

[日] 近畿齿轮恳话会 会田俊夫 主编

齿轮的设计和制造

第四卷

# 齿轮的精度 与性能

中国农业机械出版社

## 内 容 提 要

本书是日本出版的《齿轮的设计和制造》(共四卷)中的第四卷译本。第一、二、三卷译本分别是《圆柱齿轮的设计》、《圆柱齿轮的制造》及《圆锥齿轮与蜗轮》，已由中国农业机械出版社出版。

本书首先介绍齿轮精度及关于齿厚、齿形、节距、齿圈跳动、齿向、啮合等的测量方法，齿轮振动的分析，以及噪声的发生原因与测定。然后介绍齿轮箱(包括设计、润滑、安装等)及行星齿轮传动装置。最后介绍了有关齿轮标准的资料。本书计算公式和实用图表较多。

本书可供有关研究人员、工程技术人员、生产工人及大专院校师生阅读。

### 歯車の精度と性能

#### 歯車の設計・製作④

近畿歯車懇話会 編

会田俊夫 監修

大河出版社，1979年初版1刷発行

\* \* \*

### 齿轮的精度与性能

#### 《齿轮的设计和制造》第四卷

〔日〕近畿齿轮恳话会

会田俊夫 主编

张 展 译

\*

中国农业机械出版社出版  
北京市海淀区阜成路东钓鱼台乙七号  
机械工业出版社印刷厂印刷  
新华书店北京发行所发行  
新华书店经售

\*

850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub>开8<sup>1</sup>/<sub>8</sub> 印张 213 千字  
1985年4月北京第一版·1985年4月北京第一次印刷  
印数：00,001—88,920 定价：1.60元  
统一书号：15216·201

# 目 录<sup>⊖</sup>

第十章 齿轮的精度与测量	1
10.1 齿轮精度的特征	1
10.1.1 齿轮精度的立体性	1
10.1.2 测量精度的可靠程度	2
10.1.3 误差的相互关系	2
10.2 尺寸管理	3
10.2.1 轮坯精度	3
10.2.2 齿厚测量	3
10.3 齿形测量	18
10.3.1 测量法和测量仪	18
10.3.2 齿形误差线图分析	29
10.4 节距测量	31
10.4.1 周节测量	31
10.4.2 基节测量	41
10.5 齿圈跳动测量	43
10.5.1 齿圈跳动	43
10.5.2 偏心	45
10.6 齿向测量	49
10.6.1 测量法和测量仪	49
10.6.2 测量结果处理	53
10.6.3 齿面波纹的测量	53
10.7 啮合试验	55
10.7.1 啮合误差测量法和测量仪	56
10.7.2 基准齿轮	63
10.7.3 啮合误差标准	65
10.7.4 齿轮的自动选别	72
10.8 各国齿轮精度标准	75

⊖ 本书是《齿轮的设计和制造》这套书籍的第四卷，章次接第三卷第九章排列。按照原文，本书从第十章开始。——译注

## **IV**

10.8.1	美国标准	75
10.8.2	ISO 标准	78
<b>第十一章 齿轮的振动和噪声</b>		<b>98</b>
11.1	齿轮振动	99
11.1.1	一对齿轮的圆周方向(扭转)振动	99
11.1.2	多级齿轮圆周方向(扭转)振动	123
11.1.3	齿轮的径向和轴向振动	124
11.2	齿轮箱的振动	130
11.2.1	发生机理	130
11.2.2	振动形式	130
11.2.3	防止方法	131
11.3	齿轮噪声	135
11.3.1	无齿轮箱时	136
11.3.2	有齿轮箱时	138
11.4	影响齿轮噪声的各种主要因素	142
11.4.1	转速	142
11.4.2	载荷(扭矩)	145
11.4.3	重合度	147
11.4.4	精度	147
11.4.5	齿面粗糙度	148
11.4.6	轮齿接触	149
11.4.7	模数	149
11.4.8	齿宽	152
11.4.9	螺旋角	153
11.4.10	侧隙	153
11.4.11	齿形修整	154
11.4.12	润滑油	155
11.4.13	其它	156
11.5	齿轮噪声测定法	157
11.5.1	噪声源的位置和大小	157
11.5.2	噪声特性	158
<b>第十二章 齿轮箱设计</b>		<b>163</b>

12.1 齿轮箱设计	163
12.1.1 齿轮箱主要尺寸	163
12.1.2 齿轮箱结构与各部分尺寸	170
12.1.3 轴承的选择	174
12.2 齿轮箱润滑方法	177
12.2.1 齿轮传动装置的功率损失	177
12.2.2 油浴(飞溅)润滑片	181
12.2.3 强制润滑法	185
12.2.4 润滑油的选择	187
12.3 齿轮的安装精度	189
12.3.1 轴的平行度	189
12.3.2 齿轮传动的中心距公差	191
12.3.3 轮齿接触检验	193
12.4 齿轮箱的安装	195
第十三章 行星齿轮传动装置	198
13.1 行星齿轮传动装置的近期动向	198
13.2 行星齿轮传动装置的结构与转速	203
13.2.1 简单行星齿轮传动装置	203
13.2.2 差动行星齿轮传动装置	208
13.2.3 简单行星圆锥齿轮传动装置	209
13.2.4 复合行星齿轮传动装置	212
13.2.5 多级行星齿轮传动装置	212
13.3 行星齿轮传动装置的齿面载荷和传递功率	219
13.3.1 节点切向力和齿面载荷	220
13.3.2 功率的传递	223
13.4 行星齿轮传动装置的效率	228
13.4.1 定轴齿轮传动的效率	228
13.4.2 简单行星齿轮传动装置的效率	231
13.4.3 多级行星齿轮传动装置的效率	233
13.4.4 行星齿轮传动装置的自锁	234
13.5 行星齿轮传动装置的设计要点	237
13.5.1 齿数的选择	237

13.5.2	载荷的均衡	241
13.5.3	强度问题	245
13.5.4	动平衡和振动问题	247
第十四章	齿轮标准	251
14.1	日本工业标准 (JIS)	252
14.2	日本齿轮工业协会标准 (JGMA)	253
14.3	日本工具工业协会标准 (TAS)	254

# 第十章 齿轮的精度与测量

## 10.1 齿轮精度的特征

### 10.1.1 齿轮精度的立体性

作为机械零件的齿轮，与其配对的齿轮啮合，用于传递“力”或“角度”。为了达到此目的，齿轮对某一基准轴（在大多数情况下是旋转中心）的精度如图 10-1 所示，必需满足下述立体（三维）要求：

1. 齿高方向要求，与齿形、齿高有关。
2. 齿向方向要求，与齿向倾斜、凹凸有关。
3. 齿厚方向要求，与轮齿厚度和轮齿间隔有关。

例如，就齿形而言，齿向方向的任何部分、齿轮的任何轮齿必需是符合要求的齿形。

虽然在齿轮机械加工中提出并采用了满足这些三维要求的加工方法，但是在尺寸或精度管理的测量中，大多数分成齿高方向、齿向方向及齿厚方向，分别在各个面上进行二维测量。这种方法是单项误差测量法，与此相对应，还有三维同时测量的方法，这就是综合误差测量法。

后一种方法虽然对齿轮本来的要求是合理的，但是要找出精度管理上必需的误差成因时，检验效率低，所以在使用上受到限制，单项误差测量法依然受到高度重视。单项误差测量法对三维要求的误差项目用二维测量，因此可以用概率论方法对某些断面进行抽样推算精度。

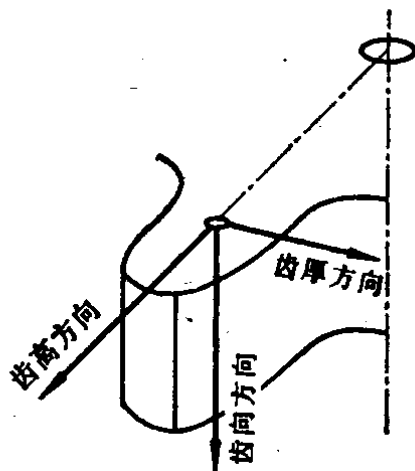


图10-1 齿轮精度的三维分析

### 10.1.2 测量精度的可靠程度

齿轮精度测量的困难之一是尺寸范围广。在齿轮的大小方面，就算按 JIS 标准的范围，对于圆柱齿轮分度圆直径，范围广至 1.5~3200 毫米，其比值超过 2000 倍；轮齿大小方面，模数从 0.2 至 25，比值为 125 倍。为了包括此范围，测量仪器必需有小型和大型的，如果测量手段不同，仪器的结构和形状也颇有差异。而且，有时斜齿轮不能采用直齿轮的测量方法，圆锥齿轮和其它齿轮则问题更加复杂。

由于上述原因，对于理论上确定的精度定义，实际测量不能按理论那样进行。因此，不同方式的测量仪器和手段，其测定值不一定可以比较。此外，由于测量本身精度和环境温度等不同而产生的测量误差也是不同的。

虽然各国每年都在研制使用方便的测量仪器，力求实现测定方法标准化，但是测量精度的可靠程度仍然是经常纠缠不清的问题。

### 10.1.3 误差的相互关系

单项误差（齿形误差、齿向误差、节距误差等）如前所述，是将三维分解成二维进行测量的，因此不是相互独立的误差。例如：节距精度受齿形凹凸、偏心（也包括轮齿位置径向出入）等的影响；齿形精度受偏心（因而受节距）的影响。这样的单项误差之间必然产生相互关系。据认为，相互之间的相关程度也因加工方法或测量方法而不同。

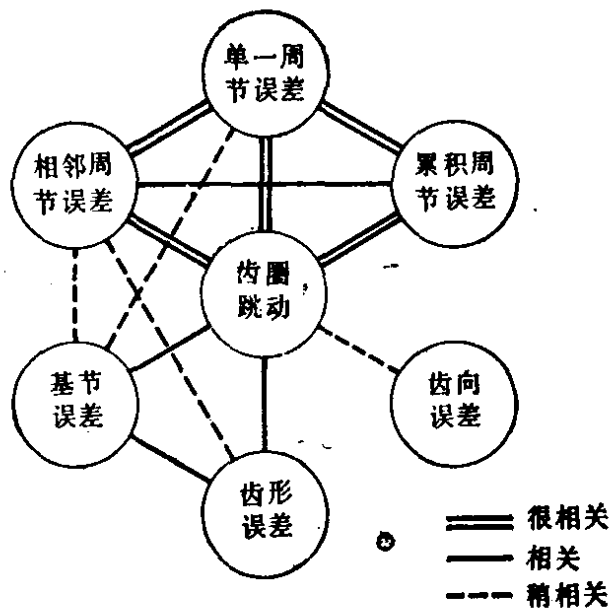


图10-2 单项误差的相互关系图  
(磨齿齿轮)

图 10-2 是对抽样约 200 个磨齿齿轮用 JIS 精度测量方法测



量并对其相关程度进行研究的結果。单项误差有的存在相互关系，有的则不存在，但一般齿圈跳动和其它误差的相关性强，各种节距误差之间的相关性也强。这可在某种程度上从理论来说明。

当然要考慮单项误差和综合误差的相互关系，但如上所述，单项误差本身之间相互影响，因此求各单项误差和综合误差的关系时从综合误差推算单项误差，在大多数情况下有困难。

## 10.2 尺寸管理

为了更好地管理精度，当然要在最终工序进行精度检验，但必需从齿轮毛坯加工开始，正确保持各部分的尺寸公差。在此论述属于这些尺寸管理的事项。

### 10.2.1 轮坯精度

轮坯精度对切齿后齿轮精度有很大影响。因此，在轮坯制造时，如切齿章节所述，必需特别注意。通过对轮坯精度的精心管理，也就开始实现经济管理。

关于轮坯精度，在第十四章所述 JIS B 1702-1960 “直齿轮和斜齿轮的精度”中，列出了轮坯外圆和端面跳动公差的参考值。

### 10.2.2 齿厚测量

齿厚测量可以测量实际尺寸或与齿厚有关的其它尺寸，对此 JIS B 1752-1962 “直齿轮和斜齿轮测量方法”中作了规定。

对于以滚齿作为最终齿面加工的齿轮，滚齿时必需正确控制齿厚；对于磨齿齿轮，由于要考虑磨齿余量进行滚齿，齿厚不能出现负偏差，另一方面，正偏差量大时，磨削作业不经济，也容易导致不精确，所以对任何齿轮加工都必需正确测量齿厚来进行检验。

齿厚管理的出发点是：在齿轮副设计中心距下始终应保持规定的侧隙。

## 1. 齿形卡尺测量法

### (1) 分度圆弦齿厚测量法

以齿顶圆为基准测量一个轮齿分度圆上弦齿厚。图 10-3 所示是用齿形卡尺测量弦齿厚的情况。首先，将齿形卡尺放在弦齿高  $h_j$  理论值的位置，测量齿厚  $s_j$ ，并比较与理论值的差。对于直齿轮：

$$\left. \begin{aligned} h_j &= \frac{mz}{2} \left[ 1 - \cos \left( \frac{\pi}{2z} + \frac{2x \operatorname{tg} \alpha_o}{z} \right) \right] + \frac{d_s - d_o}{2} \\ s_j &= mz \sin \left( \frac{\pi}{2z} + \frac{2x \operatorname{tg} \alpha_o}{z} \right) \end{aligned} \right\} (10-1)$$

式中  $h_j$ ——分度圆弦齿高；  
 $s_j$ ——分度圆弦齿厚；  
 $m$ ——模数；  
 $z$ ——齿数；  
 $\alpha_o$ ——齿形角；  
 $x$ ——变位系数；

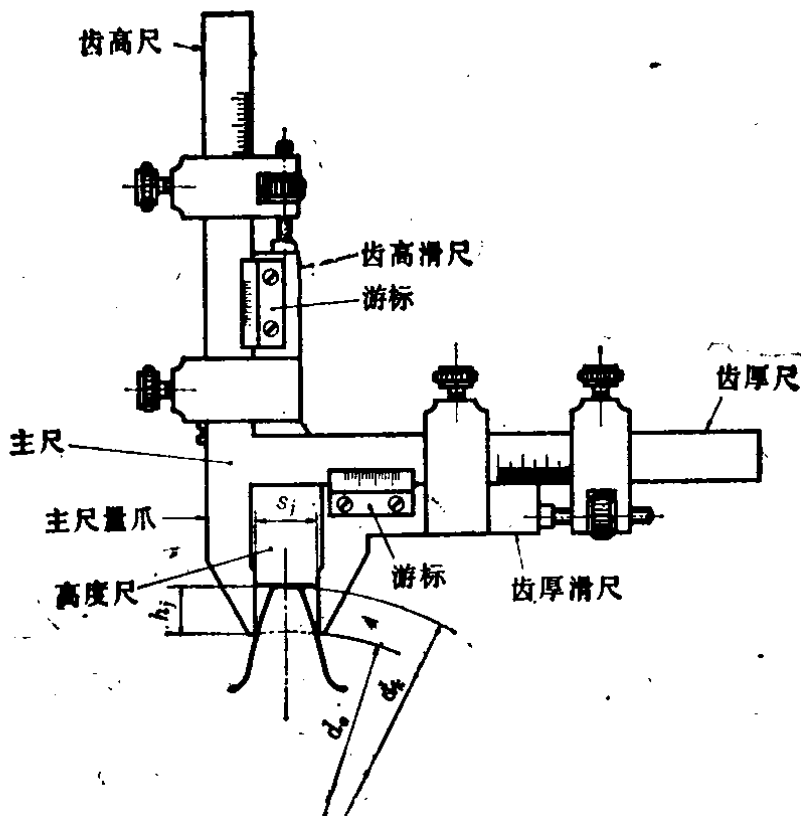


图10-3 用齿形卡尺测量弦齿厚

$d_a$ ——齿顶圆直径；

$d_o$ ——分度圆直径。

这种方法由于测量简便，很早就开始使用，但受外径基准面精度或卡尺量爪接触好坏等的影响，不能期望达到高精度。JIS B 7531-1965 中规定了齿形卡尺的材料、尺寸及精度。

一般用式 (10-1) 计算齿厚和齿高，但表 10-1 列出  $m = 1$ 、变位系数  $x = 0$  的标准齿轮的值。对于  $m \neq 1$  的齿轮，用表列值乘模数即可。

齿顶圆直径  $d_a = (z + 2 + 2x)m$  时， $h_f$  用下式计算：

$$h_f = \frac{mz}{2} \left[ 1 - \cos \left( \frac{\pi}{2z} + \frac{2x \operatorname{tg} \alpha_o}{z} \right) \right] + (1 + x)m \quad (10-2)$$

斜齿轮在法面进行测定，模数、齿形角及变位系数值用法面值代入计算。齿数采用下式的当量齿数：

$$z_v = \frac{z}{\cos^3 \beta_o} \quad (10-3)$$

【例题】法面模数 4、法面齿形角  $20^\circ$ 、齿数 19、螺旋角  $26^\circ 42'$ 、法面变位系数 0.4 时：

$$z_v = \frac{19}{\cos^3 26^\circ 42'} = 26.648$$

$$h_f = \frac{4 \times 26.648}{2} \left[ 1 - \cos \left( \frac{\pi}{2 \times 26.648} + \frac{2 \times 0.4 \times \operatorname{tg} 20^\circ}{26.648} \right) \right] + (1 + 0.4) \times 4 = 5.730 \text{ 毫米}$$

$$s_f = 4 \times 26.648 \times \sin \left( \frac{\pi}{2 \times 26.648} + \frac{2 \times 0.4 \times \operatorname{tg} 20^\circ}{26.648} \right) = 7.442 \text{ 毫米}$$

设刀具径向微小追加切入量为  $\delta h$ ，弦齿厚减少量为  $\delta s_f$ ，它们之间的关系为

$$\delta h = \frac{\delta s_f}{2 \operatorname{tg} \alpha_o} \quad (10-4)$$

齿形角为  $20^\circ$  和  $14.5^\circ$  时：

$$\delta h = 1.37 \delta s_f \quad (\alpha_o = 20^\circ)$$

$$\delta h = 1.93\delta s, \quad (\alpha_o = 14.5^\circ)$$

虽然在作为齿轮测量基准面的齿顶圆变化而且跳动时，齿形卡尺不适于高精度测量，但用它测量大模数齿轮很方便。这种测量法由于使用量爪尖端，若测度次数多量爪尖部会磨损，应当注意经常保持量爪尖正常。

## (2) 固定弦齿厚测量法

分度圆上弦齿厚有因齿数而变化的缺点。为此采用图 10-4 所示固定弦齿厚测量法，从轮齿中心线和分度圆交点  $P$  向两侧齿形曲线引垂线，连接两垂足的弦为  $T_c$ ，此弦至齿顶圆高度为  $H_c$ ， $T_c$  和  $H_c$  决定于模数、齿形角及变位系数，与齿数无关。

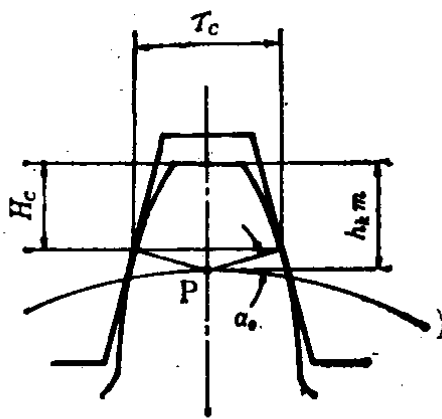


图10-4 固定弦齿厚

这种方法由于受齿形角误差的影响而有些问题，但用于检查切齿均匀性是一种好方法。根据图 10-4 得出〔1〕：

$$\left. \begin{aligned} H_c &= h_a m - \frac{m\pi}{8} \sin 2\alpha_o - m x \sin^2 \alpha_o \\ T_c &= \frac{m\pi}{2} \cos^2 \alpha_o + m x \sin 2\alpha_o \end{aligned} \right\} \quad (10-5)$$

式中  $h_a m$  是从分度圆开始的齿顶高。

$$h_a m = \frac{d_h}{2} - \frac{z m}{2} \quad (10-6)$$

对于标准齿高的变位齿轮由于  $h_a m = (1 + x) m$ ，因此

$$\left. \begin{aligned} H_c &= m \left( 1 - \frac{\pi}{8} \sin 2\alpha_o \right) + m x \cos^2 \alpha_o \\ T_c &= \frac{m\pi}{2} \cos^2 \alpha_o + m x \sin 2\alpha_o \end{aligned} \right\} \quad (10-7)$$

对于标准齿轮，由于  $x = 0$ ，因此

表10-1  $h_j$ 、 $s_j$ 值 ( $x = 0$ ,  $m = 1$  吋)

$z$	$h_j$ (毫米)	$s_j$ (毫米)	$z$	$h_j$ (毫米)	$s_j$ (毫米)
12	1.0513	1.5663	35	1.0176	1.5703
13	1.0474	1.5670	40	1.0154	1.5704
14	1.0440	1.5675	45	1.0137	1.5705
15	1.0411	1.5679	50	1.0122	1.5705
16	1.0385	1.5683	60	1.0103	1.5706
17	1.0363	1.5686	70	1.0088	1.5706
18	1.0342	1.5688	80	1.0077	1.5707
19	1.0324	1.5690	90	1.0069	1.5707
20	1.0308	1.5692	100	1.0062	1.5707
22	1.0280	1.5695	120	1.0051	1.5708
24	1.0257	1.5697	150	1.0041	1.5708
26	1.0237	1.5698	200	1.0031	1.5708
28	1.0219	1.5700	$\infty$	1.0000	1.5708
30	1.0206	1.5701			

$$\left. \begin{aligned} H_c &= m \left( 1 - \frac{\pi}{8} \sin 2\alpha_o \right) \\ T_c &= \frac{m\pi}{2} \cos^2 \alpha_o \end{aligned} \right\} \quad (10-8)$$

一般采用以下方法对准齿形卡尺等量仪的零点或检查测定部分的磨损。

如图 10-5 所示,采用已知直径  $d_R$  的滚柱,以等于待测齿轮齿形角的角度接触,取读数用下述值检验:

$$s_R = d_R \cos \alpha_o$$

$$h_R = \frac{d_R}{2} (1 - \sin \alpha_o)$$

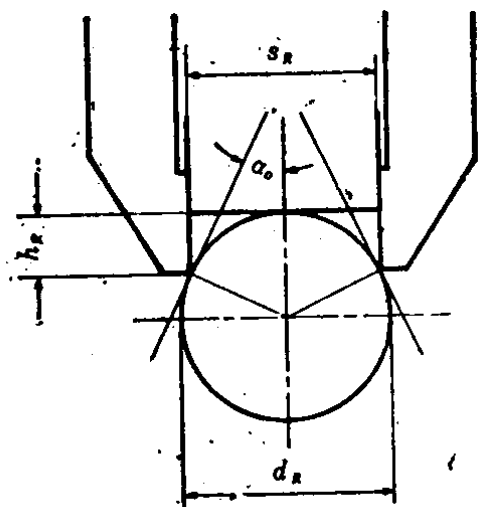


图10-5 齿形卡尺对零

采用精密加工的  $d_R = 20$  毫米量棒时的  $s_R$ 、 $h_R$  值列于表10-2。 $h_R$  取表中值,  $s_R$  测量值与表中值不同时,使用中应该修正量仪读数。

表10-2  $d_R = 20$ 毫米时的 $s_R$ 、 $h_R$ 值

$d_R$ (毫米)	齿形角 $\alpha_D$	$s_R$ (毫米)	$h_R$ (毫米)
20	20°	18.794	6.580
	14.5°	19.363	7.496

## 2. 公法线长度测量法

公法线长度测量法是：用图 10-6 所示 JISB7530-1963 规定的公法线千分尺等量仪，跨越几个轮齿按无测量基准面进行测量，但跨越齿数多时齿形角误差的影响大，而且在左右齿面齿形角不同时也产生测量误差。这种测量法由于包含节距误差和齿形误差，因此应在齿轮整个圆周上测量几处，取平均值。

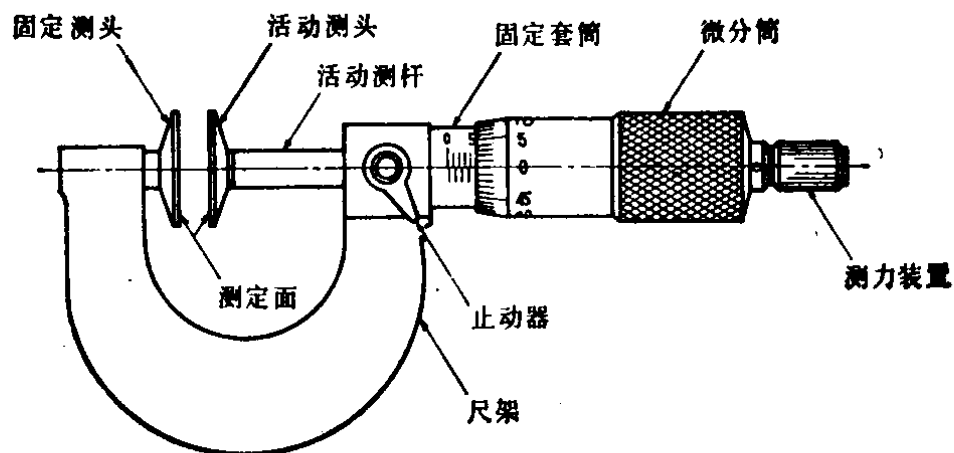


图10-6 公法线千分尺

若在切齿中，将测量尺寸进行简单换算，可以求出必要的刀具追加切入量，而且公法线千分尺的测量面是平面，因此具有测量精度一般比齿形卡尺高的优点。

### (1) 直齿轮

图 10-7 所示的

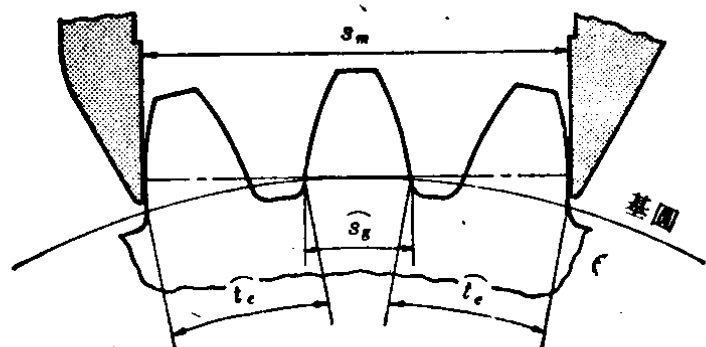


图10-7 公法线长度测量

平行平面跨越  $z_m$  齿进行测量。由于公法线长度等于基圆柱上一

个弧齿厚和若干个周节之和，因此直齿轮的公法线长度  $s_m$  为

$$s_m = s_g + (z_m - 1)t_e \quad (10-9)$$

式中  $s_g$ ——基圆上弧齿厚；

$t_e$ ——基节。

测量公法线长度时，一般按使测头在分度圆附近接触齿形来选择跨越齿数。

用以下公式求  $s_m$ ：

$$s_m = m \cos \alpha_o [\pi (x_m - 0.5) + z \operatorname{inv} \alpha_o] + 2x m \sin \alpha_o \quad (10-10)$$

$m = 1$ 、 $\alpha_o = 20^\circ$  或  $14.5^\circ$  的标准直齿轮（变位系数  $x = 0$ ）的  $s_m$  值列于表 10-3。对于  $m \neq 1$  的齿轮将表中值乘以  $m$  即可。

为了留出侧隙而考虑分度圆上弧齿厚减少量  $\delta_s$  时：

$$s_m = m \cos \alpha_o [\pi (z_m - 0.5) + z \operatorname{inv} \alpha_o] + 2x m \sin \alpha_o - \delta_s \cos \alpha_o \quad (10-11)$$

相应于  $\delta_s$  的公法线长度变化量  $\delta_{s,m}$  为

$$\delta_{s,m} = -\cos \alpha_o \cdot \delta_s \quad (10-12)$$

为此，齿形角  $\alpha_o = 20^\circ$  时可按下式计算：

$$\delta_{s,m} \approx -0.94 \delta_s$$

齿形角  $\alpha_o = 14.5^\circ$  时：

$$\delta_{s,m} \approx -0.97 \delta_s$$

变位量大的变位齿轮，为了使在节圆附近接触，根据情况可按 1 个基节或几个基节增加跨越齿数。

由于某一跨越齿数的公法线长度测量值和与其差一齿的跨越齿数测量值之差相当于基节，因此在应急时可以用公法线长度测量来决定基节。此时，也要在齿轮整个圆周上测量几处，取其平均值。

## （2）斜齿轮

对于斜齿轮，设法面模数为  $m_n$ ，法面齿形角为  $\alpha_n$ ，端面齿形角为  $\alpha_s$ ，法面变位系数为  $x_n$ ，则按下式计算  $s_m$ ，与法面测量值比较：

$$s_m = m_n \cos \alpha_n [\pi (z_m - 0.5) + z \operatorname{inv} \alpha_s] + 2x_n m_n \sin \alpha_n \quad (10-13)$$

表10-3 公法线长度 $s_m$ 值(  $m = 1, x = 0, \alpha_0 = 20^\circ, 14.5^\circ$  ) 单位: 毫米

z	$\alpha_0 = 20^\circ$		$\alpha_0 = 14.5^\circ$		z	$\alpha_0 = 20^\circ$		$\alpha_0 = 14.5^\circ$	
	$z_m$	$s_m$	$z_m$	$s_m$		$z_m$	$s_m$	$z_m$	$s_m$
6	2	4.5122	2	4.5945	42	5	13.8728	4	10.8708
7	2	4.5262	2	4.5999	43	5	13.8868	4	10.8762
8	2	4.5402	2	4.6052	44	5	13.9008	4	10.8816
9	2	4.5542	2	4.6106	45	6	16.8670	4	10.8869
10	2	4.5683	2	4.6160	46	6	16.8810	4	10.8923
11	2	4.5823	2	4.6213	47	6	16.8950	4	10.8977
12	2	4.5963	2	4.6267	48	6	16.9090	4	10.9030
13	2	4.6103	2	4.6321	49	6	16.9230	4	10.9084
14	2	4.6243	2	4.6374	50	6	16.9370	5	13.9553
15	2	4.6383	2	4.6428	51	6	16.9510	5	13.9607
16	2	4.6523	2	4.6482	52	6	16.9650	5	13.9660
17	2	4.6663	2	4.6536	53	6	16.9790	5	13.9714
18	3	7.6324	2	4.6589	54	7	19.9452	5	13.9768
19	3	7.6464	2	4.6643	55	7	19.9592	5	13.9821
20	3	7.6604	2	4.6697	56	7	19.9732	5	13.9875
21	3	7.6744	2	4.6750	57	7	19.9872	5	13.9929
22	3	7.6884	2	4.6804	58	7	20.0012	5	13.9982
23	3	7.7025	2	4.6858	59	7	20.0152	5	14.0036
24	3	7.7165	2	4.6911	60	7	20.0292	5	14.0090
25	3	7.7305	3	7.7380	61	7	20.0432	5	14.0143
26	3	7.7445	3	7.7434	62	7	20.0572	6	17.0612
27	4	10.7106	3	7.7488	63	8	23.0233	6	17.0666
28	4	10.7246	3	7.7541	64	8	23.0373	6	17.0720
29	4	10.7386	3	7.7595	65	8	23.0513	6	17.0773
30	4	10.7526	3	7.7649	66	8	23.0653	6	17.0827
31	4	10.7666	3	7.7702	67	8	23.0794	6	17.0881
32	4	10.7806	3	7.7756	68	8	23.0934	6	17.0934
33	4	10.7946	3	7.7810	69	8	23.1074	6	17.0988
34	4	10.8086	3	7.7863	70	8	23.1214	6	17.1042
35	4	10.8227	3	7.7917	71	8	23.1354	6	17.1095
36	5	13.7888	3	7.7971	72	9	26.1015	6	17.1149
37	5	13.8028	4	10.8440	73	9	26.1155	6	17.1203
38	5	13.8168	4	10.8493	74	9	26.1295	7	20.1672
39	5	13.8308	4	10.8547	75	9	26.1435	7	20.1725
40	5	13.8448	4	10.8601	76	9	26.1575	7	20.1779
41	5	13.8588	4	10.8654	77	9	26.1715	7	20.1833



(续)

z	$\alpha_o = 20^\circ$		$\alpha_o = 14.5^\circ$		z	$\alpha_o = 20^\circ$		$\alpha_o = 14.5^\circ$	
	$z_m$	$s_m$	$z_m$	$s_m$		$z_m$	$s_m$	$z_m$	$s_m$
78	9	26.1855	7	20.1887	115	13	38.5123	10	29.5119
79	9	26.1996	7	20.1940	116	13	38.5263	10	29.5172
80	9	26.2136	7	20.1994	117	14	41.4924	10	29.5226
81	10	29.1797	7	20.2048	118	14	41.5064	10	29.5280
82	10	29.1937	7	20.2101	119	14	41.5204	10	29.5333
83	10	29.2077	7	20.2155	120	14	41.5344	10	29.5387
84	10	29.2217	7	20.2209	121	14	41.5484	10	29.5441
85	10	29.2357	7	20.2262	122	14	41.5624	10	29.5494
86	10	29.2497	7	20.2316	123	14	41.5765	10	29.5548
87	10	29.2637	8	23.2785	124	14	41.5905	11	32.6017
88	10	29.2777	8	23.2839	125	14	41.6045	11	32.6071
89	10	29.2917	8	23.2892	126	15	44.5706	11	32.6124
90	11	32.2579	8	23.2946	127	15	44.5846	11	32.6178
91	11	32.2719	8	23.3000	128	15	44.5986	11	32.6232
92	11	32.2859	8	23.3053	129	15	44.6126	11	32.6285
93	11	32.2999	8	23.3107	130	15	44.6266	11	32.6339
94	11	32.3139	8	23.3161	131	15	44.6406	11	32.6393
95	11	32.3279	8	23.3214	132	15	44.6546	11	32.6447
96	11	32.3419	8	23.3268	133	15	44.6686	11	32.6500
97	11	32.3559	8	23.3322	134	15	44.6826	11	32.6554
98	11	32.3699	8	23.3375	135	16	47.6488	11	32.6608
99	12	35.3361	9	26.3844	136	16	47.6628	12	35.7077
100	12	35.3501	9	26.3898	137	16	47.6768	12	35.7130
101	12	35.3641	9	26.3952	138	16	47.6908	12	35.7184
102	12	35.3781	9	26.4005	139	16	47.7048	12	35.7238
103	12	35.3921	9	26.4059	140	16	47.7188	12	35.7291
104	12	35.4061	9	26.4113	141	16	47.7328	12	35.7345
105	12	35.4201	9	26.4167	142	16	47.7468	12	35.7399
106	12	35.4341	9	26.4220	143	16	47.7608	12	35.7452
107	12	35.4481	9	26.4274	144	17	50.7270	12	35.7506
108	13	38.4142	9	26.4328	145	17	50.7410	12	35.7560
109	13	38.4282	9	26.4381	146	17	50.7550	12	35.7613
110	13	38.4422	9	26.4435	147	17	50.7690	12	35.7667
111	13	38.4563	9	26.4489	148	17	50.7830	12	35.7721
112	13	38.4703	10	29.4958	149	17	50.7970	13	38.8190
113	13	38.4843	10	29.5011	150	17	50.8110	13	38.8243
114	13	38.4983	10	29.5065					