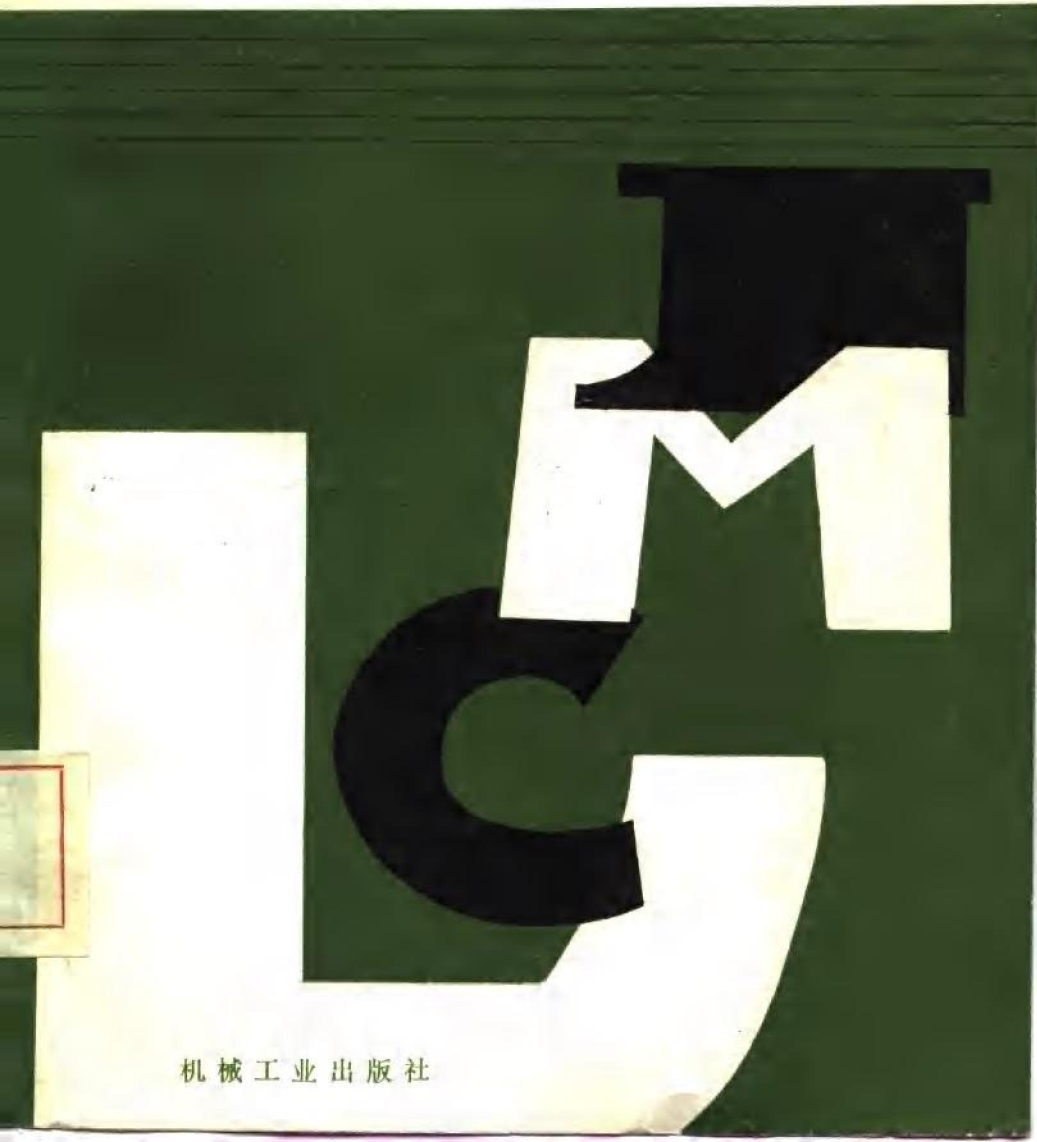


精密测量示例 练习集

〔日〕和田 尚 著



机械工业出版社

参 考 文 献

- | | |
|--|--------|
| 一瀬正巳：誤差論 | 培風館 |
| 青木保：精密測定及計測機器 | 丸善 |
| 青木保雄：精密測定（I）（II） | コロナ社 |
| 海老原敬吉：機械工作用精密測定機械・器具 | 誠文堂新光社 |
| 精機学会編：精密工作便覧（第5巻） | コロナ社 |
| 米持政忠：工作測定 | 産業図書 |
| 稲葉実・小沼実：精密測定機器と測定法 | 太陽閣 |
| 谷口修：機械計測法 | 養賢堂 |
| 安部多喜男：工業計測 | コロナ社 |
| 真島正市・磯部孝：計測法概論（上） | コロナ社 |
| 朝永良夫：寸法（上）（下） | コロナ社 |
| 中田孝：機械の数学解析 | 誠文堂新光社 |
| 太田信之：機械工場の精密測定 | 日刊工業 |
| 山本健太郎：表面アラサ | コロナ社 |
| 大越諄：表面アラサ検査法 | コロナ社 |
| 副島吉雄・米持政忠：精密測定 | 共立出版 |
| 高橋喜久雄：物理精密観測法 | 丸善 |
| 中田孝：歯車とその検査 | オーム社 |
| 中田孝：転位歯車 | 誠文堂新光社 |
| 朝永良夫・山本健太郎：長さの精密測定機器（精密工学講座Ⅲ-2, 3） | 日刊工業 |
| 運沼宏：長さ測定汎論（精密工学講座Ⅲ-1） | 日刊工業 |
| 桜井好正：光波干渉の応用測定（精密工学講座Ⅲ-4） | 日刊工業 |
| 田中重芳監修 財津正巳：歯切作業 | 産業図書 |
| 筒井俊正・神山雅英・三宅和夫・土井康弘：光学測定法（工業物理学講座，H・光学編-1） | 日刊工業 |
| S. Tolansky : An introduction to interferometry. Longmans, Green and Co. London. New York. Toronto 1955. | |
| S. Tolansky : Multiple Beam interferometry. Oxford at the Clarendon press. 1948. | |
| J. Perthen : Prüfen und Messen der Oberflächengestalt. Carl Hanser (1949). | |

译者的话

精密测试是现代工业不可缺少的专门技术工作，有关这方面的专业技术书籍正在逐步增多。本书是由日本东京都立大学工学博士和田 尚教授采用示例练习形式撰写的。出版后十年，又经再版。二十多年来，先后经过十多次印刷。可见该书是颇受读者欢迎的。

本书篇幅不太长，但涉及的专业知识广泛，以长度精密测量为主，对精密测试中的基本概念、测量方法、各类仪器的测量原理等进行了简明扼要地总结整理，每章都选列了典型例题，进行示范解答，并汇集了许多练习题留给读者去完成。本书练习较多，要求初学者应具有一定的专业实践知识。由于本书采用示范练习的形式，因而定会引起读者学习和思考的兴趣。它可供从事该专业工作和学习的广大读者参考。

原书中的错误在中译本中作了改正，重要的地方还加了注。为了阅读方便，结合我国国情，译者注中还对应于日本工业标准 JIS 介绍了我国国家标准 GB。翻译中一些专业名词术语尽量与我国最新标准相对应，谨请读者注意。

本书由吴继宗教授进行了精心审校。在本书的翻译过程中还得到了叶声华、王士音等同志的许多帮助，在此一并表示感谢。

由于译者水平所限、时间仓促，对译文中的不当和错误之处，恳请读者批评指正。

徐 炳 亭
一九八四年二月

序

以惊人的速度发展着的现代工业都离不开机械，而机械是由螺纹、齿轮等这些机械要素和零件构成的。精密测量就是对机械要素和零件在加工中或加工后为满足互换性而进行测量的技术。精密测量在现代工业中看起来似乎是不引人注目的技术，但却是非常重要的工作。可是，以精密测量命名的书籍与其它专业的书籍比起来，在我国却不多，特别是精密测量练习一类的书籍几乎更见不到。

已出版的书籍一般是讲述机械计测的基础理论、测量仪器的构造说明、机械各部分的测量方法，而本书则对基础理论、测量仪器的精度、根据机械各部分测得的数据算出所求的目的量、测量方法和检查方法等有关问题，采用问答的形式加以阐述，以进一步加深理解。为此，在每一章首先讲述一些基础事项，选录一些例题进行解答，然后再给出一些练习题，并附其答案。虽然说是机械工程学的问题，而测量仪器却大多是利用光学、电学的原理，因此，这些内容也做为一些问题列出，以求得理解。

精密测量正如概论所叙述的那样，几乎都可以归纳为长度的测量。因而在本书中第一章定为长度测量，第二章取为角度测量。也就是说根据长度和角度就可以知道机械要素及零件的主要形状。后面的几章，考虑多样性以引起读者的兴趣，便把机械要素和机械表面的问题、圆柱的圆度问题等作为练习题，并穿插编入一些相关的更为深入的内容。

笔者一动笔就深切地感到：以进一步加深对精密测量的理解为目的，而采用练习题的形式写出来，这种学问在性质上是相当困难的。何况基于笔者肤浅的知识，深知写出来的东西无论如何也不能说是满意的。笔者本人希望今后将会出版内容更为丰富的

IV

精密测量练习之类的书籍。

本书既有很容易的问题，也有稍难一些的问题。凡是认为稍难一些的问题都加了*号注。因此，页数虽然不多，而尝试以工业高级学校到工科大专、大学的学生这些广泛的读者为对象。此外，当执笔撰写本书时，使用了许多参考书，承蒙采用了后面和脚注中所列的论文、参考书及标准等这些文献的内容，在此谨对其著者表示衷心地感谢！

最后谨向为期望本书发行而付出很大努力的产业图书株式会社编辑部的诸位先生表示深情地感谢！

著者 1963年1月

写在第二版之际

本书初版以来，经过七次再版至今已整十年了！在此期间由于精密测量仪器取得了惊人的进步，所以进行修订则属势在必行。然而，本书的目的原以理解掌握精密测量方法的基本问题为特色，仅从这方面来讲修订就未必有其必要。但是，现在第二章中的配合和极限量规、第七章的表面粗糙度必须遵循新 JIS 标准（JIS 为日本工业标准——译者注），所以修改这些地方就深感有其必要了。还有第四章中的螺纹中径测量，只是过去的计算公式，精度不够高，需要补正。以上诸点虽然是部分问题，但却是重要的问题，准备有效地修改这些必要的地方。

在修订时，承蒙采用了脚注所载列的论文、标准以及著作的一些内容，在此对各位著者表示深情地感谢！同时，向产业图书各位编辑先生致以衷心地感谢！

著者 1973年2月

凡 例

(1) 本书第一章为概论、第二章为长度测量、第三章为角度测量、第四章为螺纹测量、第五章为平面度及直线度测量、第六章为圆度测量、第七章为表面粗糙度测量、第八章为齿轮测量。每一章都首先简述该章内容概要, 然后适当分为数节来解答问题。并把必要的基础事项都归纳在一起, 有关的例题附在该节内。每一章还汇集了一些练习题。

(2) 公式、图表、例题、练习题等均按章编号。

(3) “测量”这门学问在性质上要应用许多专业领域的技术, 因此, 所采用的符号不一定是统一的 (比如: 半径为 r 、 R , 而振幅反射率为 r 、强度反射率为 R 。螺纹的螺距为 p , 而齿轮的周节为 t 。角度也不一定是一个符号, 而是根据具体情况采用惯用的符号。)

(4) 本书所采用的部分有代表性的符号如下:

半径: r 、 R

直径: d 、 D

长度: l 、 L 、 d

角度: θ 、 γ 、 α 、 β 、 φ 、 ϕ

长度单位: mm 、 μm 、 m

宽度: b

厚度: t 、 d

高度: h 、 H

中心: O

坐标轴: X 、 Y 、 Z , x 、 y 、 z

节距: p 、 t

次数: n

折射率: n

齿数: Z

模数: m

齿间角: α

移距系数: x

粗糙度最大高度: R_{max}

中线深度: R_p

粗糙度均方根高度: H_{rms}

粗糙度中线平均高度: R_a

形状系数: K

波长: λ

压力: P

振幅反射率: r

强度反射率: R

目 录

译者的话

序

写在第二版之际

凡 例

参考文献

第一章 概论	1
§ 1-1 精密测量的概念.....	1
§ 1-2 测量和检验.....	1
§ 1-3 长度基准.....	2
§ 1-4 测量值的概念和处理方法.....	3
第二章 长度测量	8
§ 2-1 温度影响的补偿.....	8
基础事项	8
练习题(2·I)	10
§ 2-2 测量力的影响	11
基础事项.....	11
一、压缩变形.....	11
二、弯曲变形.....	12
练习题(2·I)	17
§ 2-3 测长机的误差	18
基础事项.....	18
练习题(2·II)	21
§ 2-4 尺寸公差和配合	22
基础事项.....	22
一、尺寸公差和配合的术语及定义.....	22
二、孔、轴类别、等级与代号及其表示法.....	26
三、500mm 以下的尺寸公差和尺寸偏差及配合	26
四、尺寸大于500mm 至3150mm 的公差及尺寸偏差	30

练习题(2·Ⅳ)	36
§ 2-5 极限量规尺寸基础	38
基础事项	38
一、术语和定义	39
二、用极限量规检验合格与否的判定	40
三、极限量规公差的基本数值	40
四、孔、轴公差等级和极限量规公差等级的关系	41
五、新制极限量规的孔、轴公差内的磨损量及极限量规的 磨损极限尺寸偏差	41
六、孔、轴公差和极限量规公差的公差带关系	44
七、新制极限量规的上偏差及下偏差的计算公式	45
练习题(2·Ⅴ)	47
§ 2-6 量块的光波干涉测量法	48
基础事项	48
一、比较测量	48
二、绝对测量	49
练习题(2·Ⅵ)	53
§ 2-7 比较仪	53
基础事项	53
一、比较测量	53
二、比较仪	54
三、百分表的检定	55
练习题(2·Ⅶ)	62
§ 2-8 外径及内径测量	64
基础事项	64
一、外径测量	64
二、内径测量	65
练习题(2·Ⅷ)	70
第三章 角度测量	72
§ 3-1 三角测量法	72
基础事项	72
一、正弦尺	72
二、正切尺	72

三、圆柱量规测量法	73
§ 3-2 圆锥测量	75
基础事项	75
一、圆锥锥度的定义	75
二、外锥度	75
三、内锥度	76
§ 3-3 自准直仪	79
基础事项	79
§ 3-4 垂直度	83
基础事项	83
一、垂直度的定义	83
二、垂直度的表示法	83
§ 3-5 刻度盘	86
基础事项	86
一、刻度盘的测量误差	86
二、刻度盘误差的测量	87
练习题 (3)	89
第四章 螺纹测量	94
§ 4-1 螺纹的种类和测量要素	94
基础事项	94
一、螺纹的种类	94
二、测量要素	94
§ 4-2 中径补偿值	97
基础事项	97
§ 4-3 圆柱外螺纹	99
基础事项	99
一、中径	99
二、螺距	101
§ 4-4 圆柱内螺纹	104
基础事项	104
一、中径	104
二、螺距	105

§ 4-5 圆锥外螺纹	107
基础事项	107
一、圆锥螺纹塞规的外径测量	107
二、圆锥螺纹塞规的中径测量	108
练习题 (4)	109
第五章 平面度及直线度	112
§ 5-1 水平仪测量法	112
基础事项	112
§ 5-2 自准直仪测量法	115
基础事项	115
§ 5-3 钢丝测量法	117
基础事项	117
§ 5-4 光学平晶测量法	119
基础事项	119
练习题 (5)	123
第六章 圆度测量	127
§ 6-1 半径测量法	127
基础事项	127
§ 6-2 三点测量法	130
基础事项	130
练习题 (6)	134
第七章 表面粗糙度测量	137
§ 7-1 表面粗糙度的表示法	137
基础事项	137
一、粗糙度最大高度	137
二、粗糙度十点平均高度	139
三、粗糙度中线平均高度	140
四、其它表示法	142
§ 7-2 光波干涉法	146
基础事项	146
一、干涉显微镜	146
二、干涉条纹的强度分布	147

三、测量法	149
四、粗加工表面的光波干涉测量法	150
§ 7-3 光切法	152
基础事项	152
一、Schmaltz 型显微镜的轮廓放大倍数	153
二、Buch 或 Tolansky 显微镜的放大倍数	153
练习题 (7)	155
第八章 齿轮测量	158
§ 8-1 齿轮的参数	158
基础事项	158
一、分度圆直径 (d_0)	158
二、基圆直径 (d_g)	158
三、标准压力角 (α_0)	158
四、周节 (t_0)	158
五、法向齿距 (t_e)、基节 (t_g)	159
六、齿顶圆柱及齿根圆柱	159
七、齿厚 (S_0) 及齿间宽度 (w_0)	159
八、中心距 (a_0)	159
§ 8-2 齿距误差	162
基础事项	162
一、平均法向齿距误差 (x_m)	162
二、单一法向齿距误差 (e_i)	162
三、法向齿距累积误差 (E_i)	162
四、相邻法向齿距误差 (δ)	163
§ 8-3 齿形误差	165
基础事项	165
一、齿廓为渐开线而基圆为非标准值	165
二、整个齿廓是渐开线而某一部分上有微小凹凸	165
§ 8-4 分析测量	167
基础事项	167
一、移距齿轮	167
二、公法线千分尺测量法	168

XIV

练习题 (8)	172
附表	174
(1) 三角函数表	174
(2) 平方、立方、平方根、立方根、圆面积和倒数表	175
(3) 渐开线函数表	177
(4) 轴的基本偏差数值表	178
(5) 孔的基本偏差数值表	178
(6) IT 标准公差数值表	180
(7) ~ (8) 常用配合孔的尺寸偏差	181
(9) ~ (10) 常用配合轴的尺寸偏差	183
(11) ~ (13) 常用基孔制配合表	185
(14) ~ (16) 常用基轴制配合表	188
索引	191

第一章 概 论

§ 1-1 精密测量的概念

机械加工中的机械要素、零件，其尺寸、形状、材料必须根据加工图纸满足一定的要求。材料当然已标注在图纸上，可以达到一定的要求，所以对材料问题就不考虑了。而尺寸、形状及表面就要在加工中或加工后进行测量或检验，这项工作就称为精密测量。也有人把精密测量称为工间测量。

工件的尺寸都可以通过测量长度而求得，而形状的测量常常要求得长度和角度。比如：比较简单的形状，如圆锥体、棱锥体等就是如此，而圆柱体以长度和圆的直径表示即可。由于复杂的机械要素是由这些形状组合而成的，因此大多是求得长度和角度就可以了。其中，角度的测量不仅可直接测其大小，而且在多数情况下是测量长度，然后通过计算求出角度。再有，表面的测量也可以归结为微小长度的测量。因此，大部分精密测量也可以称为长度的准确测量。

按照图纸进行精密测量和加工的机械零件即使在不同的地点、不同的时刻制造，集中在一起组装也能十分合适，这就称为有互换性。

对于要求互换性的现代机械工业而言，性能优良的机床当然是必不可少的，而精密测量仪器及测量技术也是十分必要的。现在，互换性的要求一直在促进着精密测量的进步。

§ 1-2 测量和检验

所谓测量一般地说就是取应表示量的一定量作为单位，视被测件中含有多少这样的单位，以数量表示之即可。

检验则不必求出数量，而用量规确定工件尺寸是否处在一定

的界限内即可。

测量分为绝对测量或直接测量和比较测量以及间接测量。

用测长机测量长度时，立即会读出被测件的长度，称此为绝对测量或直接测量。与另一标准长度（比如量块）比较，只要知道与标准长度的差值就可以确定被测件的长度，称之为比较测量（即：被测件的长度为 x 、标准长度为 S 时，若测出 $\Delta l = x - S$ ，便知道了 x ）。

另外，不能直接求得、而是经过计算才能得到被测量的，就称为间接测量。举一个简单的例子就是：测量倾角时，先测量倾斜的长度和高度，经过计算而求得角度。类似这种情况就是间接测量。测量练习中大多与间接测量有关系。

§ 1-3 长度基准

如前所述，精密测量大部分是长度测量，因此，必须先了解长度基准，今简述于下。

1. 国际米原器

所谓国际米原器就是长度基准，大约七十年来，国际米条约参加国把它作为基准而沿用下来。

其结构如图 1-1 所示，全长为 1020mm，系含铂 90%、铱 10% 的铂铱合金制成的 X 形截面棒（根据设计者的名字而命名为 Tresca Section[⊖]）。

原器中性面上两刻线间在 0℃ 时的距离就定为 1 m。

各国保存着米副原器，它们都对温度进行了修正[⊖]。

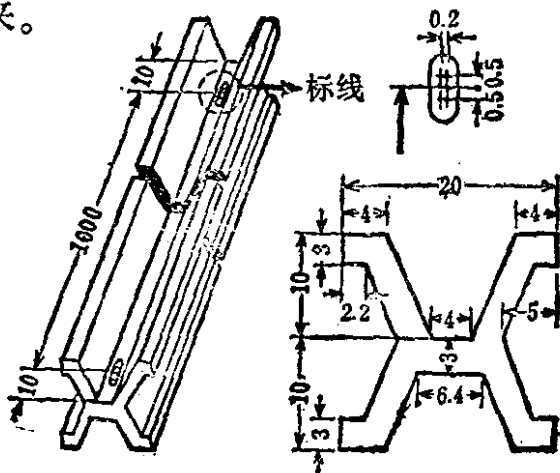


图1-1 国际米原器

⊖ 考虑到此种结构所用的材料不多，中性面的应力为最小，而且表面积也很大，整个原器会很快达到同一温度。

⊖ 原器的长度为 $L = 1\text{ m} + (8.621t + 0.00180t^2)\mu\text{m}$ ， t 为摄氏温度。交付给我国（即日本——译者注）的米副原器比上述原器短 $0.78\mu\text{m}$ 。

2. 光波基准

米原器是一把尺子，经年变化恐有破损之虞，而且刻线间距的测量也会有不可靠性。因而就设想以自然界中长度恒定不变的东西作为基准。鉴于某种物质发出的单色光的光波是不变的，所以就利用它作为基准。

当前(1960年10月以来)，以氪 Kr^{86} 元素为光源发出的橘红色光为基准，其波长 λ 在真空中的值由下式确定：

$$1\text{ m} = 1650763.73\lambda \quad (1-1)$$

$$\text{从而} \quad \lambda = 0.605780210\mu\text{m} \quad (1-2)$$

米原器1 m刻线间有多少这样的波长是用光波干涉仪通过实验确定的。

§ 1-4 测量值的概念和处理方法

本节就练习中必要的测量值的概念和测量值的处理方法简述如下。

1. 误差

测量误差的分类如表 1-1 所示。

表1-1 误差的种类及其原因

误差的种类		原因
1	测量仪器的误差	由测量仪器结构引起的误差，如分度不相等、摩擦力的变化、测量力的变化、螺纹螺距不同等等
2	测量者的个人误差	由测量者的一定习惯引起的误差，如读刻度数的习惯、使用测量仪器的习惯等等
3	外界条件造成的误差	测量室内的环境，如温度的变化、照明方法的不正确等等。
4	偶然误差	测量者心理的变化、疏忽、以及测量仪器在性能范围内必然且又偶然引起的误差

本表第1~3项误差的起因在某种程度上是清楚的，而且其偏离方向也是有规律的，因此有可能修正。但是，第4项的偶然误差却不能简单地补偿掉。所以针对这种误差，须采取多次测量，求出测量值的算术平均值，以减少误差。