

## 内 容 简 介

本书比较详细地叙述了制造精密机床的四种基础技术，即几何精度、长度基准、圆分度和圆度产生的基本原理。并介绍了各种高精度元件的设计、制造和计量。

还介绍了高精度万能测量机的工作方法和应用。

本书可供从事精密机床和精密仪器的设计、工艺、计量及研究工作的技术人员参考，也可作为大专院校的教学参考书。

FOUNDATIONS OF MECHANICAL ACCURACY

Wayne, R. Moore

The Moore special Tool Company 1970

\*

### 机械精度基础

[美]韦恩 R 穆尔 著

北京机床研究所 译

\*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

\*

787 × 1092 <sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 16<sup>1</sup>/<sub>2</sub> 378 千字

1977年10月第一版 1977年10月第一次印刷 印数：00,001—22,500 册

统一书号：15034·1510 定价：1.70元

## 译者的话

高精度精密机床作为一种工作母机是各种机械获得精度的基础，此类机床又是以精确的几何精度、长度、圆分度和圆度为基础。因此，要使机器达到高精度，必须从上述四方面着手，提高设计和工艺水平。我们遵循伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，配合我国高精度精密机床及精密加工工艺的进一步发展，翻译了这一本书。

本书内容是以穆尔（Moore）公司的生产实际为主。穆尔公司制造座标镗床、座标磨床、万能测量机及专用工具等产品。全书共分五章，多从精度基础的原理出发，结合该公司的生产，以大量图例介绍了提高几何精度的研具、基准检具和计量方法；各种长度和圆分度基准的制造及计量，尤其是标准丝杠和1440齿小角度分度器；圆度对尺寸精度及配合精度的影响，保证主轴真圆度的结构及工艺措施。还阐述了万能测量机的使用原理，结构设计及制造工艺。

原书中有些宣扬资本主义生产方式以及与技术内容无关的部分，尽量作了删改。对于本书，我们应当批判地阅读。

本书在译、校过程中，还得到北京第二机床厂、清华大学精密仪器系机床教研组和计量科学研究院等单位的协助，谨致谢意。

由于我们业务水平所限，书中可能存在一些错误，恳请读者批评指正。

# 目 录

说 明 .....	9
四种机械技术 .....	10

## 第一章 几何精度

环境对铸铁的影响 .....	13
一、铸造技术 .....	13
二、铸铁的加工 .....	14
三、弹性变形 .....	15
四、温度和不稳定性 .....	15
第一节 平板 .....	16
一、基准平板的制作 .....	20
用十五分钟时间检查平面度 .....	24
二、花岗岩平板 .....	25
花岗岩与潮湿 .....	25
第二节 平尺 .....	26
一、历史上的形式之一 .....	27
二、历史上的形式之二 .....	27
三、创制基准平尺 .....	28
第三节 凹双V形基准 .....	29
角形 .....	31
倾斜 .....	31
中心距 .....	34
垂直面和水平面内的直线性 .....	35
水平面内的平行性 .....	36
垂直面内的平行性 .....	37
第四节 机床设计 .....	39
一、坐标定位 .....	39
二、机床精度在于几何精度 .....	39
直线移动 .....	39
移动的垂直度是影响定位精度的一个因素 .....	42
温度对机床几何精度的影响 .....	42
三、机床结构 .....	42
双柱坐标镗床 .....	43
卧式坐标镗床 .....	44
单柱坐标镗床 .....	45
四、机床导轨设计 .....	46
V形和平面导轨 .....	47
镶条导轨 .....	47
中央V形导轨 .....	48

双V形导轨	48
90°V形导轨	49
第五节 穆尔(Moore) 3号机床的设计	49
一、刮研基准	51
床身	52
十字滑座	52
工作台	54
立柱	55
主轴箱体	55
二、最后的几何精度	56
基准研具	57
电子测微仪和自准直仪	58
最后的检查	68
<b>第二章 长度基准</b>	
世界各主要国家的标准局	75
国际权度局的职能、活动范围和目的	76
英国国家物理研究所的业务工作	76
德意志联邦共和国物理技术研究院(PTB)尺寸的度量	77
美国国家标准局的职能活动范围和目的	78
第一节 法定长度标准	78
一、米制系统	79
二、国际标准	79
三、光波——绝对的标准	81
第二节 在标准局内测量实物标准	86
一、精密刻线尺	87
二、端面标准量规	87
三、精密刻线尺与端面标准量规的相对优点	88
四、和国际标准——光波的关系	89
五、比较条件	91
环境	91
标准所用的材料	93
微量几何学——它与长度测量的关系	96
六、在标准测量中的弹性变形	102
第三节 座标镗床的发展与穆尔的长度基准	110
一、座标镗床的发展	110
瑞士——座标镗床, 西浦(SIP)公司和迪克西(Dixi)公司	110
1917年的普拉特·惠特尼(Pratt & Whitney)座标镗床	113
1932年的穆尔(Moore)座标镗床	115
1940年的穆尔(Moore)座标磨床	115
万能测量机的引用	116
锥形测头测量机(CMM)	118
二、穆尔(Moore)长度标准的建立	118
第四节 温度控制	122
一、测量机实验室	124
分层问题	124

设计特点	126
控制温度的地板	127
二、标准室(地下室)	128
温度 68°F[20℃] 的重要性	129
<b>第五节 精度的传递</b>	<b>131</b>
一、温度的预防措施	131
二、传递的方法	133
三、细分步距规	134
四、步距规在国家标准局检查	135
五、第二代步距规	135
六、穆尔(Moore)的步距规	135
设计考虑	135
<b>第六节 穆尔(Moore)测量机长度测量元件的选择</b>	<b>136</b>
一、端面测量	136
二、精密刻线尺	136
三、定位丝杠	137
磨损问题	137
发热问题	137
四、激光干涉仪	137
<b>第七节 穆尔(Moore)的定位丝杠</b>	<b>138</b>
一、定位丝杠的材料	138
氮化合金钢的性能	138
二、定位丝杠的螺纹磨削	141
三、螺纹的研磨	143
四、丝杠的螺母	144
五、丝杠的找正	145
六、用步距规校对丝杠	146
七、周期误差	147
周期误差的检查	149
八、穆尔(Moore)专业研磨人员	150

### 第三章 圆分度

<b>第一节 第三种机械技术的特性</b>	<b>152</b>
一、圆分度和正弦原理	152
二、目前有关常用的角度量级系统的由来	152
三、六十进制制在数学上的不便性	155
<b>第二节 圆分度的自检原理</b>	<b>156</b>
一、用分规等分圆周	156
二、圆分度的计量原理	156
<b>第三节 正弦原理</b>	<b>158</b>
一、直角三角形	159
二、正弦原理的实际应用	160
正弦棒	160

三、正弦原理的局限性 .....	161
正弦工作台 .....	162
第四节 圆分度仪 .....	165
转台 .....	165
光学转台 .....	165
机械的凸轮补偿的转台 .....	166
精密蜗轮副转台 .....	166
转台旋转精度的重要性 .....	171
第五节 主要的角度基准 .....	176
一、角度块规 .....	176
二、多面体 .....	178
多面体的计量 .....	178
影响多面体精度的因素 .....	178
应用多面体来计量转台 .....	179
三、用干涉法计量转台 .....	179
四、多齿分度盘 .....	181
穆尔 1440 齿精密分度盘 .....	181
第六节 1440 齿小角度分度器 .....	193
一、设计原理 .....	194
用 1440 齿小角度分度器调整角度 .....	195
二、1440 齿小角度分度器的计量方法 .....	196
三、1440 齿小角度分度器的使用 .....	199
四、精密分度头和顶针 .....	200

## 第四章 圆 度

第一节 为什么要研究圆度? .....	202
一、不圆度的来源 .....	203
二、不圆度的性质 .....	203
第二节 圆度的测量 .....	205
直径法 .....	206
圆周界限量规 .....	206
在顶尖上旋转 .....	206
V 形块 .....	207
三点测头 .....	208
精密主轴 .....	208
第三节 两种测量主轴 .....	209
测量主轴的比较 .....	210
旋转工作台 .....	210
立式主轴 .....	211
第四节 穆尔(Moore)的万能测量机主轴 .....	212
一、具备精密主轴的必要性 .....	212
二、测量机主轴箱的设计 .....	214
主轴和套筒 .....	214
拨叉组件 .....	215
主轴的旋转 .....	215

主轴箱的移动	217
极坐标记录器	217
第五节 不仅要圆度, 还要几何精度	217
用测量机检查孔的几何形状	217
第六节 怎样对圆度下定义	221
一、圆度和表面光洁度的关系	221
二、圆度定义的比较	222

## 第五章 万能测量机工作法和应用

第一节 万能测量机使用原理	225
有利于改进制造工艺	228
工件的平面度	228
夹紧变形	228
磨削方法	229
温度变形	229
检查和机械加工方法	229
圆度与坐标位置的关系	230
精密测量和大量生产	231
第二节 万能测量机的使用方法	231
一、安装	231
二、利用坐标作为测量孔位的基础	231
以零件本身的中心作基准	231
以两个同排孔作基准	235
旋转工作法	235
测量小孔的坐标	237
标准显微镜	239
其它的光学装置	239
测量半径尺寸(找边器法)	239
找准块法	242
测量环规的三种方法	246
三、穆尔 $1\frac{1}{2}$ 号万能测量机	248
四、万能测量机的数字显示装置	249
第三节 万能测量机的应用	250
一、在万能测量机上使用角度测量仪器	250
转台	250
精密分度头和顶针	252
小型正弦工作台	252
转台装在小正弦工作台上	253
1440齿小角度分度器	254
纸带记录仪的使用	255
二、采用 3 号或 $1\frac{1}{2}$ 号基本结构的专用机床	256
第四节 4 号和 5 号万能测量机	257
一、大型万能测量机的应用	261
二、专用设计	262
72 吋测量机	262
数控测量机	263

## 内 容 简 介

本书比较详细地叙述了制造精密机床的四种基础技术，即几何精度、长度基准、圆分度和圆度产生的基本原理。并介绍了各种高精度元件的设计、制造和计量。

还介绍了高精度万能测量机的工作方法和应用。

本书可供从事精密机床和精密仪器的设计、工艺、计量及研究工作的技术人员参考，也可作为大专院校的教学参考书。

FOUNDATIONS OF MECHANICAL ACCURACY

Wayne, R. Moore

The Moore special Tool Company 1970

\*

### 机械精度基础

[美]韦恩 R 穆尔 著

北京机床研究所 译

\*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

\*

787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张16<sup>1</sup>/<sub>2</sub> 378千字

1977年10月第一版 1977年10月第一次印刷 印数：00,001—22,500册

统一书号：15034·1510 定价：1.70元



## 译者的话

高精度精密机床作为一种工作母机是各种机械获得精度的基础，此类机床又是以精确的几何精度、长度、圆分度和圆度为基础。因此，要使机器达到高精度，必须从上述四方面着手，提高设计和工艺水平。我们遵循伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，配合我国高精度精密机床及精密加工工艺的进一步发展，翻译了这一本书。

本书内容是以穆尔（Moore）公司的生产实际为主。穆尔公司制造座标镗床、座标磨床、万能测量机及专用工具等产品。全书共分五章，多从精度基础的原理出发，结合该公司的生产，以大量图例介绍了提高几何精度的研具、基准检具和计量方法；各种长度和圆分度基准的制造及计量，尤其是标准丝杠和1440齿小角度分度器；圆度对尺寸精度及配合精度的影响，保证主轴真圆度的结构及工艺措施。还阐述了万能测量机的使用原理，结构设计及制造工艺。

原书中有些宣扬资本主义生产方式以及与技术内容无关的部分，尽量作了删改。对于本书，我们应当批判地阅读。

本书在译、校过程中，还得到北京第二机床厂、清华大学精密仪器系机床教研组和计量科学研究院等单位的协助，谨致谢意。

由于我们业务水平所限，书中可能存在一些错误，恳请读者批评指正。

# 目 录

说 明 .....	9
四种机械技术 .....	10

## 第一章 几何精度

环境对铸铁的影响 .....	13
一、铸造技术 .....	13
二、铸铁的加工 .....	14
三、弹性变形 .....	15
四、温度和不稳定性 .....	15
第一节 平板 .....	16
一、基准平板的制作 .....	20
用十五分钟时间检查平面度 .....	24
二、花岗岩平板 .....	25
花岗岩与潮湿 .....	25
第二节 平尺 .....	26
一、历史上的形式之一 .....	27
二、历史上的形式之二 .....	27
三、创制基准平尺 .....	28
第三节 凹双V形基准 .....	29
角形 .....	31
倾斜 .....	31
中心距 .....	34
垂直面和水平面内的直线性 .....	35
水平面内的平行性 .....	36
垂直面内的平行性 .....	37
第四节 机床设计 .....	39
一、坐标定位 .....	39
二、机床精度在于几何精度 .....	39
直线移动 .....	39
移动的垂直度是影响定位精度的一个因素 .....	42
温度对机床几何精度的影响 .....	42
三、机床结构 .....	42
双柱坐标镗床 .....	43
卧式坐标镗床 .....	44
单柱坐标镗床 .....	45
四、机床导轨设计 .....	46
V形和平面导轨 .....	47
镶条导轨 .....	47
中央V形导轨 .....	48

双V形导轨	48
90°V形导轨	49
第五节 穆尔(Moore) 3号机床的设计	49
一、刮研基准	51
床身	52
十字滑座	52
工作台	54
立柱	55
主轴箱体	55
二、最后的几何精度	56
基准研具	57
电子测微仪和自准直仪	58
最后的检查	68
<b>第二章 长度基准</b>	
世界各主要国家的标准局	75
国际权度局的职能、活动范围和目的	76
英国国家物理研究所的业务工作	76
德意志联邦共和国物理技术研究院(PTB)尺寸的度量	77
美国国家标准局的职能活动范围和目的	78
第一节 法定长度标准	78
一、米制系统	79
二、国际标准	79
三、光波——绝对的标准	81
第二节 在标准局内测量实物标准	86
一、精密刻线尺	87
二、端面标准量规	87
三、精密刻线尺与端面标准量规的相对优点	88
四、和国际标准——光波的关系	89
五、比较条件	91
环境	91
标准所用的材料	93
微量几何学——它与长度测量的关系	96
六、在标准测量中的弹性变形	102
第三节 坐标镗床的发展与穆尔的长度基准	110
一、坐标镗床的发展	110
瑞士——坐标镗床, 西浦(SIP)公司和迪克西(Dixi)公司	110
1917年的普拉特·惠特尼(Pratt & Whitney)坐标镗床	113
1932年的穆尔(Moore)坐标镗床	115
1940年的穆尔(Moore)坐标磨床	115
万能测量机的引用	116
锥形测头测量机(CMM)	118
二、穆尔(Moore)长度标准的建立	118
第四节 温度控制	122
一、测量机实验室	124
分层问题	124

设计特点	126
控制温度的地板	127
二、标准室(地下室)	128
温度 68°F[20℃] 的重要性	129
<b>第五节 精度的传递</b>	<b>131</b>
一、温度的预防措施	131
二、传递的方法	133
三、细分步距规	134
四、步距规在国家标准局检查	135
五、第二代步距规	135
六、穆尔(Moore)的步距规	135
设计考虑	135
<b>第六节 穆尔(Moore)测量机长度测量元件的选择</b>	<b>136</b>
一、端面测量	136
二、精密刻线尺	136
三、定位丝杠	137
磨损问题	137
发热问题	137
四、激光干涉仪	137
<b>第七节 穆尔(Moore)的定位丝杠</b>	<b>138</b>
一、定位丝杠的材料	138
氮合金钢的性能	138
二、定位丝杠的螺纹磨削	141
三、螺纹的研磨	143
四、丝杠的螺母	144
五、丝杠的找正	145
六、用步距规校对丝杠	146
七、周期误差	147
周期误差的检查	149
八、穆尔(Moore)专业研磨人员	150

### 第三章 圆 分 度

<b>第一节 第三种机械技术的特性</b>	<b>152</b>
一、圆分度和正弦原理	152
二、目前有关常用的角度量级系统的由来	152
三、六十进制制在数学上的不便性	155
<b>第二节 圆分度的自检原理</b>	<b>156</b>
一、用分规等分圆周	156
二、圆分度的计量原理	156
<b>第三节 正弦原理</b>	<b>158</b>
一、直角三角形	159
二、正弦原理的实际应用	160
正弦棒	160

三、正弦原理的局限性 .....	161
正弦工作台 .....	162
<b>第四节 圆分度仪 .....</b>	<b>165</b>
转台 .....	165
光学转台 .....	165
机械的凸轮补偿的转台 .....	166
精密蜗轮副转台 .....	166
转台旋转精度的重要性 .....	171
<b>第五节 主要的角度基准 .....</b>	<b>176</b>
一、角度块规 .....	176
二、多面体 .....	178
多面体的计量 .....	178
影响多面体精度的因素 .....	178
应用多面体来计量转台 .....	179
三、用干涉法计量转台 .....	179
四、多齿分度盘 .....	181
穆尔 1440 齿精密分度盘 .....	181
<b>第六节 1440 齿小角度分度器 .....</b>	<b>193</b>
一、设计原理 .....	194
用 1440 齿小角度分度器调整角度 .....	195
二、1440 齿小角度分度器的计量方法 .....	196
三、1440 齿小角度分度器的使用 .....	199
四、精密分度头和顶针 .....	200

## 第四章 圆 度

<b>第一节 为什么要研究圆度? .....</b>	<b>202</b>
一、不圆度的来源 .....	203
二、不圆度的性质 .....	203
<b>第二节 圆度的测量 .....</b>	<b>205</b>
直径法 .....	206
圆周界限量规 .....	206
在顶尖上旋转 .....	206
V 形块 .....	207
三点测头 .....	208
精密主轴 .....	208
<b>第三节 两种测量主轴 .....</b>	<b>209</b>
测量主轴的比较 .....	210
旋转工作台 .....	210
立式主轴 .....	211
<b>第四节 穆尔(Moore)的万能测量机主轴 .....</b>	<b>212</b>
一、具备精密主轴的必要性 .....	212
二、测量机主轴箱的设计 .....	214
主轴和套筒 .....	214
拨叉组件 .....	215
主轴的旋转 .....	215

主轴箱的移动	217
极坐标记录器	217
第五节 不仅要圆度, 还要几何精度	217
用测量机检查孔的几何形状	217
第六节 怎样对圆度下定义	221
一、圆度和表面光洁度的关系	221
二、圆度定义的比较	222

## 第五章 万能测量机工作法和应用

第一节 万能测量机使用原理	225
有利于改进制造工艺	228
工件的平面度	228
夹紧变形	228
磨削方法	229
温度变形	229
检查和机械加工方法	229
圆度与坐标位置的关系	230
精密测量和大量生产	231
第二节 万能测量机的使用方法	231
一、安装	231
二、利用坐标作为测量孔位的基础	231
以零件本身的中心作基准	231
以两个同排孔作基准	235
旋转工作法	235
测量小孔的坐标	237
标准显微镜	239
其它的光学装置	239
测量半径尺寸(找边器法)	239
找准块法	242
测量环规的三种方法	246
三、穆尔 $1\frac{1}{2}$ 号万能测量机	248
四、万能测量机的数字显示装置	249
第三节 万能测量机的应用	250
一、在万能测量机上使用角度测量仪器	250
转台	250
精密分度头和顶针	252
小型正弦工作台	252
转台装在小正弦工作台上	253
1440齿小角度分度器	254
纸带记录仪的使用	255
二、采用 3 号或 $1\frac{1}{2}$ 号基本结构的专用机床	256
第四节 4 号和 5 号万能测量机	257
一、大型万能测量机的应用	261
二、专用设计	262
72 吋测量机	262
数控测量机	263

## 说 明

在本书全文中，极力在适宜的场合下，对每个尺寸都列出公制和英制的等量数字。这种换算数值并不完全相等，但都圆整到接近的有效数字。

为此采用一个专用的括号。

例如：

10微吋〔0.00025毫米〕；

100毫米〔3.937吋〕；

20°C〔68°F〕。

希望这样能对于某种度量制度较为熟悉的读者提供更大的便利。

但在那些由于换算的数值会引起混乱或无助于理解的地方，则予以省略掉。

## 四种机械技术

我们常面对着形形色色的测量装备和测量技术而感到迷惑。但不管需要如何，总是趋向于把测量过程本身所具有基本的简单本质掩盖起来。

作为一个工具制造者，我们认为自己是能对测量的意义和重要性“作出准确的说明”，即一方面做到如何把测量仪器简化到它最简单的形式，并同时能够说明先进的机构和测量科学本身在这些仪器中是如何体现的。

测量技术是和人类文明的进步密切联系着的，特别是制造的互换性方面。这里所谈到的概念当其达到最高水平时，是有助于发展最高限度的宇宙科学知识的。例如这些原理已运用于制造刻划机，而用以刻划出目前所能达到的最精密级的光栅，这种光栅和天文望远镜配合，可对来自最遥远星球的光波进行分析。

测量概念的解释，在很大程度上是来自实践。在这种情况下，我们可能考虑得不够细致，甚至忽略了别人可能认为是更为重要的方面，但仍然希望读者对于测量的整个概念能获得更好的连贯性和更完整的理解。

穆尔 (Moore) 公司制造机床的目标是要使其精度达到立方体概念<sup>●</sup>。它的座标精度比以前曾经达到的允差要高得多。立方体的允差在  $11 \times 18 \times 17$  吋内约为 25 微吋〔在  $279 \times 457 \times 432$  毫米内为 0.0006 毫米〕。

只要提一下计量室用单块规的最高允差，就可以评价上述任务的艰巨性，这种块规每吋长允差为  $\pm 0.000001$  (1 微吋)〔每 25 毫米允差为 0.000025 毫米〕或者在 18 吋内大约 18 微吋〔45 毫米内为 0.00046 毫米〕(假定这样大尺寸块规真能做到这个允差范围的话)。

此外，这不但是一个“静止的”立方体，而是一个“活动的”立方体，在这个立方体内各座标必须具有 25 微吋〔0.0006 毫米〕的位移精度，包括立方体内无数线段的直线性和垂直性，见图 1。

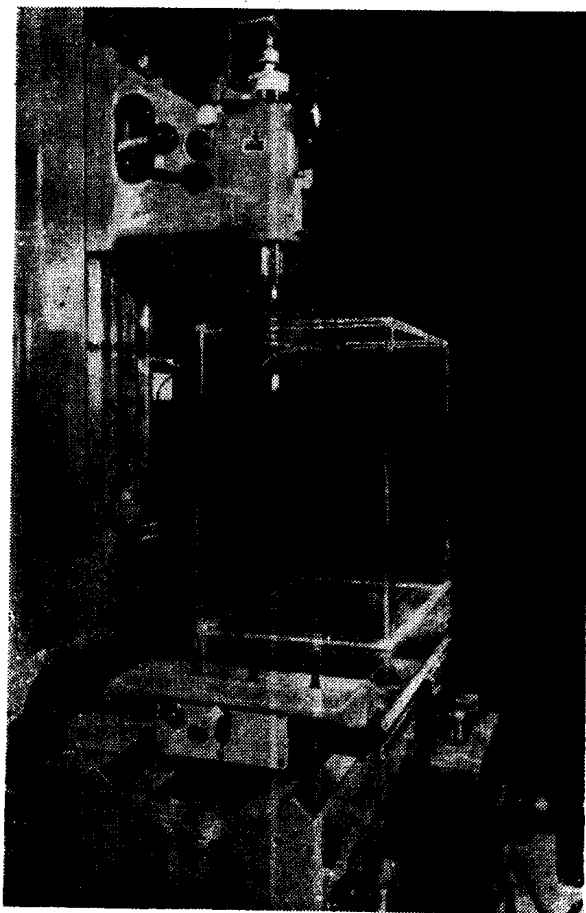


图 1 万能测量机能达到“立方体概念”的精度，主要靠分别掌握四种机械技术——几何精度、长度、圆分度和圆度

● Richard F. Moore 和 Frederick C. Victory 著《孔、轮廓和表面》，穆尔专用工具公司出版，1955 年第 56 页。



车间内现行的所有标准和基准都不可能达到这种所期望的精度。经过全面的研究后得出一个结论：必须回到根本标准上去，并从头做起。

这个过程形成了我们论述的基础。

为了获得这种新一代的精度，并把它最大限度地应用到万能测量机上去，要求分别掌握以下四种机械“技术”。

1. 几何精度。

2. 长度标准。

3. 圆分度。

4. 圆度。

1. 几何精度 机床的全部几何精度是以平面为基础的。我们熟悉的平板就是它的具体体现。从平板才导出平尺、方尺、刮研基准和机床导轨。

2. 长度标准 重点是机床测量元件如何达到精度，穆尔公司是着重于丝杠。在采用丝杠系统的过程中，所有长度测量标准的形式都曾考虑使用过，诸如：块规、标准量块、精密尺和光波干涉测量仪。

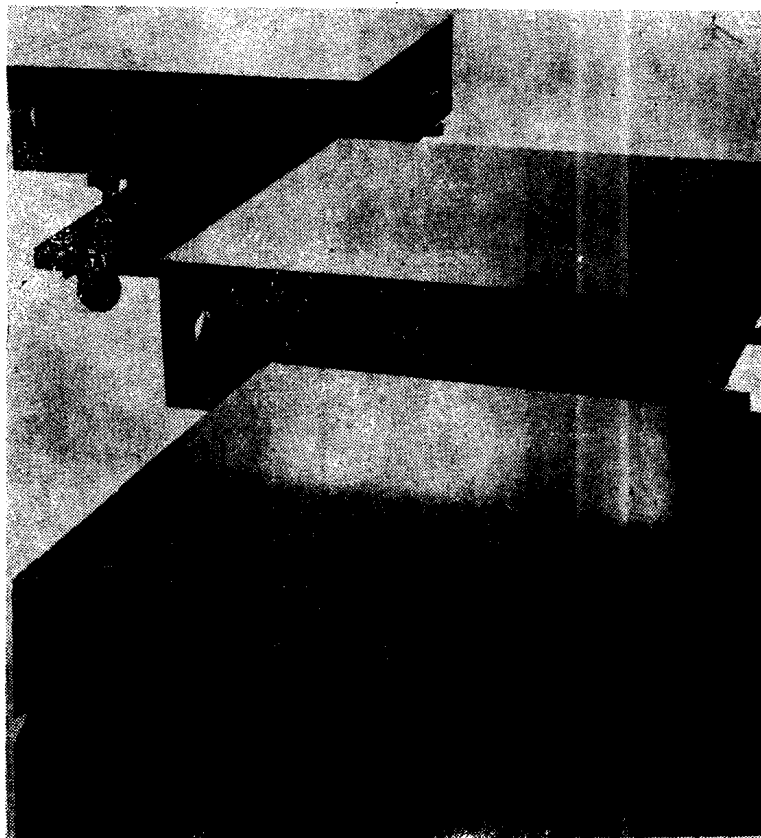


图2 平面是所有几何精度的基础，实际上也是所有尺寸测量的基础。平面度是由三块平板互相交叉刮研而创制出来的。图示三块48吋〔1219毫米〕的基准平板是采用稳定的铸铁制成的，呈正方形，它的箱形结构具有极大的刚性

3. 圆分度 精密圆分度是所有计量室和机器车间所需要的。它也和精密的立方体概念相关联着，因为坐标镗床类的机床必须进行坐标测量和具有角度测量的装备。

4. 圆度 精密机床的许多机械零件，特别是它们的主轴必须达到真圆。在这里，圆度