

T/CAMETA

中国机电一体化技术应用协会团体标准

T/CAMETA XXXX—XXXX

锂离子电池组柔性制造系统 通用技术要求

General technical requirements for flexible manufacturing system of Li-ion battery pack

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2025 年 7 月 15 日）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中国机电一体化技术应用协会 发 布

目 次

前 言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 系统架构 1

5 基本要求 2

 5.1 兼容要求 2

 5.2 数字化要求 2

 5.3 网络通信要求 2

 5.4 数据管理要求 2

 5.5 安全要求 2

 5.6 环境要求 3

6 系统决策层功能及要求 3

 6.1 智能排产 3

 6.1.1 排产范围、方法与结果 3

 6.1.2 系统功能 3

 6.2 柔性调度 3

 6.2.1 柔性调度范围、方法与结果 3

 6.2.2 系统功能 3

 6.3 全流程仿真 3

 6.3.1 规划仿真 3

 6.3.2 工艺仿真 3

 6.3.3 装备仿真 3

 6.3.4 控制仿真 4

7 系统执行层功能及要求 4

 7.1 生产物料管理 4

 7.1.1 配送管理 4

 7.1.2 物料防错 4

 7.1.3 库存管理 4

 7.2 生产设备管理 4

 7.2.1 智能中控 4

 7.2.2 预警与维护 4

 7.3 工艺管理与执行 4

 7.3.1 工艺管理 4

 7.3.2 工艺执行 5

 7.4 生产质量管理 5

 7.4.1 生产线放行 5

 7.4.2 制程质量控制 5

8 系统基础层功能及要求 5

8.1 制造设备 5

8.1.1 组装设备 5

8.1.2 涂胶设备 5

8.1.3 焊接设备 5

8.1.4 锁附设备 5

8.1.5 总装设备 6

8.1.6 测试设备 6

8.2 生产资源要求 6

8.2.1 原材料 6

8.2.2 辅助设施与配件夹具 6

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。

本文件由中国机电一体化技术协会提出并归口

本文件起草单位：宁德时代新能源科技股份有限公司、机械工业仪器仪表综合技术经济研究所、南京埃斯顿机器人工程有限公司、江苏烽禾升智能科技有限公司。

本文件主要起草人：林嘉、刘海龙、杜鹏昊、柳洋、邓咏康、林立勇、史德强、邱宇东、徐良杰

锂离子电池组柔性制造系统 通用技术要求

1 范围

本标准规定了锂离子电池组柔性制造系统的系统架构、基本要求、信息交互、基础层数字化和柔性化要求、生产执行层数字化和柔性化要求、系统层数字化功能等。可用于指导锂离子电池组柔性制造系统的设计和建设。

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 37393-2019 数字化车间 通用技术要求

GB/T 38331-2019 锂离子电池生产设备通用技术要求

GB/T 43436-2023 智能工厂 面向柔性制造的自动化系统通用要求

T/CIAPS 0011—2021 锂离子电池制造术语

3 术语和定义

GB/T 37393-2019界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

柔性制造

能够针对产品、工艺或设备的动态变化，进行快速灵活配置的生产方式。

[GB/T 43436-2023, 3术语和定义, 3.1]

3.2

柔性制造系统

由计算机信息控制系统和物料自动储运系统有机结合，按任意顺序加工一组不同工序与加工节拍的工作，适时地自由调度管理的一组自动化生产设备。

[GB/T 43436-2023, 3术语和定义, 3.2]

3.3

人机交互

人与机器互相配合共同完成一项任务的过程。

[GB/T 37393-2019, 3术语和定义, 3.10]

3.4

异构数据

具有不同数据结构、存储格式及访问方式的数据集合。

3.5

元启发式算法

基于计算智能的机制求解复杂优化问题最优解或满意解的方法，也被称为智能优化算法。

4 系统架构

锂离子电池组柔性制造系统由决策层、执行层和系统层组成。其中，

——决策层包括智能排产、柔性调度、全流程仿真等功能。

——执行层包括生产物料管理、生产设备管理、工艺执行与管理、生产质量管理等功能；

——基础层包括制造设备和原材料、工装夹具等生产资源；

系统架构如下：

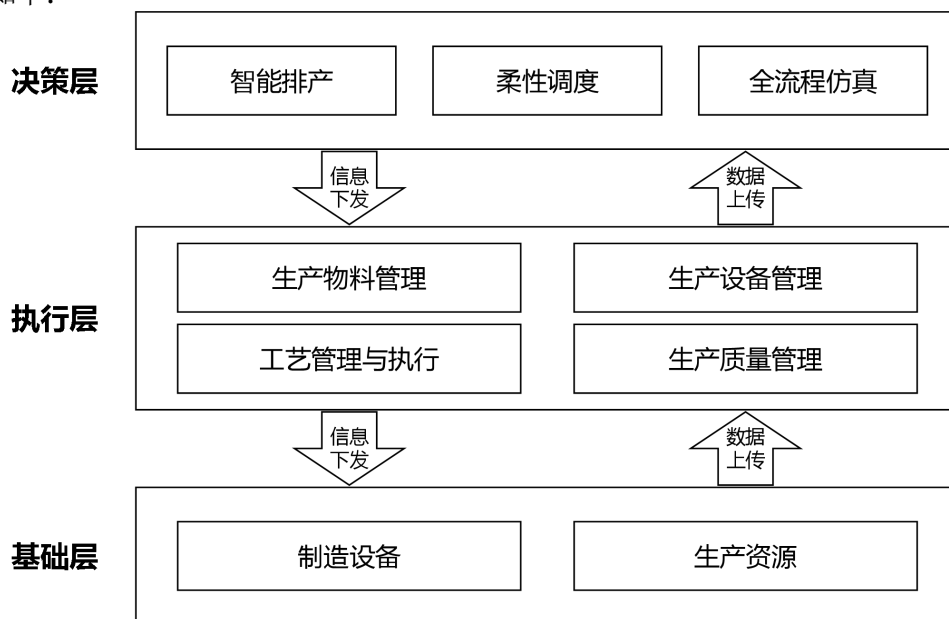


图 1 锂离子电池组柔性制造系统架构图

5 基本要求

5.1 兼容要求

系统应具备工艺兼容能力，可兼容生产在工序流程、工艺参数上存在差异但在兼容范围内的产品。
系统应具备尺寸兼容能力，可兼容生产在零部件或成品形状、尺寸上存在差异但在兼容范围内的产品。

5.2 数字化要求

系统主要制造设备应具备数字档案、通信接口及一定的可视化、人机交互能力。
系统主要生产资源在条码或电子标签等编码技术基础上，应具备可识别、可记录、可追溯功能。
主要工艺文件宜实现电子化，通过上层管理系统下发至现场设备中。

5.3 网络通信要求

制造系统应建有互联互通的网络，可实现设备、生产资源与上层管理系统之间的信息交互。控制设备与现场设备之间的通信，可采用如下通信方式：

- 现场总线：可采用 PROFINET、EtherCAT、PROFIBUS、CC-LINK、MODBUS、CAN 等通信协议；
- 工业以太网通信：可采用 PROFINET、TCP/IP、Ethernet/IP、EtherCAT、POWERLINK 等通信协议；
- 无线通信：工业无线（WIA-FA、WIA-PA）、WIFI、蓝牙、3G/4G/5G 等通信协议。

5.4 数据管理要求

锂离子电池组柔性制造系统应在数据采集的基础上，结合数据实时性要求，利用合理的网络通信方式与数据存储方式进行数据的采集与存储，并与系统管理层实现对接。包括：

- 应能对系统所需数据进行采集、存储和管理，并支持异构数据之间的格式转换，实现数据互通；
- 存储方式宜采用实时数据库与历史数据库相结合的方式；
- 应具备信息安全策略，并支持实时性及周期性更新和升级。

5.5 安全要求

系统设备应具备保护措施避免撞击磕碰等损伤电芯表面。

系统设备应具备防电芯短路设计,物料搬运过程应具备断电断气防掉落保护功能。

在制造及物料传输过程中不允许有金属颗粒或其它固态颗粒产生跌落在电芯上或采取其他方式保证表面清洁度。

5.6 环境要求

系统所处环境应满足温、湿度及洁净要求。

——温度要求: $15^{\circ}\text{C}\sim 28^{\circ}\text{C}$ 。

——湿度要求: $\text{RH}\leq 70\%$, 生产过程不结露。

——洁净要求: 系统设备不外溢粉尘、金属颗粒。

6 系统决策层功能及要求

6.1 智能排产

6.1.1 排产范围、方法与结果

智能排产可集成于锂离子电池组制造系统,适用于包括多品类、小批量等生产场景。

智能排产可结合规则式、元启发式算法、数学优化、深度强化学习等算法。

智能排产需满足成本、交期、资源利用率等目标,在资源、工艺等约束下实现生产计划制定。

6.1.2 系统功能

智能排产应获取订单信息等排产需求数据,输出并展示生产计划。

智能排产应有计划变更功能,获取生产执行过程中的结果,滚动更新计划。

智能排产应有数据记录功能,保存历史生产计划信息。

6.2 柔性调度

6.2.1 柔性调度范围、方法与结果

柔性调度可集成于锂离子电池组制造系统,适用于包括多品类、小批量等生产场景。

柔性调度可结合启发式算法、元启发式算法、深度强化学习算法等方法。

柔性调度需满足设备利用率、调度及时性等生产目标,实现布局、资源约束下的物流调度。

6.2.2 系统功能

柔性调度应获取调度触发信号、可用资源等数据,输出调度方案到相关执行设备中。

柔性调度应有调度调整功能,获取执行设备的信号数据,进行调度方案的更新。

柔性调度应有数据记录功能,保存历史调度方案信息。

6.3 全流程仿真

6.3.1 规划仿真

规划仿真是针对物流系统进行系统建模,模拟实际物流系统运行状况,并统计和分析模拟结果,用以指导实际物流系统的规划设计与运作管理。

规划仿真基于产线布局、设备节拍、MTTR等验证最优设备数量,最优调度逻辑,瓶颈分析验证,提高设备和AGV利用率,达到最优的资源分配。

6.3.2 工艺仿真

工艺仿真范围包括锂离子电池组柔性制造系统装配、涂胶、焊接、拧紧、测试等关键工序,产品上应涵盖系统兼容生产品类。

工艺仿真建模可结合机理分析与数据分析方法。

工艺仿真结果包括给定工艺条件下的关键产品/工艺特性输出及最优工艺参数推荐。

6.3.3 装备仿真

装备仿真利用产品和资源的三维数据对设备布局、结构、动作过程进行虚拟仿真与验证，以实现更快的制造启动和更高的生产质量，包括：

- 动作仿真，利用装配仿真来虚拟验证所有流程操作步骤及其细节，进而缩短整体规划流程时间、简化生产设置、快速实现产能提升，以及一次性交付高质量产品。
- 机器人仿真与离线应用，利用机器人和自动化对操作进行设计，仿真和离线编程，机器人作业仿真，虚拟验证机器人作业路径可达性、是否干涉及作业效率
- 人因工程，利用虚拟人物改善工作场所的安全状况，提高工作效率，并增加工作环境舒适度。

6.3.4 控制仿真

控制仿真通过数字孪生技术在虚拟环境中模拟和优化生产线控制逻辑的先进方法，通过以虚拟方式仿真和验证自动化设备，可以保证设备的表现能够达到预期，缩短现场调试时间并降低风险。

控制仿真对象为锂离子电池组柔性制造系统自动化设备，内容包括：

- 单机离线控制仿真，建立智能组件逻辑关系，导入信号表、添加其他信号；
- 电气系统联调仿真，连接虚拟仿真模型与物理的上位机、PLC、HMI 和机器人等自动化设备；
- 多工况仿真验证与优化，对生产系统的生产、空跑、NG 等状态进行虚拟验证。

7 系统执行层功能及要求

7.1 生产物料管理

7.1.1 配送管理

宜采用自动叫料、自动配送的方式提高物料配送的及时性和数量准确性。
自动配送点宜细化至工站，实现点到点配送。

7.1.2 物料防错

应提高物料需求估计的准确性，以减少在生产型号切换后原型号物料在生产线线体或线边积攒。
必要时，可在切换过程对生产线体逐段进行物料清理，以消除混用风险。
系统应具备物料自动校验功能，确认在制产品是否与工单需求相符。

7.1.3 库存管理

应对生产过程使用的物料（包括原材料与半成品），以及成品库存数量、位置信息进行监控。
应结合库存数据和订单需求、排产信息进行分析，及时下达补货建议及配送要求。
应具备对库存成本分析和优化功能。

7.2 生产设备管理

7.2.1 智能中控

通过传感器、相机等设备，实时采集设备的运行状态、运行参数以及生产数据。
设备的运行状态和参数应通过图形化界面（如仪表盘）展示，便于操作人员快速掌握设备的整体情况。
应支持对多个设备或生产线的集中管理，实现跨设备的协同运行。

7.2.2 预警与维护

应对设备状态信息进行分析和判断，在出现异常时及时发出预警/报警信息，提醒操作人员采取措施。
宜基于设备的历史数据和实时状态，预测设备的维护需求，降低因设备故障导致的产能损失。
宜支持对设备的远程诊断和维护，减少现场维护的时间和成本。

7.3 工艺管理与执行

7.3.1 工艺管理

工艺要求宜采用电子化的方式进行管理。随着生产型号切换，将相应的工艺参数通过生产执行系统（MES）自动下发至生产设备中。

7.3.2 工艺执行

由带有生产型号切换信息的新生产工单触发生产线切换。

对于以流水线方式组织的生产线，宜采用分段切换的方式。沿产品流动方向，随着上一个产品离开工站或新产品到达工站，逐工站切换生产工艺参数。

7.4 生产质量管理

7.4.1 生产线放行

应通过引入自动化、程序化调整减少人工干预等手段，减少设备调整对生产质量的不可控影响。在质量风险受控的前提下，应对生产型号非首次切换后的生产线放行流程进行简化。

7.4.2 制程质量控制

柔性制造系统应具备实时监控和数据分析能力，及时发现并解决问题，确保产品符合质量标准。

宜通过引入在线检测技术减少首件确认项目。在生产型号切换后，对于部分仅用于确认设备状态的首件项目可不作确认；对于与物料状态有关的首件项目，建议重新确认。

8 系统基础层功能及要求

8.1 制造设备

8.1.1 组装设备

设备主要功能为将多个单体电芯及附属零件按照设定的配比、数量、顺序拼合成组件，并保证其尺寸、平面度、成组力、零件间相互位置应满足设计要求。

设备应根据MES系统下发信息对零件配比、数量、顺序进展调整，以实现不同产品配方控制。

设备具备对全过程位置精度、尺寸、异常缺陷的自动检测功能，可根据不同产品设定不同智能判定规格。

8.1.2 涂胶设备

设备主要功能为将单组分胶水或按一定比例混合均匀后的多组分胶水，按设定胶量和轨迹涂覆在目标零部件表面上。

设备应能兼容拉线常用胶水的粘度范围；设备出胶速度应能在最短设计节拍下满足兼容产品范围的最大涂胶量。

针对不同产品可实现涂不同胶量、不同轨迹，胶量和轨迹可实现分段控制，程序配方可实现一键切换，轨迹转角处圆滑不可出现胶水堆积。

设备宜具备对涂胶质量，包括位置精度、胶型、色差、异物等缺陷的自动检测功能。可根据涂胶轨迹按每段长度分段设定判定规格。

8.1.3 焊接设备

设备主要通过激光、CMT或其它焊接方式对产品不同零部件进行连接，连接界面满足强度、（或/及）过流、（或/及）密封等要求。

可兼容不同尺寸极柱及焊接轨迹；可兼容同一产品不同参数的焊接工艺设置并将制程数据上传到MES；可根据测距数据对各焊点离焦量进行单独补偿。

设备宜具备对焊接质量的无损检测方法，可在焊接过程或焊接后进行检测。

8.1.4 锁附设备

设备主要通过旋紧螺栓的方式对零部件连接界面进行紧固。

设备应具备一定的扭矩、角度、转速调节能力，锁附顺序可自由设置，扭矩 $CPK \geq 1.67$ 。

设备应具备对扭力、角度、数量等数据的采集和监控功能，可结合人工智能的方法对异常进行诊断和预警。

8.1.5 总装设备

设备主要功能为安装电池组附属的电气控制与连接件、结构加强件、绝缘防护件、外部密封件与产品标签。

宜结合零部件结构的可制造性设计实现其自动化装配。

宜引入拟人化装配设备实现对不同产品、零部件及装配操作的柔性兼容。

8.1.6 测试设备

设备主要功能为对电池组的密封性及电性能进行测试。

气密测试流程包含步骤可自由设置，各步骤充气压力、充气时间可调。

电性能测试连接器可兼容单并和多并产品，生产型号切换时可根据测试需求通过转接盒进行快速切换。测试方案与流程宜具备根据测试需求变化进行二次开发与设定能力。

除了对输出参数是否在规格范围内进行判异外，设备可结合人工智能的方法对异常进行诊断和预警。

8.2 生产资源要求

8.2.1 原材料

带有自动上料功能的工站，其原材料来料包装应满足工站自动化设备的兼容要求。

原材料、原材料包装或物料盛具上应带有条码、电子标签或RFID等可被设备识别的信息编码。

8.2.2 辅助设施与配件夹具

制造系统所在车间宜布置有标准化的车间信息看板，自动采集、实时刷新、直观展示不同生产线、不同产品的生产状态信息。

工装夹具宜具有设备自动调整，或人工快速调整、快速更换功能。

附 2

锂离子电池组柔性制造系统 通用技术要求 团体标准

编 制 说 明

2025 年 5 月

目 录

1. 任务来源	3
2. 起草单位	3
3. 编制背景	3
4. 主要工作过程	3
5. 编写规则	5
6. 标准的主要内容	6
7. 标准制定的目的	6
8. 有关专利的说明	7
9. 关于标准性质	8

1.任务来源

《锂离子电池组柔性制造系统 通用技术要求》团体标准相关编制任务来源于国家重点研发计划“智能机器人”专项——动力电池组多机器人柔性集成制造系统及应用示范课题5“电池包敏捷生产系统集成平台与应用示范”。以该课题及项目总体研究成果为基础，对锂离子电池组（特别是车用电池）智能制造发展趋势及生产制造特点开展系统研究，结合行业需求痛点，编制此标准。

2.起草单位

《锂离子电池组柔性制造系统 通用技术要求》团体标准起草单位包括宁德时代新能源科技股份有限公司、机械工业仪器仪表综合技术经济研究所、南京埃斯顿机器人工程有限公司、江苏烽禾升智能科技有限公司。

3.编制背景

当前，国内新能源汽车市场呈现爆发式增长，发展势头极为火热。这股浪潮强劲地带动了新能源电池，尤其是车用动力电池产业的蓬勃发展。如今，全球锂离子动力电池产业格局已发生深刻变化，逐渐形成了以中国厂商为主导的态势。以宁德时代、比亚迪为代表的中国企业，凭借强大的研发实力和规模效应，在全球动力电池供应量上稳居

头部位置，引领行业发展方向。为支持这一战略性新兴产业，国家发改委、工信部、科技部等相关部委相继出台了一系列激励政策，从财政补贴、税收优惠、技术创新支持等多方面入手，大力推动动力电池产业和新能源汽车产业协同发展。同时，政策也着眼于长远，对动力电池产品的各项参数指标、质量安全、技术升级迭代以及全生命周期的循环利用等关键环节，提出了更新、更高的要求。

在此背景下，要实现产业可持续高质量发展目标，在动力电池行业进一步深化智能制造转型升级，全面提升电池产品的制造能力、一致性和良品率，就显得尤为重要且迫切。行业领军企业如宁德时代、比亚迪、中创新航、欣旺达等纷纷积极投身智能制造探索与实践，投入巨资引入先进自动化设备、工业互联网平台和大数据分析技术，成功打造了各具特色、高度自动化的智能车间或工厂，显著提升了生产效率和产品品质。

随着国内新能源电池行业持续高速发展，不同投资规模、不同制造模式、不同生产工艺的电池工厂层出不穷。这些差异化的生产工艺路线及技术要求，对最终动力电池产品的质量一致性、能量密度、循环寿命和安全性能等核心指标影响显著。然而，部分中小规模企业在面对技术快速迭代时，对于如何系统性地识别瓶颈、优化流程，从而进一步提升动力电池生产场景的技术水平和管理能力，思路尚显不足，存在一定的转型困惑。同时，整个行业内也尚缺乏一套权威、统一、专门针对锂电池生产特性的智能化装备技术规范，以及覆盖动力电池智能制造全流程的相关技术标准可供行业广泛参考借鉴，这在一定程

度上制约了产业整体智能化水平的提升和经验的快速复制推广。综上，本标准试图探索建立一类科学有效的锂离子动力电池智能化生产制造结构和模式，并通过技术要求确保在近似工艺及现场条件下的电池产品质量稳定，形成可供同行参考借鉴的智能制造建设思路。

4.主要工作过程

2023年3月28日，在深圳举行了“动力电池组多机器人柔性集成制造系统及应用示范项目”启动会，会上对各个课题组承担的研究任务进行了确认和要求。会上初步讨论了本标准的编制思路、初步计划等。

2023年6月中旬，在宁德举行了“动力电池组多机器人柔性集成制造系统及应用示范项目”各课题的整体启动会。会上具体确定了团标编制的工作计划、立项时间节点要求，并开展团标编制工作组的报名建立工作。同时在会议期间对宁德时代拟开展智能化改造提升的产线进行了调研，初步掌握整体工艺内容和生产流程。

2023年12月22日，在宁德举行了项目年度会，会上对标准草案初稿内容进行了汇报及交流，同期，标准发布归口单位中国机电一体化技术应用协会对本标准正式立项，立项编号为TB-20230039。

2024年1月、3月、7月分别开展了团标草案内容的课题组内研讨会，逐步将团标内容框架、整体编制思路、具体要求及技术参数等进行了确定。同时在草案编制过程中，还通过企业交流会的形式，邀请了京内部分电子装备制造和汽车制造企业进行交流讨论，从供需双

方的角度对标准内容条款的科学性和可行性提供参考。

2025 年 4 月 28 日，2025 年 7 月 24 日，分别召开了团体标准草案关键指标研讨会，会上对研究过程中出现的细节问题和难点进行了交流讨论和确认，形成可供审查的团标征求意见稿。

5.编写规则

本标准按照 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。

6.标准的主要内容

本标准规定了锂离子电池组柔性制造系统的系统架构、基本要求、信息交互、基础层数字化和柔性化要求、生产执行层数字化和柔性化要求、系统层数字化功能等。可用于指导锂离子电池组柔性制造系统的设计和建设。其具体章节条款如下：

前言

1. 范围

2. 规范性引用文件

3. 术语和定义

4. 系统架构

5. 基本要求

5.1 兼容要求

5.2 数字化要求

- 5.3 网络通信要求
- 5.4 数据管理要求
- 5.5 安全要求
- 5.6 环境要求
- 6. 系统决策层功能及要求
 - 6.1 智能排产
 - 6.2 柔性调度
 - 6.3 全流程仿真
- 7 系统执行层功能及要求
 - 7.1 生产物料管理
 - 7.2 生产设备管理
 - 7.3 工艺管理与执行
 - 7.4 生产质量管理
- 8 系统基础层功能及要求
 - 8.1 制造设备
 - 8.2 生产资源要求

7.标准制定的目的

本标准基于识别的行业共性技术标准空白点，紧密结合宁德时代自身在动力电池智能制造领域多年深耕积累的成功经验和先进模式探索，系统性地梳理、归纳了涵盖智能工厂规划、智能装备应用、生产过程数字化管控、大数据质量追溯分析以及智能仓储物流等方面的

共性关键技术要求。目标是把这些实践经验和创新成果提炼、固化，形成一套具有行业普适性、可操作性强的推荐性标准，旨在为相关电池企业的新建产线规划、现有产线智能化改造升级提供清晰的建设思路、技术路径参考和切实可行的实施指导，助力整个动力电池产业向更高水平的智能制造迈进。

8.有关专利的说明

本标准不涉及专利。

9.关于标准性质

建议作为推荐性团体标准执行，以用于对锂离子电池组智能化产线或车间工厂建设提供指导和参考。