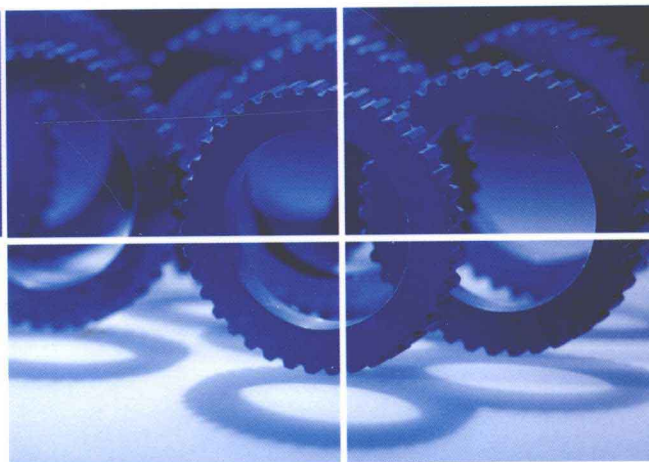


普通高等教育“十二五”规划教材
普通高等教育机电类规划教材



机械综合课程设计

朱玉 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材
普通高等教育机电类规划教材

机械综合课程设计

主 编 朱 玉
副主编 潘金坤 李 钢
参 编 陆 媛 冯 勇 马兆允
主 审 钱瑞明



机械工业出版社

本书以 CDIO 工程教育思想为理念,以培养卓越工程技术人才为目标,结合近几年对相关课程的教学改革实践经验编写而成。将原“机械原理课程设计”和“机械设计课程设计”的内容有机整合为一个新的综合课程设计体系,注重培养学生的创新设计能力和应用现代先进分析技术和设计手段解决工程实际问题的能力。

全书内容包括:第1篇为机械综合课程设计指导,设计方法上引入了虚拟样机技术;第2篇为设计题目与参考图例;附录为机械设计常用资料。随书光盘提供了示例虚拟样机文件和常用资料的电子文件。

本教材既适用于整合的机械综合课程设计,也可用于分开进行的机械原理课程设计和机械设计课程设计教学,同时也可供机械设计基础课程设计使用。

本教材适用于高等工科院校机电类、机械类、近机类等专业的师生使用,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械综合课程设计/朱玉主编. —北京:机械工业出版社, 2012.3
普通高等教育机电类规划教材 普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-111-37244-8

I. ①机… II. ①朱… III. ①机械设计-课程设计-高等学校-教材
IV. ①TH122-41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 012432 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:余 皞 责任编辑:余 皞

版式设计:霍永明 责任校对:张 媛

封面设计:张 静 责任印制:乔 宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2012 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·18 印张·453 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-37244-8

ISBN 978-7-89433-347-6(光盘)

定价:38.00 元(含 1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

普通高等教育机电类教划教材编审委员会

主 任：邱坤荣

副主任：黄鹤汀 左健民

高文龙 章 跃

王晓天 周建方

沈世德

秘 书：周骥平

委 员：(排名不分先后)

周骥平 徐文宽

唐国兴 邓海平

戴国洪 李纪明

蒋同洋 鲁屏宇

葛士恩 赵连生

芮延年 王 萍

乔 斌 李建启

葛友华

前言

本书是依据 CDIO 工程教育理念, 落实教育部“卓越工程师教育培养计划”, 进一步深化高等工程教育改革, 为实现提高工程教育人才培养质量的教改总目标而编写的。机械设计系列课程体系改革的目标是培养学生的综合创新设计能力, “机械综合课程设计”对原有的“机械原理课程设计”和“机械设计课程设计”的体系和内容进行整合、完善和充实, 使其体系更有利于培养学生的创新设计能力和应用现代先进分析技术和设计手段解决工程实际问题的能力。

本书在编写和内容安排上具有以下特色。

1) 课程设计体系的综合性。将“机械原理课程设计”和“机械设计课程设计”的内容体系有机整合为一个新的综合课程设计体系, 使机械运动方案设计、机械运动尺寸设计、机械传动强度设计、零部件结构设计及现代设计方法应用等内容有机结合, 培养学生的机械系统设计意识、现代设计意识和创新意识。

2) 设计方法的先进性。机械系统仿真软件 ADAMS 是目前实现机构的运动学和动力学仿真最先进的技术软件。为强化学生的现代设计意识, 在课程设计选题示例中引入了虚拟样机技术, 利用 Pro/E 和 ADAMS 联合仿真技术对机构进行运动学和动力学分析, 为培养学生的创新思维、实践创新设计提供了新的手段。

3) 设计内容的实用性。本书内容的编排和方法手段的取舍, 充分考虑到了教学过程中的可操作性, 适合于 1~4 周的课程设计使用。例如, 传统的图解法六杆插床机构、二维设计减速器均给予了保留, 在此基础上, 采用了 ADAMS 软件进行六杆插床机构的分析和应用 Pro/E 软件设计减速器; 综合设计样例中较详细地介绍了采用 ADAMS 和 Pro/E 联合仿真技术对压力机和蜂窝煤成型机进行的设计分析。

4) 适应不同层次的需求。本书内容深浅兼顾, 适用于机械类、近机械类专业, 能够满足不同类型高等学校培养目标的要求。既可作为机械原理与机械设计综合进行的课程设计使用, 也可供机械原理或机械设计单独进行的课程设计使用, 同时也可作为机械设计基础课程设计使用。

5) 采用最新国家标准。本书所有标准均为国家正式发布的最新标准。

全书内容包括: 第 1 篇为机械综合课程设计指导, 包括绪论、机械系统方案设计、机械传动装置设计、常用机构建模与仿真方法、减速器的三维设计与装配、编写设计计算说明书和准备答辩、图解法六杆插床机构分析课程设计示例和基于虚拟样机的课程设计示例等内容; 第 2 篇为设计题目与参考图例; 附录为机械设计常用资料。

为方便读者学习, 本书提供了配套光盘。书中第 1 篇的实例均配有虚拟样机文件和视频文件; 附录中的机械设计常用资料均有电子版以方便检索。随书光盘中 prt 文件、asm 文件可在 Pro/E2.0 及以上环境中运行; bin 文件可在 ADAMS2005 及以上环境中运行。建议读者在进行虚拟样机的设计时选用 Pro/E2.0 (Pro/E3.0) + MECH/Pro2005 + ADAMS2005 (ADAMS2007) 组合。

参加本书编写的人员有: 朱玉 (第 1、4、5、7、8 章)、冯勇 (第 2 章)、潘金坤

(第3、10章)、陆媛(第6章、附录C、附录F)、马兆允(附录A、附录B、附录D)、李钢(第9章、附录E、附录G、附录H、附录I)。光盘中CH04、CH05、CH08由朱玉负责制作,机械设计常用资料电子版由李钢负责制作。

全书由朱玉任主编,负责全书的统稿。

本书承东南大学钱瑞明教授审阅,提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

由于受编者水平限制,书中疏漏和错误在所难免,真诚希望同行教师和广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 篇 机械综合课程设计指导 1

第 1 章 绪论 1

1.1 综合课程设计的目的、任务和过程 1

1.2 综合课程设计常用方法 3

第 2 章 机械系统方案设计 4

2.1 机械系统方案设计的步骤 4

2.2 机械工作原理与工艺动作的拟订 5

2.3 执行机构的选型、组合与变异 7

2.4 原动机类型与参数的选择 11

2.5 机械系统方案的比较与优选 13

第 3 章 机械传动装置设计 16

3.1 传动装置总体设计 16

3.2 传动零件的设计计算 22

3.3 减速器结构设计 27

3.4 减速器装配图绘制 33

3.5 零件图设计 48

第 4 章 常用机构的建模与仿真

方法 53

4.1 连杆机构的建模与仿真 53

4.2 凸轮机构建模与仿真 63

4.3 槽轮机构建模与运动仿真 67

4.4 混合轮系建模与仿真 76

第 5 章 减速器的三维设计与装配 83

5.1 减速器零部件的三维造型 83

5.2 减速器装配设计 106

第 6 章 编写设计计算说明书和准备答辩 117

6.1 编写设计计算说明书 117

6.2 准备答辩 120

第 7 章 图解法六杆插床机构分析

课程设计示例 126

7.1 插床机构简介与设计数据 126

7.2 插床机构的设计内容与步骤 127

7.3 图解微分法简介 133

第 8 章 基于虚拟样机的课程设计

示例 137

8.1 基于 ADAMS 的插床机构综合与传动系统设计 137

8.2 基于 Pro/E 和 ADAMS 专用精压机的设计 159

8.3 基于 Pro/E 和 ADAMS 冲压式蜂窝煤成形机的设计 183

第 2 篇 设计题目与参考图例 196

第 9 章 课程设计题选 196

第 1 题 旋转型灌装机机构综合设计 196

第 2 题 干粉自动压片成形机机构综合设计 197

第 3 题 电动葫芦综合设计 198

第 4 题 爬坡加料机设计 199

第 5 题 自动推料机执行机构与传动装置综合设计 200

第 6 题 颚式破碎机机构与传动装置综合设计 201

第 7 题 抽油机机构与传动装置结构综合设计 203

第 8 题 牛头刨床执行机构与传动装置综合设计 204

第 10 章 减速器结构及参考图例 207

图 10-1 一级圆柱齿轮减速器 (轴承油润滑) 207

图 10-2 齿轮 208

图 10-3 轴 208

图 10-4 齿轮轴 209

图 10-5 箱盖 210

图 10-6 箱座 211

图 10-7 一级圆柱齿轮减速器 (轴承脂润滑) 212

图 10-8 二级圆柱齿轮减速器 (轴承油润滑) 213

图 10-9 二级圆柱齿轮减速器 (轴承脂润滑) 214

图 10-10 一级锥齿轮减速器 215

图 10-11 一级蜗轮蜗杆减速器	216	附表 C-3 六角头螺栓—A 级和 B 级 六角头螺栓—全螺纹—A 级 和 B 级	230
附录 机械设计常用资料	217	附表 C-4 六角头铰制孔用螺栓—A 级和 B 级	230
附录 A 常用数据和一般标准	217	附表 C-5 内六角圆柱头螺钉	231
附录 A.1 一般标准	217	附表 C-6 十字槽盘头螺钉 十字槽 沉头螺钉	232
附表 A-1 Y 系列 (IP44) 三相异步 电动机技术数据	217	附表 C-7 双头螺栓 $b_m = d$	233
附表 A-2 机座带底座、端盖上无凸 缘的 Y 系列电动机的安装 及外形尺寸	218	附录 C.3 螺母	233
附表 A-3 标准尺寸 (直径、长度和 高度等)	218	附表 C-8 1 型六角螺母—A、B 级/细 牙 六角薄螺母—A、B 级 ..	233
附表 A-4 各种传动的传动比推荐范 围	219	附录 C.4 垫圈	234
附表 A-5 机械传动和摩擦副的效率 概率值	220	附表 C-9 标准型弹簧垫圈	234
附表 A-6 图纸幅面、图样比例	220	附录 C.5 螺纹零件的结构要素	234
附表 A-7 明细表格式	221	附表 C-10 粗牙螺栓、螺钉的拧入深 度和螺纹孔尺寸	234
附表 A-8 装配图或零件图标题栏格 式	221	附表 C-11 紧固件通孔及沉孔尺寸 ..	235
附录 A.2 零件的结构要素	221	附表 C-12 普通粗牙内外螺纹的余留 长度、钻孔余留深度、螺栓 突出螺母的末端长度	235
附表 A-9 中心孔	221	附表 C-13 普通螺纹收尾、肩距、退 刀槽、倒角	236
附表 A-10 中心孔的表示方法	222	附录 C.6 挡圈	236
附表 A-11 圆形零件自由表面过渡 圆角半径	222	附表 C-14 螺钉紧固轴端挡圈 螺栓 紧固轴端挡圈	236
附表 A-12 砂轮越程槽	223	附表 C-15 孔用弹性挡圈—A 型	238
附表 A-13 零件倒圆和倒角	223	附表 C-16 轴用弹性挡圈—A 型	239
附表 A-14 轴肩和轴环尺寸	223	附录 C.7 键连接和销连接	240
附表 A-15 外壁、内壁与肋的厚度 ..	224	附表 C-17 普通型平键的型式与尺寸 平键 键槽的剖面尺寸 ..	240
附表 A-16 铸造内圆角	224	附表 C-18 圆柱销、圆锥销	241
附表 A-17 铸造外圆角	224	附录 D 滚动轴承	241
附表 A-18 铸造斜度	225	附录 D.1 常用滚动轴承	241
附表 A-19 铸造过渡斜度	225	附表 D-1 深沟球轴承	241
附录 B 常用工程材料	225	附表 D-2 角接触球轴承	244
附表 B-1 灰铸铁、球墨铸铁	225	附表 D-3 圆柱滚子轴承	247
附表 B-2 一般工程用铸造碳钢	226	附表 D-4 圆锥滚子轴承	249
附表 B-3 普通碳素结构钢	226	附录 D.2 滚动轴承的配合及相配件精 度	252
附表 B-4 优质碳素结构钢	226	附表 D-5 向心轴承和轴的配合 轴 公差带代号	252
附表 B-5 合金结构钢	227	附表 D-6 向心轴承和外壳的配合 孔公差带代号	252
附录 C 连接	228		
附录 C.1 螺纹	228		
附表 C-1 普通螺纹基本尺寸优选系 列	228		
附表 C-2 梯形螺纹基本尺寸	229		
附录 C.2 螺栓、螺柱、螺钉	230		

附表 D-7 与滚动轴承配合轴和外壳 的几何公差	253	度	266
附表 D-8 与滚动轴承配合轴颈和外 壳孔的表面粗糙度	253	附表 G-12 轴加工表面粗糙度	267
附录 E 联轴器	253	附表 G-13 减速器箱体、轴承端盖 及轴承套杯加工表面粗 糙度	267
附表 E-1 联轴器轴孔和键槽型式及 尺寸	253	附录 H 渐开线圆柱齿轮精度	267
附表 E-2 凸缘联轴器	254	附录 H.1 齿轮推荐检验项目及偏 差	267
附表 E-3 弹性套柱销联轴器	256	附表 H-1 圆柱齿轮精度与圆周速 度关系	267
附录 F 润滑与密封	257	附表 H-2 齿轮检验项目组	268
附表 F-1 常用润滑油的性质和用途 ..	257	附表 H-3 螺旋线总偏差 F_{β}	268
附表 F-2 常用润滑脂的性质和用途 ..	257	附表 H-4 齿轮的 $f'_i, f_{pt}, F_p, F_a,$ F_r	269
附表 F-3 毡圈油封与槽的尺寸	258	附表 H-5 齿轮的 F''_i, f''_i	270
附表 F-4 旋转轴唇形密封圈的型式、 尺寸及安装要求	258	附录 H.2 齿轮副侧隙控制及公法线长 度与偏差	270
附表 F-5 一般应用的 O 形橡胶密封 圈尺寸及公差 (G 系列) ..	259	附表 H-6 齿厚偏差及公法线长度偏 差	270
附录 G 极限与配合、几何公差和表面 粗糙度	260	附表 H-7 齿轮副中心距极限偏差 $\pm f_a$	271
附录 G.1 极限与配合	260	附表 H-8 切齿径向进刀公差 b_f	271
附表 G-1 标准公差值 (公称尺寸大 于 6 至 500mm)	260	附录 H.3 齿坯公差	271
附表 G-2 孔的极限偏差值 (公称尺 寸大于 10 至 315mm)	261	附表 H-9 齿坯公差及齿坯基准面径 向和端面跳动公差	271
附表 G-3 轴的极限偏差值 (公称尺 寸大于 10 至 315mm)	262	附录 H.4 齿轮精度等级标注	271
附表 G-4 减速器主要零件的配合	263	附录 I 减速器附件	272
附录 G.2 几何公差	264	附表 I-1 检查孔与检查孔盖	272
附表 G-5 几何公差符号	264	附表 I-2 外六角螺塞、封油垫	272
附表 G-6 圆度和圆柱度公差	264	附表 I-3 通气器	273
附表 G-7 平行度、垂直度和倾斜度 公差	264	附表 I-4 嵌入式轴承盖	273
附表 G-8 直线度和平面度公差	265	附表 I-5 凸缘式轴承盖	274
附表 G-9 同轴度、对称度、圆跳动 和全跳动公差	265	附表 I-6 油标	274
附录 G.3 表面粗糙度	266	附表 I-7 吊耳和吊钩结构尺寸	275
附表 G-10 加工方法和表面粗糙度 关系	266	附表 I-8 挡油环	275
附表 G-11 齿轮加工表面粗糙		参考文献	276

第1篇 机械综合课程设计指导

第1章 绪 论

1.1 综合课程设计的目的、任务和过程

1.1.1 综合课程设计的目的

机械原理与机械设计是高等工科院校机械类和机电类专业学生的主干课程。与其配套的课程设计是对学生首次进行的较为全面的综合性实践教学环节,对培养学生进行机械传动系统运动学、动力学分析和机械结构设计有着十分重要的意义。

目前,大多数高校是开设一周时间的机械原理课程设计和两周时间的机械设计课程设计。教学组织时两门课程设计的选题与内容及时间安排不相衔接,各自单独进行,不利于学生体会完整的机械系统设计过程。本书编者通过教学实践与探索,基于产品实现过程,以机械设计的基本要求和一般过程为主线,把原“机械原理”和“机械设计”的课程设计整合为“机械综合课程设计”。其目的在于进一步加深学生的理论知识,并运用所学理论和方法进行一次综合设计训练,从而培养学生独立分析问题和解决问题的能力。通过综合课程设计,使学生初步具有设计机械运动方案以及设计机械传动装置结构与强度的能力,增强对机械设计中有关运动学、动力学和主要零部件工作能力的分析与完整设计的概念。本课程还旨在培养学生计算、图形实现和运用国家标准和规范的能力,并使其掌握现代设计方法在课程设计中的应用。

1.1.2 综合课程设计的任务

综合课程设计的任务是进行机械系统运动方案的设计和传动零部件工作能力的设计。这两部分内容是原来“机械原理课程设计”和“机械设计课程设计”分别完成的任务,对其进行有机融合,可使其更符合机械设计的基本内容和一般程序要求。其主要内容,就是根据给定机械的工作要求,确定机械的工作原理,拟订工艺动作和执行构件的运动形式,绘制工作循环图;选择原动机的类型和主要参数,并进行执行机构的选型与组合,设计该机械系统的几种运动方案,对各种运动方案进行分析、比较和选择;对选定运动方案中的各执行机构进行运动分析与综合,确定其运动参数,并绘制机构运动简图;进行机械动力性能分析与综合,确定调速飞轮。在完成运动方案设计任务的基础上,针对已设计的运动方案和确定的原动机输出参数,选择机械传动装置的类型,分配传动装置中各级传动的传动比,并计算各级传动的运动和动力参数;进行主要传动零部件工作能力的设计计算,传动装置中各轴系零部件的结构设计及强度校核计算,箱体及附件等的设计与选用;绘制出主要零件工作图和部件装配图,进行虚拟样机设计,编制设计计算说明书,进行课程设计答辩。

1.1.3 综合课程设计的过程

综合课程设计的过程与机械产品设计的过程基本是一致的,其过程大致可分为以下八个阶段。

1. 了解设计任务

机械设计任务通常以设计任务书的形式提出来。学生应详细阅读设计任务书,对设计题目进行分析,了解设计任务 and 设计要求。

2. 运动方案设计

根据设计任务书的要求进行资料收集和调研,了解同类机械或相近机械的性能参数、使用中存在的问题等技术资料和数据,再进行机械运动方案的设计。完成同一生产任务的机器,可以有多种工作原理和运动方案,而同一种运动方案,又可以有不同的参数组合。设计时应有对成功经验的继承又要发挥自己的创造能力,设计出高效率、工作可靠、成本低的运动方案。

机械运动方案设计的主要内容包括:拟订机械的工作原理、确定执行构件的数目和运动形式、选择原动机类型、进行执行机构的选型与组合、绘制机构运动简图等。

3. 机械运动设计

机械运动设计就是根据设计任务书的要求,对拟订的运动方案进行尺寸综合设计,以满足根据该机械的用途、功能和工艺等要求而提出的执行构件的运动规律、运动位置或运动轨迹等要求。机械运动设计的内容包括确定机构的主要特性尺寸、绘制机构运动简图、分析机构的运动、绘制机构运动循环图等。

4. 机械动力设计

机械动力设计就是在机械运动设计的基础上,确定作用在机械系统各构件上的载荷并进行机械的功率计算和能量计算。机械动力设计的内容包括动态静力分析、功能关系、真实运动规律求解、速度波动调节和机械的平衡计算等。

进行机械动力设计时,根据机械各执行构件上承受的载荷性质和大小,考虑机械系统的效率,分别算出机械各执行构件的输出功率,然后确定原动机应具有功率、转速,从而选择适宜的原动机型号。当执行构件上承受的载荷不太明确时,常根据实践经验或类比方法选定原动机的功率和转速。

5. 机械传动系统设计

机械传动系统的功能是将原动机的转速和转矩进行传递和变化,以满足各执行构件对速度的合理要求,通常由带传动、链传动以及各式齿轮传动等组成。其具体内容就是依据执行构件对输入运动和动力的要求,以及机械的用途、工作环境、成本、效率等条件,选择合适的传动类型及组合顺序,对总传动比进行分配,并依据原动机的额定功率和转速,计算出机械各传动轴的转矩和转速。

6. 主要零部件工作能力设计

对于传动系统中的各种传动零部件,尽量选用标准产品。对于非标准零部件或选购不到合适型号的标准零部件,则需要对其进行工作能力和结构的设计。设计时应根据机械中主要传动零件的工况条件和失效形式,选定零件的材料和热处理方式;依据设计准则,确定合理的几何尺寸和结构尺寸,绘制机械装配图和零件图。必要时还需对零部件的工作能力和结构

设计进行强度计算、刚度计算、稳定性计算和热平衡计算等。

7. 虚拟样机设计

随着科技的发展,计算机辅助设计技术越来越广泛地应用于各个设计领域。目前,计算机辅助设计技术已经突破了二维图样电子化的框架,转向以三维实体建模、动力学模拟仿真和有限元分析为主线的虚拟样机制作技术。使用虚拟样机技术可以在设计阶段预测产品的性能,优化产品的设计,缩短产品的研制周期,节约开发费用等。

8. 编写设计计算说明书,进行课程设计答辩

编写设计计算说明书是整个设计工作的整理和总结,是课程设计的最终成果之一,是教师了解设计、审查设计是否合理的重要技术文件,也是评定课程设计成绩的重要依据。答辩是课程设计的最后一个环节,是教师了解学生对问题理解的深度、对知识掌握的程度以及独立解决问题的能力等的重要手段。只有在设计过程中详细记录每一个设计环节,在最后总结阶段才能拿出好的设计说明书。

1.2 综合课程设计常用方法

机械产品设计的常用方法可划分为传统设计方法、现代设计方法和创新设计方法三大类。这三类方法的特点如下。

1. 传统设计方法

传统设计方法是依据力学和数学建立的理论公式和经验公式,运用图表和手册等技术资料,以实践经验为基础,进行设计计算、绘图和编写设计计算说明书。一个完整的常规机械设计主要包括以下几个阶段:市场需求分析,明确机械产品的功能目标,方案设计,技术设计和生产。

2. 现代设计方法

现代设计方法主要是以计算机为工具、以工程软件为基础、运用现代设计理念进行机械产品设计,如广泛使用的 Pro/E、UG、ADAMS、MATLAB、SolidWorks、ANSYS 等都是工程中的常用软件。现代设计方法内容广泛、学科繁多,主要有计算机辅助设计、优化设计、可靠性设计、反求设计、创新设计、并行设计、虚拟设计等方法。大量的工程软件可使复杂的设计过程变得既容易又简便,所以鼓励学生多应用工程软件。将现代设计方法与传统设计方法有机结合,更能发挥自己的设计才能,设计出理想的产品。

3. 创新设计方法

创新设计是指设计人员在设计中采用新的技术手段和技术原理,发挥创造性,提出新方案,探索新的设计思路,提供具有社会价值、新颖而且成果独特的设计。其特点是运用创造性思维,强调产品的创新性和新颖性。它包含两个部分:从无到有和从有到新的设计。相对传统设计而言,它特别强调人在设计过程中,特别是在总体方案、结构设计中的主导性及创造性作用。

第2章 机械系统方案设计

机械系统主要由原动机、传动系统、执行系统和控制系统所组成。机械系统方案设计的主要内容：根据要求的机械功能，确定机械的工作原理，拟订工艺动作和执行机构的运动形式，绘制工作循环图；选择原动机的类型及其他主要参数，进行执行机构的选型与组合，随之形成机械系统的几种方案，对已有的各个方案进行分析、比较、评价和选择；对于确定的系统方案，将其中各个执行机构的运动进行综合，确定其主要运动参数，并绘制机构运动简图，从而可以对机械系统的运动性能和动力性能进行更加深入的分析，以便对机械系统方案进行优化和创新。

2.1 机械系统方案设计的步骤

机械系统方案设计一般经过如下几个步骤。

(1) 拟订机械工作原理 根据机器所要完成的生产任务，确定机械的总功能，拟订实现总功能的工作原理和技术手段，确定出机械所要实现的工艺动作。对于复杂的工艺动作可以分解为几种简单运动的合成。

(2) 执行构件类型的选择 根据执行机构的运动形式和运动参数，选定实现对应动作的执行机构，并将各执行机构有机地组合在一起，以实现机械的整体工艺动作。选择执行机构类型的首要条件是满足执行机构的运动形式。

(3) 绘制机构运动循环图 为了实现机械功能，各执行构件的工艺动作之间往往有一定的协调要求。为了清晰表述各执行构件间的运动协调关系，需要绘制出机构运动循环图。

(4) 机构的选型、变异和组合 根据要实现的功能选择机构的类型，必要时可对机构进行综合、变异、组合及其调整等，以满足执行机构的运动特性和参数。能够满足执行动作的构件一般不止一种，故需要进行综合评价，择优选用。

(5) 原动机的选择 根据各执行构件的运动参数（行程、速度、加速度）和负载情况，选择原动机，确定其类型、运动参数和功率等。原动机的类型有电动机（交流异步、直流、交流变频、伺服、步进、直线等）、液压马达、气动马达、液压缸等。

(6) 执行机构的尺寸综合 根据各个执行机构和主动件的运动参数，以及各执行构件运动间的协调配合要求，同时考虑各执行机构的动力性能要求，确定各构件的运动尺寸和几何形状等。

(7) 绘制机构运动简图 针对各机构尺寸综合所得的结果，结合机构的运动分析和动态静力分析，绘制传动系统的机构运动简图。所求得运动参数、动力参数，可以作为机械零部件结构设计的依据。

2.2 机械工作原理与工艺动作的拟订

2.2.1 确定机械的工作原理

根据机械预期实现的功能要求,构思出多种可能的工作原理,加以分析比较并根据使用要求或者工艺要求,从中选择出既能很好地满足功能要求,工艺动作又简单的工作原理。机械工作原理设计是机械执行系统方案设计的第一步。实现同一功能要求可以选择许多不同的工作原理,相应的执行系统的方案就必然不同。以自动送料板装置的工作原理构思为例,实现其自动送料的原理可以有摩擦传动原理、机械推拉原理、气吸原理、磁吸原理等多种原理。因此,在进行机械的工作原理设计时,一定要根据具体的使用要求,对各种可能的工作原理进行分析比较,确定既能很好地满足机械预期的功能要求,工艺动作又可简便实现的最佳工作原理。

2.2.2 确定工艺动作

根据机械预期实现的功能要求确定了工作原理后,接下来进行工艺动作设计,即根据工作原理提出的工艺动作进行运动分解,构思出恰当的运动规律。运动规律设计的根本目的,就是根据工作原理所提出的工艺要求,构思出能够实现该工艺要求的各种运动规律,然后从中选择最为简单适用的运动规律作为机械的运动方案。

实现一个复杂的工艺过程往往需要多种动作,而任何复杂工艺动作都是由一些最基本的运动合成的。所谓运动规律设计就是对工艺方法和工艺动作进行分析,将其分解成若干个基本动作。

以图 2-1 所示问题为例:设计一台加工内孔的机床。首先对加工内孔的运动进行分解,依据刀具和工件相对运动的原理,至少有图 2-1 所示的四种分解方法。

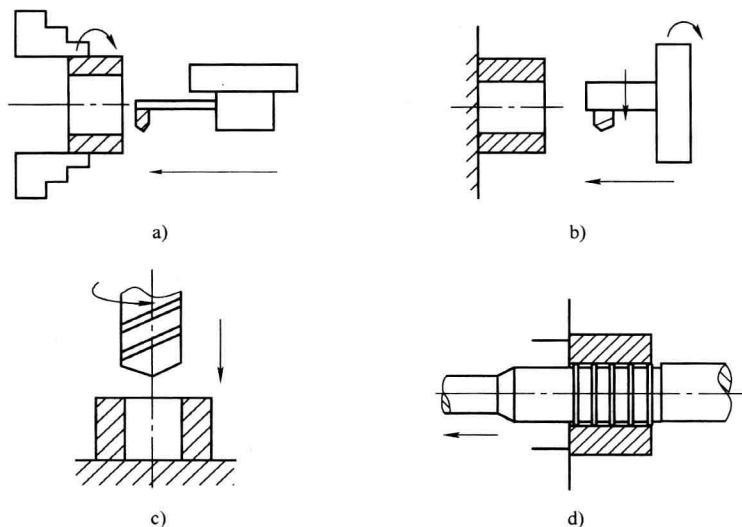


图 2-1 实现加工内孔的四种方法

- a) 车床: 工件作等速转动, 刀具作纵向等速运动, 进给运动是刀具的径向进给
- b) 镗床: 工件固定不动, 刀具绕孔的轴线转动, 进给运动是刀具的径向、纵向运动
- c) 钻床: 工件固定, 不同尺寸的专用刀具(如钻头)作等速转动和纵向进给运动
- d) 拉床: 工件和刀具均不转动, 只让刀具作直线运动

从上面的例子可以看出：同一个工艺动作可以分解成各种简单运动。工艺动作分解的方法不同，所得到的运动规律和运动方案也大不相同。它们很大程度上决定了机械的特点、性能和复杂程度。此外，在运动规律的设计中，还要注意其变化规律的特点，即运动过程中速度和加速度变化的要求。总之，在进行运动规律设计和运动方案选择时，应综合考虑各方面的因素，根据实际情况对各种运动规律和运动方案加以认真分析和比较，从中选出最佳方案。

综上所述，工作原理与工艺动作之间的关系如下

1) 实现同一使用要求或工艺要求，可能采用不同的工作原理。

2) 采用不同的工作原理，必然导致采用不同的工艺动作。

3) 采用相同的工作原理，也可能采用不同的工艺动作。

4) 对于比较复杂的使用要求和工艺要求，往往需要将多个工作原理组合成一个总的工作原理来满足。

2.2.3 绘制机构运动循环图

用来描述各执行构件间相互协调配合的图称为机构运动循环图。按工艺动作的类型，机构运动循环可分为两种：可变运动循环和固定运动循环。其中，可变运动循环是指各执行构件的运动是彼此独立的，或其运动规律是非周期性的，如车床主轴转动与刀架的进给运动。因此设计可变运动循环时，不必考虑动作协调配合问题。固定运动循环是指各执行构件的运动都是周期性的，各动作之间应该满足确定的协调配合关系。保证相互间的协调配合关系，可以使各机构间不至于发生动作干涉，使机器无法工作。

机构运动循环图是将各执行构件的运动循环按同一时间（或转角）比例尺在同一幅图上绘出的，并以某一个主要执行机构的工作起始点为基准来表示各执行机构相对于此主要执行机构动作的先后顺序。机构运动循环图通常有三种表示形式，即直线式、圆周式和直角坐标式，见表 2-1。

表 2-1 三种机构运动循环图绘制方法比较

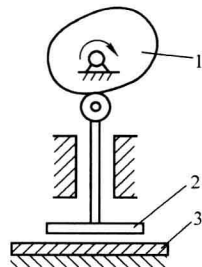
形式	绘制方法	特点
直线式	将机械在一个运动循环中各执行构件的各行程区段的起止时间和先后顺序按比例绘制在直线坐标轴上	绘制方法简单，能清楚表示一个运动循环中各执行构件运动的顺序和时间关系；直观性差，不能显示各执行构件的运动规律
圆周式	以极坐标系原点为圆心作若干同心圆，每个圆环代表一个执行构件，由各相应圆环引径向直线表示各执行构件不同运动状态的起始和终止位置	能比较直观地看出各执行机构主动件在主轴或分配轴上的相位；当执行机构较多时，同心圆环太多而不能一目了然，无法显示各构件的运动规律
直角坐标式	横坐标轴表示机械主轴或分配轴的转角，纵坐标轴表示各执行构件的角位移或线位移，各区段之间用直线相连	不仅能清楚地表示各执行构件动作的先后顺序，而且能表示各执行构件在各区段的运动规律

为了提高机械的工作效率，在保证各执行构件运动不干涉的前提下，可将各执行构件的运动时间进行重叠。

下面以图 2-2 所示的自动压痕机执行机构为例。其通过凸轮 1 来驱动压痕冲头 2，冲压置于下压模上的压印件 3 实现自动压痕。压痕冲头 2 的运动循环由三部分组成：冲压行程所需时间 t_K 、压痕冲头保压停留时间 t_0 以及回程所需时间 t_D 。因此，压痕冲头一个工作循环所需时间 T_P 可表示为

$$T_P = t_K + t_0 + t_D$$

为准确描述该机器中各执行构件间有序、相互制约及相互协调配合的运动关系，绘制出该机器的机构运动循环图，图 2-2 自动压痕机执行机构简图如图 2-3 所示。



1—凸轮 2—压痕冲头 3—压印件

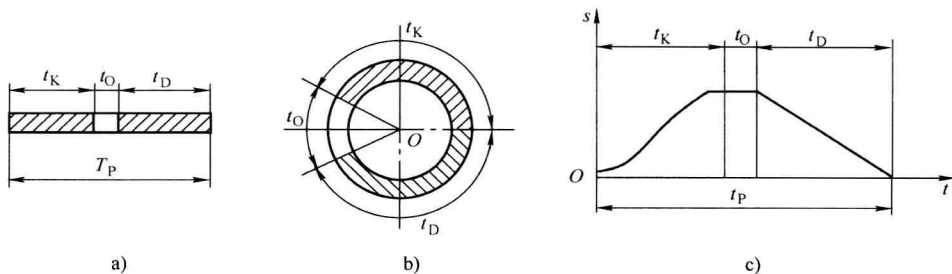


图 2-3 自动压痕机执行机构运动循环图

a) 直线式 b) 圆周式 c) 直角坐标式

2.3 执行机构的选型、组合与变异

2.3.1 机构选型

在初步拟订机械传动系统方案后，为了使传动系统方案逐步具体化，必然要涉及机构类型的选择问题。为了选择合理的机构类型，设计者需要具有一定的生产实践经验，并在熟悉各种不同类型常用机构特性的基础上，根据已知的设计要求，先在基本机构中进行类比选择。当基本机构不能满足运动或者动力要求的时候，就得考虑对基本机构进行组合、变异等形成新的机构，或者选用组合机构。

执行机构有三种基本运动形式：转动、移动和摆动。常用的运动都可以用基本机构来实现（表 2-2）。

1. 机构选型原则

在进行机构选型时应该注意以下原则。

- 1) 满足执行机构的工艺动作和运动要求（最重要）。
- 2) 尽量减小机构的尺寸。
- 3) 使机械具有调节某些运动参数的能力。
- 4) 尽量简化和缩短运动链。
- 5) 考虑动力源的形式。
- 6) 选择合适的运动副形式。
- 7) 使执行系统具有良好的传力条件和动力特性。
- 8) 保证机械的安全运转。

表 2-2 各动作实现可选择的基本执行机构

连续转动	定传动比匀速	平行四杆机构、双万向联轴器机构、齿轮机构、轮系、谐波传动机构、摆线针轮机构、摩擦轮传动机构、挠性传动机构等
	变传动比匀速	轴向滑移圆柱齿轮机构、混合轮系变速机构、摩擦传动机构、行星无级变速机构、挠性无级变速机构等
	非匀速	双曲柄机构、转动导杆机构、单万向联轴器机构、非圆齿轮机构、某些组合机构等
往复运动	往复移动	曲柄滑块机构、移动导杆机构、正弦机构、移动从动件凸轮机构、齿轮齿条机构、楔块机构、螺旋机构、气动机构、液压机构等
	往复摆动	曲柄摇杆机构、双摇杆机构、摆动导杆机构、曲柄摇块机构、空间连杆机构、摆动从动件凸轮机构、某些组合机构等
间歇运动	间歇转动	棘轮机构、槽轮机构、不完全齿轮机构、凸轮式间歇运动机构、某些组合机构等
	间歇摆动	特殊形式的连杆机构、摆动从动件凸轮机构、齿轮-连杆组合机构、利用连杆曲线圆弧段或直线段组成的多杆机构等
	间歇移动	棘齿条机构、摩擦传动机构、从动件作间歇往复运动的凸轮机构、反凸轮机构、气动机构、液压机构、移动杆有停歇的斜面机构等
预定轨迹	直线轨迹	连杆近似直线机构、八杆精确直线机构、某些组合机构等
	曲线轨迹	利用连杆曲线实现预定轨迹的多杆机构、凸轮-连杆组合机构、行星轮系与连杆组合机构等
特殊运动要求	换向	双向式棘轮机构、定轴轮系（三星轮换向机构）等
	超越	齿式棘轮机构、摩擦式棘轮机构等
	过载保护	带传动机构、摩擦传动机构等

2. 执行机构运动协调设计要求

一个复杂的动作需要两个甚至两个以上的基本机构来实现，这就需要考虑各机构之间动作与运动之间的协调配合。执行机构运动协调设计应满足如下要求。

- 1) 保证各执行机构动作的顺序性。
- 2) 各执行构件的动作在时间上同步。
- 3) 保证空间的同步性。
- 4) 保证系统各执行构件对操作对象的操作具有单一性或协同性。
- 5) 两执行构件的动作之间应保持时间上的间隔，以避免动作衔接处发生干涉。

2.3.2 机构组合

机构的组合方式有多种。在机构组合系统中，单个的基本机构称为组合系统的子机构。常见的机构组合方式主要有以下几种。

(1) 串联式组合 在机构组合系统中，若前一级子机构的输出构件即为后一级子机构的输入构件，则这种组合方式称为串联式组合。图 2-4a 所示机构就是这种组合方式的一个例子，可用图 2-4b 所示的机构框图来表示。