

机修手册

(修订第一版)

第三篇

金属切削机床的修理

中 册

中国机械工程学会 主编
第一机械工业部

机械工业出版社

第十七章 Y225 弧齿锥齿轮铣齿机的修理

一、修理准备工作

(一) 修 前 准 备

机床修理前,应按机床使用说明书和随机合格证作性能、试切及精度检查。根据机床精度丧失情况及所存在的问题,决定具体修理项目与验收要求,并做好需要更换零件、工具、仪器及有关配件等技术物质准备。修复后的机床,应按几何精度和加工精度要求验收。

由于 Y225 铣齿机是一种加工弧齿锥齿轮半自动机床,结构比较复杂,传动精度也比较高,因此对本机床的修理、试切、精度检查及修复后机床的试调工作,最好能选择适当的环境和地基。应特别注意离开振源和沉重冲击的设备(如锻压、龙门刨及冲剪等设备),以避免精度检验时,影响测量结果。

(二) 需用工具及仪器

所需测量工具,系指在本机床修理工艺中,必需使用的专用刮研、测量及装配工具,这些工具列于表 17-1-1。关于工厂经常使用的通用工、卡具及测量工具,均未列入本表。

表 17-1-1 需用工具

序号	名 称	规 格 (毫米)	数 量	用 途	备 注
1	直 角 刮 研 板	φ140	1	刮研床身侧导轨	图 17-3-7
2	研 磨 芯 轴		1	研磨床鞍中心孔	图 17-3-11
3	翻 转 工 具		1	刮研床鞍	图 17-3-12
4	垂 直 筒		1	测量床鞍中心孔和立柱导轨 垂直性	图 17-3-13

(续)

序号	名 称	规 格 (毫米)	数 量	用 途	备 注
5	直角刮研板	φ210	1	刮研床鞍侧导轨	图 17-3-17
6	测量支架		1	测量床鞍托架孔	图 17-3-28
7	检 验 套		1	床鞍托架孔	图 17-3-30
8	16°V形槽刮研板		1	刮研回转板 V 形槽	图 17-3-37
9	V形槽测量支架		1	测量 V 形槽侧母线	图 17-3-38
10	检 验 芯 轴		1	测量立柱导轨	图 17-3-41
11	刮 研 板		1	刮研立柱压板面	图 17-3-43
12	直角刮研板		1	刮研立柱侧导轨	图 17-3-45
13	专用测量工具		1	测量立柱导轨	图 17-3-46
14	16°V形键刮研板		1	刮研工件箱 V 形键	图 17-3-51
15	检 验 套		2	检修工件箱主轴孔	图 17-3-55
16	垂直检验套		1	研磨工件箱主轴孔	图 17-3-56
17	直角刮研板		1	刮研主轴箱蜗杆箱支承面	图 17-3-62
18	垂直测量表架		1	测量主轴箱齿轮箱支承面	图 17-3-64
19	主 轴 检 验 棒		1	检查工件主轴精度	图 17-3-74
20	主 轴 检 验 棒		1	同 上	图 17-3-81
21	球 形 检 验 棒		1	检查工件主轴与回转板回转 中心不相交度	图 17-3-89
22	测量中心表杆		1	同 上	图 17-3-87
23	检 验 芯 轴		1	曲臂安装定位用	图 17-3-94
24	大型内径百分尺	700~900	1	测量摇台滚道孔用	
25	标 准 齿 轮		1	组合齿轮安装定位用	图 17-3-116
26	车 磨 芯 轴		1	检查分度蜗轮	图 17-3-133
27	专用测量工具		1	测量滚动导轨	图 17-3-152
28	专用千分表架		1	测量工件主轴与摇台不同轴 度	图 17-3-157
29	检 验 轴		1	测量刀盘主轴对床鞍导轨不 平行度	图 17-3-158
30	花 键 轴		1	换向机构伸缩轴定位	图 17-3-162
31	滚 比 检 验 棒		1	测量分度-滚切传动链精度	图 17-4-3

二、机床工作原理与传动

(一) 锥齿轮啮合概念

按图 17-2-1 所示, 两个锥齿轮啮合时, 它们的轴线 $\overline{OA}$ 和 $\overline{OB}$ 相交, 它们的节锥母线接触而纯滚动。节锥的锥顶半角 φ_1 和 φ_2 叫做节锥角。

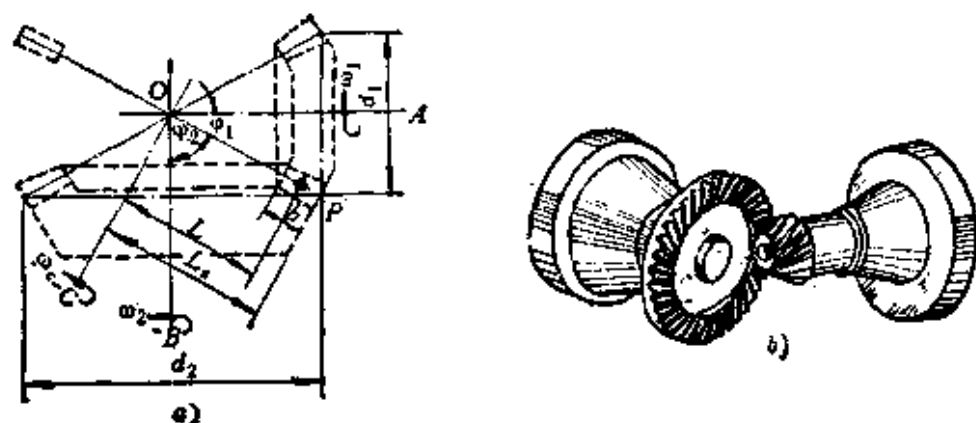


图 17-2-1 锥齿轮的啮合

两轴线的夹角为:

$$\delta = \varphi_1 + \varphi_2$$

当 $\delta = 90^\circ$ 时, 称为正交锥齿轮; 当 $\delta \neq 90^\circ$ 时, 称为非正交锥齿轮。

锥齿轮轮齿大端的端面, 也是圆锥面, 这个圆锥叫做背锥。节锥和背锥的交线是一个圆, 叫做锥齿轮的节圆, 它们的直径为:

$$d_1 = mZ_1, d_2 = mZ_2$$

式中 m ——两个锥齿轮的大端模数;

Z_1 ——小齿轮的齿数;

Z_2 ——大齿轮的齿数。

两个锥齿轮的传动比为:

$$i_{1,2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{\sin \varphi_2}{\sin \varphi_1}$$

当 $\delta = 90^\circ$ 时,

$$\begin{aligned}\operatorname{tg} \varphi_1 &= \frac{d_1}{d_2} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{1}{i_{1,2}} \\ \varphi_2 &= 90^\circ - \varphi_1\end{aligned}$$

节锥母线的长度:

$$\overline{OP} = L_o = \frac{1}{2} \sqrt{d_1^2 + d_2^2} = \frac{m}{2} \sqrt{Z_1 + Z_2}$$

齿圈宽度:

$$b = \left(\frac{1}{4} \sim \frac{1}{3} \right) L_o$$

齿圈中点到锥顶的距离:

$$L = L_o - 0.5b$$

在这里,先介绍一下一对锥齿轮的平面齿轮齿数 Z_o 的意义:在图 17-2-1 中,我们假想有一个圆形平面,其轴线 $\overline{OC}$ 是与两个锥齿轮的轴线 $\overline{OA}$ 和 $\overline{OB}$ 在同一平面内,并与两个锥齿轮节锥的共同母线 $\overline{OP}$ 垂直,其半径等于 L_o ;那么,当两节锥各绕轴线 $\overline{OA}$ 和 $\overline{OB}$ 旋转而纯滚动时,这个圆形平面也将绕轴线 $\overline{OC}$ 旋转并与两节锥一同作纯滚动。实际上,这个圆形平面就是一个平面齿轮的节面,而这个平面齿轮就能与锥齿轮 1 或 2 啮合传动,因此它的大端模数也等于 m 。若令平面齿轮的齿数为 Z_o ,则:

$$mZ_o = 2L_o$$

将前面的 L_o 值代入上式,即得:

$$Z_o = \sqrt{Z_1^2 + Z_2^2}$$

(二) 机床工作原理及结构布局

1. 机床工作原理

用滚切法(亦称展成法)加工锥齿轮,机床加工原理有两种:一种是平面齿轮原理,即节锥角等于 90° 的锥齿轮,该齿轮的节面实际是一个平面;另一种是平顶齿轮原理,即顶锥角等于 90° 的锥齿轮,即齿顶在一个平面上,而节面是一个锥面(即节锥)。

对于收缩齿的锥齿轮,如果采用平面齿轮作为机床加工原理时,假想平面齿轮的齿顶,应当为锥面,其顶锥角等于 $90^\circ + \gamma$ (γ 为被加工齿轮的齿根角)。此时,如果用铣刀盘加工弧齿锥齿轮时,则应将刀盘主轴轴线相对于机床摇台平面倾斜一个齿根角 γ 。

由于角度 γ 须随被加工齿轮的齿根角而改变,因此机床的结构,就要具备刀具主轴可以倾斜的调整装置。这样,不但机床结构变得复杂及刚性较差,而且还影响精度。

本机床是按照平顶齿轮滚切原理工作的,刀具主轴结构采用水平安置,不能作倾斜调整。所谓平顶齿轮,也是一个锥齿轮,其齿顶所在的平面垂直于齿轮的轴心线 $\overline{OO}$ (如图 17-2-2 所示),其节锥,如图中的 AOA 所示。所谓按平顶齿轮滚切原理加工锥齿轮,即在切齿过程中,假想有一个平顶齿轮与机床上的摇台同心,并随摇台的转动而与被加工齿轮作无间隙的啮合滚动,这个假想平顶齿轮的节锥角为 $\varphi_0 = 90^\circ - \gamma$, 这里 γ 是被切齿轮的齿根角。假想平顶齿轮的牙齿表面,是由安装在摇台上的铣刀盘切削刃在摇台上的运动轨迹(锥面)所代替。

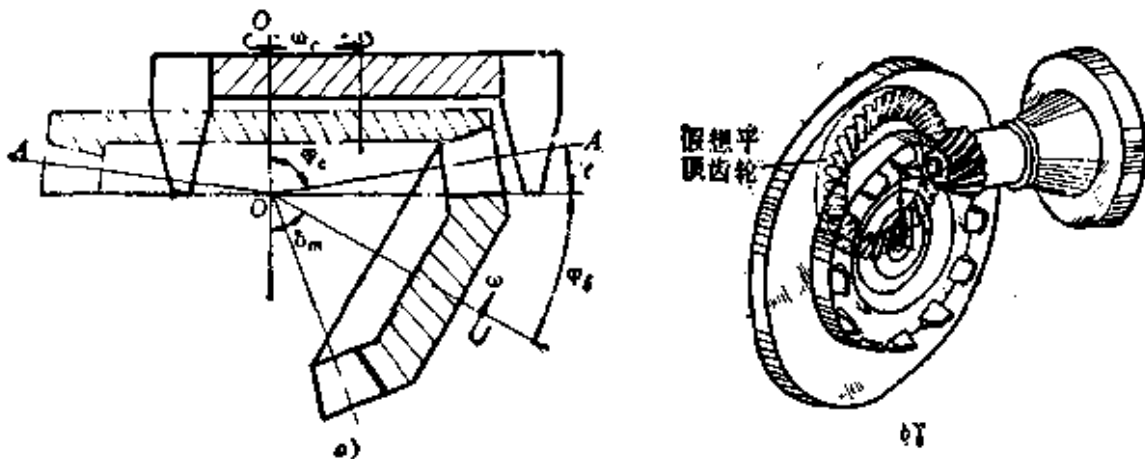


图 17-2-2 机床工作原理图

调整机床时,必须使被切齿轮的节锥与假想平顶齿轮的节锥相切而纯滚动。因此,它们的轴线夹角应为:

$$\delta_m = 90^\circ - \varphi_0$$

式中 φ_0 —— 被切齿轮的根锥角。

假想平顶齿轮与被切齿轮的速比为:

$$i_m = \frac{\omega}{\omega_0} = \frac{\sin \varphi_0}{\sin \varphi}$$

式中 ω ——被切齿轮的角速度;
 ω_0 ——平顶齿轮的角速度;
 φ ——被切齿轮的节锥角;
 φ_0 ——平顶齿轮的节锥角。

2. 机床结构布局 and 主要部件

本机床由床身、床鞍、工件箱、摇台、进给机构、换向机构和驱动机构等七个主要部件所组成, 如图 17-2-3 所示。结构形式为卧式, 机床右半部在床身滚动导轨上, 装有床鞍和工件箱等部件所组成的工件系统; 左半部装有摇台、驱动机构、进给机构和换向机构等部件所组成的摇台系统(假想平顶齿轮)和传动部分。机床加工时, 采用工件进刀。

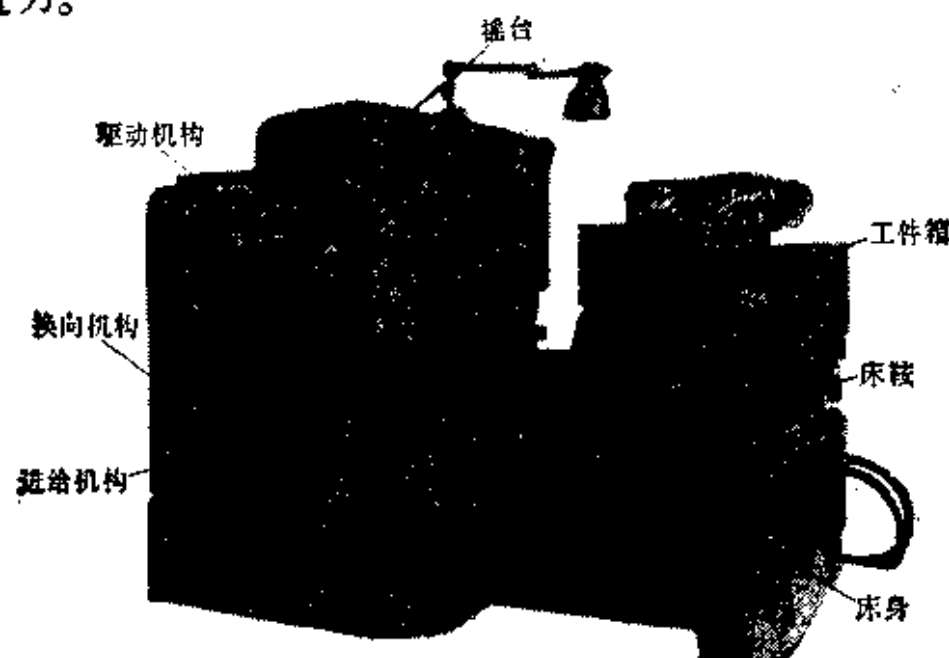


图 17-2-3 机床外观图

3. 机床使用范围和工作循环

本机床适用于汽车、拖拉机、航空工业以及机器制造业加工各种弧齿锥齿轮和准双曲面齿轮。其加工规格最大直径为 500 毫米, 最大模数为 10 毫米。当采用带有修正机构的 YT2250 机床时, 尚可加工半滚切传动锥齿轮和大锥距齿轮。

机床所用的刀具为标准端面铣刀盘, 规格为 6 吋、9 吋和 12 吋

三种。在必要时也可以增加一个过渡刀轴而采用 $3\frac{1}{2}$ 吋小刀盘来进行加工。

本机床可采用滚切法或切入法工作。采用滚切法工作时,有两种运动:即切削与滚切运动。前一种运动为刀盘旋转。后一种运动则为摇台回转(带刀具主轴)及被加工齿轮的相应旋转运动。机床工作循环如下:按下起动按钮,床鞍连同工件主轴箱即作快速前进,刀盘和工件同时旋转,摇台也开始摆动,摇台与工件的运动是为了形成渐开线齿形所必须的滚切运动,当第一个齿槽加工完毕后,床鞍带着工件箱作快速后退,使工件脱离刀盘而摇台则改变方向返回到原来的位置。此时,工件仍按原方向继续旋转,当摇台反向终了后,工作循环又重复进行。由于摇台反向旋转(空行程)时,工件仍按原方向继续旋转,所以当下一个工作循环开始,工件已转过某一预定的齿数 Z_1 , 齿数 Z_1 叫做分度时的跳齿齿数。 Z_1 与被加工齿轮齿数不允许有公因数。

当粗切大节锥角的齿轮或某些特殊传动锥齿轮(如半滚切传动大齿轮,或大锥距齿轮等)时,可采用切入法加工,此时被切齿轮的齿形是由刀具逐渐切入齿坯而形成,而机床则以缓慢的工作进给取代床鞍的快速前进,在这种情况下,滚切量很小,当齿槽加工到预定的深度后,床鞍连同工件箱即作快速后退,摇台反向旋转,工件进行分度。由于滚切量很小,所以摇台反向旋转角度不大,以便有充分的时间进行分度。

本机床装有自动计数装置,当机床调整好以后,即可自动工作,并且当一个齿轮加工完毕以后,可以自动控制停车。

本机床加工精度为旧标准 I 级精度,相当于部标 JB180-60 7 级精度,加工表面光洁度(45 号钢)为 $\nabla 6 \sim \nabla 7$, 当加工好的齿轮经热处理后,应保证达到稳定的 8 级精度。

(三) 机床的传动

1. 机床运动联系的分析

图 17-2-4 和 17-2-5 分别为本机床运动联系和传动系统图。它

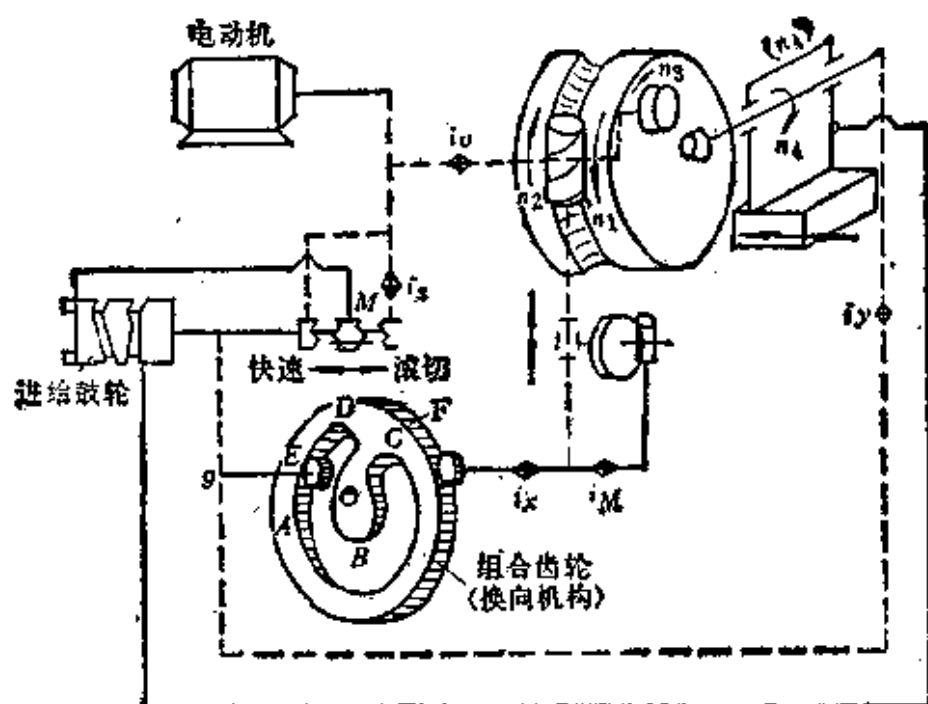


图 17-2-4 机床运动联系图

共有五个传动链,即:切削速度传动链、进给传动链、分度传动链、滚切传动链(摇台链)以及滚切修正传动链(YT2250产品带有此传动链)。

为了说明机床的传动系统,在这里先介绍一下机床上各个运动之间的联系。

本机床,摇台的正反向回转摆动,是由一个组合齿轮来实现的。该组合齿轮由一个不完整的内齿圈A及一个不完整的外齿圈B和两个过渡半齿圈C、D所组成。这个齿轮和一个主动的轴齿轮E始终保持啮合。组合齿轮最外层还设有一个大外齿圈F。运动从主动轴齿轮E传来,由大外齿圈F传给摇台。轴齿轮E的旋转方向不变,当轴齿轮E与组合齿轮的内齿圈A啮合时,摇台为正转反时针方向(n_1),工件进行滚切;当轴齿轮E经过过渡半圆内齿轮C换向转到与外齿圈B啮合时,组合齿轮就改变了方向,使摇台反转顺时针方向(n_2)。所以组合齿轮实际上就是换向机构。

从摇台到工件之间的传动链是滚切传动链,要求有准确的传动比,它是由滚切交换齿轮 i_s 来调整的。

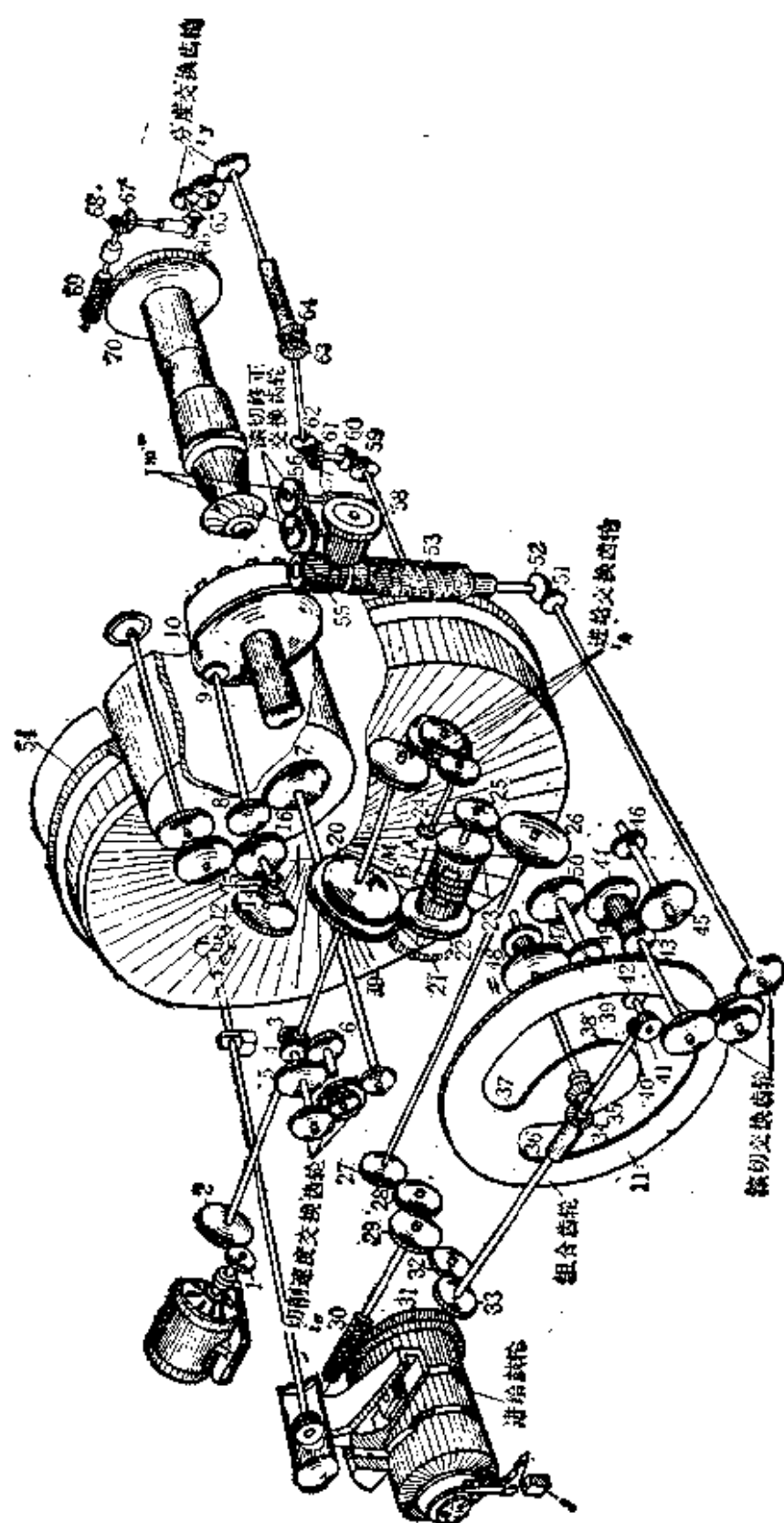


图 17-2-5 传动系统图

由于摇台要正反方向旋转,而工件不反转,以便进行分度,所以从传动顺序来讲,分度传动链不应当联结在组合齿轮的后面,而应在组合齿轮的前面。图 17-2-4 就在 g 点联结,每次所需要的跳齿齿数 (Z_i) 可由分度交换齿轮 i_g 来调整。

在运动联系图上有一进给鼓轮,它是操纵床鞍连同工件箱一起使被切齿轮前进或后退的。进给鼓轮每转一转,使机床完成一个工作循环,并加工出一个齿槽。从电动机到进给鼓轮有两条传动路线,它是通过加速行程摩擦离合器 M 操纵的。当 M 右搭结合时,实现工作进给,进给鼓轮的转速可由进给交换齿轮 i_s 来调整;当滚切完毕后,由进给鼓轮左端扇形板发出信号使离合器 M 向左结合,实现快速退回。

刀盘主轴的旋转 (n_3) 运动是机床的主切削运动。从电动机到刀盘主轴的传动为切削速度传动链,刀盘主轴的转速可由切削速度交换齿轮 i_o 来调整。

除此之外,在 YT2250 机床上还有一个滚切修正机构,通过摇台蜗杆轴向移动而使摇台作一附加回转运动。它是在以半滚切法加工小齿轮,或加工大锥距锥齿轮以及修正接触区时用的。其运动可由滚切修正交换齿轮 i_M 来调整。

2、机床传动系统说明

(1) 主切削运动 刀盘主轴的旋转运动来自 4 千瓦 2880 转/分的主电动机,经过无声减速齿轮 1 和 2,弧齿锥齿轮副 3 和 4 或圆柱齿轮 5、6 与一套切削速度交换齿轮 i_o ,再经螺旋圆柱齿轮 7、8 到 9 与大内齿轮 10 相啮合,此大内齿轮装在刀盘主轴上,于是刀盘获得旋转运动。

当运动由齿轮 5 传递时,刀盘主轴的旋转方向为右旋;当运动经由齿轮 6 传递时,刀盘主轴的旋转方向为左旋。刀盘主轴旋转运动共有 12 级,其范围为 25~325 转/分。

(2) 进给运动 进给运动来自主切削运动链的齿轮 2,经过一套进给交换齿轮 i_s 与圆柱齿轮 24 和 23 传给摩擦离合器 M ,摩擦离合器的另一侧则经由齿轮 20 和 22 而获得旋转。

摩擦离合器 M 按箭头 A 方向结合时,为机床的工作进给,其运动由齿轮 24 传给齿轮 23 和 25;当按箭头 B 方向结合时,则为加速空行程旋转,运动经齿轮 19、21 或齿轮 20、22 传给齿轮 25。再经齿轮 26、27、28 和 29 传给蜗杆蜗轮副 30 和 31,并带动进给鼓轮旋转,该鼓轮每转一转即完成一个轮齿的加工(19 和 21 系加速反行程为 2.5 秒的啮合齿轮,由于设计不合理,制造厂已将此两齿轮取消)。

每加工一个齿所需要的时间为进给量,机床工作行程进给量共有 16 级,其范围为: 2.5~76 秒/齿。进给鼓轮上有两条梯形曲线槽,一条用于切入法加工(或称粗切),粗切槽主要控制床鞍使齿坯逐渐送向刀具进行切削,当切削至要求深度时,又使齿坯退离刀具;另一条用于滚切法加工(精切),精切槽主要控制齿坯处于固定的轴向位置上(此时刀具已插在齿槽之中),以便进行滚切加工,或在滚切完一个齿后,使齿坯退出刀具。由于每加工一个齿,进给鼓轮需要转一转,所以在每一次工作循环开始的适当时候,它就能使床鞍进退一次,以便进行加工。

(3) 工件主轴的旋转运动 运动由主电动机传来经齿轮 1、2,进给交换齿轮 i_1 和摩擦离合器传给圆柱齿轮 25、26、27、28、29、32、33 和弧齿锥齿轮副 34、35。这时,当齿轮 47 和 49 啮合时,分齿减速比用 1:1;当齿轮 48 和 50 啮合时,分齿减速比用 1:5,以后再经弧齿锥齿轮副 59、60、61、62、63、64、分度交换齿轮 i_2 ,弧齿锥齿轮副 65、66、67、68,分齿蜗杆蜗轮副 69 和 70,将动力传给工件主轴,从而使工件获得旋转运动。

(4) 摇台回摆运动 运动来自齿轮 33,经弧齿锥齿轮副 40 和 41 传给轴齿轮 42,轴齿轮 42 与组合齿轮内齿圈 39 啮合时,为机床的工作行程;与外齿圈 38 啮合时,则为反向空行程。通过组合齿轮大外齿圈 11 与齿轮 43 的啮合将运动直接传给滚切交换齿轮 i_3 ,再经弧齿锥齿轮副 51 和 52,摇台蜗杆蜗轮副 53 和 54 而使得摇台获得回摆运动。组合齿轮大外齿圈 11 与齿轮 43 啮合时,齿轮 43 通过齿轮系 45、46、44 将运动传给滚切交换齿轮 i_3 时,减速比为 1:5;不通过齿轮系,而直接通过与滑移齿轮 44 的端面联结将运动传给滚切

交换齿轮 i_x 时, 减速比为 1:1。

(5) 滚切修正运动(YT 2250 产品有此运动) 滚切修正机构的运动来自安装在摇台蜗杆上部的圆柱齿轮 55、56 通过滚切修正交换齿轮 i_M 和蜗杆蜗轮副 57、58 而传到偏心套, 偏心套上装有偏心滚轮轴并与摇台蜗杆上端轴套相连, 以液压使滚轮与轴套上的凹槽端面相贴合, 当偏心滚轮轴作行星运动时, 就带动摇台蜗杆产生轴向移动, 以使摇台蜗轮产生附加运动, 从而达到修正齿形的作用。

3. 组合齿轮传动联系的分析

本机床传动系统中, 最关键的问题是滚切传动链和分度传动链, 而掌握和理解组合齿轮是分析这个关键问题的中心环节。因此, 在这里先对组合齿轮的传动联系作一简要的分析, 以便使用或维修时参考。组合齿轮的示意图如图 17-2-6a 所示, 它包括 $\widehat{abc}$ 是一个不完整的内啮合齿圈, 共有 196 个齿(在整个圆周上应有 224 个齿); $\widehat{efg}$ 是一个不完整的外啮合齿圈, 共有 98 个齿(在整个圆周上应有 112 个齿); $\widehat{ahg}$ 和 $\widehat{cde}$ 则是两个内啮合半齿圈, 在半圆上各有 28 个齿。安装这两个半齿圈时, 应使其与两个不完整的内外齿圈结合成为一个完整的封闭齿圈, 并围绕着同一轴心进行回转。与此组合齿轮相啮合的传动轴齿轮($Z=14$)则装在一个滑架体中(简称滑枕), 该滑枕可在结构上作水平向心移动, 以满足传动轴齿轮与组合齿轮内、外齿圈啮合过程中的换向要求。

当轴齿轮与组合齿轮内齿圈 $\widehat{abc}$ 部分啮合时, 是一种内啮合, 此时, 组合齿轮的旋转方向和轴齿轮相同(如图 17-2-6b 中实线箭头所示)。

当轴齿轮与组合齿轮啮合到 c 点以后, 在与 $\widehat{cde}$ 半齿圈啮合过程中, 轴齿轮一边转动, 一边和滑枕一起向组合齿轮中心作径向移动, 在 cd 部分, 组合齿轮旋转方向仍未改变, 不过转动速度逐渐减少, 在 d 点上速度为零。 d 点以后, 组合齿轮反向, 转动速度由零增大, 到外齿圈 $\widehat{efg}$ 则达到正常的外啮合速度。

过渡半齿圈 $\widehat{ahg}$ 与 $\widehat{cde}$ 部分相类似, 当转到 h 点后, 组合齿轮旋转方向又转回来。

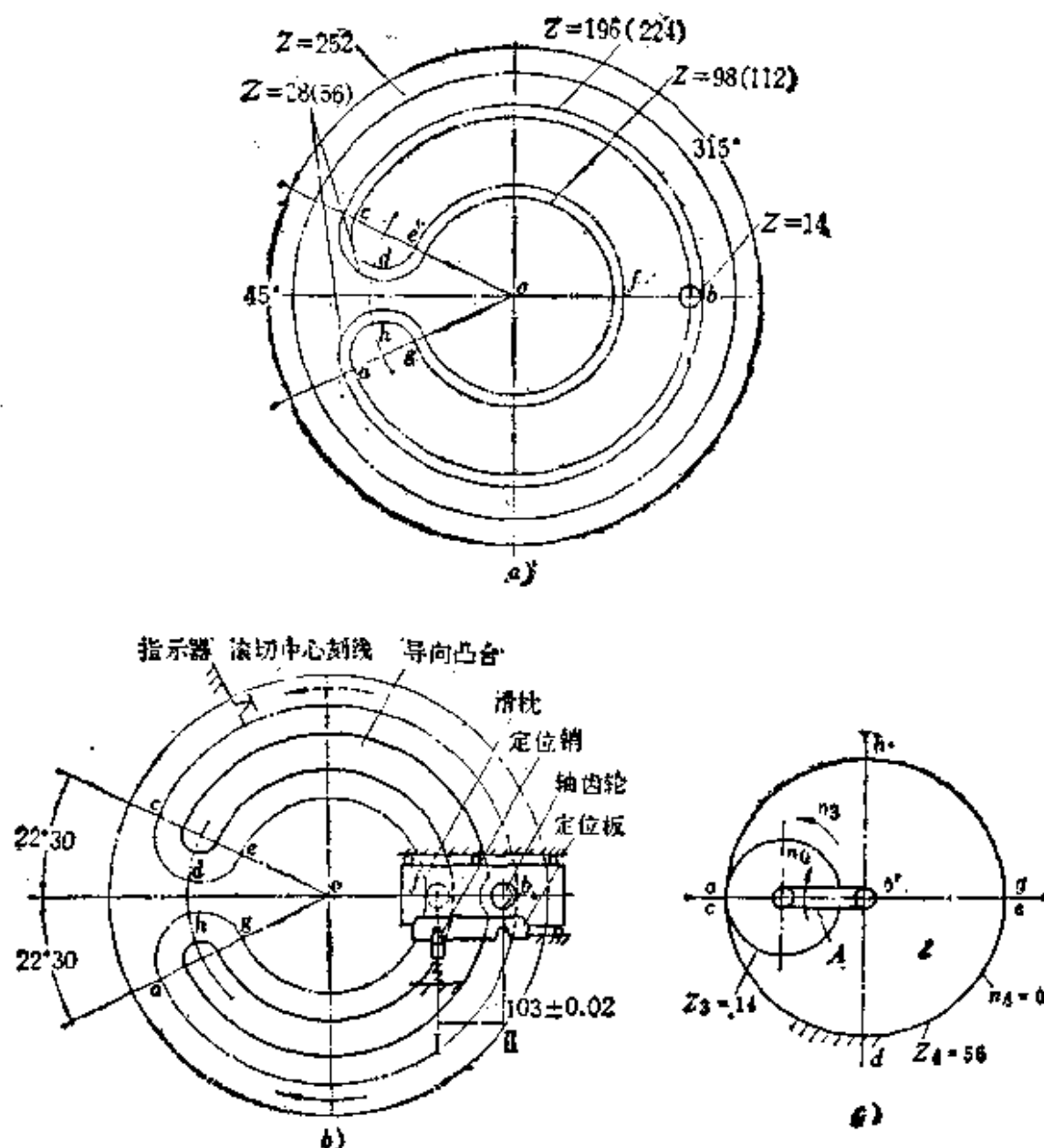


图 17-2-6 组合齿轮示意图

由此可见,轴齿轮和组合齿轮啮合传动,每完成一次循环,组合齿轮即进行一次正反方向的摆动。组合齿轮的正反向旋转,通过大外齿圈($Z=252$)将运动传给摇台,使摇台往复摆动一次。

综上所述:当进给鼓轮转一转,组合齿轮正,反方向摆动一次,机床即完成一个工作循环。

当进给鼓轮转一转时,与组合齿轮相啮合的轴齿轮($Z=14$)的转数可按图 17-2-5 计算:

$$n_{\text{轴齿轮}} = 1 \times \frac{72}{2} \times \frac{64}{60} \times \frac{60}{48} \times \frac{16}{32} = 24 (\text{转})$$

这就要求,当轴齿轮转过 24 转时,应正好与组合齿轮啮合一遍。现证明如下:

1) 当轴齿轮与内齿圈 $\widehat{abc}$ 部分啮合时,属于定轴传动,可按一般公式计算。设啮合完 $\widehat{abc}$ 部分时,轴齿轮转过 n_1 转,则:

$$n_1 = \frac{196}{14} = 14 (\text{转})$$

2) 当轴齿轮与外齿圈 $\widehat{efg}$ 部分啮合时,也是定轴传动,在啮合完 $\widehat{efg}$ 部分后,轴齿轮转过 n_2 转,则:

$$n_2 = \frac{98}{14} = 7 (\text{转})$$

3) 当轴齿轮与内啮合半齿圈 $\widehat{cde}$ 和 $\widehat{ahg}$ 部分啮合时,轴齿轮除自转外,轴齿轮的中心还必须绕 $\widehat{cde}$ 或 $\widehat{ahg}$ 部分的中心旋转,这就不是定轴传动,而是一个行星运动了,因此就应该按行星机构的公式来进行计算。

因为 $\widehat{cde}$ 和 $\widehat{ahg}$ 部分是两个相等的内齿半齿圈,所以我们在计算时,可以将轴齿轮 ($Z=14$) 与它们的啮合过程,可以看成如图 17-2-6c 所示结构,并相对的将组合齿轮看成是静止不动的,而轴齿轮 ($Z_3=14$) 以臂 A 绕 O' 轴公转一整转。

设:内齿圈转数为 n_4 ,齿数为 Z_4 ;臂 A 的转数为 n_0 ;轴齿轮转数为 n_3 ,齿数为 Z_3 ,旋转方向如图 17-2-6b 所示。当臂 A 公转一整转时,轴齿轮自转的转数按如下计算:

$$\frac{n_3 + n_0}{n_4 + n_0} = \frac{Z_4}{Z_3}$$

将 $n_4=0$, $n_0=1$, $Z_4=56$, $Z_3=14$ 代入上式得:

$$\frac{n_3 + 1}{0 + 1} = \frac{56}{14} = 4$$

$$\therefore n_3 = 3 (\text{转})$$

计算说明:轴齿轮在和组合齿轮两个过渡半齿圈啮合过程中,轴齿轮一共转过的转数为 3 转。

故轴齿轮 $Z_3=14$ 在和组合齿轮啮合运转一遍时,轴齿轮总共转

过的转数为:

$$n_{\text{轴齿轮}} = n_1 + n_2 + n_3 = 14 + 7 + 3 = 24 (\text{转})$$

因此, 计算结果与上面要求完全相符。

4. 机床传动链的计算

(1) 刀盘主轴转速的计算 设 $n_{\text{刀盘}}$ 为刀盘主轴的转速, 机床主电机的转速为 $n_{\text{电机}} = 2880$ 转/分。

由此可得出关系式:

$$2880 \times \frac{16}{64} \times \frac{34}{34} \times i_v \times \frac{35}{28} \times \frac{17}{85} = n_{\text{刀盘}}$$

$$\therefore i_v = \frac{A}{B} \times \frac{C}{D} \approx \frac{n_{\text{刀盘}}}{180}$$

切削速度交换齿轮 A 、 B 、 C 、 D , 可从机床说明书或交换齿轮箱中的标牌上直接查出。

(2) 进给传动链的计算 从主电动机到进给鼓轮的传动链中, 由于摩擦离合器 M 按箭头 A 向结合时, 运动才经过进给交换齿轮 i_s , 此时, 进给鼓轮在切削工作行程中平均转过 160° (进给鼓轮的设计是按 $160^\circ 10'$ 的鼓轮转角作为工作行程, 而 $360 - 160^\circ 10' = 199^\circ 50'$ 为空行程), 其余将近 200° 则为加速反向空行程。

设 s 为工作行程时间 (单位为秒/齿), 在这时间内进给鼓轮转过 $\frac{160^\circ 10'}{360^\circ}$, 主电机转过 $\frac{2880}{60} \times s$ 转, 由此可得出关系式:

$$\frac{2880}{60} \times s \times \frac{16}{64} \times i_s \times \frac{34}{68} \times \frac{42}{56} \times \frac{48}{100} \times \frac{100}{64} \times \frac{2}{72} = \frac{160^\circ 10'}{360^\circ}$$

$$\therefore i_s = \frac{A}{B} \times \frac{C}{D} \approx \frac{4.8}{s}$$

进给交换齿轮 A 、 B 、 C 、 D , 可以从说明书或交换齿轮箱中的标牌上直接查出。

在加速空行程时, 摩擦离合器 M 按箭头 B 向结合时, 运动不经过进给交换齿轮 i_s 。加速空行程速度原有两挡 (齿轮 19 和 21 现已取消), 可由双联齿轮 19、21 分别结合来调整。根据同样道理, 可列出下列平衡方程式:

$$\frac{2880}{60} \times t_{\text{空}} \times \frac{16}{64} \times \begin{array}{c} 70 \\ 64 \\ 52 \\ 88 \end{array} \times \frac{42}{56} \times \frac{48}{100} \times \frac{100}{64} \times \frac{2}{74} = \frac{199^{\circ}50'}{360^{\circ}}$$

$$\therefore t_{\text{空}} = \begin{cases} 2.5 \text{ 秒/齿} \\ 5 \text{ 秒/齿} \end{cases} \quad (t_{\text{空}} = 2.5 \text{ 秒/齿 现已取消})$$

机床每加工一个齿时的机动时间:

$$T_{\text{机动}} = s + t_{\text{空}} \quad (\text{秒/齿})$$

(3) 分度传动链的计算 本机床没有单独的分度机构, 分度运动是当摇台由工作行程转换到反向加速空行程时, 进给鼓轮使床鞍连同工件箱一起快速退出, 工件主轴旋向不变而继续旋转。此时, 被加工齿轮相对于摇台即精确的转过与其齿数没有公因数的任意整数齿数 Z_i , 以便使刀盘在每一后续循环中进入新的齿槽(不必相邻)。

运动从组合齿轮分成互相联系着的两种传动, 即分度传动和摇台回摆传动。组合齿轮在每加工一个齿的循环过程中, 要正反回摆一次。因而与其相啮合的轴齿轮 42 相应的转过的转数应为:

$$\frac{\text{组合齿轮齿数}}{\text{轴齿轮齿数}} - 1 = \text{轴齿轮的转数}$$

将组合齿轮实际齿数代入上式后得:

$$\frac{196 + 98 + 28 + 28}{14} - 1 = \frac{336}{14} = 24 (\text{转})$$

当组合齿轮正反回摆一次时, 相当于分配轴进给鼓轮转一转。实际上, 按传动图即可列出下列平衡方程式:

$$24 (\text{转}) \times \frac{32}{16} \times \frac{48}{60} \times \frac{60}{64} \times \frac{2}{72} = 1 (\text{转})$$

由于进给鼓轮旋转一转或轴齿轮 42 旋转 24 转(组合齿轮回摆一次)相当一个工作循环, 为使被加工齿轮在这一循环中能转过整数齿数 Z_i , 所以被加工齿轮应旋转 $\frac{Z_i}{Z}$ 转。因而, 将连接进给鼓轮与工件主轴的传动链的关系式写成下列形式: