

## 内 容 提 要

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是面向 21 世纪课程教材。

为了培养 21 世纪的创新人才,本书围绕机械设计着重阐述如何建立创新意识、启发创新思维,介绍创新方法,力求理论联系实际,提高读者创新能力。

本书紧密结合机械设计实践,分析创新思维和方法在机械原理方案设计、机构设计、结构设计等各阶段的应用,分析开发设计、变型设计和反求设计等各类创新设计的特点。

全书共分三篇。第一篇创新设计的理论基础,介绍创造性思维、创造原理;第二篇创新设计方法,包括常用创新技法、机械原理方案的创新设计、机构方案的创新设计、结构方案的创新设计、反求设计等内容;第三篇用 16 个机械创新设计案例从各个角度反映机械创新设计的实践应用。

本书可作为高等学校的教材,也可供有关教师、工程技术人员和科研人员参考。

机械创新设计

黄纯颖 主编

---

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街55号

邮政编码 100022

电 话 010-59610600

传 真 010-59610601

网 址 <http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷

纸张供应 山东高唐纸业集团总公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

版 次 年 月 第 版

印 张 6.5

印 次 年 月 第 次印刷

字 数 140千字

定 价 15.00元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

责任编辑 马盛明  
封面设计 张楠  
责任绘图 李维平  
版式设计 史新薇  
责任校对 胡晓琪  
责任印制

# 前 言

创新是技术和经济发展的原动力,是国民经济发展的重要因素。当今世界各国之间在政治、经济、军事和科学技术方面的剧烈竞争,实质上是人才的竞争,而人才竞争的关键是人才创造力的竞争。

为了适应 21 世纪人才培养的要求,必须转变教育观念,探索新的培养模式,而改革的重点是加强学生素质教育和创新能力的培养。

在面向 21 世纪机械设计系列课程教学内容和课程体系改革的实践过程中,我们突破原有课程的界限,进行教学体系的整体优化,改革了教学内容,并增加了设计实践环节,但同时迫切意识到在培养学生综合创新能力方面还需要加大力度。1995 年 5 月在杭州召开了第一届全国机械创新设计教学研讨会,会议建议组织编写《机械创新设计》一书。

在“教育部机械原理与设计课程教学领导小组”的领导和支持下,清华大学、北京科技大学和长沙铁道学院的 30 位教师在总结多年教学经验的基础上,广泛收集资料,精心编写成本书。

本书从创造学和设计方法学的基本理论出发,研究讨论创造性思维、创造原理和创造技法,针对开发型、变异型、反求型等各种类型设计,围绕设计中的机械原理方案设计、机构设计、结构设计等环节,从各个角度广泛探讨创新设计的规律,具有一定的理论系统。创新能力的培养重在创新实践,本书密切结合工程设计实践,引入大量创新实例,特别是第三篇编列的 10 个综合性机械创新设计案例,引导读者去观察、分析并培养兴趣,从而亲手进行创新设计实践。本书的编写不局限于某门课程,而是配合创新设计能力培养的理论和实践环节,力图总结规律、联系实际、深入浅出、便于自学,各章之间既有联系,又有一定独立性,读者可根据需要自由选读。

本书第 1 章、第 2 章、第 3 章、案例 1 案例 2 案例 3 由清华大学黄纯颖编写;第 4 章、案例 4 案例 5 由长沙铁道学院唐进元编写;第 6 章、第 7 章 源 1 和 源 2 由长沙铁道学院肖云龙编写;第 8 章 源 3 和 源 4 第 9 章、案例 6 由清华大学高志编写;第 10 章 源 5 案例 7 由北京科技大学陶晋编写;第 11 章、案例 8 由北京科技大学于晓红编写;案例 9 案例 10 由长沙铁道学院胡军科编写。全书由黄纯

颖担任主编。

本书承北京科技大学罗圣国教授审阅,他提出许多宝贵意见和建议,作者在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,错误和不当之处在所难免,恳请各位读者批评指正。

作 者

袁 晓 斌

# 目 录

## 第一篇 创新设计的理论基础

第 1 章 引言 .....	猿
1.1 创新与社会发展 .....	猿
1.2 创新人才的培养 .....	源
1.2.1 21 世纪教育的特点 .....	源
1.2.2 创新能力的培养 .....	源
1.3 创新设计 .....	远
1.3.1 设计过程 .....	远
1.3.2 创新设计的类型 .....	苑
1.3.3 创新设计的特点 .....	苑
第 2 章 创造性思维 .....	员
2.1 思维及类型 .....	员
2.1.1 思维概述 .....	员
2.1.2 形象思维和抽象思维 .....	圆
2.1.3 发散思维和收敛思维 .....	猿
2.1.4 动态思维和有序思维 .....	猿
2.1.5 直觉思维和创造性思维 .....	苑
2.2 创造性思维基础知识 .....	苑
2.2.1 创造性思维的形成和发展 .....	愿
2.2.2 创造性思维的特征 .....	圆
2.2.3 创造性思维的激发和捕捉 .....	圆
2.3 创造性思维与创造活动、创造力 .....	圆
2.3.1 创造活动 .....	圆
2.3.2 创造力的内涵 .....	猿
2.3.3 创造性思维与创造力的关系 .....	猿
2.3.4 创造力的构成要素 .....	圆
参考文献 .....	愿
第 3 章 创造原理 .....	圆
3.1 综合创造原理 .....	圆

猿猿猿 综合创造的基本特征 .....	圆
猿猿圆 综合创造的基本途径 .....	猿
猿猿 分离创造原理 .....	猿
猿猿猿 分离创造的基本特征 .....	猿
猿猿圆 分离创造的基本途径 .....	猿
猿猿 移植创造原理 .....	猿
猿猿猿 移植创造的基本特征 .....	猿
猿猿圆 移植创造的基本途径 .....	猿
猿源 物场分析原理 .....	源
猿源源 物场分析的概念 .....	源
猿源源 物场分析的创造原理 .....	源
猿源 还原创造原理 .....	源
猿源源 还原创造的概念 .....	源
猿源源 还原创造的基本模式 .....	源
猿源 价值优化原理 .....	源
猿源源 产品价值的概念 .....	源
猿源源 价值优化的基本途径 .....	源
参考文献 .....	源

## 第二篇 创新设计方法

第 源章 常用创新技法 .....	缘
源源 群体集智法 .....	缘
源源源 智力激励法 .....	缘
源源源 书面集智法 .....	缘
源源源 函询集智法 .....	缘
源圆 系统分析法 .....	缘
源源源 设问探求法 .....	缘
源源源 缺点列举法 .....	缘
源源源 希望点列举法 .....	远
源源源 特性列举法 .....	远
源源源 形态分析法 .....	远
源猿 联想类比法 .....	远
源源源 联想法 .....	远
源源源 类比法 .....	猿
源源源 仿生法 .....	猿
源源源 综摄法 .....	猿
源源 转向创新法 .....	愿
源源源 变换方向法 .....	愿

源猿圆 逆向法 .....	猿圆
源猿 组合创新法 .....	猿源
源猿猿 功能组合 .....	猿远
源猿肆 材料组合 .....	猿苑
源猿伍 同类组合 .....	猿愿
源猿陆 异类组合 .....	猿园
源猿柒 技术组合 .....	猿员
源猿捌 信息组合法 .....	猿猿
参考文献 .....	猿源
<b>第 缘章 原理方案的创新设计</b> .....	猿远
缘源 功能设计法 .....	猿苑
缘源猿 功能的描述 .....	猿苑
缘源肆 功能分类 .....	猿愿
缘源伍 原理方案的总体分析 .....	猿怨
缘源陆 功能分解 .....	猿园
缘源柒 功能求解 .....	猿员
缘源 设计目录 .....	猿远
缘源猿 原理解法的设计目录 .....	猿远
缘源肆 设计目录的编制 .....	猿园
缘源 评价系统 .....	猿远
缘源猿 评价目标 .....	猿远
缘源肆 评分法 .....	猿愿
缘源伍 模糊评价法 .....	猿员
参考文献 .....	猿源
<b>第 远章 机构创新设计</b> .....	猿缘
远源 机构形式设计的原则 .....	猿缘
远源猿 机构尽可能简单 .....	猿缘
远源肆 尽量缩小机构尺寸 .....	猿苑
远源伍 应使机构具有较好的动力学特性 .....	猿愿
远源 机构的选型 .....	猿怨
远源猿 按运动形式要求选择机构 .....	猿怨
远源肆 机构方案的评价 .....	猿员
远源 机构的构型 .....	猿猿
远源猿 利用组合原理构型新机构 .....	猿猿
远源肆 利用机构的变异构型新机构 .....	猿愿
远源伍 利用再生运动链法构型新机构 .....	猿缘
远源陆 广义机构创新设计 .....	猿员
参考文献 .....	猿愿

第 苑章 结构方案的创新设计 .....	苑园
苑园 结构方案的变异设计 .....	苑园
苑园 功能面的变异 .....	苑员
苑园 联接的变异 .....	苑缘
苑园 支承的变异 .....	苑愿
苑园 材料的变异 .....	苑园
苑园 提高性能的设计 .....	苑远
苑园 提高强度和刚度的设计 .....	苑远
苑园 提高精度的设计 .....	苑怨
苑园 提高工艺性的设计 .....	苑园
苑园 结构的宜人化设计 .....	苑远
苑园 适合人的生理特点的结构设计 .....	苑苑
苑园 适合人的心理特点的结构设计 .....	苑怨
苑园 新型结构设计 .....	苑猿
苑园 弹性结构 .....	苑猿
苑园 快动联接结构 .....	苑源
苑园 组合结构 .....	苑远
参考文献 .....	苑愿
第 愿章 反求设计 .....	苑怨
苑园 概述 .....	苑怨
苑园 技术引进与反求设计 .....	苑怨
苑园 反求设计的过程 .....	苑园
苑园 产品反求分析的思路和内容 .....	苑员
苑园 宏观分析 .....	苑员
苑园 详细分析 .....	苑员
苑园 关键技术的分析和反求 .....	苑源
苑园 不同反求对象的分析特点 .....	苑愿
苑园 二次设计 .....	苑员
苑园 变异设计 .....	苑员
苑园 开发设计 .....	苑圆
苑园 计算机辅助反求设计 .....	苑源
苑园 反求设计案例 .....	苑远
参考文献 .....	苑愿

### 第三篇 机械创新设计案例

案例 员 新型内燃机的开发 .....	苑员
案例 圆 低噪声齿轮设计 .....	苑远
案例 猿 小型钢轨砂带成型打磨机设计 .....	苑圆

---

案例源	新型液压拨道器设计 .....	图苑
案例缘	新型轴承拆卸装置设计 .....	图苑
案例远	飞剪机剪切机构的运动设计 .....	图苑
案例苑	仿人步行二足机器人的研制 .....	图苑
案例愿	取纸器设计 .....	图苑
案例怨	打印机的方案设计 .....	图苑
案例园	自行车的演变和开发 .....	图苑

# 第一篇 创新设计的理论基础

# 第1章 引言

## 1.1 创新与社会发展

创新是人类文明进步的原动力。创新对人类科学的发展产生巨大的影响,使科学成为历史上推动社会进步和社会变革的有力杠杆。创新为建立现代科学体系奠定了知识基础,也使人类视野得到前所未有的拓展。

创新是技术和经济发展的原动力,是国民经济发展的基础,是体现综合国力的重要因素。当今世界各国之间在政治、经济、军事和科学技术方面的剧烈竞争,实质上是人才的竞争,而人才竞争的关键是人才创造力的竞争。

江泽民同志多次强调创新的重要性。他指出:“创新是一个民族进步的灵魂,是国家兴旺发达的不竭动力。一个没有创新能力的民族,难以屹立于世界民族之林。”任何一项工作的活力和生机都来自于发展和创新。”

20世纪是知识不断创新,科技突飞猛进,世界深刻变化的世纪。21世纪科技创新将进一步成为社会和经济发展的主导力量。世界各国综合国力竞争的核心是知识创新、技术创新和高新技术产业化。加强技术创新,发展高科技,实现产业化是一项系统工程,对提高国民经济质量和效益,提高我国国际竞争力有决定性的意义。

创造(creation)强调新颖性和独特性,而创新(innovation)是创造的某种实现。

技术创新的特点是以市场为导向,以提高竞争力为目标。技术创新的内容包括从新产品或新工艺设想的产生,经过技术的研究、开发、工程化、商业化生产到市场应用的整个过程。

中华民族是富有创造性的民族。除了众所周知的指南针、火药、印刷术、造纸术四大发明外,我国古代的机械发明、使用和发展,远远领先于世界水平。而农业、航运、石油工业、气象观测中的许多技术以及十进制计算、纸币、多级火箭、水下鱼雷乃至蒸汽机的原始设计等都源于中国。

新中国成立后我国科技人员艰苦创业,取得了“两弹一星”、高速粒子同步加

速器、大庆油田勘探开发、万吨水压机等多项辉煌科技成就,为奠定我国的世界大国地位起了不可磨灭的作用。我国的谷物产量由 1949 年的 1 亿吨增长到 1982 年的 1.95 亿吨,这是在耕地没有增加的情况下,依靠中国科学家袁隆平等研究的杂交优选等技术而实现的,为发展中国家解决吃饭问题提供了重要途径。我们有高度的自信心和强烈的民族自豪感,充分相信中华民族的创造能力,继承和弘扬中华民族敢于创造、善于创造的优良传统,在技术创新上打开新局面。

## 11.1 创新人才的培养

### 11.1.1 21 世纪教育的特点

培养 21 世纪的创新人才,高等学校的创新教育是极为重要的一环。

联合国教科文组织曾作调研并预测,21 世纪高等教育具有五大特点:

**1. 教育**的指导性。打破注入式用统一方式塑造学生的局面,强调学生发挥特长,自主学习。教师从传授知识的权威变为指导学生学习的顾问。

**2. 教育**的综合性。不满足于传授和掌握知识,强调综合运用知识解决问题的综合能力培养。

**3. 教育**的社会性。教育由封闭的校园转向开放的社会,由教室转向图书馆、工厂等社会活动领域。现代高科技信息技术促进远程高等教育的发展,使人们在计算机终端前可以实现自己上大学或进修学习的愿望。

**4. 教育**的终身性。信息时代来临,使人类进入了知识经济的新时代。知识的迅速更替,创新的不断加强,使人们的学习行为普遍化和社会化。为了生存竞争必须不断学习,一次性的学校教育转化为全社会的终生教育(终身教育)。

**5. 教育**的创造性。为适应科技高速发展和社会竞争的需要,建立重视能力培养的教育观。致力于培养学生创新精神和提高创造力。

### 11.1.2 创新能力的培养

为了适应 21 世纪人才培养的要求,必须转变教育观念,探索新的培养模式,而改革的重点是加强学生素质教育和创新能力的培养。

创新能力的开发可以从培养创新意识、提高创造力、加强创新实践等方面着手。

#### 1. 培养创新意识

创新活动首先来自于强烈的创新意识。创新人才应善于发现矛盾,勇于探

索,敢于创新。

创造并非少数杰出人才的专利,要相信人人都有创造力,人人都可以搞发明创造。许多“小人物”搞发明的故事,已给我们很多启示。

诺贝尔物理学奖获得者詹奥吉说:“发明就是和别人看同样的东西却能想出不同的事情。”我国著名教育家陶行知先生在“创造宣言”中提出“处处是创造之地,天天是创造之时,人人是创造之人”,鼓励人们破除迷信,敢于走创新之路。

世界充满矛盾,现实不一定合理。善于观察事物、发现矛盾和需要,这往往是创造的动力和起点。如齿轮是重要的机械零件,渐开线齿轮精度测量项目多,要采用多种测量仪器,长期来一直是加工、使用中的难点。成都某研究所针对此矛盾设计开发了齿轮全误差测量仪,通过被测齿轮与标准齿轮啮合时角速度等参数的变化,直接分析测量齿轮的各项误差,大大简化了测量过程。

创造需要付出非凡的劳动,不能幻想囊中取物、一蹴而就;需要有坚定的毅力,克服重重的困难才能取得胜利。爱迪生研究白炽灯时,为寻找灯丝材料曾用过远用多种植物纤维,试验员用多种耐热材料。远用农药因试验远用次才得到成功,故取此名。

具有敏锐的洞察力,善于发现已有的事物或原理,用以解决矛盾,这也是创新意识的体现。山东有位叫王月山的炊事员观察到灶里的煤火燃烧不旺时,只要拿根铁棍一拨,火苗从拨开的洞眼窜出,火一下就旺起来。后来,他用煤粉做煤球煤饼时,主动在上面均匀地戳几个通孔,不仅火烧得旺,而且节省燃煤。大家熟悉的蜂窝煤就是这样发明的。我国科学家张开逊在调试某仪器时,发现每当有人进入房间,仪器零点即发生飘移。他抓住这个现象,经过多次试验和深入研究,探讨出是气流温度场的作用。在此基础上他根据人的呼吸影响气流温度场和气流密度变化的现象,开发出高分辨度测温仪,精度达员员员员员,用于新生儿和重病病人的呼吸监护,效果很好。

### 圃提高创造力

创造力是人的心理特征和各种能力在创造活动中体现的综合能力。

提高创造力应从培养良好的创造心理,了解创造思维的特点,掌握创造原理和创造技法等方面着手。

创造力受智力因素和非智力因素的影响。智力因素如观察力、记忆力、想像力、思考力、表达力、自控力等是创造力的基础性因素。而非智力因素如理想、信念、情感、兴趣、意志、性格等则是创造力的动力和催化因素。通过对非智力因素的培养,可以调动人的主观能动性,对促进智力发展起重要的作用。

创造技法是以创造学理论、创造思维规律为基础,通过广泛创造活动概括总结出来的创造发明的技巧和方法。掌握创造技法能更自觉、更巧妙地进行创造活动。

人的创造力可以通过学习和训练得到激发,且不断得到提高。美国通用电气公司对有关科技人员进行创造工程课程和实践训练,两年后取得很好的效果,按专利数量测算,人的创造力提高了三倍。湖南轻工业高等专科学校设有创造发明学校,办学愿年多,培养了千余名学员。这些学生毕业前后取得多项创造发明成果和专利,甚至获得国际大奖。

### 猿猴 强创造实践

创造能力培养的关键是加强创造实践。

通过听课、看书、参观、看电影和录像等环节,人们可以得到创新产品和创造方法的许多印象、概念,进而了解一些知识、技法。但只有参加创造的实践,才可能综合运用所学的一切,解决创造的实际问题,形成创造能力。

正如不下水学不会游泳,不开车上路不可能真正学会驾驶汽车一样,所有的创造力训练必须有大量的创造实践。

对于工科院校学生,除必要的理论教学外,一定要设置一系列设计实践环节,让学生在设计实践中培养综合分析和创新设计的能力。

## 员猴 创新设计

设计是人类社会最基本的一种生产实践活动,它是创造精神财富和物质文明的重要环节。创新设计是技术创新的重要内容。

工程设计是建立技术系统的第一道工序,它对产品的技术水平和经济效益起决定性的作用,据统计,产品成本的 ~~死像耀而像~~ 是由设计阶段确定的。

设计的本质是革新和创造。强调创新设计是要求在设计中更充分发挥设计者的创造力,利用最新科技成果,在现代设计理论和方法的指导下,设计出更具有竞争力的新颖产品。

### 员猴 设计过程

设计一般分为产品规划、方案设计、技术设计、施工图设计等四个阶段。

产品规划阶段进行详细的需求调查、市场预测,确定设计参数和制约条件,最后给出详细的设计任务书(或要求表)作为设计、评价、决策的依据。

方案设计(也称概念设计,悦燥燥燥燥燥燥)阶段确定产品的工作原理,并对产品的执行系统、原动系统、传动系统、测控系统等作方案性设计,将有关机械机构、液压线路或电控线路用简图形式表达。

技术设计阶段在原理方案基础上进行具体结构化设计,选材料,定零件的构形和尺寸,进行各种必要的性能计算,最后画出部件的装配草图。为了提高产品的竞争力还需应用先进的设计理论和方法提高产品的价值(改善性能、降低成

本)进行产品的系列设计,考虑人机工程原理提高产品的宜人性,利用工业美学原则对产品进行更好的外观设计等,使产品既实用,又适应市场商品化的需要。这阶段往往要通过模型试验检验产品的功能原理和性能。

施工设计阶段进行零件设计和部件装配图的细节设计,完成全部生产图纸并编制设计说明书、工艺卡、使用说明书等技术文件。

正式投产前产品的试制将检验加工工艺和装配工艺,并进行较详细的成本核算,从而提出修改意见,进一步完善整个产品的设计。

计算机的应用大大推进设计速度。目前可通过计算机辅助设计进行方案设计、技术设计并绘制图形。或者直接输出信号,进行产品的数控切削加工或成型加工。但不论采用什么设计手段,合理掌握设计过程,抓住每个设计阶段的特点和重点,有利于调动设计人员的创新精神,提高产品的设计质量。

## 员猿 创新设计的类型

根据设计的内容特点,创新设计可分为开发设计、变异设计和反求设计三种类型。

**员猿 开发设计。**针对新任务,提出新方案,完成从产品规划、原理方案、技术设计到施工设计的全过程。

**员猿 变异设计。**在已有产品的基础上,针对原有缺点或新的工作要求,从工作原理、机构、结构、参数、尺寸等方面进行一定变异,设计新产品以适应市场需要,提高竞争力。如在基本型产品的基础上,开发不同参数、尺寸或不同功能性能的变型系列产品就是变异设计的结果。

**员猿 反求设计。**针对已有的先进产品或设计,进行深入分析研究,探索掌握其关键技术,在消化、吸收的基础上,开发出同类型的创新产品。

开发设计以开创、探索创新,变异设计通过变异创新,反求设计在吸取中创新,创新是各种类型设计的共同点,也是设计的生命力所在。为此,设计人员必须发挥创造思维,掌握基本设计规律和方法,在实践中不断提高创新设计的能力。

## 员猿 创新设计的特点

创新设计必须具有独创性和实用性,取得创新方案的基本方法是多方案择优。

### 员猿 独创性

创新设计必须具有其独创性和新颖性。

设计者应追求与前人、众人不同的方案,打破一般思维的常规惯例,提出新功能、新原理、新机构、新材料,在求异和突破中体现创新。

洗衣机是重要的家用设备。它的基本原理是通过水流的冲刷带走衣服中的污物,有搅拌式、滚筒式、波轮式,近来又开发出内桶可旋转加强搓洗的离心式,洗净效果更好。而突破机械搅水方式的真空洗衣机、臭氧洗衣机、电磁洗衣机、超声波洗衣机等又为洗衣机创出新路,洗衣机正是在原理、结构不断创新的过程中发展和取得市场效益的。

美国能源部某国家实验所完成了一种超音高速飞机的创新设计,这种代号为“超速飞翔”(匀速飞行)的飞机时速接近 2 万英里(约 3 万马赫),能在 1 小时以内由美国飞抵地球上的任何地点。“超速飞翔”的关键技术是飞机沿地球大气层的边缘飞行时像石块在水面打水漂一样始终相对大气层作飞跳动作,以“打气漂”的方式在一定功率下提速,并保证机身在飞行时增加的热度低于一般超高音速飞机。图 1-1 是“超速飞翔”机,为了更好地发挥“气楔”效应,外形是很有讲究的。

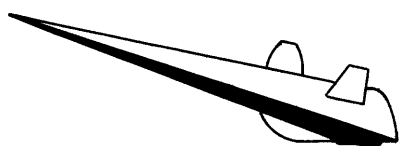


图 1-1 “超速飞翔”机

清华大学第十七届挑战杯科技竞赛展览曾展出由学生设计制造的爬竿机器人,受到人们的好评。这种机器人模仿尺蠖的动作向上爬行,其爬行机构只是简单的曲柄滑块机构(图 1-2)。其中电机与曲柄固接,驱动装置运动。上下两个自锁套是实现上爬的关键结构。当自锁套有向下运动的趋势时,锥套、钢球与圆杆之间会形成可靠的自锁,使装置不下滑,而上行时自锁解除。爬竿机器人的爬行过程如图 1-3 所示。图 1-3a 为初始状态,上下自锁套位于最远极限位置,同时锁紧;图 1-3b 状态曲柄逆时针方向转动,上自锁套锁紧,下自锁套松开,被曲柄连杆带动上爬;图 1-3c 状态曲柄已越过最高点,下自锁套锁紧,上自锁套松开,被曲柄带

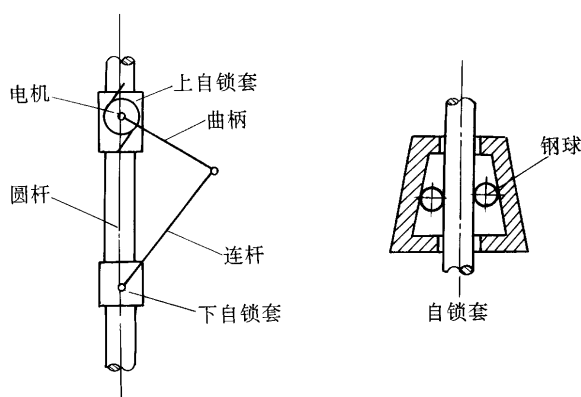


图 1-2 爬竿机器人原理机构简图