

引用格式:才超. 进程可编辑的 NCM 前驱体洗分装置自动控制系统的设计与应用[J]. 有色设备, 2024, 38(2): 52-58.

CAI Chao. Design and application of automatic control system for process editable NCM precursor washing device[J]. Non-ferrous Metallurgical Equipment, 2024, 38(2): 52-58.

进程可编辑的 NCM 前驱体洗分装置自动控制系统的设计与应用

才超

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘要] NCM 三元镍钴锰正极材料与钴酸锂正极材料相比,具有成本低、环保性好、容量高、循环性能好等优势,被称为是第三代锂离子电池正极材料。从三元湿料到干料过程中,主要包括过滤、陈化、洗涤、吹干、输送等工序。本文结合实际项目,介绍一种以板框压滤机为洗分工序的主体设备,配合阀站、仪表和控制系统,经由螺旋输送至干区直至包装,洗分工序涉及进浆、压榨、洗涤、吹干、输送等工序。该系统克服了传统洗分方式需要大量的现场人员干预,操作繁琐、指标不稳定的缺点,在实际应用中取得了良好的使用效果,实现了三元锂离子电池正极前驱体洗分系统的无人监管、自动控制,稳定了生产工艺流程,减少了现场人员工作量。

[关键词] NCM 三元材料; 正极材料; 锂离子电池; 洗分系统; 湿法冶炼; 阀站; 自动控制系统

[中图分类号] TF815; TP273 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1003-8884(2024)02-0052-07

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2024.02.009

0 引言

NCM 三元镍钴锰正极材料与钴酸锂正极材料相比,具有成本低、环保性好、容量高、循环性能好等优势,被称为是第三代锂离子电池正极材料^[1-2]。三元镍钴锰元素比例的不同会导致材料的化学性能差异,根据这个特性衍生出多种三元镍钴锰正极材料,常见的有 523、442、622 和 811 等。随着国内工艺的不断成熟,NCM 正极材料将具有更广阔的应用前景与市场。

三元制备工艺主要包括过滤、陈化、洗涤、吹干、输送工序,高镍前驱体制备设备主要包括过滤洗涤装置和湿物料输送装置。其中,过滤洗涤装置主要有压条式压滤机(清洗器)、离心机、普通压滤机等;湿物料输送装置大多采用人工小车倒运或行车单批吊运。然而,上述过滤洗涤装置在加工过程中很容易与外界污染物发生接触,造成对物料的污染,难以满足高镍前驱体的使用;湿物料输送装置在输送环

节很容易发生球状材料被微观破坏的情况。

本文主要介绍一种以板框压滤机为洗分工序的主体设备,配合阀站、仪表和控制系统,经由螺旋输送至干区直至包装,洗分工序涉及进浆、压榨、洗涤、吹干、输送等工序,对于不同型号的三元前驱体每个工序的参数又不完全相同。传统方式需要大量的现场人员干预,操作繁琐,使用受限。

综上所述,为满足 NCM 前驱体洗分工序的自动控制,本文结合现场实际,介绍一种进程可编辑的 NCM 前驱体洗分装置自动控制系统。

1 进程可编辑的 NCM 前驱体洗分装置自动控制系统

本文介绍一种进程可编辑的三元锂离子电池正极前驱体洗分装置的自动控制系统,主要设备包括一体化阀站系统配合以板框压滤机为主体的三元锂电池前驱体洗分装置^[3-4],以及卸料双螺旋输送机,实现三元锂离子电池正极前驱体洗分过程可编辑、可监控,完成三元锂离子电池正极前驱体洗分系统的无人监管、自动控制。

系统装备包含阀站系统、三元锂电池前驱体洗分装置、螺旋输送机和控制系统,如图 1 所示。

[收稿日期] 2023-12-25

[作者简介] 才超(1985—),男,辽宁锦州人,工程师,硕士,主要研究方向为有色金属冶金工程设计。

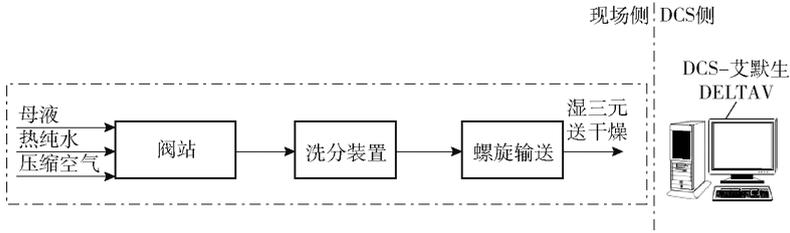


图 1 NCM 前驱体洗分装置系统示意

Fig. 1 Schematic diagram of NCM precursor washing and separation device system

1.1 阀站系统

阀站中阀门全部采用软密封气动球阀,要求开关迅速,密封等级高,选用单作用气缸,配置有两位三通电磁阀和限位开关,阀门控制信号和反馈信号送至 DCS 控制系统。阀站中的阀门总共包括:1 为浆液进液切断阀,2 为浆液回流切断阀,3 为纯水中中心洗切断阀,4 为纯水左侧洗切断阀,5 为纯水右侧洗切断阀,6 为左上口切断阀,7 为左下口切断阀,8 为右上口切断阀,9 为右下口切断阀,10 为左侧排液切断阀,11 为右侧排液切断阀,12 为浑浊液切断阀,13 为母液切断阀,14 为洗液切断阀,15 为空气侧吹扫切断阀,16 为空气反吹扫切断阀,17 为压榨气切

断阀,18 为压榨压力调节阀,19 为压榨放气阀。阀站配置如图 2 所示。

阀站采用整体撬装设计,其中各阀门由管道连接,左上口、右上口、左下口、右下口、空气反吹扫切断阀安装于洗分装置根部,其余阀门均安装于压榨气、吹干气、进料浆液、冲洗水、滤液、空气反吹管道上,管道端口设置法兰,与外部其他工序相连。设备钢结构上配置有气源分配器,用于管理所有阀门供气,供气管路采用 PVC 软管连接,便于现场施工。

1.2 过滤洗涤设备

国内锂离子电池前驱体行业工业化的过滤洗涤

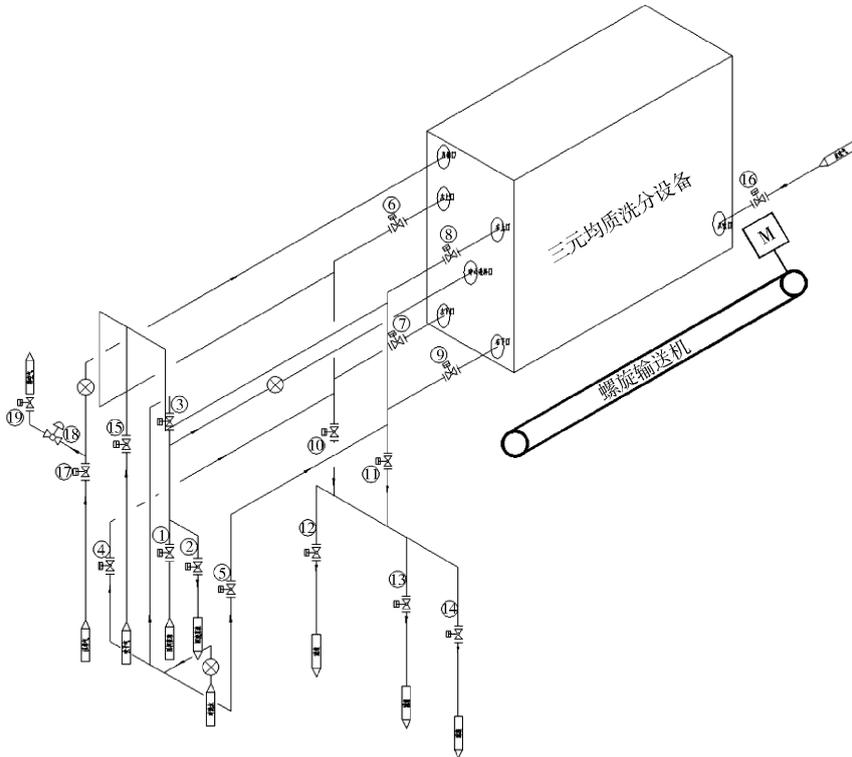


图 2 NCM 前驱体洗分装置阀站系统

Fig. 2 NCM precursor washing and separation device valve station system

设备有压条式压滤机(清洗器)、离心机、普通压滤机等^[5-6]。虽然以上设备在工业化生产中已有应用,但这些传统设备存在产能小、能耗高、动部件多、操作繁琐、产品指标不稳定等弊端,且在非目标离子含量、磁性异物含量、含湿率等的控制上缺乏相关措施,在输送环节存在球状材料被微观破坏等情况,从而约束了传统设备在高镍前驱体浆液过滤、洗涤、输送的使用。

压条式压滤机(清洗器)在前驱体的过滤、洗涤中存在较广泛的应用,其采用的密闭操作有效地防止了母液中氨气的外溢,其微分过滤的原理可以确保前驱体钠硫含量合格的前提下,洗水需要量较少,通常为 6~10 t/t,但受限于过滤面积小,最大清洗器单次处理物料量不足 1 t,对于粒径约 10 μm 的前驱体,过滤和洗涤单循环周期约 12 h,对于粒径约 3 μm 的前驱体,过滤和洗涤单循环周期超过 24 h,吹干后滤饼含水率通常在 12% 以上,物料仍有黏性并呈现较大块状,需要旋转后人工辅助卸料,该方式产出的物料后续输送不便,干燥需要的粗碎和烘干负荷较大,非常不利于大规模生产,劳动强度大。

离心机在前驱体的过滤、洗涤中也存在较广泛的应用^[7],但受限于产能小、动力消耗大、现场振动大、维修量大、洗水量大等不利因素,一旦生产线规模放大,存在一定的不经济性。对于已在行业内成熟应用的 1 250 mm 型上旋式离心机,处理粒径约 3 μm 的前驱体,过滤和洗涤单循环周期超过 8 h,单周期可生产前驱体约 400 kg,主电机功率 22 kW,产出前驱体物料含水率约 10%,洗水用量在 20~30 t/t。

普通压滤机进行三元前驱体浆液的过滤和洗涤,虽然产能较大,但受限于常规的过滤方式和装备,难免产生大量漏液、氨气,吹扫效果不可靠,滤饼含水较高,产品质量受外部环境影响较大,翻板粘附的异物会大量带入产品,导致高品质前驱体的生产存在问题。

本系统洗分装置主体由非标板框压滤机、整体隔离罩和配套卸料皮带构成。洗分装置的配置采用上部为非标压滤机、下部为配套卸料皮带的模式。非标板框压滤机整体安装在不锈钢为骨架的框架内,通过塑料材质或不锈钢材质的一系列构件将压紧后的滤板与装置中的其他部件进行有效隔离,从而达到防止异物进入的目的。

压滤机本体配置有 PLC,用于采集板框压滤机内部相关传感器信号,控制相关流程动作,例如拉板、卸料等。设备 PLC 与全厂 DCS 采用 DP 通讯,用于传输设备状态信号和要料、卸料等关键信号。PLC 机柜设计为防爆机柜,用于满足现场对铜铁锌等金属异物的要求。

1.3 输送装置

现有三元前驱体生产的湿物料输送装置大多通过人工小车倒运或行车单批吊运,劳动强度大、效率极低,且存在铁质行车及轨道异物污染产品的潜在风险。部分工厂使用螺旋设备输送过滤后的前驱体浆料,但受限于装备的上下游匹配,通常螺旋叶片的使用达到了初步破碎滤饼的目的,但也不可避免地将球状材料微观破坏,使部分前驱体形成细粉或表面明显划伤,影响后续材料性能。

本系统输送装置设计为皮带与双螺旋输送机相结合的方式,卸料皮带机架材质为不锈钢材质,皮带材料为复合 PVC,皮带滚筒使用不锈钢材质,皮带两侧导料挡板使用不锈钢骨架,可能接触物料部分导料挡板采用塑料材料,满足铜铁锌等金属异物要求。输送装置信号送至 DCS 控制系统,由 DCS 系统统一协调设备动作。

1.4 控制系统

进程可编辑的 NCM 前驱体洗分装置自动控制系统采用 DCS 控制系统,阀站中各阀门信号及管路上流量计、压力变送器、传送装置变频等仪表信号通过硬线连接至现场接线箱,后送至车间 DCS 机柜。板框压滤机 PLC 系统,通过 DP 电缆接至车间 DCS 机柜。

通过 DCS 顺序控制阀站中阀门的开关顺序、压滤机的进料卸料工作、螺旋输送机的启动和停止,实现全流程自动。控制步骤包括:进浆 1 期、进浆 2 期、进浆 3 期、预压榨进气、预压榨调压、预压榨保压、空气反吹 1、中心洗涤、左侧洗、右侧洗、左侧浸泡洗、右侧浸泡洗、压榨、空气反吹 2、空气侧吹、空气反吹 3、压榨放气、卸料、输送。

每个步骤启动有相应的参数或设备动作作为起点,以压力检测信号、时间、流量累积值等参数作为步骤终点。洗分步骤及起始点见表 1。

NCM 前驱体洗分装置压紧信号和三元浆料储槽液位信号满足设定条件,即可开始进浆,3 次进浆通过安装在板框压滤机进料管道上的压力变送器判

表 1 NCM 前驱体自动控制系统洗分步骤

Table 1 Washing and separation steps of NCM Precursor automatic control system

序号	阀门步骤	进浆 1 期	进浆 2 期	进浆 3 期	预压榨	空气 反吹 1	中心 洗涤	左侧洗	右侧洗	左侧浸 泡洗	右侧浸 泡洗	压榨	空气 侧吹	空气 反吹 2	空气 反吹 3	压榨放气
1	浆液进液切断阀	√	√	√												
2	浆液回流切断阀					√							√	√	√	
3	纯水中心洗切断阀						√									
4	纯水左侧洗切断阀							√		√						
5	纯水右侧洗切断阀								√		√					
6	左上切断阀	√	√	√	√		√	√	√	√	√	√	√			
7	左下切断阀	√		√	√			√		√		√	√			
8	右上切断阀	√	√	√	√		√	√	√	√	√	√	√			
9	右下切断阀	√		√	√				√		√	√	√			
10	左侧排液切断阀	√	√	√	√		√		√		√	√				
11	右侧排液切断阀	√	√	√	√		√	√		√		√				
12	浑浊液切断阀	√														
13	母液切断阀		√	√	√											
14	洗液切断阀						√	√	√	√	√	√				
15	空气侧吹扫切断阀												√			
16	空气反吹扫切断阀					√								√	√	
17	压榨气切断阀				√							√				
18	压榨压力调节阀	√	√	√	√							√	√	√	√	√(100%)
19	压榨放气阀	√	√	√	√							√	√	√	√	√

滤布有

备注	初步挂饼阶段,此时室未充满,滤液可能有跑混现象	少许滤饼挂上,可以常过滤,滤液均匀,上部排料	滤室初步充满,四角同出液,室彻底充固	隔膜初步增压,压实滤饼,在后过程隔膜继续保压	中心进纯水,上部出液,中心管路残液	中心进纯水,上部出液,保证滤饼充分浸泡洗涤	防止洗短路,左侧进洗水,右侧出洗液	防止洗短路,右侧进洗水,左侧出洗液	左侧进纯水,右侧出洗液,充分浸泡洗	右侧进纯水,左侧出洗液,充分浸泡洗	隔膜最大压力,压榨,实滤饼,充分挤出水分	侧部进气充分吹扫滤饼,降低含水量,使物料变疏松	吹净洗涤阶段中心管路,开机卸饼创造条件	吹净洗涤阶段中心管路,残液,为开机卸饼创造条件	压榨气放空,准备卸饼

断进料压力,可设定 3 次进浆压力。进浆结束后即进入压榨气调压步骤,通过压榨气出口调节阀,快速调节至设定的压榨压力。压榨压力要满足设定要求,即进入预压榨保压阶段,保压时间可设定。保压时间到,即进行空气反吹,反吹时间可设定。反吹结束后进入洗涤阶段,系统共设计有 5

次洗涤,每次洗涤终点均通过洗水输送泵出口流量计累积值设定,也可根据不同型号三元前驱体的要求,设置要求不同的洗水量或跳过个别洗涤步骤。洗涤结束后进入压榨阶段,压榨时间可根据要求设定,同样根据不同产品和批次要求设定压榨时间。压榨结束后进入空气反吹、侧吹等步

骤,时间均可设定。反吹结束后,开始压榨放气,放气至设定压力,即打开压榨放气阀、关闭其他所有阀门,同时允许卸料信号送至压滤机和螺旋输送机。收到螺旋输送机的运行信号后,板框压滤机开始卸料,直至整个洗分过程结束。

在DCS系统操作站上开放所有步骤设定参数,包括进浆时间、预压榨压力、冲洗水量、压榨气压力等,实现对洗分进程编辑。利用DCS顺序控制,在弹出画面上可以监控当前步骤状态、步骤时序、步骤时长、每个步骤中涉及阀门及设备的运行状态,在操作画面上开放一键流程启动、暂停、跳步、急停等步骤按钮。

2 项目应用

2.1 项目概况

中冶新材料项目位于唐山曹妃甸工业园区,以

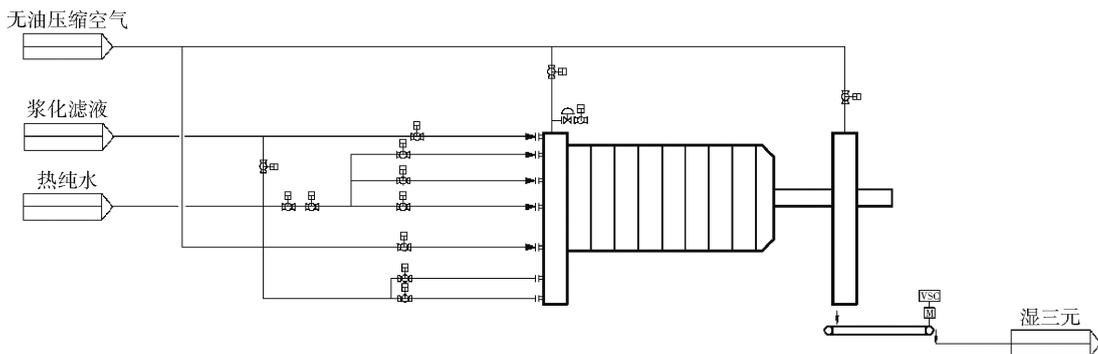


图3 NCM前驱体自动控制系统阀站系统

Fig.3 Valve station system of NCM precursor automatic control system

通过DCS顺序控制阀站中阀门的开关顺序、压滤机的进料卸料工作、螺旋压滤机的启动和停止,实现全流程自动。

每个步骤启动有相应的参数或阀门动作作为起点,以现场仪表信号、时间、累积值等参数作为步骤终点。进料口压力设定为0.53 MPa,过程时间约30 min;滤饼洗涤,控制隔膜鼓气压力在0.5 MPa,左侧洗15 min,右侧洗15 min,吨固体干粉耗纯水量设定为 10 m^3 ;滤饼压榨,压榨气管压缩空气压力设定为0.7 MPa,压榨时间约1 min;滤饼吹干,控制隔膜鼓气压力在0.5 MPa,控制吹干压缩空气压力在0.6~0.8 MPa,左侧吹设定为10 min,右侧吹设定为10 min,本阶段压缩空气耗量小于 $9 \text{ Nm}^3/\text{min}$;中心孔反吹,控制压缩空气压力0.6 MPa,反吹时间设定为10 s;开机卸料,自动

巴新瑞木镍钴项目所产氢氧化镍钴为主要原料,专注于锂离子电池三元正极材料前驱体及氧化钨等产品的研发与生产。项目一期主产NCM523产品,年产量达4.8万t,同时生产NCM622产品。三元制备车间拥有16个系列生产线,配备80套合成釜及32套三元洗分系统。此外,项目还副产元明粉、工业硫酸镁等产品。本系统在此项目得到了实际应用。

2.2 自动控制设置

通过一体化阀站系统配合以板框压滤机为主体的NCM前驱体洗分装置以及卸料双螺旋输送机,实现三元锂离子电池正极前驱体洗分过程可编辑、可监控,完成三元锂离子电池正极前驱体洗分系统的无人监管、自动控制,如图3所示。

阀站系统采用气动球阀,一体化集成配置,供气采用气源分配器,便于现场施工和管理。

拉板卸料配合皮带连续对外输送。以上6个步骤实际操作周期小于 $3 \text{ h}^{[8-9]}$ 。

在控制系统操作站上开放如下表格及按钮,供操作人员针对不同系列产品设置步骤及参数,实现对洗分进程编辑。在表格中操作人员可根据不同产品和不同批次要求,设定相关参数。同时在弹出画面上可以监控当前步骤状态、步骤时序、步骤时长、每个步骤中涉及阀门及设备的运行状态^[10-12]。

在操作画面上开放一键流程启动、跳步等步骤按钮,操作人员根据工艺要求设定好工艺参数后,一键启动流程,并进行监控。同时应对现场上下游工序特殊情况,例如堵料、设备事故等,进行人为干预,设置了暂停、急停、冲洗完成等按键。暂停可以将流程中的运行状态保存下来,待现场处理结束后继续恢复前序流程;急停按钮应对突发情况,可保证设备

恢复到安全状态,通知现场协调处理。NCM 前驱体自动控制系统操作如图 4 所示。

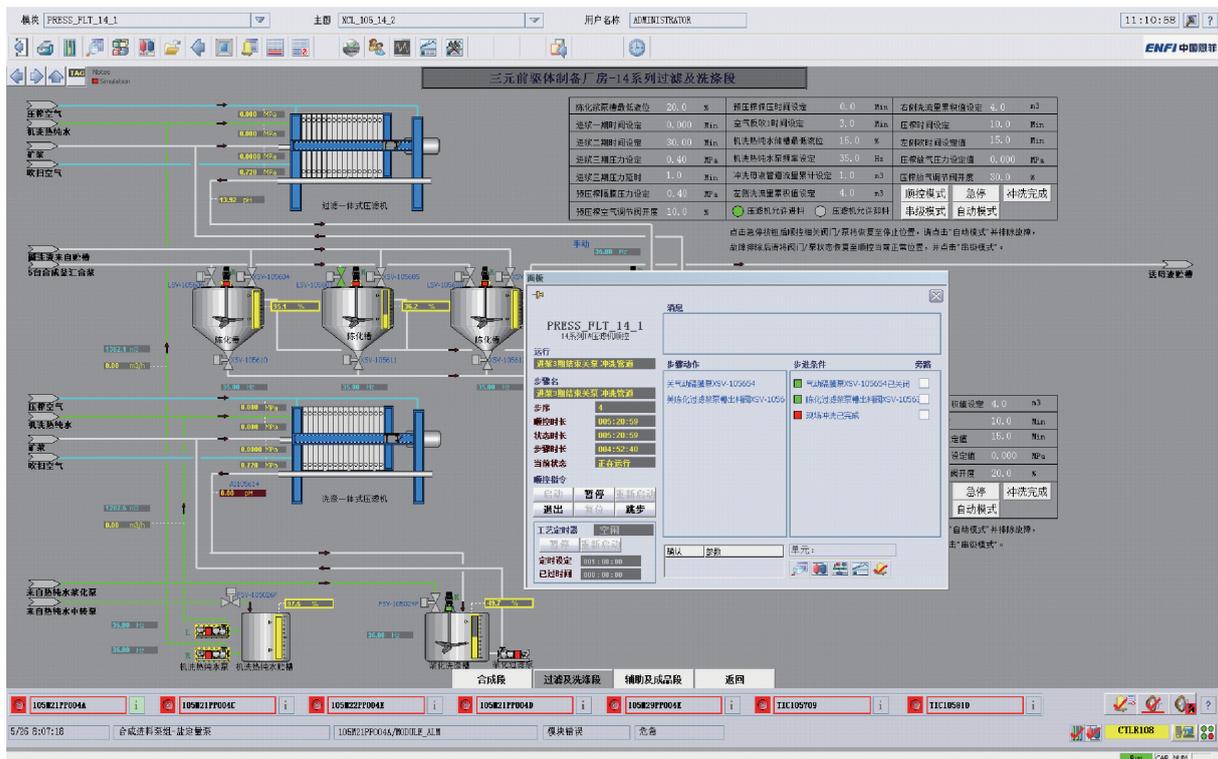


图 4 NCM 前驱体自动控制系统操作画面

Fig. 4 Operation screen of NCM precursor automatic control system

3 结论

1) 本文介绍的进程可编辑的 NCM 前驱体洗分装置是一套完整将过滤、洗涤、输送功能有效集成的自动控制系统,通过将阀站、板框压滤设备、螺旋输送设备整合,实现撬装化,满足大产能、低能耗、异物控制要求。其优势在于适应多种三元产品指标,现场布置简单,便于施工和实施。

2) 集成在 DCS 控制系统中的可编辑洗分进程的控制逻辑程序,使工艺人员与现场操作人员能够便捷地针对不同批次物料与三元产品进行洗分动作编辑。该程序逻辑界面简洁直观,可充分应对现场不可控因素。通过阀站中阀门动作的智能切换,实现三元锂离子电池正极前驱体洗分过程的灵活编辑与实时监控,确保整个洗分系统实现无人监管与自动控制。

3) 进程可编辑的 NCM 前驱体洗分装置自动控制系统在项目中得到了实际应用,减少人为干预,降低人力成本和劳动负荷,系统容错率高,使得产品一致性好,指标稳定,有利于高端三元产品生产。自动

控制的方式,降低了洗分过程中物料与外界污染物发生接触的风险,满足高镍前驱体的指标要求;保证洗分过程中湿物料的球状材料不被微观破坏。得到了用户的认可,对于减少劳动强度、提高生产效率、稳定生产过程取得显著成效。

[参考文献]

- [1] 倪闯将,刘亚飞,陈彦彬,等. 镍钴锰三元材料的结构及改性研究进展[J]. 电源技术,2021,45(1):123-126.
- [2] 王坤,陈虹,王芬,等. 高镍三元正极材料改性研究进展[J]. 化学与生物工程,2022,39(4):11-17.
- [3] 郑超. 自动板框压滤机在电池材料中应用[J]. 当代化工研究,2018(3):50-52.
- [4] 殷冠军,赵子恒. 基于板框压滤机间断卸料自动控制的应用研究[J]. 有色设备,2023,37(2):61-64.
- [5] 张曼曼,向波,张德友,等. 多功能过滤机的研制及应用[J]. 电池,2023,53(3):281-283.
- [6] 宋顺林,刘亚飞,陈彦彬. 三元材料及其前驱体产业化关键设备的应用[J]. 储能科学与技术,2017,6(6):1352-1359.

- [7] 张云慧,阳春华,孙备,等. 梯盐除钴过程电位混合智能控制方法[J]. 冶金自动化,2023,47(5):10-21.
- [8] 李爱民,仇文宁,范玉. 全自动厢式泥浆压滤机控制系统的设计[J]. 机械工程师,2019(4):80-82.
- [9] 吉荣军,朱晓红. 板框压滤机自控系统的设计与应用[J]. 聚氯乙烯,2016,44(9):21-23.
- [10] 陈文仪. 冶金工业加热炉三参数串级交叉自动燃烧过程控制的方案设计[J]. 冶金自动化,2023,47(2):99-106.
- [11] 程晶晶,何魁艳. 艾默生 Delta V DCS 软件功能及典型组态[J]. 现代制造技术与装备,2018(2):59-60.
- [12] 杨洋,张素良,高策. 中高镍三元前驱体制备影响因素研究[J]. 绿色矿冶,2023,39(2):49-54.

Design and application of automatic control system for process editable NCM precursor washing device

CAI Chao

(China ENFI Engineering Corporation, Beijing 100038, China)

Abstract: Compared with lithium cobalt oxide cathode material, nickel cobalt manganese (NCM) cathode material has the advantages of low cost, good environmental protection, high capacity and good cycle performance, and is known as the third-generation lithium ion battery cathode material. Wet-to-dry material process of ternary material mainly includes filtration, aging, washing, drying, transportation and other processes. Combined with the actual project, this paper introduces a main equipment with plate and frame filter press as washing process, which is combined with the valve station, instrument and control system, and transported through the screw to the dry area until the packaging stage. The washing process involves the processes of pulp feeding, pressing, washing, blow drying and conveying. It overcomes the shortcomings of the traditional washing method, which requires a large number of on-site personnel intervention, cumbersome operation and unstable indicators, and has achieved good results in practical application. It realizes the unsupervised and automatic control of the ternary lithium-ion battery cathode precursor washing system, stabilizes the production process and reduces the workload of on-site personnel.

Key words: NCM ternary material; cathode material; lithium ion battery; washing and separation device; hydrometallurgy; valve station; automatic control system ▲