

南京林业大学
研究生课程系列教材

现代林业机械 设计方法学

MODERN DESIGN METHODOLOGIES OF
FORESTRY MACHINERIES

郑加强 周宏平 刘 英◎主编

中国林业出版社

南京林业大学研究生课程系列教材

现代林业机械设计方法学

主 编 郑加强
周宏平
刘 英

中国林业出版社

内容简介

现代机械设计方法是一门综合性课程,融汇了当今科技精华。本书共 11 章,概述了林业机械及其设计,介绍了一般设计过程、设计方法发展和各种现代设计方法,阐述了机械系统特点及人机工程,循序渐进地重点介绍了机械系统化设计法与创新设计、相似与模拟仿真设计、协同设计、动态分析设计、摩擦学设计、优化设计、可靠性设计、反求工程设计、林业机械自动化与智能化技术和林业机器人设计,并将设计方法与林业机械设计实例结合起来,可使读者从整体上认识和把握现代设计方法在机械工程设计中的应用,掌握机械工程现代设计的基本理论与技能,促进高性能机械系统的研发。

本书每章相对独立,层次清楚,能满足高等院校机械工程、林业工程、农业机械化工程、检测技术与自动化装置等学科专业的研究生、本专科生的教学需要,也可作为其他机电工程专业类的教材或教学参考书,还可供从事机电设计的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代林业机械设计方法学/郑加强,周宏平,刘英主编. —北京:中国林业出版社,2015.8

南京林业大学研究生课程系列教材

ISBN 978-7-5038-8008-7

I. ①现… II. ①郑…②周…③刘… III. ①林业机械—机械设计—高等学校—教材
IV. ①S776.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 116258 号

中国林业出版社·教育出版分社

策划编辑:康红梅 张东晓

责任编辑:张东晓

电 话:(010)83143560

传 真:(010)83143516

出版发行 中国林业出版社(100009 北京市西城区德内大街刘海胡同 7 号)

E-mail:jiaocaipublic@163.com 电话:(010)83143500

http://lycb.forestry.gov.cn

经 销 新华书店

印 刷 北京市昌平百善印刷厂

版 次 2015 年 8 月第 1 版

印 次 2015 年 8 月第 1 次印刷

开 本 850mm×1168mm 1/16

印 张 33

字 数 803 千字

定 价 66.00 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

南京林业大学研究生课程系列教材编委会

顾问：王明庠 张齐生

主任委员：曹福亮

副主任委员：张金池 杨 平

委员(按姓氏笔画为序)：

王 飞 王 浩 王良桂 王国聘

王元纲 方升佐 方炎明 叶建仁

朱丽珺 关惠元 杨 平 张金池

周定国 郑加强 赵茂程 俞元春

曹福亮 康红梅 彭方仁

秘书：曾丽萍

《现代林业机械设计方法学》编写人员

主 编：郑加强 周宏平 刘 英

参 编：郑加强 蒋雪松 周宏平 刘 英

倪晓宇 徐幼林 孙见君 马晨波

茹 煜 许林云 张慧春 陈 勇

主 审：陈云飞

序

2014年12月初,南京林业大学机械电子工程学院《现代林业机械设计方法学》教材的主编们与我联系,约我为他们即将出版的教材担任主审并写序,我欣然接受了这一任务。收到发来的电子稿,审读过程,一股新意跃然屏幕。

多年来,“现代设计方法”已被认为是一门综合性课程,与各相关学科密切相关,融汇了当今科技的精华。随着大数据、智能化、移动互联网、云计算等技术的发展,正在引发机械工程学科的一场革命,德国工业4.0计划、中国制造2025等将会使机械行业发生巨大变化,新的设计工具和设计理念还将不断涌现。机械工程专业(当然包括林业机械设计制造)及其他有关专业要适应科技的发展,需要编写与当今科技发展相适应的教材来系统介绍现代设计方法。《现代林业机械设计方法学》就是在这样的新形势下,并根据南京林业大学研究生课程系列教材建设立项而组织10余位教授编写的。

怎样设计机械产品才能走向世界?机械设计工程师需要什么样的素质?现代林业机械牵涉什么样的关键核心技术?如何以发展的眼光开展林业机器人的设计?这正是本教材在编写中始终关注的问题。

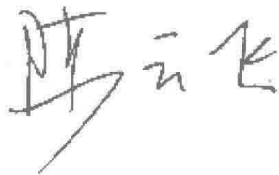
开卷有益,人总是追逐科技的进步,本教材是集成编者科研实践和目前国内外现代设计方法之作,能让读者快速了解现代设计方法。该教材内容先进,实用性强,内容编排亮点纷呈。教材系统阐述了林业机械发展、产品设计内容与设计过程以及现代机械设计理论与方法体系,较为详尽地介绍了系统分析设计法和创新设计、相似与模拟仿真设计、协同设计、动态分析设计、摩擦学设计、优化设计、可靠性设计、反求工程设计、林业机械自动化与智能化技术、林业机器人设计等,并选取具有典型意义的林业相关机械现代设计实例进行剖析,使现代设计方法与林业机械设计实例结合而相映成章,以加深对现代设计方法在机械设计中应用的理解。教材概要介绍了并行设计、智能设计、模块化设计、仿生设计、三次设计与健壮设计、再设计、基于给养设计等的基本思想,并介绍了面向产品全生命周期设计各环节的Design for X等创新设计理念。教材还概述了CAD/CAE、虚拟样机、制造业互联网化与产品定制设计、集散制造与众包设计等内容。通过这些内容的组织,使读者能从整体上认识和把握现代设计方法在机械工程设计中的应用,掌握机械工程现

代设计的基本理论与技能，促进高性能机械系统的开发与设计。

当今世界，培养学生最重要的是能力和方法，编者提到“好的教材还需要创新的教学方法，要培养学生的创新设计理念和紧跟现代设计方法的发展趋势的能力”，因此教材介绍了自组织学习法、大型开放式网络课程（MOOC）、微课（Microlecture）以及案例教学等教学建议，我非常认同这些观点。

一本书可以传递一种技术、培养一种能力、教会一种方法，该教材以林业为特色，同时兼具较为完整的机械工程现代设计方法，层次清楚，结构合理。因此机械工程及相关学科专业的研究生、本科生以及教师和工程技术人员，通读这部教材，一定会受到启迪，对教学与科研工作会有所帮助。我相信该教材的出版，将拓宽机械工程专业读者与相关工程技术人员的知识面，更好地掌握现代设计方法，并期待它成为中国机械设计走向世界的助推器。

东南大学机械工程学院教授、博士生导师
国家杰出青年基金获得者、长江学者特聘教授

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized Chinese characters '陈云飞' (Chen Yunfei).

2014 年 12 月 18 日 于南京

前言

设计是将技术成果转化为工业产品的工程活动，也是产品国际市场竞争力的具体表现形式，因此需要在各行各业培养具备先进设计理论、设计方法的设计工程师。1998 年中国林业出版社出版了《林业机械现代设计学》，经过近 20 年的教学实践证明发挥了较好的作用。但随着科技的发展，出现了不少新的设计方法和设计工具，需要对相关内容进行更新，因此，我们组织了《现代林业机械设计方法学》的编写。本书继承了《林业机械现代设计学》中好的、仍然适用的部分内容，但我们需要想象：现在出版的《现代林业机械设计方法学》20 年后又有多少内容还能保持先进性？当今大数据、智能制造、移动互联网、云计算、3D 打印及其相关技术的发展，逐渐引发了机械设计和制造学科的革命，各种新的设计方法不断涌现，而且德国工业 4.0 计划、中国制造 2025 等将进一步促使机械行业持续发酵，新技术、新工艺、新的设计工具和设计理念不断涌现。现代设计理论与方法迅速进入机械设计领域。为了使机械工程等学科的学生能了解掌握现代机械设计方法，并结合在新的形势下机械工程等学科的创新和实践，需要编写合适的系统介绍现代机械设计方法的教材，其中林业机械是变化种类繁多的产业机械，工作原理及结构独具特色，因此，《现代林业机械设计方法学》就是为适应科技发展、培养特色人才的需要而立项并组织编写的。

“现代设计方法”是一门综合性课程，融汇当今科技的精华和各相关学科的关键技术。本书尽力着眼于内容的先进性、实用性和系统性，然而因篇幅限制，仅介绍在现代设计实践和林业机械开发设计中应用比较广泛、比较成熟的现代设计方法，即在概述林业机械及其设计基础上，介绍了设计过程、设计方法发展和各种现代设计方法，阐述了机械系统特点及人机工程，循序渐进地介绍机械系统化设计法与创新设计、相似与模拟仿真设计、协同设计、动态分析设计、摩擦学设计、优化设计、可靠性设计、反求工程设计、林业机械自动化与智能化技术和林业机器人设计等，并选取具有典型意义的相关林业机械现代设计实例进行剖析，将设计方法与机械设计实例结合，以加深对现代设计方法在机械设计中应用的理解，使学生从整体上认识和把握现代设计方法在机械工程设计中的应用，掌握机械工程现代设计的基本理论与技能，促进高性能机械系统的开发与设计。强化现代设计方法有提高工

程技术人员综合能力和创新能力的作用,使他们触类旁通,掌握林业机械及其他各类机械产品设计的基本特点规律、手段,提高对现代科技成果的敏感性,以便今后进行开拓性和创新性设计。

好的教材还需要创新的教学方法,要注重培养学生的创新设计理念和紧跟现代设计方法的发展趋势的能力。据说,美国的一位妈妈因女儿无意间认出字母“O”而状告教她女儿的幼儿园,理由是孩子在没有认识这个字母之前,可以任意地将“O”说成是苹果、太阳、足球、西瓜、脑袋、鸟蛋……之类的圆形东西,而幼儿园教了26个字母后,孩子想象的翅膀过早被折断,按照教的说“O”只代表一个字母。这位母亲要求幼儿园赔偿孩子的精神损失,对这种扼杀孩子想象力的后果负责。她在辩护时讲的故事感动了陪审团:在一个公园里有两只天鹅,一只被剪去了左边的翅膀,一只完好无损。剪去翅膀的被放养在一片较大的水塘里,完好的一只被放养在一片较小的水塘里。剪去一边翅膀的无法保持身体平衡,飞起后就会掉下来;而在小水塘里的,虽然没被剪去翅膀,但起飞时因没有必要的滑翔路程,只好老实地呆在水里。她打这场官司,是因为她感到女儿变成了幼儿园的一只天鹅,他们剪掉了她一只想象的翅膀,早早地把她投进了那片只有ABC的小水塘。美国在科技方面能走在世界前列,也出现比其他国家多得多的年轻百万富翁,这应该与美国重视教育过程中的想象力保护有关,与他们的创新创业精神特质有关。中国需要大量具备创新精神,甚至颠覆式创新能力的设计人才,因此我们的教学体系要着眼于保护学生的想象力,不剪“翅膀”或不设置“小水塘”,而要激发他们的创新特质能力,促进设计高附加值的创新机电产品。作为一本完整的教材,本书在分析机械设计工程师素质、现代林业机械设计方法学教学内容和方法的基础上,各章按照相对独立的体系编写,每章还包括参考文献、思考题等内容,同时列出一些推荐阅读书目,部分章节提供了相关链接,以便学生能扩大视野、博采众长,保持与先进设计理念和方法同步。个别章节为便于读者理解,增加了必要的补充阅读资料。

本书可作为高等院校的机械工程(机械设计及理论、机械制造及其自动化、机械电子工程、车辆工程)、林业工程(林业与木工机械、木材加工与人造板工艺、森林工程、制浆造纸设备)、农业工程(农业机械化工程、农业电气化与自动化)、检测技术与自动化装置等相关学科专业的研究生与本专科生的教材,也可作为其他机械类专业的教学参考书,并可供从事相关机械设计的工程技术人员参考。本书既可作为现代机械设计方法的教材,也可作为某单项现代设计方法的教学参考书。

本教材由郑加强、周宏平、刘英任主编,具体编写分工如下:郑加强编写第1章,蒋雪松与周宏平编写第2章,刘英编写第3章,倪晓宇编写第4章,徐幼林编写第5章,孙见君编写第6章,马晨波编写第7章,茹煜编写第8章,许林云编写

第9章，张慧春编写第10章，陈勇编写第11章。东南大学机械工程学院陈云飞教授担任主审，审阅了全书，提出了宝贵的意见建议并撰写了序言，在此表示衷心的感谢！

本书是根据机械工程学科研究生培养需要和南京林业大学研究生课程教材立项而组织编写的。感谢“南京林业大学研究生课程系列教材建设”项目对本教材出版的立项资助。本教材中有许多内容和案例是在国家自然科学基金项目、国家863项目、国家科技支撑计划项目、国家948项目等的资助下完成的项目成果，为此感谢相关理论、方法、图片等的著作者们。教材中所提到的企业和机构名称或产品专利等，只是便于读者阅读，并不意味着编者的任何承诺或优惠待遇。在编写过程中，有关单位与专家学者提供了部分资料，许多研究生在资料查询、插图绘制等方面做了不少工作，在此一并表示衷心的感谢！

尽管我们已经尽力收集最新的现代设计方法研究成果并编入书中，但由于编写时间紧，加之现代设计方法及相关学科的迅速发展，特别是互联网技术和智能技术的日新月异，书中内容、观点难免存在不妥或不足之处，诚盼使用此书的各方人士不吝指教！

编 者

2015年1月

目 录

序 前 言

第1章 绪 论	(1)
1.1 林业机械及其设计	(2)
1.1.1 林业生产与生态文明	(2)
1.1.2 林业机械概述	(3)
1.1.3 中国林业机械发展任重道远	(7)
1.2 产品设计内容与设计过程	(10)
1.2.1 设计概述	(10)
1.2.2 机械产品设计和设计过程	(13)
1.3 设计方法发展历史	(15)
1.3.1 直觉设计阶段	(15)
1.3.2 经验设计阶段	(16)
1.3.3 中间试验辅助设计阶段	(16)
1.3.4 现代设计法设计阶段	(16)
1.3.5 现代设计与传统设计	(17)
1.4 现代设计方法综述	(19)
1.4.1 设计理论与方法概述	(20)
1.4.2 现代设计方法纵览	(22)
1.4.3 设计工具概述	(26)
1.4.4 设计方法发展趋势	(31)
1.4.5 设计思想创新	(38)
1.5 现代林业机械设计方法学概览	(46)
1.5.1 林业机械设计工程师的素质	(46)
1.5.2 现代林业机械设计方法学教学内容	(47)
1.5.3 林业机械设计方法学教学方法	(48)
第2章 机械系统化设计法与创新设计	(55)
2.1 系统及系统工程方法	(56)
2.1.1 系统的概念	(56)

2.1.2	系统的分类	(57)
2.1.3	系统的基本特征	(58)
2.1.4	系统设计的过程	(60)
2.1.5	系统工程方法	(60)
2.2	机械系统与人机系统	(66)
2.2.1	机械系统的概念	(67)
2.2.2	机械系统总体分析	(67)
2.2.3	机械系统价值分析	(71)
2.2.4	人机系统	(72)
2.3	机械系统化设计方法	(76)
2.3.1	机械系统化设计原则和关键内容	(76)
2.3.2	产品规划	(77)
2.3.3	机械系统化设计过程	(80)
2.3.4	系统功能原理方案探讨	(83)
2.3.5	结构方案的探求	(87)
2.4	创新设计理论与方法	(90)
2.4.1	创新设计概述	(90)
2.4.2	TRIZ 理论与创新	(91)
第3章	相似与模拟仿真设计	(108)
3.1	相似理论及相似准则	(109)
3.1.1	相似理论	(109)
3.1.2	相似准则	(111)
3.2	相似设计方法	(115)
3.2.1	风机的相似设计	(115)
3.2.2	转笼式静电喷头参数分析	(117)
3.3	模拟仿真设计	(119)
3.3.1	仿真系统的组成和分类	(119)
3.3.2	模型	(120)
3.3.3	模拟仿真技术的发展	(121)
3.3.4	模拟仿真	(127)
3.3.5	数值模拟仿真实例	(129)
3.3.6	数字仿真	(132)
3.3.7	森林防火数字仿真实例	(134)
3.3.8	多媒体仿真技术简介	(136)
3.3.9	混合仿真法简介	(136)
3.4	3D 打印与定制设计方法	(136)
3.4.1	3D 打印	(137)
3.4.2	定制设计方法	(141)

3.4.3 应用实例	(143)
第4章 协同设计方法	(151)
4.1 机电系统协同设计概述	(152)
4.1.1 协同设计产生的背景	(152)
4.1.2 协同设计的基本概念	(153)
4.1.3 协同设计的应用及发展	(157)
4.2 协同设计方法及关键技术	(159)
4.2.1 协同设计关键技术	(159)
4.2.2 协同设计支撑技术	(166)
4.3 协同设计特征建模技术	(167)
4.3.1 特征概述	(167)
4.3.2 特征建模	(170)
4.4 协同设计过程动态建模与控制	(176)
4.4.1 协同设计模型的基本概念	(176)
4.4.2 基于 OOPN 元模型调用的协同设计过程动态建模	(179)
4.5 协同设计过程管理技术	(184)
4.5.1 任务规划	(184)
4.5.2 冲突与约束管理	(186)
4.5.3 数据库管理技术	(192)
4.6 CAD/CAM/CAE/CAPP 协同	(194)
4.6.1 协同设计 CAD/CAM/CAE/CAPP 集成系统概述	(194)
4.6.2 CAD/CAM/CAE 集成总体结构	(195)
4.6.3 面向协同设计的 CAD/CAM/CAE/CAPP 集成系统体系结构	(198)
4.7 机电产品的协同设计实例	(202)
4.7.1 原型系统体系框架	(202)
4.7.2 面向机床产品协同设计系统实例	(203)
4.7.3 应用效果分析	(210)
第5章 机械动态分析设计法	(213)
5.1 动态分析及其软件概述	(214)
5.1.1 动态分析概述	(214)
5.1.2 动态分析的目标	(214)
5.1.3 动态分析设计指标	(215)
5.1.4 动态分析软件概述	(216)
5.2 机械动态设计法	(218)
5.2.1 机械动态设计步骤	(218)
5.2.2 机械动态设计理论建模方法	(219)
5.3 模态分析设计方法	(227)

5.3.1	模态分析概述	(227)
5.3.2	试验模态分析法	(228)
5.3.3	模态综合方法	(240)
5.3.4	机械结构动力修改	(247)
5.4	典型林业机械模态设计	(249)
5.4.1	树木移栽机铲刀的模态分析	(249)
5.4.2	木工圆锯片模态分析	(251)
5.4.3	玉米根茬收集装置动态分析	(257)
5.4.4	植物保护喷雾机喷杆有限元模态分析	(261)
第6章 摩擦学设计		(272)
6.1	机械系统功能与摩擦学系统过程	(273)
6.1.1	摩擦学系统过程	(273)
6.1.2	摩擦学过程对机械系统功能的影响	(274)
6.2	表面工程及摩擦学设计方法	(284)
6.2.1	表面工程	(284)
6.2.2	摩擦学设计	(288)
6.3	林业集材拖拉机摩擦学设计	(299)
6.3.1	材料选择	(300)
6.3.2	表面设计	(302)
6.3.3	结构设计	(304)
6.3.4	综合分析设计实例	(306)
第7章 林业机械优化设计		(312)
7.1	优化设计及其软件概述	(313)
7.1.1	优化问题的数学描述	(313)
7.1.2	优化设计问题的基本解法	(315)
7.1.3	现代机械优化设计的发展趋势	(317)
7.1.4	优化设计的常用软件概述	(319)
7.2	机械优化设计方法	(321)
7.2.1	一维搜索	(321)
7.2.2	无约束优化方法	(324)
7.2.3	约束优化方法	(328)
7.3	机械设计的模糊优化方法	(335)
7.3.1	模糊集合的隶属函数及 λ 水平截集	(336)
7.3.2	模糊综合评判	(337)
7.3.3	模糊优化设计方法	(338)
7.4	典型林业机械优化设计	(339)

7.4.1 圆柱齿轮传动减速器的优化设计	(339)
7.4.2 伸缩臂叉车的液压缸三铰点变幅机构的优化设计	(342)
第8章 林业机械可靠性设计	(349)
8.1 可靠性设计概述	(350)
8.1.1 可靠性研究	(350)
8.1.2 可靠性的概念	(350)
8.1.3 可靠性设计的基本内容和特点	(351)
8.1.4 可靠性的度量指标	(352)
8.2 机械零件可靠性设计	(357)
8.2.1 可靠性设计中常用分布函数	(357)
8.2.2 机械零件可靠性概率设计法	(362)
8.2.3 零件强度及应力可靠性的计算	(365)
8.2.4 零件疲劳强度可靠性分析	(368)
8.3 林业机械系统可靠性设计	(374)
8.3.1 机械系统可靠性设计	(374)
8.3.2 故障树分析法	(381)
8.3.3 林业机械结构的时变可靠性设计	(390)
8.4 其他可靠性设计方法	(394)
8.4.1 可靠性优化设计	(394)
8.4.2 可靠性灵敏度设计	(394)
8.4.3 TTCP 法	(395)
8.4.4 平均累计故障率方法	(395)
8.4.5 稳健型设计	(396)
8.4.6 故障模式影响及危害性分析	(396)
第9章 反求工程设计	(401)
9.1 反求工程技术概述	(402)
9.1.1 技术引进与反求工程	(402)
9.1.2 反求工程分析技术	(406)
9.2 反求工程设计方法	(413)
9.2.1 实物反求	(413)
9.2.2 软件反求	(418)
9.2.3 影像反求	(424)
9.3 反求工程与知识产权	(429)
9.3.1 反求工程的合法性争议	(430)
9.3.2 反求工程中的模仿与仿制	(431)
9.3.3 计算机软件反求工程合法性分析	(432)
9.3.4 反求工程与知识产权保护的协调平衡	(433)

9.3.5 知识产权国际公约	(434)
9.4 林业机械反求设计	(435)
9.4.1 ZLM30B 装载机方案反求设计	(435)
9.4.2 车载式稳态燃烧烟雾机的反求设计	(437)
第10章 林业机械自动化与智能化技术	(444)
10.1 传感器与机器视觉技术	(445)
10.1.1 传感器的工作原理和分类	(445)
10.1.2 传感器在林业上的应用	(446)
10.1.3 多传感器信息融合	(446)
10.1.4 机器视觉技术的概念和发展	(448)
10.1.5 机器视觉的特点及组成	(448)
10.1.6 机器视觉在林业机械上的应用	(450)
10.2 3S 技术概述	(455)
10.2.1 全球定位系统	(455)
10.2.2 地理信息系统	(458)
10.2.3 遥感技术	(461)
10.2.4 林业生产 3S 信息流集成	(462)
10.3 林业智能决策支持系统	(464)
10.3.1 决策支持系统	(464)
10.3.2 智能决策支持系统	(464)
10.3.3 林业智能决策支持系统	(465)
10.4 林业系统大数据与数据挖掘技术	(468)
10.4.1 大数据的概念和特点	(468)
10.4.2 大数据在机电产品上的应用	(469)
10.4.3 大数据在农林业领域的跨界应用	(470)
10.4.4 数据挖掘及其分类与过程	(472)
10.4.5 数据挖掘在林业上的应用	(473)
10.5 林业物联网技术	(474)
10.5.1 物联网的概念与发展	(474)
10.5.2 物联网的技术体系	(475)
10.5.3 智能林业物联网	(479)
第11章 林业机器人设计	(487)
11.1 机器人系统分析	(488)
11.1.1 机器人及其分类	(488)
11.1.2 机器人技术的发展与应用	(488)
11.1.3 机器人系统构成	(490)
11.2 林业机器人行走机构	(491)

11.2.1	轮式行走机构	(491)
11.2.2	腿式行走机构	(492)
11.2.3	轮腿复合式行走机构	(493)
11.2.4	履带式行走机构	(493)
11.3	机器人关键技术及控制系统	(494)
11.3.1	机器人导航	(495)
11.3.2	同步定位与地图构建	(496)
11.3.3	多机器人系统简介	(497)
11.4	典型林业机器人设计实例	(497)
11.4.1	杂草控制机器人	(498)
11.4.2	爬树机器人	(500)
11.4.3	伐根清理机器人	(504)
11.4.4	植树机器人	(504)
11.4.5	果园机器人	(505)
11.4.6	消防机器人	(505)
11.4.7	森林巡防机器人	(505)
11.4.8	智能化采茶机器人	(506)