

智能化动力电池工厂规划设计概述

文/中国汽车工业工程有限公司三电工程所 张亚琼 李东明 王玉辉 时哲 黄明

在政策和市场的驱动下，我国新能源汽车和动力电池产业近年来迎来了新的发展契机。作为新能源汽车的核心部件，动力电池智能制造的步伐一直走在整个产业的前端。智能制造可以提高电池企业的产品质量，提高制造安全性，降低生产成本，对提升企业的整体竞争力有着重要的意义。智能工厂的规划建设是一个十分复杂的系统工程。

随着新能源汽车用动力电池市场的快速扩大，应用领域对电池的高安全性、高一致性、高合格率和低制造成本提出了新的要求，如果继续沿用过去半自动化、半人工的生产方式，产品将难以适应国际化竞争的需求。电池企业必须投入更多资源，通过技术创新、自动化生产和规范化管理，加快实现产业的转型升级。

2017年3月，工信部、发改委、科技部和财政部四部门印发关于《促进汽车动力电池产业发展行动方案》的通知，要求按照《<中国制造2025>重点领域技术路线图》的总体部署，加快形成具有国际竞争力的动力电池产业体系；明确将高端装备支撑产业发展作为5大目标之一：到2020年，动力电池研发制造、测试验证和回收利用等装备实现自动化、智能化发展，生产效率和质量控制水平显著提高，制造成本大幅降低。

智能工厂的规划建设是一个十分复杂的系统工程。如何实现智能化动力电池工厂的规划设计？本文从动力电池工厂的规划流程、总体规划及智能化设计理念三方面展开论述。

规划流程

1. 规划思路

电池工厂的规划设计一般分6个步骤进行，如图1所示。

目标产品定位，首先要做市场调研、分析，确定项目产品的应用领域，是乘用车、商用车、



图1 工厂规划设计步骤

物流车还是专用车等，根据市场情况，确定项目的规模，预估产品的价格定位。

根据产品定位，进行电芯的产品设计，设计电芯的基本参数，如电芯产品性能（容量、充放电倍率、循环性能和安全性能等）、材料体系、尺寸结构以及Pack规格等。

再通过扣电试验、产品试制和中试线验证，确定工艺制程（流程）、对各工序的参数进行验证，如合浆工序的材料配比、固含量、黏度和细度等。

根据工艺制程参数、项目规模，进行工艺设备选型，如确定合浆系统、涂布线等的规格和数量。进一步确定各工序设备对土建公用的需求，包括能源需求（水电气）、环境需求（温湿度、洁净度）以及土建需求（基础荷载、地面要求、吊顶高度和厂房高度等）。

上述内容确定后，可以进行工厂设计阶段。获得用地的土地规划条件、能源供给条件，根据项目需要撰写项目建议书、厂址选择意见书，并开展可研、环评、能评、安评和职评的前期规划准备工作，然后进行初步设计、方案设计以及施工图样设计。

2. 项目建设流程

智能化动力电池工厂项目建设流程遵循一般

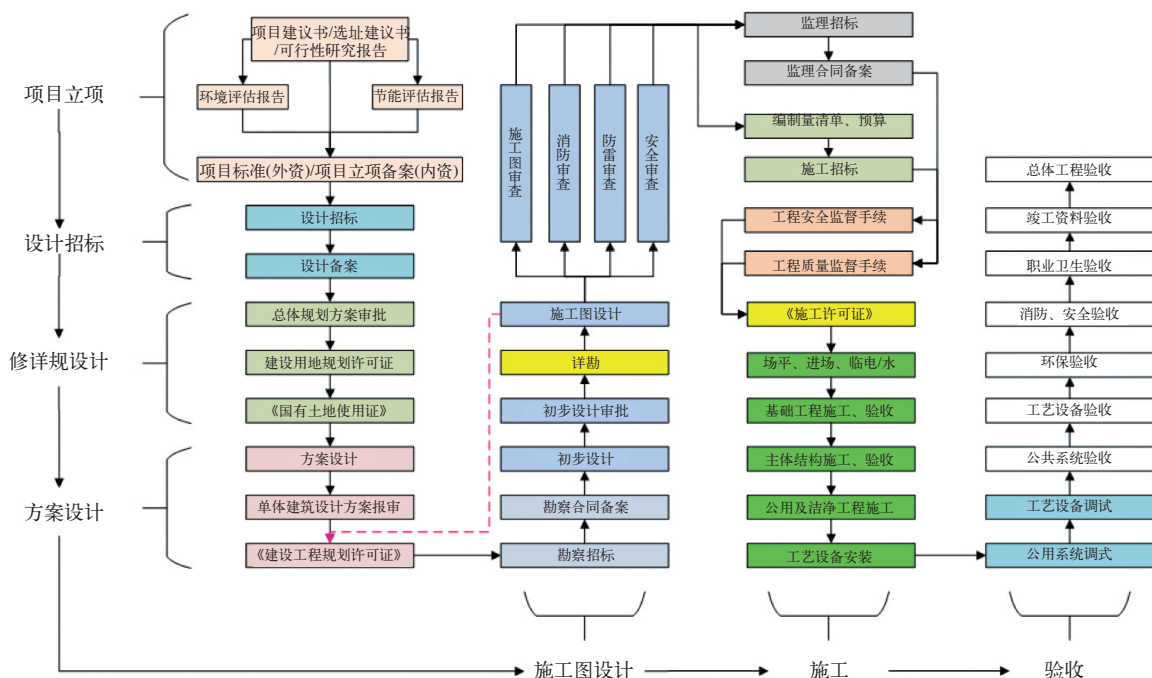


图2 智能化动力电池工厂项目流程图

的工程设计程序，包括项目立项、设计招标、修改详细规划设计以及方案设计。图2所示为智能化动力电池工厂项目流程图。

工厂的总体规划

1. 设计原则

智能化动力电池工厂的规划设计要从产品品牌、企业文化、节能环保和绿色生态的角度考虑，以展示企业品牌和文化、体现节能环保绿色生态为根本。一般遵循以下6项设计原则：

- 1) 人员、物流分开且保持顺畅，消防疏散措施周到且人性化。
- 2) 生产单元集中工序间的转运便捷。
- 3) 公用设施靠近负荷中心，减少能源损耗。
- 4) 贯彻数字化、智能化工厂理念，提高生产管理自动化水平。
- 5) 布局合理，合理优化空间，节省建设和运行成本。
- 6) 设备选型要配套产能，先进可靠且经济适用。

2. 工厂构成

智能化动力电池工厂主要由电芯生产车间、PACK车间、原材料库、电芯库及材料库、成品库等构成，具体如图3所示。

3. 建线模式和特点

智能化动力电池工厂可以根据产品建线，也



图3 智能化动力电池工厂的组成

可以根据工序建线。

(1) 产品建线

按照产品划分车间，将同一个产品的不同生产工序布置在一个车间内，完成整个产品生产流程。其特点是：库房集中设置，生产区集中，便于专项管理；生产车间模块化，便于分期建设；单线工序间衔接紧密，物流距离短，利于保证产品的一致性；单个生产车间面积较大，消防要求略高；生产线刚性大，连续化生产对设备的可靠性要求高；各模块的工艺设备、人员管理和公用设施等相对独立，综合利用率相对低。

适合于市场需求不明显，产品定位不明确，分期投资，降低一次性建设成本的项目。

(2) 工序建线

按照生产工序，将不同的工序布置在独立的车间内，如电极车间、装配车间和化成车间等，

不同车间之间采用连廊连接。其特点是：生产车间分散，单个生产车间面积小，便于消防疏散设计；生产工序有缓冲库，生产刚性小，设备可靠性要求略低，生产组织灵活；工艺设备、人员管理和公用设施能充分共享、综合利用率高，设备综合投资低；物流输送距离远，输送成本高，对产品一致性不利；车间需要一次建成，一次建设成本高。

适合于产品较为单一，市场需求较明确、稳定，一次投资建设规模较大的项目。

智能化设计理念

智能工厂的建设融合了信息技术、先进制造技术、自动化技术、智能化技术以及先进的企业管理技术。通过工业互联网和大数据分析，实现工厂的透明化，具体包括数字化的厂房、透明化的物流、透明化的质量跟踪追溯、产线和设备状态实时监控以及工厂能耗的智能化管理。

1. 智能厂房设计

智能工厂的厂房设计，引入建筑信息模型（BIM），通过三维设计软件进行工厂建模，尤其是水、电、气、网络和通信等管线的建模；使用数字化制造仿真软件对设备布局、产线布置和车间物流进行仿真。

同时，智能厂房要规划智能视频监控系统、智能采光与照明系统、通风与空调系统、智能安防报警系统、智能门禁一卡通系统及智能火灾报警系统等。采用智能视频监控系统，通过人脸识别技术以及其他图像处理技术，可以过滤掉视频画面中无用的或干扰信息，自动识别不同物体和人员，分析抽取视频源中关键有用信息，判断监控画面中的异常情况，并以最快和最佳的方式发出警报或触发其他动作。

2. 先进的工艺设备

工艺设备是工厂智能化的基础单元，制造企业在规划智能工厂时，必须高度关注智能装备的最新发展。锂电生产的工艺设备更新换代、升级尤其的快速，如涂布分切一体机、辊压分切一体机、模切分切一体机、激光模切裁切一体机、裁切叠片一体机、高速叠片机和自动化堆垛式化成机等逐步被行业应用到生产中，提高了生产效率、减少了输送量。

产线装备自身的自动化程度提高。通过传感器、数控系统或RFID与自动化物流系统进行信息

交互，通过数字化仪表接受能源管理系统能耗监控，通过控制系统、网络通信协议、接口与MES系统进行信息交互，进行生产、质量、能耗和设备绩效（OEE）等数据采集，并通过电子看板显示实时的生产状态；产线具有一定冗余，如果生产线上有设备出现故障，能够调整到其他设备上生产；针对人工操作的工位，能够给予智能的提示，并充分利用人机协作。

设计智能产线需要考虑如何节约空间，如何减少人员的移动，如何进行自动检测，从而提高生产效率和生产质量；分析哪些工位应用自动化设备及机器人，实现工厂的少人化甚至无人化需求。

3. 自动化物流系统

智能工厂建设中，生产的智能化物流十分重要，工厂规划时要尽量减少无效的物流输送、充分利用空间、提升输送效率、避免人员的繁琐操作和误操作，实现自动化输送系统与MES系统、企业ERP系统的信息交互，实现工厂物流的透明化管理。锂电工厂中自动化物流系统的应用非常广泛，主要有自动化立库及输送系统、智能提升装置、堆垛机、AGV和机器人等，如图4所示。



图4 自动化物流设备

锂电池工厂的自动化物流系统规划时，还要充分考虑到锂电生产的消防安全问题，如电芯带电后的自动化立体仓库，要配置烟感控、温度传感器及消防报警、喷淋灭火系统。

4. MES生产管理系统

MES是智能工厂规划落地的着力点，MES是面向车间执行层的生产信息化管理系统，上接ERP系统，下接现场的PLC程序控制器、数据采集器、条形码和检测仪器等设备。构建适合锂离子动力电池制造工艺的MES系统，是为了最终完善电池生产制造信息系统，实现智能工厂乃至工业4.0，推进工业互联网建设。

实现MES应用，最重要的基础就是要实现M2M，即设备与设备之间的互联，建立工厂网

络。设备与设备之间的互联，需要制定通信方式（有线、无线）、通信协议和接口方式、采集数据处理等，建立统一的标准。

基于数字化工厂理念、MES系统功能特点及锂离子动力电池制造工艺流程，构建适用于锂离子动力电池生产制造的MES系统核心功能如图5所示。



图5 MES系统核心功能图

从业务流程出发，MES系统提供实现从订单下达到完成产品的生产活动优化所需的信息；运用及时准确的数据，指导、启动、响应并记录车

间生产活动，能够对生产条件的变化做出迅速的响应，从而减少非增值活动，提高生产效率。建立起基于二维码的全生命周期可追溯系统的锂电生产大数据平台，MES系统对生产过程质量数据进行可追溯性管理，并通过双向追溯、多维度追溯和全面追溯实现。

5. 智能化能源管控系统

如果说MES系统是对电池生产的每一步工艺，进行必要的生产过程控制、过程参数采集、品质信息记录、物料消耗追踪和工序物料移动等，那么智能化能源管控系统则是以计算机控制技术和计算机网络通信技术为基础，对建筑内的各类公用机电设备进行集散式的监视、控制，对能耗数据进行分类、分项及分区域统计分析，可以对能源进行统一调度、优化能源介质平衡，达到优化使用能源的目的，全面实现对建筑的综合管理和能源利用。

如图6所示，智能化能源管控系统采用三层系统架构：管理层、控制层和现场仪表设备层。

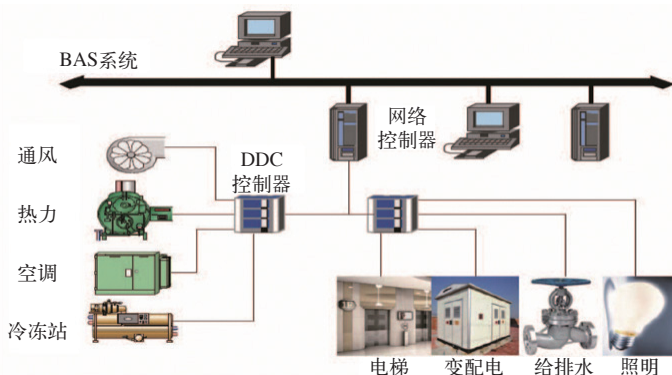


图6 智能化能源管控系统架构

1) 管理层：利用能源计量数据的采集、诊断和分析，对工厂实施有效管理。科学准确的计量数据能够指导工厂能源的利用，建立科学合理的节能流程，由此达到节能降耗的目的。

2) 控制层：总控中心显示需要监控设备的运行状态，监测参数值，调节设定值，并实时记录数据。

3) 现场仪表设备层：快速的故障反应及处理、完备的警报及历史资料，帮助工厂精简了人力和物力，实现对公用设备的综合管理和能源利用。

结束语

根据《节能与新能源汽车产业发展规划（2012-2020年）》，到2020年，我国纯电动汽车

和插电式混合动力汽车生产能力要达到200万辆、累计产销量超过500万辆。随着我国双积分政策的落地以及各国出台的燃油车退出计划，也将形成倒逼机制，促进传统车企转型。预计未来几年新能源汽车市场会继续扩大。新能源汽车产业的快速发展必将带动动力电池市场的快速增长。

智能化工厂对关键生产环节实现基于模型的先进控制和在线优化，建立工厂通信网络架构，实现工艺、生产、检验和物流等制造过程各环节之间，以及实现电池生产过程动态优化，制造和管理信息的全程可视化，持续提高动力锂电池产品的一致性、安全性，降低生产成本等有着显著优势。随着5G到来、人工智能应用，未来的动力电池工厂将更加智能化，具有巨大的想象空间。EA