

高等学校“十一五”规划教材



机械设计制造及其自动化系列

**FUNDAMENTALS OF ENGINEERING
MACHINERY DESIGN**

工程机械设计基础

孟晓平 曲秀全 编著

哈尔滨工业大学出版社

TU602
M619.1

“十一五”规划教材
计制造及其自动化系列

FUNDAMENTALS OF ENGINEERING MACHINERY DESIGN

工程机械设计基础

孟晓平 曲秀全 编著

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书介绍工程机械设计的基本理论和基本过程,内容包括工程需求与工程机械开发设计、工程机械的功能原理设计与创新、工程机械量化设计要素、工程机械常用件的选配与设计、工作机构设计、驱动方案设计、底盘方案设计要点、总体方案设计。

本书为高等学校机械设计制造及其自动化专业高年级本科生教材,也可供从事工程机械或其他专用机械设备设计开发工作的科技人员参考。

Abstract

This book introduces the basic theory and process of engineering machinery design, which include requirements from construction, development and design of engineering machines, function principles design and innovation, quantitative design elements, choice and design of common-used parts, working mechanism design, driving scheme design, chassis scheme design points, overall scheme design.

The book is a senior textbook for the university undergraduates who major in design, manufacturing and automation of machines. It is also available for the people who engage in construction machinery, or the technical staff who work on design and development of other special mechanical equipments.

图书在版编目(CIP)数据

工程机械设计基础/孟晓平,曲秀全编著. —哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社,2007.9

ISBN 978-7-5603-2277-3

I. ①工… II. ①孟… ②曲… III. ①工程机械-机械设计
IV. TU602

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 086126 号

责任编辑 杜 燕

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 肇东粮食印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 17.5 字数 420 千字

版 次 2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-2277-3

印 数 1~4 000 册

定 价 28.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

高等学校“十一五”规划教材

机械设计制造及其自动化系列

编写委员会名单

(按姓氏笔画排序)

主 任	姚英学				
副主任	尤 波	巩亚东	高殿荣	薛 开	戴文跃
编 委	王守城	巩云鹏	宋宝玉	张 慧	张庆春
	郑 午	赵丽杰	郭艳玲	谢伟东	韩晓娟

编审委员会名单

(按姓氏笔画排序)

主 任	蔡鹤皋				
副主任	邓宗全	宋玉泉	孟庆鑫	闻邦椿	
编 委	孔祥东	卢泽生	李庆芬	李庆领	李志仁
	李洪仁	李剑峰	李振佳	赵 继	董 申
	谢里阳				

总 序

自1999年教育部对普通高校本科专业设置目录调整以来,各高校都对机械设计制造及其自动化专业进行了较大规模的调整和整合,制定了新的培养方案和课程体系。目前,专业合并后的培养方案、教学计划和教材已经执行和使用了几个循环,收到了一定的效果,但也暴露出一些问题。由于合并的专业多,而合并前的各专业又有各自的优势和特色,在课程体系、教学内容安排上存在比较明显的“拼盘”现象;在教学计划、办学特色和课程体系等方面存在一些不太完善的地方;在具体课程的教学大纲和课程内容设置上,还存在比较多的问题,如课程内容衔接不当、部分核心知识点遗漏、不少教学内容或知识点多次重复、知识点的设计难易程度还存在不当之处、学时分配不尽合理、实验安排还有不适当的地方等。这些问题都集中反映在教材上,专业调整后的教材建设尚缺乏全面系统的规划和设计。

针对上述问题,哈尔滨工业大学机电工程学院从“机械设计制造及其自动化”专业学生应具备的基本知识结构、素质和能力等方面入手,在校内反复研讨该专业的培养方案、教学计划、培养大纲、各系列课程应包含的主要知识点和系列教材建设等问题,并在此基础上,组织召开了由哈尔滨工业大学、吉林大学、东北大学等9所学校参加的机械设计制造及其自动化专业系列教材建设工作会议,联合建设专业教材,这是建设高水平专业教材的良好举措。因为通过共同研讨和合作,可以取长补短、发挥各自的优势和特色,促进教学水平的提高。

会议通过研讨该专业的办学定位、培养要求、教学内容的体系设置、关键知识点、知识内容的衔接等问题,进一步明确了设计、制造、自动化三大主线课程教学内容的设置,通过合并一些课程,可避免主要知识点的重复和遗漏,有利于加强课程设置上的系统性、明确自动化在本专业中的地位、深化自动化系列课程内涵,有利于完善学生的知识结构、加强学生的能力培养,为该系列教材的编写奠定了良好的基础。

本着“总结已有、通向未来、打造品牌、力争走向世界”的工作思路,在汇聚多所学校优势和特色、认真总结经验、仔细研讨的基础上形成了这套教材。参加编写的主编、副主编都是这几所学校在本领域的知名教授,他们除了承担本科生教学外,还承担研究生教学和大量的科研工作,同时有编写教材的经验;参编人员也都是各学校近年来在教学第一线工作的骨干教师。这是一支高水平的教材编写队伍。

这套教材有机整合了该专业教学内容和知识点的安排,并应用近年来该专业领域的科研成果来改造和更新教学内容、提高教材和教学水平,具有系列化、模块化、现代化的特点,反映了机械工程领域国内外的新发展和新成果,内容新颖、信息量大、系统性强。我深信:这套教材的出版,对于推动机械工程领域的教学改革、提高人才培养质量必将起到重要推动作用。

蔡鹤皋

哈尔滨工业大学教授

中国工程院院士

2005年8月10日

前 言

随着社会的发展,工程建设的种类、数量和规模越来越大,各式各样的工程机械产品也越来越多,随之而来的是各种各样的工程机械教材相继问世。工程机械的每个品种都有自己的特色和独特的设计计算理论与设计方法,因此工程机械设计方面的传统教材总是面向某一特定机种,如工程起重机、土方机械、单斗挖掘机等,或者是针对某些常用的系统和装置,如工程机械底盘、工程机械配套装置、工程机械液压系统等。近年来出版的工程机械教材基本上还是延续了过去的传统习惯。然而,学习工程机械设计的人不可能等到掌握了每一种产品的设计方法之后再去从事设计工作。作者编写这本教材的初衷就是要让学习者能够在有限的学时内对工程机械设计有比较全面的了解,并掌握工程机械设计的基本方法。

信息爆炸时代的有效对策是知识结构的优化。设计工作的经验表明,在不同产品的设计过程中,经常会遇到许多带有共性的问题,本书题目中的“基础”就是指在设计每一种工程机械产品的过程中都需要使用的基本理论与方法。虽然限定为带有通用性的基础性课题,但涉及面也还是相当广泛。本书在内容的安排上没有追求面面俱到,在筛选后的内容中也不是一视同仁,而是有所侧重。

现代教学理念认为,对于学生来说“猎枪”比“猎物”更有意义。因此,在设计本书的知识结构和进行内容整合时,首要考虑的是设计方法这根主线。与设计对象相比,对设计过程本身的研究对于学习设计的人来说更为重要。为此,本书的许多章节在设计过程方面进行了探讨。

此外,创新能力的培养已经开始引起普遍关注,设计工作本身就是一项带有创造性的活动,作为一本研讨设计问题的教材,创新问题不能回避。本书在一些适当的环节加入了有关创新方面的讨论,并且在第2章对创新问题进行了集中论述。

全书分为八章:第1章绪论,阐述工程、工程机械和工程机械设计的基本概念、基础知识,探讨从需求到设计开发的演进、工程机械设计工作特点和基础性问题;第2章功能原理设计,探讨工程机械功能原理设计与创新的基本理论和通用方法;第3章工程机械量化设计,讨论设计参数、设计载荷和设计验算等与工程机械量化设计有关的基本概念和基础知识;第4章工程机械常用基本机构与装置,介绍工程机械常用的基本机构、部件、元件和装置的配套选型与设计计算;第5章工作机构设计,探讨工程机械工作机构设计要点与基本过程;第6章工程机械驱动,介绍工程机械动力源选型以及驱动系统基本方案;第7章工程机械底盘,讨论工程机械底盘设计基本要点和设计难点;第8章工程机械总体设计,

探讨工程机械总体方案设计的基本内容和一般过程。

本书的大部分内容已经过三个周期的教学检验,教学效果基本达到了预期的目标。

参加本书编写工作的有:孟晓平(第1,2,8章),曲秀全(第3,4章),刘明思(第6,7章),薛渊(第5章),由孟晓平,曲秀全担任主编。

本书在整体构思,内容编排,基本观点和论述等许多方面都与传统教材有所不同,为此恳请业内人士和本书读者批评指正。

编者

2007.3.28

目 录

第1章 绪论

1.1 引言	1
1.1.1 土木工程	1
1.1.2 土木工程施工	4
1.1.3 施工机械化	6
1.2 工程机械	7
1.2.1 通用工程机械	7
1.2.2 专项施工机械	16
1.3 工程机械设计	17
1.3.1 设计与需求	17
1.3.2 设计工作的基本过程	17
1.3.3 工程机械设计特点	18
1.4 本书的结构及内容	19
1.4.1 课程背景	19
1.4.2 知识结构主线	20
1.4.3 各章内容安排	21

第2章 工程机械功能原理设计

2.1 功能原理设计基本概念	23
2.1.1 功能与需求	23
2.1.2 功能与原理	27
2.1.3 功能原理与组成原理	30
2.2 功能原理设计基本过程	31
2.2.1 目标功能确定	31
2.2.2 功能原理匹配	33
2.2.3 目标功能原理确定	33
2.2.4 组成原理设计	35
2.3 工程机械创新设计	35
2.3.1 目标功能创新	35
2.3.2 匹配原理创新	37
2.3.3 组成原理创新	39

第3章 工程机械量化设计

3.1 量化设计引言	41
3.1.1 产品信息	41
3.1.2 信息演进	42
3.1.3 量化设计	43
3.2 性能参数	44
3.2.1 性能参数综述	44
3.2.2 性能参数举例	44
3.3 设计载荷	55
3.3.1 设计载荷基本要求	55
3.3.2 载荷种类	56
3.3.3 载荷值确定	57
3.3.4 载荷组合	57
3.4 工程机械验算	60
3.4.1 总体验算	60
3.4.2 工作机构验算	60
3.4.3 其他子系统验算	61
3.4.4 金属结构验算	61

第4章 工程机械常用基本机构与装置

4.1 引言	62
4.2 钢丝绳滑轮组机构	63
4.2.1 钢丝绳滑轮组机构特性	64
4.2.2 钢丝绳滑轮组机构设计要点	65
4.3 钢丝绳卷筒机构	74
4.3.1 钢丝绳卷筒机构特性	75
4.3.2 钢丝绳卷筒机构设计要点	75
4.4 三角形机构	80
4.4.1 机构特性	80
4.4.2 机构设计要点	82
4.5 制动器	83
4.5.1 起重机用制动器要求	84
4.5.2 带式制动器	84
4.5.3 块式制动器	89
4.6 回转支承装置	95
4.6.1 基本概念	95
4.6.2 失效形式	96
4.6.3 回转支承标准产品	96

4.6.4 选型设计	98
4.7 液力变矩器	105
4.7.1 基本结构	105
4.7.2 液力变矩器工作原理及特性曲线	106
4.8 驱动桥	112
4.8.1 主传动与差速器	113
4.8.2 轮边减速	119
4.8.3 驱动桥分析	121
4.8.4 驱动桥选用要点	122

// 第5章 工作机构设计

5.1 功能原理设计	125
5.1.1 设计任务分析	126
5.1.2 功能模块划分	127
5.1.3 功能原理方案	130
5.1.4 功能原理设计实例	131
5.2 工作机构计算	138
5.2.1 串联机构分析	139
5.2.2 并联机构分析	141
5.3 工作路径分析	144
5.3.1 要件分析	144
5.3.2 参数分析	145
5.3.3 工作路径设计	145
5.3.4 工作路径分析实例	146
5.4 工作机构实体设计	153
5.4.1 选型件设计	153
5.4.2 非选型件设计	155
5.4.3 图面设计	156
5.5 工作机构最优化设计	157
5.5.1 工作机构最优化设计的步骤	157
5.5.2 起升机构最优化设计	158

// 第6章 工程机械驱动

6.1 动力源	163
6.1.1 动力源评价	163
6.1.2 柴油机选用	164
6.1.3 动力源配置	171
6.2 驱动系统	174
6.2.1 内燃机-机械驱动系统	174

6.2.2 内燃机-液压驱动系统	183
------------------------	-----

// 第7章 工程机械底盘

7.1 底盘综述	192
7.1.1 底盘总体功能原理	193
7.1.2 底盘传动系统功能原理	195
7.1.3 底盘行走系统功能原理	197
7.1.4 底盘转向系统	202
7.1.5 底盘制动系统	203
7.2 柴油机与液力变矩器的匹配	204
7.2.1 液力变矩器工作轮有效直径选择	207
7.2.2 匹配输入	207
7.2.3 匹配输出	208
7.3 行星变速器设计	208
7.3.1 行星变速器的结构原理	208
7.3.2 简图设计	209
7.4 底盘力学分析	218
7.4.1 车轮隔离体	218
7.4.2 从动轮分析	220
7.4.3 驱动轮分析	221
7.4.4 底盘力学简图	223
7.5 行驶阻力	223
7.5.1 滚动阻力	223
7.5.2 上坡阻力	224
7.5.3 空气阻力	224
7.6 行驶性能	224
7.6.1 行驶性能图	224
7.6.2 行驶性能图绘制	225
7.6.3 行驶性能图使用	226

// 第8章 工程机械总体设计

8.1 引言	227
8.2 总体方案设计	227
8.2.1 总体方案的基本内容	228
8.2.2 总体方案设计的基本过程	230

参考文献	268
------------	-----

1.1 引言

1.1.1 土木工程

现在,“工程”一词已经广泛应用于多种领域,工程机械中的“工程”特指“土木工程”。

1.1.1.1 土木工程概念

(1) 土木工程的内涵

“土木”一词由来已久。古代哲学将万物划分为“金、木、水、火、土”,早期建筑取材主要是泥土、砂石、砖瓦、竹木、藤草等,即非“土”即“木”的物料,所以土木工程可以理解为采用“土木”材料建造的各种工程设施。

当代许多建筑材料如钢材、钢筋混凝土、塑料等,已经超出了“土木”范围。国务院学位委员会认为^[1]：“土木工程是建造各类工程设施的科学技术的总称,它既指工程建设的对象,即建在地上、地下、水中的各种工程设施,也指所应用的材料、设备和所进行的勘测设计、施工、保养、维修等技术。”

本课程中的“土木工程”一词主要指工程建设的对象,及其建设过程。

(2) 土木工程的外延

土木工程的范围非常广泛,涵盖了所有的建筑物(构筑物)^[2],粗略分类如下。

1) 生产与生活基本建筑

属于这一类的建(构)筑物主要包括住宅、商店、学校、医院、写字楼、图书馆、影剧院、展览馆、体育馆、广场、会堂、饭店、宾馆等,以及各种工业厂房和构筑物等,图 1.1 所示为其中的典例。



(a) 高楼大厦



(b) 表演场所



(c) 殿堂



(d) 广场



(e) 学校



(f) 工厂

图 1.1 生产与生活基本建筑典例

2) 交通与交流设施

此类建筑多为公共设施,主要包括街道、公路、铁路、航道、桥梁、隧道、码头、港口、车站、机场、货场、电台、电视台、电视塔、邮电局等,其典型风貌略见图 1.2 中的实例。



(a) 路桥



(b) 机场



(c) 码头



(d) 电视塔

图 1.2 交通与交流设施典貌

3) 水利与水电设施

这一类建筑设施是指那些为了治河防洪、水力发电、水源调配、水力运输、农田水利、水产养殖等目的而修建的各种渠洞、堰坝、库闸、水利枢纽、水电厂房枢纽等,见图 1.3 的实例。



(a)葛洲坝



(b)水电站

图 1.3 水利与水电设施实例

4) 市政与环境设施

此类公共设施主要包括城镇交通设施、城镇给排水设施、城镇供热设施、城镇燃气供应设施、城镇垃圾处理设施、城镇园林与景观设施等,见图 1.4 典例。



(a)给排水



(b)送变电



(c)环卫设施



(d)城镇园林

图 1.4 市政与环境设施典例

5) 特殊建筑

这一类建筑设施是指军事基地、国防工事、发射中心、航天中心、实验场所、海洋平台、考察站、避难场所等用于特殊目的的建筑物,见图 1.5 的实例。



(a)海洋平台



(b)发射中心

图 1.5 特殊建筑例图

1.1.1.2 土木工程产品的特点

(1) 土木工程产品的单一性

人类需求的多样性和可变性,促成建筑设施服务功能的千差万别,导致土木工程产品种类繁多。服务功能相同的建筑设施其服务地区和服务对象不尽相同,同样是住宅建筑,由于人文、地理、地质、水文、气候、资源等背景条件的差异,其外貌、结构、内部设施等会有许多不同之处。即使是按照同一套图纸建造的房屋,由于施工的设备、工艺、流程、管理、操作、原材料供应等方面的差别,最终的建筑物不会完全相同。

人们很难找到完全相同的两处建筑物,我们称土木工程产品的这一特性为“单一性”。

(2) 土木工程产品的庞大性

土木工程产品总是与“庞大”这一特性联系在一起。几乎所有的土木工程都是人类居住或进行社会活动的场所,相对于人体尺寸,土木工程产品多为庞然大物。随着人类活动范围和空间的不断扩展,土木工程的规模越来越大,古代的金字塔、万里长城,现代的摩天大楼、跨海大桥、水利枢纽等,其建筑规模要用宏伟来形容。

(3) 土木工程产品的整体性

机械类产品通常可以拆分成零部件,便于包装运输与维修保养。土木工程产品的基本构件(各种柱、板、梁、拱等)之间的连接关系多为固定式的和永久性的。因此,土木工程产品的拆卸通常都是破坏性的。我们称土木工程产品的这种特性为“整体性”。

(4) 土木工程产品的固定性

土木工程产品的“庞大性”和“整体性”给其搬迁工作造成了很大的困难。通常,土工产品都是构筑在特定的地点提供长时期的特定服务,其“单一性”使得土木建筑的搬迁需求很少发生。如果不是遇到天灾人祸,这些建筑物会长期保留,缓慢蜕变,最终成为人类文明发展的见证。

土木工程产品定点长期服务,以及不便搬迁的基本特性称之为“固定性”。

1.1.2 土木工程施工

土木工程产品本身相当复杂,在施工过程中会涉及诸多要素,如原材料、人员、工具、机械设备、文件、场地、工期、环境等,因此土木工程施工是一种较为特殊的生产活动,有其自身的特点和规律,研究认识这种特殊性是合理开发工程机械产品的前提。

1.1.2.1 土木工程产品的生产特点

(1) 流动性大

普通工业产品的生产通常在工厂环境下进行,生产人员和机械设备相对固定,产成品要从生产地点流动到服务地区。由于土工产品的“固定性”、“庞大性”和“整体性”,在土木工程施工时,发生流动的是生产人员和机械设备,不是产品本身。

(2) 单件生产

土工产品的“单一性”和“固定性”,使其很难实现批量生产。产品特点的差异影响到施工的方法、工种、技术、材料、设备、进度、场地布置、计划、组织等各种要素的变化,因此每个工程的施工都各具特点,很难找到完全相同的施工过程,很难用完全相同的施工过程批量生产形形色色的土工产品。即使土工产品被批量生产出来,由于其“庞大性”和“整体

性”,它们也很难到达需要其提供特殊服务的地点。

(3) 作业条件特殊

普通工业产品的生产环境相对稳定,作业条件简单、适宜,不易受气候条件的影响。由于土工产品的“庞大性”,地面上的施工基本上都是露天作业,气象变化对施工过程影响很大。

在土木工程的施工中,存在着大量的高空作业,地下和水下作业也是常有的。

此外,即使在同一工程中,不同工位、不同工序的作业条件可能各不相同。

(4) 生产周期长

土工产品“庞大性”的背后是庞大的工作量和工作时间,其生产的单件性意味着每项工程面临的都是一个全新的生产过程,流动性大的特点使大量的时间消耗在开工前和完工后的辅助工作中,再加上特殊的作业条件,使得土木工程产品的诞生往往需要经历一个漫长的生产周期。

1.1.2.2 土木工程施工程序

每项工程的具体施工过程千差万别,但大体上都能区分出开头、中间和结尾三个不同的阶段,即准备阶段、现场施工阶段和验收阶段。

(1) 准备阶段

正式开始按图施工之前,通常要做好技术、物资、劳动组织、施工现场等各个方面的准备工作,其中包括图纸审阅,计划编制,施工预算,技术、材料试验,材料、制品准备,机具、设备准备,现场探测,路、水、电联通,平整场地,搭建临时设施,物资进场,组织人力,建立、健全规章制度和组织机构等。

(2) 现场施工阶段

现场施工阶段是土木工程施工的主要环节,绝大部分的工作量和工作时间都集中在这一阶段。经过这个阶段的工作,各种原材料、制品与设备完成了状态的转化,成为建筑物实体的一部分,工程蓝图逐步变成现实的建筑物。虽然各项工程在现场施工阶段所用的图纸,执行的计划,应用的工艺技术,选用的原材料、制品、机具设备等具体事项各不相同,但是现场施工阶段还是可以划分成基础施工、主体施工(包括设备安装)、装饰施工和收尾施工(包括试运转)四个更小的工作阶段。

(3) 验收阶段

土木工程施工的最后环节是竣工验收。构筑完成的建筑物的各个项目如建筑结构、建筑设施与设备、建筑装饰、建筑环境等,都要按照国家和行业的有关标准,以及合同的相关规定进行验收。一项工程的全部结束是以验收合格为标志的。

1.1.2.3 土木工程施工作业工作分解

一项工程从开始到结束要做许许多多的工作,其中的大量工作是与物打交道的,其工作的结果或者是物的形态发生变化,或者是物的空间位置发生变动,这种改变物态或物位的工作,我们称其为“施工作业”。

在整体层面上进行比较,每项工程的施工作业都有其特殊性。同一项工程的各个阶段所面临的施工作业任务也各不相同。同一阶段的同一项任务在完成过程中,前前后后所做的具体工作也不一样。然而,将土木工程的施工作业工作进行适当分解之后,从不同