

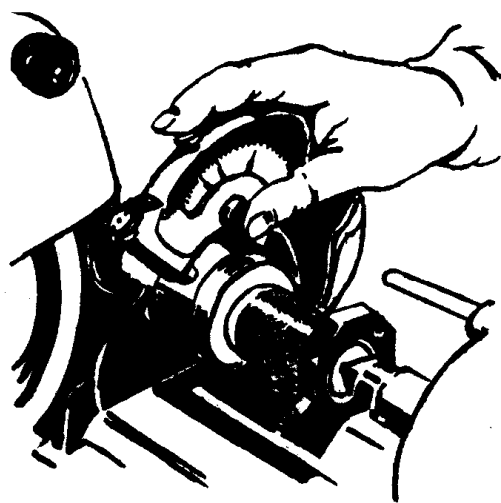
工厂 精密测量指南

徐孝恩 朴大植 编译

中国计量出版社

工厂精密测量指南

徐孝恩 朴大植 编译



中国计量出版社

1985·北京

内 容 提 要

本书是在日本新技术开发中心出版的“精密测量指南”一书基础上编译而成。全书共分五篇,内容包含长度和力学方面的精密测量基础、测量时注意事项、测量仪器管理工作的组织及其经济效益、测量仪器的精度管理方法、结合现场生产中具体典型零件的测量技术方法、当前测量技术中新技术的应用和测量自动化。

该书可作为计量部门、工矿企业的计量和产品检验人员和计量管理干部的参考手册,亦可作为大专学校师生实验课程中的参考书。

工厂精密测量指南

徐孝恩 朴大植 编译

中国计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

北京印刷三厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

开本 787 × 1092 1/16 印张 45 1/4

字数 1103 千字 印数 1—8000 (精)

1986 年 9 月第一版 1986 年 9 月第一次印刷

统一书号 15210 · 537

定价 12.50 元

科技新书目: 127—182

编 译 说 明

本书是在日本新技术开发中心出版的《精密测量技术指南》基础上编译而成。全书包括长度、力学方面的精密测量基础，测量时注意事项，测量仪器的管理及经济效益评价，测量仪器的精度管理措施，生产现场中各种典型零件的测量技术方法和当前测量领域中新技术的应用和测量自动化。

本书的特点是把现代的实用精密测量技术与测量基本条件、测量原理、测试方法、量仪的科学管理和测试新技术的应用结合起来，采集了丰富的现场实例，利用图表和简要的说明，使本书简明、实用，适合于指导工厂的精密测量实践。

考虑到1983年后国际计量测试技术的新发展，对新米定义及螺纹标准等作了相应的补充。在测量技术上，为使读者更易于理解，从量块检定、角度测量中多面棱体的应用到精密测量技术的方法，结合我国情况在具体问题上补入了必要的说明。

为了使读者对日本生产现场的精密测量的技术管理和组织工作有一个完整的参考；在编译中该部分仍保持其完整性。

对原书中某些与技术内容无关的广告性介绍、资料篇（V）中“日本及其它国家精密仪器制造厂名录”予以删除。

本书对从事计量测试技术工作者，在提高测试技术水平，吸取解决实际问题的经验方面是一本很好的技术指南，对计量管理干部来说也是一本极其有益的参考书。

最后要说明的是本书编译工作一开始就得到张昭田工程师的支持和帮助，我们谨此表示感谢。

编 译 者

一九八五年三月

前 言

测量技术，特别是精密测量技术，随着科学技术的发展越来越显示出它的重要地位。但是有关精密测量技术的参考书，尤其是有关详细说明技术技巧的这类书过去从未出版过。因此，我们结合测量实践的体会，把这些技术提供出来，理成系统，写成指南性的本书。内容从精密测量基础开始，测量仪器管理、测量技术的实践经验，直到当代发展的测量自动化，均采集了实际工作中丰富的事例，伴以图解、照片等形式，使得说明简单明瞭。

我们常听到“我不相信我厂的精密测量仪器”，产生这原因大多数是由于对长度基准的传递系统认识不足。精密测量如同检定一样，其精髓可以用一句话：长度基准的传递〔对于基准器（或标准器）、测量仪器〕是由上一级基准或标准逐级进行校准的，并可追溯到国家计量基准。

读者如果通过本书能够掌握这些与实际密切联系的精密测试技术，理解传递概念，并能够应用于现场测量中，那么我们感到荣幸。

日本新技术开发中心

目 录

I 基 础 篇

1 精密测量的基础.....	(1)
1—1 长度、角度和力的单位	(1)
1—1—1 长度的单位.....	(1)
1—1—2 角度的单位.....	(2)
1—1—3 力的单位.....	(6)
1—2 从米原器到工厂的实体标准	(7)
1—2—1 长度基准的传递系统	(7)
1—2—2 企业内部的传递系统	(7)
1—2—3 长度基准的传递系统和工厂现场之间的联系.....	(7)
1—3 光波干涉测量法	(10)
1—3—1 光波干涉的概念.....	(10)
1—3—2 光波干涉法测量长度的原理.....	(10)
1—3—3 光波干涉测量法	(11)
1—3—4 光波干涉法测量平面度	(12)
2 测量时的注意事项.....	(13)
2—1 热膨胀	(13)
2—1—1 关于热膨胀的概念	(13)
2—1—2 工业标准温度.....	(13)
2—1—3 100 mm的钢棒,当温度上升1℃伸长1μm.....	(13)
2—1—4 温度的平衡	(14)
2—1—5 体温的影响.....	(15)
2—2 测量力引起的变形	(16)
2—2—1 变形的种类.....	(16)
2—2—2 按照虎克定律的变形	(16)
2—2—3 按赫兹定律的变形	(16)
2—3 其它注意事项.....	(18)
2—3—1 阿贝原则	(18)
2—3—2 接触误差	(20)
2—3—3 磨损	(21)
2—3—4 视差	(21)
2—4 计量器具误差	(23)

2—4—1 量仪误差	(23)
2—4—2 量仪误差的修正	(23)
2—4—3 在比较法测量时标准器本身误差的修正	(23)
2—5 防锈管理	(24)
2—5—1 锈的发生原因	(24)
2—5—2 防锈油的种类	(24)
2—5—3 防锈油的正确使用方法	(24)

II 计量器具管理篇

1 计量器具的管理	(29)
1—1 量仪的管理	(29)
1—1—1 精密测量仪器管理的目的	(29)
1—1—2 精密测量仪器管理的现状	(29)
1—1—3 精度管理的必要性	(29)
1—1—4 实行精度管理的不同认识	(30)
1—1—5 没有精度管理的后果	(30)
1—1—6 精度管理的基本考虑方法	(34)
1—1—7 具体的管理方法	(34)
1—2 管理规范	(37)
1—2—1 总则	(37)
1—2—2 精度管理组织	(38)
1—2—3 负责人的任务	(38)
1—2—4 基准器的管理	(39)
1—2—5 测量仪器的购入和验收	(39)
1—2—6 教育、训练	(39)
1—2—7 评价	(41)
1—3 工业标准	(42)
1—3—1 工业标准的意义	(42)
1—3—2 国际标准 (ISO)	(42)
1—3—3 日本工业标准 (JIS)	(43)
1—3—4 测量仪器的 JIS 和管理标准的差异	(43)
2 各种计量器具的精度管理方法	(44)
2—1 量块	(44)
2—1—1 一般说明	(44)
2—1—2 量块的检定——比较法	(53)
2—1—3 量块的检定——绝对法	(61)
2—2 千分尺	(80)
2—2—1 标准外测千分尺	(80)

2—2—2 直进式外测千分尺	(90)
2—2—3 计数式外测千分尺	(93)
2—2—4 测深千分尺	(97)
2—2—5 螺纹测量千分尺	(102)
2—2—6 卡钳式内测千分尺	(106)
2—2—7 指示千分尺	(111)
2—2—8 大型外测千分尺	(119)
2—3 百分表和千分表	(132)
2—3—1 0.01mm刻度的百分表	(132)
2—3—2 0.001 mm刻度的千分表	(145)
2—3—3 杠杆式百分表和千分表	(153)
2—4 游标卡尺	(159)
2—4—1 普通游标卡尺	(159)
2—4—2 带表卡尺	(166)
2—4—3 高度尺	(174)
2—5 指针式测微计	(180)
2—6 百分表和千分表的检定装置	(190)
2—6—1 0.01mm刻度百分表检定装置	(190)
2—6—2 0.001 mm刻度千分表检定器	(197)
2—7 投影仪	(201)
2—8 测长机	(206)
2—9 工具显微镜	(212)
2—10 万能测量显微镜	(218)
2—11 三坐标测量机	(224)
2—12 电感测微计	(253)
2—13 气动测微计	(257)
2—14 光波干涉测量仪	(262)
2—15 自动准直仪	(269)
2—16 水平仪	(273)
2—17 表面粗糙度测量仪	(277)
2—18 形状测量仪	(290)
2—19 圆度测量仪	(299)
2—20 现场用测量仪器	(304)
2—20—1 外径测量仪	(304)
2—20—2 内径测量仪	(311)
2—20—3 立式测量仪	(315)
2—21 量规	(319)
2—21—1 塞规 (量柱) 和量棒	(319)
2—21—2 环规和卡规	(335)

1	
2—21—3	针规 (348)
2—21—4	螺纹量规..... (353)
2—21—5	角度规 (366)
2—21—6	直角尺 (369)
2—21—7	平直尺 (372)
2—21—8	锥体量规..... (376)
2—21—9	精密平板..... (381)
2—21—10	高度标准规.....(392)
2—21—11	表面粗糙度标准样板 (399)
—22	硬度试验机 (402)
2—22—1	布氏硬度试验机..... (402)
2—22—2	维氏硬度试验机..... (405)
2—22—3	显微硬度试验机..... (409)
2—22—4	洛氏硬度试验机和洛氏表面硬度试验机 (414)
2—22—5	肖氏硬度试验机..... (419)
2—22—6	硬度试验机的管理 (421)
	测量室..... (424)
3—1	空调机 (424)
3—2	恒温、恒湿室 (429)

III 测量技术篇

	高度、厚度的测量..... (435)
1—1	电磁吸盘热变位的测量 (435)
1—2	箔层厚度的测量 (440)
1—3	硅片的测量 (443)
1—4	标准尺的测量 (445)
2	细铜丝的测量..... (449)
3	光学平晶平面度的检查..... (453)
4	曲面的测量..... (456)
4—1	牛顿原器的测量 (456)
4—2	用牛顿原器进行工件测量 (464)
4—3	非球面的测量 (473)
5	螺纹的测量..... (479)
5—1	外螺纹的测量 (479)
5—2	内螺纹的测量 (493)
5—3	锥体螺纹的测量 (494)
5—4	测量误差 (497)
6	齿轮的测量..... (499)

6—1	齿轮的种类	(499)
6—2	圆柱齿轮的精度	(500)
6—3	齿轮的误差	(500)
6—4	齿厚的测量	(501)
6—5	齿形的测量	(506)
6—6	周节的测量	(508)
6—7	齿凹跳动的测量	(512)
6—8	齿向的测量	(513)
6—9	啮合试验	(514)
7	角度的测量	(517)
7—1	棱镜的测量	(517)
7—1—1	棱镜的使用	(517)
7—1—2	棱镜的工作精度	(518)
7—1—3	简易角度的测量	(519)
7—1—4	自动准直仪方法	(520)
7—1—5	用分光计方法	(522)
7—1—6	干涉条纹方法	(523)
7—1—7	光学玻璃的折射率和阿贝数	(525)
7—2	多面棱体的测量	(526)
7—2—1	多面棱体的应用	(526)
7—2—2	比较测量法	(528)
7—2—3	自检测量法	(530)
7—2—4	多面棱镜	(532)
7—3	分度盘的测量	(536)
8	形状的测量	(541)
8—1	用V形块的测量	(542)
8—2	镜框的测量	(546)
8—3	钻孔夹具的测量	(552)
8—4	凸轮的测量	(560)

IV 自 动 化 篇

1	概述	(565)
1—1	自动测量的概念	(566)
1—2	精密测量的自动化程序	(567)
1—3	自动测量的优点	(568)
2	长度的检测量仪	(569)
2—1	数字测微计	(569)
2—1—1	测量原理	(566)

2-1-2	性能和应用	(570)
2-2	光学线性编码器	(571)
2-2-1	光学标尺	(571)
2-2-2	光栅标尺	(574)
2-2-3	全息·激光标尺	(577)
2-2-4	反射式钢刻尺	(578)
2-2-5	产品仪器和性能 (实例)	(580)
2-3	电磁尺	(582)
2-3-1	感应同步尺	(582)
2-3-2	磁性标尺	(585)
2-3-3	市售磁尺的性能	(587)
2-3-4	尺的使用实例	(587)
2-4	触点式指针测微计	(589)
2-4-1	触点式百分表	(589)
2-4-2	触点式指针测微表	(590)
2-4-3	触点式指针测微计的性能	(591)
3	角度的检测量仪	(593)
3-1	旋转角编码器	(593)
3-1-1	增量式	(593)
3-1-2	绝对式	(594)
3-1-3	旋转角编码器的性能	(595)
3-2	脉冲编码器	(597)
3-2-1	测量原理	(597)
3-2-2	脉冲编码器的性能	(599)
4	位置检测仪器	(602)
4-1	接触式检测器	(602)
4-1-1	微动开关	(602)
4-1-2	差动变压器	(606)
4-2	无触点检测器	(609)
4-2-1	光电传感器	(609)
4-2-2	用光导纤维的检测器	(611)
4-3	光电显微镜	(614)
4-3-1	原理	(614)
4-3-2	刻线读数用光电显微镜	(614)
4-3-3	光电显微镜的应用实例	(615)
5	用驱动器定位	(618)
5-1	使用音圈定位	(618)
5-2	用步进马达进行位置决定	(618)
5-2-1	步进马达的特点	(618)

5—2—2 步进马达的应用例	(620)
5—3 伺服马达定位	(621)
5—3—1 伺服马达的必要条件	(622)
5—3—2 伺服马达定位的应用实例	(621)
6 精密测量的自动化	(624)
6—1 插塞外径测量机	(624)
6—2 铜细丝外径自动控制装置	(628)
6—3 凸轮测量仪	(635)
6—4 螺距测量仪	(640)
6—5 非球面透镜的测量	(643)
6—6 加工过程中的测量 (在线测量)	(649)

V 资 料 编

1 工 具	(655)
1—1 百分表和千分表的可换测量头	(655)
1—2 百分表和千分表的修理工具	(662)
1—3 镊子	(664)
1—4 清洗瓶	(665)
1—5 器皿	(665)
1—6 阿尔坎萨斯油石	(666)
1—7 油石	(667)
1—8 研磨平板	(668)
1—9 研磨材料	(669)
1—10 吹子—毛刷	(670)
1—11 各种温度测量方法和特征	(670)
1—12 玻璃制品温度计	(673)
1—13 热敏电阻温度计	(675)
1—14 热电偶温度计	(676)
1—15 温度计的检定	(679)
1—16 简易测量显微镜和放大镜	(681)
1—17 钟表改锥	(683)
1—18 鹿皮和镜头纸	(683)
1—19 洗净系统和除垢器	(684)
1—20 光学平晶	(684)
1—21 平行平晶	(685)
1—22 千分表座	(686)
1—23 橡皮擦	(687)

2	消耗品	(688)
2—1	纱布	(688)
2—2	皱纹纸	(689)
2—3	有机溶剂	(690)
2—4	防锈油	(690)
2—5	机油	(691)
附录		(693)

1 精密测量的基础

1—1 长度、角度和力的单位

1—1—1 长度的单位

(1) 关于米

从米定义初建的历史来说,它是实测通过法国巴黎的地球子午线从敦克尔克(Dunkerque)到巴色鲁那(Barcelona)的弧长,取一段作为“米”。1m等于从地球的北极到赤道距离的10 00万分之一。换句话说,从北极到赤道的距离为 $1 \times 10^7\text{m}$ ($1 \times 10^4\text{km}$),参阅图 1—1—1,地球的周长为 $4 \times 10^4\text{km}$ 。

当时认为光的速度相当于每秒可绕地球 7 周半,也就是等于 $4 \times 7.5 = 30 \times 10^4\text{km}$ ①。

(2) 米原器

正确复现 1 m 长度的是米原器。1889 年所实现的米原器,即国际米 (m),如图 1—1—2 所示。

这个米原器的刻线宽为 $6 \sim 8 \mu\text{m}$,由于当时工艺水

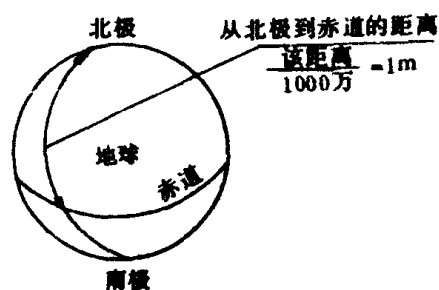


图 1—1—1 关于 1 米的概念

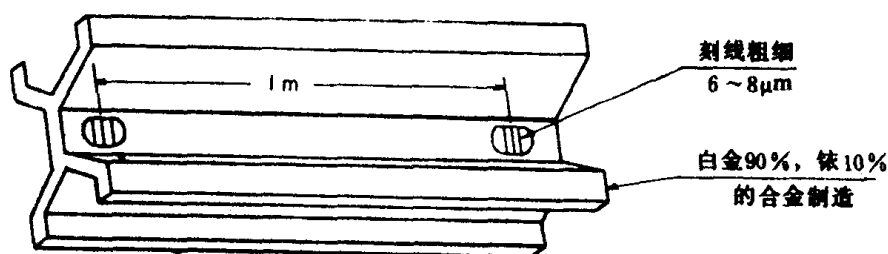


图 1—1—2 米原器

平所限,刻线不太整齐,因此,其精度只有 $0.2 \mu\text{m}$ 。另外考虑到不管采用怎样稳定的合金材料来制作,在长时期中也免不了发生某些变化,这就很难保证准确度,满足工业不断发展的需要。因此,在当时就开始着手研究建立一个准确度高、长期无变化的长度基准。

(3) 60年代米的新定义

经各种实验找到一种在自然界中恒定不变的量,那就是从元素辐射的单色光波长。特别是同位素的单色光很理想。1960年10月14日在第十一届国际计量大会上正式决定:“米的长度等于氪 86 原子从能级 $2 P_{1/2}$ 跃迁到 $5 d_{5/2}$ 时所辐射的光 (氪 86 橙黄谱线) 在真空中波长

①根据1975年十五届国际计量大会上决定,光速为 $299\,792\,458\text{ m/s}$

的1 650 763.73倍”，参阅图 1—1—3。

从此废除了由（2）的米原器规定的米定义。

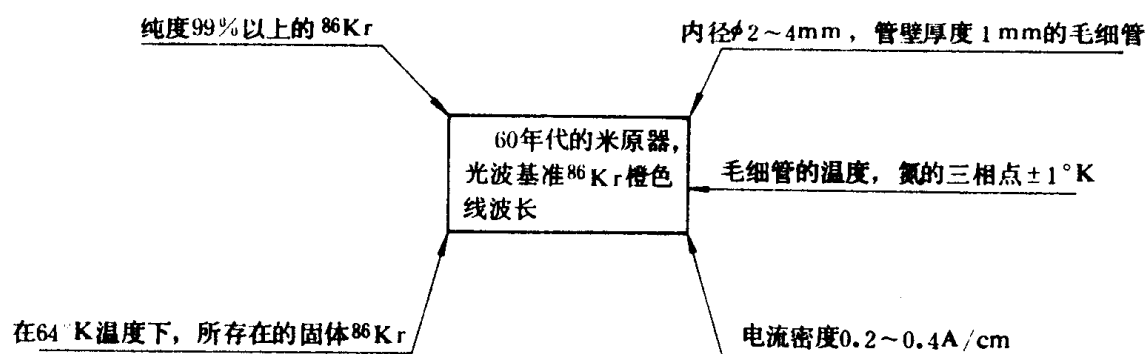


图 1—1—3 60年代米原器氪86的发光条件

（4）新的米定义

对于建立以氪86橙黄谱线光波波长的倍数为米定义的自然基准，与铂铱米原器的实物基准相比，当然有其无比的优越性。但限于氪86光源的强度弱，单色性差，即使在液氮冷却下阴极式的氪86灯管所发出的橙光谱线的光，作为光干涉测量的相干距离也不超过80cm，这给复现到实用米尺上带来某些麻烦。并且随着科学技术的其它领域（如天文大地测量、宇航技术等）的发展，对于长度测量的范围和准确度提出了更高的要求。1960年后，计量科学工作者致力于激光的研究，并取得惊人的进展。这些激光光源不但具有很好的方向性，强度强，而且单色性好，特别是最后这个特性使计量科学工作者极感兴趣。1972年，在对激光深入研究的基础上，NBS对光速进行精密测量，得出光的每秒速度为 $299\,792\,458\text{ m/s}$ 。并在1975年召开的第十五届国际计量大会上得到确认，规定在今后作为不变的常数，这样与时间结合起来，使米定义进入新的时代。

在1983年10月召开第十七届国际计量大会，通过了新米定义的决定。长度基本单位——米的新定义：“米是光在真空中 $1/299\,792\,458\text{ s}$ 的时间间隔内所行进的路程长度”。这个米定义的最重要特点是使计量单位定义本身与复现的方法分开。因此米的复现方法和复现准确度将随着科学技术的发展可不断改善，不再受定义的局限。这就克服了现行氪86波长基准米定义所固有的缺点。

对新米定义的复现，米定义咨询委员会并不规定某种激光辐射为复现米的基准，而是提出三种复现新米定义的方法。

1) 用平面电磁波在真空中、在时间间隔为 t 内所行进的路程的长度 l 来复现，即只要准确测定电磁波行进的时间间隔 t ，利用公式 $l = ct$ ，就可以算出长度值 l 。式中，真空光速值已规定为常数值 $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$ ，这样根据定义提出的一种测量原理，目前适用于天文大地测量。

2) 用频率为 f 的平面电磁波的真空波长 λ 来复现。即在现实的长度精密测量中，仍然可以使用传统的光波干涉法。但这里所用的 λ 值，既不是氪86的基准波长值，也不是与它相比对后所得出的其它激光波长值，而是用测量出该电磁波（包括红外光和可见光）的频率 f ，再利用关系式 $\lambda = c/f$ 求得的波长值。此式中的 c 仍然是真空光速。

3) 直接用米定义咨询委员会所推荐的几种辐射中的任何一种来复现。这次大会上推荐

了五种激光辐射和二类同位素光谱灯辐射, 並给出它们的频率值、波长值及复现不确定度, 同时规定了相应的技术要求。

对五种激光辐射和二类同位素灯辐射是:

1) 饱和吸收稳频激光的辐射:

a. 吸收分子 CH , 跃迁 $\nu_3 \text{ P}(7)$ 分量 $\text{F}_2^{(2)}$; 数值

频率 $f = 88\,376\,181\,607 \text{ kHz}$

波长 $\lambda = 3\,392\,231\,397.1 \text{ fm}$

总的相对不确定度 $\pm 2 \times 10^{-10}$

b. 吸收分子 $^{127}\text{I}_2$, 跃迁 $17-1$, $\text{P}(62)$, 分量 O ; 数值

频率 $f = 520\,206\,808.53 \text{ MHz}$

波长 $\lambda = 576\,294\,760.25 \text{ fm}$

总的相对不确定度 $\pm 7 \times 10^{-10}$

c. 吸收分子 $^{127}\text{I}_2$, 跃迁 $11-5$, $\text{R}(127)$, 分量 i ; 数值

频率 $f = 473\,612\,214.8 \text{ MHz}$

波长 $\lambda = 632\,991\,398.1 \text{ fm}$

总的相对不确定度 $\pm 1 \times 10^{-9}$

d. 吸收分子 $^{127}\text{I}_2$, 跃迁 $9-2$, $\text{R}(47)$, 分量 O ; 数值

频率 $f = 489\,880\,355.1 \text{ MHz}$

波长 $\lambda = 611\,970\,769.8 \text{ fm}$

总的相对不确定度 $\pm 1 \times 10^{-9}$

e. 吸收分子 $^{127}\text{I}_2$, 跃迁 $43-0$, $\text{P}(13)$, 分量 a_3 (有时称为 s 分量); 数值

频率 $f = 582\,490\,603.6 \text{ MHz}$

波长 $\lambda = 514\,673\,466.2 \text{ fm}$

总的相对不确定度 $\pm 1.5 \times 10^{-7}$

2) 光谱灯的辐射

a. 对应于 ^{86}Kr 原子在 2 P_{10} 及 5 d 能级之间跃迁的辐射; 数值

波长 $\lambda = 605\,780\,210.2 \text{ fm}$

总的相对不确定度 $\pm 4 \times 10^{-9}$

b. 在1963年国际计量委员会推荐的 ^{86}Kr 、 ^{196}Hg 、 ^{114}Cd 原子的辐射以及所规定的波长值和不确定度。

以上两条表明, ^{86}Kr 光波波长作为复现米的基准虽然被废除, 但是 ^{86}Kr 以及其它同位素光谱灯仍可以原来准确度继续使用。

(5) 常用的米辅助单位

长度的基本单位米 $[\text{m}]$ 的10的整数指数倍的常用辅助单位如图 1—1—4 所示。

迄今仍使用下述单位的, 最好改用图 1—1—4 中的单位。

1) μ (微)

从习惯上以这样符号作为微米使用过来的, 今后应改用 μm (微米)。

2) $\text{\AA}$ (埃, $10^{-10}\text{m} = 0.1 \text{ nm}$)

这个单位常用于光的波长等, 今后应改用 nm (纳米) 或者 pm (皮米)。

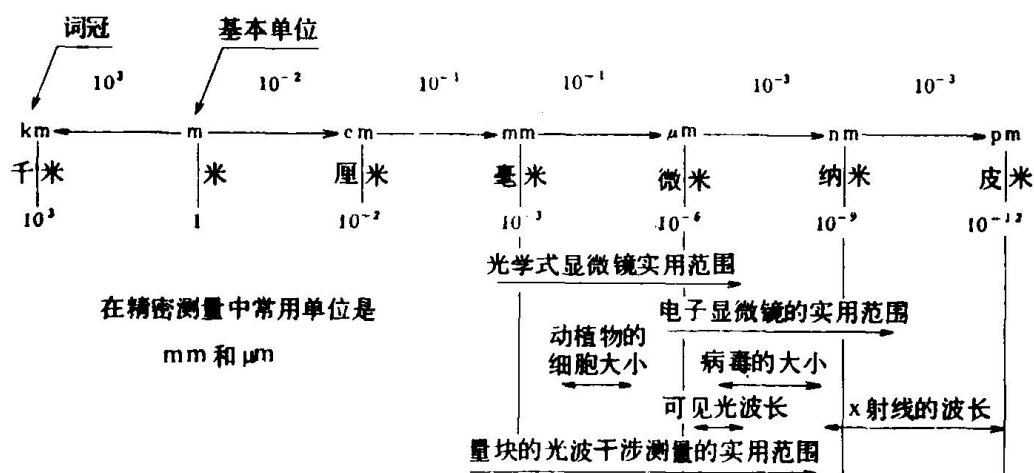


图 1-1-4 常用的米单位和相应的自然界中的尺寸

(6) 英 寸

实行米制单位的时间够长了，但在我们周围有相当一部分仍采用英寸单位。例如，IC（集成电路）的线柱间隔，参阅图 1-1-5 a，水龙头等的管螺纹。

1760 年英国做成了码（Yard）原器。码的辅助单位有很多种，在工业上最常用的是英寸（inch），参阅图 1-1-5 b。

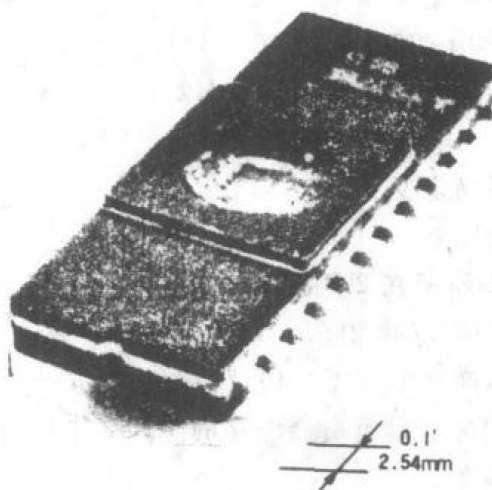


图 1-1-5 a IC线柱间隔

1-1-2 角 度 的 单 位

角度单位不是一个独立的单位，在国际单位制（SI）中它是导出单位。由于圆周角自身封闭，因此在某种情况下又具有独立性。一般采用的单位就是弧度和度。

(1) 弧 度

1 弧度（1 rad）是与圆半径相等长度的弧对于圆心所张的角度，参阅图 1-1-6 所示。

以数字来表示角度单位时采用弧度的实例如：当 $\theta < 1^\circ$ 时， $\sin \theta \approx \theta$ ，这时的 θ 只能是弧度，而不是度。