8日,工信部等5部门联合发布《关于进一步加强新能源汽车企业安全体系建设的指导意见》^[11]。该指导意见提出,企业要切实履行数据安

全保护义务,建立健全“全流程数据安全管理制度”,采取措施保障数据安全。总体要求是全面增强企业安全保障能力,提升新能源汽车安全水平。

(1)完善安全管理机制

明确新能源车安全管理负责部门,推进本企业的安全体系建设;建立健全产品质量安全责任制;完善安全管理制度规范;建立安全教育培训制度。

(2)保障产品质量安全

明确关键零部件产品安全指标要求,鼓励供应商开放必要的的数据协议。建立完备的生产信息化管理系统;产品下线按照要求开展涉水抽检、路试抽检,重点开展整车绝缘、充放电、淋雨等测试;鼓励研究应用热失控实时监测预警装置等。

(3)提高监测平台效能

按要求上传监测数据;鼓励加强对车辆运行数据的分析挖掘;鼓励积极研究应用先进安全预警方法;鼓励加强车辆运行安全状态隐患排查;妥善处理聚集停放等存在安全隐患的车型。

(4)优化售后服务能力

服务网点需有必要的售后服务和应急处理能力;鼓励企业细化产品维护保养项目;依法公开生产车型的有关维修技术信息;结合车辆使用年限等开展安全隐患抽样检测;建立完善客户档案制度,引导消费者合理使用车辆。

(5)加强事故响应处置

完善不同使用场景的事故应急处置方案;加强事

故报告和调查分析,并提交相关数据和分析报告;重点管控单车型或同产品技术平台重复出现的同类事故,并开展深度调查和原因分析;加强整车和关键零部件等缺陷线索的收集、分析,切实履行召回法定义务。

(6)健全网络安全保障体系

依法依规对车辆网络安全状态进行监测,采取有效措施防范网络攻击;建立健全全流程数据安全管理制度,依法依规进行数据处理及数据出境安全管理;对个人信息采取相应加密、去标识化等安全技术措施。

3.3 动力电池安全相关标准法规

国家在标准法规层面不断发力,重点完善新能源汽车中动力电池安全,强化热失控管理。2020年10月,《动力电池热管理系统性能(台架)试验方法》就规定了乘用车动力电池热管理系统性能的试验方法^[12]。2020年以来,《电动汽车用动力蓄电池安全要求》《电动汽车安全要求》《电动客车安全要求》3项强制性国家标准实施,其中《电动汽车用动力蓄电池安全要求》重点强化电池系统热安全、机械安全、电气安全以及功能安全要求,如要求电池单体发生热失控后,电池系统在5 min内不起火、不爆炸^[13]。2021年4月,《燃料电池电动汽车安全要求》《电动汽车用电池管理系统功能安全要求及试验方法》2项推荐性国家标准实施,对动力电池热管理系统性能试验方法提出详细要求^[14]。2022年4月,3项中国汽车工程学会(China SAE, CSAE)标准实施,规定了诸多安全要求,如表1所示。

表1 部分动力电池安全相关标准法规

实施时间	标准号	标准名称	标准类别	要点
2022年 4月	T/CSAE 253—2022	电动乘用车跌落安全性要求 ^[15]	CSAE 标准	用于测试将动力电池布置于底盘的电动汽车,其电池包在受到垂直方向和水平方向复合冲击的情况下,满足整车使用电安全性能的要求。
	T/CSAE 254—2022	电动汽车充电过程电池系统安全风险监测及故障预警规范 ^[16]		该标准利用充电过程产生的海量数据,并结合大数据、云计算、人工智能等技术,建立充电安全模型,实现电动汽车充电过程的准确预警。
	T/CSAE 255—2022	电动汽车运行过程电池系统安全风险监测及故障预警规范 ^[17]		规定了电动汽车用动力电池系统安全风险监测及故障预警方法和处置要求。
2021年 4月	GB/T 24549—2020	燃料电池电动汽车安全要求 ^[18]	推荐性 国家标准	对动力电池热管理系统性能试验方法提出详细要求。
	GB/T 39086—2020	电动汽车用电池管理系统功能安全要求及试验方法 ^[19]		
2021年 1月	GB 18384—2020	电动汽车安全要求 ^[20]	强制性 国家标准	重点强化电池系统热安全、机械安全、电气安全以及功能安全要求。如,要求电池单体发生热失控后,电池系统在5 min内不起火、不爆炸。
	GB 38031—2020	电动汽车用动力蓄电池安全要求 ^[21]		主要规定电动汽车的电气安全和功能安全要求,增加电池系统热事件报警信号要求。
	GB 38032—2020	电动客车安全要求 ^[22]		增加高压部件阻燃要求和电池系统最小管理单元热失控考核要求,提升火灾事故防范能力。
2020年 10月	T/CSAE 117—2019	动力电池热管理系统性能(台架)试验方法 ^[23]	CSAE 标准	规定了乘用车动力电池热管理系统性能的试验方法。

目前,电动汽车整车及基础子体系共发布标准36项,其中安全性方面涉及9项,重点涉及电动汽车和电动客车安全方面。车载储能子体系共发布标准25项,安全性方面重点涉及电动汽车用动力电池安全要求。

与此同时,未来我国将制修订多项动力电池标准,将重点围绕安全和热失控管理,如表2所示。

4 新能源汽车企业应对安全及热失控策略

新能源汽车起火安全事故的主要原因在于动力电池,电池储能技术发生碰撞后起火的安全隐患相对于传统燃油车较高。一方面可能在于电池本身,例如汽车碰撞引起电池组变形位移或电池隔膜撕裂而发生短路、易燃电解质泄漏、充电过程功率过大、电池组高温等原因都会引起自燃发生。另一方面,其他保障动力电池正常工作的电池管理系统监控与预警功能,快充、慢充等系统一旦出现任何随机故障,也会产生新能源汽车的故障甚至引发起火自然的安全事故。

要降低动力电池的起火概率,要从电池产品设计环节发力,才能从根本上解决问题。目前行业内主流方法重点涉及加强结构设计、热阻隔、阻燃、使用耐热材料。为提高动力电池安全水平,多家车企和动力电池厂商也是陆续发力,基于“安全电池概念”推出不起火电池方案,详见表3。

表2 即将制修订的动力电池标准

制修订标准号	标准名称	技术领域	说明
GB/T 31467.1	电动汽车用锂离子动力电池包和系统	可靠性、安全性	修订新版技术要求
GB/T 31467.2			
GB/T 31485	电动汽车用动力电池安全要求及试验方法	安全性	修订新版技术要求
GB/T 31484	电动汽车用动力电池循环寿命要求及试验方法	寿命	新制定
GB/T 31486	电动汽车用动力电池电性能要求及试验方法	性能	新制定
GB/T 34013	电动汽车用动力电池产品规格尺寸	规格尺寸	新制定
QC/T xxxx.1	电动汽车动力电池热管理系统 第一部分:通用要求	热管理	行业标准
QC/T xxxx.2	电动汽车动力电池热管理系统 第二部分:液冷系统	热管理	行业标准
QC/T xxxx.3	电动汽车动力电池热管理系统 第三部分:风冷系统	热管理	行业标准
QC/T xxxx.4	电动汽车动力电池热管理系统 第四部分:加热器	热管理	行业标准
GB/T XXX	混合动力电动汽车用双层电容器	电容器	参考 IEC 6257 6:2009

5 新能源汽车热安全企业发展建议

目前,电动汽车使用的安全监控平台主要分为2种:(1)国家监管平台、行业监管平台,(2)车企平台,这2种监控方式目前都是依赖于车企的后续处理。面对当前新能源汽车热管理相关问题日益凸显,相关企业应采取积极措施,针对如上政策、法规的实施,总结3点建议。

5.1 加强组织和制度建设是基础

组织和机制建设是确保产品安全的底层保障,企业应建立安全监管的负责部门,并建立相应的体系和制度建设。

建立组织保障体系。政府要有安全监管的负责部门,可以是专职部门,也可以兼职部门作为安全监管负责部门。落实重点5大任务,即统筹推进本企业安全建设、建立企业产品安全责任制、落实安全负责人安全责任、完善安全管理制度规范、安全教育培训。

表3 多家车企和动力电池厂商推出不起火电池方案^[24]

企业	不起火电池方案	方案特点
岚图	“琥珀”、“云母”电池系统	通过三维隔热墙技术、PACK 5层安全防护、云BMS等方面对电池包进行优化
极氪汽车	“极芯”电池包	搭载“NTP无热蔓延不起火”技术,结合预警模型和热管理策略,实现高安全性
广汽埃安	弹匣电池	类似安全舱设计,可阻隔热失控电芯蔓延
宁德时代	“永不起火”811电池	自隔离安全技术,材料创新(正极材料、电解液)、电芯结构优化、电池热管理提升、系统热扩散控制
蜂巢能源	果冻电池	基于无钴正极材料和电解液材料的凝胶电池,具备高电导、自愈合、阻燃特点
欣旺达	“只冒烟、不起火”动力电池	SWD系统5层安全设计,电芯采用镍5X三元材料体系
比亚迪	无烟、无明火“刀片电池”	结构扁平设计,在经历外界损坏后,触发短路导致的发热量减少,利于散热
孚能科技	“永不起火”电池	试验检测电池在加热394 s后,触发第一个电芯失控,之后24 h内未出现起火并逐渐恢复至安全常温状态
长城汽车	大禹电池	“控+导=通”核心技术原理,4层5维安全矩阵,创新设计:热源隔断、双向换流、热流分配、定向排爆、高温绝缘、自动灭火、正压阻氧、智能冷却,保障电池不起火、不爆炸

建立事故响应处置机制。企业要从4方面建立事故处置机制,一是,完善应急响应服务。企业要建立完善不同车型及不同使用场景的安全事故应急处置方法和预案,建立“7天×24 h”全天候事故应急响应通

道。二是,深化事故调查分析。企业要加强事故报告和深化调查分析,深入研判事故原因,按照相关要求及时、完整、准确提交车辆事故相关数据、事故分析报告。三是,开展问题分析改进。企业要重点管控单车型或同产品技术平台重复出现的同类事故,并开展深度调查和原因分析。四是,企业应切实履行召回法定义务。还要加强收集和调查整车和关键零部件缺陷线索,如实向相关部门报告调查分析结果。对于确认存在缺陷的产品,应当立即停止生产、销售,并主动实施召回,切实履行召回法定义务。

5.2 保障产品质量安全是核心

建议企业通过打“安全牌”,提升品牌形象。规范产品安全性设计(企业要注意根据产品升级,持续修订各类指导文件,以备后查)、强化供应商管理(重点是如何鼓励核心供应商配合开放与产品安全、质量分析等相关的必要数据协议)、严格生产质量管理、提高动力电池安全水平(鼓励企业技术创新,包括新工艺、新材料、新结构。加大宣传力度,比如刀片、弹匣之类的安全概念,借助安全提升产品形象)。

5.3 落实安全运行状态监测,加大数据挖掘力度

安全监测平台:可自建也可委托第3方建设,开展运行安全状态监测、强化运行数据分析挖掘、建立隐患排查机制。

优化售后服务能力:加强服务网点建设(企业要合理布局售后服务网点和动力电池回收服务网点,落实防火分隔措施,加强消防安全管理)。

优化维护保养服务:鼓励企业细化产品维护保养项目,及时通知用户进行维护保养,在维修保养时加强关键零部件的质量检测,企业要依法公开其生产车型的有关维修技术信息,引导用户合理使用车辆。

6 总结与建议

从热安全现状来看,近年新能源汽车热安全问题频发,新能源汽车召回呈逐年上升趋势,电动汽车起火安全事故数量持续升高,应引起高度重视。

从热安全监管方面来看,新能源汽车安全监管日趋严格,国家高度重视新能源汽车安全问题,同时已在生产端、使用侧多方面有所行动,重点对新能源汽车主要部件的动力电池安全相关标准法规进行强化。与此同时,未来我国也将制修订多项动力电池标准,其中重点聚焦安全和热失控管理。

此外,从新能源汽车核心部件的动力电池方面来看,动力电池热失控的预防,需要从多个角度综合考

虑。目前,为了提高动力电池安全水平,多家车企和动力电池厂商相继推出了不起火电池方案,未来动力电池安全问题依然是整车和零部件企业关注的重点。

最后,对新能源汽车热安全相关问题提出3点建议:

(1)建议企业加强组织和制度建设,从根本上预防热失控;

(2)建议企业对产品安全加强保障;

(3)建议企业落实安全运行状态监测,通过技术手段预防热安全问题的发生。

参 考 文 献

- [1] 蒋北. 中国新能源汽车产业的发展现状与展望[J]. 市场周刊(理论版), 2021(19): 83-84.
- [2] 搜狐. 2022年1-11月国内新能源汽车自燃事件统计[EB/OL]. (2022-12-07)[2023-07-01]. https://www.sohu.com/a/614842265_121124486.
- [3] 佚名. 市场监管总局召回近450万辆汽车及千万件消费品 强化召回监管 维护消费安全[J]. 消费指南, 2023(3): 2.
- [4] 佚名. 2022年新能源汽车召回数量创历史新高[J]. 产品安全与召回, 2023(2): 32-35.
- [5] FMVSS. Standard No. 305; Electric-powered vehicles: electrolyte spillage and electrical shock protection[S/OL]. (2021-10-01)[2023-07-20]. <https://standards.globalspec.com/std/14518593/49%20CFR%20571%20305#:~:text=Standard%20No.%20305%3B%20Electric-powered%20vehicles%3A%20electrolyte%20spill%20age,electric...%2049%20CFR%20571%20305%20October%201%2C%202017>.
- [6] 何田田, 张天. 氢燃料电池汽车的氢泄漏检测概述[J]. 军民两用技术与产品, 2023(3): 46-49.
- [7] 佚名. 中国参与牵头制定的电动汽车全球技术法规获通过[J]. 商用汽车新闻, 2018.
- [8] SAE. Power Quality Test Procedures for Plug-In Electric Vehicle Chargers: SAE J2894/2[S/OL]. (2015-03)[2023-07-01]. <https://www.sae.org/standards/content/j2894/2/>.
- [9] 《重型汽车》编辑部. 工信部就修改《新能源汽车生产企业及产品准入管理规定》征求意见[J]. 重型汽车, 2020(1): 2.
- [10] 刘艺. 新能源汽车“加粗”安全底线[J]. 大众投资指南, 2020(12): 19-20.
- [11] 商讯. 《关于进一步加强新能源汽车安全体系建设的指导意见》要求: 车企提升新能源汽车安全水平,推动新能源汽车产业高质量发展[J]. 商业汽车, 2022(4): 5.
- [12] 中国汽车工程学会. 动力电池热管理系统性能(台架)试验方法解析[EB/OL]. (2020-07-28)[2023-06-07]. <http://www.caev.org.cn/newslist/a3780.html>.
- [13] 宗河. 让电动汽车更安全—3项电动汽车强制性国家标

准发布[J].消费指南, 2020(6): 52-53.

- [14]田曼. 解读 GB/T 24549—2020《燃料电池电动汽车安全要求》[J]. 产品安全与召回, 2020(6): 58-61.
- [15]中国汽车工程学会. 电动乘用车跌落安全性要求: T/CSAE 253—2022[S/OL]. (2022-04-15) [2023-07-01]. <https://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/62911/>.
- [16]中国汽车工程学会. 电动汽车充电过程电池系统安全风险监测及故障预警规范: T/CSAE 254—2022[S/OL]. (2022-04-15) [2023-07-20]. <https://www.cssn.net.cn/cssn/productDetail/>.
- [17]中国汽车工程学会. 电动汽车运行过程电池系统安全风险监测及故障预警规范: T/CSAE 255—2022[S/OL]. (2022-04-15) [2023-07-01]. <https://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/62913/>.
- [18]杨芸芑, 赵鑫, 王祥祥. GB/T 24549—2020主要内容简析[J]. 客车技术与研究, 2021(5): 57-59.
- [19]全国汽车标准化技术委员会. 电动汽车用电池管理系统功能安全要求及试验方法: GB/T 39086—2020[S/OL]. (2020-09-29) [2023-07-01]. <http://c.gb688.cn/bzgk/gb/showGb?type=online&heno=35BC7023D251C45AE637719C9DF15915>.
- [20]工业和信息化部. 电动汽车安全要求: GB 18384—2020[S/OL]. (2020-05-12) [2023-07-20]. <http://c.gb688.cn/bzgk/gb/showGb?type=online&heno=DA9BDFC1903FA2258AD614D6E8B0CDEF>.
- [21]工业和信息化部. 电动汽车用动力蓄电池安全要求: GB 38031—2020[S/OL]. (2020-05-12) [2023-07-01].

<http://c.gb688.cn/bzgk/gb/showGb?type=online&heno=F15853431BDDCCEDD525298F719A9254>.

- [22]工业和信息化部. 电动客车安全要求: GB 38032—2020[S/OL]. (2020-05-12) [2023-07-20]. <https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/gb/newGbInfo?heno=46588A7D818B4EF16B97294226F90E1A>.
- [23]中国汽车工程学会. 动力电池热管理系统性能(台架)试验方法: T/CSAE 117—2019[S/OL]. (2019-10-29) [2023-07-01]. <https://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/35239/>
- [24]子蕊. 各大企业的不起火电池方案[EB/OL]. (2021-09-27) [2023-07-20]. <http://www.cbccu.com.cn/yuanchuang/2021092737277.html>.

【作者简介】

朱培培, 工程师, 工学硕士学位, 就职于中国汽车技术研究中心有限公司。主要从事新能源汽车前沿技术和零部件相关领域研究。

E-mail: zhupei@catarc.ac.cn

李新波, 高级工程师, 就职于中国汽车技术研究中心有限公司。主要从事宏观经济及政策趋势相关领域研究。

E-mail: lixinbo@catarc.ac.cn

王焰孟, 工程师, 就职于中国汽车技术研究中心有限公司。主要从事汽车零部件相关领域研究。

E-mail: wangyanmeng@catarc.ac.cn