

图书分类号: _____

密 级: _____



毕业设计(论文)

CA7620 液压多刀半自动车床主传动箱设计

**The Design of CA7620 Hydraulic Multi-tool
Automatic Lathe Main Drive**

学生姓名	罗有亮
学院名称	机电工程学院
专业名称	机械设计制造及其自动化
指导教师	何绍华

2008 年 6 月 2 日

徐州工程学院学位论文原创性声明

本人郑重声明： 所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用或参考的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品或成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标注。

本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

论文作者签名：_____ 日期：_____年____月____日

徐州工程学院学位论文版权协议书

本人完全了解徐州工程学院关于收集、保存、使用学位论文的规定，即：本校学生在学习期间所完成的学位论文的知识产权归徐州工程学院所拥有。徐州工程学院有权保留并向国家有关部门或机构送交学位论文的纸本复印件和电子文档拷贝，允许论文被查阅和借阅。徐州工程学院可以公布学位论文的全部或部分内容，可以将本学位论文的全部或部分内容提交至各类数据库进行发布和检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

论文作者签名：_____ 导师签名：_____

日期：_____年____月____日 日期：_____年____月____日

摘要

介绍 CA7620 机床主传动系统的设计步骤和设计方法, 根据已确定的运动参数以变速箱展开图的总中心距最小为目标, 拟订变速系统的变速方案, 并引入优化设计的思想, 以获得最优方案以及较高的设计效率。

此次设计过程中参考了同类机床主传动箱的设计, 重点参考了 C7620 液压机床, CA7620 机床的主传动箱的布局与 C7620 机床的类似, CA7620 液压多刀半自动车床是以液压驱动的高效机床, 在生产中有着广泛的运用。

关键词: 机床; 传动系统; 优化设计

Abstract

This thesis introduces the design steps and methods of main transimisson system of machine tool and draft the transmission scheme of the system,which the aim of the most minimal center distance of expansion graph,according to the motion parameter that has aeady been definded.Adopt the method of CAD and thought of odoptimal design to acquire the superior project and higher design efficiencies.

The process of designing a similar reference to the main transmission boxes of machine design, the key reference C7620 hydraulic machine, CA7620 machine main drive me with the layout of the C7620 machine similar, CA7620 hydraulic multi-tool is hydraulic-driven semi-automatic lathes The efficient machine in the production of a wide range of use.

Keywords: machine tool main transmission system optimal design

目 录

1 绪论.....	1
1.1 主传动的设计要求.....	1
1.2 主传动的组要设计程序.....	1
2 主运动的运动设计.....	2
1.1 设计任务.....	2
2.2 拟定转速图.....	2
2.2.1 确定变速组的数目.....	2
2.2.2 确定变速的排列方案.....	2
2.2.3 确定基本组和扩大组.....	2
3 主传动的结构设计.....	3
3.1 主传动的布局.....	3
3.2 变速机构.....	3
3.3 齿轮的布置.....	3
3.3.1 滑移齿轮的轴向布置.....	3
3.3.2 一个变速组内齿轮轴向位置的排列.....	4
3.3.3 两个变速组内齿轮轴向位置的排列.....	5
3.3.4 缩小径向尺寸.....	5
3.3.5 滑移齿轮的结构形式.....	6
3.4 计算转速.....	7
3.4.1 主轴计算转速的确定.....	8
3.4.2 采用交换齿轮的变速系统.....	9
4 主传动的零件设计.....	10
4.1 主要零件的验算校核.....	13
4.1.1 直齿圆柱齿轮的基本参数.....	13
4.1.2 齿轮的校核计算.....	14
4.1.3 计算机辅助设计及零件校合.....	18
4.1.4 轴的校核.....	30
5 主传动的润滑.....	38
5.1 润滑系统的要求.....	38
5.2 润滑剂的选择.....	39
5.3 润滑方式的选择.....	39
5.4 轴承的润滑及密封方法.....	39
结论.....	41
致谢.....	42
参考文献.....	43
附录.....	44

1 绪论

实现机床主运动的传动系统,称为机床的主传动系统,它和机床的传动方案和总体布局有关,主运动传动链的末端是主电动机与主轴,它的作用是把动力源(电动机)的运动传给主轴,使主轴带动工件旋转实现主运动,并满足卧式车床主轴变速和换向的要求。

1.1 主传动的设计要求

机床的主传动系统与机床的技术经济指标有密切联系,在机床的主要技术参数拟订以后,进行机床的结构设计之前,需要设计机床的传动系统。在设计机床的主传动系统时,必须满足下列基本要求:

- 1) 机床的末端执行件(如主轴)应有足够的转速和变速级数。
- 2) 机床的动力源和传动机构都需保证传递足够扭矩,并且要求传动效率较高。
- 3) 机床的传动机构,特别大末端执行件都需保证足够的精度,刚度,抗振能,并且要求稳升较低和热变形较小。
- 4) 机床的操作和控制需要灵活轻便和安全可靠,机床的调整维修要求简单方便,机床噪音小,以保证工人生产的正常工作条件。
- 5) 机床的结构应尽量简单,紧凑,制造方便,成本低。
- 6) 机床的自动化程度和生产率方面的要求,应合理地满足。

1.2 主传动的组要设计程序

1) 调查研究

有足够的原始设计资料,在明确机床满足的要求的同时,还应有同类型的机床设计图纸及经验总结。

2) 主传动的运动设计

根据机床的主要技术参数要求,拟定可能的转速图,并从中选出合理的方案,然后计算齿轮齿数级及带轮直径,最后绘制传动系统图。

3) 主传动的结构设计

根据传动系统图设计变速箱或主轴箱的部件装配图,并进行必要计算。

4) 主传动的零件设计

轴和齿轮机构的强度校核计算

2 主运动的运动设计

1.1 设计任务

主运动的运动设计是运用转速图的基本原理,以拟定满足给定的转速的合理传动方案,主要包括选择变速组及传动副数,确定各变速组中的齿轮传动比,以及计算齿轮齿数。

2.2 拟定转速图

CA76520 机床的主轴转速范围为 180—710 转/分,转速级数 $Z=4$,公比 $\phi=1.26$ 电动机转速 $n_0=1450$ 转/分。

2.2.1 确定变速组的数目

大多数机床广泛应用滑移齿轮的变速方式,为满足结构设计和操纵方便的要求通常采用双联或三联齿轮,所以 4 级转速需要三个变速组,即 $Z=4=2\times 2$ 。

2.2.2 确定变速的排列方案

由于 CA7620 液压多刀半自动车床主传动轴通装在床身内,结构上没有特殊要求,根据各变速组中传动副数应遵循“前多后少”的原则,选择 $Z=4=2\times 2$ 这种方案。

2.2.3 确定基本组和扩大组

根据“前密后疏”的原则,选择 $4=2\times 2$ 的方案。

3 主传动的结构设计

3.1 主传动的布局

主传动的布局主要有集中传动式和分离式两种,主传动的全部变速机构和主轴组件装在同一箱体内,称为集中传动布局;分别装在变速箱和主轴箱两种箱体内,其间用胶带、链条等传动时,称为分离传动布局。

CA7620 液压多刀半自动车床采用集中传动式布局,它的优点是:结构紧凑,便于实现集中操纵,箱体数少,缺点是:传动机构运转中的震动和发热会直接影响主轴的工作精度。

3.2 变速机构

大多数机床的主运动都需要进行变速,可以有级变速,也可以是无级变速,有级变速应用较广,有级变速机构包括交变齿轮变速机构;滑移齿轮变速机构;离合器变速机构。

CA7620 液压多刀半自动车床采用滑移齿轮变速机构,它广泛应用于通用机床和一部分专用机床,其优点是:变速范围大;变速级数也较多;变速方便节省时间;在较大的变速范围内可传递较大的功率和扭矩;不工作的齿轮不啮合,因而空载的功率损失较小,其缺点是:变速箱的结构较复杂,不能在运转中变速,为方便滑移齿轮容易进入捏合,一般用直齿圆柱齿轮,传动平稳性不如斜齿轮传动。

3.3 齿轮的布置

初步确定了转速图和齿轮齿数之后,合理地布置齿轮排列方式,是一个比较重要的问题。它将直接影响到变速箱的尺寸、变速操纵的方便性以及结构实现的可能性因此设计机床变速箱时,要根据具体要求合理地加以布置。

3.3.1 滑移齿轮的轴向布置

变速组中的滑移齿轮一般布置在主动轴上,因其转速一般比被动轴的转速高,则其上的滑移齿轮的尺寸小,重量轻,操纵省力,但有时在结构上考虑,必须将滑移齿轮放在被动轴上,也有时为了操纵方便将两个相邻变速组的滑移齿轮放在同一根轴上。

为了避免同一滑移齿轮变速组内的两对齿轮同时啮合,两个固定齿轮的间距应大于滑移齿轮的宽度,一般留有间隙量为 1~2 毫米,如图 3-1

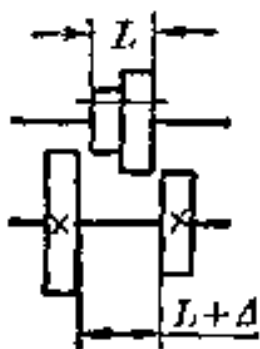


图 3-1 滑移齿轮的轴向

3.3.2 一个变速组内齿轮轴向位置的排列

齿轮在轴向位置的排列, 如果没有特殊情况, 应尽量缩短轴向长度。

滑移齿轮的轴向位置常有窄式排列和宽式排列两种。一般采用窄式排列, 它所占的轴向长度较小。图 3—2 所示的两级变速组占用的轴向长度 $L > 4b$ 。其中 L 为齿轮变速组在轴上所占有的空间长度, b 为一个齿轮的齿部宽度。如图 3—3 所示的宽式排列(即滑移齿轮的轴向尺寸宽), 则占用的轴向长度较大, 以致在相同的负荷条件下, 轴径须加粗从而使轴上的小齿轮的齿数增加, 相应使齿数和及径向尺寸加大, 因此, 一般不希望采用宽式排列。

如前所述, 二联滑移齿轮的两种排列方式, 必须保证同轴上相邻两齿轮的齿数差大于 4, 才能使滑移齿轮在越过某个固定齿轮时避免齿顶相碰。若相邻齿数差小于 4, 除了采用增加齿数和的方法(使相邻两齿轮的齿数差增加, 此时径向尺寸也加大)、或者采用变位齿轮的方法予以解决外, 还可采用如图 3—4 中图所示的排列方案, 让滑移齿轮中的最小轮越过固定的小齿轮即最大齿轮与最小齿轮的齿数差大于 4, 而其他两个齿轮的齿数差允许小些, 但这种排列方法的轴向尺寸较大。

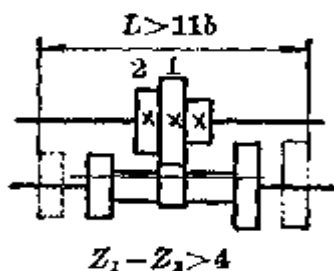


图 3-2 双联滑移齿轮的轴向排列

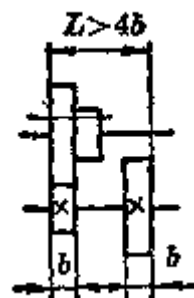


图 3-3 三联滑移齿轮的轴向排列

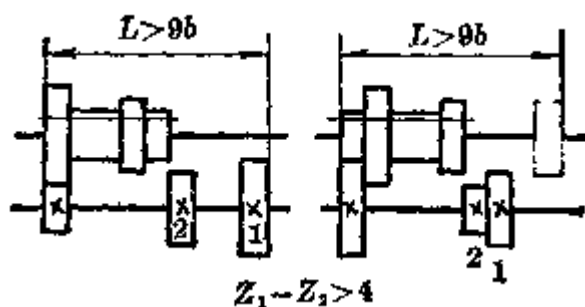


图 3-4 三联滑动齿轮轴向排列

3.3.3 两个变速组内齿轮轴向位置的排列

图 3—5 上图和图 3—6 为两个变速组的齿轮并行排列方式,其总长度等于两变速组的轴向长度之和,两个变速组的齿轮交诺排列,其总的轴向长度较短,但对固定齿轮的齿数差有要求。由图 3—5 可知,三轴四级变速机构的并行排列方案,其总长度为 $L > 8L$,而中图的交错排列只要 $L > 6b$ 就够了。

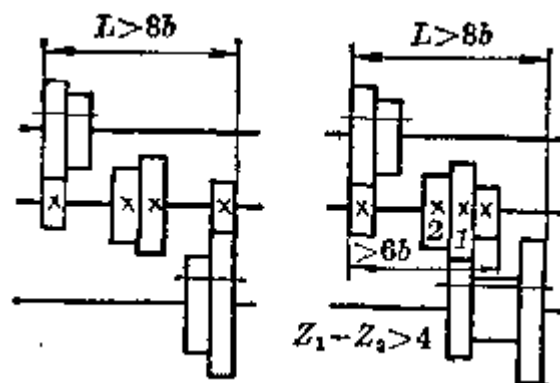


图 3-5 二级变速组的齿轮轴向排列

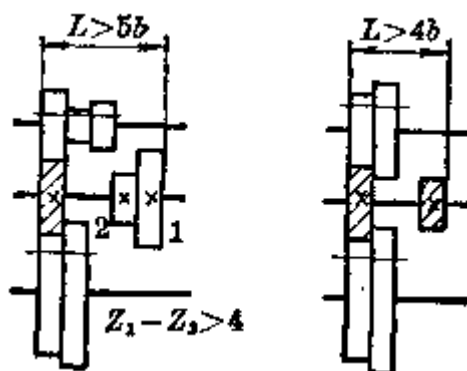


图 3-6 变速组的轴向排列

3.3.4 缩小径向尺寸

为了减小变速箱的尺寸,既须缩短轴向尺寸,又要缩小径向尺,它们之间往

往是相互

联系的, 应该根据具体情况考虑全局, 恰当地解决齿轮布置问题。

有些机床(加卧式镗床和龙门铣床)的变速箱须沿导轨移动, 为了减小变速箱对于导轨的颠覆力矩、提高机床的刚度和运动平稳性, 变速箱的重心和主轴应尽可能靠近导轨面这就须力求缩小变速箱的径向尺寸。

3.3.4.1 缩小轴间距离

在强度允许的条件下, 尽量选用较小的齿数和, 并使齿轮的降速传动比大于 $\frac{1}{4}$, 以避免采用过大的齿轮。这钱既缩小了本变速组的轴间距离, 又不致妨碍其他变速组轴间距离的减小。

3.3.4.2 采用轴线相互重合

在相邻变速组的轴间距离相等的情况下, 可格其中两根轴布置在同一轴线上, 则径向尺寸可大为缩小如图 3-7, 而且减少了箱体上孔的排数, 箱体孔的加工工艺性也得到改善。

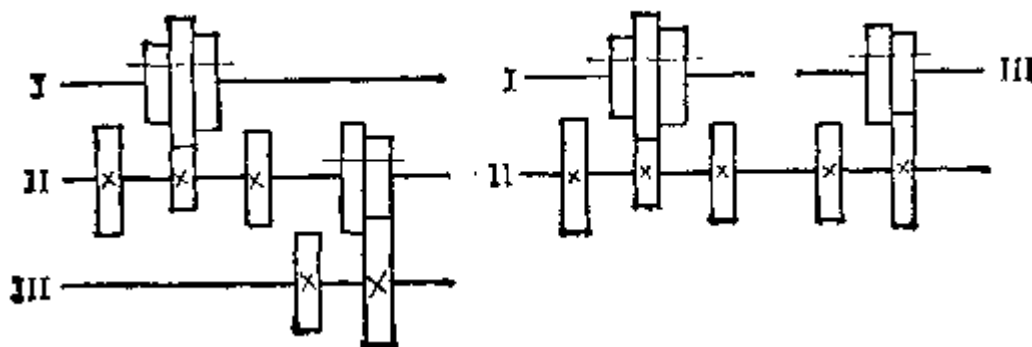


图 3-7 轴线重合的布置方式

3.3.5 滑移齿轮的结构形式

机床主传动系统中常见的滑移齿轮结构形式有: 整体式及装配式, 见图 3—8 设计滑移齿轮结构, 一般应考虑齿轮的工艺方法。整体式多联齿轮在插齿、剃齿时, 两个齿轮间应留有足够的空刀槽, 磨齿时则更大些; 还要考虑变速时拨叉或滑块的拨动方式(图中双点划线所示); 为了使滑移齿轮能够顺利啮合, 在其啮合端面上沿全部齿高须倒成圆角; 为了保证齿轮的导向性良好, 滑移齿轮的轮毂长度不应小于 $(1.2 \sim 1.5)d$, d 为轴的直径。

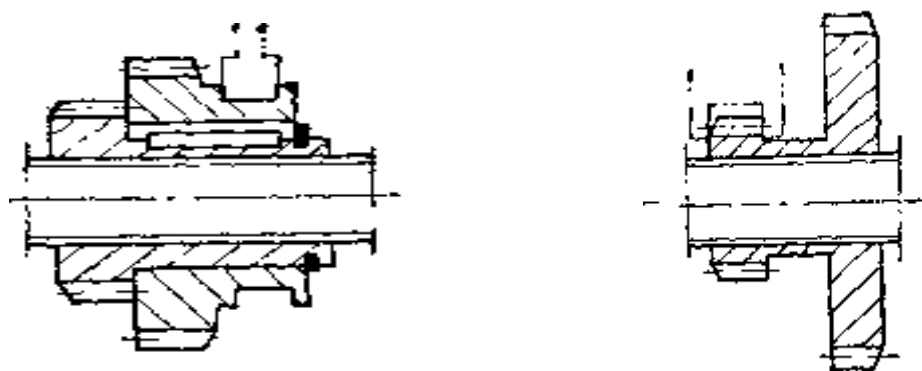


图 3-8 滑移齿轮的结构形式

3.4 计算转速

设计机床时,为了使传动件工作可靠,结构紧凑,须对传动件进行动力计算。主传动系统中主轴及传动件(如传动轴、齿轮)的尺寸,主要是根据它所传递的扭矩大小来决定,扭矩大,其结构尺寸就大,扭矩小,则结构尺寸就可缩小。传动件传递扭矩 M_n 大小与它所传递的功率 N 和转速 n 两个因素有关。

对于专用机床,在特定工艺条件下各传动件所传递的功率 N 和转速 n 是固定不变的,所传递的扭矩 M_n 也是一定的。对于工艺范围较广的通用机床和某些专门化机床,由于使用条件复杂,变速范围较大,传动件所传递的功率和转速并不是固定不变的。这类机床,若将传动件的传递扭矩确定得偏小或过大,是不经济、不合理的。所以,对于这类机床传动件传递扭矩大小的确定,必须根据机床实际使用情况进行周密地调查分析。通用机床在最低的一段转速范围内,经常用于切削螺纹、铰孔、切断、精镗等工序,所消耗的功率较小,不需要使用电动机的全部功率即便用于粗加工,由于受刀具、夹具和工件刚度的限制,不可能采用过大的切削用量,也不会使用到电动机的全部功率。所以,这类机床只是以某一转速开始,才有可能使用电动机的全部功率。当传动件的功率为一定时,随着转速的降低,传递的扭矩也就越大。

综上所述,按传递全部功率时的转速中的最低转速进行计算,即可得出该传动件需要传递的最大扭矩。传递全部功率时的最低转速,则称为该传动件的计算转速。

对于旋转运动的传动件,其额定扭矩 M_n (即需要传递的最大扭矩)按下式计算:

$$M_n = 9550 \frac{N}{n} = \frac{N_d \eta}{n} \quad (\text{牛} \cdot \text{米})$$

式中:

n_j ——传动件的计算转速(转/分);

N ——传动件所传递的功率(千瓦);

N_d ——主电动机的额定功率(千瓦);

η ——从主电动机到该传动件间的传动效率。

由上式可知,当传动件的传递功率为一定时,若转速取得偏底,则传递的扭矩就偏大,使传动件尺寸不必要的增大。因此,必须根据机床的实际工作情况,经济合理地确定计算转速并计算传动件的尺寸是机床设计工作的一个重要问题。

3.4.1 主轴计算转速的确定

主轴计算转速 n_j 是主轴传递全部功率(此时电动机为满载)时的最低转速,从这一转速起至主轴最高转速间的所有转速都能够传递全部功率,扭矩则随转速的增加而减少,此为恒功率工作范围;低于主轴计算转速的各级转速所能传递的扭矩与计算转速下的扭矩相等,它是该机床的最大传递扭矩(功率则随转速的降低而减少)。如图 3-9 为恒扭矩工作范围。

专用机床的主轴计算转速是按特定的工艺所需要的主轴转速来确定。

通用机床及专门化机床,根据对现有机床的调查分析和测定以及有关的统计分析资料

主轴的计算转速的确定

CA7620 液压多刀半自动车床的主轴转速级数 $Z=4$, 其转速图如图 3-10。主轴的计算转速:

$$n_j = n_{min} \varphi^{\frac{18}{3}-1} = n_{min} \varphi^5 = n_6 = 95 \text{ 转/分}$$

在转速图上以黑点表示。

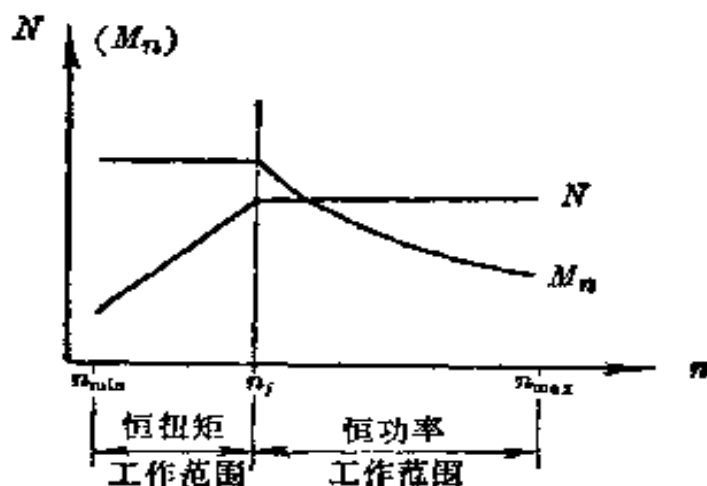


图 3-9 通用机床主传动功率和扭矩变化情况

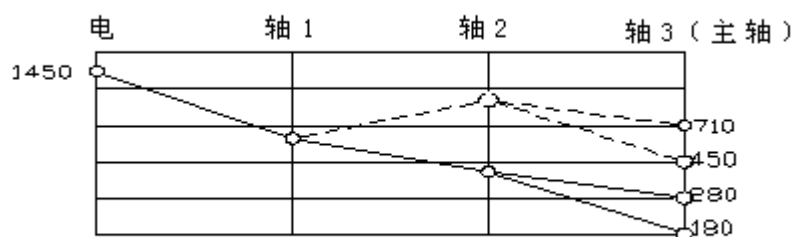


图 3-10 CA7620 主传动转速图

3.4.2 采用交换齿轮的变速系统

机床变速系统采用交换齿轮，可使结构简单，并且不需要操纵结构，可使变速箱尺寸紧凑，由于交换齿轮变速组的主传动和从动齿轮可以倒换使用，因而可以减少齿轮个数，这些都是使用交换齿轮的优点。图3-11 为 CA7620 液压多刀半自动车床的主传动系统，II—III轴使用双联滑移齿轮变速组是基本组，I—II轴间的一对交换齿轮变速组是第一扩大组，前者用于加工过程中的变速，后者用于每批工件加工前的变速调整。

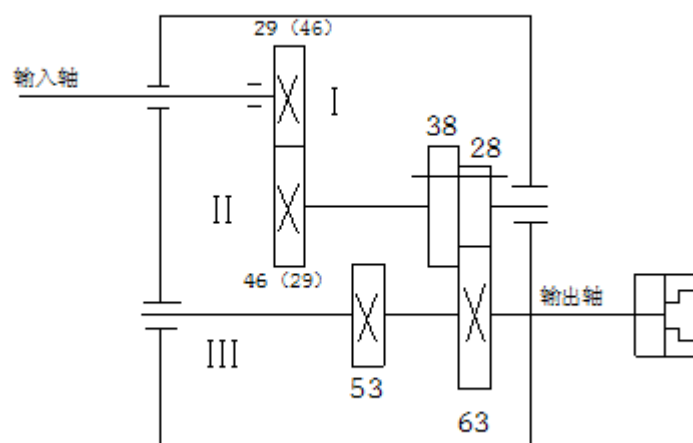


图 3-11 CA7620 液压多刀半自动车床的主传动系统

4 主传动的零件设计

主轴部件是由主轴、主轴支承和安装在主轴上的传动件等组成。主轴部件带动工件或刀具完成工件表面形成运动,传递运动和动力,同时又是工件或刀具的支承件,承受切削力、进给力、驱动力和工件或刀具的重力等,并保证与机床其他不见有精确的相对位置。因此主轴不见的工作性能直接影响机床的加工质量和生产效率。

从机床的使用和设计要求出发,各种主轴部件都有其共性:在使用上要求它具有与该机床工作性能相适应的旋转精度、刚度、抗振性、耐磨性等,还要求稳升低、热变形小;在结构上都要求它能保证工件或刀具的定位装夹、主轴及轴承的定位、轴承间隙的调整、润滑与密封;以及便于制造、装配和维修等共同问题。只不过机床的类型不同,主轴工件条件不同,解决问题的重点应有所侧重。

对传动件的主要尺寸(传动轴的直径,齿轮模数)进行估算。便于绘制装配草图,在完成装配图后,零件的结构尺寸和受力情况都已确定,再对主要零件进行较精确的验算。

机床主轴部件是影响机床加工精度的主要部件,它的回转精度影响工件的加工精度,它的功率大小与回转速度影响加工效率,它的自动变速、准停和换刀等影响机床的自动化程度。因此,要求主轴部件具有与本机床工作性能相适应的高回转精度、刚度、抗振性、耐磨性和低的温升。在结构上,必须很好地解决刀具和工具的装夹、轴承的配置、轴承间隙调整和润滑密封等问题。 主轴的结构根据数控机床的规格、精度采用不同的主轴轴承。一般中小规格数控机床的主轴部件多采用成组高精度滚动轴承,重型数控机床则采用液体静压轴承,高速主轴常采用氮化硅材料的陶瓷滚动轴承。

1) 主轴轴承的配置形式 加工中心的主轴轴承一般采用 2 个或 3 个角接触球轴承组成,或用角接触球轴承与圆柱滚子轴承组成,这种轴承经过预紧后可得到较高的刚度。当要求有很大刚性时,则采用圆柱滚子轴承和双向推力球轴承的组合。常用的加工中心主轴支承的典型结构有 3 种:

(1)前后支承用双列圆柱滚子轴承来承受径向负荷,用安装在主轴前端的双向角接触球轴承来承受轴向负荷,这种结构刚性较好,能进行强力切削,适用于中等转速的机床。

(2)前支承用角接触球轴承,背靠背安装,以 2~3 个轴承为一套,用以承受轴向和径向负荷;后支承用圆柱滚子轴承,如图 8-5b 所示。这种结构适应较高转速、较重切削负荷,主轴精度较高,但所承受轴向负载较前一种结构小。

(3)前后支承都采用成组角接触球轴承,承受轴向和径向负荷,使用角接触球轴承,采用脂润滑,其极限 dn 值达 80×10^4 :如采用油气润滑或喷油润滑,则转速可进一步提高。目前高速主轴多数采用陶瓷滚动轴承,在脂润滑情况下 dn 值可达 120×10^4 (d 为轴承平均直径 mm, n 为轴承每分钟转数)。

2) 主轴内刀具的自动夹紧和切屑的清除装置 在自动换刀机床的刀具自动夹紧装置中,刀杆常采用 7:24 的大锥度锥柄,既利于定心,也为松刀带来方便。用碟形弹簧通过拉杆及夹头拉住刀柄的尾部,使刀具锥柄和主轴锥孔紧密配合,夹紧力达 10000N 以上。松刀时,通过液压缸活塞推动拉杆来压缩碟形弹簧,使夹头涨开,夹头与刀柄上的拉钉脱离,刀具即可拔出进行新旧刀具的交换;新刀装入后,液压缸活塞后移,新刀具又被碟形弹簧拉紧。在活塞推动拉杆松开刀柄的过程中,压缩空气由喷气头经过活塞中心孔和拉杆中的孔吹出,将锥孔清理干净,防止主轴锥孔中掉入切屑和灰尘,把主轴孔表面和刀杆的锥柄划伤,保证刀具的正确位置。

3) 主轴准停装置 数控机床为了完成 ATC(刀具自动交换)的动作过程,必须设置主轴准停机构。由于刀具装在主轴上,切削时切削转矩不可能仅靠锥孔的摩擦力来传递,因此主轴前端设置一个突键,当刀具装入主轴时,刀柄上的键槽必须与突键对准,才能顺利换刀:为此,主轴必须准确停在某固定的角度上。由此可知主轴准停是实现 ATC 过程的重要环节。通常主轴准停机构有 2 种方式,即机械式与电气式。机械方式采用机械凸轮机构或光电盘方式进行粗定位,然后有一个液动或气动的定位销插入主轴上的销孔或销槽实现精确定位,完成换刀后定位销退出,主轴才开始旋转。采用这种传统方法定位,结构复杂,在早期数控机床上使用较多。而现代数控机床采用电气方式定位较多。电气方式定位一般有以下两种方式。一种是用磁性传感器检测定位,在主轴上安装一个发磁体与主轴一起旋转,在距离发磁体旋转外轨迹 $1 \sim 2\text{mm}$ 处固定一个磁传感器,它经过放大器并与主轴控制单元相连接,当主轴需要定向时,便可停止在调整好的位置上。另一种是用位置编码器检测定位,这种方法是通过主轴电动机内置安装的位置编码器或在机床主轴箱上安装一个与主轴 1:1 同步旋转的位置编码器来实现准停控制,准停角度可任意设定。

4) 主轴润滑与密封

(1)主轴润滑 为了保证主轴有良好的润滑,减少摩擦发热,同时又能把主轴组件热量带走,通常采用循环式润滑系统。用液压泵供油强力润滑,在油箱中使用油温控制器控制油液温度。近年来一部分数控机床的主轴高轴承采用级油脂密封式润滑,每加一次油脂可以使用 $7 \sim 10$ 年,简化了结构,降低了成本且维护保养简单,但需防止润滑油和油脂混合,通常采用迷宫式密封方式。为了适应主轴

转速向更高速化发展的需要,新的润滑冷却方式相继开发出来。这些新的润滑冷却方式不单要减少轴承温升,还要减少轴承内外圈的温差,以保证主轴的热变形小。

4. 1 主要零件的验算校核

齿轮传动在机床中的作用: 机床中齿轮用以构成机床各机件间的运动联系, 改变机床各部分运动速度的大小及方向, 以及改变所传递的力和扭矩, 齿轮在机床传动中应用是最广的机件。尤其对于要求各传动机件之间的运动关系严格保持一定时, 还必须应用齿轮传动才能获得。

机床中轴的作用是传递运动和扭矩并同时变其数值。根据轴的工作性质及构造, 它上面受有扭矩、压缩或拉伸应力。大多数轴只回转运动, 例如变速箱和进给箱中的轴; 也有一些轴或主轴, 除作回转运动外, 也作缓慢的前进运动(例如钻床、镗床的主轴), 或快速往返运动(如研磨机床、齿轮插床的主轴等)。机床的轴和主轴不仅要有足够的强度, 还应有足够的刚度: 变速箱中的轴如发生过度的弯曲, 将要影响装在轴上的齿轮的啮合正确性与平稳性, 同时使滑动轴承上的压力集中到一揣, 而加速轴承与轴颈的磨耗或使滚动轴承形成过载, 也使滑动齿轮轴向移动困难。运动准确: 这个要求一股是对主轴的回转运动而言。因为主轴的跳动将直接引起工件几何精度的误差。另一些情况中轴的轴向运动强度也很重要, 如铣短螺纹机床的主轴及传动丝杆等; 轴工作表面的耐磨性: 指在滑动轴承中运动的轴颈、在侧承中旋转并作直线运动的主轴表面(如钻床、镗床和齿轮插床等)、以及有滑动齿轮轴的表面等。轴的表面特别是轴颈磨损过快将影响轴的回转精度; 抗振性: 轴和主轴在工作中发生振动将影响工件的表面质量及刀具和机床的寿命

4.1.1 直齿圆柱齿轮的基本参数

主传动箱各齿轮基本参数如下:

表 4-1 主传动箱各齿轮基本参数

齿轮	模数 m	齿数 Z	齿距 P (mm)	齿顶高 h_f (mm)	齿高 h (mm)	分度圆直径 d (mm)	中心距 a (mm)
1	2.5	29	7.85	3.125	5.625	72.5	93.75
2	2.5	46	7.85	3.125	5.625	115	
3	3	38	9.42	3.75	6.75	114	136.5
5	3	53	9.42	3.75	6.75	159	
4	3	28	9.42	3.75	6.75	84	136.5
6	3	63	9.42	3.75	6.75	189	

4.1.2 齿轮的校核计算

变速箱中的齿轮不必都作强度验算。可在相同模数和材料的齿轮中, 选取一个承受载荷最大并且齿数最小的齿轮, 验算它的接触和弯曲疲劳强度。一般说来, 对高速传动齿轮以验算接触强度为主, 对低速传动齿轮主要考虑其弯曲强度, 对硬齿面软齿芯的渗碳淬火齿轮, 必须验算其弯曲疲劳强度。

齿轮材料都选用 40Cr, 调质处理, 硬度 241HB~286HB, 平均取为 260HB, 承受荷最大和齿数最小的齿轮为 IV 轴 $Z_1=19$ 的齿轮与它相连的齿轮为 V 轴 $Z_2=71$, 传动比 $i=3.5$, 传动功率 $P=7.5\text{KW}$, 计算转速 $n_1=395\text{r/min}$ 。预期使用寿命 10 年, 每年 300 个工作日。

4.1.1.1 齿面接触疲劳强度

(1) 齿轮 1

初步计算

$$\text{转矩 } T_1 \quad T_1 = 9.55 \times 10^6 \frac{P}{n_1} = 9.55 \times 10^6 \times \frac{7.5}{595} = 28.559 \text{KN}\cdot\text{M}$$

$$\text{齿宽系数 } \psi_d \quad \text{取 } \psi_d = 1.0^{[1]} \quad \psi_d = 1.0$$

$$\text{接触疲劳极限 } \sigma_{H\min} \quad \sigma_{H\min} = 710 \text{MPa}$$

初步计算的许用

$$\begin{aligned} \text{接触应力 } [\sigma_H] \quad [\sigma_H] &\approx 0.9[\sigma_H] \\ &= 0.9 \times 710 \quad [\sigma_H] = 639 \text{MP} \end{aligned}$$

$$A_d \text{ 值} \quad \text{取 } A_d = 72.5$$

$$\text{齿轮直径 } d \quad d = 72.5 \text{ mm} \quad d = 72.5 \text{ mm}$$

$$\text{齿宽 } b \quad b = \psi_d \times d_1 = 1 \times 20 \quad b = 20 \text{ mm}$$

(2) 校核计算

$$\text{圆周速度 } v \quad v = \frac{\pi d_1 n_1}{60 \times 1000} = \frac{\pi \times 90 \times 595}{60 \times 1000} \quad v = 2.03 \text{ m/s}$$

$$\text{精度等级} \quad \text{选 8 级精度}$$

$$\text{齿数 } z \text{ 和模数 } m \quad z = 29 \quad 29$$

$$m = \frac{d_1}{z_1} = 72.5 / 29 = 2.5$$

$$\text{取 } m = 2.5 \quad m = 2.5$$

使用系数 K_A $K_A=1.25$

动载系数 K_V $K_V=1$

齿间载荷分配系数 K_{Ha} 求

$$F_t = \frac{2T_1}{d_1} = \frac{2 \times 181329}{90} = 4029 N$$

$$\frac{K_A F_t}{b} = \frac{1.5 \times 4029}{90} = 55 N/m$$

$< 100 \text{ N/m}$

$$\varepsilon_\alpha = [1.88 - 3.2(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2})] \cos \beta$$

$$1.88 - 3.2 \times (\frac{1}{29} + \frac{1}{49}) = 1.6929 \quad (\text{式 4-1})$$

$$\varepsilon_\alpha = 1.6929$$

$$Z_t = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1.6929}{3}} = 0.876 \quad (\text{式 4-2})$$

$$Z_t = 0.876$$

$$\text{得 } K_{Ha} = \frac{1}{Z_\varepsilon^2} = \frac{1}{0.85^2} = 1.31 \quad K_{Ha} = 1.31$$

齿向载荷分布系数 $K_{H\beta}$

$$K_{Ha} = A + [1 + 6.7(\frac{b}{d_1})^2](\frac{b}{d_1})^2 + c \times 10^3 b$$

$$= 1.17 + 0.16 \times [1 + 6.7 \times (\frac{1}{3})^2](\frac{1}{3})^2 + 0.61 \times 10^3 \times 90$$

$$K_{H\beta} = 1.25$$

载荷系数 K

$$K = K_A K_V K_{Ha} K_{H\beta}$$

$$= 1.25 \times 1 \times 1.31 \times 1.25 \quad K = 2.04$$

弹性系数 Z_E $Z_E = 189.8 \sqrt{MPa}$

节点区域系数 Z_H $Z_H = 2.5$

接触最小安全系数 $S_{H\min}$

$$Z_{H\min} = 1.25$$

总工作时间 t_h

$$t_h = 10 \times 300 \times 8 \times 0.2$$

$$t_h = 4800h$$

应力循环次数 N_L

$$\text{估计 } 10^7 \leq N_L \leq 10^9$$

则指数 $m = 8.78$

$$N_L = N_V = 60\gamma \sum_{i=1}^n n_i t_{hi} \left(\frac{T_i}{T_{\max}} \right)^m$$

$$= 60\gamma n_1 t_h i = \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_i}{T_{\max}} \right)^{8.78} \frac{t_{hi}}{t_h}$$

$$60 \times 1 \times 395 \times 4800 \times (1^{8.78} \times 0.2 + 0.5^{8.78} \times 0.5 + 0.2^{8.78} \times 0.3)$$

$$N_L = 2.3 \times 10^7$$

原估计应力循环次数正确

接触寿命系数

$$Z_N = 1.25$$

许用接触应力 $[\sigma_H]$

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{H\lim} Z_N}{S_{H\min}} = \frac{710 \times 1.25}{1.25} \quad (\text{式 4-3})$$

$$[\sigma_H] = 798 MPa$$

验算

$$\sigma_H = Z_E Z_H Z_\epsilon \sqrt{\frac{2KT_1}{bd_1^2}} \sqrt{\frac{u+1}{u}} \quad (\text{式 4-4})$$

$$= 189.8 \times 2.5 \times 0.85 \times \sqrt{\frac{2 \times 2.04 \times 181329}{30 \times 90^2}} \times \frac{4.5}{3.5}$$

$$\sigma_H = 774 MPa$$

$$< [\sigma_H]$$

计算结果表明，接触疲劳强度较为合适

4.1.1.2 齿根弯曲疲劳强度验算

$$\text{重合度系数 } Y_{\varepsilon} \quad Y_{\varepsilon} = 0.25 + \frac{0.75}{\varepsilon_{\alpha}} = 0.25 + \frac{0.75}{1.72} \quad (\text{式 4-5})$$

$$Y_{\varepsilon} = 0.68$$

$$\text{齿间载荷分配系数 } K_{F\alpha} \quad K_{F\alpha} = 1/Y_{\varepsilon} = 1/0.68$$

$$Y_{F\alpha} = 1.47$$

$$\text{齿向载荷分配系数 } K_{F\beta} \quad b/h = 30/(2.25 \times 2.5) = 5.5$$

$$Y_{F\beta} = 1.38$$

$$\text{载荷系数 } K \quad K = K_A K_V K_{F\alpha} K_{F\beta} = 1.25 \times 1 \times 1.47 \times 1.38$$

$$K = 2.53$$

$$\text{齿行系数 } Y_{Fa}$$

$$\text{由图 12.21}^{[1]} \quad Y_{Fa} = 2.46$$

$$\text{应力修正系数 } Y_{Sa} \quad Y_{Sa} = 1.65$$

$$\text{弯曲疲劳极限 } \sigma_{F\lim} \quad \sigma_{F\lim} = 600 \text{ MPa}$$

$$\text{弯曲最小安全系数 } S_{F\min} \quad S_{F\min} = 1.25$$

$$\text{应力循环次数 } N_L \quad \text{估计}$$

$$3 \times 10^6 \leq N_L \leq 10^{10}, \text{ 则指数 } m = 49.91$$

$$N_L = N_V = 60 \gamma n_1 t_h \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_i}{T_{\max}} \right)^{49.91} \frac{t_{hi}}{t_h}$$

$$= 60 \times 1 \times 395 \times 4800 \times (1^{49.91} \times 0.2 \times 0.5^{49.91} \times 0.5 + 0.2^{49.91} \times 0.3)$$

$$N_L = 2.3 \times 10^7$$

原应力估计循环次数正确

弯曲寿命系数 Y_N $Y_N = 0.95$

尺寸系数 Y_X $Y_X = 1.0$

许用弯曲应力 $[\sigma_F] = 456 MPa$

验算
$$\sigma_F = \frac{2KT_1}{bd_1m} Y_{Fa} Y_{Sa} Y_{\epsilon}$$

$$= \frac{2 \times 2.53 \times 181329}{30 \times 90 \times 3.5} \times 2.46 \times 1.65 \times 0.68$$

$$\sigma_F = 267 MPa$$

$$< [\sigma_F]$$

传动无严重过载, 故不作静强度校核

4.1.3 计算机辅助设计及零件校核

Autodesk Inventor 软件是美国 AutoDesk 公司于 1999 年底推出的三维可视化实体模拟软件, 目前已推出最新版本 INVENTor 2009, 实验室使用的是 INVENTor 6。它包含三维建模、信息管理、协同工作和技术支持等各种特征。使用 Autodesk Inventor 可以创建三维模型和二维制造工程图、可以创建自适应的特征、零件和子部件, 还可以管理上千个零件和大型部件, 它的“连接到网络”工具可以使工作组人员协同工作, 方便数据共享和同事之间设计理念的沟通。Inventor 在用户界面简单, 三维运算速度和着色功能方面有突破的进展。它是建立在 ACIS 三维实体模拟核心之上, 设计人员能够简单迅速地获得零件和装配体的真实感, 这样就缩短了用户设计意图的产生与系统反应时间的距离, 从而最小限度的影响设计人员的创意和发挥。

此次设计过程中运用的 Autodesk Inventor 2009 进行了零件的校核, 软件输入数据如下:

1 号与 2 号齿轮参数:

向导

设计向导 - 中心距

变位系数向导 - 用户

载荷计算类型 - 根据指定的功率和速度计算转矩

强度计算类型 - 校验计算

强度计算方法 - ISO 6336:1996

传动比 i 1.5862 ul

传动比 i_{in} 1.5862 ul

模数 m 2.500 mm

螺旋角 β 0.0000 deg

压力角 α 20.0000 deg

中心距 a_w 93.750 mm

产品中心距 a 93.750 mm

总变位系数 Σx 0.0000 ul

周节 p 7.854 mm

基圆周节 p_{tb} 7.380 mm

工作压力角 α_w 20.0000 deg

啮合系数 ε 1.6929 ul

轴平行度极限偏差 f_x 0.0150 mm

轴平行度极限偏差 f_y 0.0075 mm

齿轮

		齿轮 1	齿轮 2
模型类型		零部件	零部件
齿数	z	29 ul	46 ul
变位系数	x	0.0000 ul	0.0000 ul
节径	d	72.500 mm	115.000 mm
外径	d_a	77.500 mm	120.000 mm
齿根直径	d_f	66.250 mm	108.750 mm
基圆直径	d_b	68.128 mm	108.065 mm
工作节径	d_w	72.500 mm	115.000 mm
面宽	b	20.000 mm	20.000 mm
面宽比	b_r	0.2759 ul	0.1739 ul
齿顶高	a^*	1.0000 ul	1.0000 ul

间隙	c^*	0.2500 ul	0.2500 ul
齿根圆角	r_f^*	0.3500 ul	0.3500 ul
齿厚	s	3.927 mm	3.927 mm
切向齿厚	s_t	3.927 mm	3.927 mm
弦厚度	t_c	3.468 mm	3.468 mm
弦齿顶高	a_c	1.869 mm	1.869 mm
弦尺寸	W	26.847 mm	42.202 mm
弦尺寸齿	z_w	4.000 ul	6.000 ul
钢丝之间的尺寸	M	79.039 mm	121.648 mm
钢丝直径	d_M	4.500 mm	4.500 mm
螺旋角极限偏差	F_β	0.0150 mm	0.0150 mm
极限圆周径向跳动	F_r	0.0300 mm	0.0300 mm
轴向螺距极限偏差	f_{pt}	0.0120 mm	0.0120 mm
基本螺距极限偏差	f_{pb}	0.0110 mm	0.0110 mm
虚齿数	z_v	29.000 ul	46.000 ul
虚节径	d_n	72.500 mm	115.000 mm
虚外径	d_{an}	77.500 mm	120.000 mm
虚基圆直径	d_{bn}	68.128 mm	108.065 mm
无锥形变位系数	x_z	0.1778 ul	-0.3413 ul
无底切变位系数	x_p	-0.6765 ul	-1.6708 ul
变位系数许用底切	x_d	-0.8464 ul	-1.8407 ul
齿顶高截断	k	0.0000 ul	0.0000 ul
啮合外齿厚度	s_a	0.7343 ul	0.7702 ul
提示压力角	α_a	28.4699 deg	25.7710 deg

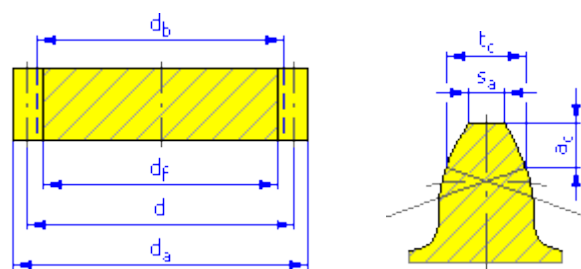


图 4-1 齿轮分析尺寸

载荷

		齿轮 1	齿轮 2
功率	P	1.600 kW	1.568 kW
速度	n	535.00 rpm	337.28 rpm
转矩	T	28.559 N·m	44.394 N·m
效率	η	0.980	0.980
径向力	F_r	286.745 N	
切向力	F_t	787.825 N	
轴向力	F_a	0.000 N	
法向力	F_n	838.385 N	
圆周速度	v	2.031 m/s	
共振转速	n_{E1}	13238.569 rpm	

材料

		齿轮 1	齿轮 2
		用户材料	用户材料
极限拉伸强度	S_u	700 MPa	700 MPa
屈服强度	S_y	340 MPa	340 MPa
弹性模量	E	206000 MPa	206000 MPa
泊松比	μ	0.300	0.300
弯曲疲劳极限	σ_{Fli_m}	352.0 MPa	352.0 MPa
接触疲劳极限	σ_{Hli_m}	1140.0 MPa	1140.0 MPa
齿型心硬度	JHV	210	210
齿侧面硬度	VHV	600	600
弯曲时的基本载荷循环次数	N_{Flim}	3000000	3000000
接触时的基本载荷循环次数	N_{Hlim}	100000000	100000000
弯曲的 Wöhler 曲线指数	q_F	6.0	6.0
接触的 Wöhler 曲线指数	q_H	10.0	10.0
处理类型	类型	2	2

强度计算

附加载荷系数

应用系数	K_A	1.200	u1
动态系数	K_{Hv}	1.143	u1 1.143 u1
面载荷系数	K_H β	1.856	u1 1.535 u1
横向载荷系数	K_H α	1.300	u1 1.342 u1
一次过载系数	K_{AS}	1.000	u1

接触系数

弹性系数	Z_E	189.812	u1
区域系数	Z_H	2.495	u1
啮合系数	Z ϵ	0.877	u1
单对齿接触系数	Z_B	1.024	u1 1.000 u1
使用寿命系数	Z_N	1.000	u1 1.000 u1
润滑系数	Z_L	0.962	u1
粗糙度系数	Z_R	1.000	u1
速度系数	Z_v	0.957	u1
螺旋角系数	Z β	1.000	u1
尺寸系数	Z_X	1.000	u1 1.000 u1
加工硬化系数	Z_W	1.000	u1

弯曲系数

形状系数	Y_{Fa}	2.562	u1 2.367 u1
应力校正系数	Y_{Sa}	1.589	u1 1.635 u1
带有磨削切口的齿的系数	Y_{Sa} g	1.000	u1 1.000 u1
螺旋角系数	Y_β	1.000	u1
啮合系数	Y_ϵ	0.693	u1
交变载荷系数	Y_A	1.000	u1 1.000 u1
生产技术系数	Y_T	1.000	u1 1.000 u1
使用寿命系数	Y_N	1.000	u1 1.000 u1
开槽敏感系数	Y_δ	1.187	u1 1.194 u1
尺寸系数	Y_X	1.000	u1 1.000 u1

齿根表面系数 Y_R 1.000 ul

结果

免受点蚀安全系数 S_H 1.442 ul 1.476 ul

免受断齿安全系数 S_F 3.328 ul 3.521 ul

静态接触安全 S_{Hst} 1.307 ul 1.339 ul

静态弯曲安全 S_{Fst} 7.008 ul 7.372 ul

校验计算 正确

分析摘要

计算：计算结果表示设计正确！

3 与 5 齿轮参数：

向导

设计向导 - 中心距

变位系数向导 - 用户

载荷计算类型 - 根据指定的功率和速度计算转矩

强度计算类型 - 校验计算

强度计算方法 - ISO 6336:1996

常见参数

传动比 i 1.3947 ul

传动比 i_{in} 1.3947 ul

模数 m 3.000 mm

螺旋角 β 0.0000 deg

压力角 α 20.0000 deg

中心距 a_w 136.500 mm

产品中心距 a 136.500 mm

总变位系数 Σx 0.0000 ul

周节	p	9.425 mm
基圆周节	p_{tb}	8.856 mm
工作压力角	α_w	20.0000 deg
啮合系数	ε	1.7340 ul
轴平行度极限偏差 f_x		0.0150 mm
轴平行度极限偏差 f_y		0.0075 mm

齿轮

		齿轮 1	齿轮 2
模型类型		零部件	零部件
齿数	z	38 ul	53 ul
变位系数	x	0.0000 ul	0.0000 ul
节径	d	114.000 mm	159.000 mm
外径	d_a	120.000 mm	165.000 mm
齿根直径	d_f	106.500 mm	151.500 mm
基圆直径	d_b	107.125 mm	149.411 mm
工作节径	d_w	114.000 mm	159.000 mm
面宽	b	20.000 mm	20.000 mm
面宽比	b_r	0.1754 ul	0.1258 ul
齿顶高	a^*	1.0000 ul	1.0000 ul
间隙	c^*	0.2500 ul	0.2500 ul
齿根圆角	r_f^*	0.3500 ul	0.3500 ul
齿厚	s	4.712 mm	4.712 mm
切向齿厚	s_t	4.712 mm	4.712 mm
弦厚度	t_c	4.161 mm	4.161 mm
弦齿顶高	a_c	2.243 mm	2.243 mm
弦尺寸	W	41.450 mm	59.793 mm
弦尺寸齿	z_w	5.000 ul	7.000 ul
钢丝之间的尺寸	M	124.098 mm	169.209 mm
钢丝直径	d_M	6.000 mm	6.000 mm
螺旋角极限偏差 F_β		0.0150 mm	0.0160 mm
极限圆周径向跳动 F_r		0.0300 mm	0.0400 mm
轴向螺距极限偏差 f_{pt}		0.0120 mm	0.0130 mm
基本螺距极限偏差 f_{pb}		0.0110 mm	0.0120 mm
虚齿数	z_v	38.000 ul	53.000 ul
虚节径	d_n	114.000 mm	159.000 mm

虚外径	d_{an}	120.000 mm	165.000 mm
虚基圆直径	d_{bn}	107.125 mm	149.411 mm
无锥变形位系数	x_z	-0.0979 u1	-0.5537 u1
无底切变位系数	x_p	-1.2029 u1	-2.0802 u1
变位系数许用底切	x_d	-1.3728 u1	-2.2502 u1
齿顶高截断	k	0.0000 u1	0.0000 u1
啮合外齿厚度	s_a	0.7569 u1	0.7789 u1
提示压力角	α_a	26.7845 deg	25.1063 deg

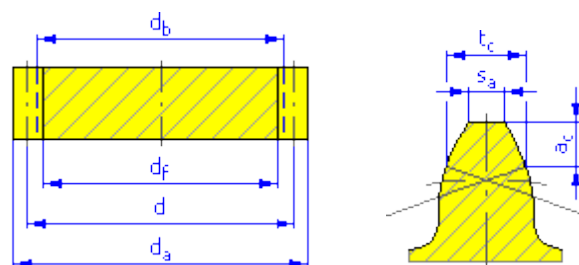


图 4-2 齿轮尺寸

载荷

		齿轮 1	齿轮 2
功率	P	1.568 kW	1.537 kW
速度	n	337.28 rpm	241.82 rpm
转矩	T	44.394 N m	60.680 N m
效率	η	0.980 u1	
径向力	F_r	283.477 N	
切向力	F_t	778.847 N	
轴向力	F_a	0.000 N	
法向力	F_n	828.831 N	
圆周速度	v	2.013 mps	
共振转速	n_{E1}	6755.442 rpm	

材料

		齿轮 1	齿轮 2
		用户材料	用户材料
极限拉伸强度	S_u	700 MPa	700 MPa
屈服强度	S_y	340 MPa	340 MPa
弹性模量	E	206000 MPa	206000 MPa
泊松比	μ	0.300 ul	0.300 ul
弯曲疲劳极限	σ_{Fli} m	352.0 MPa	352.0 MPa
接触疲劳极限	σ_{Hli} m	1140.0 MPa	1140.0 MPa
齿型心硬度	JHV	210 ul	210 ul
齿侧面硬度	VHV	600 ul	600 ul
弯曲时的基本载荷循环次数	N_{Flim}	3000000 ul	3000000 ul
接触时的基本载荷循环次数	N_{Hlim}	100000000 ul	100000000 ul
弯曲的 Wöhler 曲线指数	q_F	6.0 ul	6.0 ul
接触的 Wöhler 曲线指数	q_H	10.0 ul	10.0 ul
处理类型	类型	2 ul	2 ul

强度计算

附加载荷系数

应用系数	K_A	1.200 ul
动态系数	K_{Hv}	1.179 ul 1.179 ul
面载荷系数	K_H β	1.876 ul 1.546 ul
横向载荷系数	K_H α	1.324 ul 1.443 ul
一次过载系数	K_{AS}	1.000 ul

接触系数

弹性系数	Z_E	189.812 ul
区域系数	Z_H	2.495 ul
啮合系数	Z ϵ	0.869 ul
单对齿接触系数	Z_B	1.011 ul 1.000 ul
使用寿命系数	Z_N	1.000 ul 1.000 ul
润滑系数	Z_L	0.962 ul

粗糙度系数	Z_R	1.000	u1
速度系数	Z_v	0.957	u1
螺旋角系数	Z_{β}	1.000	u1
尺寸系数	Z_X	1.000	u1 1.000 u1
加工硬化系数	Z_W	1.000	u1

弯曲系数

形状系数	Y_{Fa}	2.436	u1 2.325 u1
应力校正系数	Y_{Sa}	1.617	u1 1.647 u1
带有磨削切口的齿的系数	Y_{Sag}	1.000	u1 1.000 u1
螺旋角系数	Y_{β}	1.000	u1
啮合系数	Y_{ϵ}	0.683	u1
交变载荷系数	Y_A	1.000	u1 1.000 u1
生产技术系数	Y_T	1.000	u1 1.000 u1
使用寿命系数	Y_N	1.000	u1 1.000 u1
开槽敏感系数	Y_{δ}	1.173	u1 1.178 u1
尺寸系数	Y_X	1.000	u1 1.000 u1
齿根表面系数	Y_R	1.000	u1

结果

免受点蚀安全系数	S_H	1.757	u1 1.777 u1
免受断齿安全系数	S_F	3.750	u1 3.871 u1
静态接触安全	S_{Hst}	1.594	u1 1.612 u1
静态弯曲安全	S_{Fst}	7.993	u1 8.217 u1
校验计算		正确	

分析摘要

计算：计算结果表示设计正确！

4 与 6 齿轮参数：

向导

设计向导 - 中心距

变位系数向导 - 用户

载荷计算类型 - 根据指定的功率和速度计算转矩

强度计算类型 - 校验计算

强度计算方法 - ISO 6336:1996

常见参数

传动比	i	2.2500 ul
传动比	i _{in}	2.2500 ul
模数	m	3.000 mm
螺旋角	β	0.0000 deg
压力角	α	20.0000 deg
中心距	a _w	136.500 mm
产品中心距	a	136.500 mm
总变位系数	Σ x	0.0000 ul
周节	p	9.425 mm
基圆周节	p _{tb}	8.856 mm
工作压力角	α _w	20.0000 deg
啮合系数	ε	1.7151 ul
轴平行度极限偏差 f _x		0.0150 mm
轴平行度极限偏差 f _y		0.0075 mm

齿轮

		齿轮 1	齿轮 2
模型类型		零部件	零部件
齿数	z	28 ul	63 ul
变位系数	x	0.0000 ul	0.0000 ul
节径	d	84.000 mm	189.000 mm
外径	d _a	90.000 mm	195.000 mm
齿根直径	d _f	76.500 mm	181.500 mm
基圆直径	d _b	78.934 mm	177.602 mm
工作节径	d _w	84.000 mm	189.000 mm
面宽	b	20.000 mm	15.000 mm
面宽比	b _r	0.1786 ul	0.0794 ul

齿顶高	a^*	1.0000 ul	1.0000 ul
间隙	c^*	0.2500 ul	0.2500 ul
齿根圆角	r_f^*	0.3500 ul	0.3500 ul
齿厚	s	4.712 mm	4.712 mm
切向齿厚	s_t	4.712 mm	4.712 mm
弦厚度	t_c	4.161 mm	4.161 mm
弦齿顶高	a_c	2.243 mm	2.243 mm
弦尺寸	W	32.174 mm	69.070 mm
弦尺寸齿	z_w	4.000 ul	8.000 ul
钢丝之间的尺寸	M	93.978 mm	199.259 mm
钢丝直径	d_M	6.000 mm	6.000 mm
螺旋角极限偏差	F_β	0.0150 mm	0.0160 mm
极限圆周径向跳动	F_r	0.0300 mm	0.0400 mm
轴向螺距极限偏差	f_{pt}	0.0120 mm	0.0130 mm
基本螺距极限偏差	f_{pb}	0.0110 mm	0.0120 mm
虚齿数	z_v	28.000 ul	63.000 ul
虚节径	d_n	84.000 mm	189.000 mm
虚外径	d_{an}	90.000 mm	195.000 mm
虚基圆直径	d_{bn}	78.934 mm	177.602 mm
无锥形变位系数	x_z	0.2086 ul	-0.8565 ul
无底切变位系数	x_p	-0.6180 ul	-2.6651 ul
变位系数许用底切	x_d	-0.7879 ul	-2.8350 ul
齿顶高截断	k	0.0000 ul	0.0000 ul
啮合外齿厚度	s_a	0.7310 ul	0.7881 ul
提示压力角	α_a	28.7119 deg	24.3868 deg

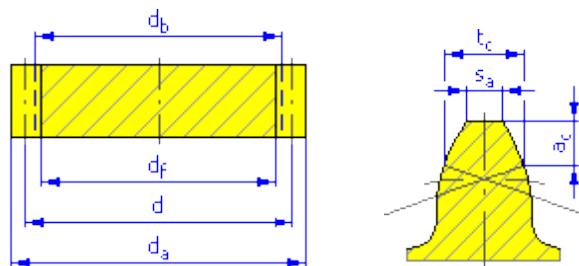


图 4-3 齿轮分析尺寸

载荷

		齿轮 1	齿轮 2
功率	P	1.568 kW	1.537 kW
速度	n	337.28 rpm	149.90 rpm
转矩	T	44.394 N m	97.889 N m
效率	η	0.980 ul	
径向力	F_r	384.719 N	
切向力	F_t	1057.006 N	
轴向力	F_a	0.000 N	
法向力	F_n	1124.843 N	
圆周速度	v	1.483 mps	
共振转速	$\frac{n_E}{1}$	11014.935 rpm	

材料

		齿轮 1	齿轮 2
		用户材料	用户材料
极限拉伸强度	S_u	700 MPa	700 MPa
屈服强度	S_y	340 MPa	340 MPa
弹性模量	E	206000 MPa	206000 MPa
泊松比	μ	0.300 ul	0.300 ul
弯曲疲劳极限	σ_{Fli} m	352.0 MPa	352.0 MPa
接触疲劳极限	σ_{Hli} m	1140.0 MPa	1140.0 MPa
齿型心硬度	JHV	210 ul	210 ul
齿侧面硬度	VHV	600 ul	600 ul
弯曲时的基本载荷循环次数	N_{Flim}	3000000 ul	3000000 ul
接触时的基本载荷循环次数	N_{Hlim}	100000000 ul	100000000 ul
弯曲的 Wöhler 曲线指数	q_F	6.0 ul	6.0 ul
接触的 Wöhler 曲线指数	q_H	10.0 ul	10.0 ul
处理类型	类型	2 ul	2 ul

强度计算

附加载荷系数

应用系数	K_A	1.200	u1
动态系数	K_{Hv}	1.109	u1 1.109 u1
面载荷系数	K_H β	1.563	u1 1.363 u1
横向载荷系数	K_H α	1.296	u1 1.296 u1
一次过载系数	K_{AS}	1.000	u1

接触系数

弹性系数	Z_E	189.812	u1
区域系数	Z_H	2.495	u1
啮合系数	Z ϵ	0.873	u1
单对齿接触系数	Z_B	1.036	u1 1.000 u1
使用寿命系数	Z_N	1.000	u1 1.011 u1
润滑系数	Z_L	0.962	u1
粗糙度系数	Z_R	1.000	u1
速度系数	Z_v	0.952	u1
螺旋角系数	Z β	1.000	u1
尺寸系数	Z_X	1.000	u1 1.000 u1
加工硬化系数	Z_W	1.000	u1

弯曲系数

形状系数	Y_{Fa}	2.582	u1 2.282 u1
应力校正系数	Y_{Sa}	1.585	u1 1.662 u1
带有磨削切口的齿的系数	Y_{Sa} g	1.000	u1 1.000 u1
螺旋角系数	Y_β	1.000	u1
啮合系数	Y_ϵ	0.687	u1
交变载荷系数	Y_A	1.000	u1 1.000 u1
生产技术系数	Y_T	1.000	u1 1.000 u1
使用寿命系数	Y_N	1.000	u1 1.000 u1
开槽敏感系数	Y_δ	1.169	u1 1.180 u1
尺寸系数	Y_X	1.000	u1 1.000 u1

齿根表面系数 Y_R 1.000 ul

结果

免受点蚀安全系数 S_H 1.349 ul 1.412 ul

免受断齿安全系数 S_F 3.532 ul 2.887 ul

静态接触安全 S_{Hst} 1.230 ul 1.274 ul

静态弯曲安全 S_{Fst} 7.554 ul 6.115 ul

校验计算 正确

分析摘要

设计：齿轮 1：变位系数（x）小于 无锥形变位系数（ x_z ）

设计：齿数是成比例的 - 相同齿的形状相对规则

计算：计算结果表示设计正确！

4.1.4 轴的校核

轴在载荷的作用下，将产生弯矩或者扭矩变形。若变形量超过允许的限制，就会影响轴上零件的正常工作，甚至会丧失机器应有的功能。安装蜗轮的轴，若弯曲刚度（或者扭转刚度）不足而导致挠度（或扭转角）过大时，会影响蜗轮的正确啮合使蜗轮齿宽和齿高方向接触不良。造成载荷在齿面上的严重不均匀分布。

1. 输入轴：

材料

材料 用户材料

弹性模量 E 206000 MPa

刚性模量 G 80000 MPa

密度 ρ 7860 kg/m³

计算特性

引入

是 密度 ρ 7860 kg/m³

是 剪切位移比 β 1.188 ul

分区数 1000 ul

等效应力模式 HMM

载荷

长度	L	198.000 mm
质量	质量	2.050 kg
最大弯曲应力	σ_B	0.146 MPa
最大剪切应力	τ_S	0.030 MPa
最大扭应力	τ	0.000 MPa
最大拉伸应力	σ_T	0.000 MPa
最大约化应力	σ_{red}	0.155 MPa
最大偏差	f_{max}	0.234 microm
扭转角度	ϕ	0.00 deg

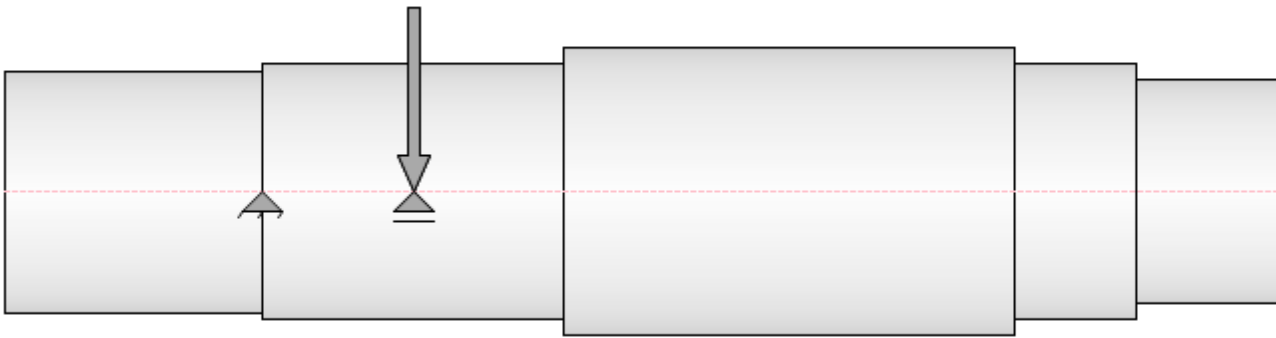
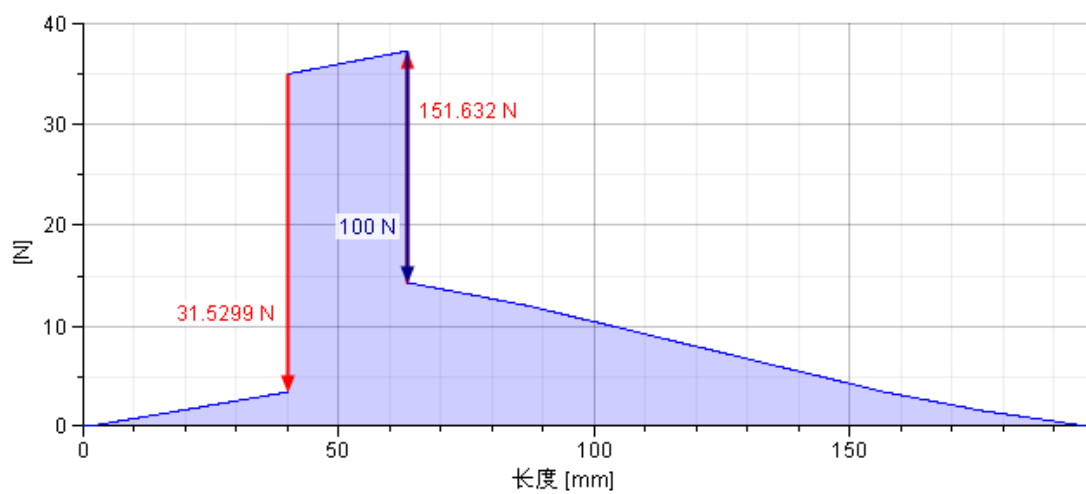
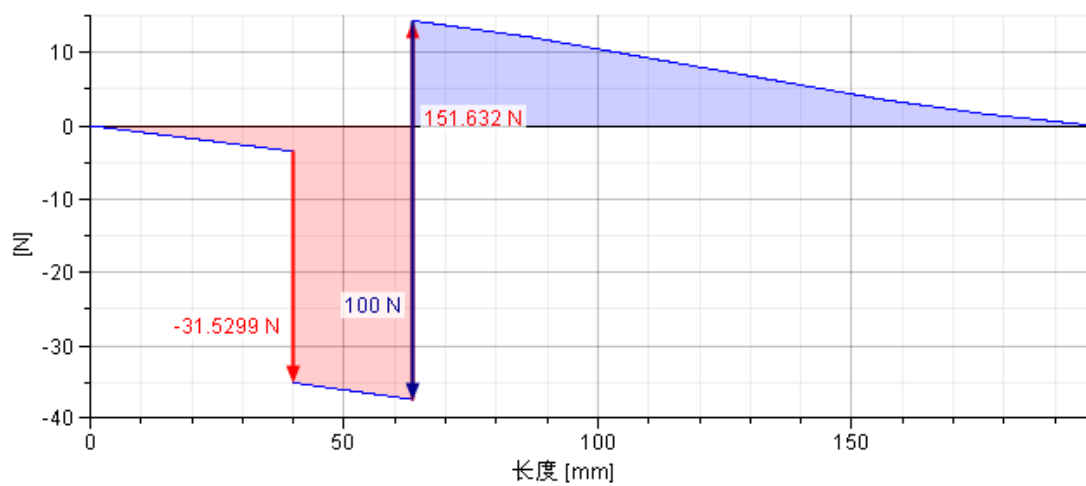


图 4-4 输入轴

剪切力



剪切力, YZ 平面



剪切力, XZ 平面

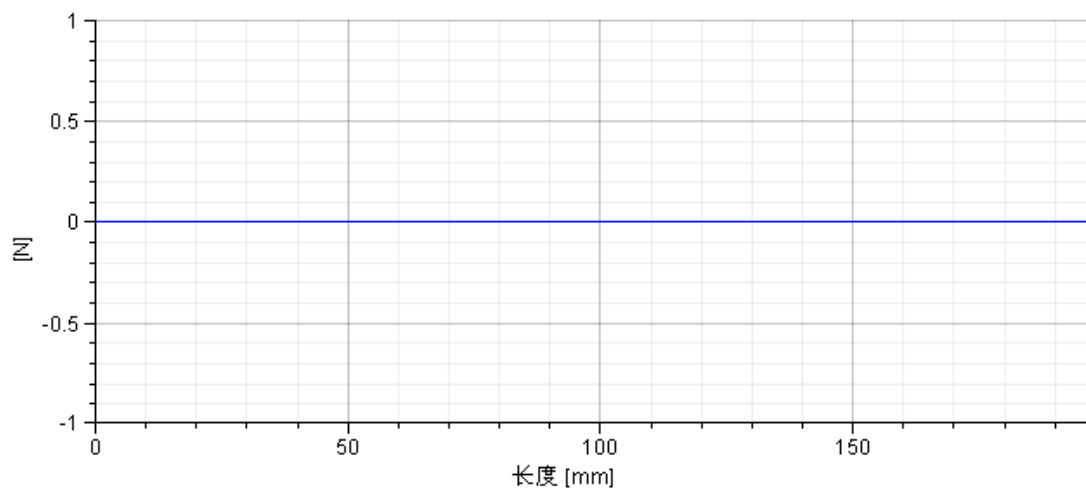
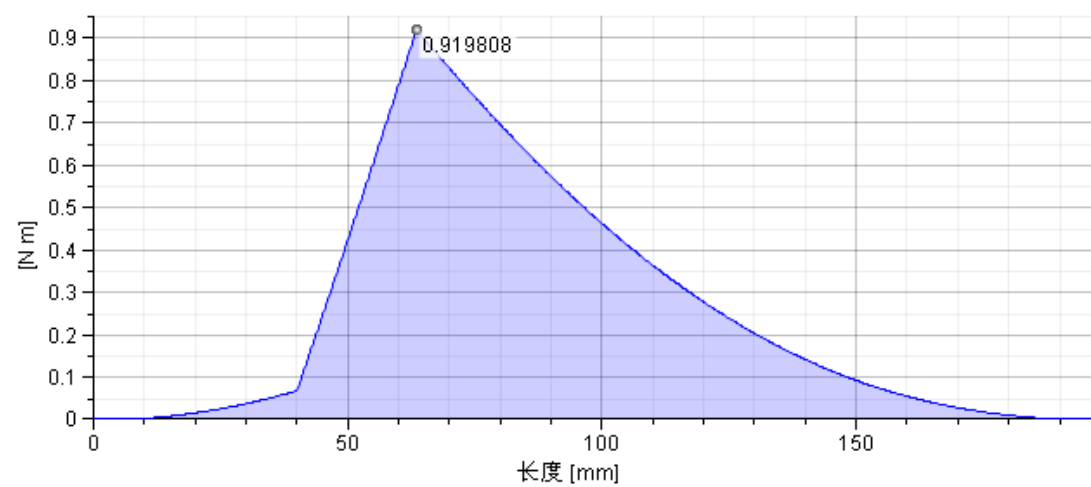
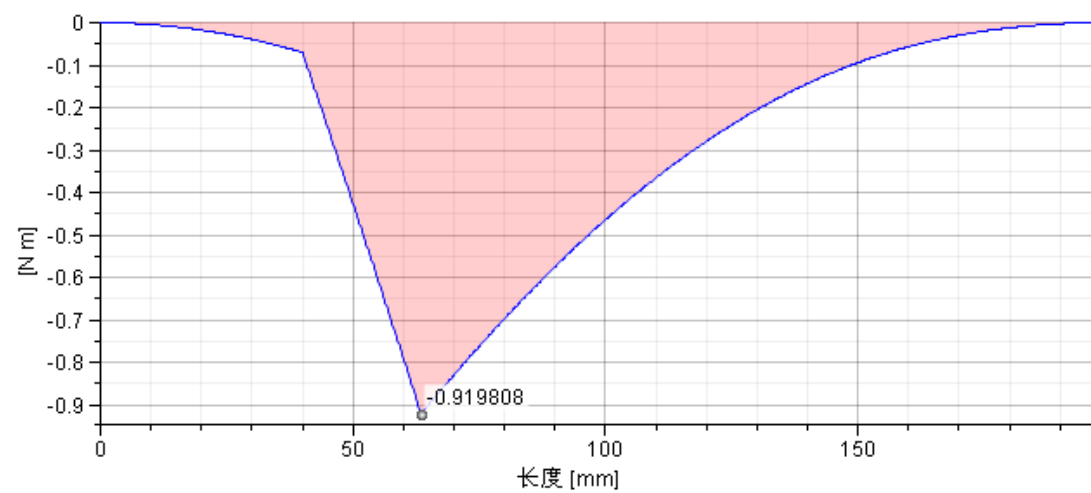


图 4-5 输入轴剪切力分析

弯矩



弯矩, YZ 平面



弯矩, XZ 平面

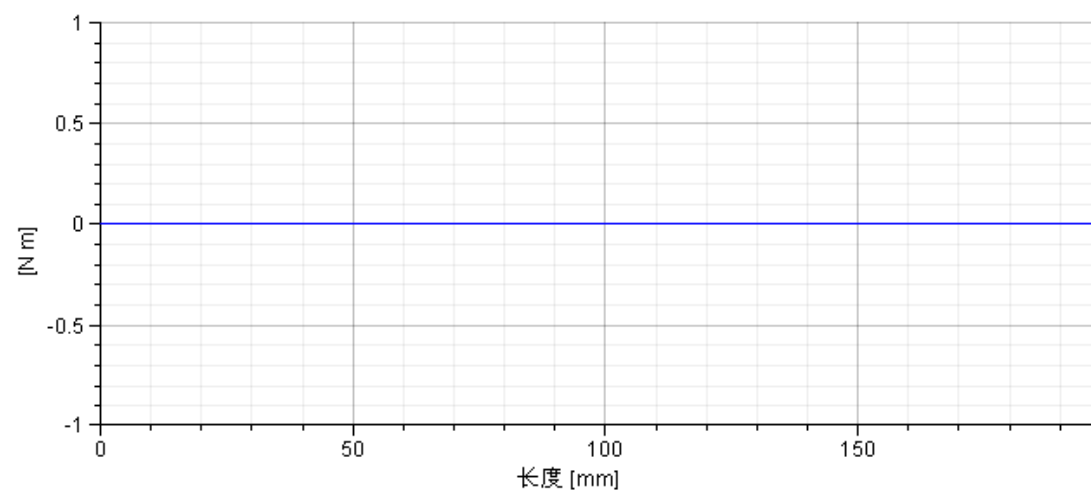
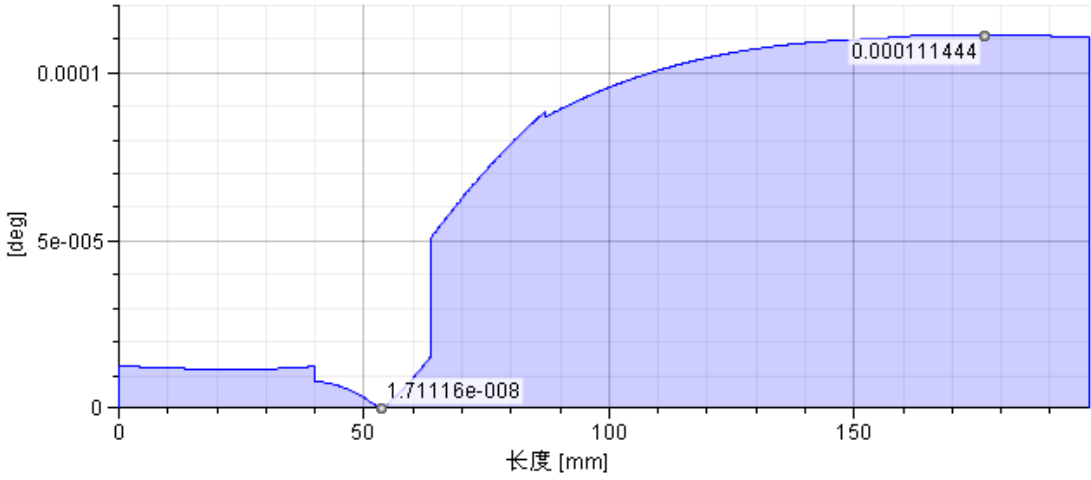
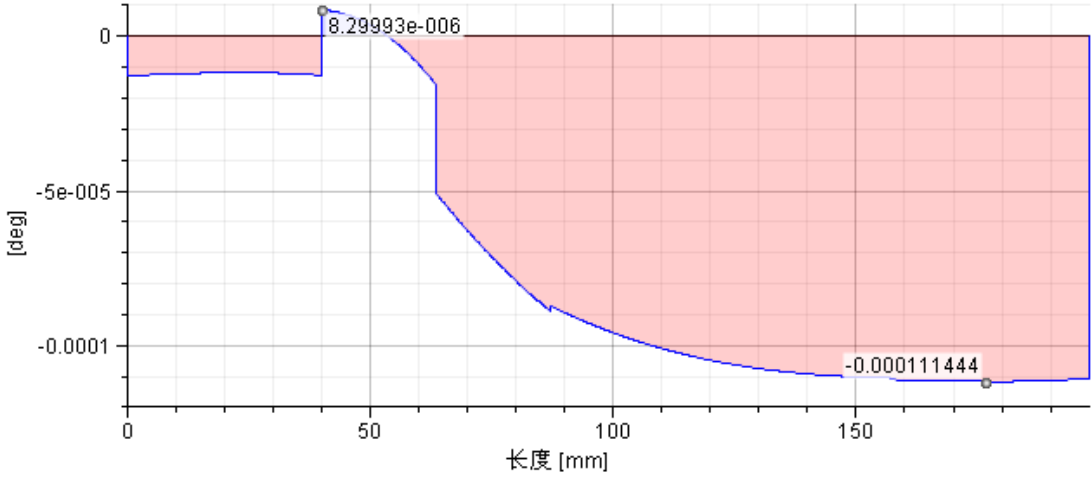


图 4-6 输入轴弯矩分析

偏差角度



偏差角度, YZ 平面



偏差角度, XZ 平面

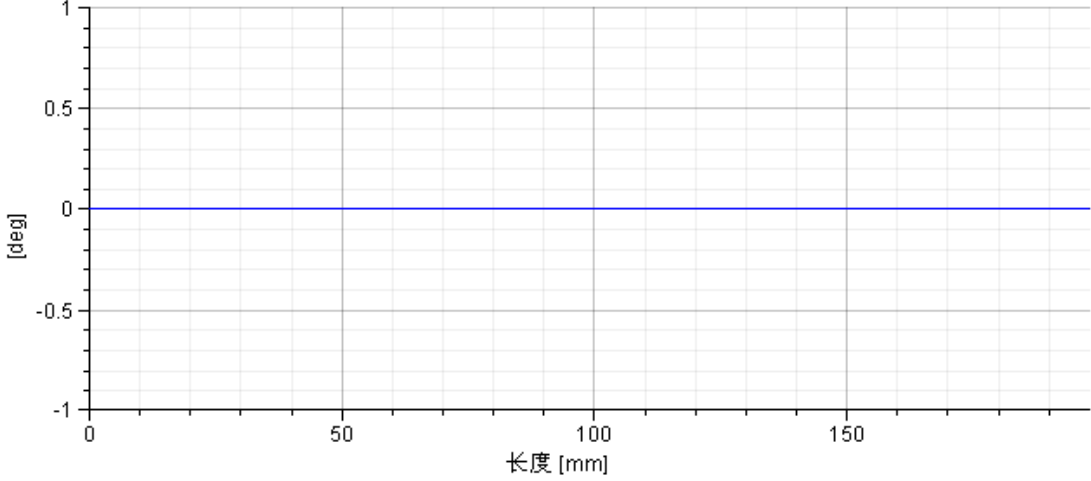
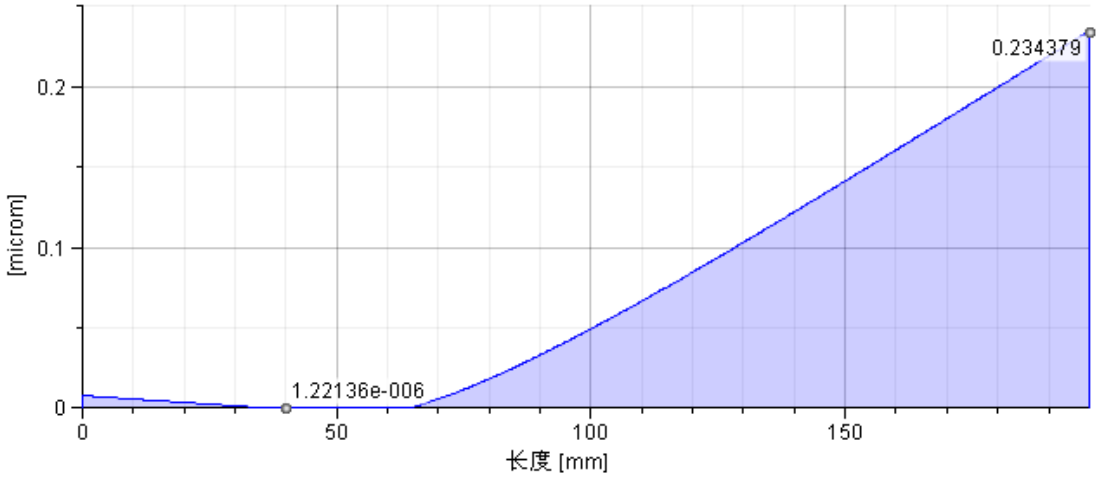
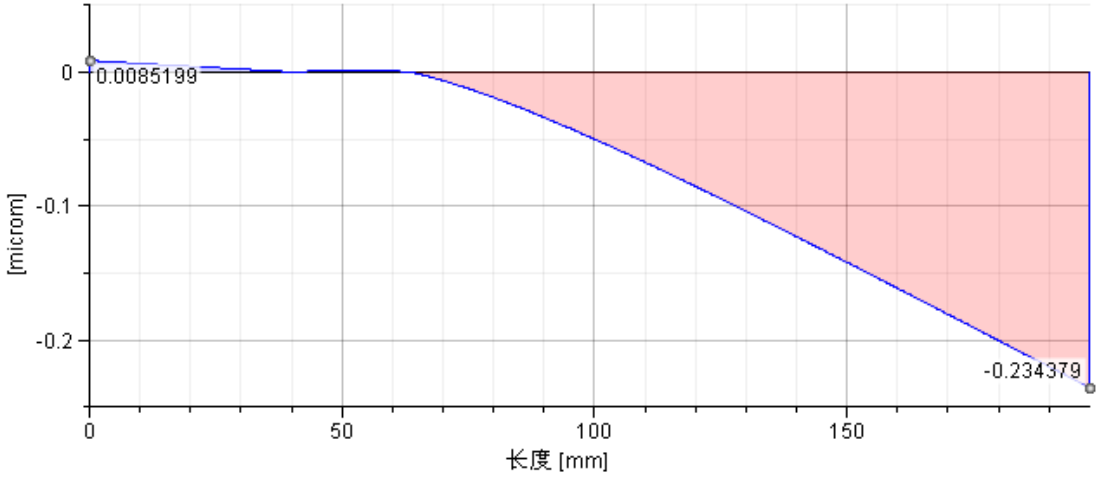


图 4-7 输入轴偏差角度分析

偏差



偏差, YZ 平面



偏差, XZ 平面

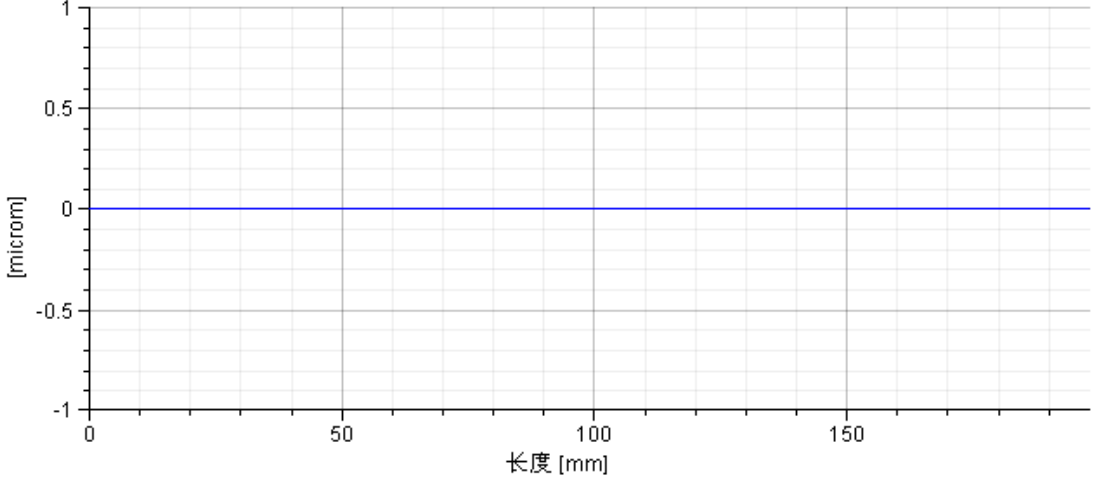
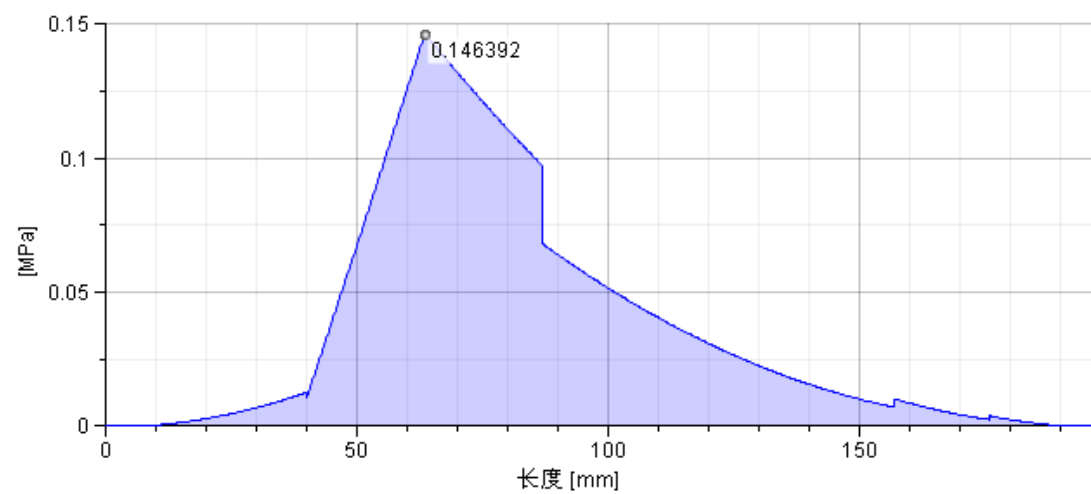
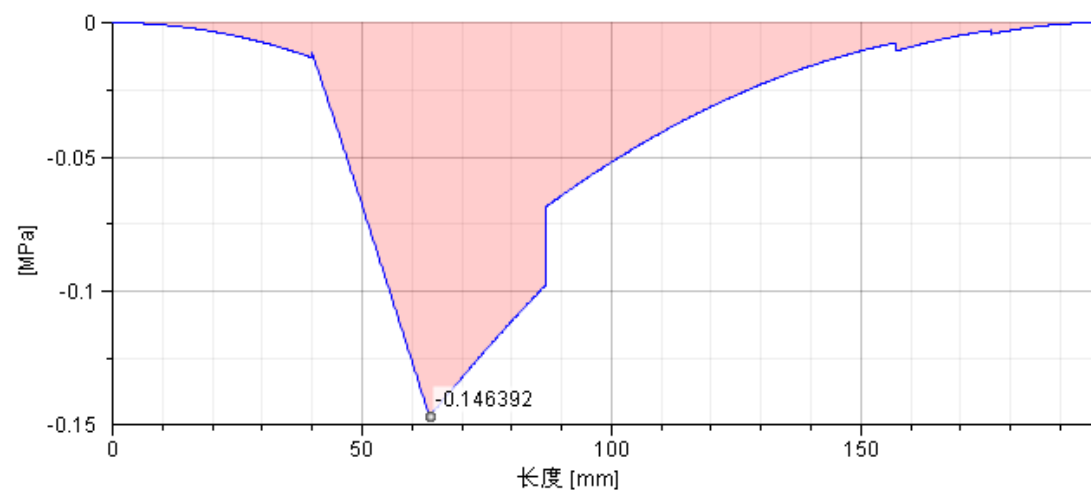


图 4-8 输入轴偏差分析

弯曲应力



弯曲应力, YZ 平面



弯曲应力, XZ 平面

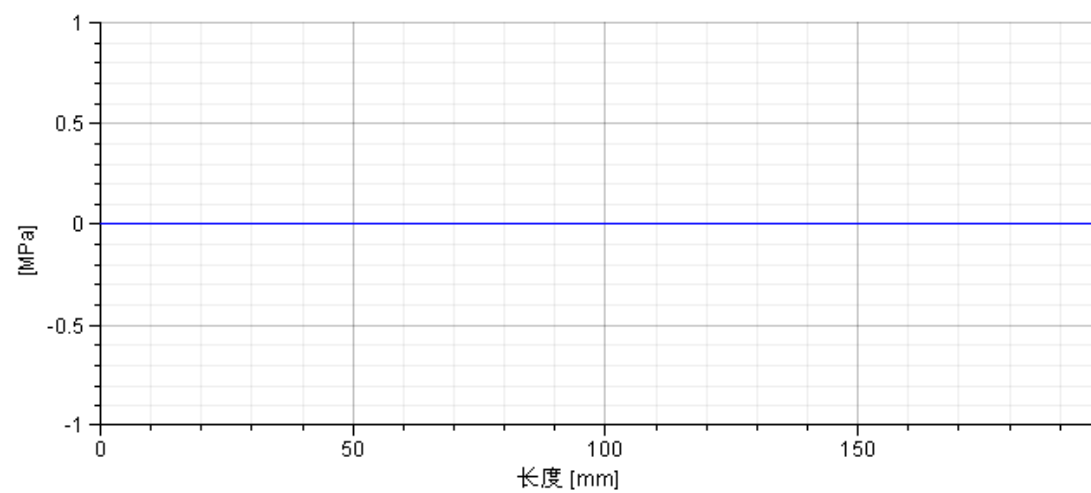
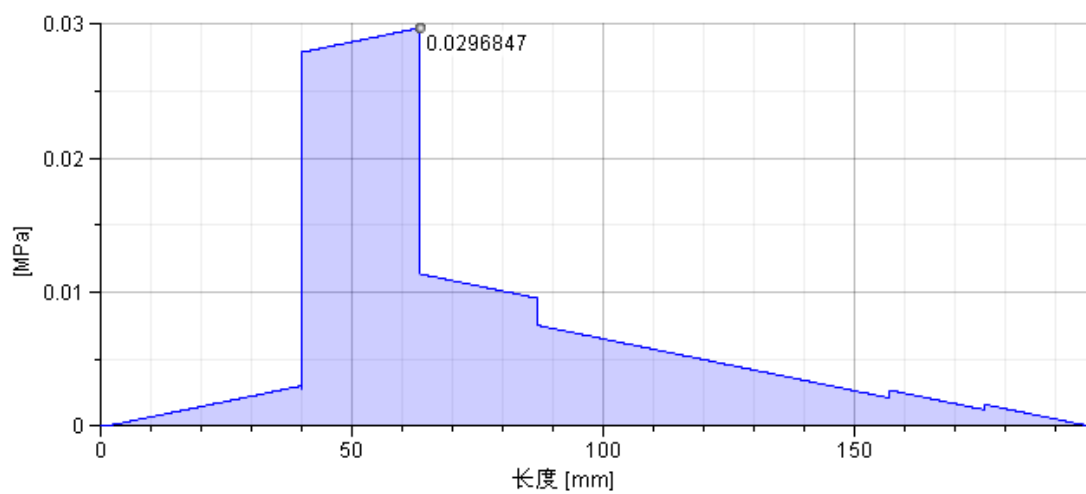
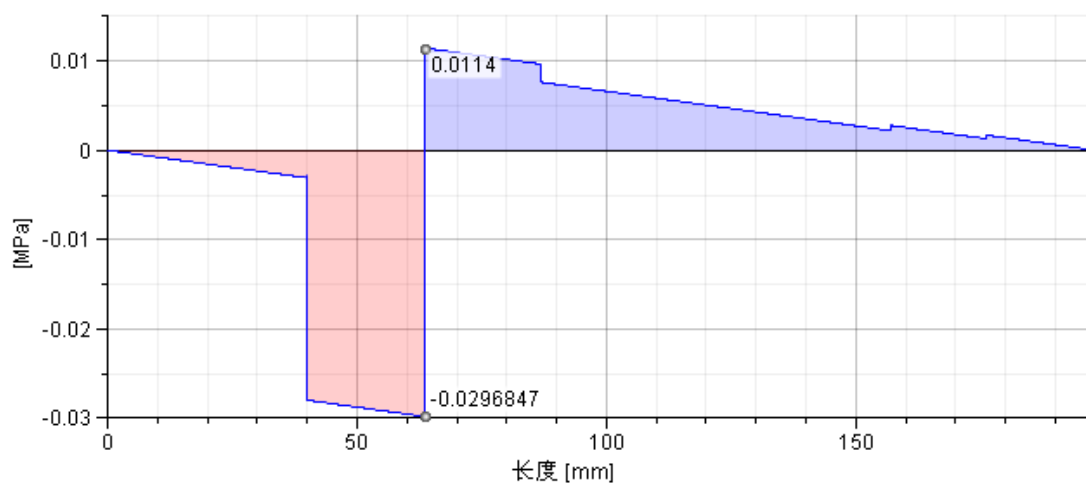


图 4-9 输入轴弯曲应力分析

剪切应力



剪切应力, YZ 平面



剪切应力, XZ 平面

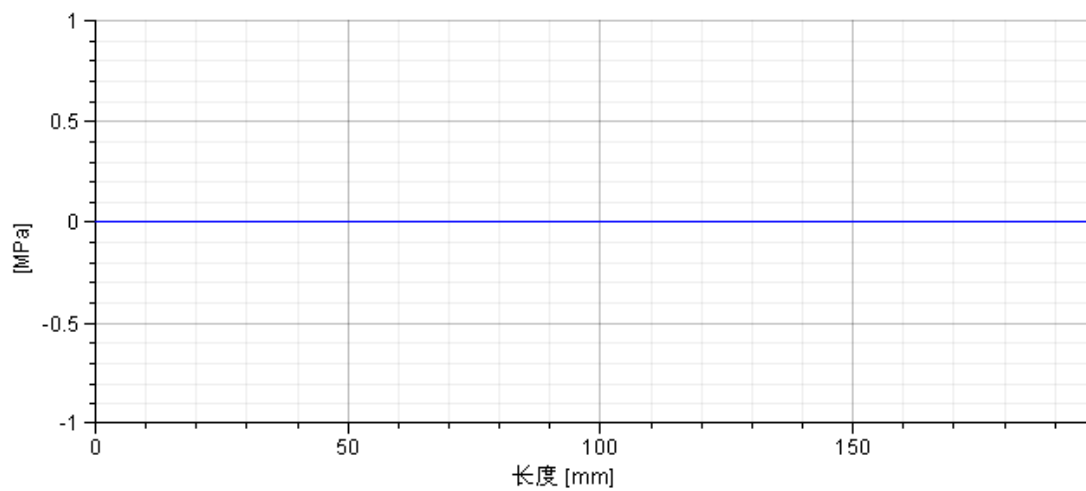
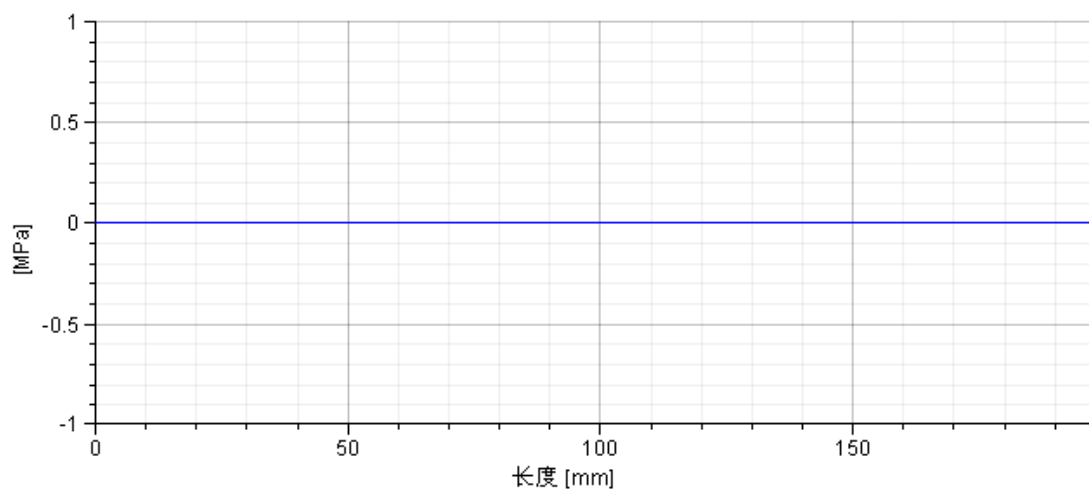
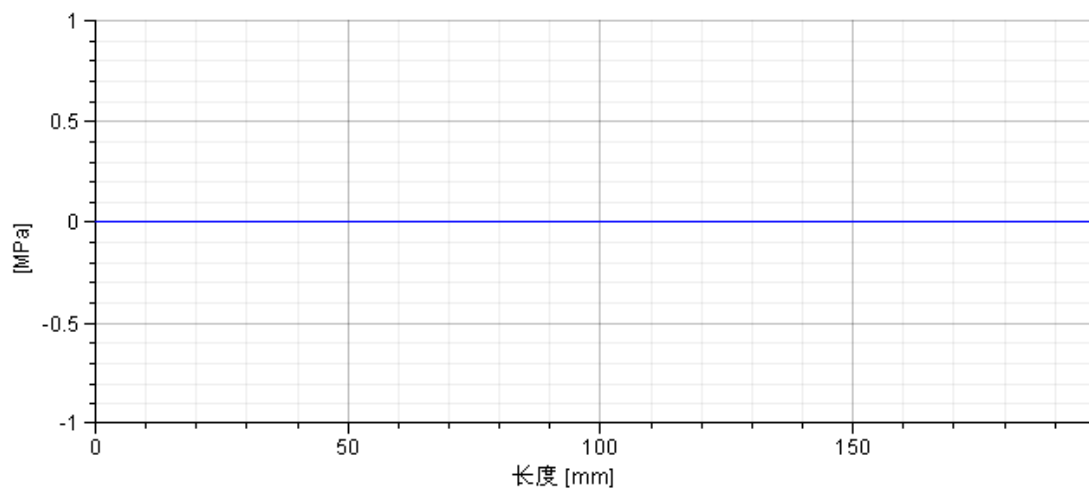


图 4-10 输入轴剪切应力分析

扭应力



拉伸应力



约化应力

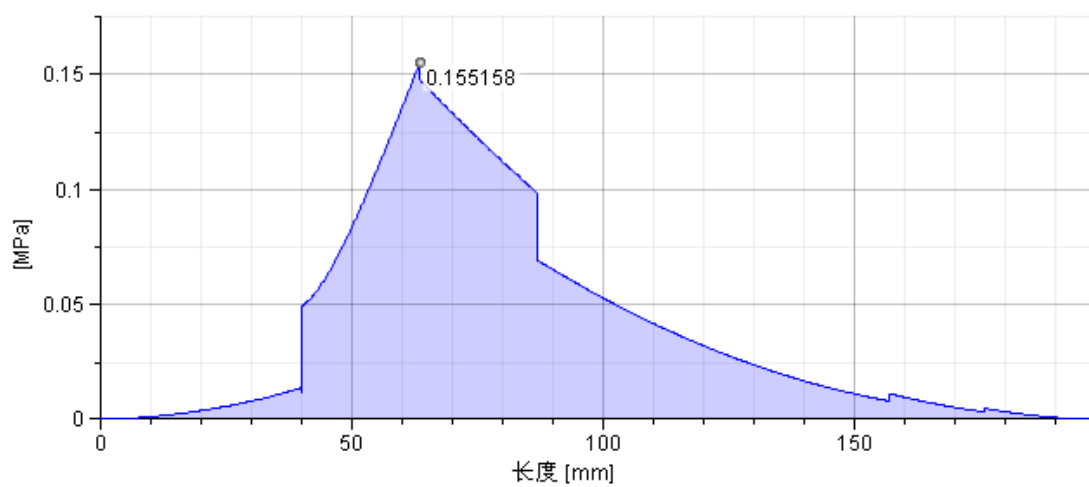


图 4-11 输入轴扭应力分析

输入轴理想直径

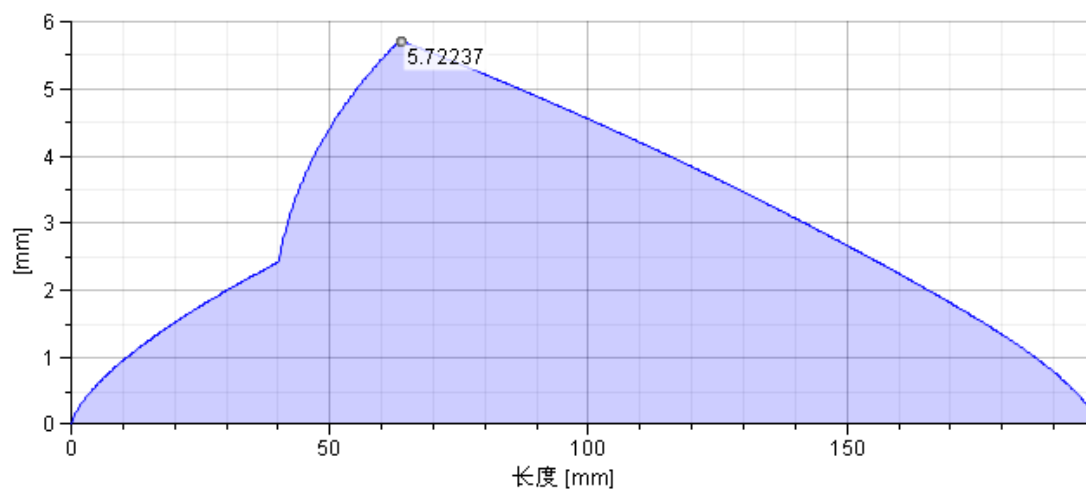


图 4-12 输入轴理想直径

此次设计中采用 Autodesk Inventor 2009 对主要零件轴和齿轮进行了强度分析, 其软件输出报告给出了详细的力学分析, 采用软件对工程问题分析减轻了工程人员的很多负担, 提高了开发产品的效率, 缩短了产品的开发周期。

5 主传动的润滑

在机床的变速箱或进给箱中,凡是有相对运动引起摩擦的零件工作表面都需要有良好的润滑如齿轮、轴承,和轴上滑动零件的滑动表面等。润滑的基本作用是:降低摩擦阻力,提高机床传动效率,减少磨损,使机床保持原有的工作精度,带走热量,冷却摩擦表面保持正常的工作温度,防止生锈等。总之,润滑是保证机床正常工作不可缺少的条件。

5.1 润滑系统的要求

应保证开动机床时能够立即供给润滑油。对润滑要求较高的机床,润滑系统正常工作并保持一定油压后才能开动机床。

润滑系统尽可能自动化,工作要可靠,以减轻工人的劳动强度。

润滑系统中应设有便于观察润滑工作是否正常的装置。

各摩擦面的润滑油量必要时应能调节,以保证被润滑零件的正常工作。

润滑系统的检修和清理应方便。

在满足使用要求的前提下,润滑系统中各组成件结构应简单,成本要低。

5.2 润滑剂的选择

机床上常用的润滑剂有两种,润滑脂和润滑油。

润滑油通常是各种矿物油,其物理和化学性能比较稳定。与润滑脂相比,润滑油的粘度小摩擦系数低冷却效果好,适用于高速运动的摩擦表面和集中的自动润滑系统中,因此在机床的变速箱或进给箱中广泛应用。

润滑对主轴组件的工作性能与轴承寿命都有密切关系。通常润滑油的粘度可根据主轴前轴颈 d (毫米)和主轴最高转速 $n_{\max}$ (转/分)的乘积数 $d_{\max} \cdot n_{\max}$ mm 来选择。

铣床选用 $d \cdot n_{\max} < 110000$, 粘度 $50^{\circ}C$ 12~32。

5.3 润滑方式的选择

铣床选用喷射润滑,一般是通过轴承周围的 3~4 个喷嘴,将 4 公斤/厘米² 的压力油喷射到轴承隔离器的空隙,周期性地把油送到润滑表面,供油量少,润滑效果好。喷射润滑方式的应用范围是 $d \cdot n$ 为 750000~100000。采用液压泵进行铣床润滑。

5.4 轴承的润滑及密封方法

轴承在运动过程中,轴承内外圈以及滚动体之间必然产生相对运动,这样运动体之间就要产生摩擦,消耗一部分动力,引起内外圈和滚动体之间发热、磨损。为了减少摩擦阻力,减缓轴承的磨损速度并控制轴承的温升,提高轴承的使用寿

命,在使用轴承的机构设计中必须考虑轴承的润滑问题,而为了使轴承保持润滑,还必须考虑轴承的密封。

结论

经过一个学期来的努力和老师的指导,完成了此次设计中的具体任务:

- 1) CA7620 液压多刀半自动车床主传动箱的整体布局设计
- 2) 主传动的运动设计 包括确定主传动转速图、绘制主传动系统图
- 3) 主传动箱的装配图及结构设计 根据传动系统图设计主轴箱装配图设计,并进行必要的计算。
- 4) 所有零件的设计,并绘制所用零件图。
- 5) 编写设计说明书。

完成了 CA7620 液压多到半自动车床主传动箱的设计,绘制了了所要求的装配图与零件图。

在此次设计与学习中,毕业设计—CA7620 液压多刀半自动车床主传动设计终于接近尾声。通过这次毕业设计我学到了以前在课本上没有知识,进一步完善了大学四年系统学习。并对以前没有弄懂的知识也在毕业设计中得到了了解,也使以前了解的知识有了进一步升华。

在毕业设计中,了解了 CA7620 液压多刀半自动车床的结构,并对铣床的工作过程,及内部结构有了较深的了解。CA7620 液压多刀半自动车床是采用有级变速的齿轮传动,在目前齿轮变速箱应用的最广泛的一种,因为他的变速范围大,传动功率也很大,传动比准确,工作可靠,但是也了解到他的一些缺点,齿轮传动不够平稳,变速机构的结构复杂,不宜用于高精加工机床上。对车床的结构有了较深的了解,如它包括了主轴主件,开停装置,制动装置,换向装置,变速装置等,主传动全部都装载 床身中,是整体式的结构。在拟订转速图时,知道了转速图对整个机床设计质量如结构繁简,尺寸的大小,效率的高低使用与维修方便性等有很大的影响,理解到,必须根据机床性能和经济合理的原则,在各种可能实现的方案中选择较合理的方案。

在设计齿轮传动系统中,知道公用齿轮,并了解了它的作用,知道了采用了公用齿轮可以减少齿轮个数,简化传动机构,缩短轴的尺寸。但也知道了它的缺点,如采用了公用齿轮可能引起径向尺寸增大,并且由于它的使用机会多,所以磨损快。在设计主传动的结构时,了解了滑移齿轮,知道了滑移齿轮的饿排列方式以及注意的地方。知道了机床开停装置,并了解了直接开停电动机和采用离合器的两种开停方式的优缺点和应用的机床类型。熟悉了制动装置,它是为了缩短运动时间,提高机床生产率,还能避免发生事故和防止工件报废。掌握了主传动的换向装置,及换向的类型及应用的机床类型,掌握了车床的换向装置,它是正反两个方向都是用于切削,所以可以直接用电动几换向。但是也了解了电动机换向的缺点,容易引起电动机过热。对于确定计算转速时没有较深的了解,机床在

某一转速开始,可能使用电动机的全部功率,对齿轮计算转速只有初步了解,对于润滑系统没有较详细的描述,选用喷射式润滑,对于主传动中零件设计是最困难的一部分,但是还是尽量把它作的完善,。由于时间和水平有限,再设计中难免出现错误,望老师知道更正。

致谢

首先感谢指导老师的关心和信任,感谢何老师在学习上给我提供的帮助。设计过程中,我遇到了一些疑难问题以及忽略了一些设计点,通过四年所学,我最终解决了问题。懂得如何去解决问题,这是我最大的收获。

设计工作是在何老师的督促下完成的,在此我再次表示深深的感谢和敬意。

感谢多年来培育我的徐州工程学院的老师们和关心我的同学们。特别是机电工程系教研室的老师们。四年当中,我从各位老师那里学习到了丰富的科学文化知识和技术,而且他们严谨的治学作风、兢兢业业的工作精神和求精、求实的科学研究理念,使我培养了正确的世界观、人生观和价值观,以后无论我走到哪里,他们对我的教育和影响,都将成为我一生中宝贵的财富,对以后独立从事科学研究产生深刻的影响。

在各位老师和同学的帮助下,我的设计最终能够顺利完成。在此衷心的感谢那些在设计过程中帮助过我的各位领导、老师及同学!

感谢所有帮助过我的老师、同学、朋友,同时祝愿你们在以后的日子里,开心、快乐!

参考文献

- [1] 邱宣怀. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997. 7
- [2] 东北工学院, 吉林工业大学, 哈尔滨工业大学. 金属切削机床设计(上册)[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1997. 11
- [3] 上海纺织工学院, 哈尔滨工业大学, 天津大学. 机床设计图册[M]. 上海: 上海科学技术出版社. 1979. 12
- [4] 范云涨, 陈兆年. 金属切削机床设计简明手册[M]. 北京: 北京工业出版社, 1994. 7
- [5] 翁世修, 王良审. 金属切削机床设计指导[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1987. 8
- [6] 扬黎明, 黄凯, 李恩至, 陈仕贤. 机械零件设计手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1986. 12
- [7] 龚宗智. 金属切削机床设计与计算[M]. 北京: 机械工业出版社, 1965. 8
- [8] 吴宗泽, 罗胜国. 机械设计课程设计手册[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999. 6
- [9] 扬建明. 机械制造装备[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001. 4
- [10] 张捷 李先民, 赵虎. 机械制造技术基础[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2006. 2
- [11] 蒋知民. 机械图样新旧国家标准对照汇编[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996. 8
- [12] 刘鸿文. 材料力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004. 1

附录

附录 1

英文原文:

The Numerical Control's development

The Numerical Control technical and the equipment is important for the foundation of the modern industry. Whether this foundation affects an economy of nation to develop directly and comprehensive national strength, relate to a strategic position of nation. Therefore, the flourishing nation of each industry all adopts the important measure in the world to develop own number to control technique and its industries.

In our country, the number controlled the development of technique and material to also get the high value, obtaining the very big progress in recent years. Count to control the realm in the in general use and tiny machine especially, take terrace of PC as basal domestic the number controls the system, have already walk at ex- row in world. But, the our country is counting to control the technique research and the industry developments to also exist not a few problems, especially creative ability in the technique, commercialize the aspect circumstances, such as progress and market share...etc. is outstanding. At new arrival of century, how resolve these problems effectively, make the our country number control the realm along can keep on the road of the development, from whole up exceed into advanced row or column in world completely, make us have the prominent position in the international competition, will is a number to control the research development section and produce the factory house face of important mission. In order to complete this mission, must establish the development road of match the Chinese state of the nation first. For this, this text controls the system, function parts and counts to control the whole machine from the total strategy and two layers of the technique route and numbers etc. a few concrete aspects inquired into the development path of the new century.

1. total strategy

The establishment matches the total development of the Chinese state of the nation strategy, to 21 centuries our country count control the technique and industries to develop to go to close the importance. Control the analysis that the technique and industries develop the trend through a logarithms and to the research that the our country number control the realm existence problem, we think to take science and

technology innovation as to lead first, changing into the lord stem with the merchandise, taking management and marketings as the point, with the technique supports and serves for backing, insist can keep on to develop the road and will is a kind of to match the our country state of the nation to develop number to control the technique and industries of total strategy.

1.1 Take science and technology innovation as to lead first

The number in China control technique and industry through more than 40 years of development, from did not have from ushering in to digest to own the independent independent copyright of oneself, obtain the very big progress. But look back this several decades of development, can see us at count to control the progress of the realm to mainly still press a little bit foreign mode, press department a ground development, the real creative composition is not much. This kind of situation is developping the start stage of the initial stage, is not scandalous. But went to the world to count to control the strong hand, such as the wood's today and knowledge-based economy, and will soon ascend the new century of satge, this normal regulations path of the very difficult line. For example, at the abroad imitate servo quick dated, we start make to imitate servo, have not yet wait we share the steady market, having already fallen behind in the technique; At the abroad beat into the numerical type that the pulse drive is servo the our country market, we come after to make this so-called numeral servo, but did not become the big market scale up to now; Foreign develop numerical type is servo to use the network(pass the fiber optic cable etc.) to control with number to equip the conjunction recently, we come after to develop this kind of system again, the prospect is still not optimistic. This kind of always follow at the other people walk behind, press the abroad to already have the control and drive the mode to develop domestic the number controls the system, after technique up difficult do not need to want the chiyi, and foreign company at our country inshore establish the graduate school and produce the factory, practice to develop right on the spot, produce right on the spot and sell right on the spot, make our product at the function price compare up have already had no many big advantages more and more, so want to further extend the market share, difficulty nature very big.

In order to change this kind of present condition, we must get it deeply and the great theory of the earnest implementation" science technique is the first productivity break, strengthening the number to control the science and technology

innovation of the realm strongly, diligent the research has the practical forerunner of Chinese special features to count to control the technique, building up the oneself gradually independent, the forerunner's technique system. Develop the number of match the Chinese state of the nation to control the product strongly on this foundation, thus become from the number controls the system and counts to control the function parts to category the well-found number controls the whole machine of tool machine of integrity of industry system. Thus, just will not be led long the nose by the abroad, be check and supervision by the other people forever, just use the forerunner probably, practical of number control the product to recover the local market, open the international market, make China of number control the technique and number control the industry to walk in 21 centuries ex- row in world.

1.2 malicious contrive in commercialize

In the last few years the our country number controls the product although the development is very quick, real at stop the feet on the market of not much. In regard to number control system, domestic goods not yet real were accept by the large tool machine factory, so appear the domestic number to control the example that the system useds for the old tool machine reformation more, but new tool machine of material of but few, the tool machine factory produce domestic the number controls the tool machine to use mostly of is all a foreign system. This of course not is a number that says the old tool machine to control to turn the reformation of no account, but the elucidation sees from the angle of the merchandise, our number controls the system and abroads to compare to still exist the very big margin.

In addition to the technique function and functions, the main factor that affects the number to control the system and numbers to control the tool machine to commercialize is more important is a credibility, stability and function. Before, some numbers control the research, the development section of technique and product, pursue of is usually some bodies the index sign(such as how much passage, how much stalk tit move, every minute how much rice enter to the speed etc.) of the technique level now, but little thought of towards affecting some index signs and some small problems of function but, in the energy of stability, the stick, credibility, the function aspect flower of product opposite less. Thus appear levels for some products to authenticate all very high, even also get various big prize. But the product of these high index sign, high performances arrive customer where do not fulfil person's idea because of some small problems but performance, lost the prestige

finally, beat not to open for business the field. This elucidation, the product of the kind model of the high index sign, high performance leaves the customer real the practical and dependable merchandise that need is to have the very big distance of, changing into a product of high index sign, high performance a merchandise that has the market still needs to make a great deal of effort of hardship.

1.4 persistences can keep on to develop the road

The development is a next century the importance that business enterprise development strategy, our country the number controls the industry to want to have the big development and also musts insist to walk and can keep on the road of the development. The green is a realization and can keep on the important path of the development, its main thought is to sweep and economize. For this development that should strengthen the green number to control the product strongly, the acceleration promotes the number control the product and counts to control industry and the whole green of manufacturing industries to turn, the main strategic measure should consider following several aspects: The is valid to reduce the product manufacturing and usage pollution of the environment within process. If reduce the number to control a structure of the tool machine, the cancellation casts the pollution to the environment; Control number to the lubrication of the tool machine principal axis to lubricate, spray the oil lubrication with the oil spirit etc. replaces the oil fog lubrication, reduce to produce environment of pollution; Cancel the cold constant temperature technique of freon system in nicety count control tool machine and it circulate environment of temperature control; Move to replace the machine to spread to move with the fax, reduce a pollution. The is significant to lower the resources depletion and energy depletions. Such as replace the hardware with the software, thus reduce the resources and energies of the hardware manufacturing depletion and pollution, and reduce the product life span be over behind the hardware equip of dismantle to unload to recover the problem; Always the 磁 drives to replace to respond to drive, lift high-efficiency and the power factor, economize the energy; Move to replace the machine to spread to move with the fax, lift high-efficiency, reduce the energy depletion. The ③strengthens to control the traditional tool machine of the technique reformation with the number. This since match to make use of the information technique and the automation techniques to reform the traditional industry, make the traditional industry production technique and equip modern this industry and can keep on the target of the development and can carry out, again commendable get huge economic performance.

The our country owns the millions set of common tool machine, strengthen to use the number and control the traditional tool machine of the technique reformation and will become next century our country number control important development direction of the realm. The ④ develops the green number to control the tool machine strongly. Green the number control the tool machine and should be a material consume little, can consume low and free from pollution, the life span is long and easy to dismantle new tool machine of unload the recovery.

2 technique paths

2.1 developments have the new generation PC number of Chinese special features to control the system

The number controls the core that the system is each kind of number to control the material, so control the system through the new number that science and technology innovation develops to have the Chinese special features first, will be valid technique path that pushes number to control the industry to turn the progress. Practice the certificate,10 in the last years the PC that we walk the number controls the road is completely right. The PC machine(include the industry PC) yield is big, the price cheapness, the technique progresses to raise with function very quickly, and the credibility is high. Therefore, being the number to control the soft hardware terrace of the system with it not only can with significant raise number to control the function price of the system to compare, but also can also make use of the in general use and tiny machine to already have the last word of the soft hardware resources and the sharing calculator realm well, exchanging such as the colorful display, multi-media information of saving machine, high resolution of big capacity.In addition, be the number to control with the in general use and tiny machine the terrace and can also acquire the fast technique progress, be the PC machine upgrade to change the generation, counting to control the system also can correspond the upgrade to change the generation, thus keeping the advantage on the technique over a long period of time, at compete the neutral in the invincible position.

Currently, the PC number control the system structure of the system contain 2 kinds of main forms:(1)The appropriation number controls compound type structure of add the head of PC;(2)The in general use PC add a controls the card of pass the rank type structure. Still have moreover a kind of just the numeral that develop turns the distribute type structure. Its project is to will be is servo by the numerical type that etc. constitute of DSP to pass with fiber optic cable etc. for lie the quality of network

and number control to equip to link, constitute one integrity of number control the system. This kind of system although the function is good very, is too high because of the development and production cost, and is hard to was accept by the local and large customer in the near future. We think that the above-mentioned structure is not the best project that matches the Chinese state of the nation, in keeping with Chinese state of the nation of should be control all numbers the function whole software turn of gather the type structure, because of the hardware scale of this kind of structure minimum, not only be advantageous to lowering the system cost, but also more important can raise dependable sex of the system effectively.

Several decades of experience enunciation, dependable sex quality is the domestic number control can system develop of key. Although affect the number to control the factor of the system credibility a lot of, lead the big hardware scale and the lower hardware manufacturing craft levels to usually result in the biggest threat to the credibility. Before, the domestic number controls the system at total design because of the restrict of various reason, have to choose with the not that high and common CPU of the technique index sign, thus, usually need for the complicated function that completes number to control to constitute the system from several CPUs, sometimes still need to add another some appropriations or in general use hardware electric circuit to carry out some high and solid hour sexual functions(such as thin put to repair, the position servocontrol etc.) that the number controls the system, thus make the system hardware scale huge. Control the not big product of this kind of batch quantity of system for the number, under the condition of local and existing craft, very difficult from the credibility of the angle assurance system that the hardware make, as a result make domestic number controled the system at produce the performance of the spot not good, to the domestic number control the image and good reputations of the system to result in serious influence, make not a few customers still had a lingering fear now.

Therefore, we while developping the new number to control the system, should have the initiative to choose to be the operation and the control cores of the system with the new high performance CPU(such as the Pentium II, III etc. of Pentium of the high and main frequency), and use the software as far as possible to carry out all function that the number control. Thus, it is significant to let up the scale of the system hardware .In addition, should design still in the software, the power supply design, connect the plug-in design with choose to use and connect the ground and

shield to design and start construction...etc. to adopt high and dependable sex of strong anti-design and manufacturing technique, thus raise dependable sex of the system completely.

Because a new high performance CPU can replace the several tens and common CPU(such as 80286 and 80386 etc.s), therefore, at according to the terrace of PC of the high performance CPU up not only can complete the basic function(if the information processing, knife repairs the calculation and puts to repair the calculation and add and subtract to control etc. soon) and switches that the number controls the system to measure the control function(inside pack the PLC), and can but also complete the servocontrol function. Thus, was turned the servocontrol function(if the position control, speed control, the vector transformation control...etc.) by the numeral that the DSP complete and all can be complete by the CPU in the PC before, thus carry out inside the pack type servocontrol, this not only contracted the number to control the hardware scale of the part effectively, but also return significant contracted parts of hardware scales of servocontrol .This kind of have inside pack the PLC and inside pack the servocontrol of whole software turn to gather the type number control the system, its hardware scale will attain the minimum, the whole piece control the system in addition to a PC terrace, leave of only drive the tool machine sport of power connect the and feedbacks to connect. This current effect raised the system credibility, and then removed the information to deliver the bottleneck, raising the system function, can also show it to lower the system cost at the same time, will make the system(include the electrical engineering) selling price be able to decline to the half that the existing number controls the system or so. Obviously, this kind of high performance, high and dependable, low cost new number control the system and will have the very strong competition ability, hope for found Chinese number to control of new situation make a contribution.

In addition, gather turn the PC number to control the system to still have one big advantage, is to carry out the open type structure easily. This is because of, the hardware of this kind of system is already complete open of, work that constitutes the open type number to control the system completely on the software, only good standard of establishment harmoniously argument, handle from the information, the track put to repair, add and subtract to control soon, the amount of switch control the servocontrols and can carry out to open, thus can the usage of the consumedly convenient customer.

2.2 push forward the profession that the number controls the function parts to turn the production

Resolve after number control the system problem, how carry out number to control the mold piece of the tool machine to turn the design and manufacturings to would be the our country tool machine manufacturing business enterprise to respond to the market need quickly, win in the competition of another one key. The mold piece that toes carry out the number to control the tool machine turns the design manufacturing, must resolve the profession that the number controls the tool machine function parts to turn the production problem. Currently the our country leaves the actual need to still have the very big margin in this aspect. Therefore, in some years of aftertime, we must promote the number control the development and professions of the tool machine function parts to turn the production strongly. Its important point is as follows:

(1)The new magnetoelectricity principal axis unit electricity principal axis always has become international on the market the most popular number controls the tool machine function parts. But this product is almost currently in order to respond a type of difference, existence following outstanding problem: The ① turns the son to round the set up the existence, have the big electric current to flow through, so turn the son to have fever the severity, direct influence the principal axis accuracy;The low speed of ② lift a hand to small and turn the pulsation of 矩 big, and is hard to satisfy the breadth scope slices to pare request; The efficiency of ③ and the power factors are low, not only the electrical engineering physical volume and weights are big and request to go against to change the machine to have great capacity, consume it can have another; The ④ control system complications, the cost is high.

Therefore, make use of the sparse soil of our country the advantage of the material of always, develop the new big power, high-efficiency, the breadth adjust soon scope always synchronous an alternate current principal axis unit, will be able to resolve the problem of the existing electricity principal axis existence effectively, become to have the new generation of Chinese special features electricity principal axis product. Because always the machine structure of the magnetoelectricity principal axis and control the systems all respond an electricity principal axis more in brief, so be easy to carry on the profession to turn the large-scale production. Certainly, this still needs to overrun the principal axis to pay to accept(the porcelain and ceramics bearings, the fluid action presses the bearings, to suspend the bearings) the technique,

high accuracy high speed to move the equilibrium technique, high speed to drive, examination and control techniques, high and dependable sex safety assurance technique etc. key technique.

(2) Servo system of cheap high performance currently, a set of enter to communicate servo system(actuator+ electrical engineering) of price generally all above ten thousand dollars, the principal axis price of the servo system is up to few ten thousand dollares, having become to lower the domestic number to control a big obstacle of the cost of tool machine. Therefore, should match with new gather turn the development that the domestic number controls the system, develop the servo system of cheap pack type inside the high performance strongly. Because inside the servo hardware part of pack type online have the electrical engineering and powers to connect, making use of the our country well always the resources advantage, turning to produce through a profession can build the price to the electrical engineering to decline down, and adopt the IPM mold piece that intelligence turn to be the power to connect also very cheap, so will inside the pack type enter to the servo price control at several thousand dollars in, will inside servo price of the pack type principal axis control at 20,000 dollars in, will be completely possible.

(3) Communicate that the servo system communicates that servo system is the function parts that the next century counts to control the tool machine indispensability straightly straightly, currently our country return without mature product, so should strengthen the research, development and expansion application .In consideration of the normal regulations tool machine defends the problem of it more difficult resolve, but merge the tool machine to defend the opposite easy, so can develop to respond for the normal regulations structure tool machine a type of difference straight line electrical engineering, for merge the structure tool machine development always synchronous type straight line electrical engineering, thus the grows to avoid short, constitute meet the new high-speed high accuracy of actual applied request to enter to the system. On this foundation, can further develop will drive and pay to accept to match two for an of it suspend the work set.

(4) Zero spread to move the number controls to turn the pedestal with put the number to control to turn the pedestal with put the head to sit to mark the number to control the tool machine much of key parts, etc. of the high accuracy the pole to spread to move traditionally of turn the pedestal with put the head not only make the difficulty big, the cost is high, and hard attain the high speed process need of speed

and accuracy, as a result must open up another path of development to develop new zero spread to move(have no the machine spreads to move the chain) number to control to turn the pedestal and put the head, to promote the our country the high-speed high accuracy sits much to mark number to control the development of the tool machine.

(5)The high-speed high accuracy examination equip high-speed high accuracy is the next century counts to control the tool machine development of topic, this need the control of the high performance and drive not only, still need the high-quality examination link at the same time, so should further develop 0.1 μm high-speed(60 ms/ min above) line of the above accuracies on the existing technique foundation the Cape that moves to spread the feeling machine and 1,000,000 pulses/ rs move to spread the feeling machine, this kind of technique abroad is a blockader to the our country of.

2.3 accelerate the whole country that the number controls the tool machine to produce to turn, beat the good market to turn over the body battle

The number controls the whole country that the industry turns end to succeed to count body now to control the tool machine to produce to turn and market share up. Guide in the above-mentioned total strategy under, adopt to grasp two and take the middle(common the number controls the tool machine), the policy of the heavy type(a key material), will is at local recover to lose the ground quickly on the market, at international on the market steady military advance, end win a kind of valid military tactics and strategies that the domestic number controls the tool machine market to turn over the body battle .As for the development that the common number controls the tool machine there has been many articles making the specialized treatise, so the underneath is only to control the tool machine for the low price number, the high speed counts to control the development problem that the tool machine and heavy numbers control the tool machine to make efficiently a discussion.

中文翻译

数控技术发展

数控技术和数控装备是制造工业现代化的重要基础。这个基础是否牢固直接影响到一个国家的经济发展和综合国力,关系到一个国家的战略地位。因此,世界上各工业发达国家均采取重大措施来发展自己的数控技术及其产业。

在我国,数控技术与装备的发展亦得到了高度重视,近年来取得了相当大的进步。特别是在通用微机数控领域,以 PC 平台为基础的国产数控系统,已经走在了世界前列。但是,我国在数控技术研究和产业发展方面亦存在不少问题,特别是在技术创新能力、商品化进程、市场占有率等方面情况尤为突出。在新世纪到来时,如何有效解决这些问题,使我国数控领域沿着可持续发展的道路,从整体上全面迈入世界先进行列,使我们在国际竞争中有举足轻重的地位,将是数控研究开发部门和生产厂家所面临的重要任务。为完成此任务,首先必须确立符合中国国情的发展道路。为此,本文从总体战略和技术路线两个层次及数控系统、功能部件、数控整机等几个具体方面探讨了新世纪的发展途径。

1 总体战略

制定符合中国国情的总体发展战略,对 21 世纪我国数控技术与产业的发展至关重要。通过对数控技术和产业发展趋势的分析和对我国数控领域存在问题的研究,我们认为以科技创新为先导,以商品化为主干,以管理和营销为重点,以技术支持和服务为后盾,坚持可持续发展道路将是一种符合我国国情的发展数控技术和产业的总体战略。

1.1 以科技创新为先导

中国数控技术和产业经过 40 多年的发展,从无到有,从引进消化到拥有自己独立的自主版权,取得了相当大的进步。但回顾这几十年的发展,可以看到我们在数控领域的进步主要还是按国外一些模式,按部就班地发展,真正创新的成分不多。这种局面在发展初期的起步阶段,是无可非议的。但到了世界数控强手如林的今天和知识经济即将登上舞台的新世纪,这一常规途径就很难行通了。例如,在国外模拟伺服快过时,我们开始搞模拟伺服,还没等我们占稳市场,技术上就已经落后了;在国外将脉冲驱动的数字式伺服打入我国市场时,我们就跟着搞这类所谓的数字伺服,但至今没形成大的市场规模;近来国外将数字式伺服发展到用网络(通过光缆等)与数控装置连接时,我们又跟着发展此类系统,前途仍不乐观。这种老是跟在别人后面走,按国外已有控制和驱动模式来开发国产数控系统,在技术上难免要滞后,再加上国外公司在我国境内设立研究所和生产厂,实行就地开发、就地生产和就地销售,使我们的产品在性能价格比上已越来越无

多大优势,因此要进一步扩大市场占有率,难度自然就很大了。

为改变这种现状,我们必须深刻理解和认真落实“科学技术是第一生产力”的伟大论断,大力加强数控领域的科技创新,努力研究具有中国特色的实用的先进数控技术,逐步建立自己独立的、先进的技术体系。在此基础上大力发展符合中国国情的数控产品,从而形成从数控系统、数控功能部件到种类齐全的数控机床整机的完整的产业体系。这样,才不会被国外牵着鼻子,永远受别人的制约,才有可能用先进、实用的数控产品去收复国内市场,打开国际市场,使中国的数控技术和数控产业在 21 世纪走在世界的前列。

1.2 在商品化上狠下工夫

近几年我国数控产品虽然发展很快,但真正在市场上站住脚的却不多。就数控系统而言,国产货仍未真正被广大机床厂所接受,因此出现国产数控系统用于旧机床改造的例子较多,而装备新机床的却很少,机床厂出产的国产数控机床大多数用的都是国外的系统。这当然不是说旧机床的数控化改造不重要,而是说明从商品的角度看,我们的数控系统与国外相比还存在相当大的差距。

影响数控系统和数控机床商品化的主要因素除技术性能和功能外,更重要的就是可靠性、稳定性和实用性。以往,一些数控技术和产品的研究、开发部门,所追求的往往是一些体现技术水平的指标(如多少通道、多少轴联动、每分钟多少米的进给速度等等),而对影响实用性的一些指标和一些小问题却不太重视,在产品的稳定性、鲁棒性、可靠性、实用性方面花的精力相对较少。从而出现某些产品鉴定时的水平都很高,甚至也获各种大奖。但这些高指标、高性能的产品到用户哪儿却由于一些小问题而表现不尽人意,最后丧失了信誉,打不开市场。这说明,高指标、高性能的样机型的产品离用户真正需要的实用、可靠的商品是有相当大的距离的,将一个高指标、高性能的产品变为一个有市场的商品还需作出大量艰苦的努力。

1.4 强技术支持和服务

数控系统和数控机床作为典型的高技术产品,对用户的技术支持和服务是相当重要的。以前国产数控产品丧失信誉的原因,除可靠性问题外,另一大问题就是缺乏有力的技术支持和服务。用户花了很多钱买的数控机床或数控系统,一旦出现问题却叫天天不应,叫地地不灵,以后谁还敢买我们的产品。因此,应将对用户的技术支持和服务当成重要的日常工作来抓,使我们在市场上向纵深挺进时,有一个强大后方。因此,为了取得数控产品市场竞争的全面胜利,必须建立以技术支持和服务为核心的强大后方。当然,为赢得主动,后方也须主动出击。目前,利用先进的信息技术手段(如网络和多媒体),将为建立新一代立体化的技术支持和服务体系开辟新的途径。

1.5 持续发展道路

可持续发展是下一世纪企业发展的重要战略,我国数控产业要有大的发展也必须坚持走可持续发展的道路。绿色是实现可持续发展的重要途径,其主要思想是清洁和节约。为此应大力加强绿色数控产品的开发,加速促进数控产品、数控产业以及整个制造业的绿色化,主要战略措施应考虑以下几方面:①有效减少产品制造及使用过程中的环境污染。如减少数控机床的铸件结构,消除铸造对环境的污染;将数控机床主轴的润滑以油气润滑、喷油润滑等取代油雾润滑,减少对生产环境的污染;在精密数控机床及其运行环境的温度控制中取消氟利昂制冷的恒温技术;以电传动代替机械传动,减少噪声污染。②大幅度降低资源消耗和能源消耗。如以软件代替硬件,从而减少硬件制造的资源 and 能源消耗及污染,并减少产品寿命结束后硬件装置的拆卸回收问题;以永磁驱动代替感应驱动,提高效率和功率因数,节约能源;以电传动代替机械传动,提高效率,减少能源消耗。③加强用数控技术改造传统机床。这既符合运用信息技术和自动化技术改造传统产业,使传统产业生产技术和装备现代化这一产业可持续发展的目标得以实现,又可取得巨大的经济效益。我国拥有普通机床数百万台,加强用数控技术改造传统机床将成为下世纪我国数控领域的重要发展方向。④大力发展绿色数控机床。绿色数控机床应是材料消耗少、能耗低、无污染,寿命长且便于拆卸回收的新型机床。

2 技术途径

2.1 发展具有中国特色的新一代PC数控系统

数控系统是各类数控装备的核心,因此通过科技创新首先发展具有中国特色的新型数控系统,将是推动数控产业化进程的有效技术途径。实践证明,10年来我们所走的PC数控道路是完全正确的。PC机(包括工业PC)产量大、价格便宜,技术进步和性能提高很快,且可靠性高(工业PC主机的MTBF已达30年[3])。因此,以其作为数控系统的软硬件平台不但可以大幅度提高数控系统的性能价格比,而且还可充分利用通用微机已有软硬件资源和分享计算机领域的最新成果,如大容量存储器、高分辨率彩色显示器、多媒体信息交换、联网通讯等。此外,以通用微机作为数控平台还可获得快速的技术进步,当PC机升级换代时,数控系统也可相应升级换代,从而长期保持技术上的优势,在竞争中立于不败之地。

目前,PC数控系统的体系结构有2种主要形式:(1)专用数控加PC前端的复合式结构;(2)通用PC加位控卡的递阶式结构。另外还有一种正在发展的数字化分布式结构。其方案是将由DSP等组成的数字式伺服通过以光缆等为介质的网络与数控装置连接起来,组成一完整的数控系统。这种系统虽然性能很好,但由于开发和生产成本太高,近期难以被国内广大用户所接受。我们认为,上述结构

并不是符合中国国情的最好方案,适合中国国情的应是将所有数控功能全软件化的集成式结构,因为这种结构的硬件规模最小,不但有利于降低系统成本,而且更重要的是可以有效提高系统的可靠性。

几十年的经验表明,可靠性好坏是国产数控系统能否发展的关键。虽然影响数控系统可靠性的因素很多,但过大的硬件规模和较低的硬件制造工艺水平往往对可靠性造成最大的威胁。以往,国产数控系统在总体设计时由于种种原因的限制,不得不选用技术指标不太高的普通CPU,这样,为完成数控的复杂功能往往需要由多个CPU来组成系统,有时还需另加一些专用或通用硬件电路来实现数控系统的一些高实时性功能(如细插补、位置伺服控制等),从而造成系统硬件规模庞大。对于数控系统这种批量不大的产品,在国内现有工艺条件下,很难从硬件制造的角度保证系统的可靠性,因而使得国产数控系统在生产现场的表现不佳,对国产数控系统的形象和声誉造成严重影响,使得不少用户现在还心有余悸。因此,我们在开发新型数控系统时,应优先选用新型高性能CPU(如高主频的Pentium II、Pentium III等)作为系统的运算和控制核心,并尽量用软件来实现数控的所有功能。这样,可大幅度减小系统硬件的规模。此外,还应在软件设计、电源设计、接插件设计与选用、接地与屏蔽设计和施工等方面采用强抗扰高可靠性设计与制造技术,从而全面提高系统的可靠性。

由于一个新型高性能CPU可以代替数十个普通CPU(如80286、80386等),因此,在基于高性能CPU的PC平台上不仅可以完成数控系统的基本功能(如信息处理、刀补计算、插补计算、加减速控制等)和开关量控制功能(内装PLC),而且还可以完成伺服控制功能。这样,以前由DSP完成的数字化伺服控制功能(如位置控制、速度控制、矢量变换控制等)均可由PC中的CPU完成,从而实现内装式伺服控制,这不仅有效缩小了数控部分的硬件规模,而且还大幅度缩小了伺服控制部分硬件规模。这种具有内装PLC和内装伺服控制的全软件化集成式数控系统,其硬件规模将达到最小化,整个数控系统除一个PC平台外,剩下的只有驱动机床运动的功率接口和反馈接口。这既有效提高了系统可靠性,又消除了信息传递瓶颈,提高了系统性能,同时还可显著降低系统成本,使系统(包括电机)售价将可降至现有数控系统的一半左右。显然,这种高性能、高可靠性、低成本的新型数控系统将具有极强的竞争力,有望为开创中国数控的新局面作出贡献。

此外,集成化PC数控系统还有一大优点,就是容易实现开放式结构。这是因为,这种系统的硬件本身已经是完全开放的,构成开放式数控系统的工作完全在软件上,只要制定好标准和协议,从信息处理、轨迹插补、加减速控制、开关量控制到伺服控制都可以实现开放,从而可大大方便用户的使用。

2.2 推进数控功能部件的专业化生产

解决数控系统问题后,如何实现数控机床的模块化设计与制造便是我国机床制造企业快速响应市场需求,在竞争中获胜的另一关键。要实现数控机床的模块化设计制造,必须解决数控机床功能部件的专业化生产问题。目前我国在这方面离实际需求还有相当大的差距。因此,在今后的若干年内,我们必须大力促进数控机床功能部件的开发和专业化生产。其要点如下:

(1)新型永磁电主轴单元 电主轴已成为国际市场上最热门的数控机床功能部件。但目前这类产品几乎都为感应异步型,存在以下突出问题:①转子上存在绕组,有大电流流过,因此转子发热严重,直接影响主轴精度;②低速出力小且转矩脉动大,难以满足宽范围切削要求;③效率和功率因素低,不仅电机体积和重量大而且要求逆变器容量大、耗能多;④控制系统复杂、成本高。因此,利用我国稀土永磁材料的优势,开发新型大功率、高效率、宽调速范围永磁同步型交流电主轴单元,将可有效解决现有电主轴存在的问题,形成具有中国特色的新一代电主轴产品。由于永磁电主轴的机械结构和控制系统都较感应异步型电主轴简单,因此易于进行专业化大规模生产。当然,这还要攻克主轴支承(陶瓷轴承、流体动静压轴承、磁悬浮轴承)技术、高精度高速动平衡技术、高速驱动、检测与控制技术、高可靠性安全保证技术等关键技术。

(2)廉价的高性能伺服系统 目前,一套进给交流伺服系统(驱动器+电机)的价格一般都在万元以上,主轴伺服系统的价格高达数万元,已成为降低国产数控机床成本的一大障碍。因此,应配合新型集成化国产数控系统的发展,大力开发廉价的高性能内装式伺服系统。由于内装式伺服的硬件部分只有电机和功率接口,充分利用我国的永磁资源优势,通过专业化生产可以把电机的造价降下来,而采用智能化的IPM模块作为功率接口也很便宜,因此将内装式进给伺服的价格控制在数千元以内,将内装式主轴伺服的价格控制在2万元以内,将是完全可能的。

(3)直线交流伺服系统 直线交流伺服系统是下一世纪数控机床不可缺少的功能部件,目前我国还没有成熟产品,因此应加强研究、开发和推广应用。考虑到常规机床的防磁问题较难解决,而并联机床的防磁相对容易,因此可为常规结构机床开发感应异步型直线电机,为并联结构机床开发永磁同步型直线电机,从而扬长避短,构成符合实际应用要求的新型高速高精度进给系统。在此基础上,可进一步开发将驱动与支承合二为一的磁悬浮工作台。

(4)零传动数控转台与摆头 数控转台与摆头是多坐标数控机床的关键部件,传统的采用高精度蜗杆蜗轮等传动的转台与摆头不仅制造难度大、成本高,而且难以达到高速加工所需的速度和精度,因而必须另辟蹊径开发新型零传动(无机械传动链)数控转台和摆头,以促进我国高速高精度多坐标数控机床的发

展。

(5) 高速高精度检测装置 高速高精度是下世纪数控机床发展的主题,这不但需要高性能的控制和驱动,同时还需要高品质的检测环节,因此应在现有技术基础上,进一步开发 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上精度的高速($60\ \text{m/min}$ 以上)线位移传感器和100万脉冲/r的角位移传感器,此类技术国外对我国是封锁的。

2.3 加速数控机床的全国产化,打好市场翻身仗

数控产业化的最终成功将体现在数控机床的全国产化和市场占有率上。在上述总体战略指导下,采取抓两头(低价位数控机床和高速高效数控机床)、带中间(普通数控机床)、促重型(重型关键装备)的方针,将是在国内市场上快速收复失地,在国际市场上稳步进军,最终打赢国产数控机床市场翻身仗的一种有效战术和策略。关于普通数控机床的发展已有许多文章作了专门论述,因此下面仅就低价位数控机床、高速高效数控机床和重型数控机床的发展问题作一讨论。