密级：公开

立式高速火焰喷涂机床设计

Design Of Vertical HVOF Machine

学　　院：机械工程学院

专 业 班 级：机械设计制造及其自动化 1102 班

学　　号：110101204

学 生 姓 名：李家宁

指 导 教 师：王赫莹（副教授）

2015年　6　月

摘　要

高速火焰喷涂技术（HOVF）是一种可在零部件表面高效率地形成涂层的工艺方法，该方法具有火焰速度高、涂层结合强度高、致密性好、耐磨等优点。

本课题主要是对立式高速火焰喷涂机床进行机械结构设计，依据技术要求，给出机床的总体设计方案，并完成包括进给机构及主要零部件等的绘制。整机主要包括横纵向进给机构、立柱、底座、工作台等主要部件。其中所有进给机构均采用滚珠丝杠螺母副进行传动，并由伺服电机进行驱动。喷枪安装在纵向工作台上，并采用重锤平衡机构保持平衡，使其升降轻便。

本文介绍了高速火焰喷涂机床的组成，全面阐述了高速火焰喷涂机床的结构及设计特点，论述了采用伺服电机和滚珠丝杠螺母副的优点。详细介绍了高速火焰喷涂机床的结构设计及其校核，另外汇总了有关技术参数。其中着重介绍了滚珠丝杠的原理及其选用原则，系统地对滚珠丝杠生产、应用等环节进行了介绍。包括种类选择、参数选择、精度选择、循环方式选择、与主机匹配的原则等。

关键词：热喷涂；高速火焰喷涂；滚珠丝杠；伺服电机

Abstract

High velocity oxy-fuel (HOVF) technologyis is a process method in the surface of parts efficiently forming coating, the method has the advantages of high flame speed, high strength, high density, good abrasion resistance, etc.

This topic is mainly on vertical HVOF machine tool mechanical structure design, based on technical requirements, given the machine's overall design, and complete including drawing feeding mechanism and major components and the like. Entire machine including horizontal and vertical feed mechanism, column, base, table and other major components. Wherein all feed mechanism are ball screw drive nut carried by the servo motor drive. Gun mounted on the longitudinal table and lifting of weights balancing mechanism to make it light.

This article describes the composition of the high-speed flame spraying machine, a comprehensive exposition of the structure and design features of the high-speed flame spraying machine, discusses the advantages of using servo motor and ball screw nut pairs. Details of the HVOF structural design and verification tools, in addition to a summary of the technical parameters. Which focuses on the principles and selection principles of the ball screw, ball screw system to production, application and other aspects were introduced. Including species selection, parameter selection, precision selection, circulation mode selection, principles and host matches and the like.

Keywords：Thermal Spray;HVOF;Ball screw; Servo motor

目录

摘　　要..... I

Abstract..... II

第 1 章　绪论..... 1

1.1　高速火焰喷涂简介..... 1

1.2　高速火焰喷涂的发展现状..... 1

1.3　立式高速火焰喷涂机床设计的选题意义..... 5

1.4　课题研究内容..... 6

1.5　本章小节..... 6

第 2 章　立式高速火焰喷涂机床的总体机械设计..... 7

2.1　机床的设计要求..... 7

2.2　设计方案..... 7

2.3　本章小节..... 9

第 3 章　进给伺服系统的设计与计算..... 10

3.1　进给伺服系统的设计要求..... 10

3.2　滚珠丝杠的特点..... 11

3.3　丝杠的计算..... 12

3.3.1　滚珠丝杠副的导程计算..... 12

3.3.2　滚珠丝杠副的载荷计算..... 13

3.3.3　确定允许最小螺纹低经..... 14

3.3.4　确定滚珠丝杠副得规格代号..... 15

3.4　伺服电机的选择..... 15

3.4.1　基本原则..... 15

3.4.2　额定转速的选择..... 16

3.4.3　惯量匹配..... 16

3.4.4　电机选择..... 17

3.3.5　惯量匹配验算..... 17

3.3.6　速度的验算..... 17

3.5　滚珠丝杠副的安全使用..... 18

3.5.1　润滑..... 18

3.5.2 防尘 18
3.5.3 使用 18
3.5.4 安装 18
3.6 联轴器的选择 19
3.7 Y 轴和 Z 轴滚珠丝杠及伺服电机的选择 19
3.8 伺服进给系统结构图的设计 20
3.9 本章小节 22
第 4 章 主要零部件设计 23
4.1 床身结构的设计 23
4.1.1 床身设计的基本要求 23
4.1.2 床身的结构设计 24
4.2 导轨的设计 25
4.2.1 导轨的设计要求 25
4.2.2 导轨的结构设计 25
4.2.3 导轨的防护及润滑 28
4.3 工作台的设计 29
4.4 本章小节 29
第 5 章 结论 30
参考文献 31
致谢 33

第 1 章　绪论

1.1　高速火焰喷涂简介

高速火焰喷涂(high velocity oxy-fuel，简称 HOVF)是在火焰喷涂的基础上发展起来的热喷涂技术[1]，其出现促进了热喷涂技术的发展，扩大了热喷涂的应用范围[2,3]，与其他技术相比，有许多优越性[4]。它是利用丙烯、天然气、煤油[5]等燃料和氧气在燃烧室或特殊喷嘴中燃烧产生高温，将涂料融化或半融化，经加速撞击在被加工体表面沉积形成涂层。从表 1-1 可以看出，高速火焰喷涂较其它表面喷涂工艺拥有更高的结合强度和硬度，孔隙率及氧化物含量较低等特点。由于 HVOF 喷枪所产生的粉末颗粒速度相对于其他热喷涂方法的颗粒速度有明显提高,使得粉末颗粒从进入喷枪到喷涂至工件表面，进而撞击基体表面形成涂层的整个过程得到改善[6]。

表 1-1 高速火焰喷涂涂层与其它表面喷涂工艺涂层性能比较[7]

工艺	结合强度	厚度	孔隙率	氧化物含量	硬度	应力
电弧线材喷涂	20~40 Mpa	<5 mm	>5%	>3%	中	低
火焰线材喷涂	10~30 Mpa	<3 mm	>10%	>5%	低	中
火焰粉末喷涂	10~30 Mpa	<2 mm	>10%	>5%	低	中
等离子喷涂	30~50 Mpa	<1 mm	>3%	>1%	中	高
HOVF	70~100 Mpa	<5 mm	<1%	<1%	高	中
冷喷涂	30~50 Mpa	<10 mm	<1%	<1%	高	高

HOVF 技术的主要特点有:

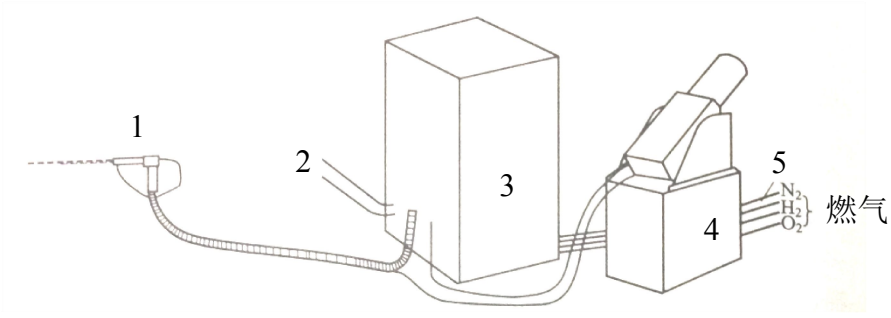
(1) 火焰速度高，可达 1500/s 以上[8,9,10]，可将喷涂粒子加速到 300~500/s [11]；

(2) 温度比等离子喷涂低很多，约 2760℃[12]，可有效防止喷涂过程中粒子的氧化，特别适合喷涂加热后易于分解的金属陶瓷涂层；

(3) 涂层的致密性好，结合强度高(大于 70MPa)[13,14]，耐磨性能优越。

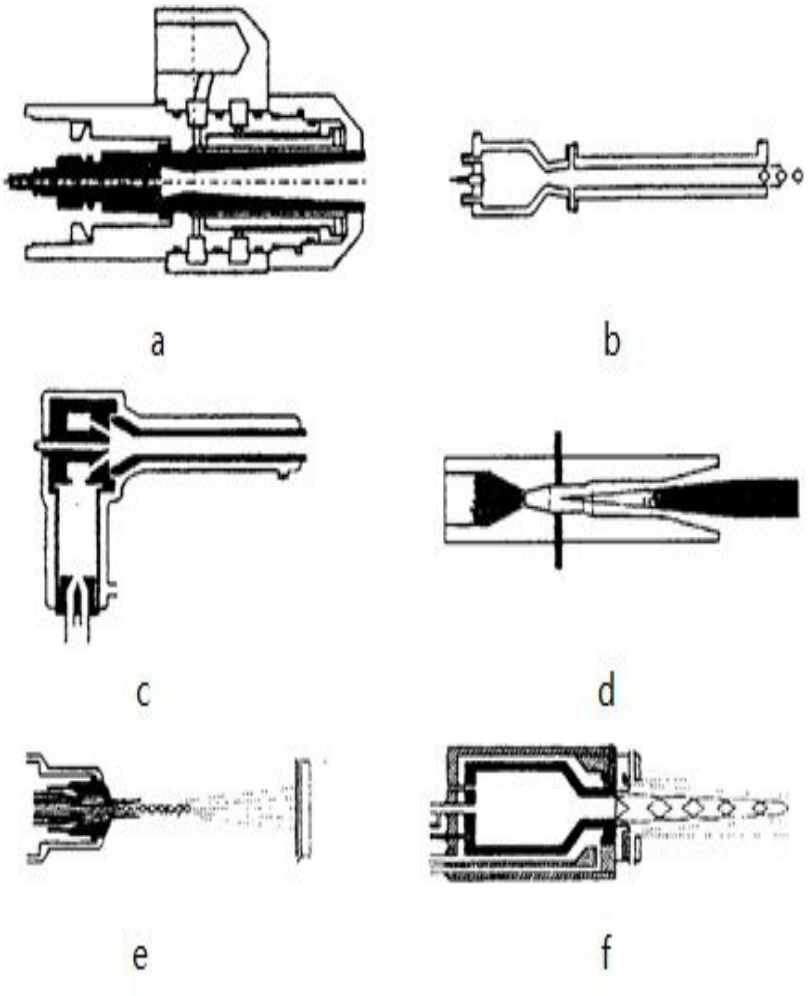
1.2　高速火焰喷涂的发展现状

HVOF 技术是在上世纪 80 年代初期，由美国 Borwning 公司开发成功，并且先以 JET-KOTE（图 1-1）为商品推出。经过几年的系统开发，该技术的优点逐渐被接受和认识。由此，世界上发达国家，投入了大量的财力对高速火焰喷涂技术进行研究开发。于上世纪八十年代末九十年代初期，先后又有数种高速火焰喷涂系统开发成功，并投放入市场。如射流枪(J-Gun)，冲锋枪(Top-Gun)，金刚石射流(Diamond-Jet)，高速空气燃料系统(HVAF,HighveloeityAir-Fue)，连续爆炸喷涂(CDS，ContinuouSDetonation Spraying)，等。如图 1-2 是目前国际上流行的主要超音速火焰喷枪结构示意图，其结构是参照火箭发动机的原理设计的[15]。



1—喷涂枪；2—冷却水；3—控制箱；4—送粉器；5—气体供给

图 1-1 JET-KOTE 高速燃气喷涂系统示意图



a—扩散型喷嘴；b—收剑型喷嘴；c—前端细圆筒喷嘴；

d—多段喷嘴；e—无喷嘴；f—前端细圆筒喷嘴

图 1-2　目前国际上流行的主要超音速火焰喷枪结构示意图[16]

1994 年, 这种设备日本有 60 多套，欧洲大约有 120 套，其中德国大约有 30 套，1995 年在日本神户召开的第 14 届热喷涂国际会议上，以 HVOF 为主题的论文就达到 40 篇[17]。在九十年代初期，高速火焰喷涂设备在热喷涂市场中所占的比例约为 3%，到了 2000 年，该比例达到约 25%[18]。据英国 Metallisatio 有限公司

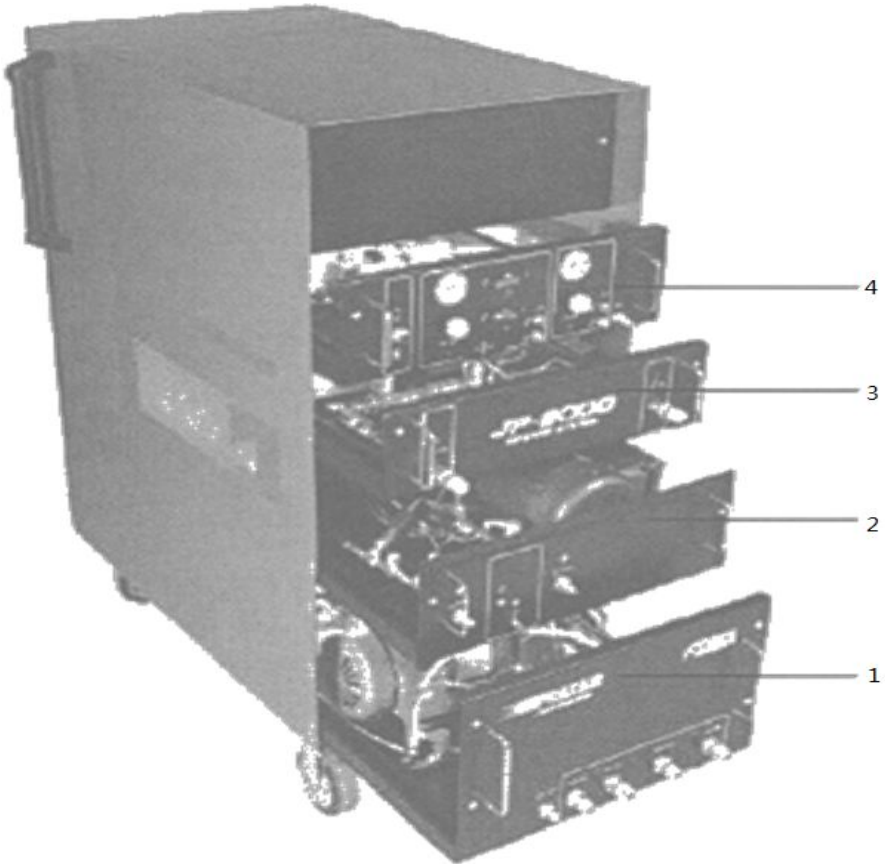
称，高速火焰喷涂设备在热喷涂市场上越来越热销。Metallisatio 公司认为高速火焰喷设备越来越受到那些寻求耐磨性能更好或耐腐蚀性能的涂层的工程师们的欢迎，因为相对于那些采用较熟悉的常规喷涂工艺，如：等离于喷涂、火焰喷涂和电弧喷涂等制成的涂层来说，高速火焰喷涂制成的涂层硬度更高、致密度会更好一些[19]。

Fusion 公司现已关闭电镀 Cr 生产线而转向 HVOF 喷涂，因为这种涂层具有高韧性和高结合强度，完全可以适应部件服役时的弯曲情况。公司总裁 Stratton Gillis 称，高速火焰喷涂的费用可与电镀铬的价格相竞争，尤其对于大型部件或外形复杂的部件是十分经济的方法。该公司的其它应用还包括化工厂轴承密封区域联接配合件、离心压缩机转子和推进轴承配合件等的修复[20]。

到目前为止，我国已陆续从国外购进了几台 HVOF 设备，如上海的司太立公司引进了美国 Stelhte 公司的 Jet-Kote 高速火焰喷涂设备，中国有色金属研究总院引进了 Diamond-Jet 系统，鞍山钢铁公司引进了 Top-Gun 系统。此外,西安交通大学于 1995 年已研制成功了我国自己的 HVOF 系统(CH-2000)，长安大学、沈阳工业大学、装甲兵工程学院、武汉材料保护研究院、北京钢铁研究总院、北京钦得新工艺材料有限公司等几家单位也都在进行这方面研究[21]。

美国近年来在航空发动机部件如压缩机叶片，轴承套等上使用 HVOF 技术已经基本实现了标准化，可完全取代以前使用的爆炸喷涂层，旨在降低成本[22]。英国在气轮机使用 HVOF 技术在第一级静叶片上效果很好，可取代昂贵的电子束物理气相沉积和低压等离子喷涂层。美国、德国、法国等国家在冶金行业中大量使用热浸镀锌槽、挤压辊轮中的有色金属及沉没辊二次加工轧辊等应用高速火焰喷涂技术，使其寿命明显提高[23]。日本钢铁工业应用 HVOF 喷涂修复退火炉辊，修复率从 80 年代中期的 30%上升到 90 年代后期的 80%，而带钢因结瘤等引起的次品率则由 85%下降到零[24]。

国际上著名的热喷涂设备生产公司普莱克斯表面技术公司推出的 JP-5000、JP-8000 型高压 HVOF 系统是当前国际上最为畅销的 HOVF 系统,目前在国际上已有超过 500 台的在役量，这是其他 HVOF 系统无法比拟的[25]。其中 JP-5000 系统的 5100 型 CORNOA 控制台，是一闭环、全自动控制的控制台,其外形如下图 1-3 所示。



1- 冷却水回路； 2-液体燃料回路；3-氧气回路；4-送载气回路

图 1-3 JP-8000 系统的 8100 型 HVOF 系统控制台外形图

1.3 立式高速火焰喷涂机床设计的选题意义

高速火焰喷涂机床作为火焰喷涂工艺的载体，其主要功能是在高速火焰喷涂生产过程中，控制整个喷涂过程，同时还可以通过控制喷枪的速度和喷枪到工件表面距离，从而实现对喷涂宽度和厚度的控制，达到满足不同性能材料的喷涂要求，最终喷涂出满足简单或者极端条件应用需求的涂层。高速火焰喷涂技术是一种比较新型技术，而高速火焰喷涂设备也随着微控制技术的不断革新，在不断地发生变化。研究和设计出稳定性好、快速性好、可靠性高和易操作的高速火焰喷涂机床是生产和发展的需要。

1.4 课题研究内容

本课题主要是对立式高速火焰喷涂机床进行机械结构设计，依据技术要求，确定机床的总体设计方案，并对其主要结构进行设计,完成横纵向进给机构及床身、滑座、立柱、工作台等主要零部件的绘制。

1.5 本章小节

本章主要讲述了高速火焰喷涂技术发展趋势及其相关知识，包括热喷涂的类型，高速火焰喷涂设备的组成部分和工作原理。

第 2 章　立式高速火焰喷涂机床的总体机械设计

2.1　机床的设计要求

根据设计要求及常用机床性能，列出以下立式高速火焰喷涂机床主要参数，用于方案拟定。

工作台尺寸：600

横向 X 轴加工范围 L_x=300，工件线速度 0~30m/min

横向 Y 轴加工范围 L_y=500

要求性能稳定，精度较高，高速高效，结构简单可靠，可用于喷涂板材以及多种工件。

2.2　设计方案

整机分为床身、基座、立柱、滑座、主轴箱、工作台、三轴进给驱动机构机械部分。总装图如图 2-1 所示。

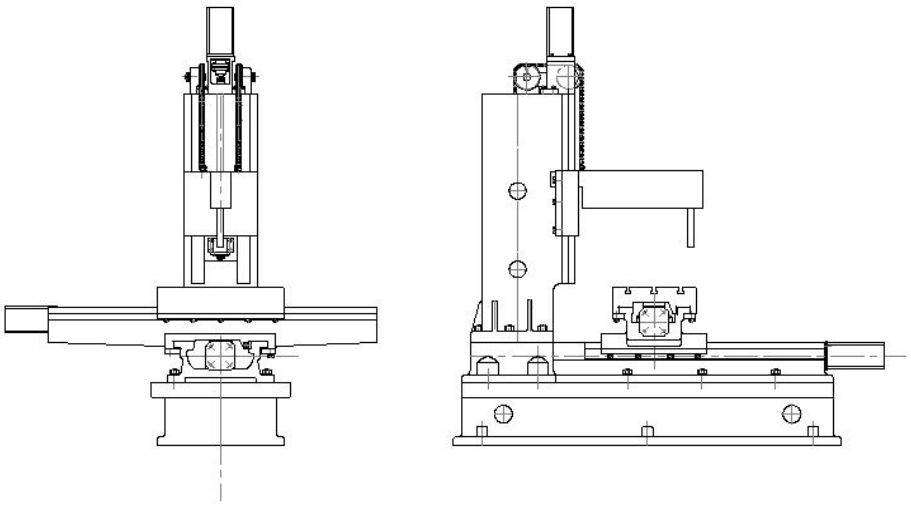


图 2-1 立式高速火焰喷涂机总装图

床身是机床设计的基础，床身的尺寸设计影响着机床的设计，而且设计的合理性直接影响到机床的刚度。床身用来固定和支撑机床上的各个部件，顶面

有供滑座移动的导轨。基座的设计是在床身完成后完成的，而立柱安装在床身一侧，按照主轴的中心尽量贴近横梁上的导轨面为原则，并把 Z 轴驱动安装位置设计在立柱上，有效地减轻滑座的重量。

因滚珠丝杠传动效率高，摩擦力小，精度高，三轴进给驱动机构均采用滚珠丝杠螺母副将。这样设计使可以机床的整体进给性能得以协调，各轴的进给力和进给速度得到了最佳匹配。驱动电机采用永磁同步交流伺服电机，其特点是可以通过软件简单精准的对速度、转矩进行控制，将伺服系统的性能发挥到最大，其伺服驱动器连接图如图 2-1。

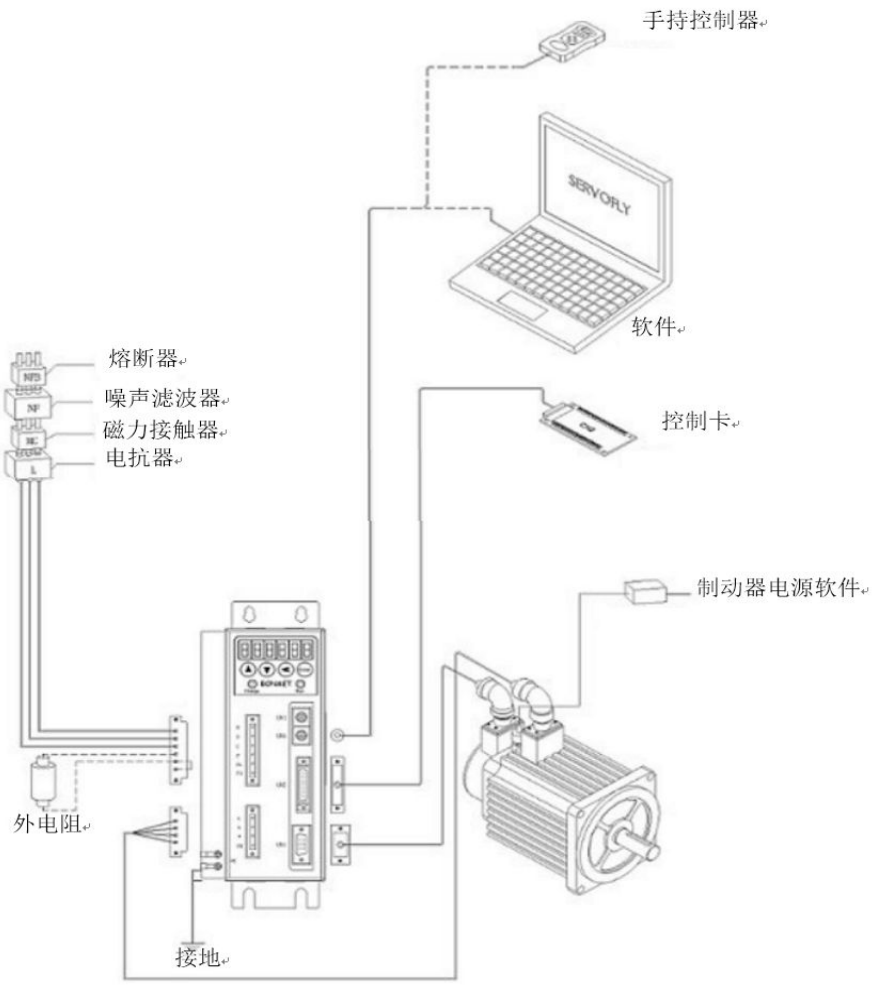


图 2-2 伺服驱动器连接图

喷枪的上下垂直运动 Z 轴同样采用滚珠丝杠副传动。关于 Z 轴的安全问题，首先选用带电磁刹车的伺服电动机，其次为防止滚珠螺母自转引起喷枪机械式下垂，使喷枪升降更轻便，采用了重锤平衡机构。

2.3 本章小节

本章主要讲解了立式高速火焰喷涂机床的总体方案设计，其主要内容为机械部分的设计，根据所给要求制定出了总体设计方案。

第 3 章　进给伺服系统的设计与计算

3.1　进给伺服系统的设计要求

机床的位置调节对进给伺服系统提出了很高的要求。其中在静态设计方面有：

(1)能够克服摩擦力和负载；

(2)很小的进给位移量；

(3)高的静态扭转刚度；

(4)足够的调速范围，满足快进和工进的需要；

(5)进给速度均匀，在速度很低时，无爬行现象。

在动态设计方面的要求有：

(1)具有足够的加速和制动转距，以便快速地完成启动和制动过程。

(2)具有良好的动态传递性能，以保证在加工中获得高的轨迹精度和满意地表面质量；

(3)负载引起的轨迹误差尽可能小。

对于数控机床机械传动部件则有以下要求：

(1)被加速的运动部件具有较小的惯量；

(2)高的刚度；

(3)良好的阻尼；

(4)传动部件在拉压刚度、扭转刚度、摩擦阻尼特性和间隙等方面具有尽可能小的非线性。

伺服系统总体设计方案如图 3-1。

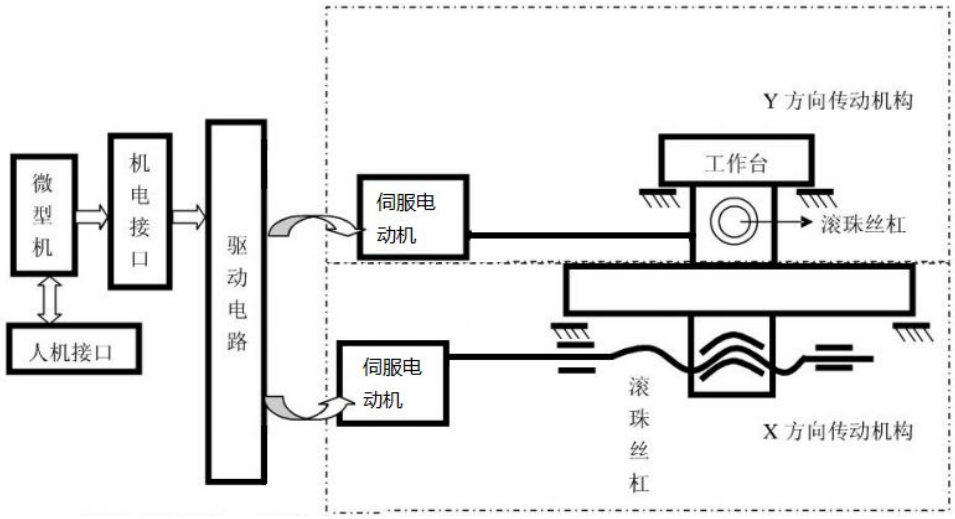


图 3-1 伺服系统总体设计方案

3.2 滚珠丝杠的特点

在机床的设计中，滚珠丝杠是将回转运动转化为直线运动，或将直线运动转化为回转运动的理想的产品。滚珠丝杠由螺杆、螺母和滚珠组成。它的功能是将旋转运动转化成直线运动，这是滚珠螺丝的进一步延伸和发展，这项发展的重要意义就是将轴承从滚动动作变成滑动动作。由于具有很小的摩擦阻力，滚珠丝杠被广泛应用于各种工业设备和精密仪器[26]。

滚珠丝杠是工具机和精密机械上最常使用的传动元件，其主要功能是将旋转运动转换成线性运动，或将扭矩转换成轴向反覆作用力，同时兼具高精度、可逆性和高效率的特点。

滚珠丝杠的特点：

(1)与滑动丝杠副相比驱动力矩为 1/3

由于滚珠丝杠副的丝杠轴与丝杠螺母之间有很多滚珠在做滚动运动，所以能得到较高的运动效率。与过去的滑动丝杠副相比驱动力矩达到 1/3 以下，即达到同样运动结果所需的动力为使用滚动丝杠副的 1/3。在省电方面很有帮助。

(2)高精度的保证

滚珠丝杠副是用世界最高水平的机械设备连贯生产出来的，特别是在研削、组装、检查各工序的工厂环境方面，对温度、湿度进行了严格的控制，由于完善的品质管理体制使精度得以充分保证。

(3)微进给可能

滚珠丝杠副由于是利用滚珠运动，所以启动力矩极小，不会出现滑动运动那样的爬行现象，能保证实现精确的微进给。

(4)无侧隙、刚性高

滚珠丝杠副可以加预压，由于预压力可使轴向间隙达到负值，进而得到较高的刚性(滚珠丝杠内通过给滚珠加预压力，在实际用于机械装置等时，由于滚珠的斥力可使丝母部的刚性增强)。

(5)高速进给可能

滚珠丝杠由于运动效率高、发热小、所以可实现高速进给(运动)。

滚珠丝杠副的精度是影响机床的定位精度及重复定位精度的最主要的因素。为了在机床的设计中更合理的选用滚珠丝杠副，使其充分发挥效能，必须进行一系列的计算。

3.3 丝杠的计算

3.3.1 滚珠丝杠副的导程计算

工作台横向 X 轴行程 300mm，速度为 0~30m/min，伺服电机最大转速为 3000r/min, ，算得其导程为：

$$P_h = \frac{v_{\max}}{i_{n\max}} = \frac{30m/\min}{3000r/\min} = 10mm \tag{3-1}$$

式中: P_h——丝杠导程，mm；

v_{max}——工件最大速度，m/min；

i_{nmax}——电机最大转速，r/min。

3.3.2 滚珠丝杠副的载荷计算

(1)最小载荷

机床空载时滚珠丝杠副的传动力，如工作台重量引起的摩擦力

$$F_{\min} = fG = 0.04 \times 3100 \times 9.8 = 1215N \tag{3-2}$$

式中: F_{min}——最小载荷，N；

f——摩擦力系数；

G——滑座及工作台重力，N。

(2)最大载荷

选机床承受最大负荷时滚珠丝杠的传动力。如机床切削时，切削力在滚珠丝杠副轴向的分力与导轨摩擦力之和即为 F_{max}（这时导轨摩擦力是由工作台、工件、夹具三者总的重量以及切削力在垂直导轨方向的分量共同引起的）。

$$F_{\max} = f(F_c + F_p + G) = 1615N \tag{3-3}$$

式中: F_{max}——最大载荷，N；

F_c——夹具重量，N；

F_p——工件重量，N。

(3)平均载荷

平均载荷为：

$$F_m = \frac{2F_{\max} + F_{\min}}{3} = 1482N \tag{3-4}$$

(4)当量载荷

工作台进给速度为 0~30m/min，故平均转速为：

$$n_{av} = \frac{2 \times 3000 + 1}{3} = 2000r / \min \tag{3-5}$$

丝杠的工作寿命取为 10000h。故：

$$L = \frac{60 n_{av} h}{10^6} = 140 \times 10^7 h \tag{3-6}$$

当量动载荷

$$C_m = F_m \times \sqrt[3]{\frac{L}{10^6}} \times \frac{f_w}{f_a} = 24.9kN \tag{3-7}$$

式中:f_w——负荷系数；

f_a——精度系数。

3.3.3 确定允许最小螺纹低经

丝杠要求预拉伸，取两端固定的支承形式

$$d_{2m} = 10\sqrt{\frac{10 \times F_0 \times L}{\pi \times \delta_m \times E}} = 0.039\sqrt{\frac{F_0 \times L}{\delta_m}} = 9.5mm \tag{3-8}$$

式中:δ_m ——最大轴向形变量，um；

L——行程，mm；

F_0——静摩擦力，N。

3.3.4 确定滚珠丝杠副得规格代号

查《机械设计师手册》，选型号为 JCS3210-4 的丝杠。额定动载荷为。$C_a > C_{\mathrm{m}}$ 符合要求。丝杠直径为 32mm，导程 10mm。滚珠丝杆及螺母副结构如图 4-1。

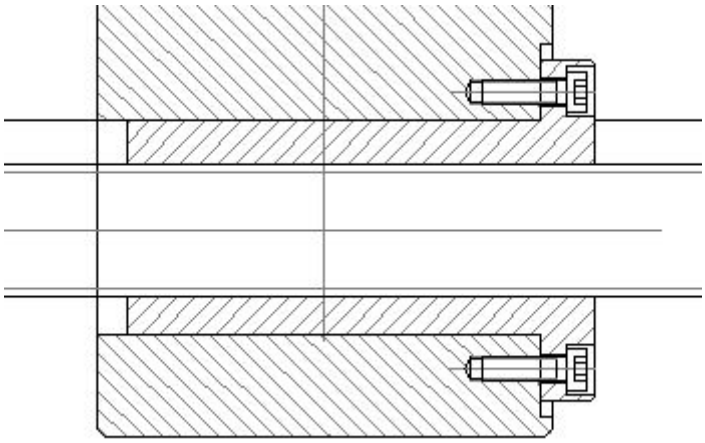


图 4-1 滚珠丝杆及螺母副结构图

3.4 伺服电机的选择

3.4.1 基本原则

(1) 考虑电动机的主要性能（启动、过载及调速等）、额定功率大小、额定转速及结构形式等方面要满足生产机械的要求。

(2) 在以上前提下，优先选用结构简单、运行可靠、维护方便又价格合理的电动机。

(3)安装方式：立式和卧式

(4)防护方式：开启式、封闭式、防护式、防暴式。

(5)额定电压 交流 380～220V，或根据需要配变压器。

3.4.2 额定转速的选择

根据生产机械的具体情况来选择要求重复、短时、正反转工作的生产机械，除应选择满足工艺要求的电动机额定转速外，还要保证生产机械达到最大的加、减速度的要求而选择最恰当地传动装置，以达到最大生产率或最小损耗的目标。一般都是直接传动，而不是减速器。

3.4.3 惯量匹配

工件和工作台的最大质量为 3000kg,折算到电动机轴，其惯量为

$$J_1 = m(\frac{V}{W})^2 = 0.005kg \cdot m^2 \tag{3-9}$$

式中:m——工件和工作台的重量，kg；

v——速度，m/s；

w——角速度，rad。

丝杠惯量：丝杠直径 32mm，决定长度为 920mm。

$$J_2 = \frac{\pi d_0 l \rho}{32} = 0.00131kg \cdot m^2 \tag{3-10}$$

式中:d_0——丝杠直径，mm；

l——丝杠长度，mm；

ρ——密度，取 $7.8510^3 kg/m^3$。

负载惯量为：

$$J_L = J_1 + J_2 = 1.6 \times 10^{-3} kg \cdot m^2 \tag{3-11}$$

最大切削负载转矩：

$$T_w = \frac{F \cdot P}{2\pi} = 1.3N \cdot m \tag{3-12}$$

3.4.4 电机选择

选伺服电机 SM110-040-30LFB：

最高转速：$3000 r/\min$；

额定转距：4；

转子惯量：0.6510^{-3}；

功率：1.2kw；

重量：5.2kg。

3.3.5 惯量匹配验算

$$\frac{T_w}{T_{\max}} = \frac{1.3}{4} = 0.32 < 0.5 \tag{3-13}$$

$$\frac{J_L}{J_m} = \frac{1.6}{0.625} = 2.46 < 4 \tag{3-14}$$

惯量满足匹配要求。

3.3.6 速度的验算

高速长丝杠工作时可能发生共振，因此验算其不会发生共振的最高转速 n_{cr}。

$$n_{cr} = 9910 \frac{f_c^2 d_1}{(ul)^2} = 21242 r/\min \tag{3-15}$$

丝杠平均转速 $n_{av}<n_{cr}$，因此不会发生共振。

3.5 滚珠丝杠副的安全使用

3.5.1 润滑

为使滚珠丝杠副充分发挥机能，在其工作状态下，必须润滑，润滑的方式主要有以下两种：

(1)润滑脂

润滑脂的给脂量一般是螺母内部空间容积的 1/3，滚珠丝杠副出厂时在螺母内部已经加注锂基润滑脂。

(2)润滑油

运动粘度 28.5—74cst(400T)的润滑油，给油量随使用条件等的不同而有所变化。

3.5.2 防尘

滚珠丝杠与滚动轴承一样，如果污物及异物进入就很快使它磨损，成为破损的原因。因此，考虑有污物异物进入时，必须采用防尘装置，将丝杠轴完全保护起来。另外，如没有异物，但有浮沉时可以在滚珠螺母两端增加防尘圈。

3.5.3 使用

滚珠丝杠副在使用时应注意以下事项：

(1)滚珠螺母应在有效行程内运动，必要时在行程两端配置限位，以免螺母约程脱离丝杠轴而使滚珠脱落。

(2)滚珠丝杠副由于传动效率高，不能自锁，在用于垂直方向传动使，如部件重量未加平衡，必须防止传动停止或电机失电后，因部件自重而产生的逆传动。

(3)滚珠丝杠副正常工作环境温度为±60C。

3.5.4 安装

滚珠丝杠副在安装时应注意以下事项：

(1)滚珠丝杠副仅用于承受轴向载荷。径向载荷、弯矩会使滚珠丝杠副产生附加表面接触应力等负荷，从而造成丝杠的永久性破坏。因此，滚珠丝杠副安

装到机床时，应注意丝杠的轴线必须和其配套导轨的轴线平行，机床的两端轴承座与螺母座必须三点成一线； 安装螺母时，应尽量靠近支撑轴承； 同时，安装支撑轴承时，应尽量靠近螺母安装部位。

(2)滚珠丝杠安装到机床时，尽量不要把螺母从丝杠上卸下来，如必须卸下来时要使用辅助套，否则装卸时滚珠有可能脱落。螺母装卸时应注意辅助套外径应小于丝杠底径 0.1~0.2 ㎜；辅助套早使用中必须靠紧丝杠螺纹轴肩；装卸时，不可使用过大力以免螺母损坏；装入安装孔时要避免撞击和偏心。

3.6 联轴器的选择

已知：电动机输出轴 D=24mm

丝杠输入轴 d=22mm

$$T = 9550\frac{P}{n} = 9.55\times10^{6}\times\frac{1.2}{3000} = 38200N\cdot mm \tag{3-15}$$

由《机械设计》表 14-1 查得 K_A=1.5

$$T_{ca} = K_A T = 57300N\cdot mm \tag{3-16}$$

从 JB/T 9147-1999 中查得 SZL-02-24/22 双锥套膜片弹性联轴器。

公称转矩：80；

许用转速：5000r/min；

轴孔直径：10mm，32mm。

3.7 Y 轴和 Z 轴滚珠丝杠及伺服电机的选择

(1)Y 轴

滚珠丝杠 HJG2065-3：

额定动载荷：C_a=9kN；

丝杠直径为：20mm；

导程：5mm。

伺服电机 SM110-060-20LFB：

最高转：2000 $r/\min$；

额定转距：6；

转子惯量：110^{-3}；

功率：1.2kw；

重量：6.4kg。

(2)Z 轴

滚珠丝 FFZD3205 -3：

额定动载荷：C_a=11.3kN；

丝杠直径为：32mm；

导程：5mm。

伺服电机：SM110-050-30LFB；

最高转速：3000 $r/\min$；

额定转距：6；

转子惯量：0.8210^{-3}；

功率：1.5kw；

重量：5.8kg。

3.8 伺服进给系统结构图的设计

由以上的分析计算可以设计出伺服进给系统的机构如图 3-2~3-4 所示。

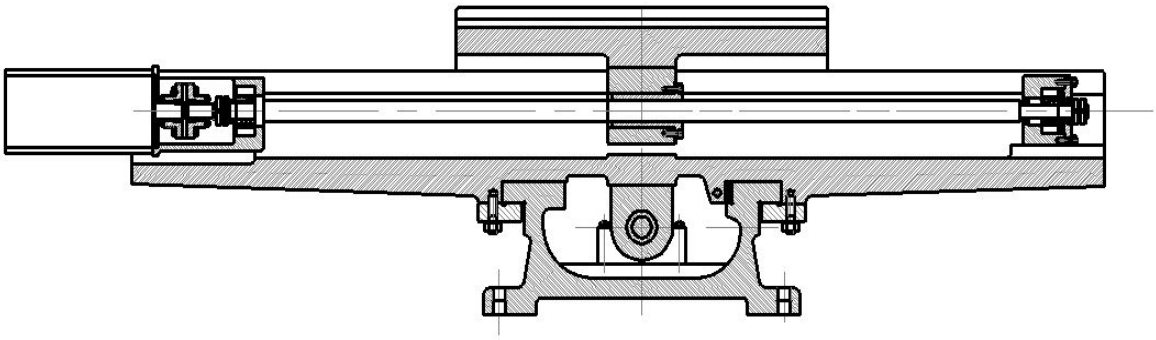


图 3-2 伺服进给系统结构图（主视图）

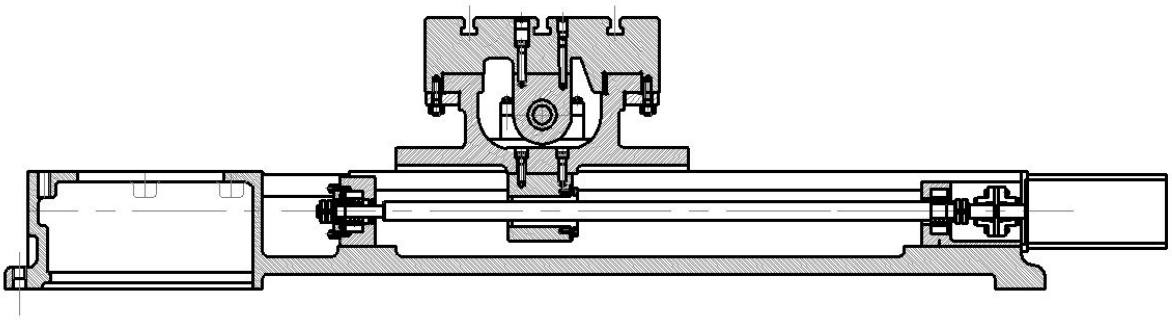


图 3-3 伺服进给系统结构图（左视图）

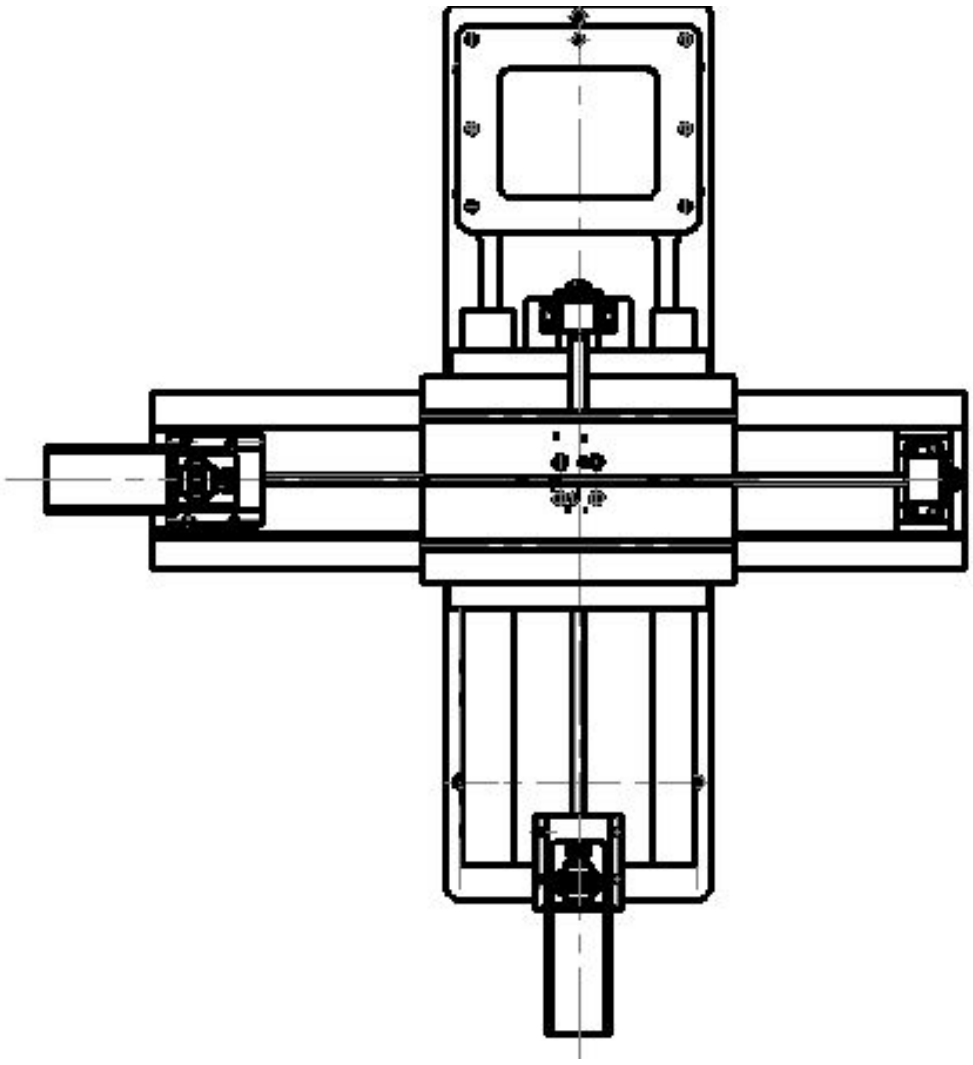


图 3-4 伺服进给系统结构图（俯视图）

3.9 本章小节

本章主要讲述了进给伺服系统的基本要求和进给伺服系统的设计要求，按照要求选择滚珠丝杠、伺服电机，并进行伺服进给系统结构图的设计。

第 4 章　主要零部件设计

4.1　床身结构的设计

4.1.1　床身设计的基本要求

机床的床身是整个机床的设计基础，一般用来放置导轨，主轴箱等重要部件。为了满足机床高速度、高精度、高生产率、高可靠性和高自动化程度的要求，立式高速火焰喷涂机床应有高的静、动刚度，更好的抗振性。

对立式高速火焰喷涂机床的床身主要在以下 3 个方面提出了更高的要求：

(1)较高的精度和精度保持性

在床身上有很多安装零部件的加工面和运动部件的导轨面，这些面本身的精度和相互位置精度要求都很高，而且要长时间保持。另外，机床在加工时，所有的静、动载荷最后往往都传到床身上，所以，床身受力很复杂。为此，为保证零部件之间的相互位置或相对运动精度，除了满足几何尺寸位置等精度要求外，还需要满足静、动刚度和抗振性、热稳定性、工艺性等方面的技术要求。

(2)应具有足够的静、动刚度

静刚度包括：床身的自身结构刚度、局部刚度和接触刚度，都应该采取相应的措施，最后达到有较高的刚度-质量比。动刚度直接反映机床的动态性能，为了保证机床在交变载荷作用下具有较高的抵抗变形的能力和抵抗受迫振动及自激振动的能力，可以通过适当的增加阻尼、提高固有频率等措施避免共振及因薄壁振动而产生噪音。

(3)较好的热稳定性

对高速火焰喷涂机床来说，热稳定性已经成了一个突出问题，必须在设计上要做到使整机的热变形小，或使热变形对加工精度的影响小。热变形将直接影响机架的原有的精度，从而是产品精度下降，如立轴矩台平面磨床，立柱前臂的温度高于后臂，是立柱后倾，其结果磨出的零件工作表面与安装基面不平行；有导轨的机架，由于导轨面与底面存在温差，在垂直平面内导轨将产生中凸或中凹热变形。因此，床身结构设计时应使热变形尽量小。

床身机架设计的一般要求 ：

(1) 在满足强度和刚度的前提下，机架的重量应要求轻、成本低；

(2) 抗振性好。把受迫振动振幅限制在允许范围内；

(3) 躁声小；
(4) 温度场分布合理，热变形对精度的影响小；
(5) 结构设计合理，工艺性良好，便于铸造、焊接和机械加工；
(6) 结构力求便于安装与调整，方便修理和更换零部件；
(7) 有导轨的机架要求导轨面受力合理、耐磨性良好；
(8) 造型既适用经济，又美观大方。

4.1.2 床身的结构设计

根据机床的类型不同，床身的结构形式有各种各样的形式。例如数控车床床身的结构形式有平床身、斜床身、平床身斜导轨和直立床身等四种类型。

另外，斜床身结构还能设计成封闭式断面，这样大大提高了床身的刚度。数控钻铣床、加工中心等这一类数控机床的床身结构与数控车床有所不同。例如加工中心的床身有固定立柱式和移动立柱式两种。前者一般使用于中小型立式和卧式加工中心，而后者又分为整体 T 形床身和前后床身分开组装的 T 形床身。所谓 T 形床身是指床身是由横置的前床身和与它垂直的后床身组成。整体式床身，刚性和精度保持性都比较好，但是却给铸造和加工带来很大不便，尤其是大中型机床的整体床身，制造时需要大型设备。而分离式 T 形床身，铸造工艺性和加工工艺性都大大改善。前后床身联接处要刮研，联接时用定位键和专用定位销定位，然后再沿截面四周， 用大螺栓固紧。这样联接成的床身，再刚度和精度保持性方面，基本能满足使用要求。

机床的床身通常为箱体结构，合理设计床身的截面形状及尺寸，采用合理布置的肋板结构可以在较小质量下获得较高的静刚度和适当的固有频率。床身肋板一般根据床身结构和载荷分布情况进行设计，满足床身刚度和抗振性要求，V 形肋板有利于加强导轨支承部分的刚度;斜方肋和对角肋结构可明显增强床身的扭转刚度，并且便于设计成全封闭的箱形结构。

此外，还有纵向肋板和横向肋板，分别对抗弯刚度和抗扭刚度有明显效果；米字形肋板和井字形肋板的抗弯刚度也较高，尤其是米字形肋板更高。

床身结构设计时，应尽量避免薄壁结构并简化表面形状。根据设计的具体情况及要求，床身的结构如图 4-1。

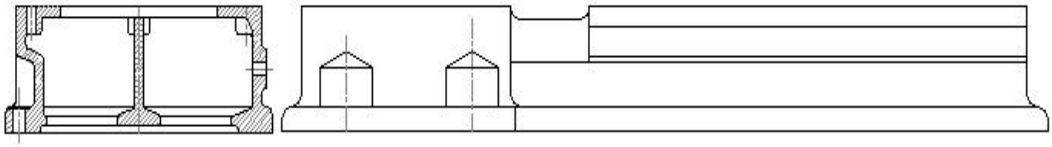


图 4-1 床身结构

4.2 导轨的设计

4.2.1 导轨的设计要求

当运动件沿着丝杠作直线运动时，导轨起支承和导向的作用，即支承和保证运动件在外力的作用下，沿给定的方向进行直线运动。对导轨的要求如下：

(1)一定的导向精度。导向精度是指运动件沿导轨移动的直线性，以及它与有关基面间的相互位置的正确性。

(2)运动轻便平稳。工作时，应轻便省力，速度均匀，低速时应无爬行现象。

(3)良好的耐磨性。导轨的耐磨性是指导轨长期使用后，能保持一定的使用精度。导轨在使用过程中要磨损，但应使磨损量小，且磨损后能自动补偿或便于调整。

(4)足够的刚度。运动件所受的外力，是由导轨面承受的，故导轨应有足够的接触刚度。为此，常用加大导轨面宽度，以降低导轨面比压。设置辅助导轨，以承受外载。

(5)温度变化影响小。应保证导轨在工作温度变化的条件下，仍能正常工作。

(6)结构工艺性好。在保证导轨其它要求的条件下，应使导轨结构简单，便于加工、丈量、装配和调整，降低本钱。

4.2.2 导轨的结构设计

(1)导轨的基本形式

三角形导轨：该导轨磨损后能自动补偿，故导向精度高。它的截面角度由载荷大小及导向要求而定，一般为 90°。为增加承载面积，减小比压，在导轨高度不变的条件下，采用较大的顶角（110°～120°）；为进步导向性，采用较小的

顶角（60°）。假如导轨上所受的力，在两个方向上的分力相差很大，应采用不对称三角形，以使力的作用方向尽可能垂直于导轨面。

矩形导轨：优点是结构简单，制造、检验和修理方便；导轨面较宽，承载力较大，刚度高，故应用广泛。但它的导向精度没有三角形导轨高；导轨间隙需用压板或镶条调整，且磨损后需重新调整。

燕尾形导轨：燕尾形导轨的调整及夹紧较简便，用一根镶条可调节各面的间隙，且高度小，结构紧凑；但制造检验不方便，摩擦力较大，刚度较差。用于运动速度不高，受力不大，高度尺寸受限制的场合。

圆形导轨：制造方便，外圆采用磨削，内孔珩磨可达精密的配合，但磨损后不能调整间隙。为防止转动，可在圆柱表面开键槽或加工出平面，但不能承受大的扭矩。宜用于承受轴向载荷的场合。

(2)常用导轨组合形式

三角形和矩形组合：这种组合形式以三角导轨为导向面，导向精度较高，而平导轨的工艺性好，因此应用最广。这种组合有 V-平组合、棱-平组合两种形式。V-平组合导轨易储存润滑油，低、高速都能采用；棱-平组合导轨不能储存润滑油，只用于低速移动。为使导轨移动轻便省力和两导轨磨损均匀，驱动元件应设在三角形导轨之下，或偏向三角形导轨。如图 4-2。

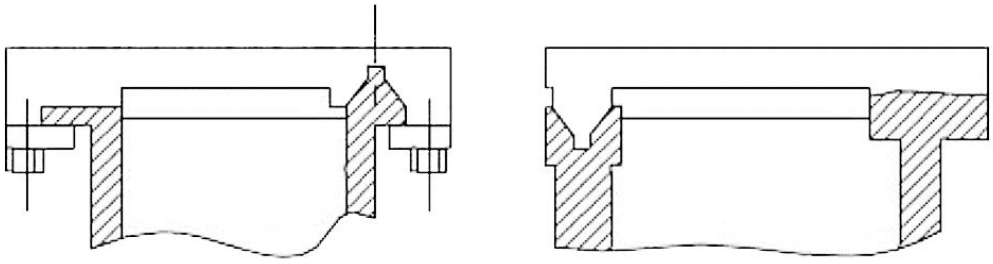


图 4-2 三角形和矩形组合

矩形和矩形组合：承载面和导向面分开，因而制造和调整简单。导向面的间隙用镶条调整，接触刚度低。如图 4-3。

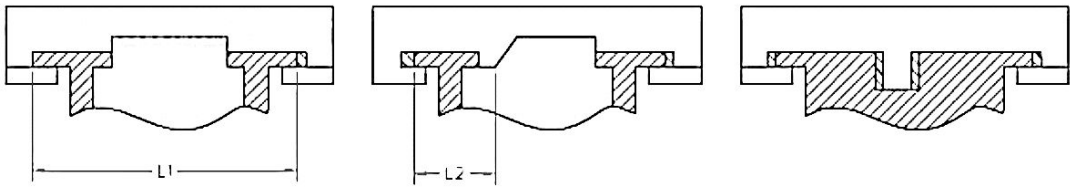
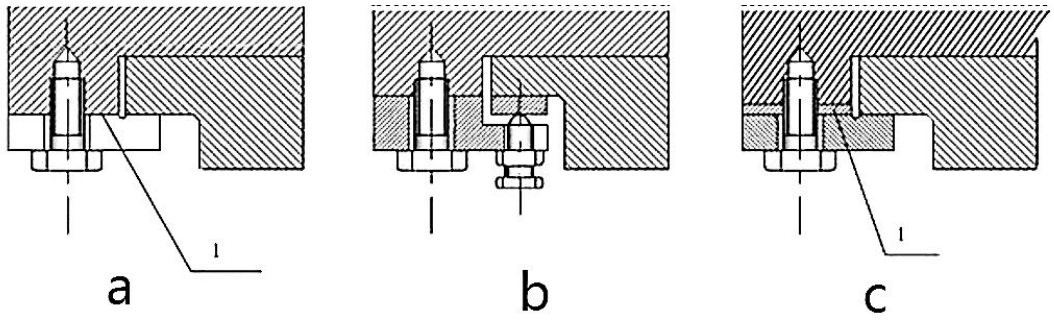


图 4-3 矩形和矩形组合

双三角形导轨：由于采用对称结构，两条导轨磨损均匀，磨损后对称位置位置不变，故加工精度影响小。接触刚度好，导向精度高，但工艺性差，四个表面刮削或磨削也难以完全接触，假如运动部件热变形不同，也不能保证四个面同时接触，故不宜用在温度变化大的场合。

(3)间隙调整

为保证导轨正常工作，导轨滑动表面之间应保持适当的间隙。间隙过小，会增加摩擦阻力；间隙过大，会降低导向精度。导轨的间隙如依靠刮研来保证，要废很大的劳动量，而且导轨经过长期使用后，会因磨损而增大间隙，需要及时调整，故导轨应有间隙调整装置。矩形导轨需要在垂直和水平两个方向上调整间隙。在垂直方向上，一般采用下压板调整它的底面间隙，其方法有：刮研或配磨下压板的结合面；用螺钉调整镶条位置；改变垫片的片数或厚度等。如图 4-4 所示。在水平方向上，常用平镶条或斜镶条调整它的侧面间隙。如图 4-5 所示。圆形导轨的间隙不能调整。



a–刮研下压板的结合面；b–用螺钉调整镶条位置；c–改变垫片的片数或厚度

图 4-4 垂直方向的间隙调整方法

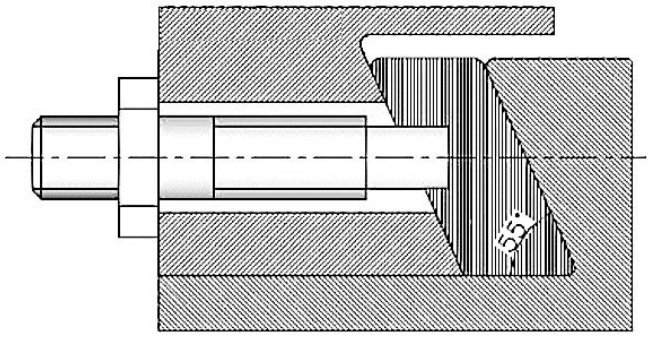
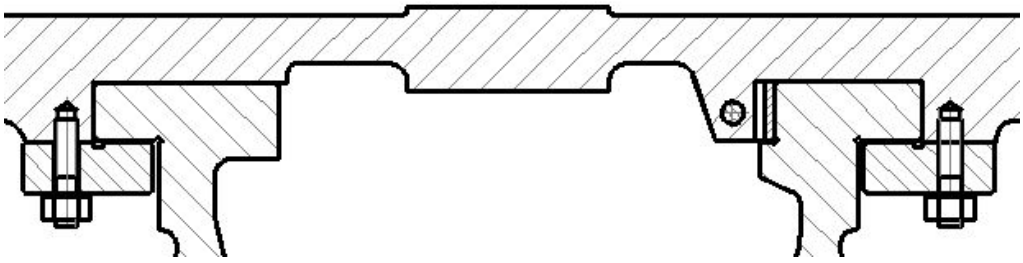


图 4-5 垂直方向的间隙调整方法

(4)导轨结构

根据设计的具体情况及要求，导轨的结构如图 4-6。



4-6 导轨结构

4.2.3 导轨的防护及润滑

导轨润滑的主要目的是减小摩擦和磨损以防止过热破坏其内部结构，影响导轨副的运动性能。本设计同一采用锂基润滑脂润滑。

导轨的防护是防止或减少导轨副磨损、延长导轨寿命的重要方法之一。防护装置已有专门工厂生产，可以外购。导轨的防护方法很多，有刮板式、卷帘式、伸缩式（包括软式皮囊式和叠层式）等，对于喷涂机床，大都采用折叠式防护罩。折叠式防护罩用人造革，浸聚氨基甲酸脂橡胶的缇涤纶，以聚酰氨基

为基体的合成薄膜材料折叠成风箱，再衬以高压纸板，牛皮纸板等。制造简单，刚性较差。方角折叠刚性较好，适用于水平导轨。斜角折叠制造简单，外形美观，适用于垂直导轨。

提高折叠式防护装置寿命的措施主要有：

（1）提高组合式风箱接缝强度；

（2）保证风箱有正确的导向；

（3）采用耐磨材料。

4.3 工作台的设计

本题目已给出了工作台的尺寸为，由此可以确定 T 型槽的数目为 3 个且应用的是滑动导轨，由此可设计出工作台的结构如图 4-7。

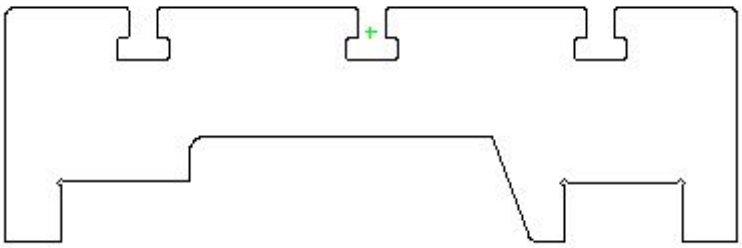


图 4-7 工作台结构

4.4 本章小节

本章主要讲述了床身的结构特点，导轨的设计要求及其结构特点和最终的选择的类型，工作台的结构。

第 5 章　结论

本文对立式高速火焰喷涂机床进行了全面地论述，分析了本设计的必要性。机床总体采用立式加工结构，并可以通过横向和纵向的进给来实现对板材零件表面的均匀喷涂。主要研究成果总结如下:

(1)对床身、导轨、工作台等进行设计，如改进材料、合理选择结构、防护及润滑方式，增加了其使用寿命，提高工作效率;

(2)三轴进给系统均采用滚珠丝杠螺母副将电机的旋转运动转化成直线运动，其传动精度高，运动平稳同步性好等特点不仅完成了进给任务，而且还使系统操作更为方便;

(3)对滚珠丝杠进行设计，按要求合理的选择伺服电机，使其较好的实现了设计要求，基本达到了设计目的。

参考文献

[1] 王引真，石建稳，李小龙．超音速火焰喷涂技术的现状及展望[J]． 材料导报，2004，18(F10): 186~188．

[2] 师昌绪，徐滨士，张平等．21 世纪表面工程的发展趋势[J]. 中国表面工程，2001，14(1):2~7．

[3] 李哲. HVOF 热喷涂技术[J]．稀有金属材料与工程，2000，29：29．

[4] Berndt C， Larermia E J． Thermal spray processing of nanosacal materials II–extended abstracts[J]． J Thermal spray Techonlogy， 2001，7(3)： 147~181．

[5] 阎洪. 金属表面处理新技术[M]．北京:冶金工艺出版社，1996：40~42．

[6] Gary lrons，Hobat Tafa Co．高速火焰喷涂技术原理应用[M]．北京：中国表面工程协会热喷涂专业委员会，1996，6．

[7] 陈利斌，王雪元，徐群飞等．超音速火焰喷涂技术的发展和应用[J]．浙江冶金，2012，2(1)：1~4．

[8] 苏启. 超音速火焰喷涂技术的近期发展及应用前景[J]．钢铁研究学报，1994，6(l)：99~100．

[9] 李长久．超音速火焰喷涂技术的发展与应用[J]．热喷涂技术，2000，6(3~4)：11~12．

[10] 沈银桃．高速火焰喷涂(HVOF)[J]．国外机车车辆工艺，2002，(6)：7~8．

[11] 王志健，田欣利，胡仲翔．超音速火焰喷涂理论与技术的研究进展[J]．兵器材料科学与工程，2002，25(3)：63~66．

[12] Merle L．Thorpe.Thermal spray-industry in transition[J]．Advanced Materials&Processess，1993，5：1~3．

[13] Varacalle D J， Irons G．Modeling and diagnostics of the praxair HVAF combustion spray process[A]，Proceeding of ITSC' 98[C] France：1988：38~41．

[14] Bob Irving,Richard Knight.The HVOF process—The hottest topic in the thermal spray industry[J]．Welding Journal，1993：58~61．

[15] JP-8000 HVOF Spray System， Praxair Surfaee Teehnologies[Z]， 1555 Main Street，Indianapolis IN 46224．

[16] 朱又春．金属表面热喷涂技术[M]．北京：化学工业出版社．2009．203．

[17] 纪岗昌，王豫跃，李长久等．超音速火焰喷涂涂层的冲蚀磨损特性[J]．西安交通大学学报， 2000，34(5)：59~63．

[18] 俞韶华，钱强，汤常英等．超音速火焰喷涂加工工艺在化工工业动密封环上的应用[J]． 焊接技术，2002，(5)：31~32．

[19] 张军红，温瑾林，黄石生等．超音速火焰喷涂枪的研究[J]．焊接学报，1999，20(2)：114．

[20] Elliott R．应用 HVOF 喷涂工厂访问记[J]．热喷涂技术，1999，9：1．

[21] 李长久．超音速火焰喷涂及涂层性能简介[J]．表面工程，1996，(4)：29．

[22] 庄军．HVOF-热喷涂领域的新成员[J]．机车车辆工艺，1997，(6)：25．

[23] 周贻茹，施昌勇，许亚兰．超音速火焰喷涂-宇航材料研究的重要工艺[J]．宇航材料工艺，1996，(3)：58．

[24] 王志平，董祖迁，霍树斌．超音速火焰喷涂涂层特性研究[J]．机械工程学报，2001，37(11)：96~98．

[25] 王志健，田欣利，胡仲翔等． 超音速火焰喷涂理论与技术的研究进展[J]．2002，25(3)：63~66．

[26] 濮良贵，纪名刚．机械设计[M]．北京：高等教育出版社，2005．

致谢

本设计是在导师王赫莹老师的悉心指导下完成的。在此期间，王老师在生活与学习方面给予了很多关怀与教诲，在课题的研究过程中给了我极大的指导与启发，并在百忙之中对论文的撰写工作进行了全面的指导。在此，我向老师表示衷心的感谢！

在这一个学期的毕业设计期间，我经历了许多，在对课题的研究过程中，我付出了许多辛勤的汗水，同时也从中学到了许多知识，不但对过去学过的知识进行了一次全面的复习， 还学习了很多在书本中学不到的知识，使我受益匪浅。

感谢所有在我成长过程中给予过我帮助的老师，同学，朋友。你们给了我在生活与学习上极大的鼓励。衷心感谢你们！