

DB4403

深圳市地方标准

DB4403/T XXX—XXXX

锂离子电池储能系统功能安全规范

Functional safety specification for lithium ion battery energy storage
system

(送审稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

深圳市市场监督管理局 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 功能安全目标 2

5 功能安全设计验证 3

6 风险分析 5

7 功能安全保障措施 6

8 安全信息提示 8

附录 A（资料性） 功能安全目标确认示例 9

附录 B（资料性） 串并联电路模型计算可靠性示例 10

附录 C（资料性） 安全测试项目 11

附录 D（资料性） 故障树分析示例 12

附录 E（资料性） 消防通风及水系统 13

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的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。

本文件由深圳市科技创新局提出并归口。

本文件起草单位：欣旺达电子股份有限公司、中国人民财产保险股份有限公司、深圳海辰储能科技有限公司、深圳古瑞瓦特新能源有限公司、深圳市比亚迪锂电池有限公司、深圳市今朝时代股份有限公司、清华大学深圳国际研究生院、深圳市环境科学工程技术中心有限公司、深圳市电源技术学会、广州天溯检测科技有限公司、纽安捷能源技术（北京）有限公司、禹创半导体（深圳）有限公司、启垠科技（深圳）有限公司、比亚迪汽车工业有限公司、深圳永泰数能科技有限公司、深圳普瑞赛思检测科技股份有限公司、深圳市欣旺达能源科技有限公司、东莞新能源科技有限公司、广州特种设备检测研究院/国家防爆设备质量检验检测中心（广东）、交通运输部水运科学研究所、中国矿业大学深圳研究院、深圳市标准技术研究院、深圳市科陆电子科技股份有限公司、宁德新能源科技有限公司、中国质量认证中心有限公司。

本文件主要起草人：梁锐、卫冰原、管伟、陈朝阳、郭瑞霞、李世彩、吴业文、李卫东、陈敏、林伟杰、李宝华、林晓倩、谢玉轩、杨元金、杜镇源、杨智博、梁峻、许辽、于泽华、王飞飞、王董、唐政、卢燕、黎庭、徐智慧、蔡升云、冯国芳、陈海防、谢春健、杜文龙、李媛红、石桥、王敏、陆志刚、田启航、田垚、倪震楚、李淳伟、黄萍、孙亭亭、陈昱、张哲旭、孟晶晶、姚楠、林丽霞、刘伟。

锂离子电池储能系统功能安全规范

1 范围

本文件规定了锂离子电池储能系统的功能安全目标、功能安全设计验证、风险分析、功能安全保障措施和安全信息提示的要求。

本文件适用于户用储能、商业和工业储能、电网储能等锂离子电池储能系统的功能安全验证。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 4888 故障树名词术语和符号
- GB/T 7829 故障树分析程序
- GB/T 16855.1—2008 机械安全 控制系统安全相关部件 第1部分：设计通则
- GB/T 20438.1—2017 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全 第1部分：一般要求
- GB/T 20438.4—2017 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全 第4部分：定义和缩略语
- DL/T 2528 电力储能基本术语
- SJ/T 11798 锂离子电池和电池组生产安全要求

3 术语和定义

DL/T 2528和GB/T 20438.4界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

锂离子电池储能系统 lithium ion battery energy storage system

由锂离子电池组、电池管理系统、能量管理系统、储能变流器、监控系统、继电保护和安全自动装置、计量系统以及相关辅助系统等设备构成，能够独立实现电能存储、转换及释放功能的系统。

3.2

交叉审核 cross verification

在功能安全设计与验证过程中，对硬件、软件、系统等项目采取由不同人员或两种诊断方法进行验证的活动。

3.3

安全完整性等级 safety integrity level, SIL

一种离散的等级（四个可能等级之一），对应安全完整性量值的范围。安全完整性等级4是最高的，安全完整性等级1是最低的。

注1：锂离子电池储能系统四个安全完整性等级对应的目标失效量按照GB/T 20438.1-2017中表3的规定。

注2：安全完整性等级用于规定分配给E/E/PE安全相关系统安全功能的安全完整性要求。

注3：安全完整性等级（SIL）并非系统、子系统，组件或元器件的属性。对“SIL n 安全相关系统”（ $n=1、2、3、4$ ）的正确解释是系统具有支持安全功能的安全完整性等级达到 n 的潜在能力。

[来源：GB/T 20438.4—2017，3.5.8，有修改]

3.4

所需性能等级 required performance level, PL

每种安全功能为达到所需的风险减小所采用的用于规定控制系统安全相关部件在预期条件下执行安全功能的离散等级。

注1：所需性能等级按照性能等级分为五类，在GB/T 16855.1-2008的表3中规定。

注2：所需性能等级与安全完整性等级均为表征功能安全目标的方式，两者对应关系见表1。

注3：供需双方按照相互协商的原则确定功能安全目标的表征参数，所需性能等级与安全完整性等级具有一致性。

[来源：GB/T 16855.1—2018，3.1.24，有修改]

4 功能安全目标

4.1 一般要求

4.1.1 供需双方宜根据储能系统的类型、使用环境、装机容量、设计寿命及事故后果严重程度等要素，确定锂离子电池储能系统的功能安全目标。

注1：功能安全目标的确定需要供需双方根据实际情况综合考虑各项要素。

注2：附件A给出了根据设计寿命确定锂离子电池储能系统功能安全目标的示例。

注3：锂离子电池储能系统按用途分为户用储能、商业和工业储能、电网储能；按形式分为电箱式、预制舱式、电站式储能系统。

4.1.2 功能安全目标的设定宜由安全完整性等级或所需性能等级表征。

4.1.3 由安全完整性等级表征的功能安全目标应符合 GB/T 20438.1 的要求；由所需性能等级表征的功能安全目标应符合 GB/T 16855.1 的要求。

4.2 残余风险失效概率

应按照表1将功能安全目标转换为残余风险失效概率。

表1 功能安全目标与残余风险失效概率的对应关系

功能安全目标		残余风险失效概率 (h^{-1})	
安全完整性等级 ^a	所需性能等级 ^b	最小值	最大值
——	a	10^{-5}	——
1	b, c	10^{-6}	10^{-5}
2	d	10^{-7}	10^{-6}
3	e	10^{-8}	10^{-7}
4	——	10^{-9}	10^{-8}
^a 安全完整性等级按 GB/T 20438.1 分类，残余风险失效概率对应 GB/T 20438.1 中高要求或连续运行模式下安全功能的每小时危险失效平均频率。			
^b 所需性能等级按 GB/T 16855.1 分类，与安全完整性等级之间的关系见 GB/T 16855.1—2008 中表 3。			

4.3 特定要求

功能安全目标的确定不应低于以下特定要求：

——安全完整性等级 1 级目标：品质级别的异常缺陷；

——安全完整性等级 2 级目标：预制舱式储能系统遇到撞车等异常情况断电时间小于 0.1 s；

- 安全完整性等级 3 级目标：储能系统表面温度不超过 100 ℃；
- 安全完整性等级 4 级目标：储能系统释放到环境的可燃蒸气不超过爆炸下限的 10%。

4.4 确定方法

- 4.4.1 确定功能安全目标时，应基于电路类型和安全冗余情况计算可靠性和失效概率。
- 4.4.2 宜将串联电路转换为并联电路实现安全冗余，将单点失效转变为多点失效以降低失效概率，参照附录 B 的示例。
- 4.4.3 应通过交叉审核机制实施安全冗余的验证。进行交叉审核时，应保证每项设计方案都配备相应的验证方案，每份测试计划制定配套的验证计划。

5 功能安全设计验证

5.1 一般要求

- 5.1.1 应制定锂离子电池储能系统在设计阶段、制造阶段及售后服务阶段的功能安全设计验证方案和计划。
- 5.1.2 应按图 1 流程设计验证锂离子电池储能系统功能安全。

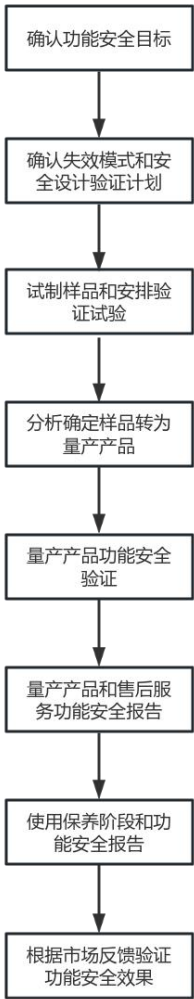


图 1 锂离子电池储能系统功能安全设计验证流程图

5.2 设计阶段

5.2.1 设计阶段功能安全验证工作应至少包括以下内容：

- a) 收集并分析系统需遵循的安全法规和标准，制定功能安全验证要点清单；
- b) 按第4章的要求确定功能安全目标；
- c) 根据特定系统运行环境、装机规模和使用频度等修订功能安全目标；
- d) 分析系统确定受控设备、控制系统及安全相关系统；
- e) 按6.2的要求分析系统结构、外部事件、事件类型和其他设备系统等，建立故障树模型，确定顶事件、中间事件、底事件、基本事件及事件概率；
- f) 按5.4的要求确定质保期内售后服务内容（项目、要求、频次等），包括但不限于检测、保养、更换等；
- g) 对a)～f)开展交叉审核；
- h) 试制样品并实施试验验证。

5.2.2 设计阶段功能安全验证应协调商业秘密保护和技术文档完整性，验证工作应确保产品说明书与售后技术服务规范满足功能安全目标。

5.2.3 对于电网储能系统应设置具备监测和预警功能的远程监控系统；对于小型储能系统，宜设置具备监测和预警功能的远程监控系统。

5.3 制造阶段

制造阶段功能安全验证工作应至少包括以下内容：

- a) 通过验证和修改系统原型，更新故障树分析模型和验证测试报告；
- b) 样品制造和测试，根据测试结果调整技术文档，形成产品的成套技术文档；
- c) 实施内部审核或客户审核，确认量产设计；
- d) 对首批量产产品开展故障树分析，并评估售后服务阶段故障树分析的适用性；
- e) 交叉审核故障树分析和验证测试结果；
- f) 量产产品质量的持续监督，若出现影响功能安全的产品品质波动和管理变更，立即更新故障树分析模型，并开展新的分析和验证测试工作；
- g) 当产品不满足功能安全目标时，应中止生产，必要时召回产品；
- h) 设计优化产品，并按照5.2.1和5.3中a)～g)重新开展验证工作；
- i) 完成产品功能安全的检验报告；
- j) 发布功能安全报告产品说明书。

5.4 售后服务阶段

5.4.1 功能安全设计验证应考虑以下售后服务内容：

- 售后阶段涉及的可检测、可维修、可更换部件的非整体报废服务；
- 预设的售后服务计划，包括检测、保养及更换易耗品等内容；
- 识别售后服务的不适宜项目，如优化拆装点、检测点等；
- 确定低寿命部件的更换方式，是否纳入易耗品清单；
- 持续量产出货期间，持续分析产品品质表现，优化售后服务计划；
- 售后服务的网点布局、分工。

5.4.2 售后服务阶段功能安全验证工作应至少包括以下内容：

- a) 开展用户安全告知，沟通售后服务内容；
- b) 执行检测、保养、更换等售后服务，记录售后服务信息；
- c) 如有，获取并分析远程监控数据，开展售后服务并记录服务信息；

- d) 根据售后服务信息，结合最新技术、行业案例，更新故障树模型；
 - e) 更新故障树分析，验证产品是否符合功能安全目标；
 - f) 开展交叉审核，确保功能安全验证结果的准确性。
- 5.4.3 锂离子电池储能系统供应商应按需执行召回行动，通过更换等方式使召回产品重新达到功能安全目标。

6 风险分析

6.1 数据获取

- 6.1.1 应开展锂离子电池单体、电池模组、电池簇、电池储能系统安全测试获得风险分析的相关数据，安全测试项目参见附录 C。
- 6.1.2 对制造商提供的数据，应要求其提供数据来源并分析数据的有效性。
- 6.1.3 制造商自研的测试项目及测试数据，用于预期使用场景的风险分析前，其适用性应得到系统使用方的认可，必要时可邀请第三方专业机构参与论证数据的适用性。
- 6.1.4 来自同类案例、第三方数据库或行业专家经验的数据，应进行数据适用性和有效性验证，并得到系统使用方认可。

6.2 失效模式分析

- 6.2.1 应识别系统起火、爆炸、触电等事故场景及失效模式，建立故障树分析模型。
- 6.2.2 典型事故场景及失效模式包括但不限于以下：
- a) 电池火焰或高温气体喷溅点燃可燃物；
 - b) 电池热失控释放的气体在密封空间聚积发生气体爆炸；
 - c) 电池泡水后，残留水分引发电极电解金属膜，逆变器短路引发触电；
 - d) 因温度剧烈变化产生冷凝水或电池本身泄露电解液，造成电池内部电解金属膜短路，搭接电池外壳和极柱造成电池电解液破损泄露或产生气体；
 - e) 电网谐波造成电路板控制逻辑失效或错误动作，造成金属-氧化物半导体场效应晶体管（MOS管）导通不关闭等。
- 6.2.3 应用故障树开展失效模式分析应识别基本事件和/或底事件，并获取各类事件的相关数据，如失效概率等。

6.3 残余风险计算

- 6.3.1 应用故障树分析验证功能安全目标时，分析程序应符合 GB/T 7829 的要求，故障树分析符号应符合 GB/T 4888 的要求。
- 6.3.2 故障树分析项事件下的中间事件宜分为出厂验证阶段、售后服务阶段事件；出厂验证阶段事件宜分解为风险发生事件、诊断连锁抑制事件、风险消除事件至少三方面的中间事件，并向下分解中间事件直到基本事件。分析示例参见附录 D。
- 6.3.3 宜采用布尔代数等工具简化故障树分析模型，识别影响功能安全目标的主要失效事件，宜通过增加安全诊断覆盖率等，降低失效概率。

注：对失效概率极低，如低几个数量级的事件，不进行展开分析。

- 6.3.4 残余风险失效概率的计算应基于所获取的有效数据和故障树分析模型，必要时可邀请第三方专家参与。

6.4 补充安全措施

6.4.1 若按 6.3 计算的残余风险失效概率不满足功能安全目标，应补充安全措施直至残余风险失效概率满足功能安全目标。

6.4.2 选择补充安全措施时，宜综合考虑事件概率重要度、失效概率及经济性指标等因素，宜优先使用软件控制措施降低残余风险。

6.4.3 补充安全措施后应按第 5 章要求重新验证，并更新故障树分析模型及验证测试方案。

6.5 残余风险再次核算

更新故障树分析模型及所获取的有效数据后，应按 6.3 的要求再次核算残余风险。

6.6 风险确认

风险分析后宜将风险分析的过程和结果形成完整报告，并通过备案或公证等方式，确认风险辨识全面性、风险控制措施有效性及残余风险可接受性。

注：公证方式包括制造商和客户达成的交叉审核确认，或制造商聘用专业第三方评估认可等。

6.7 文档管理

6.7.1 应保存系统设计、制造和售后服务阶段功能安全验证的相关资料，包括但不限于：

- 设计资料及变更记录；
- 事故场景及失效模式；
- 故障树分析模型及变更记录；
- 测试方案和计划；
- 测试项目及适用性、测试数据及来源有效性论证资料；
- 交叉审核记录；
- 产品说明书；
- 风险分析报告。

6.7.2 风险分析报告和产品说明书在系统整个寿命周期内应便于获取。

7 功能安全保障措施

7.1 一般要求

应建立包括设计、制造、运输、存储、运行、维护的功能安全管理体系，并明确各阶段功能安全保障措施。

7.2 设计阶段

7.2.1 设计冻结时应编制系统制造工艺文件，明确系统设计功能安全保障措施及重点工艺控制标准、制造要求等内容。

7.2.2 设计冻结时应完成保障功能安全的关键项的评估，明确经销商、运输商、最终用户需要配套的技术说明及专业安装人员的要求。

7.2.3 设计冻结时发布的产品说明书应包括系统的介绍、运行、存储、安全环保警示、需要的培训、售后服务等内容。

7.3 制造阶段

7.3.1 应制定合理的工艺路线，确保满足设计时的功能安全目标。

7.3.2 应建立全面的质量管控体系，不合格产品不应流入市场。

7.3.3 应建立可追溯的产品返修和报废控制流程。

7.3.4 产品质量验证应符合功能安全验证需要，通过测试项目和测试数据跟踪产品安全风险水平，安全风险升高时，应及时查找原因，并采取控制措施。

7.4 运输阶段

7.4.1 陆地或海运的电池荷电状态不应高于 70%，航空运输的电池荷电状态不应高于 30%。

7.4.2 应分析运输中存在的风险及控制措施，采用合规的包装方式进行运输。

7.4.3 电池单体宜采用的包装方式如下：

——少量电池用结实的木箱或胶箱运输；

——非专车运输的堆垛，使用泡沫、空纸箱等填充物充满堆垛上方至车辆顶部的空间，堆垛四周用纸皮等材料防护并固定。不应混放其他货物在堆垛上；

——运输的专车应设置海关锁，超过 800 km 的长途运输应在堆垛间加防护气袋进行固定。

7.4.4 电池储能系统宜采用的包装方式如下：

——采用纸箱或木箱包装，依靠电池储能系统结实的外壳，并辅以缓冲材料；

——非专车运输的少量堆垛使用纸箱外壳、泡沫、空纸箱等填充物充满堆垛上方至车辆顶部的空间，堆垛四周用纸皮等材料防护并固定。不应混放其他货物在堆垛上。

7.4.5 属于丙类物质的电池应使用封闭式车厢的厢式车辆运输不应使用平板车、敞篷车运输。

7.4.6 运输车辆宜携带水桶、喷雾器、水基型灭火装置、灭火毯等消防器材。

7.4.7 出货资料中应包含安全运输的培训内容，货物外包装应设置安全提示，宜具备扫码在线学习功能。

7.4.8 运输人员应通过电池消防灭火培训并考核合格后方可上岗。

7.5 存储阶段

7.5.1 锂离子电池和电池储能系统的荷电状态不宜超过 70%。

7.5.2 仓库存放锂离子电池、锂离子电池储能系统时，应专库储存，不应和其他危险化学品混放。

7.5.3 锂离子电池、锂离子电池储能系统应符合 SJ/T 11798 的要求，功能安全达标的锂离子电池、锂离子电池储能系统存放在丙类仓库。存在安全缺陷的锂离子电池、锂离子电池储能系统应在甲类仓库存放。

7.5.4 仓库的电线应穿管布线，不应乱拉电线和超负荷使用排插，并设置防鼠设备。

7.5.5 存储仓库应计算电池燃烧的产烟量、需要的抽风量、爆炸半径，并核算风机的抽风量、房间间隔距离、样本存储容器尺寸等。抽风量、爆炸半径的计算参见附录 E.3。

7.5.6 仓库应安装机械通风系统，其作用区域的风速不应低于 0.5 m/s，参见附录 E。

7.5.7 应保持足够的通风量和适当的抽风排烟距离，计算通风稀释能力，减低释放可燃气体的浓度。可燃气体的浓度不超过其爆炸下限的 10% 的区域为安全区域。

7.5.8 仓库应配置以水为主的灭火器材，包括但不限于：泡水桶和坩埚钳、泡水池、喷雾器、洗车器、橡胶水管、消防软管卷盘、消防水带、消防水枪、水基型灭火器材。

7.5.9 仓库外非正在装卸的车辆，宜与仓库保持至少 6 m 的安全间距。

7.5.10 仓库内锂离子电池搬运作业时不应损坏电池。作业人员应掌握水基灭火器等消防器材扑灭锂离子电池火灾的技能。

7.6 运行阶段

7.6.1 应建立功能安全定期验证制度，并根据验证结果进一步制定安全措施。

7.6.2 应按照系统的设计要求规范使用产品，不应过度放电和充电。

7.7 维护阶段

7.7.1 不能维护或维护风险高的锂离子电池和电池储能系统应予以报废处理。

7.7.2 选用泡水处理进行报废处理的，应与客户沟通并协商一致后方可进行。泡水处理可采用以下方案：

- a) 使用质量分数为 5%的盐水持续浸泡锂离子电池或使用自来水持续浸泡锂离子电池储能系统；
- b) 刺破电池使水进入电池内部，电池反应完毕后继续泡水 2 h 后沥干；
- c) 使用质量分数为 5%的盐水持续锂离子电池，检测电池电压低于 2.5 V，沥干处理。

8 安全信息提示

8.1 锂离子电池储能系统应随附产品说明书。产品说明书中应注明使用和维护内容、用户操作规范、禁止行为清单，明确应由专业售后服务团队完成的工作事项。

8.2 应通过产品说明书、网页、微信等多种沟通途径，向相关方传递使用、维护信息。

8.3 应向物流仓储人员传递安全信息，宜开展在线培训和考试。

附录 A
(资料性)
功能安全目标确认示例

A.1 根据设计寿命确定功能安全目标

根据设计寿命确定功能安全目标的计算方法参照式(1)：

$$\lambda = \frac{N_{\text{target}}}{Q \times T_{\text{life}} \times 8760} \tag{A.1}$$

式中：

- λ —— 单机每小时失效概率 (h^{-1})；
- N_{target} —— 目标失效次数 (无量纲)；
- Q —— 产品出货总量 (台)；
- T_{life} —— 设计寿命 (年)；
- 8760 —— 年小时数换算系数 (365天/年 \times 24 h/天)。

示例 1：

销售 40 万台电池储能系统，合同质保期为十五年（设计寿命）不出现起火事故，不考虑中途加速损坏阶段。即 $Q=4 \times 10^5$ 、 $T_{\text{life}}=15$ 年、 $N_{\text{target}}=1$ 时：

$$\lambda_1 = \frac{1}{4 \times 10^5 \times 15 \times 8760} = 1.9 \times 10^{-11} \text{h}^{-1}$$

若电池储能系统在全生命周期发生 0.1 次失效，即当调整 $N_{\text{target}}=0.1$ 时：

$$\lambda_1' = \frac{0.1}{4 \times 10^5 \times 15 \times 8760} = 1.9 \times 10^{-12} \text{h}^{-1}$$

示例 2：

销售 20 万台电池储能系统，合同质保期为十年（设计寿命）不出现起火事故，不考虑中途加速损坏阶段。即 $Q=2 \times 10^5$ 、 $T_{\text{life}}=10$ 年、 $N_{\text{target}}=1$ 时：

$$\lambda_2 = \frac{1}{2 \times 10^5 \times 10 \times 8760} = 5.7 \times 10^{-10} \text{h}^{-1}$$

若电池储能系统在全生命周期发生 0.1 次失效，即当调整 $N_{\text{target}}=0.1$ 时：

$$\lambda_2' = \frac{0.1}{2 \times 10^5 \times 10 \times 8760} = 5.7 \times 10^{-11} \text{h}^{-1}$$

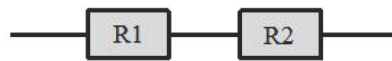
附录 B

(资料性)

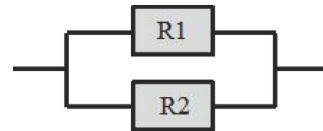
串并联电路模型计算可靠性示例

B.1 原理

串联、并联电路模型是用来理解可靠性的方法，将串联电路改为并联电路能提升系统可靠度和降低系统失效概率，如图B.1所示。



(a) 串联电路模型



(b) 并联电路模型

图 B.1 串联电路和并联电路可靠性模型

示例：

若单个元件的可靠度 R 为 0.9，则单个元件的失效概率 F 为 0.1。

当采用串联电路模型时：

$$R_{cs} = R_1 \times R_2 = 0.9 \times 0.9 = 0.81$$

$$F_{cs} = 1 - R_{cs} = 1 - 0.81 = 0.19$$

当采用并联电路模型时：

$$F_{bs} = F_1 \times F_2 = 0.1 \times 0.1 = 0.01$$

$$R_{bs} = 1 - F_{bs} = 1 - 0.01 = 0.99$$

可见并联系统可显著改善系统的可靠性，降低系统失效概率。

附录 C
(资料性)
安全测试项目

C.1 锂离子电池或电池组的单个因素安全测试项目分为机械、环境和电气安全滥用测试，测试项目和参考测试标准见表 C.1。

表 C.1 单因素测试类型、项目及标准

安全测试类型	测试项目	测试标准
机械安全滥用测试	挤压	GB/T 36276—2023 5.6.2.1
	跌落	GB/T 36276—2023 5.6.2.2
	振动	GB/T 36276—2023 5.6.2.3
环境安全滥用测试	高温	GB/T 36276—2023 5.4.1
	低温	GB/T 36276—2023 5.4.2
	交变湿热性能试验	GB/T 36276—2023 6.7.3.2.
	盐雾	GB/T 36276—2023 5.6.3.1
电气安全滥用测试	短路	GB/T 36276—2023 5.4.1.1.4
	过充电	GB/T 36276—2023 5.4.1.1.1
	过放电	GB/T 36276—2023 5.4.1.1.2
	过载	GB/T 36276—2023 5.4.1.1.3
	绝缘	GB/T 36276—2023 5.4.1.1.5
	耐压	GB/T 36276—2023 5.4.1.1.6
	电路板静电	GB/T 17626.2—2018
	电磁干扰	GB/T 17626.2—2018

C.2 综合安全滥用测试项目通常包括 C.1 所述项目的组合测试，如高低温环境下振动台上的充放电测试等。

附录 D
(资料性)
故障树分析示例

D.1 家用电池储能系统故障树分析如图 D.1 所示。功能安全目标为表面温度不超过 100℃，系统设计目标为质保期 15 年的 40 万台家用电池储能系统在全生命周期内出现 0.1 次事故。

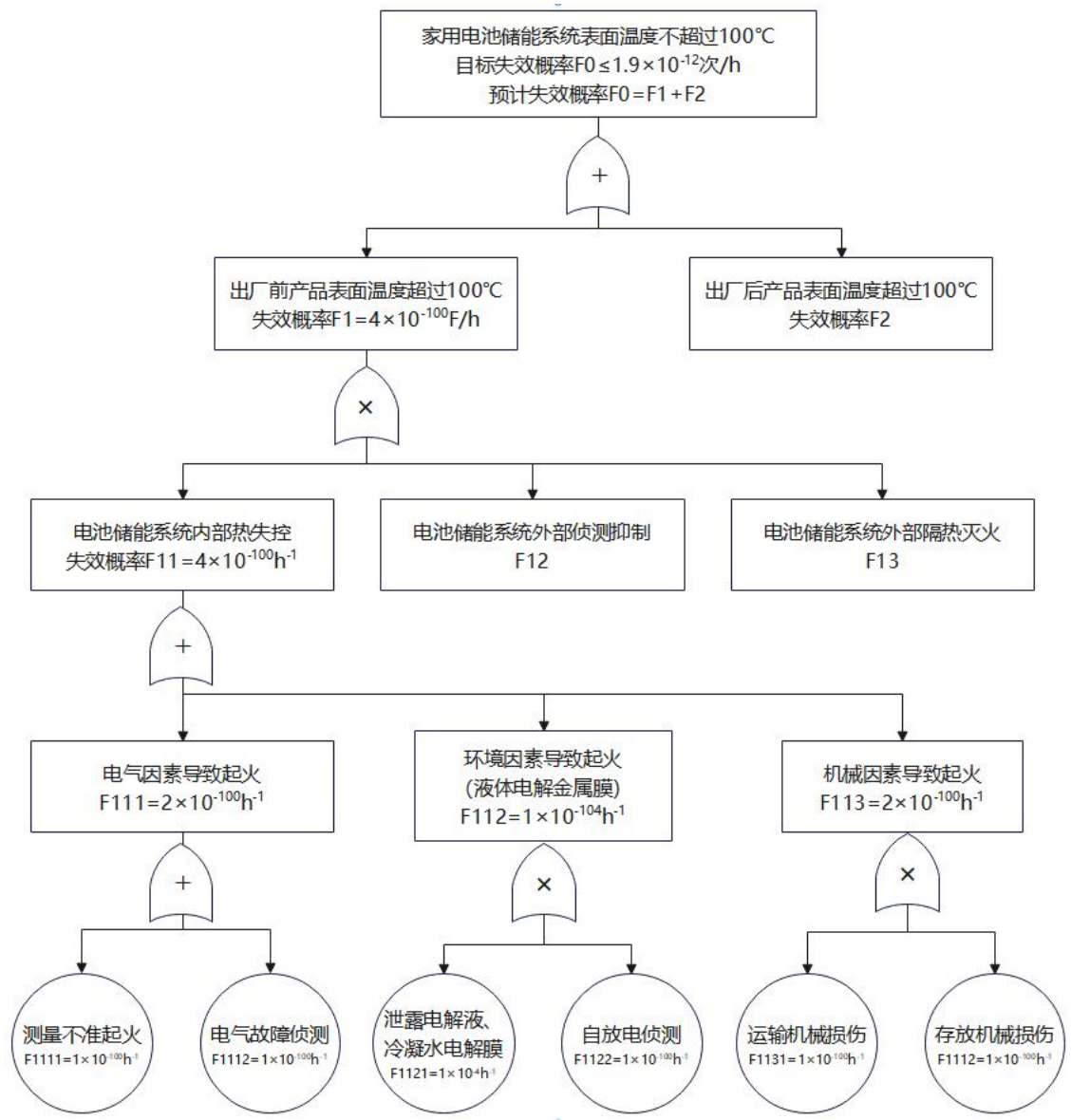


图 D.1 家用电池储能系统故障树分析模型

附录 E
(资料性)
消防通风及水系统

E.1 原理

通过通风、排烟将锂离子电池储能系统燃烧时产生的烟雾燃气浓度稀释至爆炸下限的10%以下，以此降低锂离子电池的燃烧速度。同时，将低电导率的水溶剂注入破损的锂离子电池，将活泼的锂硫化合物惰化为碳酸锂陶瓷，抑制锂碳化合物与其他物质发生反应。

E.2 技术要点

E.2.1 消防通风系统中，通风的技术要点如下：

- 鼓风、抽风相结合，打开门窗形成风道；
- 通风作用区域风速不低于0.5 m/s；
- 通风的作用距离为墙壁抽风5 m，汽油鼓风机室内30 m，伸缩管移动风机随管道长度宜60 m；
- 事故抽风的换气次数为12次/h，所需要的抽风量计算见E.3.2。

E.2.2 消防水系统中，水的技术要点如下：

- 用低电导率的清水、自来水、5%稀盐水、含水饮料灭火。不用高电导率的饱和盐水、泥浆水、化雪盐水灭火；
- 单位泡水量从大到小依次为泡水、定点射水、定点水雾、消防栓射水、喷淋系统喷水；
- 用水量为每50 000 Ah配9 L水或每500 m²配60 L水。

注：灭火过程中，防范用水触电。设备安装漏电开关，灭火时提前断电、接地。

E.3 计算方法

E.3.1 锂离子电池和电池组燃烧时产烟量计算公式如下：

$$V_{\text{gas}} = 800 \times N \times V_{\text{ele}} \times K \dots\dots\dots (E.1)$$

式中：

- V_{gas} ——产烟量，单位为立方米（m³）；
- N ——燃烧电池数量，单位为个；
- V_{ele} ——单个电池电解液体积，单位为立方米（m³）；
- K ——电池电解液燃烧比例，按快速灭火（3min以内）、中速灭火（3min~10min）、慢速灭火（超过10 min）的需求分别取0.2、0.5、0.8。

E.3.2 锂离子电池和电池组燃烧时需要的抽风量计算公式如下：

$$V_{\text{fan}} = 160000 \times N \times V_{\text{ele}} \times K \dots\dots\dots (E.2)$$

式中：

- V_{fan} ——需要的抽风量，单位为立方米（m³）；
- N ——燃烧电池数量，单位为个；
- V_{ele} ——单个电池电解液体积，单位为立方米（m³）；
- K ——电池电解液燃烧比例，按快速灭火（3min以内）、中速灭火（3min~10min）、慢速灭火（超过10 min）的需求分别取0.2、0.5、0.8。

E.3.3 锂离子电池和电池组燃烧时爆炸半径计算公式如下：

$$R = 2.9 \times W^{1/3} \cdots \cdots \cdots (E.3)$$

式中：
R——爆炸半径，单位为米（m）；
W——燃烧电池的电解液质量，单位为千克（kg）。

参 考 文 献

- [1] GB/T 16855.2—2015 机械安全 控制系统安全相关部件 第2部分：确认
 - [2] GB/T 17626.2—2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
 - [3] GB/T 20438（所有部分） 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全
 - [4] GB/T 34590（所有部分） 道路车辆 功能安全
 - [5] GB/T 36276—2023 电力储能用锂离子电池
-