

团 体 标 准

T/CAAMTB XX—2022

电动汽车动力电池系统设计规范

Design specification of power battery system for electric vehicles

意见修改稿

2022 - XX - XX 发布

2022 - XX - XX 实施

中国汽车工业协会 发布

目 次

目 次	2
前 言	1
1. 范围	2
2. 规范性引用文件	2
3. 术语和定义	2
4. 动力电池系统方案设计	2
5 动力电池系统设计验证	31
6 动力电池系统制造技术	75

前 言

本标准根据GB/T 1.1-2020给出的规则起草。

本文件某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国汽车动力电池产业创新联盟提出。

本文件由中国汽车工业协会归口。

本文件起草单位：东软睿驰汽车技术（武汉）有限公司、天津力神电池股份有限公司、华霆（合肥）动力技术有限公司、宇通客车股份有限公司、中国汽车动力电池产业创新联盟、中国第一汽车集团公司、江铃汽车股份有限公司、福士汽车零部件（济南）有限公司、上海电器科学研究所（集团）有限公司、沈阳理工大学、国家新能源汽车技术创新中心、国联汽车动力电池研究院有限责任公司、北京长城华冠汽车科技股份有限公司、北京华特时代电动汽车技术有限公司。

本文件主要起草人：葛长青、吴清平、于涛、刘木林、魏咏梅、邵迪迪、卜凡涛、林辉、商国平、王子冬、周超、李永江、劳力、王坤、荆俊雅、乔延涛、董冰、白福永、郑传银、刘媛、杜锋、梁键、林辉、马小利、尹艳萍、赵海陆、石同军、张红昌。

本文件为首次发布。

电动汽车动力电池系统设计规范

1. 范围

本规范系统的介绍了电动汽车动力电池系统的设计思路和流程,内容涵盖了从单体电池选型、模组设计、电池系统机械结构设计、电气设计、热管理设计及热扩散防控设计,同时还对动力电池系统设计验证、制造技术等方面进行了阐述。

本规范适用于乘用车、商用车用动力电池系统。

2. 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 2900.41-2008 电工术语 原电池和蓄电池

GB/T 19596-2017 电动汽车术语 (IOS 8713: 2002, NEQ)

GB 4208 外壳防护等级 (IP 代码)

GBT 18384.1-2015 电动汽车 安全要求第 1 部分: 车载储能装置

GBT 18384.3-2015 电动汽车 安全要求 第 3 部分: 人员触电防护

GBT 31484-2015 电动汽车用动力蓄电池循环寿命要求及试验方法

GBT 31486-2015 电动汽车用动力蓄电池电性能要求及试验方法

GB/T 31467.1 电动汽车用锂离子动力蓄电池包和系统 第 1 部分: 高功率应用测试规程

GB/T 31467.2 电动汽车用锂离子动力蓄电池包和系统 第 2 部分: 高能量应用测试规程

GB 38031-2020 电动汽车用动力蓄电池安全要求

3. 术语和定义

3.1 电池单体 secondary cell

将化学能与电能进行相互转换的基本单元装置,在本文也称为电芯。

注:通常包括电极、隔膜、电解质、外壳和端子,并被设计成可充电。

3.2 电池模块 battery module

将一个以上电池单体按照串联、并联或串并联方式组合,并作为电源使用的组合体,在本文也称为模组。

3.3 电池包 battery pack

具有从外部获得电能并可对外输出电能的单元。

注:通常包括电池单体、电池管理模块(不含 BCU)、电池箱及相应附件(冷却部件、连接线缆等)。

3.4 电池管理系统 battery management system

可以控制蓄电池输入和输出功率,监视蓄电池的状态(温度、电压、荷电状态),为蓄电池提供通讯接口的系统。

3.5 电池系统 battery system

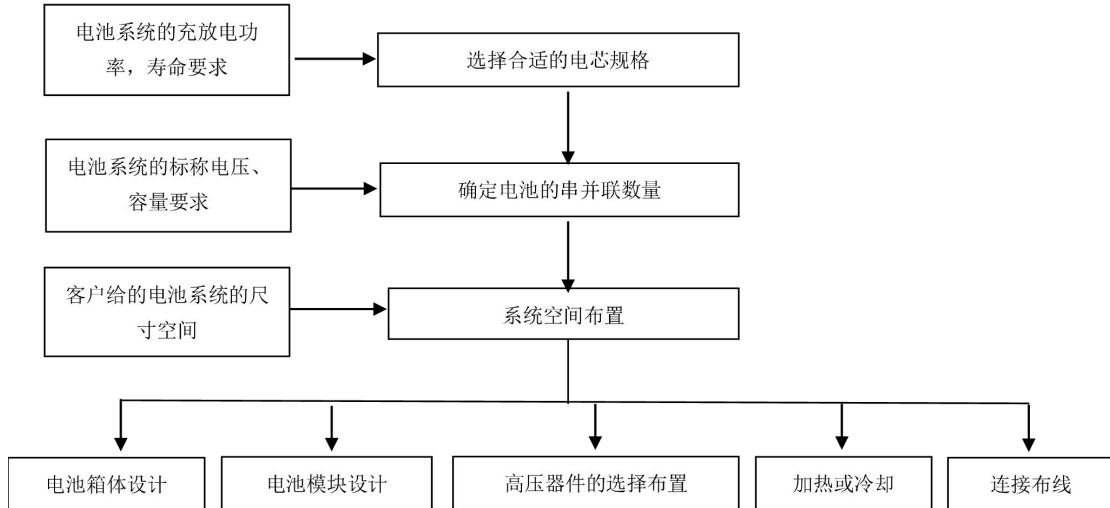
一个或一个以上电池包及相应附件(管理系统、高压电路、低压电路及机械总成等)构成的能量存储装置。

4. 动力电池系统方案设计

4.1 动力电池系统总体方案设计

4.1.1 动力电池系统总体方案设计流程

首先根据客户对电池系统的标称电压、容量要求及电池系统的充放电功率及寿命的要求，选择合适的电芯并确定串并联数量。再根据客户所给的空间进行整体电池布置，考虑好电池布置空间、高压器件的位置、BMS 的安装以及走线，热管理的加热或冷却板布置，电池布置考虑电池连接均匀分布，尽量保证连接内阻一致，加热散热均匀，模块应容易安装固定。



4.1.2 动力电池系统的总体需求匹配分析

- 1) 整车对电池系统的能量需求 kwh 除以系统标称电压，得到电池系统总容量；
- 2) 系统标称电压除以单体电池的标称电压，得到电池串联数；
- 3) 电池系统总容量除以单体电池的标称容量，得到电池并联数量；
- 4) 串联数量乘以并联数量，就是电池总数量；
- 5) 系统的功率要求除以电池总数量，得到单体电池的功率要求，选择单体电池时要考虑电池系统连接内阻。
- 6) 总续航里程要求除以每次满充满放车的设计续航里程（一般按 90%设计续航里程计算），得到电池系统的寿命循环要求。
- 7) 其他 IP 和满足国家法规要求。机械性能和热性能要通过仿真分析和测试验证满足。

4.1.3 动力电池系统总体布置方案设计

- 1) 根据车辆可布置空间，确定电池包的整体结构及布置位置，根据所需设计的电池容量与车身可布置空间，确定电池的排列，进而确定电池包总体结构；电池包总体布置遵循质心尽可能在中心位置，结构紧凑布局均匀分布；
- 2) 根据电池的工作散热情况，确定电池组的最优排列与电池包内散热装置、加热装置、保温装置的布置；根据电池包的外部热源分布，内部要进行隔热处理，尽可能减少外界环境对电池温度一致性的影响；
- 3) 确定电池包内单体电池的连接方式，并根据汽车的实际工作情况，确定电池与汽车外电路的连接方式。电池包内部高低压线路尽可能分开布线，无法分开布线的要做好绝缘处理并避免平行走线；
- 4) 内部连接排接触点阻值尽可能小并保持一致，降低连接排自损耗并保证电位一致性；电池包内部高低压部件和箱体直接保证可靠连接，保证等电位；

- 5) 模组间要留有一定的安全距离,保证动力电池在生命末期的鼓胀不会造成模组间相互挤压;
- 6) 通过有限元分析电池包的安全性、热特性、可靠性等是否满足整车需求;

4.2 单体电池选型设计

4.2.1 单体电池的容量及电压选型设计

4.2.1.1 不同材料体系电池的容量及电压等特性见表 1, 可根据整车匹配需要参照选型。

表 1 不同材料体系电池特性对比

项目	钛酸锂	镍钴锰锂（三元锂）	锰酸锂	磷酸铁锂
标称电压, V	2.4	3.65	3.8	3.2
质量比能量, Wh/kg	80	250	180	160
循环寿命, 次	>10000	>2000	>1500	>3000
安全性	良好	较好	良好	优秀
工作温度范围, °C	-30~60	-30~55	-20~55	-20~70
倍率放电性能	优秀	良好	较好	好
优点	循环性能好, 稳定性高, 可快速充电	高温稳定性好, 按电介质腐蚀性好	锰资源丰富, 容易制备, 安全性好	高稳定性, 安全可靠, 循环性能好, 高温性能优异
缺点	放电电压平台低, 能量密度低	充放电时材料晶格已发生畸变, 循环型差	材料抗溶解性低, 深度充放电已发生晶格畸变, 导致电池容量快速衰减	导电性一般, 振实密度低

4.2.1.2 单体电池主要有如下几种类型, 其主要特征见表 2, 可根据设计需要, 选择相应的类型。

- 1) 圆柱形电池: 具有圆柱形外壳和连接元件(电极)的蓄电池;
- 2) 方形电池: 具有长方体电池外壳和连接元件(电极)的蓄电池;
- 3) 软包电池: 具有复合薄膜制成的电池外壳和元件(电极)的蓄电池。

表 2 不同类型单体电池的特征对比

项目	圆柱形电池	方形电池	软包电池
一致性	工艺成熟, 一致性很好	一致性较差	一致性差
标准化	标准化程度高, 容易形成统一标准	标准化低	标准化较高
定制化	定制化低	可塑性强, 定制化程度高	定制化较高
能量密度	能量密度低	能量密度高	能量密度很高
机械强度	高	高	低
散热能力	圆柱与圆柱之间形成了很好的散热空间	散热能力较低	散热能力低
电池管理系统	电芯数量多, 电池管理系统复杂	电池管理系统简单	电池管理系统简单
电池寿命	很低	高	较高
电池安全	发生着火、爆炸	发生着火、爆炸	只着火, 不爆炸
成本	成本低	成本较高	成本高

4.2.2 单体电池的性能选型设计

4.2.2.1 能量密度

单体电池能量密度磷酸铁锂类不低于 160 Wh/kg, 镍钴锰锂类不低于 210 Wh/kg。

4.2.2.2 室温放电容量

单体电池按 GB/T 31486-2015 中 6.2.5 进行试验时, 其放电容量应不低于额定容量, 并且不应超过额定容量的 110%; 同时, 所有测试对象初始容量极差, 应不大于初始容量平均值的 5%。(注: 极差是所有样本的最大值和最小值之差)。

4.2.2.3 倍率特性

倍率特性要求应符合表 3 的规定。

表 3 倍率特性要求

项目	测试方法	指标	备注
可持续充电倍率, (25±2) °C	GB/T 31486-2015 中 6.2.5	1.5C	
可持续放电倍率, (25±2) °C	GB/T 31486-2015 中 6.2.5	3C	
最大脉冲充电倍率, (25±2) °C&30s	GB/T 31486-2015 中 6.2.5	2C	
最大脉冲放电倍率, (25±2) °C&10s	GB/T 31486-2015 中 6.2.5	4C	

4.2.2.4 低温特性

在以下试验条件下, 锂离子蓄电池放电能量应不低于初始容量的 65%:

- 1) 锂离子单体蓄电池按 GB/T 31486-2015 中 6.2.4 方法充电;
- 2) 单体蓄电池在-20 °C ± 2 °C 下搁置 24 h;
- 3) 单体蓄电池在-20 °C ± 2 °C 下, 以 1I₁ (A) 电流放电至单体蓄电池电压达到企业提供的放电终止电压 (该电压值不低于室温放电终止电压的 80%);
- 4) 计算放电能量 (以 Wh 计)。

4.2.2.5 自放电

- 1) 单体蓄电池按 GB/T 31486-2015 中 6.2.4 进行充电;
- 2) 静置 2 h, 使用外量表测量单体蓄电池的电压 V₁;
- 3) 单体蓄电池在室温下存储 28 d;
- 4) 使用外量表测量单体蓄电池的电压 V₂;
- 5) $\Delta V = (V_1 - V_2) / V_1 \leq 3\% / 28d$ 。

4.2.3 单体电池的使用寿命选型设计

单体电池的使用寿命, 应满足表 4 的要求。

表 4 单体电池的使用寿命要求

项目	测试方法	指标要求
Cycle life (循环寿命)	1C/1C@25°C, DOD 100%, EOL80%	2500
	1C/1C@45°C, DOD 100%, EOL80%	1500

4.2.4 单体电池试验项目

4.2.4.1 电性能试验

单体电池应按表 5 的规定, 进行电性能试验。

表 5 单体电池电性能试验项目

序号	测试项目		样品数量	测试方法	备注
1	IQC	外观, 尺寸, 重量, OCV, IR	110		
2	基线	容量	110	25 °C (0.5C CC/CV 充电到 4.2V, 截止电流 0.01C, 0.5C 放电) 客户要求	
3	室温放电容量		10	GB 31486 中 6.3.5 (1C CC/CV 充电, 1C 放电)	

4	循环性能 (GB 31484)	室温循环	3	25 °C	
5		90%DOD 循环	3	25 °C	
6		低温循环	6	0 °C, -10 °C	
7		高温循环	3	55 °C	
8		倍率循环	3	25 °C 2C 充电, 5C 放电	
9	高低温容量	充电容量	3	0 °C、10 °C、20 °C、30 °C、45 °C 条件下充电, 25 °C 条件下放电	根据客户需求调整倍率
10		放电容量	3	25 °C 下充电, -20 °C、-10 °C、0 °C、25 °C、45 °C、55 °C、60 °C 条件下放电	
11	高温存储-7 天		3	25 °C, CC/CV 充电至 4.2 V, 55 °C, 存储	根据客户需求调整倍率
12	室温存储-28 天		3	25 °C, CC/CV 充电至 4.2 V, 25 °C, 存储	
13	HPPC		3	$n\% @ DCR \setminus P_{dis} \setminus P_{reg}$ n=90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10	
14	倍率性能	放电倍率	3	0.3C 充电, 0.3C、0.5C、1C、1.5C、2C、2.5C、3C、4C、5C 放电, 记录放电温升	
15		充电倍率	3	0.3C、0.5C、1C、1.5C、2C 充电, 0.3C 放电, 记录充电温升	
16	SOC-OCV	充电	3	0 °C、10 °C、20 °C、25 °C、30 °C、45 °C	
17		放电	3	-20 °C、-10 °C、0 °C、10 °C、20 °C、25 °C、30 °C、45 °C、55 °C、60 °C	
18	DCR 测试		3	不同温度	

注：共需抽样 300 只单体电池，其中 22 只为备品电池。

4.2.4.2 安全性能试验

单体电池应按表 6 的规定，进行安全性能试验。

表 6 单体电池安全性能试验项目

序号	测试项目	样品数量	试验方法
1	过放电	1	GB/T 31485-2015 6.2.2
2	过充电	1	GB/T 31485-2015 6.2.3
3	短路	1	GB/T 31485-2015 6.2.4
4	跌落	1	GB/T 31485-2015 6.2.5
5	加热	1	GB/T 31485-2015 6.2.6
6	挤压	1	GB/T 31485-2015 6.2.7
7	针刺	1	GB/T 31485-2015 6.2.8
8	海水浸泡	1	GB/T 31485-2015 6.2.9
9	温度冲击	1	GB/T 31485-2015 6.2.10
10	低气压	1	GB/T 31485-2015 6.2.11

4.3 电池模组方案设计

电池模组可以理解为电芯经串并联方式组合，加装单体电池监控与管理装置后形成的电芯与电池系统的中间产品。

4.3.1 模组的固定与连接

电芯、结构件和电气件等组成模组，根据整包电性能需求设计合理的电芯串并联方式和空间排布，模组内各部件通过可拆和不可拆连接方式固定成一体。模组与模组间、模组与底

盘间建议通过可拆连接固定成一体。

模组设计应具有合适的尺寸公差，便于装配集成，同时建议具有易于维护或维修特性，并可考虑轻量化设计，提升模组效率。

电池模组应具有合适的结构强度，保证全生命周期内连接可靠、无松动、结构完好以及各器件性能正常。建议具有合适的应力设计，保证在使用过程中，不出现因电芯变形引起的结构破坏、性能异常等。模组应满足国标 GBT 31486-2015 中关于跌落、挤压、海水浸泡、温度循环的要求。

4.3.2 模组电连接设计

电芯与模组汇流排、不同模组汇流排之间通过可靠的方式连接，满足国标 GBT 31486-2015 中模块试验方法 6.3.11 耐振动要求，以及 GBT 31467.3-2015 中振动、机械冲击、跌落、翻转等要求。建议根据电芯及模组类型选择焊接、螺接或机械压接等形式连接。

电芯与模组汇流排、不同模组汇流排之间满足工作时的载流要求，建议电芯与模组汇流排之间的连接设置过流保护，并考虑温度对载流的影响。

模组内部、模组间以及模组和其他部件之间应满足一定的绝缘要求。建议满足 GBT 31467.3-2015 中绝缘阻值要求。例如，建议汇流排增加绝缘保护；建议各电气件设置合适的爬电距离与电气间隙。

4.3.3 模组安全设计

模组安全设计主要包含机械安全、电安全和热安全设计。

机械安全设计应考虑电池包受到振动、冲击、跌落、翻转、碰撞和挤压等外力作用时的模组防护。电池模组应具有合适的结构强度。模组和电池包壳之间建议保持一定的距离，使得在电池包受到碰撞等机械作用时模组受损最小化。

电安全设计应考虑模组短路、过流、过充和过放时的防护。建议具备防外短路能力，如电芯与汇流排之间的可熔断连接等。模组可考虑独立的管理系统，防止过充和过放等。

热安全设计应考虑当电芯发生热失控时模组的安全性。电芯间应保持合适的距离，具备一定的热阻。模组建议具备合适的设计使得在电池发生热失控时及时带走热量，例如气道设计、冷却循环等。应注意电池热失控喷出物质可能带来的短路发热次生风险。应考虑模组全生命周期中的安全性。建议考虑电池老化之后安全特性发生变化带来的影响。

4.3.4 模组尺寸标准化

动力电池模组尺寸标准化是大势所趋，标准制定后可降低电池模组的生产成本、时间，提高模组、系统的集成效率与维修效率，促进快速换电技术的开展，以及利于废旧电池的回收和阶梯利用。

电池模组尺寸规格的标准的制定，需以市场需求为导向，以“市场占有率高、销量大、能量密度高、安全可靠”的单体电芯尺寸参数作为基础，再结合整车的需求（输入端）和梯次再利用（输出端）的需求进行设计制定。

同时应结合电池技术发展和整车开发加速更新的发展趋势，为避免“限制新的电池产品的研发和生产”，推荐该设计标准应保持 1-2 年修订的频率，以适应电池技术和整车研发的快速发展。

4.4 动力电池系统机械结构设计

4.4.1 机械结构总体设计要求

4.4.1.1 机械结构设计通用要求

机械结构总体设计基于整车提供的包络空间尺寸要求，进行总体结构方案设计，通用要求一般包括边界尺寸要求、外观标识要求和重量要求。其中电池包的边界尺寸设计能够满足车辆内部安装空间尺寸以及安装、维护要求；电池包内部尺寸应保留最大容纳空间，满足电池包内部子模块或零部件的安装。

外观标识要求电池包外表面应具有永久铭牌或标识：标识上需注明单体电芯类型和电池系统基本参数，内容一般包括产品名称、产品型号或规格、电池包编码号、额定能量(kWh)、额定容量(Ah)、生产厂商等。具体内容可根据客户要求进行选择性标识。对于最大工作电压大于60V(DC)的电池系统，为防止人员非正常使用或误触碰到电池高压，应在产品表面进行安全风险警示，禁止、警告和指令标志的标识应符合GB 2894的要求，系统安全标识应符合GB/T 18384.1中的要求。优先在电池包的第一观察面，人接触时应清晰可见，该位置应不易碰擦和损坏。电池包总成需要标识极性，极性识别标记应位于接近端子柱的位置，可采用下列标识符：

- 1) 正极端子——用符号“+”或文字“正极”。
- 2) 负极端子——用符号“-”或文字“负极”。

为使电动车续航里程满足产品要求，一般对电池系统制定相应能量密度指标要求，动力电池系统的结构设计需要提高产品的集成效率，即电池包结构设计要满足重量要求，以提高动力电池的比能量，从而提高电动车的续航里程。

4.4.1.2 机械强度要求

目前电池包的机械结构作为电池系统总成的载体，对产品的安全运行和防护起着关键作用，直接影响整车的安全性，因此电池包机械结构需要满足一定的机械强度要求，主要包括刚度要求、振动强度要求和冲击强度要求。

电池箱体承受着电池组等部件的质量，因此其结构刚度必须满足使用要求才可以保证整车行驶的安全性，合理进行结构设计是保证足够刚度必要前提，例如当箱体刚度不足时，其中心区域在电芯等部件作用下会发生较大变形，影响生产过程装配，离地间隙减小甚至影响整车的通过性。

4.4.2 电池箱体结构设计

电池箱体是电池箱的主要承载和防护零部件，一方面整车安装点需要承受电池箱的振动、冲击等复杂机械工况、模组安装点需要承受模组的振动、冲击等复杂机械工况，另一方面作为外壳需要对内部零部件进行机械安全防护，保证电池系统的正常运行。因此电池箱体结构设计直接影响到电池箱的各项性能。

开展详细设计之前需要先确定需求边界，然后根据需求边界进行箱体内部各个模块的排布设计，以此为基础开展上下箱体的详细设计和机械安全设计。

4.4.2.1 需求边界

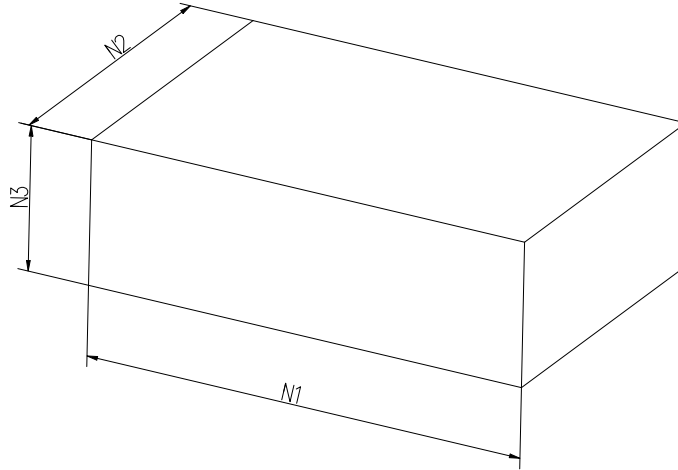
电池箱体的需求边界来源于3个部分：

- 1) 整车对电池箱体的边界包络要求；
- 2) 内部模组尺寸和布置方式影响；
- 3) 高压盒的布置方式影响（是否位于电池箱体内部）。

对于乘用车，一般是一辆车配置一个电池箱体。由于乘用车空间紧凑、复杂，且乘用车车型较多，因此电池箱体的边界包络形状复杂，且种类繁多，没有统一的尺寸标准。由于没有多余的空间单独布置高压盒，因此高压盒一般位于电池箱体内部，而内部模组的尺寸和布置与箱体复杂的包络形状相关联，因此单个电池箱体内部可能同时出现多种尺寸的模组，

且模组布置方式可能同时出现单层和多层。

对于商用车，由于内部空间相对规则，且电量要求比较大，因此商用车一般配置多个标准尺寸的电池箱体，高压盒一般位于电池箱体外部，内部模组一般只有一种尺寸规格，且布置方式一般为单层。商用车标准箱体的需求边界已有统一的尺寸标准（GB/T 34013-2017 电动汽车用动力蓄电池产品规格尺寸），可以覆盖绝大部分的商用车箱体需求。



说明：N1-电池箱体的厚度/长度；N2-电池箱体的宽度；N3-电池箱体的高度。

图 1 标准箱体尺寸示意图

表 7 标准箱体尺寸系列

序号	外形尺寸/mm		
	N1	N2	N3
1	896/1080	489	205~450
2	820/1060/1200	630/660/680	215~275
3	2190	690	233
4	1015	720/800	215~275
5	1030	999/1360/1722	251~548

4.4.2.2 整体排布设计

在整车厂提供电池箱体的边界包络之后，就需要进行根据包络特点进行整体排布设计，为相应结构模块分配布置空间。结构模块主要包括：模组、高低压线束/连接件、高低压连接器、电池管理系统模块、热管理系统模块、安全防护模块。

1) 模组排布：模组排布对称规整，空间大位置优先布置模组。

模组一般占据电池箱 70% 以上的重量，模组排布直接影响到电池箱重心位置。为保持电池箱重力分布均匀性，使得电池箱重心尽量位于电池箱体的对称轴中间位置上（对于形状不规整的箱体，采用近似对称轴），模组排布需要尽量左右对称、位置规整。为提升电池箱的体积能量密度，需要在箱体有限的空间内布置尽可能多的模组，因此箱体空间大的位置优先用于布置模组。如下图，可以看到模组排布占据电池箱大部分空间。



图 2 模组排布图

2) 高低压线束/连接件排布：高压低走线分开布置，尽可能避免交叉。

为减少高压电流对低压采样信号的干扰，高低压走线不能布置在一个位置，一般位于箱体两侧或相距较远，下箱体相应位置需要预留布线空间。为减少电池箱振动时线束的磨损，需要对线束进行定点固定，箱体上需要预留线束固定点。

3) 高低压连接器排布：排布均匀，便于连接器装卸。

连接器一般位于电池箱的前面板上，电池箱安装在整车上之后，连接器就位于易于售后维护的地方。连接器是装卸频率最高的部件，装卸便利性是重要的排布要求。

4) 电池管理系统模块排布：排布位置便于装卸，便于布线。

电池管理系统模块中有一些易损件和易维护件，如继电器、CSC 等，需要进行更换和维护，因此排布位置需要便于装卸。而高低压走线最后会汇集到电池管理系统模块中，为减少走线长度、线路简单易行，电池管理系统模块一般靠近连接器布置，位于电池箱的前端，相应位置预留排布空间。

5) 热管理系统模块排布：位于模组周围。

热管理系统模块分两种：加热系统和冷却系统。

加热系统一般布置在模组的侧面或底面。

冷却系统有多种，常见的有自然冷却、风冷、液冷、冷媒直冷等类型。其中应用最广泛的是液冷。液冷有两种实现方式：单独液冷板冷却、液冷板与箱体集成冷却。对于单独液冷板冷却方式，液冷板大部分位于模组底部，因此箱体需要预留相应空间。对于液冷板与箱体集成冷却方式，一般集成于箱体底部，这种冷却方式节省了单独液冷板的装配空间，降低了电池箱的成本，优势明显。

6) 安全防护模块排布：挤压防护、绝缘防护。

挤压防护：根据电池箱挤压要求，挤压测试的最大风险在于挤压造成高压连接点的短路，因此需要在箱体高压连接点位置预留防护结构装配空间。

绝缘防护：电池箱体与高压回路之间需要保证绝缘可靠性，因此一般通过双重乃至多重绝缘防护来实现。需要重点关注的绝缘防护位置是模组与上下箱体之间，常用的绝缘防护方式有接触面喷涂绝缘层、接触面粘贴绝缘片、导热硅胶垫、绝缘结构胶等方式。因此箱体设计时需要预留对应的装配空间。

4.4.2.3 详细设计

在展开上下箱体的结构设计之前，需要根据设计输入确定上下箱体的材质和加工工艺，材质和加工工艺不同，上下箱体的结构设计也会不同。

1) 上箱体设计

目前上箱体使用比较广泛的材质有钢、铝合金、复合材料。常用的加工工艺有折弯、冲压、模压。如下图所示为三种类型上箱体。



图3 折弯上箱体



图4 冲压上箱体



图5 复合材料模压上箱体

如下表从重量、成本这三个维度对钢板折弯、钢板冲压、铝板折弯、铝板冲压、复合材料模压这五种上箱体进行比较分析。

表8 不同类型上箱体对比表

维度 \ 类型	钢板折弯	钢板冲压	铝板折弯	铝板冲压	复合材料模压
重量	重	一般	轻	轻	轻
成本	一般	低	一般	低	高

- 装配性能

上箱体的主要装配件为下箱体，有些上箱体还装配有平衡防爆阀和其他装配件。相应位置开孔大小和位置需要保证装配件的正常安装，开孔大小和位置由装配件的尺寸需求和工艺加工水平所决定。

- 结构强度

上箱体结构强度要求主要有：1、上箱体本身强度要求；2、与下箱体配合的法兰面强度要求。

对于上箱体本身强度要求，因为上箱体壁厚一般较薄，满足强度要求一般通过在表面增加各种形状的凸筋或凹筋来实现，而筋位形状及凹凸的深度一般通过 CAE 拓扑优化及实际使用要求来确定。从图 3~图 5 可以看到，钣金折弯上箱体因为涉及到弧焊，并且不开模，因此筋位是简单的滚压筋，甚至没有筋；钣金冲压上箱体因为使用复杂的冲压模具制作，因此筋位形状可以得到最大程度的发挥；复合材料模压上箱体的筋位形状比较简单，因为复杂形状会降低导致上箱体的生产良率。

对于上箱体与下箱体配合的法兰面强度要求，金属上盖可以通过增加法兰面翻边来提升法兰面强度，而复合材料上箱体可以通过增加法兰面厚度或设置局部加强形状来提升法兰面强度。为保证密封性能，法兰面安装螺栓孔之间距离的设置需合适，其中密封垫密封时孔距比密封胶密封要大，且上箱体角落处需要单独布置紧固螺栓。

- 防腐性能

为满足金属材质上箱体的防腐性能，需要进行相关表面处理，常用的表面处理方式有电泳、喷粉等方式。表面处理方式的选取取决于结构设计方式和材质，例如：对于结构比较复杂，细节较多的结构，一般选用电泳处理；对于钢质箱体，一般选用电泳处理，对于铝质箱体，一般选用喷粉处理。防腐性能一般通过盐雾测试进行判定，盐雾测试标准通常参考 GB/T 10125，盐雾测试方法通常为中性盐雾和铜加速乙酸盐雾，根据金属材质的不同选取不同的盐雾测试方法。

2) 下箱体设计

下箱体是电池箱的主要承载零部件，客户确定包络边界之后，箱体总体尺寸及电池箱挂载点基本确定，结构设计中要重点关注的方面有装配性能、结构强度、防腐性能、轻量化要求（在 2.4.3 节中有详细描述）、密封性能（在 2.4.4 节中有详细描述）等。

目前下箱体使用比较广泛的材质有钢板、铝型材、压铸铝。常用的加工工艺有折弯、

冲压、拼焊、铝压铸。如下图 6、图 7。

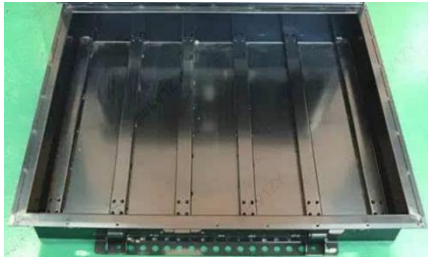


图 6 折弯下箱体



图 7 铝压铸下箱体

如下表从重量、成本这两个个维度对钢板折弯、钢板冲压、铝板冲压、铝型材拼焊、铝压铸这四种下箱体进行比较分析。

表 9 不同类型下箱体对比表

维度 \ 类型	钢板折弯	钢板冲压	铝板冲压	铝型材拼焊	铝压铸
重量	重	一般	轻	轻	轻
成本	一般	低	高	一般	低

装配性能

装配性能是下箱体的基本性能，箱体内部（电池箱本身）需要与上箱体、模组、接插件等部件进行装配，外部需要与整车进行装配，所有装配面和装配孔需要满足能装配、易装配要求。

结构强度

结构强度设计主要体现在满足 GB/T 31467.3 中振动、机械冲击、跌落、翻转、模拟碰撞、挤压等机械强度要求，为满足这些要求，下箱体结构设计中需要重点考虑整车安装点设计、模组安装梁设计、底部加强梁设计。

整车安装点设计

整车安装点与结构强度相关比较大影响因素有四点：安装点数量、安装点分布、安装点紧固螺栓大小、安装点部位强度。

影响因素中的前 2 点由下箱体的边界条件决定，一般是固定的。安装点紧固螺栓大小一般是由客户决定，可以根据实际情况与客户商议达成一致。安装点部位强度需要进行加强设计。一般通过加厚安装点部位厚度、安装点部位采用实心结构、增加加强筋等方式来实现。

整车安装点数量越多，分布越均匀，整车安装点的受力越小。但实际客户需求不一定满足以上要求，因此需要通过 CAE 仿真来确定各个安装点设计，应力比较大的安装点需要加大强度设计，选用较大的螺栓进行固定。目前应用比较广泛的螺栓类型有 M10、M12、M16。

模组安装梁设计

模组安装梁承受模组螺栓固定点的受力，受力较大，类似于整车安装点，一般通过加厚安装点部位厚度、安装点部位采用实心结构等方式来实现。

底部加强梁设计

底部加强梁是影响下箱体结构强度的关键点，尤其是钣金箱体，需要进行 CAE 拓扑优化，不同的位置选择不同的材质和厚度，达到整体成本和重量的一个最优解。为满足结构刚度，一般采用内梁与外梁相结合的方式，内梁与外梁推荐使用封闭框架式结构形式，优势在于结构稳定、刚度大。内梁与外梁之间需要进行配合设计，进一步增强下箱体的强度。如下图 8。

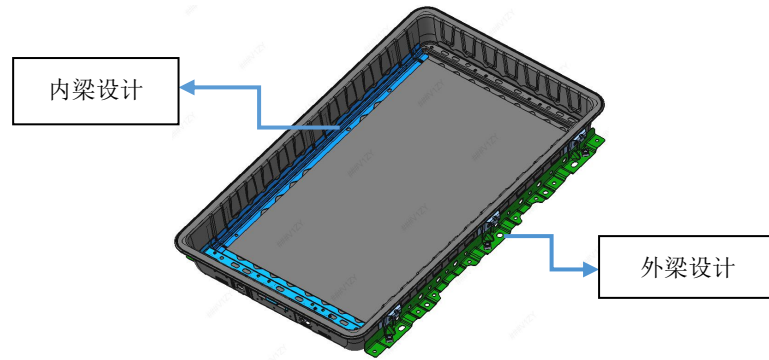


图8 底部加强梁示意图

防腐性能

金属下箱体的防腐性能同金属上箱体，进行电泳、喷粉等方式进行处理。

4.4.2.4 机械安全设计

进行机械安全设计时，主要需满足挤压、碰撞、IP防护、底部球击和耐火烧等要求。

挤压安全设计：电池包挤压主要难点在于电气连接件，在超高的挤压力下，该区域变形、破损严重，容易造成短路导致电池包发生安全事故，以挤压仿真为手段，分析挤压过程挤压力的传递路径。通过测量承力材料的力学性能，确定电池包材料的挤压失效参数，在仿真过程中，采用考虑应力三轴度的材料破坏应力极限，获取箱体、模组端板、电器连接件外壳、接插件防撞块的破坏强度作为仿真输入，通过挤压仿真，分析各个部件在受力状态下的变形、破坏状态。根据挤压力分解仿真结果，优化各部件的结构设计。如图9。

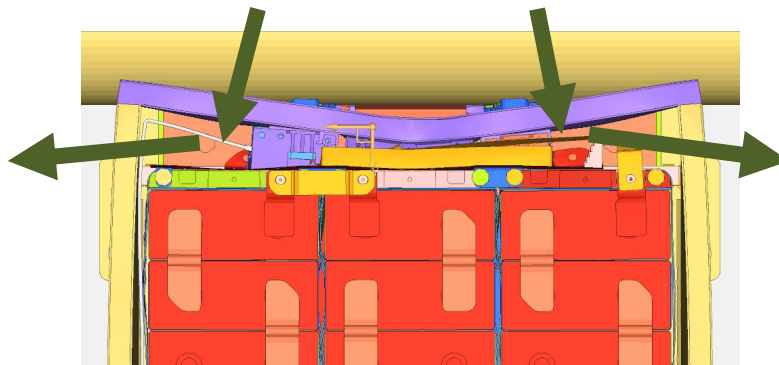


图9 挤压力传递路径

碰撞安全设计：为保证电池包的实车碰撞安全，充分考虑实际碰撞过程中的电池包受力形式及变形状态，进行了整车级别的碰撞仿真分析及碰撞测试对标，识别整车各部位电池包在整车碰撞过程中对电池包产生的冲击载荷的影响，及对外部接插件的冲击作用，计算其碰撞的最大冲击力、入侵位移量以及碰撞加速度。保证电池包在整车中的碰撞安全。如图10。

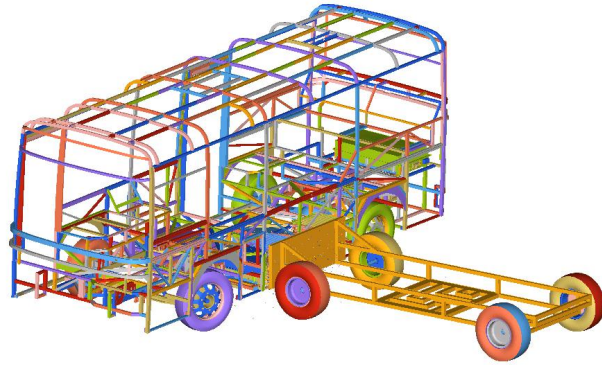


图 10 电池包整车级别碰撞仿真

IP 防护设计：对于箱体 IP 防护设计，主要是防水防尘，即满足 IPXX 要求。电池箱在生命周期内会经历粉尘、积水、泡水等可能损坏其 IP 防护性能的复杂工况，电池箱是一个电子产品，IP 防护性能被破坏可能会损坏箱体内部的电气件，导致电池箱无法正常工作。也可能破坏电路绝缘性能，导致短路起火等安全事故发生。因此箱体防水防尘设计需要重点关注，且达到较高的一个防护等级。对电池箱的防水防尘要求一般是 IP67、IP68。详细设计要点参考 2.4.4 节。

底部球击安全设计：整车在行驶过程中，电池箱底部可能受到砂石等异物的冲击，导致箱体底部变形、穿孔。因此设计时需要加强箱体底部的结构强度，同时通过预留缓冲空间、增加防护装甲等方法来满足箱体底部球击安全要求。

防火烧设计：为满足箱体放火烧要求，常用处理措施有：

- 1) 增加电池箱体壁厚，增强放火烧性能；
- 2) 箱体采用耐火烧性能较好的材料，如采用熔点更高的钢、复合材料等材料；
- 3) 箱体外部喷涂防火涂层来隔断火源。

4.4.3 轻量化设计

在电池包轻量化设计中，有两个方向减重效果较为明显，一个是新材料应用，另一个则是进行极限设计，优化零部件结构。

4.4.3.1 新型材料的应用

在电池包轻量化设计中，常用的新材料有铝合金、复合材料、镁合金，见表 10。

表 10 新材料性能对比

材料	密度 g/cm^3	材料强度	可焊接性	常见加工方式
铝合金	2.7	高	好	铸造、挤出、冲压
复合材料	1.5~2.0	高	差	铸造、模压
镁合金	1.7	中	差	铸造

1) 铝合金

铝合金材料在电池包中的应用主要包括：型材拼焊箱、压铸箱、冲压箱、钣金折弯箱等四大类。从结构强度考虑，型材拼焊箱、压铸箱、冲压箱一般用于箱体，同时可采用集成液冷板设计，进一步提高结构强度和轻量化。冲压箱和钣金折弯箱一般用于上箱体，考虑到生产效率、一致性和气密性的要求。冲压箱一般用于大批量生产产品，钣金折弯箱体则用于样件验证和小批量生产的产品。如图 11。



图 11 铝型材箱体

型材拼焊箱，挤压性能好，强度高，价格相对较为便宜。铝型材进行截面设计时，焊接处、螺栓连接等关键部位应进行局部加强确保其有足够的结构强度和可加工性。铝合金焊接容易变形，所以应优先按搅拌摩擦焊等低应力变形较小的焊接方式进行结构设计。

低压铸造一般以压缩空气为动力，可以是空气，也可以是惰性气体，将压缩气体通入密闭容器（坩埚），作用在保持一定浇注温度的合金液面上，造成密封容器内与型腔内的压力差，使金属液从在较低的压力 0.01-0.05MPa 下在密闭容器中沿着升液管自下而上流经升液通道、铸型浇口，平稳填充型腔。待金属液充满型腔之后，增大气压，在压力作用下，金属液从上而下冷却、结晶、凝固，在凝固过程中不断有金属液补充。然后撤掉密闭容器内的压力，让升液管、浇道内还没有凝固的金属液依靠自身重力回落到密闭容器中，完成一个循环。整个过程的压力、时间、速度、温度等都可控。铝合金低压铸造考虑到加工工艺的可实现性，设计时壁厚一般应不小于 3mm，在加强部位可进行适当加厚增加结构强度。压铸铝合金箱可焊接性能相对较差，设计时应尽可能实现一体成型，尽可能减少焊接工艺。如图 12。

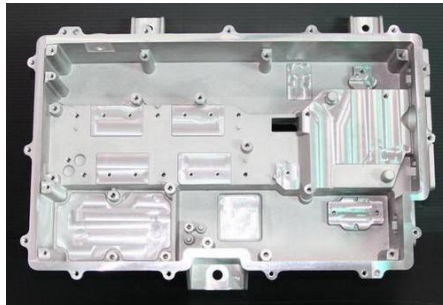


图 12 压铸箱体

冲压铝合金箱设计时应适当设置加强筋提高结构强度。例如冲压铝合金上箱体为一体成型，其一致性、气密性表现非常优异而被广泛应用。

2) 复合材料

复合材料具有高强度、低密度、耐火烧高绝缘等特性，是轻量化设计的首选材料，通线用于上箱体制作。常用的材料有 SMC（玻璃钢）、CFRE（连续纤维增强环氧树脂）、碳纤维材料等。

由于 SMC、CFRE 等材料的延展性相对较差，一般在设计时应注意避免应力集中，可以适当增大拔模角度和圆角，安装面应进行适当加厚或增加金属压板，避免局部受力而出现开裂的情况。如图 13。



图 13 复合材料箱体

3) 镁合金

镁合金除了比重较轻外，还具有良好的阻尼性能，能使振动迅速衰减的特种金属材料，它既具有作为结构材料的力学性能，又具有高的振动衰减能力，可应用于电池箱下箱体以及电池包内的其他结构件。

镁合金具有优良的铸造性能，通常采用铸造工艺进行加工，但其可焊接性较差，设计时应保证一体成型，避免焊接，同时应适当设置加强筋，增加整体结构强度。

4.4.3.2 极限设计

极限设计针对电池箱系统结构，在承载部位加强设计，而在非承载部位尽可能地减薄料厚、优化拓扑结构，通过不同厚度材料的搭配、最优拓扑和形貌结构共同来实现轻量化的极限设计。极限设计针对已有的产品进行优化设计，需要很清楚地了解产品的临界值，要同时满足产品性能要求和加工工艺或者安装工艺要求。电池箱体结构轻量化的极限设计方法主要有：拓扑优化、尺寸优化、形貌优化等，在电池箱前期设计过程中，拓扑优化、形貌优化属于前期概念设计阶段的工作，在结构设计后期，尺寸优化属于后期详细设计阶段工作。

拓扑优化就是在限定的设计空间里找到材料的最佳分布，或者传力路径，从而在满足各种性能的条件下得到重量最轻的设计。根据电池系统的外包络、可布置固定点的区域、电池系统可行性方案、模组在包络中的布置，如拓扑优化技术对电箱箱体横梁的优化分布，基于拓扑优化结果进行结构详细设计，最终得到电池包箱体加强筋最优分布设计。如图 14。

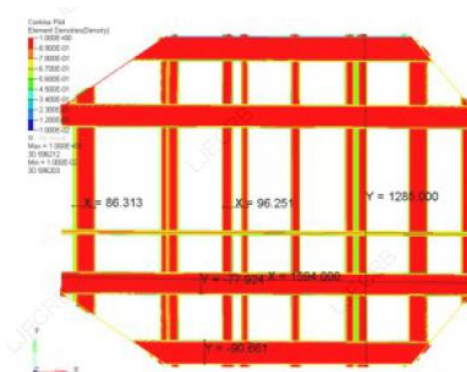


图 14 箱体拓扑优化

结构形貌优化主要应用于电池箱上的钣金结构，在板壳结构上寻找最优的加强筋形状和布置位置，可减少变形、提高模态频率、减少振动等，如电池包上盖加强筋的优化，提升结构刚度性能。如图 15。

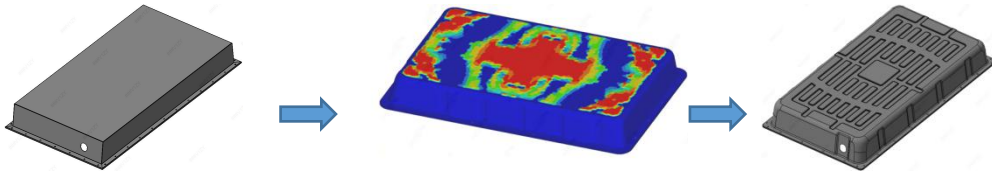


图 15 形貌优化

尺寸优化主要通过改变结构如板件的厚度、梁和杆单元的截面参数、材料特性等，以最小的材料达到最佳结构刚度的设计目标，该优化时，产品或者零部件的结构形式已经确定，主要进行尺寸或参数方面的调整，提升性能、减轻重量等。针对电池箱，主要对内部板壳结构进行厚度优化设计。

4.4.4 电池箱结构密封设计

4.4.4.1 常见密封设计形式

车辆是一年四季全天候使用的交通工具，电池箱会随着车辆经历很多复杂的工况，因此电池箱的密封防护设计需要满足车辆使用场景的要求。车辆在行驶过程中若遇到雨雪、粉尘等恶劣工况，电池箱作为高能量的储能产品，为避免水或粉尘进入电池箱内部引起安全事故，必须使电池箱满足较高的防护等级，保障电池箱整个生命周期的安全，防护等级参考国标 GB/T 4208-2017 中的 IP 防护等级表。

1) 箱体密封圈设计

压力密封是指通过上下安装面之间的作用力压缩弹性单元，把弹性单元压缩到一定的百分比，利用弹性单元的反弹力，使弹性单元和上下安装表面充分地接触，达到防水防尘的要求。市场上电池箱常用的压缩密封弹性材料为发泡类的硅胶或橡胶、注塑成型类实心或微发泡的硅胶或橡胶，其中发泡类硅胶有较好的压缩变形性能和反弹应力衰减性能，有一定的减震缓冲的作用，当密封圈与上下箱体之间的接触摩擦力大于水压力，且密封圈与上下箱体之间紧密接触时，能达到防水防尘的密封作用。密封圈的密封效果与密封圈的有效密封宽度和压缩量有密切的关系。

密封圈的有效密封宽度：常见的密封圈形式如图 16 所示，密封圈的有效密封宽度指的是从螺母内边沿到密封圈内侧的距离，如图中 w 所示，圆孔只是为了进行限位，有效密封宽度要根据电池箱的密封防护等级以及密封圈的材料性能来确定。

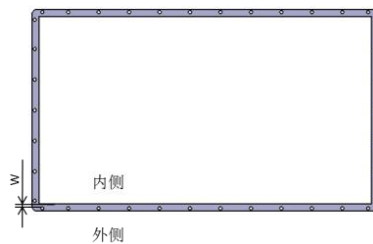


图 16 密封圈

压缩量：通常弹性材料的压缩量是通过密封圈的厚度和下箱体拉铆螺母的高度来控制，由于弹性材料有一定的压缩性，所以需要上下安装面有一定的刚度，保证上下安装面之间的密封。根据密封圈不同压缩量的密封测试结果，选取适宜的压缩量，从而实现密封的可靠性。压缩率的计算如公式 1，其中， h_0 为密封圈自由状态下的高度（mm）， h_1 为密封圈压缩后上下箱盖之间的高度（mm）， ε 为压缩率。

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \times 100\% \quad (1)$$

生产工艺：常用密封圈是硅胶发泡类材料，其生产工艺主要有模压成型、在线涂覆成型和拼接三种。如表 11 所示。模压成型：使用模具直接发泡成型；在线涂覆成型：在电池箱

体上按照箱体的密封轨迹进行涂覆发泡，且涂覆的硅胶需要使用温箱进行一定时间的烘烤，保证硅胶发泡的固化，适用于大量生产。拼接成型：先发泡再用刀模模切，最后拼接成型，应用最广。对于拼接成型的密封圈，接头的位置需要避开密封圈的拐角处，距离螺栓孔位的距离要大于 10mm，且要避开两个螺栓的正中间位置。接头的形状主要有波浪形、拱门形、燕尾形，如图 17 所示，波浪形接头可有效提高接头胶的接触面积，应用最广。

表 11 不同生产工艺对比表

生产工艺 维度	模压	在线涂覆	拼接
成本	模具成本高	设备成本高	刀模成本低
生产效率	低	一般	高



图 17 接头形状

2) 箱体密封胶设计

黏性密封是使用黏性的弹性单元，利用黏性单元与上下箱体之间产生的黏性作用力，保证黏性单元和上下箱体之间紧密的接触。黏性密封通常采用密封胶进行密封，通过控制和调节密封胶的高度、宽度和涂胶量，使密封胶的黏性达到最优，实现密封的可靠性。密封胶的轨迹通过设计挡胶结构来控制，使密封胶固定在设计的密封轨迹里，避免胶向箱体的内外溢出；胶高、胶宽和涂胶量的选取是根据电池箱上盖和下箱体之间预留的间隙以及平面度误差计算得出，并通过相应的 IP 防护测试，最终制定适宜的参数值，生产过程中通过具体的工艺参数来控制，保证电池箱的密封防护。

3) 连接器密封设计

电池包上外部可见的零部件，都会涉及密封设计，这些零部件主要有高压连接器、低压连接器、维护开关、平衡防爆阀和管路连接。在选用这些标准零部件时，涉及密封的主要有两个方面：零部件自身的密封设计、零部件和电池包的安装界面的密封设计，密封方案多是采用密封圈或密封垫：需要选用防护等级 \geq IP67 的零部件，零部件和电池包的安装法兰面的平面度要求局部平面度不大于 0.3mm。

4.4.4.2 平衡防爆设计

1) 平衡防爆装置的种类

对于有密封要求的电池箱，为了消除海拔或温度的变化引起电箱内部气压的变化，需要设计平衡装置来进行气压的平衡；同时，若电池箱有热失控的风险或内部有易产气体的零部件（如三元电芯），还需设计防爆装置对气体进行定向泄放，避免产生爆炸。目前市场上使用的平衡防爆装置主要分为两类：平衡阀和防爆阀。

平衡阀的主要作用是平衡电池箱内外的气压，使其保持一致。对于无显著产气零部件、无热失控风险的电池箱，采用价格较低的平衡阀即可。

防爆阀既可以保持电池箱内外的气压一致，又可以在电池箱的内外压差（一般是电池箱的内部压力大于外部压力）发生急剧变化时，防爆阀的透气膜直接爆破，快速平衡箱体内外压差，防止箱体产生爆炸、压扁等现象。对于内部有显著产气的零部件、有热失控风险的电池箱体（尤其是三元锂电电池箱），宜采用价格较高的防爆阀。如图 18。



图 18 平衡阀

2) 平衡防爆阀的爆破方式

在某些极限情况下,可能会产生能量集中爆发的情况,此时爆发的位置和方向都是随机的,若电箱的薄弱点设计防爆阀处,让能量从最薄弱的地方爆发,实现能量的定向泄放。目前常用的有三种爆破方式。

方式一:顶针爆破,当箱体内部的气压急剧增大时,透气膜向外鼓起,被顶针刺破,从而使气体得到释放,如图 19 所示。

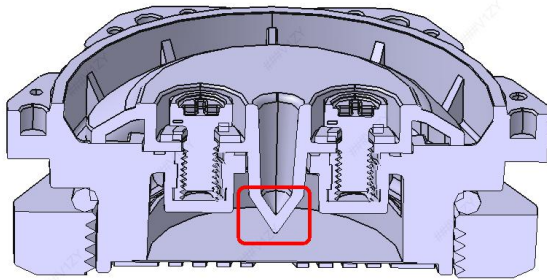


图 19 顶针爆破

方式二:机械爆破,透气膜与一个活动式结构 A 焊接一起,当内部气压急剧增大时,结构 A 往外松动,从缝隙处大量排气,如图 20 所示。

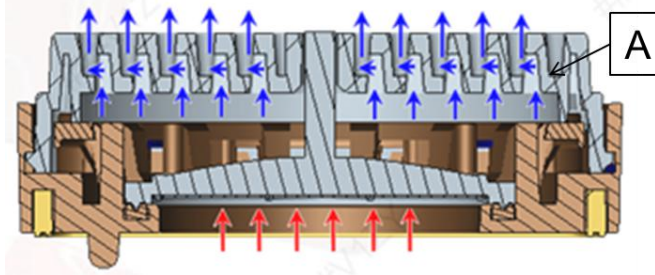


图 20 机械爆破

方式三:焊接爆破,透气膜通过热压等方式焊接在平衡防爆阀的主体上,当箱体内部的气压急剧增大时,透气膜从焊接处脱落,从而大量排气。

3) 平衡防爆阀的关键选型参数

平衡防爆阀的性能要满足电池箱的使用工况,因此防爆阀的关键参数的确定至关重要,其核心参数主要有以下 3 项:

- IP 防护性能 (IP68、IP6K9K): 基本性能要求,为电池包性能要求之一。
- 透气速率: 反映防爆阀平衡透气性能的关键参数。
- 参数计算:

透气量根据环境温度变化梯度、温度转换时间、极限工作温度等要求选取:

$$PV=nRT \quad (2)$$

式中: P 为气体压强; V 为气体的体积; n 为气体物质的量; R 为普适气体常量; T 为气体的热力学温度。当温度发生变化时,电池包内部压力变化可采用公式 3 计算:

$$\Delta P=P_2-P_1=P_1(T_2-T_1)/T_1 \quad (3)$$

式中: P1 为标准大气压; T2 为终止温度; T1 为初始温度

当温度发生变化时，电池包内气体体积变化可采用下式计算：

$$\Delta V = V_2 - V_1 = V_1 (T_2 - T_1) / T_1 \quad (4)$$

式中：V₁ 为电池包净容积

根据《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：GB 31467.3-2015》中 7.7 温度冲击试验，外部使用环境最大温差是从 -40℃ 升到 85℃ (30min 内) 平衡防爆阀在单位时间上升的压差为 $\Delta P/30$ ，透气量为 $2 * \Delta V/30\text{min}$ (2 为 2 倍安全系数) 爆破压力：爆破压力的大小与箱体强度密切相关，基本要求是在箱盖发生不可逆变形之前防爆阀爆破，因此爆破压力不能过大，但压力也不能过小，过小会造成正常工况的误爆。

4.5 电气系统设计

4.5.1 电气系统总体设计要求

电动汽车动力电池系统的电气系统主要有以下两大类：低压电气系统和高压电气系统。

低压电气系统用于实现 BIC 采集模组内外电压、温度参数，主要采用线束和 FPC 的方案；以及实现 BMS 部件间的供电、通讯、为整车提供充放电控制、高压部件上电控制等，主要采用线束方案。

高压电气系统用于实现模组间的串并联连接，主要采用铜排或高压线；以及实现高压系统中电源分配与管理，为整车提供电路过载短路保护、高压采样、保护和监控高压系统的运行，主要电气部件包括继电器、熔断器、电流传感器、预充电阻等。

4.5.2 低压电气系统

4.5.2.1 接插件设计

接插件一种为电线和电缆端头提供快速接通和断开的装置。主要功能是将电线电缆一端的信号或能量传输到另一端，是各类电气、电子系统不可缺少的电子元器件。用于电气、电子设备的电线、电缆与设备之间的电路连接，实现信号及电能（功率）的传输。

设计原则：

1) 孔位数

根据需求回路数设计适当孔位数的接插件，建议额外预留 2~3 个孔位数；

2) 额定电流

根据电路回路电流值设计接插件额定电流值。接插件额定电流值取决于接插件中端子的载流能力，设计时端子的载流能力应大于电路回路电流值；

3) 耐电压

接插件的耐电压应大于其所在系统的耐电压。主要受端子之间的电气间隙影响；

4) 绝缘电阻

接插件的绝缘电阻应大于其所在系统的绝缘电阻。主要受端子之间的爬电距离影响；

5) 锁止与二次锁止

接插件设计时应考虑锁止结构，在一些振动频繁和对连接要求较高的部位应设计带有二次锁止结构的接插件；

6) 防错、防误

如果在同一部位用到两个或以上同一规格接插件，设计时应考虑用不同颜色或键位的接插件加以区分，避免装配错误；

7) 固定

接插件设计时应考虑其安装和固定方式，接插件的母端应设计卡扣结构，便于母端固定于电池包内部结构件上；

8) 阻燃

根据阻燃要求不同，接插件设计时应考虑壳体材料添加阻燃剂。

9) 耐腐蚀

- 耐化学试剂

试验方法及要求按照 QC/T 1067.1 要求，并结合实车安装位置选用涉及的试剂进行测试。

- 耐盐雾

试验方法按 GB/T 2423.17 执行，其中应清除试验件表面的油污和灰尘并将试验件插合，（无载荷状态）并进行有效密封处理后放入盐雾试验箱内，进行 96 小时连续喷雾的盐雾试验。试验结束后，检测接插件是否满足外观检查的规定：金属防护层腐蚀面积占总面积的 30% 以下；非金属材料无明显泛白、膨胀、起泡、皱裂及麻坑等缺陷。

4.5.2.2 低压线束设计

设计流程：

线束的设计主要根据BMS电气原理图和电池包3D数模来完成线束3D数模的设计，根据BMS电气原理图和线束3D数模提供的信息完成线路布置，线束尺寸设计，电线选型，接插件选型，接线端子选型，包扎/防护材料选型，扎带选型等，最终完成线束2D图纸，设计流程如图21所示：

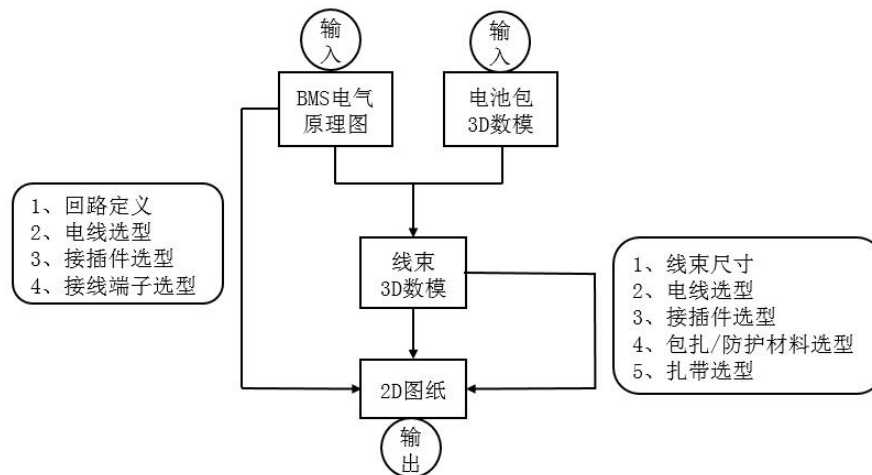


图21 设计流程

设计原则：

- 1) 为完整正确的体现动力电池总成电气系统功能，首先根据 BMS 电气原理图和电池总成电气零部件的分布位置，考虑合理的线路走向，设计正确的回路保证电气设备正常工作；
- 2) 线束设计要求线束路径尽可能短，接点尽可能少；
- 3) 线束装配工序一般放在最后，设计时应考虑工序及安装、拆卸操作的方便性；
- 4) 若空间充裕，线束设计应尽可能集成一体，减少线束总成接插件的数量；
- 5) 高、低压线束布置时应保证足够的距离空间。若空间不足应尽量将高压线束和低压线束布置成十字交叉状；
- 6) 线束布置成十字交叉状；
- 7) 线束尽可能加大弯曲半径、避免尖角、避免摩擦；
- 8) 卡紧点不能离插接件太近，至少保证 20mm 距离；
- 9) 尽可能将插接件固定在结构件上；
- 10) 线束附近要有足够的空间预留，保证线束不与其他部件发生干涉。避免线束绝缘层被夹断、磨损或破裂，从而导致电路短路或断路；
- 11) 根据线束所处的工作环境及在电池包内的空间布置，合理选择线束外部包扎/防护

12) 材料和固定方式(耐磨、耐热、防水、防尘及耐振等)。

13) 接插件的选型及布置需要考虑防呆,防止装配时错接、误接。

零部件选型:

一套完整的低压线束总成一般包含:电线、接插件、包扎/防护材料、端子、扎带等。

1) 电线

电线的选型,需根据回路中负载的类型、功率,以及电线所在的工作环境来进行选取;

2) 接插件

接插件选型见 2.5.3.1 接插件设计;

3) 包扎/防护材料

线束包扎/防护材料的作用主要是耐磨,阻燃,防腐蚀,防止干扰,降低噪声,美化外观等。一般根据电池包内部的工作环境和空间尺寸进行选择。常用包扎/防护材料有:波纹管、PVC管、胶带、玻璃纤维套管等;

4) 端子

搭铁线或者单根电线的连接一般采用电线与端子压接,然后端子与连接处进行连接压紧处理。通常选用压接型铜接线端子,该端子型号规格繁多,不同厂家生产的产品规格不尽相同。选型时应参照厂家的技术规格书和 GB/T 14315 《电力电缆导体用压接型铜、铝接线端子和连接管》规定;

5) 扎带

扎带主要的作用是固定线束,防止线束磨损,防止线束因剧烈振动造成线束断裂或是连接处松动、脱落。扎带选型根据线束的布局和线束附近的结构因地制宜,并且要选择合适的扎带固定点。

4.5.3 高压电气系统

4.5.3.1 高压接口

1) 外观要求:高压接口外观上应清晰、牢固地标有产品基本信息。标记应符合 GB 18384-2020 中第 5 章的要求。接口易触及的表面应无毛刺、飞边及类似尖锐边缘。应无损伤、变形等缺陷。

2) 互锁功能:高压接口具有电气互锁功能,功率和信号端子应满足:

a) 连接时,功率端子先接通,信号端子后接通;

b) 断开时,信号端子先断开,功率端子后断开。

3) 连接可靠:高压接口的电缆压接、螺纹连接、焊接等连接位置,应无松脱、断裂等结构缺陷。

4) 屏蔽要求:高压接口应带有屏蔽层,且屏蔽层应具有两端接地结构。对接端能与对接连接器的屏蔽层接合,线束端能与线束屏蔽层接合。屏蔽层结构的密度不应小于其所占体积的 85%,重叠率应不小于 20%。对于屏蔽层的功能需要满足如下要求

a) 转移阻抗小于等于 $31\text{m}\Omega/\text{m}$,屏蔽衰减大于等于 70dB

b) 导体与屏蔽层之间分别通以 50Hz、1min 的交流 600V 和直流 900V 耐电压试验不击穿。

5) 环境适应性:高压接口工作环境温度范围为 $-40^{\circ}\text{C}\sim+125^{\circ}\text{C}$,工作环境相对湿度为 $5\%\sim95\%$

6) 耐电压:高压接口导体与导体之间、导体与外壳之间、导体与屏蔽层之间应能承受 $50\sim60\text{Hz}$ ($2U+1000$) VAC 或等效直流电压 (U 为电池包最高电压) 1min,无介质击穿或电弧现象,漏电流值不大于 5mA

7) 绝缘电阻:高压接口导体与导体之间、导体与外壳之间、导体与屏蔽层之间,绝缘阻值 $\geq 100\text{M}\Omega$ 。测试方法按照 GB 38031 附录 B 的方法 2 执行。

8) 温升: 高压接口在正常连接时, 系统各点温升不应大于 55K, 无影响产品性能的损伤。

9) IP 等级: 高压接口应至少满足 IP67B 的防护等级, 对锁螺栓连接器不做 IPXXB 的要求。

10) 防腐蚀要求: 针对不同地理区域盐雾环境差异, 建议:

a) 销售及存储区域在山海关以北的动力电池包, 高压接插件至少应满足 96h 耐盐雾要求;

b) 销售及存储区域在山海关以北的动力电池包, 高压接插件至少应满足 48h 耐盐雾要求;

耐盐雾试验方法按 GB/T 28046.4-2011 的 5.5.1, 试验后, 高压接口应满足上述 6、7、8 的要求。

4.5.3.2 高压电缆和铜排

1) 电阻率: 额定工作温度时一定长度的电缆或铜排应满足 DV 测试要求的电阻率要求。

2) 绝缘电阻: 导体与绝缘层之间的绝缘电阻应不小于 100MΩ。

3) 绝缘颜色: 绝缘的颜色优先采用橙色, 其次再选择供需双方同意的其他颜色。

4) 导体与绝缘层之间应能承受 DV 测试要求耐电压试验电压, 无介质击穿或电弧现象、漏电流值不大于 5mA。

4.5.3.3 电气间隙和爬电距离

1) 对于直流电路里的绝缘阻值 R, 除以它的最大工作电压, 应不小于 500Ω/V,

2) REESS 连接端子间的爬电距离: $d \geq 0.25U+5$

d——被测试用 REESS 的爬电距离, 单位为毫米 (mm)

U——REESS 两个连接端子间的最大工作电压, 单位为伏 (V)

3) 带电部件与电平台之间的爬电距离: $d \geq 0.125U+5$

d——带电部件与电平台之间的爬电距离, 单位为毫米 (mm)

U——REESS 两个连接端子间的最大工作电压, 单位为伏 (V)

4.5.3.4 互锁要求

按照实际需求选择不做强制要求

4.5.3.5 BDU (电池切断单元) 设计

1) 外观要求

整体外观完好, 不得有划痕、凹陷、破损、裂纹、变形等制造缺陷; 整体外观面保持清洁, 不得有油渍、污渍或其他影响外观的附着物; 外观表面需标识产品型号和生产日期。

2) 温度范围

工作环境需满足 $-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$, 存储环境温度满足 $-40^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$ 。

3) 结构要求

应能可靠固定, 便于拆装维修。

4) 功能要求

a) 提供主回路预充;

b) 分断电池包和外部负载;

c) 承受电动汽车运行时的额定电流及正常过流保持正常工作;

d) 若电池切断单元含主回路熔断器, 熔断器应能在短路电流及时可靠分断, 电池切断单元内部各零件不起火、不爆炸;

e) 能够可靠吸合和断开;

f) 电压采集;

g) 电流采集;

h) 其他附加功能。

5) 低压电线束

采用的低压电线束应符合 QC/T 29106 的规定。

6) 高压采集线束

采用的高压采集线束额定电压应满足电池包最高电压等级要求, 匹配相应载流能力线径。

7) 硬铜巴

采用的硬铜巴应符合 GB/T 2529-2012 的规定

8) 电路导通及控制

根据高低压原理图对电池切断单元所有接口进行导通测试, 能正确响应 BMS 控制指令, 要求符合高压原理图。

9) 高压回路内阻

对电池切断单元中所有铜排连接点进行接触电阻测试, 按照额定电流通流, 以温升不超过 60K 作为接收标准。

10) 温升要求

电池包正常工作状态下, 电池切断单元内部各器件应工作在各器件规定的工作环境温度区间, 且不影响电池切断单元周边零件的正常工作。

11) 电气间隙与爬电距离

满足 GB/T 16935.1-2008 低压系统内设备的绝缘配合 第 1 部分: 原理、要求和试验, 电气间隙和爬电距离应按污染等级 3 设计。

12) 绝缘耐压性能

耐压: 采用 50~60Hz (2U+1000) V 交流电压进行测试, 持续 1min, 要求无介质击穿和电弧现象, 且漏电流 $\leq 10\text{mA}$ 。

绝缘: GB 38031 附录 B 的方法 2。

13) 防护要求

电池切断单元在装配后的防护性能满足 IPXXB。

14) 阻燃要求

电池切断单元所有零件应满足《GB/T 2408-2008 塑料 燃烧性能的测定水平法和垂直法》水平 HB, 垂直 V0 燃烧等级要求。

15) 噪声要求

在 0.3m 处测试, 额定电流 300A 以下 (含 300A) 小于 75dB, 或满足主机厂定义 NVH 接受标准。

16) 耐盐雾

满足 48h 盐雾试验要求, 试验按照标准 GB/T2423.17-2008 执行。

4.5.3.5.1 预充电回路 选型计算

1) 预充时间要求

按各主机厂内部标准执行。

2) 预充压差

主回路导通前, 预充电电压压差建议:

<500V 车型预充压差 $\leq 20\text{V}$, $\geq 500\text{V}$ 车型预充压差 $\leq 30\text{V}$ 。

3) 预充电流/电压上升速率

匹配各主机厂电机电容允许的电流/电压上升速率。

4) 连续预充能力

应能承受连续 10 次预充（预充间隔时间由各主机厂自行定义），预充回路及周边零件不得出现烧融、烧灼现象，电池切断单元功能正常。

5) 预充电阻选型

电压电容随时间的关系：

$$u_t = u_0 + (u_s - u_0) \times (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (4)$$

u_t ：预充时间 t 时刻的电容电压； u_0 ：初始电压； u_s ：电池包最高电压； R ：预充电阻； C ：预充电容

预充前 $u_0=0$ ，则：

$$u_t = u_s \times (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (5)$$

可得出预充电阻 R ：

$$R = \frac{t}{C \times \ln\left(\frac{u_s}{u_s - u_t}\right)} \quad (6)$$

预充电阻发热量：

$$w = \frac{1}{2} C u_s^2 \quad (7)$$

这些热量在预充时间 t 内产生，可以计算出整个过程的平均功率：

$$P = \frac{w}{t} \quad (8)$$

6) 预充继电器选型

预充过程中电流逐渐减小，无持续电流，可参考预充初始阶段峰值电流进行选型：

$$i = \frac{u_s}{R} \quad (9)$$

4.5.3.5.2 接触器

1) 外观标识

接触器外观完整，无明显结构缺陷和锈蚀。标志应清晰，持久。

下列信息应标志在熔断体上：

- a) 制造商名称或易识别的商标；
- b) 额定电压；
- c) 额定电流；

2) 端子强度要求

接触器的接线端子（主电路、控制电路和辅助电路），应有稳定持久的接触压力、良好的电接触性能、足够的载流能力及机械强度，能经受新能源车辆上的振动和冲击。

3) 绝缘电阻

断开的触点各引出端间、线圈引出端与触点引出端间的绝缘电阻应满足下列要求：

- 正常条件下： $\geq 500 \text{ M}\Omega$ (at 1000 Vd.c.) , 5s；
- 试验中、试验后及湿热条件下： $\geq 50 \text{ M}\Omega$ (at 1000 Vd.c.) , 5s。

4) 耐受电压

断开的触点各引出端间、线圈引出端与触点引出端间间施加 $2U+1000 \text{ VAC}$ 工频电压 1min，

泄露电流 < 1mA

5) 正常工作环境

温度: -40°C~85°C

海拔: < 2000m

对于偏离上述条件的工作环境, 需要与制造厂协商。

6) 吸合及释放电压

额定电压 VDC	吸和电压 VDC	释放电压 VDC
12	≤9	≥1
24	≤18	≥2

7) 吸合、释放及回跳时间

继电器额定电流 300A 以内, 吸合时间 ≤ 50ms, 释放时间 ≤ 30ms, 触点吸合时的回跳时间 ≤ 5ms;

继电器额定电流 300A 以上, 吸合时间 ≤ 100ms, 释放时间 ≤ 30ms, 触点吸合时的回跳时间 ≤ 10ms。

8) 额定电压及额定电流

各主机厂/电池厂根据整车需求选定满足要求的电压等级和额定电流产品。在额定电压和额定电流下, 接触器温度应符合产品材料耐温特性。

9) 整车持续电流和峰值电流

在整车持续电流和峰值电流下, 接触器应能可靠工作, 温度应符合产品材料耐温特性, 温升不影响周边器件的正常工作。

10) 触点压降

额定电流	触点压降
≤ 50A	≤ 30mV@10A
> 50A	≤ 200mV

11) 容性负载电气寿命

< 500V 产品, 在 20VDC 压差, $\tau = 1\text{ms}$ 时, 寿命大于 2.5 万次;

≥ 500V 产品, 在 30VDC 压差, $\tau = 1\text{ms}$ 时, 寿命大于 2.5 万次。

备注: 压差仅做参考, 可以结合电源系统内阻情况, 降低压差以便达到寿命要求。

12) 正向切换电寿命

正向额定电流切换电寿命 > 1000 次

13) 反向切换电寿命

反向额定电流切换电寿命 > 500 次

14) 抗短路电流耐受能力

接触器全寿命范围内抗短路能力, 要求在额定电压下, 按照回路中可出现最大短路电流及最小短路电流持续 5ms, 继电器不起火、不爆炸。

4.5.3.5.3 熔断器

1) 外观标识

熔断器外观完整, 无明显结构缺陷和锈蚀。标志应清晰, 持久。

下列信息应标志在熔断体上:

a) 制造商名称或易识别的商标;

b) 额定电压;

c) 额定电流;

2) 结构强度

熔断体应具有足够的机械强度，触头应可靠固定。应能方便安全地更换熔断体，且在更换过程应具有足够的耐机械性能。

3) 正常工作环境

熔断器正常工作环境定义如下：

温度：(23±5)℃；

海拔高度：<2000m；

干净的通风环境；

制造商推荐的电连接导体尺寸；

对于偏离上述条件的工作环境，需要与制造厂协商考虑温度、海拔、密闭环境、电连接等因素综合考虑降额系数。

4) 时间常数

熔断器应用电路，可能出现的短路路径状态的回路的时间常数(L/R)不大于 $2\pm 0.5\text{ms}$ 。对于包含可能发生短路的路径的回路，如果其时间常数(L/R)可能大于 $2\pm 0.5\text{ms}$ ，应和制造厂协商。

5) 电压降

满足 GB/T 31465.6-2017，对于额定电流>250A 产品，电压降<150mV

6) 分断能力及熔断时间

分断能力：熔断器应保证在动力电池系统正负输出极直接短路的电流（最大短路电流和最小短路电流）下能可靠安全分断，满足 GB 38031-2020 外部短路试验要求。分断能力不低于 10 kA。

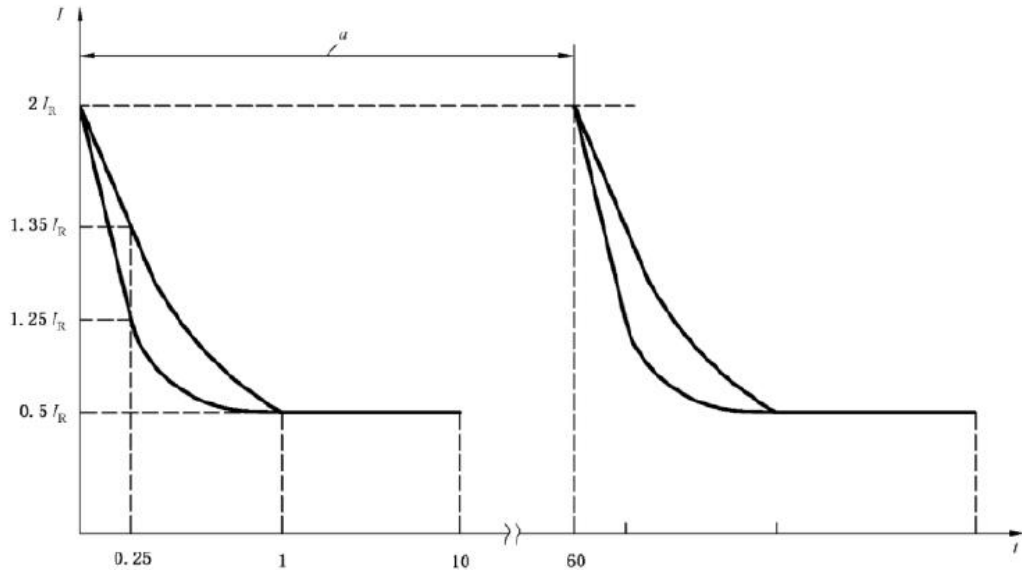
熔断时间：按照 GB/T 31465.6-2017 进行试验，熔断后，在额定电压下通过熔断器的电流不应超过 0.5mA。

表 12 熔断时间

试验电流 A	熔断时间 s					
	额定电流<60 A		额定电流≥60 A			
	H1, H2, H3 和 J3 型		J1 型		J2 和 J4 型	
	min	max	min	max	min	max
$1.1I_R$	14 400.0	∞	14 400.0	∞	14 400.0	∞
$1.35I_R^a$	150.0	3 600.0	—	—	150.0	3 600.0
$1.5I_R$	10.0	1 000.0	5.0	3 600.0	20.0	1 500.0
$2I_R$	0.5	100.0	1.0	300.0	1.0	300.0
$3I_R$	0.1	15.0	0.2	30.0	0.2	30.0
$5I_R$	0.05	1.0	0.05	1.0	0.05	1.0
注：给出的时间值为总时间值，包括预飞弧时间和飞弧时间。						
^a 此项测试不适用 10 A 到 20 A 规格的 H1 和 J3 型熔断器，这些熔断器是为了保护用电设备而设计的。 “—” 不做要求。						

7) 电流循环冲击

按照图 22 和 GB/T 31465.1-2015 进行试验。试验电流应在 0.25s 内从 $2I_R$ 点降到 $1.25I_R$ 和 $1.35I_R$ 之间。每个周期的最初 10s，稳态电流不应低于 $0.5I_R$ 。试验后，应满足第 5 条和第 6 条熔断时间要求。



说明:

a —— 一个周期;

I —— 电流;

t —— 时间,单位为秒(s)。

图 22 电流循环冲击试验脉冲

8) 温升

参照 GB/T 31465.6-2017 测试方法,使用下表规定的负载电流(对于 $I > 250A$ 产品,负载电流为 $I/2$)对样品通电 40min,温升 ≤ 50 度。

4.5.3.5.4 电流传感器

1) 工作环境温度

在电池包正常工作时,电流传感器工作温度不超过其规格书中明确的工作环境温度范围。

2) 精度及零点漂移

匹配各主机厂/电池包厂家 BMS 需求精度及允许的零点漂移大小。

3) 动态范围

满足电池包正常工作电流工作范围,满足主机厂识别各过流故障等级。

4) 功耗

电流消耗 $< 500mA$

4.6 热管理系统设计

4.6.1 热管理系统基本功能

1) 电池温度的准确测量和监控

2) 在电池温度较高时进行有效散热,使电池快速降温,使其工作在最佳温度范围内;

3) 在电池温度较低时进行预热,提升电池温度,确保低温下的充电放电性能和安全性;

4) 减小电池组内的温度差异,抑制局部热区的形成,防止高温位置处电池过快衰减,降低电池组整体寿命。

4.6.2 热管理系统设计要求

热管理系统设计目标是根据整车典型的运行工况和锂离子电池的发热功率,选择合适的热管理方式,基于电池的温度特性合理设计热管理策略,保证电池包内各个电池都工作在合理温度范围内,同时尽量维持电池包内各个电池及电池模组之间的温度均匀性。

热管理系统负责与车辆热管理系统进行热量交换,保持动力电池系统能处于适宜温度环境,以延长产品的使用寿命。

4.6.3 热管理系统方案设计

热管理系统方案设计主要是基于单体电池的温度控制目标要求,确认动力电池系统的冷却散热、加热、保温设计方案。

4.6.3.1 自然冷却系统

采用自然冷却散热方式是典型的以空气作为传热介质的被动散热方案,即直接让电池箱体内部的空气穿过电池模组,通过空气与电池、电池箱体等导热部件之间的对流换热实现对电池进行冷却的目的。自然冷却对流传热系数较小,一般约为 $5\sim 25\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$,主要通过优化导热路径与散热面积,提高对流换热效率。但自然冷却方案具有结构简单、零部件数量少、成本低等优点。电池 PACK 发展初期,也具有较为广泛的应用。

4.6.3.2 强制风冷系统

强制风冷系统是通过运动产生的风将电池箱体内部电池的热量经过排风风扇带走,是一种主动散热方式,因而散热效率相比自然冷却更高,这种方式的对流传热系数约为 $50\sim 100\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。

强制风冷系统主要包括出入风口结构、风道、风扇和防尘装置等,通过优化进风口和进风口直径和位置、风道结构、冷却策略等提高换热效率。。

4.6.3.3 液冷系统

动力电池在高放电倍率、高充电倍率、较高的运行环境温度下工作时,单位时间内产热量大,空气介质换热量小,不能满足散热需求;需要换热能力更强的液体介质来进行冷却,通常以 50%水和 50%乙二醇的混合物作为传热介质,通过具有冷却液流道的薄壁液冷管道/液冷板将热量导出,实现冷却液与电池之间的换热,该种方式的换热系数可以达到 $500\sim 1500\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。

液冷系统主要包括液冷管路、液冷板、导热界面、支撑结构等,通过优化导热路径、液冷板流道、管接头型号、导热界面材料、冷却策略等提高换热效率。

4.6.3.4 直冷系统

直冷系统即制冷剂直接冷却系统,它利用的是制冷工质(如 R134a)的相变制冷原理,在制冷工质流经冷板(蒸发器)时发生相变吸收热量,带走更多热量,可应对更大倍率的快充。

直冷系统通常由压缩机、冷凝器、蒸发器和节流装置等组成,通过优化冷凝器结构、蒸发器结构、导热路径、制冷工质类型、冷却策略等提高换热效率。

4.6.4 加热系统方案设计

由于汽车地域适用性较为广泛,在冬季寒冷地区要使电动车辆能正常使用,必须对电池加入额外的加热系统以满足要求。常见的加热方式有三种:电加热膜加热、陶瓷 PTC 加热和液热。加热膜属于电阻加热方式,一般是将金属加热丝封装于绝缘层内,金属丝通电之后发热可对电池系统进行加热。PTC 加热器也是电阻加热的一种,不同的是它的电阻会自身温度的升高而增大,从而达到恒温加热的效果。液热则是通过整车 PTC 加热部件将冷却液加热到一定温度,利用主动液冷系统来对电池系统加热的一种方式。加热方式的选择主要是根据电芯升温速率、空间限制、对安全性的要求和成本来确定的。

电加热膜设计主要包括:加热膜安装位置选择、加热膜发热功率选择、加热回路内部的串并联方式及干烧温度控制要求等。

如果不受安装空间限制,可以采用 PTC 加热片,其设计主要包括:PTC 加热片装置位置、PTC 加热片发热功率、加热回路内部的串并联方式、干烧温度控制要求等。

如果采用的是主动液冷系统，则可以集成液热，主要确定冷却液入口温度和流量。

4.6.5 系统保温设计

针对南方夏季高温天气，车辆在长时间高温热辐射作用下，热量会进入到电池箱内部，导致电池箱体内部温度过高。针对北方冬季严寒天气，车辆停放时间较长之后，电池箱体内部温度会快速下降，影响车辆的再次充电和启动或者在对动力电池系统进行加热过程中，由于电池箱散热速度太快，也会影响加热速度和效果。因此，需要通过保温设计减少外部夏季高温或者冬季低温环境对电池箱内部电池的影响。通常采用保温材料起到隔热的作用，减少外部环境因素的影响。

保温系统通常是配合冷却系统和加热系统完成工作，优良的保温系统不仅可以增强冷却和加热的效率，而且还可以降低能耗。保温设计主要包括：保温材料选择、箱体保温材料的布置方案设计等。

4.6.6 热管理策略设计

热管理主要包括加热功能、制冷功能、均温功能、充电保温功能、故障处理机制等，热管理策略设计要点如下：

- 1) 温度点的修正：应根据选择的温度点温度、环境温度值、加热/制冷/静置工况，进行电池温度的修正；
- 2) 加热设计（放电/充电）：应根据电池温度及环境温度值，控制加热 PTC、水泵等附件，实现对电池系统的加热；
- 3) 制冷设计（放电/充电）：应根据电池温度及环境温度值，控制水泵和压缩机系统（包括：风扇、电磁阀、压缩机等附件），实现对电池的制冷；
- 4) 均温设计（放电/充电）：应根据电池温度及环境温度，对水泵等进行控制；
- 5) 充电保温设计：应使用充电桩，对电池系统进行预热/预冷；
- 6) 确立故障处理机制。

4.7 热扩散防控设计

4.7.1 热扩散防护设计

1) 电池在整车上布置应满足碰撞安全性能要求，尽量将电池布置在车辆正常碰撞可能侵入区域之外；

2) 电池设计应有合理并且可靠的热交换策略，选择适合的液冷技术、风冷技术、吸热相变材料技术等；在电芯发生热失控时，能够及时将该电芯散发出来的热量导出模块或系统。这些技术的选择应考虑到电池系统有一定机械形变，以及电气损伤后的可靠性；

3) 电池设计应保留足够的电芯间距，避免触发热失控电芯相邻电芯温度的升高，降低因热传导导致的触发热失控的风险；

4) 电路中应设有电流限制功能元件，当部分回路电流、电压、温度出现异常时，可快速、准确地切断回路电流；

5) 电芯间应填充具有阻燃、降温、灭火以及隔氧等功能材料；

6) 电池应设置泄压阀或防爆阀，设置定向及定量释放策略；

7) 电池应设置烟道，能够及时将电池失控引起的冒烟导出车外；

8) 电池间应具有可承受定机械应力的结构，避免高温喷出物以及喷出物燃烧产生的火焰对周围电芯模块等产生影响。

4.7.2 热失控报警策略

4.7.2.1 针对触发热失控的常见因素，采取相应的报警和控制策略：

1) 过充电。根据充电机和 BMS 双重保障，检测电池总电压、单体电压、充电电流等。综合判断单体电池电压的变化趋势，采取充电请求电流值的变化，充电机停止工作，以及强制断开充电回路等措施，防止电池过充电。

2) 过热。根据主回路中的功率器件和电池单体可正常工作的温度上限值与各自的检测值,结合不同温度下的输出特性或要求,以及温度变化速率,制定合理的报警值和报警策略。通过限功率和强制断电等措施来保证温度的不可控上升,防止因温度过高、热量集中导致的热失控。

3) 内短路。通过 BMS 控制电池过充电、低温充电等策略,防止锂枝晶的形成;通过 BMS 检测电池内阻的变化率,单体电池电压和温度的特征曲线,结合使用工况综合判断内短路的发生,提前预判,防止发生热聚集,温度快速上升导致热失控。

4) 除以上的检测外,也可在电池箱内增加相应的压力传感器、烟雾传感器、气体传感器以及机械应力传感器等,从其它角度来增加热失控的检测,综合考虑各个因素,制定合理的报警值和报警策略,提前预判热失控的发生和保护。

4.7.2.2 根据《GB38031-2020 电动汽车用动力蓄电池安全要求》的规定,推荐的热失控触发判定条件

- 1) 触发对象产生电压降,且下降值超过初始电压的 25%;
- 2) 监测点温度达到制造商规定的最高工作温度;
- 3) 监测点的温升速率 $dT/dt \geq 1 \text{ } ^\circ\text{C/s}$,且持续 3 s 以上。

当 1) 和 3) 或者 2) 和 3) 情况发生时,判定发生热失控,如果采用推荐的方法作为热失控触发方法,且未发生热失控,为了确保热扩散不会导致车辆成员危险,需证明采用如上两种推荐方法均不会发生热失控。

5 动力电池系统设计验证

5.1 模组设计验证

模组设计验证应满足安全、功能、性能、可靠性等相关测试,建议参照 GBT 31484-2015 对电池模组进行循环寿命测试,参照 GBT 31485-2015 进行安全测试,参照 GBT 31486-2015 进行电性能测试。

5.2 动力电池系统设计验证

5.2.1. 电性能测试

电性能测试主要分为容量能量测试、功率内阻测试、无负载容量损失测试、存储中容量损失测试、能量效率测试。

5.2.1.1 容量和能量测试

蓄电池包或系统测试室温、高温和低温下的容量和能量。每次充电前测试样品将静置 30min,或者达到室温。测试过程使用恒功率放电,放电过程在达到制定的截止条件时停止。放电电流对放电时间的积分为蓄电池包或系统的容量,放电功率对放电时间的积分为蓄电池包或系统的能量。室温下的容量和能量测试按照表 13 的测试步骤进行。

表 13 室温下容量和能量的测试步骤

序号	蓄电池包或系统状态	环境温度
1	环境适应	RT
2	标准循环	RT
3	1P 放电	RT
4	标准充电	RT
5	P_{max} 放电	RT

高温下的容量和能量测试,蓄电池包和系统需要测试 $40 \text{ } ^\circ\text{C}$ 环境温度下 1 C 和 I_{max}

的容量和能量。按照表 14 的测试步骤进行试验。

表 14 高温下容量和能量的测试步骤

序号	蓄电池包或系统状态	环境温度
1	环境适应	RT
2	标准充电	RT
3	标准循环	RT
4	环境适应	40°C
5	1P 放电	40°C
6	环境适应	RT
7	标准充电	RT
8	标准循环	RT
9	环境适应	40°C
10	1P 放电	40°C

低温下的容量和能量测试：蓄电池包和系统需要测试 0° C 和 -20° C 环境温度下 1/3C, 1C 和 I_{max} 的容量和能量。按照表 15 的测试步骤进行试验。

表 15 低温下容量和能量的测试步骤

序号	蓄电池包或系统状态	环境温度
1	环境适应	RT
2	标准充电	RT
3	标准循环	RT
4	环境适应	0°C
5	1/3P 放电	0°C
6	环境适应	RT
7	标准充电	RT
8	标准循环	RT
9	环境适应	0°C
10	1P 放电	0°C
11	环境适应	RT
12	标准充电	RT
13	标准循环	RT
14	环境适应	0°C
15	P _{max} 放电	0°C
16	环境适应	RT
17	标准充电	RT
18	标准循环	RT
19	环境适应	-20°C
20	1/3P 放电	-20°C
21	环境适应	RT
22	标准充电	RT
23	标准循环	RT
24	环境适应	-20°C
25	1P 放电	-20°C
26	环境适应	RT

27	标准充电	RT
28	标准循环	RT
29	环境适应	-20° C
30	P _{max} C 放电放电	-20° C

5.2.1.2 功率内阻测试

蓄电池包或系统需要测试室温、高温和低温及不同 SOC 下的功率和内阻。某一具体环境温度下和 SOC 下的功率和内阻测试工况见表 16。

表 16 功率和内阻测试工况步骤时间

时间增量 s	累计时间 s	电流 A
0	0	0
18	18	I _{max} (SOC,T)
102	120	0.75I _{max} (SOC,T)
40	160	0
20	180	-0.75I _{max} (SOC,T)
40	220	0

表 17 需要测试的电压和电流

时间 s	电压 s	电流 A	对应电流值 A
0	U ₀	I ₀	0
0.1	U ₁	I ₁	I _{max} (SOC, T)
2	U ₂	I ₂	I _{max} (SOC, T)
5	U ₃	I ₃	I _{max} (SOC, T)
10	U ₄	I ₄	I _{max} (SOC, T)
18	U ₅	I ₅	I _{max} (SOC, T)
18.1	U ₆	I ₆	0.75I _{max} (SOC, T)
20	U ₇	I ₇	0.75I _{max} (SOC, T)
30	U ₈	I ₈	0.75I _{max} (SOC, T)
60	U ₉	I ₉	0.75I _{max} (SOC, T)
90	U ₁₀	I ₁₀	0.75I _{max} (SOC, T)
120	U ₁₁	I ₁₁	0.75I _{max} (SOC, T)
160	U ₁₂	I ₁₂	0
160.1	U ₁₃	I ₁₃	-0.75I _{max} (SOC, T)
162	U ₁₄	I ₁₄	-0.75I _{max} (SOC, T)
170	U ₁₅	I ₁₅	-0.75I _{max} (SOC, T)
180	U ₁₆	I ₁₆	-0.75I _{max} (SOC, T)
220	U ₁₇	I ₁₇	-0.75I _{max} (SOC, T)

放电过程的放电电流保持为恒流，电流大小为蓄电池包或系统的最大允许脉冲放电电流 I_{max} (SOC, T)。不同环境温度和 SOC 下 I_{max} (SOC, T) 可以不同，I_{max} (SOC, T) 由制造商提供。如果放电过程蓄电池包或系统端电压或单体电压达到制造商指定的放电电压限值，停止放电，适当降低 I_{max} (SOC, T) 后重新进行试验。

充电过程充电电流保持为恒流，电流大小为 0.75I_{max} (SOC, T)。如果蓄电池包或系统

的最大允许脉冲充电电流小 $0.75 I_{max}(SOC, T)$ ，则充电过程按照制造商规定的最大允许脉冲充电电流进行。如果充电过程中蓄电池包或系统端电压或单体电压达到制造商指定的充电电压限值，停止充电。适当降低 $I_{max}(SOC, T)$ 后重新进行试验。功率和内阻测试分别于 4 个不同温度下进行，分别为 $40^{\circ}C$ 、室温、 $0^{\circ}C$ 、 $20^{\circ}C$ 。放电内阻计算，功率和内阻测试工况分别在 3 个不同 SOC 下进行，分别为 90% (或制造商规定的最高允许状态)、50%、20% (或制造商规定的最低允许状态)。

放电内阻计算

$$0.1s \text{ 放电内阻 } R_{0.1, dch} = (U_0 - U_1) / I_1 \quad (10)$$

$$2s \text{ 放电内阻 } R_{2, dch} = (U_0 - U_2) / I_2 \quad (11)$$

$$5s \text{ 放电内阻 } R_{5, dch} = (U_0 - U_3) / I_3 \quad (12)$$

$$10s \text{ 放电内阻 } R_{10, dch} = (U_0 - U_4) / I_4 \quad (13)$$

$$18s \text{ 放电内阻 } R_{18, dch} = (U_0 - U_5) / I_5 \quad (14)$$

$$18.1s \text{ 放电内阻 } R_{18.1, dch} = (U_0 - U_6) / I_6 \quad (16)$$

$$20s \text{ 放电内阻 } R_{20, dch} = (U_0 - U_7) / I_7 \quad (17)$$

$$30s \text{ 放电内阻 } R_{30, dch} = (U_0 - U_8) / I_8 \quad (18)$$

$$60s \text{ 放电内阻 } R_{60, dch} = (U_0 - U_9) / I_9 \quad (19)$$

$$90s \text{ 放电内阻 } R_{90, dch} = (U_0 - U_{10}) / I_{10} \quad (20)$$

$$120s \text{ 放电内阻 } R_{120, dch} = (U_0 - U_{11}) / I_{11} \quad (21)$$

$$\text{全过程放电内阻 } R_{dch} = (U_{12} - U_{11}) / I_{11} \quad (22)$$

充电内阻计算

$$0.1s \text{ 放电内阻 } R_{0.1, cha} = (U_{12} - U_{13}) / I_{13} \quad (23)$$

$$2s \text{ 放电内阻 } R_{2, cha} = (U_{12} - U_{14}) / I_{14} \quad (24)$$

$$10s \text{ 放电内阻 } R_{10, cha} = (U_{12} - U_{15}) / I_{15} \quad (25)$$

$$20s \text{ 放电内阻 } R_{20, cha} = (U_{16} - U_{17}) / I_{17} \quad (26)$$

放电功率计算

$$0.1s \text{ 放电功率 } P_{0.1, dch} = U_1 * I_1 \quad (27)$$

$$2s \text{ 放电功率 } P_{2, dch} = U_2 * I_2 \quad (28)$$

$$5s \text{ 放电功率 } P_{5, dch} = U_3 * I_3 \quad (29)$$

$$10s \text{ 放电功率 } P_{10, dch} = U_4 * I_4 \quad (30)$$

$$18s \text{ 放电功率 } P_{18, dch} = U_5 * I_5 \quad (31)$$

$$18.1s \text{ 放电功率 } P_{18.1, dch} = U_6 * I_6 \quad (32)$$

$$20s \text{ 放电功率 } P_{20, dch} = U_7 * I_7 \quad (33)$$

$$30s \text{ 放电功率 } P_{30, dch} = U_8 * I_8 \quad (34)$$

$$60s \text{ 放电功率 } P_{60, dch} = U_9 * I_9 \quad (35)$$

$$90s \text{ 放电功率 } P_{90, dch} = U_{10} * I_{10} \quad (36)$$

$$120s \text{ 放电功率 } P_{120, dch} = U_{11} * I_{11} \quad (37)$$

充电功率计算

$$0.1s \text{ 放电功率 } P_{0.1, cha} = U_{13} * I_{13} \quad (38)$$

$$2s \text{ 放电功率 } P_{2, cha} = U_{14} * I_{14} \quad (39)$$

$$10s \text{ 放电功率 } P_{10, cha} = U_{15} * I_{15} \quad (40)$$

$$20s \text{ 放电功率 } P_{20, cha} = U_{16} * I_{16} \quad (41)$$

5.2.1.3 无负载容量损失

无负载容量损失是指蓄电池系统在车载状态下，长期搁置时的容量损失，包括可恢复容量损失和不可恢复容量损失两部分。测试按照表 18 和表 19 进行。

表 18 动力电池系统室温下无负载容量损失测试步骤

序号	蓄电池包或系统状态	环境温度
1	环境适应	RT
2	标准充电	RT
3	标准循环	RT
4	静置 168h (7 天)	RT
5	标准循环 2 次	RT
6	静置 720h (30 天)	RT
7	标准循环 2 次	RT

表 19 动力电池系统 40°C 下无负载容量损失测试步骤

序号	蓄电池包或系统状态	环境温度
1	环境适应	RT
2	标准充电	RT
3	标准循环	RT
4	静置 168h (7 天)	40°C
5	标准循环 2 次	RT
6	静置 720h (30 天)	40°C
7	标准循环 2 次	RT

搁置过程中蓄电池由辅助电源供电，工作状态由制造商规定无负载容量损失测试中电池系统处于满电态，无负载损失在 2 个不同的温度下测得，分别为室温和 40°C。测试周期为 168H (7 天) 和 720H (30 天)，搁置结束后测试无负载容量和能量损失。

5.2.1.4 存储中容量损失

存储中容量损失是指蓄电池系统长期存储状态下的容量损失。测试按照表 20 进行。

表 20 动力电池系统存储中容量损失测试步骤

序号	蓄电池包或系统状态	环境温度
1	环境适应	RT
2	标准充电	RT
3	标准循环	RT
4	调整 SOC 至 50% (或者由制造商和客户商定)	RT
5	存储 720h (30 天)	45°C
6	环境适应	RT
7	标准循环 2 次	RT

存储过程中断开蓄电池系统的高压连接、低压连接，关闭冷却系统及其他必要的连接装置。存储过程中，电池系统的 SOC 为 50% (或由制造商和客户商定)，存储温度为 45°C，存储周期为 720h，存储结束，测试电池系统的剩余容量，确定电池系统的容量损失率。

5.2.1.5 能量效率

能量效率测试旨在测试电池系统在不同温度不同倍率充电时的性能以及能量循环效率。能量效率测试在三种不同温度下进行，分别为室温、0°C、和 T_{min} (由制造商和客户商定)，能量效率测试以两种不同的倍率进行，分别为 1C、I_{max}。具体测试步骤如表 21。

表 21 动力电池系统能量效率测试步骤

序号	蓄电池包或系统状态	环境温度
1	环境适应	RT
2	标准充电	RT
3	标准循环	RT
4	标准放电	RT
5	1P 充电	RT
6	搁置 1h	RT
7	标准循环	RT
8	标准放电	RT
9	P _{max} 充电	RT
10	搁置 1h	RT
11	标准循环	RT
12	环境适应	0°C
13	标准放电	0°C
14	1P 充电	0°C
15	环境适应	RT
16	标准循环	RT
17	环境适应	0°C
18	标准放电	0°C
19	P _{max} 充电	0°C
20	环境适应	RT
21	标准循环	RT
22	环境适应	T _{min}
23	标准放电	T _{min}
24	1P 充电	T _{min}
25	环境适应	RT
26	标准循环	RT
27	环境适应	T _{min}
28	标准放电	T _{min}
29	P _{max} 充电	T _{min}

根据公式 $\eta = \text{放电能量} / \text{充电能量} * 100\%$ 计算不同倍率下的能量效率。

5.2.2 系统可靠性试验验证

5.2.2.1 机械可靠性验证

电池系统应具备足够的机械强度，保证在整车正常使用的生命周期内不会因为振动、环境老化等因素引发安全风险。

5.2.2.1.1 机械振动

机械振动是对结构件耐久性的考验，区别于传统车，电池系统激励源产生主要是由于汽车在行驶过程中，路面的不平整造成的，路面的激励频率大部分都是集中在低频端，电池系统在设计过程中主要宗旨是提高电池系统的整体固有频率。

试验前进行绝缘电阻测试，直流电阻值不小于 $100 \Omega / V$ 。将电池系统的SOC状态调至不低

于制造商规定的正常SOC工作范围的50%。

参考电池系统车辆安装位置和GB/T 2423.43的要求，将电池系统安装在振动台上。每个方向分别施加随机和定频振动载荷，建议加载顺序为z轴随机、z轴定频、y轴随机、y轴定频、x轴随机、x轴定频（汽车行驶方向为x轴方向，另一垂直于行驶方向的水平方向为y轴方向）。可自行选择顺序，以缩短转换时间。测试过程参照GB/T 2423.56。

对于装载在除M1、N1类以外的车辆上的电池包或系统，振动测试参数按照表22和图23进行，对于试验对象存在多个安装方向（x/y/z）时，按照RMS大的安装方向进行试验。对于安装在车辆顶部的电池包或系统，按照制造商提供的不低于表22和图23的振动测试参数开展振动测试。对于装载在M1、N1类车辆上的电池包或系统，振动测试参数按照表23和图24进行。

完成以上试验步骤后，应在试验环境温度下观察2h。试验后的绝缘电阻值不小于100 Ω/V；紧固件扭矩衰减程度符合要求。

要求：试验过程中，监控试验对象内部最小监控单元的状态，如电压和温度等，监控参数状态符合技术要求；系统应无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸现象，由制造商提供电压锐变终止条件，采用此条件终止的试验判定为失败。试验后的绝缘电阻不小于100 Ω/V。

表22 除M1、N1类以外的车辆电池包或系统的振动测试条件

随机振动			
频率 Hz	z轴功率谱密度 (PSD) g ² /Hz	y轴功率谱密度 (PSD) g ² /Hz	x轴功率谱密度 (PSD) g ² /Hz
5	0.008	0.005	0.002
10	0.042	0.025	0.018
15	0.042	0.025	0.018
40	0.0005	/	/
60	/	0.0001	/
100	0.0005	0.0001	/
200	0.00001	0.00001	0.00001
RMS	0.73 g	0.57 g	0.52 g
时间	12 h	12 h	12 h
正弦定频振动			
定频幅值	±1.5 g	±1.5 g	±2.0 g
定频频率	20 Hz	20 Hz	20 Hz
时间	2 h	2 h	2 h

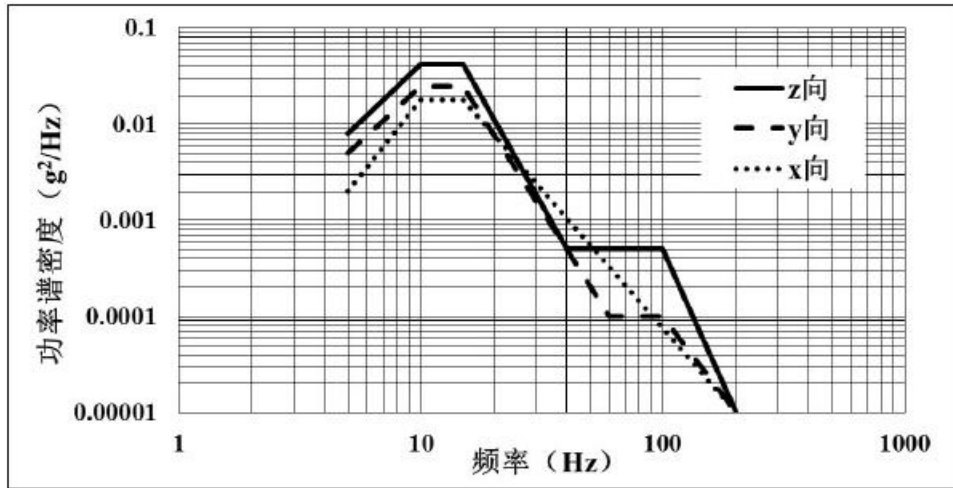


图 23 除 M1、N1 类以外的车辆电池包或系统随机振动测试曲线

表 23 M1、N1 类车辆电池包或系统的振动测试条件

随机振动			
频率 Hz	z 轴功率谱密 (PSD) g^2/Hz	y 轴功率谱密 (PSD) g^2/Hz	x 轴功率谱密 (PSD) g^2/Hz
5	0.015	0.002	0.006
10	/	0.005	/
15	0.015	/	/
20	/	0.005	/
30	/	/	0.006
65	0.001	/	/
100	0.001	/	/
200	0.0001	0.00015	0.00003
RMS	0.64 g	0.45 g	0.50 g
时间	12 h	12 h	12 h
正弦定频振动			
定频幅值	$\pm 1.5 g$	$\pm 1.0 g$	$\pm 1.0 g$
定频频率	24 Hz	24 Hz	24 Hz
时间	1 h	1 h	1 h

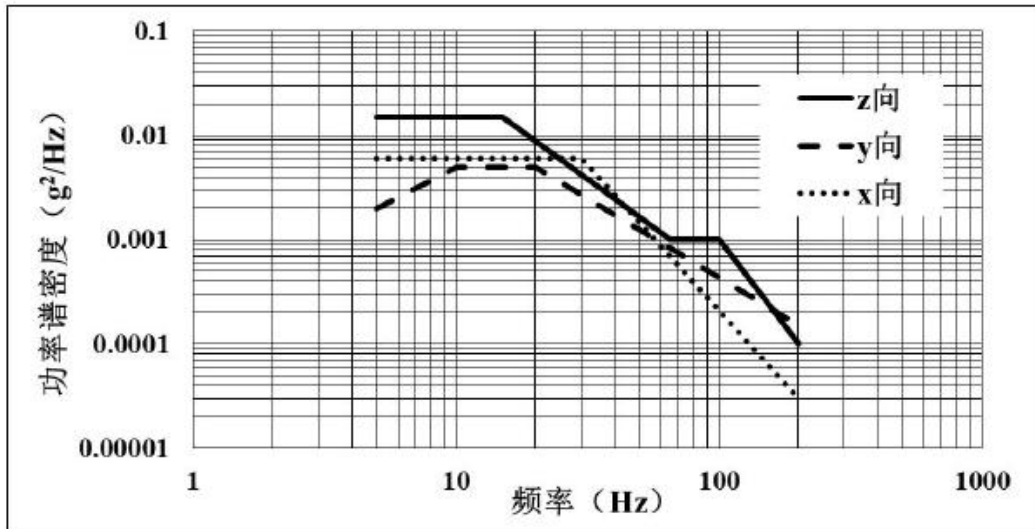


图 24 M1、N1 类车辆电池包或系统随机振动测试曲线

对于部分动力电池系统有航空运输的需求，也要满足 UN38.3 的测试需求。

电池和电池组以不使电池变形的方式紧固在振动机平面上，以便实地传播振动。振动应是频率在 7 和 200 赫兹之间振动再回到 7 赫兹的对数扫频的正弦波形，为时 15 分钟。这一振动过程须对三个互相垂直的电池安装方位的每一个方向重复进行 12 次，共需 3 小时。其中一个振动方向必须与端面垂直。

质量不超过 12kg 的电芯电池（电芯和小电池）的对数扫频和质量超过 12kg 的电芯电池（大电池）的对数扫频是不同的。对于电池和小型电池组：对数扫频应从 7 赫兹开始保持 1gn 的最大加速度直到频率达到 18 赫兹。将振幅保持在 0.8 毫米（总偏移为 1.6 毫米）随后频率增加至 8gn 的最大加速度（频率约为 50 赫兹）。最后将 8gn 的最大加速度保持至频率增加到 200 赫兹。对于大型电池组：对数扫频应从 7 赫兹开始保持 1gn 的最大加速度直到频率达到 18 赫兹。将振幅保持在 0.8 毫米（总偏移为 1.6 毫米）随后频率增加至 2gn 的最大加速度（频率约为 25 赫兹）。最后将 2gn 的最大加速度保持至频率增加到 200 赫兹。

要求：试验后动力电池系统应无渗漏、无排气、无解体、无破裂和无燃烧现象发生，且每个试验电池或电池组在试验后的开路电压不小于其在进行这一试验前电压的 90%，则电池和电池组符合这一试验要求。有关电压的要求不适用于完全放电状态的试验电池和电池组。

5.2.2.1.2 浸水试验

浸水试验用来验证电池系统密封性，在经过振动试验后是否满足密封需求。

将振动试验后的电池系统按照整车连接方式连接好线束、接插件的零部件，选择一下两种方式中的一种进行试验

方式一：电池系统以实车装配方向置于 3.5%（质量分数）氯化钠溶液中 2h，水深要足以淹没电池系统。

方式二：电池系统参照 GB/T 4208—2017 中 14.2.7 所述方法和流程进行试验。电池系统按照制造商规定的安装状态全部浸入水中。对于高度小于 850 mm 的试验对象，其最低点应低于水面 1000 mm；对于高度等于或大于 850 mm 的电池系统，其最高点应低于水面 150 mm。试验持续时间 30 min。水温与试验对象温差不大于 5 °C，将系统去处水面，在试验环境下静置观察 2h。

要求：

按方式一进行，应不起火、不爆炸；

按方式二进行，试验后需满足 IPX7 要求，应无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸现象。试

验后的绝缘电阻不小于 100 Ω/V。

5.2.2.2 环境可靠性

5.2.2.2.1 温度冲击

温度冲击是验证电池对温度冲击环境的适应性，在高温和低温瞬间变化条件下，对电池的相关特性进行模拟测试。

试验前进行绝缘电阻测试，直流电阻值不小于 100 Ω/V。

电池系统置于 (-40±2) °C ~ (60±2) °C 的交变温度环境中，两种极端温度的转换时间在 30min 以内，电池系统在没个极端温度环境中保持 8h，循环 5 次，在室温下观察 2h。

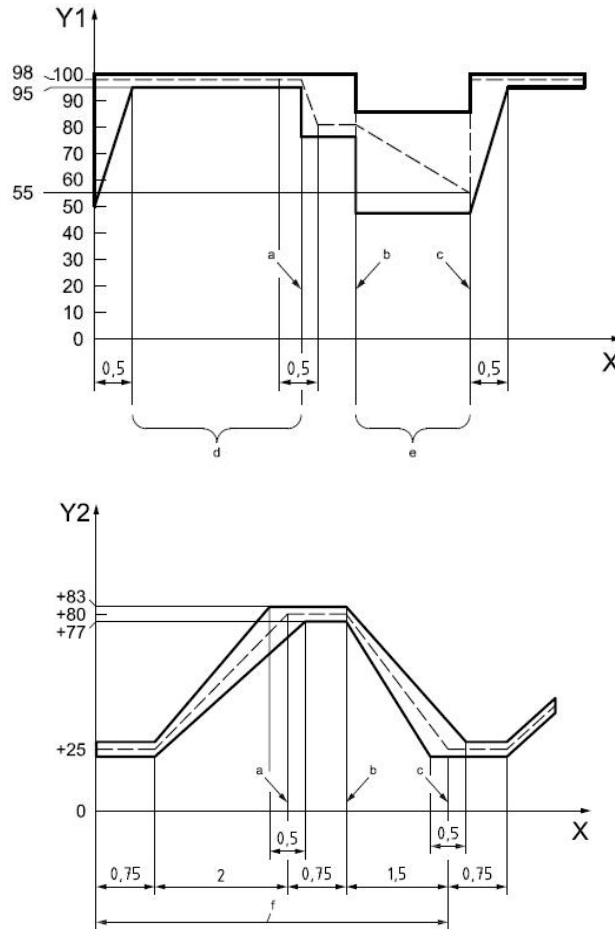
要求：电池系统无泄漏、外壳破裂、着火或爆炸等现象。试验后的绝缘阻值不小于 100 Ω/V。

5.2.2.2.2 湿热循环

湿热循环是验证电池系统在世人环境下，不论是否凝结水滴，其电性能或机械特性的变异情形，也可验证电池系统的老化腐蚀效应。

试验前进行绝缘电阻测试，直流电阻值不小于 100 Ω/V。

参考 GB/T 2423.4 执行试验 Db，变量见图 25。其中最高温度是 60°C 或更高温度（如果制造商要求）循环次数 5 次。结束后试验环境下观察 2h。



说明：

Y1——相对湿度，%； Y2——温度，°C； X——时间，h； a：升温结束； b：降温开始； c：推荐湿度值； d：冷凝； e：干燥； f：一个循环周期；

图 25 温湿度循环

要求：电池系统应无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸等现象。试验后 30min 之内的绝缘电阻值不小于 100 Ω/V 。

5.2.2.2.3 盐雾试验

盐雾试验验证电池系统材料和表面涂层在冬季道路上抵御盐雾和盐水侵蚀的能力。

试验前进行绝缘电阻测试，直流电阻值不小于 100 Ω/V 。

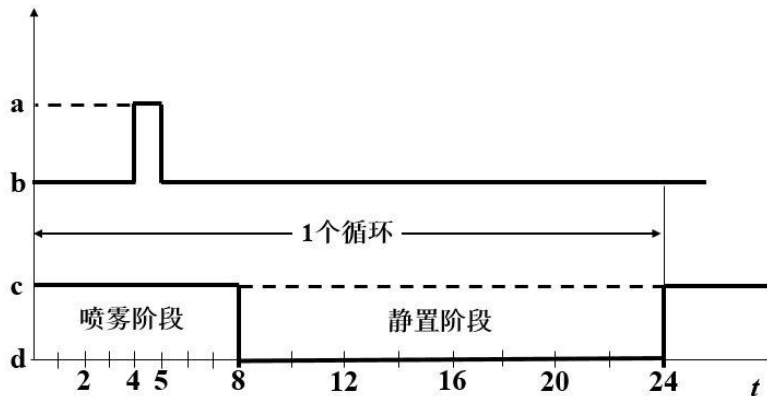
参照 GB/T 28046.4 中 5.5.2 的测试方法，按 GB/T 2423.17 测试条件进行试验。

盐溶液采用氯化钠（化学纯、分析纯）和蒸馏水或去离子水配制，其浓度为 $(5 \pm 1)\%$ （质量分数）。 $(35 \pm 2)^\circ\text{C}$ 下测量 pH 值在 6.5~7.2 之间。

将测试对象放入盐雾箱按图 26 所示循环进行，一个循环持续 24 h。在 $(35 \pm 2)^\circ\text{C}$ 下对测试对象喷雾 8 h，然后静置 16 h，在一个循环的第 4 h 和第 5 h 之间进行低压上电监控，共进行 6 个循环。

对于完全放置在乘员舱、行李舱或货舱的测试对象，可不进行盐雾试验。

要求：电池系统应无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸现象。试验后的绝缘电阻值不小于 100 Ω/V 。



说明：t—时间，h；a—工作模式为 3.2；b—工作模式为 1.2；

c—打开（喷盐雾）；d—关闭（停喷盐雾）。

图 26 盐雾试验循环

5.2.2.2.4 高海拔

高海拔试验室验证电池系统在贮存、运输和使用中对低气压环境的适应性。

试验前进行绝缘电阻测试，直流电阻值不小于 100 Ω/V 。

海拔高度为 4000m 或等同高度的气压条件（61.2kPa），温度为试验环境温度。

保持上述测试环境，搁置 5 h。

搁置结束后保持上述测试环境，对系统按制造商规定的且不小于 1 I₃ 的电流放电至制造商规定的放电截止条件。

完成以上试验步骤后，应在试验环境温度下观察 2h。

要求：电池系统应无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸现象。试验后的绝缘电阻不小于 100 Ω/V 。

5.2.2.3 性能可靠性

5.2.2.3.1 循环寿命

循环寿命验证电池系统循环能力。

测试条件：温度为 25℃+5℃、相对湿度为 15%~90%，大气压力为 86kpa~106kpa 的环境下进行。

标准循环寿命方法：

以 I1 (A) 放电至企业规定的放电终止条件；搁置不低于 30min 或企业规定的搁置条件；按照企业规定的充电方法进行充电；若企业为提供充电方法，则依据以下方法充电：

1) 对于锂离子蓄电池，以 I1 (A) 电流恒流充电至企业规定的终止电压时转换恒压充电，至充电终止电流将至 0.05 I1 (A) 时停止充电，充电后搁置 1h（或企业规定的不高于 1h 的搁置时间）；

2) 对于金属氢化物镍蓄电池，以 I1 (A) 电流恒流充电 1h，再以 0.2 I1 充电 1h，充电后静置 1h（或企业规定的不大于 1h 的静置时间）。

搁置不低于 30min 或企业规定的搁置条件。

以 1 I1 (A) 放电至企业规定的放电终止条件，记录放电容量。

按照 b)~e) 连续循环 500 次，若放电容量高于初始容量的 90%，则终止试验；若放电容量高于初始容量的 90%，则继续循环 500 次。

计量室温放电容量和放电能量。

要求：试验程中，监控试验对象内部最小监控单元的状态，如电压和温度等，监控参数状态符合技术要求；循环 500 次时放电容量不低于初始容量的 90%；循环 1000 次时放电容量不低于初始容量的 80%。

5.2.3 系统安全性试验验证

5.2.3.1 机械安全

为满足电池系统在整车碰撞时衍生出的碰撞、挤压等安全情况，对电池系统进项相关机械安全性能验证。

5.2.3.1.1 模拟碰撞

模拟碰撞试验用来验证电池系统在整车发生碰撞时不同方向承受不同加速度的机械强度能力。

试验前进行绝缘电阻测试，直流电阻值不小于 100 Ω/V。

参考试验对象车辆安装位置和 GB/T 2423.43 的要求，将电池系统水平安装在带有支架的台车上，根据测试对象的使用环境给台车施加规定的脉冲，并落在加表 24 和图 27 中最大、最小容差允许范围内（汽车行驶方向为 x 轴，另一垂直于行驶方向的水平方向为 y 轴）。对于试验对象存在多个安装方向（X/Y/Z）时，按照加速度大的安装方向进行试验。

试验结束后，应在试验环境温度下观察 2 h。

要求：试验后电池系统应无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸等现象。试验后绝缘电阻值不小于 100 Ω/V。试验过程中，监控电压和温度数据无异常。

表 24 模拟碰撞试验脉冲参数表

	脉宽 (ms)	≤3.5 t (整车整备质量)		3.5 t~7.5 t (整车整备质量)		≥7.5 t (整车整备质量)	
		x方向加速 度 (g)	y方向加速 度 (g)	x方向加速 度 (g)	y方向加速 度 (g)	x方向加速 度 (g)	y方向加速 度 (g)
A	20	0	0	0	0	0	0
B	50	20	8	10	5	6.6	5
C	65	20	8	10	5	6.6	5

D	100	0	0	0	0	0	0
E	0	10	4.5	5	2.5	4	2.5
F	50	28	15	17	10	12	10
G	80	28	15	17	10	12	10
H	120	0	0	0	0	0	0

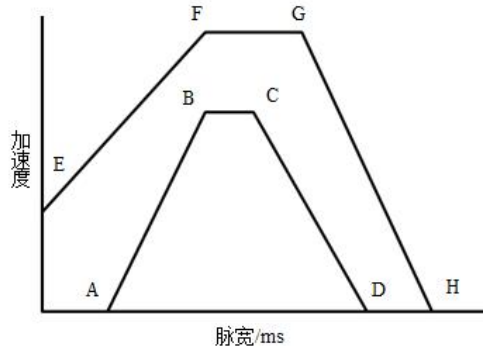


图 27 加速度脉冲示意图

5.2.3.1.2 挤压

挤压试验是验证整车发生碰撞时电池系统受到挤压时的刚度、强度及内部电气系统布置的安全间隙是否满足设计要求。

按照下列条件进行试验：

- 1) 挤压板形式：选择以下两种挤压板中的一种：

挤压板如图 28 所示，半径 75 mm 的半圆柱体，半圆柱体的长度（L）大于试验对象的高度，但不超过 1 m。挤压板如图 29 所示，外廓尺寸为 600 mm×600 mm 或更小，三个半圆柱体半径为 75 mm，半圆柱体间距 30 mm。

- 2) 挤压方向：x 和 y 方向（汽车行驶方向为 x 轴方向，另一垂直于行驶方向的水平方向为 y 轴方向），为保护试验操作安全，可分开在两个试验对象上执行测试；
- 3) 挤压速度：不大于 2 mm/s；
- 4) 挤压程度：挤压力达到 100 kN 或挤压变形量达到挤压方向的整体尺寸的 30%时停止挤压；
- 5) 保持 10 min。

完成以上试验步骤后，应在试验环境温度下观察 2 h。

要求：试验后电池系统应不起火、不爆炸。

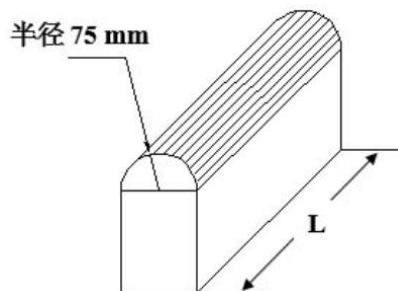


图 28 挤压板形式一示意图

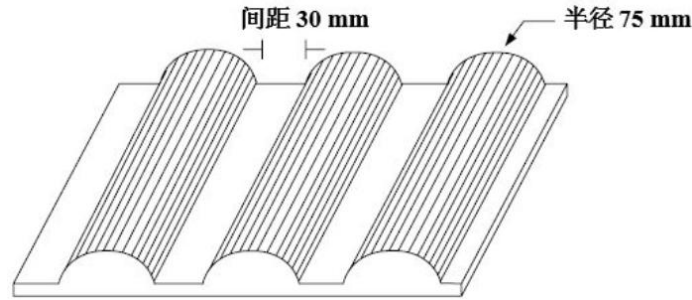


图 29 挤压板形式二示意图

5.2.3.1.3 机械冲击

机械冲击试验是验证电池系统在收到一系列冲击时，各项性能是否失效。

试验前进行绝缘电阻测试，直流电阻值不小于 $100\ \Omega/V$ 。

对试验对象施加表 25 规定的半正弦冲击波， $\pm z$ 方向各 6 次，共计 12 次。半正弦冲击波最大、最小容差允许范围如表 26 和图 25 所示。相邻两次冲击的间隔时间以两次冲击在试验样品上造成的响应不发生相互影响为准，一般应不小于 5 倍冲击脉冲持续时间。

完成以上试验步骤后，应在试验环境温度下观察 2 h。

要求：试验后电池系统应无泄漏、无可破损、外壳破裂、起火或爆炸现象。试验后的绝缘电阻不小于 $100\ \Omega/V$ 。试验过程中，监控电压和温度数据无异常。

表 25 机械冲击测试参数

测试程序	参数要求
冲击波形	半正弦波
测试方向	$\pm z$
加速度值, g	7
脉冲时间, ms	6
冲击次数, 次	正负方向各 6

表 26 机械冲击脉冲容差范围

点	脉宽 ms	$\pm z$ 方向加速度值 g
A	1.00	0.00
B	2.94	5.95
C	3.06	5.95
D	5.00	0.00
E	0.00	2.68
F	2.00	8.05
G	4.00	8.05
H	7.00	0.00

5.2.3.4 电气安全

5.2.3.4.1 过温保护

影响试验对象功能并与试验结果相关的所有保护设备都应处于正常运行状态，冷却系统除外。

试验对象应由外部充放电设备进行连续充电和放电，使电流在电池系统制造商规定的正常工作范围内尽可能快地升高电池的温度，直到试验结束。

室内或温度箱的温度应从 $20^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 或更高的温度（如果电池系统制造商要求）开始逐渐升高，当电池系统具有内部过热保护措施时，应提高到电池系统制造商定义为这种保护措施的工作温度阈值的温度，以确保试验对象的温度将按照充放电规定升高；如果电池系统没有配备任何具体的内部过热防护措施，那么应将温度升高到电池系统制造商规定的最高工作温度；然后保持在等于或高于此温度，直到试验结束。

当符合以下任一条件时，结束试验：

- 1) 试验对象自动终止或限制充电或放电；
- 2) 试验对象发出终止或限制充电或放电的信号；
- 3) 试验对象的温度稳定，温度变化在 2 h 内小于 4°C 。

完成以上试验步骤后，应在试验环境温度下观察 1 h。

要求：电池系统应无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸现象，由制造商提供试验上限参数，采用此上限参数终止的试验判定为失败。试验后的绝缘电阻不小于 $100\ \Omega/\text{V}$ 。

5.2.3.4.2 过流保护

过流保护试验验证电池系统在电流超过预定最大值时，保护装置是否起作用。

试验条件：

- 1) 试验应在 $20^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 的环境温度下进行；
- 2) 按照电池系统制造商推荐的正常操作（如使用外部充放电设备），调整试验对象的 SOC 到正常工作范围的中间部分，只要电池系统能够正常运行，可不需要精确的调整；
- 3) 与电池系统制造商协商确定可以施加的过电流（假设外部直流供电设备的故障）和最大电压（在正常范围内）。按照电池系统制造商的资料进行过电流试验；
- 4) 连接外部直流供电设备，改变或禁用充电控制通信，以允许通过与电池系统制造商协商确定的过电流水平；
- 5) 启动外部直流供电设备，对电池系统进行充电，以达到电池系统制造商规定的最高正常充电电流。然后，将电流在 5 s 内从最高正常充电电流增加到 c) 所述的过电流水平，并继续进行充电。

当符合以下任一条件时，结束试验：

- 1) 试验对象自动终止充电电流；
- 2) 试验对象发出终止充电电流的信号；
- 3) 试验对象的温度稳定，温度变化在 2 h 内小于 4°C 。

完成以上试验步骤后，应在试验环境温度下观察 1 h。

要求：电池系统应无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸现象，由制造商提供试验上限参数，采用此上限参数终止的试验判定为失败。试验后的绝缘电阻不小于 $100\ \Omega/\text{V}$ 。

5.2.3.4.3 外部短路保护

外部短路保护测试验证电池系统在外外部短路时，系统内部的保险装置是否动作。

试验条件：

- 1) 试验应在 $20^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 的环境温度或更高温度（如果电池系统制造商要求）下进行；
- 2) 在试验开始时，影响试验对象功能并与试验结果相关的所有保护设备都应处于正常运行状态。

在开始试验时，用于充电和放电的相关主要接触器都应闭合（如电池系统回路中包含相关继电器），来表示可行车模式以及允许外部充电的模式。如果这不能在单次试验中完成，则应进行两次或更多次试验。将试验对象的正极端子和负极端子相互连接。短路电阻不超过 $5\ \text{m}\Omega$ 。

保持短路状态，直至符合以下任一条件时，结束试验：

- 1) 试验对象的保护功能起作用，并终止短路电流；
 - 2) 试验对象外壳温度稳定（温度变化在 2 h 内小于 4℃）后，继续短路至少 1 h。
- 完成以上试验步骤后，应在试验环境温度下观察 1 h。

要求：电池系统应无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸现象。试验后的绝缘电阻不小于 100 Ω/V。

5.2.3.4.4 过充电保护

过充电保护试验是验证电池系统在过充情况下电池管理系统是否动作和电池系统承受过充电的能力。

试验条件：

- 1) 试验应在 20℃±10℃的环境温度或更高温度（如果电池系统制造商要求）下进行；
- 2) 按照电池系统制造商推荐的正常操作（如使用外部充放电设备），调整试验对象的 SOC 到正常工作范围的中间部分。只要试验对象能够正常运行，可不需要精确的调整；
- 3) 在试验开始时，影响试验对象功能并与试验结果相关的所有保护设备都应处于正常运行状态。用于充电的所有相关的主要接触器都应闭合（如电池系统回路中包含相关继电器）。

充电：

- 1) 外部充电设备应连接到试验对象的主端子。外部充电设备的充电控制限制应禁用；
- 2) 试验对象应由外部充电设备在电池系统制造商许可的用时最短的充电策略下进行充电。充电应持续进行，直至符合以下任一条件时，结束试验：
 - 1) 试验对象自动终止充电电流；
 - 2) 试验对象发出终止充电电流的信号；
 - 3) 当试验对象的过充电保护控制未起作用，或者如果没有 a) 所述的功能。继续充电，使得试验对象温度超过电池系统制造商定义的最高工作温度再加 10℃ 的温度值；
 - 4) 当充电电流未终止且试验对象温度低于最高工作温度再加 10℃ 的温度值时，充电应持续 12 h。

完成以上试验步骤后，应在试验环境温度下观察 1 h。

要求：电池系统应无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸现象，由制造商提供试验上限参数，采用此上限参数终止的试验判定为失败。试验后的绝缘电阻不小于 100 Ω/V。

5.2.3.4.5 过放电保护

过放电保护试验是验证电池系统在过放电情况下电池管理系统是否动作和电池系统承受过放电的能力。

试验条件：

- 1) 试验应在 20℃±10℃的环境温度或更高温度（如果电池系统制造商要求）下进行；
- 2) 按照电池系统制造商推荐的正常操作（如使用外部充放电设备），调整试验对象的 SOC 到较低水平，但必须在正常的工作范围内。只要试验对象能够正常运行，可不需要精确的调整；
- 3) 在试验开始时，影响试验对象功能并与试验结果相关的所有保护设备都应处于正常运行状态。

用于放电的所有相关的主要接触器都应闭合（如电池系统回路中包含相关继电器）。

放电：

- 1) 外部放电设备应连接到试验对象的主端子；
- 2) 应与电池系统制造商协商，在规定的正常工作范围内以稳定的电流进行放电。

放电应持续进行，直至符合以下任一条件时，结束试验：

- 1) 试验对象自动终止放电电流；
- 2) 试验对象发出终止放电电流的信号；
- 3) 当试验对象的自动中断功能未起作用，或者没有 3.2.3.4.5.3 中 a) 所述的功能，则应继续放电，使得试验对象放电到其额定电压的 25% 为止；
- 4) 试验对象的温度稳定，温度变化在 2 h 内小于 4 °C。

完成以上试验步骤后，应在试验环境温度下观察 1 h。

要求：电池系统应无泄漏、外壳破裂、起火或爆炸现象。试验后的绝缘电阻不小于 100 Ω/V。

5.2.3.5 热安全

5.2.3.5.1 外部火烧

外部火烧试验是验证电池系统在火烧时外部裸露部件是否阻燃及内部组件的受热能力。试验环境温度为 0°C 以上，风速不大于 2.5km/h。

测试中，盛放汽油的平盘尺寸超过测试对象水平投影尺寸 20 cm，不超过 50cm。平盘高度不高于汽油表面 8cm。电池系统应居中放置。汽油液面与测试对象底部的距离设定为 50 cm，或者外车辆空载状态下试验对象底面的离地高度。平盘底层注入水。外部火烧示意图如图 30 所示。

外部火烧试验分为以下 4 个阶段：

- 1) 预热。在离测试对象至少 3 m 远的地方点燃汽油，经过 60 s 的预热后，将油盘置于测试对象下方。如果油盘尺寸太大无法移动，可以采用移动测试对象和支架的方式。
- 2) 直接燃烧。测试对象直接暴露在火焰下 70 s。
- 3) 间接燃烧。将耐火隔板盖在油盘上。测试对象在该状态下测试 60 s。或经双方协商同意，继续直接暴露在火焰中 60 s。耐火隔板由标准耐火砖拼成，具体筛孔尺寸如下图 31 所示，也可以用耐火材料参考此尺寸制作。
- 4) 离开火源。将油盘或者测试对象移开，在试验环境温度下观察 2 h 或测试对象外表温度降至 45°C 以下。

要求：电池系统外部火烧后无爆炸现象。

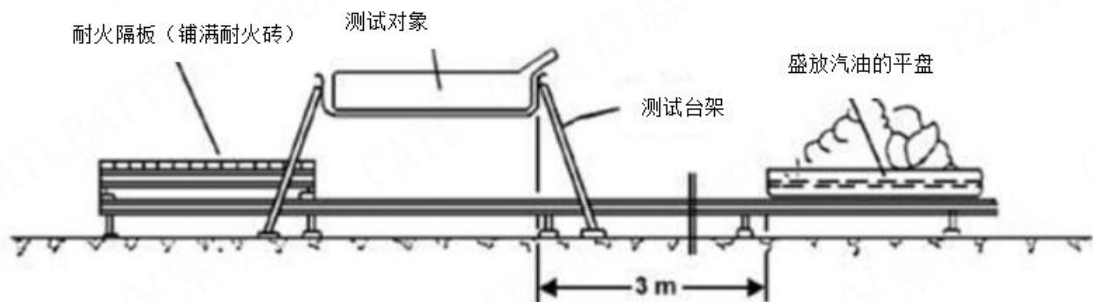
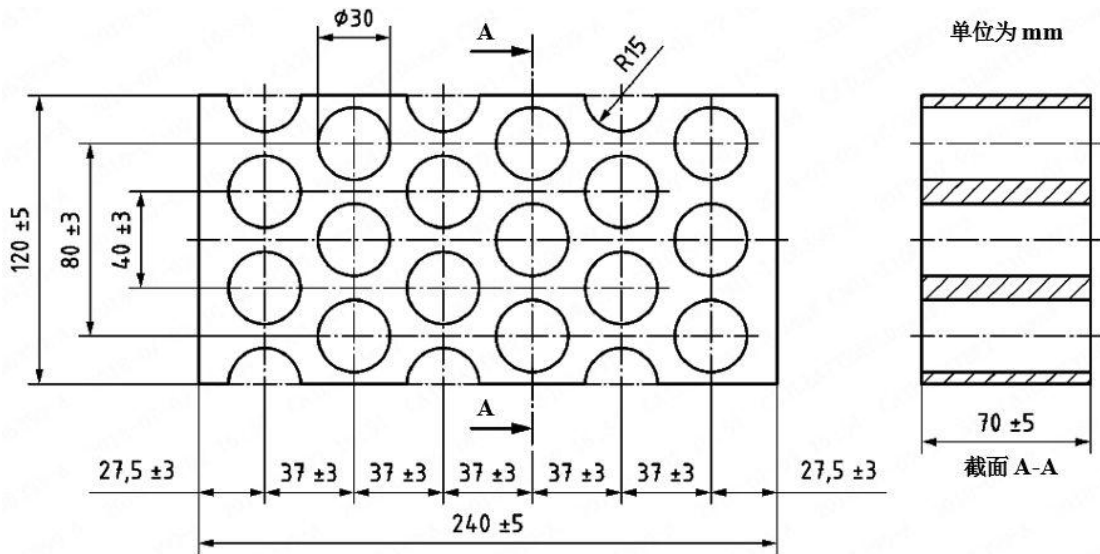


图30 外部火烧示意图



说明：耐火性：SK 30；成分：30-33% Al₂O₃；密度：1900-2000 kg/m³；

有效孔面积：44.18%；开孔率：20-22%体积比；

图31 耐火隔板的尺寸和技术数据

5.2.3.5.2 热扩散

热扩散试验是验证电池系统内部电芯发生热失效时，系统内部防护措施的承受能力。

试验应在以下条件进行：

1) 本试验应在温度为 0 °C 以上，相对湿度为 10%~90%，大气压力为 86 kPa~106 kPa 的环境中进行；

2) 试验开始前，对试验对象的 SOC 进行调整。对于设计为外部充电的电池包或系统，SOC 调至不低于制造商规定的正常 SOC 工作范围的 95%；对于设计为仅通过车辆能源进行充电的电池包或系统，SOC 调至不低于制造商工作范围的 90%；

3) 试验开始前，所有的试验装置应正常运行；

4) 试验应尽可能少地对测试样品进行改动，制造商需提交所做改动的清单；

5) 试验应在室内环境或者风速不大于 2.5 km/h 的环境下进行。

注：热扩散试验可能需要在测试开始前对电池包或系统进行一定程度的改动，导致可能无法进行充电，需在试验开始前确认试验对象的 SOC 满足要求。

推荐针刺触发或加热触发作为热扩散试验的可选方法，制造商可以选择其中一种方法，也可自行选择其他方法来触发热失控。

针刺触发热失控方法：刺针材料：钢；刺针直径：3 mm~8 mm；针尖形状：圆锥形，角度为 20°~60°；针刺速度：0.1 mm/s~10 mm/s；针刺位置及方向：选择能触发电池单体发生热失控的位置和方向（例如，垂直于极片的方向）。

加热触发热失控方法：使用平面状或者棒状加热装置，并且其表面应覆盖陶瓷、金属或绝缘层。对于尺寸与电池单体相同的块状加热装置，可用该加热装置代替其中一个电池单体，与触发对象的表面直接接触；对于薄膜加热装置，则应将其始终附着在触发对象的表面；加热装置的加热面积都应不大于电池单体的表面积；将加热装置的加热面与电池单体表面直接接触，加热装置的位置应与图 33 中规定的温度传感器的位置相对应；安装完成后，应在 24 h 内启动加热装置，以加热装置的最大功率对触发对象进行加热；加热装置的功率要求参见表 27；当发生热失控或者监测点温度达到 300°C 时，停止触发。

热失控触发对象：试验对象中的电池单体。选择电池包内靠近中心位置，或者被其他电

池单体包围的电池单体。

表 27 加热装置功率选择

触发对象电能 E W_h	加热装置最大功率 W
$E < 100$	30~300
$100 \leq E < 400$	300~1000
$400 \leq E < 800$	300~2000
$E \geq 800$	>600

推荐的监控点布置方案：

监测电压或温度，应使用原始的电路或追加新增的测试用电路。监测温度定义为温度 A（测试过程中触发对象的最高表面温度）。温度数据的采样间隔应小于 1 s，准确度要求为 $\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ 。

针刺触发时，温度传感器的位置应尽可能接近短路点，也可使用针的温度（如图 32）。

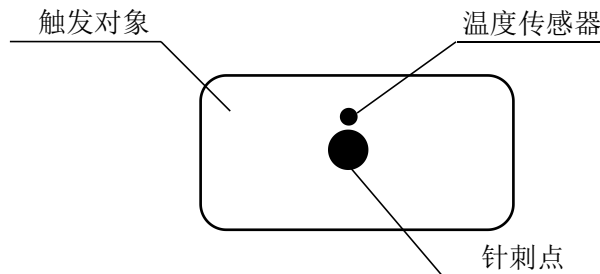


图32 针刺触发时温度传感器的布置位置示意图

加热触发时，温度传感器布置在远离热传导的一侧，即安装在加热装置的对侧（如图33）。

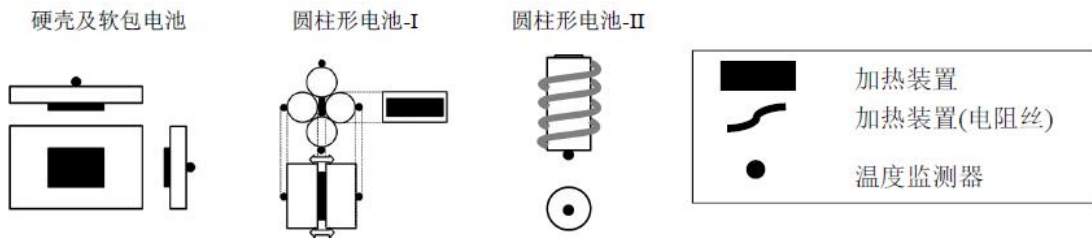


图33 加热触发时温度传感器的布置位置示意图

热失控触发判定条件：

- 1) 触发对象产生电压降，且下降值超过初始电压的 25%；触发对象温度传感器针刺点加热装置加热装置(电阻丝)温度监测器
- 2) 监测点温度达到制造商规定的最高工作温度；
- 3) 监测点的温升速率 $dT/dt \geq 1\text{ }^\circ\text{C/s}$ ，且持续 3 s 以上。

当 1) 和 3) 或者 2) 和 3) 发生时，判定发生热失控。如果采用推荐的方法作为热失控触发方法，且未发生热失控，为了确保热扩散不会导致车辆乘员危险，需证明采用如上两种推荐方法均不会发生热失控。

要求：电池系统在由于单个电池热失控引起热扩散、进而导致乘员舱发生危险之前 5 min，应提供一个热事件报警信号。

5.2.4 热管理系统试验验证

5.2.4.1 低温充电加热

低温充电加热试验是验证电池系统在低温时热管理系统的加热功能。

在室温下，将电池系统放电至截止条件，并静置于室温；将电池系统置于 -20°C 环境下进行环境适应，静置至电池单体温度在 $(-20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 。在 -20°C 环境下，根据制造商提供的低温加热充电策略进行充电，并按照制造商的控制策略主动开启热管理系统的加热功能，充电至充电截止条件。

记录电池系统从开启加热时至关闭加热时所用的时间、温度、系统温差、容量、能量等数值。

要求：根据对比温度点初始数值，判定热管理系统加热性能是否满足技术要求，各温度点温差是否大于设计要求。

5.2.4.2 低温放电加热

低温放电加热试验是验证电池系统在低温时热管理系统的加热功能。

在室温下，将电池系统充电至截止条件，并静置于室温；将电池系统置于 -20°C 环境下进行环境适应，静置至电池单体温度在 $(-20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 。在 -20°C 环境下，主动开启热管理系统，加热至电池最低温度达到热管理策略允许的最低放电温度。电池系统以供应商允许的电流放电至截止条件。

记录电池系统从开始加热时至电池最低温度升至热管理策略允许的最低温度所用的时间、温度、容量、能量等数值。

要求：根据对比温度点初始数值，判定热管理系统加热性能是否满足技术要求，各温度点温差是否大于设计要求。

5.2.4.3 高温快充

高温放电冷却试验验证热管理系统在高温环境时的冷却能力会否满足涉及需求。

在室温下将电池系统放电至截止条件后将系统置于 40°C 的环境仓中24小时或电池系统内所有温度稳定于 $40\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，并连接热管理辅助装置；在 40°C 环境下将电池系统按照制造商推荐的快充策略充电至截止条件；同时主动开启热管理系统的冷却辅助装置。将电池系统在室温下进行环境适应后系统以供应商允许的电流充电至截止条件，停止试验。

记录过程中电池系统的电流、电压、容量、能量、温度等数值。

要求：过程中电池系统热管理系统正常启动，电池系统内温度不超过规定值，温差不大于规定值。

5.2.4.4 高温工况放电

高温工况放电试验是验证电池系统在高温时按照不同不同工况进行放电，热管理系统控制温度的能力。

在室温下将电池系统充电至截止条件，将电池系统置于 40°C 环境中24h或电池单体温度稳定于 $40\pm 2^{\circ}\text{C}$ 并连接热管理辅助装置。在 40°C 环境下，电池系统按照制造商推荐的放电策略至制造商推荐SOC值，同时主动开启热管理系统的冷却辅助装置。

记录过程中系统的电流、电压、容量、能量、温度等数值

要求：过程中电池系统热管理系统正常启动，电池系统内温度不超过规定值，温差不大于规定值。

5.2.4.5 常温冷却

常温冷却试验是验证电池系统在常温进行工况测试时热管理系统的冷却能力。

试验应在 $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ 环境中进行，将电池系统进行标准放电至结束，静置24h并连接热管

理辅助装置。在室温下将系统按照制造商推荐的充电策略充电至截止条件，结束后静置 5min，制造商推荐的放电策略至制造商推荐 SOC 值；重复上述充放电试验直至热平衡，或者最多不超过 4 次循环试验。

当系统最高温度到达截止温度时停止放电，记录实验过程中电池系统的电压、电流、容量、能量、温度等数值。

要求：过程中电池系统热管理系统正常启动，电池系统内温度不超过规定值，温差不大于规定值，达到热平衡时系统不超过温度规定值。

5.2.4.6 保温性能

在室温下将电池系统调节至 85%SOC，并静置，电池单体温度稳定于 $25 \pm 5^\circ\text{C}$ ，将电池系统置于 -30°C 下进行环境适应，静置至电池单体温度稳定于 $-30 \pm 5^\circ\text{C}$ ，整个过程不启动加热功能。记录电池系统从 25°C 下降到 -30°C 的过程的时间及系统内的温度。

要求：电池系统内温差不大于规定值，温度下降速率不大于规定值。

5.2.5 EMC 试验验证

5.2.5.1 适用于屏蔽高压供电系统测试

1) 传导发射- 保护车载接收机（电压法）

测试目的：评估高压系统的直流高压线的 RF 传导骚扰电压。

测试条件：

测试条件参考 GB/T 18655。被测件的测试布置按照本标准的测试布置进行，低压端口的测量过程及要求依据 T/CSAE 63 标准传导发射部分，高压端口的测量过程及要求依据本标准，应当依次对输入和输出的 HVDC 线进行测试。DC-DC 输出端口也应进行测试。

高压线束需要使用长为 $1\ 7000+300\text{mm}$ 的线束。因长度不同，首选实车线束。测试线束被放置在离参考接地平面 $(50 \pm 5)\text{mm}$ 的绝缘支撑上。

高压线束的 $(1\ 500 \pm 75)\text{mm}$ 长度应平行于桌子的前边缘。高压线束应放置在距参考接地平面前沿至少 100mm 处。在 LVAN 和 DUT 间的低压电源线的长度应为 $2000+200\text{mm}$ 。其它线应直接放在距离高压线 100mm 的最短距离的地平面处。

HVAN 屏蔽壳体应连接到 HVDC 屏蔽线的屏蔽层上，并 360° 搭接。

DUT 被放置在离参考接地平面 $(50 \pm 5)\text{mm}$ 的绝缘支撑上。根据测试计划连接到参考接地平面的，不允许其他接地连接。所有没有连接测量接收机的人工网络应端接 $50\ \Omega$ 电阻。DUT 应满足每个测试状态的要求。

测试布置：

测试布置如下图所示：

测量程序：

测量过程参考 GB/T 18655，应依次对每个 HVAN 端口的测试端进行测量。

要求：

测试计划中需定义测试限值，测试计划限值需根据所要满足的低压限值水平来制定（可选的低压测试限值包括 GB/T 18655 低压传导发射等级 2、3、4、5 的要求）。表 28 中是平均值和峰值或平均值和准峰值的限值示例，表中 A5 等级 1~A5 等级 5 是限值的 5 个等级，是针对于满足 GB/T 18655 低压等级 5 的情况下，而由于不同的耦合衰减给出的限值等级。被测件的耦合衰减可根据附录 B 中描述的测量方法得到。限值的计算方法如式 1 所示。

$$U_{Limit,HV} = U_{Limit,LV} + S \tag{41}$$

其中 $U_{Limit,HV}$ 是高压限值， $U_{Limit,LV}$ 是低压部件限值， S 是被测件的耦合衰减，详见附录 B。

限值和衰减等级在测试计划中定义。如果测试计划中没有定义等级，采用最苛刻的限值，此时，需要满足发射级 HV5 和衰减级 A1 的要求。

表 28 屏蔽 HV 线的传导发射平均值和峰值或平均值和准峰值的限值示例

业务/波段	频率/MHz	电平/ dB(μV)														
		等级 5 (A5)			等级 4 (A5)			等级 3 (A5)			等级 2 (A5)			等级 1 (A5)		
		峰值	准峰值	平均值	峰值	准峰值	平均值	峰值	准峰值	平均值	峰值	准峰值	平均值	峰值	准峰值	平均值
广播																
LW	0.15 - 0.30	07	4	7	17	04	7	27	14	07	37	24	17	47	34	27
MW	0.53 - 1.8	4	1	4	2	9	2	00	7	0	08	5	8	16	03	6
SW	5.9 - 6.2	7	4	7	3	0	3	9	6	9	5	2	5	01	8	1
FM	76 - 108	0	7	0	6	3	6	2	9	2	8	5	8	4	1	4
TV Band I	48.5 - 72.5	7		7	3		3	9		9	5		5	1		1
移动业务																
VHF	30 - 54	9	6	9	5	3	5	1	8	1	7	4	7	3	0	3
VHF	68 - 87	1	8	1	7	4	7	3	0	3	9	6	9	5	2	5

2) 传导发射- 保护车载接收机（电流法）

测试目的：是评估高压供电系统射频电流的干扰。

测试条件：

测试条件依据 GB/T 18655。所有高压部件 HV+电源线、HV-电源线需单独测试（如果适用）和合并在一起进行测量，电机控制器的三相线需单独测试（如果适用）和合并在一起进行测量。测试布置按照本标准执行。

需要使用长为 1 7000+300mm 的线束。因长度不同，可能需要首选实车线束。高压线的长度应为 17000+300mm。在 12 V 人工网络和 DUT 间的 12 V 电源线的长度应为 1 7000+300mm。信号线长度也应为 1 7000+300mm。电机控制器的三相线长度应为 1 000 mm（超过 1000 mm 按照 1 000 mm 要求，低于 1 000 mm 可按照实车进行要求），测试线束被放置在离参考接地

平面（ 50 ± 5 ）mm 的绝缘支撑件上。低压线束与高压线束的间距应为 $1000+100$ mm。

电流探头应放在距离 DUT 50 mm、750 mm 处，电机控制器的三相线 50 mm 处测量（如果实现不了，则车企和供应商进行协商决定）。

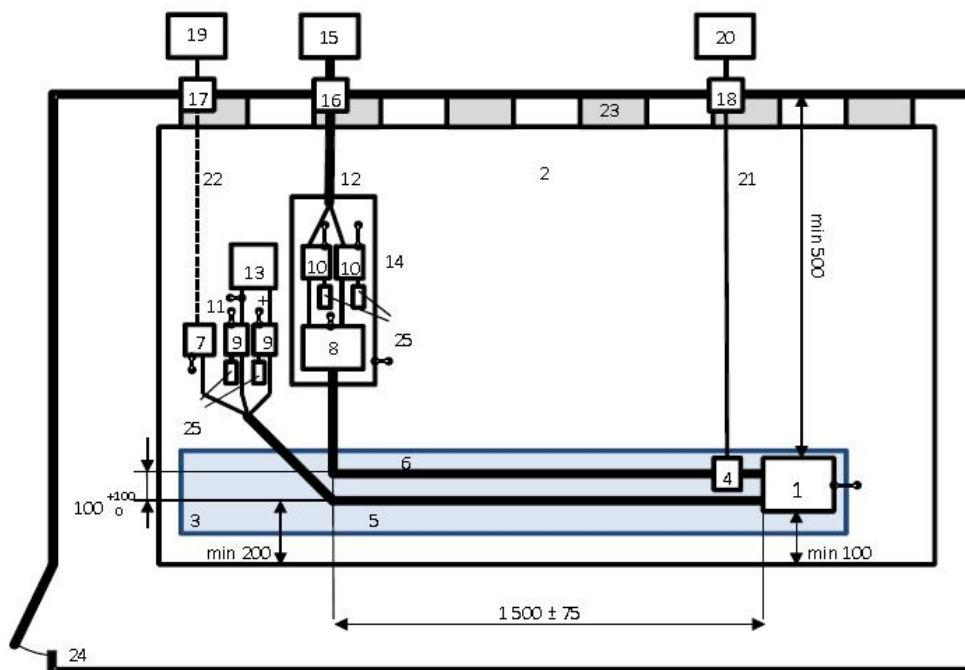
根据测试计划连接 DUT 与地平面。不允许其他接地连接。所有的 AN 测量端应端接 $50\ \Omega$ 负载。

系统底噪水平应低于规定限值 6 dB。为满足这个标准，如有必要，可以插入前置放大器。

测试布置：

电源线、信号线和数据线的测试布置在 GB/T 18655 中描述。高压线的测试布置在测试计划中描述。下面的例子作为指南。测量充电机时，桌子的接地平板应通过保护地线与 AMN 和 HVDC-AN 参考地连接。详细的布置在测试计划中规定。

注：电流探头的测量范围必须支持被测电缆总的最大电流测试，包括功能性的电流，特别是在对单个屏蔽电缆进行测量的情况下，可能导致电流探头饱和而产生错误结果。



说明:

- | | |
|---|--------------------------|
| 1——DUT | 14——附加屏蔽盒 |
| 2——接地平面 | 15——高压电源（如果放在ALSE内则需要屏蔽） |
| 3——低相对介电常数的支撑物（ $\epsilon_r \leq 1.4$ ）厚度为50 mm | |
| 4——电流探头 | 16——电源线滤波器 |
| 5——低压线束 | 17——馈通滤波器 |
| 6——高压线束（HV+, HV-） | 18——隔板连接器 |
| 7——低压负载模拟器 | 19——激励和监测系统 |
| 8——阻抗匹配网络（可选） | 20——测量设备 |
| 9——LVAN | 21——同轴电缆（50 Ω ） |
| 10——HVAN | 22——光纤 |
| 11——低压供电线 | 23——接地铜带 |
| 12——高压供电线 | 24——屏蔽室 |
| 13——低压电源 | 25——50 Ω 负载 |

注1: 动力电池充电状态按照本图进行布置, 在放电状态下, 应测量高压直流输出端口, 高压电源变更为高压负载。

图 35 传导发射电流法-试验布置示例

测量程序：

这个测试应按照以下布置进行：

- a) 依次在每个低压线、屏蔽和非屏蔽高压线上（包括输入和输出）测量；
——所有 HVDC 线路一起测量。即需要测量两个高压部件之间的所有 HVDC 线路（屏蔽和非屏蔽），HV（+）和对应的 HV（-）线束应被放在电流探头中进行测量（共模）；
- b) 在三相线上（屏蔽和非屏蔽）进行测量，逆变器和电机之间的每一组三相线应一起放在电流探头中进行测量（共模）；
- c) 对于车载充电机，在每相线、中性线、接地线进行测量。所有线束应一起放在电流探头中进行测量（共模），如果需要的话，也可以进行分别放在电流探头中进行测量（差模）。

要求：

高压线电流限值应与低压部件所使用的电流限值一致，可选的电流限值包括 GB/T 18655 的低压等级 2、3、4、5 的限值。

3) 辐射发射-保护车载接收机

测试目的：是评估高压供电系统射频辐射的干扰，以限制对车载接收机的影响。

测试条件：

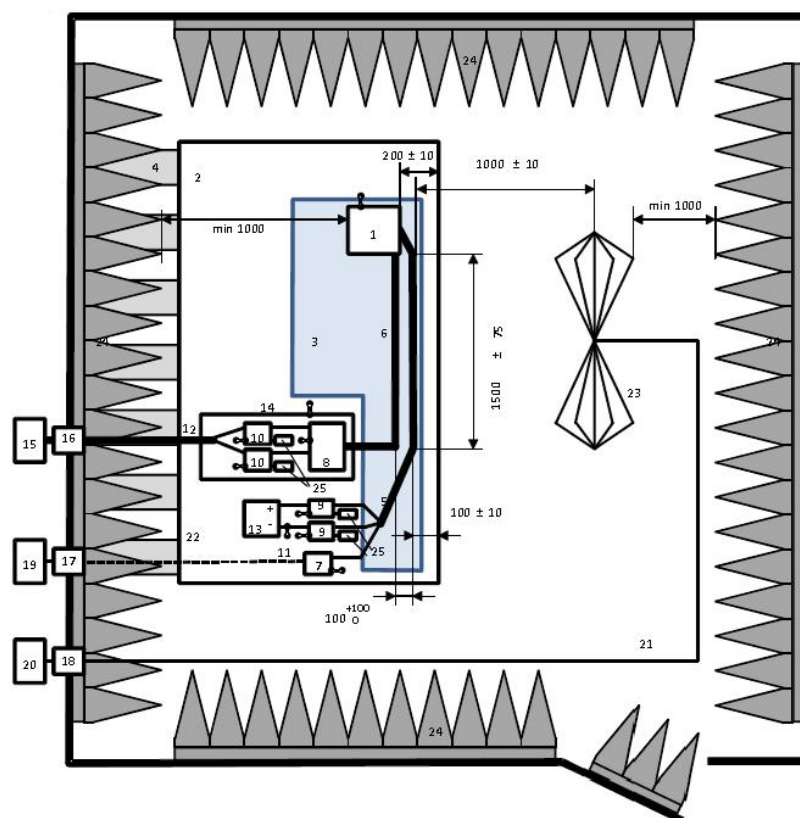
应满足 GB/T 18655 的测试条件。包括测量设备、测量场地、参考接地平面的要求。

测试布置：

电源线，信号线和数据线的测试布置在 GB/T 18655 中描述。

高压线的测试布置在测试计划中描述。下面的例子作为指南。

用于与单极测量天线的天线接地平面必须连接测试桌的接地平板。为了避免通过地面系统的电流回路，应使用合适的铁氧体套在单极天线的线缆上。



说明：

- | | |
|---|--------------------------|
| 1——DUT | 14——附加屏蔽盒 |
| 2——接地平面 | 15——高压电源（如果放在ALSE内则需要屏蔽） |
| 3——低相对介电常数的支撑物（ $\epsilon_r \leq 1.4$ ）厚度为50 mm | |
| 4——接地铜带 | 16——电源线滤波器 |
| 5——低压线束 | 17——馈通滤波器 |
| 6——高压线束（HV+, HV-） | 18——隔板连接器 |
| 7——低压负载模拟器 | 19——激励和监测系统 |
| 8——阻抗匹配网络（可选） | 20——测量设备 |
| 9——LVAN | 21——同轴电缆（50 Ω） |
| 10——HVAN | 22——光纤 |
| 11——低压供电线 | 23——双锥天线 |
| 12——高压供电线 | 24——射频吸波材料 |
| 13——低压电源 | 25——50 Ω 负载 |

注1：动力电池充电状态按照本图进行布置，在放电状态下，应测量高压直流输出端口，高压电源变更为高压负载。

图 36 辐射发射-试验布置示例（以双锥天线为例）

测量程序：

测量程序与 GB/T 18655 中保持一致。

要求：

高压线辐射限值应与低压部件所使用的辐射限值一致，可选的辐射限值包括 GB/T 18655 中的低压等级 2、3、4、5 的限值。

4) 低频辐射发射-保护车外接收机

测试目的：是评估被测件对 GB/T 18387-2017 标准限值的符合性。

测试条件：

应对被测件进行电场和磁场的测试。电场采用符合 GB/T 18655 的杆天线进行测量，磁场采用符合 GB/T 6113.104 标准规定的 60 cm 环天线进行测量。

允许使用步进接收机进行测量，不允许采用频谱分析仪。可以采用符合 GB/T 6113.101 标准的 FFT 测量接收机。

测试布置：

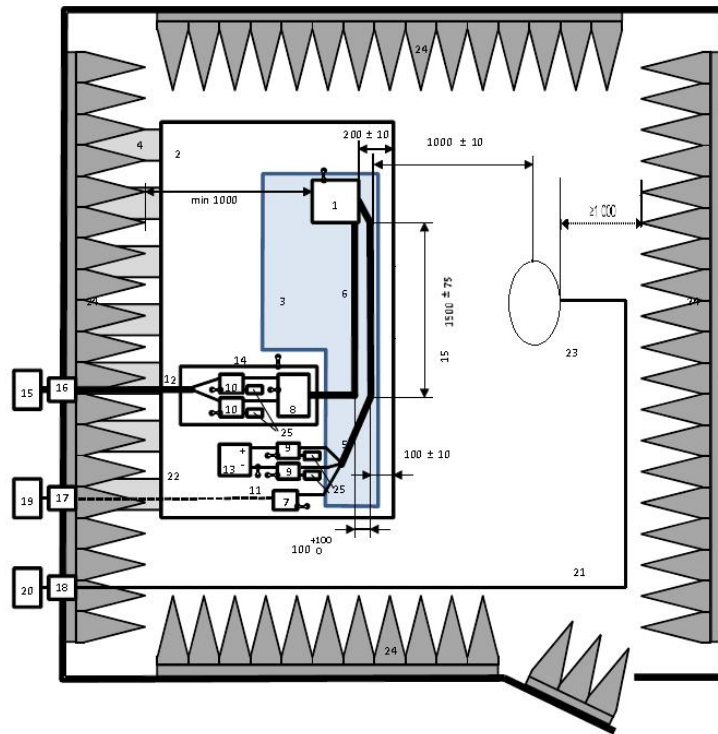
测试计划里应定义被测件的方向，尽量参考被测件在实车的安装情况。被测件的测试布置参考 GB/T 18655 进行布置，天线的布置要求如下。

电场测量时，杆天线距离线束中心 1 m，且底板连接至测试桌的接地平板。

磁场测量时，要求环天线在两个位置变换三个极性进行测量。第一个位置是距离线束中心 1m 处，第二个位置是正对被测件中心位置处。

测试布置参考图 37 和图 38 进行测试，图 37 和图 38 是以动力电池带屏蔽电源供电系统的 DUT 为例，给出了低频辐射发射测试的试验布置，

单位为毫米



说明:

- | | |
|---|--------------------------|
| 1——DUT | 14——附加屏蔽盒 |
| 2——接地平面 | 15——高压电源（如果放在ALSE内则需要屏蔽） |
| 3——低相对介电常数的支撑物（ $\epsilon_r \leq 1.4$ ）厚度为50 mm | |
| 4——接地铜带 | 16——电源线滤波器 |
| 5——低压线束 | 17——馈通滤波器 |
| 6——高压线束（HV+, HV-） | 18——隔板连接器 |
| 7——低压负载模拟器 | 19——激励和监测系统 |
| 8——阻抗匹配网络（可选） | 20——测量设备 |
| 9——LVAN | 21——同轴电缆（50 Ω ） |
| 10——HVAN | 22——光纤 |
| 11——低压供电线 | 23——环天线 |
| 12——高压供电线 | 24——射频吸波材料 |
| 13——低压电源 | 25——50 Ω 负载 |

注1: 动力电池充电状态按照本图进行布置, 若在放电状态下, 应测量高压直流输出端口, 高压电源变更为高压负载。

图 38 低频辐射发射-磁场的试验布置示例（以带屏蔽电源供电系统的 DUT 为例）

测量程序：

根据测试计划中给出的被测件的测试模式和状态依次进行测量。

接收机设置如下表所示。

表 29 低频辐射发射测量接收机设置

频率 (MHz)	RBW	步长	驻留时间
0.15~4.77 4.77~15.92 15.92~20 20~30	9 kHz	≤5 kHz	≥10 ms

要求：

测量结果要求符合以下电场和磁场的限值^注。

表 30 低频辐射发射电场限值

频率 (MHz)	电场限值 (dB μV/m)
0.15~4.77	117.16-20log (f)
4.77~15.92	144.32-60log (f)
15.92~20	96.25-20log (f)
20~30	70.23

表 31 低频辐射发射磁场限值

频率 (MHz)	磁场限值 (dB μA/m)
0.15~4.77	37.36-20log (f)
4.77~15.92	64.52-60log (f)
15.92~20	16.45-20log (f)
20~30	-9.57

注：由于3 m和1 m的测量距离都位于近场区，因此低频辐射发射电场限值的换算与距离的立方成比例，见公式

$$L_{1m}^E = L_{3m}^E + 60 \lg \left(\frac{3}{1} \right) \quad (42)$$

5) 瞬态传导发射

测试目的：是为了测试零部件工作时，在电源线上引起脉冲电压的。

测试条件：

应对被测件进行低压电源线 (LV) 进行测试，采用符合 ISO 7637-2 的设备进行测量。

测试布置：

被测件的测试布置参考 ISO 7637-2 进行布置，被测件与人工网络之间的线束长度应为 200mm±50mm。根据开关位置不同，瞬态传导发射有慢脉冲和快脉冲两种测试方法。

图 39 为快脉冲测试系统布置图，图 40 为慢脉冲测试系统布置图。

单位为毫米

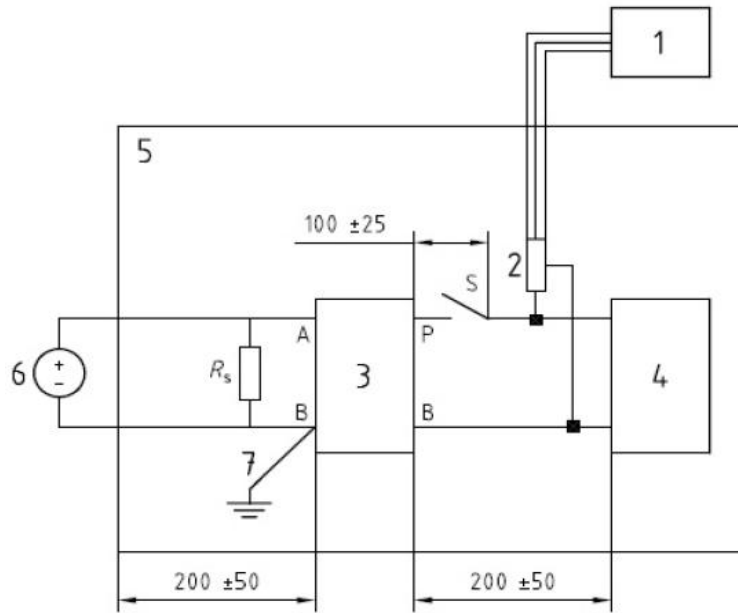


图 39 快脉冲试验系统布置示例

说明

- | | |
|---------|-----------------|
| 1——示波器 | 6——电源 |
| 2——电压探头 | 7——地线（长度<100mm） |
| 3——人工网络 | |
| 4——DUT | |
| 5——接地平板 | |

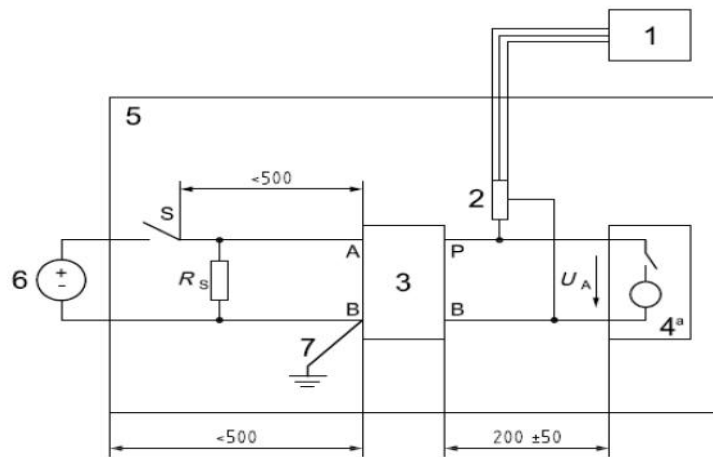


图 40 慢脉冲试验系统布置示例

说明：

- | | |
|---------|-----------------|
| 1——示波器 | 5——接地平板 |
| 2——电压探头 | 6——电源 |
| 3——人工网络 | 7——地线（长度<100mm） |
| 4——DUT | |

测量程序：

根据测试计划中给出的被测件的测试模式和状态依次进行测量。示波器采用触发方式，触发电平和示波器的设置应能够获取显示完整的瞬态波形，并具有足够高的分辨率，以显示瞬态波形的最大和最小值。每种测试模式，采集的波形应不少于 10 个，记录所有波形中正幅度最大和负幅度最大的参数。

要求：

脉冲限值应根据 ISO 7637-2 要求，可选择 I、II、III、IV 等级限值。或协商明确限值要求。

6) 大电流注入

测试目的：是基于车内外可预见的射频干扰源（如业余电台、移动电话等），测试被测件的抗扰度，测试频率范围为 1 MHz~400 MHz。

测试条件：

GB/T 33014.4 标准测试所有测试条件适用。包括测试设备、屏蔽室要求、参考接地平面等要求。

测试布置：

测试布置应满足 GB/T 33014.4。替代法、闭环法测试布置分别参考图 41 和图 42 进行测试，图 41 和图 42 是以动力电池等带屏蔽电源供电系统的 DUT 为例，给出了大电流注入的试验布置。对于 DUT 的供电线，直流线通过 HV AN 与供电电源连接。HVAN 的测试端口末端需要接一个 50 Ω 的负载。屏蔽线束和连接器推荐使用实车线束。DUT 表面和接地平面的边缘至少距离 100 mm。样品和任何金属部分要保持至少 500 mm 的距离。

线束布置要求如下：

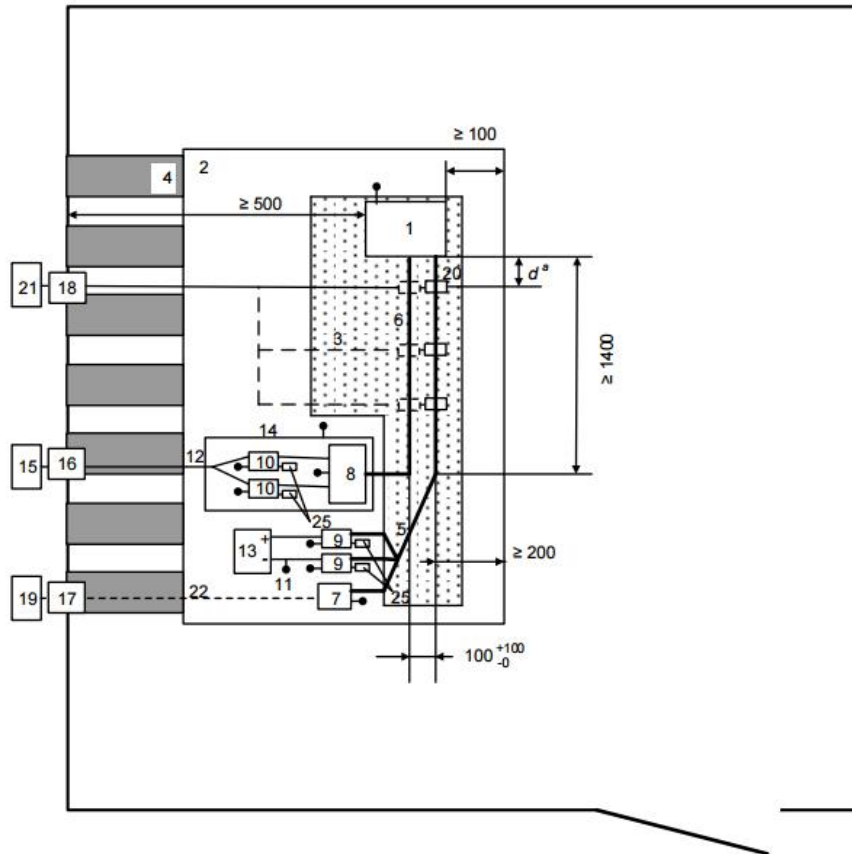
a) 替代法测试时，所有的高压和低压线束均要满足 1 700 mm~2 000 mm 的长度，要求从样品开始至少有 1 400 mm 的长度的线束必须拉直；

b) 闭环法测试时，所有的高压和低压线束均要满足 1 000 mm~1 200mm 的长度；

c) 样品和电动机之间的三相线最大长度为 1 000 mm；

d) 所有测试线束放置在 (50±5) mm 的低介电常数绝缘材料上，高压线束和低压线束的布置在测试计划中定义。高压线束的长直部分穿过电流注入探头和监测探头，且与接地参考平面边沿平行。低压线束的长直部分应与高压线束保持 1000+100mm 的距离。

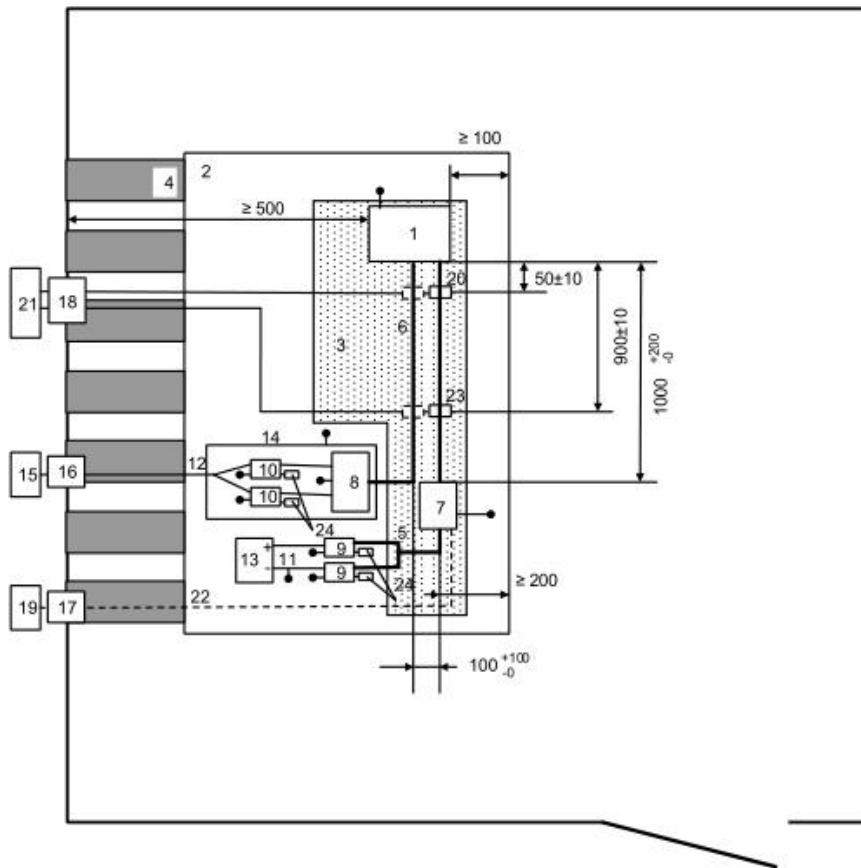
单位为毫米



说明:

- | | |
|---|--------------------------|
| 1——DUT | 14——附加屏蔽盒 |
| 2——接地平面 | 15——高压电源（如果放在ALSE内则需要屏蔽） |
| 3——低相对介电常数的支撑物（ $\epsilon_r \leq 1.4$ ）厚度为50 mm | |
| 4——接地铜带 | 16——电源线滤波器 |
| 5——低压线束 | 17——馈通滤波器 |
| 6——高压线束（HV+, HV-） | 18——隔板连接器 |
| 7——低压负载模拟器 | 19——激励和监测系统 |
| 8——阻抗匹配网络（可选） | 20——注入探头 |
| 9——LVAN | 21——高频设备（发生器和功放） |
| 10——HVAN | 22——光纤 |
| 11——低压供电线 | 25——50 Ω 负载 |
| 12——高压供电线 | |
| 13——低压电源 | |

图 41 BCI 试验布置示例—替代法（带屏蔽电源供应系统的 DUT）



说明:

- | | |
|---|--------------------------|
| 1——DUT | 14——附加屏蔽盒 |
| 2——接地平面 | 15——高压电源（如果放在ALSE内则需要屏蔽） |
| 3——低相对介电常数的支撑物（ $\epsilon_r \leq 1.4$ ）厚度为50 mm | |
| 4——接地铜带 | 16——电源线滤波器 |
| 5——低压线束 | 17——馈通滤波器 |
| 6——高压线束（HV+, HV-） | 18——隔板连接器 |
| 7——低压负载模拟器 | 19——激励和监测系统 |
| 8——阻抗匹配网络（可选） | 20——监测探头 |
| 9——LVAN | 21——高频设备（发生器和功放） |
| 10——HVAN | 22——光纤 |
| 11——低压供电线 | 23——注入探头 |
| 12——高压供电线 | 24——50 Ω 负载 |
| 13——低压电源 | |

图 42 BCI 试验布置示例—闭环法（带屏蔽电源供应系统的 DUT）

测试程序:

测试程序依据 GB/T 33014.4，注入等级与低压部件要求一致，见表 32。

替代法测试：注入探头距离 DUT 的高压/交流连接器（ 150 ± 50 ）mm，（ 450 ± 50 ）mm 和（ 750 ± 50 ）mm 分别测试。测试过程中如果应用到电流监测探头，此探头应放置在距离样品的高压/交流连接器（ 50 ± 10 ）mm 处。

闭环法测试：注入探头距离 DUT 的高压/交流连接器（ 900 ± 10 ）mm 处。测试过程中电流

监测探头应放置在距离样品的高压/交流连接器 (50±10) mm 处。

要求：

表 32 大电流注入测试等级

波段	频率范围 MHz	测试电流 mA				调制
		等级 1	等级 2	等级 3	等级 4	
1	1~400	75	100	150	200	CW, AM 80%
验收等级要求		I	I	I	I	/
注：特殊或者更高的测试等级由车企和零部件制造商协商确定。						

7) 静电放电

测试目的：是评估被测件对静电放电的抗干扰能力。

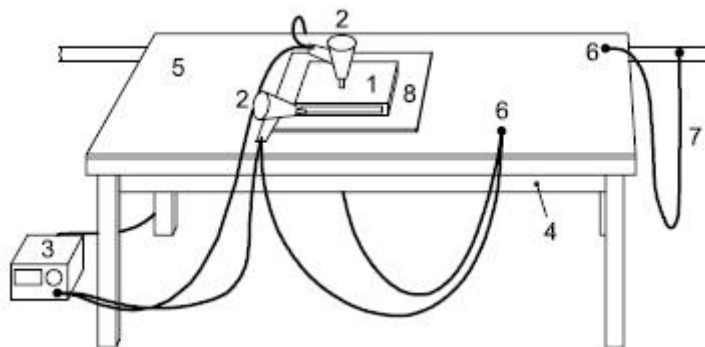
测试条件：

ISO 10605 标准测试所有测试条件适用。包括测试设备、参考接地平面等要求。应在被测件不通电、上电状态下进行测试。其中不通电的状态下，所有引脚需要测试。

测试布置：

不通电工作状态

除非本标准另有说明，应按照 ISO 10605 的要求进行试验布置。不通电工作状态下测试布置如图 43 所示，将未通电的 DUT 直接放在静电消耗材料上。相关低压部分连接方式、试验布置图参考 T/CSAE 63-2017。



说明：

- | | |
|---------------|-----------------|
| 1——DUT | 5——HCP |
| 2——ESD模拟器 | 6——接地点 |
| 3——ESD模拟器控制单元 | 7——接地线 |
| 4——绝缘桌子 | 8——静电消耗材料（如果需要） |

图 43 静电放电（断电状态下）的试验布置

通电工作状态下

除非本标准另有说明，应按照 ISO 10605 的要求进行试验布置。测试布置如图 44 所示，具体说明如下：

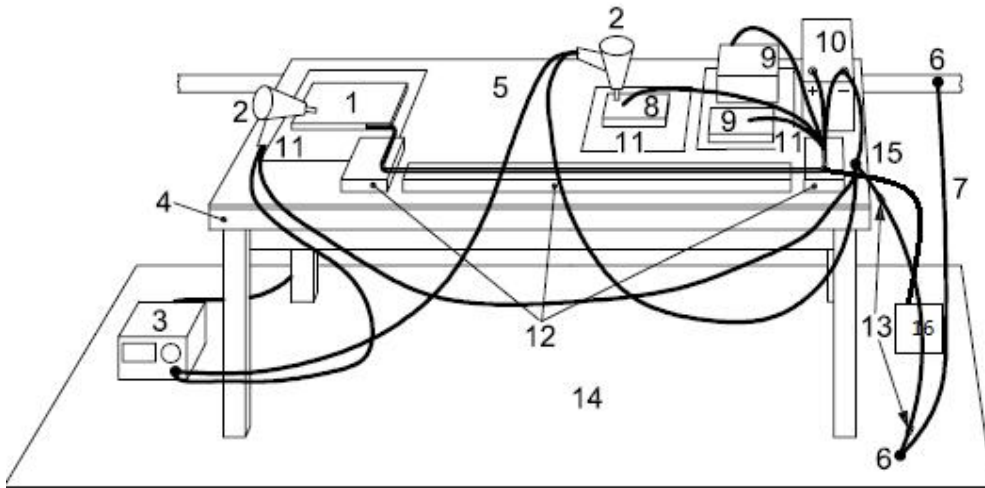
- DUT 及负载模拟器内部的任何硬件的低压端供电都应使用汽车蓄电池供电；
- HVDC 端可采用高压电源通过屏蔽室滤波器供电；
- DUT 及其辅助设备应置于干净的非吸湿的、相对介电常数在 1 到 5 之间的绝缘支撑物上（例如聚乙烯），该绝缘支撑的高度应在 (2~3) mm 之间，至少距离 DUT 及其辅助设

备各个侧面 20 mm;

d) DUT 的 LV、HV 线束应置于干净的厚 50 mm 的绝缘介质 ($\epsilon_r \leq 1.4$) 上, 绝缘介质直接置于接地平板上;

e) 连接 DUT 及负载模拟器的线束长度应为 1700+3000 mm, 负载模拟器外壳直接与接地平板相连。若 DUT 的外壳是金属且安装在车上时与车身连接, 则应直接放在接地平板上;

f) 接地参考平面应与 12 V 蓄电池负极相连接。作为一种替代方式, 12 V 蓄电池也可置于试验室地面上, 但负极要求与接地参考平面相连。



说明:

- | | |
|----------------|-----------------|
| 1——DUT | 9——辅助设备 (如负载) |
| 2——ESD 模拟器 | 10——低压电源 |
| 3——ESD 模拟器控制单元 | 11——绝缘支撑 (如果需要) |
| 4——绝缘桌子 | 12——绝缘块 |
| 5——HCP | 13——470 kΩ 电阻 |
| 6——接地点 | 14——GRP |
| 7——接地线 | 15——与 HCP 接地点 |
| 8——远程 I/O 口 | 16——高压电源 |

图 44 静电放电 (上电状态) 的试验布置

测试程序:

总则

测量程序应与 ISO 10605 标准一致。以下是对测试环境、测试顺序等测试准备方面的总要求:

- a) 除非本标准另有说明, 应按照 ISO 10605 的要求实施测试。测试设备应置于室温 (23 ± 5) °C, 相对湿度 20%~40% 的环境中;
- b) 静电放电模拟器的波形经检查应与 ISO 10605 的要求一致;
- c) 测试应按照装卸与装配静电放电测试、通电工作状态静电放电测试的顺序进行;
- d) 测试开始前, 应按表 33 的测试等级要求验证静电模拟器的放电电压。在两次放电之间, 应用 1 MΩ 电阻接触放电部位, 以泄放残余电荷, 这对于有装饰性镀铬的零部件尤其重要。
- e) 测试完成后应将测试性能与表 33 的要求相对照, 并在后续测试前验证产品功能性能及参数。

不通电测试

断电静电测试应按以下步骤进行：

对 DUT 最终设计状态所有暴露的轴、开关及表面，按照表 33 所示的测试类型，实施接触放电和空气放电。所有放电位置应在测试计划中明确规定。

通电测试

测试应在 DUT 正常工作条件下，使用表 33 规定的电压等级和 ESD 放电网络实施。应按测试计划规定的 DUT 工作状态实施测试。监控设备及确定 DUT 测试中性能的方法应记录在测试计划中。测试中对 DUT 特殊功能的监控，不应影响其正常工作或影响其从静电放电模拟器正常接受到的能量。要有防止测试中监控设备损坏的措施。

测试应按以下步骤进行：

确定 DUT 在正常工作状态中。若 DUT 有网络通信功能（如 J1850、CAN、LIN），应模拟实车条件下的网络通信。具体的网络通信报文、总线利用率等，应记录在测试计划中；

对 DUT 最终设计状态所有暴露的轴、开关及表面，按照表 33 列出的测试要求，实施接触放电和空气放电。所有放电位置应在测试计划中明确规定。对每个规定的放电点，应按照要求的放电电压，分别使用正、负极放电各 3 次；

若 DUT 安装在乘客舱或后备箱中能被人接触到的位置，应按照测试序列 4 重复步骤 b)；

所有静电放电测试完成后（包括断电 ESD 测试），应实施功能性能及参数测试，以检查 DUT 是否满足表 33 中的断电测试要求。

要求

高压部件的测试等级应与低压部件保持一致。低压部件测试方法及要求见 T/CSAE 63-2017 标准。

上电测试功能性能状态（FSPC）按照应在测试计划中定义。

测试件 DUT 的验收要求包括以下方面：

- DUT 应能抵御正常装卸与装配过程中出现的静电放电现象，具体要求见表 33；
- DUT 应能抵御正常工作（即上电状态）中出现的静电放电现象，具体要求见表 33；
- 按照表 33 实施静电放电测试后，零部件的 I/O 参数（如电阻、电容、泄露电流等），应在技术要求的容差范围内。因此，应在测试完成后立即检查零部件的 I/O 参数。

表 33 测试等级要求

放电类型			对应不同严酷等级的放电电压/kV				
			1	2	3	4	5
通电 测试	直接放电 2 kΩ/330 pF ⁽¹⁾	接触放电	±4	±6	±8	-	-
		空气放电	±4	±6	±8	±15	±25
	间接放电 2 kΩ/330 pF	接触放电	±4	±6	±8	±15	±25
测试验收要求			I	I	I	II	II
断电 测试	直接放电 2kΩ/150 pF	接触放电	±4	±6	-	-	-
		空气放电	-	-	±8	-	-
测试验收要求			IV	IV	IV	-	-
<p>(1)：直接放电的空气放电中放电电压为±25 kV 时用 2 kΩ/150 pF 放电模块。</p> <p>注 1：关于断电模式下的接插件测试要求见 T/CSAE 63-2017；</p> <p>注 2：序列 4 仅适用于在车内可直接接触到的产品；</p> <p>注 3：序列 5 仅适用于在车外可直接接触到的产品。</p>							

8) 辐射抗扰度

测试目的：是评估被测件对窄带射频电磁场的抗干扰能力。辐射抗扰度测试是基于车内外可预见的射频干扰源（如业余电台、移动电话等），测试 DUT 的抗扰度，测试频率范围为 200 MHz~3 100 MHz。

测试条件：

GB/T 33014.2 标准测试所有测试条件适用。包括测试设备、ALSE 要求、参考接地平面等要求。

测试布置：

测试布置应满足 GB/T 33014.2。测试布置详细说明如下：

a) DUT 测试线束，包括高压和低压线束，长度应为 1 700+3000 mm。DUT 与负载模拟器之间的全部线束应布置在接地平板上 50 mm 厚的绝缘支撑上，绝缘支撑介电常数 $\epsilon_r \leq 1.4$ 。该线束也可与辐射发射测试所用线束相同，线束尽量采用实车线束；

b) DUT 应置于接地平板上 50 mm 厚的绝缘支撑上。但如果 DUT 有金属外壳，且安装在车上时与车身有电气连接，则 DUT 应安装到接地平板上并与之电气连接。这种方式仅限于当产品技术要求中有相应记录且为了反映实车条件的情况下使用。DUT 接地方式应记录在 EMC 测试计划与测试报告中；

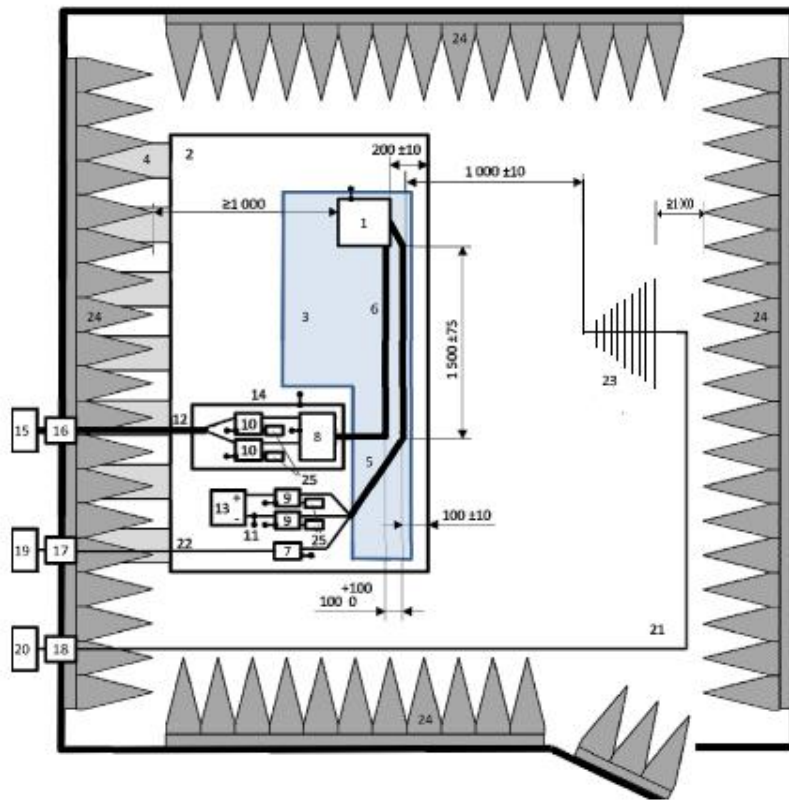
c) 在实施频段 1 200 MHz~1 400 MHz、2 700 MHz~3 100 MHz 测试的时候，应使用编织接地铜带连接 DUT 外壳和蓄电池负极端子。铜带长为 1700+3000 mm，宽不大于 13 mm。铜带应沿测试线束布置。在 DUT 负极线需要接地的情况下也可使用这种方法；

d) 应使用汽车蓄电池向 DUT 与负载模拟器中的所有低压电子硬件供电，蓄电池负极应与接地平板相连，蓄电池可放在接地平板上或测试桌下；

e) 当使用高压电源给 DUT 高压供电时，若高压电源置于 ALSE 内时，应确保高压电源能够承受电磁场的干扰；

f) 对于频率低于 1 000 MHz 的测试，天线应置于线束中间的前方。对于频率高于 1 000 MHz 的测试，天线应沿接地平板边缘平行移动（750±50）mm，使之正对 DUT。

单位为毫米



说明:

- | | |
|--|--------------------------|
| 1——DUT | 14——附加屏蔽盒 |
| 2——接地平面 | 15——高压电源（如果放在ALSE内则需要屏蔽） |
| 3——低相对介电常数的支撑物（ $\epsilon_r \leq 1.4$ ）厚度为 50 mm | |
| 4——接地铜带 | 16——电源线滤波器 |
| 5——低压线束 | 17——馈通滤波器 |
| 6——高压线束（HV+, HV-） | 18——隔板连接器 |
| 7——低压负载模拟器 | 19——激励和监测系统 |
| 8——阻抗匹配网络（可选） | 20——测量设备 |
| 9——LVAN | 21——同轴电缆（50 Ω ） |
| 10——HVAN | 22——光纤 |
| 11——低压供电线 | 23——天线 |
| 12——高压供电线 | 24——射频吸波材料 |
| 13——低压电源 | 25——50 Ω 负载 |

注1：动力电池充电状态按照本图进行布置，若在放电状态下，应测量高压直流输出端口，高压电源变更为高压负载。

图 45 辐射抗扰度-试验布置示例（以对数周期天线为例）

测试程序：

测试程序依据 GB/T 33014.2。

测试步骤如下：

- a) 应在使用线性频率步长的条件下实施测试，步长不大于 GB/T 33014.1 的要求；
- b) 应按照 GB/T 33014.1 要求，使用峰值保持。最小等幅波（CW）及调制（幅度或脉冲）驻留时间为 2 s。如可预见 DUT 的响应时间大于 2 s，应使用更长的驻留时间。对驻留时间的改变应记录在测试计划中；
- c) 使用垂直极化和水平极化方式分别测试；
- d) 测试 1 000 MHz 以上频段的时候，除非测试计划中有明确说明，应至少对 DUT 的三个正交平面实施测试；
- e) 先按照测试计划中规定的测试等级要求进行测量，如果发现偏离，则将强度等级降低到 DUT 能够正常工作的程度，再将强度增大到偏离再次出现。这点的强度等级应被用来检查是否满足表 34 中的要求。如不满足，则这点的强度等级应作为偏离的阈值写入报告中。

测试注意事项如下：

- a) 场调制与分级及放大器的谐波含量应满足 GB/T 33014.1 的要求；
- b) 采用幅度调制法时，幅度调制的频率应为 1 kHz，调制深度为 80%；
- c) 前向功率应作为强度等级特性和实测强度之间的参照参数；
- d) 采用脉冲调制法时，需使用峰值包络功率传感器（PEP）或频谱仪来测量前向功率，但前者为首选。如选用频谱仪，应使用零跨度将其调至单个频点，测量带宽不小于 3 MHz（适用时，包括分辨率带宽或中频带宽和视频带宽）。校准与测试过程应使用同型号设备；
- e) DUT 各种工作模式在测试过程中的表现应满足 EMC 测试计划的规定；
- f) 在使用脉冲调试方式实施频段 1 200 MHz~1 400 MHz、2 700 MHz~3 100MHz 的时候，应在实施脉冲调制之前进行等幅脉冲分级校准；
- g) 在实施频段 1 200 MHz~1 400 MHz、2 700 MHz~3 100 MHz 测试的时候，选用的喇叭天线将极大地影响到表 34 列出的场强所需的前向功率。天线的近场增益衰减特性会显著地影响 1 米外达到规定场强需要的实际功率。考虑到这个问题，不能仅仅简单地基于公布的天线增益来选择天线。并且达到所需的场强的高功率等级也被证明显著地影响某些天线的电压驻波比。

校准要求如下：

使用替代法进行测试场强的校准规程请参考 GB/T 33014.2。应按照表 34 所列出的场强等级实施测试。不允许预先产生较低场强再输入能量来叠加出更高的场强。

要求：

辐射抗扰度的测试要求应与整车其他低压部件的抗扰度要求保持一致。低压部件测试方法及要求见 T/CSAE 63-2017 标准。

对应表 34 所述的辐射抗扰度测试等级和调制条件，DUT 应符合表 34 的测试验收准则。可根据 DUT 线缆在实车上将会耦合的信号大小，选择测试等级。

表 34 辐射抗扰度测试等级要求

波段	频率范围 MHz	场强 V/m					调制
		等级 1	等级 2	等级 3	等级 4	等级 5	
1	200~800	50	75	100	150	200	CW, AM 80%
2	800~2000	50	75	100	150	200	CW, Pulsed PRR= 217 Hz, PD=0.57 ms
3	2000~3000	50	75	100	150	200	CW, Pulsed PRR= 217 Hz,

							PD=0.57 ms
4	1200~1400 ^a	—	—	300/600 ^b	× ^c	× ^c	Pulsed PRR= 300 Hz, PD=3 μs, 每秒 50 个脉冲
5	2700~3100 ^a	—	—	300/600 ^b	× ^c	× ^c	Pulsed PRR= 300 Hz, PD=3 μs, 每秒 50 个脉冲
验收等级要求		I	I	I	I	I	
^a 1 200 MHz~1 400 MHz、2 700 MHz~3 100 MHz 是可根据市场来选择的测试频段。 ^b 采用 300 V/m 或 600 V/m 的强度要求由整车企业与零部件制造商协商确定。 ^c 由整车企业根据情况确定。							

5.2.5.2 适用于充电端口的测试

1) 快速瞬变/脉冲的抗扰度

测试目的：是验证连接到电源部件，沿着高压交流、高压直流及信号线、数据线的传导干扰的快速瞬变/脉冲群抗扰度。

测试条件

GB/T 17626.4 标准测试所有测试条件适用。包括测试设备、测试场地、参考接地平面等要求。

车载充电机交流输入线、信号线需要进行测试。

测试设备由参考地平面（不需要屏蔽室），瞬变/脉冲群发生器，耦合/去耦网络（CDN）和容性耦合钳组成。

瞬变/脉冲群发生器应满足 GB/T 17626.4 的 6.1 章节所定义的要求。

在 GB/T 17626.4 的 6.2 节中定义的耦合/去耦网络应被用于 HVAC 或 HVDC 电源。如果耦合/去耦网络不能用在交流或直流电源线，可以采用在 GB/T 17626.4 中 7.2.2.1 描述的用 33 nF 电容直接注入的方法，不建议使用容性耦合夹的方法。

充电系统工作期间，试验过程中 SOC 应保持在 20%~80%之间，充电电流至少为额定充电电流的 20%以上。电源线的最大长度 10 m。

在 GB/T 17626.4 6.3 节中定义的电容耦合钳可用于信号线和数据线。

测试布置

试验布置在 GB/T 17626.4 7.2 节中描述。高压交流、高压直流端口测试布置的示例如图 46 所示，信号线和数据线测试布置示例如图 47 所示。

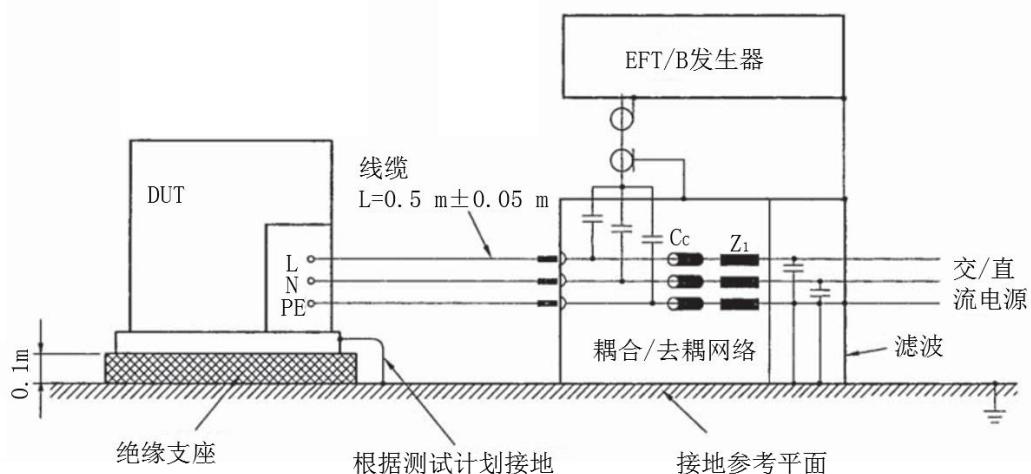
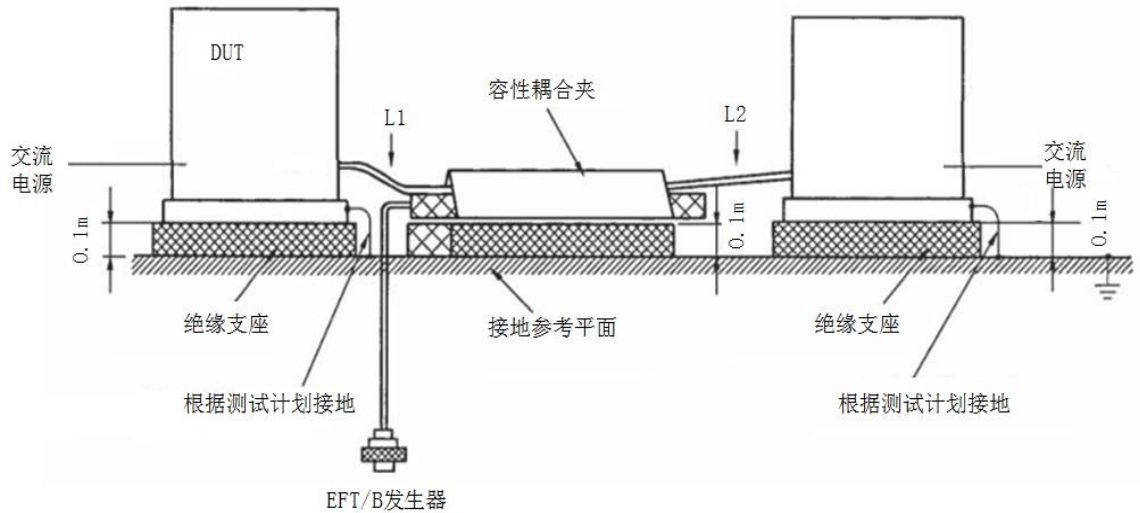


图 46 脉冲群高压交流和高压直流端口测试布置示例



注：L1=L2=0.5 m±0.05 m

图 47 脉冲群信号线和数据线测试布置示例

测试程序：

按照 GB/T 17626.4 的测试方法来建立测试等级。

要求：

DUT 必须满足表 35 的要求。在对 HVAC 线进行瞬态抗扰度测试时，应测量耦合脉冲及其在 HVDC、LV、信号和数据线上的影响。

表 35 快速瞬变/脉冲群抗扰度测试等级

测试	测试等级 ^a	功能状态
高压直流电源线的瞬变/脉冲群	0.5 kV、1kV、2 kV	I
信号线的瞬变/脉冲群	0.25 kV、0.5 kV、1 kV	I

a 这个试验需要对每个测试等级依次进行试验

2) 浪涌抗扰度

测试目的：是在验证连接到电源部件，沿着高压直流、高压交流电源线，信号线和数据线浪涌传导的抗扰度。

测试条件：

车载充电机交流输入线、信号线需要进行测试。

浪涌发生器应满足 GB/T 17626.5 6.1 章节所定义的要求。在 GB/T 17626.5 的 6.2 节中定义的浪涌发生器应被用于 HCDV 或 HVAC 电源线、信号线和数据线。耦合/去耦网络应满足 GB/T 17626.5 6.3 节中定义的要求。

测试布置：

试验布置在 GB/T 17626.5 第 7 章中描述。测试布置的示例如图 48、图 49、图 50 所示。

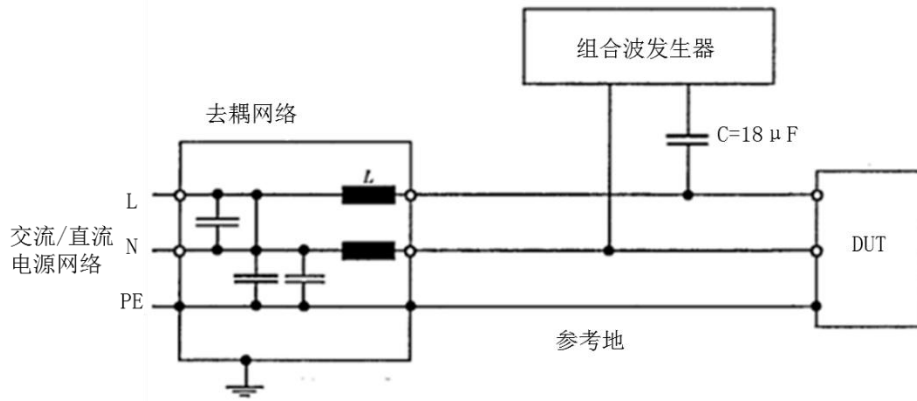


图 48 电源线浪涌试验布置图示意（线对线）

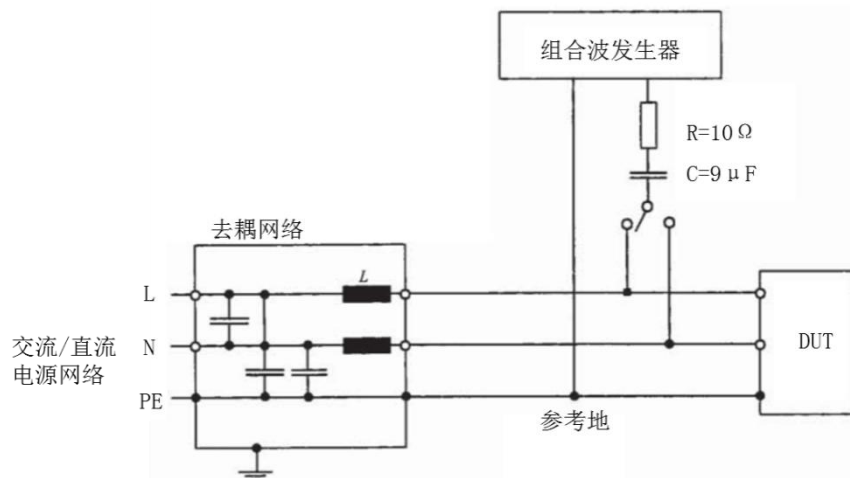
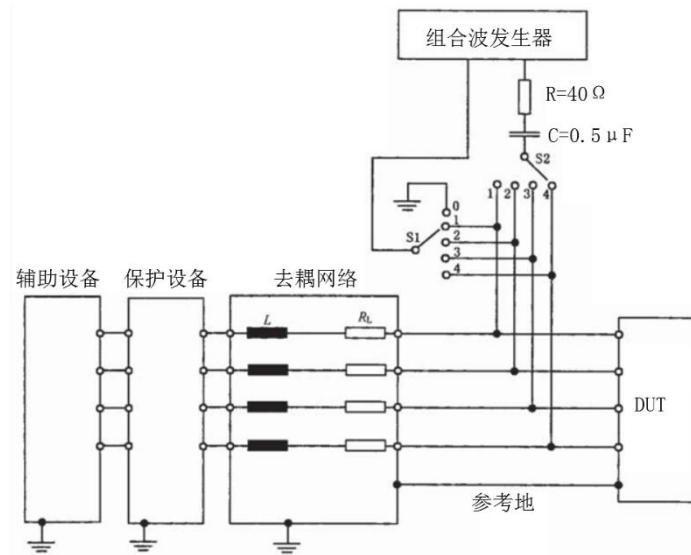


图 49 电源线浪涌试验布置图示意（线对地）



注：

- 1) 开关S1：线-地，置于“0”；线-线，置于“1”~“4”；
- 2) 开关S2：试验时置于“1”~“4”，但与S1不在相同的位置；
- 3) $L=20\text{ mH}$, R_L 代表电感线圈的电阻部分。

图 50 信号线浪涌试验布置图示意（线对线、线对地，适用于非屏蔽不对称线）

测试程序：

按照 GB/T 17626.5 测试方法来建立测试等级。

要求：

DUT 必须满足表 36 中的要求。这个测试需要分别在每个测试等级进行。

每个浪涌需要按照 1 分钟间隔时间，对每个角度施加 5 次测试：0°，90°，180° 和 270°。

注：时间间隔可以减少到 10 s。

表 36 浪涌测试等级

测试	测试等级 ^a	功能状态
信号线-线对地	0.5 kV、1 kV	II
直流电源线-线对地	0.5 kV	II
直流电源线-线对线	0.5 kV	II
a 这个试验需要对每个测试等级分别进行试验		

6 动力电池系统制造技术

6.1 关键工艺设计

6.1.1 电芯分选

目前电芯需进行分选，主要原因是多数电芯达不到车规级标准。电芯分选是根据电芯的电性能，挑选一致性好的电芯匹配成组，目前电芯分选的方式主要有：单一特征参数分选法，多特征参数分选法，充放电特性曲线分选法，电化学阻抗谱分选法。

- 1) 单一特征参数分选法：利用电芯的电压、内阻、容量进行单独分选；
- 2) 多特征参数分选法：选取多个参数进行分选，参数包括容量、电压、内阻、自放电功率等，设定各特征参数差异值范围进行分选；
- 3) 充放电特性曲线分选法：充放电曲线是容量、内阻、充放电电压平台和极化程度的集中表现，对电池进行充放电试验，根据曲线之间的相似性进行分选；
- 4) 电化学阻抗谱分选法：施加一个频率不同的小振幅交流信号，测量交流信号电压与电流的比值即阻抗随正弦波频率变化关系，以此进行分选；

除了电芯的电性能外，电芯尺寸也是电芯分选的一项重要参考依据，以方形电芯为例，在成组时，模组的总长度尺寸是有要求的，挑选厚度相应的电芯成组可以合理控制电芯堆叠时工序中的夹紧力，以减少电芯受力不一致导致的对其电性能和循环寿命的影响。

6.1.2 焊接工艺

电池系统中应用焊接工艺的主要是模组集成，包括电芯不同串并联的连接、成组后电芯外框固定的连接、电芯电压及温度监测点的连接。根据不同的电芯产品以及不同的信息采集形式，采用的连接工艺也不同。下面分别介绍，方壳模组、软包模组、圆柱模组焊接连接工艺。

6.1.2.1 方壳模组

1) 电芯与电芯的连接

电芯内部极耳正极采用铝合金材料，负极采用金属铜材料，电芯间连接排多采用铝材质，为了更好地实现连接工艺，目前大部分电芯已经把电芯外部极耳进行了结构优化及材料的替代。外部连接的负极极耳进行铜铝转化，负极极耳对外连接部分采用铝合金材料。

极耳连接形式：穿透焊和对接焊，对比优缺点如下：



图 51 极耳与铝排焊接

表 37 穿透焊与对接焊优缺点对比分析

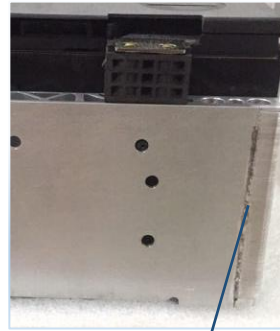
项目	穿透焊	对接焊
焊接精度对比	低	高
焊缝强度	中	中
可装配性	易	难
结构强度	低	高

2) 电芯外框的连接

端板与侧板连接形式：穿透焊与对接焊，通过试验验证，穿透焊与对接焊在相同条件下，焊接强度差别不大，如果想提高焊缝强度可以通过改变材料厚度和焊缝位置的方案。



穿透焊：增加板厚提高强度



对接焊：改变焊缝位置 提高强度

图 52 侧板与端板焊接

3) 采集点的连接工艺

采集点分为电压采集点与温度采集点，电压及温度采集通过 FPC 的集成方式，电压与温度采集点材料为镍片，镍片与铝排连接形式采用激光点焊焊接工艺、铝丝键合工艺及超声波线束工艺。

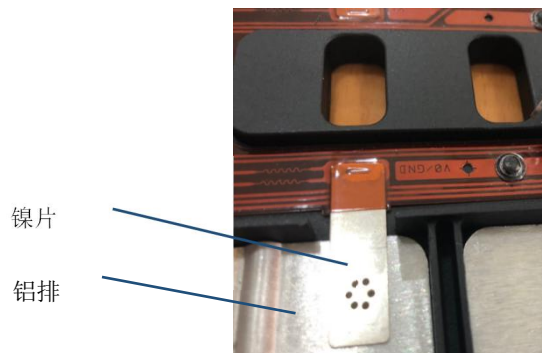


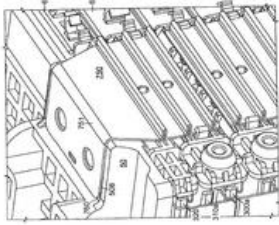
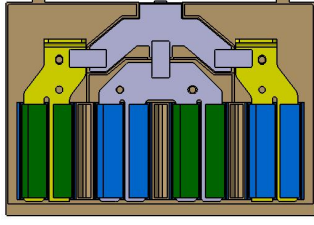
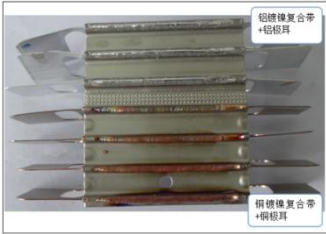

图 53 铝排与镍片激光点焊

6.1.2.2 软包模组

1) 电芯与电芯的连接

目前软包电池极耳材料为异种金属材料，正极多为铝合金，负极多为铜镀镍材质，这样在电芯成组后连接排的焊接较为困难，以下有两种集成方案解决连接困难问题

表 38 软包模组电芯焊接方案对比

项目	方案 1 连接排为异种材料超声焊接集成，极耳与连接排为同种材料连接。	方案 2 连接排为一种材料（铝合金或铜合金），连接排与极耳焊接既有同种材料激光焊接也有异种材料的激光焊接。
模组结构形式		
极耳焊接形式		
集成难易度	装配及焊接精度要求较高	对装配及焊接精度要求不高
激光焊接设备	普通连续激光焊接设备	高功率密度连续激光焊接设备

2) 电芯外框的连接



图 54 侧板折弯对接焊缝

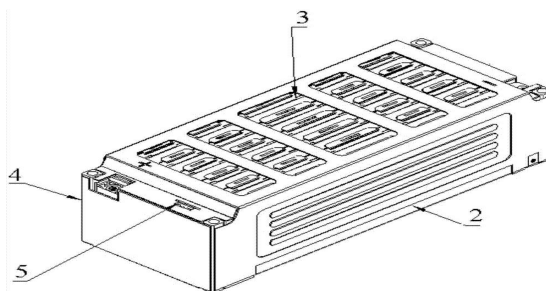


图 55 侧板穿透焊缝

软包模组焊缝的位置需要结合电芯鼓胀力的方向确定，两种方案各有优势，根据产品的集成方案进行确定。

6.1.2.3 圆柱模组

电芯与电芯的连接

圆柱电芯的集成方案目前属国外某知名品牌较为成熟，电芯与电芯间的铝丝键合技术成功应用在电芯与电芯的连接方案中



超声波铝丝键合焊接

图 56 圆柱模组电芯焊接

此种铝丝键合焊接强度一般与铝丝直径相当，单丝连接强度在十几牛左右，所以在圆柱电芯集成技术中最重要的是电芯的固定，保证电芯与铝丝间没有相对的位移，通过整体结构的加固，保证使用过程中铝丝受力很小或者避免铝丝受力。

焊接技术在新能源电池包上有较多的应用，特别是较为新兴的激光焊接技术，下面以电芯的 BSB 激光焊接为例，介绍下激光焊接技术。图 57 为模组中电芯极耳与 Busbar 的激光焊接，方形和软包电芯模组现在大多采用激光焊接。激光焊属于熔焊中的一种，以激光束为能源，聚集在待连接的部件接头处，激光束可由平面光学原件引导，随后再以反射聚焦元件或镜片将光束投射在焊缝上。在实际生产中，激光焊要实现稳定可靠的连接效果，必须要充分考虑焊接母材、焊接位置、接头类型，有优异的工艺参数，并匹配合适的工装夹具。

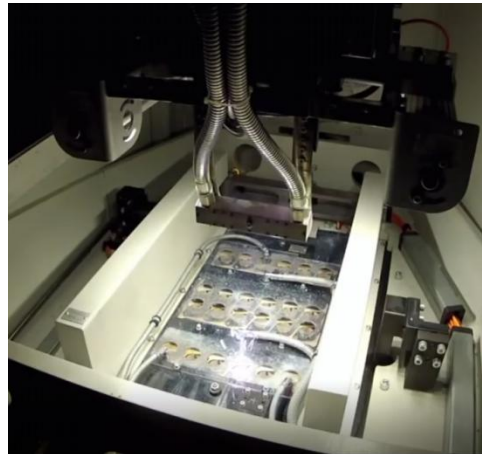


图 57 模组激光焊接

1) 焊接参数：需要通过 DOE 实验寻找最佳焊接参数，主要参数有激光功率、焊接速度、透镜焦距、离焦量、光束焦斑和保护气，根据所焊母材的材料特性（包括成分，厚度，材料吸收等），所要达到的焊接效果（接头强度，焊缝宽度，熔深等），调整焊接参数；

2) 焊接位置：方形电芯模组一般两个工序需要用到激光焊，一个工序是方形电芯极耳与汇流排的连接，另一个工序是模组侧板和端板的焊接，在焊接此位置时，侧板和端板的搭接错位尺寸要合理控制；软包电芯模组中极耳与连接片的连接方式有顶封焊接和折弯焊接，顶封焊接选择连续激光焊，对极耳的裁切要求较高，折弯焊接可以选择脉冲激光点焊和连续激光焊，推荐选择连续激光焊；

3) 质量保证方式：在线采用视觉检测和参数监测辅助监控焊接稳定性，线下定期进行破坏性焊接接头机械性能及宏观断面检测。而在圆柱电芯模组中，采用的焊接主要有两种，一种是键合焊，也称超声波铝丝焊接，原理是利用超声波发生器产生能量，通过磁致伸缩换能器，在高频磁场感应下，迅速伸缩产生弹性振动，使劈刀相应振动，同时在劈刀上施加一

定的压力，劈刀在这两种力的共同作用下，带动铝丝在被焊区的金属氧化层表面迅速摩擦，使铝丝和铝膜表面产生塑性形变，也破坏了铝层界面的氧化层，使两个纯净的金属表面紧密接触达到原子间的键合从而焊接成功。键合焊需要注意被焊接工件固定稳固牢靠，表面清洁，电芯极耳高度一致。另一种是电阻焊，是将被焊件压紧与两点之间，通过电流流经工件接触面及邻近区域产生电阻热熔化工件使其结合。电阻焊主要关注焊接电阻、电极和工件自身的影响，焊接参数中调整好焊接电流，电极压力，焊接时间。

6.1.2.4 焊接工艺检测方法

目前市场上通过电信号反馈进行焊接过程中对焊缝在线检测的方法还不能够完全实现工业化的使用。工业上通用的检测方法为焊后检测，焊后检验分破坏性检测及非破坏性检测。

破坏性检测：使用机械检测设备(如拉力机)进行检测，开班首件破坏性检验，检验标准一般定义为焊缝位置完好，母材断裂可参考 GB/T 19869.2 中 6.4 破坏性检测中焊缝系数的标准。

非破坏性检测：利用视觉设备或人工视觉的方法，进行焊后焊缝外观 100%检查，包含漏焊、断焊、焊接飞溅等表面外观检查，焊缝外观可参考 GB/T 22085.2 标准执行。

6.1.3 涂胶工艺

胶粘剂在电池系统箱体应用上，一般有两种用途：一种是粘接箱体结构件，起提供结构强度的作用，可能与焊接或铆接配合，另一种是密封，保证整包的气密性；胶粘剂在模组应用上，也主要有两种用途：一种用途是固定电芯，与箱体中结构胶应用类似，主要强调胶粘剂的粘接力、抗剪强度、耐老化、寿命等性能指标；另一种用途是把电芯和模组的热量通过导热胶传递出去，主要强调胶粘剂的导热系数、耐老化、电气绝缘性、阻燃性等性能指标。由于胶粘剂的用途不同，胶粘剂的性能和配方也不同，实现涂胶工艺的方法和设备就不同。在胶粘剂选择和涂胶工艺方面，需要考虑以下 3 点：

1) 胶粘剂的安全环保性能：尽量选择无毒无异味的胶粘剂，不但可以保护操作者，也可以保护使用者，还能更好地保护环境，也是新能源发展的目标。

2) 胶粘剂的物性：主要包括黏度、操作时间、固化时间等，为了提高生产效率，一般希望胶粘剂的固化时间越短越好。在实际生产过程中，假如胶粘剂操作时间和初步固化时间过短，由于待料、设备异常等因素，会导致物料的大量浪费；也可能由于操作员处理不及时，而导致设备堵塞，严重时导致停拉线。因此要结合应用和工艺要求，综合考虑选择合适的胶粘剂并配合合理的施工工艺。

3) 胶粘剂的用量：胶粘剂用量主要由产品和工艺来确定，目的是满足产品的要求。目前常用涂胶工艺有点胶、涂胶、喷胶和灌胶，每种工艺所需要的设备也是不同的。在涂胶时需要注意胶量的控制，避免溢胶过多而影响其他工序。

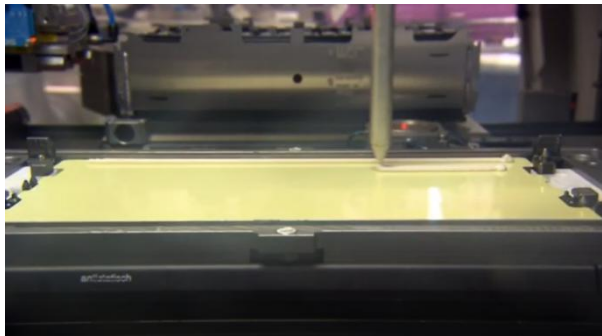


图 58 导热结构胶的自动化施工

6.1.4 电池系统总装紧固

电池系统总装紧固技术主要用到螺栓连接比较多，主要用于连接箱体、铜排、固定模组和固定电池信息采集器和电池管理单元等电器元件，此外线束和液冷水管的固定会用到卡接。

6.1.4.1 拧紧等级及拧紧设备精度的选择

根据 VDI2862 汽车工业中拧紧设备的应用标准要求将汽车的装配扭矩分为三个等级。

表 39 装配扭矩等级

等级	定义	适用	匹配拧紧精度
A	失效会对生命及人身造成直接或间接伤害	安全系统、制动系统等重要连接场合	I 级、II 级
B	失效会导致主要功能不正常或车辆故障	底盘件、电器等	II 级、III 级
C	失效会造成客户不满	内外饰、塑料件、软连接等一般连接场合	III 级

根据等级的定义，电池包内紧固件的拧紧等级为 B 级，对应拧紧精度等级为 II 级拧紧精度分为以下三个级别：

表 40 拧紧精度等级

拧紧精度等级	拧紧精度/扭矩离散度
I	5%
II	10%
III	15%

根据拧紧精度等级 II 要求，对应的拧紧设备精度满足 10% 的要求。

6.1.4.2 螺栓连接形式的定义

依据螺栓在拧紧过程中旋转角度和力矩的变化关系将拧紧系统划分为“刚性连接”，“中性连接”和“软连接”三种连接形式。三种连接形式的定义如下：

- 1) 刚性连接：拧紧过程中，从力矩达到目标力矩的10%至100%的过程，螺栓旋转角度 $< 30^\circ$ ；
- 2) 中性连接：拧紧过程中，从力矩达到目标力矩的10%至100%的过程，螺栓旋转角度介于 30° 至 720° 之间；
- 3) 软连接：拧紧过程中，从力矩达到目标力矩的10%至100%的过程，螺栓旋转角度 $> 720^\circ$ ；

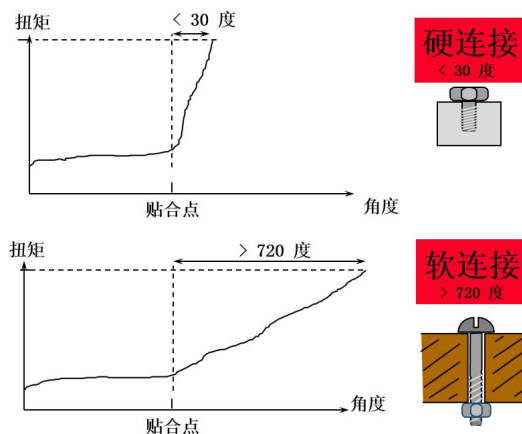


图 59 螺栓连接扭矩图

6.1.4.3 拧紧方法与策略

图 58 是螺栓拧紧完整过程，螺栓连接最终要得到可靠稳定的拧紧质量，很重要的一点是紧固控制方法，在国内电池系统行业里，采用扭矩控制法的比较多，扭矩控制的优势是容易实现不同精度等级的控制，有巨量的产品和过程设计的标准数据，良好支持工序和设备验证。扭矩控制也有劣势，夹紧力的精度略差，可能差到 $\pm 60\%$ ，受摩擦系数影响大，没有根本办法防止螺栓断裂，所以螺栓利用率较低。紧固控制方法还有角度控制法，扭矩转角控制法，落座角度控制法及屈服点控制法，其中后两种控制方法较难实现。

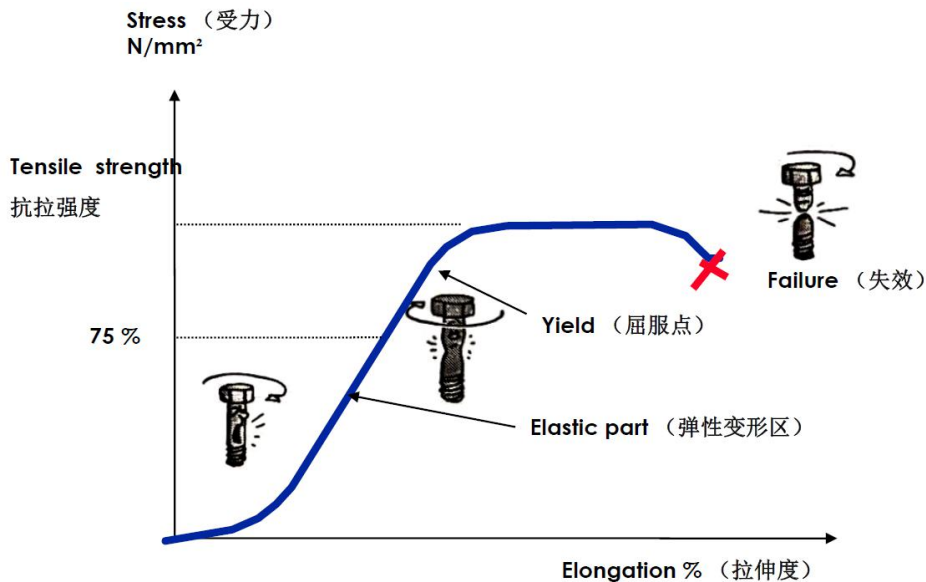


图 60 螺栓拧紧完整过程

根据拉伸-屈服极限的关系图，常用的扭矩控制方法有五种：

1) 扭矩控制法 (T)

拧紧螺栓至设定的扭矩后，拧紧控制机构停止动作，其优点是较为简便，而且扭矩容易复验。

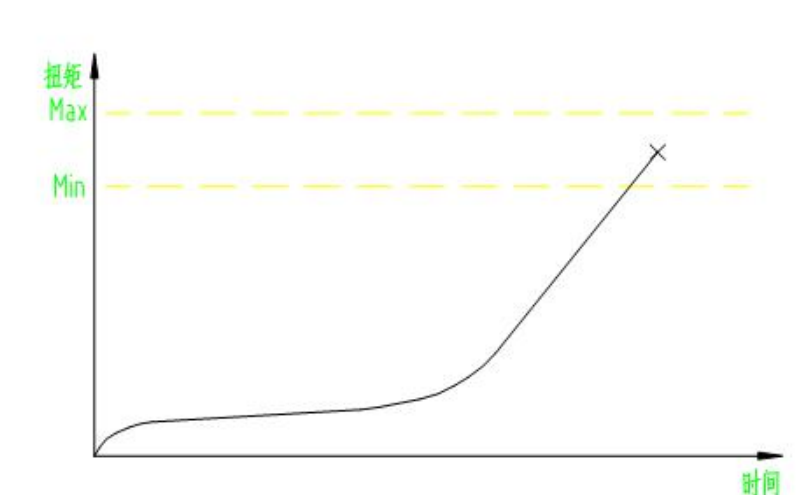


图 61 扭矩控制法扭矩图

2) 扭矩-转角控制法 (TA)

在采用扭矩控制的同时，用紧固转角 θ 作为指标对预紧力进行监控的控制方法。

- a) 20% N 扭矩 (举例) 设定转角控制的起始点
- b) 从起始点计算转角，同时记录扭矩

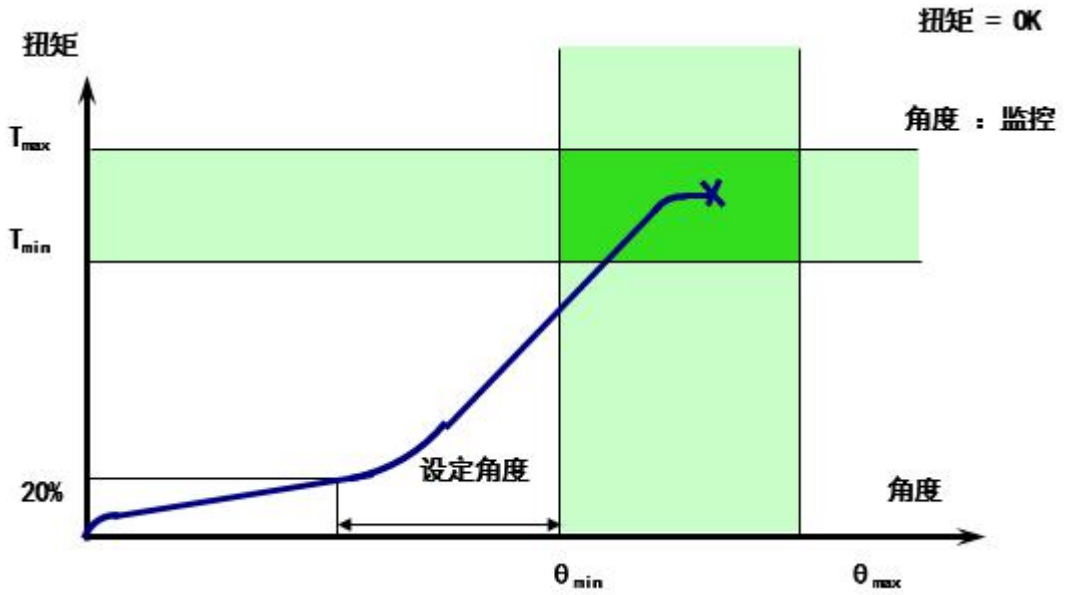


图 62 转角控制法扭矩图

扭矩-转角控制法与扭矩控制法最大的不同在于：扭矩控制法通常将最大螺栓轴向预紧力限定在螺栓弹性极限的 90% 处，即图 63 中 Y 点处；

而扭矩-转角控制法一般以 Y-M 区为标准，最理想的是控制在屈服点偏后。扭矩-转角控制法螺栓轴向预紧力的精度是非常高的，通过图 63 即可看出，同样的转角误差在其塑性区的螺栓轴向预紧力误差 ΔF_2 比弹性区的螺栓轴向预紧力误差 ΔF_1 要小得多。

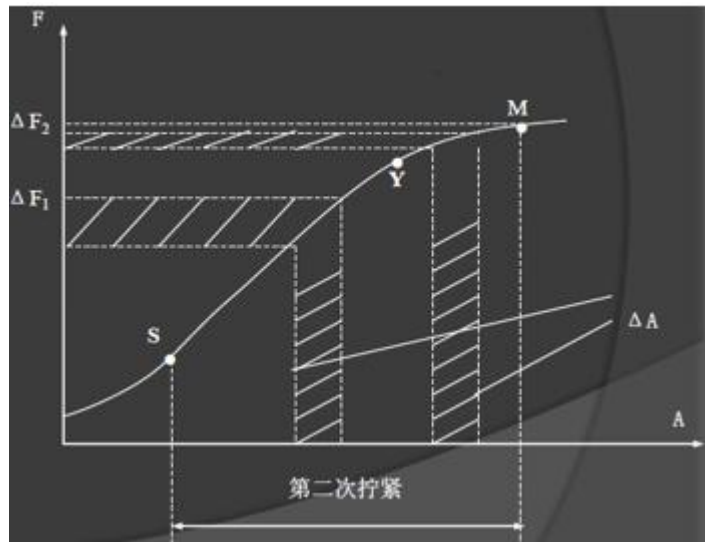


图 63 螺栓弹性极限-Y 点示意图

3) 屈服点控制法 (TG)

屈服点控制法是把螺栓拧紧至屈服点后，停止拧紧的一种方法。它是利用材料屈服的现象而发展起来的一种高精度的拧紧方法。这种控制方法，是通过对拧紧的扭矩/转角曲线斜率的连续计算和判断来确定屈服点的。螺栓在拧紧的过程中，其扭矩/转角的变化曲线见图 7。真正的拧紧开始时，斜率上升很快，之后经过简短的变缓后而保持恒定（a_b 区间）。过 b 点后，其斜率经简短的缓慢下降后，又快速下降。当率下降一定值时（一般定义，当其斜率下到最大值的二分之一时），说明已达到屈服点（即图 60 中的 Q 点），立即发出停止

拧紧信号。

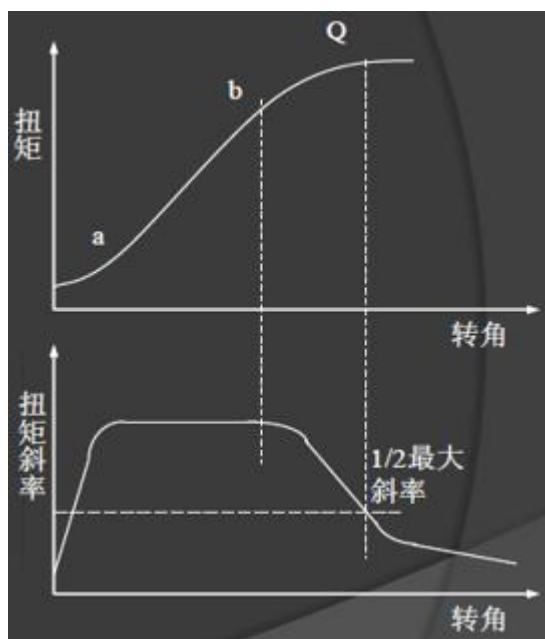


图 64 屈服点控制法扭矩图

拧紧策略：

对于一般非关键件的连接，为减小扭矩的离散度，保证最终目标扭矩值，多采用多步拧紧的方式，整个拧紧过程分为 3 个步骤：

- 1) 寻孔步骤 (Finding Phase)
 - a) 最大转速的 5%
 - b) 至少回转一周
- 2) 进给步骤 (Rundown Phase)
 - a) 最大转速的 40-80%
 - b) 最终扭矩的 30-50%
- 3) 最终拧紧步骤 (Final Phase)
 - a) 最大转速的 3-10%
 - b) 最终拧紧扭矩控制
 - c) 最终拧紧角度监控

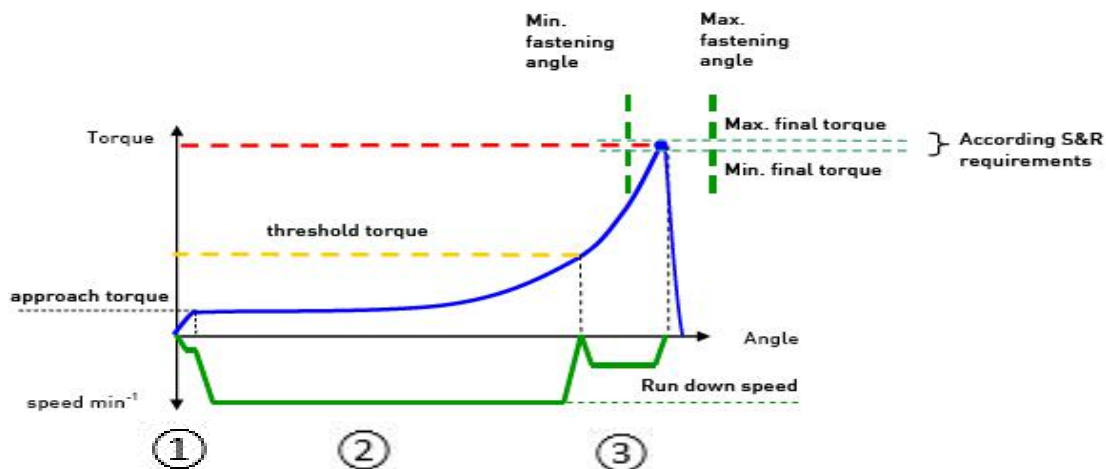


图 65 拧紧策略示意图

拧紧工具

为了得到合格的拧紧连接，拧紧扭矩必须精确控制，连接件质量必须得到监控，因此拧紧工具的选择尤为重要，首先要满足拧紧过程中监控参数的功能，如扭矩、角度、时间等，另外要满足精度和过程能力的要求，目前拧紧工具精度大多可达到 5% 及以上，最后要满足产能和成本的要求

拧紧枪的种类（按精度等级划分）：

a) 带扭矩/角度传感器进行直接测量的电动拧紧枪（精度±5%）

CP-DESOUTTER: CVI2, CVI3ATLAS COPCO: TENSOR S, TENSOR ST

b) 带电子检测装置对扭矩进行间接测量的电动拧紧枪（精度±7.5%）、CP-DESOUTTER: CVIC, CVIC2、ATLAS COPCO: TENSOR DL, TENSOR DS

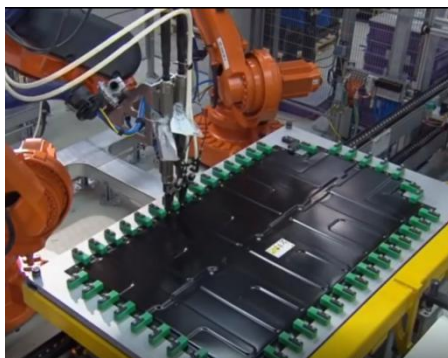
c) 不带任何检测装置的电动或气动拧紧枪（精度±12.5%）



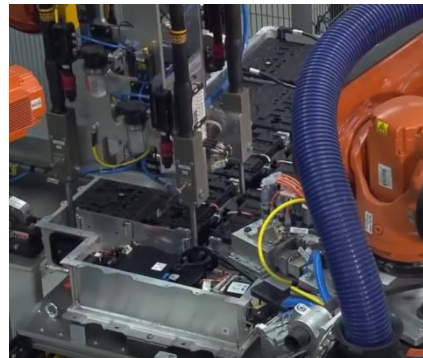
图 66 拧紧设备图示

拧紧操作方式

主要有手动/半自动拧紧和自动拧紧，其中手动/半自动拧紧需要主要人员操作手法对拧紧效果的影响，操作时正确握紧工具，避免超幅度摆动歪斜；自动拧紧由完全设备完成，如图 67 所示，在选择设备和工艺时需要根据产品的特点，灵活选择单轴或多轴拧紧方式，送料方式等，设置合理的拧紧参数。



a) 双轴拧紧



b) 四轴拧紧

图 67 电池系统中螺栓拧紧技术的应用

紧固技术虽然应用已久，有传统螺栓连接，也不乏有一些新颖的紧固技术不断出现，但即使是传统的紧固连接工艺中需要考虑和控制的因素也很多，需要全面严格的管控，避免不良。

扭矩检查方法

a) 松开法：将拧紧的螺栓用扭矩扳手松开，读出松开时的瞬时值

b) 紧固法：即对已经拧紧的螺栓用扭矩扳手沿螺栓的拧紧方向再施加一个逐渐增大的扭矩，直至螺栓再一次产生拧紧运动，读出此时的瞬时值，现在生产现场多使用此种方法（角

度越小越好，一般在 10° 左右）。

C) 标记法：即对已经拧紧螺栓的拧紧位置做一个标记，将螺栓拧松之后再拧紧到原来位置时的扭矩值。

6.2 下线测试 (EOL)

下线检测是在产线终端对产品出厂前进行的测试，包括机构组装、电气安规性能、BMS 通信、内部电气部件逻辑、绝缘性能、电池电压和温度是否正常等等。下线检测具有两大功能：一是发现产品质量问题并解决问题，剔除不良品；二是对产品质量给出客观评价。

作为电动汽车核心部件，动力电池系统产品的质量至关重要，目前在生产线上批量生产，产品的良率控制在较好的水平，仍需开展下线检测，诸如安全性能、电性能等的测试。只有通过下线测试的产品，完成对电池系统的电气部件、开关、线束、水冷管路、BMS 进行检测，才能继续安装在电动车上服役使用，从而避免将故障延伸到客户。

6.2.1 模组下线检测

模组级别的下线检测需要满足安规、性能和尺寸要求，模组级别安规性能要求高于电池系统级别，避免不合格模组进入到下一生产流程，导致返工。

模组下线检测内容见表 41。

表 41 模组下线检测内容

测试项目	测试目的	测试等级	测试方法	判定标准
模组开路电压	检测模组电压是否在允许范围内	必测	利用多功能电表测量模组的开路电压	$V_{min} \geq$ 电池来料串联总压（未做任何充放电时）
模组单体电芯电压	模组单体电芯一致性是保证电池系统一致性的前提	选测	利用测试工装测量模组各电芯开路电压，并确认各电芯之间的压差小于固定数值	$\leq 10mV$ （未作任何充放电时）
模组内阻	检测模组内阻是否在允许范围内	选测	利用内阻测试仪测量模组总正/总负之间的内阻值	\leq 产品特性决定（常温下）
绝缘电阻	检测模组高压回路与模组外壳是否绝缘异常	必测	测试正/负极分别与壳体之间绝缘阻抗值，500 VDC，5s	$\geq 500M\Omega$
耐压测试	检测模组高压回路和外壳之间电气间隙是否满足要求	必测	测试总正对壳，总负对壳，测试电压 2750VDC（建议值），5s 1. 耐压机正对模组正，耐压机负对壳； 2. 耐压机正对模组负，耐压机负对壳； 3. 耐压机负对模组正，耐压机正对壳； 4. 耐压机负对模组负，耐压机正对壳。	$\leq 1mA$
模组 DCR	检测模组高压回路 DCR 是否在范围内	选测	测试模组直流阻抗，确认功率性能和连接状况。室温情况下，1.0C 放电 12s，计算第 10s 的 DCR	\leq 产品特性决定（常温）

				下)
模组尺寸	检查模组外形尺寸和固定孔位是否在规格范围内	必测	用卡尺测量模组外形尺寸和模组固定孔位是否满足要求并在误差允许范围内	产品特性决定
模组外观	检查模组外观是否有漏液、绝缘层破裂等外观不良	必测	人工检查模组外观包括模组底板是否有外观不良问题	无绝缘膜破损、无绝缘膜起翘，无电芯漏液，表面无污渍

6.2.2 电池系统下线检测

电池系统级别的下线检测更多的涉及功能方面的测试，如表 42 所示。

表 42 电池系统下线检测内容

测试项目	测试目的	测试等级	测试方法	判定标准
高压短路测试	在上电前确保高压端口没有短路故障	必测	测量正/负极分别与壳体（地）之间是否存在短路	$\geq 5M\Omega$
绝缘测试	检测整个高压回路与箱体间是否绝缘异常	必测	测量正/负极分别与壳体（地）之间绝缘阻抗值。1000VDC, 5s	$\geq 5M\Omega$
耐压测试	模拟充电时电网对高压回路和箱体间电气间隙和元器件是否满足要求	必测	有输出的情况下, 关闭绝缘监测功能, 测试总正对壳, 总负对壳, 测试电压 2750VDC, 5s 1. 耐压机正对电池系统正, 耐压机负对壳; 2. 耐压机正对电池系统负, 耐压机负对壳; 3. 耐压机负对电池系统正, 耐压机正对壳; 4. 耐压机负对电池系统负, 耐压机正对壳。	漏电流 $\leq 1mA$
通信检测	软件/版本等 BMS 参数是否正常	必测	连接 A-CAN 和调试 C-CAN, 看是否有通信	有数据上传
电池系统-OCV 检测对比	BMS 检测数值与实测数值做比较, 判断测量精度是否在正常范围内	必测	测试输出电压与 BMS 侦测 V_{out} 的差值 $\Delta U1$	$-1V \leq \Delta U1 \leq +1V$
单体 OCV 检测	检测所有电芯数据是否正常	必测	通过 BMS 检测所有电芯电压	$V_{min} \geq$ 电芯来料电压 (未做任何充放电时)
单体压差检测	检测整个电池系统电压一致性是否满足要求	必测	通过 BMS 检测所有电芯电压值, 并比较最大值与最小值的差值	$\leq 10mV$ (未做任何充放电时)
温度检测	检测所有温度数据是否正常	必测	通过 BMS 检测所有电芯温度值	温度数据上报正常
温差检测	检测整个电池系统温度一致性是否满足要求	必测	比较 BMS 检测最大值与最小值的差值	\leq 温度探头精度 (未做任何充放电时)
BMS 绝缘检测	检测绝缘检测功能和读取系统绝缘阻值	必测	开启绝缘监测功能, 读取系统绝缘阻抗值	$\geq 2.5M\Omega$
预充电回路测试	检验预充电模式是否工作正常	选测	闭合预充电回路, 通过 CAN 读取预充状态	预充电完成
充电模式测试	模拟充电模式是否工作正常	选测	模拟充电枪、充电机信号	进入充电模式
加热功能测试	检验加热模式是否工作正常	选测	闭合加热继电器, 通过 CAN 能够读取到加热电流	进入加热模式
DCR 测试	检测整个高压回路 DCR 是否在范围内	必测	测试电池系统直流阻抗, 确认功率性能和连接状况。室温情况下, 3.0C 放电 12s, 计算第 10sDCR	\leq 产品特性决定 (常温下)
电流测试	电流精度和电流方向检验	必测	1. 档充放电电机不工作时, 检测 BMS 的零点电流是否正确; 2. 档充放电电机正常工作时, 检测 BMS 的电流与充放电机的电流方向是否一致 3. 检测 BMS 的电流值与实测值差值 (50ADC,	1, 零点电流 0 2, 在充放电过程中, 对比充放电机的电流与 BMS 的电流, 两

			5s , 100ADC, 5s)	者相差≤霍尔传感器精度
均衡诊断测试	模拟均衡模式是否工作正常	选测	发送均衡指令, 检验均衡状态	均衡功能正常
气密性测试	模拟 IP67 测试电池系统密封性能	必测	给电池系统箱体灌入气体, 达到一个固定气压值关闭气阀, 在规定的时间内通过气压表监控电池系统箱体气压泄漏量	泄漏量在规定值以内
	测试热管理系统的密封性能 (液冷或直冷)	必测	给热管理系统灌入气体, 达到一个固定气压值关闭气阀, 在规定的时间内通过气压表监控热管理系统气压泄漏量	泄漏量在规定值以内
容量测试	检测电池系统容量是否满足产品规格要求	抽测	<ol style="list-style-type: none"> 1. 静置: 1min; 2. 放电: 0.5C 放电, 单体保护电压限制; 3. 放电: 0.2C 放电, 单体保护电压限制; 4. 静置: 30min; 5. 充电: 0.5C 充电, 单体保护电压限制; 6. 充电: 0.2C 充电, 单体保护电压限制; 7. 静置: 30min; 8. 重复步骤 2~4; 9. 结束(以上参数根据电芯自身和产品性能决定) 	≥产品额定容量
SOC 调整	满足客户出货容量要求	必测	<p>充电: 0.5C 充电对应容量时间</p> <p>保证电池系统出货容量大于等于客户指定容量 (如设置 50%SOC)</p>	≥产品出货容量