

机械装配

测量技术

JI XIE

ZHUANG PEI

CE LIANG

JI SHU

机械工业出版社

# 机械装配测量技术

方若愚 张岱华 孙关金 编著



机械工业出版社

## 内 容 简 介

本书围绕机械装配中的装配精度检测,系统介绍了机械装配中的通用量具测量法、专用量具测量法、拉钢丝测量法、联轴器测量法、光学测量法、激光测量法和自动测量,阐述了各种测量方法的工艺要点和测量器具的使用。本书列举了大量应用实例,具有相当程度的实用性。本书还简述了机械装配测量技术的基础理论和测量新技术。

本书可供从事机械装配测量的技术人员、检验人员和从事机械装配的工艺人员使用,亦可供有关专业的大专院校教师和学生参考。

## 机械装配测量技术

方若愚 张岱华 孙关金 编著

\*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南路一号)

(北京市书刊出版业营业登记出字第117号)

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本 787×1092  $1/32$ ·印张 13 $1/2$ ·字数 296千字  
1985年9月北京第一版·1985年9月北京第一次印刷

印数 00,001—17,500·定价 3.20元

\*

统一书号: 15033·5746

# 前 言

生产优质机械产品，除了需有优良的设计、合格的零件外，主要有赖于运用正确的装配工艺，并使用经济、有效、准确的测量器具与测量方法。机械装配测量技术与一般零件的测量虽在某些方面有其共同之处，但由于多种零件和部件的相互装合，其间的位置精度常常有较高的要求，特别在大、中型机械产品装配时，往往需用特殊的测量器具和测量方法。鉴于国内目前尚缺乏这方面的参考书籍，作者特根据近年来国内外较常用的及新发展的装配测量技术编写了此书，供从事机械装配测量的技术人员、检验人员和从事机械装配的工艺人员使用。

全书共分七章。首先阐述了机械装配测量技术的基础理论，接着列出了各种测量项目及工艺要点，然后分章叙述了机械装配常用测量方法、光学测量方法、激光测量方法和自动测量，最后简要介绍了一些机械装配测量新技术，供发展、研究、推广作参考。书中重视理论联系实际，列举了大量应用实例，便于读者举一反三，用于装配实践。

由于机械产品种类繁多，大小悬殊，性能各异，装配时所使用的量具、量仪和方法亦各不相同，书中只能选择其中有通用意义的内容进行介绍，以作为参考和提示。

由于作者学识浅陋，经验不足，书中错误与缺点在所难免，请读者不吝指正。

本书承蒙沈珑同志在百忙中予以审校并提出宝贵意见，对提高本书质量有很大帮助，特此致谢。

# 目 录

## 前言

<b>第一章 机械装配测量技术的基础理论</b> .....	1
一 装配精度 .....	1
二 装配尺寸链的建立 .....	3
1 装配尺寸链的特性 .....	3
2 简单装配尺寸链的建立 .....	4
3 复杂装配尺寸链的建立 .....	5
三 装配尺寸链的类型 .....	9
1 并联尺寸链 .....	9
2 串联尺寸链 .....	11
3 混联尺寸链 .....	11
四 装配尺寸链的解法和装配方法 .....	14
1 互换装配法 .....	14
2 补偿装配法 .....	18
3 选择装配法 .....	31
五 装配测量误差 .....	34
1 测量的概念和分类 .....	34
2 测量误差 .....	36
<b>第二章 机械装配测量项目与工艺要点</b> .....	41
一 测量项目及其典型内容 .....	41
二 测量和校正的工艺要点 .....	46
1 测量和校正的一般程序 .....	46
2 装配和测量基准面的选择 .....	47
3 预加偏差量及其方向的确定 .....	51
4 装配和测量场所的环境条件 .....	55

三 量具和量仪的选择要点 .....	60
1 符合装配和测量要求的精确度 .....	61
2 适应装配和测量场所的环境条件 .....	64
3 适应部件或产品的结构特点 .....	64
4 充分体现经济性 .....	64
5 符合部件或产品的成批性 .....	65
四 提高测量精确度的方法 .....	65
1 减小系统误差 .....	65
2 正确选择测量方法 .....	69
<b>第三章 机械装配常用测量方法 .....</b>	<b>72</b>
一 常用测量方法的分类和特点 .....	72
二 通用量具测量法 .....	75
1 常用的测量器具 .....	75
2 通用量具测量法的应用实例 .....	95
三 专用量具测量法 .....	105
1 专用量具 .....	105
2 专用量具测量法的应用实例 .....	107
四 拉钢丝测量法 .....	130
1 测量项目和测量方法 .....	130
2 测量精度和测量器具 .....	132
3 拉钢丝测量法的应用实例 .....	139
五 联轴器测量法 .....	146
1 测量项目、测量精度和测量器具 .....	146
2 测量方法和调整量确定 .....	150
3 测量的工艺要点 .....	163
4 联轴器测量法的应用实例 .....	165
<b>第四章 机械装配光学测量法 .....</b>	<b>168</b>
一 常用的光学准直量仪 .....	168
1 测微准直望远镜 .....	169
2 工具经纬仪 .....	172
3 光学直角头 .....	175

4	平面扫描仪 .....	179
5	准直仪与自准直仪 .....	181
6	光学平直仪 .....	186
7	水准仪 .....	191
8	测量用附件 .....	195
<b>二</b>	<b>光学准直量仪的使用 .....</b>	<b>199</b>
1	建立测量基准线的方法 .....	199
2	建立与基准线垂直的辅助线(面)的方法 .....	209
3	建立与基准线平行的辅助线(面)的方法 .....	217
4	建立水平基准面的方法 .....	220
5	建立空间直角坐标系的方法 .....	225
6	提高测量精度的方法 .....	229
<b>三</b>	<b>光学测量法的应用实例 .....</b>	<b>240</b>
1	装配基座平面度的测量和校正 .....	240
2	装配部件垂直度的测量和校正 .....	243
3	装配部件平行度的测量和校正 .....	249
4	装配部件同轴度的测量和校正 .....	259
5	水平转台分度精度的测量和校正 .....	269
6	拖板沿床身导轨的运动精度的测量和校正 .....	270
7	汽轮机低压气缸中分面法兰等高度的测量和校正 .....	271
8	大型柴油机气缸轴线与曲轴轴线位移度的测量和校正 .....	274
9	接长导轨直线度的测量和校正 .....	276
	<b>第五章 机械装配激光测量法 .....</b>	<b>278</b>
<b>一</b>	<b>激光和光学发射望远镜 .....</b>	<b>278</b>
1	激光束的特性 .....	278
2	氦氖激光器 .....	282
3	光学发射望远镜 .....	286
<b>二</b>	<b>常用的激光准直量仪 .....</b>	<b>288</b>
1	类型和特点 .....	288
2	激光准直仪 .....	290
3	激光水准仪 .....	294
4	激光经纬仪 .....	296

<b>三 激光准直量仪的使用</b> .....	<b>297</b>
1 激光准直量仪的工作原理 .....	297
2 激光准直测量方式 .....	300
3 激光准直量仪的调整和校正 .....	306
<b>四 激光准直测量法的应用实例</b> .....	<b>308</b>
1 应用激光准直仪测量和校正大型汽轮发电机组轴系 .....	308
2 应用激光准直仪测量和校正重型低速柴油机运动部件的平行度和垂直度 .....	309
3 应用激光水准仪测量和校正落地镗床工作台面的水平度 .....	315
4 应用激光水准仪供多个零部件装配划线 .....	317
<b>五 提高激光准直测量精度的措施</b> .....	<b>317</b>
1 合理选择激光准直量仪 .....	317
2 正确选择和使用靶标 .....	318
3 减少激光束漂移以提高稳定精度 .....	318
4 减小空气扰动以提高测量精度 .....	320
5 改善机械调节部件的结构和安装 .....	322
6 配置波带片以提高准直精度 .....	322
<b>六 激光干涉测量法</b> .....	<b>326</b>
1 双频激光干涉仪的特点 .....	326
2 双频激光干涉仪的工作原理 .....	327
3 激光干涉测量法的工艺要点 .....	331
<b>第六章 机械装配自动测量</b> .....	<b>336</b>
<b>一 自动测量的设置</b> .....	<b>336</b>
1 自动测量的任务和特点 .....	336
2 自动测量的分类及其应用 .....	337
3 自动测量装置 .....	338
4 自动测量项目及其设置 .....	341
<b>二 自动测量的工艺要点</b> .....	<b>344</b>
1 传感器的选择要点 .....	344
2 提高自动测量精确度的方法 .....	347
3 不合格装配件的处理方式 .....	350



<b>三 自动测量常用传感器</b> .....	351
1 机械式传感器 .....	351
2 电触式传感器 .....	355
3 电感式传感器 .....	360
4 光电式传感器 .....	367
<b>四 自动测量工作头</b> .....	372
1 装配过程缺件自动测量工作头 .....	372
2 装配位置自动测量工作头 .....	373
3 装配件方向自动测量工作头 .....	376
4 装配过程夹持自动测量工作头 .....	377
5 螺柱方向自动测量工作头 .....	378
6 螺柱拧入高度自动测量工作头 .....	379
7 交流接触器铁芯装配件的厚度和形位误差自动测量工作头 .....	380
<b>五 自动分选机的测量装置</b> .....	381
1 轴承圆柱滚子自动分选机的测量装置 .....	381
2 轴承套圈内径自动分选机的测量装置 .....	384
3 活塞自动分选机的测量装置 .....	387
<b>第七章 机械装配测量新技术</b> .....	390
<b>一 三坐标测量机的应用</b> .....	390
1 三坐标测量机的应用特点 .....	390
2 三坐标测量机的结构型式、长度标尺和精度 .....	392
3 三坐标测量机的测量程序 .....	397
<b>二 新型基准球测量法的应用</b> .....	410
1 主轴装配部件圆跳动的测量 .....	410
2 主轴装配部件的角运动 and 全跳动的测量 .....	413
<b>三 智能机械手的应用</b> .....	416
1 触觉机械手的应用 .....	417
2 视觉机械手的应用 .....	419
<b>参考文献</b> .....	420

# 第一章 机械装配测量技术的基础理论

## 一 装配精度

机械装配是机械制造过程中决定机械产品内在质量的最后一个阶段。因为任何机械产品都是由若干零件和部件所组成，所以机械装配亦分成部件装配和总装配两个阶段。根据图纸和技术条件，运用装配工艺方法，将若干零件配合和联接成为一个机械部件的过程，称为部件装配；将若干部件和零件配合和联接成为机械产品的过程，称为总装配。为了保证机械产品在工作状态时达到规定的技术性能指标，并且具有规定的稳定性和可靠性，装配过程中必须保证各个部件和机械产品达到规定的最终精度，总称为装配精度。

装配精度的主要组成内容是各个相关零件配合面之间的位置精度，其中包括零件与零件、零件与部件、部件与部件的各个配合面之间的位置精度，以及由于装配中零件配合面形状的改变而需计及的形状精度和主要配合面的微观几何精度。后两者表现为尺寸、形状和位置的改变，最终仍然反映为位置精度。至于配合面之间的相对位置（间隙或过盈），以及两个配合面的接触面积的大小和接触点分布等微观几何精度，显然也是位置精度的内容。

位置精度中的径向跳动、端面跳动和轴向窜动等测量和校正，对于机床装配来说，往往需要在主轴或旋转工作台等部件装配后进行，因而称为回转精度检测。还有，机床的运动部件装配后，需要进行运动精度的检测，如机床的拖板或

工作台等部件移动时，在垂直平面和水平面内的直线度，以及拖板移动时与主轴轴线的平行度等。因此，机床装配中的回转精度和运动精度的测量和校正，也是以位置精度为基础的。

因此可以认为，装配精度主要取决于装配过程中许多相关零件配合面之间的位置精度。也就是说，在零件的加工精度业已确定并检验合格的条件下，为保证装配精度，主要有赖于装配过程中测量技术的正确运用，以正确测量和校正位置精度。此外，如装配工艺规程的编制，各种装配工作法的运用，以及装配生产组织设计等，也必须以保证装配部件和机械产品的装配精度为前提条件。

装配中影响位置精度的因素十分复杂，包括许多方面。主要有：

- 零件在同一方向上的尺寸累积误差造成的直线位移；
- 各个轴承座装配中的累积误差造成的轴线位移和倾斜；
- 各个支承面和配合面的位置倾斜；
- 运动零件的径向跳动、端面跳动和轴向窜动；
- 运动部件各个配合面间的间隙或过盈引起的位移或倾斜；

零件在传送和装配过程中造成的弯曲、扭曲等变形。

经装配试运转后，由于多种因素的影响将产生位置精度的改变。这些因素主要有：

- 动态下作用力的影响；
- 附件重量的影响；
- 因受热不同而产生变形的影响；
- 动态下因零件刚度不够而产生变形的影响；
- 运动件配合面间油膜厚度的影响；

配合面间隙因温度变化而改变的影响。

综上所述，可以对装配精度加以扼要概括：装配精度，就是指装配过程中经正确测量和校正位置精度后，其实际结果与能够表征机械产品技术性能指标的验收精度的符合程度。

## 二 装配尺寸链的建立

装配过程中如何正确测量和校正位置精度，有赖于正确建立和应用装配尺寸链。在此基础上，确定装配中的测量对象，测量项目，以及要求达到的测量精度和相应的测量方法，并计算测量误差，从而检测实际所能达到的装配精度。如果不能正确建立装配尺寸链，或是未能正确选择求解装配尺寸链的方法，往往使装配过程中的测量工作事倍功半。不仅增加测量工作量，而且往往不能正确选择装配基准面、测量基准面和测量工作面，或是测量次序颠倒，以致造成测量误差过大，甚至不能达到规定的装配精度。

构成装配部件相互关联的零件，都具有确定相互位置的尺寸，这些尺寸通过它们的配合面，象链子一样按一定的顺序排列成封闭形，从而构成一个尺寸链，这就是部件装配尺寸链。由构成机械产品的各个部件和零件的有关尺寸组成的尺寸链，称为总装配尺寸链。

### 1 装配尺寸链的特性

装配尺寸链的主要特性概括如下：

(1) 尺寸系列具有封闭性，某一尺寸的精度是该尺寸系列中其余尺寸误差的函数。

(2) 组成尺寸链的各个尺寸称为环，一个尺寸链中至少有三个环。

(3) 尺寸链中有一个尺寸要在其余各个尺寸确定以后才能得到, 这个尺寸称为封闭环, 又称终结环。其余尺寸则称为组成环。尺寸增大使封闭环增大的组成环称为增环, 反之称为减环。组成环一般用字母表示, 封闭环常以字母的右下角加  $\Delta$  表示。

(4) 在尺寸链中预先确定一个环供修配、调整用, 称为补偿环, 一般加方框线表示。

(5) 部件或产品往往需建立几个、十几个或几十个装配尺寸链, 以表征相关零件和部件之间所要求的装配精度。属于两个或两个以上尺寸链的环称为公共环。

装配尺寸链需要在产品图纸上细心查找和通过工艺计算来建立, 一般需要遵循一定的步骤, 并应加以核算。

## 2 简单装配尺寸链的建立

简单装配尺寸链的建立步骤如下:

(1) 确定封闭环 封闭环往往反映部件或产品的装配精度要求。确定封闭环的数值, 对于部件装配, 可参照产品装配的通用技术条件, 或借用同类产品装配的工艺试验结果; 对于总装配, 往往依据产品规定的验收标准采用。

(2) 列出组成环 沿着封闭环的两配合面或中线出发, 从装配图上寻找影响封闭环的各有关尺寸, 依次并衔接列出各个组成环, 确定尺寸链的基面和封闭环前后的各环。

(3) 画出尺寸链简图, 标明代号, 区分增环和减环, 写出装配尺寸链方程式。

通过简单装配尺寸链的建立, 可确知装配中的测量对象、测量项目和测量精度要求, 现列举示例图 1-1 和图 1-2 说明如下。

图 1-1 a 所示为轴与孔的配合。假定轴与孔装配中的同

轴度、轴线倾斜度以及轴向窜动等测量项目均已合格，现仅测量轴与孔的配合间隙。此时，相应的装配尺寸链如图 1-1 b 所示。图中装配间隙  $A_1$  即为封闭环。由封闭环两配合面找出孔径为增环，轴径为减环。孔的边界即为尺寸链的基准，将尺寸分作两支，一支包括全部增环，另一支包括减环和封闭环。

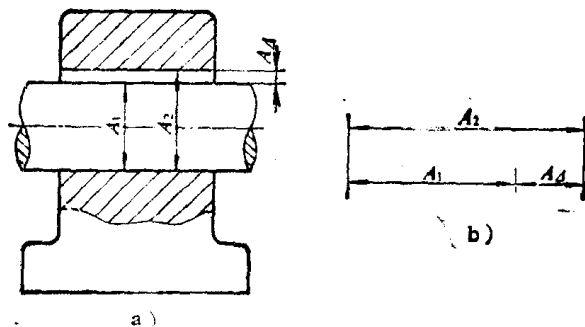


图 1-1 轴与孔配合装配尺寸链

图 1-2 a 为常见变速箱装配。如果仅在变速箱轴的轴向排列装配尺寸链，即如图 1-2 b 所示。图中垫片厚度  $A_1$  为封闭环，箱体两端面间距  $A_2$  为增环，各个齿轮和轴套的尺寸  $A_3$ 、 $A_4$ 、 $\dots$ 、 $A_7$  为减环。由于垫片为封闭环，在此装配尺寸链中应最后确定其尺寸公差。同时，相对于箱体、齿轮和轴套而言，垫片尺寸公差的修配最为方便。由此可知，装配中的测量对象为垫片厚度，应在齿轮、轴套装入箱体后进行，测量的精度要求须符合此装配尺寸链中封闭环的公差。

### 3 复杂装配尺寸链的建立

复杂的大型部件装配和产品总装配中，往往需要建立复杂装配尺寸链。按照简单装配尺寸链建立原则所建成的某些

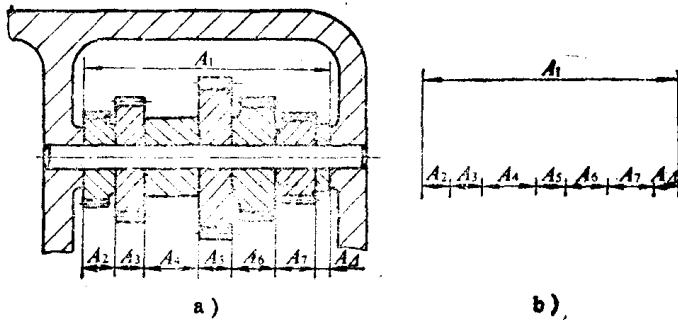


图1-2 变速箱装配尺寸链

装配尺寸链，其中有一些组成环不是代表一个零件上的尺寸，而是代表一个部件装配后的尺寸，那么就可将这些组成环作为另一个新的装配尺寸链的封闭环，从而建立新的装配尺寸链。按照部件和产品的结构，具有这种性质的组成环有多少个，就可相应建立多少个新的装配尺寸链，直到每个环仅代表一个零件上的一个尺寸为止。复杂的大型部件和产品的装配过程中，哪些配合尺寸需要测量，哪些不需要测量，哪些先行测量，哪些随后测量，都需要通过建立装配尺寸链逐个去确定。

图 1-3 所示为一台卧式铣床，其零件很多，相应的配合尺寸亦很多，装配中必然需要测量，究竟从何着手，测量次序如何确定，就有赖于正确建立装配尺寸链来解决。现以图 1-3 所示卧式铣床为例，说明建立复杂装配尺寸链的步骤和过程。

卧式铣床主轴旋转轴线对工作台工作面的平行度必须保证在一定范围内，相应的装配尺寸链如图 1-3 a 所示。图中封闭环  $a_1$  为装配精度所要求。在此装配尺寸链中，组成环

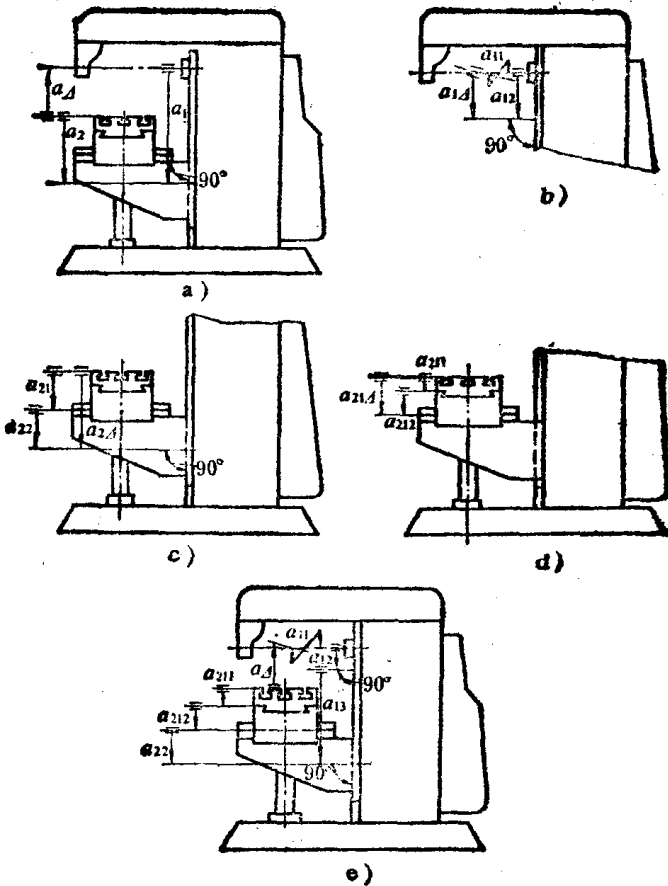


图1-3 卧式铣床装配尺寸链

$a_1$  是床身部件的主轴轴线对其导轨的垂直度，组成环  $a_2$  是工作台工作面对其垂直导轨的垂直度。由于铣床的装配精度要求较高，必须先使部件装配达到规定的装配精度，才有可能使铣床总装配达到规定的装配精度。为此，在图 1-3 a 所示的装配尺寸链中，为保证封闭环  $a_1$  的精度要求，应先要求



组成环  $a_1$  和  $a_2$  当作封闭环，与其各自有关的零件尺寸分别建立两个新的装配尺寸链。两个新的装配尺寸链分别如图 1-3 b 和图 1-3 c 所示， $a_1$  和  $a_2$  因作为封闭环，在新建立的装配尺寸链中分别以  $a_{1\Delta}$  和  $a_{2\Delta}$  代替。图 1-3 b 和图 1-3 c 中各组成环  $a_{11}$ 、 $a_{12}$ 、 $a_{21}$  和  $a_{22}$  所代表的意义如下：

$a_{11}$ ——主轴旋转轴线对于床身主轴孔轴线的平行度；

$a_{12}$ ——床身主轴孔轴线对于导轨的垂直度；

$a_{21}$ ——工作台的工作面对滑座下导轨的平行度；

$a_{22}$ ——升降台上导轨对其侧导轨的垂直度。

按照此种卧式铣床的结构，还可将  $a_{21}$  作为封闭环与其相关零件尺寸再建立一个新的装配尺寸链，如图 1-3 d 所示。在此图中， $a_{21}$  为  $a_{21\Delta}$  所取代，其余各组成环所代表的意义如下：

$a_{211}$ ——工作台的工作面对其下面水平导轨的平行度；

$a_{212}$ ——滑座纵向导轨上平面对其横向导轨面的平行度。

此外，由于床身的垂直导轨平面较长，其直线度不易保证，故需将其直线度误差作为一个组成环  $a_{13}$  列入装配尺寸链。

至此，将以上各个装配尺寸链合并，对此种卧式铣床建立的总装配尺寸链，则如图 1-3 e 所示。

通过以上所列举的各个装配尺寸链，可以了解大型部件和产品的复杂装配尺寸链的建立过程，并可由此了解装配过程中需要测量哪些配合尺寸及其测量次序如何确定。以图 1-3 卧式铣床装配为例，可知所需测量的配合尺寸应先从图 1-3 d 所示的装配尺寸链着手，经测量和校正封闭环  $a_{21\Delta}$  后，再行测量图 1-3 b 和图 1-3 c 所示两个装配尺寸链中有关配合尺寸。然后测量和校正封闭环  $a_{1\Delta}$  和  $a_{2\Delta}$ ，再依次测量图