



中国化学与物理电源行业协会
团体标准

T/CIAPS0002—2017

锂离子电池企业安全生产规范

Specification of lithium-ion battery enterprise safety production

2017年12月25日发布

2018年1月1日实施

中国化学与物理电源行业协会发布

目录

| | |
|--|----|
| 前 言..... | I |
| 标准名称..... | II |
| 1 范围..... | 1 |
| 2 规范性引用文件..... | 1 |
| 3 术语..... | 1 |
| 4 基本要求..... | 2 |
| 5 建筑安全设计规范..... | 2 |
| 5.1 厂区建筑物设计..... | 2 |
| 5.2 消防车道..... | 2 |
| 5.3 防火、防烟分区设计..... | 2 |
| 5.4 安全疏散..... | 7 |
| 5.5 防爆、泄压..... | 7 |
| 5.6 灭火系统..... | 8 |
| 5.7 排烟系统..... | 9 |
| 6 生产过程安全规范..... | 9 |
| 6.1 一般要求..... | 9 |
| 6.2 仓库安全管理..... | 9 |
| 6.3 配料系统..... | 10 |
| 6.4 涂布..... | 10 |
| 6.5 装配..... | 10 |
| 6.6 注液..... | 10 |
| 6.7 化成..... | 11 |
| 6.8 老化..... | 11 |
| 6.9 PACK 组装..... | 11 |
| 6.10 成品库..... | 12 |
| 7 电池测试..... | 12 |
| 附 录 A（资料性附录）主要物料和工艺的物质火灾特性分类支持标准条款和数据..... | 13 |
| 附 录 B（资料性附录）粉尘爆炸性测试及控制..... | 21 |
| 附 录 C（资料性附录）锂离子电池制造过程中常见火灾处置预案..... | 23 |
| 附 录 D（资料性附录）使用闪点和引燃温度、蒸汽浓度判断物质火灾风险的方法..... | 26 |

前 言

本标准根据 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

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。

本标准由中国化学与物理电源行业协会提出。

本标准规定了锂离子电池安全生产的基础要求，对建筑安全设计、生产过程安全、电池测试提出了安全规范，对主要物料和工艺的物质火灾特征进行了科学分类，采取措施降低风险等级。

本标准主要起草单位：

组长单位：天津力神电池股份有限公司

副组长单位（排名不分先后）：欣旺达电子股份有限公司、比亚迪股份有限公司、苏州宇量电池有限公司、中航锂电（洛阳）有限公司、深圳市比克动力电池有限公司、天津市捷威动力工业有限公司、惠州亿纬锂能股份有限公司。

成员单位：宁德时代新能源科技股份有限公司、江苏海四达电源股份有限公司、曙鹏科技（深圳）有限公司、惠州市豪鹏科技有限公司、微宏动力系统（湖州）有限公司、东莞塔菲尔新能源科技有限公司、多氟多化工股份有限公司、骆驼集团股份有限公司、上海德朗能动力电池有限公司、浙江南都电源动力股份有限公司、广州邦禾检测技术有限公司、东莞市迈科新能源有限公司、北京国能电池科技有限公司、深圳沃特玛电池有限公司、广州鹏辉能源科技股份有限公司、北京大学深圳研究生院新材料学院、合肥国轩高科动力能源有限公司、深圳普瑞赛思检测技术有限公司、深圳市全民安全生产研究院、深圳市公安局大鹏分局。

本标准主要起草人：秦兴才、许辉勇、张寿波、毛焕宇、韩冰海、刘付勇、伊炳希、桑田、陈朝阳、唐琛明、于立娟、韩晓辉、吴庆祝、李锋、邹海永、黄院军、陈瑶、郭锋、徐洪斌、赵玲、李志刚、饶睦敏、刘建生、潘锋、宫璐、肖修昆、张洪军、孙毅、刘彦龙、路慧。

本标准为首次制定。

锂离子电池企业安全生产规范

1 范围

本规范适用于锂离子电池工厂新建、改建、扩建的设计及生产过程；宜用于锂离子电池行业的安全评价、消防验收、职业卫生评价等活动。

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。凡是标注日期的引用文件，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 3836.1 爆炸性环境第1部分设备通用要求
- GB 3836.14 爆炸性环境第14部分场所分类爆炸性气体环境
- GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准
- GB 50016-2014 建筑设计防火规范
- GB 50057 建筑物防雷设计规范
- GB 50058 爆炸危险环境电力装置设计规范
- GB 50084 自动喷水灭火系统设计规范
- GB 50116 火灾自动报警系统设计规范
- GB 50140 建筑灭火器配置设计规范
- GB 50160 石油化工企业设计防火规范
- GB 50222 建筑内部装修设计防火规范
- GB 50611 电子工程防静电设计规范
- GB 50974 消防给水及消火栓系统技术规范
- AQ4272-2016 铝镁制品机械加工粉尘防爆安全技术规范
- AQ4273 粉尘爆炸危险场所用除尘系统安全技术规范
- GA/T 536.1-2013 易燃易爆危险品火灾危险性分级及试验方法

3 术语

3.1

锂离子电池 lithium ion cell

含有锂离子的能够直接将化学能转化为电能的装置。该装置包括电极、隔膜、电解质、容器和端子等，并被设计成可充电。

3.2

锂离子电池组 lithium ion battery

由任意数量的锂离子电池组合而成且准备使用的组合体。该组合体包括适当的封装材料、连接器，也可能含有电子控制装置。

3.3

荷电态 state of charge

锂离子电池使用或搁置一段时间后的剩余容量与其完全充电状态的容量的比值，常用百分数表示，简写用SOC表示。

3.4

涂布 coating

将浆料以一定的量均匀的涂到集流体上的过程。

3.5

化成 formation

激活电池活性物质，在电极表面形成致密稳定的SEI膜的电化学过程。通常指首次对电池充电的过程。

3.6

老化 aging

将化成后的电池在一定的环境（温度、气压）条件下存放一段时间，以筛选出劣质产品的过程。

4 基本要求

- 4.1 厂房和生产线的的设计能够合理利用空间，应满足电池生产流程和环保要求。
- 4.2 厂房和生产线的的设计满足消防安全的规定。
- 4.3 厂房和生产线的的设计充分考虑人员职业健康。
- 4.4 采用节能措施，回收再利用热能、电能等能源。
- 4.5 对于本规范未涉及的风险判定，行业协会宜组织锂离子电池行业专家专题研究、论证。

5 建筑安全设计规范

5.1 厂区建筑物设计

- 5.1.1 厂房和仓库应独立建造，不应设置员工宿舍。
- 5.1.2 化成分容车间应靠外墙设置，房间采用不发火花地面，并采取防静电措施。
- 5.1.3 厂区内建筑物间距应满足 GB 50016-2014《建筑设计防火规范》的要求。

5.2 消防车道

应满足GB 50016-2014《建筑设计防火规范》的要求。

5.3 防火、防烟分区设计

5.3.1 电池生产厂房、仓库等火灾危险性类别按照表 1 和表 2 界定，主要物料和工艺的物质火灾特性分类支持标准条款和数据见附录 A。

5.3.2 防火、防烟分区设计应满足 GB 50016-2014《建筑设计防火规范》要求。甲、乙类和丙、戊类的生产区域之间及中转仓库和其它生产部分应采用耐火极限不低于 2h 的防火隔墙和 1h 的楼板分割。

表 1 主要物料的物质火灾特征表

| 编号 | 物料类别 | 物料名称 | 危险性分类 |
|-----|------|---|-------|
| R01 | 原料 | 正极粉料：钴酸锂粉料、磷酸铁锂粉料、锂镍钴锰粉料 | 戊类 |
| R02 | 原料 | 负极粉料：石墨、硅碳复合材料、钛酸锂 | 戊类 |
| R03 | 原料 | 导电剂：碳粉 | 戊类 |
| R04 | 原料 | 金属材料：铜箔、铝箔、铜条、铝条、镍条、导电铜排铜软、铝镍复合带、铜镍复合带、不锈钢壳、铝壳、铝钉、铝框架、金属紧固件、金属底托板、SBR 胶液 | 戊类 |
| R05 | 原料 | 隔膜、胶带、铝塑膜、导线、电路板、PVDF 胶粒、CMC、NMP 溶剂、石墨烯浆料、碳纳米管浆料、树脂胶成分 | 丙类 |
| R06 | 原料 | 室温饱和蒸气压所对应的蒸气浓度小于 LEL 的电解液（混合物）。 满足条件：墙壁为不燃或阻燃材料，独立通风且联动烟雾或浓度，事故通风能力达到 12 次/小时 | 丙类 |
| | | 室温饱和蒸气压所对应的蒸气浓度小于 LEL 的电解液（混合物）。 缺乏条件：墙壁为不燃或阻燃材料，独立通风且联动烟雾或浓度，事故通风能力达到 12 次/小时 | 甲乙类 |
| R07 | 原料 | 低湿度车间使用的金属锂箔 满足条件：墙壁为不燃或阻燃材料，独立通风且联动烟雾或浓度，事故通风能力达到 12 次/小时 | 丙类 |
| | | 低湿度车间使用的金属锂箔 缺乏条件：墙壁为不燃或阻燃材料，独立通风且联动烟雾或浓度，事故通风能力达到 12 次/小时 | 甲类 |
| | | 锂粉、存储或车辆运输的金属锂带 | 甲类 |
| R08 | 原料 | 室温饱和蒸气压所对应的蒸气浓度大于 LEL 的电解液；喷码油墨；清洁用酒精；DMC； | 甲乙类 |
| R09 | 包装材料 | 卡板（不可燃材质） | 戊类 |
| R10 | 包装材料 | 纸皮、塑料盒、卡板（可燃材质） | 丙类 |

| | | | |
|--|-----|---|----|
| M01 | 半成品 | 水剂浆料：负极浆料、隔膜浆料、凹版水剂浆料 | 戊类 |
| M02 | 半成品 | 带涂层的金属箔材，正极极片，负极极片。 | 戊类 |
| M03 | 半成品 | 隔膜、带涂层的隔膜 | 丙类 |
| M04 | 半产品 | 极组、装入外壳的极组、注液未化成电池 | 丙类 |
| M05 | 成品 | 合格的锂离子电池，锂离子电池组 | 丙类 |
| M06 | 次废品 | 没有安全缺陷的次废品电池（含浸泡盐水后的电池） | 丙类 |
| | | 有安全缺陷的次废品电池（如安全测试后产品、运行发现的有安全缺陷产品、使用中破坏有安全缺陷的产品等） | 甲类 |
| 注：R代表原材料，M代表半成品，CMC羧甲基纤维素钠；SBR丁苯橡胶；PVDF聚偏氟乙烯；DMC碳酸二甲酯；NMP N-甲基吡咯烷酮；LEL爆炸下限简称，英文：Lower Explosive Limit。 | | | |

表 2 主要工艺的物质火灾特征表

| 编号 | 工艺 | 工艺描述 | 危险性分类 |
|-----|--------------------------|---|----------------------|
| P01 | 水溶剂搅拌（负极浆料、隔膜浆料、金属膜浆料搅拌） | 以水为主要溶剂（重量比例超过 10%）将其他戊类粉料、丙类胶粒溶剂混入制成浆料 | 戊类 |
| P02 | 水溶剂涂布 | 以水为主要溶剂的浆料涂布在基材上面且烘干形成极片 | 戊类 |
| P03 | 有机溶剂搅拌 | 以可燃有机溶剂为主（重量比例超过 30%）将其他戊类、丙类粉料颗粒溶解形成浆料；满足通风条件，能够确保低于爆炸下限浓度 5%LEL 时 | 丙类 |
| | | 以可燃有机溶剂为主（重量比例超过 30%）将其他戊类、丙类粉料颗粒溶解形成浆料；不满足通风条件，不能够确保低于爆炸下限浓度 5%LEL 时 | 依照闪点或超过闪点的工作温度，判断甲乙类 |
| P04 | 有机溶剂涂布 | 使用蒸气加热，将可燃有机溶剂为主的浆料涂布在基材上面且烘干形成极片。 | 戊类 |
| | | 使用导热油加热，将可燃有机溶剂为主的浆料涂布在基材上面且烘干形成极片 | 丙类 |
| | | 使用电加热工艺设备，采取防爆设计合格，房间浓度不超过 5%LEL 且房间温度低于闪点，将可燃有机溶剂为主的浆料涂布在基材上面且烘干形成极片 | 丙类 |
| | | 使用电加热工艺设备，不满足防爆要求和/或房间浓度超过 5%LEL，可燃有机溶剂为主的浆料涂布在基材上面且烘干形成极片 | 甲乙类 |

| | | | |
|-----|---------|---|-----|
| P05 | 辊压 | 在极片表面施加一定压力使厚度达到规格值的过程 | 戊类 |
| P06 | 分切 | 用机械切刀将极片分开为窄条 | 戊类 |
| P07 | 模切 | 将极片分开为有形状的极片，采用机械切割方式 | 戊类 |
| | | 将极片分开为有形状的极片，设备满足粉尘防爆要求的激光切割 | 丁类 |
| | | 将极片分开为有形状的极片，设备不满足粉尘防爆要求的激光切割 | 乙类 |
| P08 | 极组成型 | 将正极极片、负极极片、隔膜卷绕在一起形成极组或正极极片、负极极片、隔膜通过堆叠的方式形成极组 | 丙类 |
| P09 | 极组压实 | 将极组压实 | 丙类 |
| P10 | 软连接焊接 | 采用超声波、电阻焊接方式进行软连接焊接 | 戊类 |
| | | 采用激光焊接方式进行软连接焊接，激光焊接的除尘设备满足粉尘防爆要求 | 丁类 |
| | | 采用激光焊接方式进行软连接焊接，激光焊接的除尘设备不满足防爆要求 | 乙类 |
| P11 | 上支架入壳 | 用机械手将支架、极组装入电池壳中 | 丙类 |
| P12 | 顶盖焊接 | 采用激光焊接方式将顶盖和电池壳焊在一起，设备和除尘器满足粉尘防爆要求 | 丁类 |
| | | 采用激光焊接方式将顶盖和电池壳焊在一起，设备和除尘装置不满足防爆要求 | 乙类 |
| P13 | 软包装电池封装 | 采用加热的方式将极组与铝塑膜进行顶边和侧边封装的过程 | 丙类 |
| P14 | 真空烘烤 | 在真空炉/箱中一定温度下对未注液电池、隔膜、极片烘干 | 丙类 |
| P15 | 注液 | 干燥环境下向电池注入电解液，采取了独立通风、浓度监控、连锁，确保车间浓度 $\leq 5\%LEL$ ，事故换气次数 ≥ 12 次/小时 | 丙类 |
| | | 干燥环境下向电池注入电解液，未采取独立通风、浓度监控、连锁，不能确保车间浓度 $\leq 5\%LEL$ ，事故换气次数 < 12 次/小时 | 甲乙类 |
| P16 | 开口静置 | 在干燥环境，一定温度下，对未封口的电池进行静置，促进电解液吸收 采取独立通风、浓度监控、连锁，确保车间浓度 $\leq 5\%LEL$ ，事故换气次数 ≥ 12 次/小时 | 丙类 |
| | | 在干燥环境，一定温度下，对未封口的电池进行静置，促进电解液吸收 未采取独立通风、浓度监控、连锁，不能确保车间浓度 $\leq 5\%LEL$ ，事故换气次数 < 12 次/ | 甲乙类 |

| | | | |
|-----|------|---|-----|
| | | 小时 | |
| P17 | 开口化成 | 在干燥环境电池未完全密封情况下进行化成。 分离式设备且高度低于 3 米或是连体的高位货架高度超过 3 米且货架自带灭火排烟装置；采取了独立通风、浓度监控、连锁，确保车间浓度 $\leq 5\%LEL$ ，事故换气次数 ≥ 12 次/小时 | 丙类 |
| | | 在干燥环境电池未完全密封情况下进行化成。 不能满足分离式设备且高度低于 3 米或是连体的高位货架高度超过 3 米且货架自带灭火排烟装置；未采取独立通风、浓度监控、连锁，不能确保车间浓度 $\leq 5\%LEL$ ，事故换气次数 < 12 次/小时 | 甲乙类 |
| P18 | 化成 | 在电池完全密封情况下进行化成。 车间的墙壁是阻燃或不燃材料，有独立通风且和烟温感连锁，事故通风能力达到 12 次/小时，分离式设备且高度低于 3 米或是连体的高位货架高度超过 7 米且货架自带灭火排烟装置 | 丙类 |
| | | 在电池完全密封情况下进行化成。 车间的墙壁使用易燃材料如泡沫彩钢板，或没有独立通风和烟温感连锁，或者没有事故通风能力，或者采用高度超过 3 米连体高位货架且货架自身无灭火排烟装置 | 甲类 |
| P19 | 老化 | 在一定温度下，对化成后电池静置。墙壁是阻燃或不燃材料，有独立通风且和烟温感连锁，事故通风能力达到 12 次/小时； 正常生产和异常救援时燃气浓度不超过 5%LEL； 分离式货架(高度不允许超过 7 米)； | 丙类 |
| | | 在一定温度下，对化成后电池静置。墙壁是阻燃或不燃材料，有独立通风且和烟温感连锁，事故通风能力达到 12 次/小时；正常生产和异常救援时燃气浓度不超过 5%LEL；连体的高位货架高度超过 7 米，货架（或堆垛机）自带灭火装置 | 丙类 |
| | | 在一定温度下，对化成后电池静置。墙壁使用易燃材料如泡沫彩钢板，或没有独立通风和烟雾连锁，或没有事故通风能力，或采用 | 甲类 |

| | | | |
|-----|--------------------|---|------|
| | | 高度超过 3 米连体高位货架且货架自身无灭火排烟装置 | |
| P20 | 二次封装 | 对电池进行最终密封 | 丙类 |
| P21 | 注液口密封 | 采用激光焊接对注液口进行焊接, 设备和除尘装置满足防爆要求 | 丁类 |
| | | 采用激光焊接对注液口进行焊接, 设备和除尘装置不满足防爆要求 | 乙类 |
| | | 采用机械方式对注液口密封 | 丙类 |
| P22 | 气密性检测 | 对电池进行气密性检测 | 丙类 |
| P23 | 表面清洗 | 常温下使用火灾危险性为丙或戊类的溶剂对化成前电池表面进行清洗 | 丙或戊类 |
| | | 常温下使用火灾危险性为丙丁戊类的溶剂对化成后电池表面进行清洗 | 丙类 |
| P23 | 表面清洗 | 常温下使用火灾危险性甲、乙类的溶剂对电池表面进行清洗, 事故通风能力不低于 12 次/小时, 且车间的燃气浓度不大于 5%LEL | 丙类 |
| | | 常温下使用火灾危险性甲、乙类的溶剂对电池表面进行清洗, 没有足够的事事故通风能力 (低于 12 次/小时) 或不能保证车间的燃气浓度不大于 5%LEL | 甲、乙类 |
| | | 使用激光处理电池金属壳的表面, 设备和除尘装置满足防爆要求 | 丁类 |
| | | 使用激光处理电池金属壳的表面, 设备和除尘装置不能满足防爆要求 | 乙类 |
| P24 | 容量、开路电压、阻抗、自放电率测试 | 对锂离子电池的容量、开路电压、阻抗、自放电率测试, 无破坏性 | 丙类 |
| P25 | 模组或系统组装 (不含激光焊接过程) | 对一个或多个电池进行组装, 形成串并联结构 | 丙类 |
| P26 | 模组或系统组装的激光焊接过程 | 模组或系统组装过程中的激光焊接工序, 用于框架或部件的连接 激光焊接的除尘设备满足粉尘防爆要求 | 丁类 |
| | | 模组或系统组装过程中的激光焊接工序, 用于框架或部件的连接 激光焊接的除尘设备不能满足粉尘防爆要求 | 乙类 |
| P27 | 包装 | 产品出货前包装 | 丙类 |
| P28 | 非破坏性电池测试 | 非破坏性测试包括: 容量、循环寿命、高低温冲击、高温高湿、真空模拟、运输震动等 | 丙类 |
| P29 | 破坏性电池测试 | 破坏性测试包括: 短路、跌落、碰撞、挤压、针刺、火烧、浸水等破坏性测试 测试间墙壁为不燃或阻燃材料, 有独立通风和烟雾连锁、故障报警功能, 事故通风能力 | 丙类 |

| | | | |
|----------|--|--|----|
| | | 达到 12 次/小时，设备满足防火防爆要求 | |
| | | 测试间墙壁为易燃材料如泡沫彩钢板，或没有独立通风装置，或者通风装置不连锁，或不能达到事故通风能力 12 次/小时 | 甲类 |
| 注：P代表工艺。 | | | |

5.4 安全疏散

5.4.1 应满足 GB 50016-2014《建筑设计防火规范》的要求。

5.4.2 丙丁戊类建筑物，可以借用临近一个防火分区的安全出口当第二个安全出口。

5.5 防爆、泄压

5.5.1 依照表 1 和表 2，落实工艺设备防爆设计，建筑通风控制，确定建筑物火灾危险等级。

5.5.2 使用有资质单位检测粉尘有无燃烧爆炸性，特别是工艺现场的混合粉尘、带湿度粉尘未烘干时的爆炸性的测试。粉尘爆炸性测试及控制见附录 B。

5.5.3 爆炸性金属粉尘的除尘设备宜采用 AQ4272-2016 第 9 章“除尘系统防爆安全”和 AQ4273 金属粉尘防爆标准的相关措施。

5.5.4 对工序中涉及气体、金属粉尘防爆的区域，依照图 1 防爆控制示意图来采取合理的措施类型。

5.5.4.1 措施分类有 SM1：减少爆炸物浓度措施（稀释、惰化、降温等）；SM2：消弱点火源能量措施（11 类点火源识别和控制）；SM3：减少可燃物和火源接触措施（如距离、隔离等）；SM4：减轻爆炸后果措施（隔爆、泄爆、导出、灭火、连锁等）。

5.5.4.2 应定义设备的气体防爆分区 0、1、2 区和按 AQ4272-2016 5.3 划分可燃金属粉尘的防爆分区 20，21，22 区，宜用控制措施 SM1 降低浓度、SM2 降低接触频次的方法，来降低设备的分区危险等级。

5.5.4.3 在防爆分区里，按照 11 类点火源进行识别，选择合适的控制措施 SM2 来消弱点火源能量。11 类点火源分别为：S01 热表面，S02 明火，S03 灼热气体液体，S04 机械火花，S05 绝热压缩，S06 振动脉，S07 化学反应放热，S09 粉尘自燃，S10 电弧，S11 静电放电。

5.5.4.4 必要时，采取 SM3 措施，减少有效点火源接触爆炸性物质的概率，采取 SM4 措施减轻爆炸后果。

5.5.4.5 辅助设施中闪点为甲乙类溶剂的存储罐（如电解液罐等），应填充惰性气体（SM1 措施），20 吨以上的存储罐在管道呼吸阀处（潜在 1 区或 2 区）安装阻火器（SM3 措施）。存储罐区应采取防火措施（SM2 措施如防雷、静电接地和等电位跨接、防爆电气、汽车尾气火星熄灭器或汽车熄火后接管道输送、液位监控连锁、泄漏监控报警等），有消防设施、切断阀门、应急预案（SM4 措施）。

5.5.4.6 基于在采取措施 SM1 后物质剩余的浓度，包括正常生产、异常失效情形下，判断设备所在环境的防爆分区，在爆炸分区的电气部分选择对应防护等级的防爆电气；防爆分区以外的安全区，电气无须防爆。

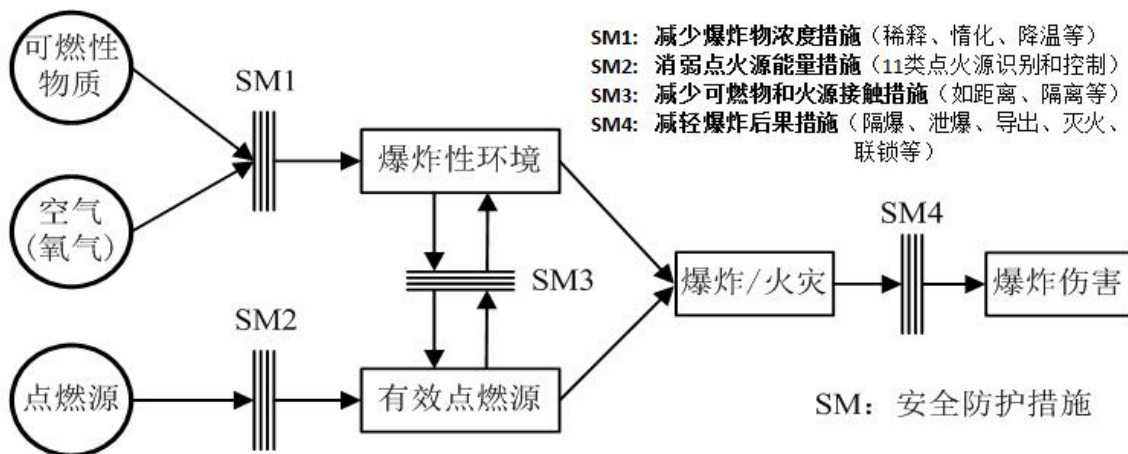


图 1 防爆控制示意图 (源于国家防爆设备质量监督检验中心 (广东))

5.6 灭火系统

5.6.1 全厂安装火灾自动报警系统, 安装室内、室外消火栓系统, 布置手提灭火器和疏散照明灯具。锂离子电池生产厂房和仓库应按高风险等级配置灭火器, 宜采用气体灭火器。

5.6.2 甲乙类火灾风险应安装合适的自动灭火系统, 丙类火灾风险选装自动灭火系统。

5.6.3 初起火灾可用常见的灭火剂灭火, 水是锂离子电池火灾最有效的灭火剂。

5.6.4 除了和水反应的金属锂等物质, 其他物质的自动灭火系统宜采用自动喷淋灭火系统。其它的自动灭火装置还包括悬挂球干粉灭火器、火探管灭火器、带灭火装置的机器人等。

5.6.5 用水灭火有多种方式可用, 可取代传统的手提灭火器, 包括: 容器装水、喷雾器、洗车器、水基灭火器, 也可就地取清澈的地表水灭火。

5.6.6 和水反应的金属锂、铝粉等合适的灭火剂是沙土、食盐或 D 类灭火器。

5.6.7 在消防水系统的建筑物最不利点, 安装有试压装置或厂内备有带压力表的消防水枪来测试压力。非高层建筑的厂房静压不低于 0.1 兆帕; 非高层的宿舍, 静压不低于 0.08 兆帕; 消防泵启动后管道压力不大于 0.5 兆帕。

5.6.8 企业应设置微型消防站。锂离子电池制造过程中常见火灾处置预案见附录 C。

5.7 排烟系统

5.7.1 在表 2 列出的须采用事故通风措施的工序, 应配置适当的排烟装置。推荐排烟装置: 安装轴流风机排烟, 作用距离不超过 5 米, 丙丁戊类厂房无须防爆风机。可以使用带伸缩铝箔管道的移动排烟风机, 负压抽烟, 铝箔管道伸展长度不超过 60 米, 不超过三台串联使用; 也可使用汽油机鼓风机或电动鼓风机, 作用距离室内超过 30 米, 室外 11 米。可以组合使用鼓风机、墙壁风机接力排烟, 确保作用位置的风速不低于 0.5 米/秒的捕获风速来有效排烟。事故风机换气能力不低于 12 次/小时。

5.7.2 依据表 2 的物质火灾特征, 对应防火分区和防烟分区, 可使用屋梁高度加防火布/铁板构成高度为 0.5 米挡烟垂壁。高度达到或超过 6 米的建筑不计防烟分区。

6 生产过程安全规范

6.1 一般要求

6.1.1 依照表 1 和表 2 的物质火灾特征，配套安装通风设施，安全设施，设置配套操作制度。

6.1.2 鼓励企业推进安全标准化工作，推荐进行安全管理体系认证。

6.1.3 企业有独立的安全管理部门，宜配置全职的注册安全工程师或注册消防工程师。

6.1.4 企业应制定应急预案并开展演习。预案包括综合预案、专项预案、现场处置预案。

6.2 仓库安全管理

6.2.1 按照表 1 对主要物料的风险分类，区分管理如下：

- a) 对甲乙类火灾风险，在阻燃材料墙壁隔离的独立房间存放，设置独立通风、烟雾探测、连锁控制排烟，且事故通风能力不低于 12 次/小时；有烟雾探测器、安防视频监控等两类火灾监控装置；有消火栓、主动或者手动喷淋装置、或电动喷雾器，或悬挂球形干粉灭火器等至少两种以上灭火器材。
- b) 对丙类火灾风险，其仓库和有较高火灾风险的电池仓库分开。应设置烟雾探测器、安防视频监控、消火栓保护、手提灭火器；有墙壁风机和移动鼓风机组合的排烟设施，达到事故排烟能力不低于 12 次/小时的换气能力。
- c) 待出货电池宜降低到 70%SOC 以下存放和运输。

6.2.2 对甲乙类物质，可以计算在通风情况的浓度来判断物质火灾风险。使用有连锁控制的独立通风装置达到不计机械通风故障条款要求，控制蒸气浓度不超过 5%LEL 可降为丙类，无须建筑防爆设计和靠外墙布置。

6.2.3 使用闪点和引燃温度、在一定风速下的蒸汽浓度来判断物质火灾风险，参加附录 D。

6.3 配料系统

6.3.1 配料系统区域应独立布置，选配的除尘风机的滤网用阻燃材料，安装压差监控连锁装置，定期检查。

6.3.2 当投料系统除尘装置出现故障时，投料设备连锁停车。

6.3.3 在进料口、风机轴承前安装阻挡异物的网格或除铁器，避免异物进入在旋转轴处摩擦发热起火。

6.3.4 对粉尘附近的电气，要采取防范“积尘导电”危害措施，避免粉尘堆积到电气导致短路、受潮降低爬电距离的漏电、发热、起火、电弧伤害、控制逻辑异常。

6.3.5 配料系统不需要采取特殊的防静电措施，只需使用普通的防静电接地措施。

6.4 涂布

6.4.1 涂布机测厚仪设备区域属于安全重点监控区域，应对辐射环境定期进行检测。

6.4.2 X 射线应选择豁免级别的设备，β 射线宜选用豁免级别的设备（包括采用增加铅板厚度等方法来实现达到距离设备表面 0.1 米处的辐射率不超过 $1 \mu\text{Gy/h}$ （吸收剂量），累积剂量不超过 1mSv/a （有效剂量）），应满足 GB18871《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》。

6.4.3 个人辐射剂量计宜安装在设备操作表面，累积计量不超过 1mSv/a。

6.4.4 电极涂布工序 NMP 回收应保证系统的密闭性，避免 NMP 挥发并扩散到其他生产区域，污染环境。

6.4.5 涂布的加热设备如果采用蒸气或导热油的方式，无需采用防爆措施；如果是采用电加热方式，直接接触 NMP 蒸气的电热部分需要使用防爆电器或控制蒸气浓度不大于爆炸下限的 50%；涂布机的烘道需要配备 NMP 浓度自动监控装置，自动监测并具备报警、超限停机功能。电加热器前方需要有滤网，阻止异物点燃；采用电加热方式的涂布设备需要有停机排风的延时功能。

6.5 装配

6.5.1 激光焊机配备除尘器，除尘器粉尘要定期清理、合规处理，防止粉尘积聚。除尘系统应有备用系统，可以多备一备，方便清理检修故障维修时刻备用系统继续作用；或安装连锁装置，除尘设备故障时设备连锁停机。吸入爆炸性粉尘的集尘器与生产区域宜分开布置，相邻的墙应采用耐火极限为 1h 的防火隔墙。

6.5.2 采用激光切割的装配工艺中，负压吸尘管道的前端 2 米需要采用金属管材或有冷却罩的塑料管材。

6.6 注液

6.6.1 注液设备宜安装可燃气体浓度报警装置，且满足下列要求：

- a) 使用独立的通风措施，且有有效的故障连锁报警；
- b) 控制挥发物浓度不大于其爆炸下限的 5%；
- c) 事故排风换气次数不小于 12 次/h。

6.6.2 电气控制系统应具有防止电解液滴落或溅射的防护措施。

6.6.3 采用有惰性气体保护的电解液输送管道，防止产生静电。

6.6.4 应有电解液回收装置。

6.7 化成

6.7.1 开口化成设备宜采用抽真空或浓度控制的方式。

6.7.2 化成工序应具备事故通风能力达到 12 次/h 的能力。

6.7.3 化成设备宜采取分体设备，即装电池部分和设备电控部分分开。设备应具备电池电压、电流、容量异常报警功能，具备安全诊断能力，实现全局保护和分布保护（全局保护即在化成的各个步骤都有电压过高、电压过低、电压变化率异常等的诊断功能；分布保护即每个步骤检查其参数有无异常，如该步充放电容量值等）。对动力电池的充放电设备宜有两个电压参考基准实现安全冗余。

6.7.4 化成工序周边 6 米内，不布置明火工序（激光、冷离子处理等）或高火灾风险的工序（电池高温静置、工程样品存储、带电电池拆解等）

6.8 老化

6.8.1 实验电池与生产电池应进行分区存储。

6.8.2 应采用不燃材料进行有效分隔。

6.8.3 应采用 24 小时远程或现场监控措施；并安装烟感报警器和温感报警器，并连接到企业安全管理部门。

6.8.4 车间应就近配置足够的灭火器材（专用的水箱、灭火毯）、泄漏处理工具、个体防护装备（自助式呼吸器、防毒面罩、耐高温手套等）和钳子等应急物品。当使用过滤式防毒面具时应使用能滤除含氟物质的滤芯。

6.8.5 对于立体货架式老化设备，宜配备相应的灭火装置。

6.8.6 相邻房间应是非明火、散发火花地点，与其它房间相邻的墙应为无门、窗、洞口的防火墙。

6.9 PACK 组装

6.9.1 当器件管脚大于 90nm，耐压在 500v，则静电环境在 18 级别，在满足静电最脆弱器件要求的前提下，做基本 ESD 控制即可。

6.9.2 设备放电模式（CDE）的管脚间距小于 0.5 μm 时，在满足静电最脆弱器件要求的前提下，应做防静电处理。

6.9.3 车间设施和设备等具备防止电池组外短路、高压电弧的保护措施。

6.9.3.1 对超过安全电压的装配，要求相关岗位人员必须培训合格持证上岗，宜使用有国家认可的电工资质的人员。佩戴相应防护等级的衣物和工具。消除衣物的金属饰物。

6.9.3.2 装配电池形成模块、电箱的台面不允许接地，避免电池的带电导线接触接地的金属台面造成短路或电弧伤害。

6.9.3.3 接触电气的工具的裸露部分宜缠绕绝缘材料，减少短路风险。

6.9.3.4 高压区域的设备具有安全连锁、故障自诊断等功能，避免接错线路的电池模块、电箱短路燃烧。配置绝缘钉耙类工具，用于救助触电人员。高压区域有隔离，工作人员培训掌握消防安全知识、部分人员掌握心肺复苏 CPR 技术。

6.9.4 车间配有消火栓、灭火器、石棉手套、头盔、干锅钳、消防水桶等应急物品，设有逃生通道，发生短路、打火、漏电、用电设备长时间通电过热等引起的火灾爆炸事故时能够正确使用应急物品。

6.9.5 配备火灾爆炸事故发生时的应急隔离设施，能够将事故电池组有效隔离。

6.10 成品库

6.10.1 入成品库的电池宜不高于 70%荷电态；成品库的电池应按照不同的品质状态分区存放。

6.10.2 客户退货的产品应重新检测入库。安全性能异常的电池应单独存放，存放区应有 6 米的安全间隔距离或阻燃墙壁隔离。

6.10.3 良好的防排烟系统，且有故障连锁报警装置。

7 电池测试

7.1 破坏性测试实验室的事故排风换气次数不小于 12 次/h。

7.2 密封式高温测试或长循环次数测试，测试设备需要采用抗爆或泄爆措施。

- 7.3 测试设备的隔热材料应采用阻燃材料，如果有防湿要求采用了泡沫隔热材料，应另加隔热阻燃层。
- 7.4 使用液压油作动力的装置，其油品和油管应采取防火措施。
- 7.5 破坏性测试实验室的就近配置足够的灭火器材（专用的水箱、灭火毯）、个体防护装备（自助式呼吸器、防毒面罩、耐高温手套等）和钳子等应急物品。
- 7.6 破坏性测试操作控制台与设备分开设置，操作控制台在实验室外。
- 7.7 测试区应在每一房间区域单独设计排烟系统，确保密封性，严禁与其他系统共用管道、竖井。

附 录 A
(资料性附录)

主要物料和工艺的物质火灾特性分类支持标准条款和数据

表 A.3 主要物料的物质火灾特征分类支持标准条款和数据表

| 编号 | 物料类别 | 物料名称 | 危险性分类 | 分类支持标准条款和数据 |
|-----|------|---|-------|---|
| R01 | 原料 | 正极粉料：钴酸锂粉料、磷酸铁锂粉料、锂镍钴锰粉料 | 戊类 | ① GB50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类，第 3.1.3 条储存物品的火灾危险性分类 ② 粉料的鉴定报告，包括不和水反应的鉴定性报告等 |
| R02 | 原料 | 负极粉料：石墨、硅碳复合材料、钛酸锂 | 戊类 | GB50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类，第 3.1.3 条储存物品的火灾危险性分类 |
| R03 | 原料 | 导电剂：碳粉 | 戊类 | GB50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类，第 3.1.3 条储存物品的火灾危险性分类 |
| R04 | 原料 | 铜箔、铝箔、铜条、铝条、镍条、导电铜排铜软、铝镍复合带、铜镍复合带、不锈钢壳、铝壳、铝钉、铝框架、金属紧固件、金属底托板、SBR 胶 | 戊类 | GB 50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类，第 3.1.3 条储存物品的火灾危险性分类 |
| R05 | 原料 | 隔膜、胶带、铝塑膜、导线、电路板、PVDF 胶粒、CMC、NMP 溶剂、石墨烯浆料、碳纳米管浆料、树脂胶成分 | 丙类 | GB 50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类，第 3.1.3 条储存物品的火灾危险性分类 |
| R06 | 原料 | 室温饱和蒸气压所对应的蒸气浓度小于 LEL 的电解液（混合物）。 满足条件：墙壁为不燃或阻燃材料，独立通风且联动烟雾或浓度，事故通风能力达到 12 次/小时 | 丙类 | ① GB50016-2014 第 3.1.2 条的条文说明 ② “通风低于 5%LEL”，GB50016-2014 第 1.0.2 条（包括石油化工的标准），GB50058-2014 第 3.2.4 条不计风机故障，GB50016-2014 第 3.1.2 条的条文说明（浓度不大于 5%LEL）和第 9.3.16 条（事故排风换气次数不小于 12 次/h） ③ 电解液在充填有惰性气体的结实金属容器中存放，电解液有良好的导电性故无静电火花点燃风险，容器无泄漏，因此控制好事故通风等系列控制即可维持丙类仓库。 生产中的电解液通过超过 2 米以上的长距离的小管（典型直径在 12mm）供应给每个电池，间歇灌装，每次灌装量在 20 到 50 克（消费电子用电池）或 200 到 500 克（动力电池），灌装通常在抽真空情况进行，灌装环境密封且有湿度监控，湿度监控的换气次数高于 12 次/小时，超过事故通风次数 12 次/小时，因此 |
| | | 室温饱和蒸气压所对应的蒸气浓度小于 LEL 的电解液（混合物）。 缺乏条件：墙壁为不燃或阻燃材料，独立通风且联动烟雾或浓度，事故通风能力达到 12 次/小时 | 甲乙类 | |

| | | | | |
|---|------|---|-----|---|
| | | | | 控制通风浓度为丙类。 ④ 当不采取通风措施，特别是无事故通风，则依照电解液闪点判断为甲乙类，会发生起火甚至爆炸风险。 |
| R07 | 原料 | 低湿度车间使用的金属锂箔 满足条件：墙壁为不燃或阻燃材料，独立通风且联动烟雾或浓度，事故通风能力达到 12 次/小时 | 丙类 | ① 公安部天津消防研究所，检测报告，编号：（天津消检[2017]第 9 号），依照 GA/T 536.1-2013 易燃易爆危险品 火灾危险性分级及试验方法第 4 部分：遇水放出易燃气体物质分级试验方法，金属锂箔在遇潮、沾湿、少量滴水，不自燃，释放气体速率为 1550 升/(千克分钟)。 ② 运输、存储遇水放气为甲类危险品，在低湿度车间失效只产气体不燃烧，浓度控制≤5%LEL 和事故通风 12 次/小时，达到丙类车间要求，无须建筑防爆设计。 |
| | | 低湿度车间使用的金属锂箔 缺乏条件：墙壁为不燃或阻燃材料，独立通风且联动烟雾或浓度，事故通风能力达到 12 次/小时 | 甲类 | |
| | | 锂粉、存储或车辆运输的金属锂带 | 甲类 | |
| R08 | 原料 | 室温饱和蒸气压所对应的蒸气浓度大于 LEL 的电解液；喷码油墨；清洁用酒精；DMC； | 甲乙类 | GB 50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类，第 3.1.3 条储存物品的火灾危险性分类 |
| R09 | 包装材料 | 卡板（不可燃材质） | 戊类 | ① GB50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类，第 3.1.3 条储存物品的火灾危险性分类 ② GB50016-2014 第 3.1.5 条 可燃包装重量比例不大于 1/4 或体积比例不大于 1/2 |
| R10 | 包装材料 | 纸皮、塑料盒、卡板（可燃材质） | 丙类 | GB50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类，第 3.1.3 条储存物品的火灾危险性分类 |
| M01 | 半成品 | 水剂浆料：负极浆料、隔膜浆料、凹版水剂浆料 | 戊类 | GB50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类，第 3.1.3 条储存物品的火灾危险性分类 |
| M02 | 半成品 | 带涂层的金属箔材，正极极片，负极极片。 | 戊类 | GB50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类，第 3.1.3 条储存物品的火灾危险性分类 |
| M03 | 半成品 | 隔膜、带涂层的隔膜 | 丙类 | GB50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类，第 3.1.3 条储存物品的火灾危险性分类 |
| M04 | 半产品 | 极组、装入外壳的极组、注液未化成电池 | 丙类 | GB50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类，第 3.1.3 条储存物品的火灾危险性分类 |
| M05 | 成品 | 合格的锂离子电池，锂离子电池组 | 丙类 | GB50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类，第 3.1.3 条储存物品的火灾危险性分类 |
| M06 | 次废品 | 没有安全缺陷的次废品电池（含浸泡盐水后的电池） | 丙类 | GB50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类，第 3.1.3 条储存物品的火灾危险性分类 |
| | | 有安全缺陷的次废品电池（如安全测试后产品、运行发现的有安全缺陷产品、使用中破坏有安全缺陷的产品等） | 甲类 | GB50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类，第 3.1.3 条储存物品的火灾危险性分类 |
| 注：R 代表原材料，M 代表半成品，CMC 羧甲基纤维素钠；SBR 丁苯橡胶；PVDF 聚偏氟乙烯；DMC 碳酸二甲酯；NMP N-甲基吡咯烷酮；LEL 爆炸下限简称，英文：Lower Explosive Limit。 | | | | |

表 A.4 主要工艺的物质火灾特征分类支持标准条款和数据表

| 编号 | 工艺 | 工艺描述 | 危险性分类 | 分类支持标准条款和数据 |
|-----|--------------------------|---|-----------------------|---|
| P01 | 水溶剂搅拌(负极浆料、隔膜浆料、金属膜浆料搅拌) | 以水为主要溶剂(重量比例超过 10%) 将其他戊类粉料、丙类胶粒溶剂混入制成浆料 | 戊类 | GB50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类 |
| P02 | 水溶剂涂布 | 以水为主要溶剂的浆料涂布在基材上面且烘干形成极片 | 戊类 | GB50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类 |
| P03 | 有机溶剂搅拌 | 以可燃有机溶剂为主(重量比例超过 30%) 将其他戊类、丙类粉料颗粒溶解形成浆料; 满足通风条件, 能够确保低于爆炸下限浓度 5%LEL 时 | 丙类 | ① GB50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类或者 ② 使用“通风低于 5%LEL”, GB50016-2014 第 1.0.2 条(包括石油化工的标准), GB50058-2014 第 3.2.4 条不计风机故障, GB50016-2014 第 3.1.2 条的条文说明(浓度不大于 5%LEL) 和第 9.3.16 条(事故排风换气次数不小于 12 次/h)。 |
| | | 以可燃有机溶剂为主(重量比例超过 30%) 将其他戊类、丙类粉料颗粒溶解形成浆料; 不满足通风条件, 不能够确保低于爆炸下限浓度 5%LEL 时 | 依照闪点或超过闪点的工作温度, 判断甲乙类 | |
| P04 | 有机溶剂涂布 | 使用蒸气加热, 将可燃有机溶剂为主的浆料涂布在基材上面且烘干形成极片。 | 戊类 | ① GB 50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类 ② GB 50016-2014 第 1.0.2 条(包括石油化工的标准), GB 50058-2014 第 3.2.4 条不计风机故障, GB 50016-2014 第 3.1.2 条的条文说明(浓度不大于 5%LEL) 和第 9.3.16 条(事故排风换气次数不小于 12 次/h)。 ③ 设备防爆标准 GB 3836.1, GB 3836.14 |
| | | 使用导热油加热, 将可燃有机溶剂为主的浆料涂布在基材上面且烘干形成极片 | 丙类 | |
| | | 使用电加热工艺设备, 采取防爆设计合格, 房间浓度不超过 5%LEL 且房间温度低于闪点, 将可燃有机溶剂为主的浆料涂布在基材上面且烘干形成极片 | 丙类 | |
| | | 使用电加热工艺设备, 不满足防爆要求和/或房间浓度超过 5%LEL, 可燃有机溶剂为主的浆料涂布在基材上面且烘干形成极片 | 甲乙类 | |
| P05 | 辊压 | 在极片表面施加一定压力使厚度达到规格值的过程 | 戊类 | GB 50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类 |
| P06 | 分切 | 用机械切刀将极片分开为窄条 | 戊类 | ① GB 50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类 |

| | | | | |
|-----|---------|--|----|--|
| | | | | ② 设备防爆标准 GB 3836.1, GB 3836.14 ③ 粉尘防爆标准 AQ4272-2016, AQ4273 |
| P07 | 模切 | 将极片分开为有形状的极片, 采用机械切割方式 | 戊类 | ① GB 50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类 ② 设备防爆标准 GB 3836.1, GB 3836.14 ③ 粉尘防爆标准 AQ4272-2016, AQ4273 |
| | | 将极片分开为有形状的极片, 设备满足粉尘防爆要求的激光切割 | 丁类 | |
| | | 将极片分开为有形状的极片, 设备不满足粉尘防爆要求的激光切割 | 乙类 | |
| P08 | 极组成型 | 将正极极片、负极极片、隔膜卷绕在一起形成极组或正极极片、负极极片、隔膜通过堆叠的方式形成极组 | 丙类 | GB50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类 |
| P09 | 极组压实 | 将极组压实 | 丙类 | GB 50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类 |
| P10 | 软连接焊接 | 采用超声波、电阻焊接方式进行软连接焊接 | 戊类 | ① GB 50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类 ② 设备防爆标准 GB 3836.1, GB 836.14 ③ 粉尘防爆标准 AQ4272-2016, AQ4273 |
| | | 采用激光焊接方式进行软连接焊接, 激光焊接的除尘设备满足粉尘防爆要求 | 丁类 | |
| | | 采用激光焊接方式进行软连接焊接, 激光焊接的除尘设备不满足防爆要求 | 乙类 | |
| P11 | 上支架入壳 | 用机械手将支架、极组装入电池壳中 | 丙类 | GB 50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类 |
| P12 | 顶盖焊接 | 采用激光焊接方式将顶盖和电池壳焊在一起, 设备和除尘器满足粉尘防爆要求 | 丁类 | ① GB 50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类 ② 设备防爆标准 GB 3836.1, GB 3836.14 ③ 粉尘防爆标准 AQ4272-2016, AQ4273 ④ 激光焊接产生的金属粉尘, 典型为铝粉、铜粉, 是有爆炸性物质, 量少, 因此除尘装置要防爆设计 |
| | | 采用激光焊接方式将顶盖和电池壳焊在一起, 设备和除尘装置不满足防爆要求 | 乙类 | |
| P13 | 软包装电池封装 | 采用加热的方式将极组与铝塑膜进行顶边和侧边封装的过程 | 丙类 | GB 50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类 |
| P14 | 真空烘干 | 在真空炉/箱中一定温度下对未注液电池、隔膜、极片烘干 | 丙类 | ① GB 50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类 ② GB 50016-2014 第 1.0.2 条 (包括石油化工的标准), GB 50058-2014 第 3.2.4 条不计风机故障, GB 50016-2014 第 3.1.2 条的条文说明 (浓度不大于 5%LEL) 和第 9.3.16 条 (事故 |

| | | | | |
|-----|------|---|-----|--|
| | | | | 排风换气次数不小于 12 次/h) |
| P15 | 注液 | 干燥环境下向电池注入电解液, 采取了独立通风、浓度监控、连锁, 确保车间浓度 $\leq 5\%LEL$, 事故换气次数 ≥ 12 次/小时 | 丙类 | ① GB50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类 ② 使用“通风低于 5%LEL”, 包括 GB 50016-2014 第 1.0.2 条(包括石油化工的标准), GB 50058-2014 第 3.2.4 条不计风机故障, GB 50016-2014 第 3.1.2 条的条文说明(浓度不大于 5%LEL)和第 9.3.16 条(事故排风换气次数不小于 12 次/h) ③ 设备防爆标准 GB 3836.1, GB 3836.14 |
| | | 干燥环境下向电池注入电解液, 未采取独立通风、浓度监控、连锁, 不能确保车间浓度 $\leq 5\%LEL$, 事故换气次数 <12 次/小时 | 甲乙类 | |
| P16 | 开口静置 | 在干燥环境, 一定温度下, 对未封口的电池进行静置, 促进电解液吸收 采取独立通风、浓度监控、连锁, 确保车间浓度 $\leq 5\%LEL$, 事故换气次数 ≥ 12 次/小时, | 丙类 | “通风低于 5%LEL”, 包括 GB50016-2014 第 1.0.2 条(包括石油化工的标准), GB50058-2014 第 3.2.4 条不计风机故障, GB50016-2014 第 3.1.2 条的条文说明(浓度不大于 5%LEL)和第 9.3.16 条(事故排风换气次数不小于 12 次/h) |
| | | 在干燥环境, 一定温度下, 对未封口的电池进行静置, 促进电解液吸收 未采取独立通风、浓度监控、连锁, 不能确保车间浓度 $\leq 5\%LEL$, 事故换气次数 <12 次/小时 | 甲乙类 | |
| P17 | 开口化成 | 在干燥环境电池未完全密封情况下进行化成。 分离式设备且高度低于 3 米或是连体的高位货架高度超过 3 米且货架自带灭火排烟装置; 采取了独立通风、浓度监控、连锁, 确保车间浓度 $\leq 5\%LEL$, 事故换气次数 ≥ 12 次/小时 | 丙类 | ① GB50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类或者 ② “通风低于 5%LEL”, 包括 GB50016-2014 第 1.0.2 条(包括石油化工的标准), GB50058-2014 第 3.2.4 条不计风机故障, GB50016-2014 第 3.1.2 条的条文说明(浓度不大于 5%LEL)和第 9.3.16 条(事故排风换气次数不小于 12 次/h) ③ 设备防爆标准 GB3836.1, GB3836.14 ④ 电池化成过程会产生少量烃类 C_xH_y 气体, 这些气体是甲类易燃易爆气体。电解液从闪点看通常也是甲乙类液体。 ⑤ 开口化成, 产生烃类气体和伴随气体挥发的电解液随时释放, 需要立刻排风和浓度控制来保证安全。通风控制浓度低于燃气浓度的 5%LEL 就可以不再视为甲类乙类, 为普通的丙类。如果没有浓度控制、独立抽风、事故通风等措施, 就判定为甲类。 |
| | | 在干燥环境电池未完全密封情况下进行化成。 不能满足分离式设备且高度低于 3 米或是连体的高位货架高度超过 3 米且货架自带灭火排烟装置; 未采取独立通风、浓度监控、连锁, 不能确保车间浓度 $\leq 5\%LEL$, 事故换气次数 <12 次/小时 | 甲乙类 | |

| | | | | |
|-----|------|---|----|---|
| P18 | 化成 | 在电池完全密封情况下进行化成。车间的墙壁是阻燃或不燃材料，有独立通风且和烟温感连锁，事故通风能力达到 12 次/小时，分离式设备且高度低于 3 米或是连体的高位货架高度超过 7 米且货架自带灭火排烟装置 | 丙类 | 闭口化成，产生的烃类气体在密封的电池里面，不泄漏。只有在异常情况如机械破损、密封不良泄漏、设备故障过充电胀气泄漏等情况释放烃类气体和电解液，因此也要考虑事故通风和浓度控制到 5%LEL 以下；对采用连体的高位货架有大量电池扑救不易，还要求高位货架自带灭火排烟装置，才是丙类。不满足通风条件或墙壁是易燃材料加大火灾负荷等，判为甲类 |
| | | 在电池完全密封情况下进行化成。车间的墙壁使用易燃材料如泡沫彩钢板，或没有独立通风和烟温感连锁，或者没有事故通风能力，或者采用高度超过 3 米连体高位货架且货架自身无灭火排烟装置 | 甲类 | |
| P19 | 老化 | 在一定温度下，对化成后电池静置。墙壁是阻燃或不燃材料，有独立通风且和烟温感连锁，事故通风能力达到 12 次/小时；正常生产和异常救援时燃气浓度不超过 5%LEL；分离式货架(高度不允许超过 7 米)； | 丙类 | <p>① “通风低于 5%LEL”，包括 GB50016-2014 第 1.0.2 条（包括石油化工的标准），GB50058-2014 第 3.2.4 条不计风机故障，GB50016-2014 第 3.1.2 条的条文说明(浓度不大于 5%LEL)和第 9.3.16 条(事故排风换气次数不小于 12 次/h)</p> <p>② 静置的主要风险在于大量电池在一起，其中异常电池自燃可能波及多个电池都燃烧，如果排烟不良，灭火不及时，会造成较大火灾，甚至在受限空间的气体爆炸</p> <p>③ 风水法是解决锂离子电池消防安全的最佳方法。通风降低燃气浓度、烟雾浓度到 5%LEL 以下就不会再次燃烧和爆炸，通风也利于逃生和消防救援。对锂离子电池用水灭火是最快的方法，测试试验单个手机电池灭火用水降温速度为 615℃/s，其他灭火剂降温速度不超过 50℃/s</p> |
| | | 在一定温度下，对化成后电池静置。墙壁是阻燃或不燃材料，有独立通风且和烟温感连锁，事故通风能力达到 12 次/小时；正常生产和异常救援时燃气浓度不超过 5%LEL；连体的高位货架高度超过 7 米，货架（或堆垛机）自带灭火装置 | 丙类 | |
| | | 在一定温度下，对化成后电池静置。墙壁使用易燃材料如泡沫彩钢板，或没有独立通风和烟雾连锁，或没有事故通风能力，或采用高度超过 3 米连体高位货架且货架自身无灭火排烟装置 | 甲类 | |
| P20 | 二次封装 | 对电池进行最终密封 | 丙类 | <p>① GB 50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类</p> <p>② “通风低于 5%LEL”，包括 GB 50016-2014 第 1.0.2 条（包括石油化工的标准），GB 50058-2014 第 3.2.4 条不计风机故障，GB 50016-2014 第 3.1.2 条的条文说明(浓度不大于 5%LEL)和第 9.3.16 条(事故排风换气次数</p> |

| | | | | |
|-----|--------------------|---|------|--|
| | | | | 不小于 12 次/h) |
| P21 | 注液口密封 | 采用激光焊接对注液口进行焊接, 设备和除尘装置满足防爆要求 | 丁类 | GB 50016-2014 第 2.1.8 条, 第 3.1.1 条. 第 3.2.5 条的条文说明 |
| | | 采用激光焊接对注液口进行焊接, 设备和除尘装置不满足防爆要求 | 乙类 | |
| | | 采用机械方式对注液口密封 | 丙类 | |
| P22 | 气密性检测 | 对电池进行气密性检测 | 丙类 | GB 50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类 |
| P23 | 表面清洗 | 常温下使用火灾危险性为丙或戊类的溶剂对化成前电池表面进行清洗 | 丙、戊类 | ① GB 50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类 ② “通风低于 5%LEL”, 包括 GB 50016-2014 第 1.0.2 条 (包括石油化工的标准), GB 50058-2014 第 3.2.4 条不计风机故障, GB 50016-2014 第 3.1.2 条的条文说明 (浓度不大于 5%LEL) 和第 9.3.16 条 (事故排风换气次数不小于 12 次/h) ③ GB 50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类 ④ 设备防爆标准 GB3836.1, GB3836.14 ⑤ 粉尘防爆标准 AQ4272-2016, AQ4273 ⑥ 激光焊接产生的金属粉尘, 典型为铝粉、铜粉是有爆炸性物质, 但量少, 每台设备的除尘器每班产尘量少于 2Kg, 可在室内放置单机除尘装置 (AQ4272-2016 第 9.8.2 条), 因此除尘装置要进行设备防爆设计。 ⑦ 对可燃金属粉尘采取了有效的除尘设备防爆设计, 则建筑物无须防爆设计。如果除尘装置没有防爆设计, 则厂房要防爆设计, 为甲类。 |
| | | 常温下使用火灾危险性为丙丁戊类的溶剂对化成后电池表面进行清洗 | 丙类 | |
| | | 常温下使用火灾危险性甲、乙类的溶剂对电池表面进行清洗, 事故通风能力不低于 12 次/小时, 且车间的燃气浓度不大于 5%LEL | 丙类 | |
| | | 常温下使用火灾危险性甲、乙类的溶剂对电池表面进行清洗, 没有足够的事事故通风能力 (低于 12 次/小时) 或不能保证车间的燃气浓度不大于 5%LEL | 甲、乙类 | |
| | | 使用激光处理电池金属壳的表面, 设备和除尘装置满足防爆要求 | 丁类 | |
| | | 使用激光处理电池金属壳的表面, 设备和除尘装置不能满足防爆要求 | 乙类 | |
| P24 | 容量、开路电压、阻抗、自放电率测试 | 对锂离子电池的容量、开路电压、阻抗、自放电率测试, 无破坏性 | 丙类 | GB50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类 |
| P25 | 模组或系统组装 (不含激光焊接过程) | 对一个或多个电池进行组装, 形成串并联结构, | 丙类 | GB 50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类 |
| P26 | 模组或系统组装的激光焊接过程 | 模组或系统组装过程中的激光焊接工序, 用于框架或部件的连接 激光焊接的除尘设备满足粉尘防爆要求 | 丁类 | GB 50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类 |

| | | | | |
|-----------|----------|---|----|---|
| | | 模组或系统组装过程中的激光焊接工序，用于框架或部件的连接 激光焊接的除尘设备不能满足粉尘防爆要求 | 乙类 | |
| P27 | 包装 | 产品出货前包装 | 丙类 | GB50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类 |
| P28 | 非破坏性电池测试 | 非破坏性测试包括：容量、循环寿命、高低温冲击、高温高湿、真空模拟、运输震动等 | 丙类 | GB50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类 |
| P29 | 破坏性电池测试 | 破坏性测试包括：短路、跌落、碰撞、挤压、针刺、火烧、浸水等破坏性测试 测试间墙壁为不燃或阻燃材料，有独立通风和烟雾连锁、故障报警功能，事故通风能力达到 12 次/小时，设备满足防火防爆要求 | 丙类 | ① GB50016-2014 第 3.1.1 条生产物质的火灾危险分类 ② “通风低于 5%LEL”，包括 GB50016-2014 第 1.0.2 条（包括石油化工的标准），GB50058-2014 第 3.2.4 条不计风机故障，GB50016-2014 第 3.1.2 条的条文说明（浓度不大于 5%LEL）和第 9.3.16 条（事故排风换气次数不小于 12 次/h） |
| | | 测试间墙壁为易燃材料如泡沫彩钢板，或没有独立通风装置，或者通风装置不连锁，或不能达到事故通风能力 12 次/小时 | 甲类 | ③ 破坏性测试电池通常会破损，释放闪点为甲乙类电解液，异常还会释放烟雾，烃类气体，加剧风险。在设备采取防爆设计，系列有效的通风降低浓度到 5%LEL 为丙类；缺乏这些防火通风设计，则为甲类，要建筑防爆。 |
| 注：P 代表工艺。 | | | | |

附 录 B
(资料性附录)
粉尘爆炸性测试及控制

B.1 锂离子电池湿法工艺过程中产生的粉尘，需要测试其没有烘干前的粉尘的可燃性。简易方法是将粉尘堆积为厚度 50mm 宽度 10mm 长度 500mm 的形状粉尘，用打火机或酒精喷灯从一头点燃，观察线性粉尘燃烧蔓延情况，初步判断工艺现场的粉尘特别是带湿度的粉尘、混合粉尘有无爆炸性；发现工艺现场的粉尘有蔓延燃烧的特征，则送外部测试机构进一步核实。

B.2 外部检测机构报告显示无爆炸性的粉尘有：钴酸锂、磷酸铁锂、锂镍钴锰、石墨、炭黑、正极极片粉尘（90%的钴酸锂混合少量炭黑、PVDF胶），负极极片粉尘（90%的石墨混合少量炭黑、SBR胶）；有爆炸性粉尘有烘干的隔离膜涂布粉尘、激光焊接工艺产生的含有可燃金属粉尘的混合粉尘（铝粉、铜粉混合石墨、钴酸锂、锂镍钴锰）等。理论上硅粉也具备爆炸性，要具体测试在现场工序中混合粉尘有无爆炸性。参考NFPA的标准中惰性物质：爆炸粉尘 $\geq 5:1$ 则混合物不再有爆炸性。

B.3 依照表 2 对隔膜水剂涂布处理的工序，需要测试工艺现场的湿润粉尘、干透后的粉尘的爆炸性。通常湿润粉尘不燃不爆炸，而干透的粉尘会爆炸。因此要对生产现场做粉尘防爆的分区，控制措施SM1到SM4，计算采取控制措施后的残余风险到可接收水平即百年一遇，在设备做好防爆处理，则建筑物无须防爆处理，仍为戊类厂房。如果设备没有做好防爆处理，则建筑物要做防爆设计，粉尘爆炸风险的厂房为乙类。

B.4 用于多台设备的除尘系统，涉及到爆炸性粉尘（如单纯烘干的硅粉、铝粉、铜粉等），则各台设备的除尘管道或除尘设备之间有合理的隔爆或泄爆措施（SM4 措施），避免相互波及。验证工艺现场无须烘干的粉尘，特别是混合了钴酸锂、磷酸铁锂、锂镍钴锰、石墨，石灰惰化剂等不燃不爆炸的惰性粉尘后，混合粉尘没有爆炸性，则该部分无须采取设备防爆措施。涉及到爆炸性粉尘的除尘系统应有备用系统，可以多备一备，方便清理检修故障维修时刻备用系统继续作用。或安装连锁装置，除尘设备故障时设备连锁停机。

B.5 如表 2，装配工序用到锂粉末，锂粉遇水受潮都会自燃，为甲类车间，要求采取一系列的防火防爆措施。包括温度湿度监控、氢气浓度监控、烟雾温度监控、连锁报警等；消除和控制周边设备和设施的水源；人员穿戴连体衣物和戴手套防水；现场配置干燥沙土、或食盐、或D类金属灭火器，高温手套和灭火毯。设备采取防爆设计，建筑物配套防爆设计。

B.6 如表 2，装配车间用到金属锂带或锂箔，专业检验报告证明受潮、少量滴水不燃，释放气体速度为 1550 升/(公斤分钟)，仓储存储、厂外大量运输为甲类危险货物（标准从放气速率判断），在低湿度车间生产采取一系列措施为丙类；未采取合适措施为甲类。低湿度车间生产的一系列措施围绕避免遇水（雨水、设备工艺水、人员汗水、车间湿度变化冷凝水、不同温度替代变化的冷凝水）、产生氢气稀释到 5%LEL、粉尘防爆等方面来开展。采取措施如下措施为丙类车间，无须建筑防火设计；未采取这些措施为甲类车间，考虑建筑物防爆。

B. 6.1 控制水。车间采用低湿度车间，至少两套除湿机相互冗余，有应急预案及时密封带有锂箔的物料防潮。车间的工艺水管、消防水管移到室外，必须在室内如空调冻水水管、激光冷却水管等要采取地面布置，避免使用、存储锂箔的设备或货架；有关断阀门和应急预案，宜设置紧急导流装置。车间用露点仪监控湿度，温度，露点，连锁报警。管控人员数量，双门不同时对开。人员穿连体衣，戴口罩手套。废弃物要分开存放，沾染汗液的口罩、手套和沾染锂箔的物料分开。沾有锂箔的物料用密封袋套装运出，宜用焚烧方式处理，不适合用大量水会引起燃烧甚至局部气体爆炸。

B. 6.2 控制氢气浓度。涉及锂箔的设备、货架设计局部分隔，顶部金属导气管，汇总氢气到厂房导气管或者导气槽，在导气装置合理使用斜度导引比空气轻的氢气汇总到高处的定期排放点，距离长看选择防爆风扇抽气导走。合理安装氢气探测头到这些导气装置，氢气连锁报警。氢气避免非防爆电气、静电、热表面、机械火花等11类潜在点火源。独立设计空调、干燥风等系统，避免氢气混入，测试浓度低于5%LEL才可以循环使用回风，超过5%LEL则风不打循环。

B. 6.3 防范粉尘爆炸。推理计算和实际验证，涉及锂箔的设备、料架、除湿机、空调系统等可能锂箔受潮产生氢气、锂箔破损形成的锂粉的浓度，在采取了SM1措施后稀释后浓度，划分防爆分区；对防爆分区类内的11类潜在火源进行辨识编号，采取SM2, SM3, SM4措施来降低风险，实现设备防爆，特别是除尘设备防爆，计算浓度和接触概率（包括正常生产、异常救援情况）的残余风险在可接收水平，不超过百年一遇。

B. 6.4 控制蔓延。涉及锂箔的设备、料架合理分隔，包括水平方向和垂直方向的间隔，不用流水线，间隔距离至少1.5米，避免火灾蔓延。设备或料架使用锂箔部分的部件宜设置局部金属罩构成容器，紧急救援可以盖住避免蔓延和方便接纳沙土等掩埋灭火。使用阻燃或不燃隔墙间隔其他工艺车间。现场配置火灾报警系统，干燥沙土、或食盐、或D类金属火灾灭火器（重要灭火剂为食盐）。

附 录 C
(资料性附录)
锂离子电池制造过程中常见火灾处置预案

C.1 锂离子电池制造过程中常见火灾分类

C.1.1 粉尘类火灾（铝壳焊接过程中的粉尘、金属锂粉）；

C.1.2 带电电池类火灾；

C.1.3 液体类火灾；

C.2 铝粉火灾处置方法

C.2.1 铝壳电池在焊接壳盖过程中会产生粉尘，粉尘达到一定浓度和存量时遇到水及静电时会发生起火及爆燃。

C.2.2 焊接粉尘收集在集尘设备内，集尘设备周围要远离易燃物，集尘设备要防爆、管道上设有防火阀，防火阀具备自动或手动关闭功能阻止火势蔓延。

C.2.3 当发生火灾时首选应切断设备电源气源，关闭设备防火阀阻断空气的进入。

C.2.4 粉尘会迅速燃烧产生大量的热和浓烟，做好灭火个人防护准备，佩戴好防烟面罩和隔热手套。

C.2.5 使用配备的灭火器进行降温 and 阻氧灭火，粉尘类火灾产生热量和有毒烟雾较多，灭火时一定要注意防止烫伤及中毒。

C.2.6 当灭火器无法灭火时，请关闭设备防火门并撤离火灾现场报火警进行灭火。

C.3 金属锂火灾处置方法

C.3.1 金属锂存放设施要符合材料存放环境，避免受水份的影响发生火灾。

C.3.2 金属锂在存放和使用周围禁止存放易燃物品。

C.3.3 使用过程中发生自燃现象时，穿戴好防护用品使用沙土或D类灭火器进行灭火。

C.3.4 使用D类灭火器进行扑救时应站在上风口，对准物质上部进行喷射覆盖式灭火。

C.4 电池火灾处置方法

C.4.1 电池在设备上充电发生火灾时，应切断设备电源、气源。

C.4.2 充电过程中发现单只电池着火时，佩戴好手部、面部防护防护用品，使用专用坍塌钳将着火电池从设备内夹出放入附近水桶内进行降温灭火。

C. 4.3 当发现设备内有大量电池在同一排设备内起火时，佩戴好手部、面部防护防护用品，使用金属工具将起火电池与设备分离并使用二氧化碳灭火器进行降温灭火。

C. 4.4 隔离电池耗尽热能量后，再放使用坩埚钳夹入水桶进行彻底降温余热熄灭火焰。

C. 4.5 设备内充电电池连锁起火时，首先切断设备上口电源、气源，使用消防水进行灭火降温。

C. 4.6 当火势无法使用现有消防设施进行处置时要进行报火警，并及时通知所处环境周围人员撤离现场，到指定地点集合。

C. 4.7 电池老化过程中发生着火时：

- a) 单只电池发生着火后，现场人员佩戴好防烟隔热面罩、隔热手套，使用坩埚钳将电池夹出老化区域放入水桶内进行降温处理。
- b) 电池在整盘起火时，在隔离到地上后使用灭火毯进行全覆盖阻止火势蔓延阻氧灭火。
- c) 电池连锁发生起火造成火灾时：
 - 使用消防水进行降温灭火。
 - 同时进行报火警通知其它区域人员进行疏散到指定地点。
 - 同时切断老化区域设备电源，防止灭火过程中发生触电。

C. 4.8 带电电池在储存时应避免满能量状态，储存环境的温度、湿度应满足要求，避免与易燃物混放仓库。一旦储存带电电池的仓库发生火灾，立即使用消防水进行扑救。

C. 4.9 运输过程中避免货物和易燃物混放，发生火灾时使用灭火毯将着火电池进行覆盖阻止火势蔓延，然后使用水进行降温并隔离着火物品。

C. 5 液体火灾处置方法

C. 5.1 当干燥间内发生电解液点式火灾时，首先切断电解液气源和液体出液管，立即使用配备的灭火器对着火点进行扑救。

C. 5.2 电解液泄露发生面积较大火灾而灭火器无法扑救时，使用消防砂进行吸附和覆盖灭火，同时通知人员快速撤离火灾现场，并拨打火警进行火灾报警。

C. 5.3 干燥间发生化学品火灾时，立即清理出多余化学品，切不可使用易燃物吸附散落化学液体。

C. 6 火灾处置程序

C. 6.1 报警：发现火灾时能判断火灾火源的情况下，要先进行报火警，首先报告着火位置具体的地址楼号楼层房间号、着火物质、着火源、有无人员被困、报警人联系方式。

C. 6.2 初期火灾扑救：就近取得灭火器站在火源的上风口，按照灭火器使用方法打开灭火器由远至近的对准火源根部进行灭火，直到初期火灾彻底熄灭才可停止灭火器对火源的喷射。

C. 6.3 疏散：当发生火灾后，消防值班室会通过消防广播进行疏散通知，按照各车间班组的紧急情况疏散路线进行疏散并到指定地点进行集合，清点人员数量，发现人员缺少第一时间通知现场总指挥，进行人员营救。

C. 6.4 报告：当发生火灾时第一时间报告中控消防值班室，同时报告所在班组车间直接领导，将火灾情况报告。

附 录 D
(资料性附录)

使用闪点和引燃温度、蒸汽浓度判断物质火灾风险的方法

D.1 闪点是一闪即灭的温度，引燃温度是外部火源引起持续燃烧的温度。引燃温度比闪点对持续燃烧判断更有价值。单一成分的溶剂的闪点和引燃温度相差 3℃，通常用闭口杯闪点来判断物质火灾特征。混合溶剂的引燃温度通常高出闪点 300℃以上，因此用通风情况下混合溶剂的蒸汽压确定的气体浓度来判断物质火灾特征。

D.2 按照表 2，室温下电解液混合溶液的饱和体积浓度低于挥发成分的爆炸下限值的电解液，存放仓库或中间仓，用阻燃或不燃材料的墙体，有独立通风且连锁烟雾探测器或浓度探测器，事故通风能力不低于 12 次/小时的换气能力，为丙类仓库，用消火栓和手提灭火器保护。不满足以上条件组合的存储间，依照电解液的闪点划分为甲乙类仓库且要设置厂房防爆设计和自动灭火系统。

- a) 计算室温下电解液混合溶剂的饱和体积浓度，达不到爆炸下限值，不会起火。
- b) 根据马扎克公式： $GS = (5.38 + 4.1u) \cdot PH \cdot F \cdot M^{1/2}$ ，式中，GS 是物质散发量，g/h；u 是风速，m/s；F 是物质的散露面积， m^2 ；M 是物质的分子量；PH 是饱和蒸汽压： $\lg PH = -0.05223A/T + B$ ，

$L_T = \frac{100}{4.76(n-1)+1} \times 100\%$ ，式中，
T 是绝对温度，K；A，B 是各种物质的经验系数。爆炸下限公式：
n 是 1mol 可燃气体完全燃烧所需的氧原子数。化学品挥发浓度正比于饱和蒸汽压 PH，提高风速，降低温度即降低饱和蒸汽压能有效降低气体浓度。

- c) 模拟计算电解液，从金属桶的小孔泄漏、翻倒地面泄漏、在集液沟泄漏等，存在 0.5 米/秒的捕获风速则电解液蒸气浓度为爆炸下限 LEL 的 12ppm；风速上升到 1 米/秒，泄漏的电解液蒸气是 LEL 的 8ppm，远低于 5%LEL，不属于甲乙类，为丙类物质火灾风险。
- d) 锂离子电池实践中也证明，只有激烈大火引燃电解液大量燃烧和挥发补充，冒出烟雾甚至在受限空气发生气体爆炸。单独室内存放，或生产线存放点用阻燃或不燃墙体隔开存放的电解液，有通风设施，没有发生燃烧和爆炸事故的案例。