

电子专用机械设计基础

北京无线电学校 编

内 容 简 介

本书主要介绍电子专用机械设备中常用的典型机构和元件的结构、工作原理和设计计算基础知识。

本书共分十二章：一、机器设备的基本概念；二、变速传动机构设计；三、直线运动机构；四、凸轮机构设计；五、间歇运动机构设计；六、离合器与制动器设计；七、自动上料机构；八、液压气动装置设计；九、控制机构；十、金属真空系统；十一、机架设计；十二、立式多工位工作机设计分析。

本书可供电子工业及其他工业系统中从事专用机械设备设计、技术革新与技术改造方面的工人、工程技术人员和学校有关机械设计与制造专业的学生参考。

电子专用机械设备设计基础

北京无线电学校 编

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张 18³/₄ 434 千字

1980年6月第一版 1980年6月第一次印刷 印数：00,001—13,400册

统一书号：15034·1915 定价：1.95元

目 录

第一章 机器设备的基本概念

第一节 机器设备的概念	1
第二节 工作机生产率的分析	2

第二章 变速传动机构设计

第一节 概述	5
第二节 有级变速传动机构设计	6
一、阶梯皮带传动设计	6
二、变换齿轮传动设计	8
第三节 无级变速传动机构设计	11
一、圆盘式无级变速机构设计	12
二、活锥无级变速机构设计	13

第三章 直线运动机构

第一节 概述	18
第二节 齿轮—齿条机构	19
第三节 曲柄—滑块机构	20
一、曲柄—连杆机构	20
二、曲柄—摆杆机构	21
第四节 丝杆—螺母机构	23
第五节 直线运动导轨	27
一、圆柱面导轨	28
二、棱柱面导轨	28
三、滚珠(钢球)导轨	31
四、滚柱导轨	33

第四章 凸轮机构设计

第一节 概述	36
第二节 从动件运动规律的分析与选择	38
第三节 凸轮轮廓曲线的设计及分析	42
一、等速运动	43
二、等加速与等减速运动	43

三、简谐运动	45
第四节 压力角的选择与基圆半径的确定	47

一、压力角的概念及选择原则	47
二、径向凸轮基圆半径 r 与轴向凸轮直径 D 的计算	48
第五节 凸轮设计的一般方法	52
第六节 凸轮同期图设计	54
第七节 凸轮设计举例	58

第五章 间歇运动机构设计

第一节 概述	63
第二节 棘轮机构的设计	63
一、齿爪式棘轮机构设计	63
二、摩擦式棘轮机构设计	68
第三节 非完整齿轮机构的设计	72
第四节 槽轮机构的设计	75
第五节 蜗形凸轮机构的设计	82
第六节 星轮机构设计	90

第六章 离合器与制动器设计

第一节 概述	98
第二节 离合器设计	98
一、齿爪式离合器设计	98
二、摩擦式离合器设计	103
第三节 制动器	107

第七章 自动上料机构

第一节 概述	110
第二节 丝、带料上料机构	111
一、放料机构和制动装置	111
二、矫直机构	112
三、夹紧送料机构	113
四、牵引卷绕和排线机构	116

第三节 管、棒料上料机构	118
第四节 件料上料机构	120
一、基本用途构件的典型结构	121
二、件料上料机构的典型实例	132
三、电磁式圆周振动料斗	137

第八章 液压、气动装置设计

第一节 液压传动设计	148
一、液压传动的工作原理和特点	148
二、液压系统的典型标准元件及采用的符号	151
三、液压系统的执行机构——油缸	
活塞的设计	158
四、辅助件设计	162
第二节 气动系统	163

第九章 控制机构

第一节 概述	171
第二节 射流控制	174
一、射流控制系统的组成	175
二、射流元件的工作原理与结构	175
三、射流系统的附件	180
四、射流控制在电子专用机械设备中的应用	183
第三节 数字控制简介	184
一、程控命令部分	185
二、数控装置部分	186
三、驱动机构部分	188
四、在电子专用机械设备中的应用	197

第十章 金属真空系统

第一节 概述	200
第二节 真空密封	200
一、真空装置所用材料	201

二、真空密封结构	203
----------	-----

第三节 金属真空系统的主要

构造元件

一、真空泵的选择	219
二、捕集器	225
三、真空阀门与真空机组	228
四、无油真空系统的构件结构	236

第四节 真空系统设计的一般介绍

第十一章 机架设计

第一节 概述	243
第二节 机架设计	246
一、图示方法	246
二、结构设计	250
附 关于超净设备的简单介绍	252

第十二章 立式多工位工作

机设计分析

第一节 概述	256
第二节 立式多工位工作机的典型机构	258
一、主轴	259
二、夹紧机构	262
三、工作转盘	267

第三节 传动系统的典型形式及其设计分析

附 玻璃加工用的火头及其控制调节系统	279
--------------------	-----

一、火焰加热用的气体及其燃烧的一般概念	279
二、火焰的分析	280
三、火头	283
四、火焰的控制调节系统	289

第一章 机器设备的基本概念

第一节 机器设备的概念

机器，它是由若干个机构部件组合成的总体，其中某些机构间具有确定的相对运动。它能变换能量或利用能量做功，但其本身不能创造能量。

概括的说，机器具有下述三个基本特征：

1. 能变换能量和传递能量，使产生有用的功。
2. 由机构所组成，能产生一定目的的运动。
3. 能完成预定的劳动任务。

机器一般分为两类：

1. 原动机——将一种能变换成另一种能的机器。如电动机、蒸汽机、水轮机等。
2. 工作机——利用机械能来改变或检查制件或材料的形状、尺寸、性质、状态和位置的机器。例如在电子工业生产中的芯柱机、排气机、卷线机、切纸切箔机、拉单晶机等。在机械制造业中的金属切削机床；在纺织工业中的纺织机械等都称为工作机。一般讲机器，习惯上主要就是指工作机。

在电子工业生产中，除有许多称做某某机，如电子管封口机、绕棚机、电阻加帽机、锗片切割机……等等以外，还有许多是用“装置”、“炉子”、“台子”、“设备”等等名称来代替机器名称的，如“三氯化乙烯清洗装置”、“烧氢炉”、“光刻台”、“真空蒸发台”、“浸渍设备”……等。它们虽然不一定都具备上述全部基本特征，但它们都具有上述主要的特征，具有特定的工艺用途。我们把它们（包括称为机器的在内）统称为设备。而且由于它们系电子工业生产中某种特定产品的特定工序的专用设备，所以又统称为电子专用设备。

在电子专用机械设备中，工作机是最基本的机械设备。尽管它的品种很多，用途各异，但它们在组成结构上都可概括成原动机构、传动机构和执行机构三部分。如图 1-1 所示。

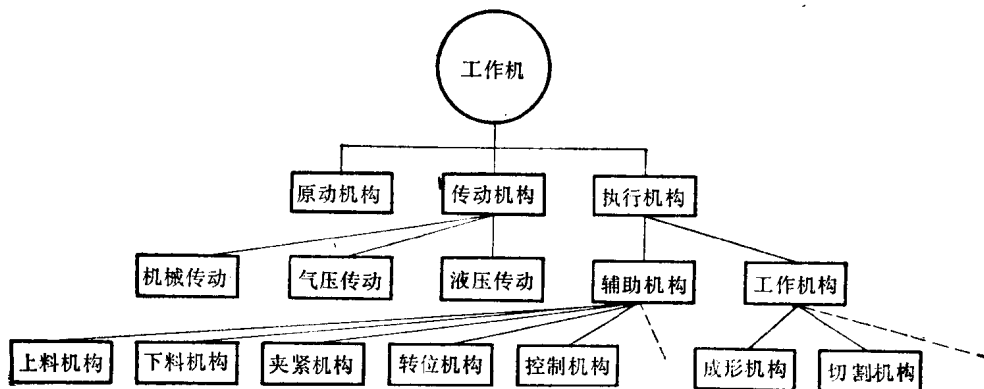


图1-1 工作机的组成系统

原动机构——发出所需的运动和机械能，供机器各机构所需的运动。在电子专用机械设备中，绝大多数均采用电动机来作为工作机的原动机构。

传动机构——把运动和能量传递给各执行机构。一般以机械传动应用较多（如皮带传动、链传动、齿轮传动等），而其他如电气、气动和液压等，也常单独或综合应用。

执行机构——完成某种预定的工艺职能的机构。它包括各种辅助机构和工作机构，前者与工件加工质量无直接关系，它系保证工作机实现循环工作的；后者关系着工件的加工质量，它改变了工件或材料的形状与尺寸等。执行机构的多少，是根据各工序加工情况，已经预先确定了的，因此它确定了机器的用途。

工作机按其自动化的程度，有自动机和半自动机之分。凡工作机中所有的动作皆由各种相当机构来完成的，不需要人的帮助，而只需要人控制工作机运转者，称为自动机，如万能弯曲自动机、玻壳自动制造机等。凡工件的装卸须由人来帮助，而其他工序均自动者，称为半自动机，如电子管热丝电泳机，电子管封口机等。

不难理解自动机是生产过程走向自动化的基础。要使生产过程自动化，首先必须把自动机如何有机的组合成自动生产线来保证生产过程的连续性，然后把这些自动线，再有机地组合起来，成为自动化车间，以保证全车间生产过程的连续性。最后把各自动化车间综合起来成为自动化工厂。在自动化工厂中，从原料到成品的整个生产过程全部自动化。

显然，生产过程自动化，不仅减轻了工人体力劳动，改善劳动条件，而且可以提高劳动生产率，降低产品成本。

第二节 工作机生产率的分析

单位时间内被加工完成的工件（或制品）的数量，叫做生产率，常用 Q 表示。衡量生产率的单位，通常是采用件/小时，件/分及米/分等表示。

任何工作机，其生产率是它的基本特性。

在设计新机器和使用现有机器时，设计人员和工艺人员在使机器保证满足工艺要求，能作出合乎质量标准的产品的同时，还希望求得高的生产率。

一、机器的计算生产率

根据上述生产率的定义，我们不难理解，生产率是与时间密切相关的，也就是说，在机器上制造出一个工件，需要耗费一定的时间，这时间可由公式（1.1）决定。

$$T = t_{\text{工艺}} + t_{\text{辅助}} \quad (1.1)$$

式中 T ——工作循环周期。即在该机器（或工序）上加工完成一个工件（或制品）的时间间隔；

$t_{\text{工艺}}$ ——工艺时间。如冲压、切割、绕丝、加热等所需的时间，即直接用在加工上的时间；

$t_{\text{辅助}}$ ——辅助时间。如装料、转位、夹紧等所需时间，即用在非加工上的时间。

因此，机器生产率 Q ，可以用制造一个工件的时间的倒数来表示，即：

$$Q = Q_{\text{计算}} = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_{\text{工艺}} + t_{\text{辅助}}} \quad (1.2)$$

通常在机器的传动设计计算中, 都是按这个生产率来进行设计计算的, 所以, 这个生产率又称机器的计算生产率。

如何才能最大限度地提高机器的生产率呢? 从公式 (1.2) 中可以看出, 生产率的提高是受工艺时间与辅助时间的限制。

- (1) 若不断降低 $t_{\text{工艺}}$ 时间, 则 Q 就不断提高。
- (2) 若不断降低 $t_{\text{辅助}}$ 时间, 则 Q 也不断提高。
- (3) 若不断同时地降低 $t_{\text{工艺}}$ 与 $t_{\text{辅助}}$ 的时间, 则 Q 就可达到 $Q_{\text{最大}}$ 。

因此, 要最大限度的提高生产率, 设计人员应和工艺人员一起很好地分析和改进工艺, 合理拟定设计方案, 缩短工艺时间 $t_{\text{工艺}}$; 同时, 还要设计良好可靠的机构, 提高自动化程度, 缩短辅助时间 $t_{\text{辅助}}$ 。

二、机器的理想生产率

如果有一台这样的工作机, 它工作时没有辅助时间 (即 $t_{\text{辅助}} = 0$), 则这个生产率, 称为机器的理想生产率。

$$Q_{\text{理想}} = \frac{1}{t_{\text{工艺}}} = K \quad (1.3)$$

式中的 K 称为工艺生产率。将 (1.3) 式代入 (1.2) 式, 得

$$Q_{\text{计算}} = \frac{1}{t_{\text{工艺}} + t_{\text{辅助}}} = \frac{\frac{1}{t_{\text{工艺}}}}{1 + \frac{t_{\text{辅助}}}{t_{\text{工艺}}}} = \frac{K}{1 + K t_{\text{辅助}}} = \eta \cdot K \quad (1.4)$$

式中 $\eta = \frac{1}{1 + K t_{\text{辅助}}}$ 称为生产率系数。

$$\eta = \frac{Q_{\text{计算}}}{K} = \frac{\bar{Q}_{\text{计算}}}{Q_{\text{理想}}} < 1$$

这个比值 η , 是表明从时间上机器被有效利用的程度。例如某机器如果是连续加工 ($t_{\text{辅助}} = 0$) $K = 10$; 如不是连续加工 ($t_{\text{辅助}} \neq 0$), 其 $Q_{\text{计算}} = 8$ 。

$$\therefore \eta = \frac{Q_{\text{计算}}}{K} = \frac{8}{10} = 0.8$$

即表明机器 80% 被利用在加工上, 而 20% 是消费在辅助时间, 即非加工时间上。多工位间歇转位式工作机一般都有这个问题。

三、机器的实际生产率

要确定机器的实际生产率, 即确定长时期内机器的生产率, 还需要考虑循环外的时间损失 $t_{\text{损失}}$ 。例如, 必须周期性的更换工具, 周期性的给机器装料或进行机构调整和修理等。

故机器的实际生产率为:

$$Q_{\text{实际}} = \frac{1}{t_{\text{工艺}} + t_{\text{辅助}} + t_{\text{循环外}}} \quad (1.5)$$

则

$$\varepsilon = \frac{Q_{\text{实际}}}{Q_{\text{计算}}} < 1$$

比值 ε 为循环外的生产率损失系数，其值决定于机器的可靠性及生产组织因素。

综合以上所述，我们可以知道，要能最大限度的提高机器的实际生产率，则必需是全面的缩短 $t_{\text{工艺}}$ 、 $t_{\text{辅助}}$ 、和 $t_{\text{循环外}}$ 的时间。

第二章 变速传动机构设计

第一节 概 述

工作机常常随着工件加工工艺要求的不同, 其工作运动的速度, 要求在一定范围内可以进行改变, 但作为传动的原动力的电动机, 一般却只有一种速度, 这是个矛盾, 如何解决这个矛盾呢? 这就是摆在我们面前的任务。

人们通过生产实践, 逐渐认识到可以改变从动轴转动速度的方法很多, 可以用机械(如皮带、链条、齿轮、摩擦轮等传动方式)、液压、电器等各种方法来实现。而这些方法又可分为两类: 有几种速度可以变换的有级变速; 可以在一定转速范围内获得任意转速的无级变速。

变速传动如图 2-1 所示, 设 n_1 为主动轴转速 (转/分), n_2 为从动轴转速 (转/分), i 为变速机构的传动比。

则

$$n_2 = i n_1 \quad (2.1)$$

由 (2.1) 式和图 2-1 可知, 当 i 值发生变化时, 从动轴即可获得不同的转速 n_2 。 i 值变化的规律, 是根据生产所要求的有级变速或无级变速的参数来设计。

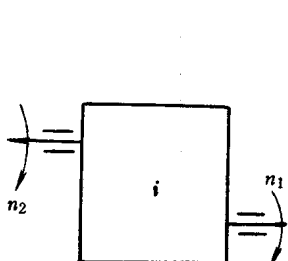


图2-1 变速传动示意图

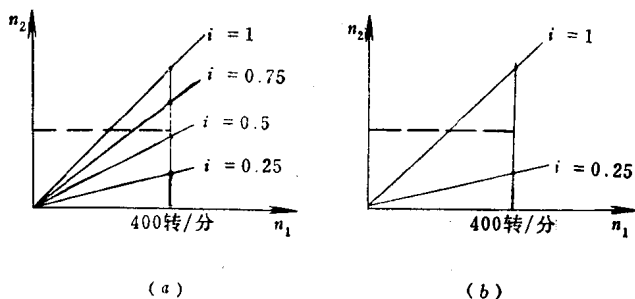


图2-2 变速机构射线图

(a) 有级变速; (b) 无级变速。

有级变速适用于工作机变速要求为从最低转速到最高转速之间, 分为有限几种的传动机构中, 其每级的转速与转速差, 根据使用要求不同, 有的是按一定公比 φ 值增加 (即 $n_n = \varphi n_{n-1}$, 级差倍数为一定常数 φ , 使分级后的速度损失最大值, 控制在一定百分值的范围内, φ 值越小, 各级转速差值越小, 速度损失的百分值越小, 但当极限转速要求一定时, 分级数就越多。通常用于机床的变速箱设计中); 也有的按工艺需要的某几种转速值来设计 (在电子专用机械设备中, 多是后面这种情况)。

无级变速是从最低转速到最高转速之间可以连续变换, 不分级数, 故它特别适用于某些运动速度或时间参数需调试的设备中, 以及要求实现连续变速的传动机构中。

图 2-2 所示的变速机构射线图, 说明了工作机中用有级变速或无级变速的使用性能。例如, 当我们需要 $i = 0.6$ 时, 有级变速机构因设有 $i = 0.6$ 这级速度, 只能选用相邻一级的速度 (一般选低的一级, 如 $i = 0.5$), 但是无级变速机构, 则可较好地满足此要求。所以无级变速比有级变速能更好地满足工艺要求, 使生产率的损失为最小, 但无级变速机构

的装置费较贵。

第二节 有级变速传动机构设计

常见应用在电子专用机械设备中的有级变速机构有：阶梯皮带传动、交换齿轮传动、齿轮变速箱传动等。

一、阶梯皮带传动设计

1. 设计计算

阶梯皮带传动是一种简单的有级变速传动，图 2-3 所示两个塔轮，一个装在主动轴 I 上，另一个装在从动轴 II 上，两个塔轮的各级对应的搭配成 D_1-d_1 、 D_2-d_2 、 D_3-d_3 三种传动关系。

若主动轴转速不变，中间用一根皮带沿各级移动，则从动轴就可获得三种不同的转速如下：

$$\left. \begin{aligned} n_{从1} &= \frac{D_1}{d_1} n_{主} \\ n_{从2} &= \frac{D_2}{d_2} n_{主} \\ n_{从3} &= \frac{D_3}{d_3} n_{主} \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

上式中 $n_{从1}$ 、 $n_{从2}$ 、 $n_{从3}$ 为从动轴上三种不同的转速， $n_{主}$ 为主动轴的转速； d_1 、 d_2 、 d_3 为从动轴上三个皮带轮的直径； D_1 、 D_2 、 D_3 为主动轴上三个皮带轮的直径。设计时为制造方便，主动塔轮各级直径，可以同从动塔轮各级直径相等；但也可以不相等。

在阶梯皮带轮传动中，因皮带移动至任何一级上，其长度是不变的，且二轴的中心距 A 也不变，故各对应皮带轮直径之和也必相等，且等于一常数，即：

$$D_1 + d_1 = D_2 + d_2 = D_3 + d_3 = \text{常数} \quad (2.3)$$

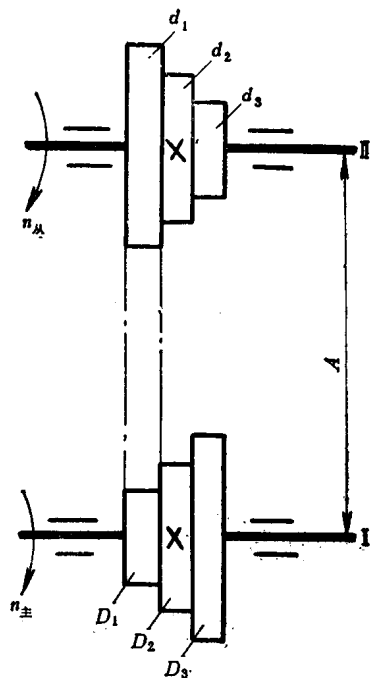


图2-3 阶梯皮带传动

此 (2.2)(2.3) 两式为阶梯皮带传动设计计算中，确定各级皮带轮直径的基本公式。

2. 设计有关问题

通常在设计塔轮时，先给定 n_1 (主动轴转速) 及 $n_{从1}$ 、 $n_{从2}$ 、 $n_{从3}$ (按工艺要求规定的转速)，并合理设定 D_1 ，然后利用公式 (2.2)、(2.3) 两式，即可确定 d_1 、 d_2 、 d_3 及 D_2 和 D_3 之值。

塔轮的级数，一般可用 2 级到 6 级。材料多用铸铁，直径大处制成空心。塔轮的结构有阶梯平皮带轮 (图 2-4) 和阶梯三角皮带轮 (图 2-5) 两种，后者的结构亦适用圆皮带传动。塔轮在轴端的固定方法，除图 2-4、图 2-5 所示结构外，还有用紧定螺钉在塔轮中部，从径向将塔轮紧固在轴上的。具有三角皮带和圆皮带的塔轮传动，一般用于扭矩矩不大的传动。

对于皮带的材料,平皮带可用牛皮带或橡胶布带;三角皮带须按规格选用,圆皮带一般多采用 8~10 毫米的实心牛皮带。

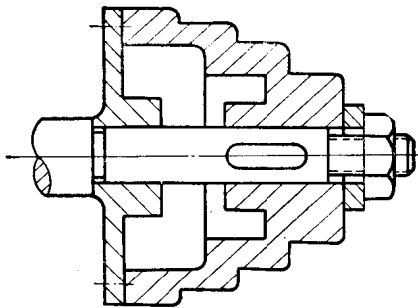


图2-4 阶梯平皮带轮

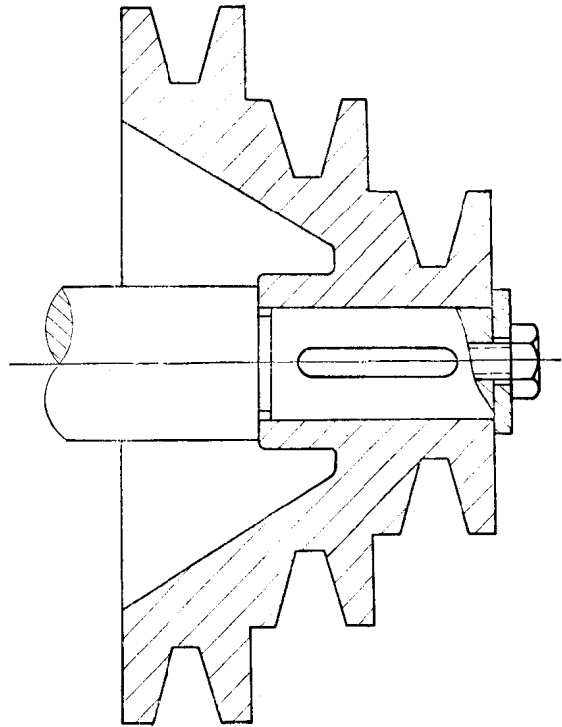


图2-5 阶梯三角皮带轮

3. 阶梯皮带轮传动的优缺点

优点: (1) 结构简单, 价格低廉;

(2) 传动有弹性、吸振、工作平稳无冲击;

缺点: (1) 皮带传动有滑动, 使传动比不定;

(2) 换速时, 拨动皮带不方便, 并需消耗较多时间;

(3) 阶梯皮带轮因具有一定的惯性力矩, 它随着带轮尺寸增大而增大, 这在没有制动情况下, 将会增加机器的超程。

4. 计算举例

已知 8 轴半自动封口机的传动系统, 如图 2-6 所示, 电动机功率 $N=0.25$ 千瓦, 转速 $n=1400$ 转/分, 机器的计算生产率 $Q_1=240$ 个/小时, $Q_2=300$ 个/小时, 试设计二级三角皮带轮传动的主要尺寸。

计算:

(1) 凸轮轴的周期及转速

第一种生产率

$$T_1 = \frac{1}{Q_1} = \frac{3600}{240} = 15 \text{ 秒}$$

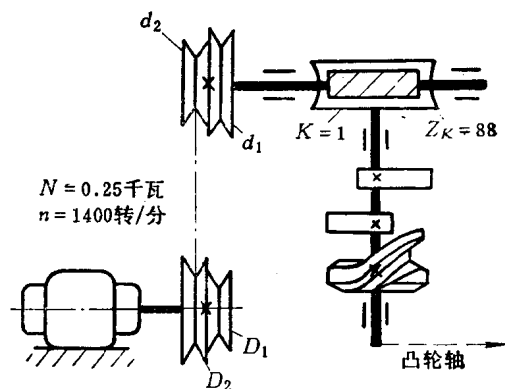


图2-6 封口机传动系统

第二种生产率

$$n_{\text{凸}1} = \frac{1}{T_1} = \frac{60}{15} = 4 \text{ 转/分}$$

$$T_2 = \frac{1}{Q_2} = \frac{3600}{300} = 12 \text{ 秒}$$

$$n_{\text{凸}2} = \frac{1}{T_2} = \frac{60}{12} = 5 \text{ 转/分}$$

(2) 由电动机到凸轮轴的总传动比

$$i_{\text{总}1} = \frac{n_{\text{凸}1}}{n_{\text{电}}} = \frac{4}{1400} = \frac{1}{350} \text{ (减速)}$$

$$i_{\text{总}2} = \frac{n_{\text{凸}2}}{n_{\text{电}}} = \frac{5}{1400} = \frac{1}{280} \text{ (减速)}$$

(3) 二级三角皮带轮的主要尺寸

已知:

$$i_{\text{总}1} = i_{\text{皮}1} \cdot i_{\text{蜗}} = \frac{1}{350}$$

$$i_{\text{总}2} = i_{\text{皮}2} \cdot i_{\text{蜗}} = \frac{1}{280}$$

设蜗杆 $K=1$, 蜗轮的齿数选 $Z_K=88$, 则

$$i_{\text{蜗}} = \frac{1}{88}$$

∴

$$i_{\text{皮}1} = \frac{i_{\text{总}1}}{i_{\text{蜗}}} = \frac{88}{350} = \frac{1}{3.98}$$

$$i_{\text{皮}2} = \frac{i_{\text{总}2}}{i_{\text{蜗}}} = \frac{88}{280} = \frac{1}{3.18}$$

设主、从动皮带轮直径各为 D_1 , D_2 及 d_1 , d_2 , 则由图 2-6 及基本公式的应用得

$$i_{\text{皮}1} = \frac{D_1}{d_1} = \frac{1}{3.98} \quad (2.4)$$

$$i_{\text{皮}2} = \frac{D_2}{d_2} = \frac{1}{3.18} \quad (2.5)$$

设 $D_1=55$ 毫米, 则由 (2.4) 式得

$$d_1 = 3.98 D_1 = 218.9 \approx 219 \text{ 毫米}$$

$$D_1 + d_1 = D_2 + d_2 = 219 + 55 = 274 \text{ 毫米}$$

由 (2.5) 式得

$$d_2 = 3.18 D_2$$

∴

$$D_2 + 3.18 D_2 = 274$$

则

$$D_2 = \frac{274}{4.18} = 65.5 \approx 66 \text{ 毫米}$$

$$d_2 = 274 - 66 = 208 \text{ 毫米}$$

二、变换齿轮传动设计

变换齿轮传动适用于要求变速时能获得精确的传动比, 调速后在较长的时间内不再进行换速的场合中。因此, 变换齿轮传动被广泛地应用于大量生产或大批生产的自动机与半自动机的变速传动中。例如, 自动绕栅机和自动绕螺旋形热丝机等。

用变换齿轮传动获得有级变速的方法是：在主从动轴间距离不变的轴端上，更换齿数不同的齿轮。它有两种构造形式：

A. 单级变换齿轮（不用挂轮架）

其构造形式如图 2-7 所示，主动轴 I 和从动轴 II 的中心距离固定，变速是变换啮合齿轮的主从动位置或更换另一对中心距离合适而传动比不同的齿轮。譬如，若用齿数不同的 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 四个齿轮，进行互相换位安装，即可换得四种传动比。

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= \frac{Z_1}{Z_2} & i_2 &= \frac{Z_2}{Z_1} ; \\ i_3 &= \frac{Z_3}{Z_4} & i_4 &= \frac{Z_4}{Z_3} ; \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

从而从动轴 II 可得四种转速（由 $n_2 = i n_1$ ）。

由于轴间距离 A 为常数，因此所设置的变换齿轮，应该是：

$$Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4 = \text{常数} = \frac{2A}{m} \quad (2.7)$$

即变换齿轮在选配时，每对齿轮的齿数和相等，并为一常数。

B. 复级变换齿轮（用挂轮架）

1. 构造原理

其构造形式如图 2-8 所示，主动轴 I 和从动轴 III 之间距离是固定不变的。在此两轴间装有挂轮架 1，此架能绕轴 III 转动，架上开有直槽 2，用来安装中间轴 II（此轴即为安装齿轮 Z_b 及 Z_c 的轴），此轴的位置随调换的齿轮大小不同，可在架上移动调整。架上另有弧形槽 3（此槽的中心系与轴 III 的中心相重合），用来当换轮调整后，用螺钉将挂轮架固定，使不再绕轴 III 转动。

由图 2-8 所示，其传动比为

$$i = \frac{Z_a}{Z_b} \cdot \frac{Z_c}{Z_d} \quad (2.8)$$

因此当调换中间齿轮 Z_b 、 Z_c ，及主、从动轴上的齿轮 Z_a 、 Z_d 时，则可获得不同的传动比，从而可使从动轴获得许多级的转速。但由于挂轮架的大小和轴 I 与 III 间距固定，故对变换齿轮的数目与大小有一定的限制。

一般在使用时， i 值应根据工艺要求来确定，然后用分解因子的方法，确定 Z_a 、 Z_b 、 Z_c 及 Z_d ，所选配的齿数，应在设备备用的齿轮中选取。

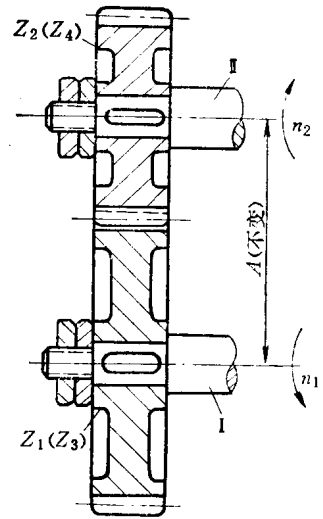


图2-7 单级（不用挂轮架）变换齿轮机构

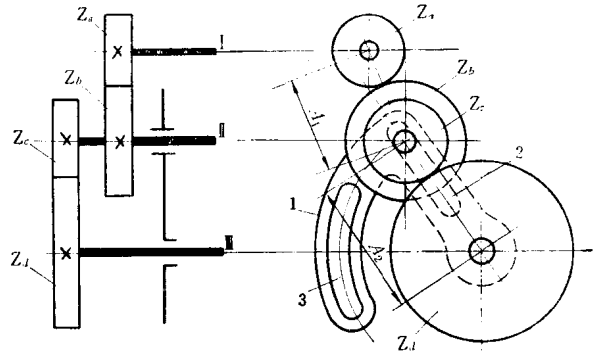


图2-8 复级（用挂轮架）变换齿轮机构

2. 变换齿轮正确啮合的条件

在设计和使用复级变换齿轮机构时, 为了保证所选配的全部齿轮均能正常啮合, 应注意以下两个问题:

第一、因为 Z_b 与 Z_c 是安装在同一根轴Ⅱ上的, 而轴Ⅰ与轴Ⅲ的中心固定不变, 所以, 所选配的齿轮, 应分别作到使 Z_b 与 Z_c 正确啮合, Z_c 与 Z_d 正确啮合, 否则即无法传递运动。为此, 在设计时应根据所定备用齿轮情况, 以主动轴中心 O_1 为中心, 以 $R_1 = \frac{m}{2} \times (Z_c + Z_b)$ 为半径作圆弧, 和以从动轴中心 O_3 为中心, 以 $R_2 = \frac{m}{2} (Z_c + Z_d)$ 为半径作圆弧, 作成变换齿轮的啮合范围图形, 其中两圆弧相交的各点, 即为相应齿轮组的中间轴Ⅱ的中心。然后再根据所设计的挂轮架上装中间轴Ⅱ的槽的长度尺寸、最大摆动角度 α 、以及可换齿轮的最大最小齿数 Z , 设计出该机器变换齿轮啮合范围的图表 (如图 2-9 所示)。在使用时, 所选变换齿轮 Z_c 与 Z_b , Z_c 与 Z_d 的中心距交点 (即 O_2 点), 能在图形以内, 即能保证所选配 of 齿轮, 能在该机上正确的啮合。

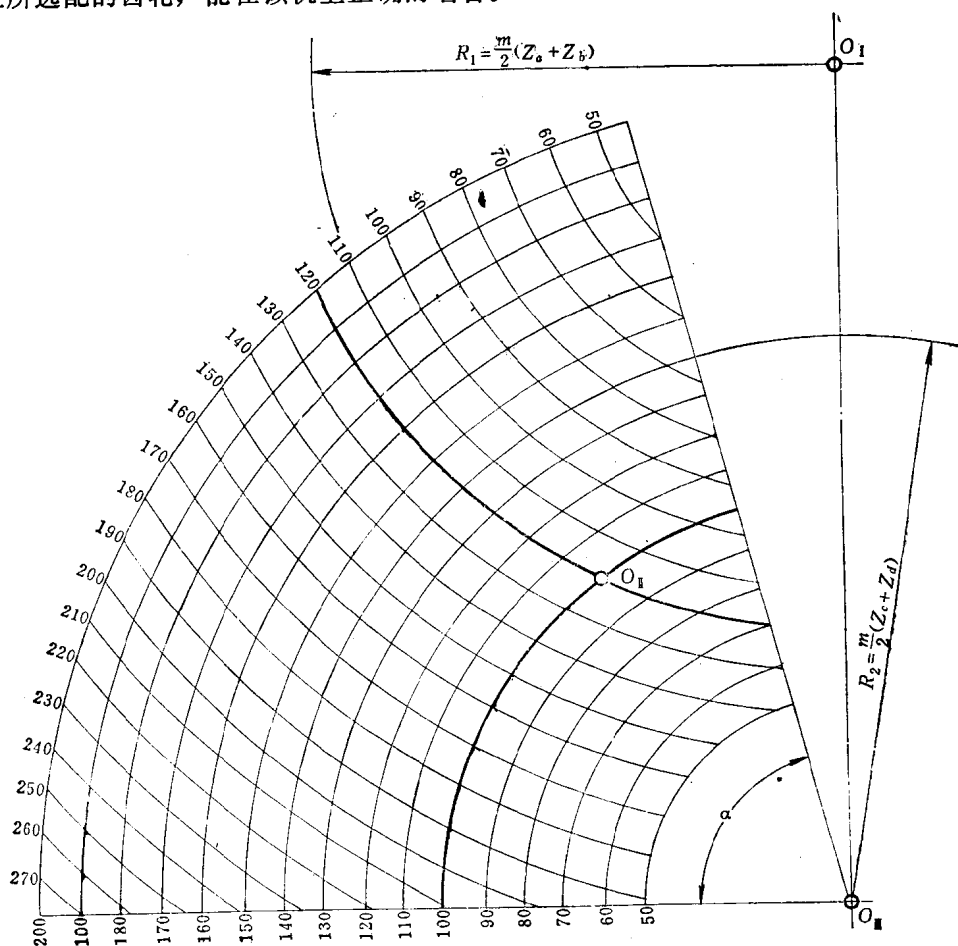


图2-9 变换齿轮啮合图表

第二、应使所选配的中间齿轮 Z_b 在与 Z_c 啮合时, 不与轴Ⅲ相碰, 齿轮 Z_c 与 Z_d 啮合时, 也不与轴Ⅰ相碰, 避免无法安装和传动的情况产生。也就是应注意满足下面不等式的条件:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d_{c\text{顶}}}{2} + \frac{d_1}{2} &< A_1 \\ \frac{d_{b\text{顶}}}{2} + \frac{d_{\text{II}}}{2} &< A_2 \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

式中 $d_{c\text{顶}}$ 、 $d_{b\text{顶}}$ ——齿轮 c 及齿轮 b 的齿顶圆直径；

d_1 、 d_{II} ——轴 I 及轴 II 的直径。

如果主动轴 I 与从动轴 II 的轴径相同，并用模数 m 的倍数 n 表示其直径尺寸为 nm 时，则上式可改写为：

$$\begin{aligned} \frac{(Z_c + 2)m}{2} + \frac{nm}{2} &< \frac{m(Z_a + Z_b)}{2} \\ \frac{(Z_b + 2)m}{2} + \frac{nm}{2} &< \frac{m(Z_c + Z_d)}{2} \end{aligned}$$

化简后得

$$\left. \begin{aligned} Z_a + Z_b &> Z_c + 2 + n \\ Z_c + Z_d &> Z_b + 2 + n \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

所以，在选配复式变换齿轮时，所选 Z_a 、 Z_b 、 Z_c 、 Z_d 等齿轮，除必须满足要求的传动比 i 以外，还必须满足上述两个啮合条件的检查。

3. 设计有关问题

在设计各种传动系统的变换齿轮有级变速时，齿轮推荐用 20~127 齿，其中不同齿数齿轮的个数，系根据工艺要求及速度调整范围来决定。模数按标准选取，常用的模数为 1、1.5、2、2.5 等。齿宽按 $b = (8 \sim 10)m$ 确定。

变换齿轮的孔与其轴的连接具有三种形式：圆柱形花键、圆柱形独键和圆锥形独键。第二种连接的应用最为广泛，圆锥形配合比圆柱形配合有更好的定心作用，但加工比较困难。

对于挂轮架的计算尺寸推荐如下：

- (1) 固定轴的间隔距离，一般为 75 到 90 个模数。
- (2) 在主动轴上必须安装齿数为 65~70 的齿轮，而从动轴上的齿数到 120(127)。
- (3) 架上用来安装中间轴的直槽的长度，一般可根据啮合线图决定。
- (4) 挂轮架摆动的最大角度 $\alpha < 80^\circ$ 。

4. 变换齿轮传动的优缺点：

优点：在备有变换齿轮较多的情况下，可扩大变速范围，并且结构紧凑，传动比正确。

缺点：换速不便，如无计算表时，每次换速时，还须先经计算。

第三节 无级变速传动机构设计

工作机要得到在一定范围内任意改变运动速度时，应采用无级变速传动机构。只有这样才能获得最合适的生产率，使生产率的损失最小。因此，无级变速传动机构在电子专用机械设备中应用颇广。

虽然无级变速传动装置的最初成本较高，但由于能满足工艺要求和提高生产率，同时还能简化工作机的传动结构，可以使操纵自动化，可以在工作机运行中调速。因此，从经

济效果考虑其结果, 仍是合算的。

设计和选择无级变速传动机构时, 主要应考虑的因素是:

- (1) 速度调整范围及极限转速情况;
- (2) 对功率与转矩的特性要求;
- (3) 在运转中换向的必要性和操纵要求;
- (4) 结构简单, 制造方便, 使用可靠, 成本低廉。

常见的无级变速传动有机械式、液压式和电力式三类形式, 这里我们着重介绍机械式无级变速传动设计。

这类变速传动主要是以摩擦传动为基础的, 结构型式很多, 下面我们介绍几种最常用的。

一、圆盘式无级变速机构设计

1. 工作原理

图 2-10 所示为此种装置的传动简图, 从动轴 II 上装有水平的圆盘, 其每分钟转速为 n_2 ; 主动轴 I 每分钟转速为 n_1 , 轴上装小轮, 有滑键可以沿轴作轴向移动, 其半径为 r 。当圆盘与小轮之间有相当的压力时, 则由摩擦力的作用, 使主动轮带动从动轮产生旋转运动。从动轴的每分钟转速 n_2 , 系根据小轮与圆盘接触中点至轴 II 中心线的距离 x 值而定。在不考虑滑动的情况下:

$$n_2 = \frac{r}{x} n_1 \quad (2.11)$$

此种装置也可以用轴 II 作主动, 而以轴 I 作为从动。

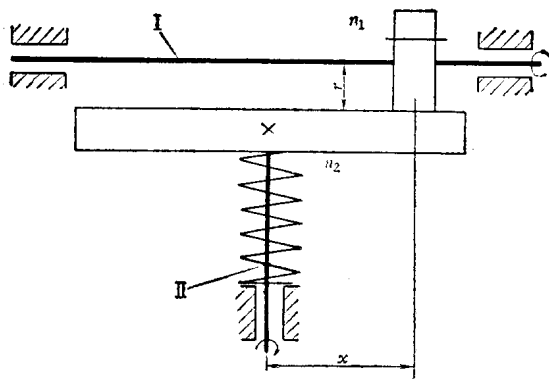


图2-10 圆盘式无级变速传动工作原理

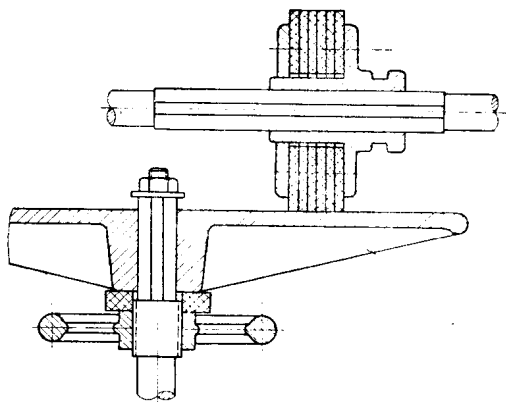


图2-11 小轮与圆盘的结构

2. 圆盘式无级变速传动的优缺点

优点是构造简单, 若将小轮移至轴线的另一侧, 即能反向传动。它既可实现垂直轴之间也可实现平行轴之间的传动。

缺点是在接触面处有较大的滑动, 故磨损率较大。且调速范围较小, 其最大调整率为:

$$B_R = \frac{n_{\text{最大}}}{n_{\text{最小}}} = 3 \sim 4$$

因为 r 及 x 值是受到尺寸限制的, 过大将使结构庞大。它多用于传递小功率场合。

3. 设计有关问题

小轮与圆盘直径之比值, 一般不超过 1:4。小轮材料摩擦系数宜大, 一般采用皮革、橡皮、胶木或铸铁等。圆盘材料通常用铸铁。图 2-11 所示为这种装置中小轮与圆盘的结构。

其次应注意根据工作要求及增速还是减速的不同, 确定主动轮是小轮, 还是圆盘。

在设计时, 除计算外, 其他结构如小轮移动的方法及施行压紧力的方法等, 应多参考现有机器上采用的结构进行分析设计。

图 2-12 为较典型的双盘无级变速传动结构。它适宜于平行轴间的传动。

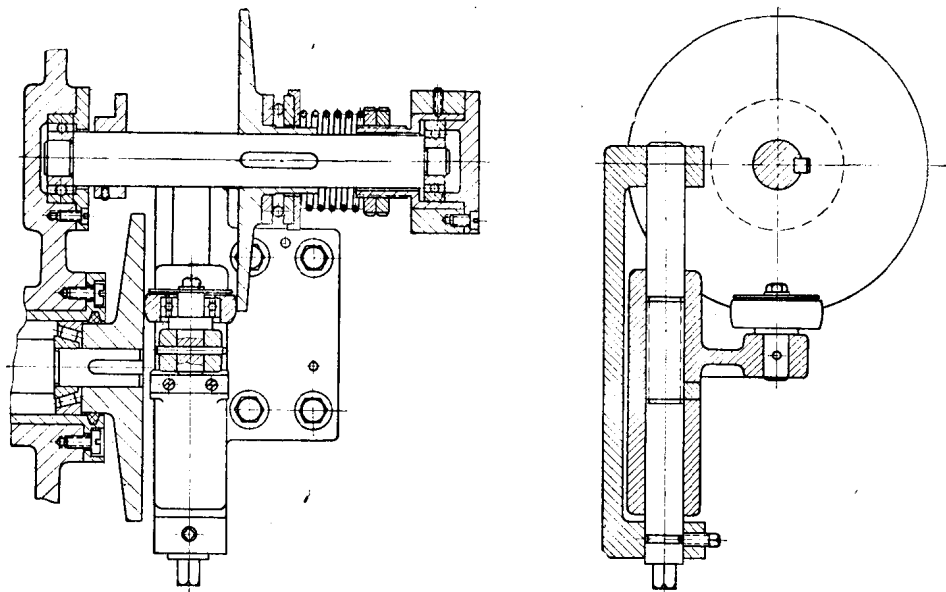


图2-12 双盘无级变速传动结构

二、活锥无级变速机构设计

活锥无级变速机构在电子专用机械设备中应用较广, 图 2-13 及图 2-17 所示为此种机构的传动简图。

1. 工作原理

设中间连接物与主动轴 I 上的活锥体的接触半径为 r_1 , 与从动轴 II 上的活锥体的接触半径为 r_2 , 并设主动轴转速为 n_1 , 则当连接物和活锥体的接触面间产生了一定的压紧力时, 借摩擦力即带动从动轴 II 旋转, 其转速为 n_2 , 若不计滑动的情况下:

$$n_2 = \frac{r_1}{r_2} n_1 \quad (2.12)$$

因此当 n_1 不变, n_2 的数值即由调节 $\frac{r_1}{r_2}$ 的比值而获得改变。

$\frac{r_1}{r_2}$ 比值的改变, 可以有許多方法和结构, 一般是借移动锥轮的方法来获得。而所采用的中间连接物有钢环、三角皮带和链等多种。

2. 典型结构

图 2-14 所示为钢环活锥无级变速机构, 在主动轴 I 和从动轴 II 上各装有两个活锥轮