

电池极片轧机液压压下系统的建模仿真与实验研究

张 伟^{1,2} 袁丛林¹ 刘广阔¹

1. 燕山大学河北省重型机械流体动力传输与控制重点实验室,秦皇岛,066004

2. 燕山大学先进锻压成形技术与科学教育部重点实验室,秦皇岛,066004

摘要: 为了提高极片轧机的轧制效率和轧出极片质量,对极片轧机液压压下系统进行了分析,给出了电池极片的负载特性方程,建立了包括液压泵站在内的系统仿真模型,并对恒轧制力和恒位移两种方式进行了实验和仿真分析对比。仿真结果与实验结果基本一致,表明所建立的仿真模型具有实际参考价值,为液压控制系统参数优化和设定合理的压制工艺提供了依据。

关键词: 极片轧机; 液压控制; 建模仿真; 单双层涂布

中图分类号: TH122

DOI: 10.3969/j.issn.1004-132X.2014.24.001

Modeling, Simulation and Experimental Research of Hydraulic Pressure System in Battery Pole Piece Rolling Mill

Zhang Wei^{1,2} Yuan Conglin¹ Liu Guangkuo¹

1. Yanshan University, Hebei Provincial Key Laboratory of Heavy Machinery Fluid Power Transmission and Control, Qinhuangdao, Hebei, 066004

2. Yanshan University, Key Laboratory of Advanced Forging & Stamping Technology and Science, Qinhuangdao, Hebei, 066004

Abstract: To improve the pole piece mill rolling efficiency and rolled sheet quality, this paper analyzed hydraulic pressure system, getting the load characteristic equation of battery pole piece and dynamic simulation model of the hydraulic system. The experimental and simulation with constant rolling force and roll gap was also analyzed and contrasted. The simulation results are basically identical with the experimental ones, shows that the established simulation model has practical reference values and provides an important basis for the hydraulic control system parameter optimization and setting reasonable pressing process.

Key words: pole piece rolling mill; hydraulic control; modeling and simulation; single and double layer coating

0 引言

传统的电池极片轧机采用气液增压缸加压,通过手动调节楔铁丝杠来确定轧制预辊缝,属于离线调整辊缝方式,无法完成恒轧制力方式轧制^[1],并且调节繁琐、精度差,特别是轧制单双层涂布浆料的极片时,单层涂布部分的轧制效果很差。

本文将具有在线调整能力的液压自动厚度控制技术引入到电池极片轧机中,具有结构简单,灵敏度高,能够满足严格的厚度精度要求,并可根据需要灵活设置轧制方式的优点,提高了极片轧制的自动化程度、精度和一致性。

1 实验对象

本文以与北京某公司合作开发的 $\phi 800$ mm 液

压式极片轧机为研究对象,如图 1 所示。该轧机主要技术参数如下:轧辊工作面直径为 800 mm,有效宽度为 700 mm,最大轧制力为 2 MN(200 t),最大行程为 20 mm。



图 1 液压控制式极片轧机实物图

液压控制系统的特性直接影响轧制效率和轧出极片的质量。本文通过对液压压下控制系统的动态仿真来了解液压系统元件参数对系统性能的

收稿日期:2013-07-09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(5067518);河北省自然科学基金资助项目(E2010001163)

影响。

2 负载分析

电池极片是将锰酸锂、钴酸锂及酸锂等锂化合物浆料间隔涂在铝箔或铜箔基材上^[2]制作而成的。电池极片在轧机上经过一定的轧制力滚压,浆料颗粒会发生相对滑移,填充到空隙中,使浆体体积减小,极片变薄,达到所需要的密度。

用极片轧机对厚度(200 μm)和宽度(400 mm)都相同的电池极片(双层对称涂布)进行轧制实验,测得不同轧制力轧制后的电池极片厚度,如表 1 所示。

表 1 不同轧制力的轧出厚度(入口厚度 200 μm)

轧制力(kN)	200	400	500	620	800	1200
轧出厚度(μm)	135	115	111	109	107	104

将所测的数据变换为体积压缩率与轧制力的关系,如图 2 中“o”所示。从图 2 可以看出,随着轧制力的增大,体积压缩率的变化速度减缓。电极材料为粉体类材料,粉体材料体积压缩率与成形压力的关系通常用川北方程表示如下:

$$C = \frac{ap}{p+b}$$

式中, C 为体积压缩率, $C = \Delta h/H$; Δh 为极片厚度的减小量,mm; H 为极片的入口厚度,mm; p 为压应力, $p = F/S$; F 为轧制力,kN; S 为等效作用面积,与轧辊直径等因素有关; a 、 b 为系数。

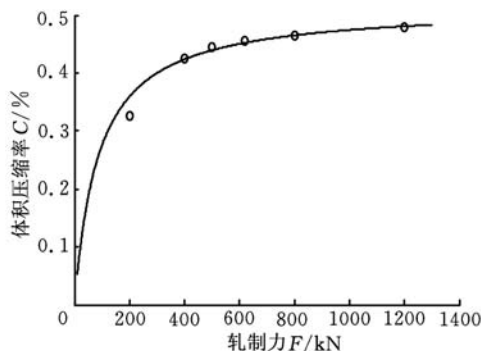


图 2 电池极片体积压缩率与轧制力的关系曲线

对体积压缩率随轧制力变化的数据进行函数拟合,确定曲线方程中的常数 $a = 0.516$, $bS = 87.4$,图 2 中的曲线是拟合函数曲线。将川北方程变形,得到负载特性方程为

$$F = \frac{87.4\Delta h}{0.516H - \Delta h}$$

3 仿真模型

3.1 仿真模型建立

本文所研究的极片轧机液压压下控制系统的操作侧和传动侧对称布置,单侧液压系统原理如图 3 所示。

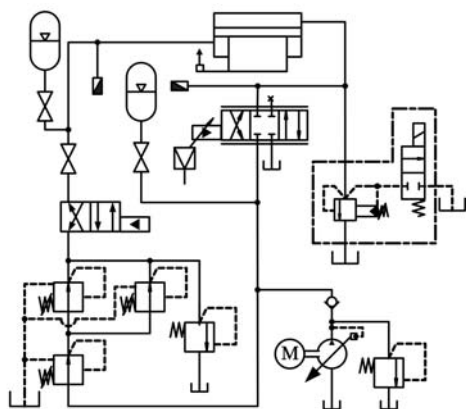
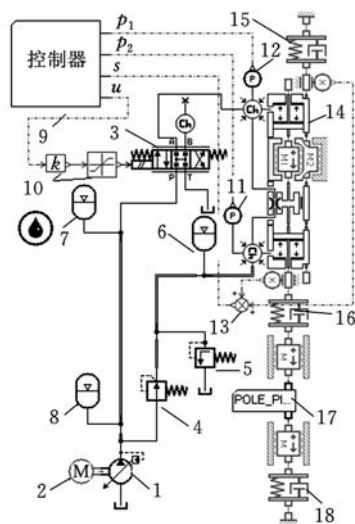


图 3 液压系统原理图

在 AMESim 的草图模式下,经适当简化,建立液压系统的仿真模型如图 4 所示,由于极片轧机的操作侧和传动侧基本一致,以下仅对单侧液压压下控制系统进行研究。各个部分的分析如下:



1. 恒压变量液压泵
2. 电动机
3. 电液伺服阀
4. 减压阀
5. 溢流阀
- 6, 7, 8. 蓄能器
9. 控制器
10. 伺服放大器
- 11, 12. 压力传感器
13. 位移传感器
14. 伺服缸
15. 机架
16. 上辊系
17. 电池极片
18. 下辊系

图 4 液压式极片轧机仿真模型

(1)机械系统。15 和 14 的质量 m_2 模拟机架与缸体的等效运动质量和刚度。14、16 和 18 分别模拟伺服液压缸、上辊系和下辊系,这是一个多自由度的辊系模型。

(2)液压系统。系统油源采用恒压变量泵,伺服液压缸的无杆腔连接伺服阀,轧制过程中有杆腔通过减压阀、溢流阀和蓄能器的组合保持一个恒定低压。

(3)控制系统。轧机的控制器采用的是欧姆龙 PLC,电池极片可以采用恒压力或恒位移轧制,两种轧制方式的反馈控制回路都采用 PID 控制算法^[3-4]。利用 PLC 的中断功能实现 10 ms 采

样周期的反馈控制。

3.2 元件子模型选择及参数设置

使用 AMESim 进行模型仿真,关键在于元件子模型的选择与元件参数的确定。轧机仿真模型的液压部分各元件的仿真参数依照各个元件的样本确定。由于 Hydraulic 库中没有考虑动态特性的减压阀和溢流阀模型,本文还利用 AMESim 的 HCD 库建立了减压阀和溢流阀的仿真模型。

由于整个仿真模型中设置的参数相当多,受篇幅限制,本文只列出了各主要元件的主要参数,如表 2 所示。

表 2 液压仿真模型主要参数

模型名称	序号	参数名称	数值
恒压	1	排量(mL)	45
变量泵	2	调定压力(MPa)	15.5
伺服阀	3	最大开口流量(L/min)	19
	4	每个阀口压降(MPa)	3.5
	5	额定输入电流(mA)	20
	6	固有频率(Hz)	100
液压缸	7	行程(mm)	25
	8	活塞直径(mm)	300
	9	活塞杆直径(mm)	240
机架与	10	等效运动质量(kg)	3047
液压缸	11	弹簧刚度(kN/mm)	2750
上下	12	等效运动质量(kg)	2500
	13	弹簧刚度(kN/mm)	3000
	14	上辊系摩擦力(kN)	70
	15	下辊系摩擦力(kN)	30
位置	16	比例系数	4
闭环	17	积分系数	10
压力闭环	18	比例系数	3
	19	积分系数	8
溢流阀	20	主阀直径(mm)	20
	21	主阀弹簧刚度(N/mm)	20
	22	主阀弹簧预压力	90
	23	先导阀口直径(mm)	3.5
	24	先导阀弹簧刚度(N/mm)	10

4 仿真与实测数据对比分析

为了验证所建立模型的正确性,对比空载和轧制双面对称涂布的极片仿真和实验曲线。实验和数据采集都是利用极片轧机控制系统本身的 PLC 来完成的,数据采集利用了 PLC 的时间中断功能,采样周期为 5 ms。

4.1 空载时压机响应特性

空载使用轧制力闭环时,给系统一个从 480 kN 到 560 kN 的阶跃力指令,仿真结果与实验结果如图 5 所示,从中可以看出上升时间为 150 ms,调节时间为 415 ms,超调 12%。相对应的辊缝值从 80 μm 减小到 0,轧机单道纵向刚度为 1000 kN/mm,仿真曲线和实验曲线基本吻合,说明所建模型是正确的。

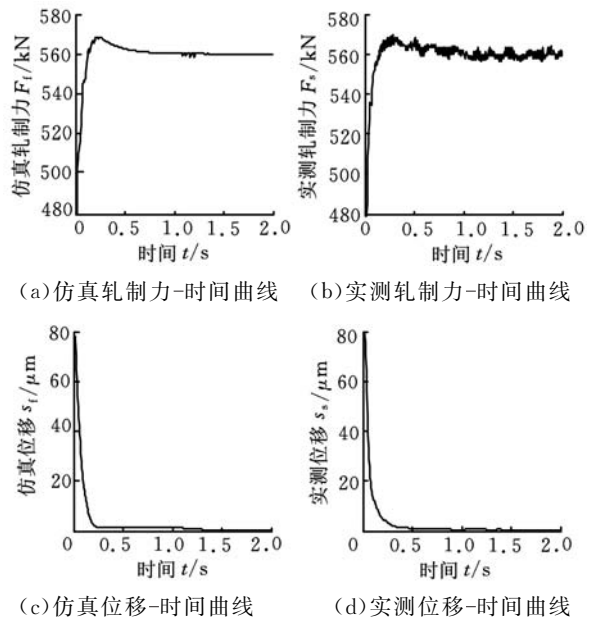


图 5 轧制力阶跃响应轧制力-时间和位移-时间曲线

4.2 带极片轧制时的响应特性

轧辊在轧过没有涂浆料的基带时,由于负载变化,使得轧制力出现大的波动。

图 6 所示为恒轧制力轧制的仿真结果与实测曲线的对比。开始阶段是有极片有浆料的部分在轧辊之间,实测曲线 1.3 s 左右轧辊从有浆料部分辊压到没有浆料的基带部分,极片厚度突然变薄,轧制力减小到 380 kN,为了保持恒定轧制力,活塞位置会从 110 μm 降低至 40 μm ,当再次辊压到有浆料部分,活塞位置恢复原先值,过渡阶段轧制力会有向上的波动。仿真曲线要比实际曲线偏差大些,是由于模型中没有考虑摩擦力。从实验

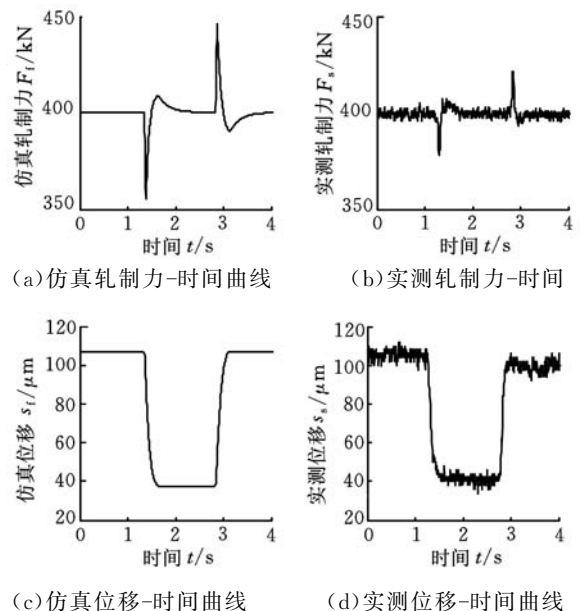


图 6 恒轧制力轧制时轧制力-时间和位移-时间曲线

中可以看出,当没有涂料的基带部分通过轧辊时,轧制力最大偏差在 5% 以内,在 0.27 s 内调节到

位,可以满足恒轧制力要求。

图 7 所示为使用位置闭环,恒辊缝轧制的仿真结果与实测曲线的对比。开始阶段是极片有浆料的部分在轧辊之间,1.4 s 左右轧辊从有浆料部分辊压到没有浆料的基带部分,厚度突然变薄,活塞保持恒定位置 $100\ \mu\text{m}$,轧制力会减小到 $320\ \text{kN}$,在过渡部分活塞位置会有一个向下的波动。再次辊压到有浆料部分,轧制力恢复原先值,过渡阶段活塞位置会有向上的波动。

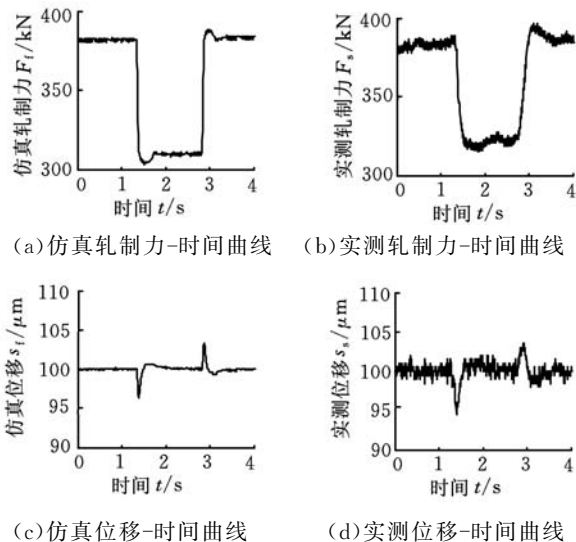


图 7 恒位移轧制时轧制力-时间和位移-时间曲线

4.3 有杆腔压力波动分析

为了分析液压缸有杆侧压力变化情况,使用轧制力环轧制时,测得有杆腔液压油压力随时间变化的曲线如图 8 所示,1.3 s 左右轧辊从有浆料

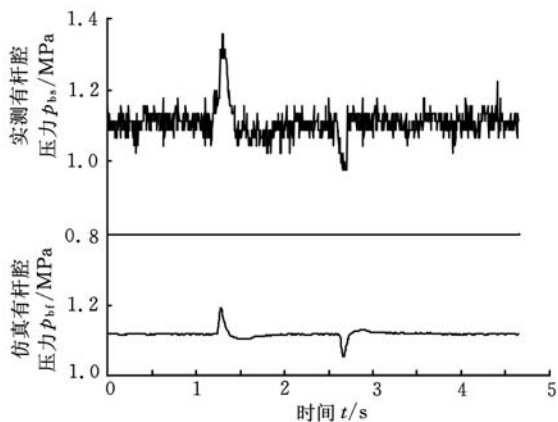


图 8 有杆腔压力随时间变化曲线

部分辊压到没有浆料的基带部分,厚度突然变薄,为保持轧制力恒定,液压缸活塞会下移,有杆腔体积突然减小,有杆腔压力会从 $1.1\ \text{MPa}$ 增大至 $1.3\ \text{MPa}$,由于蓄能器吸收部分压力波动,减压阀的先导阀与溢流阀也都有溢流的作用,使得有杆腔油压在 $0.25\ \text{s}$ 内迅速减小至 $1.1\ \text{MPa}$,再次辊压到有浆料部分,无杆腔体积增大,压力减小,减

压阀打开,使得有杆腔的油压迅速恢复。由于实际系统中背压是同时控制传动侧与操作侧两侧的,而仿真中只是控制一侧,所以仿真结果压力波动比实验结果小。

5 单双层极片的压制仿真研究

传统气液增压缸加压式电池极片轧机无法轧制单双层涂布电池极片,如图 9 所示。



图 9 单双层涂布浆料电池极片示意图

在做轧制实验时没有非对称涂布的电池极片,图 10 所示为使用轧制力闭环轧制浆料单双层涂布的电池极片的仿真结果。从图 10 中可以看出,轧辊从双侧涂布浆料部分滚压到单侧涂布部分时,轧制力有一个减小的波动,但是能够迅速恢复到设定的轧制力值,能够保证轧制力基本恒定。说明可以采用本课题所设计的轧机轧制此类电池极片,克服了传统的气液增压缸加压式电池极片的缺点。

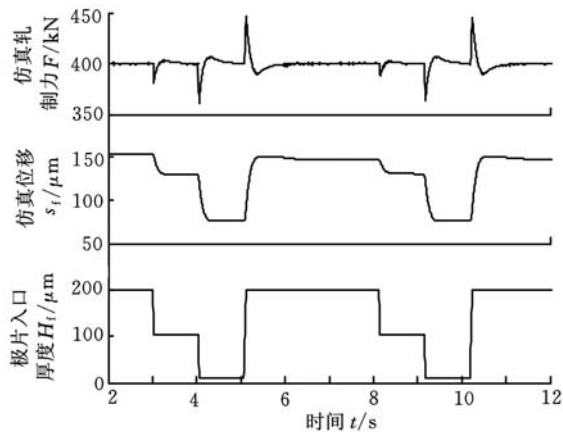


图 10 恒轧制力轧制单双侧交替涂布的极片曲线

6 结语

液压伺服加压式电池极片轧机在采用恒辊缝和恒轧制力轧制时,相应的控制量波动较小,响应速度满足使用要求。在极片厚度有较大变化时也能保持恒定的压力,能够轧制单双层交替涂布的电池极片。使用 AMESim 建立了 $\phi 800\ \text{mm}$ 电池极片轧机的仿真模型,模型中还考虑了有杆腔背压在轧制过程中的波动。通过对比轧制力阶跃、恒辊缝轧制和恒轧制力轧制的仿真与实测数据,证明了所建仿真模型具有现实意义,为后续极片轧机的设计提供了一定的理论指导。

基于坐标孔的翼肋柔性装配协调方法

郭飞燕¹ 王仲奇¹ 康永刚¹ 李西宁¹ 张修坤¹ 曾天²

1. 西北工业大学,西安,710072 2. 中航工业洪都航空工业集团,南昌,330024

摘要:为保证翼面类部件外形的装配准确度,研究了以坐标定位孔为协调定位基准的内定位装配方式对装配准确度的影响。对比分析传统翼肋产品的外形定位方式的协调方法,根据以坐标定位孔为协调定位基准协调外形轮廓过程中的优势,提出了一种翼肋柔性装配方法,设计了翼肋定位执行末端,在虚拟环境下进行了柔性定位仿真验证。结合飞机数字化制造流程,分析其装配协调过程,计算以坐标孔为协调基准的外形尺寸误差。某型飞机前缘襟翼的柔性装配实例表明:柔性定位单元结构简单,成本较低,翼肋柔性装配准确度完全满足外形精度设计要求。

关键词:翼肋定位;柔性装配;协调基准;装配准确度;坐标定位孔;协调误差

中图分类号:V262.4

DOI:10.3969/j.issn.1004-132X.2014.24.002

Flexible Assembly Method of Ribs Based on Coordinate Holes

Guo Feiyan¹ Wang Zhongqi¹ Kang Yonggang¹ Li Xining¹ Zhang Xiukun¹ Zeng Tian²

1. Northwestern Polytechnical University, Xi'an, 710072

2. AVIC Hongdu Aviation Industry Group Ltd., Nanchang, 330024

Abstract: To ensure the assembly accuracy of the wing-like parts, a new positioning method was studied based on coordinating holes at the internal location assembly pattern. By comparing the traditional positioning method based on the profile of the card board, due to the superiority of the coordinating holes at the coordinating process of the wing-like parts according to the coordination routine of the shape and the dimensions of the aircraft parts, a new flexible coordinate method of the ribs was proposed. The locator unit was designed to meet all of the ribs of a certain aircraft by checking the locating process under the DELMIA environment. By analyzing the coordinate principles and calculating the coordinating errors of the skin, the theoretical results show that the assembly accuracy is improved. Flexible assembly examples show that the flexible positioning unit has a simple structure and corresponding low cost. The experimental measured results also reveal the new flexible coordinating method can fully satisfy the assembly precision of the skin.

Key words: rib positioning; flexible assembly; coordinating datum; assembly accuracy; coordinate hole; coordinate error

0 引言

为保证飞机产品的装配准确度,在生产中需要采用大量的体现产品结构与尺寸的工艺装备,以满足相配合处的互换性与协调性要求^[1]。随着

现代飞机设计制造技术的不断发展,新型飞机层出不穷,产品升级换代加快,小批量多品种的市场需求特征越来越明显。飞机的气动力性能对外形准确度要求高,在外形协调尺寸的形成与控制过程中,国外已广泛采用数字量协调技术,大量采用以装配孔为协调基准的“确定性装配(determi-

收稿日期:2013-07-25

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51375396)

参考文献:

[1] 王建斌. 配备自动厚度调节的电池极片轧制设备[J]. 电源技术与设计, 2008, 32(11):790-792.
Wang Jianbin. Pole-piece Rolling Equipment Setting with Auto Gap Control, 2008, 32(11), 790-792.

[2] 姚耀春. 锂离子电池正极材料锂锰氧的研制[D]. 昆明:昆明理工大学, 2003.

[3] 张良文. 电池极片轧机电控系统及其应用[J]. 国内外机电一体化技术, 2008, 11(5):44-45.
Zhang Liangwen. Electric Control System of Battery Pole Piece Rolling Mill[J]. Internation Mechatronics Techology, 2008, 11(5):44-45.

[4] 赵东林. 国内外锂离子动力电池极片制造专用设备的新进展[J]. 新材料产业, 2009(9):67-68.
Zhao Donglin. The New Development of Lithium Ion Power Battery Pole Piece Manufacturing Equipment[J]. Advanced Materials Industry, 2009(9):67-68. (编辑 袁兴玲)

作者简介:张 伟,男,1971年生。燕山大学机械工程学院副教授。主要研究方向为电液伺服控制系统。获国家科技进步二等奖1项,河北省科技进步二等奖1项,发表论文20余篇。
袁丛林,男,1985年生。燕山大学机械工程学院硕士研究生。
刘广阔,男,1989年生。燕山大学机械工程学院硕士研究生。