

长度计量测试丛书

蜗轮蜗杆测量

成熙治 刘法权 编著



中国计量出版社

长度计量测试丛书

第十七分册

蜗轮蜗杆测量

成熙治 刘法权编著

长度计量测试丛书编委会审订

中国计量出版社

新登(京)字024号

内 容 提 要

本书系统地讨论各种新型的圆柱蜗杆传动,并分析各类蜗杆的形成原理,蜗杆、蜗轮及其传动质量的测量方法。

书中首次介绍了蜗杆曲线面齿形误差和蜗轮齿形误差的测量,蜗轮分度圆齿厚偏差的测量。为了应用上的方便,还给出了应用实例、数据表格和计算程序。

本书是根据1988年最新颁布的与蜗杆传动有关的各类国家标准编写的。可供计量测试、设计及工艺等方面的工程技术人员使用和大专院校师生参考,也可作为最新颁布的与蜗杆传动有关的国家标准的宣贯教材。

长度计量丛书第十一分册

蜗轮蜗杆测量

成配平 刘法权等

长度计量丛书编审委员会审定

责任编辑 朱桂兰

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

中国铁道出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本787×1092/32 印张12.37 字数 275千字

1991年12月第1版 1991年12月第1次印刷

印数00,001—7000

ISBN 7-5026-0417-0/TB·333

定价: 6.50元

前 言

长度计量测试丛书是根据中国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中国计量出版社组织编写的。

党的十二大提出：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。在计量测试学科领域中，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，必须依靠科学技术的进步。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，得到中国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

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 轼 铮 许 金 钊 朱 桂 兰

刘 瑞 清 何 贡 陈 林 才

李 继 桢 李 隆 铸 庚 以 深

林 洪 桦 费 业 泰 徐 孝 恩

黄 生 耀 黄 福 芸 梁 晋 文

绪 言

圆柱蜗杆传动是一种古老的而又不断发展更新的机械传动，随着机器制造和仪器制造的发展，它已广泛用于机床、冶金、矿山、石油、化工、建筑、起重运输、轻工、纺织、食品、仪表、军械兵器、电子跟踪和天文仪器等方面传递运动和动力。特别是在一些分度机械中，蜗杆和蜗轮已成为一种不可替代的机械传动元件。目前，国内、外在蜗杆传动装置的制造方面已达到了一个较高的水平，如：传动中心距达2000mm以上；传动比达1500；传递功率达1000kW；蜗杆转速达4000r/min；线速度达60m/s；蜗轮轮齿承受的圆周力达80000kg·f；输出的扭矩达7000kg·f·m；传动的效率高达98%；蜗杆传动的精度越来越高；其使用寿命达10年以上。工业技术的进步与测量技术密切相关，且对测量技术的发展不断提出新的和更高的要求。

为适应当前对蜗杆传动品种的发展及其质量，近来，我国已陆续制订和颁布了《圆柱蜗杆、蜗轮术语及代号》、《圆柱蜗杆模数和直径》、《圆柱蜗杆基本齿廓》、《圆柱蜗杆、蜗轮精度》、《小模数圆柱蜗杆基本齿廓》、《小模数圆柱蜗杆、蜗轮精度》等一系列国家标准。这些标准是考虑、并立足于我国生产实际状况和技术发展的需要，积极采用国际标准和国外先进工业国家标准的原则制订的。其中提出了不少新概念、新指标、新要求。这对我国生产技术的发展和产品质量的不断提高，无疑的有着深远的影响。本书是在已制订和颁布的这些国家标准的基础上，对蜗杆传动的原

理及几何计算、精度指标和测量方法进行了系统的介绍和分析。其中有些测量方法如蜗轮齿形误差的测量、蜗轮分度圆齿厚偏差的测量等是鲜为人知的。有些计算方法，如蜗杆、蜗轮量柱（球）测量距的计算也是首次公诸于世的。考虑到蜗轮的精度与滚刀的精度有十分密切的关系，本书将蜗轮滚刀的测量也包括在内。

本书在编写的过程中，既注意到内容的科学性，又注意到方法的实用性，同时还兼顾了不同层次读者的需求。为了应用上的方便，我们还给出了一些应用实例，数据表格，以及计算程序。对于那些反映作者最新成果并首次公布的一些方法，如关于蜗杆、蜗轮量柱（球）测量距的精确计算。我们不得不花费一定的篇幅，在理论上进行必要的证明，但在阅读时略去这些内容，并不会影响对这些方法的理解和实际应用。

在本书的编写过程中，承蒙徐孝恩同志亲自主持审阅，并提出了很多宝贵的意见，还有朱桂兰同志为本书的编辑和加工付出了辛勤的劳动，并得到了哈尔滨第一工具厂李玉久、孙醒凡同志和重庆机床厂张显登同志在提供资料方面无私的帮助，特表以感谢。

编写此书时，作者力求尽量反映国内、外在圆柱蜗杆、蜗轮测量领域里的最新成就和实践经验，但难免存在一些缺点和不足之处，热忱欢迎读者批评指正。

编者 著

1989年4月

符 号 表

本书用到的一些符号汇总如下:

ZA 蜗杆	阿基米德蜗杆	m	蜗杆的轴向模数
ZN 蜗杆	法向直廓蜗杆	α	蜗杆的齿形角
ZN1 蜗杆	齿槽法向直廓蜗杆	α_s	蜗杆的轴向齿形角
ZN2 蜗杆	齿面法向直廓蜗杆	α_n	蜗杆的法向齿形角
ZN3 蜗杆	齿面法向直廓蜗杆	α_1	法向齿形角在端平面上的投影角
ZI 蜗杆	渐开线蜗杆	α_H	蜗杆导圆柱切平面齿形角
ZK 蜗杆	锥面包络圆柱蜗杆	α_f	蜗杆端面压力角
ZK1 蜗杆	盘状锥面包络圆柱蜗杆	α'_f	蜗杆节圆上的端面压力角
ZK2 蜗杆	指状锥面包络圆柱蜗杆	β	螺旋角
ZK3 蜗杆	端截锥面包络圆柱蜗杆	r	蜗杆分度圆柱导程角(简称导程角)
ZC 蜗杆	圆弧圆柱蜗杆	r'	蜗杆节圆柱导程角
ZC1 蜗杆	圆环面包络圆柱蜗杆	r_b	蜗杆基圆柱导程角
ZC2 蜗杆	圆环面圆柱蜗杆	P	蜗杆的螺旋参数
ZC3 蜗杆	轴向圆弧齿圆柱蜗杆	P_1	蜗杆的轴向齿距
α_0	刀具产形角(刀具齿形角)或砂轮产形角	P_2	蜗杆的法向齿距
r_0	刀具分圆柱导程角	P_3	蜗杆的导程
Z_0	滚刀头数	q	蜗杆的直径系数
P_K	滚刀容屑槽导程	a	传动中心距
d_0	蜗杆产形刀具分度圆直径	h_0	圆柱蜗杆基本齿廓齿顶高
r_0	蜗杆产形刀具分度圆半径	h_0^*	圆柱蜗杆基本齿廓齿顶高系数
A_0	蜗杆产形刀具的齿顶距	h_1'	圆柱蜗杆基本齿廓工作齿高
a_0	蜗杆产形刀具与蜗杆的中心距	r_1	钢球中心至蜗轮轴线的距离
S_0	蜗杆产形刀具分度圆齿厚	d_m	量柱或钢球直径
e_0	刀具产形面在蜗杆分度圆柱切平面上的齿槽宽度	e_s'	测量蜗杆节圆柱上的齿槽宽
Z_1	蜗杆头数	Z_2	蜗轮齿数
d_{a1}	蜗杆齿顶圆直径	d_2	蜗轮的喉圆直径
r_{a1}	蜗杆齿顶圆半径	r_{a2}	蜗轮的喉圆半径
d_1	蜗杆分度圆直径	d_2	蜗轮的分度圆直径
r_1	蜗杆分度圆半径	r_2	蜗轮的分度圆半径
d_1'	蜗杆节圆直径	d_2'	蜗轮的节圆直径
r_1'	蜗杆节圆半径	r_2'	蜗轮的节圆半径

d_{f1} 蜗杆齿根圆直径
 r_{b1} 渐开线蜗杆基圆柱半径
 r_H 法向直廓蜗杆导圆柱半径
 h_{a1} 蜗杆齿顶高
 h_{f1} 蜗杆齿根高
 h_1 蜗杆齿高
 b_1 蜗杆齿宽
 S_1 蜗杆轴向齿厚
 S_2 蜗杆法向齿厚
 e_1 蜗杆轴向齿槽宽
 e_2 蜗杆法向齿槽宽

d_{f2} 蜗轮齿根圆直径
 r_{b2} 蜗轮的基圆半径
 h_{a2} 蜗轮齿顶高
 h_{f2} 蜗轮齿根高
 h_2 蜗轮齿高
 b_2 蜗轮齿宽
 S_2 蜗轮分度圆齿厚
 θ 蜗轮齿宽角 (或测量蜗杆两次接触之间的转角)
 $r_{\theta 2}$ 蜗轮咽喉母圆半径
 x_2 蜗轮的变位系数

目 录

第一章 蜗杆传动的原理和几何计算	(1)
一、蜗杆传动的特点和应用.....	(1)
二、蜗杆传动的分类.....	(3)
(一) 圆柱蜗杆传动.....	(4)
(二) 环面蜗杆传动.....	(12)
三、圆柱蜗杆传动的基本参数.....	(15)
四、圆柱蜗杆的基本齿廓.....	(40)
五、圆柱蜗杆传动的几何计算和标记方法.....	(43)
六、圆柱蜗杆的齿面和齿廓方程.....	(47)
(一) 法向直廓蜗杆.....	(47)
(二) 阿基米德蜗杆.....	(55)
(三) 渐开线蜗杆.....	(57)
(四) 盘状锥面包络圆柱蜗杆.....	(61)
(五) 圆环面包络圆柱蜗杆.....	(65)
(六) 圆环面圆柱蜗杆.....	(67)
七、圆柱蜗杆传动蜗轮的端面齿廓.....	(70)
(一) 蜗轮的节圆和分度圆.....	(70)
(二) 阿基米德蜗杆传动的蜗轮的端面齿廓.....	(72)
(三) 法向直廓蜗杆传动的蜗轮的端面齿廓.....	(73)
(四) 渐开线蜗杆传动的蜗轮的端面齿廓.....	(75)
第二章 圆柱蜗杆蜗轮误差项目及其公差	(77)
一、圆柱蜗杆传动的使用要求.....	(77)
二、圆柱蜗杆蜗轮及其传动的误差项目.....	(79)
(一) 圆柱蜗杆的误差项目.....	(79)
(二) 蜗轮的误差项目.....	(80)
(三) 传动的误差项目.....	(93)

三、圆柱蜗杆蜗轮精度及其选用	(94)
(一) 圆柱蜗杆蜗轮精度	(94)
(二) 蜗杆传动的侧隙	(96)
(三) 圆柱蜗杆传动公差的选用	(101)
第三章 圆柱蜗杆的测量	(145)
一、蜗杆螺旋线误差的测量	(145)
(一) 绝对测量法	(145)
(二) 相对测量法	(150)
二、轴向齿距偏差及其累积误差的测量	(157)
(一) 在万能工具显微镜上测量	(158)
(二) 在轴向齿距检查仪上测量	(162)
三、蜗杆齿形误差的测量	(164)
(一) 在滚刀检查仪上测量	(166)
(二) 在万能工具显微镜上测量	(172)
(三) 样板法测量	(178)
四、蜗杆齿槽径向跳动的测量	(179)
五、蜗杆齿厚偏差的测量	(180)
(一) 蜗杆齿厚的计算	(180)
(二) 蜗杆量柱测量距的计算	(182)
(三) 蜗杆成形刀具齿厚的计算	(206)
(四) 蜗杆齿厚偏差的直接测量	(213)
(五) 蜗杆齿厚偏差的间接测量	(216)
第四章 蜗轮的测量	(220)
一、切向综合误差的测量	(220)
二、径向综合误差的测量	(225)
三、齿距误差的测量	(226)
(一) 绝对测量法	(228)
(二) 相对测量法	(234)
(三) 跨齿测量法	(241)
四、齿圈径向跳动的测量	(251)
五、齿形误差的测量	(252)
(一) 齿形误差的比较测量法	(253)

(二) 齿形误差的绝对测量法	(257)
六、蜗轮齿厚偏差的测量	(262)
(一) 蜗轮分度圆齿厚的计算	(262)
(二) 蜗轮量球测量距的计算	(264)
(三) 蜗轮齿厚偏差的直接测量	(292)
(四) 蜗轮齿厚偏差的间接测量	(305)
第五章 圆柱蜗杆传动质量的测量	(308)
一、传动切向综合误差的测量	(308)
(一) 传动切向综合误差测量的基本原理	(309)
(二) CDY-1 型传动链误差检测仪的工作原理	(310)
二、传动接触斑点的测量	(313)
三、传动侧隙的测量	(319)
四、安装误差的测量	(321)
第六章 蜗轮滚刀的测量	(326)
一、蜗轮滚刀的结构及特点	(326)
二、蜗轮滚刀的误差项目及其公差	(330)
三、蜗轮滚刀的测量	(333)
(一) 滚刀啮合误差的测量	(333)
(二) 滚刀螺旋线误差的测量	(338)
(三) 轴向齿距最大误差的测量	(338)
(四) 齿形误差的测量	(342)
(五) 刀齿前面径向性误差的测量	(348)
(六) 刀齿前面与内孔轴向平行度的测量	(350)
(七) 容屑槽的导程误差的测量	(351)
(八) 容屑槽的相邻圆周齿距偏差及其圆周齿距最大 累积误差的测量	(356)
(九) 齿厚偏差的测量	(359)
(十) 轴台端面圆跳动与径向圆跳动的测量	(361)
(十一) 刀齿径向圆跳动的测量	(362)
附录 中华人民共和国国家标准 GB6084—85 《齿轮滚刀通用技术条件》	(364)
主要参考文献	(377)

第一章 蜗杆传动的原理和几何计算

一、蜗杆传动的特点和应用

蜗杆传动是一种空间交错轴齿轮传动，其中的小齿轮叫蜗杆，它只有一个或几个螺旋齿，齿体的分度曲面可以是圆柱面、环面或锥面；而大齿轮叫蜗轮，它的直径较大，齿数较多，齿体的中曲面为环面或锥面（图 1—1）。蜗杆传动的轴交角一般为 90° ，蜗杆的齿面是螺旋面，而蜗轮的齿面是其配对蜗杆的齿面的共轭曲面。在传动过程中，蜗杆和蜗轮各绕其自身的支承轴线转动，保持一定的传动比。通常蜗杆是主动件，蜗轮是从动件，构成减速传动。

蜗杆传动有如下优点：

1. 单级传动比大。普通圆柱齿轮或圆锥齿轮传动的单级传动比一般不超过10，而蜗杆传动的单级传动比可轻易地达到70~100，甚至有的机床慢速回转工作台采用的蜗杆传动，其单级传动比达到1 000以上。由于单级传动比大，采用蜗杆传动的减速器就可以用较小的外形尺寸得到较大的传动比。

2. 传动平稳、噪音小。普通齿轮传动的齿面接触主要是滚动接触，而蜗杆与蜗轮啮合时，由于在节点处的速度方向相互垂直，其齿面的接触主要是滑动接触，并且蜗杆传动的重合度也比普通齿轮传动的重合度大，因而减少了产生振动和噪音的因素。

3. 可以实现自锁。当蜗杆的导程角小于摩擦角时，蜗

杆传动只能由蜗杆驱动蜗轮，而不能由蜗轮驱动蜗杆，这对一些不允许逆转的机构来说是非常必要的。

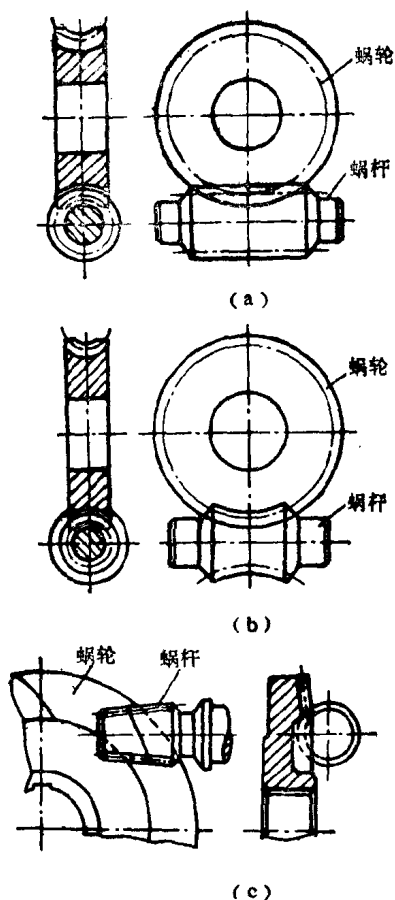
蜗杆传动的缺点是：

1. 传动效率低。

由于蜗杆和蜗轮相啮齿面的摩擦损失较大，所以蜗杆传动的效率较低，特别是那些要求自锁的蜗杆传动，由于蜗杆的导程角很小，传动效率往往在50%以下。不过，当采用小传动比（ $i = 1 \sim 5$ ）时，蜗杆传动的效率也可以达到98%以上。

2. 容易产生胶合和磨损。

蜗杆传动的啮合表面呈线接触，在承受载荷时，轮齿之间的油膜容易破坏，形成干摩擦，并且产生较多的热量，因此胶合和磨损是蜗杆传动失效的主要形式。



(a) 圆柱蜗杆传动，(b) 环面蜗杆传动，(c) 锥蜗杆传动

图 1—1 蜗杆传动

3. 成本高。

为了提高蜗杆传动的抗胶合和抗磨损的能力，蜗轮的齿圈往往要用青铜或其它耐磨材料制造，同时对

蜗杆齿面的硬度和表面粗糙度也提出很高的要求。此外，蜗杆和蜗轮属空间共轭曲面的啮合，对制造和安装误差均很敏感，因而其制造工艺比较复杂，还要采用专门的机床和昂贵的专用刀具，这就增加了制造成本。

由于蜗杆传动有以上特点，使得它在近代工业中的应用十分广泛，特别在机床制造业中，蜗杆传动的应用尤为普遍，它几乎成为一般低速转动工作台和连续分度机构的唯一传动形式。冶金工业中的轧机压下机构，煤矿设备中的各种绞车和采煤机组的牵引装置，起重运输行业的各种提升设备，电梯、自动扶梯、汽车、无轨电车等也都广泛采用蜗杆传动。此外，精密仪器设备和军工、宇宙观测部门常用的分度、操纵、计算、测距机构，雷达装置，大型天文望远镜等也都离不开蜗杆传动。

目前，我国在蜗杆传动的理论研究和生产技术上都达到了前所未有的新水平。例如，自行设计制造的大型蜗杆传动，其输出转矩已达10吨米，在我国研制的2.16m口径天文望远镜上，用于精密分度的蜗杆传动的累积误差只有 $5.6''$ ，而短周期误差不超过 $1''$ 。

二、蜗杆传动的分类

在研究蜗杆、蜗轮的测量时，首先要知道蜗杆传动的分类。按蜗杆结构形状的不同，蜗杆传动可以分为圆柱蜗杆传动、环面蜗杆传动和锥蜗杆传动三大类。蜗杆分度曲面为圆柱面的蜗杆传动叫圆柱蜗杆传动〔图1—1(a)〕；蜗杆分度曲面为环面的蜗杆传动叫环面蜗杆传动〔图1—1(b)〕；而蜗杆分度曲面为锥面的蜗杆传动叫锥蜗杆传动〔图1—1(c)〕。其中圆柱蜗杆传动的应用最为普遍。环面蜗杆传动由于同时参加啮合的齿数较多，故能承受较大的载荷，但制造比较

困难,所以主要用于某些低速重载传动,但也有用于精密分度装置的,如重庆机床厂生产的高精度滚齿机的分度蜗轮副便是。至于锥蜗杆传动,由于制造上的原因,国内很少采用,故不作更多的介绍。

(一) 圆柱蜗杆传动

圆柱蜗杆传动的蜗杆齿面是一条线段(即成形线)绕蜗杆轴线作螺旋运动所生成的螺旋面。根据螺旋面形状的不同,圆柱蜗杆又可分为阿基米德蜗杆、法向直廓蜗杆、渐开线蜗杆、锥面包络圆柱蜗杆和圆弧圆柱蜗杆等五类。

1. 阿基米德蜗杆(ZA蜗杆)

齿面为阿基米德螺旋面的蜗杆叫阿基米德蜗杆,其端面齿廓是阿基米德螺旋线,轴向齿廓是直线。阿基米德蜗杆简称ZA蜗杆,其齿形称为齿形A。

阿基米德蜗杆的齿面成形原理如图1—2(a)所示,齿面成形线与蜗杆轴线相交并与蜗杆端面成 α_x 角, α_x 是蜗杆的轴向齿形角。阿基米德蜗杆可用车削方法加工〔图1—3(a)〕,车刀的直线刃应安装在蜗杆的轴平面上并与端面成 α_x 角。当蜗杆导程角较大时,蜗杆的左、右齿面可分别成形。阿基米德蜗杆也可用渐开线斜齿插齿刀加工〔图1—3(b)〕。如果用盘状刀具铣削或磨削阿基米德蜗杆,则铣刀的切削刃或砂轮的截面形状必须是理论上求出的曲线,若用直线代替,其误差往往是不能容许的。

2. 法向直廓蜗杆(ZN蜗杆)

法平面上的齿廓为直线的圆柱蜗杆叫法向直廓蜗杆,其端面齿廓呈凸形,而轴向齿廓呈微凹形。法向直廓蜗杆简称ZN蜗杆,其齿形称为齿形N。

所谓蜗杆的法平面指的是垂直于蜗杆的某圆柱螺旋线或与该圆柱螺旋线平行的假想螺旋线的平面。根据法平面选取