



全国本科院校机械类**创新型**应用人才培养规划教材

机械系统设计

主 编 孙月华
主 审 刘春生

增加矿山机械内容
以共性内容为重点
附录机械典型案例



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材

机械系统设计

主 编 孙月华
副主编 姜 伟 徐 鹏
主 审 刘春生



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书从系统的观点出发,以机、电、液、气结合的机械系统为对象,阐述机械系统设计的一般规律和特点,介绍机械系统设计的设计原理、设计过程和设计方法,结构和零部件的造型,系统的设计计算以及大型复杂机械系统设计的一些最新研究成果。

本书可作为高等学校机械类、机电类相关专业的本、专科生教材,也可供相关专业师生和工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械系统设计/孙月华主编. —北京:北京大学出版社, 2012.7

(全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-20847-2

I. ①机… II. ①孙… III. ①机械系统—系统设计—高等学校—教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 132350 号

书 名: 机械系统设计

著作责任者: 孙月华 主编

策 划 编 辑: 童君鑫 宋亚玲

责 任 编 辑: 宋亚玲

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-20847-2/TH·0298

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.5 印张 354 千字

2012 年 7 月第 1 版 2012 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 32.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

本书是根据 21 世纪机械类专业人才培养方案, 参照高等学校机械类专业教学基本要求, 吸取兄弟院校专业教学改革成功经验而编写的一本与专业教学改革配套的教材。

机械系统设计是高等学校机械设计制造及自动化专业的一门专业必修课, 设置本课程的目的是使学生能从整机的角度和系统的观点了解机械产品设计的一般规律和特点, 拓展学生的知识面, 丰富机械结构设计知识, 增强机械设计能力, 掌握机械产品设计基本方法和技术, 并注重系统的综合和评价。结合课程设计和实验等实践性教学环节, 培养学生综合运用所学知识, 独立分析、解决工程实际问题的能力, 为今后从事设计工作打下良好的基础。

机械系统设计的内容很多, 但作为一门课程不可能包罗得那么完整、全面。本书以一般机械产品设计中的共性内容为重点, 并与本专业课程体系中的其他课程一起构筑专业教学框架。

为了说明一般机械产品设计的共性规律和设计方法, 本书尽量从各个不同行业及机械中选择有代表性的典型实例, 这也是拓宽学生知识面的需要。限于篇幅, 在书中不可能列入太多的典型实例, 本书与其他教材的不同之处是补充了有关矿山机械的典型实例。

本书的典型实例都列在了附录中, 各章也适当地列出了一些思考题。

本书由黑龙江科技学院孙月华担任主编, 黑龙江科技学院姜伟和徐鹏为副主编。具体分工为: 第 1、4、5 章由姜伟编写; 第 2 章由李洪涛编写; 第 3、6 章由徐鹏编写; 第 7~9 章及附录由孙月华编写。全书由孙月华统稿, 由刘春生主审。

本书在编写过程中得到了有关单位和同仁的指导、支持和帮助, 在此谨致谢意。

限于编者的水平和经验, 本书难免有不足之处, 恳请读者批评指正。

编 者

2012 年 3 月

北京大学出版社教材书目

◇ 欢迎访问教学服务网站 www.pup6.cn, 免费查阅下载已出版教材的电子书(PDF 版)、电子课件和相关教学资源。

◇ 欢迎征订投稿。联系方式: 010-62750667, 童编辑, 13426433315@163.com, pup_6@163.com, 欢迎联系。

序号	书 名	标准书号	主 编	定价	出版日期
1	机械设计	978-7-5038-4448-5	郑 江, 许 瑛	33	2007.8
2	机械设计	978-7-301-15699-5	吕 宏	32	2009.9
3	机械设计	978-7-301-17599-6	门艳忠	40	2010.8
4	机械原理	978-7-301-11488-9	常治斌, 张京辉	29	2008.6
5	机械原理	978-7-301-15425-0	王跃进	26	2010.7
6	机械原理	978-7-301-19088-3	郭宏亮, 孙志宏	36	2011.6
7	机械原理	978-7-301-19429-4	杨松华	34	2011.8
8	机械设计基础	978-7-5038-4444-2	曲玉峰, 关晓平	27	2008.1
9	机械设计课程设计	978-7-301-12357-7	许 瑛	35	2009.5
10	机械设计课程设计	978-7-301-18894-1	王 慧, 吕 宏	30	2011.5
11	机电一体化课程设计指导书	978-7-301-19736-3	王金娥 罗生梅	35	2012.1
12	机械工程专业毕业设计指导书	978-7-301-18805-7	张黎骅, 吕小荣	22	2012.5
13	机械创新设计	978-7-301-12403-1	丛晓霞	32	2010.7
14	机械系统设计	978-7-301-20847-2	孙月华	32	2012.7
15	机械设计基础实验及机构创新设计	978-7-301-20653-9	邹旻	28	2012.6
16	TRIZ 理论机械创新设计工程训练教程	978-7-301-18945-0	蒯苏苏, 马履中	45	2011.6
17	TRIZ 理论及应用	978-7-301-19390-7	刘训涛, 曹 贺 陈国晶	35	2011.8
18	创新的方法——TRIZ 理论概述	978-7-301-19453-9	沈萌红	28	2011.9
19	机械 CAD 基础	978-7-301-20023-0	徐云杰	34	2012.2
20	AutoCAD 工程制图	978-7-5038-4446-9	杨巧绒, 张克义	20	2011.4
21	工程制图	978-7-5038-4442-6	戴立玲, 杨世平	27	2012.2
22	工程制图	978-7-301-19428-7	孙晓娟, 徐丽娟	30	2012.5
23	工程制图习题集	978-7-5038-4443-4	杨世平, 戴立玲	20	2008.1
24	机械制图(机类)	978-7-301-12171-9	张绍群, 孙晓娟	32	2009.1
25	机械制图习题集(机类)	978-7-301-12172-6	张绍群, 王慧敏	29	2007.8
26	机械制图(第2版)	978-7-301-19332-7	孙晓娟, 王慧敏	38	2011.8
27	机械制图习题集(第2版)	978-7-301-19370-7	孙晓娟, 王慧敏	22	2011.8
28	机械制图与 AutoCAD 基础教程	978-7-301-13122-0	张爱梅	35	2011.7
29	机械制图与 AutoCAD 基础教程习题集	978-7-301-13120-6	鲁 杰, 张爱梅	22	2010.9
30	AutoCAD 2008 工程绘图	978-7-301-14478-7	赵润平, 宗荣珍	35	2009.1
31	AutoCAD 实例绘图教程	978-7-301-20764-2	李庆华, 刘晓杰	32	2012.6
32	工程制图案例教程	978-7-301-15369-7	宗荣珍	28	2009.6
33	工程制图案例教程习题集	978-7-301-15285-0	宗荣珍	24	2009.6
34	理论力学	978-7-301-12170-2	盛冬发, 闫小青	29	2012.5
35	材料力学	978-7-301-14462-6	陈忠安, 王 静	30	2011.1
36	工程力学(上册)	978-7-301-11487-2	毕勤胜, 李纪刚	29	2008.6
37	工程力学(下册)	978-7-301-11565-7	毕勤胜, 李纪刚	28	2008.6

38	液压传动	978-7-5038-4441-8	王守城, 容一鸣	27	2009.4
39	液压与气压传动	978-7-301-13129-4	王守城, 容一鸣	32	2012.1
40	液压与液力传动	978-7-301-17579-8	周长城等	34	2010.8
41	液压传动与控制实用技术	978-7-301-15647-6	刘 忠	36	2009.8
42	金工实习(第2版)	978-7-301-16558-4	郭永环, 姜银方	30	2012.5
43	机械制造基础实习教程	978-7-301-15848-7	邱 兵, 杨明金	34	2010.2
44	公差与测量技术	978-7-301-15455-7	孔晓玲	25	2011.8
45	互换性与测量技术基础(第2版)	978-7-301-17567-5	王长春	28	2010.8
46	互换性与技术测量	978-7-301-20848-9	周哲波	35	2012.6
47	机械制造技术基础	978-7-301-14474-9	张 鹏, 孙有亮	28	2011.6
48	先进制造技术基础	978-7-301-15499-1	冯宪章	30	2011.11
49	机械精度设计与测量技术	978-7-301-13580-8	于 峰	25	2008.8
50	机械制造工艺学	978-7-301-13758-1	郭艳玲, 李彦蓉	30	2008.8
51	机械制造工艺学	978-7-301-17403-6	陈红霞	38	2010.7
52	机械制造工艺学	978-7-301-19903-9	周哲波, 姜志明	49	2012.1
53	机械制造基础(上)——工程材料及热加工工艺基础(第2版)	978-7-301-18474-5	侯书林, 朱 海	40	2011.1
54	机械制造基础(下)——机械加工工艺基础(第2版)	978-7-301-18638-1	侯书林, 朱 海	32	2012.5
55	金属材料及工艺	978-7-301-19522-2	于文强	44	2011.9
56	工程材料及其成形技术基础	978-7-301-13916-5	申荣华, 丁 旭	45	2010.7
57	工程材料及其成形技术基础学习指导与习题详解	978-7-301-14972-0	申荣华	20	2009.3
58	机械工程材料及成形基础	978-7-301-15433-5	侯俊英, 王兴源	30	2012.5
59	机械工程材料	978-7-5038-4452-3	戈晓岚, 洪 琢	29	2011.6
60	机械工程材料	978-7-301-18522-3	张铁军	36	2012.5
61	工程材料与机械制造基础	978-7-301-15899-9	苏子林	32	2009.9
62	控制工程基础	978-7-301-12169-6	杨振中, 韩致信	29	2007.8
63	机械工程控制基础	978-7-301-12354-6	韩致信	25	2008.1
64	机电工程专业英语(第2版)	978-7-301-16518-8	朱 林	24	2012.5
65	机床电气控制技术	978-7-5038-4433-7	张万奎	26	2007.9
66	机床数控技术(第2版)	978-7-301-16519-5	杜国臣, 王士军	35	2011.6
67	数控机床与编程	978-7-301-15900-2	张洪江, 侯书林	25	2011.8
68	数控加工技术	978-7-5038-4450-7	王 彪, 张 兰	29	2011.7
69	数控加工与编程技术	978-7-301-18475-2	李体仁	34	2012.5
70	数控编程与加工实习教程	978-7-301-17387-9	张春雨, 于 雷	37	2011.9
71	数控加工技术及实训	978-7-301-19508-6	姜永成, 夏广岚	33	2011.9
72	现代数控机床调试及维护	978-7-301-18033-4	邓三鹏等	32	2010.11
73	金属切削原理与刀具	978-7-5038-4447-7	陈锡渠, 彭晓南	29	2012.5
74	金属切削机床	978-7-301-13180-0	夏广岚, 冯 凭	32	2008.5
75	精密与特种加工技术	978-7-301-12167-2	袁根福, 祝锡晶	29	2011.12
76	逆向建模技术与产品创新设计	978-7-301-15670-4	张学昌	28	2009.9
77	CAD/CAM 技术基础	978-7-301-17742-6	刘 军	28	2012.5
78	CAD/CAM 技术案例教程	978-7-301-17732-7	汤修映	42	2010.9
79	Pro/ENGINEER Wildfire 2.0 实用教程	978-7-5038-4437-X	黄卫东, 任国栋	32	2007.7
80	Pro/ENGINEER Wildfire 3.0 实例教程	978-7-301-12359-1	张选民	45	2008.2
81	Pro/ENGINEER Wildfire 3.0 曲面设计实例教程	978-7-301-13182-4	张选民	45	2008.2
82	Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 实用教程	978-7-301-16841-7	黄卫东, 郝用兴	43	2011.10
83	Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 实例教程	978-7-301-20133-6	张选民, 徐超辉	52	2012.2
84	SolidWorks 三维建模及实例教程	978-7-301-15149-5	上官林建	30	2009.5

85	UG NX6.0 计算机辅助设计与制造实用教程	978-7-301-14449-7	张黎骅, 吕小荣	26	2011.11
86	Cimatron E9.0 产品设计与数控自动编程技术	978-7-301-17802-7	孙树峰	36	2010.9
87	Mastercam 数控加工案例教程	978-7-301-19315-0	刘 文, 姜永梅	45	2011.8
88	应用创造学	978-7-301-17533-0	王成军, 沈豫浙	26	2012.5
89	机电产品学	978-7-301-15579-0	张亮峰等	24	2009.8
90	品质工程学基础	978-7-301-16745-8	丁 燕	30	2011.5
91	设计心理学	978-7-301-11567-1	张成忠	48	2011.6
92	计算机辅助设计与制造	978-7-5038-4439-6	仲梁维, 张国全	29	2007.9
93	产品造型计算机辅助设计	978-7-5038-4474-4	张慧姝, 刘永翔	27	2006.8
94	产品设计原理	978-7-301-12355-3	刘美华	30	2008.2
95	产品设计表现技法	978-7-301-15434-2	张慧姝	42	2012.5
96	产品创意设计	978-7-301-17977-2	虞世鸣	38	2012.5
97	工业产品造型设计	978-7-301-18313-7	袁涛	39	2011.1
98	化工工艺学	978-7-301-15283-6	邓建强	42	2009.6
99	过程装备机械基础	978-7-301-15651-3	于新奇	38	2009.8
100	过程装备测试技术	978-7-301-17290-2	王毅	45	2010.6
101	过程控制装置及系统设计	978-7-301-17635-1	张早校	30	2010.8
102	质量管理与工程	978-7-301-15643-8	陈宝江	34	2009.8
103	质量管理统计技术	978-7-301-16465-5	周友苏, 杨 飒	30	2010.1
104	人因工程	978-7-301-19291-7	马如宏	39	2011.8
105	工程系统概论——系统论在工程技术中的应用	978-7-301-17142-4	黄志坚	32	2010.6
106	测试技术基础(第2版)	978-7-301-16530-0	江征风	30	2010.1
107	测试技术实验教程	978-7-301-13489-4	封士彩	22	2008.8
108	测试技术学习指导与习题详解	978-7-301-14457-2	封士彩	34	2009.3
109	可编程控制器原理与应用(第2版)	978-7-301-16922-3	赵 燕, 周新建	33	2010.3
110	工程光学	978-7-301-15629-2	王红敏	28	2012.5
111	精密机械设计	978-7-301-16947-6	田 明, 冯进良等	38	2011.9
112	传感器原理及应用	978-7-301-16503-4	赵 燕	35	2010.2
113	测控技术与仪器专业导论	978-7-301-17200-1	陈毅静	29	2012.5
114	现代测试技术	978-7-301-19316-7	陈科山, 王燕	43	2011.8
115	风力发电原理	978-7-301-19631-1	吴双群, 赵丹平	33	2011.10
116	风力机空气动力学	978-7-301-19555-0	吴双群	32	2011.10
117	风力机设计理论及方法	978-7-301-20006-3	赵丹平	32	2012.1

目 录

第 1 章 绪论	1	3.1.1 载荷类型	43
1.1 机械与机械系统	2	3.1.2 载荷的确定方法	46
1.1.1 机械系统的概念	2	3.1.3 工作机械的工作制	48
1.1.2 机械系统的特性	3	3.2 动力机的种类、特性及其选择 ...	49
1.1.3 机械系统的组成	4	3.2.1 电动机	49
1.1.4 机械系统的功能要求	5	3.2.2 内燃机	61
1.2 机械系统设计的任务和原则	6	3.2.3 液压马达的种类、机械 特性及其选择	69
1.2.1 机械系统设计的特点	6	3.2.4 气动马达的种类、机械 特性及其选择	70
1.2.2 机械系统设计任务	7	思考题	72
1.2.3 机械系统设计的原则	7	第 4 章 执行系统	73
1.3 机械系统设计的一般过程	12	4.1 执行系统的组成、功能及 分类	74
思考题	15	4.2 执行系统设计	85
第 2 章 机械系统的总体设计	16	思考题	90
2.1 设计任务的形成与确定	17	第 5 章 传动系统	91
2.1.1 设计任务的类型	17	5.1 传动系统的作用和类型	92
2.1.2 设计任务的来源	18	5.2 传动系统的组成	99
2.1.3 设计任务书的拟订	18	5.2.1 变速装置	99
2.2 机械系统的功能分析	20	5.2.2 起停和换向装置	112
2.2.1 功能描述	20	5.2.3 制动装置	115
2.2.2 功能分解	21	5.2.4 安全保护装置	120
2.2.3 功能求解	23	5.3 有级变速传动系统的运动设计 ...	122
2.3 机械系统的方案设计	24	思考题	126
2.3.1 形态学矩阵	24	第 6 章 操纵系统	128
2.3.2 方案评价	26	6.1 操纵系统的组成和分类	129
2.4 机械系统的总体设计	30	6.1.1 操纵系统的组成	129
2.4.1 总体布局设计	31	6.1.2 操纵系统的分类	130
2.4.2 总体主要参数确定	38	6.2 操纵系统的要求	132
2.4.3 绘制总体设计图及 编写设计文件	41	6.3 操纵系统的设计内容	133
思考题	41	6.4 操纵系统与人机工程学	136
第 3 章 机械系统的载荷特性和 动力机选择	42		
3.1 工作机械的载荷分析	43		

6.4.1 显示件设计	137	7.4.3 伺服系统	170
6.4.2 操纵件设计	142	7.4.4 数字控制系统	176
思考题	150	思考题	178
第7章 控制系统	151	第8章 支承系统	179
7.1 控制系统的作用、分类和组成 ...	152	8.1 支承系统的功能及分类	180
7.1.1 控制系统的作用	152	8.2 支承件设计	181
7.1.2 控制系统的分类	153	8.3 支承导轨设计	188
7.1.3 控制系统的组成	154	思考题	193
7.1.4 控制系统的要求	155	第9章 机械基础设计	194
7.2 控制系统基本理论	157	9.1 机械基础的基本内容	195
7.2.1 经典控制理论	157	9.2 机械基础的静力学计算	197
7.2.2 现代控制理论	159	9.3 机械基础的动力学计算	201
7.2.3 常用控制方式的原理及 特性	160	9.4 机械基础的构造与材料	210
7.3 控制系统设计	164	9.5 机械基础的隔振简介	212
7.3.1 设计步骤	164	思考题	215
7.3.2 方案设计	166	附录	216
7.3.3 主要元件的选择	167	参考文献	235
7.4 几种典型的自动控制系统	168		
7.4.1 凸轮控制系统	168		
7.4.2 模拟控制系统	169		

第 1 章

绪 论



本章知识要点

知识要点	掌握程度	相关知识
机械系统	掌握机械系统的概念、基本特性、组成以及功能要求	机械与机械系统的概念； 机械系统各部分之间的关系
机械系统设计	掌握机械系统设计的思想、特性、任务及一般程序	机械系统设计原则的影响因素； 传统设计与现代设计比较

导入案例

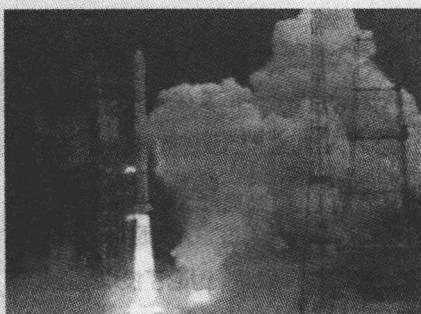


图 1.0 “嫦娥 1 号”卫星发射升空

中国的探月工程全面深入地运用了系统思想。探月工程包括五大系统：卫星系统、运载火箭系统、测控系统、发射场系统和地面应用系统。探月工程的实施分为三个阶段。第一阶段发射“嫦娥 1 号”卫星。2007 年 10 月 24 日“嫦娥 1 号”卫星在西昌卫星发射中心发射升空（图 1.0）。第二阶段 2013 年左右发射月球车（月面巡视探测器），完成月面软着陆探测；第三阶段，在 2020 年前发射小型采样返回舱，采集月球样品返回地球，进行深入研究。

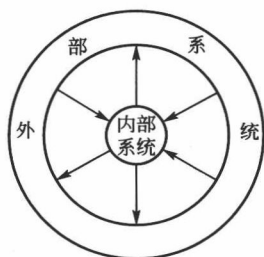
1.1 机械与机械系统

1.1.1 机械系统的概念

机械是机构和机器的统称。在现代社会中，机械已成为人类生产和生活中的主要工具，人们运用各种机械来改善劳动条件，提高劳动生产率和产品质量。同时，在人类生产和生活中使用机械的程度，是整个社会发展水平的重要标志之一。

所谓系统，是指具有特定功能的、相互间具有有机联系的若干个要素所组成的一个整体。这里讲的要素可以是子系统，也可以是元素即系统最小单元，一般认为，由两个或两个以上的要素组成的具有一定结构和特定功能的整体都可看作是一个系统。一个大的系统可由若干个小的系统组成，这些小的系统常称为子系统。子系统又可由更小的子系统组成，系统本身也可以是别的更大系统的组成部分。在人们周围属于系统的事例很多，如一个机组、一个工厂、一项计划等。

广义上讲，机械系统是人-机-环境这个更大系统的子系统。因此，常把机械构成的系统称为内部系统，而把人和环境构成的系统称为外部系统。内部系统和外部系统之间存在一定的联系，即相互间有作用 and 影响，如图 1.1 所示。



(a) 内部系统与外部系统的联系



(b) 内部系统与外部系统的输入和输出关系

图 1.1 内部系统和外部系统的输入和输出

1.1.2 机械系统的特性

1. 整体性

系统是由若干个子系统构成的统一体,虽然各子系统具有各自不同的性能,但它们在结合时必须服从整体功能的要求,相互间需协调和适应。一个系统整体功能的实现,并不是某个子系统单独作用的结果,一个系统的好坏,最终将体现在其整体功能上。因此,必须从全局出发,确定各子系统的性能和它们之间的联系,设计中并不要求所有子系统都具有完美的性能,即使某些子系统的性能并不完善,但如能与其他相关子系统得到很好的协调,往往也可使整个系统具有满意的功能。

系统是不能分割的,即不能把一个系统分割成相互独立的子系统,因为系统的整体性反映在子系统之间的有机联系上,正是这种联系,才使各子系统组成一个整体,若失去了这种联系也就不存在整个系统。由于实际系统往往很复杂,为了研究的方便,可以根据需要把一个系统分解成若干个子系统。分解系统与分割系统是完全不同的,因为在分解系统时始终没有忘记它们之间的联系,分解后的子系统都不是独立的,它们之间的联系分别用相应子系统的输入与输出表示。

2. 相关性

组成系统的要素是相互联系、相互作用的,这就是系统的相关性。相关性就是系统各要素之间的特定关系。其中包括系统的输入与输出的关系,各要素间的层次关系,各要素的性能与系统整体之间的特定关系等。系统的相关性还体现在某一要素的改变将影响其对相关要素的作用上,由此对整个系统产生影响。

系统的相关性是通过相互联系的方式来实现的,如有时间的联系和空间的联系。广义地讲,要素之间一切联系方式的总和,叫做系统的结构。不同的联系方式对系统的相关性有不同的影响和作用。没有按一定的结构框架组织起来的多要素集合是一种非系统。结构不能离开要素而单独存在,只有通过要素间相互作用才能体现其客观存在。要素和结构是构成系统的两个缺一不可的方面,系统是要素与结构的统一。给定要素和结构两方面,才算给定一个系统。

3. 目的性

系统的价值体现在其功能上,完成特定的功能是系统存在的目的。如飞机是用来运输的,机床是用来机械加工的。但不同类型飞机的应用场合及各类机床所能加工的对象又各不相同,也就是说不同种类的飞机或机床只能完成自身技术性能之内的工作,即系统的目的性必须明确。

4. 环境的适应性

任何一个系统都存在于一定的环境之中,当环境变化时,就会对系统产生影响,严重时会使系统的功能发生变化,甚至丧失功能。由于外部环境总是在不断地变化着,而系统本身大多数情况下也总是处于动态的工作过程之中,因此,为了使系统运行良好,并完成其特定功能,必须使系统对外部环境的各种变化和干扰有良好的适应性。

5. 优化原则

系统通过要素的重组、自调节活动,达到系统在一定环境下的最佳结构。

系统的优化离不开一定的现实环境,只是相对的优化,它是随人的认识的深化和环境条件的改变而逐步提高的。如任何产品的设计都不是一次完成的,总是在获得较满意的效果后就问世,然后再根据实践结果和新的研究加以改进。

1.1.3 机械系统的组成

机械系统的组成图如图 1.2 所示。

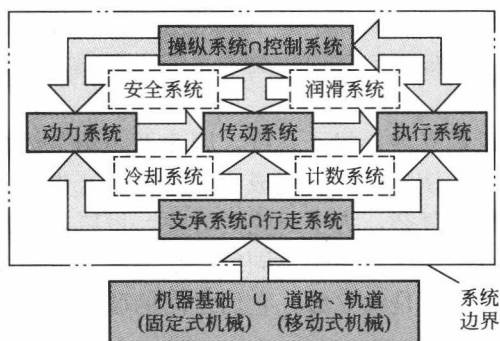


图 1.2 机械系统的组成

1. 动力系统

动力系统：包括动力机及其配套装置,是机械系统工作的动力源。

按能量转换性质的不同,动力机可分为两种。

一次动力机：把自然界的能源(一次能源)转变为机械能的机械,如内燃机、汽轮机、燃气轮机等。

二次动力机：把二次能源(如电能、液能、气能)转变成机械能的机械,如电动机、液压马达、气压马达等。

由于经济上的原因,动力机输出的运动通常为转动,而且转速较高。

2. 执行系统

执行系统：包括机械的执行机构和执行构件,是利用机械能改变作业对象的性质、状态、形状或位置,或对作业对象进行检测、度量等,以进行生产或达到其他预定要求的装置。

执行系统通常处在机械系统的末端,直接与作业对象接触,其输出是机械系统的主要输出,其功能是机械系统的主要功能。因此,执行系统也被称为机械系统的工作机。

3. 传动系统

传动系统：把动力机的动力和运动传递给执行系统的中间装置。

传动系统有下列主要功能。

- (1) 减速或增速。把动力机的速度降低或增高,适应执行系统工作的需要。
- (2) 变速。实现有级变速或无级变速,满足执行系统多种速度的要求。
- (3) 改变运动规律或形式。改变动力机的均匀连续转动,满足执行系统的运动要求。
- (4) 传递动力。供给执行系统完成预定任务所需的功率、转矩或力。

传动系统还应能适应动力机的机械特性,尽量简单。如果动力机的工作性能完全符合执行系统工作的要求,传动系统也可省略。

4. 操纵系统和控制系统

操纵系统和控制系统都是为了使动力系统、传动系统、执行系统彼此协调运行,并准确可靠地完成整机功能的装置,二者的主要区别如下。

操纵系统：通过人工操作以实现上述要求的装置,通常包括起动、离合、制动、变速、换向等装置。

控制系统：通过人工操作或测量元件获得的控制信号，经由控制器，使控制对象改变其工作参数或运行状态而实现上述要求的装置，如伺服机构、自动控制装置等。

5. 支承系统

它是用于安装和支承动力系统、传动系统、执行系统、操纵系统和控制系统等，是机械系统中必不可少的部分。它包括基础件(如床身、底座、立柱等)和支承件(如支架、箱体等)，又统称为机架。机械系统主要依靠支承系统来保证承载能力、各部件之间的相对位置精度、运动部件(如工作台、刀架等)的运动精度。不同的机械系统对支承系统的性能(如刚度、支承面之间的相对位置精度等)有不同的要求。

根据机械系统的功能要求，还可有润滑、冷却、计数、行走、转向、安全等系统。

图 1.3 是汽车组成示意图。这里发动机是动力系统；从发动机到 4 个车轮之间的各种齿轮、离合器、变速机构等是传动系统；4 个车轮则是执行系统(也是行走系统)；它们都固定在汽车的底盘上，同时汽车的壳体、座位也固定在底盘上，所以底盘是汽车的支承系统；而方向盘、操纵杆和加速、停车踏板则是操纵系统；另外，还有电路系统、供油系统、制动系统、冷却系统、润滑系统。现代汽车还装有防滑控制系统，由防抱死制动系统 ABS (Anti-Lock Brake System) 和驱动力控制系统 TCS (Traction Control System) 组成。ABS 的作用是在汽车制动时，防止车轮抱死及在路面上滑拖。TCS 在驱动过程中(特别是在起步、加速和转弯过程中)，防止车轮滑转。ABS/TCS 提高了汽车制动和驱动过程中的方向稳定性、转向控制能力、缩短制动距离和提高加速性能。

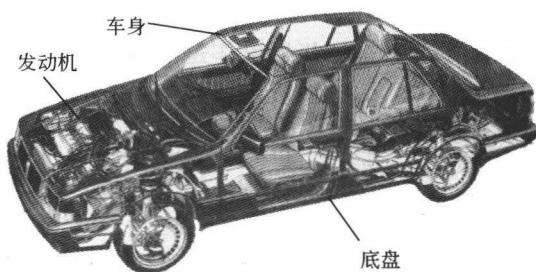


图 1.3 汽车的组成

1.1.4 机械系统的功能要求

现代机械产品的功能要求非常广泛，不同机械因其工作要求、追求目标和使用环境的不同，其具体功能的要求也有很大差异。例如，起重机械是一种有间歇运动的机械，主要用于物品的装卸。其主要作业过程一般是从取物地点由起升机构把物品提起，由运行机构、回转机构把物品移位，到指定地点后下降以卸下物品，然后反向运动回到原位或移动到一个新的作业地点，进行下一次作业。在两次作业之间，一般有短暂的停歇。所以，起重机械工作时，各机构和构件经常处于起动、制动及正向、反向等相互交替的有停歇的运动状态中。因此，起重机械的基本功能要求是起升重量、起升高度、起升速度、运行速度、生产率、作业范围及经济性，以及工作过程的安全性、可靠性、稳定性、操纵性、周围环境的适应性等。对于汽车起重机还要求有良好的机动性，对于大跨度龙门起重机则还要求大车运行时两侧门腿移动的同步性等。

各种机械的功能要求大体可归纳如下。

(1) 运动要求：如速度、加速度、转速、调速范围、行程、运动轨迹以及移动的精确性等。

(2) 动力要求：包括传递的功率、转矩、力等。

(3) 体积和重量要求：如尺寸、重量、功率、重量比等。

(4) 可靠性和寿命要求：包括机械和零部件执行功能的可靠性、零部件的耐磨性和使用寿命等。

(5) 安全性要求：包括强度、刚度、热力学性能、摩擦学特性、振动稳定性、系统工作的安全性及操作人员安全性等。

(6) 经济性要求：包括机械设计和制造的经济性、使用和维修的经济性等。

(7) 环境保护要求：如噪声、振动、防尘、防毒、“三废”的排放和治理、周围人员和设备的安全性等。

(8) 产品造型要求：如外观、色彩、与环境的协调性等。

(9) 其他要求：不同机械还可有一些特殊要求，如精密机械要求长期保持精度并有良好的防振性；经常搬动的机械要求安装、拆卸、运输方便；户外型机械要求良好的防护、防腐和密封；食品和药品机械要求不污染被加工产品等。

1.2 机械系统设计的任务和原则

机械系统设计把机器看作是由具有特定功能的、相互间具有有机联系的组成部分所构成的一个整体。机械系统设计是从系统的观点出发，考虑整个系统的运行，而不只是关心各组成部分的工作状态和性能。

1.2.1 机械系统设计的特点

从系统的观点出发：机械系统设计时，采用内部系统设计与外部系统设计相结合的方法，既要重视内部系统设计，也要重视内、外系统的联系。

(1) 机械系统设计特别强调系统的观点：必须考虑整个系统的运行，而不是只关心各组成部分的工作状态和性能。不应只考虑各零部件的工作状态和性能，不能追求局部的最好，而应该在满足系统整体工作状态和性能最好的前提下，确定各零部件的基本要求及它们之间的协调和统一。

(2) 采用内部设计与外部设计相结合的方法。

外部设计：从全系统的概念出发来决定内部系统的要求。

内部设计：进行内部系统的设计。

一般先进行外部设计，后进行内部设计，才能产生确实好的设计。二者结合，可以使设计尽量做到周密、合理，以获得总体最优化；也可以使设计少走弯路，避免不必要的返工和浪费，以尽可能少的投资获取尽可能大的效益。其技术、经济、社会效果往往随系统复杂程度的增加而越趋明显。

(3) 必须搞清外部环境对该机械的作用和影响：在调查研究的基础上，明确市场对该机械的要求(包括功能、价格、销售量、尺寸、质量、工期、外观等)和约束条件(包括资金、材料、设备、技术、人员培训、信息、使用环境、后勤供应、检修、售后服务、基础和地基、法律与政策等)，这些都对内部系统设计有直接影响，不仅影响机械系统的总体方案、经济性、可靠性和使用寿命等指标，而且也影响具体零部件的性能参数、结构和技术要求，甚至可能导致设计失败。

(4) 不能忽略机械系统对外部环境的作用和影响: 包括该产品运行中对环境、操作人员及周围其他人员的影响, 该产品投入市场后对市场形势、竞争对手的影响, 如竞争对手及潜在竞争对手的反映, 该市场竞争格局的变化等。

1.2.2 机械系统设计的任务

机械系统设计的任务是开发新的机械产品, 改造老的机械产品。机械系统设计的最终目的是为市场提供优质高效、价廉物美的机械产品, 在市场竞争中取得优势, 赢得用户, 并取得较好的经济效益。任何好的、先进的机械产品, 只有通过设计并采用当代各种先进的技术成果, 才能成为现实。因此, 设计体现了时代性和创造性。

机械系统设计是机械产品开发的第一道工序, 产品质量和经济效益取决于设计、制造和管理的综合水平, 而产品设计则是关键。没有高质量的设计, 就不可能有高质量的产品。没有经济观点的设计人员, 绝不可能设计出经济性好的产品。设计本身如果有问题, 可能会造成灾难性的损失。据统计, 产品的质量事故有 50% 是由于设计失误造成的, 产品的成本 60%~70% 取决于设计。因此, 第一道设计关必须把好。

1.2.3 机械系统设计的原则

1. 需求原则

一项产品的推出总是以社会需求为前提的, 没有需求就没有市场, 也就失去了产品存在的价值和依据。而社会需求是变化的, 不同时期、不同地点、不同的社会环境就会有不同的市场行情和要求。所以, 设计师必须确立市场观念, 以社会需求和为用户服务作为最基本的出发点。

所谓需求, 就是对功能的需求。用户购买产品实际就是购买产品的功能。

价值工程中常用价值来评价功能与成本的统一程度, 即产品的价廉物美程度。根据价值工程有

$$V = F/C \quad (1-1)$$

式中:

V ——产品的价值;

F ——产品的总功能;

C ——产品的成本。

由式(1-1)可知, 为了提高产品的价值, 可采取如下措施: ①增加 F , 同时减小 C ; ② F 不变而减少 C ; ③ C 不变而增加 F ; ④ C 增加很少而 F 增加很多; ⑤ F 略有减少而 C 减少很多。

显然第一种是最理想的, 但也是最困难的, 这就要求我们采取一些特别的手段, 如高科技手段。所以, 设计师必须进行市场调查和用户访问, 查清市场当前的需求和预测今后的需求, 然后对产品进行功能分析, 遵循保证基本功能、满足使用功能、剔除多余功能、增添新颖功能、恰到好处地利用功能的原则, 力求使产品达到尽善尽美的境地。

2. 可靠性原则

可靠性是指产品在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能的能力。可靠性是衡量

产品质量的一个重要指标。

(1) 产品是泛指单独进行研究和试验考核的对象，可以是零件、部件、装置，也可以是整机系统。

(2) 规定条件是指对产品进行可靠性考核时所规定的使用条件和环境条件，包括载荷状况、工作制度、应力水平、温度、湿度、尘砂、腐蚀等，也包括操作规程、操作技术、维修方法等，凡是影响产品功能的使用条件和环境条件均需明确规定。

(3) 规定时间是指对产品可靠性考核时所规定的时间，包括运行时间、应力循环次数、汽车行驶里程等。

(4) 规定功能是指对产品考核的具体功能。产品规定功能的丧失称为失效，对丧失的规定功能可修复的产品其失效也称故障。

可靠性技术是研究产品发生故障或失效的原因及预防措施的一门技术。目前，可靠性技术已开始用于机械系统设计。

1) 衡量可靠性的指标

能度量产品可靠性程度的数值量都可以作为可靠性的指标，它们都是带有统计性质的概率，常用的可靠性的指标见表 1-1。

表 1-1 衡量可靠性的指标

指标名称	定 义
可靠度 $R(t)$	可靠度是指产品在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能时不发生故障或失效的概率 可靠度 $R(t)$ 也称可靠度函数， $0 \leq R(t) \leq 1$
失效概率 $F(t)$	失效概率是指产品在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能时发生故障或失效的概率 失效概率 $F(t)$ 也称不可靠度， $0 \leq F(t) \leq 1$ 。因为失效与不失效是对立事件，所以 $F(t) = 1 - R(t)$
失效率 $\lambda(t)$	失效率是指产品工作到某一时刻后，在单位时间内发生失效或故障的概率。 失效率 $\lambda(t)$ 也称故障率
平均无故障工作时间 MTBF	MTBF (Mean Time Between Failures) 是指产品在使用寿命期内的某段观察期间累积工作时间与故障次数之比，是用于衡量可修复产品的可靠性指标
失效前平均工作时间 MTTF	MTTF (Mean Time To Failure) 是指发生故障后不能修复的产品从开始使用直至失效的平均工作时间
维修度 $M(t)$	维修度是指在规定的条件下使用的产品，在规定时间内按照规定的程序和方法进行维修时，保持或恢复到能完成规定功能状态的概率
有效度 $A(t)$	有效度是可修复产品在规定的使用、维修条件下，在规定时间内，维持其功能处于正常状态的概率。有效度 $A(t)$ 也称可用率

2) 提高机械系统可靠性的措施

提高系统可靠性的最有效方法是进行可靠性设计。进行可靠性设计时必须掌握影响可靠性的各种设计变量的分布特性和数据，建立从研究、设计、制造、试验直至管理、使用和维修以及评审的一整套可靠性计划。当缺乏这些必要的数据和统计变量时，了解影响机械系统可靠性的因素，采取下述一些措施，对提高机械系统可靠性也是有益的。

(1) 分析失效，查找原因。机械系统工作时，由于各种原因难免会发生故障或失效。