



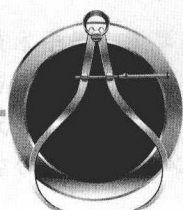
# 铣工

高级

朱怀琪 林琳 朱杰 编著



化学工业出版社



# 铣工

高级

朱怀琪 林琳 朱杰 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书依据高级铣工的知识要求和技能要求编写,介绍了高级铣工专业基本知识,锯齿三面刃铣刀、蜗杆与蜗轮、复杂模具型面的铣削方法和检验测量、质量分析,铣削难切削材料和铣削难加工工件的方法,数控铣削加工知识。每章后配练习与思考,书末附试题选编。

本书主要用作企事业培训部门、职业技能鉴定培训机构、再就业和农民工培训机构职业教育的教材,也可作为技校、中职、高职、各种短训班的教学用书。

#### 图书在版编目(CIP)数据

铣工 高级/朱怀琪,林琳,朱杰编著. —北京:化学工业出版社,2009.10

ISBN 978-7-122-06500-1

I. 铣… II. ①朱…②林…③朱 III. 铣削-基本知识  
IV. TG54

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 143826 号

---

责任编辑:李玉晖

文字编辑:张绪瑞

责任校对:顾淑云

装帧设计:尹琳琳

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 8 $\frac{1}{4}$  字数 192 千字 2010 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:19.80 元

版权所有 违者必究

# 前 言

当前，在促进我国经济平稳较快发展的关键时期，国家把职业教育和培训摆到更加突出、更加重要的位置，这样做有利于缓解当前技能型、应用型人才紧缺的矛盾，也有利于农村劳动力转移和扩大社会就业。从具体行业看，制造业中铣工这个工种是热门工种。本书编写以《铣工》国家职业标准为依据，坚持以职业教育培训的需要为原则，内容精练实用、通俗易懂、覆盖面广、通用性强，具有较强的实用性、全面性、简明性、先进性。

本书采用了国家最新标准、法定计量单位和最新名词术语，除了讲解传统铣工应掌握的内容之外，还加入了一些新技术、新工艺、新设备、新材料等方面的内容，还加入了数控铣削加工知识，多以图和表来讲解，更加直观和生动，易于读者学习和理解。

本书介绍了高级铣工的基本知识，根据高级铣工的铣削加工基本技术要求分别介绍了铣削难加工材料和铣削难加工工件的方法，锯齿三面刃铣刀、蜗杆与蜗轮、复杂模具型面的铣削方法和检验、质量分析等内容，最后介绍了数控铣削加工知识。每章后面都有练习与思考，书末附试题选编，试题与题型均选自国家职业技能鉴定试题库，并附有答案，以方便读者自测自查。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请读者批评指正。

**编者**

**2009年6月**

# 目 录

|                          |    |
|--------------------------|----|
| <b>第 1 章 高级铣工专业基本知识</b>  | 1  |
| 1.1 铣床的精度检验              | 1  |
| 1.1.1 主轴的精度检验            | 1  |
| 1.1.2 工作台台面的精度检验         | 3  |
| 1.2 铣工常用的精密测量仪器          | 5  |
| 1.2.1 杠杆卡规               | 5  |
| 1.2.2 杠杆千分尺              | 6  |
| 1.2.3 扭簧比较仪              | 6  |
| 1.2.4 自准直仪               | 8  |
| 1.2.5 光学平直仪              | 10 |
| 1.2.6 光学分度头              | 11 |
| 1.3 可转位铣刀                | 13 |
| 1.3.1 硬质合金可转位刀片的安装、定位与夹紧 | 14 |
| 1.3.2 可转位铣刀的使用           | 17 |
| 1.4 铣床夹具                 | 17 |
| 1.4.1 铣床夹具的分类            | 17 |
| 1.4.2 铣床夹具的组成            | 18 |
| 1.4.3 六点定位原理             | 18 |
| 1.4.4 常用的定位方法            | 19 |
| 1.4.5 定位误差               | 19 |
| 1.4.6 夹紧机构               | 19 |
| 1.4.7 组合夹具               | 20 |
| 1.4.8 常用的对刀装置            | 22 |
| 练习与思考                    | 23 |
| <b>第 2 章 铣削难切削材料</b>     | 24 |
| 2.1 难切削材料的铣削特点           | 24 |
| 2.2 铣削难切削材料所采取的措施        | 25 |
| 2.3 典型难切削材料的铣削           | 27 |
| 2.3.1 高锰钢的铣削             | 27 |
| 2.3.2 淬火钢的铣削             | 28 |
| 2.3.3 不锈钢的铣削             | 28 |
| 2.3.4 钛合金的铣削             | 29 |
| 2.3.5 高强度钢的铣削            | 29 |

|            |                  |    |
|------------|------------------|----|
| 2.3.6      | 高温合金的铣削          | 30 |
| 2.3.7      | 纯金属材料的铣削         | 30 |
| 2.3.8      | 复合材料的铣削          | 30 |
|            | 练习与思考            | 31 |
| <b>第3章</b> | <b>铣削错齿三面刃铣刀</b> | 32 |
| 3.1        | 错齿三面刃铣刀的结构特点     | 32 |
| 3.2        | 铣削准备工作           | 33 |
| 3.2.1      | 分析拟定工艺过程和铣削步骤    | 33 |
| 3.2.2      | 工件定位与装夹方式        | 33 |
| 3.2.3      | 交换齿轮计算与配置        | 35 |
| 3.3        | 铣削错齿三面刃铣刀齿槽      | 36 |
| 3.3.1      | 铣削圆柱面螺旋齿         | 36 |
| 3.3.2      | 铣削端面齿槽           | 38 |
| 3.4        | 错齿三面刃铣刀的检验与质量分析  | 39 |
| 3.4.1      | 刀具齿槽铣削的检验        | 39 |
| 3.4.2      | 刀具齿槽铣削的质量分析      | 40 |
|            | 练习与思考            | 41 |
| <b>第4章</b> | <b>铣削蜗杆与蜗轮</b>   | 42 |
| 4.1        | 铣削蜗杆             | 42 |
| 4.1.1      | 蜗杆的工艺要求和基本参数计算   | 42 |
| 4.1.2      | 用盘形铣刀铣蜗杆         | 43 |
| 4.1.3      | 用指状铣刀铣蜗杆         | 44 |
| 4.2        | 铣削蜗轮             | 45 |
| 4.2.1      | 蜗轮的工艺要求和基本参数计算   | 45 |
| 4.2.2      | 用盘形铣刀铣削蜗轮的操作步骤   | 46 |
| 4.2.3      | 用蜗轮滚刀对滚精铣蜗轮步骤    | 48 |
| 4.2.4      | 用飞刀展成铣削蜗轮步骤      | 49 |
| 4.3        | 蜗杆蜗轮的检验与质量分析     | 56 |
| 4.3.1      | 蜗杆蜗轮的检验          | 56 |
| 4.3.2      | 蜗杆蜗轮的铣削质量分析      | 57 |
|            | 练习与思考            | 57 |
| <b>第5章</b> | <b>铣削模具型面</b>    | 59 |
| 5.1        | 模具型面铣削方法         | 59 |
| 5.1.1      | 用工具铣床和立式铣床铣削     | 59 |
| 5.1.2      | 用仿形铣床铣削          | 61 |
| 5.1.3      | 用数控铣床和加工中心铣削     | 64 |
| 5.2        | 模具型面铣削实例         | 65 |
| 5.2.1      | 吊钩锻模加工           | 65 |
| 5.2.2      | 凹凸模铣削加工          | 67 |
| 5.3        | 模具型面检验方法         | 71 |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 练习与思考 .....                   | 71         |
| <b>第 6 章 铣削难加工工件 .....</b>    | <b>73</b>  |
| 6.1 铣削大质数锥齿轮 .....            | 73         |
| 6.1.1 立式铣床上加工大质数直齿锥齿轮 .....   | 73         |
| 6.1.2 卧式铣床上加工大质数直齿锥齿轮 .....   | 75         |
| 6.2 铣削复合斜面 .....              | 75         |
| 6.2.1 复合斜面的角度关系 .....         | 75         |
| 6.2.2 复合斜面的铣削方法 .....         | 76         |
| 6.2.3 刀槽复合斜面铣削 .....          | 78         |
| 6.3 铣削球面 .....                | 80         |
| 6.3.1 球面加工原理 .....            | 80         |
| 6.3.2 外球面的加工 .....            | 80         |
| 6.3.3 内球面的加工 .....            | 82         |
| 6.3.4 球面的检验及质量分析 .....        | 83         |
| 6.4 铣削等前角、等螺旋角锥度刀具齿槽 .....    | 84         |
| 6.4.1 等前角、等螺旋角锥度刀具的特点 .....   | 84         |
| 6.4.2 等前角、等螺旋角锥度刀具的铣削方法 ..... | 85         |
| 练习与思考 .....                   | 88         |
| <b>第 7 章 数控铣削加工知识 .....</b>   | <b>90</b>  |
| 7.1 数控铣削加工工艺 .....            | 90         |
| 7.1.1 数控加工工艺文件 .....          | 90         |
| 7.1.2 典型零件数控加工工艺分析实例 .....    | 90         |
| 7.1.3 数控铣床刀具选择 .....          | 92         |
| 7.2 数控铣床的程序编制 .....           | 94         |
| 7.2.1 功能代码 .....              | 94         |
| 7.2.2 子程序 .....               | 95         |
| 7.2.3 孔加工固定循环指令 .....         | 96         |
| 7.2.4 宏指令编程 .....             | 100        |
| 7.3 数控铣床典型零件加工实例 .....        | 104        |
| 7.3.1 典型零件加工实例 1 .....        | 104        |
| 7.3.2 典型零件加工实例 2 .....        | 108        |
| 7.4 数控铣床各类报警信息的内容及其排除方法 ..... | 111        |
| 练习与思考 .....                   | 112        |
| <b>试题选编 .....</b>             | <b>113</b> |
| <b>答案 .....</b>               | <b>120</b> |
| <b>参考文献 .....</b>             | <b>123</b> |



# 第 1 章 高级铣工专业基本知识

## 1.1 铣床的精度检验

机床的精度检验包括机床的几何精度检验和工作精度检验。几何精度检验，就是检验机床部件的几何形状精度和相互位置精度。工作精度检验就是通过对试切件的检测，检验机床工作部件运动的均匀性和协调性（决定于传动系统中机构的制造精度和装配精度），以及机床部件相互位置的正确性（决定于零件和连接件的刚性）。下面对卧式和立式升降台铣床的精度检验以及对加工质量的影响进行简要介绍。

### 1.1.1 主轴的精度检验

#### (1) 检验主轴的轴向窜动

在主轴锥孔中紧密地插入检验棒，将百分表测头触及在检验棒的外圆上，旋转主轴检验；或在轴向加 200N 左右的推力或拉力。百分表读数的最大差值，就是轴向窜动误差。

主轴的轴向窜动允差值在 0.02mm 范围内。若超过允差值，在铣削时会产生较大的振动和尺寸控制不准，以及出现拖刀现象。

#### (2) 检验主轴轴肩支承面的跳动

将百分表测头触及在主轴轴肩支承面边缘处，旋转主轴。百分表读数的最大差值，就是主轴轴肩支承面的跳动误差。

也可将百分表测头触及在轴肩支承面边缘，分别在相隔 180° 的两个位置，并在轴向加推力检验。百分表两次读数的最大差值中，取较大的差值，也是主轴轴肩支承面的跳动误差。

主轴轴肩支承面的跳动允差值在 0.04mm 范围内。若超过允差值，将使以主轴轴肩定位安装的铣刀产生端面跳动，使铣刀的刀齿磨损不均匀和部分切削刃加速磨损，降低铣刀的寿命。

#### (3) 检验主轴锥孔中心线的径向跳动

在主轴锥孔中紧密地插入检验棒，将百分表测头触及在检验棒的外圆面上。旋转主轴，分别在靠近主轴端部和距离端部 300mm 处检验，两处误差分别计算。

然后将检验棒在主轴锥孔中分别转过 90°、180° 及 270°，用同样方法进行检验。目的是消除检验棒的误差对主轴锥孔中心线径向跳动的叠加或抵消的影响。共检验四次，分别计算出相对两位置检验数值的代数和的一半，取其中较大值即为主轴锥孔中心线的径向跳动误差。

主轴锥孔中心线的径向跳动允差值：主轴端部为 0.02mm 范围内；距离 300mm 处为 0.04mm 范围内。



若超过允差,将造成刀杆或铣刀的径向跳动,影响加工面的表面粗糙度。在铣削键槽和镗孔时,会使槽宽和孔径尺寸扩大。

#### (4) 检验悬梁导轨对主轴回转中心线的平行度(卧铣)

将悬梁紧固。在悬梁导轨上装上带百分表的专用表架,使百分表测头触及插入主轴锥孔中的检验棒外圆面上。移动专用表架,分别在上母线和侧母线上进行检验。

两处误差分别计算。记下百分表读数的最大差值,然后将主轴旋转 $180^\circ$ 再检验一次。两次检验的最大差值代数的一半,就是平行度误差。

悬梁导轨对主轴回转中心线的平行度允差值:上母线和侧母线均为 $0.05/300\text{mm}$ 范围内。

若超过允差,将使安装的刀杆与工作台面不平行,影响加工面的平行度。

#### (5) 检验刀杆支架孔对主轴回转中心线的同轴度(卧铣)

在主轴锥孔中插入带百分表的芯轴,在支架孔中紧密地插入检验棒,并使百分表测头触及检验棒的外圆面上,如图 1-1 所示。

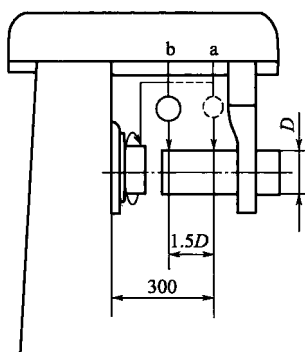


图 1-1 检验支架轴承孔对主轴回转中心线的同轴度

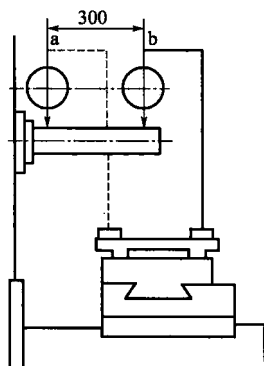


图 1-2 检验主轴回转中心线对工作台台面的平行度

应将悬梁和支架紧固,在 a、b 两处检验。旋转主轴,百分表读数的最大差值的一半,就是同轴度误差,a、b 处分别计算。

刀杆支架孔对主轴回转中心线的同轴度允差值在 $0.06\text{mm}$ 范围内。若超过允差时,会使刀杆歪斜,以致铣刀产生振动及支架孔加速磨损,严重时会使刀杆弯曲,影响加工面的平行度。

#### (6) 检验主轴回转中心线对工作台台面的平行度

在主轴锥孔中紧密地插入检验棒。在工作台面上放一块带百分表的小平板,百分表测头触及在检验棒的上母线上,并垂直于检验棒中心线移动百分表座。分别在主轴端部 a 处和距离 a 处为 $300\text{mm}$ 的 b 处检验,如图 1-2 所示。

将主轴转过 $180^\circ$ ,用同样方法检验。两次检验时百分表最大读数的代数的一半,就是平行度误差。工作台应在上下两个位置(即在离主轴轴心线 $100\text{mm}$ 及 $300\text{mm}$ 处)上各检验一次,误差以两次中的较大值计算。检验时升降台和回转底座都要紧固,工作台纵向处于中间位置。

主轴回转中心线对工作台面平行度允差值在 $0.06\text{mm}$ 范围内。若超过允差,会影响工件加工面的平行度。横向作两次进给时,会产生明显的接刀痕。

(7) 检验主轴套筒移动对工作台的垂直度（此项不适用于有机动进给的主轴套筒）

工作台位于纵向、横向行程的中间位置。工作台横向应紧固。

工作台上放两个等高块，在等高块上放上直尺。并分别在纵向和横向两个方向检验。百分表固定在主轴上，其测头触及在直尺的垂直检验面上。主轴套筒在上下两极限位置夹紧检验，百分表读数的最大差值，就是垂直度误差。

两个方向分别计算，取较大值。

主轴套筒移动时对工作台的垂直度允差值：0.03mm/全行程范围内。若超过允差值时，会使以主轴套筒进给镗出的孔与基准面歪斜。另外，以主轴套筒进给在深度方向作多次切削进给时，会产生明显的接刀痕。

### 1.1.2 工作台台面的精度检验

#### (1) 检验工作台面的平面度

工作台位于纵向和横向行程的中间位置。用直尺、三个等高块和两个可调垫块，首先确定一个理想平面，将三个等高块和两个可调垫块分别放在靠近工作台面的四角处和中间位置，调整两个可调垫块，使其都在一个理想平面内。分别将直尺放在各测量方向的垫块上，用量块或专用检具检验各中间和垫块处，测量的最大差值即为平面度误差，工作台纵向只许凹。

工作台面的平面度允差值：0.06mm/m 范围内。若超过允差，会影响夹具或工件的安装精度，使加工面不平行。

#### (2) 检验工作台纵向和横向移动对工作台面的平行度

① 检验纵向 工作台位于横向行程的中间位置，并紧固。在工作台中间与纵向平行方向，放两个等高块，其上面放上平尺。百分表位于主轴中央处，其测头触及平尺的检验面上，纵向移动工作台检验。百分表读数的最大差值，就是纵向平行度误差。

② 检验横向 工作台位于纵向行程的中间位置，并紧固。与检验纵向方法相似。横向移动工作台检验，百分表读数的最大差值，就是横向平行度误差，允差值见表 1-1。

表 1-1 工作台纵向和横向移动对工作面的平行度

mm

| 允差(纵向)    |      | 允差(横向)    |      |
|-----------|------|-----------|------|
| 工作台行程     | 允差   | 工作台行程     | 允差   |
| ≤500      | 0.04 | ≤300      | 0.04 |
| 500~1000  | 0.06 | •<br>＞300 | 0.06 |
| ＞1000     | 0.08 |           |      |
| 在工作台的全行程上 |      | 在工作台的全行程上 |      |

若超过允差值，会影响加工件的平行度和垂直度误差。

#### (3) 检验工作台中央 T 形槽侧面对工作台纵向移动的平行度

工作台位于横向行程的中间位置，并将工作台横向紧固。杠杆百分表位于主轴中央处，其测头触及在 T 形槽的侧面。纵向移动工作台检验，百分表读数的最大差值就是平行度误差，允差值见表 1-2。

若超过允差值时，会影响以 T 形槽定位的夹具或工件的定位精度，使铣出的沟槽和侧面与导向基准不平行。

表 1-2 工作台中央 T 形槽侧面对工作台纵向移动的平行度 mm

| 工作台行程    | 允 差  |           |
|----------|------|-----------|
| ≤500     | 0.06 | 在工作台的全行程上 |
| 500~1000 | 0.07 |           |
| >1000    | 0.08 |           |

(4) 检验升降台移动对工作台面的垂直度

工作台位于纵向及横向行程的中间位置并紧固。工作台面中间放两个等高块，角尺放在等高块上。百分表测头触及在角尺检验面上，移动工作台检验。百分表读数的最大差值，就是垂直度误差。

角尺检验面分别与 T 槽垂直 a 向和平行 b 向两个位置检验，误差分别计算。

在 300mm 测量长度上升降台移动时对工作台面的垂直度允差值：

a 向为 0.04mm 范围内；

b 向为 0.06mm 范围内，只许角尺上端向床身偏。

若超过允差，会影响加工件的平行度、垂直度和上下接刀的平面度。

(5) 检验工作台纵向和横向移动的垂直度（立铣）

将工作台紧固，90°角尺放在工作台纵向中间位置，使 90°角尺的一个检验面和横向（或纵向）平行。使百分表测头触及在另一检验面上，纵向（或横向）移动工作台进行检验，百分表读数的最大差值，就是垂直度误差。

工作台纵向和横向移动时垂直度允差值：0.04mm/300mm 范围内。

若超过误差值，会影响纵向和横向加工面的垂直度误差。

表 1-3 试件材料和尺寸及试切条件

| 试件材料                             |                  |     | 灰 铸 铁       |       |      |  |
|----------------------------------|------------------|-----|-------------|-------|------|--|
| 高速钢铣刀                            |                  |     | 直径≤60mm     |       |      |  |
| 铣削速度                             |                  |     | ＞50m/min    |       |      |  |
| 进给速度(进给量)                        |                  |     | 40～60mm/min |       |      |  |
| 吃刀量                              |                  |     | 0.1～0.4mm   |       |      |  |
| 试件尺寸<br>/mm                      | 工作台工<br>作面宽度     | B   | L           | H     | b    |  |
|                                  | ≤250             | 100 | 250         | 100   | 20   |  |
|                                  | ＞250             | 150 | 400         | 150   |      |  |
| 允差/mm                            |                  |     |             |       |      |  |
| 级 别                              |                  |     | 1 级         | 2 级   | 3 级  |  |
| 平面度[图 1-3(a)中 C 面,图 1-3(b)中 S 面] |                  |     | 0.02        | 0.03  | 0.04 |  |
| S 面对基面的平行度允差                     |                  |     | 0.03        | 0.045 | 0.06 |  |
| C、D、S 三面相互间的<br>垂直度允差            | 测<br>量<br>长<br>度 | 100 | 0.02        | 0.03  | 0.04 |  |
|                                  |                  | 150 | 0.025       | 0.037 | 0.05 |  |
|                                  |                  | 250 | 0.03        | 0.045 | 0.06 |  |
|                                  |                  | 400 | 0.05        | 0.075 | 0.10 |  |
| 加工面表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$       |                  |     | 1.6         | 3.2   | 5    |  |

铣床工作精度检验, 是通过对试件的试切削, 对机床在工作状态下的综合性检验。试件的形状如图 1-3 所示。

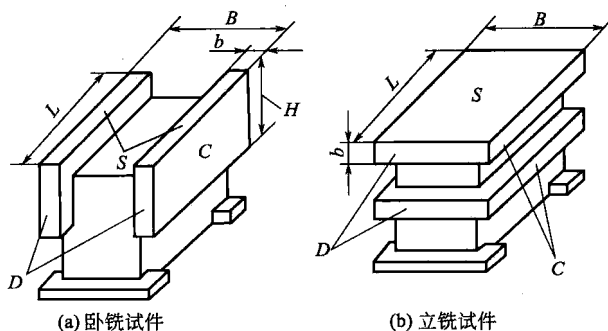


图 1-3 试件形状和尺寸

对试件的材料和尺寸, 以及刀具、切用量和工作精度要求见表 1-3。

## 1.2 铣工常用的精密测量仪器

### 1.2.1 杠杆卡规

对精度较高的零件, 使用极限卡规测量时, 仅能判断合格与否, 不能确定其实际尺寸与规定尺寸的偏差, 难以确定剩余的加工余量。另外, 极限卡规本身的制造误差及磨损量, 将占有被检验工件制造误差的一部分。若用杠杆卡规测量, 则可避免上述两个方面的缺点。

杠杆卡规的测量范围可分为 25mm、50mm、75mm、100mm、125mm、150mm 六种。其刻度值根据测量范围分为 0.002mm 和 0.005mm 两种。

杠杆卡规的外形见图 1-4(a)。

#### (1) 杠杆卡规的结构原理

杠杆卡规是利用杠杆齿轮放大原理 (其放大比在 100~500 范围内) 制造的量仪。如

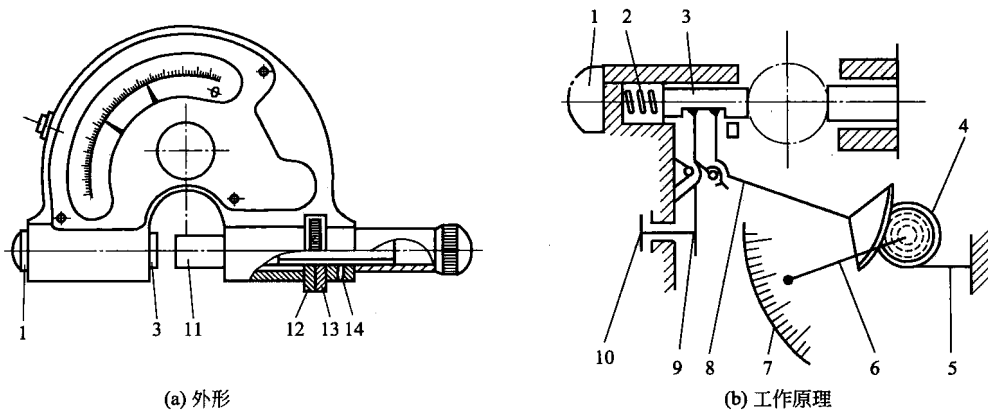


图 1-4 杠杆卡规

1—盖帽; 2—弹簧; 3—微动测量杆; 4—小齿轮; 5—游丝; 6—指针; 7—刻度盘; 8,9—杠杆;  
10—退让器; 11—可调测量杆; 12—弹簧片; 13—调整螺环; 14—螺钉

图 1-4(b) 所示, 移动微动测量杆 3 可使杠杆 8 转动。杠杆 8 的另一端装有扇形齿轮, 带动小齿轮 4 和固定在小齿轮轴上的指针 6 转动。当微动测量杆 3 移动 0.002mm 时, 指针 6 在刻度盘 7 上转过 1 小格。为了消除传动中的间隙, 装有游丝 5。测量力由弹簧 2 的弹簧力调整。为了防止测量面磨损和测量方便, 装有退让器 10, 揿动退让器 10 使杠杆 9 转动, 杠杆 9 的一端将微动测量杆 3 退回而缩进。盖帽 1 可调整弹簧 2 对微动测量杆 3 的推力, 保持一定的测量压力。

杠杆卡规的右半部有可调测量杆 11, 一端为矩形螺纹, 装在本体的导孔中, 螺钉 14 嵌入可调测量杆的导槽中作为导向装置。旋转调整螺环 13, 由于螺钉 14 的导向作用, 可调测量杆 11 仅能轴向移动而无自身回转。圆盘形的弹簧片 12 使矩形螺纹间保持单齿面接触, 以消除由于轴向间隙而引起的误差。

杠杆卡规的主要技术数据见表 1-4。

| 表 1-4 杠杆卡规的主要技术数据 |      |               | mm           |
|-------------------|------|---------------|--------------|
| 项 目               | 测量范围 | 0~25, 25~50   | 100~125      |
|                   |      | 50~75, 75~100 | 125~150      |
| 刻度盘的刻度值           |      | 0.002         | 0.005        |
| 刻度盘的示值范围          |      | ±0.08         | ±0.15(±0.16) |
| 示值误差:             |      |               |              |
| 自零刻线起正负 10 条刻线范围内 |      | ±0.001        | ±0.0025      |
| 自零刻线起全部刻线范围内      |      | ±0.002        | ±0.005       |
| 示值变化不应超过          |      | 0.001         | 0.0025       |
| 测量力/N             |      | 7±2           | 11±2         |

(2) 杠杆卡规的使用

先用量块调整尺寸, 揿动退让器 10 使微动测量杆 3 退回, 将预选好的量块放入两测量面之间, 再松开套管 15, 转动调整螺环 13, 使可调测量杆 11 和量块接触, 并使指针 6 调整在零位刻度上, 然后拧紧套管 15, 使可调测量杆 11 固定在调整好的位置上。

检验工件时, 先揿动退让器, 把工件放入 (或把卡规卡入) 两测量杆的测量面之间, 松开退让器, 看指针的指示位置。若指针仍指在零位, 表示工件与量块的尺寸相同; 指针偏离零位时, 表示工件与量块的尺寸不等。指针偏向正向表示工件比量块大; 偏向负向表示工件比量块小。其差值等于指针偏离零位的格数乘刻度值。

1.2.2 杠杆千分尺

杠杆千分尺相当于外径千分尺和杠杆卡规组合而成。工作原理与杠杆卡规及千分尺相同, 可用做相对测量和绝对测量。当测量不同尺寸的工件时, 比杠杆卡规方便, 像外径千分尺一样; 检查成批或大量工件时, 像杠杆卡规那样用比较测量法来检验工件尺寸。

杠杆千分尺的弓架比外径千分尺的刚性大。其测量力大小由微动测杆处的弹簧控制。杠杆千分尺无棘轮装置, 故测量力较稳定。杠杆千分尺的示值误差见表 1-5。

1.2.3 扭簧比较仪

扭簧比较仪见图 1-5, 它是利用扭簧作为尺寸的转换和扩大的传动机构, 使测量杆的直线位移转变成指针的角位移。在传动过程中, 几乎没有间隙和“无效行程”, 也无机械摩擦作用造成磨损。测量力较小, 传动比较大, 提高了工作精度和灵敏度。具有工作可靠、结构简单、轻便、易于制造和成本低廉等优点。

表 1-5 杠杆千分尺的示值误差 μm

| 表盘刻度值 | 表盘示值误差                   | 示值稳定性 | 水平与垂直方向的指针位置变化 | 弓架受 10N 力时的变形 | 总 误 差           |    |       |
|-------|--------------------------|-------|----------------|---------------|-----------------|----|-------|
|       |                          |       |                |               | 测量范围 /mm        | 新制 | 修后及使用 |
| 1     | ±10 格内±0.5<br>±10 格外±0.8 | 0.3   | 0.3            | 1             | 0~25<br>25~50   | ±2 | ±3    |
| 2     | ±10 格内±1.0<br>±10 格外±1.5 | 0.5   | 0.5            | 1             | 0~25<br>25~50   | ±3 | ±4    |
| 3     | ±10 格内±1.0<br>±10 格外±1.5 | 0.5   | 0.5            | 1             | 50~75<br>75~100 | ±4 | ±6    |

注：附带的调整量具（或校对量杆），其尺寸偏差不应超过 0.5μm。

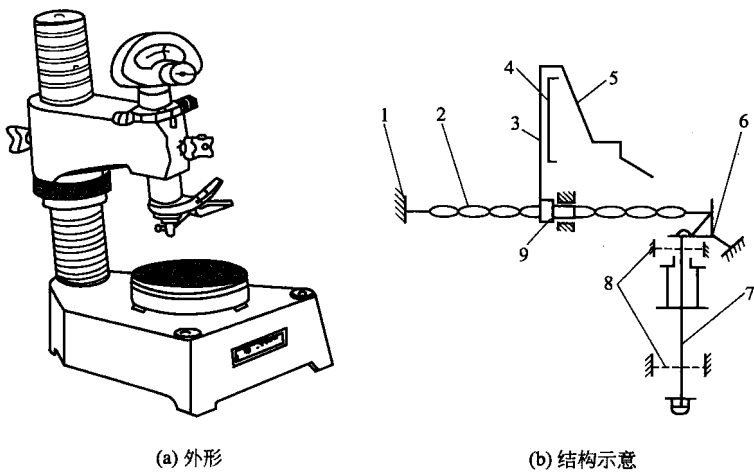


图 1-5 扭簧比较仪

1—弓架；2—扭簧；3—指针；4—刻度标尺；5—公差带指示器；  
6—角架；7—测量杆；8—螺旋弹簧和弹簧片；9—阻尼器

(1) 扭簧比较仪的结构

图 1-5(b) 所示为扭簧比较仪的结构。主要由一根薄片形扭转的金属弹簧带，即扭簧 2 组成，其两端扭向相反。由金属带中点起，一半向右扭曲，另一半向左扭曲。一端被固定在可调整的弓架 1 上，另一端固定在传动角架 6 上。当扭簧受到测量杆 7 传来的微小直线性位移的作用时，传动角架 6 的顶点就按圆弧线向右摆动，使扭簧 2 沿其轴线方向延伸。固定于扭簧 2 中部的指针 3 即在垂直于扭簧轴线的平面内旋转一个与扭簧张力成一定比例的角度，并在刻度标尺 4 上标示出相应的位移值。在指针 3 的邻近装有阻尼器 9，这是一个蓄有油滴并带有狭缝的圆管，扭簧 2 穿过阻尼器 9 的中央并在油滴中转动而产生阻尼缓冲的作用，从而降低扭簧 2 的颤动，使指针 3 迅速地停止颤动。

扭簧比较仪的测量力由螺旋弹簧和上下膜片形平弹簧片 8 产生，为了避免摩擦，测量杆 7 只与螺旋弹簧两端和膜片弹簧接触固定，其间无间隙。测量力一般为 1.8~2.5N。扭簧比较仪的放大倍数很高。

扭簧比较仪的主要技术参数见表 1-6。

表 1-6 扭簧比较仪的主要技术数据

|     |          |           |                        |          | $\mu\text{m}$ |
|-----|----------|-----------|------------------------|----------|---------------|
| 刻度值 | 示值范围     | 示值误差      | 示值变化                   | 测量力/N    | 测量力变化/N       |
| 1   | $\pm 30$ | $\pm 0.5$ | $\leq \frac{1}{3}$ 刻度值 | $\leq 2$ | $\leq 0.3$    |
| 0.5 | $\pm 15$ | $\pm 0.3$ |                        |          |               |
| 0.2 | $\pm 6$  | $\pm 0.2$ |                        |          |               |
| 0.1 | $\pm 3$  | $\pm 0.1$ |                        |          |               |

(2) 扭簧比较仪的使用

扭簧比较仪的外形见图 1-5(a)，使用时，先将预选好的与被测工件尺寸相符的量块放在测量杆和测量台之间，并把指针调整到指向零位，最后把公差带指示器 5 调整好，见图 1-5(b)。移去量块，放入工件，作比较测量和检验。

1.2.4 自准直仪

自准直仪是自准直光管式计量仪的简称，是测量微小角度差异的光学仪器。它实质上由平行光管和望远镜（目镜）组合而成。

(1) 平行光管

平行光管是一种投射平行光线的装置，如图 1-6(a) 所示。由一个物镜 2、位于第二焦面（在透镜后的焦面）上的十字线或刻有指标线的分划板 1 和灯泡（光源）组成。通过物镜，焦面十字线上每一点所发出的光束均被聚成指向某一方向的平行光束。平行光管可人为地得到平行光束，也叫做自准直光管。

(2) 自准直原理

所谓自准直，就是指物镜焦面上的物体由于物镜的成像作用而发出平行光束，经反射镜反射回来重新进入物镜后，仍能在物体所在平面上造出物体实像。

如图 1-6(b) 所示，由物镜的焦点  $F$  发出的光束经物镜折射后成为平行于光轴的光束，当遇到垂直于光轴的平面反射镜  $PP$  后，光束仍按原路反射回来，经物镜后会聚在焦点  $F$  上，即  $F$  点和它的像  $F'$  完全重合。

又如图 1-6(c) 所示，在物镜焦平面内任一点  $E$  发出的光束，经物镜后成为与光轴成  $\omega$  角的平行光束， $\omega$  角是  $E$  点和物镜主点（物镜上通过光轴的点）的连线与光轴的夹角，当遇到垂直于光轴的平面反射镜  $PP$  后，根据反射定律，光束以反射角  $\omega$  返回，经物镜后会聚在焦面上的  $E'$  点， $E'$  点就是  $E$  点的像，并且对光轴是相互对称的。即  $E'F = EF = f \tan \omega$ 。

图 1-6(d) 表示反射镜对光轴有一偏转角  $\alpha$  的成像情况。此时反射镜  $PP$  的法线同样转过  $\alpha$  角，而反射光束就转过  $2\alpha$  角。从镜面反射的光束经物镜后会聚在焦面上的  $B$  点，也就是像点相对于物点在焦平面内产生了偏离，偏离量的大小为： $BF = f \tan 2\alpha$ 。因此，如果已知物镜的焦距  $f$ ，按此公式计算后，在物镜的成像焦平面（也是目镜的物体焦平面）处，设置的分划板上作出相应的刻度分划线，经目镜从分划板的刻度尺上读出反射像的偏离值。便可确定反射面的偏转角  $\alpha$ ，这就是自准直光管测量微小角度的原理。

还必须指出，在自准直光管中，平面反射镜和物镜之间的距离是可以任意改变的。只要反射面垂直于光轴， $E$  点在目镜视场内的位置也不改变；只要反射面的转角  $\alpha$  不改变， $B$  点在目镜视场内的位置也不改变。这就是自准直光管可用来测量工件直线度和平面度的原理。



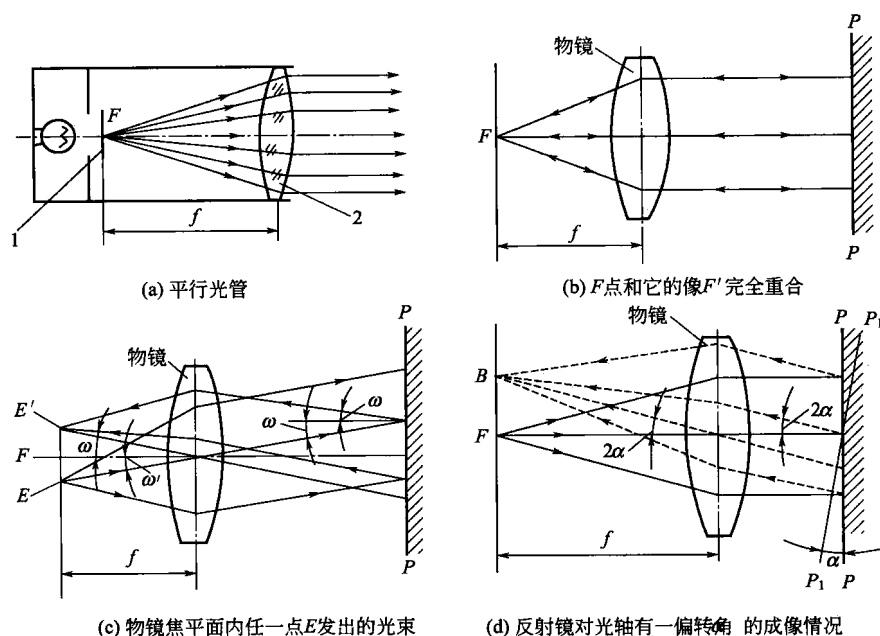


图 1-6 自准直原理

1—分划板；2—物镜

### (3) 自准直光管式计量仪器的光学系统

自准直仪光学系统的类型有多种，现将立方棱镜的自准直仪光路介绍如下：如图 1-7 所示，自准仪主要由反射镜 1、物镜 2、分光棱镜 3、目镜 4、分划板 5 和 7 以及光源等组成。立方棱镜 3（即分光棱镜）由两个直角棱镜胶合而成，并在胶合面的一个面上镀有折光膜，是半透明的。分划板 5 和 7 都安装在物镜 2 的聚焦面上，即这两块分划板到物镜 2 的光路长度都等于物镜的焦距。在光源前面的指示分划板 7 上刻有透明的十字线。

由光源发出的光束，通过滤光片 6 照亮透明十字线后，一部分由分光棱镜 3 的半透明面反射，通过物镜 2 后就成平行光束投射出去。经反射镜 1 反射回来的仍是平行光束，进入物镜 2 后一部分光束直透过分光棱镜 3，在目镜 4 前的刻度分划板 5 上成像。刻度分划板 5 可以在本身的平面内移动。通过转动鼓轮和测微螺杆（图中未画出）带动刻度分划板 5，使十字线与反射镜 1 反射回来的成像重合，再由测微机构读出十字线成像位置的变化，

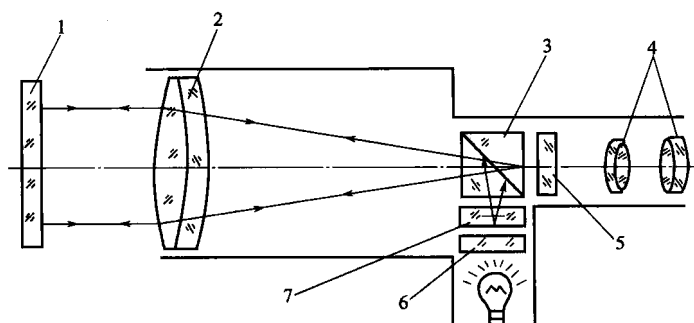


图 1-7 自准直光管式计量仪

1—反射镜；2—物镜；3—分光棱镜；4—目镜；

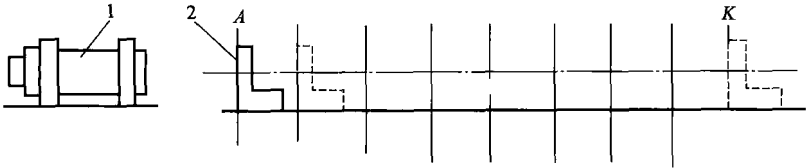
5, 7—分划板；6—滤光片

就反映了反射镜 1 对光轴偏转角的变化。

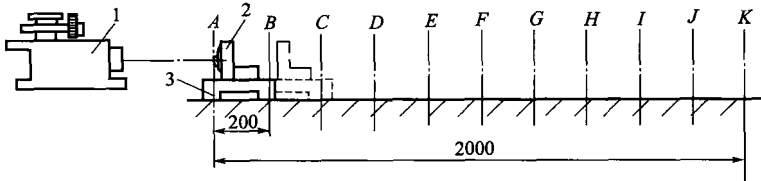
(4) 自准直仪的使用

使用自准直仪检验工件表面的直线度，实质上是测量反射镜在工件表面前后各个位置的角度偏差，然后推算出工件表面与理想直线之间的偏差值。

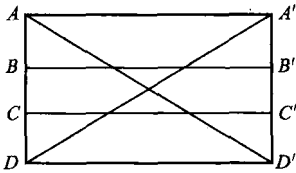
用自准直光管和一个反射镜组成的自准直仪进行直线度的测量。其测量方法是将被测工件表面的全长等分成若干段，利用自准直原理将各段的微小倾角测出，并求得其相应的累积值，然后经处理后得出其直线度误差。图 1-8(a) 为其测量示意图。检验前首先建立测量基准视线（即测量基准），将自准直仪 1 固定在被测工件的一端，或固定在靠近一端的支架上，并使其与反射镜 2 在同一高度。先把反射镜 2 放在靠近自准直仪 1 的一端 A 处，并调整到成像与十字线对准，再把反射镜移到另一端 K 处，调整到成像与十字线对准，如此反复调整，直到两端 A、K 处都对准为止。然后将反射镜 1 放到各段位置（首尾相连），测量各段的倾斜度，即能推算出直线度误差。



(a) 自准直仪测量示意



(b) 光学平直仪测量示意



(c) 平面度测量示意

图 1-8 用自准直仪和光学平直仪检验

1—自准直仪（图 a）、光学平直仪（图 b）；2—反射镜；3—支承板

1.2.5 光学平直仪

光学平直仪是根据自准直原理制成的，其光学系统如图 1-9 所示，属于双分划板式自准直仪的一种。与图 1-6 所示的自准直仪系统的区别只是目镜和光源互换了位置，便于由上往下观察。此外也缩短了仪器长度，使仪器做成箱形，内部结构使光路经两次反射。在光源前的分划板 9 上刻有透明的十字线。在目镜 5 下采用一块固定分划板 7 和一块活动分划板 6。在固定分划板 7 上刻有“分”的刻度，在活动分划板 6 上有一条用来对准十字线成像的刻线。拧动测微螺杆 4 可使活动分划板移动。如果活动分划板 6 上的刻线对准十字线成像的中心时，就可从目镜 5 中读出“分”值，而从读数鼓筒 3 上读出“秒”值。即读数鼓筒 3 上的一个分度，相当于反射镜法线对光轴偏角  $1''$  ( $0.005\text{mm/m}$ )。