

962767

长度计量测试丛书

TB922

1210

角度锥度及圆分度测量

张玉文 苏光绍 李良鸿 编著



中国计量出版社

长度计量测试丛书

第十分册

角度锥度及圆分度测量

张玉文 苏光绍 ~~李良鸿~~ 编著

长度计量测试丛书编委会 编辑

中国计量出版社

新登(京)字024号

内 容 提 要

本书收集了国内外有关角度、锥度、圆分度测量的资料和部分经过生产实践证明可行的专题研究报告编写而成。

主要内容包括：角度、锥度、圆分度基本概念，测角量具和仪器的结构原理；角度、锥度、圆分度的测量原理、测量方法以及误差分析；专题介绍了多面棱体、新技术在测角中的应用等。该书是从事角度、锥度、圆分度测量的计量人员、工程技术人员的主要参考书，也可供有关科技人员和大专院校有关专业师生阅读。

长度计量测试丛书第十分册

角度锥度及圆分度测量

张玉文 苏光绍 李良鸿 编著

责任编辑 刘瑞清

—

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

—

开本 787×1092/32

印张 11 字数 250 千字

1992年8月第1版

1992年8月第1次印刷

印数 1—5 500

ISBN 7-5026-0513-4/TB·392

定价 7.00 元

前 言

长度计量测试丛书是根据计量出版社关于按学科分类组编丛书的总体计划，由中国计量测试学会几何量专业委员会配合计量出版社组织编写的。

党的十二大曾提出：到本世纪末，力争使全国工农业的年总产值翻两番。为实现此宏伟目标，必须发展机械工业，因为机械工业是国民经济的装备部，应该适当超前。而标准化和计量测试仪器与技术测量是机械工业发展的基础和先决条件，因此必须更超前于机械工业。在计量测试科学领域中，长度的计量测试是重要的一个方面。随着机械产品愈益向精密方向发展，介绍长度计量测试方面的知识、科研成果及经验，以便为机械工业未来的发展打好基础、积蓄力量、创造条件，实为当务之急。这就是组织这套丛书的目的。

翻两番，振兴经济，必须依靠科学技术进步。科学技术需要大量学有专长的专业人材去掌握。目前我国计量测试领域内很多职工缺乏必要的科学知识和操作技能，熟练工人和科学技术人员严重不足。为适应未来经济发展的需要，现在必须立即着手培养计量专业的人才，提高现有计量测试人员的科学技术水平。近年来，更有大批青年新同志参加工作，他们是发展计量测试科学技术的重要力量，迫切需要系统地学习一些计量基础知识，以便结合工作实践更快地提高技术水平，促进计量科学技术的进步。这套丛书主要是针对这部分人员编写的。当然也可以作为计量测试短训班的教材或参考资料，并可供大专院校师生及有关工程技术人员和科研工

EAC50/05

作者参考。

丛书比较全面地将长度计量测试领域中所涉及的基础理论、基本知识和实用技术等进行了深入浅出的阐述，重点放在计量测试技术的实际运用方面，同时也简要地对有关技术的发展动向作些介绍。

整套丛书共有二十个分册，每一分册独立论述一个专题。为照顾系统性和便于读者学习，有些内容在不同的分册中有些重复，但侧重点各不相同，这样就把丛书的系统性和分册的独立性统一起来，读者可根据自己的需要选择学习。

本丛书在组编过程中，得到计量出版社的全面支持，还得到有关计量部门、大专院校、科研机构、工矿企业和广大计量工作者的支持和关心，我们在此深表谢意。

限于我们的经验和水平，这套丛书可能存在不少缺点和错误，我们衷心欢迎广大读者给予批评指正。

长度计量测试丛书编委会

一九八三年元月十六日

长度计量测试丛书编委会

主 编： 梁晋文

副主编： 许金钊 徐孝恩

编 委： (按姓氏笔划排列)

王钺铮	许金钊	朱桂兰
-----	-----	-----

刘瑞清	何 贡	陈林才
-----	-----	-----

李继植	李隆铸	庾以溁
-----	-----	-----

林洪桦	费业泰	徐孝恩
-----	-----	-----

黄生耀	黄福芸	梁晋文
-----	-----	-----

目 录

第一章 角度单位制及其标准	(1)
一、角度单位制	(1)
二、主要角度单位的换算	(4)
三、锥度与锥角	(9)
第二章 测角器具	(19)
一、角度块	(19)
二、直角尺	(27)
三、角度规	(29)
四、水平仪	(35)
五、光学倾斜仪	(44)
六、正弦尺	(46)
第三章 测角仪器	(51)
一、光学测角仪	(51)
二、光学分度头	(68)
三、光学分度台	(79)
四、多齿分度台	(86)
五、小角度测量仪器	(98)
六、光学经纬仪	(115)
第四章 角度、锥度测量	(127)
一、角度测量概述	(127)
二、常用测角量仪测角	(130)
三、用光学测角仪器和圆分度仪器测角	(157)
四、圆锥角度测量	(183)
五、光学零件的角度测量	(199)
第五章 圆分度误差测量	(221)

一、圆分度误差	(221)
二、圆分度误差的测量	(230)
三、测量方法的精度	(262)
第六章 正多面棱体	(265)
一、正多面棱体及其技术要求	(265)
二、棱体工作角度的检定	(266)
三、棱体工作角的检定精度	(282)
四、非整度数棱体	(301)
五、多面棱体的应用	(305)
第七章 新技术在角度测量中的应用	(310)
一、圆光栅	(310)
二、编码度盘	(319)
三、感应同步器	(322)
四、环形激光测角原理及应用	(329)
五、干涉测角	(332)
六、计算机在测角中的应用	(338)

第一章 角度单位制及其标准

一、角度单位制

在国际单位制中除了七个基本物理量外，还明确规定了弧度（平面角单位）和球面度（立体角单位）两个辅助单位。

本分册主要讲述平面角及其测量。所谓平面角就是在平面上取任一点 O ，从 O 点引出一条射线 OA ，当 OA 射线以 O 为原点，逆时针旋转到 OA' 时，则 OA 与 OA' 两条直线所组成的图形称为角，如图 1—1 所示。这个角称为平面角。

平面角小于 90° 的称为锐角，大于 90° 的称为钝角。

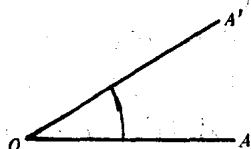


图 1—1

角度单位有下列四种表示形式。

（一）弧度制

形式。

（一）弧度制

在一个圆内，两条半径间的夹角，在圆周上所截取的弧长恰好等于半径的长度时，它所对应的角称为一弧度（见图 1—2）。用弧长作单位来量角的单位制度，叫弧度制。一弧度过去也称一桠。

弧度单位仅用于计算，很少直接作为角度单位使用，弧度的表达式如下：

一圆周所对应的圆心角等于 2π 弧度 ($\pi = 3.1415926$)

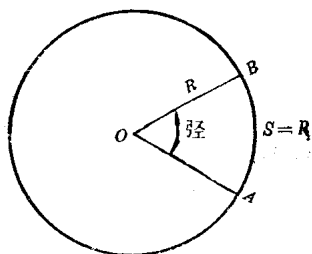


图 1—2

……, 一般计算时 $\pi = 3.1416$).

$$\varphi(\text{弧度}) = \frac{\text{弧长}}{\text{半径}} = \frac{S}{R} \quad (1-1)$$

式中 S ——弧长;
 R ——半径.

当已知某圆心角 α 所对应之弧长为 S 、圆半径为 R 时,

根据 S 及 R 之值, 可按下式算出圆心角:

$$\alpha = \frac{S}{R} \rho$$

式中 ρ ——换算常数 ($\rho^\circ, \rho', \rho''$).

(二) 六十分制

六十分制又称秒角度制。将整个圆周分成 360 等分时, 每一等分弧长所对应的圆心角, 叫一“度”, 记作 1° 。再将一度的弧长分为 60 等分, 每一等分弧所对应的圆心角称为 1 “分”, 记作 $1'$ 。同样 1 分弧长分成 60 等分, 每一等分称作 1 “秒”, 记作 $1''$ 。

因此, 一圆周所对应的圆心角 $= 360^\circ = 21600' = 129600''$ 。

秒是六十分制的最小单位, 小于 1 秒时, 习惯按十进制计算。例如十分之五秒, 写作 $0.5''$ 。对于不满一度的分度值, 也可按十进制计算。例如 $30'$ 可写作 0.5° 。

(三) 百进制

在 18 世纪末, 法国数学家和力学家拉格朗日提出了“百进制制”的系统, 又称新度。百进制制的基本单元是直角, “……规定两条直线相交使其相邻角相等”。直角因其特

殊优点及自检方便，在任何系统中，都占有重要地位。

百分制角度单位，是将整圆分成 4 个直角，每个直角又分成为 100 等分，每分记为 (g)。

1g 又分成 100 等分，每分记为 (c)，

1c 又分成 100 等分，每分记为 (cc)，

即一周角 = 400g

$$= 40\,000\,c$$

$$= 4\,000\,000\,cc$$

(四) 密 位

密位是军用光学仪器的一种角度计量单位。目前世界各国定义密位的方法有两种：一是将圆周角分为 6 000 等分，每一等分即为 1 密位，相当六十进位制的 $3'36''$ ；另外一种是将圆周角分为 6 400 等分，每一等分为 1 密位，相当于 $3'22.5''$ 。

我们知道，当半径为 R 时，圆周长 $C = 2\pi R$ 。在一定精度要求下，为计算方便，取 $\pi \approx 3$ ，则 $C \approx 6R$ ，以 $1/6\,000$ 圆周角作为 1 密位，则有

$$1\text{密位所对弧长} \approx \frac{6R}{6\,000} = \frac{R}{1\,000}$$

当 $\pi \approx 3.1416$ 时，1 密位所对弧长就等于 $1/955$ 。同理，当 $\pi \approx 3.2$ ，圆周长 $= 2\pi R \approx 6.4R$ ，当 $1/6\,400$ 的圆周角作为 1 密位时，则

$$1\text{密位所对弧长} \approx \frac{6.4R}{6\,400} \approx \frac{R}{1\,000}$$

密位的写法如下

6 000 密位写作 60—00；

600 密位写作 06—00；

- 60 密位写作 00—60;
 6 密位写作 00—06;
 0.6 密位写作 00—006;
 3 254 密位写作 32—54.

二、主要角度单位制的换算

(一) 60分制与弧度制的换算

已知一圆周角为 2π 弧度, 即等于六十分制的 360° 。

因此:

$$\begin{aligned} 360^\circ &= 2\pi(\text{rad}) \\ &= 2 \times 3.1416 \\ &= 6.2832(\text{rad}) \end{aligned}$$

$$180^\circ = 3.1416(\text{rad})$$

$$1^\circ = \frac{2\pi}{360}$$

$$= \frac{1}{57.3}(\text{rad})$$

$$= 0.017453293(\text{rad})$$

$$1' = \frac{2\pi}{360 \times 60}$$

$$= \frac{1}{3438}(\text{rad})$$

$$= 0.00029089(\text{rad})$$

$$1'' = \frac{2\pi}{360 \times 60 \times 60}$$

$$= \frac{2\pi}{1296000}$$

$$= 0.000\,004\,848 \text{ (rad)}$$

反之, $1 \text{ rad} = 57.3^\circ$ 或 ρ°

$$= 3\,438' \text{ 或 } \rho'$$

$$= 206\,265'' \text{ 或 } \rho''$$

式中, ρ° 、 ρ' 、 ρ'' 分别为弧度换算为六十进位角度的常数。

$$1 \text{ rad} = \rho^\circ = 57.295\,779\ldots^\circ$$

$$1 \text{ rad} = \rho' = 3\,437.746\,77\ldots'$$

$$1 \text{ rad} = \rho'' = 206\,264.806\,2\ldots''$$

在角度测量中, 当被测角小于 3° 时, 常用近似计算式, 如图 1—3。

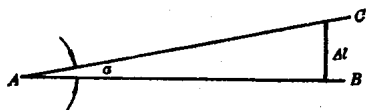


图 1—3

在 $\triangle BAC$ 中, 已知 $AB = L$ 、 $CB = \Delta l$, 因 α 角很小, CB 看作弧长, 此时 AB 即为半径 R 。所以有

$$\alpha = \frac{CB}{AB} = \frac{S}{R} = \frac{\Delta l}{L} \text{ (rad)} \quad (1-2)$$

已知 $1 \text{ rad} = 206\,265'' \approx 2 \times 10^6$, 所以

$$\alpha = \frac{\Delta l}{L} \times 2'' \times 10^6$$

式中, Δl 、 L 的单位为 mm。

式 (1—2) 运用起来很方便, 在测量垂直度、小角度以及倾斜度时, 常用弧度换算为角度。

若以 α 表示某一角的角度, φ 为该角的弧度, 两种计量单位关系如下:

$$\frac{180^\circ}{\alpha^\circ} = \frac{\pi}{\varphi}$$

角度与弧度换算关系如下:

已知角度求弧度, 则有

$$\varphi = \frac{\pi \alpha}{180^\circ} = 0.017453 \alpha$$

已知弧度求角度, 则有

表 1—1

角度换算成弧度

角度 (秒)	弧 度	角度 (分)	弧 度	角度 (度)	弧 度	角度 (度)	弧 度
1	0.000 005	1	0.000 291	1	0.017 453	60	1.047 198
2	0.000 010	2	0.000 582	2	0.034 907	70	1.221 730
3	0.000 015	3	0.000 873	3	0.052 360	80	1.396 263
4	0.000 019	4	0.001 164	4	0.069 813	90	1.570 796
5	0.000 024	5	0.001 454	5	0.087 266	100	1.745 329
6	0.000 029	6	0.001 745	6	0.104 720	120	2.094 395
7	0.000 034	7	0.002 036	7	0.122 173	150	2.617 994
8	0.000 039	8	0.002 327	8	0.139 626	180	3.141 593
9	0.000 044	9	0.002 618	9	0.157 080	200	3.490 659
10	0.000 048	10	0.002 909	10	0.174 533	250	4.363 323
20	0.000 097	20	0.005 818	20	0.349 066	270	4.712 389
30	0.000 145	30	0.008 727	30	0.523 599	300	5.235 988
40	0.000 184	40	0.011 636	40	0.698 132	360	6.283 185
50	0.000 242	50	0.014 544	50	0.872 665		

表 1—2

弧度换算成角度

弧度	角度	弧度	角度	弧度	角度	弧度	角度
0.000 1	0°0'21"	0.006	0°20'38"	0.1	5°43'46"	6	343°46'29"
0.000 2	0°0'41"	0.007	0°24'4"	0.2	11°27'33"	7	401°4'14"
0.000 3	0°1'2"	0.008	0°27'30"	0.3	17°11'19"	8	458°21'58"
0.000 4	0°1'23"	0.009	0°30'56"	0.4	22°55'6"	9	515°39'43"
0.000 5	0°1'43"	0.010	0°34'23"	0.5	28°38'52"	10	572°57'28"
0.000 6	0°2'4"	0.01	0°34'23"	0.6	34°22'39"	20	1 145°54'56"
0.000 7	0°2'24"	0.02	1°8'45"	0.7	40°6'25"	30	1 718°52'24"
0.000 8	0°2'45"	0.03	1°43'8"	0.8	45°50'12"	40	2 291°49'52"
0.000 9	0°3'6"	0.04	2°17'31"	0.9	51°33'58"	50	2 864°47'20"
0.001 0	0°3'26"	0.05	2°51'53"	1.0	57°17'45"	60	3 437°44'48"
0.001	0°3'26"	0.06	3°26'16"	1	57°17'45"	70	4 010°42'16"
0.002	0°6'53"	0.07	4°0'39"	2	114°35'30"	80	4 583°39'44"
0.003	0°10'19"	0.08	4°35'1"	3	171°53'14"	90	5 156°3'13"
0.004	0°13'45"	0.09	5°9'24"	4	229°10'69"	100	5 729°34'41"
0.005	0°17'11"	0.10	5°43'46"	5	286°28'44"		

$$\alpha^{\circ} = \frac{180\varphi}{\pi} = 57.295\,779\varphi^{\circ}$$

为了简化计算,弧度与角度的换算见表 1—1 和表 1—2。

(二) 六十分制与百分制角度单位的换算

任意一个圆周内所包含的角度,对六十分制为 360° ,而对百分制则为 $400g$ 。

两种角度单位换算关系

$$360^{\circ} = 400g$$

$$1^{\circ} = \frac{400}{360} = 1.111\ 11\text{ g}$$

$$1' = \frac{400 \times 100}{360 \times 60} = 1.851\ 85\text{ c}$$

$$1'' = \frac{400 \times 100 \times 100}{360 \times 60 \times 60} = 3.086\ 42\text{ cc}$$

相反

$$1\text{g} = \frac{360}{400} = 0^{\circ}54'$$

$$1\text{c} = \frac{360 \times 60}{400 \times 100} = 0.54'$$

$$1\text{cc} = \frac{360 \times 60 \times 60}{400 \times 100 \times 100} = 0.324''$$

(三) 弧度制与百分制的换算

因为 $400\text{ g} = 360^{\circ} = 2\pi = 6.283\ 18\text{ rad}$, 故

$$1\text{g} = \frac{6.283\ 18}{400} = 0.015\ 707\ 95\text{ rad}$$

$$1\text{c} = \frac{6.283\ 18}{400 \times 100} = 0.000\ 157\ 08\text{ rad}$$

$$1\text{cc} = \frac{6.283\ 18}{400 \times 100 \times 100} = 0.000\ 001\ 57\text{ rad}$$

相反

$$1\text{ rad} = \frac{400}{6.283\ 18} = 63.661\ 977\text{ g}$$

$$1 \text{ rad} = \frac{400 \times 100}{6.28318} = 6\,366.1977^\circ$$

$$1 \text{ rad} = \frac{400 \times 100 \times 100}{6.28318} = 636\,619.77 \text{ cc}$$

三、锥度与锥角

与轴线成一定角度，且与端面相交于轴线的一条直线段（母线），围绕着轴线旋转形成的表面称为圆锥表面，由圆锥表面与一定尺寸所限定的几何体称为圆锥。

外圆锥是物体外部表面为圆锥表面的几何体，内圆锥是物体内部表面为圆锥表面的几何体。

圆锥角 α 是通过圆锥轴线的截面内，两条素线间的夹角，如图 1—4 所示。

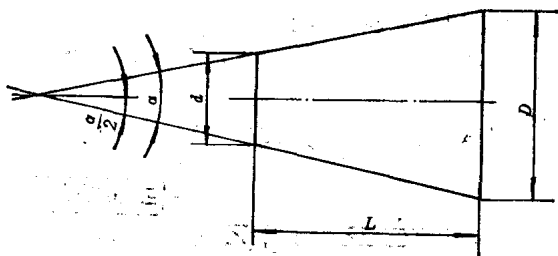


图 1—4

应当说明：

① GB 157—83 圆锥角为 α ，锥度为 C ，而以往其他标准圆锥角为 2α ，而锥角为 α ，锥度为 K 。在本文中圆锥角、锥角、锥度计算均以 GB 157—83 为准。

② 所表达的 $C=1:20$ 是指直径 D 与 d 之间距离 L 为 20mm 上 $D-d$ 的直径差为 1mm，并且 $C=2 \tan \frac{\alpha}{2} = 1: \frac{1}{2} \cot \frac{\alpha}{2}$ 。