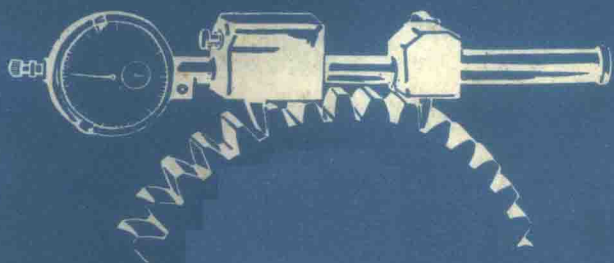


齿轮测量



中国计量科学研究院长度室

毛 主 席 语 录

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。停止的论点，悲观的论点，无所作为和骄傲自满的论点，都是错误的。

马克思主义的哲学认为十分重要的问题，不在于懂得了客观世界的规律性，因而能够解释世界，而在于拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

前 言

随着我国社会主义革命和社会主义建设的蓬勃发展，各工业部门和科学技术战线上的广大革命群众发扬自力更生，艰苦奋斗的革命精神，正在为贯彻执行党的十大所提出的各项战斗任务而努力奋战。为了适应生产发展和科研的需要，我院长度室有关同志，在总结和修改“长度计量”（齿轮测量部分）的基础上，收集了国内外有关资料编写成本书。

本书的编写工作重点在于介绍齿轮的测量方法。齿轮渐开线、周节和周节累积误差以及蜗轮的测量等几章是本书的重点，在这几章中由浅入深地讨论了测量方法，误差处理和精度分析，其余各章仅作了一般的叙述。本书可供从事齿轮测量工作同志的参考。

由于我们对马列主义，毛泽东思想学习得很不够，实践经验也少，书中肯定会有不少缺点错误，希望读者提出批评指正。

1973.12

目 录

第一章 齿 轮 原 理

§ 1—1 概 述

- (一) 对齿轮传动的精度要求..... (1)
- (二) 齿轮传动的类型..... (3)
- (三) 齿轮的种类..... (4)

§ 1—2 渐开线齿轮啮合的基本概念

- (一) 渐开线啮合的概念..... (7)
- (二) 渐开线啮合的定义及名称..... (8)
- (三) 原始齿形..... (16)
- (四) 修正齿轮..... (19)
 - 1. 高度修正..... (21)
 - 2. 角度修正..... (22)
 - 3. 去缘修正..... (23)
- (五) 园柱斜齿轮..... (24)
- (六) 渐开线园柱齿轮外啮合传动尺寸的计算
公式..... (29)

§ 1—3 摆线齿轮传动的基本概念

- (一) 摆线啮合的性质..... (33)
- (二) 摆线啮合的概念..... (35)
- (三) 钟表啮合齿轮几何参数的计算..... (37)

1. 齿轮几何参数的计算..... (37)
2. 蜗轮几何参数的计算..... (40)
3. 针轮啮合计算公式..... (45)
4. 瑞士钟表啮合主要几何参数的计算..... (45)

第二章 齿轮传动的误差及公差

§ 2—1 齿轮传动中误差的来源

- (一) 齿轮的加工误差..... (48)
- (二) 齿轮各部分误差的分析..... (49)
 1. 渐开线齿形误差..... (49)
 2. 齿轮的各种偏心及其影响..... (50)
 3. 齿轮运动偏心的形成..... (51)
 4. 周节误差..... (57)
 5. 周节累积误差..... (59)
 6. 齿圈径向跳动..... (63)
 7. 齿向误差..... (64)
 8. 齿厚误差..... (64)

§ 2—2 齿轮传动公差标准的简单介绍

- (一) 园柱齿轮的精度要求..... (66)
 1. 运动精度规范..... (67)
 2. 工作平稳性精度规范..... (68)
 3. 接触精度规范..... (68)
 4. 侧隙精度规范..... (68)
- (二) 园柱齿轮的精度等级..... (69)
- (三) 齿轮毛坯的公差..... (70)
 1. 齿顶园直径公差和径向跳动公差..... (70)
 2. 齿轮端面对轴心线的不垂直度..... (71)

3. 齿轮内孔的配合精度.....	(71)
-------------------	------

4. 齿轮传动公差的基本定义和符号.....	(72)
------------------------	------

§ 2—3 齿轮的检验项目及测量仪器的选择

(一) 齿轮的检查形式.....	(99)
------------------	------

1. 终结检查.....	(90)
--------------	------

2. 工艺检查.....	(90)
--------------	------

(二) 检查项目及仪器的选择.....	(91)
---------------------	------

第三章 渐开线齿形的测量

§ 3—1 渐开线齿形的坐标测量方法

(一) 万能工具显微镜测量法.....	(96)
---------------------	------

(二) 座标测量仪器.....	(98)
-----------------	------

(三) 渐开线座标测量仪的精度分析.....	(99)
------------------------	------

1. 测量装置及其原理.....	(99)
------------------	------

2. 精度分析.....	(102)
--------------	-------

§ 3—2 渐开线齿形的比较测量方法

(一) 单盘式渐开线检查仪.....	(110)
--------------------	-------

(二) 万能渐开线检查仪.....	(111)
-------------------	-------

1. 靠模杠杆式万能渐开线检查仪.....	(112)
-----------------------	-------

2. 正弦杠杆式渐开线检查仪.....	(113)
---------------------	-------

3. 固定园盘式渐开线检查仪.....	(114)
---------------------	-------

§ 3—3 齿形误差曲线的处理

(一) 测量长度的计算.....	(118)
------------------	-------

1. 按啮合长度计算测量长度.....	(119)
---------------------	-------

2. 按工作园决定测量长度.....	(120)
--------------------	-------

- (二) 齿形误差的性质.....(121)
- (三) 齿形误差的处理.....(123)
- (四) 测量头的选择.....(125)

§ 3—4 关于渐开线仪器的精度问题

- (一) 单盘式渐开线检查仪的测量链.....(129)
- (二) 靠模式万能渐开线检查仪的测量链.....(130)
- (三) 固定园盘式渐开线检查仪的测量链.....(132)
- (四) 渐开线仪器的零位误差与仪器的精度.....(133)

§ 3—5 单盘式渐开线检查仪的机构精度计算

- (一) 机构精度的概念.....(136)
- (二) 单盘式渐开线检查仪机构的误差分析.....(138)
 - 1. 滚动直尺的误差.....(138)
 - 2. 基园盘的直径误差.....(140)
 - 3. 基园盘的装配与使用误差.....(142)
 - 4. 工件安装影起的误差.....(143)
 - 5. 测量头歪斜引起的误差.....(144)
 - 6. 仪器的综合误差.....(147)

§ 3—6 推荐一个工厂使用单盘式渐开线检查仪的经验

§ 3—7 关于渐开线仪器量值的统一问题

- (一) 渐开线仪器的工作条件与测量误差的关系.....(151)
- (二) 用渐开线样板统一渐开线仪器的量值.....(153)

第四章 周节和周节累积误差的测量

§ 4—1 周节的测量

1. 周节仪.....(158)
2. 万能测齿仪.....(161)

§ 4—2 周节累积误差的测量

- (一) 角度测量法.....(164)
 1. 角节仪或光学分度头.....(164)
 2. 仪器的组合测量法.....(164)
 3. 半自动周节检查仪.....(168)
- (二) 比较测量法.....(170)
 1. 周节累积误差的计算方法.....(170)
 2. 算图或计算尺方法.....(172)

§ 4—3 跨齿测量周节累积误差

- (一) 跨齿补点测量方法.....(175)
- (二) 跨齿测量的计算方法.....(179)
- (三) 最佳跨测齿数.....(173)
- (四) 按 180° 测量周节累积误差.....(175)
- (五) 跨齿测量方法比较.....(176)

§ 4—4 周节及周节累积误差测量中的某些问题

1. 测量力.....(187)

2. 过定位.....(188)
3. 两测头不在同一园周上.....(189)

第五章 齿厚及公法线的测量

§ 5—1 齿厚的测量

- (一) 固定弦齿厚的测量.....(191)
 1. 固定弦齿厚和齿高的计算.....(192)
 2. 固定弦齿厚的测量.....(195)
 3. 在固定弦上测量M值.....(197)
- (二) 分度园弦齿厚的测量.....(199)
 1. 分度园弦齿厚的计算.....(199)
 2. 分度园弦齿厚的测量.....(201)
- (三) 用M值测量分度园齿厚.....(201)
 1. 外啮合M值的计算.....(201)
 2. 内啮合M值的计算.....(203)
- (四) 始厚齿形位移量的测量.....(204)
 1. 量棒的选择及调整.....(205)
 2. 原始齿形误差与其他偏差的关系.....(207)

§ 5—2 公法线长度的测量

- (一) 公法线长度的计算方法.....(209)
 1. 公法线长度计算公式.....(211)
 2. 公法线长度计算表格.....(215)
- (二) 公法线的测量.....(215)
 1. 公法线千分尺.....(215)
 2. 公法线测齿卡尺.....(216)
 3. 万能测齿仪.....(218)

第六章 径向跳动、齿向、基节的测量

§ 6—1 径向跳动的测量

1. 测量头的选择……………(221)
2. 测量仪器与方法……………(222)

§ 6—2 齿向误差的测量

- (一) 齿轮导程检查仪……………(223)
- (二) 用光学分度头和千分表测量……………(225)
- (三) 用渐开线检查仪测量……………(227)
- (四) 万能接触检查仪……………(227)

§ 6—3 基节的测量

1. 基节仪……………(229)
2. 万能测齿仪……………(232)
3. 万能工具显微镜……………(234)

第七章 齿轮的综合测量

§ 7—1 概 述

- (一) 国外齿轮综合测量的现状……………(238)
- (二) 国内齿轮综合测量的现状……………(240)

§ 7—2 双面啮合综合检查

- (一) 度量中心距极限偏差的测量……………(242)
 1. 中心距的计算与调整……………(242)

2. 标准蜗杆作双面法检查时常出现噪音的原因.....	(244)
3. 测量压力的选择.....	(244)
4. 其他参数的测量.....	(245)
(二) 双面啮合滚动图形及图形分析.....	(246)
1. 图形的误差分析.....	(247)
2. 双面啮合误差综合的作用.....	(247)
(三) 标准齿轮的正确使用.....	(248)
1. 标准齿轮的修正.....	(249)
2. 标准齿轮和标准蜗杆的比较.....	(250)
§ 7—3 单面啮合综合检查	
(一) 仪器概述和测量原理.....	(252)
1. 仪器的测量范围.....	(252)
2. 莫尔条纹的形成和测量原理.....	(254)
3. 传动系统.....	(257)
(二) 标准元件的选择.....	(258)
(三) 单啮仪的应用.....	(259)
1. 动态误差曲线.....	(262)
2. 齿向误差曲线.....	(265)

第八章 蜗轮的测量

§ 8—1 概 述

§ 8—2 基本蜗杆

1. 三种基蜗杆的形成.....	(269)
2. 渐开线蜗杆.....	(272)
3. 阿基米德蜗杆.....	(272)
4. 法向直线蜗杆.....	(274)

§ 8—3 蜗轮传动的的基本参数

1. 蜗轮蜗杆的传动比……………(276)
2. 蜗轮蜗杆的模数……………(278)
3. 蜗杆的特性系数 q ……………(278)
4. 蜗轮蜗杆的几何尺寸……………(279)

§ 8—4 蜗轮的测量方法

- (一) 周节的测量……………(281)
- (二) 周节累积差的绝对测量方法……………(281)
- (三) 仪器组合测量法……………(282)
 1. 用分度台定位进行组合测量……………(283)
 2. 用两只千分表定位读数进行组合测量…(284)
- (四) 蜗轮一度盘刻线测量方法……………(284)
- (五) 机床运动误差的测量……………(288)
- (六) 磁分度检查仪测量机床运动误差……………(289)

§ 8—5 测量方法的误差分析

1. 测量端面周节与法向周节的误差关系…(290)
2. 测量轴线与周节不重合的误差……………(292)
3. 万能测齿仪的示值误差……………(294)
4. 用绝对法测量周节的误差……………(295)

第九章 插 齿 刀

§ 9—1 插齿刀的基本概念

- (一) 插齿刀分类……………(299)
- (二) 插齿刀的演变……………(301)

§ 9—2 插齿刀的前角和后角

- (一) 前 角……………(304)
- (二) 后 角……………(305)

§ 9—3 插齿刀的测量问题

- (一) 插齿刀测量中应注意的问题.....(306)
- (二) 插齿刀几何尺寸计算举例.....(309)

第十章 圆锥齿轮的传动和测量方法

§ 10—1 直齿圆锥齿轮传动的基本概念

- (一) 直齿圆锥齿轮传动的几个基本参量.....(317)
- (二) 直齿伞齿轮的切削原理.....(320)
- (三) 直齿伞齿轮的测量方法.....(324)
 - 1. 伞齿轮毛胚的测量.....(324)
 - 2. 伞齿轮各部分的测量.....(326)

§ 10—2 螺旋伞齿轮的测量方法

- (一) 螺旋伞齿轮的形成原理.....(331)
- (二) 螺旋伞齿轮的加工方法.....(333)
- (三) 螺旋伞齿轮的测量方法.....(337)

※ ※ ※ ※

附 录 一

- 常用数值.....(341)
- 角度与弧度.....(341)

附 录 二

- (一) 计算用表格.....(343)
- (二) 代 数.....(372)
- (三) 三 角.....(376)
- (四) 几 何.....(384)
- (五) 微积分.....(392)

第一章 齿轮原理

§1-1 概 述

齿轮传动在机器制造业中占有很重要的地位。机器运转情况的正常与否，在很大程度上与齿轮传动装置制造的准确度有关；传递转速的高低、负荷的大小，也常与一定准确程度的齿轮传动装置相适应。

在机器和仪器中，要把旋转运动从这一根轴传到另一根轴上，多半是采用齿轮来实现。通常把传出旋转运动的齿轮叫做主动齿轮，而接受这个旋转运动的齿轮叫做从动齿轮。

齿轮传动不仅用于传递旋转运动，而且也用在变旋转运动为往复直线运动的机构中。

齿轮传动机构是由齿轮副、轴、轴承以及齿轮箱等机件所组成，它是靠齿轮齿面的相互作用来传递运动的。这样，两个啮合齿轮的总和形成了由若干运动付组成的机构，其中由齿轮齿形形成的一对运动副的制造精度，在使用上就具有决定性的意义。

解放以来，我国人民在毛主席和党中央的英明领导下，社会主义建设在各个部门取得了巨大的成就。工业生产愈是

发展，愈要求降低产品成本降低原材料的消耗。机械制造业则要求在降低机器本身重要的同时，使传递的功率更大，转速更高，使用寿命更长。因此，对齿轮传动装置的制造与安装精度，特别是对齿轮本身的制造精度，提出了更高的要求。

由于齿轮传动不是由一个机件而是由几个机件——齿轮副、轴、轴承及齿轮箱体等——所组成。因此，互换性对齿轮传动具有重要的意义。为满足齿轮传动的互换性，齿轮直径、模数、齿数、啮合角轴、轴承和箱体等制件都应具有适合于不同用途所要求的精度。根据用途不同，对影响传动要求的各因素如齿形、基节、周节、齿向等需要规定公差。

(一) 对齿轮传动的精度要求

齿轮作为传动元件，应该使得由它传递的运动精确可靠，而应保证从动件与主动件运动的协调，使齿轮在一转中，转角的误差不超出工作情况所许可的范围。

1) 在传递运动的过程中，特别是对高速传动的齿轮，要求工作平稳，没有撞击和噪音，这就需要对于破坏工作平稳性的瞬时传动比的变化加以限制。

2) 在传递负荷时，为了不致因接触不均匀，使接触应力过大，引起齿面的过早磨损，所以，轮齿的工作表面应具有足够的制造精度，以保证啮合齿轮沿全长接触。

3) 在齿侧非工作表面，应有一定的间隙，以便贮藏润滑油和补偿由于温度和弹性变形所引起的尺寸变动，避免齿轮卡住。

(二) 齿轮传动的类型

根据传动的基本用途，齿轮传动大体上可分成三类：

(1) 传速齿轮

是用来传递功率的。这类齿轮的园周速度通常都很大，传动比一般均较小。例如汽轮机的减速器就是这类传动的典型，它们的园周速度有时可达120米/秒，所传递的功率有时达数万瓩。对这类齿轮传动在运动方面的要求为：传动均匀、平稳而无噪音、效率高等等。由于速比变动会引起噪音，因此影响速比变动的因素要求极为严格。此外，对齿轮啮合时在齿全长内接触的密合度亦有严格的要求，因为接触不紧密（不密合）会引起负荷集中，使齿轮过早磨损而毁坏。

(2) 传力齿轮

这类齿轮所传之力很大，但速度很低。它们的特点是：模数大、齿长大。轧钢机上的齿轮就是这类传动的典型例子。由于传力甚大，故对于在齿的全长上接触密合方面有严格的要求。又因速度低，故在运动精度方面无特殊要求。但要求有一定的侧面间隙。

(3) 读数齿轮

用于测量仪器、分度机构以及精密的传动上，目的只为传动精确。对于这类齿轮传动来说，运动的精度特别重要，因而要限制极严。这类齿轮齿的长度通常不大，故在齿的全

长上接触密合度方面无任何要求。但为反转时不致造成游隙而引起误差，应使齿侧面间隙保持到很小。

综合上面所述，对齿轮传动的要求可归纳为下列三点：

1) 在传动工作中，应保持固定的传动比（其值等于一对齿轮齿数之比），以保证运动精度和啮合（工作）的平稳性。

2) 保证在齿的全长内接触。

3) 在互配齿的非工作面间保持一定的侧面间隙。

为达到上述三项目的，必须用公差来规定：运动的误差，齿轮齿面的误差，齿侧面间隙量以及传动的装配误差等。为明确起见现将这些传动的性质汇集成一简表（表1）

（三）齿轮的种类

1. 圆柱齿轮用于传递两平行轴间的旋转运动。

2. 伞齿轮用来传递两轴在同一平面内放置成一定角度（交叉）时的旋转运动。

3. 蜗轮传动用于传递两轴在空间交叉（不平行又不相交）放置时的旋转运动。

4. 螺旋齿轮可以是圆柱齿轮和伞齿轮。螺旋齿轮也可用于传递两轴在空间交叉时的旋转运动。

5. 非圆齿轮

6. 摆线齿轮

7. 圆弧齿轮