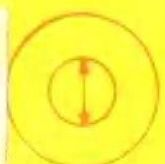
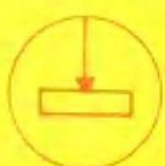
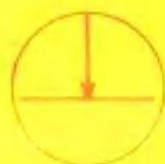


精密测量 技术

〔苏〕 H. H. 马尔科夫 合著
Г. М. 冈聂夫斯基

机械工业出版社



精密测量技术

[苏] H. H. 马尔科夫 合著
Г. М. 冈聂夫斯基
杜方炯 鲁绍曾 合译

机械工业出版社

本书系统叙述机器制造中的精密测量技术，包括：测量、测量单位和测量器具的发展，测量误差分析，通用和专用测量器具，各种不同形式的位移转换器，以及齿轮、螺纹、表面粗糙度、形位误差等精密测量仪器。

本书主要供给各级计量部门的检定人员和机器制造工厂计量室及生产车间的检定、检验人员使用。本书业经苏联机床与工具制造工业部审定为机器制造中等专业学校教科书，也可做为大专院校精密测量系教学参考用书。

КОНСТРУКЦИЯ, РАСЧЕТ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ И ПРИБОРОВ

Н. Н. МАРКОВ Г. М. ГАНЕВСКИЙ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МАШИНОСТРОЕНИЕ», 1981.

* * *

精密测量技术

〔苏〕 Н. Н. 马尔科夫 合著
Г. М. 冈聂夫斯基

杜方炯 鲁绍曾 合译

*

责任编辑 贡克勤

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 $11^{7/8}$ · 字数 311 千字
1987年2月北京第一版·1987年2月北京第一次印刷
印数 0,001—4,560 · 定价 3.70 元

*

科技新书目： 136-121

统一书号： 15033 · 6709



译者的话

机器制造工业不断发展,国际贸易交往日益频繁,这一情况对产品质量、对零部件的制造精度和互换性都提出了更高的要求。而要达到这一要求的一项技术基础是精密测量。

目前国内关于精密测量技术方面的书籍很少。广大计量检定人员、现场检验人员以及从事这方面工作的教学人员都渴望有一本比较好的参考用书。我们翻译这本书的基本出发点就是为了满足这方面的要求。另外,还考虑了以下几点:

(1) 从内容看,本书包括的范围较全。

(2) 从叙述方式看,从基本概念、仪器结构原理、主要型号规格、检定、使用、到发展前景,层次清晰,可以使读者有一个比较系统和完整的概念。

(3) 所举仪器与国内现有仪器基本一致,易于理解。

(4) 除正文外,每章后面还附有思考题和实验作业,适合做为培训和自学用书。

(5) 本书系由苏联莫斯科机床工具学院测试与仪器制造教研室马尔科夫教授主写,1981年出版。作者较有经验,版本也比较新。

本书不仅能使读者掌握机器制造业中使用的测量器具和仪器,更可帮助进一步解决一些生产实践中遇到的测量问题。它是各级计量部门检定人员和~~机器制造厂~~计量室及生产车间检定、检验人员的必备工具书,也是培训精密测量专业中等技术人员的良好教材。

本书原文名称为《量具和量仪的~~结构~~、计算和使用》。考虑到名称和内容的一致性,~~本书名称改为~~《精密测量技术》,既包括测量器具,也包括测量方法。书中有些专业用词结合我国现有习惯

用词译出,并且尽量做到和我国现行检定规程中的用词一致起来,例如:平面平行端面长度量具译为量块,带气动转换器的测量器具译为气动量仪等等。

译者希望通过这本书的翻译出版对广大读者有所帮助。由于水平所限,错误或不妥之处在所难免,请予批评指正。

译 者

1984年12月于北京

39658

前 言

现代机器制造可以表述为以高生产率和高制造精度为特征的互换性生产。过去制造两个套装零件，采用一人手工修配办法。那个时代早已被人忘记。在互换性生产中，两个相关零件常常是不仅由不同的人，而且在不同的机床上，不同的车间里，有时甚至是在不同的城市和国家中，在不同的时间内制造的。

互换性生产的可能性由以下条件来保证：具有相应的技术文件、机床、夹具和刀具，在不同的工位上具有相应的能保证必要测量精度的测量器具，以及具有必要生产效率的操作者。

测量器具是保证可互换制品生产的基础之一。

本书所叙述的线值测量和角度测量是机器制造中的基本测量类别。

线值尺寸是用线值单位表示的尺寸，即米、毫米以及其他分数单位和倍数单位。

属于线值尺寸测量的有圆柱形零件直径和长度的测量，平面零件长度、宽度和高度的测量等等。

在机器制造中，所有测量的90~95%为线值尺寸测量。在电机制造中，这类测量占80%。

角度尺寸就是两个表面之间的夹角。这类测量的个别情况是测量直角的偏差和齿轮轮齿的分布精度。

线值尺寸和角度多半是在同一个零件上的测量，虽然有时候不同零件和部件的表面之间也需要测定这些尺寸。

在研制新的和改进现有的测量器具时，在生产和使用这些测量器具时，主要任务应该是为了提高现代生产的效率和质量。

本教科书就是要促进完成这一最重要的任务。在编写本书时，作者力图编出这样一本教科书，它与这一问题的专题著作具有一

系列的原则性区别。作者认为区别在于，本教科书中几乎没有严格地引用某一工厂生产的各种具体测量器具的技术特性数据。因为这些数据会比较快地过时。如果有需要，可以从原始资料，即工厂的技术文件中直接获得。作者采用了使学生能更好地理解 and 掌握材料的方式进行讲述。学生必须掌握的基本材料都用黑体字标出。主要注意力放在叙述测量器具的原理特点上，较少描述很快就要变化的测量器具的具体结构。

本书第八章和全部实验作业由工程师 Г.М. 冈聂夫斯基编写，其他章节由技术科学博士 Н.Н. 马尔科夫教授编写。

读者的一切建议和意见请寄：107076，莫斯科，斯特罗门斯基街，4 幢，机械工业出版社。作者在此预致谢意。

目 录

前言

绪论1

第一部分 技术测量基础7

第一章 基本概念和定义7

§ 1 基本名词术语和定义7

§ 2 测量方法和测量器具的分类9

§ 3 测量仪器的一般结构10

§ 4 测量器具的计量特性11

第二章 仪器误差和仪器的测量误差14

§ 1 测量误差和仪器误差的概念14

§ 2 系统误差和随机误差15

§ 3 系统误差和随机误差的确定15

§ 4 随机误差的数字表征20

§ 5 测量结果的处理21

§ 6 测量误差的分量24

§ 7 标准温度24

第二部分 通用测量器具27

第三章 量块27

§ 1 基本原理27

§ 2 量块的结构28

§ 3 量块组, 量块的研合性及其组合28

§ 4 对量块的基本技术要求30

§ 5 量块的使用范围34

§ 6 量块的检定方法和检定器具34

第四章 测量直尺和游标量具36

§ 1 金属尺36

§ 2 游标量具	38
实验作业 No. 1 用游标卡尺测量	49
第五章 机械式测量器具	51
(一) 测量表头	51
§ 1 带齿轮机构的测量表头, 钟表式百分表	52
§ 2 带杠杆—齿轮机构的测量表头	57
§ 3 带弹簧机构的测量表头	68
§ 4 杠杆传动的误差	80
§ 5 与测量表头联用的台架和立架	82
(二) 卡规式测量器具	85
§ 1 线值两点测量系统	85
§ 2 光滑千分尺	87
§ 3 杠杆千分尺	95
§ 4 带读数装置的卡规	99
实验作业 No. 2 用千分尺式测量器具测量	102
实验作业 No. 3 用百分表、扭簧表、杠杆千分尺和带读数 装置的卡规测量	106
(三) 内尺寸测量器具	109
§ 1 内尺寸测量的特点	109
§ 2 内尺寸测量器具的主要种类	109
§ 3 内尺寸测量的特殊测量误差分量	109
§ 4 置入式内尺寸测量器具——内径量规	112
§ 5 床式内尺寸测量仪器	121
实验作业 No. 4 用内径表测量	126
第六章 电动量仪	128
§ 1 概述	128
§ 2 电容量仪	129
§ 3 电感量仪	132
§ 4 电动量仪的优点和缺点	140
§ 5 电动量仪的发展前景	141
第七章 气动量仪	142
§ 1 概述	142

VI

§ 2	常压差气动量仪 (转子式量仪)	143
§ 3	变压差气动量仪 (压力计式量仪)	147
§ 4	气动量仪的测量机构和测量的种类	151
§ 5	气动量仪的优点和缺点	156
§ 6	气动量仪的发展前景及其使用范围	157
第八章 光学—机械量仪		160
§ 1	光学计	160
§ 2	测长仪	168
§ 3	干涉仪	172
§ 4	测长机	178
§ 5	测量显微镜	182
§ 6	投影仪	189
实验作业 No. 5 在卧式光学计上测量		194
实验作业 No. 6 在立式测长仪和立式接触式干涉仪上测量		196
第九章 通用测量器具的选择		200
§ 1	概述	200
§ 2	测量的极限误差及其分量	200
§ 3	测量误差对报废的影响	210
§ 4	测量的允许误差	214
§ 5	测量器具选择法	215
第三部分 专用测量器具		217
第十章 量规		217
§ 1	标准量规	217
§ 2	检验光滑圆柱零件的极限量规	219
§ 3	量规的优点和缺点	227
§ 4	量规的发展前景	227
第十一章 螺纹测量器量		230
§ 1	圆柱米制螺纹的基本元素	230
§ 2	螺纹的综合检验器具	231
§ 3	螺纹的单参数测量 (螺纹的微分测量)	235
实验作业 No. 7 在工具显微镜上或万能显微镜上测量螺纹		244
实验作业 No. 8 用螺纹千分尺和三针法测量螺纹中径		247

第十二章 角度测量方法及器具	252
§ 1 角度单位制	252
§ 2 角度测量方法和器具分类	252
§ 3 基于与具有常角的量具比较法测量角度的方法和器具	252
§ 4 基于与测量器具调整出的角度相比较的原理测量角度的方法和器具	258
§ 5 基于与仪器圆度盘的角度相比较的原理测量角度的方法和器具	261
§ 6 用坐标法测量角度的方法和器具及用三角函数计算角度	270
实验作业 No. 9 用角度尺和正弦尺测量角度	273
第十三章 表面形状和位置测量器具	277
§ 1 一般概念	277
§ 2 平面性偏差测量器具	277
§ 3 直线性偏差测量器具	281
§ 4 圆柱零件形状偏差测量器具	288
§ 5 表面位置偏差测量器具	292
第十四章 齿轮及其传动的测量器具	302
§ 1 概述	302
§ 2 表征运动精度的参数测量	302
§ 3 表征工作平稳性的参数测量	312
§ 4 表征接触完整性的参数测量	316
§ 5 表征侧向间隙的参数测量	318
实验作业 No. 10 测量圆柱齿轮	321
第十五章 粗糙度测量器具	327
§ 1 基本概念和定义	327
§ 2 粗糙度的参数	327
§ 3 用样板比较法确定粗糙度	328
§ 4 粗糙度的不接触测量器具	328
§ 5 粗糙度的接触测量器具	331
实验作业 No. 11 测量表面粗糙度	335
第十六章 尺寸检验自动化和机械化工具	339

§ 1 尺寸检验自动化和机械化工具的主要种类	339
§ 2 尺寸的主动检验器具	339
§ 3 自动检验机	350
§ 4 测量附件	357
第四部分 保证测量统一的基本措施	359
第十七章 检定测量器具和保证测量统一的基本知识	359
第十八章 部门的计量服务机构	363
结束语	365
参考文献	369

绪 论

可以完全有根据地设想，当人们建造住宅需要确定一块土地的面积〔6〕和到某一目标的距离时，以及制作衣服时，就产生了对测量、对制定测量单位和对使用测量器具的要求。

以前，土地是用一前一后相互紧跟的两只脚步来测量的。由此产生了长度单位名称《步》(英文为 foot，记住“football”这个词，直译是“足球”)。

人们曾采用等于大姆指宽的长度量(俄文为 дюйм——来自荷兰文 duim，直译为“大姆指”)。长度单位名称 фут (英尺)、дюйм (英寸)，直到现在还在英制中保留，美国、英国还在使用(1英寸等于1/12英尺，等于 $0.0254\text{ m} \approx 25.4\text{ mm}$)，虽然它们的意义已和原来不同。作为更小的长度单位曾采用小麦粒的长度，再小的量采用骡子毛的粗度。

所引用的不同测量单位，同时也是不同的量具，即各种测量器具的《变种》。被测的量和这些《量具》相比较就可确定物体的尺寸。

古代俄罗斯评定较大距离的长度量采用《верста》(俄里)。有人设想〔49〕，这一单词来自动词《верстать》，表示《分配》、《均分》、《用比较方法均分》(由此出现了这样一个单词 сверстник——同年人)。早在1097年的年鉴中就记载有 верста 一词。《верста》长度单位名称实际上保留到伟大的十月社会主义革命以前，虽然它的距离在不同的年代里不是固定不变的，同时人们采用的不仅是普通《俄里》，也采用《大俄里》。

与建筑和物体制造有关的更小的长度值，在古代俄罗斯度量中，有俄丈、俄尺和俄寸。

长度量《俄丈》在1017年的年鉴中提到过。这一名词来自

动词《集结》(стягать)(由此产生了现代用词《达到》достигать、《可达到的》достигаемый), 它的意思可用所谓《斜丈》(косая сажень) 来表达。斜丈等于左脚掌与伸直的右手中指顶端的距离, 实际是人站在地上所能达到的最大范围〔49〕。

更小的长度单位《俄尺》, 是肘的长度, 即由肘弯到伸直的手中指顶端的直线距离。俄尺被人们广泛采用, 特别是在用各种材料进行贸易时, 甚至在十六世纪出现《аршин》(俄尺) 以后仍在采用。

最小的长度单位是《俄寸》(пядь), 当时代表手指。人们设想, 由于手上有五个手指, 《пядь》一词像《пятерня》(手指名称) 一样, 来自同一词根《пять》。最初人们理解俄寸等于伸直的大姆指顶端和食指顶端之间直线距离的长度值。

所以, 古代俄罗斯长度测量制度包括里、丈、尺和寸, 它们有如下关系: $1 \text{ 里} = 750 \text{ 丈} = 2250 \text{ 尺} = 4500 \text{ 寸}$ 。这些量不包括所有民间测量的度量。图 1 所示是人民日常生活、小手工业、各种贸易中测量用的度量。这些量的值, 即对应于现代测量的值, 是根据最常遇到的俄罗斯男人的体高尺寸 (170 cm) 来确定的〔49〕。

在十五到十八世纪期间, 在国际交往增长的条件, 俄罗斯民族围绕莫斯科公国进行了联合, 巩固了大公国政权, 并由此产生了想采用与其他国家一致的测量单位的兴趣。

在这一时期保留了以前所采用的度量, 虽然它们的值和比例关系有一些变化, 而且出现了新的量《аршин》(俄尺), 以后逐步取代了古俄尺和古俄寸。《аршин》这一词是从东方借用过来的, 出现在十六世纪中期。这一名称的来源不能准确地确定, 但是可以设想〔49〕。它来自土耳其的长度量名称《аршим》, 或者来自波斯的长度量名称《арши》。一俄尺 аршин 的长等于 720 mm。通常 аршин 尺上刻有分度寸 (вершок)——45 mm。带寸分度值的尺在商业中占据优势。有时也采用寸的分数值半寸和四分之一寸。

基本度量					
丈	<p>152cm 普通丈</p>	<p>176 测量丈</p>		<p>216cm 斜丈 (官用)</p>	1
	<p>75cm 76cm</p>	<p>88cm</p>		<p>108cm</p>	1/2
	<p>38cm</p>	<p>44cm</p>	<p>46cm</p>	<p>54cm</p>	1/4
	<p>19cm</p>	<p>22-23cm</p>		<p>27cm</p>	1/8
辅助度量					
丈	<p>248cm 斜大丈</p>	<p>197cm 短丈</p>			
	<p>62cm</p>				
尺					

图1 俄罗斯民间度量 (B. A. 雷巴科夫)^[49]

彼得第一提出《向欧洲开放》任务的实现，导致了在十八世纪与西方的文化、科学、生产和贸易关系的大发展。这时俄国的长度量向英国的长度量靠近。俄国的量做了少许改变，与英国的量建立起简单的比例关系。由于船舶制造中广泛采用英尺量，就引用了英尺及其分数量。在这一时期，俄国的长度量可用下列方式综合表示：1 俄丈 сажень = 7 英尺 = 2133.6 mm；1 俄尺 аршин = 28 英寸 = $2\frac{1}{3}$ 英尺 = 711.2 mm；1 英尺 = 12 英寸；1 英寸 = 10 英分。

由于测量单位是自由选择的，这就导致了它的种类极为繁多。不仅各个国家有各自的单位，就是同一国家之内也不统一。例如，十月革命以前的俄国，在建筑师手册中就引用了 100 种不同的尺〔48〕。

十九世纪前夜，1799 年 12 月 10 日，发生了测量史上的巨大事件：法国革命政府颁布法令，规定在法国采用米制做为强制性度量制度。在这一制度中，取米为长度的单位。《米》是基本原始单位，所以整个单位制得名为《米制》。

米制与各国现有制度的基本原则区别在于，米制中规定长度量是十等分的。在此制度以前，基本量通常采用十二等分。在俄国，关于在俄制度量中引用十进制的建议是在法国批准米制五十余年以前提出来的〔49〕。一米等于通过巴黎的地球子午线四千万分之一（ $1/40000000$ ，即 $\frac{1}{4} \times 10^{-7}$ ）的长度。米字本身就是

由希腊语 metron 来的法语词 metre，它表示《度》。第一个基准器是用铂制成的直尺，宽约 25 mm，厚约 4 mm，两端距离为 1 m。这支米尺被送到法国档案馆保存，直到现在。因此又称它为《档案馆米尺》。但是使用《自然米》这一概念实际上是不可能的，因为甚至是测量的领导者都已发现，子午线测量（由法国的敦刻尔克到西班牙的巴塞罗那）的误差达到了 0.01%。同时，米制与其它度量制度相比较有其优越性，以及许多国家有采用国际单位

的愿望，这就促使许多欧洲、中美洲和南美洲国家采用了这一制度。对国际上采用米制有决定性影响的是俄国院士斯特鲁维、维尔多姆和雅科比的报告。他们曾代表彼得堡科学院被派到巴黎科学院去。在他们的报告中阐述了有必要制造一批新的、尽可能近似于档案馆米尺的国际米原器的思想。为了可在有关的国家中进行分配，要制造一批复制品。这项工作交给了由不同国家的代表组成的委员会。

这个委员会组织起来了，并于1870年和1872年召开了会议。在1872年，委员会决定放弃《自然》长度基准，采用《档案馆米尺》做为长度基准，即做为度量原器。按照这一基准制造了31支棒状、具有X截面的复制品（图2）。这样的形状可以保证在所有方向上的抗弯强度。在尺子内部的所谓《中性平面》上承受的弯曲力最小（图2《ab》）。靠近每一端部均有三条刻线。两条中间刻线在0°C时的距离等于一米。用来制造基准器的材料是铂（90%）和铱（10%）合金。

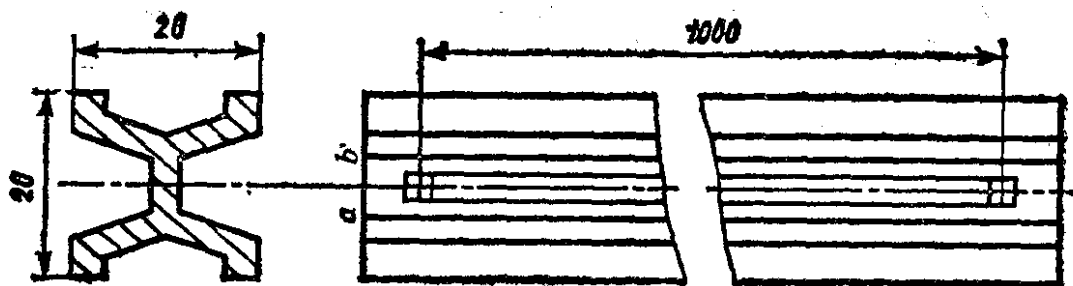


图2 米基准器

最后，在1875年5月20日，17个国家（其中包括俄国）签署了米制公约。现在有43个[⊖]国家参加了这个公约组织。在保留英制的英国和美国，也决定逐步实现向米制的过渡。俄国得到的一支复制品保存在列宁格勒门捷列耶夫全苏计量科学研究院（ВНИИМ）。在俄国，米制是自由选用的，即非强制采用不可，而且它可以和俄国的量并用。只有在伟大的十月社会主义革命以

[⊖] 截至1983年底，米制公约组织成员国共46个。中华人民共和国于1977年参加了该组织——译者注。