



普通高等教育农业部“十二五”规划教材  
全国高等农林院校“十二五”规划教材

# 机械原理

第二版

机械类专业用

陈红 贺俊林 主编

 中国农业出版社

普通高等教育农业部“十二五”规划教材  
全国高等农林院校“十二五”规划教材

# JIXIE YUANLI 机械原理

第二版

机械类专业用

陈红 贺俊林 主编

中国农业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

机械原理 / 陈红, 贺俊林主编. —2 版. —北京:  
中国农业出版社, 2015. 6

普通高等教育农业部“十二五”规划教材 全国高等  
农林院校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-109-19862-3

I. ①机… II. ①陈… ②贺… III. ①机构学-高等  
学校-教材 IV. ①TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 079124 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

策划编辑 薛波

文字编辑 李兴旺

北京中科印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

2008 年 2 月第 1 版 2015 年 11 月第 2 版

2015 年 11 月第 2 版北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 19.25

字数: 458 千字

定价: 34.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

## 内容提要

本书是在全国高等农林院校“十一五”规划教材《机械原理》(第一版)(程友联主编)的基础上,根据教育部机械基础课教学指导分委员会的机械原理课程教学基本要求和几年来各校使用这本教材的实践经验修订而成的。

除绪论外,本书共分三篇十章。第一篇机构组成和分析,是研究机构的一般理论,包括机构的结构及其可动性分析和平面机构的性能分析两章,是全书的基础。第二篇常用机构及设计,包括平面连杆机构及其设计、凸轮机构及其设计、齿轮机构及其设计、齿轮系及其设计、间歇运动机构及其设计、其他常用机构等六章,主要阐述各种常用机构的类型、特点、应用、特性,以及设计理论和方法,是全书的重点。第三篇机构系统设计,包括机构系统的动力学设计和机构系统运动方案设计两章,主要介绍机构系统设计的理论,全篇涵盖机构的选型与组合设计、工艺动作过程构思与运动协调设计、机构系统运动方案设计等内容,是课程的提高篇。

本书可作为高等院校机械类专业的教材,也可供其他相关专业的师生与工程技术人员参考。



## 第二版编审人员

主 编 陈 红 贺俊林

副主编 江家伍 高洪伟 万 霖

参 编 (按姓名笔画排序)

王 伟 王洪波 张 涵

胡 娟 潘海兵

主 审 程友联

## 第一版编审人员

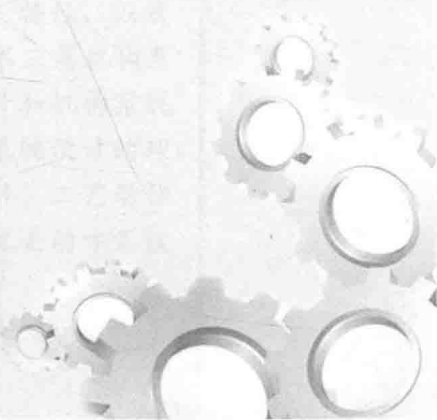
主 编 程友联

副主编 贺俊林 李娟玲 江家伍

参 编 赵祥雄 侯明亮 权伍荣

张维英 王树才 王树英

主 审 杨家军





本书是普通高等教育农业部“十二五”规划教材、全国高等农林院校“十二五”规划教材，是在第一版基础上，根据近年来各校使用这本教材的教学实践经验和当前教学改革及我国机械工业发展的需要修订而成的。

本书维持第一版教材的总的体系，保持了原书在内容与体系上的改革特点：建立了机构分析、基本机构设计及机构系统设计的机械原理课程内容的新体系；按照机构分析为设计服务的原则，简化了机构分析，加强了机构设计内容；增加了机构系统设计内容，阐明了动力学和机械产品设计方法，强化了工程实践内容。

本次修订，在内容上做了适当的更新和增删，如增加平面多杆机构简介，介绍瞬心法和矢量方程图解法综合运用；对某些叙述较烦琐的部分酌予以删减；对部分章节顺序进行了调整，如将机械的效率与自锁调至第三篇；增补了一些习题。这些调整使教材在内容上保持先进性、实用性、工程性，同时强调教材体系的严密性。

为了方便教与学，各章均在章前配有内容提要，在章后配有内容小结、文献阅读指南和习题；书后配有附录；配有供教师用的课件（选用此教材的教师可与中国农业出版社责任编辑 010-59194873，[cbsxuebo@126.com](mailto:cbsxuebo@126.com) 联系索取）。

本书原版由华中农业大学、山西农业大学、南京农业大学、安徽农业大学、河南农业大学、青岛农业大学、延边大学、大连水产学院等八所学校联合编写。本书再版由华中农业大学陈红、山西农业大学贺俊林担任主编，参加本书再版修订工作的有陈红（绪论）、塔里木大学张涵（第一章）、内蒙古农业大学王洪波（第二章）、安徽农业大学江家伍（第三章）、黑龙江八一农垦大学万霖（第四章）、山西农业大学胡娟（第五章）、青岛农业大学高洪伟（第六章）、华中农业大学潘海兵（第七章、第八章）、塔里木大学王伟（第九章）、山西农业大学贺俊

林（第十章）。最后由陈红负责全书的统稿和定稿工作。

再版修订过程中，原版主编华中农业大学程友联教授提出了不少宝贵的意见，特致以衷心的感谢。

本书难免有漏误及不当之处，敬请学界同仁和广大读者批评指正。

编 者

2014年11月





本教材是全国高等农林院校“十一五”规划教材，适用于高等院校机械类相关专业本科的机械原理课程的教学。本教材按照机械基础课教学指导分委员会的“机械原理课程教学基本要求”编写，并在其基础上适当地扩充了内容。在本教材编写的过程中吸收了近年来在教学改革中形成的正确的教学思想和一些改革成果。

本教材由机构组成和分析、常用机构及其设计和机构系统设计三篇内容组成。

第一篇研究机构的一般理论，包括机构组成和机构分析两部分，是全书的基础。第二篇阐述各种常用机构的类型、特点、应用、特性，以及设计理论和方法，是全书的重点。第三篇介绍机构系统设计理论，包括动力学设计和机构运动方案设计，是课程的提高篇。

本教材的特点：

1. 在机构运动确定性、传统的运动学结构方面讨论的基础上，增加了运动确定的力学条件，把机构运动与结构和运动尺寸及主动件联系起来，以解决机构歧点和死点位置等问题。同时使学生知道机构是否有确定的运动不仅与运动学结构有关，还与运动尺寸及主动件选择有关。

2. 在内容编排上，将机构运动分析、机构力分析、机构效率和自锁及机构的真实运动合为机构性能分析，它与机构的结构分析构成机构分析，作为各种机构设计的基础。机构系统动力学设计讨论了机构功率平衡设计和质量平衡设计。

3. 将常用机构的特性分为运动学特性和力学特性。

4. 为了方便教与学，各章均在章前配有内容提要，在章后配有内容小结、文献导读和习题；书后配有附录；配有供教师用的免费课件，可在全国农业教育教材网

(<http://www.qgnyjc.com>) 下载。

本教材可作为高等院校工科机械类相关专业的教学用书,也可供相关专业师生及工程技术人员参考。

本教材由华中农业大学、山西农业大学、南京农业大学、安徽农业大学、河南农业大学、青岛农业大学、延边大学、大连水产学院共八所学校联合编写。由华中农业大学程友联教授担任主编,山西农业大学贺俊林教授、南京农业大学李娟玲副教授、安徽农业大学江家伍副教授担任副主编。教材由程友联教授统稿,华中科技大学杨家军教授担任主审。参加本教材编写的有华中农业大学程友联教授(绪论、各篇首)、河南农业大学赵祥雄副教授(第一章)、安徽农业大学江家伍副教授(第二章第二节、第三章)、南京农业大学李娟玲副教授(第二章第一节、第四章)、山西农业大学贺俊林教授(第五章、第九章)、青岛农业大学侯明亮副教授(第二章第三节、第六章)、大连水产学院张维英教授(第七章)、延边大学权伍荣副教授(第二章第四节、第八章)、华中农业大学王树才副教授和青岛农业大学王树英教授(课件编写与制作)。

教材编写组对本教材编写工作热情关注和大力支持的领导和老师表示衷心的感谢。

我们是第一次按这样的体系编写教材,限于水平,错误和欠妥之处在所难免,敬请学界同仁和广大读者批评指正。

编 者

2007年12月

# 目 录

第二版前言  
第一版前言

绪论	1
第一节 机械原理课程的研究对象及基本概念	1
第二节 机械原理课程的任务与主要内容	3
第三节 机械原理课程的学习方法	4
第四节 机械原理学科发展趋势简介	4

## 第一篇 机构组成和分析

第一章 机构的结构及其可动性分析	8
第一节 机构组成及机构运动简图	8
第二节 平面机构的自由度	14
第三节 机构具有确定运动的条件	18
第四节 平面机构的组成原理和结构分析	19
第二章 平面机构的性能分析	30
第一节 概述	30
第二节 平面机构的运动分析	31
第三节 平面机构的力分析	44

## 第二篇 常用机构及设计

第三章 平面连杆机构及其设计	60
第一节 连杆机构及传动特点	60
第二节 平面四杆机构的类型和应用	60
第三节 平面四杆机构的特性	67
第四节 平面四杆机构的设计	75
第五节 平面多杆机构简介	84

<b>第四章 凸轮机构及其设计</b> .....	91
第一节 凸轮机构的类型和应用 .....	91
第二节 凸轮机构的特性 .....	93
第三节 凸轮机构设计 .....	101
第四节 高速凸轮机构简介 .....	112
<b>第五章 齿轮机构及其设计</b> .....	116
第一节 齿轮机构的传动特点 .....	116
第二节 齿轮机构的类型 .....	116
第三节 齿轮的齿廓曲线 .....	117
第四节 渐开线标准齿轮各部分的名称、基本参数和尺寸 .....	120
第五节 渐开线齿轮的啮合传动 .....	124
第六节 渐开线齿轮的范成加工和轮齿根切 .....	128
第七节 渐开线齿轮的变位修正 .....	132
第八节 斜齿圆柱齿轮机构 .....	139
第九节 蜗杆机构 .....	145
第十节 圆锥齿轮机构 .....	149
<b>第六章 齿轮系及其设计</b> .....	155
第一节 齿轮系的类型 .....	155
第二节 定轴轮系的传动比 .....	158
第三节 周转轮系的传动比 .....	161
第四节 复合轮系的传动比 .....	164
第五节 齿轮系的功用 .....	165
第六节 行星轮系的效率 .....	168
第七节 行星轮系设计的基本知识 .....	171
第八节 其他齿轮系简介 .....	174
<b>第七章 间歇运动机构及其设计</b> .....	181
第一节 棘轮机构 .....	181
第二节 槽轮机构 .....	187
第三节 擒纵轮机构 .....	192
第四节 凸轮式间歇运动机构 .....	193
第五节 不完全齿轮机构 .....	195
<b>第八章 其他常用机构</b> .....	200
第一节 非圆齿轮机构 .....	200
第二节 螺旋机构 .....	203

第三节	万向铰链机构 .....	206
第四节	摩擦传动机构 .....	209
第五节	广义机构 .....	210
第六节	组合机构 .....	214
<b>第三篇 机构系统设计</b>		
<b>第九章</b>	<b>机构系统的动力学设计</b> .....	<b>220</b>
第一节	作用在机械上的力与机械的运转 .....	220
第二节	机械系统运动微分方程 .....	221
第三节	机构系统速度波动的调节 .....	226
第四节	机构质量平衡设计 .....	234
第五节	机械的效率与自锁 .....	244
<b>第十章</b>	<b>机构系统运动方案设计</b> .....	<b>254</b>
第一节	概述 .....	254
第二节	机械功能原理的拟定 .....	255
第三节	执行机构的运动设计和原动机的选择 .....	257
第四节	机构的选型 .....	260
第五节	机构的组合 .....	262
第六节	机构选型和组合的原则 .....	268
第七节	机构系统运动方案的拟订 .....	269
第八节	机构传动系统方案的实例 .....	273
附录	常用名词术语中英文对照 .....	281
参考文献	.....	294

# 绪 论

## 第一节 机械原理课程的研究对象及基本概念

机械原理也称为机器理论与机构学。

机械原理是研究机械的运动和动力特性，以及机械运动方案设计的一门基础技术学科，它是机械设计理论和方法中的重要方向。机械原理课程的研究对象是机械，机械包括机器、工具、器械、仪器，范围较广，通常是机器与机构的总称。

### 一、机 器

我们对机器和机构并不陌生，在日常生活中，接触过洗衣机、电风扇、缝纫机、汽车、起重机、电动机等；各种不同的机器有不同的形式、构造和用途，但这些机器就其组成来说，都具有共同的特征。

图 0-1 所示为小型冲压机，由偏心轮 1，齿轮 1'，杆件 2、3、4，滚子 5，槽凸轮 6，齿轮 6'，滑块 7，压头 8，机座 9 组成。主动齿轮 1' 与偏心轮 1 固联成一个构件，绕转轴  $O_1$  做顺时针转动；齿轮 6' 与槽凸轮 6 固联成一个构件，绕转轴  $O_2$  做逆时针转动。原动件的运动分两路传递：一路由偏心轮 1 经连杆 2、滑杆 3 传递给杆件 4；另一路由齿轮 1' 经齿轮 6'、槽凸轮 6、滚子 5 传递给杆件 4。两路运动经过杆件 4 的合成，由滑块 7 传递给压头 8，实现上下移动。以上各部分协同配合。

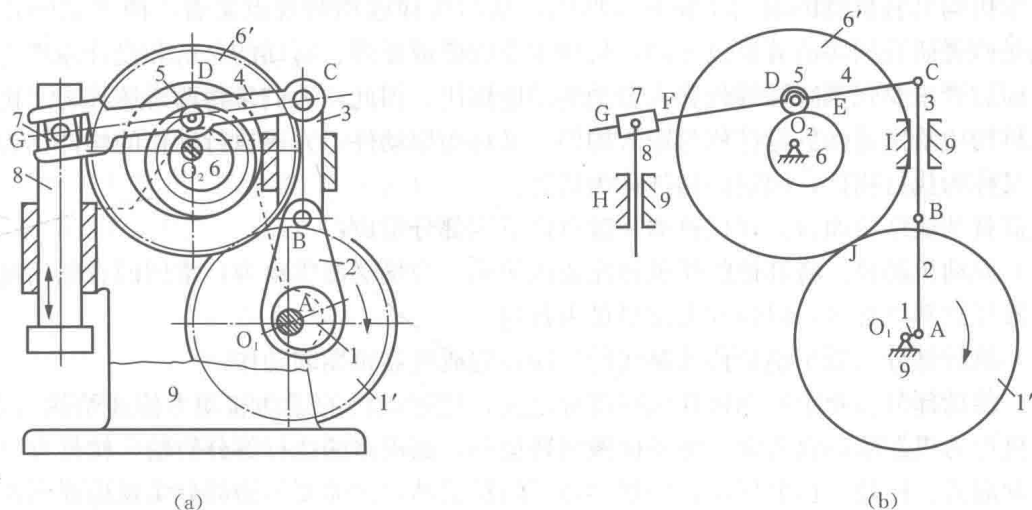


图 0-1 小型冲压机  
(a) 结构图 (b) 机构运动简图

从上述例子可知,虽然机器的种类繁多,各种机器的构造、用途和性能各不相同,但从其组成、各部分的运动关系及功能关系来看,都具有以下几个共同的特征:①它们都是一种人为的实物的组合体;②组成它们的各部分之间都具有确定的相对运动;③能够用来转换能量,完成有用功或处理信息。凡同时具备上述三个特征的实物组合体就称为机器。机器的种类繁多,归纳起来,机器能实现能量转换功能、工艺功能、动作功能和信息转换功能。据此将机器分为力能机器、工艺机器、动作机器和信息机器四大类。

力能机器的功能是实现其他形式能量与机械能之间的相互变换。例如,内燃机、压力机、汽轮机、电动机、发电机等属于力能机器。

工艺机器的功能是对物料进行工艺性加工。例如,加工机床、织布机、包装机等属于工艺机器。

动作机器的功能是改变物品或人的位置。例如,汽车、飞机、起重机等属于动作机器。

信息机器的功能是实现信息的传递和变换。例如,复印机、打字机、绘图机、传真机等属于信息机器。

## 二、机 构

在前述冲压机中,偏心轮 1 和连杆 2、滑杆 3、机座 9 组合在一起,成为曲柄滑块机构;将偏心轮的连续转动变为滑杆的往复运动;主动齿轮 1' 和齿轮 6'、机座 9 组合在一起成为齿轮机构,用于传递两轴之间的运动;槽凸轮 6 和滚子 5、机座 9 组合在一起成为凸轮机构,用于将运动传递给杆件 4。

由以上例子可以看出,机构具有机器的前两个特征:①它们都是一种人为的实物的组合体;②组成它们的各部分之间都具有确定的相对运动。

通过以上分析可知,机器是由各种机构组成的,可以完成能量转换、做机械功或处理信息;而机构仅仅起着运动传递和运动形式转换的作用。机器的功能是由机构来实现的,一部机器,可以是多种机构的组合体,也可能只含有一个最简单的机构,例如人们所熟悉的电动机,就只含有一个由定子和转子所组成的双杆回转机构。

由于机构具有机器的前两个特征,所以,从结构和运动的观点来看,两者之间并无区别,只是两者研究问题的着重点不同,机构主要以组成原理、运动的分析和设计原理为研究内容,而后者主要强调减轻或代替人劳动的功能作用。因此,人们常将两者统称为“机械”。

在机构中给定运动的构件称为输入构件,又称为原动件;完成执行动作的构件称为输出构件,又称为执行构件;固定的构件称为机架。

机器就功能结构而言,现代机器一般由以下四部分组成:

(1) 原动机部分。将其他的能量转化成机械能,为机器提供动力,常用的有电动机、内燃机、液压缸和气缸等,以各种电动机最为普遍。

(2) 执行部分。处于整个传动路线的终端,完成机器预期的动作。

(3) 传动部分。介于原动机和执行部分之间,把原动机的运动和动力传递给执行部分。以电动机作为机器原动机为例,电动机做回转运动,而机器的执行部分的输入构件有可能有各种运动形式:回转、往复摆动、往复移动、间歇运动,这需要传动部分实现运动形式的转换;一般电动机的转速都比较高,而机器的执行部分的输入构件的速度则各不相同,而且常要求多种不同的速度,这需要传动部分实现运动速度的转换。

(4) 控制部分。控制部分的功能是控制机器的其他基本部分,使操作者随时实现或终止各种预定的功能。

由于机械原理课程一般不包括驱动装置的特性及控制装置,涉及的是机构和机构系统,因此,机械原理课程研究的对象与其说是机械不如说是机构,这就是本书一般用机构系统代替机械系统的原因。

## 第二节 机械原理课程的任务与主要内容

机械原理课程的内容与课程的定位有关。

在机械产品设计中,当设计任务确定后,就进行机器的本体设计。本体设计内容反映在图纸上,大体可分成方案设计、结构设计和零件设计三个阶段。

(1) 在方案设计阶段,把设计任务书变成机构运动简图。根据设计任务,选定工作原理,按工作原理的要求,提出各种可能的方案,以及进行具体的机构的选型和尺度设计,把机器各部分之间的运动和动力关系,以及各个机构在机器中的位置,用规定的简单符号表达在图纸上,这就形成了机器的机构运动简图,如图 0-1(b) 为图 0-1(a) 所示小型冲压机的机构运动简图。一台机器有多种方案,对各种方案进行分析、评价、决策,确定最佳运动方案。

(2) 在结构设计阶段,把机器的机构运动简图变成机器的装配图。根据机构运动简图,考虑与决定各个部件的相对位置及连接方法,主要零件的具体形状、尺寸、材料、制造、安装、配合等一系列问题,并进行类比、选择、计算与实验等一系列的工作,绘制出机器的装配图。

(3) 在零件设计阶段,把机器的装配图变成供加工用的零件图。根据机器的装配图,从机器的总体要求出发,综合考虑零件的强度、刚度、寿命、工艺性,以及重量、体积、成本的限制等,来确定零件的材料、尺寸、结构要素、制造精度等,并选定技术条件,绘制供加工用的零件图。

结构设计和零件设计是运用机械设计课程的知识来完成的,而方案设计是运用机械原理课程的知识来完成的。由此可见,机械原理的定位是学习确定机构运动方案的基本理论与方法。其任务是为机构运动方案设计奠定坚实的理论、方法与技能的基础。掌握机构和机构系统的运动学、动力学分析与设计的基本理论、基本知识和基本技能。培养学生综合应用已学过的基础理论知识和工程实践知识进行基本机构的分析和设计的能力,以及初步具有拟订机构系统运动方案的能力。这就决定了机械原理课程内容如下:

(1) 机构组成和分析。机构组成和分析研究机构的组成原理、机构运动的可能性及确定性。

机构分析有以下内容:结构分析,即研究现有机构组成合理性,确定机构的级别;机构运动分析,即研究在给定原动件运动的条件下,机构各点的轨迹、运动规律等运动特性;机构力分析,即研究机构各运动副中的反力和机械平衡力的计算方法;机构真实运动规律分析,即已知力作用下机械的真实运动规律;机械效率分析,即研究机构及各种组合的效率计算方法及各机构对机械效率的影响。

(2) 常用机构及设计。本课程将重点讨论连杆机构、齿轮机构、凸轮机构及轮系的基本



理论和设计方法, 简要地介绍其他机构的工作原理、特点及用途。

(3) 机构系统设计。它包括机构系统的动力学设计, 即讨论机构系统的质量平衡(惯性力系平衡)和功率平衡(速度波动调节)基本理论和设计方法; 机构系统运动方案设计, 即机构系统运动方案设计的步骤、功能分析、机构选型与组合、机构运动规律和机构系统的协调设计等的基本原则和方法。

### 第三节 机械原理课程的学习方法

机械原理课程是一门技术基础课。一方面它较物理、理论力学等理论课程更加结合实际; 另一方面, 它又与专业机械课程有所不同, 它不具体研究某种机械和零件的结构, 而是研究各种机械中的共性规律。例如, 不研究内燃机、压缩机和冲床等, 而是研究它们的主体机构——曲柄滑块机构结构的组成原理和运动确定性, 以及机构的运动分析和设计。为了学好这门课程, 在学习过程中, 就要注意搞清基本概念, 理解基本原理, 掌握机构分析和机构设计的基本方法。

机构是几何可变系统, 看到机构运动简图就要想象它的各个构件是怎样“动”的, 要练习运用形象思维能力, 把静止画面中的机构看得“动”起来, 在脑中现出动的现象。面对机构运动简图, 如果只看成几段静止的线条就不能学好这门课程。

深入理解和全面掌握本课程的基本研究方法。这些方法有杆组法、转换机构法、机构演化法、等效法等, 这些方法使我们容易对各种机构进行分析和设计。

### 第四节 机械原理学科发展趋势简介

随着科学技术和工业生产的飞跃发展, 机械原理在以下几个方面引起人们的重视。

**1. 促进机构及其系统的设计理论和方法的研究** 在机械方案设计中, 要加强机构类型、机构创新设计方法研究, 进行机构系统设计理论与方法研究, 建立功能结构表示库、执行机构库, 研究机构系统设计推理方法和评价方法, 建立机构系统设计专家系统, 逐步实现机构系统设计的智能化、自动化和快速化。

**2. 促进广义机构设计的研究** 机电一体化技术的发展, 使具有液压、电气、气动、磁性和光电等元件的机构广泛应用, 这种机构称为广义机构。广义机构类型及结构组成原理和设计方法需要大力开展研究, 使各种技术取长补短, 探索更加灵巧、完善的执行机构。

**3. 推动机器人机构深入研究** 针对机器人机构的类型、工作空间分析、尺度综合以及工作稳定性等问题, 探讨更加有效的设计理论和方法, 同时继续进行考虑关节弹性、冗余度和冗余机器人机构问题研究, 提高机器人机构实用效果, 扩大其应用范围, 使虚拟轴机床有进一步发展。

**4. 推动机构及其系统的动态分析与设计** 随着机械向高速、高精度、高性能方向的发展, 机构及其系统的动力学问题更加突出。应根据工程需要, 探索考虑构件弹性和运动副间隙的机构动力综合计算方法、机构系统的动力学建模技术和动力学综合方法、机构系统的振动主动控制等问题。

为了确保机械工作可靠, 机械系统的状态监测和故障诊断的专家系统已成为新的研究热点。