

国家工科基础课程教学基地机械基础系列教材

机械基础实验

宋立权 主编



国家工科基础课程教学基地机械基础系列教材

机械基础实验

重庆大学国家工科基础课程机械基础教学基地

机械基础实验教学中心 组编

主 编 宋立权

副主编 朱晓梅 任亨斌

机 械 工 业 出 版 社

本书是机械基础实验教学内容和实验教学体系改革的成果。全书是根据 21 世纪对机械专业人才知识、能力、素质培养的需要和新的机械基础教学体系的要求,以综合设计能力、测试分析能力、创新意识和动手能力培养为主线,与理论教学和机械基础综合课程设计实践相互联系、互为依托又独立设课的机械基础实验教学体系的实验教材。

全书分为二部分。第一部分为《机械基础实验》教材,以实验项目划分,含基础性、设计研究性和综合性实验。对设计研究性和综合性实验,在阐述实验基本原理与方法的基础上,给出实验任务,由学生自己进行实验设计。第二部分为《机械基础实验》教材配套的实验报告。

本书可作为高等学校机械类各专业的实验教学用书,也可作为近机械类和非机械专业类学生的“机械设计基础”课程的配套实验教学用书,部分实验内容还可作为开展大学生机械创新设计竞赛活动的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

机械基础实验/宋立权主编. —北京:机械工业出版社, 2005.8

(国家工科基础课程教学基地机械基础系列教材)

ISBN 7-111-17309-0

I. 机... II. 宋... III. 机械学—实验—高等学校—教材 IV. TH11-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 099872 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:张祖凤 版式设计:冉晓华 责任校对:刘志文

封面设计:鞠 杨 责任印制:陶 湛

北京铭成印刷有限公司印刷

2005 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5 · 8.875 印张 · 342 千字

定价:24.00 元(教材+实验报告)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

重庆大学国家工科基础课程机械基础教学基地机械基础实验教学中心经过近8年的改革与建设,形成了与机械基础新课程体系相适应的机械基础实验教学体系,开设了能满足不同层次教学要求的实验课程。实验教材经过四届的实验教学应用实践和不断完善,形成了能反映从认知到分析深化,再到综合设计与创新设计的科学培养过程,体现知识、能力与素质培养的要求和既重视共性基础训练又注意了因材施教与时代发展要求的体系。教育部在《高等学校基础课实验教学示范中心建设标准》中指出:实验教学应“按照新世纪经济建设和社会发展对高素质创新性人才培养的需求,实验教学与理论教学紧密结合,科学地设置实验项目,并注重先进性、开放性和将科研成果转化为教学实验,形成适应学科特点及自身系统性和科学性的、完整的课程体系,全面培养学生的科学作风、实验技能以及综合分析、发现和解决问题的能力,使学生具有创新、创业精神和实践能力”。本教材是遵循该标准及机械类专业人才培养的要求而构建编写,同时也能满足近机类与非机类不同层次的教学要求。教材的编写注重了以下几个方面:

1) 重视测试手段与方法的先进性与现代化,通过实验了解与掌握现代测试技术与实验研究的方法,特别是传感技术、驱动、控制及信息的采集与处理,培养动手能力和实验研究的能力,了解现代测试方法和手段,掌握基本的测试技能,培养严谨、实事求是和敢于探索的科学态度与作风。

2) 与理论教学结合进一步加深和巩固课堂教学中的某些抽象的概念和原理,加深对机械的运动学动力学特性、规律以及功能结构的认识和理解;培养观察分析能力和工程意识;与综合设计实践紧密结合,为现代设计方法、手段、资料及运动等结构方案的实现与优选,为因材施教进行提高性研究性学习,开展课外科技活动奠定了良好的实验研究理论与技能的基础。

3) 培养学生的观察及综合分析设计能力,了解机构及机械的实

际工作状态,观察分析影响机械性能的相关因素及改善,提高的措施和方法,了解现代机电一体化、自动化、智能化等现代机械系统的工作原理、结构组成及其功能实现的设计思路与方法,激发学生的创新意识,启迪创新思维,学习创新设计与现代设计方法和手段,培养创新能力。

4) 加强机械系统,特别是现代一体化系统的展示、剖析与操作。以加强对机构、零部件在系统中的功能与结构的理解,认识与了解现代机械系统的功能组成及其发展方向,了解现代信号技术、控制技术在机械中的应用及其设计思路与设计方法,为机构结构分析提供真实的对象,受到更加有效的技能训练。

进一步提高高等学校基础课实验室的建设和管理水平,推进实验教学改革,保证教学质量,为高等学校培养适应新世纪国家经济建设与社会发展需要的、具有国际竞争能力的高素质创新性人才创造条件,进行实验教学与实验教学体系的改革,是重庆大学机械基础实验教学中心长期以来研究的课题。本教材正是在探索、研究与实验教学实践的基础上,通过认真总结、不断完善而构建编写的。

参加本教材编写的有:宋立权(实验4、实验8、实验9、实验10、实验11、实验12、实验14),朱晓梅(实验2、实验15、实验16),任亨斌(实验3、实验13;参与实验1、实验5、实验6、实验7),陈柳松(实验5、实验6、实验7),李华萍(实验4、实验10、实验11),俞德生(实验8、实验9),黄文汉(实验1、实验12)。全书由宋立权任主编,朱晓梅、任亨斌任副主编。

几年来,在实验教学体系与实验室改革建设、实验教材的体系构成与编写、应用实践与完善中,何玉林教授、黄茂林教授给予了悉心的指导、支持和帮助;冯组基教授对教材的构建编写提出了宝贵的意见;本教材的编写,得到了重庆大学教材建设基金的部分资助,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,加以时间仓促,缺点错误在所难免,希望使用本书的同志批评指正。

编 者

2005年5月

目 录

前 言

实验 1	机械设计结构展示与分析	1
实验 2	小型工业机器人程序控制及应用	7
实验 3	机械传动性能参数测试	36
实验 4	齿轮啮合及加工原理	50
实验 5	典型机械测绘综合实验	55
实验 6	带、链传动性能综合测试	79
实验 7	液体动压滑动轴承油膜压力与摩擦仿真及测试分析	94
实验 8	轴系结构设计	103
实验 9	机械拆装及结构分析	109
实验 10	机械创新设计综合展示与分析	114
实验 11	机构结构分析及机构运动简图	119
实验 12	机械运动方案创新设计	123
实验 13	机械运动学、动力学参数测试	134
实验 14	机械平衡	141
实验 15	机电流体传动综合控制	157
实验 16	机械创新组合及控制	176
参考文献		194

实验1 机械设计结构展示与分析

1.1 实验目的

- 1) 了解常用机械传动的类型、工作原理、组成结构及失效形式。
- 2) 了解轴系零部件的类型、组成结构及失效形式。
- 3) 了解常用的润滑剂及密封装置。
- 4) 了解常用紧固联接件的类型。

1.2 实验器材

机械设计结构展示与分析实验室陈列的各种装置和零部件：①带传动类；②链传动类；③齿轮传动；④蜗杆传动；⑤螺旋传动；⑥轴；⑦滑动轴承；⑧滚动轴承；⑨润滑剂；⑩密封；⑪联轴器；⑫离合器；⑬联接。

1.3 展示及分析

1.3.1 机械传动

传动装置是置于原动机与工作机之间，把原动机的运动参数、运动形式和动力参数变换为工作机所需的运动参数、运动形式和动力参数的装置。所以传动装置是大多数机器中不可缺少的主要组成部分。

常用的机械传动的类型：带传动、链传动、齿轮传动、蜗轮蜗杆传动、螺旋传动。

1. 带传动

带传动是在两个或多个带轮之间用带作为挠性拉曳元件的传动，工作时依靠零件之间的摩擦或啮合来传递运动和动力。带传动一般由主动轮、从动轮和传动带组成。

根据工作原理不同，带传动可分为摩擦带传动和齿啮合带传动两类。

根据带的横截面形状，摩擦型带传动又可分为平带传动、V带传动、多楔带传动及圆带传动等。平带传动结构简单，制造容易，传动效率较高，带的寿命较长，在传动中心距较大的情况下应用较多。圆带传动常用于低速、轻载、小功率的机器中。V带传动是应用最广的一种带传动。平带和V带传动的失效形式为打滑和疲劳破坏。

啮合型带传动则是依靠带内周的等距横向齿与带轮相应齿槽间的啮合传递运动和动力。同步带传动属于啮合型带传动。

2. 链传动

链传动的构成：由主动链轮、从动链轮和绕在两轮上的一条闭合链条所组成，它靠链条与链轮齿之间的啮合来传递运动和动力。

链有多种类型，按用途可分为传动链、起重链和牵引链三种。起重链和牵引链用于起重机械和运输机械。在一般机械中，最常用的是传动链。传动链的主要类型有短节距精密滚子链（简称滚子链）和齿形链等。

链传动的失效形式：疲劳破坏、铰链磨损、铰链胶合、链被拉断。

3. 齿轮传动

齿轮传动具有传递速度和功率的范围广；传动比稳定，传动效率高；工作可靠，使用寿命长；结构紧凑等优点。适用于平行轴、相交轴和交错轴之间的传动。是近代机器中应用最广泛的一种传动机构。

用于两轴线平行的齿轮传动有：外啮合直齿圆柱齿轮传动、外啮合斜齿圆柱齿轮传动、外啮合人字齿圆柱齿轮传动、齿轮齿条传动、内啮合圆柱齿轮传动。

用于两轴线不平行的齿轮传动有：直齿圆锥齿轮传动、斜齿圆锥齿轮传动、曲齿圆锥齿轮传动、交错轴斜齿轮传动。

齿轮的失效形式：轮齿折断、齿面点蚀、齿面胶合、齿面磨损、齿面塑性变形。

4. 蜗轮蜗杆传动

蜗杆传动是由蜗杆和蜗轮组成。用于传递空间两交错轴之间的回转运动和动力，轴交角一般为 90° 。传动中蜗杆常为主动件。

蜗杆传动能以紧凑的结构获得较大的传动比。在蜗杆传动中，蜗杆推动蜗轮转动就像螺旋传动中螺杆推动螺母一样，轮齿齿面连续滑入进行啮合，没有振动、冲击和噪声。

蜗杆传动的类型：

蜗杆传动根据蜗杆的外部形状可分为圆柱蜗杆传动、环面蜗杆传动和锥蜗杆传动。

圆柱蜗杆传动又分为普通圆柱蜗杆传动和圆弧齿圆柱蜗杆传动。普通圆柱蜗杆可分为阿基米德蜗杆、渐开线蜗杆及延伸渐开线蜗杆三种。

蜗杆传动的失效形式：蜗杆传动的主要失效形式与齿轮传动相似，有轮齿折断、齿面疲劳点蚀、齿面的磨损和胶合等。蜗杆传动由于齿面间相对滑动速度大，发热量大，因而更易发生磨损和胶合。

5. 螺旋传动

螺旋传动的组成：由螺杆和螺母组成，主要用于将旋转运动变换为直线运

动,也可以把直线运动变换为旋转运动。

螺旋传动按其用途可以分为三种类型:

(1) 传力螺旋 以传递动力为主,一般要求用较小的力矩转动螺杆(或螺母)产生轴向运动和较大的轴向推力。传力螺旋多用在工作时间较短、速度较低场合,通常需要有自锁功能,千斤顶、压力机等使用了传力螺旋。

(2) 传导螺旋 以传递运动为主,要求具有较高的传动精度,速度较高且能较长时间连续工作,如机床的进给机构。

(3) 调整螺旋 用于调整并固定零部件之间的相对位置,如螺旋测微器中的螺旋。

1.3.2 轴系零部件

1. 轴

轴是组成机器的重要零件之一。它的主要功用是:支承轴上零件,并使其具有确定的工作位置;传递运动和动力。

根据轴的承载情况不同,轴可分为心轴(工作时只承受弯矩而不传递转矩)、转轴(工作时既承受弯矩又传递转矩)和传动轴(工作时主要传递转矩,不承受弯矩或弯矩很小)三类。

根据轴线的形状,轴又可分为直轴、曲轴和挠性钢丝轴。直轴按其外形的不同,可分为光轴(轴外径相同)和阶梯轴两种。光轴形状简单,加工容易,应力集中源少,但轴上的零件不易装配和定位;阶梯轴指各轴段外径不同的直轴。阶梯轴便于轴上零件的装拆、定位与紧固,在机器中应用广泛。

2. 轴承

轴承是机器中用来支承轴的一种重要零件,其功用是支承轴及轴上零件,并保持轴的旋转精度;同时减小转动的轴与支承之间的摩擦和磨损。按轴承工作时的摩擦性质,分为滚动轴承和滑动轴承两类。

(1) 滑动轴承 滑动轴承工作时的摩擦性质为滑动摩擦。根据其轴承工作表面间的摩擦状态不同分为非液体摩擦轴承、液体摩擦轴承和干摩擦轴承。滑动轴承的结构主要有整体式和剖分式等几种形式。

轴瓦是轴承中直接和轴颈接触的零件,其主要的失效形式主要是磨损和胶合(粘着磨损)。其他常见的失效形式还有压溃、刮伤、疲劳剥伤、腐蚀和由于工艺原因出现的轴承衬脱落等。

轴瓦常用材料:轴承合金(又称白合金、巴氏合金)、青铜、铝合金、灰铸铁及耐磨铸铁等。

(2) 滚动轴承 滚动轴承工作时的摩擦性质为滚动摩擦,具有摩擦阻力小、起动快、效率高($\eta = 0.98 \sim 0.99$)、润滑和维护方便、易于互换、运转精度高、

轴承组合结构较简单等优点，故在中速、中载和一般工作条件下运转的机器中得到广泛应用。

滚动轴承的基本结构由内圈、外圈、滚动体和保持架组成。

滚动轴承的类型：按滚动体的形状可分为球轴承和滚子轴承。滚动轴承为标准件。

3. 联轴器离合器

(1) 联轴器 联轴器是机械传动中的一种常用轴系部件，它的基本功用是联接两轴并传递运动和转矩。

联轴器的类型较多，通常按照组成中是否具有弹性变形元件划分为刚性联轴器和弹性联轴器两大类。

常用刚性固定式联轴器中应用较多的有套筒式、夹壳式和凸缘式等结构类型；常用的刚性可移式联轴器有滑块联轴器、齿式联轴器、万向联轴器。

常用的弹性联轴器有弹性套柱销联轴器、弹性柱销联轴器、梅花形弹性联轴器，它们都已标准化，可供设计时选用。

(2) 离合器 离合器是一种常用的轴系部件，用来实现机器工作时能随时使两轴接合或分离的装置。

离合器种类较多，根据实现离合动作的方式不同，分为操纵离合器和自动离合器两大类。无论操纵离合器还是自动离合器，在结构上都离不开接合元件。按照接合元件的工作原理，其类型不外乎有嵌合式和摩擦式两种基本类型。

常用的操纵离合器有操纵式牙嵌离合器、操纵式圆盘摩擦离合器等；常用的自动离合器有超越离合器、安全离合器等。

1.3.3 润滑剂及密封装置

1. 润滑剂

润滑剂可以降低机械中的摩擦，减轻磨损，提高效率，延长机件的使用寿命，保护零件不遭锈蚀，同时起冷却、吸振、散热降温的作用。

常用的润滑剂为润滑油和润滑脂。

(1) 润滑油 润滑油有动物油、植物油、矿物油和合成油。矿物油(主要是石油产品)来源充足，成本低廉，适用范围广，而且稳定性好，故应用最多。

粘度是润滑油最重要的物理性能指标，它标志着流体流动时内摩擦阻力的大小。粘度愈大，内摩擦阻力愈大，即流动性愈差。润滑油的粘度随温度而变化的情况十分明显。粘度将随温度的升高而降低。

(2) 润滑脂 润滑脂是润滑油与稠化剂(如钙、锂、钠的金属皂)的膏状混合物。锥入度是润滑脂的主要质量指标。

锥入度(稠度)是指一个质量为 150g 的标准锥体，在 25℃ 恒温下，由润滑脂

表面经 5s 刺入的深度(以 0.1mm 计)。

2. 密封装置

密封的目的是防止润滑剂的渗漏和防止灰尘、水分及其他杂物进入机器内部。

密封方法可分为两大类:接触式密封和非接触式密封。接触式密封有毛毡密封、皮碗密封;非接触式密封有间隙式密封、迷宫式密封。

1.3.4 联接

机械中的联接按机械工作时被联接零(部)件间是否有相对运动可分为静联接与动联接。机械工作时,被联接零(部)间无相对运动的联接称为静联接。常见的有螺纹联接、键联接(导向平键联接除外)、花键联接(导向花键联接除外)、销联接等。

1. 螺纹联接

螺纹联接是利用带螺纹的零件构成的一种可拆联接。这种联接方式结构简单,工作可靠,形式多样,装拆方便,成本低,应用非常广泛。

螺纹的分类:

根据牙型(通过螺纹轴线剖面的螺纹牙形状),可分为三角形(普通螺纹和管螺纹)、矩形、梯形、锯齿形和特殊形状的螺纹。

根据螺纹分布的部位,螺纹可分为外螺纹和内螺纹。在圆柱体外表面上形成的螺纹称为外螺纹,在圆柱孔内壁上形成的螺纹称为内螺纹。内外螺纹两者旋合组成的运动副称为螺纹副或螺旋副。

按照螺旋线的旋向,螺纹分为左旋螺纹和右旋螺纹。机械设备中一般采用右旋螺纹,有特殊要求时,才采用左旋螺纹。

螺纹联接的主要类型:螺栓联接(普通螺栓、铰制孔用螺栓)、双头螺柱联接、螺钉联接、紧定螺钉联接。

常用的标准螺纹联接件:在机械设备中常见的有螺栓、双头螺栓、螺钉、螺母和垫圈等。这类零件的结构形式和尺寸都已标准化,设计时应根据有关标准选用。

螺纹联接的防松:按防松原理可分为摩擦防松、机械防松和永久止动防松三种。

2. 键联接

键主要用来实现轴和轴上零件(如齿轮、带轮等)的周向固定以传递转矩;有的还能实现轴上零件的轴向固定以传递轴向力;有的则能构成轴向可动联接。

键有多种类型。根据形状,键可分为平键、半圆键、楔键、切向键几大类,均有国家标准。

3. 花键联接

花键联接由轴和毂孔上均匀分布的多个键齿和键槽组成，齿侧面为工作面。花键联接齿槽较浅，具有对轴与轮毂的强度削弱较少、应力集中小、承载能力高、对中性好和导向性能好等优点，但需专用的加工设备、刀具和量具，成本较高。花键联接适用于承受重载荷或变载荷及定心精度高的固定联接和可动联接。

花键联接根据齿形不同分为矩形花键联接和渐开线花键两类，均已标准化。

4. 销联接

销主要用来固定零件之间的相对位置，是组合加工和装配时的主要辅助零件。当传递的载荷不大时，也可用于轴毂的联接或其他零件的联接，还可作为安全装置中的过载剪断元件。

销有多种类型，如圆柱销、圆锥销、槽销、开口销和销轴等，均已标准化。

1.4 思考题

- 1) 传动带按截面形式分哪几种？带传动有哪几种失效形式？
- 2) 传动链有哪几种？链传动的主要失效形式有哪些？
- 3) 齿轮传动有哪些类型？各有何特点？齿轮的失效形式主要有哪几种？
- 4) 蜗杆传动的主要类型有哪几种？蜗杆传动的主要失效形式有哪几种？
- 5) 轴按承载情况分为哪几种？
- 6) 轴承根据工作时的摩擦性质分为哪几类？滚动轴承的主要失效形式有哪几种？
- 7) 润滑剂的主要性能指标是什么？工作中常见的润滑剂有几种？
- 8) 密封分为哪几类？
- 9) 联轴器与离合器各分为哪几类？各满足哪些基本要求？
- 10) 可拆卸联接和不可拆卸联接的主要类型有哪些？

实验2 小型工业机器人程序控制及应用

2.1 实验目的

- 1) 了解工业机器人的组成及工作原理，加深对机电一体化系统的理解。
- 2) 了解工业机器人的系统结构、几何结构、坐标类型和运动控制原理。
- 3) 熟悉小型工业机器人的运动指令，掌握小型工业机器人的作业编程及操作步骤。
- 4) 掌握小型工业机器人的程序控制及应用。

2.2 工业机器人概述

2.2.1 工业机器人的应用

(1) 小型工业机器人 用于工、农业生产中大规模生产线或劳动强度大、污染重及一些普通人不能介入的生产场所，如大批量装配线、焊接、喷漆、剧毒、高腐蚀等场所。

(2) 探索机器人 用于进行太空和海洋探索，也可用于地面和地下探索及探险。

(3) 服务机器人 一种半自主或全自主工作的机器人，其所从事的服务性工作可使人类生存得更好，使制造业以外的设备工作得更好。

(4) 军事机器人 用于军事目的，具有进攻性、防御性。它可分为空军机器人、海军机器人和陆军机器人。

2.2.2 工业机器人的定义

工业机器人是一种自动的、位置可控制的、具有编程能力的多功能机械手，这种机械手具有几个轴，能够借助于可编程序来处理各种材料、零件、工具和专用装置，以执行各种任务。

机器人是典型机电一体化装置，是科学发展和进步的产物。机器人 = 系统工程 + 控制工程 + 信息工程。

2.2.3 工业机器人的组成

组成一个能够按编程器所要求的规律进行工作的机器人应由以下几部分

组成：

(1) 动力部分 所有运动的机械都应有相应的动力部分，通过传动部分向机器人提供必需的动力源。

现在机械传动所用的动力有电力、液力、气动、机械能、手动等。机器人工作动力源的选择必须根据机器人的功率、运动方式、使用场所、使用对象、温度、湿度等因素来选择。

(2) 传动部分 每一种提供机器人所使用的动力源基本上是不可能被机械直接利用。为了使机器能工作，在任何一种机械运动设计时都要将外部提供的动力转变为另一种适合机械所用的最佳动力，因此必须使用各种传动装置(减速器、机构、液压泵等)。

(3) 控制部分 要使用机械能按人为的方式进行工作，就必须采用各种控制系统，如机械控制系统、电气控制系统、机电一体化控制系统及先进的计算机控制系统。

(4) 传感器部分 传感器是感受系统工作信号，并将其转变成适合后续控制系统使用的信号，是实现机电一体化的必需系统。

(5) 执行部分 该部分的主要作用是实现机械的最终运动，达到工作目的，此部分包括机械运动部分必备的各种运动机构、伺服系统。

(6) 软件部分 为了实现自动化控制，常将机械的最终运动编成某种计算机或控制系统能识别的一种指令，使机械能根据指令所规定的运动进行工作。此种指令称为软件。

2.2.4 工业机器人系统结构

以普通的机械手为例，工业机器人系统结构如图 2-1 所示。

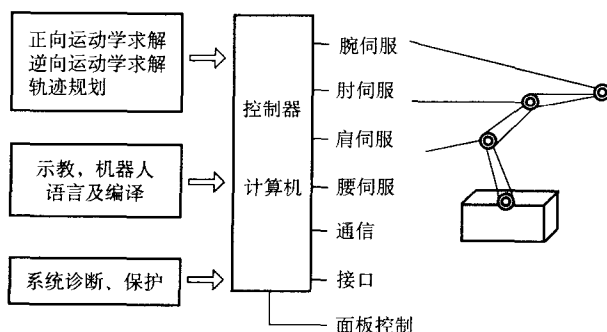


图 2-1 工业机器人系统结构

2.2.5 工业机器人的几何结构

(1) 直角坐标机器人 由垂直柱子、水平手臂和底座构成，水平手臂装在垂直柱子上，能自由伸缩，垂直上下运动。垂直柱子安装在底座上，并能与水平手臂一起在底座上转动。工作轨迹(区间)形成一圆柱面，如图 2-2 所示。

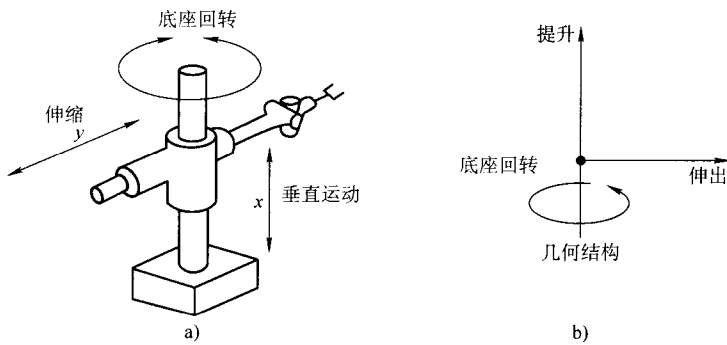


图 2-2 直角坐标机器人工作轨迹

(2) 关节坐标机器人 由底座(或躯干)、上臂和前臂及手腕组成。上臂和前臂可在垂直水平面上移动，两臂之间有个肘关节，而在上臂和底座间有个肩关节。工作轨迹形成球面的大部分，如图 2-3 所示。

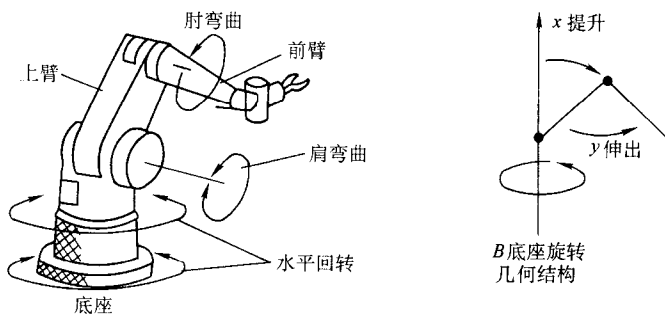


图 2-3 关节坐标机器人工作轨迹

关节坐标机器人和直角坐标机器人都具有 6 个自由度，即 x 轴、 y 轴、 z 轴的正反运动及左右旋转运动。

2.2.6 工业机器人的运动控制

工业机器人的运动控制如图 2-4 所示。

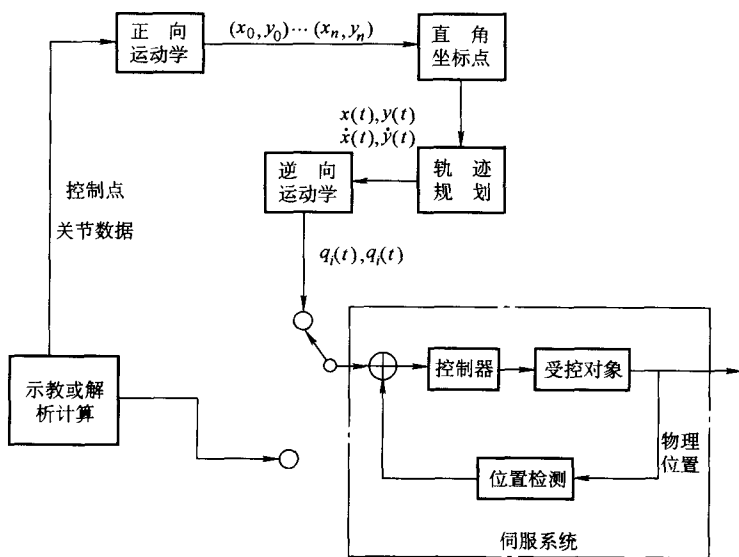


图 2-4 工业机器人的运动控制

2.2.7 坐标类型

1. 关节坐标

机械手的每一根轴相互独立运动，各关节运动如图 2-5 所示。

2. 直角坐标

直角坐标与机器人机械手的位置无关，与平行 x 轴、 y 轴、 z 轴中的任意一轴运动有关，各轴向运动如图 2-6 所示。

3. 用户坐标

机械手平行于坐标轴运动。在任何一坐标系中，在固定的工具中心点 (TCP: tool center point) 的位置，只可能改变手腕方向，这叫做 TCP 固定功能。

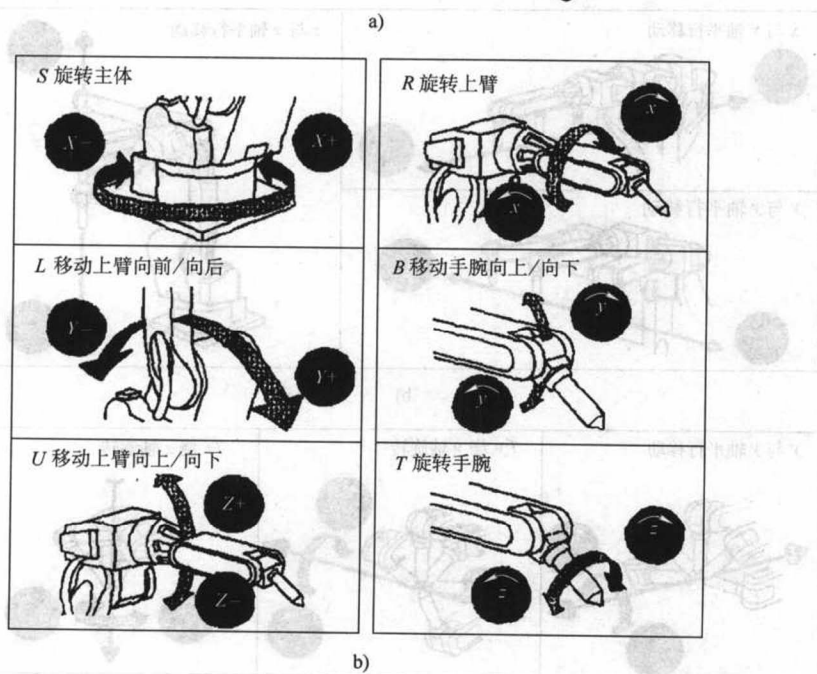
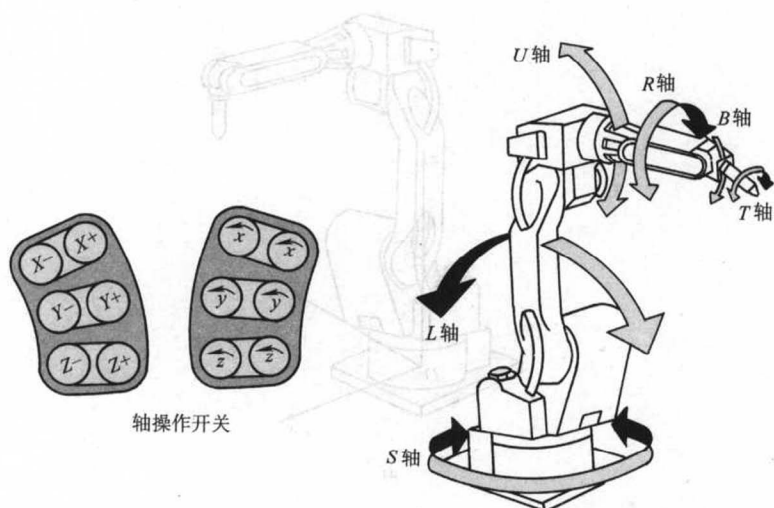


图 2-5 关节坐标及运动分解
a) 关节坐标 b) 关节坐标运动分解