

伺服压力机

Mechanical Servo Press

◎ 王隆太 著

非
外
借

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

伺 服 压 力 机

扬州大学 王隆太 著

机 械 工 业 出 版 社

本书在分析伺服压力机组成原理和性能特点基础上,着重介绍了伺服压力机传动系统的受力分析和优化设计方法、控制系统的组成结构和关键控制技术、本体结构设计计算和有限元结构分析以及主要附属装置等内容。此外,本书还对自动冲压生产线系统组成及其连线技术进行了分析。

本书以具体设计示例介绍了伺服压力机的相关设计技术,并以附录形式为读者奉献了伺服压力机几种常用传动机构的分析计算程序源码以及遗传算法优化设计程序源码,具有较好的应用参考价值。

本书可作为机械设计制造及其自动化、机械工程、材料成形及控制工程专业在校生的教材和相关培训教材,也可作为压力机设计、制造以及维护管理人员的工作参考书。

图书在版编目(CIP)数据

伺服压力机/王隆太著. —北京:机械工业出版社, 2019. 3

ISBN 978-7-111-61431-9

I. ①伺… II. ①王… III. ①伺服电机-冲压机 IV. ①TM383.4
②TG385.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第267306号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:刘小慧 责任编辑:刘小慧 杨璇 任正一

责任校对:佟瑞鑫 封面设计:张静

责任印制:张博

河北鑫兆源印刷有限公司印刷

2019年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·11.25印张·270千字

标准书号:ISBN 978-7-111-61431-9

定价:69.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88361066

读者购书热线:010-68326294

010-88379203

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

教育服务网:www.cmpedu.com

前 言

伺服压力机是一种新型冲压成形设备，通过控制程序的改变可方便地调整滑块的运动曲线，能够满足不同材料、不同工艺要求的零件的成形加工。伺服压力机与普通压力机相比，具有柔性度好、成形精度高、节能增效等特点。

伺服压力机于 20 世纪 90 年代问世，进入 21 世纪以来得到快速发展，并在欧美、日本等国的制造领域得到广泛应用，成为锻压设备行业具有较强竞争力的产品。近年来，我国不少压力机生产厂和高校院所也在积极从事伺服压力机的开发和研究，先后推出了多种不同类型的伺服压力机，并在用户中得到成功应用，但与欧美、日本等国的产品比较还有不少差距。

自从 20 世纪 90 年代我国高校专业调整和合并以来，除了《锻压手册》之外，市场上鲜见诸如《伺服压力机》这类锻压设备的新技术书籍。作者在退休前的几年内，为配合地方经济发展，先后从事了伺服压力机、数控折弯机、激光切割机、自动冲压生产线等多款锻压设备的开发，曾多次参观德国汉诺威、美国芝加哥成形技术展览会以及国内各类机床展览会，阅读并收集数百篇近十多年来的有关锻压设备的学术论文和专利资料，对该领域的相关技术及其发展有一定的了解。

为了配合当前我国锻压设备及其相关技术的发展，为当前尚较空缺的锻压设备新技术类书籍添加一点有用的资料，满足该领域从事设计、制造以及维护管理的年轻读者的需求，作者用一年多时间，对先前的工作和手头的资料做了整理，完成了这本《伺服压力机》的撰写，并以附录形式将本人在从事伺服压力机设计时所编写的全部分析计算程序源码以及遗传算法优化设计程序源码奉献给读者，希望对读者有所裨益。

本书共分 6 章，各章简要内容如下。

第 1 章为伺服压力机概述。在分析普通机械压力机存在的不足基础上，介绍了伺服压力机的组成结构、工作原理及性能分析，并简要介绍了伺服压力机不同的结构类型以及伺服压力机的发展与应用。

第 2 章为伺服压力机传动系统。在讨论伺服压力机传动系统方案选择以及设计原则的基础上，重点对曲柄连杆传动机构、肘杆传动机构和双曲柄传动机构进行了运动学和力学特性分析与计算，简要介绍了遗传算法优化设计方法，并对常用的几种传动机构的杆件参数进行了优化设计。

第 3 章为伺服压力机控制系统。在分析伺服压力机控制系统的任务和功能要求的基础上，讨论了伺服压力机控制系统的软硬件组成及其选用，对伺服压力机的能量管理、同步控制、下死点位置误差补偿等关键控制技术进行了分析和探讨。

第4章为伺服压力机本体结构。对伺服压力机机身、滑块、导轨进行了分析计算，对机身和滑块进行了线性静力学结构分析、模态分析和有限元结构分析。

第5章为伺服压力机附属装置。对伺服压力机常用的附属装置，包括装模高度调节装置、过载保护装置、行程调节装置、拉深垫以及移动工作台的结构特点和功能作用进行了分析。

第6章为自动冲压生产线。阐述了自动冲压生产线的发展及结构组成，分别对多工位压力机、物料传输系统以及控制系统的结构形式、工作原理和作业流程进行了分析。

本书的完稿，得到了本人的学生项余建工程师的许多帮助，他配合本人做了大量开发设计工作；扬力集团公司以及该公司的孙朝军先生、张军先生和其他公司领导给予了大力支持；本书还得到扬州大学出版基金的支持，在此一同表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，且不是材料成形专业科班出身，虽然已尽力对书中诸如成形工艺、专业术语等做到尽可能合理和准确，但错误在所难免，敬请读者批评指正。

作者 于扬州 2018年3月

目 录

前 言	
第 1 章 伺服压力机概述	1
1.1 普通机械压力机存在的不足	1
1.2 伺服压力机组成原理	4
1.2.1 伺服压力机组成结构	4
1.2.2 伺服压力机工作原理	5
1.2.3 伺服压力机性能分析	5
1.3 伺服压力机结构类型	8
1.3.1 按动力传递方式分类	8
1.3.2 按驱动电动机分类	10
1.3.3 按传动机构分类	13
1.4 伺服压力机的发展与应用	16
1.4.1 伺服压力机的发展	16
1.4.2 伺服压力机的应用	20
1.4.3 伺服压力机发展趋势	24
第 2 章 伺服压力机传动系统	25
2.1 伺服压力机传动系统方案选择及其设计	25
2.1.1 伺服压力机传动系统设计步骤	25
2.1.2 伺服压力机传动系统方案选择	25
2.1.3 伺服压力机传动系统方案设计	26
2.2 伺服压力机传动系统运动学分析	27
2.2.1 曲柄滑块传动机构运动学分析	28
2.2.2 肘杆传动机构运动学分析	29
2.2.3 双曲柄传动机构运动学分析	32
2.3 伺服压力机传动系统力学特性分析	35
2.3.1 曲柄滑块传动机构力学特性分析	35
2.3.2 肘杆传动机构力学特性分析	39
2.3.3 双曲柄传动机构力学特性分析	43
2.4 伺服压力机传动系统优化设计	45
2.4.1 遗传算法基本原理及技术实现	45
2.4.2 肘杆传动机构遗传算法优化设计	50
2.4.3 双曲柄传动机构遗传算法优化设计	54
第 3 章 伺服压力机控制系统	58
3.1 伺服压力机控制系统结构及其软硬件组成	58
3.1.1 伺服压力机控制系统任务及功能要求	58
3.1.2 伺服压力机控制系统硬件组成及其选用	59
3.1.3 伺服压力机控制系统软件	64
3.2 伺服压力机的能量管理	66
3.2.1 能量管理必要性及现有管理技术	66
3.2.2 回馈电网的能量管理技术	68
3.2.3 电容储能的能量管理技术	68
3.2.4 “独立飞轮”储能的能量管理技术	70
3.3 伺服电动机同步驱动控制	72
3.3.1 常用的同步控制技术	72
3.3.2 基于虚拟主轴的同步控制	73
3.4 滑块下死点位置误差的补偿技术	75
3.4.1 滑块下死点位置精度的影响因素	75
3.4.2 提高滑块下死点位置精度的常用措施	75
3.4.3 伺服压力机下死点位置误差补偿技术	76
3.5 伺服压力机控制系统设计示例	77
第 4 章 伺服压力机本体结构	83
4.1 伺服压力机机身	83
4.1.1 伺服压力机机身常见结构	83
4.1.2 开式机身刚度分析	84

4.1.3	闭式机身变形分析	85	6.1.1	自动冲压生产线的技术发展	113
4.1.4	闭式组合机身预紧力计算	86	6.1.2	自动冲压生产线的结构组成	114
4.2	伺服压力机滑块与导轨	88	6.1.3	自动冲压生产线的应用	116
4.2.1	滑块导向机构	88	6.2	多工位压力机	118
4.2.2	滑块刚度分析	91	6.2.1	多工位压力机的结构组成	118
4.2.3	滑块抗偏载能力分析	91	6.2.2	多工位压力机工位间送料系统	119
4.3	伺服压力机本体结构有限元分析	93	6.2.3	多工位压力机发展及技术水平	123
4.3.1	伺服压力机机身线性静力学结构分析	93	6.3	自动冲压生产线物料传输系统	123
4.3.2	伺服压力机机身模态分析	94	6.3.1	拆垛单元	124
4.3.3	伺服压力机滑块有限元结构分析	96	6.3.2	压力机间传输装置	125
4.3.3	伺服压力机滑块有限元结构分析	96	6.3.3	端拾器	126
第5章	伺服压力机附属装置	98	6.4	自动冲压生产线控制系统	127
5.1	装模高度调节装置	98	6.4.1	机械制造系统的控制模式	127
5.1.1	装模高度调节装置结构及其工作原理	98	6.4.2	集散控制系统的基本结构及其特点	128
5.1.2	装模高度调节装置参数设计	99	6.4.3	自动冲压生产线的系统控制	130
5.2	过载保护装置	99	6.5	自动冲压生产线的设计示例	132
5.2.1	过载保护装置结构形式	99	附录		139
5.2.2	液压过载保护装置工作原理	100	附录 A	传动系统运动学和力学特性分析	
5.2.3	液压过载保护装置参数计算	101		计算程序	139
5.3	行程调节装置	102	附录 A.1	曲柄滑块传动机构的分析计算程序	139
5.3.1	行程调节原理	102	附录 A.2	肘杆传动机构的分析计算程序	140
5.3.2	行程调节装置结构形式	102	附录 A.3	双曲柄传动机构的分析计算程序	143
5.4	滑块平衡装置	104	附录 B	伺服压力机传动系统遗传算法优化设计程序	146
5.5	拉深垫	105	附录 B.1	肘杆传动机构遗传算法优化设计程序	147
5.5.1	普通气垫	105	附录 B.2	双曲柄传动机构遗传算法优化设计程序	161
5.5.2	液压气垫	106	参考文献		169
5.5.3	数控液压垫	108			
5.6	移动工作台	110			
5.6.1	移动工作台类型	110			
5.6.2	移动工作台组成结构	111			
第6章	自动冲压生产线	113			
6.1	自动冲压生产线的发展及结构组成	113			

第1章

伺服压力机概述

伺服压力机是近 20 多年来发展起来的一种新型冲压成形设备，通过伺服控制程序的改变，可方便地调整滑块的运动曲线，能够满足不同材料、不同工艺的零件成形加工要求，具有加工柔性度好、成形精度高、节能增效等特性，现已在国内外制造业得到广泛的应用。

1.1 普通机械压力机存在的不足

普通机械压力机是通过模具对零件坯料施加压力致使其产生塑性变形或断裂从而进行加工的一种金属成形机床，属少无切削、洁净成形的压力加工装备，可应用于拉深、弯曲、铆接、落料等金属成形加工，是汽车制造、航空航天、电子信息、家用电器、交通运输等行业重要的工艺装备之一，具有加工效率高、运行成本低、精度一致性好的特点。

压力机种类较多，有曲柄压力机、螺旋压力机、多连杆压力机等多种类型，其中曲柄压力机最为常见，约占压力机拥有量的一半以上^[1]。压力机的类型不同，其工作原理也不尽相同。下面以面广量大的曲柄压力机为例，分析普通机械压力机的工作原理、特点以及存在的不足。

图 1.1 所示为可倾式曲柄压力机 J23-63。由此图可见，曲柄压力机通常由电动机、飞轮、传动系统、离合器、制动器、曲轴、滑块以及机身、工作台等基础部件构成。这种压力

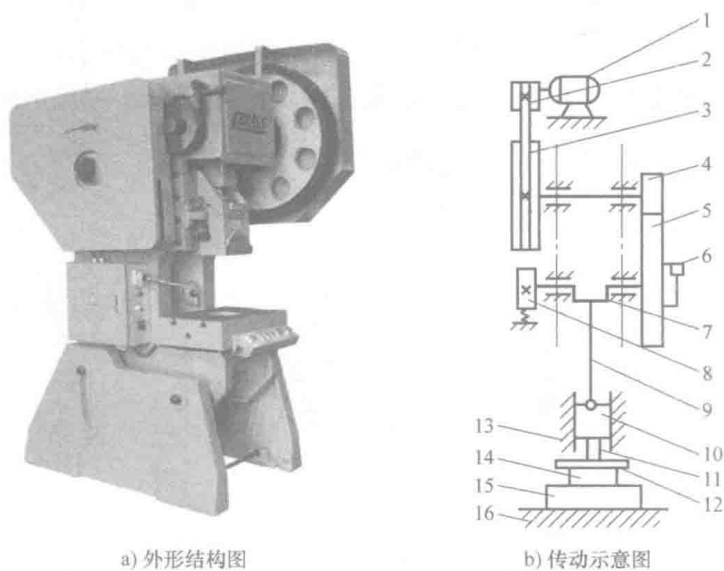


图 1.1 可倾式曲柄压力机 J23-63

1—电动机 2—小带轮 3—大带轮（飞轮） 4—小齿轮 5—大齿轮 6—离合器 7—曲轴
8—制动器 9—连杆 10—滑块 11—上模 12—工件 13—导轨 14—下模 15—垫板 16—工作台

机工作时,由其电动机通过V带驱动大带轮(通常兼作飞轮)进行旋转,经齿轮副减速和离合器通断啮合,将电动机的运动传递至曲轴,再由曲柄滑块机构将曲轴的旋转运动转换为滑块的直线运动,以驱使滑块沿床身导轨做上下往复运动。用于零件成形的上、下模分别安装于滑块和机身工作台上,因此由滑块的往复运动便可实现对零件的成形加工。

从曲柄压力机的组成结构和工作原理可以看出,普通机械压力机具有如下特征。

1) 它是一种少无切削、洁净成形的压力加工装备。压力机通过对模具所施加的压力便可实现零件的成形加工,是属于一种受迫成形加工工艺,成形后的零件可以直接或稍加修磨后便可投入使用,无须后续的加工工序。

2) 精度一致性好。加工精度由成形模具保证,零件成形精度一致性较好。

3) 成形效率高。压力机一个工作循环即为一次成形加工,压力机工作速率通常为每分钟数次至数百次,高速压力机甚至达到每分钟上千次之多,这种成形效率是切削加工工艺无法比拟的。

4) 成形能量由惯性飞轮提供,电动机功率需求小。压力机所承受的负载属于冲击负载,在一次工作循环周期内仅在较短时间内承受工作负载,其余时间为空程运行。为此,在曲柄压力机上往往配置有惯性飞轮,在压力机空行程阶段电动机带动飞轮旋转,积蓄能量;在成形加工阶段,较大的成形负载导致滑块运动速度下降,与此同时,飞轮积蓄的旋转惯量得到释放,压力机正是依据所释放的旋转惯量完成对零件的成形作业;在滑块完成冲压加工后返程阶段,电动机再次带动飞轮加速旋转,使其恢复到原有的角速度,为下一次工作循环再次积蓄能量。为此,普通曲柄压力机在成形加工阶段所需能量主要由惯性飞轮提供,而不是由电动机直接提供,从而电动机所需功率可很小。图1.1所示的63t曲柄压力机由于飞轮的惯性作用,电动机功率仅为5.5kW,仅占成形功耗的7%左右。

5) 适合批量生产。压力机冲压成形所需的模具制造成本较高,其生产批量越大,则分摊到每个零件的单件成本就越低。因而,压力机比较适合于具有一定生产批量的零件加工。

虽然普通机械压力机具有上述卓越特性,但也明显存在如下几点不足。

1) 滑块运动模式固定,工艺柔性度较差。普通曲柄压力机的滑块运动完全取决于曲柄滑块机构,一旦传动机构的结构及其参数确定,滑块的运动曲线也就完全固定,如图1.2所

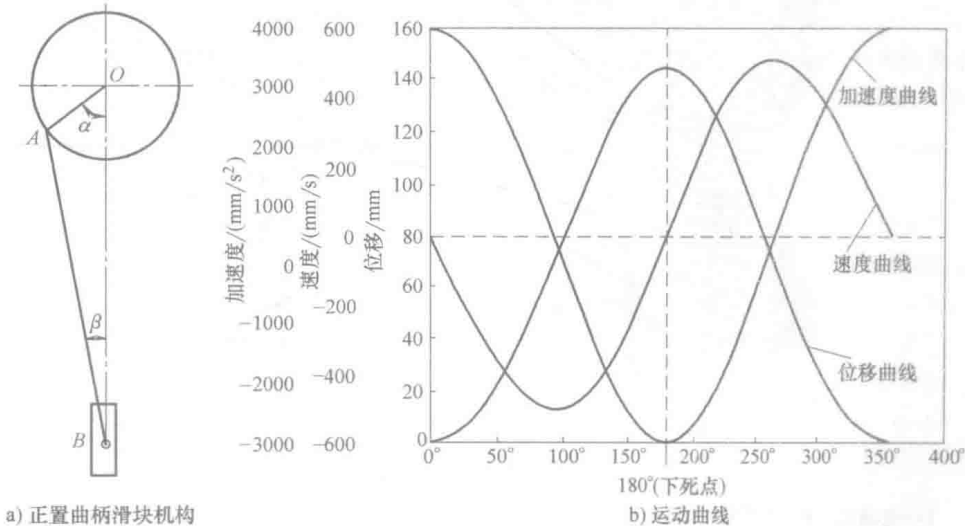


图 1.2 普通曲柄压力机滑块的运动曲线

示。滑块的位移曲线为对称的正弦曲线，滑块仅能按此正弦曲线的运动规律进行压力加工，难以满足日益增加的不同材料、不同冲压工艺的成形加工要求。

2) 成形区域速度变化大，成形速度高。许多工程材料在成形时要求有较低而均匀的成形速度，而普通曲柄压力机在下死点附近滑块运动速度变化较大（图 1.2b），压力机在上、下模合模时的速度过高，往往造成合模时的冲击，既不利于材料的加工成形，又容易造成模具的损坏，更不适合深拉伸成形加工。

为了满足深拉伸加工工艺要求，人们推出了不同形式的多连杆压力机，如图 1.3 所示的六连杆传动系统^[2]和图 1.4 所示的八连杆传动系统^[3]，这些多连杆压力机在成形区域内具

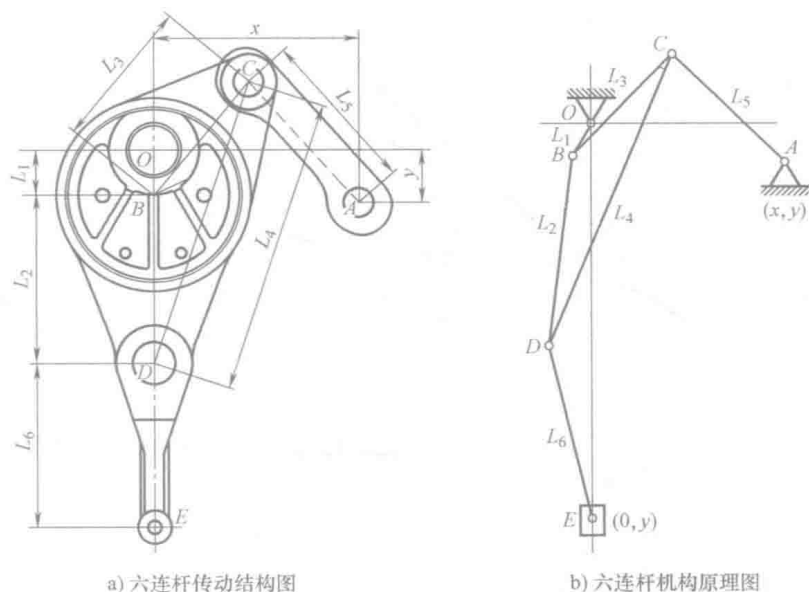


图 1.3 六连杆传动系统

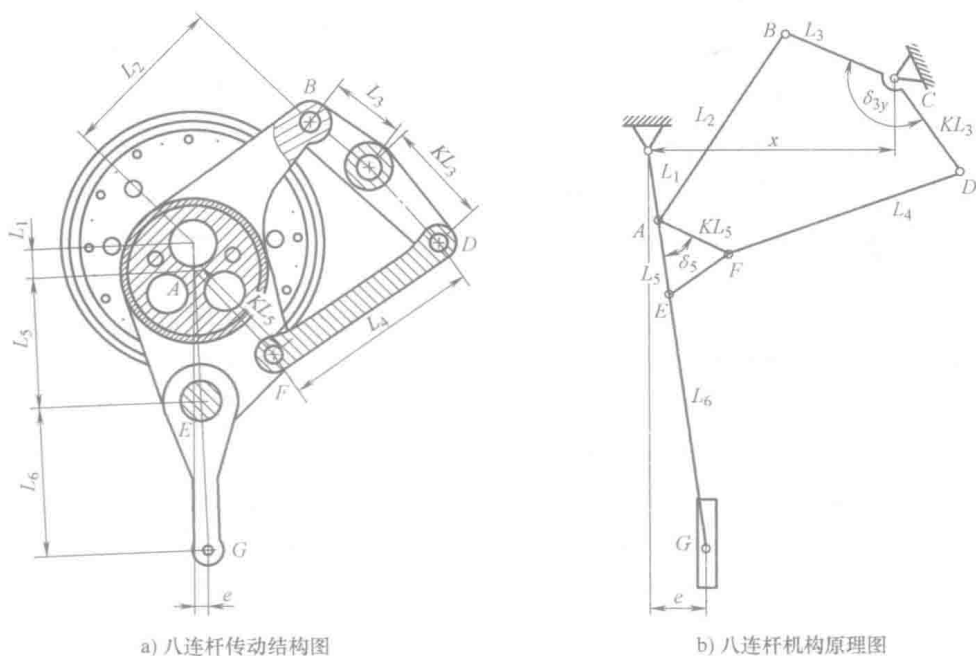


图 1.4 八连杆传动系统

有低且均匀的成形速度，且有较好的急回特性（图 1.5），有效克服了普通曲柄压力机的不足，既满足了深拉深对成形速度的要求，又可保持一定成形加工的效率。

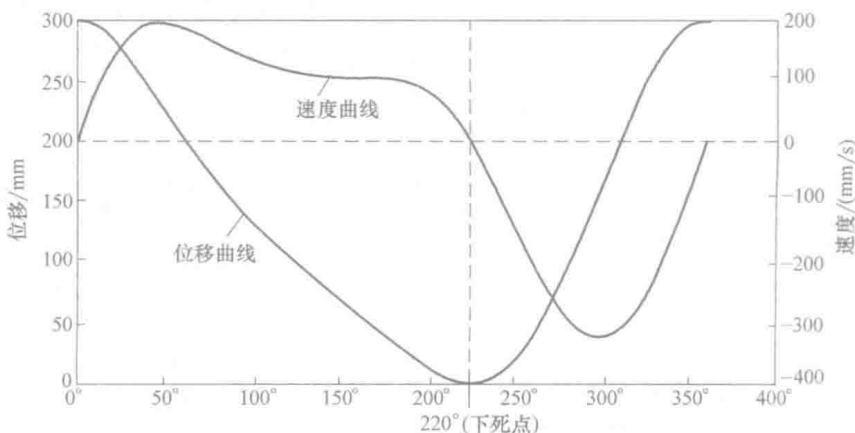


图 1.5 六连杆压力机滑块的运动曲线

然而，多连杆压力机传动结构复杂，制造装配困难；传动系统连接环节多，综合间隙大，影响压力机传动刚度和成形质量。此外，多连杆压力机仍属于刚性传动结构，一旦其结构确定，也仅能按一种工作模式或运动曲线进行成形作业，仍然满足不了众多成形工艺模式的加工需求。

因此，上述普通机械压力机自身所存在的不足以及社会日益增加的成形加工需求，催生了新一代压力机——伺服压力机的问世。

1.2 伺服压力机组成原理

随着科学技术的进步以及伺服控制技术的发展，针对普通机械压力机存在的不足，20 世纪 90 年代一种新型压力机——伺服压力机应运而生。伺服压力机是集微电子技术、伺服控制技术与普通机械传动技术为一体的新一代冲压成形设备。它由伺服电动机驱动，由数字式控制系统控制着压力机滑块的位移以及速度，可满足不同材料、不同工艺模式的成形加工要求。

1.2.1 伺服压力机组成结构

图 1.6 为曲柄式伺服压力机的组成结构及其驱动原理图。由此图可见，伺服压力机由控制系统、驱动系统、传动系统、执行机构、检测装置以及机床本体等部分组成。

控制系统是伺服压力机的控制中心，为操作者提供了 I/O 接口和人机界面，负责压力机的运动编程及执行控制，监视压力机瞬时工作状态以及生产管理等。

驱动系统包括伺服电动机、伺服驱动器、能源供给与管理系统等，负责接收和放大处理来自控制系统的指令信息，并将其转换为伺服电动机的旋转运动，为压力机成形加工提供所需要的运动和动力。

传动系统可由带轮或齿轮副、螺旋机构、曲柄滑块机构、肘杆机构等运动副构成，具有运动传递和运动转换等功能。

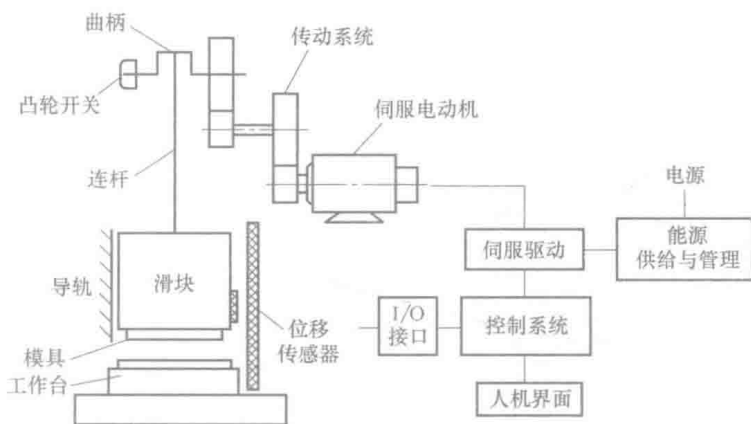


图 1.6 曲柄式伺服压力机的组成结构及其驱动原理图

执行机构由滑块以及模具组成，用以完成对冲压件的成形加工。

检测装置包括位移传感器、压力传感器、编码器、热电偶等检测元件，用以检测压力机滑块、曲轴以及床身等基础部件的位移、速度、压力和温度变化，并将之反馈至控制系统，以实现压力机加工过程进行实时监控和调节。

此外，伺服压力机还包含多种辅助系统和附属装置，如润滑系统、气动回路、平衡装置、调模装置以及过载保护装置等。

1.2.2 伺服压力机工作原理

与数控机床类似，伺服压力机是通过控制程序来控制滑块运动的，包括滑块的位移和速度。为了满足不同材料以及成形工艺要求，压力机加工需要有各种不同的成形工艺模式，如图 1.7 所示。将这些成形工艺模式按照控制系统规定的格式要求，编写成一个个冲压加工程序，压力机将按照这些加工程序控制整个加工过程。伺服压力机工作原理如下。

1) 确定合适的成形工艺模式。根据成形零件材料、结构特点以及加工工艺要求，确定该零件加工最合适的成形工艺模式，确定工作参数，以保证压力机精确、高效和可靠的加工要求。

2) 编写加工程序。根据所确定的成形工艺模式和工作参数，编写零件加工程序，并将其输入压力机控制系统。

3) 起动压力机工作。起动压力机，由控制系统按照加工程序所要求的滑块运动曲线控制压力机进行成形加工。

4) 检测并反馈压力机实际工作信息。由光电编码器、位移传感器等检测元件实时检测压力机实际工作状态，并将实测的工作状态信息反馈至控制系统，控制系统将实时反馈信息与指令值比较后，对压力机当前工作状态进行调节和控制。

5) 工作过程监控。通过不同传感器实时监控压力机工作状态，包括压力、温度、安全防护等，若发现“过载”和“过热”等异常工作状态，发出系统警报并立即停止压力机工作，否则压力机将正常持续工作，直至用户给出“停止”信号。

1.2.3 伺服压力机性能分析

由上述伺服压力机的组成结构和工作原理可见，伺服压力机具有如下的性能特征^{[4][5]}。

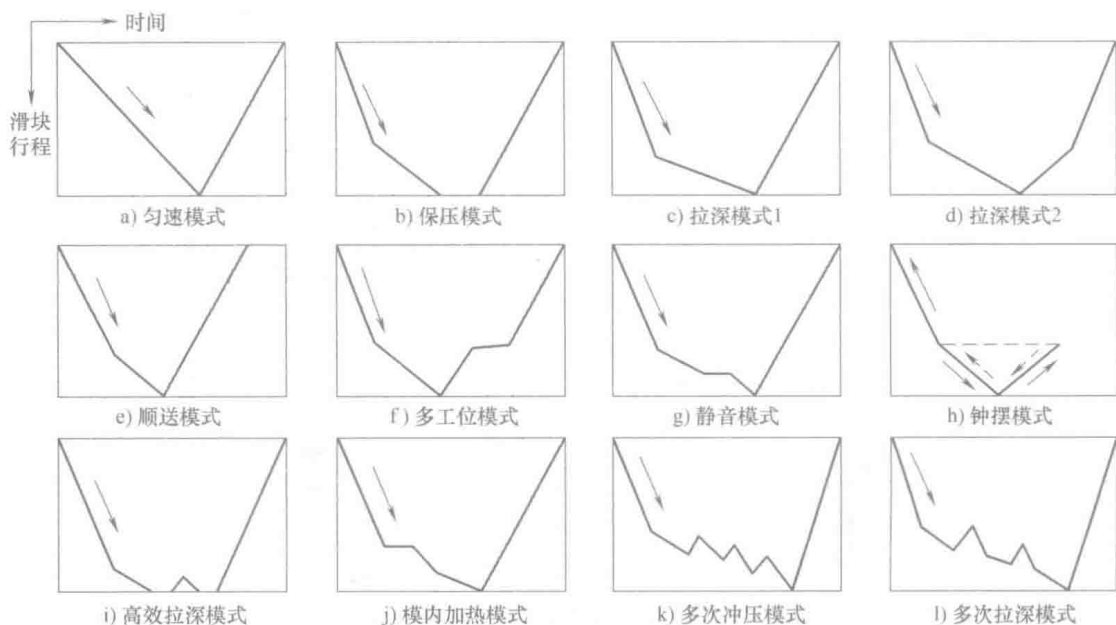


图 1.7 伺服压力机常用的成形工艺模式

(1) 工艺柔性度好 伺服压力机的滑块运动由程序控制，可针对不同的成形材料、成形工艺以及模具要求，编制各种不同的滑块运动程序来控制滑块的位移和速度。为此，滑块运动不再是简单、单一、固定的运动模式，而是可用数字在合适的范围内设定滑块的最佳运动曲线，大大拓展了压力机的工艺范围和加工性能。据资料报道，伺服压力机应用范围可高于液压机 1.5 倍以上，其拉深加工时的拉深比可提高 20%~30%^[6]。图 1.7 中列举了伺服压力机多种不同的成形工艺模式，可将这些模式存储在压力机控制系统内，用户可根据成形加工要求选择合适的模式和相关的工艺参数，完成冲孔、落料、拉深、弯曲、压印等不同加工工艺过程。

(2) 生产率高 伺服压力机滑块行程速度可以自由调节，在滑块下死点附近可采用较低的行程速度，以满足不同材料成形的工艺速度要求，而在空行程阶段又可采用较高的运行速度，这样既满足了成形工艺加工要求又可大大提高生产率。

例如：日本小松公司采用 H1C630 伺服压力机拉深成形如图 1.8a 所示的离合器外壳，图 1.8b 所示为其滑块运动曲线。在空行程及返程阶段伺服压力机采用了较高的运行速度，其行程次数达到 25 次/min，而普通机械压力机仅达到 15 次/min。此例中伺服压力机加工效率则为普通机械压力机的 1.6 倍。

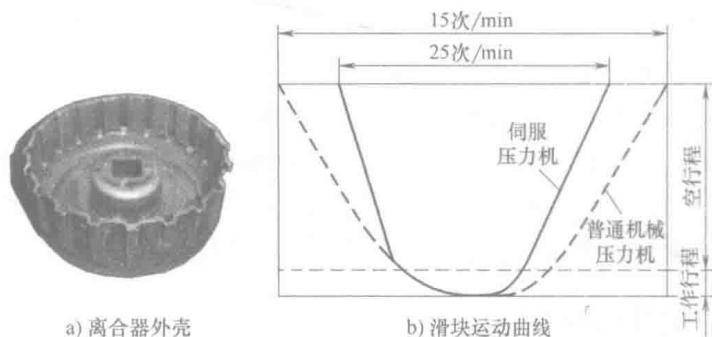


图 1.8 伺服压力机与普通机械压力机生产率比较

(3) 成形精度高 伺服压力机成形精度高,可从如下三方面进行分析:①伺服压力机通过位移传感器和光电编码器对滑块位移、曲轴转角进行双闭环控制,控制精确高;②伺服压力机可根据材料和成形工艺要求选择最佳的运动曲线,从而保证了加工件的可成形性和成形精度;③伺服压力机可通过模高调节装置对滑块下死点误差进行自动调节,以补偿由工作温度等因素所引起的下死点误差,从而大大提高了压力机成形精度。

如图 1.9 所示,由于工作温升、加工速率变化以及机床刚度等因素的影响,将导致滑块下死点偏移,其偏移量有时可达到数十甚至数百微米,这必将影响压力机成形精度。伺服压力机可借助于位移传感器和模高调节装置,对滑块下死点误差进行自动调节补偿,可使下死点精度稳定在 $0.01\sim 0.02\text{mm}$ 范围内。

(4) 机械结构得到简化 伺服压力机省去了飞轮、离合器、制动器等传动部件,使压力机机械结构得到了简化,无须离合器频繁接合/断开操作,大大降低了工作噪声,减少了机械故障率,方便了设备的维护保养,其制造成本也随之降低。

(5) 节能效果显著 与普通机械压力机比较,伺服压力机可大大降低工作能耗,其原因如下。

1) 没有飞轮和离合器能耗装置。普通机械压力机不管工作与否,均由电动机带着飞轮持续运转,通过离合器的频繁接合驱动滑块运动。由文献 [1] 表明,普通机械压力机飞轮空转能耗约占压力机总能耗的 $6\%\sim 30\%$,离合器接合能耗约占总能耗的 20% (主要指摩擦离合器)。伺服压力机没有飞轮和离合器等耗能部件,从而避免了这部分的能耗损失。

2) 伺服电动机空行程能耗少。伺服电动机工作电流是随负载大小而变化,压力机空行程时负载小,作用在伺服电动机上的电流小,其能耗也随之减小。而普通机械压力机为异步电动机加飞轮的传动模式,电动机的能耗与滑块有无负载变化不大。为此,在相同工况条件下伺服压力机空行程有明显的节能效果。

3) 再生能源的回收利用。伺服压力机在减速或制动时,其绕组起着发电机作用,此时压力机运动部件动能将转换为绕组回路上的再生电能。伺服压力机一般配置有再生能源管理系统,可将这类再生电能回收利用,这不仅减轻了再生电流对电网的冲击,同时也节省了压力机功率消耗。

总之,与普通机械压力机比较,伺服压力机有明显的节能作用,其具体节能效果取决于再生能源的利用效率。例如:日本小松公司曾对 3000kN 伺服压力机进行连续工作功耗对比试验,其结果表明伺服压力机有 $30\%\sim 42\%$ 的节能效果^[7]。

(6) 操作便捷,安全可靠 伺服压力机配置有触摸屏可视化界面、数字手轮位置调节工具,操作界面直观简洁,便于操作控制。在安全性方面,伺服压力机配置有过载保护装置、光电保护装置、失电制动等多重安全保护措施,比普通机械压力机具有更好的安全保证。

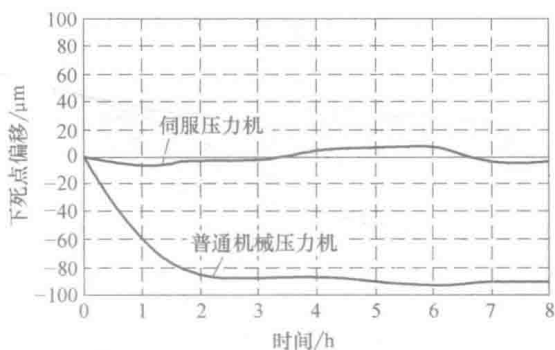


图 1.9 压力机滑块下死点偏移

1.3 伺服压力机结构类型

与普通机械压力机类似，伺服压力机也是种类多样，功能各异，也有多种不同的分类方法。

1.3.1 按动力传递方式分类

若按动力传递方式分，可将伺服压力机分为机械式伺服压力机和液压式伺服压力机两大类。机械式伺服压力机是由机械传动系统来传递压力机滑块所需的运动和压制力，工作效率高，其应用面广量大。液压式伺服压力机则以液体为工作介质，通过液压缸活塞来驱动滑块进行上下运动，其压制力较大，且在整个工作行程范围内压制力可保持恒定，但工作效率不如机械式伺服压力机。

1. 机械式伺服压力机

机械式伺服压力机应用面广，使用量大，其类型也是多种多样的。若从控制对象的性质分，可将机械式伺服压力机进一步分为行程控制类伺服压力机和力能控制类伺服压力机两种不同类型。

1) 行程控制类伺服压力机。行程控制类伺服压力机是指对压力机滑块的运动行程和运动速度能够精确控制的一类压力机，其易于获得所需的运动曲线。例如：曲柄式伺服压力机即为这类伺服压力机的典型代表，该类压力机的伺服电动机输出运动经减速机构减速，通过不同的传动机构将伺服电动机的旋转运动转换为滑块的往复直线运动，通过对伺服电动机角位移和角速度的控制，便可得到所需要的滑块运动曲线。这类压力机有确定的上死点和下死点，一旦压力机的传动机构确定，其上死点和下死点也就固定不变。当伺服电动机以不变的角速度运行时，则滑块的运动曲线也不会改变。由于曲柄式伺服压力机结构简单、成形精度高，被广泛用于拉深、弯曲、落料等金属成形加工。本书以下各章节主要是以曲柄式伺服压力机为对象介绍其相关技术内容。

2) 力能控制类伺服压力机。力能控制类伺服压力机是指对压力机的压制力能够精准控制的一类压力机，螺旋式伺服压力机即为这种类型的压力机，如图 1.10 所示^[8]。力能控制类伺服压力机通常由伺服电动机、同步带轮、飞轮、制动器、螺杆副、滑块、机身等部件组成。伺服电动机通过同步带轮带动飞轮旋转，再经螺杆副将飞轮旋转运动转换为滑块的上下往复运动，从而实现压力机的成形加工。

压力机飞轮主要起着积蓄能量的作用，能量积蓄的大小可通过飞轮的转速进行控制，其转速越高所积蓄的动能就越多。在压力机工作时，首先由电动机带动飞轮加速旋转进行蓄能，同时由螺杆副驱动滑块下行。当电动机加速到预定的转速后，即飞轮能量已积蓄到指定值，电动机的加速过程结束，开始转变为匀速运转。当滑块上的模具接触冲压件，压力机便利用积蓄在飞轮上的能量开始对冲压件进行成形加工，与此同时飞轮转速降低，直至完成冲压件成形加工，滑块停止运行为止。此时，系统发出反转回程信号，控制电动机反向旋转，加速回程；当滑块回程到一定高度时，电动机停机，滑块利用惯性上行，当滑块接近上死点时机械制动器动作，使滑块静止停留在上死点，压力机完成一次作业循环。

从力能控制类伺服压力机组成原理可以看出：①该类压力机没有固定的下死点；②除了

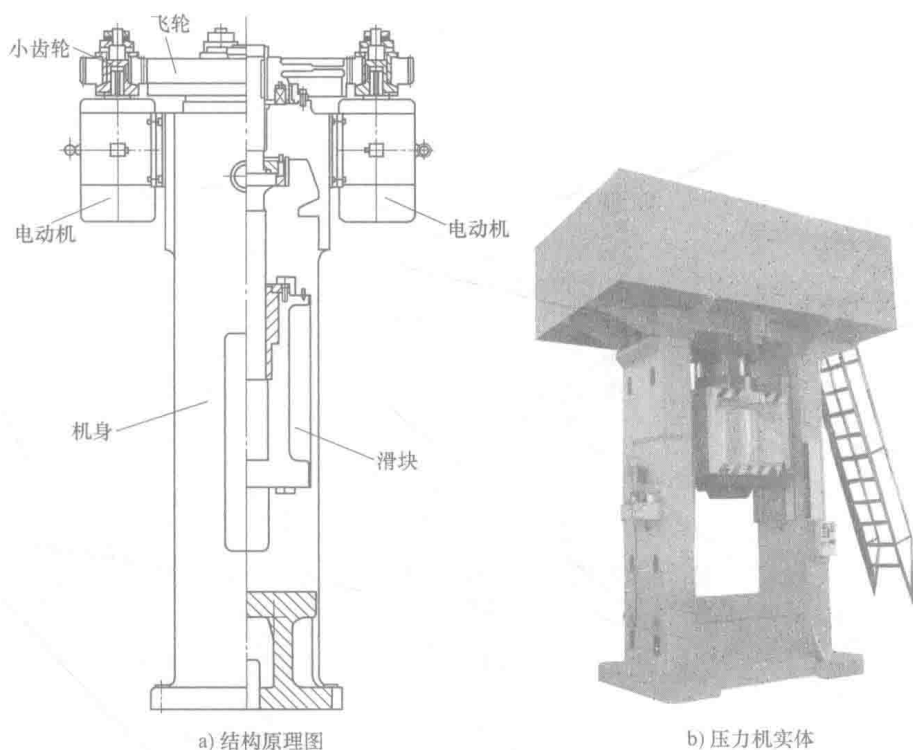


图 1.10 螺旋式伺服压力机

电动机加减速过程之外，滑块的运动基本为匀速运动；③压力机成形加工时主要是利用飞轮所积蓄的能量进行工作，因而伺服电动机所需功率较小。

因此，力能控制类伺服压力机具有如下特点：①压力机成形加工所需要的能量可通过程序进行控制，其压制力稳定；②滑块没有固定下死点，压力机不需要配置模高调节装置进行模具高度的调整，可避免加工过程的闷车现象；③压力机结构简单、需求电动机功率小、制造成本低。因而，力能控制类伺服压力机特别适合精密锻造成形工艺。

2. 液压式伺服压力机

液压式伺服压力机，又称为伺服液压机，是一种以液体为工作介质，通过液压缸、活塞驱动滑块运动的压力机。伺服液压机易于实现较大压制力和较长工作行程，在滑块行程中的任意位置均能提供恒定的压制力。因此，伺服液压机在锻压成形行业占有重要的地位。

若按液压系统控制机理的不同，伺服液压机又可进一步分为阀控式伺服液压机和泵控式伺服液压机两种不同类型。阀控式伺服液压机，即按节流原理采用伺服控制阀来控制液压系统的流量和压力，实现对压力机滑块的位移、速度和压制力进行控制的目的。这种伺服液压机对系统的液体介质要求较高、需要有恒定的液压源、对油液的污染较为敏感、工作效率较低。

泵控式伺服液压机是采用伺服电动机+定量泵的工作模式，是通过控制伺服电动机的转速和转矩来改变定量泵的输出流量和压力，以实现滑块位移、速度和压制力的控制。与阀控式伺服液压机比较，这种伺服液压机功率损失较少，运行效率较高，且可省去液压系统中

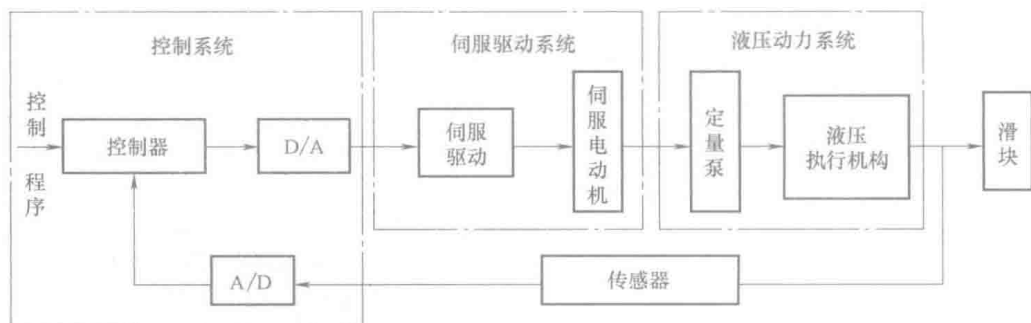


图 1.11 泵控式伺服液压机的组成原理图

许多控制阀元件，便于系统的维护，其可靠性大大提高，现已得到越来越多的应用。图 1.11 为泵控式伺服液压机的组成原理图^[9]，图 1.12 所示为 SHP27-200 型泵控式伺服液压机^[10]。

1.3.2 按驱动电动机分类

伺服压力机可使用不同类型的伺服电动机。因此，伺服压力机又可分为直线伺服电动机驱动、交流伺服电动机驱动、开关磁阻电动机驱动以及混合驱动等不同的伺服驱动类型。

1. 直驱式伺服压力机

直驱式伺服压力机是由直线伺服电动机直接驱动，不需要任何传动机构进行运动的转换，可直接驱动压力机滑块进行往复直线运动。图 1.13 为直驱式伺服压力机的结构示意图。由此图可知，压力机滑块与直线伺服电动机次级直接连接，压力机工作时的滑块运动直接由电动机次级推动，是一种零传动驱动结构。这种直驱式伺服压力机无反向间隙，具有控制精度高、响应速度快的特点。然而，受到现有直线伺服电动机功率小、价格高等因素的制约，目前这类伺服压力机主要还限制在薄片高速冲压以及精密压印等应用领域^[11]。

2. 交流伺服压力机

目前，市场上提供的伺服压力机大多是采用交流伺服电动机作为驱动源的交流伺服压力机。为了使交流伺服电动机的输出转矩与负载转矩相匹配，在压力机传动系统中一般配置有不同类型的减速机构，如同步带轮或齿轮副减速机构、蜗杆副减速机构、行星齿轮减速器等。行星齿轮减速器具有转动惯量小、结



图 1.12 SHP27-200 型泵控式伺服液压机

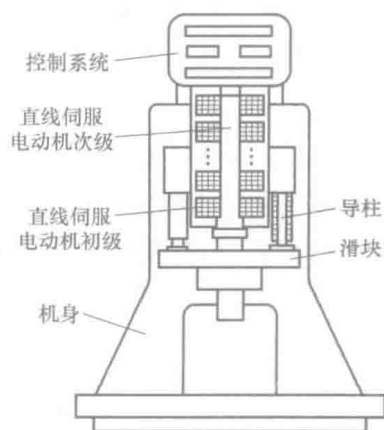


图 1.13 直驱式伺服压力机的结构示意图