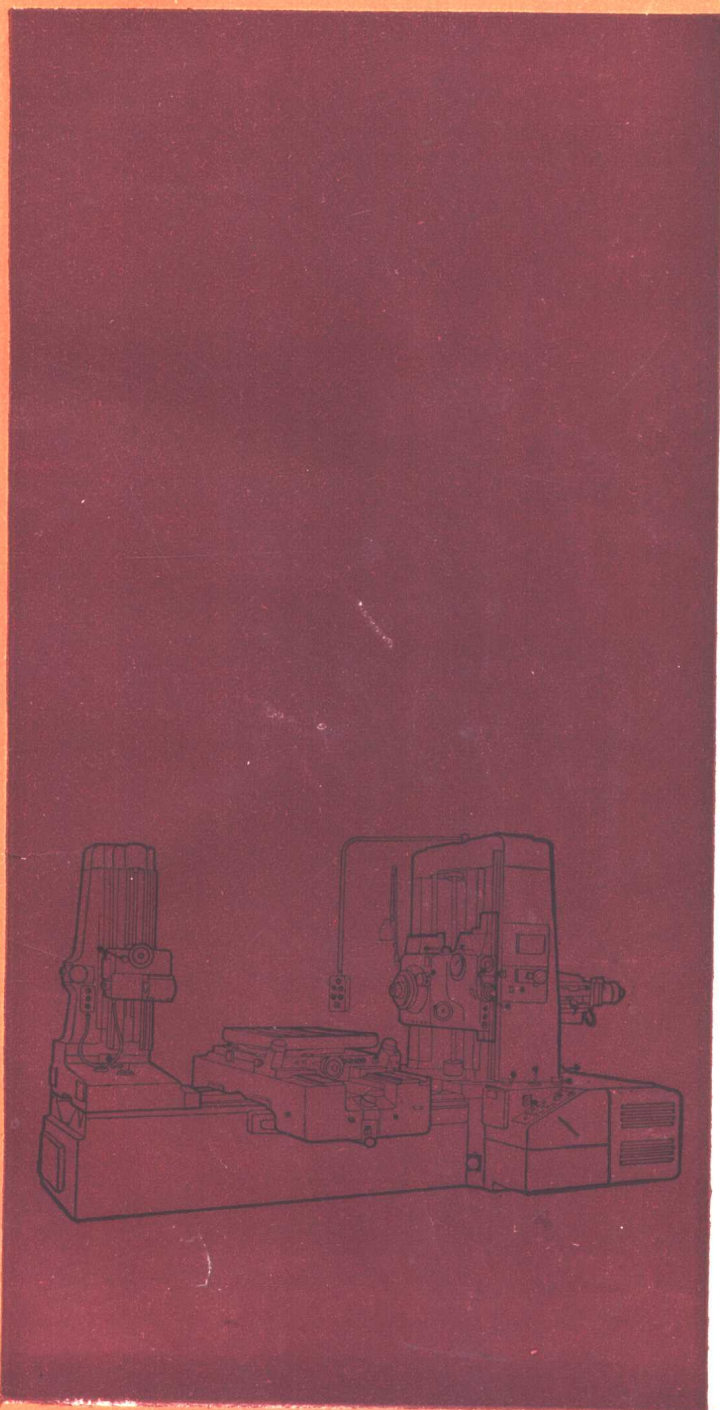


精密机床修理与润滑



JINGMI
JICHUANG
XIULI
YU
RUNHUA

国防工业出版社

2.7

34

精密机床修理与润滑

主编 张 同

编著 曾凡明 高宏业 张永棠 强义鼎

杨 征 王铭耀 陶罗生

国防工业出版社

内 容 简 介

全书共分十六章。前六章论述了精密机床修理中带共性的技术问题。第七章至第十四章分别讲述了瑞士 DIXI 公司的 DIXI-75 卧式光学液压坐标镗床及 T4163 单柱光学坐标镗床和 T4280 双柱坐标镗床、Y7520W 万能螺旋磨床、Y7131 齿轮磨床、瑞士马格 (MAAG) 公司的 HSS-30 齿轮磨床、M9015 光学工具曲线磨床和万能分度盘的修理与调整。第十五章介绍了精密机床光学系统的修理与调整。第十六章叙述了润滑原理和精密机床润滑要求及各种不同性质的润滑(脂)的性能及其在精密机床上的应用。

本书可供从事机床修理改造的工程技术人员及高中级修理技术工人阅读,也可作为机修专业技术学校的教科书。

主编 张 同

编著 曾凡明 高宏业 张永荣 强义鼎

杨 征 王铭耀 陶罗生

国防工业出版社

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市卫顺排版厂印装

787×1092 1/16 印张 18 5/8 431千字

1986年11月第一版 1989年5月第二次印刷 印数: 3,201—6,435册

ISBN 7-118-00525-8/TH·31

定价: 7.65元

序 言

随着我国社会主义建设事业的飞跃发展,机械工业各部门投入科研生产使用的精密机床亦日益增多,这些精密机床主要是指坐标镗床、螺纹磨床、齿轮磨床、光学曲线磨床、高精度丝杠车床、高精度的长度和圆刻线机等,这些机床在生产中都是十分关键的设备,是机械工业生产中重要的物质基础,但经过使用一定时期后,由于自然磨损以及其它一些原因,会逐渐失去其原有精度。因此,如何修复这些设备并使其恢复原有精度更好地为生产科研服务,便成为一个急待解决的问题。

本书是在总结了二十多年来精密机床修理工作经验的基础上,参照了1963年原三机部精修总站编写的《精密机床修理》一书,并吸取了有关兄弟单位的经验,增补改写而成的。

全书共十六章在内容的编排上首先将各类精密机床在安装、修理工作中,带共性的技术问题集中于前六章,进行综合叙述。如精密机床的安装、维护与保养,导轨及工作台面精度的测量及修复,精密零件的修理,精密滚动轴承的精度检查与装配,专用工装的设计以及研磨知识等。以后各章是以几种国内外最常见的精密机床为例,结合各自的特点分别介绍其修理方法。如T4163, T4280, DIXI-75坐标镗床的修理; Y7520W螺纹磨床的修理; Y7131齿轮磨床的修理; 马格齿轮磨床的修理; M9015光学曲线磨床的修理; 以及坐标镗床主要附件万能分度盘的修理。最后介绍了机床光学装置及精密机床的润滑等。

本书可供从事机械修理的工程技术人员及中高级技术工人阅读,亦可作为中等技术学校机修专业的教学参考书。

本书在编写过程中曾得到贵州省机械工程学会,航空工业部贵州管理局机动处及国营平水机械厂的关怀和支持;黄凯同志对全书作了技术校订,在此致以衷心感谢。由于编著者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,欢迎读者批评指正。

目 录

第一章 精密机床的种类、结构特点及使用维护要求	1
概述	1
第一节 精密机床的种类	1
第二节 精密机床的特点	2
第三节 精密机床的使用维护要求	3
第二章 机床导轨及工作台台面的精度测量与修复	5
概述	5
第一节 导轨及工作台台面精度的测量	6
第二节 导轨平行度和垂直度的测量	13
第三节 导轨及工作台台面的修复	15
第四节 导轨刮研工艺的编制	18
第三章 精密零件的修复	19
概述	19
第一节 材料的选择	19
第二节 主轴套筒的修复	20
第三节 主轴的修复	26
第四节 丝杠副的修复	29
第五节 蜗轮副的修复	40
第四章 精密滚动轴承的精度检查与装配	48
概述	48
第一节 滚动轴承的检查	49
第二节 滚动轴承的预加负荷	53
第三节 精密滚动轴承的装配与要求	59
第四节 滚动轴承的代用	62
第五章 研磨知识	63
概述	63
第一节 研磨的基本概念	63
第二节 研磨材料	65
第三节 研磨工具	68
第四节 研磨方法	71
第六章 导轨检验桥结构设计及常用工量具	74
概述	74
第一节 常见导轨的结构	74
第二节 导轨检验桥结构设计	75
第三节 修理精密机床必用的主要工量具	80
第七章 T4163单柱坐标镗床的修理	83
概述	83

第一节 机床的结构与传动	83
第二节 修理的场地	85
第三节 机床的拆卸程序	85
第四节 各个部件的修理	86
第五节 总装及调整	92
第八章 T4280双柱坐标镗床的修理	96
概述	96
第一节 机床的拆卸	98
第二节 双柱坐标镗床的修理	98
第三节 精度调整及丝杠副的安装与校正	103
第九章 DIXI-75卧式坐标镗床的修理	108
概述	108
第一节 机床拆卸中的几个特点	109
第二节 机床各部件的修复	111
第三节 主轴部分的修理	114
第十章 Y7520W型螺纹磨床的修理	118
概述	118
第一节 机械传动系统	118
第二节 修理前的准备工作	120
第三节 主要部件的修理工艺	121
第四节 试车验收工作	127
第五节 常见故障产生的原因及其排除方法	129
第六节 液体静压轴承在Y7520W型螺纹磨床上的应用	133
第十一章 Y7131齿轮磨床的修理	139
第一节 Y7131齿轮磨床简介	139
第二节 机床修理前的准备和拆卸	142
第三节 机床各导轨的精度修复	144
第四节 机床主要部件的修理与调整	149
第五节 机床精度分析	155
第六节 机床常见故障原因及其消除办法	161
第十二章 马格(MAAG)磨齿机的修理	166
第一节 马格(MAAG)磨齿机简介	166
第二节 导轨精度的修复	178
第三节 部件修理与装配调整	194
第十三章 M9015型光学工具曲线磨床的修理	232
概述	232
第一节 机床的修理工艺	235
第二节 机床的装配、调整与常见故障的排除	244
第十四章 分度盘的修理	248
概述	248
第一节 转座的修理	248
第二节 底座的修理	250

第三节	台面的修复	251
第四节	装配与调整	252
第五节	分度误差的校正	252
第六节	各项系数的测定	254
第十五章	机床光学装置的调修	255
概述		255
第一节	光学的基本概念	255
第二节	机床光学装置的工作原理和要求	257
第三节	光学装置各部分的作用	258
第四节	坐标镗床光学装置的调修	259
第五节	光学曲线磨床的调修	262
第六节	光学件的清洗	264
第十六章	精密机床润滑	267
第一节	润滑的基本原理	267
第二节	润滑材料与润滑系统	271
第三节	主要零部件的润滑	279
参考文献		291

第一章 精密机床的种类、结构特点及使用维护要求

概 述

精密机床或普通机床以及其它现代机器设备，都是人们在长期的生产实践中创造出来的。1770年前后，为了加工蒸汽机的汽缸，就创造出第一台简易卧式镗床。经过几个世纪的生产实践，在20世纪初，随着生产技术发展的需要，又创造出坐标镗床，齿轮磨床，螺纹磨床，光学曲线磨床等精密机床。特别是电子技术、控制技术、自动化技术、宇航技术的发展，对机械产品的加工精度要求愈来愈高。例如：宇宙飞行用的陀螺仪中，有直径30毫米的球形转子，其圆度公差为0.12微米，导弹控制系统中的齿轮角值允差只有几秒；直径为0.25毫米的微型轴承滚道光洁度要求V14等等。所有这些高精度的零件，都要用精密机床来加工制造。因此在现代工业生产中，精密机床有其极为重要的作用。

第一节 精密机床的种类

根据国家计委《工业部门分类目录，工业产品目录》试行本的规定，结合我国现有的情况，精密机床的种类如表 1-1 所列：

表1-1 精密机床的分类

序 号	设备名称	范 围
1	坐标镗床 坐标磨床	(1) 单柱、双柱坐标镗床 (2) 程控单、双柱坐标镗床 (3) 卧式坐标镗床 (4) 坐标磨床
2	螺纹磨床	(1) 丝锥磨床 (2) 千分尺螺纹磨床 (3) 滚刀铲磨床 (4) 万能螺纹磨床 (5) 丝杠磨床、蜗杆磨床 (6) 内螺纹磨床
3	丝杠车床	加工丝杠达六级以上精度的丝杠车床
4	齿轮磨床	(1) 圆柱齿轮磨床 (2) 直齿圆锥齿轮磨床 (3) 螺旋齿圆锥齿轮磨床
5	高精度刻线机	(1) 高精度长度刻线机，刻线精度为0.005/1000 (2) 高精度圆刻线机，刻线精度误差为±1秒
6	光学曲线磨床	立式与卧式

除以上六大类外，还有高精度滚齿机、高精度外圆磨床，高精度平面磨床、高精度车床和高精度镗铣床等。

第二节 精密机床的特点

精密机床的加工精度都远高于普通机床的加工精度（详见表1-2）。它之所以能达到如此高的精度，主要是从设计、制造及使用维护等方面采取了一系列措施。

表1-2 精密机床和普通机床加工精度的比较

机床名称	精度项目	精密机床加工精度 (mm)	普通机床加工精度 (mm)
镗 床	定位精度	0.002~0.005	0.02
丝杠车床	丝杠精度等级	5~6 (级)	7 (级)
滚 齿 机	齿轮精度等级	3~5 (级)	6 (级) 以下
长度刻线机	刻线误差	1000:0.001~0.005	1000:0.01
圆刻线机	刻线误差	$\pm 1 \sim 5 \text{ s}$	$\pm 1 \text{ min}$
外圆磨床	工件圆度误差 工件圆柱度误差 工件光洁度	0.0005 1000:0.001 $\nabla 11 \sim \nabla 14$	0.003 1000:0.007 $\nabla 9$ 以下
平面磨床	工件平面度及平行度误差 工件光洁度	1000:0.005 $\nabla 10$ 以上	1000:0.015 $\nabla 8$

一、结构设计

在进行设计时，对精密机床的结构，特别是对其总体布局、主运动部件、进给运动部件、要充分考虑到热、力等因素的作用。应采取相应的措施减小机床内部的发热量和热变形，提高机床的刚度和抗振性，减少磨损及其对精度的影响，并且尽可能缩短内联系传动链，提高内联系传动链末端传动副的传动精度。

二、技术要求

应提高主要零件的几何精度和表面光洁度，确保制造质量。其中又以提高主轴部件、导轨、丝杠、分度蜗轮副以及某些传动齿轮的几何精度为主，因为这对提高机床加工精度最为直接。例如，普通外圆磨床的主轴轴颈精度要求圆柱度与径向圆跳动均为2~3微米，光洁度 $\nabla 10 \sim \nabla 11$ ，轴肩端面垂直度误差为5微米左右，而相同规格的高精度外圆磨床主轴轴颈的精度要求圆柱度及径向圆跳动为1微米，光洁度 $\nabla 11 \sim \nabla 12$ ，轴肩端面垂直度误差1~2微米。这样就相应地提高了装配后的几何精度。

三、制 造

1. 精密机床关键零件的加工和装配，应在恒温条件下进行。
2. 精密机床的主要零件，往往要经过多次时效处理，以最大限度地减少内应力的影响。经时效处理后的零件，在精加工时能达到较高而稳定的精度。
3. 高精度的测量仪器和先进的测量方法是获得高精度的必要手段。对于精密机床的一些零件，测量用的仪器，其精度都高于工件制造精度。这样才能确保零件的尺寸精度。

及形状位置精度。

4. 在精密机床上, 往往采用一些特殊装置。例如读数测量装置、误差校正、形补偿装置, 间隙补偿装置等, 以提高加工精度。

第三节 精密机床的使用维护要求

精密机床是工厂生产的关键设备, 对其使用维护必须严格遵守机床说明书中关于机床的安装、调整、操作及维护等项规定。

一、精密机床的保管

1. 精密机床到厂后首先应检查包装箱是否损坏, 并根据装箱单详细检查机床附件、备件、工具和资料是否齐全。

2. 暂时不用的机床, 应放置库房妥善保管, 并建立档案。机床在库房放置时, 底面应用枕木垫起, 枕木间距一米左右, 并分布均匀。

3. 如果机床在库房中存放时间较长, 应定期拆箱检查油封质量情况。一般相隔半年至一年检查一次, 发现问题应及时处理。

二、精密机床的安装条件

1. 应安装在单独的工作间内, 工作间应远离振动大、灰尘多、温度高的地方。

2. 安装在单独的地基上。地基的深度视工作地土壤的性质而定。中型机床一般为500~800毫米。如电机或发电机组和机床不是一体, 则其基础应与机床基础分开。在机床四周应修建宽100~200毫米, 深与基础深度相等的防震沟, 沟内填充筛过的直径大小约为5~10毫米炉渣或软木屑等。

3. 避免日光的直射或热源的辐射, 以防由此引起机床的局部变形。

4. 工作间内要求清洁而干燥, 以免机床生锈和灰尘进入运动部位而加速机件的磨损, 影响机床的工作精度。

5. 工作间内应有恒温装置, 其要求可根据机床型号的精度状况及加工产品的精度要求而定, 原则上应保持 $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, 特殊情况下可放宽至 $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 。

6. 机床工作间的四壁和顶棚应平整光滑, 同时应刷奶白色油漆。如要加工镁合金, 其地面应是水磨石地面。

7. 必须注意, 不允许直接在室内用冰块或放置电炉等办法来调节室温。这样会使室内温度不均匀, 湿度过大, 使机床因局部受冷、受热而引起变形, 影响机床的工作精度和使用寿命。

8. 工作间的空调, 一般应用冷冻机将空气冷却过滤后, 以通风管道进入工作间。不允许采用直接进风的通风装置, 以防把室外的灰尘和水分带入室内, 使机床的活动部件磨损或导轨面锈蚀。

三、使用与维护要求

1. 应建立操作和维护人员的岗位责任制, 按照机床说明书的有关规定和使用维护规程, 正确地使用和维护。

2. 在机床故障检查和日常清洗过程中, 一般不要轻易拆卸主要部件, 特别是主轴和光学系统的部件。在必须拆卸时, 一定要按照机床说明书和修理工艺规程的程序和要求由熟练的维修人员进行。

3. 按照润滑卡片的规定定期润滑机床。加油前应仔细检查加油工具是否清洁并将油认真地加以过滤, 严防脏物和灰尘进入机床内。

4. 为了避免机床热变形影响加工精度, 工作时, 应使机床由低速到高速先空运转一段时间, 待机床温度大致稳定后再加工。

5. 严禁超负荷使用机床。必须严格按照机床说明书中规定的用途和使用范围使用, 不允许用其进行粗加工。

6. 工件加工过程中, 由于切削热的影响而经常发生局部变形。为了得到高的精度, 必须将精加工和容易产生大量切削热的粗加工分开进行。精加工必须在工件温度达到恒温室的温度时方可进行。

7. 在一般情况下, 精密机床不允许加工铸件。因为铸件的切屑为粉末状, 而且表面粗糙, 易带粉末和砂粒进入机床活动面内, 影响机床的运动精度并拉伤表面。在必须加工时, 应采取有效措施, 如铸铁表面要经过喷砂处理, 除去毛刺, 刷漆等, 加工前对其滑动表面和主轴等部位加以防尘; 加工后应仔细清洗机床。

擦洗精密机床的辅助材料, 必须柔软清洁, 一般应用绸布或脱脂的白棉布为宜。

8. 在室内温度不正常的情况下, 应立即停止使用, 以免过早地造成机床精度下降。

9. 定期对机床进行精度检查和调整, 一般应每半年进行一次, 并做好记录装入设备档案内。

第二章 机床导轨及工作台台面的精度 测量与修复

概 述

机床导轨是机床运动部件的基准。运动部件沿导轨移动时，导轨的精度会直接影响被加工零件的几何精度和相互位置精度。

导轨的精度通常是指导轨在垂直平面内和水平平面内的直线度、平面度以及导轨面之间的平行度和垂直度。

由于各类机床的结构和工作特点不同，导轨的精度对被加工零件精度的影响也是不相同的。

例如：螺纹磨床的床身前导轨在水平平面内有直线度误差时，就会使磨出的工件产生凹形或凸形，即影响工件的螺距精度。如图 2-1 所示。

当圆柱度误差为 $\Delta d_{0.2}$ 时，则影响螺距精度的数值 δ_r 为：

$$\delta_r = \frac{\Delta d_{0.2}}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

式中 α ——螺纹牙型角。

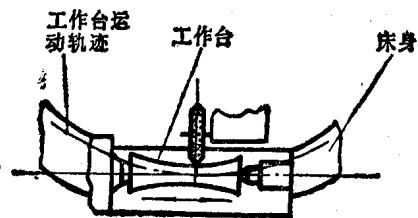


图2-1 螺纹磨床导轨直线度对被磨工件的影响

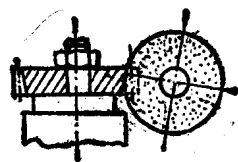


图2-2 工作台台面跳动对被磨工件的影响

精密机床工作台台面一般是用来作为加工工件的定位基面，因此其精度（平面度以及对导轨的平行度等）也会影响零件的加工精度。如图 2-2 所示。

又如：在坐标镗床上，当床身导轨在垂直平面内有直线度误差时，就会引起工作台在移动过程中产生附加回转。工作台面产生附加回转后则会影响被加工工件所镗孔距的精度，其误差值与工作台附加回转角 φ ，及机床上用作定位的刻线尺和加工零件间的高度 h 的大小有关（见图 2-3）。

当工作台在导轨上移动时，附加回转角为 φ ，则对被加工工件的坐标精度影响值 Δ 为：

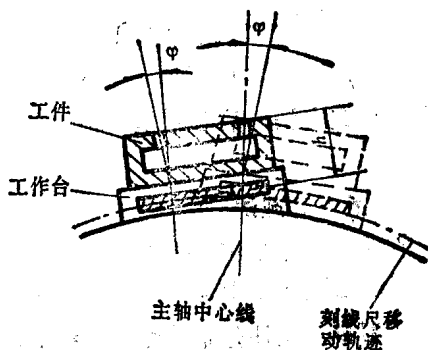


图2-3 坐标镗床导轨直线度对被镗工件的影响

$$\Delta = h \cdot \varphi$$

由此可见导轨及台面精度的好坏直接影响到被加工零件的精度,所以在精密机床修理中导轨及台面精度的测量与修复就显得十分重要。

第一节 导轨及工作台台面精度的测量

导轨的精度前已叙及。工作台台面的精度通常是以台面的平面度和对导轨面的平行度来表示。

在修复精密机床导轨及工作台台面精度前,应先正确地测定导轨表面及工作台台面的真实形状,因为只有知道了导轨及工作台台面的真实形状后,才能确定其精度状况,亦才能合理地确定修复导轨及台面的方法,以使用最少的时间和最小的工作量来恢复导轨及工作台台面的精度。

实践证明,在精密机床修理过程中,由于导轨及工作台台面的工作磨损并不太大,因此刮研的量也不太大。在修理过程中往往用于导轨及工作台台面精度的测量所耗费的时间相对说来更大些。因此正确地进行导轨及工作台台面精度的测量就显得更为重要。

一、导轨直线度误差的评定

机床导轨的实际表面是高低不平的,因此它与给定的平面(通常是垂直平面和水平平面)在不同方向上的交线都将是一条凹凸不平的线,如图2-4所示(图中只表示出在垂直平面内两个方向上的情况)。这就是说,机床导轨必然存在着直线度误差。

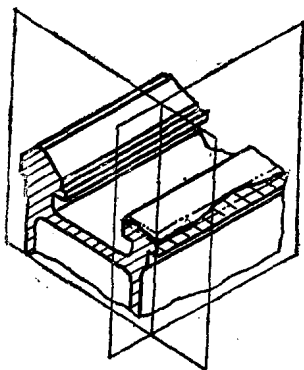


图2-4 机床导轨的直线度误差

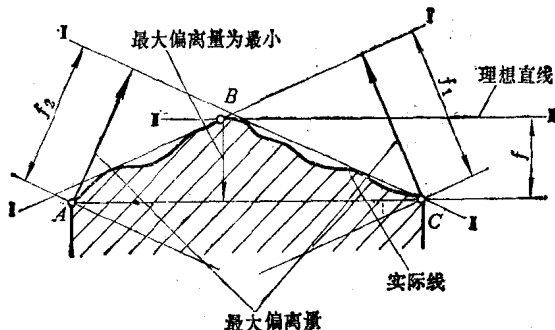


图2-5 最小条件

直线度误差值的评定有最小区域法和两端点连线法两种。前者是与公差带体系完全吻合的评定方法,后者则是一种为了简化评定过程的常用的评定方法。现分别简述如下。

1. 最小区域法

直线度误差是相对于理想直线而言的,理想直线的方位不同,其直线度误差值也不同。在公差带体系中规定,理想直线的方位应按最小条件来确定。

所谓最小条件是指被测实际线对其理想直线的最大偏离量为最小时的状态。如图2-5所示,评定某平面内实际线ABC的直线度误差时,若在实体之外作一理想直线I-I,则实际线到直线I-I的最大偏离量为 f_1 ;作理想直线I'-I',则最大偏离量为 f_2 ;作理想直线II-II,则最大偏离量为 f 。不难看出, $f < f_2 < f_1 < \dots$ 。因此,符合最小条件

的评定实际线 ABC 直线度误差的理想直线方位应是 $\text{II}-\text{II}$ ，误差值为 f 。

由此可见，用两条互相平行的直线，紧紧地包容实际线，使达到最小的宽度，此包容区域称为最小包容区，简称最小区域。最小区域的宽度，就是符合最小条件的直线度误差值。因此最小区域法是按最小条件评定直线度误差的一种方法。它具有最大限度地通过合格件的优越性。

2. 两端点连线法

与最小区域法不同，两端点连线法的理想直线的方位是由被测实际线的两个端点的连线所确定的。如图2-6所示，被测实际线 $AEDCB$ 的两个端点 A 和 B ，作过 A 、 B 的

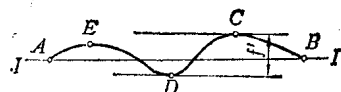


图2-6 两端点连线法

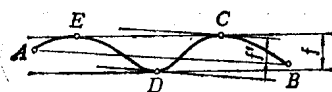


图2-7 最小区域法与两端点连线法的比较

连线 $I-I$ ，此即两端点连线法评定直线度误差时的理想直线的方位。被测实际线的最高点为 C ，最低点为 D ，由此两点分别至直线 $I-I$ 的距离之和（即图2-6中的 f' ）即为该线的直线度误差值。

一般地说，根据两端点决定的理想直线来评定直线度误差，往往大于按最小区域法评定的误差值。从图2-7可直观地看出，按最小区域法评定的误差值为 f ，按两端点连线法评定的误差值为 f' ，显然 $f' > f$ 。但是，当被测实际线为凹形或凸形时，则两种方法评定的结果相同（见图2-8）。

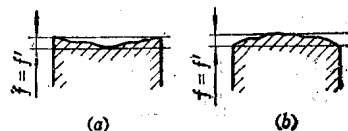


图2-8 特殊情况

a) 凹形 b) 凸形。

二、导轨直线度误差的检测

导轨直线度的检查测量方法很多，按其测量原理基本上可以分为两类。

1. 线值测量法

线值测量法即是采用标准平尺的工作表面，与张紧的弦线或液体水平面作为理想直线，来测量坐标偏移之距离，属于这类测量方法的有：标准平尺着色检查法，标准平尺及千分表测量法，张紧弦线及读数显微镜测量法和静液态测量法等。

2. 角值测量法

角值测量即将被测量的导轨划分为若干段，然后测量导轨各段对理想直线的倾斜角值，再通过绘制图表或计算来确定导轨直线度误差的大小。属于这一类测量方法的有水平仪法，准直仪法和自动准直仪法等。下面就各种方法分别加以介绍。

(1) 标准平尺着色法，此法用长于或等于被检验导轨的检验平尺（一般不超过2米），在适当的压力下，沿涂了红丹粉的导轨作短距离的往复运动，然后取下平尺观察导轨面上研点的分布情况和显点数，如研点在导轨全长上分布均匀，同时在任意 25×25 平方毫米的面积内达到一定数量的显点要求，则表示导轨的直线度已达到所用检验平尺的相应精度。

用着色法检查导轨直线度的缺点是不能确切地测量出导轨误差的绝对值，因而不宜用来测量精度很高的导轨。尤其是检查长导轨时，因平尺的刚性不足，其测量精度也不

会很高,或因操作时用力不均,也会产生较大的检查误差。因此在测量精密机床导轨全长上的直线度误差时,一般不采用此法。但在刮研时,却常用较短的(通常为500~1000毫米)平尺来检验导轨在局部长度上的直线度和显点情况。

(2) 标准平尺和千分表检查法,如图2-9所示,这种方法常用来检查V型导轨在垂直平面内和水平平面内的直线度。图示为检查水平平面内直线度的方法。图中以标准平尺的工作面为基准,在沿导轨移动的V型垫块上固定一个千分表,使其测头触及平尺工作面进行测量。为保证测量的稳定性,V型垫块的长度一般不短于200毫米,而且V型垫块与被检验V型导轨面应进行配刮,使其接触良好。测量时应使平尺与导轨距离愈近愈好,以减少V型导轨扭曲时对测量精度的影响。测量时,先使千分表测头先后触及平尺两端的表面,调整平尺使千分表移至导轨两端位置时读数相等。然后移动V型垫块,每隔200毫米距离读千分表数值一次,千分表各次读数的最大差值即为导轨的直线度误差。为使千分表读数准确,消除平尺上刮点对表值的影响,宜在千分表测头下面用塞块规的方法进行测量。

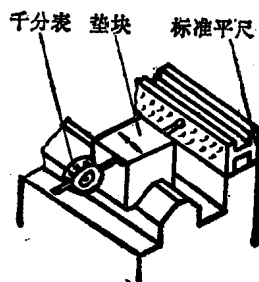


图2-9 在水平平面的
直线度测量

用此法测量导轨直线度误差的精确度,主要取决于标准平尺和千分表的精度,通常在缺乏精度较高的测量仪器(如水平仪、自动准直仪)以及导轨长度短于2米的情况下使用。

(3) 静液态检查法,如图2-10所示,在机床旁边放一水槽,调整水槽的液面使之与导轨两端点连线平行。分厘尺测微器测针装在被测导轨上的可移动的垫块上,然后移动垫块,使测针与液面接触(用放大镜或导电方法确定其开始接触的位置),并用测微器进行读数。这种方法只能用来测量导轨在垂直平面内的直线度。其缺点是测量精度不高,只能达到 $\pm 0.01 \sim 0.02$ 毫米,因此一般只用于普通机床的长导轨测量。

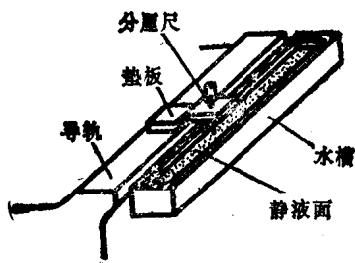


图2-10 静液态测量法

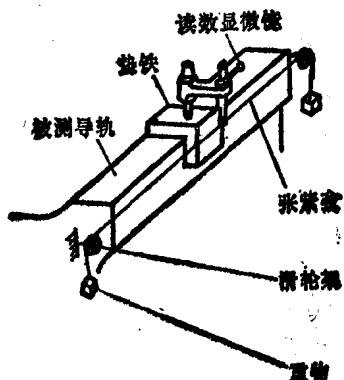


图2-11 张紧弦与读数显微镜法

(4) 张紧弦和读数显微镜检查法,如图2-11所示,此方法可检查垂直平面内的直线度,也可以检查水平平面内的直线度。如在床身导轨上放置长度等于200毫米的垫铁,垫铁上安装一个带有刻度的读数显微镜,读数显微镜镜头垂直放置,在导轨两端各固定一小滑轮,用一根直径等于0.3毫米的钢丝,两端用重物吊着,然后调整钢丝的位置,使读数显微镜在钢丝两端时的刻线与钢丝相重合。移动垫铁,在导轨全长上检查,每隔200

毫米记录一次, 并把每次的读数依次排列, 在坐标纸上画出垫铁的运动曲线图。即可检查出导轨在垂直平面内的直线度。这种方法的主要缺点是测量精度低。此外测量精度受振动、钢丝自重引起的挠度等的影响较大。因此, 这种方法在精密机床导轨测量中均未采用。

(5) 水平仪检查测量法

a 水平仪是一种测角仪器, 它的主要工作部份是气泡管, 其内表面研磨成所需要的曲率半径 R , 气泡管中装入酒精或乙醚, 并使管内留下不多的空气泡。当水平仪倾斜一定角度 φ 时, 气泡便会移动长度 L , 气泡管的精度通常是以秒表示。

若将一读数精度为 $0.02/1000$ 的水平仪安置在一米长度的平尺表面上 (见图2-12), 在右端垫高 0.02 毫米, 平尺便倾斜一个角度 α , 此时水准器气泡的移动距离正好为一个刻度值。水平仪连同平尺的倾斜角 α 的大小可以从下式求出。

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta H}{L} = \frac{0.02}{1000} = 0.00002$$

查三角函数表

$$\alpha = 4''$$

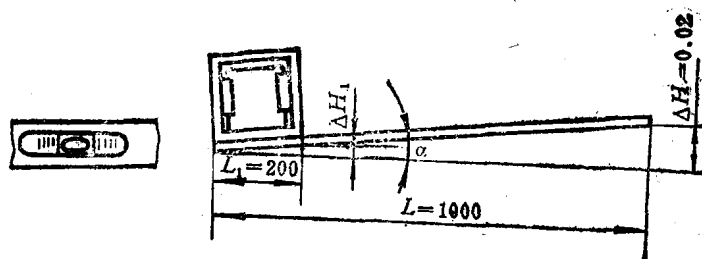


图2-12 水平仪测量法

从上式可知: 精度为 $0.02/1000$ 的水平仪气泡每移动一个刻度值, 其倾斜角等于 $4''$, 此时在离左端 200 毫米 (相当于水平仪垫铁长 200 毫米) 处的平尺下面高度变化量 ΔH_1 可以从下式求出:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta H_1}{L_1}$$

$$\Delta H_1 = \operatorname{tg} \alpha \times L_1 = 0.00002 \times 200 = 0.004 \text{ 毫米}$$

由此可见, 水平仪实际变化值与所使用的水平仪垫铁支点间的距离 L_1 有关。

用水平仪法测量导轨的直线度原理, 是基于水平线在一定长度内可以认为是一条直线, 同时用它作为理想直线来检验导轨的直线度。假定导轨是绝对平直的, 则当水平仪放在导轨的任何位置上时, 其气泡位置都应该是不变化的。

b 水平仪读数数学运算法, 这种方法是以水平仪坡度的正切值来计算导轨直线度的, 其实质是将运算曲线的坐标位置进行变换, 使曲线两端点的连线最终与横坐标轴相重合, 然后将曲线各档的斜率值换算成各档末端点的坐标值, 导轨的误差 δ 就等于其中最大或最小一档的坐标值, 若运动曲线呈波折曲线, 则误差 δ 应等于其中最大坐标值 $H_{\max}$ 与最小坐标值 $H_{\min}$ 之代数差的绝对值。

即

$$\delta = |H_{\max} - H_{\min}|$$

或

$$\delta = |H_{\min} - H_{\max}|$$

例：用水平仪测量 2 米长的导轨在垂直平面内的直线度，测量时水平仪垫铁长 200 毫米，测得以下十档读数，求导轨全长上的误差（单位是毫米）。

+0.04/1000, +0.03/1000, +0.02/1000, +0.02/1000, +0.02/1000,
+0.01/1000, 0, -0.01/1000, -0.01/1000, -0.02/1000,

通常按以下五个步骤进行计算：

① 将原始读数变换成与测量工具长度相适应的斜率值，例 +0.04/1000 可变换成 +0.008/200，变换如下（以下不再写出分母数，即 +0.008/200 写成 +0.008）：

+0.008, +0.006, +0.004, +0.004, +0.004,
+0.002, 0, -0.002, -0.002, -0.004,

② 计算各档斜率值代数和的平均值 $\bar{G}$

$$\bar{G} = (+0.008 + 0.006 + 0.004 + \dots - 0.004) / 10 = +0.002$$

③ 各档斜率值减去平均值：

+0.006, +0.004, +0.002, +0.002, +0.002,
0, -0.002, -0.004, -0.004, -0.006

④ 将各档斜率值（已减去平均值）变换成各档末端点的坐标值 H_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 变换如下：

+0.006	+0.004	+0.002	+0.002	+0.002	0	-0.002	-0.004	-0.004	-0.006
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
+0.006	+0.01	+0.012	+0.014	+0.016	+0.016	+0.014	+0.01	+0.006	0

⑤ 导轨全长上的误差为

$$\delta = H_{\max} = +0.016 \text{ (毫米)}$$

最大误差值出现在五、六两档上，正号表示曲线呈凸形，按各档的坐标值绘成曲线如图 2-13 所示，曲线两端点的连线正好与横坐标轴重合。

在测量时，应将机床导轨调整到接近水平的位置，然后将导轨在全长上划分为若干段（一般为每段 200 毫米），而将其起端位置的读数作为零，然后逐段移动水平仪来测量各段导轨对某一理想直线的角度偏差。如移动水平仪时气泡管中的气泡移动方向与水平仪移动方向一致者，读为正值，表示平面向上倾斜，方向相反者读为负值，表示平面向下倾斜。

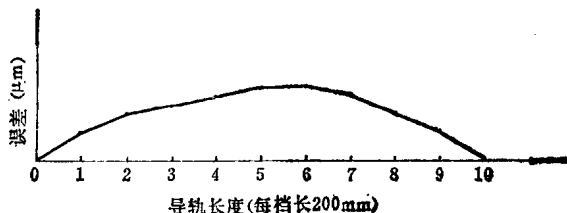


图 2-13 导轨直线度坐标曲线

c 水平仪坐标法 水平仪坐标法是精密机床导轨测量常用的方法之一。其测量步骤和方法与水平仪读数运算法相同，所不同的仅是将水平仪在导轨各段上的测量数值，按一定的放大比例绘制在坐标纸上，并连成曲线，再按照直线度定义和贴合直线的原理作出连线，便可确切地测知导轨表面的实际形状和直线度误差。

如用 0.02/1000 精度的水平仪，放在 200 毫米长的垫铁上来测量几条 1400 毫米长的导轨，当测量读数分别为表 2-1 所列数值时，便可相应地绘制出如图 2-14，图 2-15，图