

# 锂电池工程设计探讨与思考

张洪明 张 卓

机械工业第六设计研究院有限公司 河南 郑州 450007

**摘要:** 锂电池工程设计体量大,专业多,技术难度高,工程设计应坚持从产品分析出发,紧跟行业进步,深入研究相关装备,坚持以工艺设计为龙头,协调土建、公辅等专业,应用智能制造及绿色技术,解决锂电行业工程设计及工程建设过程中的问题。

**关键词:** 锂电池; 工程设计; 智能制造; 绿色工厂

## 1 锂电行业工程设计分析

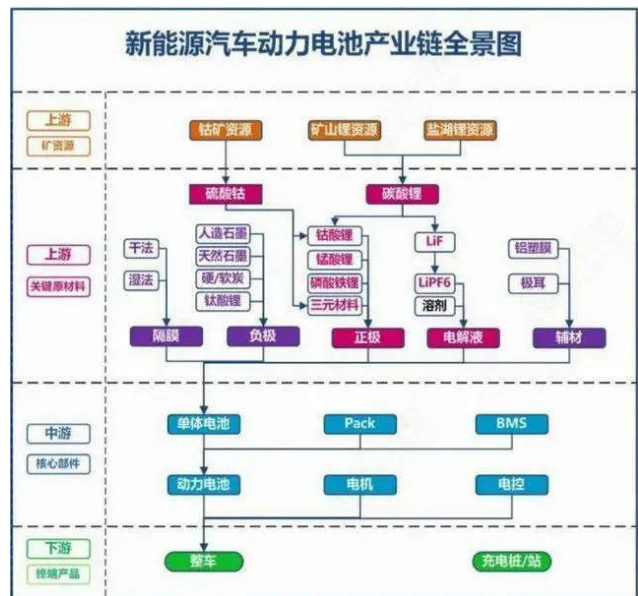
锂电池是用电化学指标来评价的复杂的精密的复合材料制品体系。锂电池生产具有环境敏感,工艺路线长、生产离散度高、制造精度高、多学科(材料、机械、电化学)交叉渗透的显著特点,属于高精度、强节拍、高投入、高技术门槛的大规模精密制造范畴。产品精细化、多元化带来工艺路线及工艺装备技术迭代迅速,产品设计和制造工艺技术门槛高,精密制造甚至可以说是极限制造。解决高精度产品定制化、柔性化、规模化生产是该类工程设计最核心的任务。

锂电池行业,经过近几年的高速发展,真正进入T时代。技术竞争日趋激烈,新材料、新产品、新技术、新装备不断迭代,在产品性能特别是产品能量密度及安全性方面提出更高的要求。在这样的市场竞争环境及技术背景下,各生产企业不断扩大生产规模,围绕降本增效的核心目标,在“电池材料、电池结构、制造体系、运行管理模式、建设模式”五个维度开展系统性创新,针对不同应用场景的定制化产品研发,打造柔性智能化生产线。

同时,锂电池生产涉及到材料及材料制备、精密制造、电化学等多学科,行业设计规范标准,产线及装备标准化、智能化建设还并不完善。而产品的多样性,又要求工程设计必须提供定制化、个性化的技术服务。因此,锂电行业工程设计对设计经验、设计经济性、设计整体性及设计完整性等方面均提出了更高设计要求。

设计主体单位经验不足,对锂电产品理解不够,甚至工程设计专业配套不齐,加之建设方出于保密等要求,自行进行工艺及装备设计,将产品与工艺,工艺与装备,工艺与公用配套,割裂开,工程系统缺乏系统性思维,创新性思维,不能解决产品工业化问题,工程设计不能起到研发与生产的纽带的关键作用,造成项目建设及运行过程中大量的调整,爬坡达产时间长,甚至偏

离生产目标工程设计未能实现对生产建设的引领与提升,是目前该领域工程设计存在的普遍问题。



附图1: 锂电池产业链全景图

## 2 锂电工程设计总体设计思路

深刻理解产品要求,按照生产工艺顺序,逐个做好产品分解、动作分解、节拍分解、设备平衡、工序平衡;关注物料转运状态,通过新装备新技术的应用、相关行业的装备的引用及适应性改造、工艺计算、工艺仿真,实现工艺路线再造,打造一条个性化生产线,建设智能制造体系,实现达产达效。

## 3 锂电工程设计要点及技术措施

### 3.1 工艺设计

工艺设计是工业类工程设计的基础。产品分析与理解、产品工业化生产与实践是工程设计的基础和起点。公用和土建是为生产和工艺服务的。产品变化,生产工艺变化势必对公辅配套、土建设计带来巨大影响。工艺方案及装备的理解,消化,直接影响到项目其他专业的

设计成果质量。

目前,锂电池生产的工艺路线过长,质量管控点多,建设规模持续增加,投资巨大,新的产品及材料体系不断迭代,生产成本控制及品控管理难度大。工艺设计的深化与提升刻不容缓。

在工程设计中,必须在工艺分析的基础上,与建设方产品研发部门进行充分、细致的沟通,特别关注产品变化,材料体系变化对工艺装备的影响;调整工艺路线,采用“高速、高精、高效、高稳”的工艺装备,实现工艺路线再造,采用“连续化、一体化、大型化”设备减少工艺生产设备,减少物流转化时间,从而降低生产离散度;分析设备及工序之间的数据逻辑关系,从工艺设备底层搭建智能制造体系。在此基础上,进行多方案的设计及比较,这才是工艺设计优化提升的根本途径。

工艺设计应回归本源,踏踏实实的按照生产工艺顺序,逐个做好产品分解、动作分解、节拍分解、设备平衡、工序平衡;关注物料转运状态,通过新装备新技术的应用、相关行业的装备的引用及适应性改造、工艺计算、工艺仿真,争取实现工艺路线再造,采用直线式或u型物流,在工艺路线的基础上,优化车间站房,功能分区及设备平台载荷分布。对车间内及厂区内公辅站房进行统一的规划和设计。

### 3.1.1 工艺设计难点痛点分析

锂电制程的四大分段中展开,包括极片段、装配段、分容化成段以及模组/PACK段。

1) 极片段需要重点解决杂质、均匀、能耗、环境友好的问题。

2) 装配段需要重点解决装配精度、效率、水含量、粉尘毛刺、电芯中转损坏的问题。薄壁合金件,强节拍精密焊接,焊接烟尘及杂质处理、气密性检测(氦检、入壳状态、编码、焊缝)问题。控制粉尘毛刺是目前行业普遍的难点。

3) 分容化成段需要重点解决能耗、散热、精准度、时间长问题。

4) 模组/PACK段需要解决涂胶、焊接、测试等问题。

### 3.1.2 各工序工艺设计思路

在均浆工序装备及选型布局应预留粉体材料预混,研磨、改性处理空间,适应材料纳米化发展需求;并考虑正极材料补锂工艺需求,基体材料底涂、面涂处理车要求。

按照材料特性、输送量、噪音控制及作业节拍方面考虑粉体输送装备,从存储、输送、计量各方面通盘考虑,避免物料污染、管道磨损、粒度偏析,保证系统称量精度;

从投料顺序、分散机械结构、温度控制等方面着手,实现分散装备大型化,提高单批次设备处理能力,提高连续化生产水平,提高均浆工序料浆性能一致性。充分分析产品材料体系,选择干法、湿法均浆系统,根据产品采用避免设备大型化后,高速分散带来的料浆变性(过热)和粉体材料过粉碎问题。

从电芯结构设计入手,确定连续涂布或间断式涂布原则,选用高速、高精、宽幅装备涂布设备,烘箱长度与烘干工艺相适应,加长烘箱长度,对热系统,对风系统进行模拟与仿真,理解胶体系统的烘干过程,调整烘干曲线,避免产品出现分层、掉粉等问题。考虑双面一次涂布技术的应用,避免车间物流的折返。建立全线自控控制系统,对涂布的张力、带速、纠偏、烘干温度等进行系统控制,提高设备利用率。对能源进行分析,对采用电加热、导热油加热、热水、蒸汽加热进行技术经济分析。

采用宽幅高速热压辊压纵切一体化装备,按照材料体系及压实密度要求,选择一次或两次辊压。增加上卷辅助液压装置或中转存储装置,视觉识别及定位机构,细化AGV运输车辆转运路线,进行工序物流模拟,保证前段工序全线智能化,无人化。通过料浆稳定性控制,探索涂布-辊压-分切一体化装备。

采用多工位模切或卷绕一体化设备,在产品分解的基础上,选用合理的卷绕速度和叠片频率,采用极卷机械化转运,进行工艺仿真实现一对多,多对多的转运与平衡。

按照产品爆炸图,分解装配工序,采用机械化转运辊道及分选系统,装配工艺仿真,开发改造卡具,控制焊接烟尘,缩短干燥时间,选用合理的在线检测装备,对入壳极卷的形貌、水分、应力情况进行在线检测,预留并线调整空间。

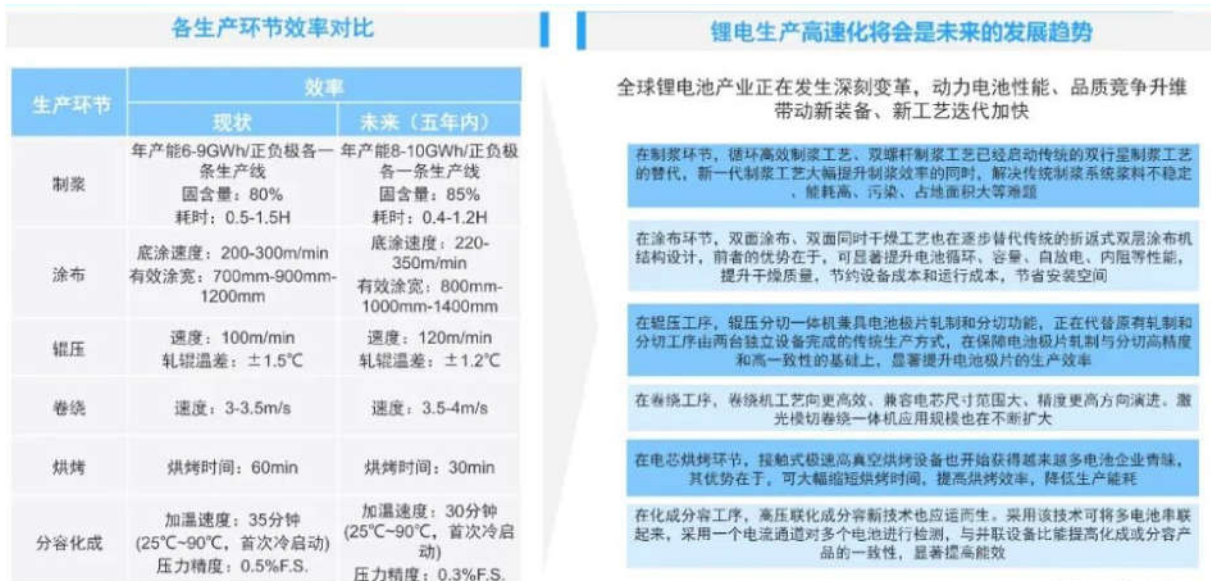
深化化成、老化的工艺研究,按照产品类型,选择适宜的预化成、化成方式,对于夹具化成、负压化成方式充分分析,理解SEI膜形成机理,理解锂枝晶机理,深化截止电压、化成电流、空间环境、转运关系问题,降低生产在线产品资金压力。

## 3.2 建筑结构设计

电池(电芯)生产采用大型丙类联合工房,体量大,建筑高度变化多,同时电芯生产对湿度敏感,车间恒温恒湿洁净工作环境。大体量联合厂房消防疏散、外立面建筑创意及建筑材料适用性选择是设计的核心任务。

工程设计应发挥设计院专业优势,在外立面创意,建筑外保温系统、消防疏散组织、洁净空间建筑做法、大型屋面防水、地坪防静电处理等方面优化方案,做到

建筑与周围环境相融合，与企业文化相融合，与车间工况相结合。应控制厂房宽度，避免消防疏散投资过多。



附图2：设备大型化技术应用对比表

### 3.3 洁净低湿空调系统设计

锂电生产环境（温度、湿度）敏感，大空间低湿恒温空调系统设计与节能温定运行是该类项目的一大难点。暖通空调专业应充分理解工艺空调的要求及重要性，按照工艺要求合理进行系统划分，计算合理的新风量，降低新风带入的湿含量；结合建设地点气象条件，进行系统的热平衡，压力平衡，阻力平衡计算，特别注意设备排风量，发热量的影响，并根据工程实践对设计计算进行修正，优化系统设计及冷机选型，冷机分配；做好工艺空调与舒适性空调，春秋过渡季节的空调系统平衡；处理好空调冷凝水，冷却水管道的布置，避免水进入生产车间低湿区；对出风口回风口位置进行深化，避免送回风对产品的生产的影响；采用直膨，转轮低温再生等先进技术并建立能源管理体系，实现节能运行。在中部地区，一般冷负荷按总体车间面积核算，300w/m<sup>2</sup>，低湿工段（-40℃露点，10万级洁净）冷负荷在在600-700w/m<sup>2</sup>。

### 3.4 电气系统设计

锂电池生产用电量高，1GWh产能，电芯及公用配套设施装机容量在2万-2.5万kw。设备用电类型较多。在均浆分散、涂布干燥、预化成及化成工序，转轮再生等生产环节，设备装机容量较大，同时，大量精密在线检测设备，车间低湿环境，对电缆的防护及防干扰，防静电等方面提出较高要求。电气设计对投资影响大。电气设计应充分分析理解用电设备用电类型及工作联系性，计算或选择合理的需要系数，选择变压器及高低压柜等电气设备；做好用电路由规划与系统划分，比较电缆及母

线槽布线方式的经济性及运行成本方案比较，做好强电与弱电（控制）防护。在预化成，化成工段，采用自馈技术及系统，对化成时放电及充电进行利用。

### 3.5 绿色技术应用

锂电工厂绿色工厂建设与评价，按照节能、节地、节能、节材、节地，安全环保的基础上，按照在绿色工业建筑内，采用绿色工艺，生产绿色产品，打造绿色供应链的评价要求进行系统评价。应在产品在全生命周期的维度进行系统设计，深化产品设计，涂布留白，极耳模切等工序减少物料消耗，在pACK工序应提高成组率，并考虑回收拆解的可能性。在屋面光伏系统，绿色海绵城市设计，自然采光，自然通风，大型联合工房等通用型绿色技术的基础上，应建立能源管理体系，采用工业余热利用技术，对涂布废气余热、干燥炉废气余热，冷凝水余热，空压及制氮余热进行综合利用，用于高温化成或低温转轮再生热量；充分分析用能特点，进行能耗评价及分析模型，建立高效联合站房。绿色技术的综合应用，能耗指标较目前锂电电芯制造能耗，节能10-15%。

### 参考文献

- [1]《锂离子电池三元材料—工艺技术及生产应用》王伟东 仇卫华丁倩倩 等编著
- [2]《锂离子电池制造原理与应用》杨邵斌 梁正 等编著
- [3]田华.无机非金属材料的应用与发展趋势[J].现代盐化工,2018,45(06):17-18.