

长度计量测试丛书

圆锥齿轮测量

张鸿源 编著



中国计量出版社

长度计量测试丛书

第十六分册

圆锥齿轮测量

张鸿源 编著

长度计量测试丛书编委会审订

中国计量出版社

内 容 提 要

本书是以圆锥齿轮球面渐开线齿形及齿廓面的形成为基点,分析了球面渐开线的形成及其特性,并根据球面三角学的有关公式,推导了球面渐开线方程及函数关系,从而提出一些测量原理和测量方法。书中还根据圆锥齿轮公差标准中规定的各项精度规范的要求,介绍了单项测量、综合测量及滚动检查三种方法,全面地介绍了齿圈精度控制方法,此外,除了介绍在一些计量室设备条件下的测量方法和手段外,考虑到生产的实际需要,也介绍了一些在生产车间条件下的检测方法,同时还介绍了一些典型的检测夹具。

本书可供中等以上文化程度在职的计量测试人员及中专以上院校师生、有关的工程技术人员、科研工作者、计量管理干部参考。

长度计量测试丛书第十六分册

圆锥齿轮测量

张鸿源 编著

长度计量测试丛书编委会审订

责任编辑 朱桂兰

中国计量出版社出版

北京和平门内11区7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 13.375 字数 300 千字
1988 年11月第1版 1988 年11月第1次印刷

印数 1—12 000

ISBN 7-5026-0117-1/TB·07

定价 4.30 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 轶 锋 许金钊 朱 桂 兰

刘瑞清 何 贡 陈林才

李继楨 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

随着机械工业的不断发展，圆锥齿轮同圆柱齿轮一样，也已广泛地应用于机械工业之中，由于工农业生产和科学技术的飞跃发展，对主要传动零件之一的圆锥齿轮的质量，要求也愈来愈高。因此，在普及的基础上，要求计量测试人员较全面地掌握圆锥齿轮啮合原理、测量项目和方法，合理地选择测试手段，充分发挥我国当前现有设备的作用，严格控制误差来源，正确分析齿轮精度，不断探索新的测量方法，以提高检测水平及工作效率。

本书是以圆锥齿轮球面渐开线齿形及齿廓面的形成为基点，分析了球面渐开线的形成和它的特性，并根据球面三角学的有关公式，推导了球面渐开线方程和它的函数关系，从而提出一些测量原理和方法。书中还根据圆锥齿轮公差中各精度规范项目的要求，按照一般控制齿圈精度的单项测量、综合测量及滚动检查三种方法，全面地介绍了齿圈精度控制方法。此外，除了介绍一些计量室设备条件下的测量方法和手段外，考虑到生产的实际需要，也介绍了一些生产车间条件下的检测方法、手段。同时还介绍了一些典型检测夹具，以供有关工程技术人员及产品质量检验人员参考。

由于笔者水平所限，加之调查研究不够，书中难免会有一些错误及不妥之处，望请读者批评指正。

编 著 者

本册常用符号说明

m	模数, 背锥面上即圆锥齿轮大端模数
m_t	端面模数
m_n	法向模数
z_1	小轮齿数
z_2	大轮齿数
z_v	背锥当量齿轮齿数
α	压力角、齿形角、分度圆压力角
α_n	法向压力角
α_t	端面压力角
α_0	原始齿形(刀具齿形)角
d	分度圆直径
r	分度圆半径
d_a	顶圆直径
r_a	顶圆半径
d_f	根圆直径
r_f	根圆半径
d_b	基圆直径
r_b	基圆半径
d'	齿轮副啮合时节圆直径
r'	齿轮副啮合时节圆半径
d_{vb}	背锥当量齿轮基圆直径
r_{vb}	背锥当量齿轮基圆半径
d_{va}	背锥当量齿轮齿顶圆直径

有关角标说明 (一般注在右下角)

r_{va} 背锥当量齿轮齿顶圆半径

r_{vf} 背锥当量齿轮齿根圆半径

r_{vb} 背锥当量齿轮基圆半径

h_a 齿顶高, 背锥面上齿顶圆与分度圆间径向距离

h_f 齿根高, 背锥面上齿根圆与分度圆间径向距离

h' 齿的工作高度

h 齿全高

h_a^* 齿顶高系数 (齿顶高与模数的比值)

$$h_a^* = \frac{h_a}{m}$$

c 径向间隙 (圆锥齿轮副一齿轮顶锥与另一齿轮根锥间距离)

c^* 径向间隙系数 (径向间隙与模数比值)

$$c^* = \frac{c}{m}$$

p 齿距, 分度圆齿距

K 安装距, 分度圆锥顶点与圆锥齿轮轴向支承端面间距离

L_x 锥顶端距, 分度圆锥顶点与齿顶圆大端径向平面间距离

H 轮冠距, 齿顶圆大端径向平面至支承端面间距离

R 锥距, 分度圆锥母线长 (分度圆锥顶点至背锥面间垂直距离)

R_o 外锥距

R_m 轮齿中点锥距

R_i 轮齿内锥距

b 齿宽, 在锥距 (分度圆锥母线) 上轮齿长

Σ	轴心线夹角	
δ	分度圆锥角	
δ'	圆锥齿轮副啮合时节圆锥角	
δ''	双面综合检查时节圆锥角	
δ_a	顶锥角	
δ_f	根锥角	
δ_b	背锥角	
δ_b	基圆锥角	
θ_a	齿顶角, 轴截面上分度圆锥母线(锥距)与顶锥母线间夹角	
θ_f	齿根角, 轴截面上分度圆锥母线与根锥母线间夹角	
\overline{S}	分度圆理论弧齿厚	
\overline{S}	分度圆弦齿厚	
$\overline{h_a}$	分度圆弦齿顶高	
$\overline{S_o}$	固定弦齿厚	
$\overline{h_c}$	固定弦齿高	
i	传动比	
x	径向变位系数	
x_t	切向变位系数	
c	侧隙	
M	量球(滚珠)的测量距	
W	公法线长	
β	螺旋角	
η	槽宽	
ρ	曲率半径	
φ	作用角	
ψ	齿厚半角	
ω	角速度	

- n*** 法向的
- t*** 切向的
- r*** 径向的
- a*** 齿顶的
- b*** 基圆的
- c*** 固定弦的
- e*** 大端的
- f*** 齿根的
- i*** 小端的
- k*** 跨齿数的
- m*** 中点的
- v*** 背锥的、当量的
- o*** 刀具的

其他有关标记说明

* (星号) 尺寸系数 (尺寸与模数比值)。标在主代号右上角

' (一撇) 工作的, 啮合的, 节圆的 (节圆锥的)。标在主代号右上角

" (两撇) 双面啮合的, 综合检查的。标在主代号右上角

— (横线) 弦的 (标在主代号右上方)

目 录

绪言

本册常用符号说明 (i)

第一章 绪论 (1)

一、圆锥齿轮传动及其基本几何关系 (1)

二、圆锥齿轮啮合概念 (4)

三、圆锥齿轮基本参量及其定义 (15)

四、圆锥齿轮背锥及其当量齿轮 (21)

五、圆锥齿轮传动的几何计算 (24)

第二章 圆锥齿轮测量概述 (25)

一、圆锥齿轮精度规范 (25)

二、小模数圆锥齿轮传动公差 (JB 306—62) (28)

三、圆锥齿轮传动公差 (JB 180—60) (47)

四、圆锥齿轮测量项目的确定 (63)

五、测量方法的精度 (67)

六、当前圆锥齿轮测量概况 (82)

第三章 圆锥齿轮单项测量 (85)

一、运动精度测量 (85)

二、工作平稳性测量 (119)

三、接触精度测量 (160)

四、侧隙规范测量 (177)

第四章 圆锥齿轮毛坯的测量 (224)

一、圆锥齿轮装配基面的精度测量 (225)

二、轮冠上有关参数及其测量 (226)

三、介绍几种当前使用的圆锥齿轮齿坯公差 (233)

第五章 圆锥齿轮综合测量 (242)

一、利用能反映度量轴心线夹角变动的仪器对圆锥 齿轮进行综合测量	(243)
二、关于测量圆锥齿轮锥顶变动 ΔK 的综合检查 夹具	(250)
三、综合检查用圆锥齿轮标准齿轮	(253)
第六章 圆锥齿轮的滚动检查	(275)
一、滚动检查机	(275)
二、圆锥齿轮的滚动检查	(282)
三、滚动检查机对螺旋圆锥齿轮检查时的 V/H 方法	(285)
四、滚动检查用标准齿轮	(290)
五、格里森(Gleason) -513 检查机对圆锥齿轮副的 检查	(292)
第七章 圆锥齿轮的测绘	(294)
一、直齿圆锥齿轮的测绘	(295)
二、螺旋圆锥齿轮的测绘	(318)
三、圆锥齿轮的测绘程序	(331)
附录	(333)
附录 1 球面三角学常用公式	(333)
附录 2 渐开线函数表	(336)
附录 3 圆锥齿轮各部分尺寸计算	(400)
参考文献	(406)

第一章 绪 论

齿轮传动是当前机械传动中的基本形式之一，在机器制造业及仪器仪表制造业占有很重要的地位。平行轴间的齿轮传动用圆柱齿轮；相交(或有一较小的偏置量)轴间的传动则主要由圆锥齿轮来完成。圆锥齿轮在机械装置中的作用，主要是完成动力传递和运动传递。根据使用目的的不同，与圆柱齿轮一样，有传动速比恒定、传动平稳、齿廓面应有足够的接触精度等要求。为达到上述目的，要求轮齿相对于回转中心分度均匀，齿廓面的齿形形状要准确(圆锥齿轮的齿廓曲线理想的形状应为球面渐开线)；为保证接触精度，轮齿的齿宽方向应保证一定的几何精度；在轮齿的齿厚上，为补偿上述有关误差和啮合时润滑油的贮存，应有恰当的侧隙，因此齿厚尺寸亦应严格控制。

圆锥齿轮的设计、制造和公差的制订以及测量仪器和测量原理的选择均是依据上述原则而考虑的。

一、圆锥齿轮传动及其基本几何关系

相交轴之间定传动比的传动，理论上是由两圆锥体的摩擦传动来体现的。与圆柱齿轮相似，以两摩擦圆锥(相当于圆锥齿轮的两节圆锥)相互进行纯滚动来完成相交轴具有定传动比的传动。圆锥齿轮除有节圆锥外(如采用非变位齿轮传动其节圆锥即为分度圆锥)尚有齿顶锥、齿根锥，以及产生齿廓球面渐开线的基圆锥和控制节锥母线长的背锥。

图 1—1 为一对节圆锥相互滚动时相切的情况， Σ 为两

轴间夹角, δ_1, δ_2 为两圆锥齿轮的分度圆锥角, 则两轮的传动比为:

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{r_2}{r_1}$$

- 式中 ω_1 —— 轮 1 的角速度;
 ω_2 —— 轮 2 的角速度;
 z_1 —— 轮 1 的齿数;
 z_2 —— 轮 2 的齿数;
 r_1 —— 轮 1 的分度圆半径;
 r_2 —— 轮 2 的分度圆半径。

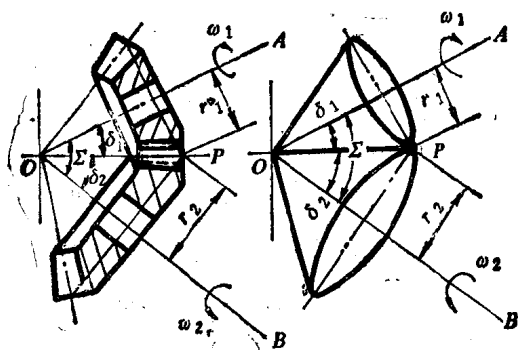


图 1-1 圆锥齿轮的节圆锥滚动

从图中可以看出:

$$r_1 = OP \sin \delta_1$$

$$r_2 = OP \sin \delta_2$$

所以

$$i_{12} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{\sin \delta_2}{\sin \delta_1}$$

因为

$$\Sigma = \delta_1 + \delta_2$$

所以

$$i_{12} = \frac{\sin(\Sigma - \delta_1)}{\sin \delta_1} = \frac{\sin \Sigma \cos \delta_1 - \cos \Sigma \sin \delta_1}{\sin \delta_1}$$

$$= \sin \Sigma \operatorname{ctg} \delta_1 - \cos \Sigma$$

$$\text{则} \quad \operatorname{ctg} \delta_1 = \frac{i_{12} + \cos \Sigma}{\sin \Sigma} \quad (1-1)$$

$$\text{同理} \quad \operatorname{ctg} \delta_2 = \frac{i_{21} + \cos \Sigma}{\sin \Sigma} \quad (1-2)$$

当 $\Sigma = 90^\circ$ 时，式 (1-1) 与 (1-2) 即变为：

$$i_{12} = \operatorname{ctg} \delta_1 = \operatorname{tg} \delta_2 \quad (1-3)$$

由上式可以知道，两个圆锥齿轮啮合，若传动比 i_{12} 及其轴间夹角 Σ 已知，用式 (1-1) ~ (1-3) 即可求出两圆锥齿轮的节锥角大小。

圆锥齿轮中最简单的是直齿圆锥齿轮，但直齿相对弧齿及摆线齿来说，其重叠系数低，所以传动过程中工作平稳性差，容易产生噪音。另外，承载能力也较小。虽然目前通过磨齿可以制造出较高精度的直齿圆锥齿轮，但在高速或传递较大扭矩时，仍普遍采用斜齿、弧齿或摆线齿圆锥齿轮。

如果把理论上两轴线不相交的定传动比机构看成是一对圆锥齿轮副中轮 1 的轴线相对于轮 2 偏置一个尺寸，根据圆锥齿轮副为一对摩擦圆锥的概念，则两圆锥面不是相切于一条节锥母线，而是相切于一个点，这样显然传动能力很小，无法满足机械传动中的要求。因此，要把点接触变为直线接触，而该直线又不和两轴线相交，当此直线分别绕两轴线回转时，形成的则是两个双曲面。工业上见到的双曲面齿轮，其节锥即为节双曲面，它是整个双曲面的一部分。实际上为了简化，其齿轮外形均做为锥形，如图 1-2 所示。双曲线圆锥齿轮相对于锥顶相交的圆锥齿轮有很多特点。有关这方面的理论和计算可详见双曲线齿轮的专门论述。

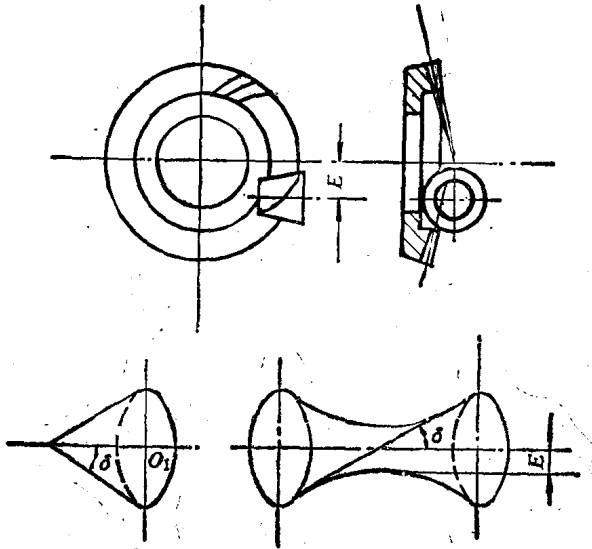


图 1—2 双曲线齿轮

二、圆锥齿轮啮合概念

由于圆锥齿轮的传动原理是由两个圆锥体的摩擦机构来体现的，两个圆锥齿轮上一对共轭齿廓的啮合是在以锥顶 O 为圆心，以外锥距 R 为半径的球面上来进行的，所以圆锥齿轮理想的齿廓曲线即为布于球面上的渐开线（简称球面渐开线），如图 1—3 所示。

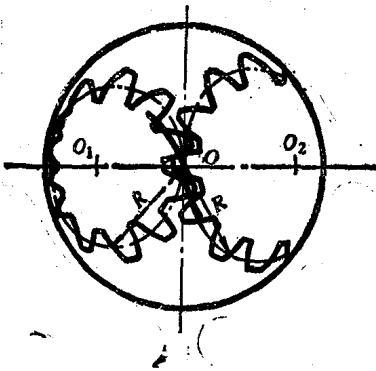


图 1—3 圆锥齿轮副的球面渐开线齿廓

（一）球面渐开线齿形及齿廓面的形成

1. 圆锥齿轮齿廓曲线的形成原理