

高等学校教材

电子设备机械设计

王生洪 龚振邦 王世萍 编



西北电讯工程学院出版社

内 容 简 介

近年来,由于电子工程发展的需要,电子设备结构设计专业开设了《电子设备机械设计》这门课程。通过本课程学习,读者能对电子设备的机械设计有一较全面的认识,能系统掌握电子设备机械设计的基本理论、基本方法和典型零部件的结构设计。本书内容包括:导论、典型的载荷分析、电机功率与总传动比及各级传动比的确定、传动链的精度分析和计算、传动链的动力分析、精密传动及支承结构、常用机构及组合件、传动链若干性能参数的测量。

本书为高等院校电子设备结构设计专业的教材,亦可供其它有关专业或从事电子设备结构设计的工程技术人员参考。

高等学校教材

电子设备机械设计

王生洪 龚振邦 王世萍 编

责任编辑 杨 兵

西北电讯工程学院出版社出版

西北电讯工程学院印刷厂印刷

陕西省新华书店发行 各地新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 16 字数 390 千字

1986年12月第一版 1986年12月第一次印刷 印数 1—4,000

统一书号: 15322·64

定价: 2.75 元

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校工科电子类专业课教材的编审、出版的组织工作。从一九七七年底到一九八二年初，由于各有关院校，特别是参与编审工作的广大教师的努力和有关出版社的紧密配合，共编审出版了教材 159 种。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应社会主义现代化建设培养人才的需要，反映国内外电子科学技术水平，达到“打好基础、精选内容、逐步更新、利于教学”的要求，在总结第一轮教材编审出版工作经验的基础上，电子工业部于一九八二年先后成立了高等学校《无线电技术与信息系统》、《电磁场与微波技术》、《电子材料与固体器件》、《电子物理与器件》、《电子机械》、《计算机与自动控制》，中等专业学校《电子类专业》、《电子机械类专业》共八个教材编审委员会，作为教材工作方面的一个经常性的业务指导机构，并制定了一九八二~一九八五年教材编审出版规划，列入规划的教材、教学参考书、实验指导书等共 217 种选题。在努力提高教材质量，适当增加教材品种的思想指导下，这一批教材的编审工作由编审委员会直接组织进行。

这一批教材的书稿，主要是通过教学实践、师生反映较好的讲义中评选择优和从第一轮较好的教材中修编产生出来的。广大编审者，各编审委员会和有关出版社都为保证和提高教材质量作出了努力。

这一批教材，分别由电子工业出版社、国防工业出版社、上海科学技术出版社、西北电讯工程学院出版社、湖南科学技术出版社、江苏科学技术出版社、黑龙江科学技术出版社和天津科学技术出版社承担出版工作。

限于水平和经验，这一批教材的编审出版工作肯定还会有许多缺点和不足之处，希望使用教材的单位、广大教师和同学积极提出批评建议，共同为提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

《电子设备机械设计》一书为电子设备结构设计专业的统编教材，它是该专业的主干课程之一。

本教材由上海科技大学王生洪担任主编，西北电讯工程学院吴凤高担任主审。编审者均系根据 1983 年 12 月电子机械教材编审委员会无线电设备结构设计教材编审小组审定的编写大纲进行编写和审阅的。参加大纲审定会议的有西北电讯工程学院、成都电讯工程学院、南京工学院、上海科技大学、桂林电子工业学院、北京邮电学院。本教材的编写吸取了这些学校的教学实践经验，在编写前，曾先作为讲义试用过两届。在 1985 年 6 月召开的教材编审会议上，上述学校的有关教师又对讲义提出了宝贵的意见。

根据专业的要求，通过本课程的学习，能对电子设备的机械设计有一较全面的认识，能较系统地掌握电子设备机械设计的基本理论、基本方法和典型零部件的结构设计。本教材在内容上突出了系统设计，同时在选材中，考虑到电子设备应用的广泛性，尽量注意吸取各种典型的电子设备，如雷达、卫星通讯地面站、自动绘图仪、计算机外部设备、录音机、机器人等的机械设计方面的内容。

本教材的教学时数为 60 学时左右。使用本教材前，读者应该具备必要的高等数学、理论力学、材料力学以及机械原理、机械零件方面的基础知识。教材中有些典型结构的介绍，对于本课程是必要的，但在教学时可安排自学。另外，有的章节可根据各院校具体情况自行取舍。

参加本书编写的有上海科技大学王生洪、龚振邦、胡建国、郭锡章，西北电讯工程学院王世萍。编写的分工如下：龚振邦编写第一章至第三章，王生洪编写第一章、第五章、第八章，王世萍编写第四章，胡建国编写第六章，郭锡章编写第七章。

西北电讯工程学院、成都电讯工程学院、南京工学院及上海科技大学等院校的有关教师参加了本教材的审定，提出了许多宝贵意见。在编审过程中还曾得到有关厂、所的热情支持，特在此一并致谢。

限于编者水平，错误之处在所难免，恳望读者批评指正。

编 者

一九八五年八月

目 录

第一章 导论

- § 1.1 本课程的特点和任务1
- § 1.2 电子设备中的典型机械装置2
 - § 1.2.1 雷达天线伺服传动装置2
 - § 1.2.2 数控绘图仪中的机械装置5
 - § 1.2.3 遥控机器人的机械手8
 - § 1.2.4 磁带录音机中的走带驱动装置13
 - § 1.2.5 磁盘存储器中的机械装置18
- § 1.3 典型的设计要求和设计步骤20

第二章 典型的载荷分析

- § 2.1 摩擦载荷23
 - § 2.1.1 接触式旋转密封装置中的摩擦力矩24
 - § 2.1.2 滚动轴承中的摩擦力矩25
 - § 2.1.3 减小摩擦载荷的若干措施29
- § 2.2 惯性载荷30
 - § 2.2.1 典型的运动分析30
 - § 2.2.2 转动惯量的计算33
 - § 2.2.3 减小惯性载荷的若干措施34
- § 2.3 外载荷34

第三章 电机功率、总传动比与各级传动比的确定

- § 3.1 电动机与总传动比的选择43
 - § 3.1.1 电动机的初选43
 - § 3.1.2 电动机的转矩特性45
 - § 3.1.3 负载的力矩特性52
 - § 3.1.4 总传动比的选择55
- § 3.2 传动链的级数和各级传动比的确定62
 - § 3.2.1 “折算转动惯量小”的原则和方法63
 - § 3.2.2 “折算转角误差小”的原则和方法67
 - § 3.2.3 “重量轻”的原则和方法67
 - § 3.2.4 确定级数和各级传动比的综合考虑70
 - § 3.2.5 应用优化方法确定各级传动比72

第四章 传动链的精度分析和计算

- § 4.1 传动误差和空程误差的概念74

§ 4.2 渐开线圆柱齿轮机构传动误差的分析

和计算75

- § 4.2.1 传动误差的来源75
- § 4.2.2 齿轮传动误差的数字特征77
- § 4.2.3 传动链传动误差的统计计算80
- § 4.3 空程误差的分析与计算80
 - § 4.3.1 影响空程误差的因素80
 - § 4.3.2 主要误差对侧隙影响的分析82
 - § 4.3.3 次要误差(装置误差)对侧隙影响的分析84
 - § 4.3.4 空程误差的统计计算式85
 - § 4.3.5 可调中心距齿轮副空程误差的统计分析89
 - § 4.3.6 传动链空程误差的计算91
 - § 4.3.7 计算举例92
 - § 4.3.8 环境温度和弹性变形的影响102
- § 4.4 螺旋副传动误差的分析和计算103
 - § 4.4.1 螺旋副的原始误差103
 - § 4.4.2 螺旋副的旋合性103
 - § 4.4.3 螺旋副的传动精度106
- § 4.5 提高传动精度的结构措施113
 - § 4.5.1 适当提高零部件本身的精度113
 - § 4.5.2 合理设计传动链113
 - § 4.5.3 采用机械校正或机械反馈机构115
 - § 4.5.4 采用消除机构118
- § 4.6 峰值统计计算法128
 - § 4.6.1 传动误差128
 - § 4.6.2 空程误差134

第五章 传动链的动力分析

- § 5.1 系统动力分析的传递函数法138
- § 5.2 动力系统的力学分析144
 - § 5.2.1 扭振系统的固有频率计算方法144
 - § 5.2.2 系统固有频率的矩阵分析方法153
- § 5.3 动力分析的机电模拟法157
 - § 5.3.1 机电系统的相似性157
 - § 5.3.2 传动系统的机电模拟159

第六章 精密传动及支承结构

- § 6.1 精密齿轮传动166

§ 6.1.1 传动型式及选择原则	166
§ 6.1.2 确定模数和齿数的原则	166
§ 6.1.3 齿轮的结构设计	169
§ 6.1.4 齿轮和轴的联接	170
§ 6.1.5 箱体结构	171
§ 6.2 同步齿形带传动	173
§ 6.2.1 同步齿形带的主要参数及规格	173
§ 6.2.2 齿形带轮的结构和尺寸	175
§ 6.2.3 同步齿形带传动的设计计算	175
§ 6.3 谐波齿轮传动	180
§ 6.3.1 谐波齿轮传动的特点及其应用	180
§ 6.3.2 谐波齿轮传动的工作原理	182
§ 6.3.3 谐波齿轮传动的齿形及几何尺寸 计算	183
§ 6.4 差动齿轮机构	187
§ 6.4.1 圆锥齿轮差动机构	188
§ 6.4.2 圆柱齿轮差动机构	190
§ 6.5 联轴器和离合器	191
§ 6.5.1 联轴器	192
§ 6.5.2 离合器	194
§ 6.6 轴承与轴系	197
§ 6.6.1 滑动轴承与轴系	200
§ 6.6.2 滚珠轴承与轴系	202
§ 6.6.3 磁轴承	204
第七章 常用机构及组合件	
§ 7.1 限动器和定位器	208
§ 7.1.1 限动器	208
§ 7.1.2 定位器	215
§ 7.2 微动装置和锁紧装置	217

§ 7.2.1 微动装置	217
§ 7.2.2 锁紧装置	219
§ 7.3 示数装置	221
§ 7.3.1 概述	221
§ 7.3.2 标尺和指针	222
§ 7.3.3 示数装置的精读方法	225
§ 7.3.4 模球	227
§ 7.3.5 示数装置的误差分析	228
§ 7.4 阻尼器	230
§ 7.4.1 概述	230
§ 7.4.2 带有阻尼器的运动系统的运动特 性	230
§ 7.4.3 常用阻尼器的结构和阻尼系数的 计算	232

第八章 传动链若干性能参数的测量

§ 8.1 转动惯量的测量	234
§ 8.1.1 平行线悬挂法	234
§ 8.1.2 时间常数测定法	235
§ 8.2 摩擦力矩的测量	237
§ 8.3 传动误差的测量	238
§ 8.3.1 静态测量法	238
§ 8.3.2 动态测量法	242
§ 8.4 空程的测量	246
§ 8.4.1 机械的方法	246
§ 8.4.2 光学的方法	247
§ 8.4.3 电气的方法	247

参考文献

第一章 导 论

随着电子技术的发展,电子设备的应用几乎渗透到国民经济的各个领域。雷达、卫星通讯地面站、射电望远镜、录音录像设备、计算机外部设备、自动绘图仪,乃至机器人等,都可列入电子设备这一范畴。各种不同的用途对电子设备提出了不同的要求,而且其性能也日益提高。人们在长期从事电子设备的设计和生产的实践中越来越认识到,为了提高电子设备的质量,不仅要有优良的电设计,而且要有优良的机械结构设计予以保证。电子设备结构设计这一研究领域就是从保证和提高电子设备性能这一要求出发,研究电子设备结构设计的特点、规律和方法的,这是一门机械结构与电子技术相互渗透、相互交叉的学科。本课程重点研究电子设备中的机械设计,它与电子设备的热设计、耐振动和冲击设计、电磁兼容设计、防腐设计以及电子设备箱柜设计等一起构成了电子设备结构设计的主要内容。

§ 1.1 本课程的特点和任务

所谓“机械”,就是按确定的位置相互联结,并按一定的规律相对运动的机构或零件的组合体。通过这种组合体可以达到减轻或代替人的劳动、完成有用的机械功或转换机械能的目的。机械的主要作用可归纳为传递或改变力和运动。机械装置一般包括三大主体:原动部分、传动部分和执行部分。电子设备中的机械设计与一般的机械设计有许多类似之处,但是又有自己的特点。

首先,电子设备中的机械装置大多是以传递或改变运动为主的,尽管它们也要满足强度要求,但关键的性能指标常常是运动的精度和灵敏度。从这方面来讲,本课程属于“精密机械”这一学科范畴。

其次,如上所述,现代电子设备往往是电子技术和精密机械技术的共同成果,本课程研究的机械装置常是整台电子设备的一个组成部分,装置的机械性能与整台电子设备的电气性能有十分密切的关系,因而在设计上具有机电结合的特点。例如,一般机械对运动部件的惯量控制只是从减少驱动功率来着眼的,而在一些电子设备上,如雷达天线的伺服传动装置、遥控机器人的机械手、磁盘存储器中的磁头定位伺服装置等,常是从缩短机电时间常数,提高执行机构的响应能力这一要求出发来控制惯量的。再如,一般的机械设计中控制机械谐振频率是为了保证不破坏,而在不少电子设备,如雷达和数控绘图仪中,控制机械谐振频率是为了保证伺服系统的稳定性。

此外,与一般机械相比较,电子设备在环境条件的复杂性、选用材料的多样性上也有自己的特点。本课程的任务就是结合上述这些特点来阐述电子设备机械设计的一些共同规律和方法。

本课程在内容安排上突出了“系统设计”的内容。《机械原理》、《机械零件》等课程详细介绍了各类机械零件的工作原理和结构设计,但在这些课程中,由于课程本身的要求,对于设计全局性问题谈得不多,因此这两门课程虽然可以训练从事机械细节设计的工程人员,但对于培养具有较广阔视野的机械系统设计人员来说,就显得不够。本课程在前五章中从机械系

统设计的角度出发, 结合电子设备的特点, 比较详细地介绍了属于“系统设计”的内容: 机械系统上载荷的分析和计算、原动机——驱动电机的选择、驱动电机和负载的匹配(传动比的选择和分配)、机械系统的精度分析、机械系统的动力分析等; 接着的两章介绍了电子设备中常用的零部件和机构的结构特点和分析计算方法; 最后一章介绍了传动链的若干性能参数, 如惯量、摩擦、精度(包括传动误差和空程)等的测量方法, 这些参数在电子设备的机械设计中是经常要予以控制的。

§ 1.2 电子设备中的典型机械装置

本节以雷达天线和数控绘图仪的伺服传动装置、遥控机器人的机械手、磁带录音机中的走带驱动装置以及磁盘存储器中的机械装置为例, 概述性地说明电子设备机械设计的特点、一些主要问题以及解决的途径。

§ 1.2.1 雷达天线伺服传动装置

在跟踪飞机或导弹的雷达天线(图 1-1)以及跟踪通讯卫星的地面站天线(图 1-2)上, 使用了精密的伺服传动装置, 它是整个天线伺服系统的一个组成环节。图 1-3 所示为一种典型的天线位置(方位或俯仰)控制伺服系统, 它是一个闭环系统。图中(a)为原理图, (b)为对应的方框图。伺服系统由原动机——伺服电动机, 通过传动装置, 驱动负载(如天线座和天线)。负载

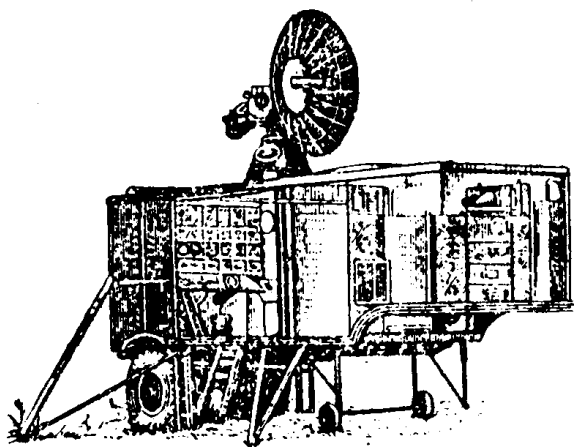


图 1-1 跟踪飞机的某雷达天线

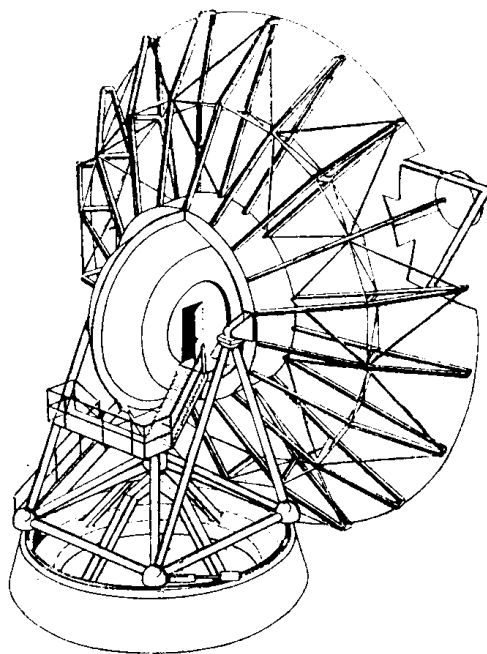


图 1-2 跟踪通讯卫星的某地面站天线

的指令位置与其实际位置之间的误差, 是由一套位置检测装置, 即自整角发送机-自整角变压器系统(其中包括对应的传动装置 2 和 3)来检测的。检测装置输出与位置误差成比例的误差电压, 经放大器放大后驱动伺服电动机, 通过传动装置, 使负载朝减小位置误差的方向运动, 直至误差消失为止。当连续输入变化的指令信号时, 负载的实际位置就不断地跟随指令位置变化。

图 1-4 为某雷达天线位置数据复现伺服系统, 它也是一个闭环系统。

在上面所列举的两个伺服系统中, 传动装置 1 的作用是传递转矩和转速, 使伺服电动机和负载之间在转矩和转速上得到匹配。普通的伺服电动机往往是高转速、低转矩, 而负载轴却往往是低转速、高转矩, 所以在伺服电动机和负载轴之间需要耦合一个传动装置, 通常是

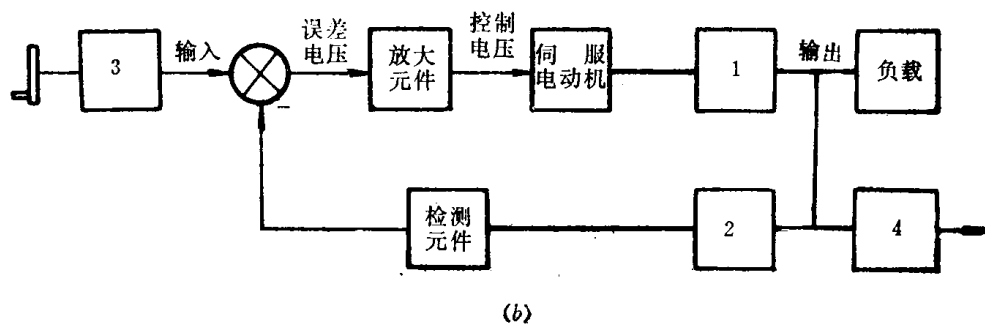
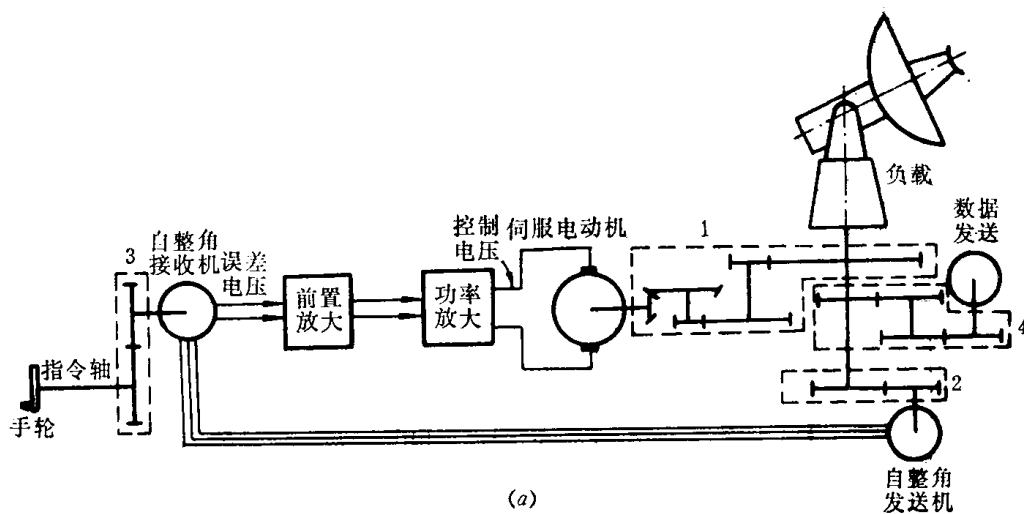


图 1-3 位置控制伺服系统

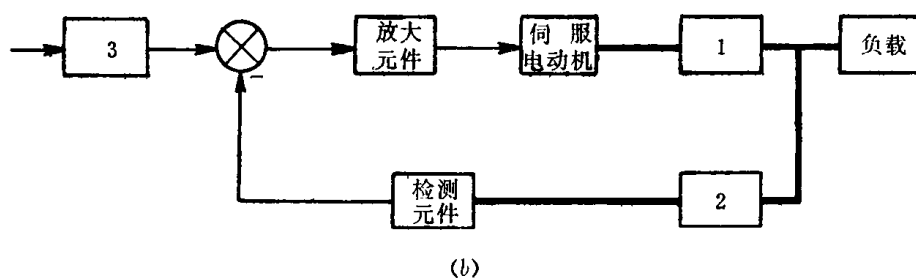
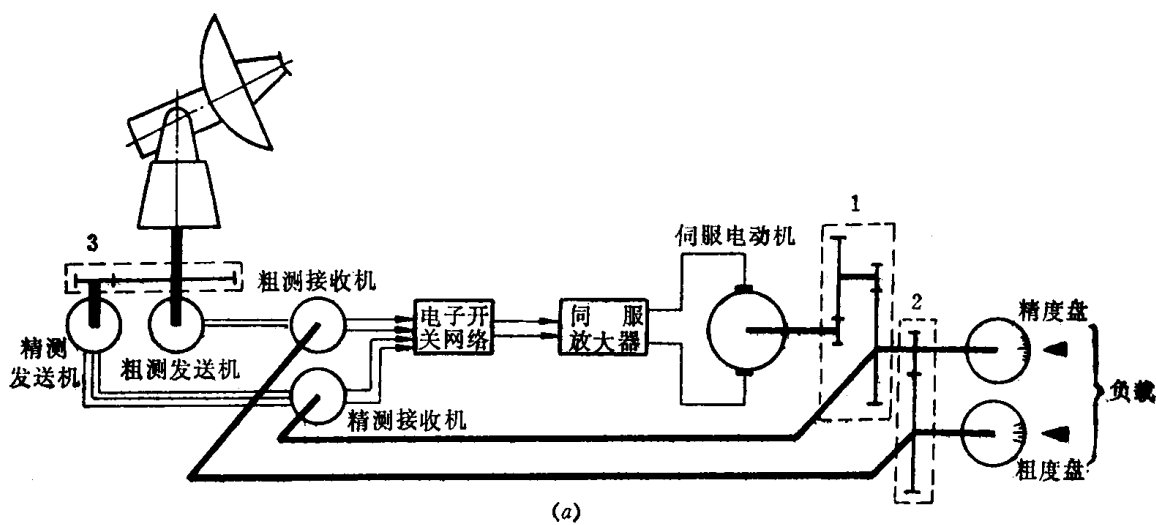


图 1-4 数据复现伺服系统

齿轮减速箱。本书的第三章将介绍伺服电动机功率的选择、总传动比的确定、传动链级数的选择以及各级传动比的分配等内容。这类机械装置由于需要传递动力，习惯上又称为“动力驱动装置”，其典型结构如图 1-5 所示。这类装置按所传递的功率大小，有大功率(大于100W)和小功率(小于 100W)之分。为了确定电动机的功率，需要在系统设计时分析和计算作用在驱动装置上的各种载荷，这部分内容将在第二章中介绍。

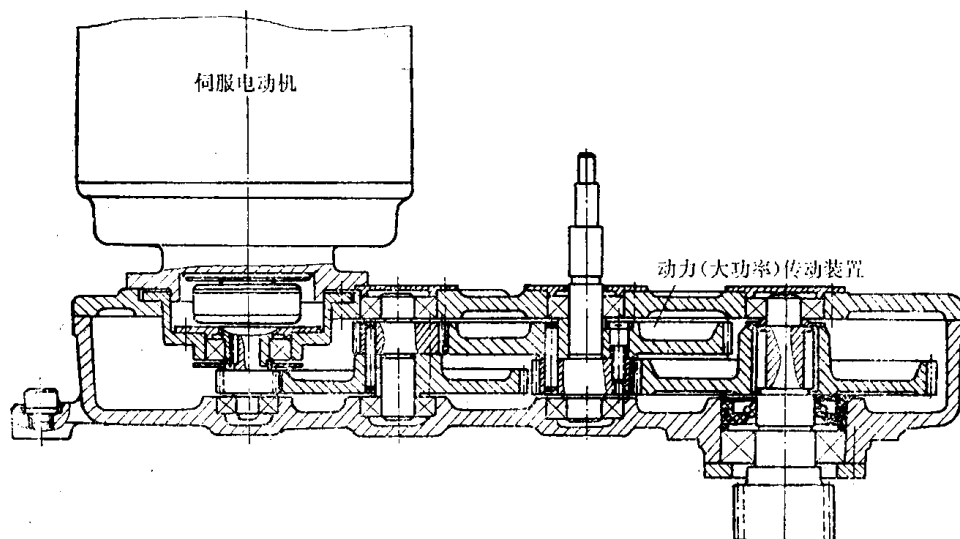


图1-5 动力驱动装置的典型结构

设计这类动力驱动装置时，要达到的性能指标除功率外，还有运动精度和动力性能方面的要求。下面是某雷达天线动力驱动装置的性能指标：

驱动功率 $\leq 300\text{ W}$ ；

传动误差(σ 值) $\geq 1.8'$ ；

空程(3σ 值) $\geq 3.6'$ ；

机械谐振频率 $\leq 6\text{ Hz}$ ；

负载轴上的摩擦力矩 $\geq 3\text{ N}\cdot\text{m}$ 。

传动误差将影响跟踪精度，为了达到上述要求，设计人员参照同类产品，可以规定方位大齿轮的精度等级为 6 级。但是，考虑到传动误差的低频分量落在伺服带宽之内，可以自动补偿，影响跟踪精度的只是传动误差的高频分量，通过应用类似第四章介绍的分析和计算方法，设计人员可以将方位大齿轮的大周期误差降低为 7 级，而只规定小周期误差为 6 级，这样就可降低制造难度。空程影响伺服系统的稳定性，为了达到设计要求，设计人员采用了第四章中介绍的“双传动链扭簧加载消隙机构”(参见图 4-63)。为了提高整个传动链的运动精度，设计人员精心设计了类似第六章中介绍的簧片式弹性联轴器(参见图 6-32)，其传动精度可控制在几个角秒之内。机械谐振频率限制了伺服带宽，影响跟踪性能，设计人员用第五章介绍的方法计算了该驱动装置的谐振频率后，在双传动链中采用了一个液压阻尼器(参见图 4-63)与预载弹簧并联，以抑制差动振荡。

在图 1-3 和图 1-4 中，传动装置 2 和 3 跟自整角机系统一起完成实际位置数据的反馈、指令数据的输入以及两者的比较。传动装置 4 的作用是使负载实际位置数据得以显示或传递到其它设备上去，这类传动装置常称为“数据传递装置”。它所传递的功率很小，设计时主要考虑运动精度，在结构上几乎全是小模数齿轮，而且广泛采用第四章介绍的各种消隙结构。

数据传递装置的典型结构如图 1-6 中与同步机 B、电位器 C 有关的那些传动链。小功率驱动装置有时也采用小模数齿轮，且和数据传递装置装配在一个箱体内，如图 1-6 所示。这类传动装置常称为“仪器传动装置”，其设计特点将在第六、七章中介绍。

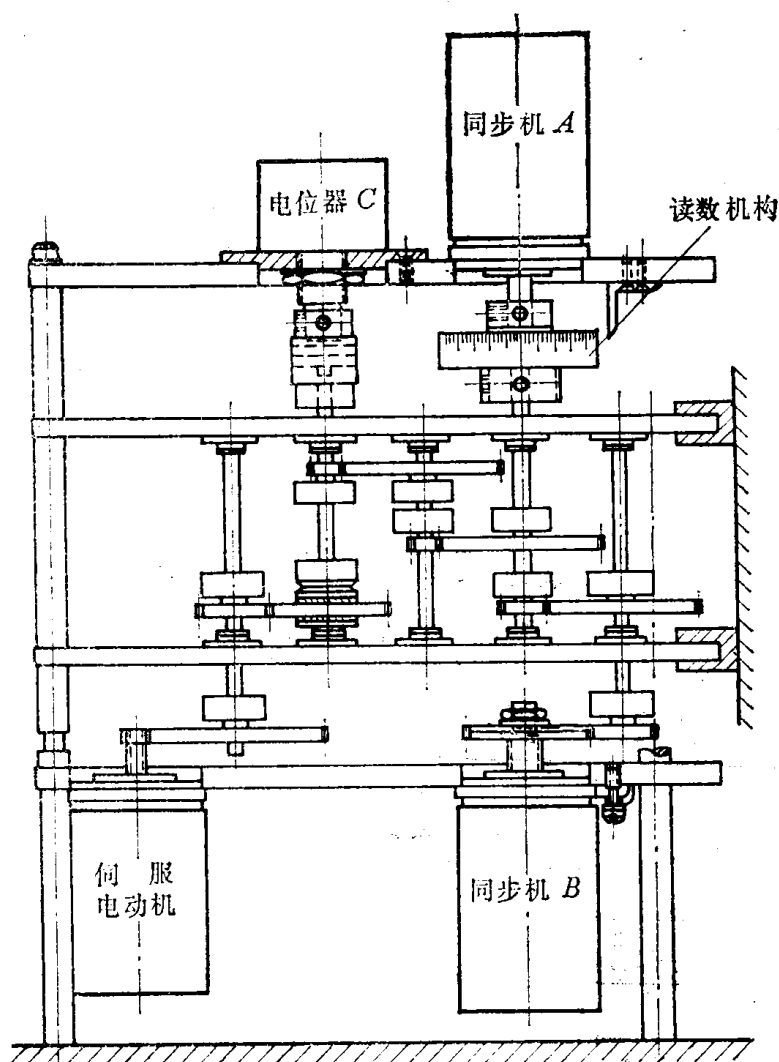


图 1-6 仪器传动装置的典型结构

§ 1.2.2 数控绘图仪中的机械装置

图 1-7 为某平台式中型数控绘图仪的外形图。它既可以作为计算机(主计算机)的一种终端，直接和主计算机“联机使用”，也可以和主计算机“脱机使用”。图 1-8 为脱机使用时的系统原理图。这时主计算机将处理过的图形信息储存在磁带或穿孔纸带上，在自动绘图时，绘图仪就把这些图形信息通过磁带机或光电机输给与绘图仪配套的微型计算机进行信息处理，然后通过接口(插补器)发出一系列 X、Y 方向的指令脉冲，经过伺服放大器、伺服电动机、齿轮减速箱，最后使画笔进行 X、Y 方向的合成运动，绘出图形。

平台式数控绘图仪主要由绘图平台、横梁、X 向导轨、Y 向导轨、驱动电机、减速箱、笔架等部分组成(图 1-7)。

1. 绘图平台

台面通常由硬质橡皮构成，上面有许多小孔，与真空吸附装置相通，以便固定图纸。

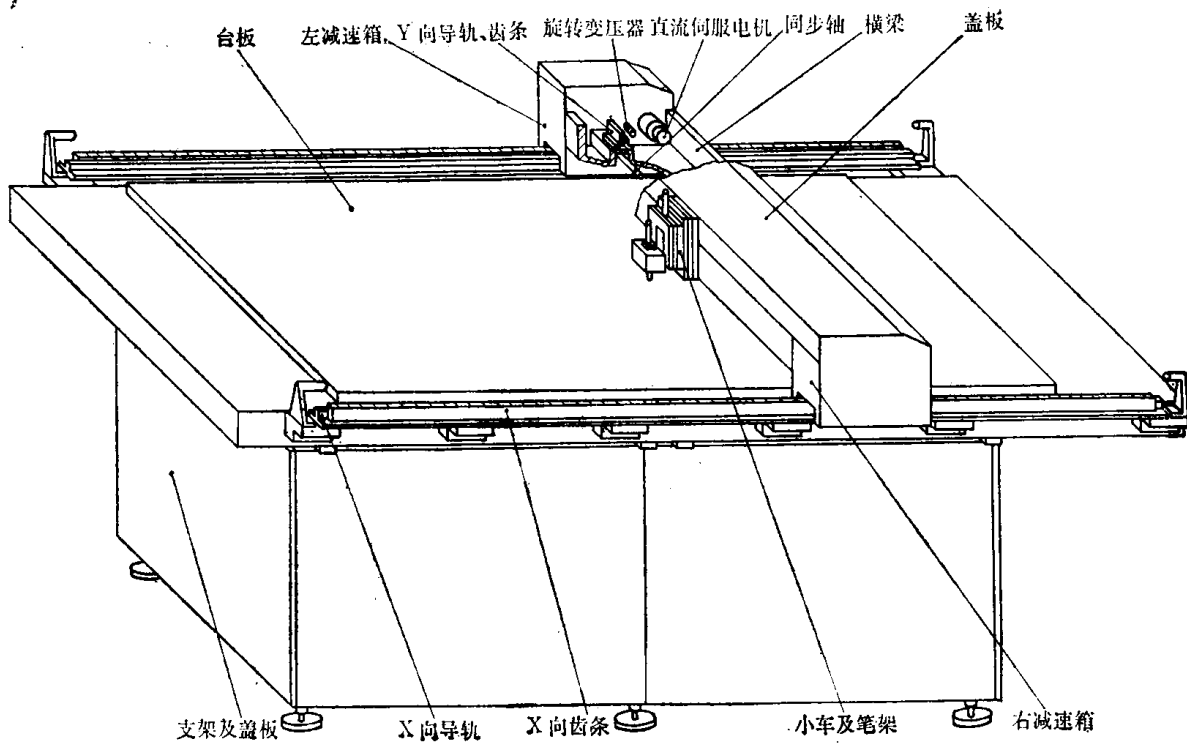


图 1-7 某平台式中型数控绘图仪

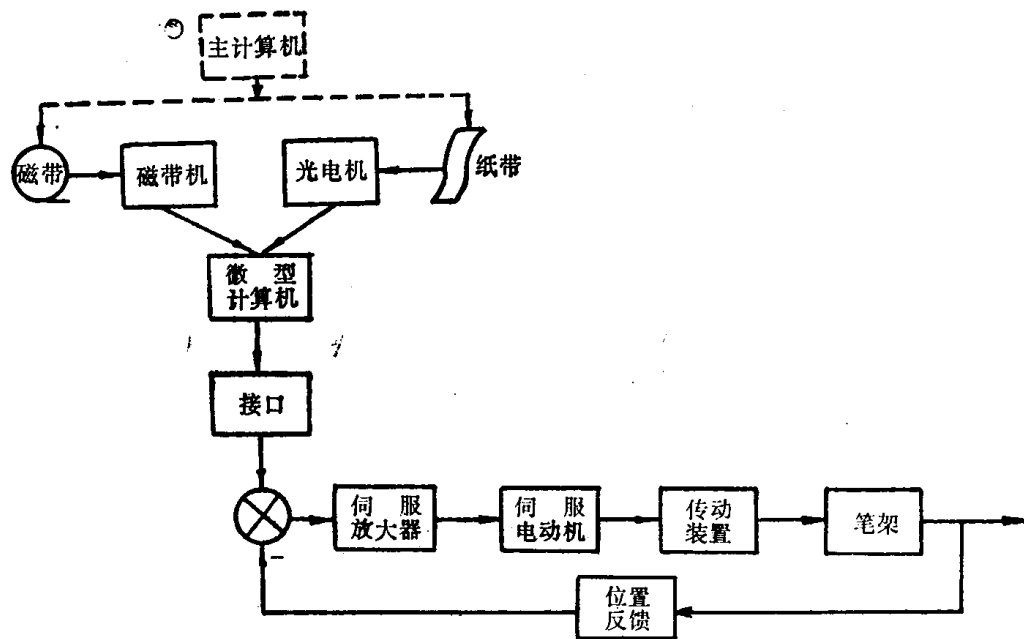


图 1-8 脱机使用时的系统原理图

2. 导轨与横梁

导轨有 X 向、Y 向两组，X 向导轨位于平台两侧，Y 向导轨在横梁上。横梁由两个滑座支撑在平台上，横梁上有与笔架连在一起的小车。横梁在 X 向导轨上的移动和小车在 Y 向导轨上的移动组合起来就能实现画笔的绘图。

3. 驱动电机

小车的 Y 向移动和横梁的 X 向移动分别由各自的电动机驱动，驱动电机的信号来自计算机。图 1-7 所示的数控绘图仪采用了闭环系统。

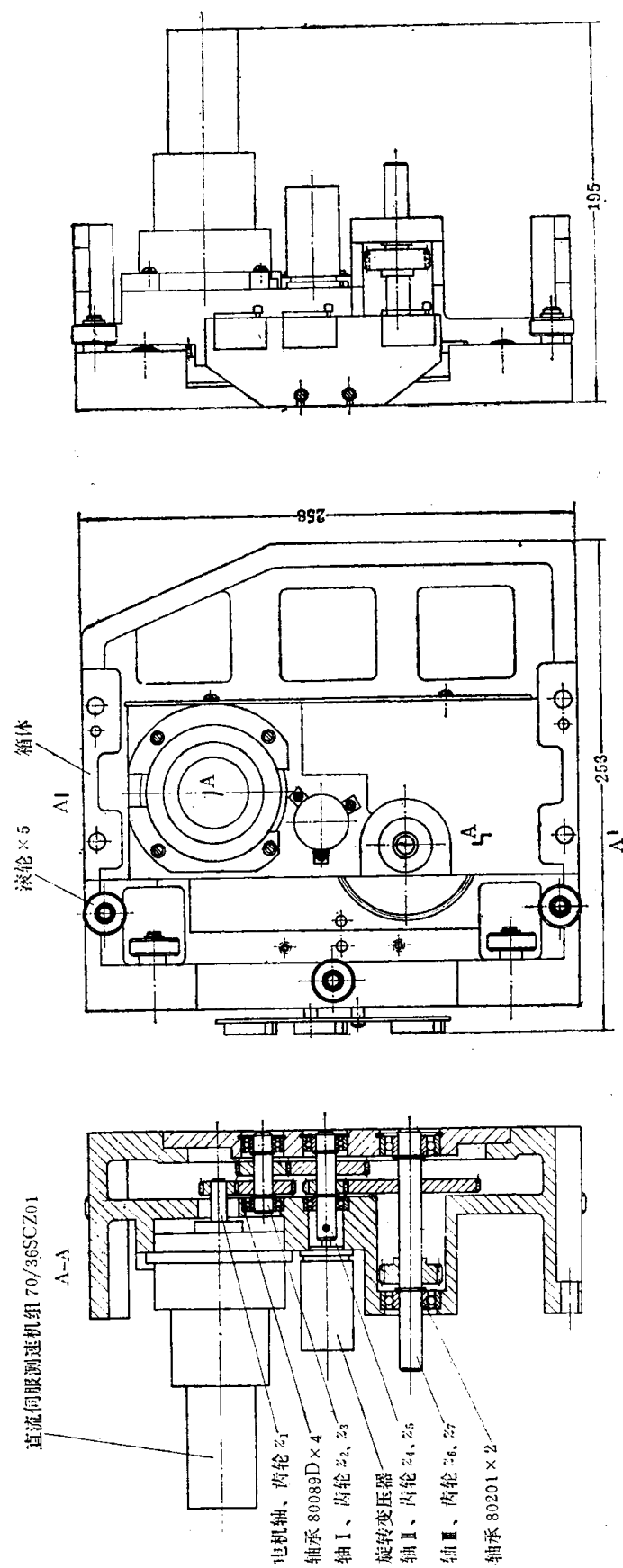


图 1-9 X 向左减速箱的结构图

4. 传动装置

(1) X 向传动装置：传动型式为圆柱齿轮减速箱与齿轮-齿条机构。左、右两根齿条与左、右两根 X 向导轨并行固定安装。左、右减速箱的输出齿轮分别与左、右齿条啮合，齿轮旋转时，减速箱连同滑座、横梁通过滚轮(滚珠轴承)作 X 向移动。图 1-9 为 X 向左减速箱的结构图。X 向的左、右减速箱各自的第一级齿轮副上的大齿轮，通过一根“同步轴”(图 1-7) 相连，保证左、右减速箱的同步传动。

(2) Y 向传动装置：传动型式为圆柱齿轮减速箱与滚珠丝杆-螺母机构。小车在 Y 向导轨上的移动是通过螺母在丝杆上的移动而实现的。

5. 笔架

如图 1-10 所示。笔架固定在小车上，笔架本身按指令要求可自动“抬笔”和“落笔”。

平台式数控绘图仪的绘图性能主要包括绘图速度、绘图精度和线条质量，其中绘图精度是最为重要的。为了保证绘图精度，对机械装置提出了运动精度和机械谐振频率的要求。精度和谐振频率的计算方法将在第四、五章中介绍。

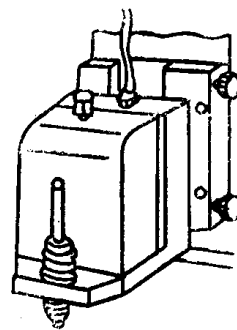


图 1-10 笔架的外形

§ 1.2.3 遥控机器人的机械手

遥控机器人是一种远距离控制操作系统。它通过人的操纵，能在对人有害或人难以接近的环境中，代替人去完成各种比较复杂的精细动作。图 1-11 所示是美国 E1 型遥控机器人的

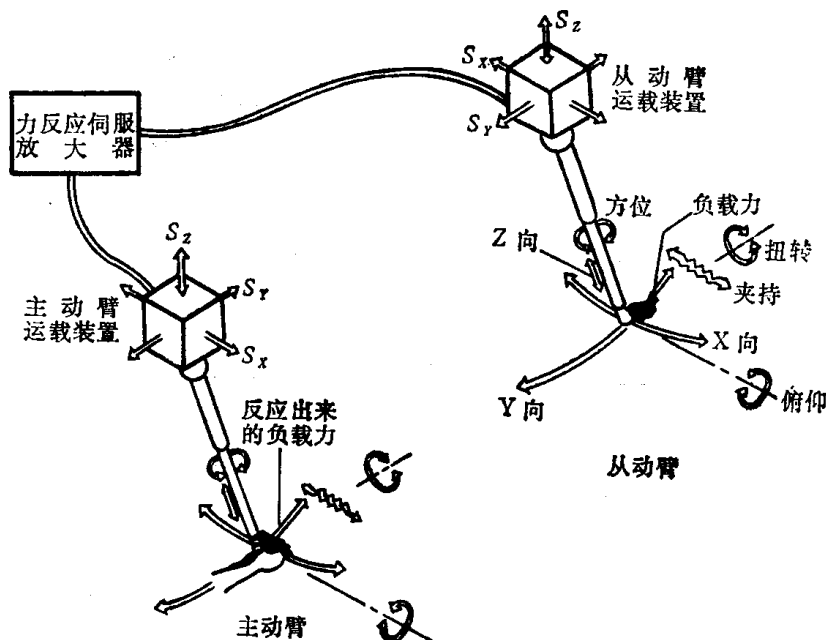


图 1-11 E1 型遥控机器人的机械手臂

机械手臂。它主要由三部分组成：主动臂、从动臂、装有伺服放大器和电源的电气柜(图中未绘出)，这三部分由多芯电缆连接起来。主动臂和从动臂在机械结构上大体相似。每只手臂有七个运动自由度：X 向、Y 向、Z 向、方位、俯仰、扭转及夹持。这七个运动是相互独立的，各由一套相似的伺服系统驱动。伺服系统是由主动伺服传动装置、从动伺服传动装置和伺服放大器等组成的一个闭环系统，当操纵员用手操纵主动臂上的把手时，远距离的从动臂

则跟随主动臂的运动来完成各种操作。在这套闭环系统中还有一套“力反应”系统，当从动臂在位置上跟随主动臂运动时，被移动和夹持的物体对从动臂的约束反力，通过这个“力反应”系统实时地反馈到主动臂上，使操纵员有一种力的感觉，类似于直接操作时的感觉，从而使操纵员可凭力感觉来进行较为精细的操作(如夹持细柔或易碎物体)。

为了进一步了解遥控机械手臂的具体结构、工作原理(特别是“双向力反应”特性)，下面以在 E1 型基础上改进了的 E3 型为例来加以说明。图 1-12 是 E3 型机械手臂的结构示意图。

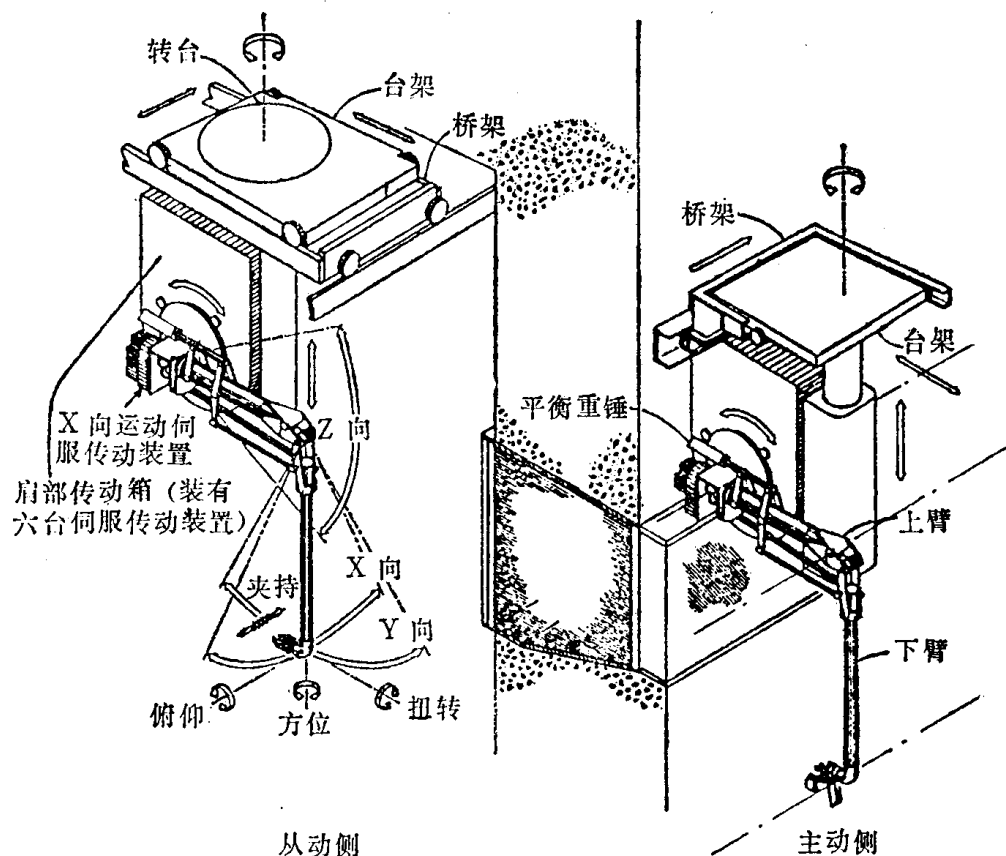


图 1-12 E3 型遥控机器人的机械手臂

它也有七个运动自由度，手臂的运动是通过伺服系统驱动的。和 E1 型不同，它的手臂分成上、下两部分，Z 向只是近似直线运动，它是通过上臂绕肩轴线上、下摆动而形成的。和七个运动自由度对应的七套伺服传动装置有六套装在肩部传动箱内，只有 X 向传动装置位于上臂后部。手臂的七套机械传动链示意图见图 1-13。X、Y、Z 向三套采用了齿轮减速系统。X 向齿轮减速器的输出轴通过传动比为 10.2 的两级齿轮减速，使扇形齿轮以及与其固连的上臂绕上臂轴线回转，从而使下臂左右摆动，形成 X 向运动。Y 向齿轮减速器通过传动比为 10.2 的一对齿轮副和与该齿轮副大齿轮连接的连杆，带动下臂绕肘轴线前后摆动（实质上是一个双摇杆机构），形成 Y 向运动。Z 向齿轮减速器通过传动比为 7.8 的一对齿轮副，使整个手臂绕肩轴线摆动，形成 Z 向运动。其余四个自由度的运动都采用了柔性的滑轮-钢丝绳传动。从图 1-13 中可以看到方位运动是完全由滑轮-钢丝绳实现的，而俯仰、扭转、夹持三个运动的实现要复杂些：穿入下臂来自俯仰、扭转、夹持齿轮减速器的钢丝绳共有五根，它们均被列入腕关节，腕关节的主体是三个圆锥齿轮组成的差动轮系。两根专管俯仰和两根专管扭转的钢丝绳分别带动差动轮系的两个中心圆锥齿轮，而行星圆锥齿轮则输出俯仰和扭转的合运动。

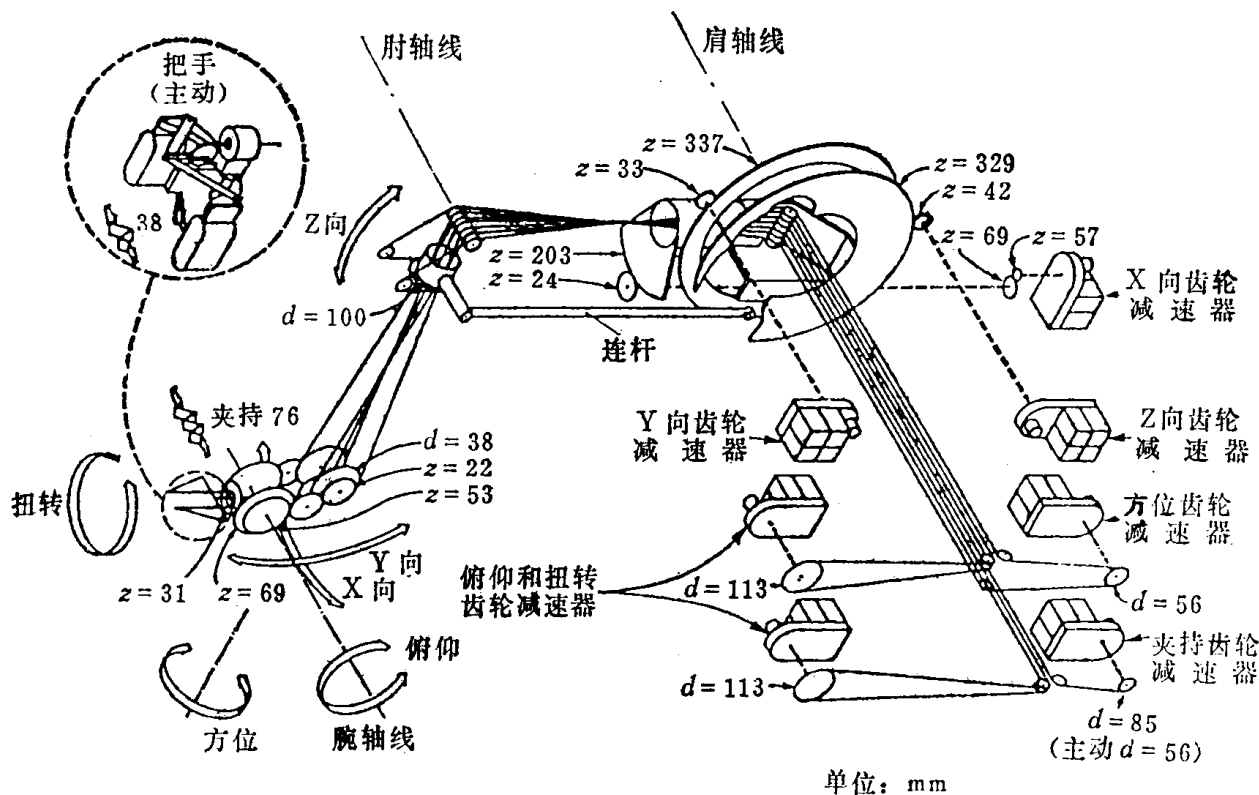


图 1-13 E3 型手臂机械传动图

余下的一根专管夹持的钢丝绳，由下臂跨过腕关节中的一个滑轮，从行星圆锥齿轮的空心轴孔里穿出，绳端有一个球形头，如图 1-14 所示，将它卡在夹钳上的球形绳夹座内，拉紧钢

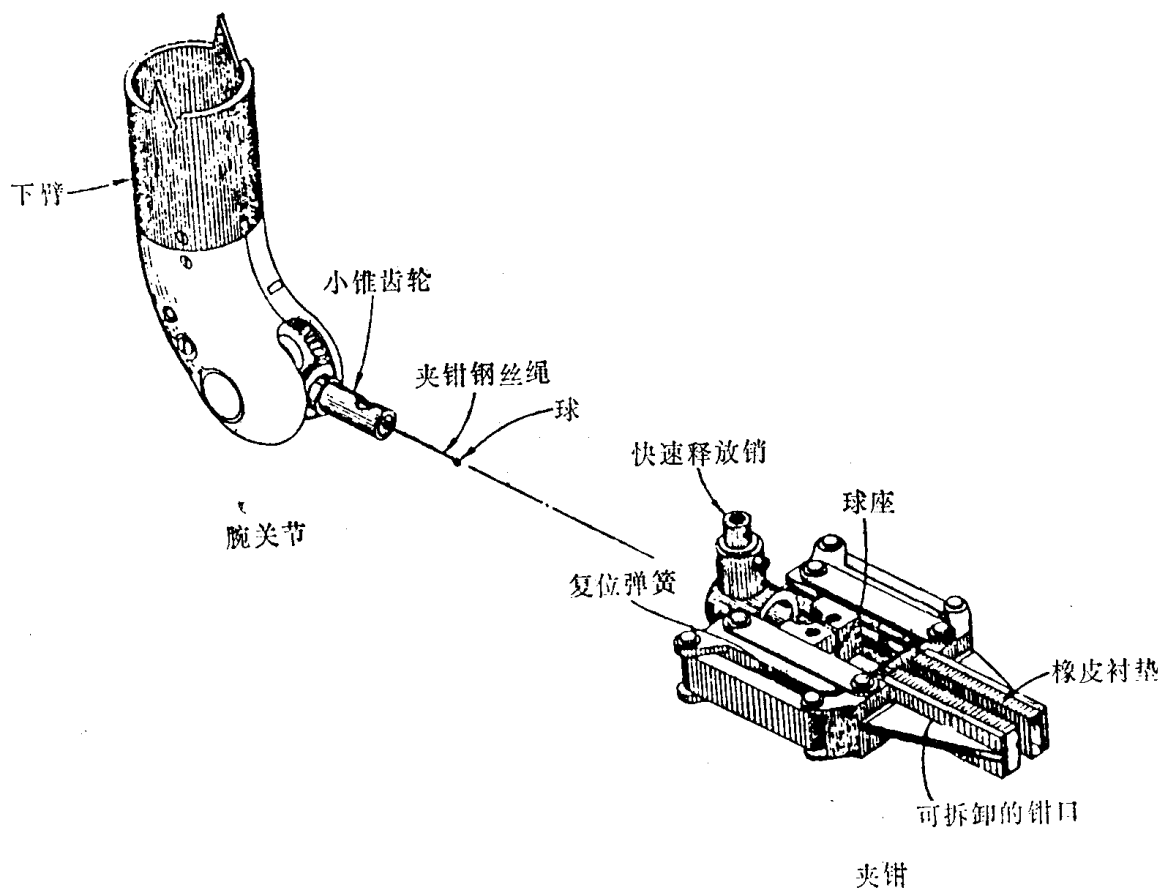


图 1-14 夹钳的动作原理

丝绳，即可使钳口闭合，放松钢丝绳，钳口在复位弹簧的作用下即可自动张开。

E 3 型遥控手臂每个运动自由度上的伺服系统方框图如图 1-15 所示。主动和从动伺服传动装置的结构相似，其主体各为一只由交流伺服电动机驱动的齿轮减速器。在减速器上还装有位置检测器(自整角机)和速度检测器(测速发电机)。伺服系统的输入轴为主动减速器的低速轴,伺服系统的输出轴为从动减速器的低速轴。输出(输入)轴通过图 1-13 所示的手臂机械

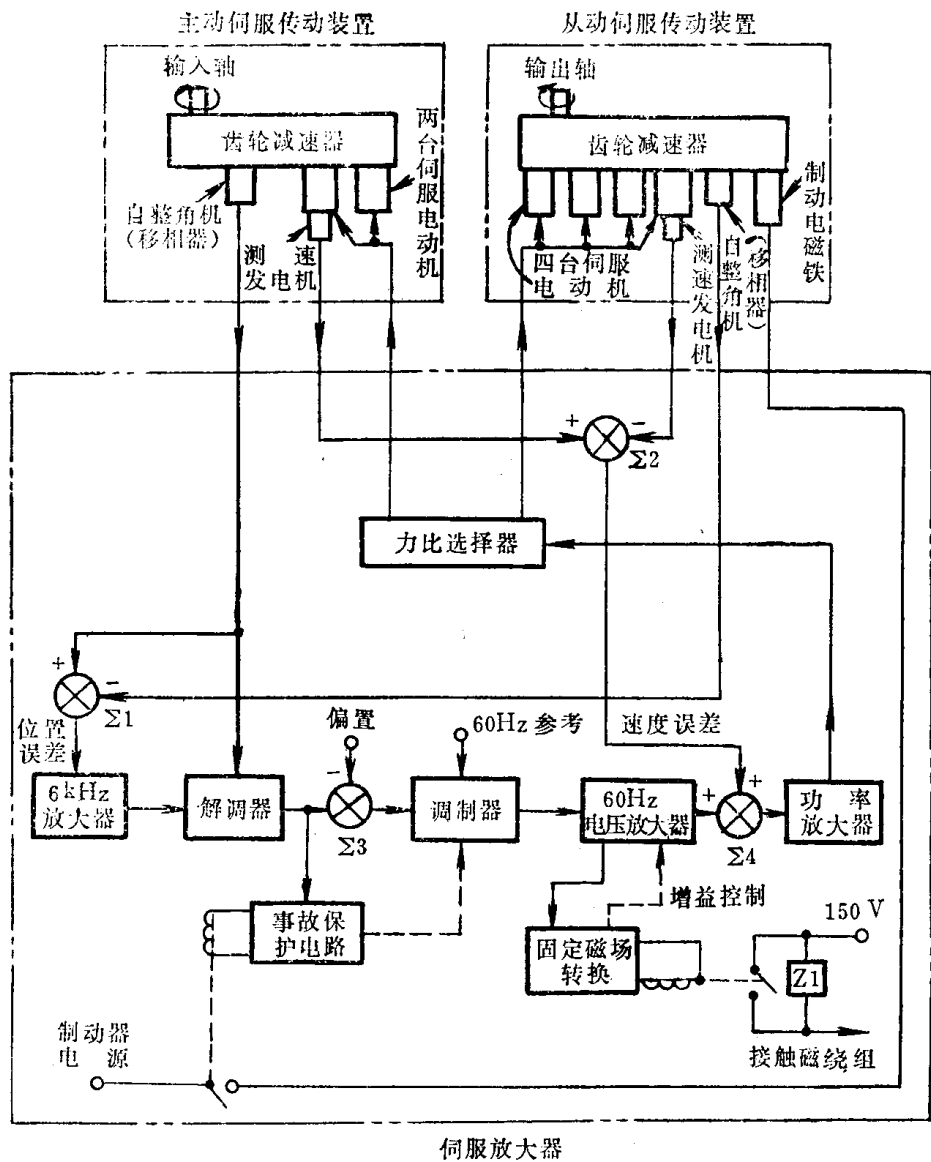


图 1-15 E 3 型遥控手臂的伺服系统方框图

传动链与相应的运动部件相连。自整角机的转子通过消除齿轮与输出(输入)轴相连，测速发电机与电动机同轴相连。从两个自整角机得到的位置信号电压在节点 $\Sigma 1$ 处相减，得到位置误差信号，通过伺服放大器、力比选择器后，有一路加到从动伺服传动装置的伺服电动机的控制绕组上，使电动机朝减小位置误差的方向旋转，从而使输出轴跟随输入轴运动，最后从动臂跟随主动臂运动。伺服放大器输出电压还有一路加到主动伺服传动装置的伺服电动机的控制绕组上，但极性与从动部分相反，使电动机产生一个阻碍主动臂运动的反力矩，此反力矩反过来通过主动臂传动链传到操纵员手上，使操纵员感觉到一个反力，这就是所谓的“力反