



中华人民共和国国家标准

GB/T 13924—2008
代替 GB/T 13924—1992

渐开线圆柱齿轮精度 检验细则

Inspection code for accuracy
of involute cylindrical gears

2008-05-06 发布

2008-11-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	Ⅲ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号和代号	3
5 齿距偏差检验	4
6 齿廓偏差检验	9
7 螺旋线偏差检验	14
8 切向综合偏差检验	18
9 径向综合偏差检验	20
10 径向跳动检验	23
附录 A (规范性附录) 整体偏差检验	25
附录 B (规范性附录) 测量基准的要求	33
附录 C (规范性附录) 不同测量方向偏差值的换算	34
附录 D (规范性附录) 仪器示值误差的修正方法	35
附录 E (规范性附录) 替代项目的检验	38
附录 F (规范性附录) 齿距累积总偏差跨齿测量数据处理方法	58

前 言

本标准是 GB/T 10095.1《圆柱齿轮 精度制 第 1 部分:轮齿同侧齿面偏差的定义和允许值》、GB/T 10095.2《圆柱齿轮 精度制 第 2 部分:径向综合偏差与径向跳动的定义和允许值》的配套标准。

本标准是对 GB/T 13924—1992《渐开线圆柱齿轮精度 检验规范》的修订。

GB/T 13924—1992 在生产实际中成为产品齿轮精度评定的依据。由于 GB/T 10095—1988 的修订,并等同采用相应的国际标准,在测量项目的设立、偏差定义及符号等多方面与原标准相比出现较大不一致,因此,本标准也应及时修订。

本标准名称改为“渐开线圆柱齿轮精度 检验细则”。

本标准对渐开线圆柱齿轮精度的评价规定了细则,文中测量项目的设立依据 GB/T 10095.1 和 GB/T 10095.2 中推荐的测量项目。本细则为每个偏差项目分别规定了测量方法和测量仪器;对测量基准、测量位置、测量元件、测量温度、测量不确定度以及测量结果处理等方面的要求作出了具体规定。其中纳入了测量中所必需的计算公式,提出各测量项目测量不确定度的分析方法。对于没有列入 GB/T 10095.1 和 GB/T 10095.2 中而在生产实践中常用的或设计中规定的测量项目,设立为本标准的附录,也按本标准正文测量项目的格式进行编写。

本标准规定的测量项目,与圆柱齿轮精度制国家标准保持一致。

本标准编写内容较上一版本更加细化,要求更加严密,更注重实用性和可操作性。

本标准编写格式的特点是系统化、具体化,层次清晰,完整统一。

本标准是产品齿轮零件检测的依据性标准。

本标准的附录 A~附录 F 均为规范性附录。

本标准由全国齿轮标准化委员会提出并归口。

本标准起草单位:中国计量科学研究院、北京工业大学、郑州机械研究所。

本标准主要起草人:张伟、李锐、石照耀、张元国、杨星原。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

——GB/T 13924—1992。

渐开线圆柱齿轮精度 检验细则

1 范围

本标准适用于其法向模数(0.5~70) mm、齿宽(4~1 000) mm、分度圆直径(5~10 000) mm的平行轴传动的单个渐开线圆柱齿轮。其基本齿廓为 GB/T 1356—2001《通用机械和重型机械用圆柱齿轮 标准基本齿条齿廓》规定的齿廓。

本标准用于渐开线圆柱型产品齿轮精度的评价。

本标准规定了 GB/T 10095.1 和 GB/T 10095.2 中定义的齿距偏差、齿廓偏差、螺旋线偏差、切向综合偏差、径向综合偏差和径向跳动等项目的检验细则。

本标准附录 A 规定了齿轮整体偏差项目的检验细则。附录 B 规定了对各测量项目测量基准的要求。附录 C 规定了各测量项目计值方向。附录 D 规定了渐开线和螺旋线检查仪示值误差的修正方法。附录 E 对以下测量项目规定了检验细则：公法线平均长度偏差及公法线变动量、基节偏差、接触线偏差、轴向齿距偏差、螺旋线波度偏差、齿厚偏差、齿轮副接触斑点和齿轮副侧隙。这些项目在 GB/T 10095.1、GB/T 10095.2 中未作规定，但在生产实践中是常用的替代项目或是设计中用到的项目。附录 F 规定了齿距累积总偏差跨齿测量数据处理方法。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 1356—2001 通用机械和重型机械用圆柱齿轮 标准基本齿条齿廓(ISO 53:1998, IDT)

GB/T 6467—2001 齿轮渐开线 样板

GB/T 6468—2001 齿轮螺旋线 样板

GB/T 10095.1 圆柱齿轮 精度制 第 1 部分：轮齿同侧齿面偏差的定义和允许值(GB/T 10095.1—2008, ISO 1328-1:1995, IDT)

GB/T 10095.2 圆柱齿轮 精度制 第 2 部分：径向综合偏差与径向跳动的定义和允许值(GB/T 10095.2—2008, ISO 1328-2:1997, IDT)

GB/Z 18620.1 圆柱齿轮 检验实施规范 第 1 部分：轮齿同侧齿面的检验(GB/Z 18620.1—2008, ISO/TR 10064-1:1992, IDT)

GB/Z 18620.2 圆柱齿轮 检验实施规范 第 2 部分：径向综合偏差、径向跳动、齿厚和侧隙的检验(GB/Z 18620.2—2008, ISO/TR 10064-2:1996, IDT)

JB/T 3887—1999 渐开线直齿圆柱测量齿轮

JB/T 10008—1999 测量蜗杆

JJG 332—2003 齿轮渐开线样板

JJG 408—2000 齿轮螺旋线样板

JJF 1059—1999 测量不确定度评定与表示

3 术语和定义

下列术语和定义及 GB/T 10095.1、GB/T 10095.2、GB/Z 18620.1 和 GB/Z 18620.2 中确立的术语和定义适用于本标准。

3.1

齿轮渐开线样板 gear involute artefact

一种性能稳定可靠的标准计量器具。它的渐开线齿面是检定各种渐开线仪器的标准,用于传递齿轮渐开线参数量值,修正仪器示值,确定仪器示值误差。

3.2

齿轮螺旋线样板 gear helix artefact

一种性能稳定可靠的标准计量器具。它的螺旋线齿面是检定各种螺旋线仪器的标准,用于传递齿轮螺旋线参数量值,修正仪器示值,确定仪器示值误差。

3.3

测量齿轮 master gear

单面或双面综合检查仪的测量元件。齿廓符合 GB/T 1356—2001 要求;用于测量 GB/T 10095.1、GB/T 10095.2 中(4~9)级产品齿轮。

3.4

测量不确定度 uncertainty of measurement

表征合理地赋予被测量之值的分散性,与测量结果相联系的参数。

3.5

齿轮整体偏差测量 gear integrated deviation of measurement

测量一个齿轮全部工作齿面上各点偏差,按被测齿轮齿面上各点的实际啮合顺序,排列各齿的测量图形,在测量图形上按规定要求取出截面切向综合总偏差和截面一齿切向综合偏差以及多项单参数偏差。

3.6

公法线平均长度偏差 sphen measurement mean length deviation

E_{wm}

在齿轮一周内,公法线平均值与设计值之差。

3.7

公法线变动量 sphen measurement varication

E_{bn}

在齿轮一周范围内,实际公法线最大值与最小值之差。

3.8

基节偏差 transverse base pitch deviation

f_{pb}

实际基节与公称基节之差。

实际基节指基圆柱切平面所截两相邻同侧齿面的交线之间的法向距离。

3.9

接触线偏差 contact line deviation

F_b

在基圆柱切平面内,平行于设计接触线并包容实际接触线的两条直线间的法向距离。

3.10

轴向齿距偏差 axial pitch deviation

F_{px}

在与齿轮轴线平行而大约位于齿高中部的一条直线上,任意两个同侧齿面间的实际距离与设计值之差,沿齿面法线方向计值。

3.11

螺旋线波度偏差 helix wave deviation

$f_{w\beta}$

宽斜齿轮齿高中部实际齿线波纹的最大波幅,沿齿面法线方向计值。

4 符号和代号

4.1 符号

下列符号及 GB/T 10095.1、GB/T 10095.2、GB/Z 18620.1 和 GB/Z 18620.2 给出的符号适用于本标准。

e ——测量时齿轮的安装偏心量。

T_0 ——测量蜗杆啮合线偏差。

U_0 ——测量蜗杆轴向窜动量。

B ——螺旋线偏差测量齿宽。

z_0 ——测量蜗杆头数。

t ——温度。

α'_{wt} ——齿面与量棒接触点的端面压力角。

注1:下标0表示标准元件(标准蜗杆、标准样板、量块等)和测量元件(测量蜗杆、测头和测量仪等)。

注2:本标准所列各公式对直齿轮、斜齿轮均适用。对于直齿轮,式中: $m_n = m_t = m$; $\alpha_n = \alpha_t = \alpha$; $x_n = x_t = x$ 。

4.2 代号

GB/T 10095.1、GB/T 10095.2、GB/Z 18620.1 和 GB/Z 18620.2 给出的代号适用于本标准。

本标准所使用的主要测量项目和测量元件代号见表1。

表1 测量项目和测量元件代号

测量项目名称	符号或代号	齿轮参数或测量元件名称	符号或代号
齿距累积总偏差	F_p	连续的齿距数	k
齿距累积偏差	F_{pk}	渐开线有效长度	L_{AE}
单个齿距偏差	f_{pt}	渐开线可用长度	L_{AF}
齿廓总偏差	F_a	齿廓计值范围	L_a
齿廓形状偏差	f_{fa}	螺旋线计值范围	L_β
齿廓倾斜偏差	f_{H_a}	螺旋角偏差	f_β
螺旋线总偏差	F_β	跨齿测量组数	S
螺旋线形状偏差	$f_{f\beta}$	跨齿齿距累积偏差	F_{ps}
螺旋线倾斜偏差	$f_{H\beta}$	螺旋线波度波长	λ_β
切向综合总偏差	F'_i	公法线上偏差	E_{bns}
一齿切向综合偏差	f'_i	公法线下偏差	E_{bni}
径向综合总偏差	F''_i	公法线平均长度偏差	E_{wms}
一齿径向综合偏差	f''_i	公法线平均长度上偏差	E_{wms}
径向跳动	F_r	公法线平均长度下偏差	E_{wmi}
公法线长度	W_k	齿厚允许的上偏差	E_{sns}
公法线变动量	E_{bn}	齿厚允许的下偏差	E_{sni}
齿厚偏差	E_{sn}	基本齿廓位移上偏差	E_{Hs}
基节偏差	f_{pb}	基本齿廓位移下偏差	E_{Hi}
接触线偏差	F_b	跨棒测量距上偏差	M_{ds}
轴向齿距偏差	F_{px}	跨棒测量距下偏差	M_{di}
螺旋线波度	$f_{w\beta}$	小齿轮	下标 1
基本齿廓位移	E_H	大齿轮	下标 2
跨棒测量距	M_d	测量齿轮	下标 3
圆周侧隙、法向侧隙	j_{wt}, j_{bn}	工具或测量元件(量块、基节块、蜗杆等)	下标 0

5 齿距偏差检验

齿距偏差的检验包括单个齿距偏差 f_{pt} 、齿距累积偏差 F_{pk} 和齿距累积总偏差 F_p 的检验。

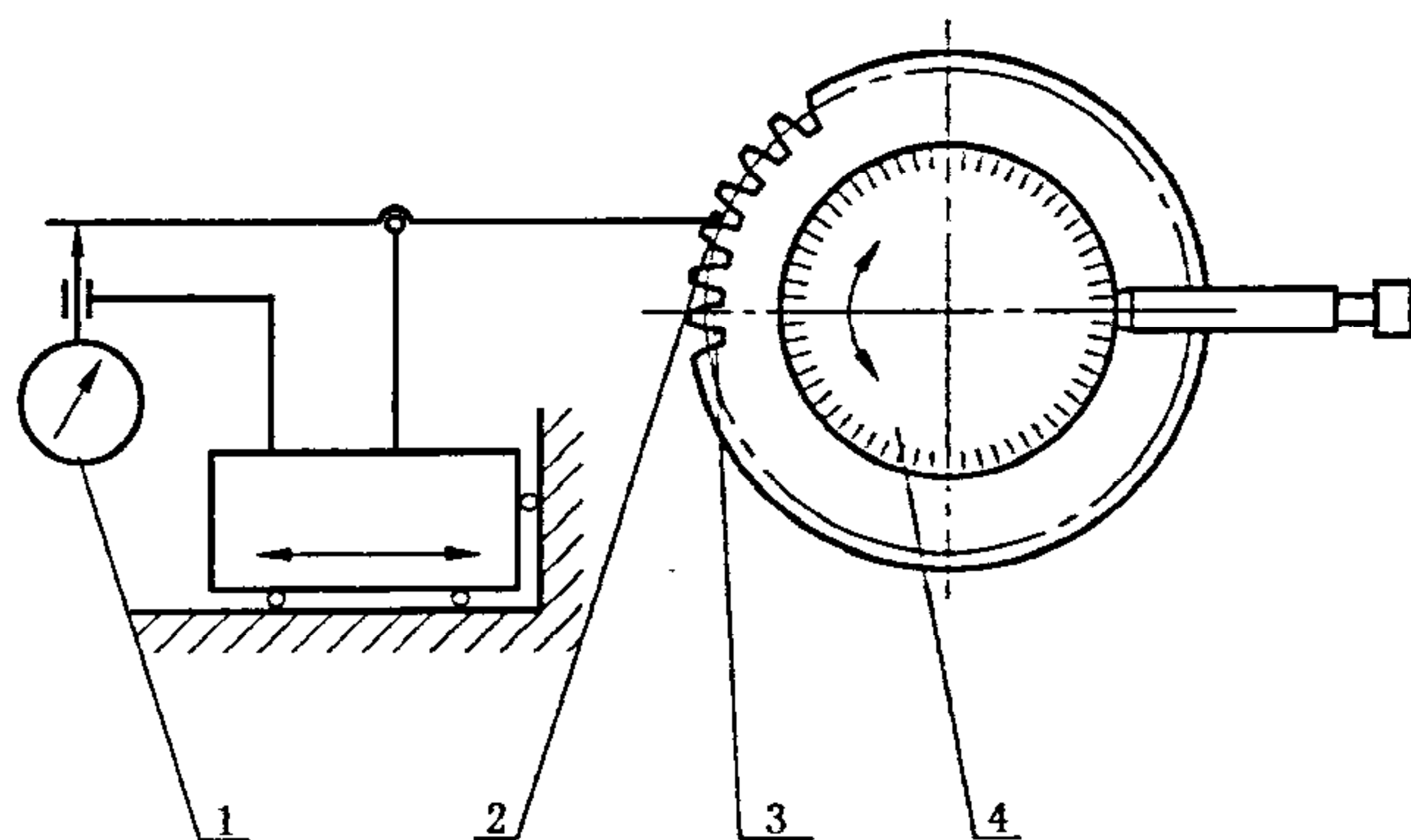
5.1 测量方法和测量仪器

齿距偏差的测量方法有直接法和相对法。

5.1.1 直接法

直接法测量原理见图 1。直接测量法以被测齿轮回转轴线为基准，测头的径向位置在齿高中部与齿面接触，应保证测头定位系统径向和切向定位的重复性。被测齿轮一次安装 10 次重复测量，其重复性应不大于允许值¹⁾ (公差值) 的 1/5。圆分度装置 (如圆光栅、分度盘等) 对被测齿轮按理论齿距角进行分度，由测头读数系统得到测得值 (圆周方向的角度值或线值)，按偏差定义进行处理，求得 f_{pt} 、 F_{pk} 、 F_p 。

直接法的测量仪器有齿距测量仪、万能齿轮测量机，齿轮测量中心、坐标测量机、分度头和万能工具显微镜等。



- 1——测头读数系统；
- 2——测头；
- 3——被测齿轮；
- 4——分度装置。

图 1 齿距偏差直接法测量原理图

5.1.2 相对法

相对法测量原理参见图 2。以被测齿轮回转轴线为基准 (或以齿顶圆为基准)，A、B 两个测头，在接近齿高中部分别与相邻同侧齿面 (或相邻的几个齿面) 接触，并处于齿轮轴线同心圆及同一端截面上。测量时，以任一齿距 (或 k 个齿距) 作为相对标准。A、B 测头依次测量每个齿距 (或 k 个齿距) 的相对差值，按 GB/T 10095.1 规定的齿距偏差的定义，对数据进行处理 (见 5.4.1)，求得单个齿距偏差 f_{pt} 、齿距累积偏差 F_{pk} 和齿距累积总偏差 F_p 。定义中“理论齿距”在采用相对法测量时为所有实际齿距的平均值。

相对法的测量仪器有万能测齿仪、半自动齿距仪、上置式齿距仪和旁置式齿距仪等。

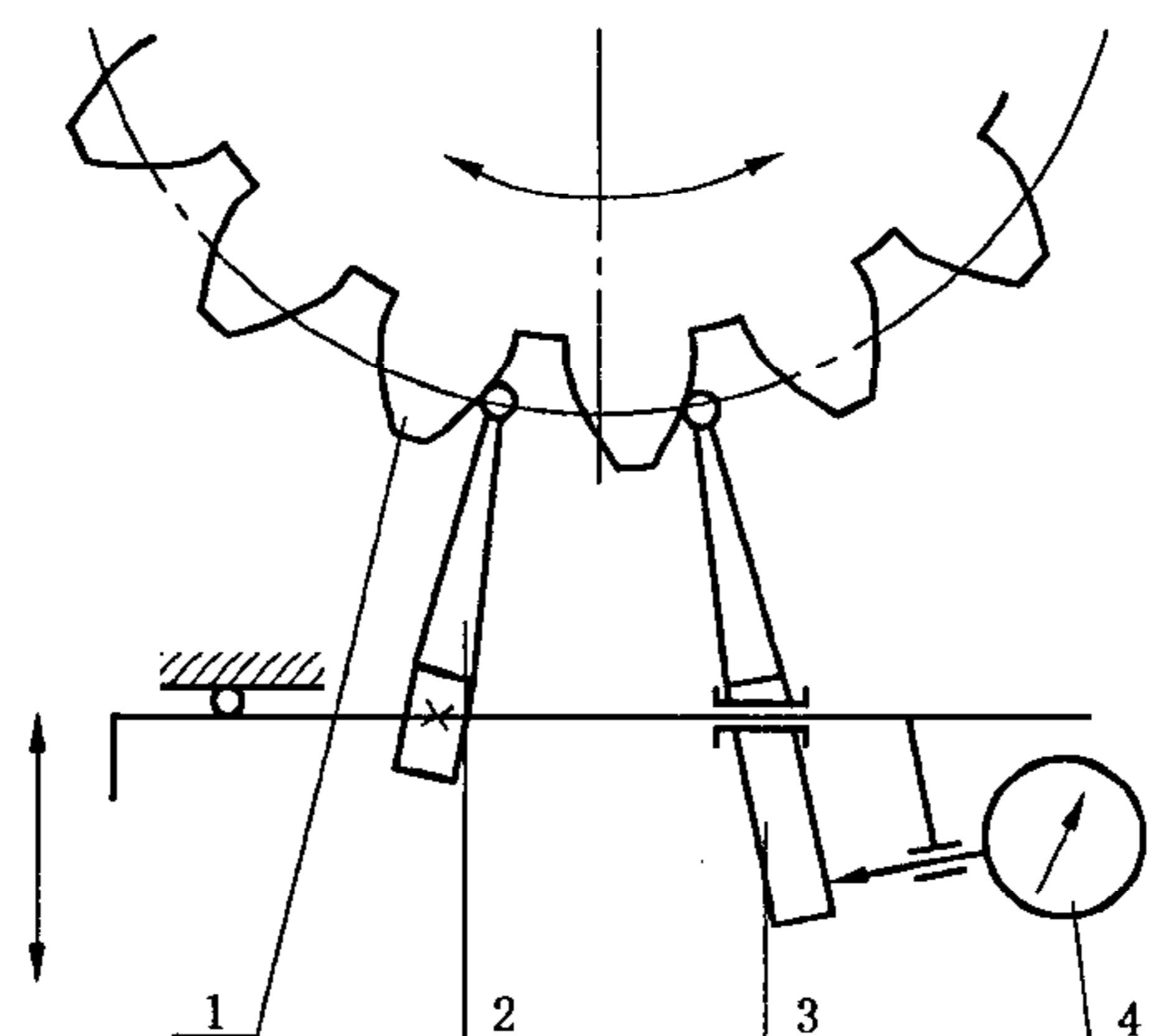
5.2 测量

5.2.1 测量温度

在计量室测量齿距偏差时，测量温度²⁾ 要求见表 2。

1) “允许值”均指 GB/T 10095.1 和 GB/T 10095.2 中规定的允许值。

2) 对于一般生产过程控制的测量任务，凡本标准各章提及规定的温度要求均作为参考依据，具体要求可由生产厂和用户双方协商确定。



- 1——被测齿轮；
2——定位测头 A；
3——活动测头 B；
4——传感器。

图 2 齿距偏差相对法测量原理图

表 2 齿距偏差测量温度要求

单位为摄氏度

被测齿轮精度等级	被测齿轮与测量仪器(或测量元件)的温差	
	相对法	直接法
3~5	≤ 3	≤ 2
6~7	≤ 5	≤ 4
≥ 8	≤ 6	≤ 5

5.2.2 测量仪器

测量仪器应按相应标准、检定规程或其他有关技术文件的规定进行检定/校准,经计量部门检定/校准合格后方准使用。

5.2.3 测头的选择

在保证不发生干涉和碰撞的情况下,宜选择直径较大的测头。

5.2.4 测量基准的要求

测量基准的要求见附录 B。

5.2.5 测量位置的确定

齿距偏差应在接近齿高中部、齿宽的中间截面对左、右侧齿面进行测量。齿宽大于 250 mm 的齿轮应至少测量齿宽方向的上、中、下三个截面,上、下截面各距端面约 15% 齿宽。单侧齿面工作的齿轮允许只测工作齿面。

5.2.6 测量方式

- 用相对法测量齿数少于 60 的齿轮时,采用逐齿测量方式;齿数等于或多于 60 的齿轮,对 f_{pt} 仍应采用逐齿测量,对 F_{pk} 和 F_p 一般应采用跨齿和逐齿补点测量方式,允许在保证测量不确定度符合 5.3 规定的前提下,采用逐齿测量。
- 有必要测量齿距累积偏差 F_{pk} 时,应按设计图纸规定的要求进行测量。

5.3 测量不确定度

测量不确定度的评定,依据 JJF 1059—1999 的方法进行。

5.3.1 测量不确定度要求

- 在端截面测量时,单个齿距偏差的测量不确定度 $U_{f_{pt}}$ 、 k 个齿距累积偏差的测量不确定度

U_{Fpk} 、齿距累积总偏差的测量不确定度 U_{Fp} 不应大于被测齿轮对应偏差项目允许值的 1/3；测量 5 级和 5 级以上精度的齿轮时，允许不大于 1/2，但此时应以 5 次以上重复测量的平均值作为测量结果。

- b) 在法向截面测量时，对于斜齿轮，最后截面不封闭，不符合定义要求，测量时应注意。其 U_{fpt} 、 U_{Fpk} 和 U_{Fp} 不应大于被测齿轮对应偏差项目允许值的 1/5；测量 5 级和 5 级以上精度的齿轮时，允许不大于 1/2，但此时应以 5 次以上重复测量的平均值作为测量结果。
- c) 使用手提式仪器测量时， U_{fpt} 、 U_{Fpk} 和 U_{Fp} 不应大于被测齿轮对应偏差项目允许值的 1/5。当不能确定测量不确定度是否满足上述要求时，应进行测量不确定度分析。

5.3.2 测量不确定度分析

- a) 测量不确定度主要误差来源及影响量见表 3。

表 3 齿距偏差测量不确定度主要误差来源及影响量

序号	误差来源	由误差来源引入的影响量 δ_i	分量标准不确定度 u_i
f_{pt} 误差来源及影响量			
1	仪器示值误差	δ_1 可按检定规程、规范或有关技术文件规定的示值误差确定	u_1
2	被测齿轮安装偏心	$\delta_2 = 2e \sin(180^\circ/z) / \cos \alpha_t$	u_2
3	温度误差(直接法测量)	$\delta_3 = \pi m a (t' - 20)$	u_3
4	被测齿面粗糙度引入的影响量	δ_4 可取相应允许值的 1/10；或依据试验数据确定	u_4
5	仪器测量重复性(用标准件)	$\delta_5 = s = [\sum (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)]^{1/2}$	u_5
F_p 及 F_{pk} 误差来源及影响量			
6	仪器示值误差	δ_1 按检定规程、规范等有关技术文件规定的示值误差确定	u_1
7	被测齿轮安装偏心	$\delta_2 = 2e / \cos \alpha_t$	u_2
8	温度误差	$\delta_3 = 2\pi r a (t' - 20)$ $\delta_3 = 2\pi r a / S (t' - 20)$ (用于 k 个齿距)	u_3
9	被测齿面粗糙度因素	δ_4 可取相应允许值的 1/5；或依据试验数据确定	u_4
10	仪器测量重复性(用标准件)	$\delta_5 = s = [\sum (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)]^{1/2}$	u_5
注： a ——线胀系数； t' ——被测齿轮温度，单位为摄氏度(°C)； S ——跨齿测量组数； n ——测量次数； e ——被测齿轮安装偏心，单位为毫米(mm)； r ——被测齿轮分度圆半径，单位为毫米(mm)； z ——齿轮齿数； s ——贝塞尔公式标准差。			

- b) 合成标准不确定度

f_{pt} 的合成标准不确定度 $u_c(f_{pt})$ ：

$$u_c(f_{pt}) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} \dots\dots\dots(1)$$

F_{pk} 的合成标准不确定度 $u_c(F_{pk})$ ：

$$u_c(F_{pk}) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} \dots\dots\dots(2)$$

F_p 的合成标准不确定度 $u_c(F_p)$ ：

$$u_c(F_p) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} \dots\dots\dots(3)$$

- c) 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则 f_{pt} 、 F_{pk} 和 F_p 的扩展不确定度 U_{fpt} 、 U_{Fpk} 和 U_{Fp} 分别为：

$$U_{fpt} = 2 \times u_c(f_{pt}) \dots\dots\dots(4)$$

$$U_{Fpk} = 2 \times u_c(F_{pk}) \dots\dots\dots(5)$$

$$U_{Fp} = 2 \times u_c(F_p) \dots\dots\dots(6)$$

5.4 测量结果处理

以本标准 5.2.5 所规定的各测量位置中测得的最大偏差值作为测量结果。

f_{pt} 、 F_{pk} 和 F_p 应在被测齿轮分度圆切线方向计值, 以其他方向测量时, 应对测得值进行换算, 换算公式见附录 C。

5.4.1 直接法测量结果处理

5.4.1.1 计算机系统自动进行数据处理

测量设备的计算机系统自动进行数据处理时, 由输出打印结果中直接获得。

5.4.1.2 人工计算法

逐齿测得值按表 4 方法计算, 求出 f_{pt} 、 F_{pk} 和 F_p 值。表 4 以 $z=12$ 齿轮为例。

表 4 直接法测量数据处理

单位为微米

齿序 i	公称齿距角/ (°)	相对 0 号齿的齿 距累积总偏差 F_{pi} (读数值)	单个齿距偏差 $f_{pti} = F_{pi} - F_{p(i-1)}$	齿距累积偏差 $F_{pki} = F_{pi} - F_{p(i-k)} $ ($k=2$)
0(12)	0	0		5
1	30	+2	+2	4
2	60	+5	+3	5
3	90	+7	+2	5
4	120	+10	+3	5
5	150	+5	-5	2
6	180	+2	-3	8
7	210	-2	-4	7
8	240	-4	-2	6
9	270	-7	-3	5
10	300	-5	+2	1
11	330	-2	+3	5
12	360	0	+2	5

表 4 中, 单个齿距偏差 f_{pt} :

$$f_{pt} = -5 \mu\text{m} (\text{取绝对值最大的偏差值作为测量结果}) \dots\dots\dots (7)$$

k 个齿距累积偏差 F_{pk} :

$$F_{pk} = F_{pk\max} = 8 \mu\text{m} \dots\dots\dots (8)$$

齿距累积总偏差 F_p :

$$F_p = F_{pi\max} - F_{pi\min} = +10 - (-7) = 17 \mu\text{m} \dots\dots\dots (9)$$

当读数值为角度值时, 也按表 4 方法处理, 所得偏差的单位为角度值, 需要时按下式换算成线值。计算公式如下:

$$F_p = \frac{r \times F_{p\phi}}{206.264} \dots\dots\dots (10)$$

式中:

$F_{p\phi}$ ——齿距累积总偏差的角度值, 单位为秒(");

F_p ——齿距累积总偏差, 单位为微米(μm);

r ——被测齿轮分度圆半径, 单位为毫米(mm)。

5.4.2 相对测量法

5.4.2.1 逐齿测量人工计算法

逐齿测量人工计算 f_{pt} 、 F_{pk} 和 F_p 的方法列于表 5, 以 $z=12$ 的齿轮为例, 组内跨齿数 $k=2$ 。

表 5 相对法逐齿测量人工计算法

单位为微米

齿序 i	相对齿距偏差 (读数值) P_i	单个齿距偏差 $f_{pti} = P_i - P_m$	相对 0° 齿的齿距 累积总偏差 $F_{pi} = \sum_{i=0}^i f_{pti}$	齿距累积偏差 ($k=2$) $F_{pk} = F_{pi} - F_{p(i-k)}$
0(12)	0	+2	0	5
1			-2	4
2	+1	+3	-5	5
3	0	+2	+7	5
4	+1	+3	+10	5
5	-7	-5	-5	2
6	-5	-3	-2	5
7	-6	-4	-2	7
8	-4	-2	-4	6
9	-5	-3	-7	5
10	0	+2	-5	1
11	+1	+3	-2	5
12	0	+2	0	5

表 5 中, 以读数值 P_i 的累加值求相对齿距偏差 P_m , P_m 计算式为:

$$P_m = \frac{\sum_{i=0}^z P_i}{z} = \frac{-24}{12} = -2 \mu\text{m} \quad \dots\dots\dots(11)$$

从表 5 求得单个齿距极限偏差 f_{pt} :

$$f_{pt} = P_i - P_m = (-7) - (-2) = -5 \mu\text{m} \quad \dots\dots\dots(12)$$

齿距累积偏差 F_{pk} :

$$F_{pk} = F_{pk\max} = 8 \mu\text{m} \quad \dots\dots\dots(13)$$

齿距累积总偏差 F_p :

$$F_p = F_{p\max} - F_{p\min} = 10 - (-7) = 17 \mu\text{m} \quad \dots\dots\dots(14)$$

5.4.2.2 逐齿测量作图法

作图法见图 3。图 3 上的横坐标代表齿序号 z_i , 纵坐标代表偏差(以分度圆弧长 μm 计算)。将测得值按齿序号 i 依次累积, 标在坐标图上。过坐标原点和最后一个偏差点作一直线, 该直线即为计算 f_{pt} 、 F_{pk} 和 F_p 的基准线。相对基准线其纵坐标最大值 $F_{p\max}$ 与最小值 $F_{p\min}$ 的绝对值之和为齿距累积总偏差 F_p ; 相隔 k 个齿距的偏差点, 相对基准线其纵坐标最大值 $F_{pk\max}$ 与最小值 $F_{pk\min}$ 绝对值之和为齿距累积偏差 F_{pk} ; 相对基准线的纵坐标, 相邻两个齿距各偏差点, 其中最大的差值作为单个齿距偏差 f_{pt} 的测量结果。

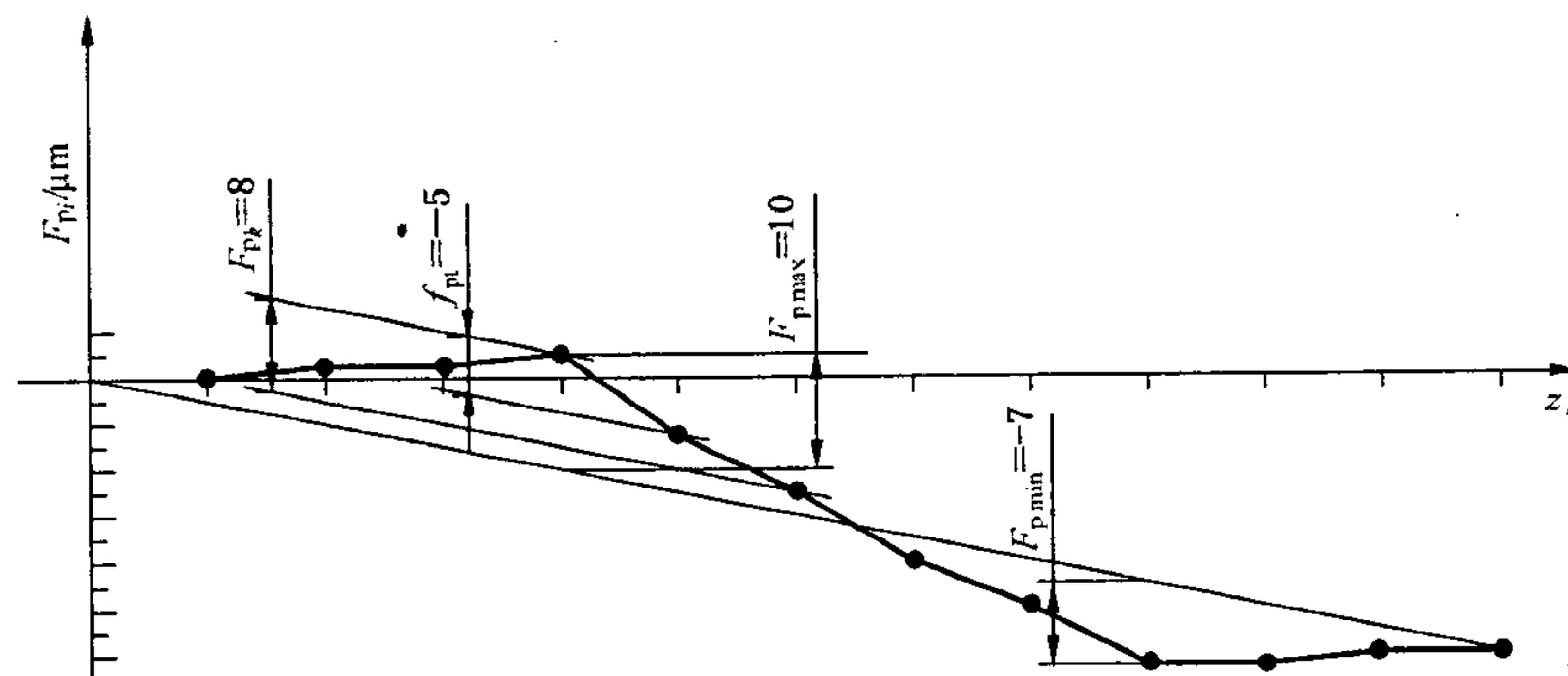


图3 齿距偏差相对法逐齿测量作图法

6 齿廓偏差检验

齿廓偏差检验指齿廓总偏差 F_α 的检验。

齿廓总偏差包括齿廓形状偏差 $f_{f\alpha}$ 和齿廓倾斜偏差 $f_{H\alpha}$ 。当测量仪器带有自动数据处理系统时,可采用最小二乘法确定其平均齿廓迹线,从中分离出 $f_{f\alpha}$ 和 $f_{H\alpha}$ 。

齿廓总偏差 F_α 、齿廓形状偏差 $f_{f\alpha}$ 和齿廓倾斜偏差 $f_{H\alpha}$ 可在一次测量中得到, $f_{f\alpha}$ 、 $f_{H\alpha}$ 与 F_α 测量方法相同,本章在以下内容中均不专述。

对于设计齿廓,可使用设计齿廓样板套被测齿轮测量曲线,以确定齿廓偏差;也可用测量设备自动处理系统设置的设计齿廓公差带,确定齿廓偏差。

6.1 测量方法和测量仪器

齿廓偏差的测量方法有坐标法和展成法。

坐标法的测量仪器有齿轮测量中心、齿轮渐开线测量装置、万能齿轮测量机、上置式直角坐标测量仪以及三坐标测量机等。

展成法的测量仪器有单盘式渐开线检查仪、万能渐开线检查仪(圆盘杠杆式、正弦杠杆式、靠模式等)和渐开线螺旋线检查仪(万能式、单盘式、分级圆盘式)等。

6.1.1 坐标法测量原理

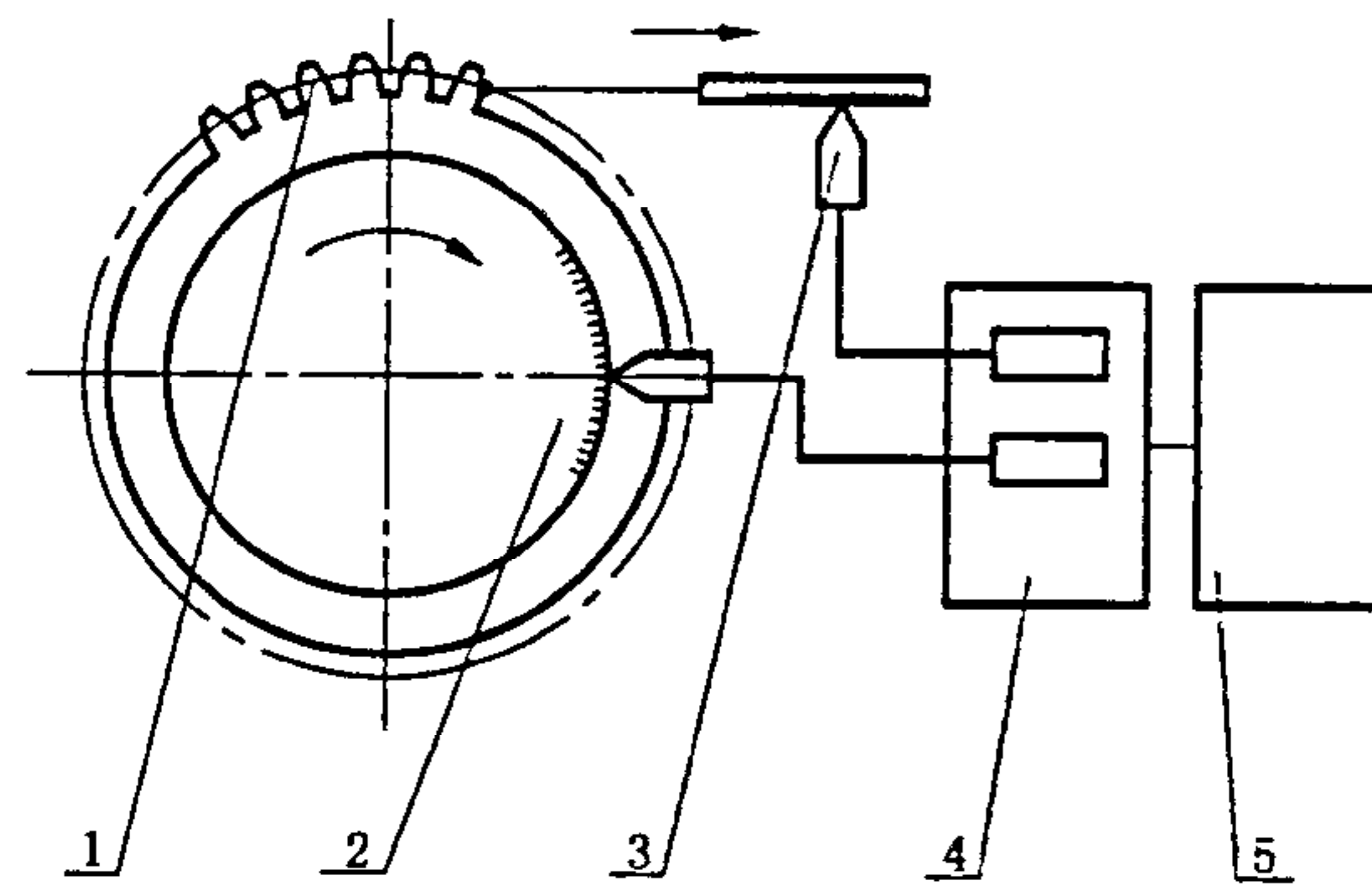
坐标法分为旋转坐标法和直角坐标法。

6.1.1.1 旋转坐标法测量原理

旋转坐标法测量原理参见图4。以被测齿轮回转轴线为基准,通过测角装置(如圆光栅、分度装置)、测长装置(如长光栅、激光、刻尺)和测微系统,对齿轮的角位移和渐开线展开长度进行测量。通过数据采集和处理系统,将被测齿廓的实际坐标位置与理论坐标位置进行比较,按偏差定义计算出 F_α 、 $f_{f\alpha}$ 和 $f_{H\alpha}$,由记录和打印系统输出测量参数及偏差曲线。

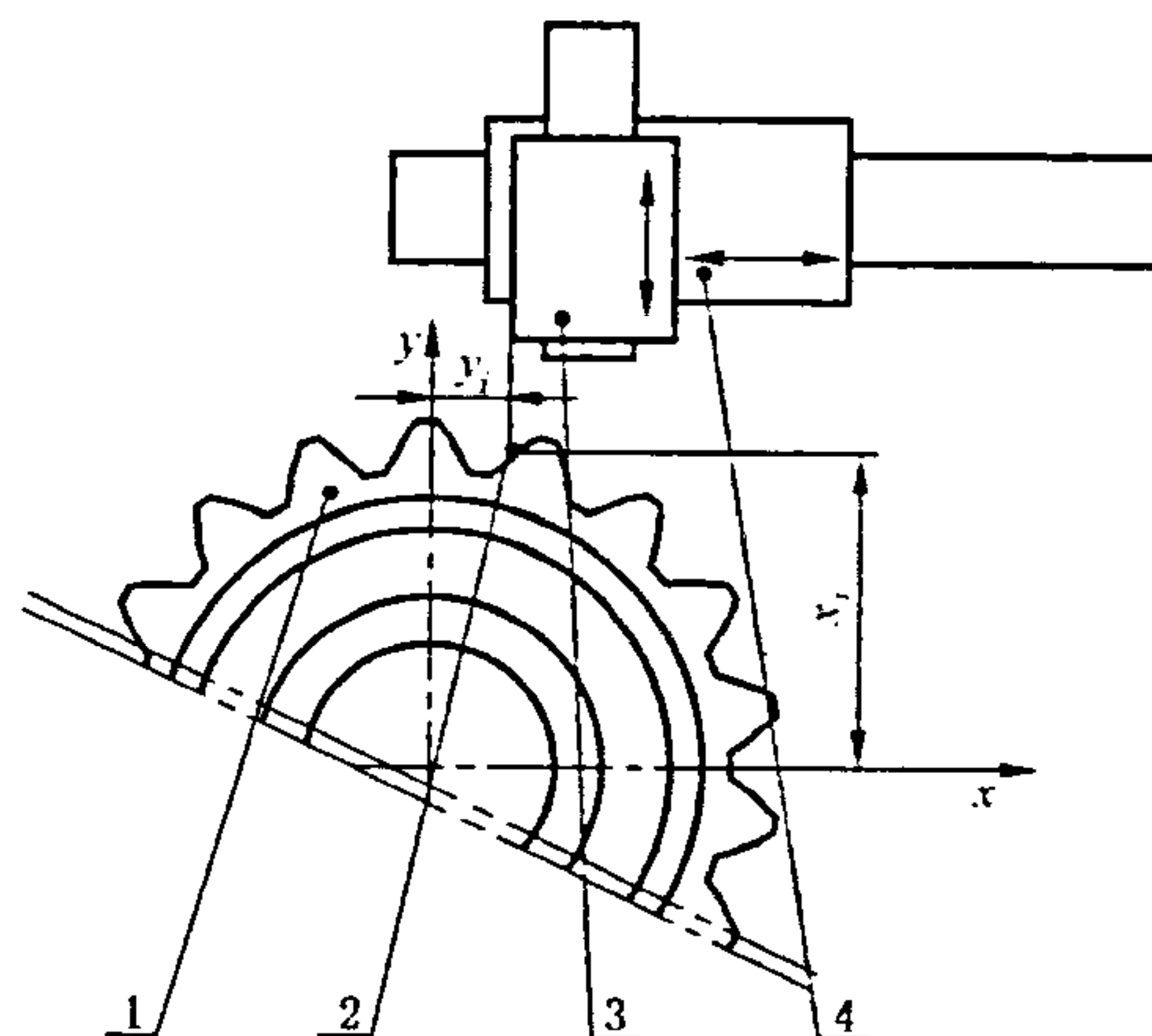
6.1.1.2 直角坐标法测量原理

直角坐标法测量原理参见图5。以被测齿轮轴线为基准。测量时被测齿轮固定不动,测头在垂直轴线的平面内对齿廓作 x - y 直角坐标测量。测得值 x_i 、 y_i 与相应点理论值进行比较,将各点的差值绘成齿廓偏差曲线。在该曲线上按偏差定义取出 F_α 、 $f_{f\alpha}$ 和 $f_{H\alpha}$ 。



- 1——被测齿轮；
- 2——测角装置；
- 3——测长装置；
- 4——数据处理系统；
- 5——输出设备。

图 4 齿廓偏差旋转坐标法测量原理



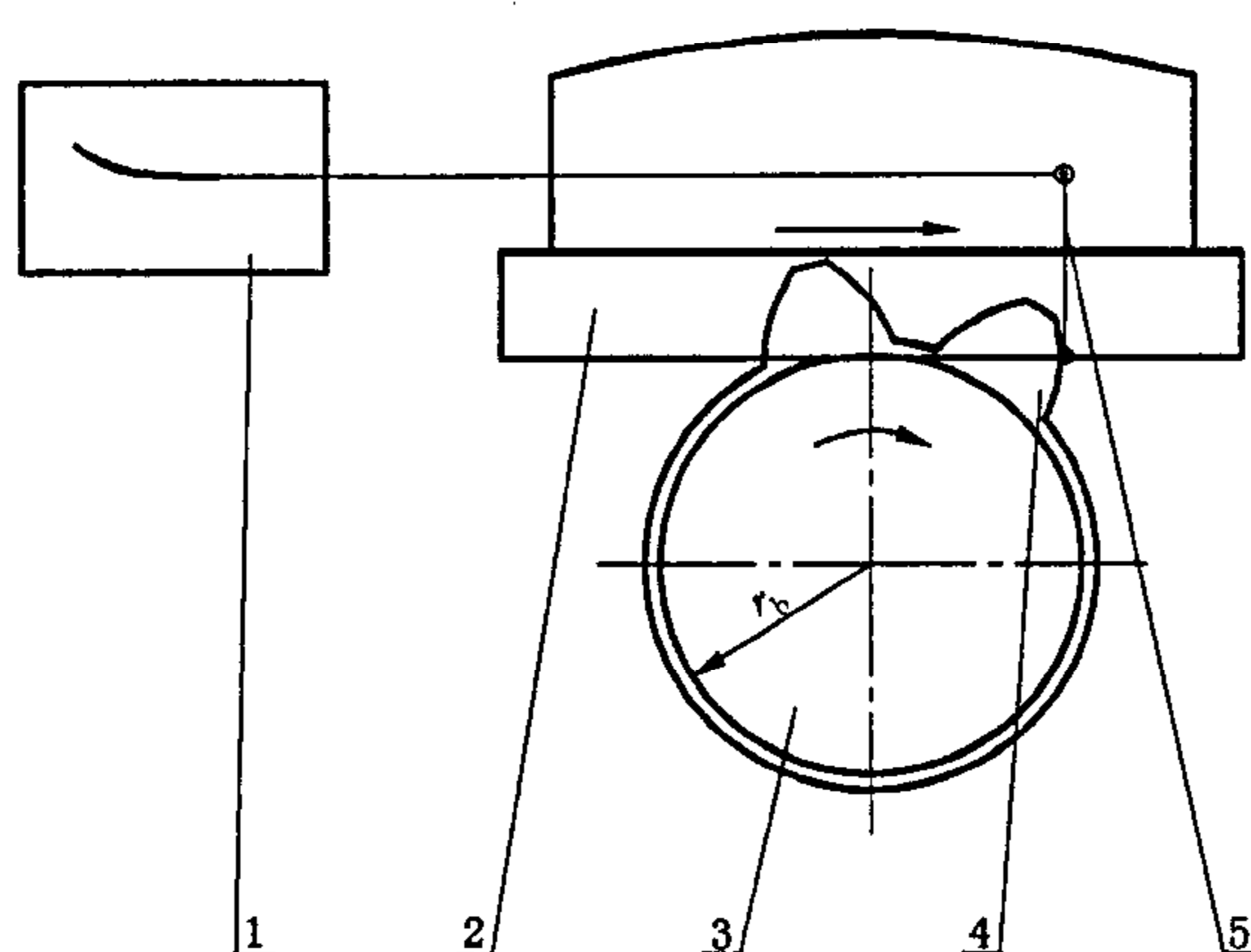
- 1——被测齿轮；
- 2——传感器；
- 3——径向导轨；
- 4——切向导轨。

图 5 齿廓偏差直角坐标法测量原理

6.1.2 展成法测量原理

展成法测量原理参见图 6。以被测齿轮回转轴线为基准，通过与被测齿轮同轴安装的基圆在直尺上纯滚动，形成理论的渐开线轨迹。实际渐开线与理论渐开线轨迹进行比较，其差值由传感器探测，记录系统画出齿廓偏差曲线，在曲线上按偏差定义取出 F_a 、 f_{fa} 和 $f_{H\alpha}$ 。

带有计算机数据处理系统的测量仪可自动处理偏差曲线，自动输出 F_a 、 f_{fa} 和 $f_{H\alpha}$ 值。



- 1——记录系统；
2——直尺；
3——基圆盘；
4——被测齿轮；
5——传感器。

图6 展成法测量原理

6.2 测量

6.2.1 测量温度

测量温度要求见表6。

表6 齿廓偏差测量温度要求

单位为摄氏度

被测齿轮精度等级	测量室温度	被测齿轮与测量仪器的温差
3~4	20±0.5	≤0.5
5~6	20±1	≤0.5
7~8	20±2	≤1
≥9	20±5	≤3

6.2.2 测量仪器的检定

测量仪器应按相应标准、检定规程或其他有关技术文件的规定进行检定/校准，经计量部门检定/校准合格后方准使用。

6.2.3 测头的选择和调整

在保证不发生干涉和碰撞的情况下，宜选择直径较大的测头。

展成法测量和旋转坐标法测量时，测头的安装位置应使其工作点位于被测齿轮基圆柱切平面上，其偏离量不应大于±0.02 mm。

6.2.4 仪器示值误差

对于3级~8级精度的齿轮，测量前必须先用经法定计量部门检定的符合JJG 332—2003要求的渐开线样板(以下简称样板)确定仪器示值误差，并应对仪器示值误差的倾斜分量进行修正，以消除系统因素引入的误差分量。测量3级~4级齿轮时应使用一等渐开线样板；测量5级~8级齿轮时，应使用二等渐开线样板。一等样板和二等样板均可称为标准样板。所使用标准样板应符合GB/T 6467—2001的规定和要求。

仪器示值误差的修正方法见附录D。

6.2.5 测量基准的确定

测量基准的确定方法见附录B。

6.2.6 测量位置的确定

齿廓总偏差应在齿宽中部对沿圆周均布的不少于3个齿的左、右侧齿面进行测量,被测量的齿高应大于或等于图纸规定的工作齿高,当图纸未作规定时,按被测齿轮与基本齿条啮合计算工作齿高。

对于齿宽大于160 mm的齿轮,应至少测量上、中、下三个截面,上、下截面各距端面约15%齿宽。单侧齿面工作的齿轮只测工作侧齿面。

6.3 测量不确定度

6.3.1 测量不确定度要求

齿廓总偏差的测量不确定度不应大于被测齿轮对应偏差项目允许值的1/3。测量5级和高于5级精度的齿轮时,允许不大于1/2,但此时应以5次以上重复测量结果的平均值作为测量结果。手提式仪器测量时不应大于1/5。

当不能确定测量不确定度是否满足上述要求时,应进行测量不确定度分析。

6.3.2 测量不确定度分析

a) 齿廓总偏差测量不确定度主要误差来源及影响量见表7。

表7 齿廓总偏差测量不确定度主要误差来源及影响量

序号	误差来源	由误差来源引入的影响量 δ_i	分量标准不确定度 u_i
1	仪器示值误差	δ_1 按检定规程、规范或相应技术文件要求的示值误差确定。特定尺寸段可用相应尺寸标准渐开线样板确定	u_1
2	测量与校准时测头在被测齿轮轴相差的距离 l_c	$\delta_2 = \frac{l_c}{206.264} \Delta\theta$ (用于机械展成式仪器) 式中: $\Delta\theta$ ——测头滑架在基圆切平面的摆角,单位为度(°); l_c ——单位为毫米(mm)	u_2
3	被测齿轮测量时的安装偏心 e	$\delta_3 = 2e \sin \frac{L_{AE}}{2}$	u_3
4	被测斜齿轮测量时的安装倾斜 Δ_h	$\delta_4 = \Delta_h \tan \beta_b$ 式中: β_b ——被测齿轮基圆螺旋角,单位为度(°); Δ_h ——单位为毫米(mm)	u_4
5	被测齿轮与仪器温差	δ_5 被测齿轮与仪器温差引入的影响量,按仪器说明书给定的公式计算确定,或通过试验和分析确定	u_5
6	仪器测量重复性(用标准样板)	$\delta_6 = s = \left[\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} \right]^{1/2}$	u_6
7	曲线判断误差(人工判读)或量化误差	人工判读时, δ_7 不小于 $0.3 \mu\text{m}$	u_7

b) 合成标准不确定度

齿廓总偏差 F_a 的合成标准不确定度 $u_c(F_a)$:

$$u_c(F_a) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2} \dots\dots\dots(15)$$

c) 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则 F_a 的扩展不确定度 U_{F_a} 为:

$$U_{F_a} = 2 \times u_c(F_a) \dots\dots\dots(16)$$

6.4 测量结果的处理

6.4.1 齿廓总偏差评价原则

a) 理论渐开线齿廓长度

在齿廓总偏差曲线有效测量长度内,评价齿廓总偏差。从有效长度起始点开始应具有齿廓偏差曲线,齿顶部可扣除有效长度的8%作为计值范围,以 L_a 表示。齿顶部扣除部分偏向齿体外的正偏差必须计入齿廓总偏差,负偏差不应超过规定允许值的3倍;有效测量长度范围以外的齿根部分,应偏向齿体内。

b) 设计齿廓

设计齿廓其齿廓偏差应依据设计图样的要求或规定的公差带进行评价。

6.4.2 齿廓总偏差评价范围的相关计算

6.4.2.1 按与配对齿轮啮合计算评价范围

a) 有效测量长度 L_{AE} 及有效展开角 ξ_{AE} 计算公式如下:

$$L_{AE} = 2\sqrt{r_{a2}^2 - r_{b2}^2} + \sqrt{r_{a1}^2 - r_{b1}^2} - a' \times \sin\alpha'_t + c \quad \dots\dots\dots(17)$$

$$\xi_{AE} = \frac{L_{AE}}{r_b} \times \frac{180^\circ}{\pi} \quad \dots\dots\dots(18)$$

式中:

r_{a2} 、 r_{a1} ——分别为大小齿轮的齿顶圆半径,单位为毫米(mm);

r_{b2} 、 r_{b1} ——分别为大小齿轮的基圆半径,单位为毫米(mm);

a' ——啮合中心距,单位为毫米(mm);

α'_t ——啮合端面啮合压力角,单位为度($^\circ$);

c ——由中心距偏差和齿顶圆径向跳动引起的齿根起始点展开长度的变化量,单位为毫米(mm);

ξ_{AE} ——有效渐开线展开角,单位为度($^\circ$)。

b) 有效起始点展开长度 L_E 计算公式及有效起始点展开角 ξ_E 计算公式如下:

$$L_E = a' \times \sin\alpha'_t - \sqrt{r_{a1}^2 - r_{b1}^2} - c \quad \dots\dots\dots(19)$$

$$\xi_E = \frac{L_E}{r_b} \times \frac{180^\circ}{\pi} \quad \dots\dots\dots(20)$$

6.4.2.2 按与基本齿条啮合计算评价范围

a) 有效测量长度 L_{AE} 及有效展开角 ξ_{AE} 计算公式如下:

$$L_{AE} = \sqrt{r_a^2 - r_b^2} - \sqrt{r^2 - r_b^2} + \frac{(h_a - x_n)m_n}{\sin\alpha_t} \quad \dots\dots\dots(21)$$

$$\xi_{AE} = \frac{L_{AE}}{r_b} \times \frac{180^\circ}{\pi} \quad \dots\dots\dots(22)$$

有效起始点展开长度 L_E 及有效起始点展开角 ξ_E 计算公式如下:

$$L_E = \sqrt{r^2 - r_b^2} - \frac{(h_a - x_n)m_n}{\sin\alpha_t} \quad \dots\dots\dots(23)$$

$$\xi_E = \frac{L_E}{r_b} \times \frac{180^\circ}{\pi} \quad \dots\dots\dots(24)$$

式中:

r ——齿轮分度圆半径,单位为毫米(mm);

r_b ——齿轮基圆半径,单位为毫米(mm);

α'_t ——齿轮端面啮合压力角,单位为度($^\circ$);

h_a ——齿顶高系数;

x_n ——法向变位系数。

6.5 测量方向

应在齿轮的端截面基圆切线方向测量。以其他方向测量时,应对测得值进行换算,换算公式见附录 C。

6.6 齿廓总偏差曲线取值

图 7 为齿廓总偏差曲线。

- 从齿廓偏差曲线上取值,取值方向应与坐标纸 y 方向平行;
- 对于非修形齿廓,允许用指示表读出齿廓总偏差;
- 对于设计齿廓,所画齿廓偏差曲线应位于设计齿廓公差带范围内;
- 偏差曲线由计算机自动数据处理系统画出时,应对其计算程序进行验证;
- 以在 6.2.6 中规定的各测量位置中测得的最大齿廓总偏差作为测量结果。

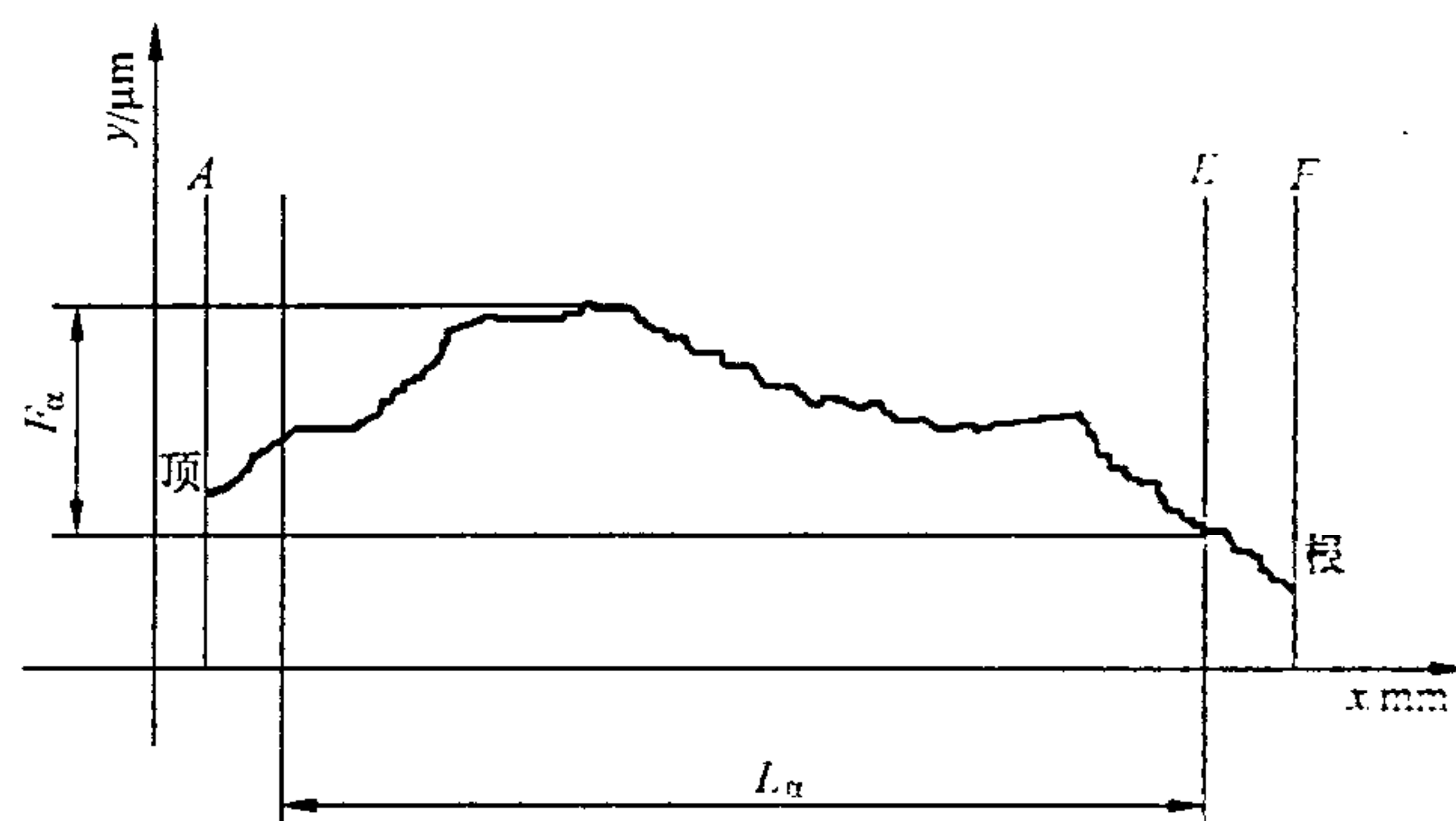


图 7 齿廓总偏差曲线

7 螺旋线偏差检验

螺旋线偏差的检验指螺旋线总偏差 F_β 的检验。

螺旋线总偏差包括螺旋线形状偏差 $f_{f\beta}$ 和螺旋线倾斜偏差 $f_{H\beta}$ 。当测量仪器带有自动数据处理系统时,可采用最小二乘法确定其平均螺旋线迹线,从中分离出 $f_{f\beta}$ 和 $f_{H\beta}$ 。

螺旋线总偏差 F_β 、螺旋线形状偏差 $f_{f\beta}$ 和螺旋线倾斜偏差 $f_{H\beta}$ 可在一次测量中得到, $f_{f\beta}$ 、 $f_{H\beta}$ 与 F_β 测量方法相同,本章以下内容均不专述。

对于设计螺旋线,可使用设计螺旋线样板套被测齿轮测量曲线,以确定螺旋线偏差;也可用测量设备数据自动处理系统设置的设计螺旋线公差带,确定螺旋线偏差。

7.1 测量方法和测量仪器

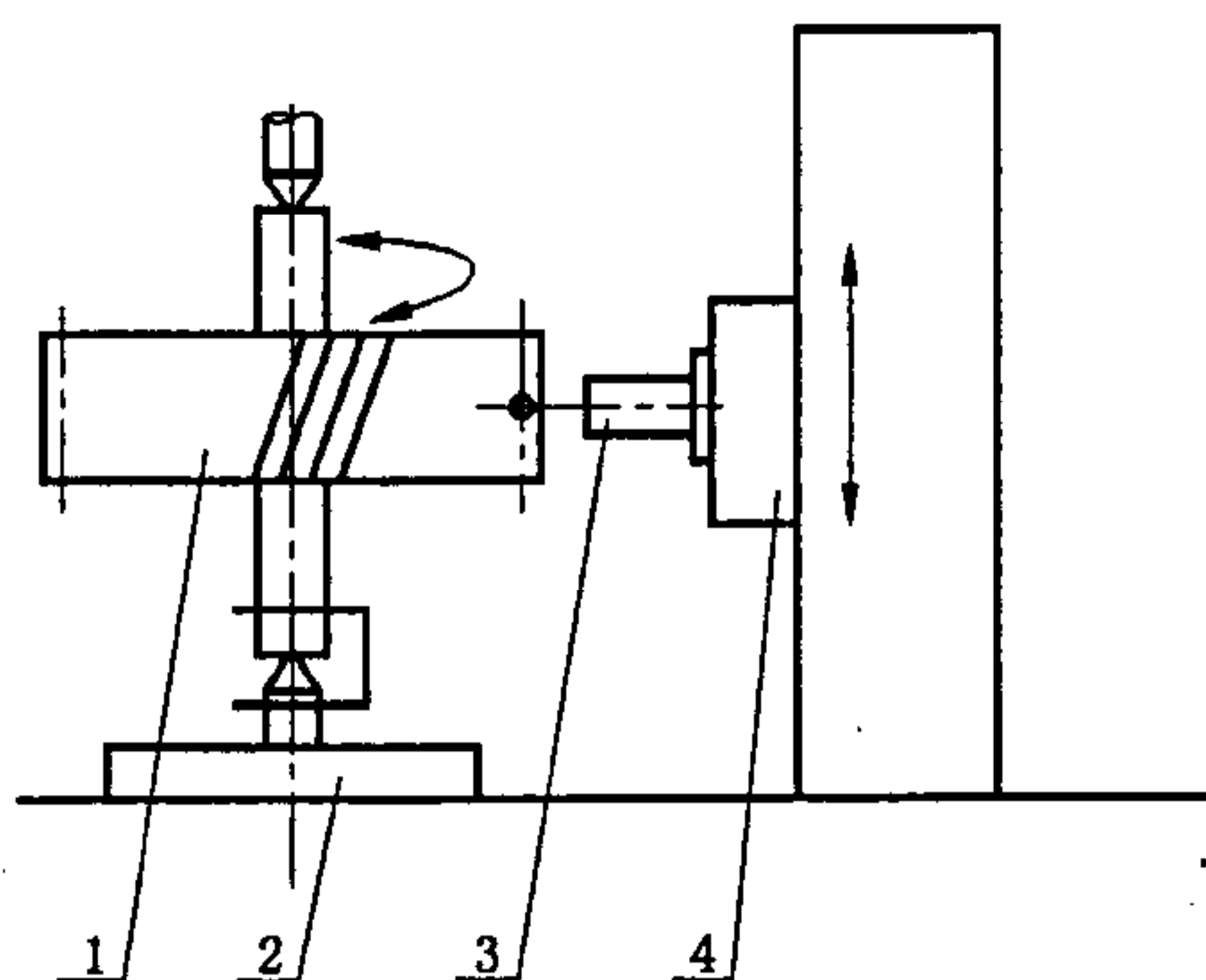
螺旋线偏差的测量方法有坐标法和展成法。

坐标法测量仪器有齿轮测量中心、齿轮螺旋线测量装置和三坐标测量机等。

展成法的测量仪器有单盘式渐开线螺旋线检查仪、分极圆盘式渐开线螺旋线检查仪、杠杆圆盘式万能渐开线螺旋线检查仪和导程仪等。

7.1.1 坐标法测量原理

坐标法测量原理参见图 8。以被测齿轮回转轴线为基准,通过测角装置(如圆光栅、分度盘)和测长装置(如长光栅、激光)测量螺旋线的实际坐标位置,将其与理论坐标位置进行比较,记录系统给出螺旋线偏差曲线,按偏差定义取得 F_β 、 $f_{f\beta}$ 和 $f_{H\beta}$ 。

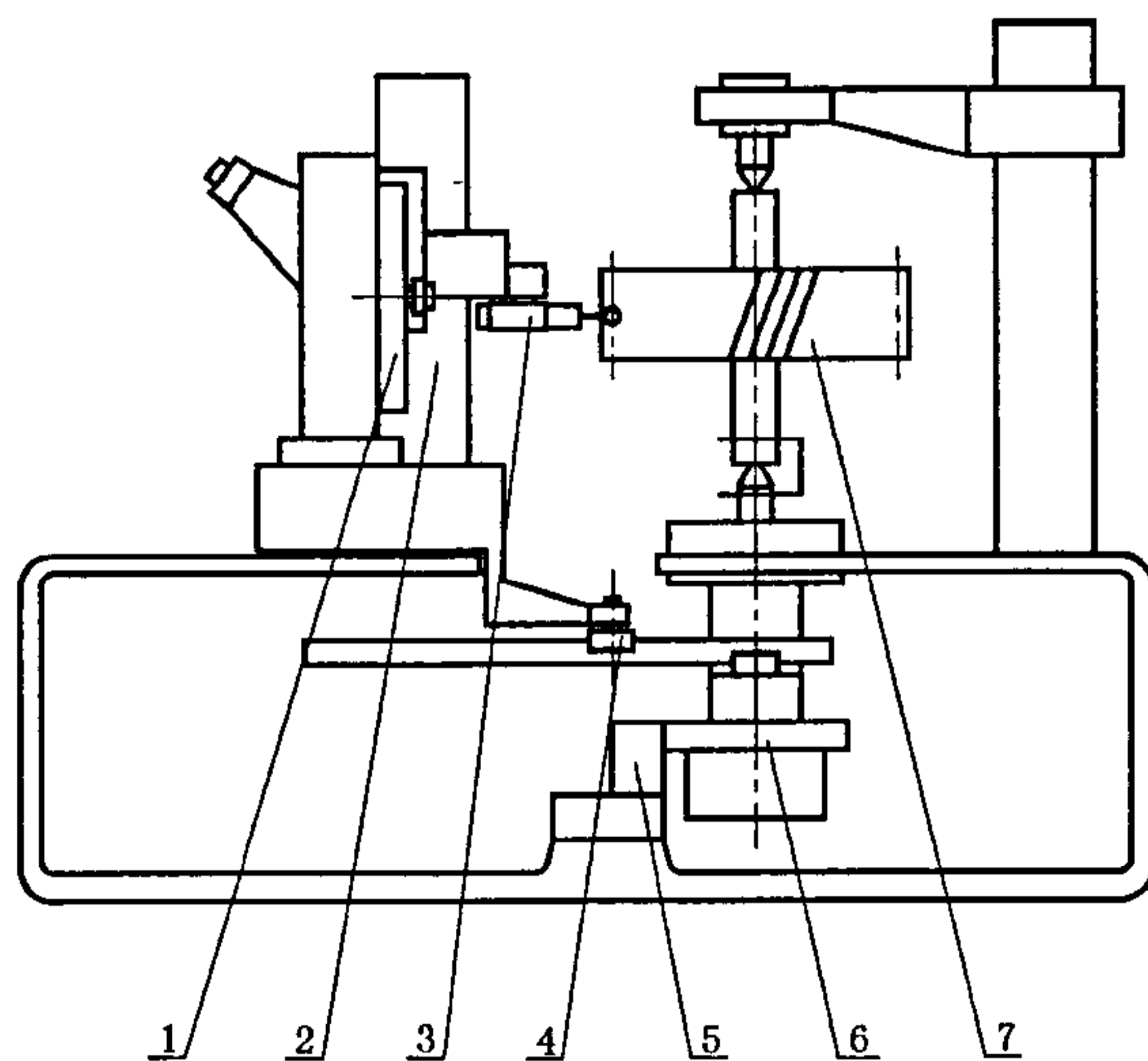


- 1——被测齿轮；
 2——测角装置；
 3——测头；
 4——测长装置。

图 8 螺旋线坐标法测量原理图

7.1.2 展成法测量原理

展成法测量原理参见图 9。以被测齿轮回转轴线为基准，通过精密传动机构包括：直尺、基圆盘和放大机构以及螺旋线分度机构实现理论螺旋线。测量时，被测齿轮与主轴同步回转，测头沿轴向导轨移动，描绘被测齿轮实际螺旋线。实际螺旋线与理论螺旋线轨迹进行比较，其差值由记录器记录并画出螺旋线总偏差曲线，按偏差定义取得 F_{β} 、 $f_{f\beta}$ 和 $f_{H\beta}$ 。



- | | |
|-------------|----------|
| 1——螺旋线分度机构； | 5——直尺； |
| 2——轴向导轨； | 6——基圆盘； |
| 3——测头； | 7——被测齿轮。 |
| 4——放大机构； | |

图 9 螺旋线展成法测量原理图

7.2 测量

7.2.1 测量温度

螺旋线偏差测量温度要求见表 8。

表 8 螺旋线偏差测量温度要求

单位为摄氏度

被测齿轮精度等级	测量室温度	被测齿轮与测量仪器的温差
3~5	20±1	≤0.5
6~8	20±2	≤1
≥9	20±5	≤3

7.2.2 测量仪器的检定

测量仪器应按相应标准、检定规程或其他有关技术文件的规定进行检定/校准,经计量部门检定/校准合格后方准使用。

7.2.3 测头的选择

在保证不发生干涉和碰撞的情况下,宜选用直径较大的测头。

展成法测量和旋转坐标法测量时测头的安装位置应使其工作点位于被测齿轮基圆柱切平面上,其偏离量一般不应大于±0.02 mm。

7.2.4 仪器示值误差

对于 3 级~8 级精度的齿轮,测量前必须先用经法定计量部门检定的符合 JJG 408—2000 要求的螺旋线样板确定仪器示值误差,并对仪器示值误差的倾斜分量进行修正,以消除系统因素引入的测量误差。测量 3 级和 4 级齿轮时应使用一等螺旋线样板;测量 5 级~8 级齿轮时,应使用二等螺旋线样板。一等螺旋线样板和二等螺旋线样板均称为标准样板,所使用标准样板应符合 GB/T 6468—2001 的规定和要求。

修正方法见附录 D。

7.2.5 测量基准

测量基准的要求见附录 B。

7.2.6 测量位置的确定

螺旋线偏差应在齿高中部对齿轮沿圆周均布的不少于 3 个齿的左、右侧齿面进行测量。单侧齿面工作的齿轮只测工作侧齿面。

7.3 测量不确定度

7.3.1 测量不确定度要求

螺旋线偏差的测量不确定度不应大于被测齿轮螺旋线偏差允许值的 1/3,测量 5 级或高于 5 级精度的齿轮时,不应大于 1/2,但此时应以 5 次以上重复测量结果的平均值作为测量结果;使用手提式仪器测量时不应大于 1/5。

当不能确定测量不确定度是否满足上述要求时,应进行测量不确定度分析。

7.3.2 测量不确定度分析方法

a) 螺旋线总偏差测量不确定度主要误差来源及影响量见表 9。

表 9 螺旋线总偏差测量不确定度主要误差来源

序号	误差来源	由误差来源引入的影响量 δ_i	分量标准不确定度 u_i
1	仪器示值误差	δ_1 可按检定规程、规范或相应技术文件要求的示值误差确定;特定尺寸段可用相应尺寸标准螺旋线样板确定	u_1
2	测量重复性(使用标准样板)	$\delta_2 = s = [\sum (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)]^{1/2} \quad (n \geq 5)$	u_2

表 9 (续)

序号	误差来源	由误差来源引入的影响量 δ_i	分量标准不确定度 u_i
3	曲线判断误差(人工判读)或量化误差	人工判读时, δ_3 不小于 $0.3 \mu\text{m}$	u_3
4	被测齿轮安装误差	δ_4 被测齿轮定位基准的稳定性和轴线的倾斜, 经检测和试验确定	u_4
5	仪器顶尖连线相对于仪器垂直导轨切向平行度	$\delta_5 = \Delta \times \cos\beta$	u_5
6	被测齿轮与仪器温差	δ_6 被测齿轮与仪器温差引入的影响量, 按仪器说明书给定的公式计算确定; 或通过试验和分析确定	u_6

注: Δ ——评价范围内切向平行度误差, 测量长度可按被测件实际测量长度计算, 单位为毫米(mm)。

b) 合成标准不确定度 $u_c(F_\beta)$:

$$u_c(F_\beta) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} \dots\dots\dots (25)$$

c) 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则 F_β 的扩展不确定度 U_{F_β} 为:

$$U_{F_\beta} = 2 \times u_c(F_\beta) \dots\dots\dots (26)$$

7.4 测量结果处理

7.4.1 螺旋线总偏差评价原则

按设计图样规定的齿宽工作部分评价。

齿宽两端 5% 的长度或一个模数的长度, 扣除其中数值较小的一个长度后作为评价范围, 以 L_β 表示。对于扣除部分偏向齿体外的正偏差必须计入螺旋线总偏差, 负偏差不应超过规定公差的 3 倍。

7.4.2 螺旋线偏差曲线取值

图 10 为螺旋线总偏差曲线。

- a) 从螺旋线测量曲线上取值, 取值方向应与坐标纸 y 方向平行;
- b) 对于非修型螺旋线, 允许用指示表读出螺旋线总偏差;
- c) 对于设计螺旋线, 所画螺旋线偏差曲线应位于设计螺旋线公差带范围内;
- d) 偏差曲线由计算机自动数据处理系统画出时, 应对其计算程序进行验证;
- e) 以在 7.2.6 所规定的各测量位置中测得的最大螺旋线总偏差作为测量结果。

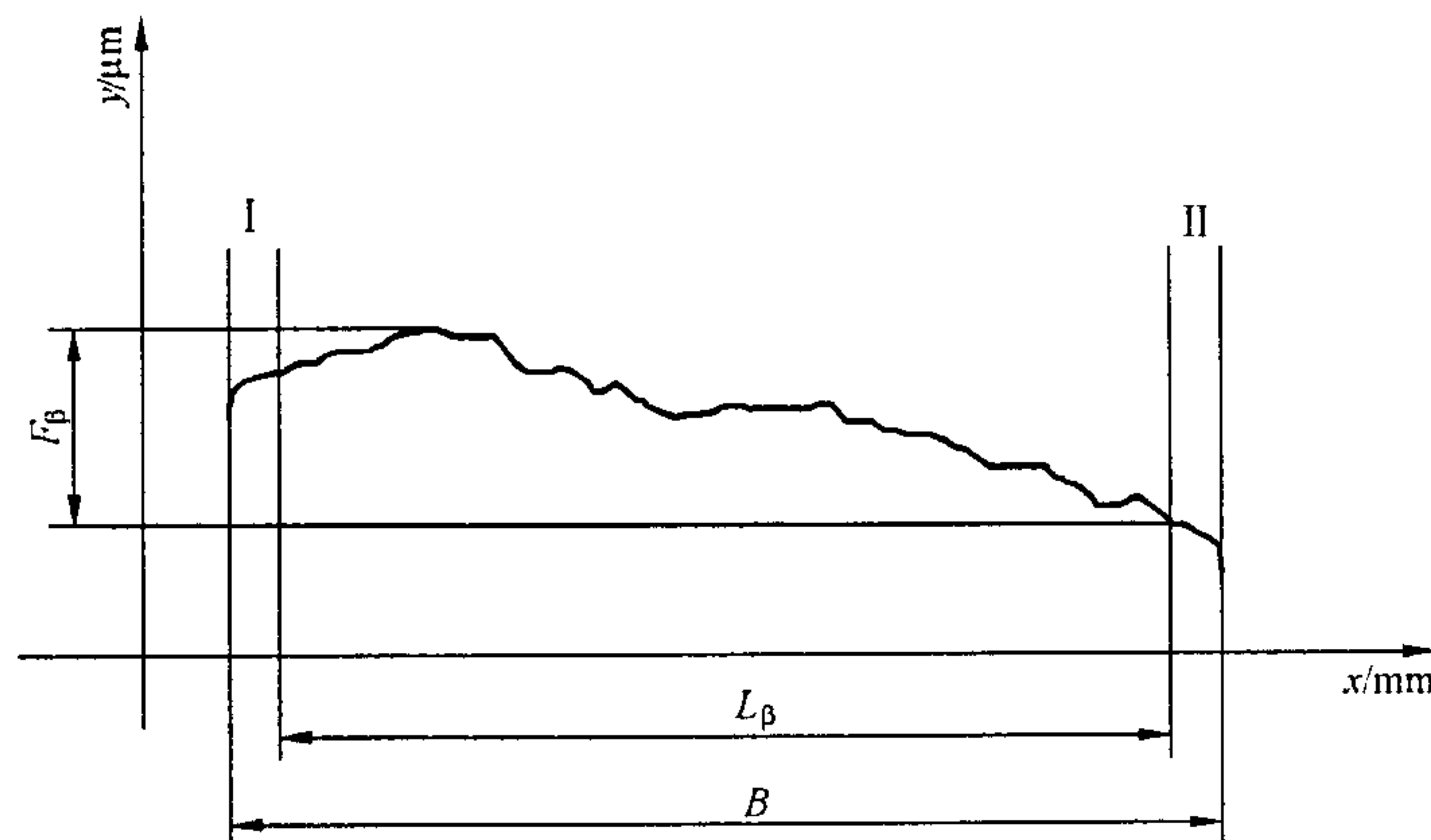


图 10 螺旋线总偏差曲线

7.4.3 螺旋线测量方向

应在齿轮端截面基圆切线方向测量。以其他方向测量时应对测得值进行换算,换算公式见附录 C。

8 切向综合偏差检验

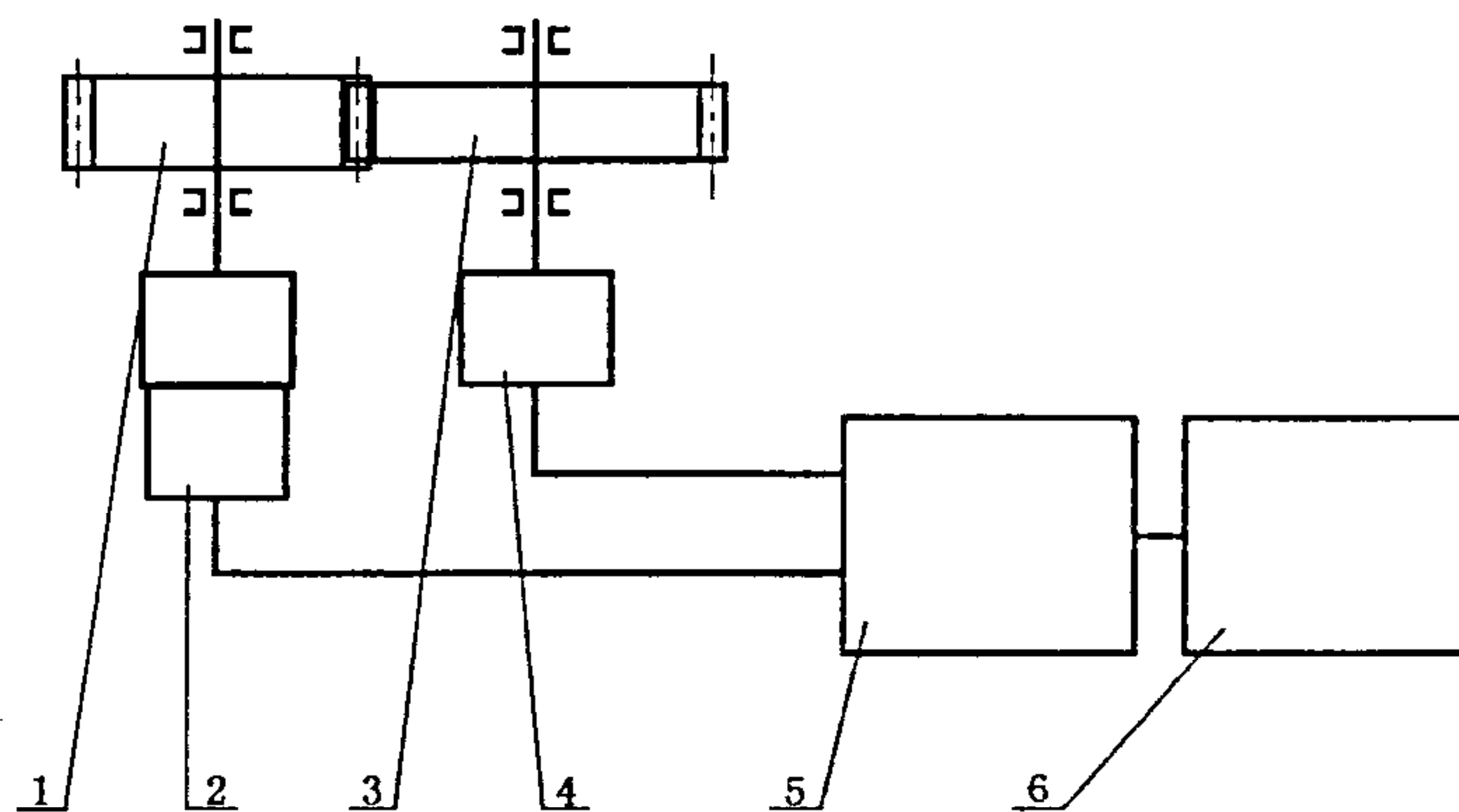
切向综合偏差的检验包括切向综合总偏差 F'_i 和一齿切向综合偏差 f'_i 的检验。

8.1 测量方法和测量仪器

切向综合偏差的测量方法为啮合法。

啮合法测量原理参见图 11。以被测齿轮回转轴线为基准,被测齿轮与测量齿轮作有间隙的单面啮合传动,被测齿轮每齿的实际转角与测量齿轮的转角进行比较,其差值通过计算机偏差处理系统得到,由输出设备将其记录成切向综合偏差曲线,在该曲线上按偏差定义取出 F'_i 和 f'_i 。

测量仪器有齿轮单面啮合检查仪。



- 1——测量齿轮;
- 2——角度传感器及驱动装置;
- 3——被测齿轮;
- 4——测角传感器;
- 5——计算机;
- 6——输出设备。

图 11 啮合法测量原理图

8.2 测量

8.2.1 测量温度

测量温度要求见表 10。

表 10 切向综合偏差的测量温度要求

单位为摄氏度

被测齿轮精度等级	测量室温度	被测齿轮与测量仪器(或测量元件)的温差
4~5	20±4	≤2
6~7	20±6	≤4
≥8	20±10	≤6

8.2.2 测量仪器的检定

仪器应按检定规程或其他有关技术文件的规定进行检定,经计量部门检定合格方准使用。

8.2.3 测量元件

- a) 测量元件为测量齿轮；
- b) 测量齿轮需经法定计量部门进行检定；
- c) 测量齿轮的精度应高于被测齿轮四个精度等级。否则应对测量齿轮和被测齿轮的误差进行分离,以消除测量齿轮的影响。

8.2.4 测量仪器的校准

被测齿轮精度为5级或高于5级时,应使用测量齿轮对仪器的示值误差进行校准。

8.2.5 测量基准的要求

测量基准的要求见附录B。

8.2.6 测量位置的确定

应分别对左、右侧齿面整周的每个齿进行测量。被测齿高应大于或等于图样规定的工作齿高。单侧齿面工作的齿轮只测工作侧齿面。

8.3 测量不确定度

8.3.1 测量不确定度要求

切向综合总偏差的测量不确定度和一齿切向综合偏差的测量不确定度不应大于被测齿轮对应偏差项目允许值的1/3;测量5级和高于5级精度的齿轮时,允许不大于1/2,但此时应以5次以上重复测量的平均值作为测量结果。

当不能确定测量不确定度能否满足上述要求时,应进行测量不确定度的分析。

8.3.2 测量不确定度分析

8.3.2.1 切向综合总偏差 F'_i 测量不确定度分析

- a) F'_i 测量不确定度主要误差来源及影响量见表11。

表 11 F'_i 测量不确定度主要误差来源及影响量

序号	误差来源	由误差来源引入的影响量 δ_i	分量标准不确定度 u_i
1	仪器示值误差	δ_1 可按检定规程、规范或相应技术文件要求的示值误差确定	u_1
2	测量齿轮误差	δ_2 测量齿轮精度应高于被测齿轮精度四个精度等级,此时其误差可忽略不计;否则,应带入计量部门给出的 f'_i 检定不确定度	u_2
3	温度误差	$\delta_3 = P_b [a(t-20) - a(t'-20)] / \cos\alpha_t$	u_3
4	被测齿轮安装偏心 e_1	$\delta_4 = 2e_1 / \cos\alpha_t$	u_4
5	测量齿轮定位误差 e_3	$\delta_5 = 2e_3 / \cos\alpha_t$	u_5
6	被测齿轮齿面制造质量	δ_6 可取相应允许值的1/10;或依据试验数据确定	u_6

注: P_b ——齿轮法向基节; a ——线胀系数; t ——检测室温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$); t' ——被测齿轮温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$); α_t ——被测齿轮端面压力角,单位为度($^{\circ}$)。

- b) 合成标准不确定度:

$$u_c(F'_i) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} \dots\dots\dots (27)$$

- c) 取包含因子 $k=2$,则扩展不确定度为:

$$U_{F'_i} = 2 \times u_c(F'_i) \dots\dots\dots (28)$$

8.3.2.2 一齿切向综合偏差 f'_i 测量不确定度及影响量

- a) f'_i 测量不确定度主要误差来源及影响量见表12。

表 12 f'_i 测量不确定度主要误差来源及影响量

序号	误差来源	由误差来源引入的影响量 δ_i	分量标准不确定度 u_i
1	仪器示值误差	δ_1 可按检定规程、规范或相应技术文件要求的示值误差确定	u_1
2	测量齿轮误差	δ_2 测量齿轮精度应高于被测齿轮精度四个精度等级, 此时其误差可忽略不计; 否则, 应带入计量部门给出的 f'_i 检定不确定度	u_2
3	温度误差	$\delta_3 = P_b [a(t-20) - a(t'-20)] / \cos \alpha_1$	u_3
4	测量齿轮定位误差 e_3	$\delta_4 = 2e_3 \sin(180^\circ / z_3) / \cos \alpha_1$	u_4
5	被测齿轮安装偏心 e_1	$\delta_5 = 2e_1 \sin(180^\circ / z_1) / \cos \alpha_1$	u_5
6	被测齿轮齿面制造质量	δ_6 可取相应允许值的 1/10; 或依据实验确定	u_6

注: t ——检测室温度, 单位为摄氏度(°C); t' ——被测齿轮温度, 单位为摄氏度(°C); z_1 ——被测齿轮齿数;
 z_3 ——测量齿轮齿数。

b) 合成标准不确定度:

$$u_c(f'_i) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} \dots\dots\dots (29)$$

c) 取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U_{f'_i} = 2 \times u_c(f'_i) \dots\dots\dots (30)$$

8.4 测量结果处理

F'_i 和 f'_i 应在切向综合偏差曲线上取值, 见图 12。图 12 中 x 坐标代表被测齿轮回转角, y 坐标代表被测齿轮回转角偏差。

以在 8.2.6 规定得各测量位置中测得的最大偏差作为测量结果。

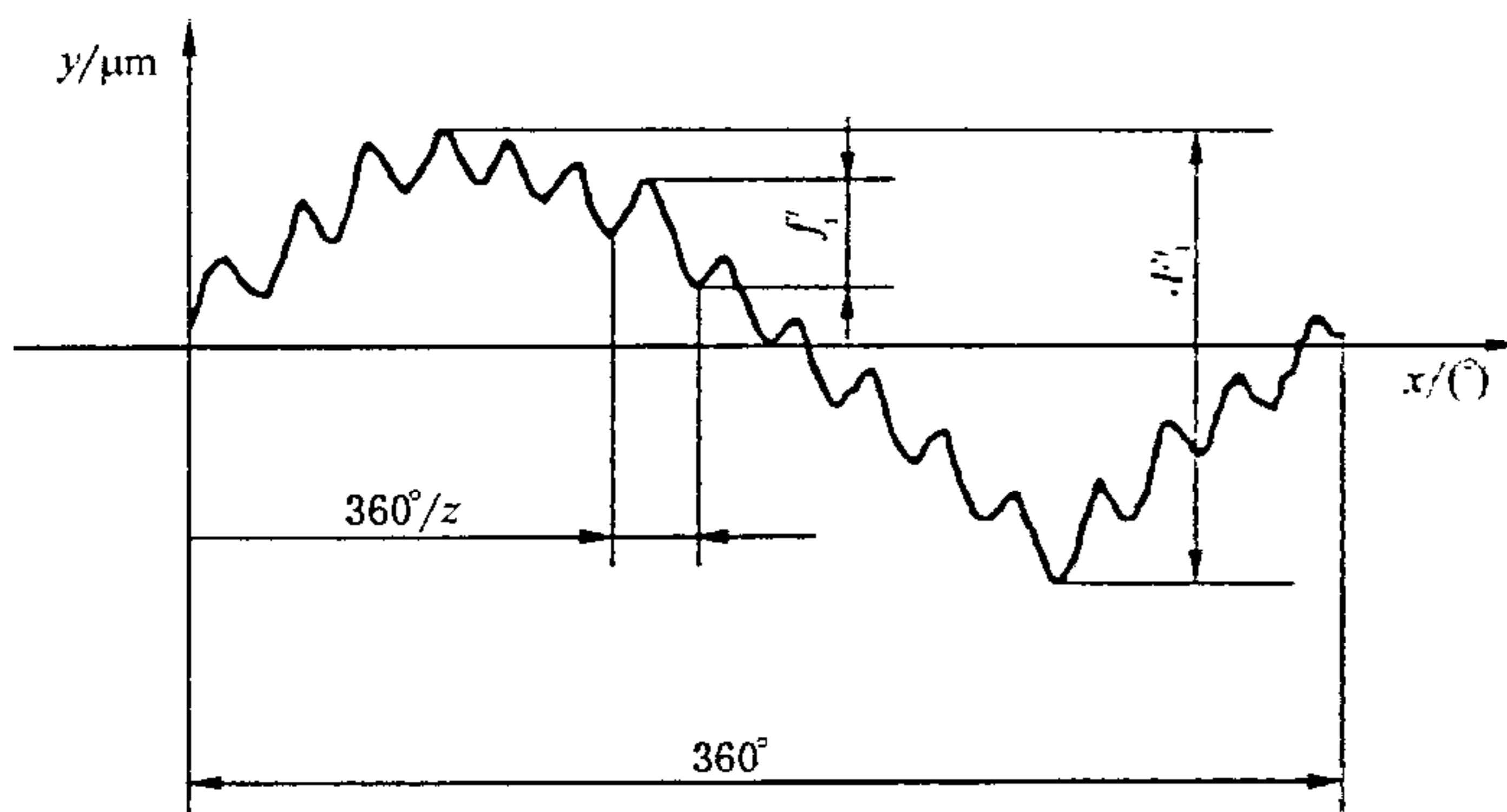


图 12 切向综合偏差曲线取值方法

9 径向综合偏差检验

径向综合偏差的检验包括径向综合总偏差 F''_i 和一齿径向综合偏差 f''_i 的检验。

9.1 测量方法和测量仪器

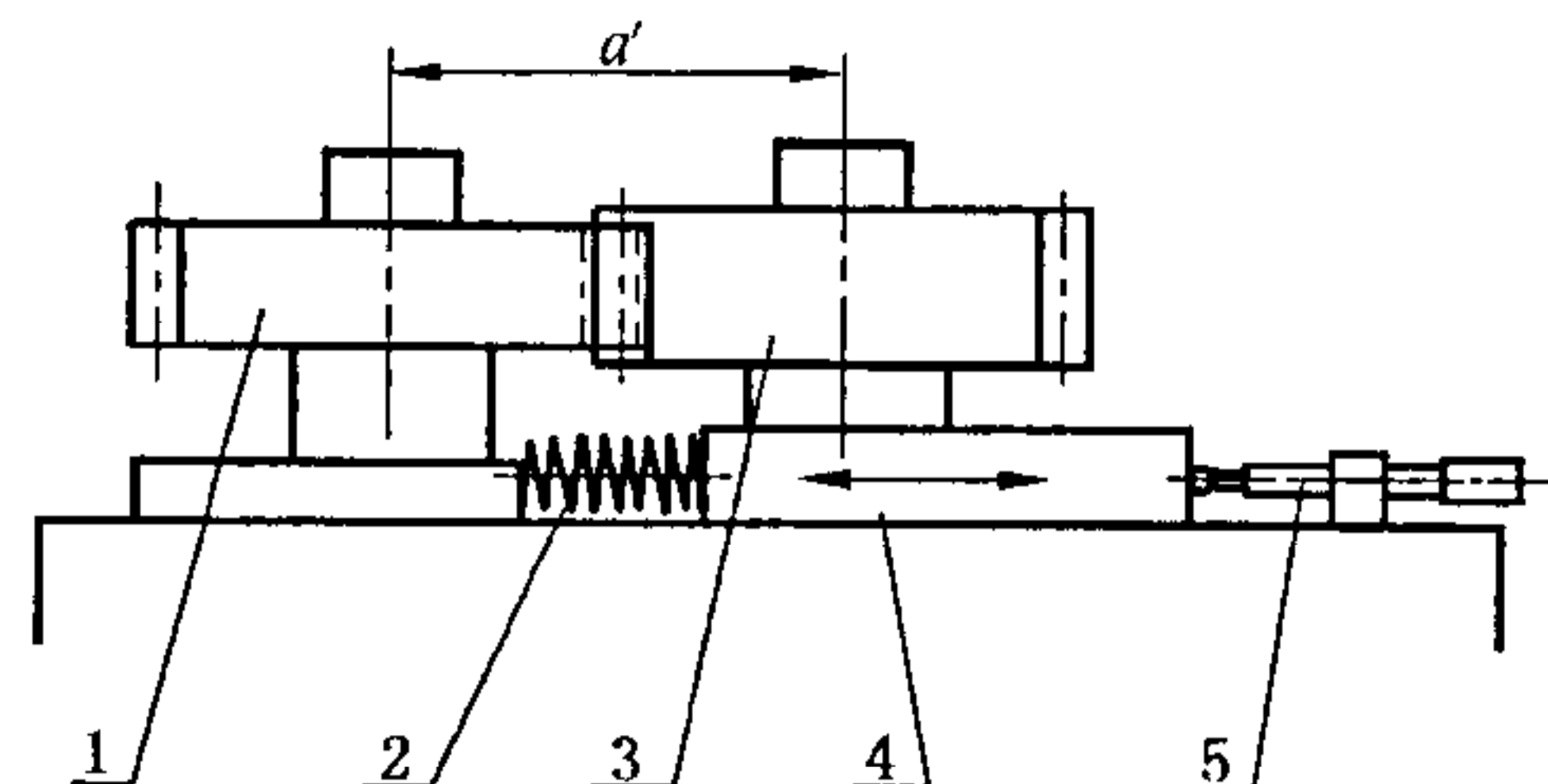
径向综合偏差的测量方法为直接测量法。

直接法的测量仪器有齿轮双面啮合检查仪等。

9.1.1 测量原理

直接法测量原理参见图 13。以被测齿轮回转轴为基准, 通过径向拉力弹簧使被测齿轮与测量齿轮作无侧隙的双面啮合传动, 啮合中心距的连续变动通过测量滑架和测微装置反映出来, 其变动量即为

径向综合偏差。将这种变动按被测齿轮回转一周(360°)排列,记录成径向综合偏差曲线(见图 14),在该曲线上按偏差定义取出 F_i'' 和 f_i'' 。



- 1——被测齿轮；
2——径向拉力弹簧；
3——测量齿轮；
4——测量滑架；
5——测微装置。

图 13 齿轮双面啮合检查仪测量原理图

9.2 测量

9.2.1 测量仪器的检定

仪器应按检定规程或其他有关技术文件的规定进行检定,经计量部门检定合格方准使用。

9.2.2 温度要求

测量 6 级和 6 级以上精度齿轮,检测室温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$; 测量 6 级以下精度齿轮,检测室温度为 $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ 。测量仪器与被测齿轮温差应小于 1°C 。

9.2.3 测量元件与测量元件的使用

测量元件为测量齿轮。

a) 推荐的测量齿轮与被测齿轮精度等级对照表见表 13。

表 13 测量齿轮与被测齿轮精度等级对照表

测量齿轮精度等级	被测齿轮精度等级
2	4
3	5~6
4	7~8
5	9 级及 9 级以下

- b) 测量齿轮必须经法定计量部门进行检定。
c) 被测齿轮精度为 5 级或高于 5 级时,考虑到测量齿轮本身误差的影响,可进行多圈测量,将测量齿轮与被测齿轮的误差进行分离。
d) 对于斜齿轮,测量齿轮与被测产品齿轮的纵向重合度 ϵ_β 应 ≤ 0.5 。否则应重新设计测量齿轮。
e) 测量齿轮齿厚和齿高的确定,应保证被测齿轮的工作齿高全被测到,且测量时无齿顶、齿根干涉现象。
f) 测量齿轮的齿宽应大于被测齿轮的齿宽。

9.2.4 测量基准的要求

测量基准的要求见附录 B。

9.2.5 测量位置的确定

径向综合偏差应在齿高工作范围内对所有齿的全齿宽进行测量。

9.3 测量的不确定度

9.3.1 测量的不确定度要求

径向综合总偏差的测量不确定度和一齿径向综合偏差的测量不确定度不应大于被测齿轮对应信差项目允许值的 1/3。当不能确定测量不确定度是否能满足上述要求时,应进行测量不确定度的分析。

9.3.2 测量不确定度分析

a) 径向综合总偏差 F_i'' 和一齿径向综合偏差 f_i'' 测量不确定度主要误差来源及影响量见表 14。

表 14 F_i'' 和 f_i'' 测量不确定度主要误差来源及影响量

序号	误差来源	由误差来源引入的影响量 δ_i	分量标准不确定度 u_i
1	仪器示值误差	δ_1 可按检定规程、规范或相应技术文件要求的示值误差确定	u_1
2	仪器示值变动性	δ_2 按相应检定规程确定	u_2
3	指示表示值误差或允许误差	δ_3 按相应检定规程确定	u_3
4	测量齿轮安装偏心 e_3	$\delta_4 = 2e_3$ (计算 F_i'' 使用); $\delta_4 = 2e_3 \sin(180^\circ/z_3)$ (计算 f_i'' 使用)	u_4
5	被测齿轮安装偏心 e_1	$\delta_5 = 2e_1$ (计算 F_i'' 使用); $\delta_5 = 2e_1 \sin(180^\circ/z_1)$ (计算 f_i'' 使用)	u_5
6	被测齿轮齿面制造质量	δ_6 可取相应允许值的 1/5;或依据试验数据确定	u_6

b) 合成标准不确定度:

$$u_c(F_i'') = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} \dots\dots\dots(31)$$

$$u_c(f_i'') = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} \dots\dots\dots(32)$$

c) 取包含因子 $k=2$,则扩展不确定度为:

$$U_{F_i''} = 2 \times u_c(F_i'') \dots\dots\dots(33)$$

$$U_{f_i''} = 2 \times u_c(f_i'') \dots\dots\dots(34)$$

9.4 测量结果的处理

F_i'' 和 f_i'' 应从径向综合偏差曲线上取值。对 8 级和低于 8 级精度的齿轮允许直接用指示表读数。

9.4.1 偏差曲线取值

图 14 为径向综合偏差曲线,图中 x 坐标代表被测齿轮的回转角, y 坐标代表径向综合信差。

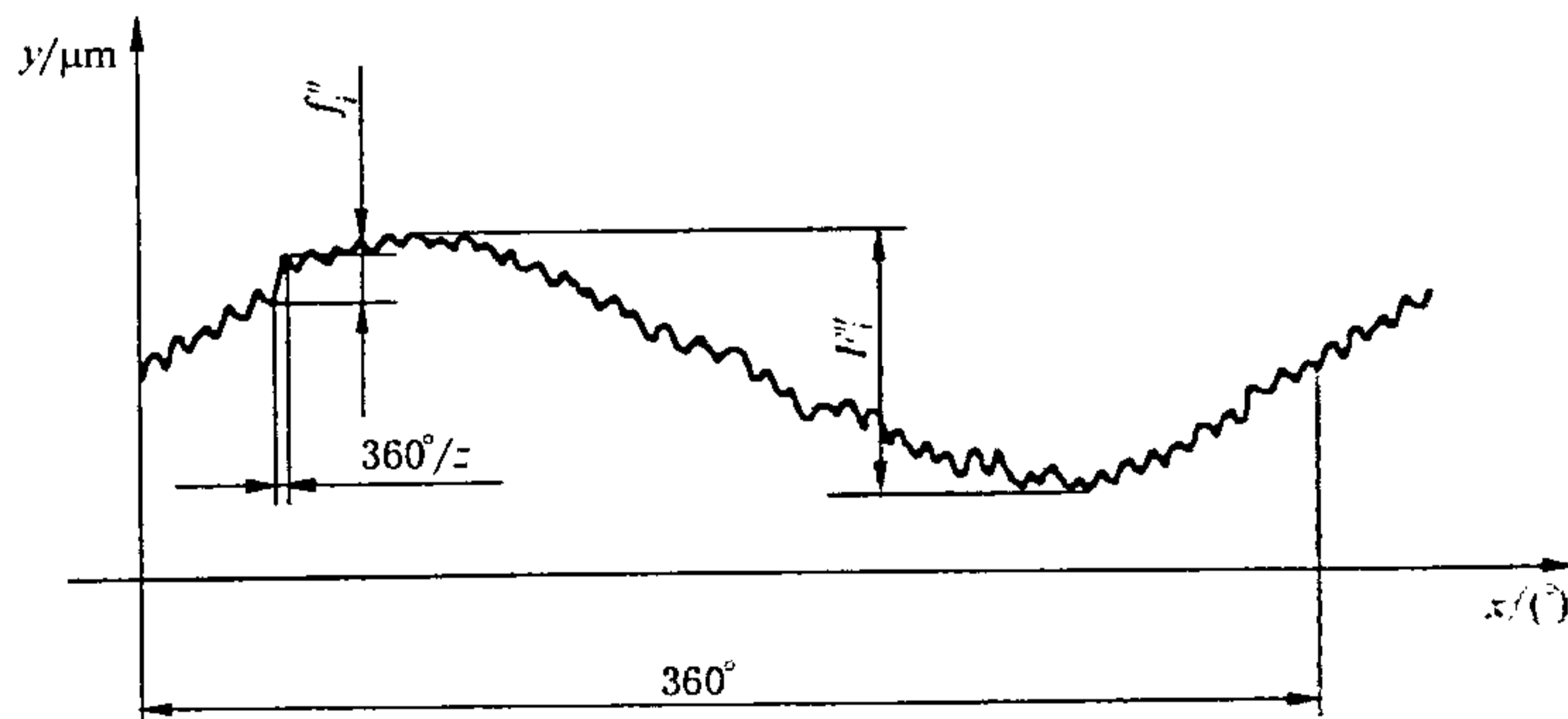


图 14 径向综合偏差曲线

径向综合偏差曲线在 x 坐标 360° 范围内, y 坐标的最大变化量为 F_i'' ;在 x 坐标 $360^\circ/z$ 范围内, y 坐标的最大变化量为 f_i'' 。

F_i'' 和 f_i'' 应在被测齿轮和测量齿轮的中心距方向(被测齿轮双侧齿面的径向)测量,以其他方向测量时,应对测得值进行换算,换算公式见附录 C。

9.4.2 指示表读数

F_i'' 和 f_i'' 双面啮合测量时,被测齿轮旋转一周内指示表示值最大变化量为 F_i'' ,被测齿轮转动一个齿距角内,指示表示值的最大变化量为 f_i'' 。

10 径向跳动检验

10.1 测量方法和测量仪器

径向跳动的测量方法为直接法。

测量仪器有径向跳动检查仪和万能测齿仪等。

10.1.1 测量原理

测量原理参见图 15。以被测齿轮回转轴线为基准,将测头依次与齿轮各齿槽齿高中部双面接触,测头相对于齿轮回转基准轴线的最大径向变动量为 F_r 。

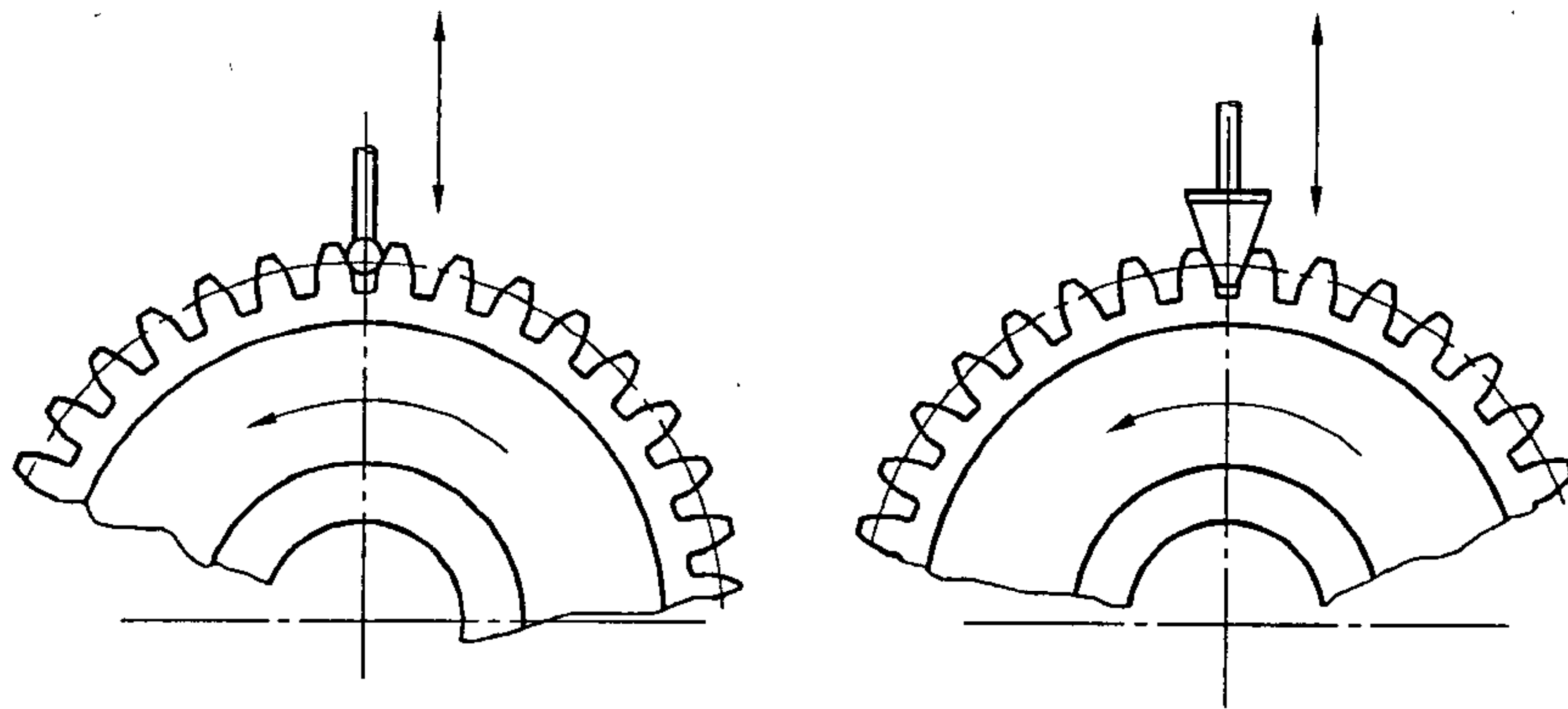


图 15 径向跳动测量原理图

10.2 测量

10.2.1 测量仪器的检定

仪器应按检定规程或其他有关技术文件的规定进行检定,经计量部门检定合格后方准使用。

10.2.2 测头的选择

可选用球形、圆锥形和钻形测头。测量时,测球直径应经计算和选择,使测头处于被测齿槽齿高中部并与左右齿面接触。

10.2.3 测量基准的要求

测量基准的要求见附录 B。

10.2.4 测量位置的确定

齿圈径向跳动应在齿宽中部,对齿轮每个齿槽进行测量。对于齿宽大于 160 mm 的齿轮,应至少测量上、中、下三个截面,上下截面各距端面约 15% 齿宽。

10.3 测量不确定度

10.3.1 测量不确定度要求

径向跳动的测量不确定度应不大于被测齿轮径向跳动允许值的 1/3。当不能确定测量不确定度是否满足上述要求时,应进行测量不确定度的分析。

10.3.2 测量不确定度分析

a) 径向跳动 F_r 测量不确定度主要误差来源及影响量见表 15。

表 15 径向跳动 F_r 测量不确定度主要误差来源及影响量

序号	误差来源	由误差来源引入的影响量 δ_i	分量标准不确定度 u_i
1	仪器示值误差	δ_1 可按检定规程、规范或相应技术文件要求的示值误差确定；或使用经检定的标准齿轮确定	u_1
2	仪器示值变动性	δ_2 按相应检定规程、规范确定	u_2
3	指示表或传感器示值误差	δ_3 按相应检定规程、规范确定；或根据实际使用情况进行具体分析得到	u_3
4	芯轴跳动 e	$\delta_4 = e \cos \alpha$	u_4
5	带孔齿轮端面与轴线垂直度 e_c	$\delta_5 = e_c \tan \alpha$	u_5
6	带孔齿轮安装偏心 e_p	$\delta_6 = 2e_p$	u_6
7	齿轮齿面制造质量	δ_7 可取相应允许值的 1/10；或依据试验数据确定	u_7

b) 合成标准不确定度：

$$u_c(F_r) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2} \dots\dots\dots (35)$$

c) 取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U_{F_r} = 2 \times u_c(F_r) \dots\dots\dots (35)$$

10.4 测量结果处理

- a) 测头与被测齿轮作双面接触逐齿测量，测头相对于被测轮回转中心径向距离的最大变动量为 F_r ；
- b) 对于由测量设备计算机系统自动处理数据时，应输出径向跳动曲线和测量结果；
- c) 测量结果可直接在指示表上读出；
- d) 以在 10.2.4 所规定的各测量位置中测得的最大径向跳动作为测量结果；
- e) 应在被测齿轮双侧齿面的径向方向测量，以其他方向测量时，应对测得值进行换算，换算公式见附录 C。

附 录 A
(规范性附录)
整体偏差检验

A.1 整体偏差检验

整体偏差检验包括切向综合总偏差 F'_i 、一齿切向综合偏差 f'_i 、齿距累积总偏差 F_p 、齿距累积偏差 F_{pk} 、单个齿距偏差 f_{pt} 、径向跳动 F_r 、基节偏差 f_{pb} 、齿廓总偏差 F_α 、螺旋线总偏差 F_β 、接触线偏差 F_b 和轴向齿距偏差 F_{px} 等项目的检验。

F_p 、 F_{pk} 、 f_{pt} 、 f_{pb} 、 F_α 及直齿轮的 F'_i 和 f'_i 在截面整体偏差曲线上取值； F_β 、 F_{px} 、 F_b 及斜齿轮的 F'_i 和 f'_i 在全齿宽整体偏差曲线上取值； F_r 在双向截面整体偏差曲线上取值。

A.2 测量方法和测量仪器

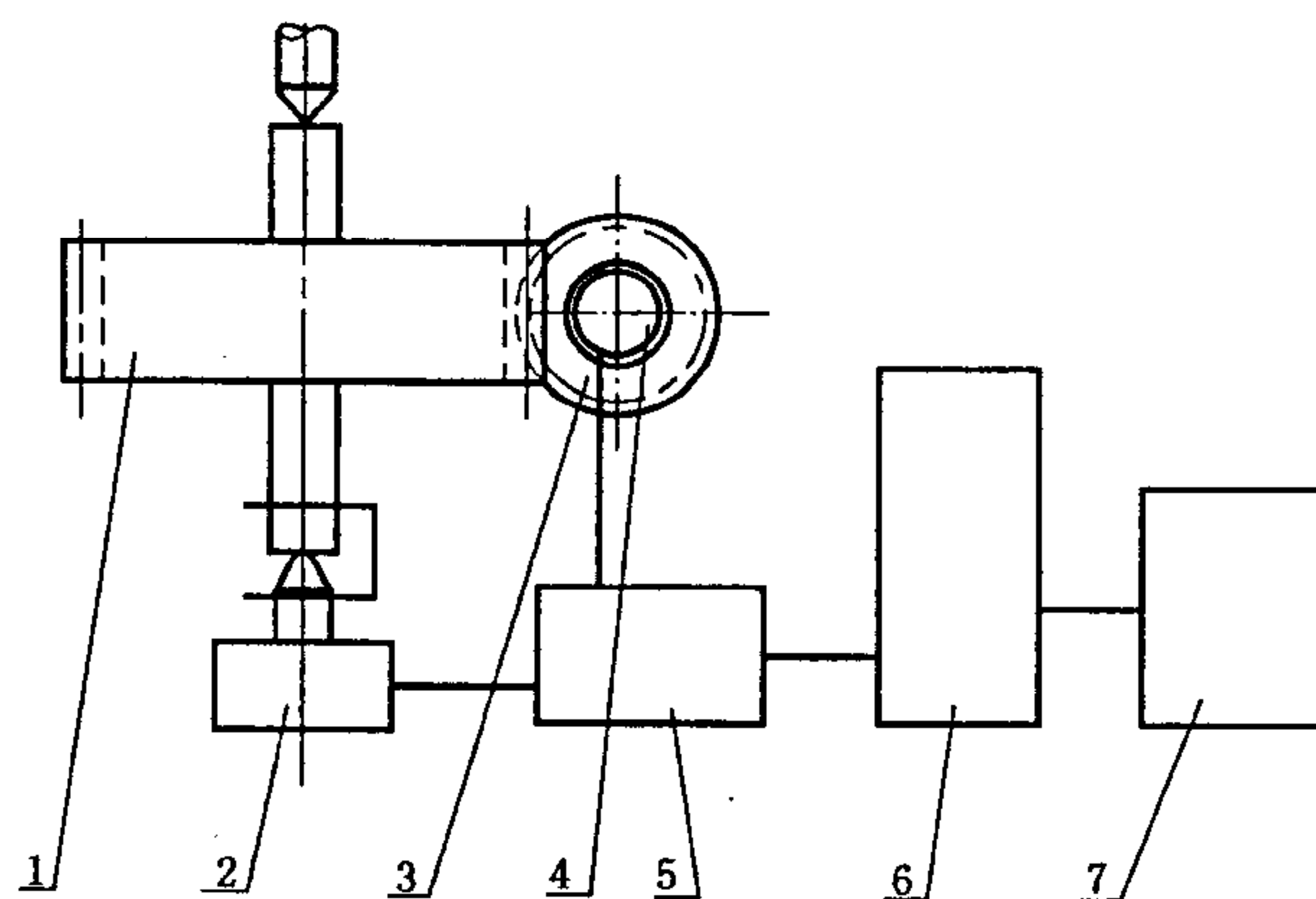
整体偏差的测量方法有啮合法和坐标法。

啮合法的测量仪器有齿轮单面啮合整体偏差测量仪等。

坐标法的测量仪器有万能齿轮测量机等。

A.2.1 啮合法测量原理

啮合法测量原理参见图 A.1。以被测齿轮回转轴线为基准，使被测齿轮与间齿测量齿轮或间齿测量蜗杆作单面啮合传动，将此传动与标准传动发生装置（包括工件轴光栅和蜗杆轴光栅）所发生的标准传动相比较，通过数据处理系统处理采集到的数据，得到被测齿轮的实际回转角与理论回转角的差值，输出设备输出各种整体偏差曲线。对被测齿轮某一截面测得的上述曲线称作截面整体偏差曲线，它是由各齿齿廓偏差曲线按啮合时的相对角坐标位置排列组成。左右齿面的截面整体偏差曲线按啮合时的相对角坐标位置排列组成双向截面整体偏差曲线。全齿宽不同截面的整体偏差曲线按啮合相对角坐标位置排列组成全齿宽整体偏差曲线。在上述三种整体偏差曲线上按偏差定义取出各种偏差。

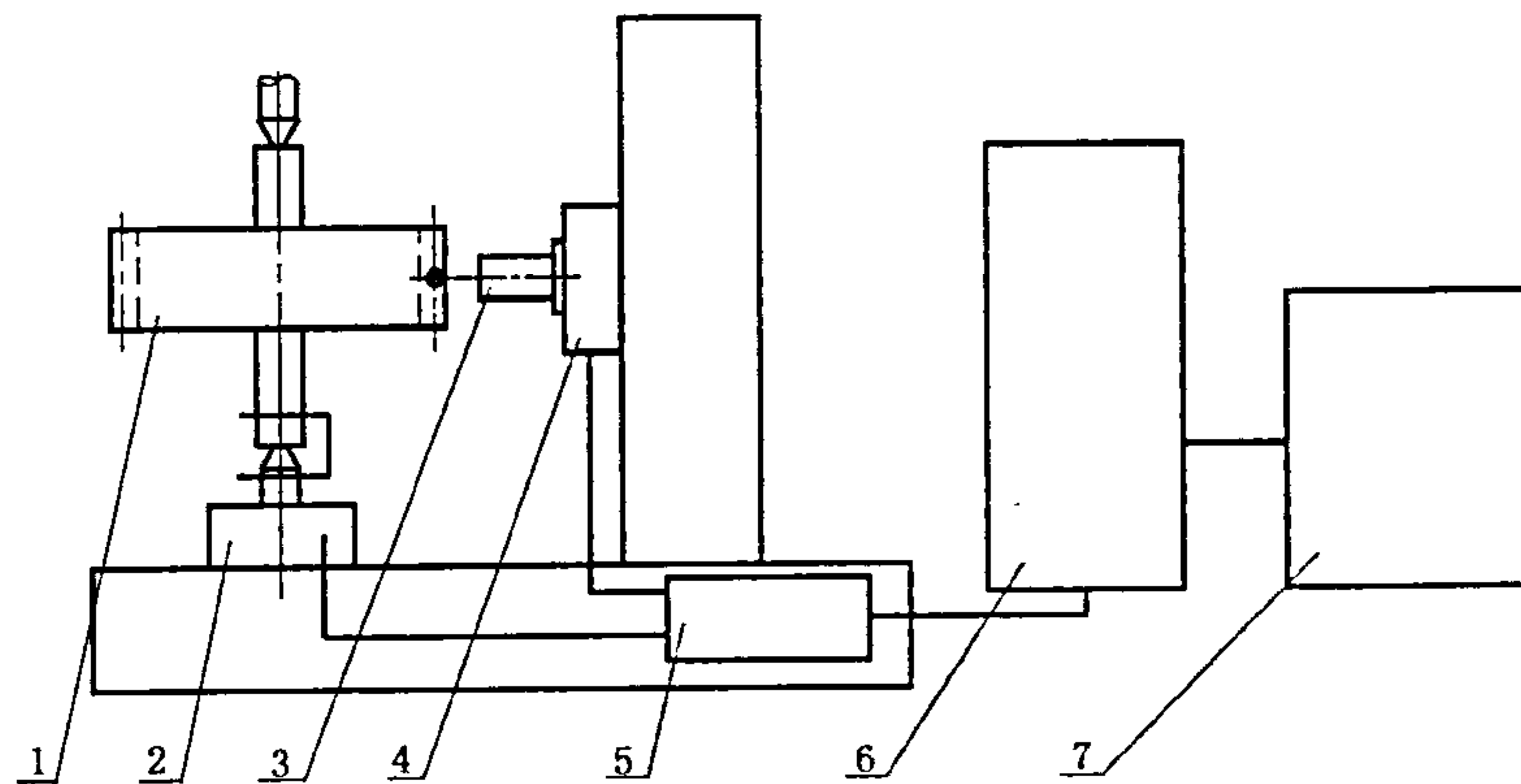


- 1——被测齿轮；
- 2——工件轴光栅；
- 3——测量蜗杆；
- 4——蜗杆轴光栅；
- 5——数据采集系统；
- 6——计算机系统；
- 7——输出设备。

图 A.1 啮合法测量原理图

A.2.2 坐标法测量原理

坐标法测量原理见图 A.2。以被测齿轮回转轴线为基准,测头与被测齿轮的齿面接能,由测长传感器测出直线位移量,测角传感器测出角位移量,经偏差处理系统与理论位移量进行比较,得到齿廓偏差及齿距偏差,输出设备输出各种整体偏差曲线(包括截面整体偏差曲线、双向截面整体偏差曲线、全齿宽整体偏差曲线),在曲线上按偏差定义取出各种偏差值。



- 1——被测齿轮;
- 2——测角传感器;
- 3——测头;
- 4——测长传感器;
- 5——数据采集系统;
- 6——计算机系统;
- 7——输出设备。

图 A.2 坐标法测量原理图

A.3 测量

A.3.1 测量温度

测量温度要求见表 A.1。

表 A.1 整体偏差测量温度要求

单位为摄氏度

被测齿轮精度等级	测量室温度		被测齿轮与测量仪器(或测量元件)温差	
	啮合法	坐标法	啮合法	坐标法
4~5	20±4	20±2	≤2	≤2
6~7	20±6	20±3	≤4	≤3
≥8	20±10	20±5	≤6	≤4

A.3.2 测量仪器的检定

仪器应按检定规程或其他有关技术文件的规定进行检定,经计量部门检定合格后方准使用。

A.3.3 测量元件的选择

啮合法测量元件可以是间齿测量蜗杆或间齿测量齿轮。测量元件的法向模数 m_n 和法向压力角 α_n 应与被测齿轮一致;测量元件的工作齿高应大于或等于被测齿轮的工作齿高;测量齿轮的精度应比被测齿轮高出四个精度等级,其他参数应符合 JB/T 3887—1999 的规定;测量蜗杆的精度和参数应符合 JB/T 10008—1999 的规定。

坐标法的测头可为球形、倒锥形、锥形或圆柱形。在保证不与另一侧齿面和齿底面发生干涉和碰撞的情况下,宜选择直径较大的测头。测头的工作点应位于被测齿轮的基圆切平面上,其偏离量应不大于 ±0.02 mm。

A.3.4 测量仪器的校准

测量5级和高于5级精度的齿轮时,测量前必须用经法定计量部门检定的标准元件(标准齿轮或样板)对仪器(包括测量元件)进行校准,仪器应校准的偏差项目见表A.2。标准元件的测量不确定度不应大于被测齿轮规定值³⁾的1/6。

表 A.2 仪器应校准的偏差项目

测量项目	应校准的项目
F_{α}	F_{α}
F_{β}	F_{β}
F_p	F_p
F_{pk}	F_{pk}
f_{pt}	f_{pt}
F'_i	F_p, F_{α}, f_{pt}
f'_i	F_{α}, f_{pt}
F_{px}	F_{β}, f_{pt}
f_{pb}	F_{α}, f_{pt}

A.3.5 测量基准的确定

测量基准见附录B。

A.3.6 测量位置及规定

测量 F_p 、 F_{pk} 、 f_{pt} 和直齿轮的 F'_i 和 f'_i 应绘制截面整体偏差曲线。其测量截面应大致位于齿宽中部。当齿宽大于160 mm时,应至少测量上、中、下三个截面,上、下截面各距端面约15%齿宽。

测量直齿轮的 F_{β} 和 F_b 应绘制至少由3条截面整体偏差曲线组成的全齿宽整体偏差曲线。

测量斜齿轮的 F_{β} 、 F_b 、 F'_i 和 f'_i 应绘制至少由5条截面整体偏差曲线组成的全齿宽整体偏差曲线。测量时,截面间距应等于被测齿轮的公称轴向齿距,并应沿全齿宽均匀分布。

测量 F_r 应绘制双向截面整体偏差曲线。测量截面应大致位于齿宽中部,但当齿宽大于160 mm时,应至少测量上、中、下三个截面。上、下截面各距端面约15%齿宽。

在测量 F_{α} 、 f_{pb} 、 F_b 、 F'_i 和 f'_i 时,被测齿高应大于或等于图纸规定的工作齿高,当图纸未作规定时,按被测齿轮与基齿条啮合计算工作齿高。

除 F_r 外,其他各项偏差均应分别对左、右侧齿面进行测量。单侧齿面工作的齿轮只测工作侧齿面。

A.3.7 测量不确定度

A.3.7.1 测量不确定度要求

齿距累积总偏差测量不确定度、齿距累积偏差的测量不确定度、单个齿距偏差的测量不确定度、齿廓总偏差的测量不确定度、螺旋线总偏差的测量不确定度、切向综合总偏差的测量不确定度、一齿切向综合偏差的测量不确定度、径向跳动的测量不确定度、基节偏差的测量不确定度、接触线偏差的测量不确定度和轴向齿距偏差的测量不确定度均不应大于被测齿轮对应偏差项目规定值的1/3。测量5级和高于5级精度的齿轮时,允许不大于1/2,但此时应以5次以上重复测量结果的平均值作为测量结果。

当不能确定测量不确定度是否能满足上述要求时,应按下述方法进行测量不确定度分析。

A.3.7.2 测量不确定度分析

对于上述各偏差项目的测量不确定度分别进行分析。

3) 规定值在本标准附录A、附录E中指图纸的要求、约定值、允许值、设计值或测量应遵循的偏差值。

A.3.7.2.1 齿距累积偏差

a) 齿距累积总偏差 F_p 和单个齿距偏差 f_{pt} 测量不确定度主要误差来源及影响量见表 A.3。

表 A.3 齿距累积总偏差 F_p 和单个齿距偏差 f_{pt} 测量不确定度主要误差来源及影响量

序号	误差来源	由误差来源引入的影响量 δ_i	分量标准不确定度 u_i
1	测量元件	δ_1 测量蜗杆或测量齿轮的检定不确定度或测量元件 F_p, f_{pt} 的实际测量值	u_1
2	仪器测量齿距累积总偏差和单个齿距偏差时的示值误差	δ_2 可按检定规程、规范或相应技术文件允许误差确定	u_2
3	被测齿轮安装偏心 e	测量齿距累积偏差: $\delta_3 = 2e' \cos \alpha_t$ 测量单个齿距偏差: $\delta_3 = 2e [\sin(180^\circ/z)]' \cos \alpha_t$	u_3

b) 合成标准不确定度:

$$u_c(F_p, f_{pt}) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} \dots\dots\dots (A.1)$$

c) 取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U_{F_p, f_{pt}} = 2 \times u_c(F_p, f_{pt}) \dots\dots\dots (A.2)$$

A.3.7.2.2 齿廓总偏差 F_a 测量不确定度分析

a) 齿廓总偏差 F_a 测量不确定度主要误差来源及影响量见表 A.4。

表 A.4 齿廓总偏差 F_a 测量不确定度主要误差来源及影响量

序号	误差来源	由误差来源引入的影响量 δ_i	分量标准不确定度 u_i
1	仪器测量齿廓总偏差时的示值误差	δ_1 可按检定规程、规范或相应技术文件允许误差确定	u_1
2	测量元件制造误差	测量元件为测量蜗杆: $\delta_2 = \Delta T_0$ 测量元件为测量齿轮: $\delta_2 = \Delta F_{a3}$ 测量元件为锥形或球形测量头: $\delta_2 = 0$	u_2
3	温度误差	$\delta_3 = L_{AE} [a(t-20) - a_0(t_0-20)] \times 1000$	u_3
4	被测齿轮安装偏心 e	$\delta_4 = 2e \sin(\xi_{AE}/2)$	u_4
5	测量元件的定位误差	测量元件为测量齿轮: $\delta_5 = 2e_0 \sin(\epsilon_\gamma 180^\circ/z_3)$ 测量元件为测量蜗杆: $\delta_5 = \sqrt{\delta_{51}^2 + \delta_{52}^2}$	u_5

注1: ΔT_0 ——测量蜗杆啮合线偏差,单位为微米(μm); ΔF_{a3} ——测量齿轮齿廓偏差,单位为微米(μm); L_{AE} ——从齿根到齿顶的渐开线展开长度,单位为毫米(mm); a ——校准仪器用标准件线胀系数; a_0 ——仪器测量元件(蜗杆)线胀系数; t ——校准仪器用标准件温度,单位为摄氏度($^\circ\text{C}$); t_0 ——仪器测量元件(蜗杆)温度,单位为摄氏度($^\circ\text{C}$); ξ_{AE} ——从齿根到齿顶的渐开线展开角度,单位为度($^\circ$); $\delta_{51} = 2e_0 \sin \alpha_t$ [e_0 为蜗杆安装偏心,单位为微米(μm)]; z_3 ——测量齿轮齿数; $\delta_{52} = \Delta u_0 \cos \alpha_t$ [Δu_0 为蜗杆轴向窜动量,单位为微米(μm)]; ϵ_γ ——总重合度。

注2: 若 δ_1 是在测量前用标准齿轮校准测量蜗杆时测得的,即 δ_1 中已包括 δ_2 和 δ_3 , 则 $\delta_2 = 0, \delta_3 = 0$;

注3: 若 δ_2 式中 ΔT_0 是在测量前用标准齿轮校准测量蜗杆时测得的,即 δ_2 中已包括 δ_3 , 则 $\delta_3 = 0$ 。

b) 合成标准不确定度:

$$u_c(F_\alpha) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} \dots\dots\dots (A.3)$$

c) 取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U_{F_\alpha} = 2 \times u_c(F_\alpha) \dots\dots\dots (A.4)$$

A.3.7.2.3 螺旋线总偏差

a) 螺旋线总偏差 F_β 测量不确定度主要误差来源及影响量见表 A.5。

表 A.5 螺旋线总偏差 F_β 测量不确定度主要误差来源及影响量

序号	误差来源	由误差来源引入的影响量 δ_i	分量标准不确定度 u_i
1	仪器测量螺旋线总偏差时的示值误差	δ_1 可按检定规程、规范或相应技术文件允许误差确定	u_1
2	被测齿轮安装偏心 e	$\delta_2 = 2e \sin(\theta/2) \cos \alpha_t$	u_2
3	温度误差	$\delta_3 = B[a(t-20) - a_0(t_0-20)] \tan \beta \times 1000$	u_3
4	被测齿轮安装倾斜 ΔS_t	$\delta_4 = \Delta S_t / \cos \alpha_t$	u_4

注: θ ——螺旋线在分度圆柱面上所占的圆周角, 单位为度($^\circ$); B ——螺旋线测量齿宽, 单位为毫米(mm)。
 a_0 ——被测件线胀系数; t ——测量时标准件温度, 单位为摄氏度($^\circ\text{C}$); t_0 ——测量时被测件温度, 单位为摄氏度($^\circ\text{C}$)。

b) 合成标准不确定度:

$$u_c(F_\beta) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} \dots\dots\dots (A.5)$$

c) 取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U_{F_\beta} = 2 \times u_c(F_\beta) \dots\dots\dots (A.6)$$

A.3.7.2.4 其他各项偏差的测量不确定度

其他各项偏差的测量不确定度均是由上述四项基本偏差中某几项的测量不确定度组合而成, 其组成关系见表 A.6。表中左边所列偏差项目的测量不确定度不需再作计算, 而是要求列于表中右边参与组合的偏差项目的测量不确定度应不大于该项偏差在与左边的偏差项目的精度等级相同时规定值的 1/3。测量 5 级和高于 5 级精度的齿轮时允许不大于 1/2, 但此时应以 5 次以上重复测量结果的平均值作为测量结果。

表 A.6 测量不确定度的组合关系

名称与代号	测量不确定度符号	参与组合的偏差项目的测量不确定度
切向综合总偏差 F'_i	$U_{F'_i}$	$U_{F_p}, U_{F_\alpha}, U_{f_{pt}}$
一齿切向综合偏差 f'_i	$U_{f'_i}$	$U_{F_\alpha}, U_{f_{pt}}$
接触线偏差 F_b	U_{F_b}	$U_{F_\alpha}, U_{F_\beta}$
轴向齿距偏差 F_{px}	$U_{F_{px}}$	$U_{F_\beta}, U_{f_{pt}}$
基节偏差 f_{pb}	$U_{f_{pb}}$	$U_{F_\alpha}, U_{f_{pt}}$

A.3.8 测量结果处理

以在 A.3.6 规定的各测量位置中测得的最大偏差作为测量结果。

A.3.8.1 截面整体偏差曲线

图 A.3 为截面整体综合偏差曲线图。截面整体偏差曲线的 x 坐标代表被测齿轮的回转角, y 坐标代表被测齿轮的偏差。

A.3.8.1.1 截面切向综合总偏差 F'_{ij} 和截面一齿切向综合偏差 f'_{ij} 的取值

截面切向综合总偏差 F'_{ij} 和截面一齿切向综合偏差 f'_{ij} 应在截面整体综合偏差曲线上取值。截面整体综合偏差曲线的外轮廓线就是截面切向综合总偏差曲线。

截面切向综合总偏差曲线沿 x 坐标 360° 范围内 y 坐标的最大变化量为 F'_t , 沿 x 坐标 $360^\circ/z$ 范围内 y 坐标的最大变化量为 f'_{jt} 。

F'_t 和 f'_{jt} 应在被测齿轮分度圆的切线方向计值, 沿其他方向测量时应对测量值进行换算, 换算公式见附录 C。

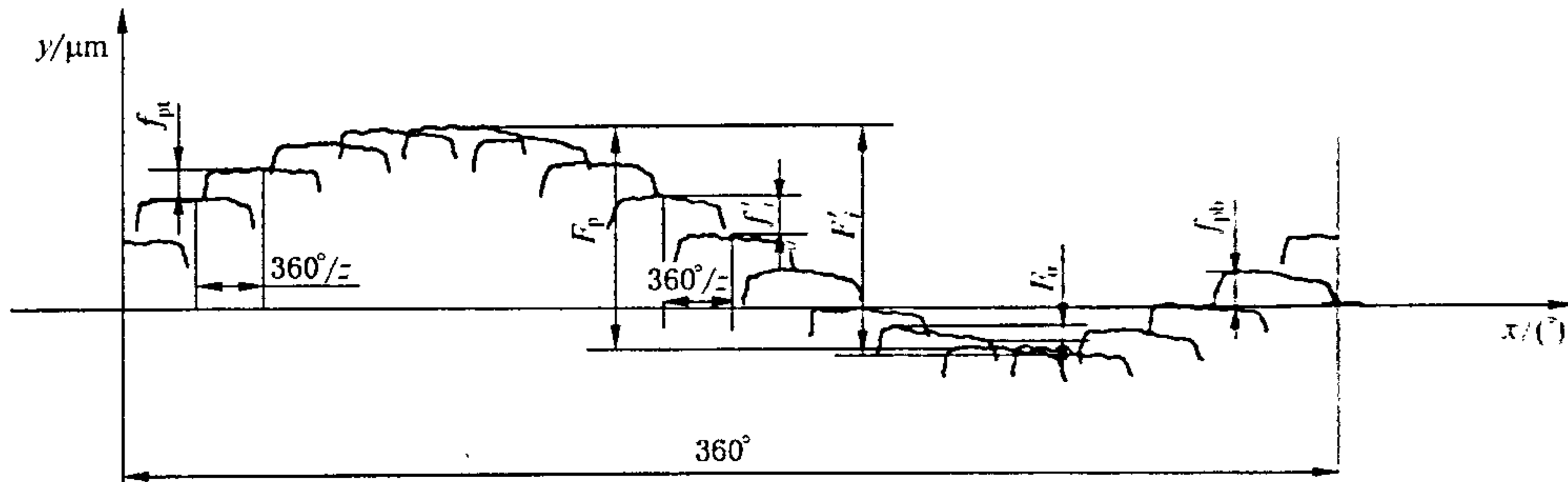


图 A.3 截面整体综合偏差曲线图

A.3.8.1.2 齿距累积总偏差 F_p 、齿距累积偏差 F_{pk} 和单个齿距偏差 f_{pt} 的取值

各齿齿廓偏差曲线上(见图 A.3), 大致位于偏差曲线中部, x 坐标间隔 $360^\circ/z$ 的偏差点为齿距偏差取值点。

所有齿距偏差取值点 y 坐标的最大变化量为 F_p 。

相隔 k 个齿距 ($k=360^\circ/z$) 两个偏差取值点 y 坐标的最大变化量为 F_{pk} 。

相邻两个偏差取值点 y 坐标的最大变化量为 f_{pt} 。

F_p 、 F_{pk} 、 f_{pt} 应在被测齿轮分度圆的切线方向计值, 沿其他方向测量时应对测量值进行换算, 换算公式见附录 C。

f_{pt} 的“+”“-”按下述方法确定, 后测齿面上的偏差取值点较先测齿面上的偏差取值点正, 则为 $(+f_{pt})$, 反之则为 $(-f_{pt})$ 。以绝对值最大的偏差作为单个齿距偏差的测量结果。

A.3.8.1.3 齿廓总偏差 F_α 的取值

x 坐标在齿廓工作范围 ξ_α (或 L_{AE}) 内, y 坐标的最大变化量为 F_α (图 A.3)。

应在被测齿轮的基圆切线方向计值, 沿其他方向测量时应对测量值进行换算, 换算公式见附录 C。

A.3.8.1.4 基节偏差 f_{pb} 的取值

在相邻两条齿廓偏差曲线上(图 A.3), 位于同一 x 坐标的二个齿廓工作范围内的偏差点的 y 坐标的最大差值为 f_{pb} (齿廓修形部分不计值)。

在上述的二个偏差点中, y 坐标偏正的点位于齿廓偏差曲线的齿顶部时为 $(-f_{pb})$, 反之则为 $(+f_{pb})$ 。以绝对值最大的偏差作为基节偏差的测量结果。

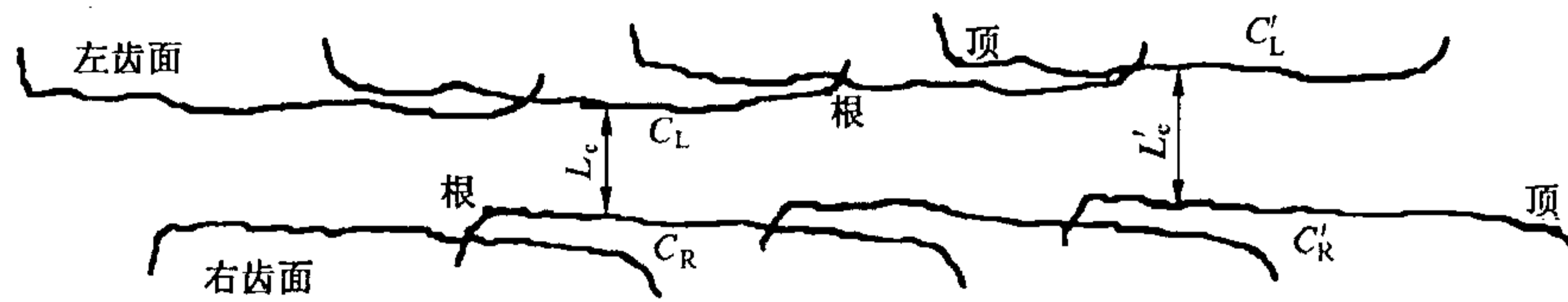
f_{pb} 应在被测齿轮的齿面法线方向计值, 沿其他方向测量时应对测量值进行换算, 换算公式见附录 C。

A.3.8.2 双向截面整体偏差曲线

A.3.8.2.1 径向跳动 F_r 的取值

径向跳动 F_r 在左右齿面的双向截面整体综合偏差曲线上(见图 A.4)取值。图 A.4 中, 代表轮齿(或齿槽)固定弦位置的一对偏差取值点 C_L 、 C_R (或 C'_L 、 C'_R) 应位于同一 x 坐标上, 且到各自齿廓偏差曲线的齿顶(或齿根)点的展开角相等。 C_L 、 C_R (或 C'_L 、 C'_R) 间的 y 坐标距离 L_c (或 L'_c), 其最大变化量为 F_r 。

应在被测齿轮双侧齿面的径向计值, 沿其他方向测量时应对测量值进行换算, 见附录 C。

图 A.4 双向截面整体综合偏差曲线(F_r 取值)

A.3.8.3 全齿宽整体偏差曲线

A.3.8.3.1 切向综合总偏差 F'_i 和一齿切向综合偏差 f'_i 的取值

全齿宽整体偏差曲线的外轮廓线沿 x 坐标 360° 范围内的 y 坐标的最大变化量为 F'_i , 沿 x 坐标 $360^\circ/Z$ 范围内 y 坐标的最大变化量为 f'_i (见图 A.3), 取几条曲线的最大值。

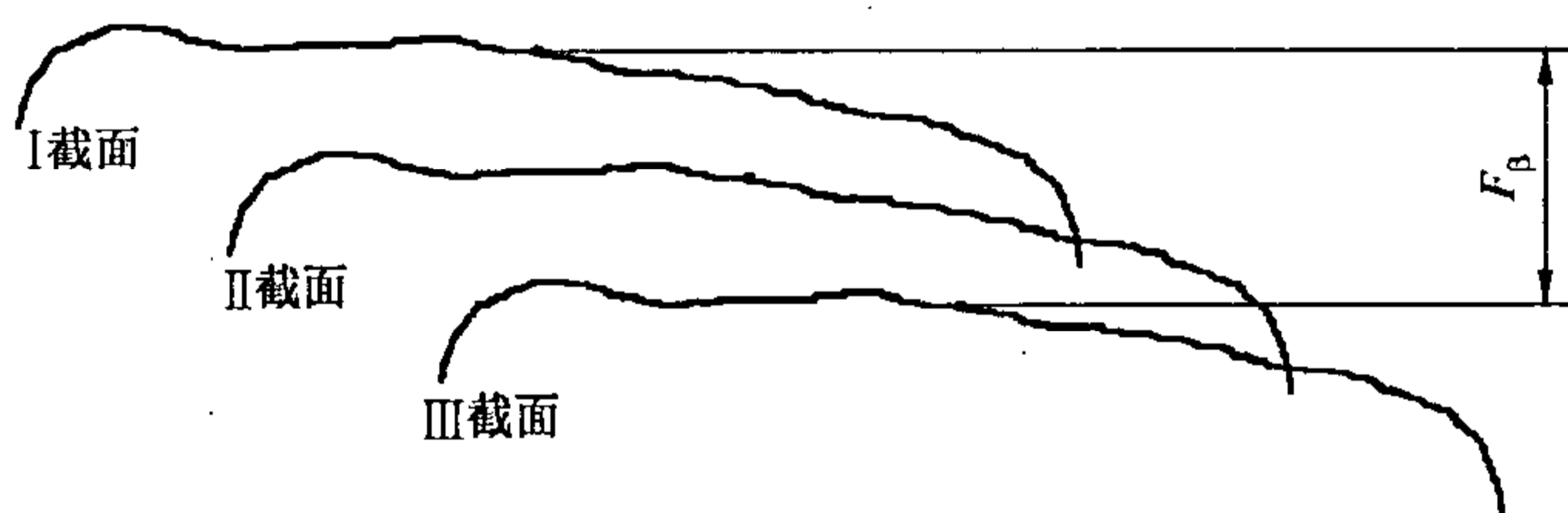
F'_i 和 f'_i 应在被测齿轮分度圆切线方向计值, 沿其他方向测量时应对测量值进行换算, 换算公式见附录 C。

A.3.8.3.2 螺旋线总偏差 F_β 的取值

同一齿面的各截面齿廓偏差曲线上(图 A.5), 大约位于齿廓偏差曲线的中部且距各自的齿顶点(或齿根点)的展开角相等的点为螺旋线总偏差取值点。

同一齿面的各螺旋线总偏差取值点的 y 坐标最大差值为该齿面的螺旋线总偏差 F_β 。以所有齿面的最大螺旋线总偏差作为测量结果。

应在被测齿轮分度圆切线方向计值, 沿其他方向测量时应对测量值进行换算, 换算公式见附录 C。

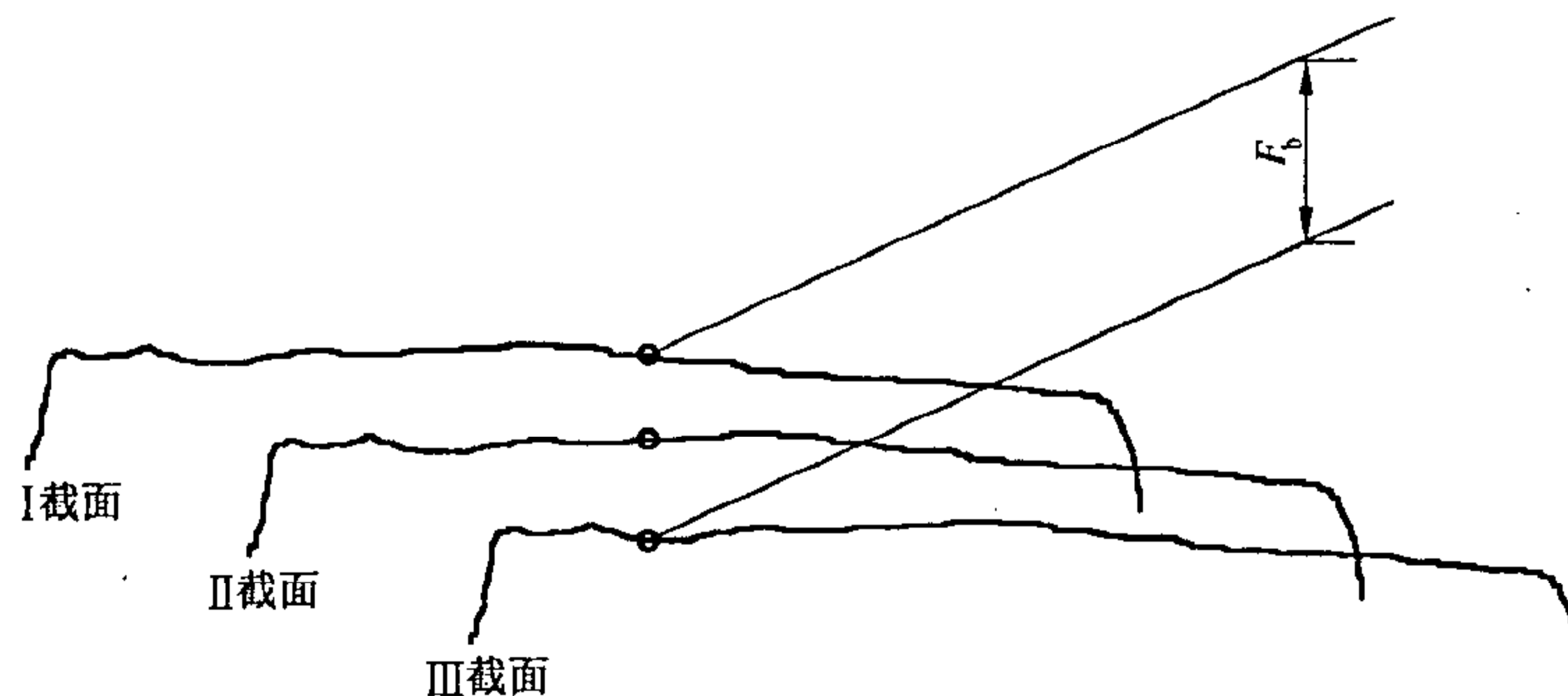
图 A.5 F_β 取值示意图

A.3.8.3.3 接触线偏差 F_b 的取值

同一齿面的各截面齿廓总偏差曲线上(图 A.6), x 坐标相同的各偏差点为接触线偏差的取值点。

各取值点的 y 坐标最大差值为该接触线的接触线偏差 F_b 。以各齿面及各 x 坐标上测得的最大接触线偏差作为测量结果(齿廓或螺旋线修形部分不计值)。

应在被测齿轮的齿面法线方向计值, 沿其他方向测量时应对测量值进行换算, 换算公式见附录 C。

图 A.6 F_b 取值示意图

A.3.8.3.4 轴向齿距偏差 F_{px} 的取值

轴向齿距偏差 F_{px} 应在截面间距等于轴向齿距的全齿宽整体偏差曲线上取值(图 A.7)。

在此偏差曲线图上,当截面变化一个轴向齿距时,相邻二齿的齿廓偏差曲线的 x 坐标完全重合。 x 坐标完全重合的各齿面的齿廓偏差曲线的中点为轴向齿距偏差取值点。

各取值点 y 坐标的最大差值为轴向齿距偏差 F_{px} 。

应在被测齿轮的齿面法线方向计值,沿其他方向测量时应对测量值进行换算,换算公式见附录 C。

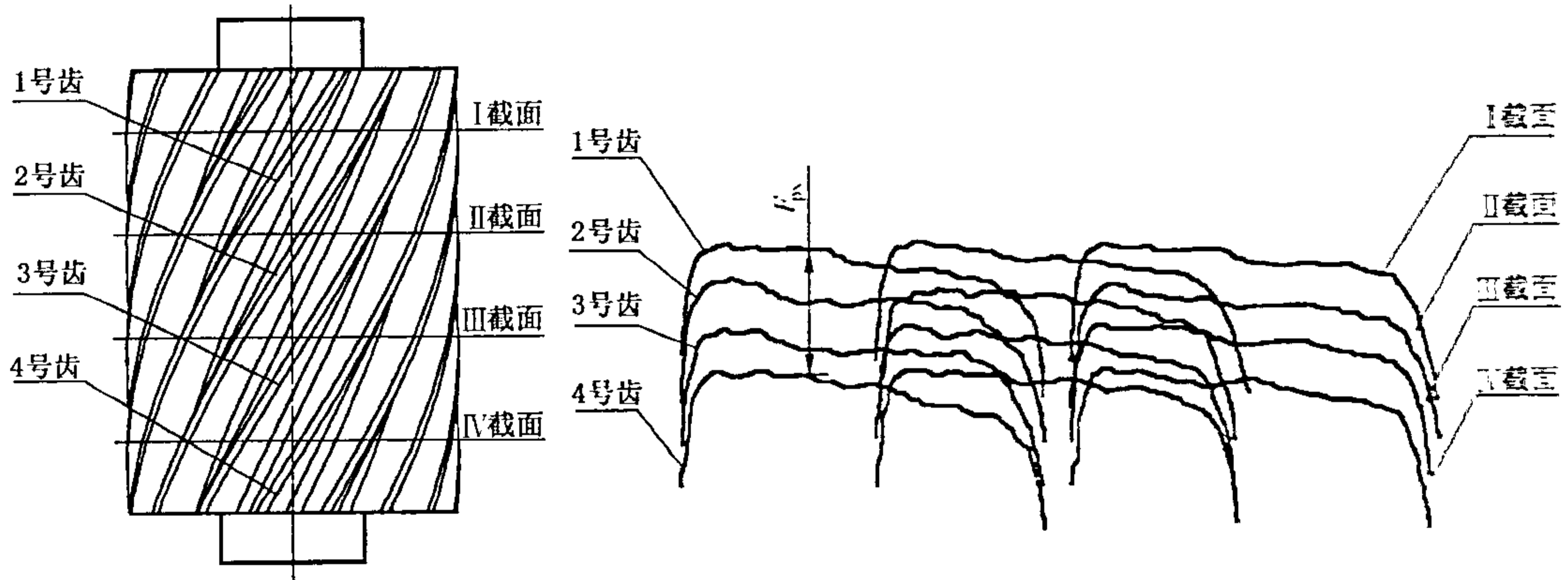


图 A.7 F_{px} 取值示意图

附 录 B
(规范性附录)
测量基准的要求

应选择被测齿轮的设计基准作为测量定位基准。 F_p 、 f_{pt} 、 F_α 、 F_β 、 F_r 等测量项目,对于5级及5级以上精度的齿轮,由定位偏差造成的被测齿轮的径向圆跳动,应不大于相应偏差允许值的1/5;对于6级及6级以下精度的齿轮,由定位偏差造成的被测齿轮的径向圆跳动,应不大于相应偏差允许值的1/8。当选用端面定位时,除上述定位精度的要求外,定位端面的端面跳动不得大于相应偏差允许值的1/5。其余测量项目,由定位偏差造成的被测齿轮的径向圆跳动,应不大于相应偏差允许值的1/8。

附录 C
(规范性附录)

不同测量方向偏差值的换算

C.1 在测量齿轮各项偏差时,测量方向有所不同。有齿面法线方向、基圆切线方向、分度圆切线方向、轴线方向、双侧齿面分度圆螺旋线(在展开平面上)法线方向、回转角方向和双侧齿面径向。

C.2 齿轮各项偏差应按下述规定的方向计值。

f_{pb} 、 F_b 、 F_{px} 、 $f_{f\beta}$ 、 E_{bn} 、 E_{wm} 和 j_{bn} 在齿面法线方向计值;

F'_i 、 f'_i 、 F_p 、 F_{pk} 、 f_{pt} 、 j_{wt} 在分度圆切线方向计值;

F_α 、 F_β 在端面基圆切线方向计值;

F_r 、 F'_i 、 f'_i 和 E_H 在双侧齿面径向计值;

E_{sn} 在双侧齿面分度圆螺旋线的法线方向计值。

C.3 对不在规定的计值方向测得的偏差值应按下列各式进行换算:

$$\Delta_t = \frac{1}{206.264} \times r \times \Delta_\phi \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

$$\Delta_b = \Delta_t \cos \alpha_t \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

$$\Delta_n = \Delta_b \cos \beta_b \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

$$\Delta_n = \Delta_t \cos \alpha_t \cos \beta_b \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

$$\Delta_n = \Delta_x \sin \beta \cos \alpha_n \quad \dots\dots\dots (C.5)$$

$$\Delta_z = \Delta_t \cos \beta \quad \dots\dots\dots (C.6)$$

$$\Delta_s = (\Delta_{tL} + \Delta_{tR}) \cos \beta_b \quad \dots\dots\dots (C.7)$$

$$\Delta_\alpha = \frac{\Delta_{bL} + \Delta_{bR}}{2 \sin \alpha''_t} = \frac{\Delta_{nL} + \Delta_{nR}}{2 \sin \alpha''_n} \quad \dots\dots\dots (C.8)$$

式中:

Δ_ϕ ——齿轮回转角偏差,单位为秒(");

Δ_t ——齿轮分度圆切线方向的偏差,单位为微米(μm);

Δ_b ——齿轮基圆切线方向的偏差,单位为微米(μm);

Δ_n ——齿面法线方向的偏差,单位为微米(μm);

Δ_x ——齿轮轴线方向的偏差,单位为微米(μm);

Δ_z ——齿轮分度圆螺旋线法线方向的偏差,单位为微米(μm);

Δ_s ——齿轮双侧齿面分度圆螺旋线法线方向的偏差,单位为微米(μm);

Δ_α ——齿轮双侧齿面的径向偏差,单位为微米(μm);

Δ_{bL} ——左齿面基圆切线方向的偏差,单位为微米(μm);

Δ_{bR} ——右齿面基圆切线方向的偏差,单位为微米(μm);

Δ_{nL} ——左齿面法线切线方向的偏差,单位为微米(μm);

Δ_{nR} ——右齿面法线切线方向的偏差,单位为微米(μm);

Δ_{tL} ——左齿面分圆切线方向的偏差,单位为微米(μm);

Δ_{tR} ——右齿面分圆切线方向的偏差,单位为微米(μm);

α''_t ——径向双面啮合时的端面啮合角,单位为度($^\circ$);

α''_n ——法向双面啮合时的端面啮合角,单位为度($^\circ$)。

附录 D
(规范性附录)
仪器示值误差的修正方法

D.1 对仪器示值误差其系统分量的修正

采用标准件检定/校准得到仪器示值误差时,可对其系统分量进行修正,即用标准件在仪器上的示值,减去标准件的校准值,得到修正值 Δ_x ,修正值 Δ_x 可加入到测量结果中,则最终测量结果为:

$$\Delta = \Delta_c + \Delta_x \quad \dots\dots\dots(D.1)$$

式中:

- Δ ——被测件最终测量结果;
- Δ_c ——被测件在仪器上的示值;
- Δ_x ——修正值。

D.2 渐开线检查仪示值误差的修正方法

D.2.1 基圆可调式测量仪器

- a) 标准渐开线样板(以下简称标准样板)的尺寸接近被测工件尺寸
标准样板的尺寸接近被测工件尺寸时,直接修正。即将修正值直接加入到被测齿轮的设计值中进行测量。方法是:将标准样板曲线画直,按下式计算出基圆半径修正值 Δr_b :

$$\Delta r_b = r'_{bz} - r_{bz} \quad \dots\dots\dots(D.2)$$

式中:

- Δr_b ——基圆半径修正值,单位为毫米(mm);
- r'_{bz} ——标准样板在仪器上画直时的基圆半径示值,单位为毫米(mm);
- r_{bz} ——标准样板基圆半径检定值,单位为毫米(mm)。

- b) 标准样板的尺寸不接近被测工件尺寸
没有相应尺寸标准样板时(被测齿轮尺寸与标准样板尺寸相差 5 mm 以上),应分别使用大于和小于被测齿轮基圆半径的两块标准样板确定基圆半径修正值,方法有计算法和作图法。

计算法:

$$\Delta r_b = (r'_{bs} - r_{bs}) + \frac{r_b - r_{bs}}{r_{bL} - r_{bs}} [(r'_{bL} - r_{bL}) - (r'_{bs} - r_{bs})] \quad \dots\dots\dots(D.3)$$

式中:

- r'_{bL} 和 r'_{bs} ——尺寸大于和小于被测齿轮的两块标准样板在仪器上的示值,单位为微米(μm);
- r_{bL} 和 r_{bs} ——尺寸大于和小于被测齿轮的两块标准样板检定值,单位为微米(μm);
- r_b ——被测齿轮基圆半径公称值,单位为毫米(mm)。

作图法:见图 D.1。

作图计算实例:

两标准样板在仪器上的示值分别为 $r'_{bL} = 150.085 \text{ mm}$ 和 $r'_{bs} = 59.985 \text{ mm}$ 。(分别对应图 D.1 的 $r_b 150 \text{ mm}$ 点和 $r_b 60 \text{ mm}$ 点),标准样板检定值分别为:

$$r_{bL} = 150.091 \text{ mm}, r_{bs} = 59.987 \text{ mm}.$$

被测齿轮基圆半径设计值为 $r_b = 100.000 \text{ mm}$,则其修正值的求解过程为(见图 D.1):

$$\Delta L = r'_{bL} - r_{bL} \quad \dots\dots\dots(D.4)$$

将数值带入(D.4),得:

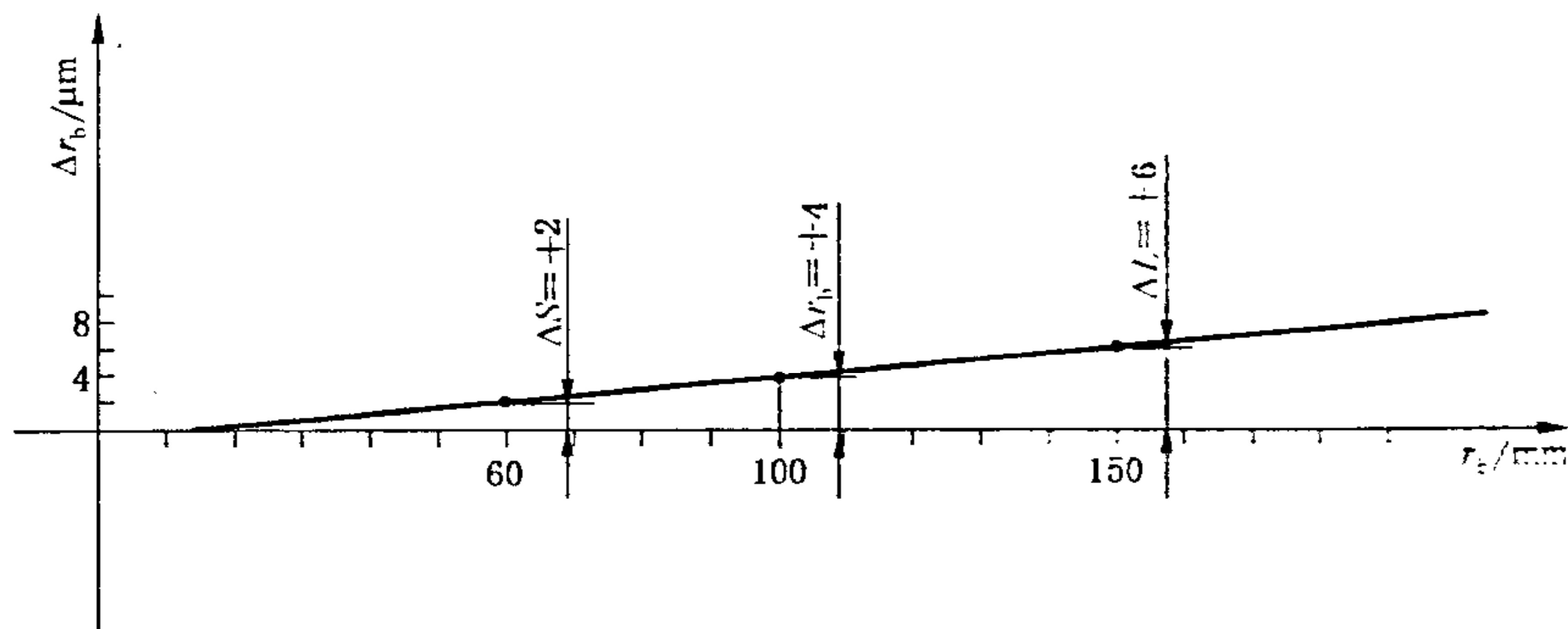


图 D.1 作图法求基圆半径修正值

$$\Delta L = 150.085 - 150.091 = -0.006 \text{ mm} = -6 \text{ } \mu\text{m} \text{ (对应的 } y \text{ 坐标点的值为 } +6 \text{ } \mu\text{m)}$$

$$\Delta s = r'_{bs} - r_{bs} \dots\dots\dots (D.5)$$

将数值带入(D.5),得:

$$\Delta s = 59.985 - 59.987 = -0.002 \text{ mm} = -2 \text{ } \mu\text{m} \text{ (对应的 } y \text{ 坐标点的值为 } 2 \text{ } \mu\text{m)}$$

将 ΔL 和 Δs 两点连线,则 100 mm 点过 y 方向与连线的交点 Δr_b 即为 $r_b = 100.000 \text{ mm}$ 点的基圆半径修正值,修正值与该点的符号相反,为 $-4 \text{ } \mu\text{m}$ 。

则被测齿轮应设置的基圆半径 r_{bt} 为: $r_{bt} = r_b + \Delta r_b = 100.000 + (-0.004) = 99.996 \text{ mm}$

D.2.2 基圆不可调式测量仪器

对于基圆半径不可调的单盘式渐开线检查仪,可依据曲线倾斜偏差 f_{Ha1} ,按公式(D.6)计算出被测齿轮应修正的倾斜偏差 f_{Ha2} ,将其加入到测量结果中。

$$f_{Ha2} = \frac{L_{a2}}{L_{a1}} f_{Ha1} \dots\dots\dots (D.6)$$

式中:

- f_{Ha2} ——被测齿轮曲线倾斜偏差,单位为毫米(mm);
- f_{Ha1} ——标准齿轮曲线倾斜偏差,单位为毫米(mm);
- L_{a2} ——被测齿轮曲线评价范围,单位为毫米(mm);
- L_{a1} ——标准齿轮曲线评价范围,单位为毫米(mm)。

D.3 螺旋线检查仪示值误差的修正方法

D.3.1 螺旋线检查仪示值误差的修正方法有两种。

a) 螺旋线偏差角度值的修正

标准螺旋线样板(以下简称标准样板)放在仪器上,将曲线画直,能得到螺旋角修正值的角度值 $\Delta\beta_b$,修正的方法是直接将 $\Delta\beta_b$ 加入到被测齿轮的设计值中进行测量,此时仪器调整角度为 β_{bx} 。

$\Delta\beta_b$ 计算式为:

$$\Delta\beta_b = \beta'_b - \beta_b \dots\dots\dots (D.7)$$

$\Delta\beta_{bx}$ 计算式为:

$$\Delta\beta_{bx} = \Delta\beta_b + \beta_{bs} \dots\dots\dots (D.8)$$

式中:

- β'_b ——标准样板在仪器上的螺旋角示值,单位为度(°);
- β_b ——标准样板螺旋角检定值,单位为度(°);
- β_{bs} ——被测齿轮设计基圆螺旋角,单位为度(°)。

b) 螺旋线偏差线值的修正

当标准样板曲线不能画直时,可从偏差曲线上取得线值修正量,将此修正量加入到被测齿轮的测量结果中,计算式如下:

$$\Delta F_{\beta} = F'_{\beta b} - F_{\beta b} \quad \dots\dots\dots (D.9)$$

$$F_{\beta} = F'_{\beta} + \Delta F_{\beta} \quad \dots\dots\dots (D.10)$$

式中:

ΔF_{β} ——螺旋角修正值线值,单位为毫米(mm);

$F'_{\beta b}$ ——标准样板在仪器上显示的螺旋线总偏差,单位为毫米(mm);

$F_{\beta b}$ ——标准样板螺旋线总偏差检定值,单位为毫米(mm);

F_{β} ——被测齿轮最终测量结果,单位为毫米(mm);

F'_{β} ——被测齿轮在仪器上的螺旋线总偏差测量值,单位为毫米(mm)。

D.3.2 样板螺旋角与被测工件螺旋角的对应修正范围

样板螺旋角与被测齿轮螺旋角的对应修正范围见表 D.1。

表 D.1 样板螺旋角与被测工件螺旋角的对应修正范围

单位为度

样板螺旋角名义值	可修正被测齿轮设计螺旋角范围
0	0~5
15	>5~25
30	>25~40
45	>40~60

附 录 E
(规范性附录)
替代项目的检验

E.1 总则

齿轮替代检验项目的设立,目的是为使用者提供检验依据,有利于 GB/T 10095.1、GB T 10095.2 的贯彻执行。在齿轮量仪由机械式向坐标式自动控制方向发展的过渡时期,这些测量项目仍具有十分重要的实际意义。

E.2 公法线检验

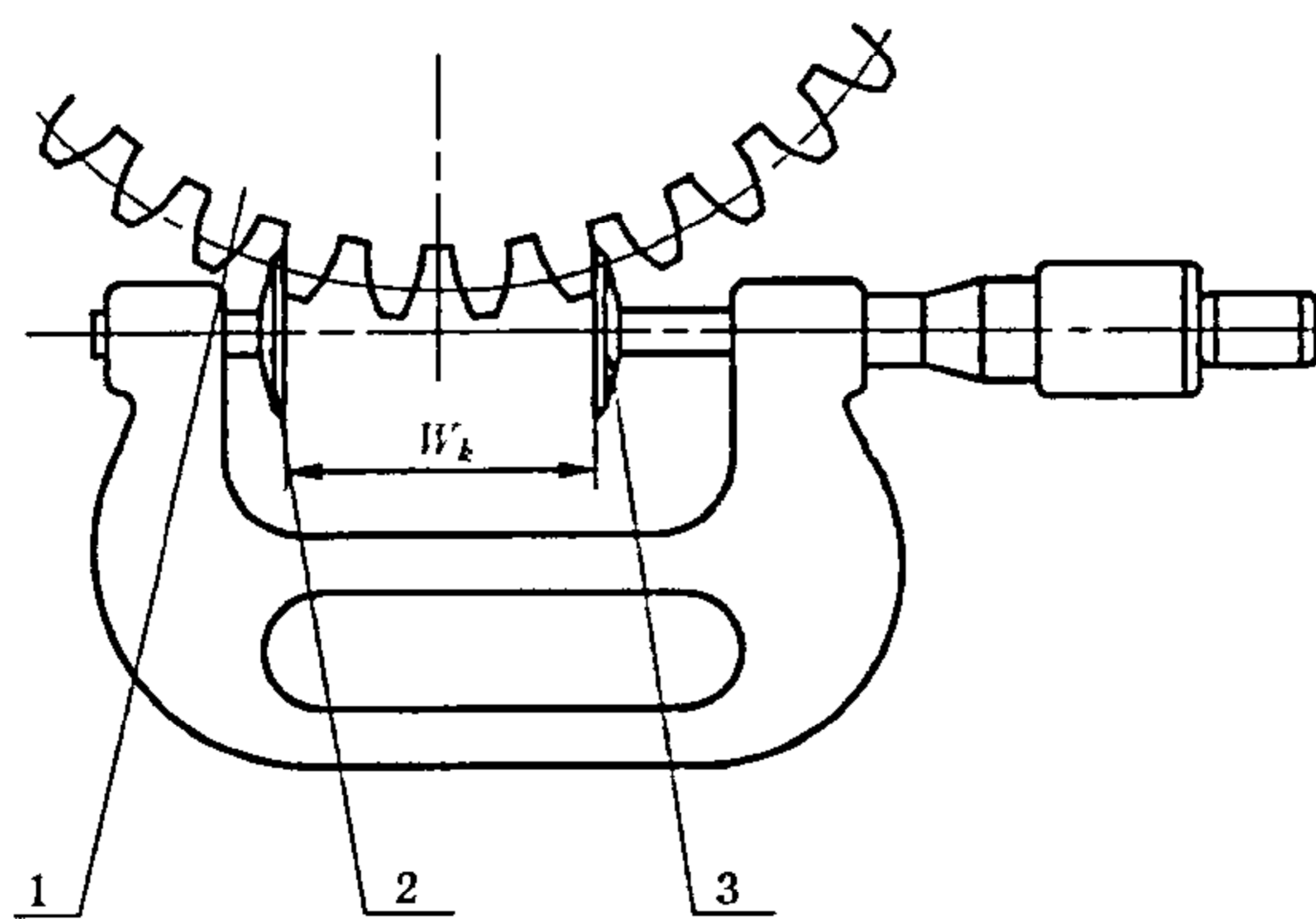
E.2.1 测量仪器和测量原理

E.2.1.1 测量仪器

测量公法线 W_k 的仪器有:公法线千分尺、公法线指示千分尺、公法线指示卡规、万能测齿仪,以及万能工具显微镜等。

E.2.1.2 测量原理

公法线的测量原理参见图 E.1。测量时,两个跨一定齿数的具有平行量面的量爪,大约在被测齿轮的齿高中部与两异侧齿面相切,逐齿测量,其最大差值即为公法线变动量 E_{fa} ;沿圆周均匀分布的四个位置上进行测量,其平均值与设计值之差为公法线平均长度偏差 E_{wM} 。



- 1——被测齿轮;
2、3——测量爪。

图 E.1 公法线测量原理图

E.2.2 测量

E.2.2.1 测量仪器的检定

仪器应按检定规程或其他有关技术文件的规定进行检定,经计量部门检定合格后方准使用。

E.2.2.2 测量位置的确定

两平行量爪应跨一定齿数,保证两测量面大约位于齿高中部与两异侧齿面相切。

应在齿宽中部进行测量。

E.2.3 测量不确定度

E.2.3.1 测量不确定度要求

公法线 W_k 的测量不确定度不应大于图纸要求或规定值的 1/5。

当不能确定测量不确定度是否能满足上述要求时,应进行测量不确定度分析。

E.2.3.2 测量不确定度分析

a) 公法线 W_k 测量不确定度主要误差来源及影响量见表 E.1。

表 E.1 公法线 W_k 测量不确定度主要误差来源及影响量

序号	误差来源	由误差来源引入的影响量 δ_i	分量标准不确定度 u_i
1	仪器示值变动性	δ_1 可按检定规程、规范或相应技术文件允许误差确定	u_1
2	仪器传感器示值误差	δ_2 按相应检定规程、规范确定	u_2
3	温度误差	$\delta_3 = W_k [a(t-20) - a_0(t_0-20)] \times 1000$	u_3
4	读数误差	δ_4 可取格值的 1/3; 或依据实验确定	u_4

注: a ——标准件线胀系数; a_0 ——被测件线胀系数; t ——测量时标准件温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$); t_0 ——测量时
被测件温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。

b) 合成标准不确定度

$$u_c(W_k) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} \quad \dots\dots\dots (\text{E.1})$$

c) 取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U_{W_k} = 2 \times u_c(W_k) \quad \dots\dots\dots (\text{E.2})$$

E.2.4 测量结果处理

逐齿测得的公法线中最大值与最小值之差为公法线变动量 E_{bn} 。

沿圆周均匀分布的四个位置测得值的平均值与设计值之差为公法线平均长度偏差 E_{wm} 。

应在被测齿面法线方向计值。以其他方向测量时,应对测得值进行换算,换算公式见附录 C。

E.3 基节偏差的检验

E.3.1 测量方法和测量仪器

基节偏差 f_{pb} 的测量方法为直接法。

直接法测量又可分为比较法和绝对法。这两种方法都不需以被测齿轮回转轴线为基准。

测量仪器有基节仪、万能测齿仪和万能工具显微镜等。

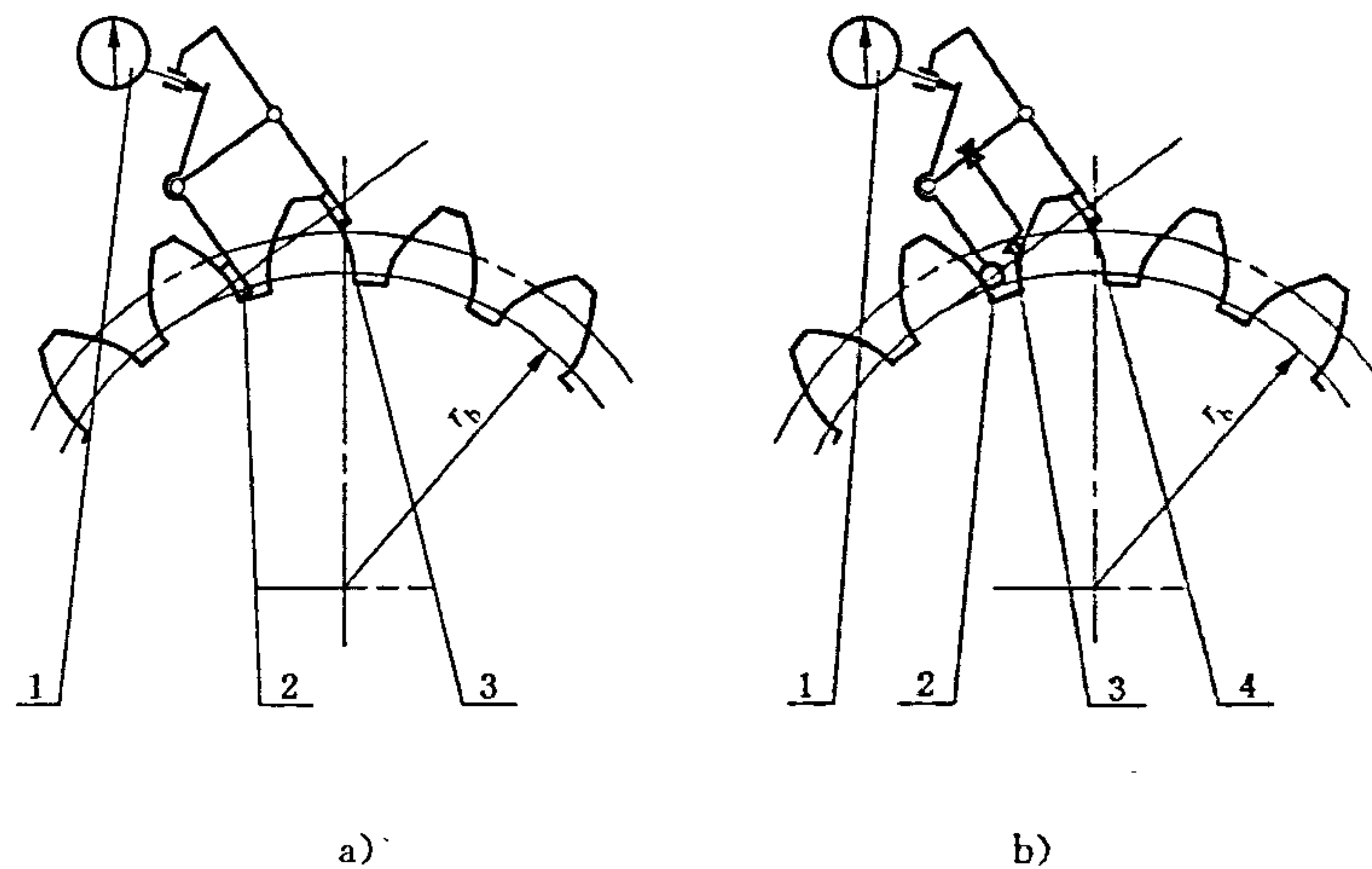
E.3.1.1 测量原理

E.3.1.1.1 比较法

比较法的测量原理参见图 E.2a)、b)。

图 E.2a) 中,测头 2、3 为两个平面测头,其测量面互相平行。测量前用基节块(标准齿轮或量块)将两测头测量面间的距离调整至等于被测齿轮的公称基节值,同时使指示表指零。测量时将两测头同时靠向被测齿轮的两个相邻的同侧齿面,在齿廓工作范围内与齿面相接触,此时指示表所指示的相对零点的变化量即为基节偏差 f_{pb} 。

图 E.2b) 中的活动测头 2 为球形测头,3 为定位支撑爪,测量时通过平面测头 4 在所靠齿面上转动,得到球与平面的最短距离即被测基节的实际值,此时指示表所指示的相对于零点的变化量即为基节偏差 f_{pb} 。



- 1——指示表；
- 2——活动球测头；
- 3——定位支撑爪；
- 4——固定平测头。

图 E.2 基节偏差比较法测量原理图

E.3.1.1.2 绝对法

绝对法测量可在一般测长仪(如万能工具显微镜)上实现。测量时,平面测头与测长系统中的长度标准量垂直,测头(或仪器十字刻线)处于齿廓工作范围内,在基圆切线方向测量两相邻同侧齿廓面的设计长度,由仪器测长系统直接指示测头的实际移动距离,此距离即为实际基节。实际基节与设计值之差为基节偏差 f_{pb} 。

E.3.2 测量

E.3.2.1 测量温度要求

测量温度要求见表 E.2。

表 E.2 基节偏差的测量温度要求

单位为摄氏度

被测齿轮精度等级	测量室温度	工件与仪器(包括校准块)温差
4~5	20±4	≤2
6~7	20±6	≤4
≥8	20±10	≤6

E.3.2.2 测量仪器的检定

仪器应按检定规程或其他有关技术文件的规定进行检定,经计量部门检定合格后方准使用。

E.3.2.3 测量仪器的校准

采用比较法测量时,测量前、后应使用标准基节块、量块或标准齿轮校准仪器。测量 5 级和高于 5 级精度的齿轮时,选用四等量块或 3 级精度标准齿轮;测量 6 级和低于 6 级精度的齿轮时,选用三等量块或 4 级精度标准齿轮。

E.3.2.4 测量位置的确定

基节偏差应在齿宽中部对圆周均布的不少于 4 个齿的左、右侧齿面在图纸规定的工作齿高内(齿廓修形部分除外)进行测量。当图纸未作规定时,按被测齿轮与基本齿条啮合计算工作齿高。对于齿宽 >160 mm 的齿轮应至少测量上、中、下三个截面,上、下截面各距端面约 15% 齿宽。单侧齿面工作的齿轮只测工作侧齿面。

E.3.2.5 测量不确定度

E.3.2.5.1 测量不确定度要求

基节偏差的测量不确定度不应大于图纸要求或规定值的 1/3。使用手提式仪器时,不应大于 1/5。
当不能确定测量不确定度是否满足上述要求时,应进行测量不确定度分析。

E.3.2.5.2 测量不确定度分析

- a) 基节偏差测量不确定度主要误差来源及影响量见表 E.3。
- b) 合成标准不确定度

$$u_c(f_{pb}) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} \dots\dots\dots (E.3)$$

- c) 取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U_{f_{pb}} = 2 \times u_c(f_{pb}) \dots\dots\dots (E.4)$$

表 E.3 基节偏差测量不确定度主要误差来源及影响量

序号	误差来源	由误差来源引入的影响量 δ_i	分量标准不确定度 u_i
1	仪器示值变动性	δ_1 可按检定规程、规范或相应技术文件要求的示值误差确定	u_1
2	传感器示值误差	δ_2 按相应检定规程、规范确定	u_2
3	被测齿轮与校准量块、标准齿轮、基节块(或测长系统的标准尺)温度不一致引入的影响量	$\delta_3 = f_{pb} [a(t-20) - a_0(t_0-20)] \times 1000$	u_3
4	读数误差	δ_4 可取格值的 1/3, 或依据实验确定	u_4

注 1: a_0 ——被测件线胀系数; t ——测量时标准件温度, 单位为摄氏度(°C); t_0 ——测量时被测件温度, 单位为摄氏度(°C)。
注 2: 绝对法测量时, δ_2 已包含在 δ_1 中。

E.3.3 测量结果处理

基节偏差 f_{pb} 可在指示表上直接读出(齿廓修形部分不计值)。
以在规定的各测量位置中测得的绝对值最大的偏差值作为测量结果。
应在被测齿面的法线方向计值, 以其他方向测量时, 应对测得值进行换算, 换算公式见附录 C。

E.4 接触线偏差的检验

E.4.1 测量方法和测量仪器

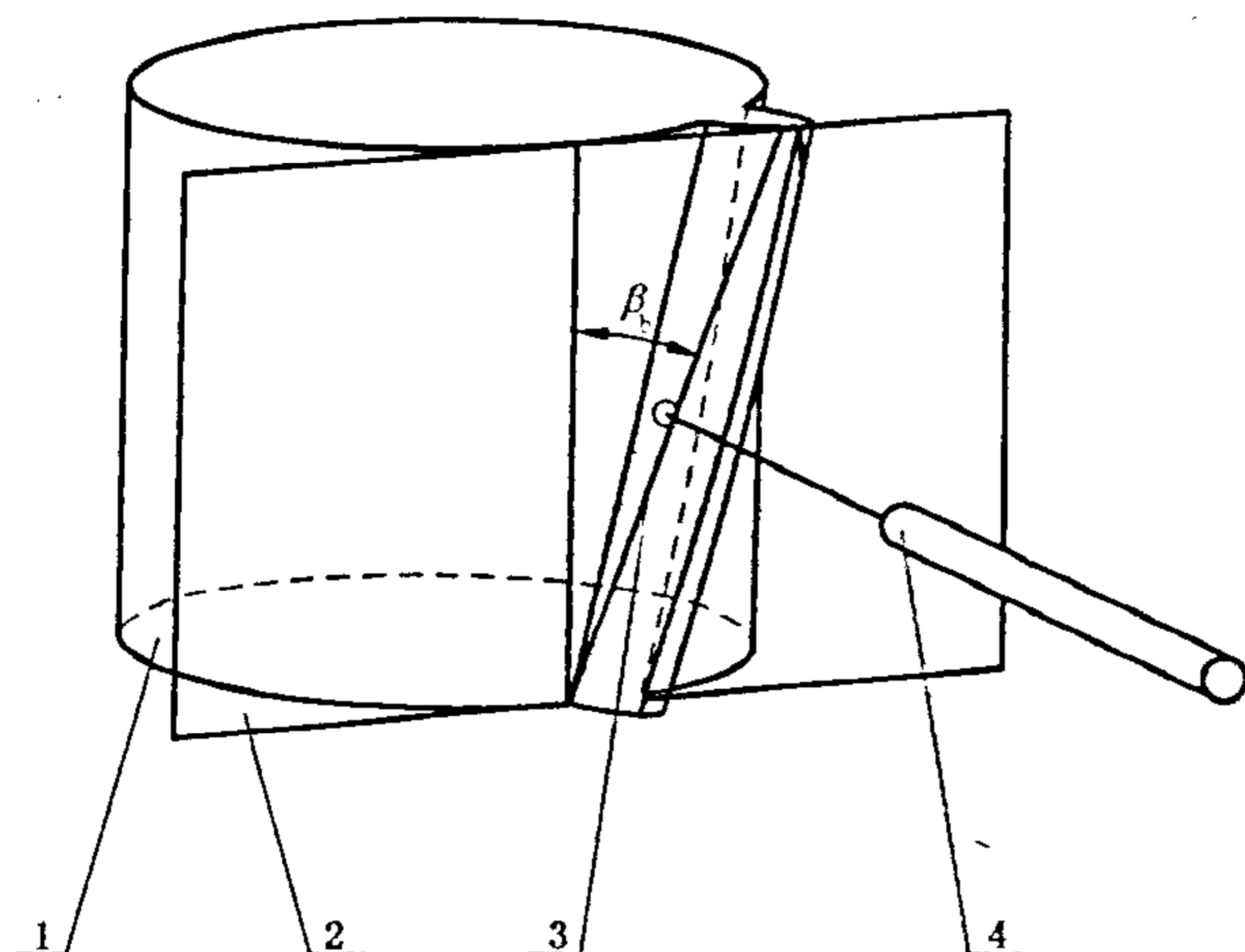
E.4.1.1 测量方法

接触线偏差 F_b 的测量方法为直接法。

测量仪器有接触线偏差检查仪、具有测量接触线偏差功能的渐开线螺旋线检查仪、万能工具显微镜和三坐标测量机等。

E.4.1.2 测量原理

测量原理参见图 E.3。以被测齿轮回转轴线为基准, 齿轮固定不转, 使传感器测头在齿轮基圆柱的切平面上沿与基圆柱母线成基圆螺旋角的斜直线方向移动, 以形成接触轨迹即理论接触线, 实际接触线与理论接触线进行比较, 其最大差值即为接触线偏差 F_b 。也可使测头沿齿面接触线逐点与齿面接触, 测量点的实际坐标位置与理论坐标位置之最大差值即为 F_b 。



- 1——基圆柱；
- 2——基圆切平面；
- 3——接触线；
- 4——传感器测头。

图 E.3 接触线直接法测量原理图

E.4.2 测量

E.4.2.1 测量仪器的检定

仪器应按检定规程或其他有关技术文件的规定进行检定,经计量部门检定合格后方准使用。

E.4.2.2 测头的选择

在保证不发生干涉和碰撞的情况下,宜选用直径较大的测头。

E.4.2.3 测量基准的确定

测量基准的确定方法见附录 B。

E.4.2.4 测量位置的确定

接触线偏差应对齿轮沿圆周均布的不少于 4 个齿的左、右侧齿面在工作齿高范围内进行测量。

接触线长度 L_b (mm) 和所对应的齿宽 b_{AE} (mm) 按下式计算:

$$L_b = \frac{L_{AE}}{\sin \beta_b} \dots\dots\dots (E.5)$$

$$b_{AE} = \frac{L_{AE}}{\tan \beta_b} \dots\dots\dots (E.5)$$

式中:

L_{AE} ——渐开线有效长度,单位为毫米(mm)。

当齿宽 $b < 3b_{AE}$ 时,所测的接触线应大致通过齿高和齿宽的中部。

当齿宽 $b \geq 3b_{AE}$ 时,沿齿宽应至少测量上、中、下三个部位,上、下部位被测接触线的最上一点或最下一点距端面约 1/10 齿宽。

单侧齿面工作的齿轮,只测工作侧齿面。

当采用设计齿廓和设计螺旋线时,修形部分不检 F_b 。

E.4.2.5 测量不确定度

E.4.2.5.1 测量不确定度要求

接触线偏差的测量不确定度 U_{Fb} 不应大于被测齿轮接触线设计要求的 1/3,测量 5 级和高于 5 级精度的齿轮时,允许不大于 1/2,但此时应以 5 次以上重复测量结果的平均值作为测量结果。

当不能确定测量不确定度是否满足上述要求时,应进行测量不确定度分析。

E. 4. 2. 5. 1 测量不确定度分析

a) 接触线偏差测量不确定度主要误差来源及影响量见表 E. 4。

表 E. 4 接触线偏差测量不确定度主要误差来源及影响量

序号	误差来源	由误差来源引入的影响量 δ_i	分量标准不确定度 u_i
1	仪器示值误差	δ_1 可按检定规程、规范或相应技术文件允许误差确定	u_1
2	被测齿轮测量安装倾斜	$\delta_2 = \Delta y \times b_{AE} / \cos \beta_b / 100$ 式中： Δy ——测量齿轮轴线在 100 mm 长度上的倾斜量，单位为微米(μm)	u_2
3	温度误差	$\delta_3 = f_{pb} [a(t-20) - a_0(t_0-20)] \times 1\ 000$	u_3
4	被测齿轮测量时的安装偏心 e	$\delta_4 = 2e \sin \frac{L_{AE}}{2}$	u_4

注： a_0 ——被测件线胀系数； t ——测量时标准件温度，单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$)； t_0 ——测量时被测件温度，单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。

b) 合成标准不确定度

$$u_c(F_b) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} \quad \dots\dots\dots(\text{E. 7})$$

c) 取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U_{F_b} = 2 \times u_c(F_b) \quad \dots\dots\dots(\text{E. 8})$$

E. 4. 3 测量结果的处理

E. 4. 3. 1 取值范围的确定

接触线偏差的取值范围 l_b 应按设计图样给定的接触线长度范围确定。当未给定时，齿顶部接触线 Δl_b 长度范围内偏向齿体的负偏差可不计入接触线偏差，但负偏差值不应大于 $3F_b$ ， Δl_b 长度应等于 l_b 长度的 8%。 l_b 按下式计算：

a) 当齿宽 $b > b_a$ 时：

$$l_b = \frac{L_{AE}}{\sin \beta_b} \quad \dots\dots\dots(\text{E. 9})$$

b) 当齿宽 $b \leq b_a$ 时：

$$l_b = \frac{b}{\cos \beta_b} \quad \dots\dots\dots(\text{E. 10})$$

式中：

b_a ——在测量齿宽范围内，被测齿轮齿根至齿顶的展开长度，单位为毫米(mm)。

E. 4. 3. 2 接触线偏差的取值

应从接触线偏差曲线上取值，对齿廓和螺旋线均不修形的齿轮也允许直接用指示表读出接触线偏差 F_b 。

接触线偏差曲线的 x 坐标代表被测齿轮接触线长度， y 坐标代表接触线偏差 F_b (图 E. 4)。

接触线偏差曲线沿 x 坐标，在规定的取值范围内取值， y 坐标的最大变化量为 F_b 。

接触线偏差应在法线方向测量，以其他方向测量时，应对测量结果进行换算，换算公式见附录 C。

以在 E. 4. 2. 4 所规定的各测量位置中测得的最大接触线偏差作为测量结果。

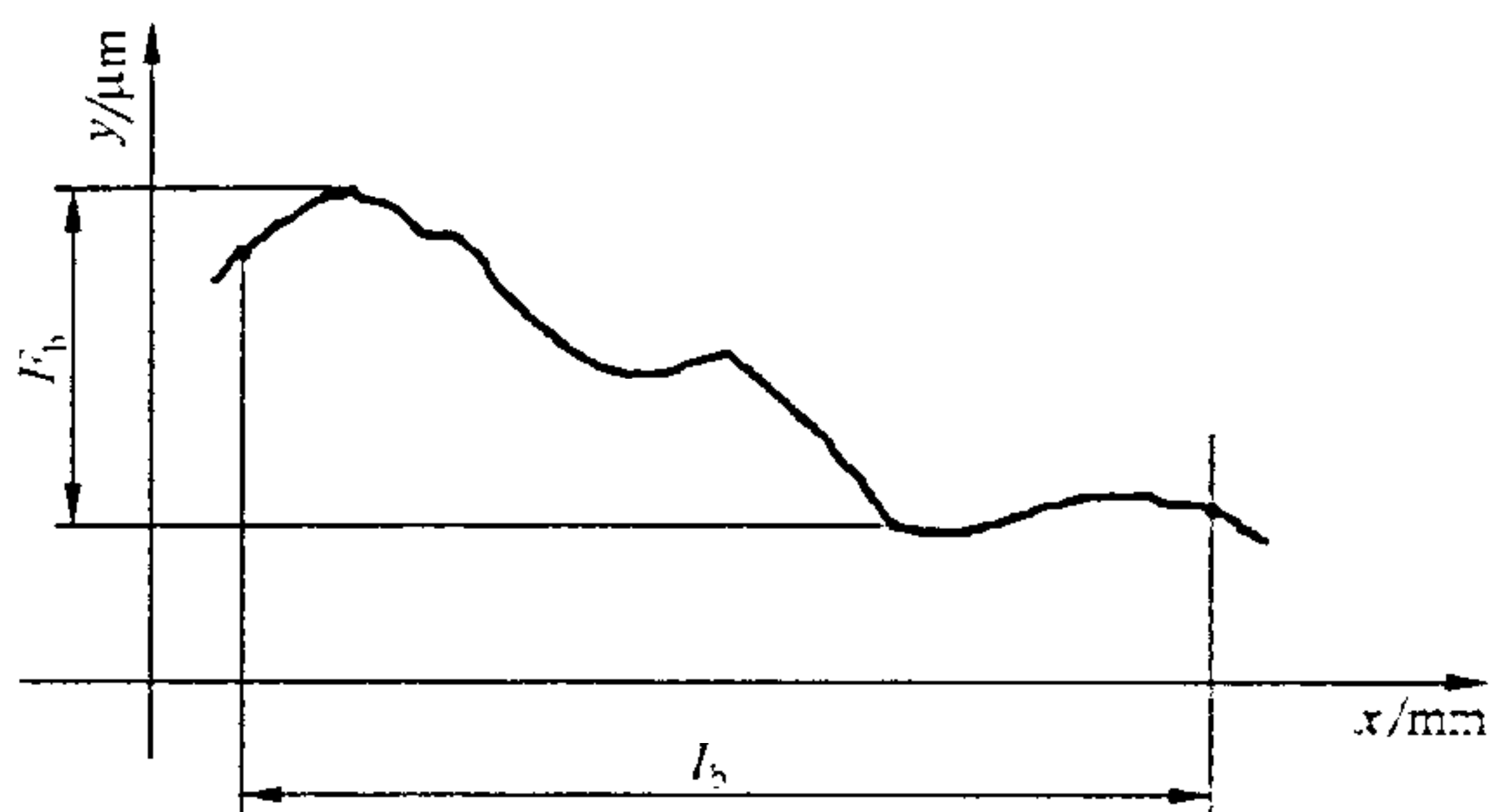


图 E.4 接触线偏差曲线图

E.5 轴向齿距偏差的检验

E.5.1 测量方法和测量仪器

轴向齿距偏差 F_{px} 的测量方法为直接法。

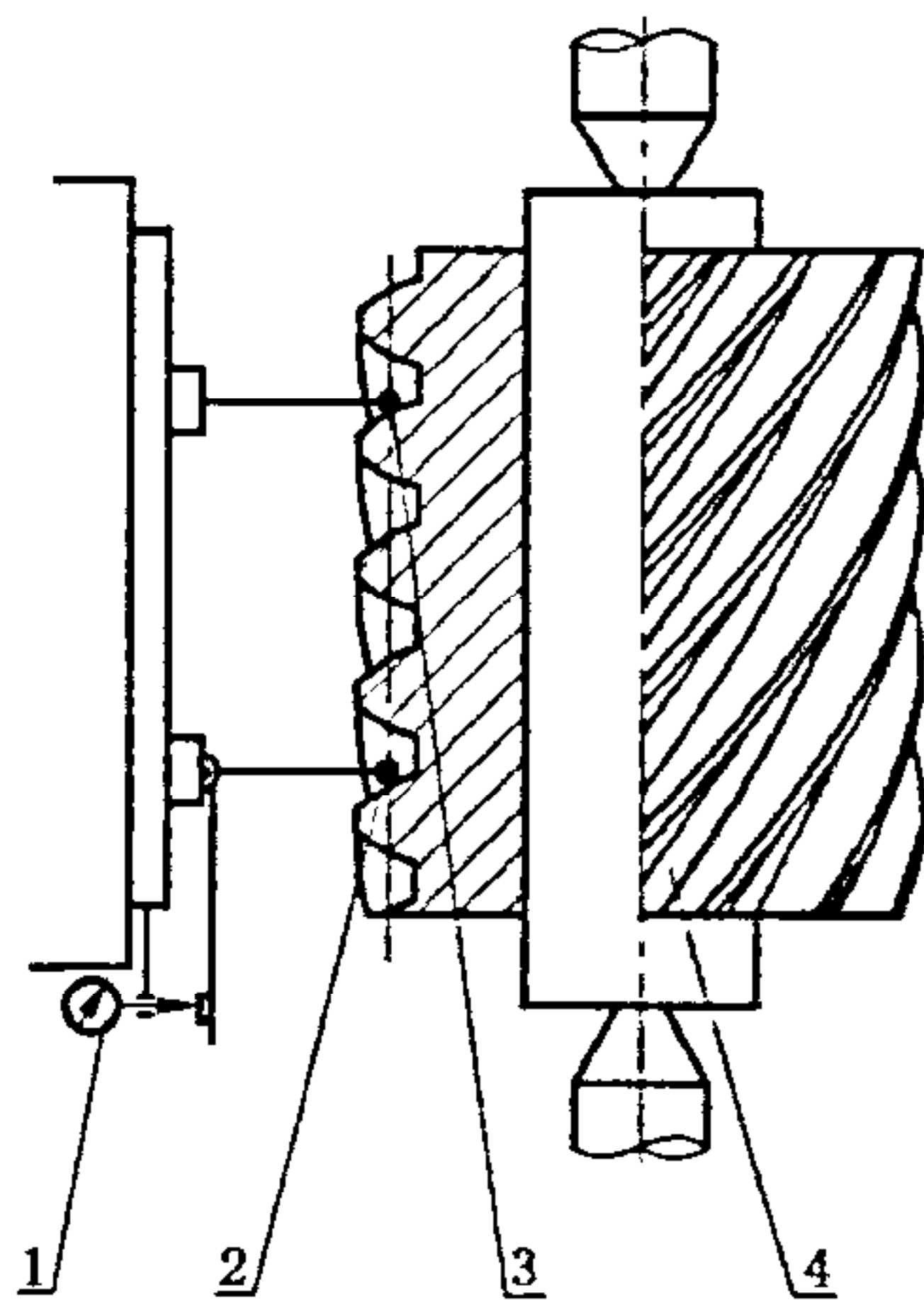
测量仪器有上置式轴向齿距仪和旁置式轴向齿距仪,也可在万能工具显微镜等仪器上测量。

E.5.1.1 测量原理

测量原理分为比较法和直接法。

E.5.1.1.1 比较法

比较法测量原理参见图 E.5。以被测齿轮轴线为基准,两测球中心连线与被测齿轮顶尖连线平行。测量前,先用具有公称轴向齿距的基准块(或量块)校准 2、3 两个球测头间的轴向距离,传感器指示表调零,测量时两个测头同时靠向被测齿轮的同侧齿面,并在齿面的分度圆附近接触,从指示表直接读出示值,取示值最大绝对值作为轴向齿距偏差 F_{px} 。

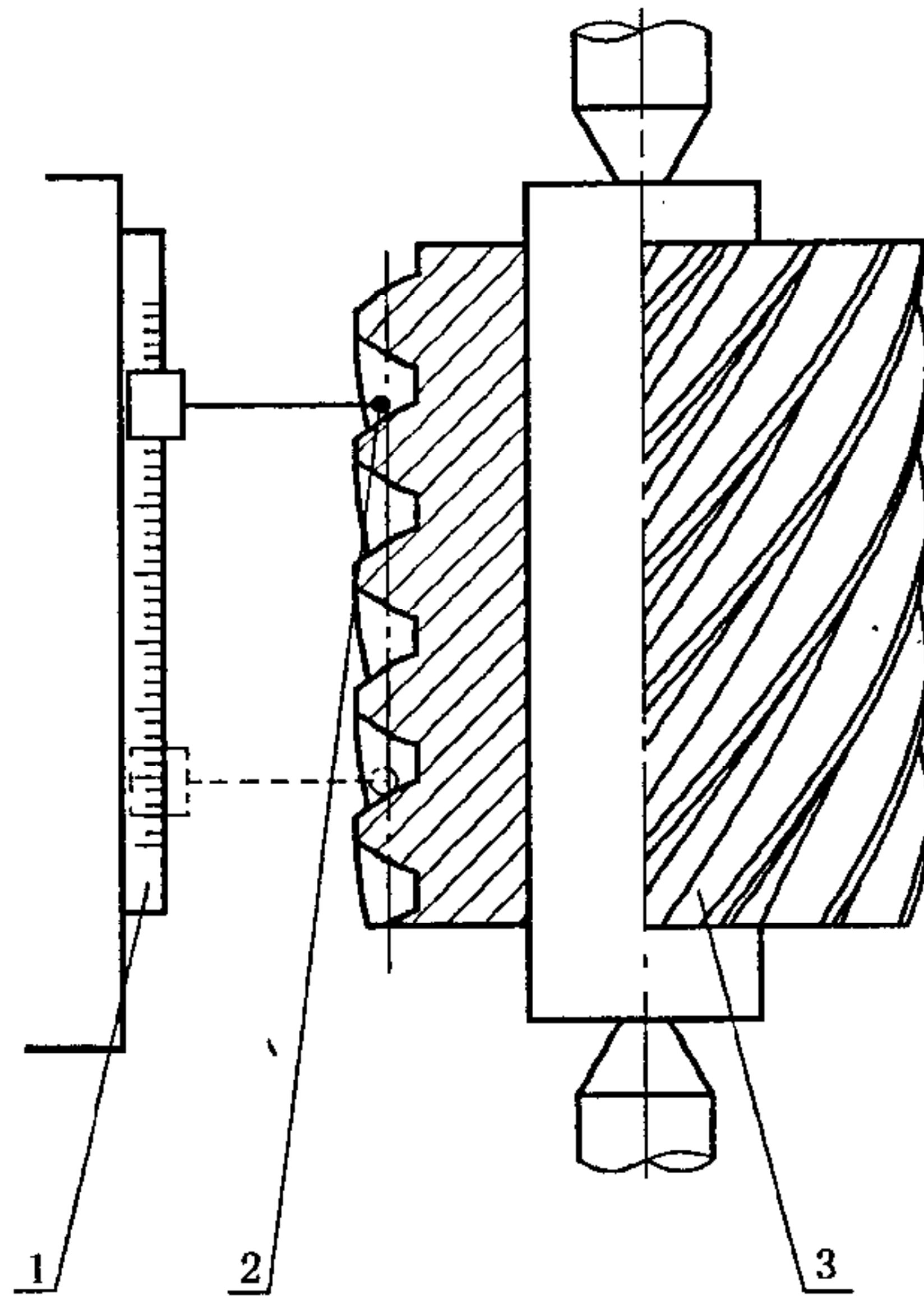


- 1——传感器;
- 2——测头;
- 3——测头;
- 4——被测齿轮。

图 E.5 轴向齿距比较法测量原理图

E.5.1.1.2 直接法

直接法测量原理参见图 E.6。以被测齿轮轴线为基准,在与轴线平行的直线上,用一个球测头分别靠向不同齿的同侧齿面上,通过测长装置(如光栅、激光、刻线尺)直接测出被测齿轮的实际轴向齿距,所测的实际轴向齿距与公称轴向齿距的最大差值即为 F_{px} 。



- 1——长度测量系统；
2——测头；
3——被测齿轮图。

图 E.6 轴向齿距绝对法测量原理图

E.5.2 测量

E.5.2.1 测量温度

测量温度要求见表 E.5。

表 E.5 轴向齿距偏差测量温度要求

单位为摄氏度

被测齿轮精度等级	测量室温度	工件与仪器(包括校准块)温差
4~5	20±4	≤2
6~7	20±6	≤4
≥8	20±10	≤6

E.5.2.2 测量仪器的检定

仪器应按检定规程或其他有关技术文件的规定进行检定,经计量部门检定合格后方准使用。

E.5.2.3 测量仪器的校准

比较法测量前、后应使用量块和专用检具校准仪器。

E.5.2.4 测量基准的确定

测量基准的确定见附录 B。

E.5.2.5 测量位置的确定

轴向齿距偏差应在齿高中部对圆周均布的不少于四个位置的左、右侧齿面沿轴向逐齿进行测量。

单侧齿面工作的齿轮,只测工作侧齿面。

采用比较法测量时,应逐个测量各单个轴向齿距偏差,对于 5 级和高于 5 级精度的齿轮应加测跨距最大的轴向齿距偏差。

采用绝对法测量时,应以工作齿宽内最靠某端的齿为起始位置,依次沿轴向逐齿测量对该齿的轴向齿距偏差。

E.5.2.6 测量不确定度

E.5.2.6.1 测量不确定度要求

轴向齿距偏差的测量不确定度 $U_{F_{px}}$ 应不大于被测齿轮轴向齿距要求的 1/3; 使用手提式仪器测量时, 不应大于 1/5。

当不能确定测量不确定度是否以满足上述要求时, 应进行测量不确定度分析。

E.5.2.6.2 测量不确定度分析

a) 轴向齿距测量不确定度主要误差来源及影响量见表 E.6。

表 E.6 轴向齿距偏差测量不确定度主要误差来源及影响量

序号	误差来源	由误差来源引入的影响量 δ_i	分量标准不确定度 u_i
1	仪器示值误差	δ_1 可按检定规程、规范或相应技术文件允许误差确定。比较法测量时, δ_1 为仪器的示值变动性	u_1
2	传感器示值误差	δ_2 按相应检定规程或规范确定	u_2
3	被测齿轮与量块(或测量系统标准尺)温度差	$\delta_3 = L_x [a(t-20) - a_0(t_0-20)] \sin \beta_0 \times 1\,000$ 式中: L_x ——被测两个同侧齿面的公称轴向齿距, 单位为毫米(mm)	u_3
4	双测头的连心线或单测头的移动方向与轴心线不平行	$\delta_4 = \sqrt{(\Delta S' \times \cos \alpha_n \times \cos \beta)^2 + (\Delta h' \times \sin \alpha_n \times \cos \beta_2)^2}$ 式中: $\Delta S'$ ——在切向平面内的平行度偏差, 单位为微米(μm); $\Delta h'$ ——在径向平面内的平行度偏差, 单位为微米(μm)	u_4

注: 绝对法测量时, δ_2 已包含在 δ_1 中。

b) 合成标准不确定度

$$u_c(F_{px}) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} \dots\dots\dots (E.11)$$

c) 取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U_{F_{px}} = 2 \times u_c(F_{px}) \dots\dots\dots (E.12)$$

E.5.3 测量结果的处理

轴向齿距偏差的测量结果可在指示表上读出。

应在齿面法线方向测量, 以其他方向测量时, 应对测量结果进行换算, 换算公式见附录 C。

以在 E.5.2.5 所规定的各测量位置中绝对值最大者作为测量结果。

E.5.3.1 比较法测量结果的处理

由指示表读出的逐齿轴向齿距偏差 ΔP_{xi} 经计算得到 F_{px} (见表 E.7)。

表 E.7 轴向齿距逐齿测量数据处理

单位为微米

偏差代号	齿 序					
	0	1	2	3	4	5
F_{pxi}	+4.2	+3.3	-2.5	-3.0	-5.0	-3.0
$\Delta P_{pxi} = \sum_{i=0}^n \Delta P_{xi}$	0	+4.2	+7.5	-5.0	-2.0	-3.0
$ F_{px} = F_{px\max} - F_{px\min} = (+7.5) - (-3.0) = 10.5$						
式中: F_{pxi} ——第 i 齿相对 0 号齿的轴向齿距累积偏差。						
注: F_{px} 的符号与上二项中序号较大者一致, 即齿序 5 的符号, 则 F_{px} 应为 (-10.5)。						

当加测跨齿距最大的轴向齿距偏差 $\Delta P_{x(0-5)}$ 时, 可用测得的 $\Delta P_{x(0-5)}$ 对表 E.7 所列偏差值进行修正, 按表 E.8 的计算顺序算出较精确的 F_{px} 值。

表 E.8 轴向齿距偏差跨齿测量法数据处理

单位为微米

偏差代号及公式	齿 序					
	0	1	2	3	4	5
ΔP_{xi}	+4.2	+3.3	-2.5	-3.0	-5.0	
$F_{pxi} = \sum_{i=0}^n \Delta P_{xi}$	0	+4.2	+7.5	+5.0	+2.0	-3.0
$\Delta P_{x(0-5)}$	-1.5					
$\Delta P_{xm} = \frac{\Delta P_{x(0-5)} - F_{px5}}{n}$	+0.3					
$\Delta P_{mi} = \Delta P_{xi} + \Delta P_{xm}$	+4.5	+3.6	-2.2	-2.7	-4.7	
$F_{pxmi} = \sum_{i=0}^n \Delta P_{mi}$	0	+4.5	+8.1	+5.9	+3.2	-1.5
$ F_{px} = F_{pxmi \max} - F_{pxmi \min} = (8.1) - (-1.5) = 9.6$ 式中： $ F_{px} $ ——最后计算结果的符号取(-1.5)的符号，即 $F_{px} = -9.6$ 。						
注： ΔP_{xm} ——轴向齿距偏差修正量； ΔP_{mi} ——修正后逐齿单个轴向齿距偏差； F_{pxmi} ——修正后第 <i>i</i> 齿相对于0号齿面的轴向齿距偏差。						

E.5.3.2 绝对法测量结果的处理

用单测头在轴向上第一个齿面对零，逐齿测出各齿面相对于第一个齿面的轴向齿距偏差，所测得各齿轴向齿距偏差中最大和最小偏差之差值即为 F_{px} 。

E.6 螺旋线波度偏差的检验

E.6.1 测量方法和测量仪器

螺旋线波度偏差 $f_{\omega\beta}$ 的测量方法有相对法和绝对法。

相对法的测量仪器有上置式波度仪及旁置式波度仪等。

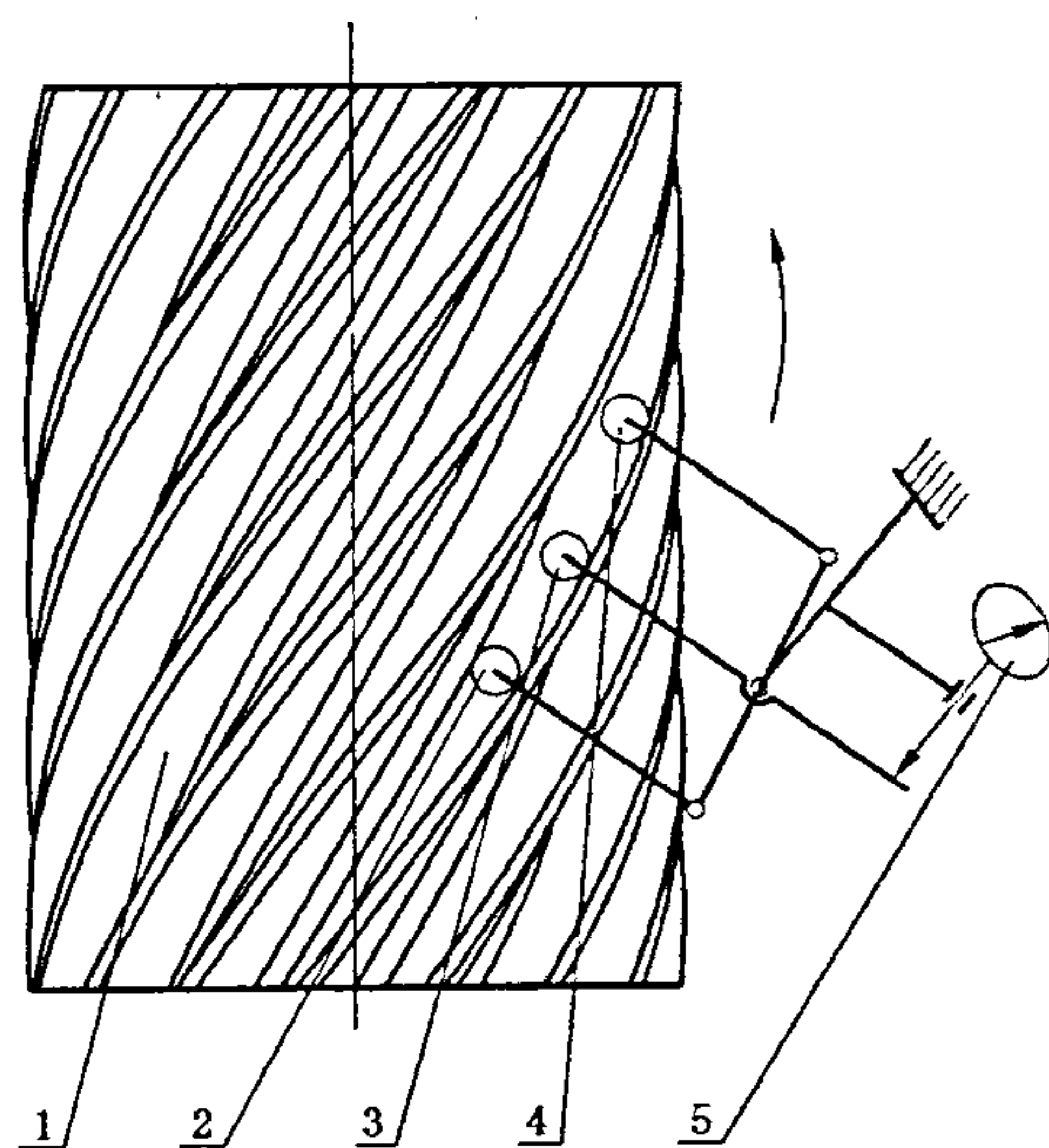
绝对法的测量仪器有渐开线螺旋线检查仪和导程仪等。

E.6.1.1 相对法测量原理

螺旋线波度相对测量法以三球测量为特征。相对法又可分为单面接触法和双面接触法。

E.6.1.1.1 单面接触法

单面接触法测量原理见图 E.7。以被测齿轮回转轴线为基准，用机床或仪器的螺旋运动作为测头在被测齿面沿螺旋线移动的粗传动。仪器采用旁置式，仪器上三个球测头中有两个是定位测头，测量前先把二个定位测头的间距调整至螺旋线波度波距的奇数倍，测微测头置于二个定位测头的中间位置并使测头位移方向与被测齿轮齿面垂直，三个测头应置于单侧齿面的同一螺旋线上。测量时，依靠粗传动，三个测头沿齿面螺旋线移动，此时测微测头相对于定位测头的变化量由指示表读出或绘出偏差曲线，最大变化量即为 2 倍的 $f_{\omega\beta}$ 。

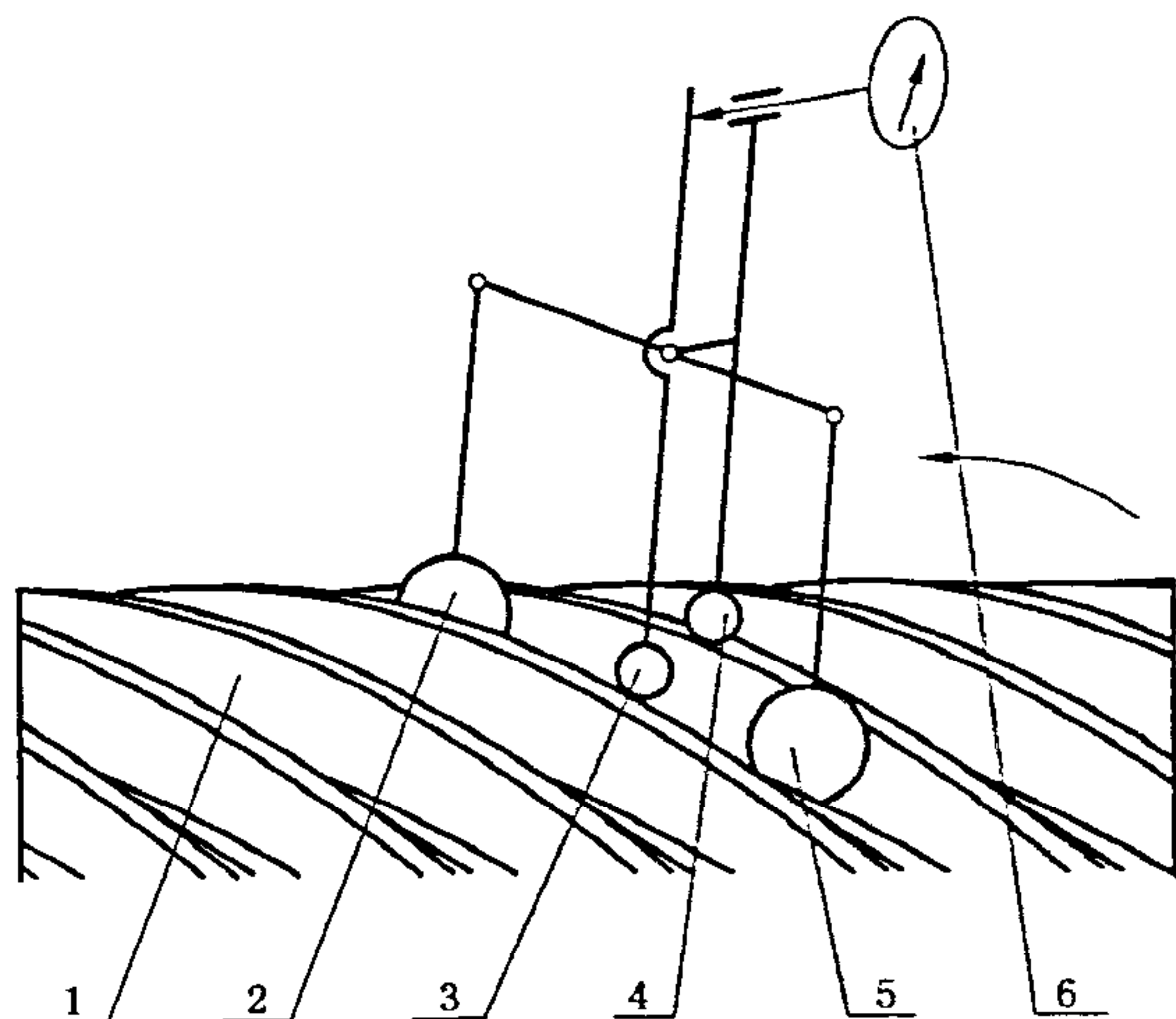


- 1——被测齿轮；
- 2、4——定位测头；
- 3——测微测头；
- 5——指示表。

图 E.7 螺旋线波度单面接触法测量原理图

E.6.1.1.2 双面接触法

双面接触法测量原理见图 E.8。它与单面接触法的主要差别是仪器为上置式。测量时被测齿轮不动，仪器的两个定位测头 2 和 5 与被测齿轮同一齿槽的左右侧齿面接触并沿齿槽作螺旋线移动（防转定位测头 4 与齿顶面接触），此时测微测头 3 相对于定位测头的变化量由指示表读出或绘出偏差曲线。最大变化量为 2 倍的 $f_{\omega\beta}$ 。



- 1——被测齿轮；
- 2、5——定位测头；
- 3——测微测头；
- 4——防转定位测头；
- 6——指示表。

图 E.8 螺旋线波度双面接触法测量原理图

E.6.1.2 绝对法测量原理

按 5.1 所述方法测出螺旋线偏差曲线,在此曲线上按偏差定义取出 $f_{\omega\beta}$ 。

E.6.2 测量

绝对法测量见 5.2。

E.6.2.1 测量仪器的检定

仪器应按检定规程或其他有关技术文件的规定进行检定,经计量部门检定合格后方准使用。

E.6.2.2 测头的选择与调整

双面接触测量仪器的两个定位球测头的直径应一致,并根据被测齿轮模数选择,要使定位球测头与被测齿轮齿槽的左右侧齿面大约在齿高中部接触。

单面接触测量仪器的两个定位球测头的直径应一致,并使定位测头与被测齿面大约在齿高中部接触而又不能触及另一侧齿面。

E.6.2.3 波距调整

仪器两定位测头之间的距离测量前应调整到被测波度偏差波距的奇数倍(1、3、5……等)。波距应根据设计图样确定。在图样未作规定时,应分别按加工机床分度蜗轮副的周期偏差、机床走刀架丝杠的周期偏差和昼夜自然温度变化产生的螺旋线波度计算波距。

波距 λ 计算公式如下:

a) 按分度蜗轮副的周期偏差计算:

$$\lambda_1 = \frac{\pi d}{z_w \sin\beta} \dots\dots\dots (E.13)$$

b) 按走刀架丝杠的周期偏差计算:

$$\lambda_2 = \frac{t_p}{\cos\beta} \dots\dots\dots (E.14)$$

c) 按昼夜自然温度变化计算:

$$\lambda_3 = \frac{1.440sn}{z_w \cos\beta} (\text{mm}) \dots\dots\dots (E.15)$$

式中:

z_w ——机床分度蜗轮齿数;

d ——机床蜗轮分度圆直径,单位为毫米(mm);

β ——被测齿轮分圆螺旋角,单位为度($^\circ$);

t_p ——刀架丝杠螺距,单位为毫米(mm);

s ——加工时工件每转进给量,单位为毫米每转(mm/r);

n ——单头滚刀每分钟转数,单位为转每分(r/min)。

测微测头应位于两定位测头间距的 1/2 处,在齿面法线方向与被测齿面接触,而又不触及另一侧齿面。在保证不发生干涉和碰撞的情况下,测微测头直径应尽量接近定位测头的直径。三个测头与被测齿面的接触点应位于被测齿轮的同一条螺旋线上。

E.6.2.4 测量位置的确定

螺旋线波度偏差应在齿高中部、工作齿宽范围内,对圆周均布的不少于 4 个齿槽的左右齿面进行测量。单侧齿面工作的齿轮只测工作齿面。

E.6.2.5 测量不确定度

E.6.2.5.1 测量不确定度要求

螺旋线波度偏差的测量不确定度不应大于图纸要求或规定值的 1/5。

当不能确定测量不确定度是否满足上述要求时,应进行测量不确定度分析。

E.6.2.5.2 测量不确定度分析

a) 螺旋线波度偏差测量不确定度主要误差来源及影响量见表 E.9。

表 E.9 螺旋线波度偏差测量不确定度主要误差来源及影响量

序号	误差来源	由误差来源引入的影响量 δ_i	分量标准不确定度 u_i
1	仪器示值变动性	δ_1 可按检定规程、规范或相应技术文件允许误差确定	u_1
2	传感器示值误差	δ_2 按相应检定规程、规范确定	u_2
3	仪器测量时定位偏差	$\delta_3 = \frac{1}{206.264} S_0 \times \Delta\theta \times 1\,000$ 式中： S_0 ——测微测头球心和两定位测头球心连线的垂直距离，单位为毫米(mm)； $\Delta\theta$ ——测量过程中由防转定位测头在齿顶面定位点的齿顶圆半径变化引起的仪器在垂直螺旋线的平面上的转角，单位为秒(")	u_3

注：单面测量法 δ_3 为零。

b) 合成不确定度：

$$u_c(f_{w\beta}) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} \quad \dots\dots\dots (E.16)$$

c) 取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U_{f_{w\beta}} = 2 \times u_c(f_{w\beta}) \quad \dots\dots\dots (E.17)$$

E.6.3 测量结果处理

相对法的测得值可以从波度偏差曲线上读取，也可以从指示表直接读取。波度偏差曲线上，多次重复出现的偏差的最大波高的 1/2 为 $f_{w\beta}$ ；指示表示值的周期性最大变化量的 1/2 为 $f_{a\beta}$ 。

绝对法的测得值从螺旋线偏差曲线上读取。螺旋线偏差曲线上多次重复出现的偏差的最大波高为 $f_{w\beta}$ (见图 E.9)。应在被测齿面的法线方向计值，以其他方向测量时，应对测量结果进行换算，换算公式见附录 C。

在 E.6.2.3 规定的各测量位置中，以不同波距测得的最大偏差作为测量结果。单侧齿面工作的齿轮只计单侧齿面的偏差。

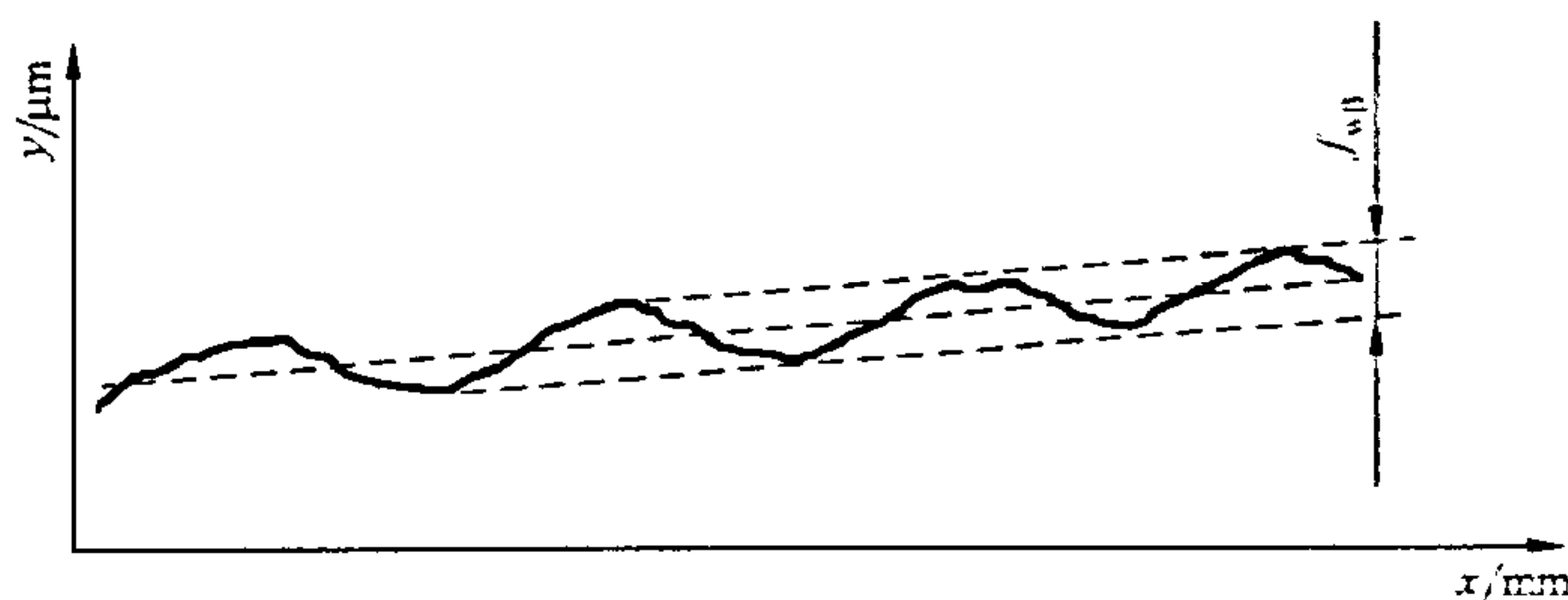


图 E.9 螺旋线偏差曲线上取波度偏差

E.7 齿厚检验

齿厚的检验包括齿厚偏差 E_{sn} 、公法线平均长度偏差 E_{wm} 、基本齿廓位移 E_H (固定弦齿厚偏差)、跨棒测量距 M_d 偏差的检验。

E.7.1 测量方法和测量仪器

齿厚的测量方法有直接法和间接法。间接法又可分为三种：公法线平均长度偏差的测量、基本齿廓位移的测量、跨棒测量距偏差的测量。

直接法的测量仪器有齿厚游标卡尺、光学测齿卡尺等。也可在万能工具显微镜等仪器上测量。

公法线平均长度偏差的测量仪器有公法线千分尺等。也可用游标卡尺、万能工具显微镜等仪器测量。

基本齿廓位移的测量仪器有正切齿厚规等。

跨棒测量距偏差(M 值)的测量仪器一般用千分尺和标准圆棒组合使用。

E.7.2 齿厚偏差的测量原理

E.7.2.1 齿厚偏差直接法测量原理

直接法测量原理见图 E.10。

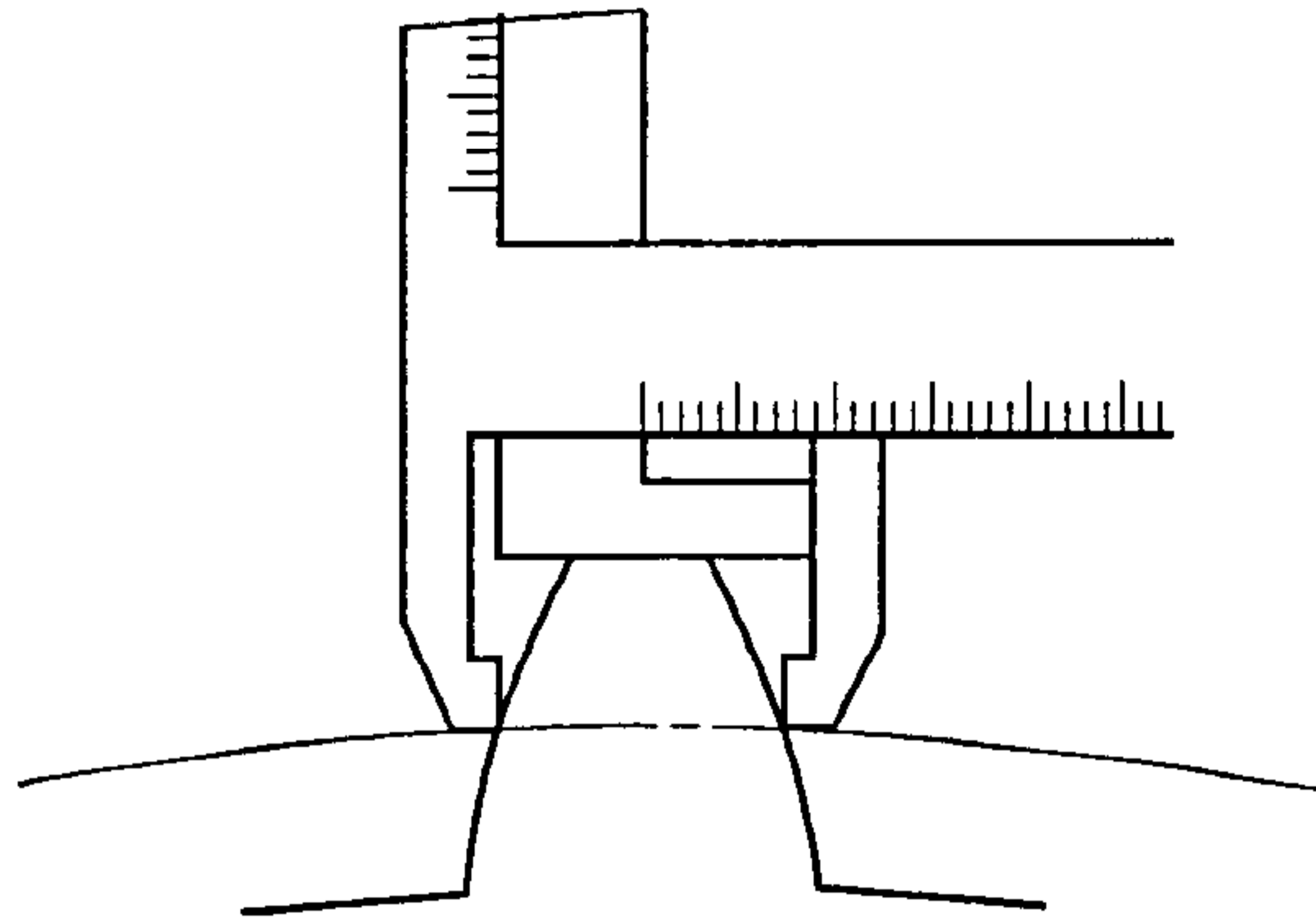


图 E.10 齿厚偏差测量原理

以被测齿轮回转轴线为基准(一般用齿轮外圆代替),测量齿轮分度圆柱上同一齿左右齿面之间的弧长或弦长,实测值与公称值之差即为齿厚偏差。各齿中最大齿厚与公称齿厚之差为齿厚上偏差 E_{sns} ,最小齿厚与公称齿厚之差为齿厚下偏差 E_{sni} 。

E.7.2.2 间接法测量原理

E.7.2.2.1 公法线平均长度偏差测量原理

公法线平均长度偏差 E_{wm} 的测量原理参见 E.2.1.2,按各齿实测长度,通过计算求得平均值,此平均值和公称值之差即为 E_{wm} 。

由于公法线测量不以齿轮回转轴为基准,它不反映齿轮径向偏心对齿厚偏差的影响(但齿厚偏差包括径向偏心偏差的影响)。因此用公法线平均长度偏差来代替齿厚偏差时,除了压缩齿厚偏差的规定值外,还应保证径向跳动在允许值范围内。

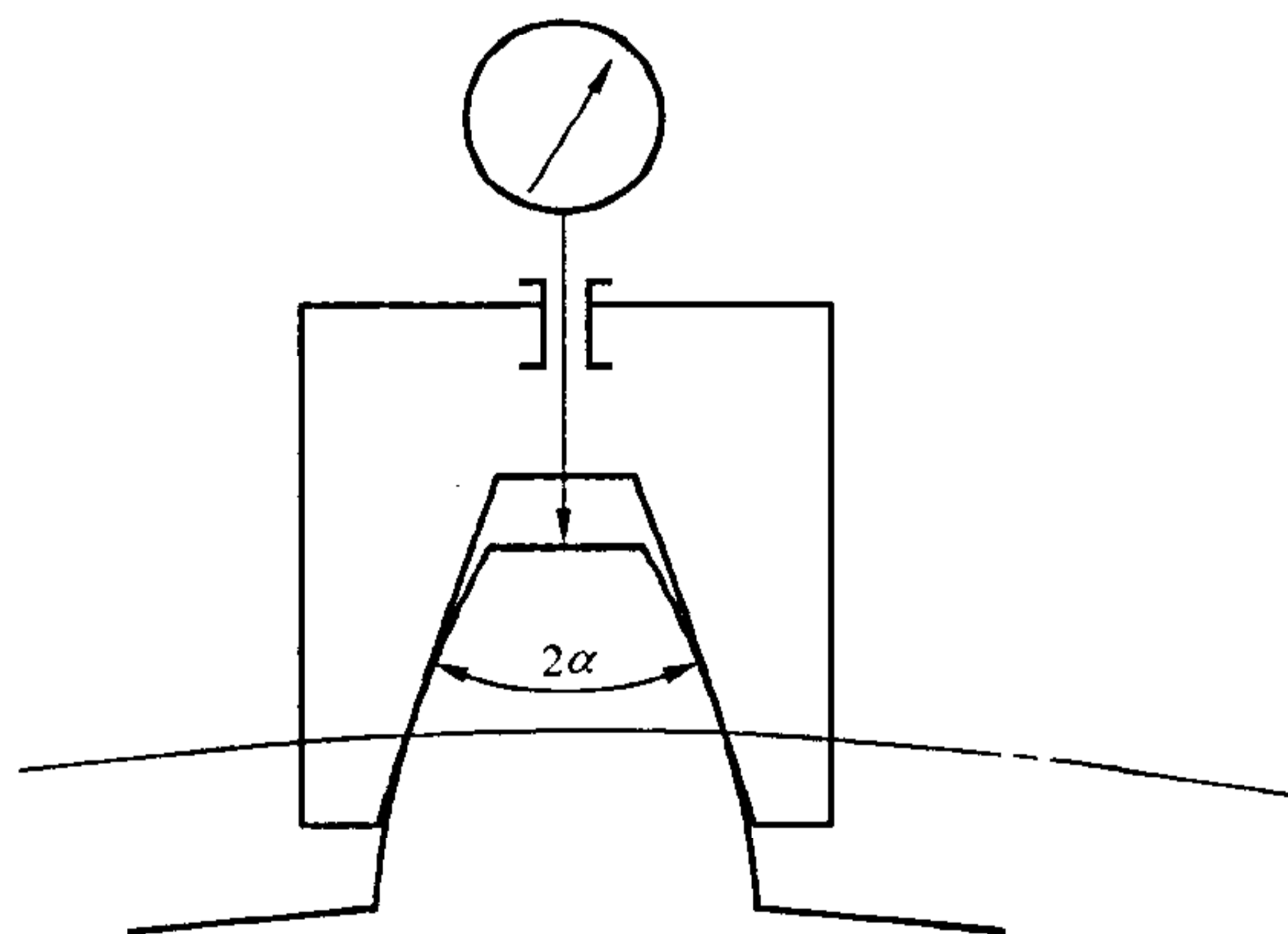


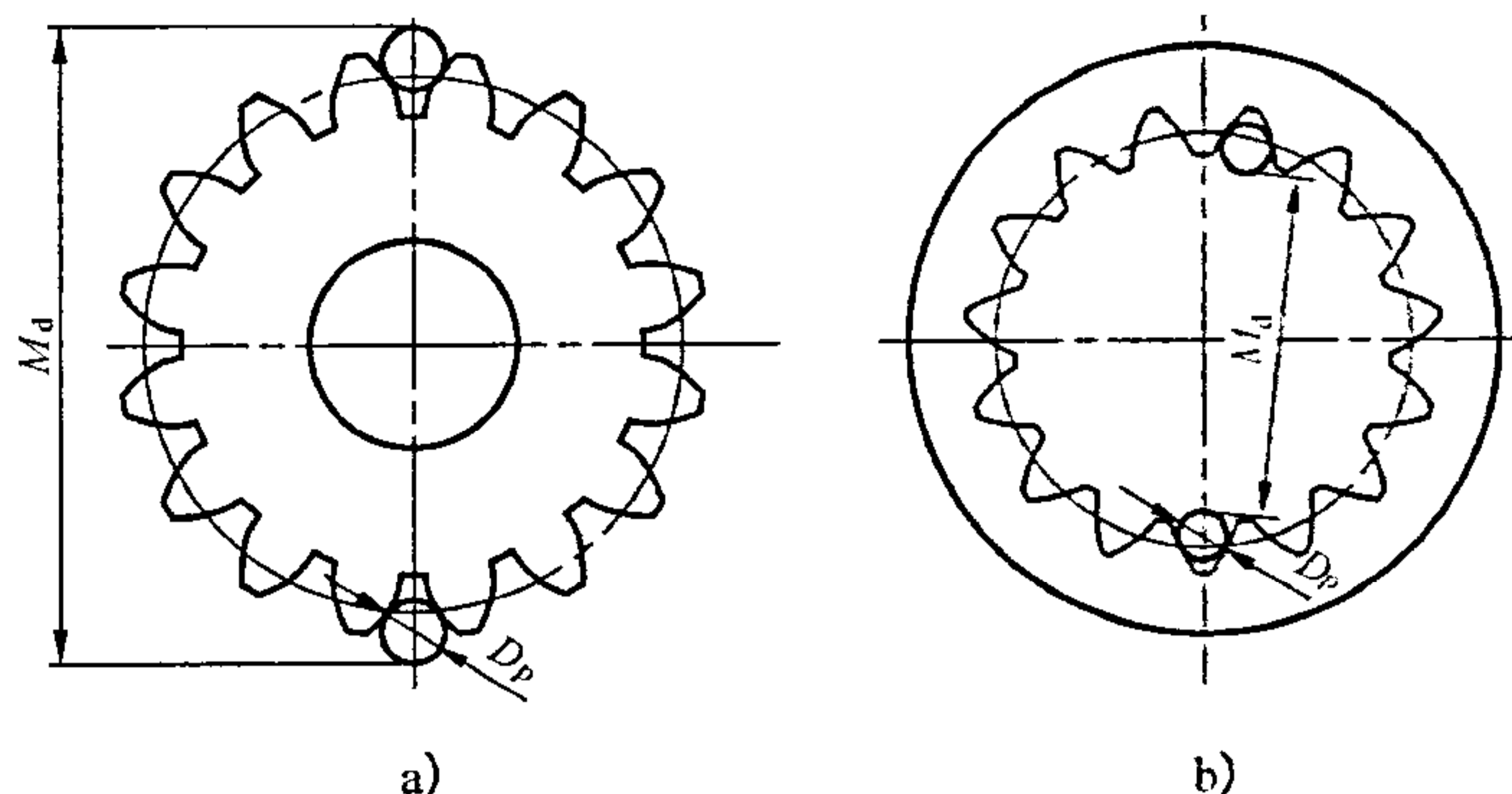
图 E.11 基本齿廓位移测量原理图

E.7.2.2.2 基本齿廓位移测量原理

基本齿廓位移测量原理参见图 E.11。以被测齿轮回转轴线为基准(一般用齿轮外圆代替),测量被测齿轮齿体或齿槽固定弦相对于回转轴线的径向距离。实际距离与公称距离之差即为基本齿廓位移 E_H 。其最大距离与公称距离之差为基本齿廓位移上偏差 E_{Hs} ,最小距离与公称距离之差为基本齿廓位移下偏差 E_{Hi} 。基本齿廓位移反映齿轮径向齿厚变化。

E.7.2.2.3 跨棒测量距偏差测量原理

跨棒测量距偏差 M_d 测量原理参见图 E.12。



E.12 跨棒测量距偏差测量原理

跨棒测量距的测量不需以齿轮回转轴心线为基准,而是将两个与左右齿面齿高中部接触的精密圆棒(或圆球)放于被测齿轮沿圆周相隔 180° (偶数齿)或 $(1-1/z)180^\circ$ (奇数齿)的两个齿槽内。用千分尺或其他通用长度量仪测量两圆棒外尺寸(内齿轮为内尺寸)之间的距离,两量棒中心距称为 M 值。实测值的平均值与公称值之差为跨棒测量距偏差 M_d 。

由于跨棒测量距偏差不反映齿轮径向偏心偏差的影响(但齿厚偏差包括齿轮径向偏心偏差的影响),除了应按设计的规定压缩齿厚偏差的规定值外,还应保证径向跳动在允许值范围内。

E.7.3 测量

E.7.3.1 测量仪器的检定

仪器应按检定规程或其他有关技术文件的规定进行检定,经计量部门检定合格方准使用。

E.7.3.2 测量基准的确定

直接法测量齿厚以及间接法测量跨棒测量距平均长度偏差,应选择被测齿轮的设计基准作为测量基准。由测量时的定位偏差造成的被测齿轮的径向跳动不应大于齿厚偏差规定值的 $1/8$ 。当以顶圆作测量基准时,齿顶圆的径向跳动应符合附录 B 的规定。

E.7.3.3 测量位置的确定

- 直接法测量齿厚以及间接法测量跨棒测量距平均长度偏差,应对沿圆周均布的至少 4 个轮齿进行测量,可在被测齿轮分度圆上测量分度圆弧齿厚(或弦齿厚),也可测量固定弦齿厚。对于斜齿轮应在法平面测量,也允许在端面测量。
- 对于间接法 M 值测量,至少测量圆周均布的两对齿的 M 值。

E.7.3.4 测球的选择

- 直接法齿厚测量,测头可以是具有标准基本齿廓的齿槽测头,也可以是具有标准基本齿廓的齿体测头或具有标准压力角的圆锥测头。
测头所具有的标准基本齿廓的模数和压力角应与被测齿轮一致。
基本齿廓相对被测齿轮回转轴心线(或有外圆代替)的理论径向位置在测量前应先用标准齿轮、标准圆棒或其他标准件校准。
- 间接法 M 值测量,测量圆棒(或圆球)的直径按被测齿轮的模数来选择,应保证能与被测齿槽的左右齿面在分度圆附近接触。

E.7.4 测量不确定度

E.7.4.1 测量不确定度要求

齿厚偏差测量的不确定度不应大于设计齿厚的 $1/5$ 。

当不能确定测量不确定度是否能满足上述要求时,应进行测量不确定度分析。

E.7.4.2 测量不确定度分析

齿厚偏差测量不确定度误差来源及影响量见表 E.10。

表 E.10 齿厚偏差(直接法和间接法)测量不确定度误差来源及影响量

序号	测量项目	误差来源	由误差来源引入的影响量 δ_i	分量标准不确定度 u_i
1	齿厚偏差	仪器示值误差	δ_1 可按检定规程、规范或相应技术文件允许误差确定	u_1
		定位误差(测量圆定位半径偏差或外圆定位半径偏差)	$\delta_2 = 2 \times \Delta r \tan(\alpha_n - \frac{90^\circ}{z} \cos \beta)$ 式中: z ——被测齿轮齿数; Δr ——定位半径误差,单位为微米(μm)	u_2
2	公法线平均长度偏差	仪器示值误差	δ_1 可按检定规程、规范或相应技术文件允许误差确定	u_1
3	跨棒测量距(M值)	仪器示值误差	δ_1 可按检定规程、规范或相应技术文件允许误差确定	u_1
		测量元件:测量圆棒半径误差或测量圆球半径误差	$\delta_2 = 2 \times \Delta R \times (1 + 1/\cos \beta_b \sin \alpha_{pt})$ 式中: ΔR ——测量圆棒(或圆球)的半径误差,单位为微米(μm); α_{pt} ——测量圆棒(或圆球)接触点的端面压力角,单位为度($^\circ$)	u_2

合成不确定度和扩展不确定度的计算参照 E.6.2.4.2 进行计算。

E.7.5 测量结果处理

E.7.5.1 齿厚偏差测量结果处理

以在 E.7.3.3 节所规定的各测量位置中测得的最大齿厚偏差和最小齿厚偏差作为测量结果。齿厚偏差 E_{sn} 应在被测齿轮双侧齿面分度圆螺旋线的法线方向测量,以其他方向测量时,应对测量结果进行换算,换算公式见附录 C。

E.7.5.2 公法线平均长度偏差测量结果处理

以在 E.7.3.3 节所规定的各测量位置中测得各公法线长度偏差的算术平均值作为测量结果。

公法线平均长度偏差 E_{wm} 应在被测齿面法线方向测量,以其他方向测量时,应对测量结果进行换算,换算公式见附录 C。

E_{wm} 应使用设计图样规定的公法线平均长度极限偏差 E_{wms} 、 E_{wmi} 对其进行评定。当设计图样未作规定时,应将图样规定的齿厚极限偏差 E_{sns} 、 E_{sni} 按公式(E.18)、(E.19)换算为 E_{wms} 、 E_{wmi} ;也可将平均长度偏差测得值 ΔE_{wm} 按公式(E.20)、(E.21)换算,变为齿厚最大测得值 ΔE_{sns} 和最小测得值 ΔE_{sni} 。计算式如下:

$$E_{wms} = E_{sns} \cos \alpha_n - 0.72 F_r \sin \alpha_n \quad \dots\dots\dots (E.18)$$

$$E_{wmi} = E_{sni} \cos \alpha_n + 0.72 F_r \sin \alpha_n \quad \dots\dots\dots (E.19)$$

应用(E.18)、(E.19)时,应保证被测齿轮径向跳动实际值在 F_r 允许值范围内。

$$\Delta E_{sns} = \frac{\Delta E_{wm}}{\cos \alpha_n} + F_r \tan \alpha_n \quad \dots\dots\dots (E.20)$$

$$\Delta E_{sni} = \frac{\Delta E_{wm}}{\cos \alpha_n} - F_r \tan \alpha_n \quad \dots\dots\dots (E.21)$$

E. 7. 5. 3 基本齿廓位移测量结果处理

以在 E. 7. 3. 3 节所规定的各测量位置中测得的最大基本齿廓位移 ΔE_{H_s} 和最小基本齿廓位移 ΔE_{H_i} 作为测量结果。

基本齿廓位移上偏差 E_{H_s} 和下偏差 E_{H_i} 应在被测齿轮的两侧齿面径向方向测量, 以其他方向测量时, 应对测量结果进行换算, 换算公式见附录 C。

对基本齿廓位移的测量结果 ΔE_{H_s} 、 ΔE_{H_i} , 应按设计图样规定的基本齿廓位移极限偏差对其进行评定。当设计图样未作规定时, 应将图样规定的齿厚极限偏差 E_{sns} 、 E_{sni} 按公式 (E. 22)、(E. 23) 换算成 E_{H_s} 和 E_{H_i} ; 也可将测得的 ΔE_{H_s} 和 ΔE_{H_i} 按公式 (E. 24)、(E. 25) 换算为 ΔE_{sns} 、 ΔE_{sni} , 用设计图样规定的 E_{sns} 、 E_{sni} 对其进行评定。计算式如下:

$$E_{H_s} = \frac{E_{sns}}{2 \tan \alpha_n} \dots\dots\dots (E. 22)$$

$$E_{H_i} = \frac{E_{sni}}{2 \tan \alpha_n} \dots\dots\dots (E. 23)$$

$$\Delta E_{sns} = 2 \Delta E_{H_s} \tan \alpha_n \dots\dots\dots (E. 24)$$

$$\Delta E_{sni} = 2 \Delta E_{H_i} \tan \alpha_n \dots\dots\dots (E. 25)$$

E. 7. 5. 4 跨棒测量距偏差测量结果处理

以在 E. 7. 3. 3 节所规定的各测量位置中测得的各个 M 值的算术平均值 M_{dm} 作为测量结果。

应在被测齿轮的两侧齿面径向方向测量, 以其他方向测量时, 应对测量结果进行换算, 换算公式见附录 C。

对跨棒测量距偏差 M_d 应使用设计图样规定的跨棒测量距极限偏差 M_{ds} 、 M_{di} 对其进行评定。当设计图样未作规定时, 应将图样规定的齿厚极限偏差 E_{sns} 、 E_{sni} 按公式 (E. 26)、(E. 27)、(E. 28)、(E. 29) 换算为 M_{ds} 、 M_{di} ; 也可以将测得的 M_{dm} 按公式 (E. 30)、(E. 31)、(E. 32)、(E. 33) 换算为 ΔE_{sns} 、 ΔE_{sni} 对其进行评定。

将 E_{sns} 、 E_{sni} 换算成 M_{ds} 、 M_{di} , 计算公式如下:

被测齿轮为偶数齿时:

$$M_{ds} = \frac{\cos \alpha_t}{\sin \alpha_{pt}} \left[\frac{E_{sns}}{\cos \beta} - 0.72 F_r \tan \alpha_t \right] \dots\dots\dots (E. 26)$$

$$M_{di} = \frac{\cos \alpha_t}{\sin \alpha_{pt}} \left[\frac{E_{sni}}{\cos \beta} + 0.72 F_r \tan \alpha_t \right] \dots\dots\dots (E. 27)$$

被测齿轮为奇数齿时:

$$M_{ds} = \frac{\cos \alpha_t}{\sin \alpha_{pt}} \left[\frac{E_{sns}}{\cos \beta} - 0.72 F_r \tan \alpha_t \right] \cos \frac{90^\circ}{z} \dots\dots\dots (E. 28)$$

$$M_{di} = \frac{\cos \alpha_t}{\sin \alpha_{pt}} \left[\frac{E_{sni}}{\cos \beta} + 0.72 F_r \tan \alpha_t \right] \cos \frac{90^\circ}{z} \dots\dots\dots (E. 29)$$

当使用式 (E. 26)~(E. 29) 时, 应保证被测齿轮的径向跳动在 F_r 允许值范围内。将 M_{dm} 换算成 ΔE_{sns} 、 ΔE_{sni} , 计算公式如下。

被测齿轮为偶数齿时:

$$\Delta E_{sns} = \frac{M_{dm} \sin \alpha_{pt} \cos \beta}{\cos \alpha_t} + F_r \tan \alpha_n \dots\dots\dots (E. 30)$$

$$\Delta E_{sni} = \frac{M_{dm} \sin \alpha_{pt} \cos \beta}{\cos \alpha_t} - F_r \tan \alpha_n \dots\dots\dots (E. 31)$$

被测齿轮为奇数齿时:

$$\Delta E_{sns} = \frac{M_{dm} \sin \alpha_{pt} \cos \beta}{\cos \alpha_t \cos \frac{90^\circ}{z}} + F_r \tan \alpha_n \dots\dots\dots (E. 32)$$

$$\Delta E_{sni} = \frac{M_{dm} \sin \alpha_{pt} \cos \beta}{\cos \alpha_t \cos \frac{90^\circ}{z}} - F_r \tan \alpha_n \quad \dots\dots\dots (E. 33)$$

使用上述换算式时,应保证被测齿轮实际径向跳动在 F_r 允许值范围内。

若被测齿轮的 F_r 在允许值范围内,可用 $0.72F_r$ 代替 ΔE_{sns} 和 ΔE_{sni} 。

以上公式中 α_{pt} 为量棒接触点的端面压力角,单位为度($^\circ$)。

E. 8 齿轮副接触斑点的检验

E. 8.1 测量方法和测量仪器

齿轮副接触斑点的测量方法有光泽法和着色法。

齿轮副接触斑点的检验应安装在箱体中进行,也可以在齿轮副滚动试验机上或齿轮式单面啮合检查仪上进行。

E. 8.1.1 光泽法测量原理

光泽法是在被测齿轮副齿面上不涂涂料进行测量,经足够时间的啮合运转,使齿面能见到清晰的擦亮痕迹。

E. 8.1.2 着色法的测量原理

先在被测齿轮副中的小齿轮部分齿面上涂以适当厚度的涂料,攀动小齿轮轴使齿轮副作工作齿面的啮合,直至齿面上出现清晰的涂料被擦掉的痕迹。

E. 8.2 测量

E. 8.2.1 测量仪器的检定

仪器应按检定规程或其他有关技术文件的规定进行检定,经计量部门检定合格后方准使用。

E. 8.2.2 测量基准的确定

测量基准的确定见附录 B。

E. 8.2.3 测量位置的确定

应在设计中心距和使用时中心距相同的情况下对左右齿面进行测量。单侧齿面工作的齿轮允许只测工作侧齿面。

E. 8.2.4 着色法的涂层

涂层应涂于小齿轮的不少于 5 个齿的工作齿面上。涂层应均匀,其厚度不应大于 $6 \mu\text{m}$ 。

E. 8.2.5 测量力和啮合转数

在轻微制动的条件下进行测量。

光泽法需进行连续回转,直至齿面上的接触擦亮痕迹充分呈现出来。

着色法测量时,小齿轮可正反反复转动也可作连续回转,直至齿面上接触斑点充分呈现出来。

E. 8.3 测量结果处理

齿轮副的接触斑点应以小齿轮齿面上的斑点为准,并以小齿轮齿面上接触斑点面积最小的齿面所计算的接触斑点的大小,作为测量结果。

E. 8.3.1 接触斑点的大小

接触斑点的大小是以在齿面上接触痕迹沿齿长方向的长度(扣除超过模数值的断开部分)和沿齿高方向的平均高度分别相对于工作长度和工作高度之比的百分比来确定(见图 E. 13)。

a) 沿齿长方向接触痕迹的百分比为:

$$\frac{b'' - c}{b'} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (E. 34)$$

式中:

b'' ——接触痕迹的总长度(包括断开部分),单位为毫米(mm);

c ——超过模数值的断开部分的长度,单位为毫米(mm);

b' ——工作长度,单位为毫米(mm)。

b) 沿齿高方向接触痕迹的百分比为:

$$\frac{h'' - c}{h'} \times 100\% \dots\dots\dots (E.35)$$

式中:

- h'' ——接触痕迹的平均高度,单位为毫米(mm);
- c ——超过模数值的断开部分的长度,单位为毫米(mm);
- h' ——工作高度,单位为毫米(mm)。

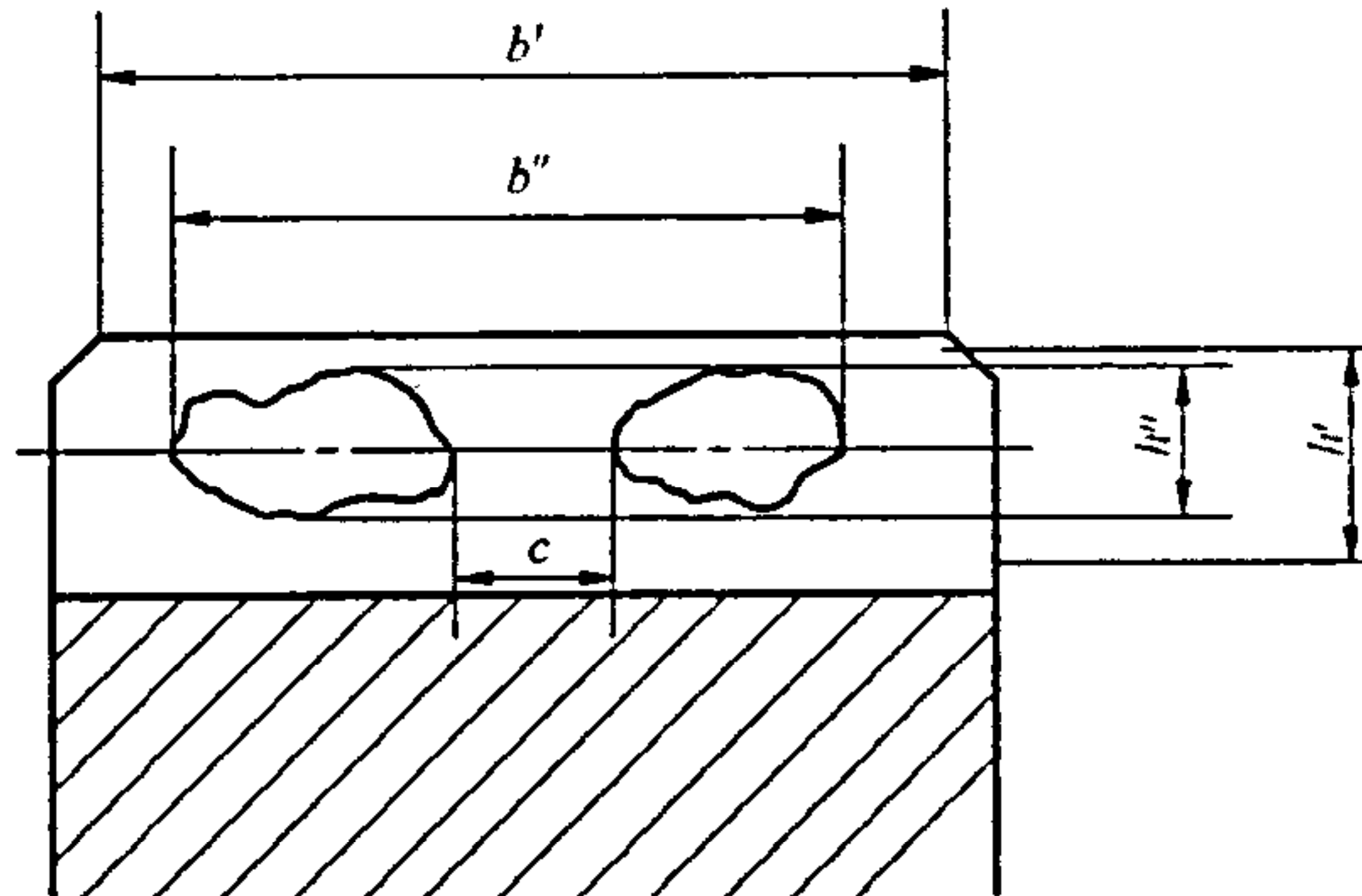


图 E.13 接触斑点图

E.8.3.2 接触斑点的位置

对于齿面不修形的齿轮,接触斑点的分布位置应趋近齿面中部,齿顶和两端部棱边不允许接触。
对于修形齿轮,接触斑点的位置按设计要求规定。

E.9 齿轮副侧隙的检验

齿轮副侧隙的检验包括齿轮副圆周侧隙 j_{wt} 和法向侧隙 j_{bn} 的检验。

E.9.1 测量方法和测量仪器

齿轮副侧隙的测量方法为单点法。

单点法在箱体上对安装好的齿轮副进行测量,也可在滚动试验机上进行测量。

E.9.2 单点法测量原理

单点法测量圆周侧隙的原理见图 E.14。单点测量圆周侧隙时,在中心距和使用中心距相同的情况下,将齿轮副的一个齿轮固定,在另一个齿轮的分度圆切线方向上放置一指示表,然后晃动此齿轮,其晃动量由指示表读出,即为圆周侧隙值 j_{wt} 。

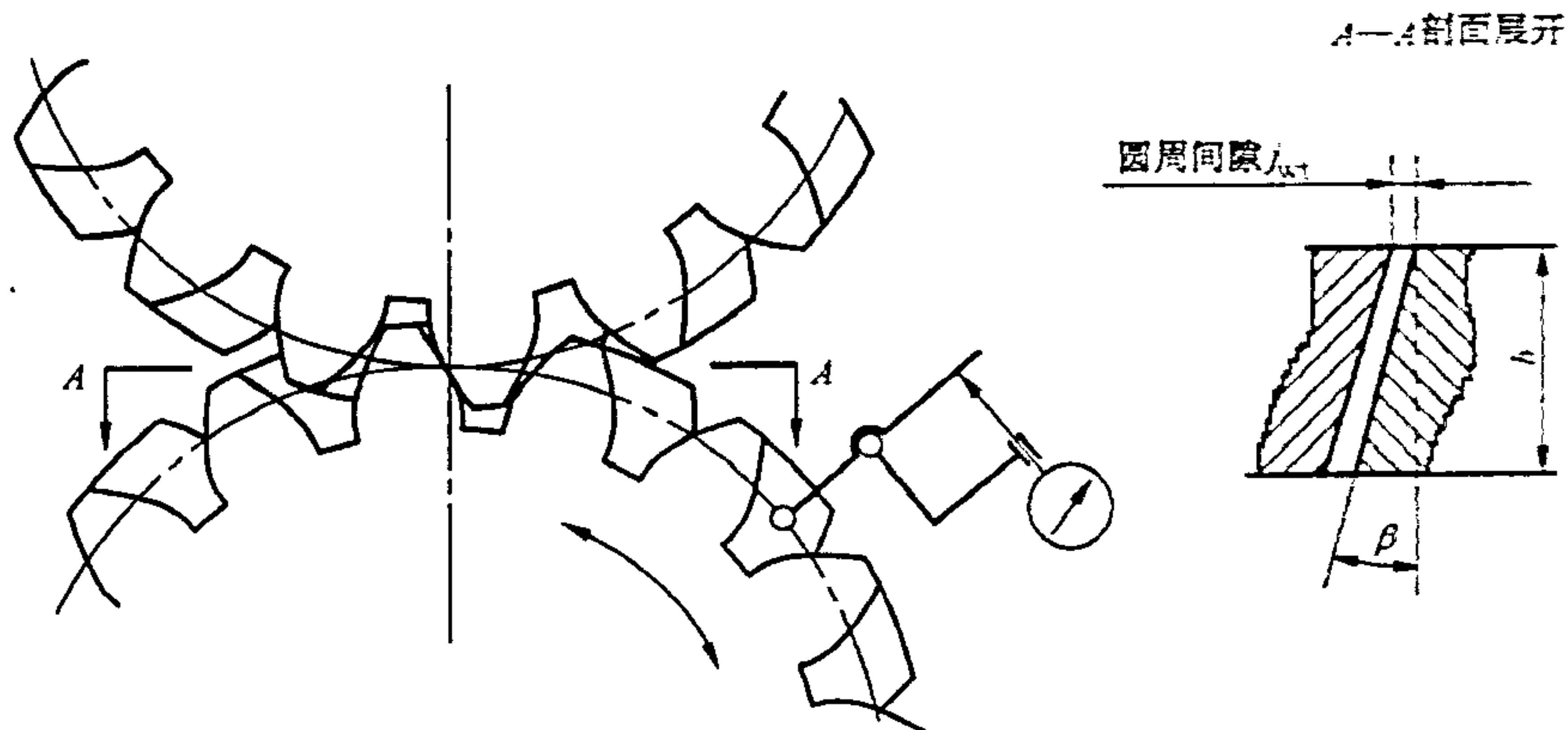


图 E.14 圆周侧隙单点测量示意图

单点测量法向侧隙的原理见图 E.15。单点测量法向侧隙时,在中心距和使用中心距相同的情

况下,可用测片或塞片进行测量,也可和测量圆周侧隙相似使用指示表,但要将指示表测头置于与齿面垂直的方向上,此时从指示表上读出的晃动量即为法向侧隙值。

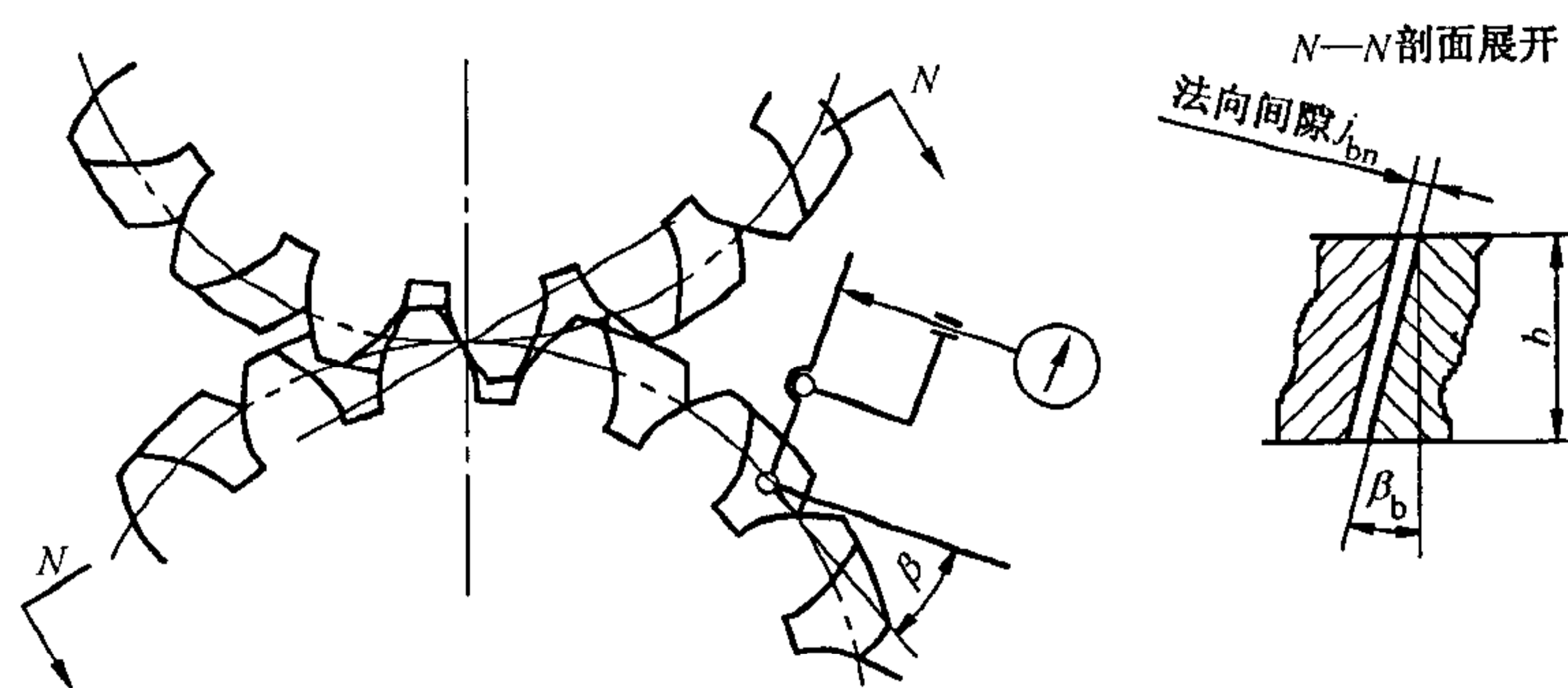


图 E.15 法向侧隙单点测量示意图

E.9.3 测量

E.9.3.1 测量仪器的检定

测量用的计量器具应按检定规程或其他有关技术文件的规定进行检定,经计量部门检定合格后方可使用。

E.9.3.2 测量基准的确定

测量基准的确定方法见附录 B。

E.9.3.3 单点法测量位置的确定

应对大齿轮每转过大约 60° 的位置进行齿轮副侧隙的测量。

E.9.3 测量结果的处理

单点法测量侧隙时,可直接在指示表上读出或根据测片或塞片的厚度定值。以在规定的各测量位置中,测得的最大侧隙和最小侧隙作为测量结果。

j_{bn} 在被测齿轮齿面法线方向计值, j_{wt} 在被测齿轮分度圆切线方向计值,以其他方向测量时应对测得值进行换算,换算公式见附录 C。

附录 F
(规范性附录)

齿距累积总偏差跨齿测量数据处理方法

齿距累积总偏差跨齿测量数据处理方法有计算法和作图法。

F.1 计算法

从跨齿测量数据中求取 F_p 的方法列于表 F.1~表 F.5, 以 $z=60$, 跨齿数 $N=6$, 分组数 $S=10$ 为例, 进行计算。

表 F.1 跨齿测量齿距累积偏差的数据处理 单位为微米

跨齿序 j	齿序 i	相对跨齿距偏差 (读数值) P_j	跨齿距偏差 $f_{pj} = P_j - P_m$	相对 0# 齿的跨齿距累积总偏差 $F_{pj} = \sum_{j=1}^i f_{pj}$
0(0)	0(60)	0	-4	0
1	6	-1	-3	-4
2	12	-1	-3	-7
3	18	-8	-4	-10
4	24	-10	-6	-6
5	30	-9	-5	0
6	36	-7	-3	-5
7	42	-7	-3	-8
8	48	+1	-5	-11
9	54	+2	-6	-5
10	60			0

计算结果给出了相对 0# 齿的跨齿齿距累积总偏差的最大值 $F_{pimax} = +10$, 最小值 $F_{pimin} = -11$ 。为了求得 F_{pimax} 应对 $i=12\sim18, i=18\sim24$ 进行逐齿补点测量。为了求得 F_{pimin} 应对 $i=42\sim48, i=48\sim54$ 进行逐齿补点测量。补点测量数据的处理方法列于表 F.2~表 F.5。

表 F.2 $i=12\sim18$ 逐齿补点数据处理 单位为微米

跨齿序 j	对 0# 齿的跨齿距累积总偏差 F_{pj}	齿序 i	相对齿距偏差 (读数值) P'_i	齿距偏差 f'_{pi}	相对第 12 齿的 齿距累积总偏差 F'_{pi}	相对 0# 齿的齿距 累积总偏差 F_{pi}
2	+7	12	0	+1	0	-7
		13	+1	+2	-1	-8
		14	0	+1	-3	-10
		15	+1	+2	-4	-11
		16	-4	-3	-6	-13
		17	-1	0	-5	-10
3	+10	18	-1	0	-3	-10

表 F.2 中:

$$f'_{pti} = P'_i - P'_m \dots\dots\dots (F.1)$$

$$P'_m = \frac{\sum_{i=jN}^{(j+1)N} P'_i (F_{p(j+i)} - F_{pj})}{N} \dots\dots\dots (F.2)$$

$$F'_{pi} = \sum_{i=jN}^i f'_{pti} \dots\dots\dots (F.3)$$

$$F_{pi} = F_{pj} + F'_{pi} \dots\dots\dots (F.4)$$

表 F.3 $i=18\sim 24$ 逐齿补点数据处理

单位为微米

跨齿序 j	对 0# 齿的跨齿距累积总偏差 F_{pj}	齿序 i	相对齿距偏差(读数值) P'_i	齿距偏差 f'_{pti}	相对第 18 齿的齿距累积总偏差 F'_{pi}	相对 0# 齿的齿距累积总偏差 F_{pi}
3	+10	18	0	-1	0	+10
		19	+1	0	-1	+9
		20	0	-1	-1	+9
		21	0	-1	-2	+8
		22	0	-1	-3	+7
		23	0	-1	-4	+6
4	+6	24	+1	0	-4	+6

表 F.4 $i=42\sim 48$ 逐齿补点数据处理

单位为微米

跨齿序 j	对 0# 齿的跨齿距累积总偏差 F_{pj}	齿序 i	相对齿距偏差(读数值) P'_i	齿距偏差 f'_{pti}	相对第 42 齿的齿距累积总偏差 F'_{pi}	相对 0# 齿的齿距累积总偏差 F_{pi}
7	-8	42	0	-2	0	-8
		43	+1	-1	-2	-10
		44	0	-2	-3	-11
		45	+1	-1	-5	-13
		46	+3	+1	-6	-14
		47	+4	+2	-5	-13
8	-11	48	+4	+2	-3	-11

表 F.5 $i=48\sim 54$ 逐齿补点数据处理

单位为微米

跨齿序 j	对 0# 齿的跨齿距累积总偏差 F_{pj}	齿序 i	相对齿距偏差(读数值) P'_i	齿距偏差 f'_{pti}	相对第 48 齿的齿距累积总偏差 F'_{pi}	相对 0# 齿的齿距累积总偏差 F_{pi}
8	-11	48	0	+1	0	-11
		49	+1	+2	+1	-10
		50	-2	-1	+3	-8
		51	0	+1	+2	-9
		52	0	+1	+3	-8
		53	0	+1	+4	-7
9	-6	54	0	+1	+5	-6

从表 F.2、表 F.3 求得： $F_{pimax} = (+13)\mu\text{m}$ ；从表 F.4、表 F.5 求得： $F_{pimin} = (-14)\mu\text{m}$ 。
 则： $F_p = F_{pimax} - F_{pimin} = (+13) - (-14) = 27\mu\text{m}$ 。

F.2 作图法

第一步作跨齿齿距累积总偏差图(见图 F.1)：以直角坐标图上的 x 坐标代表跨齿序号 j ， y 坐标代表相对齿距偏差的累积值 F_{pj} ：

$$F_{pj} = \sum_{j=0}^j P_j \quad \dots\dots\dots(F.5)$$

式中：

P_j ——在分度圆上测得的弧长偏差量，单位为微米(μm)。

将测得值(表 F.1 中的 P_i)按跨齿序 j 依次累积标在坐标图上，过原点和最后一个偏差点连一直线，该直线即为计算跨齿齿距累积总偏差的基准线。找出所有偏差点中相对基准线的纵坐标最大值 $F_{pjmax} = +10(i=18)$ ，最小值 $F_{pjmin} = -11(i=48)$ 。

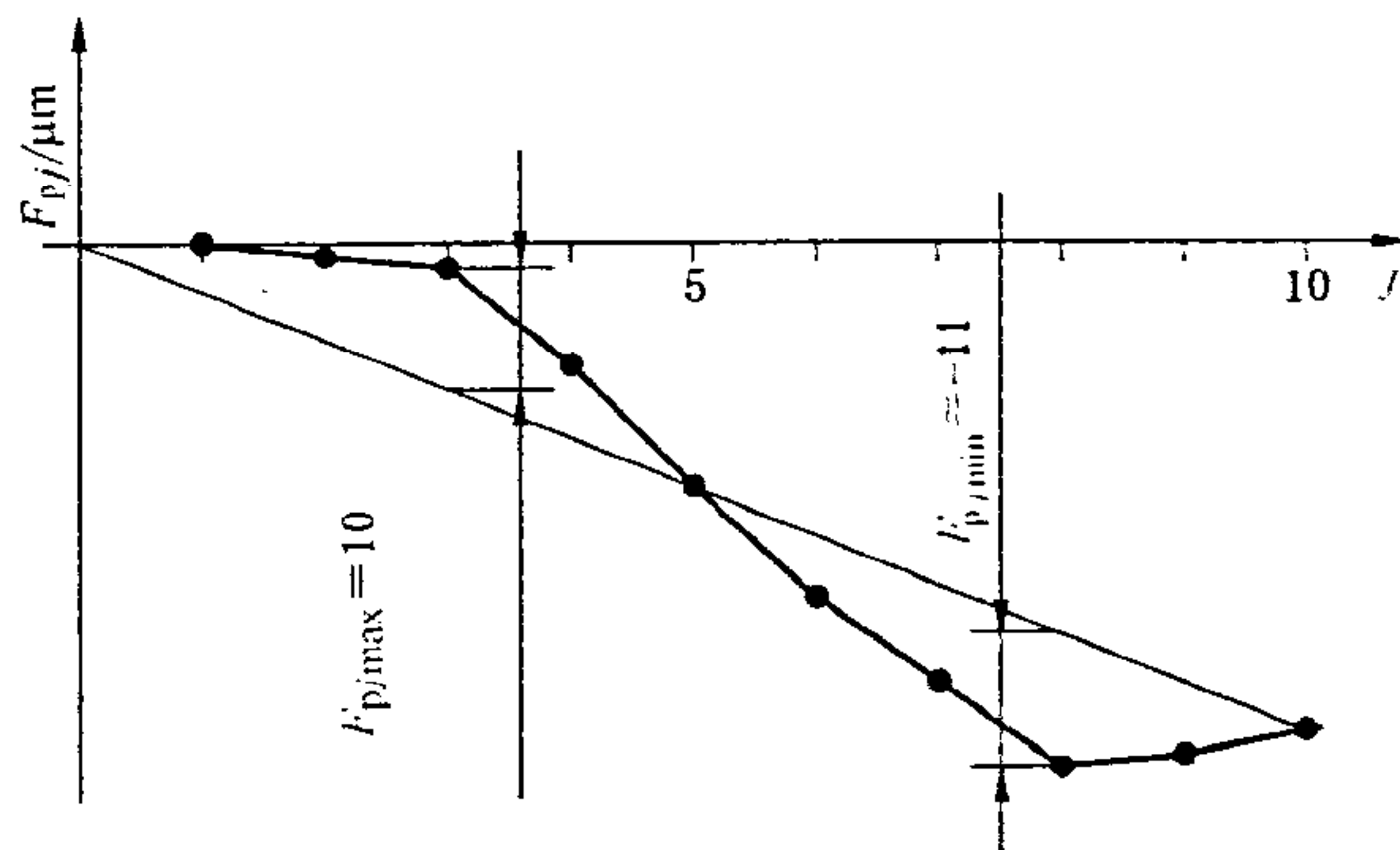


图 F.1 跨齿齿距累积偏差图

第二步作分组逐齿齿距累积偏差图：在直角坐标图上 x 坐标代表组内齿序号 i ， y 坐标代表相对齿距偏差的累积值：

$$F'_{pi} = \sum_{i=nj}^i P'_i \quad \dots\dots\dots(F.6)$$

将测得值(表 F.2 中的 P'_i)按齿序 i 依次累积标在坐标图上，将最后一个偏差点的 y 坐标减去 $(F_{p(j+1)} - F_{pj})$ 后，与原点连一直线，该直线即为计算组内各齿相对于 j 齿的齿距累积总偏差的基准线。作与该基准线 y 坐标相距 $(-F_{pj})$ 的平行线，则此平行线为各齿相对于 0° 齿的齿距累积总偏差的基准线。按上述方法分别作 $i=12\sim 18, i=18\sim 24, i=24\sim 48, i=48\sim 54$ 四组的齿距累积总偏差图(图 F.2~图 F.5)，并从图中求出 $F_{pimax} = +13$ ，最小值 $F_{pimin} = -14$ 。

则： $F_{pimax} - F_{pimin} = (+13) - (-14) = 27\mu\text{m}$ 。

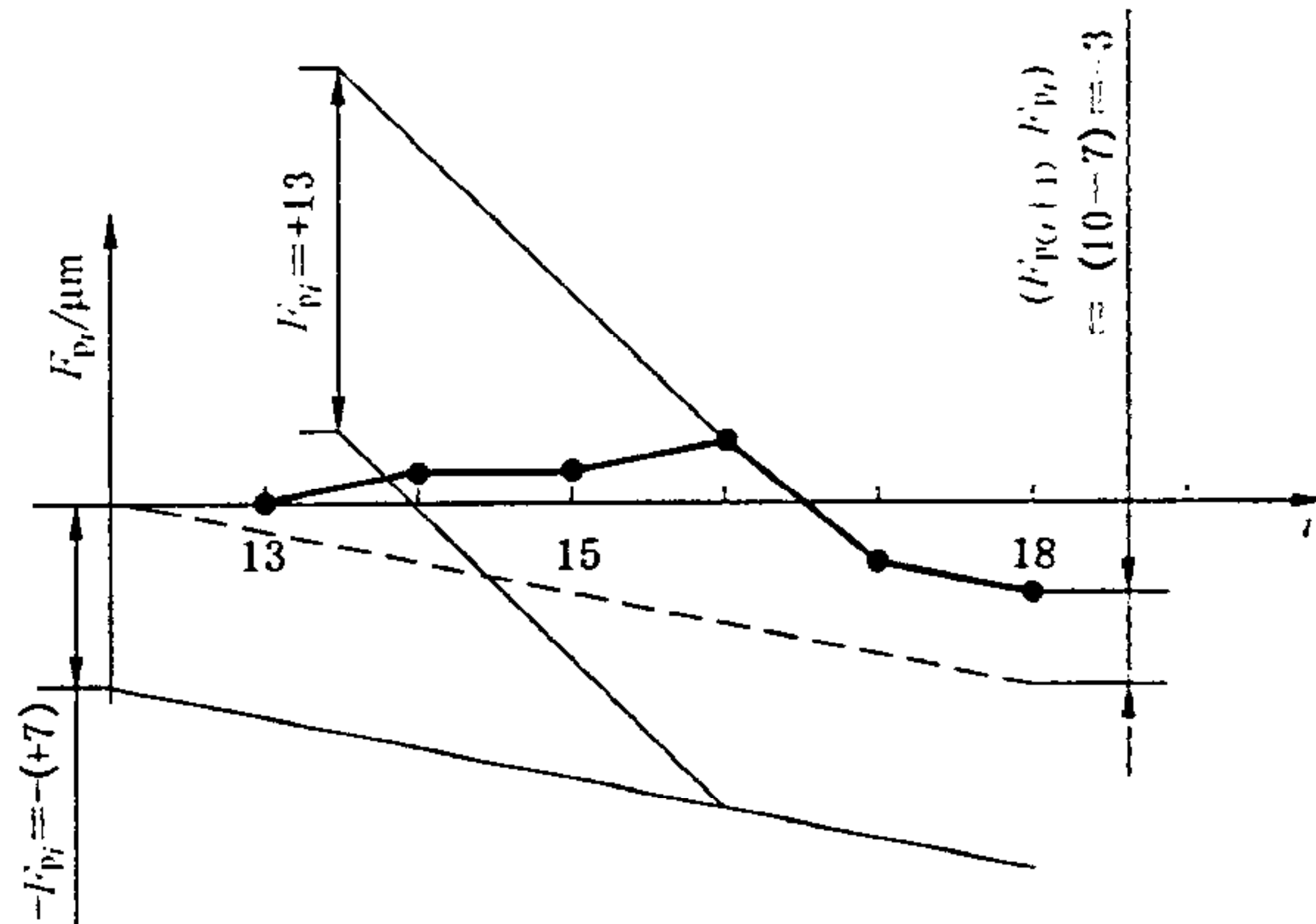


图 F.2 $i=12\sim 18$ 逐齿齿距累积偏差图

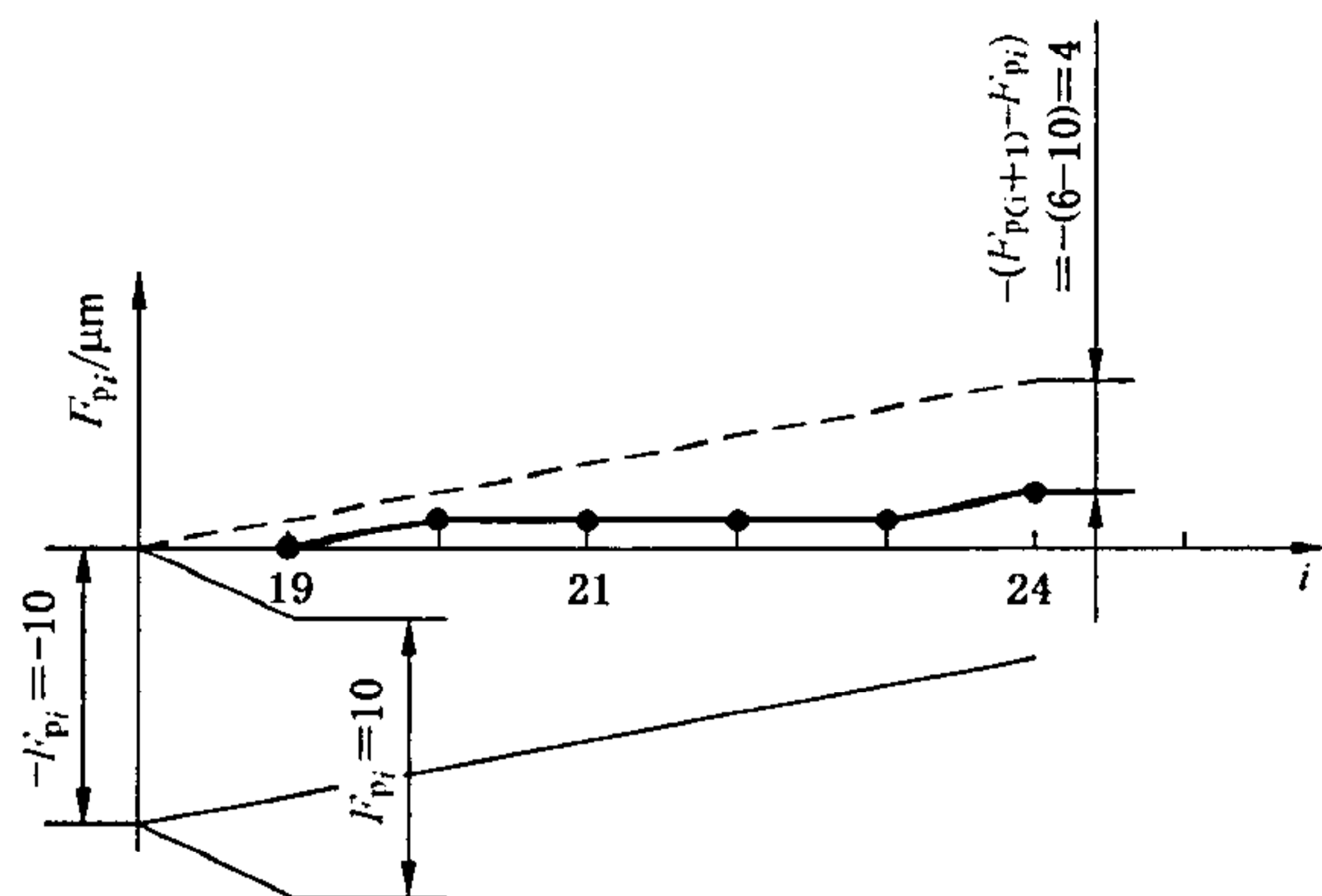


图 F.3 $i=18\sim 24$ 逐齿齿距累积偏差图

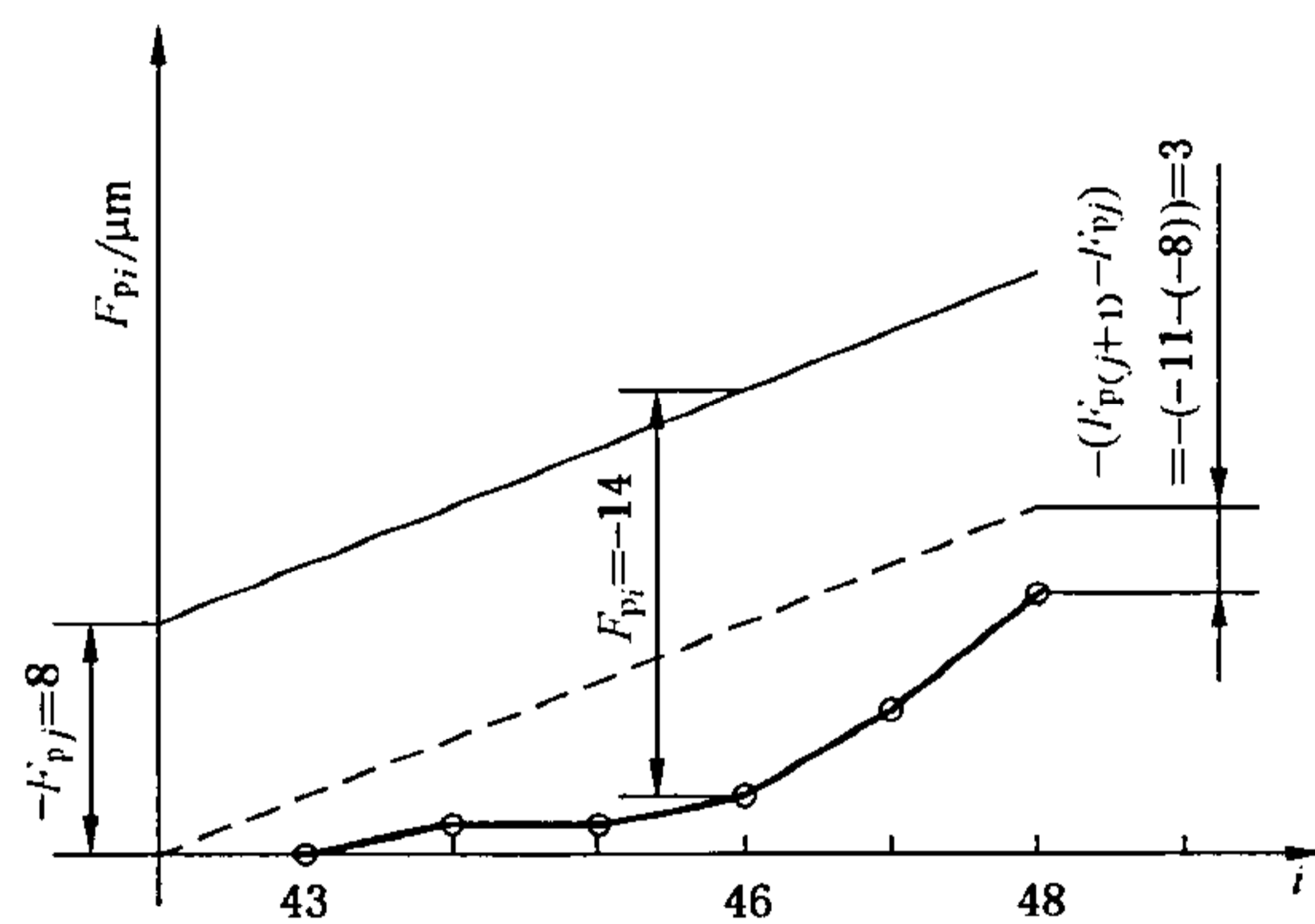


图 F.4 $i=42\sim 48$ 逐齿齿距累积偏差图

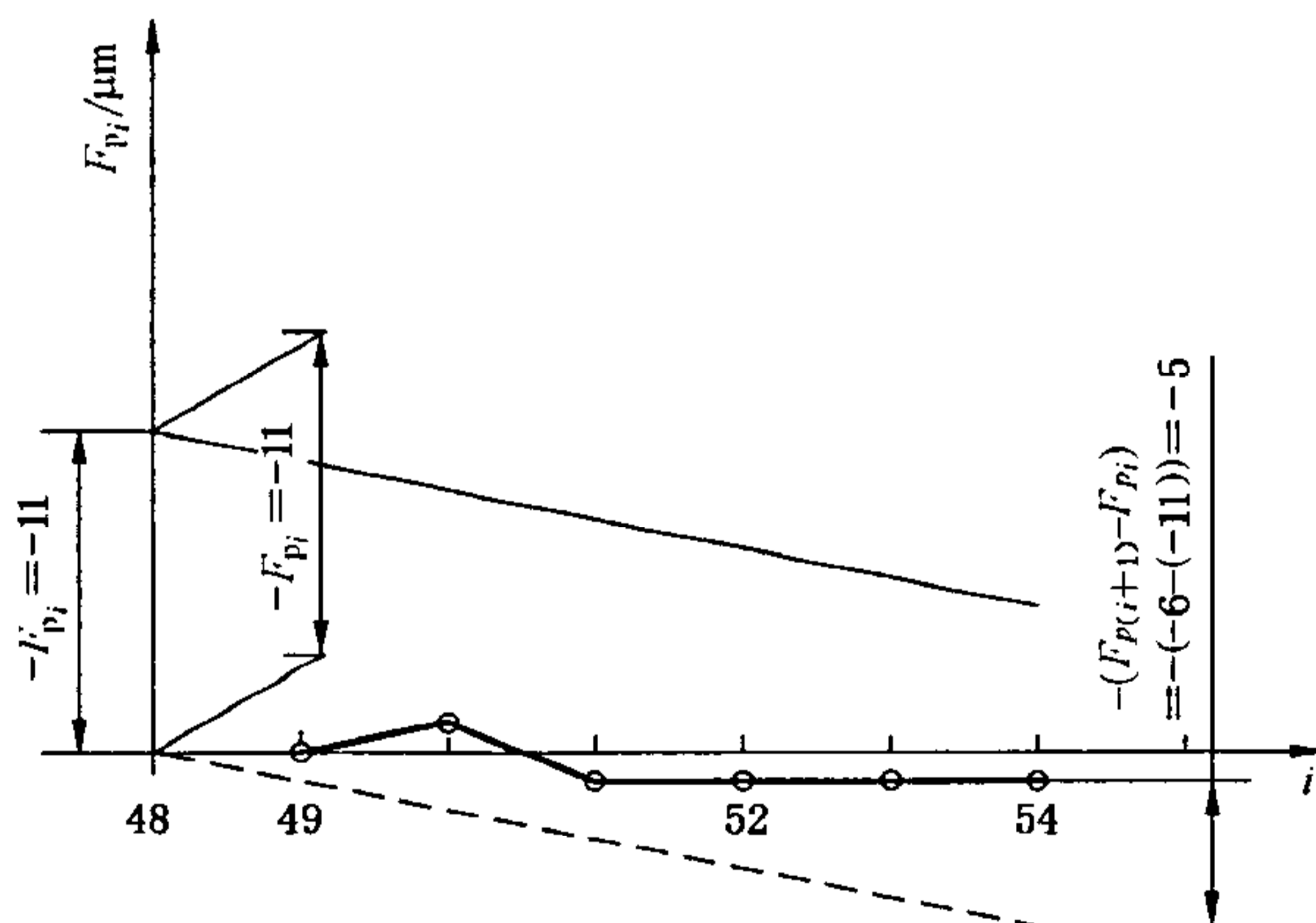


图 F.5 $i=48\sim 54$ 逐齿齿距累积偏差图

中华人民共和国
国家标准
渐开线圆柱齿轮精度 检验细则
GB/T 13924—2008

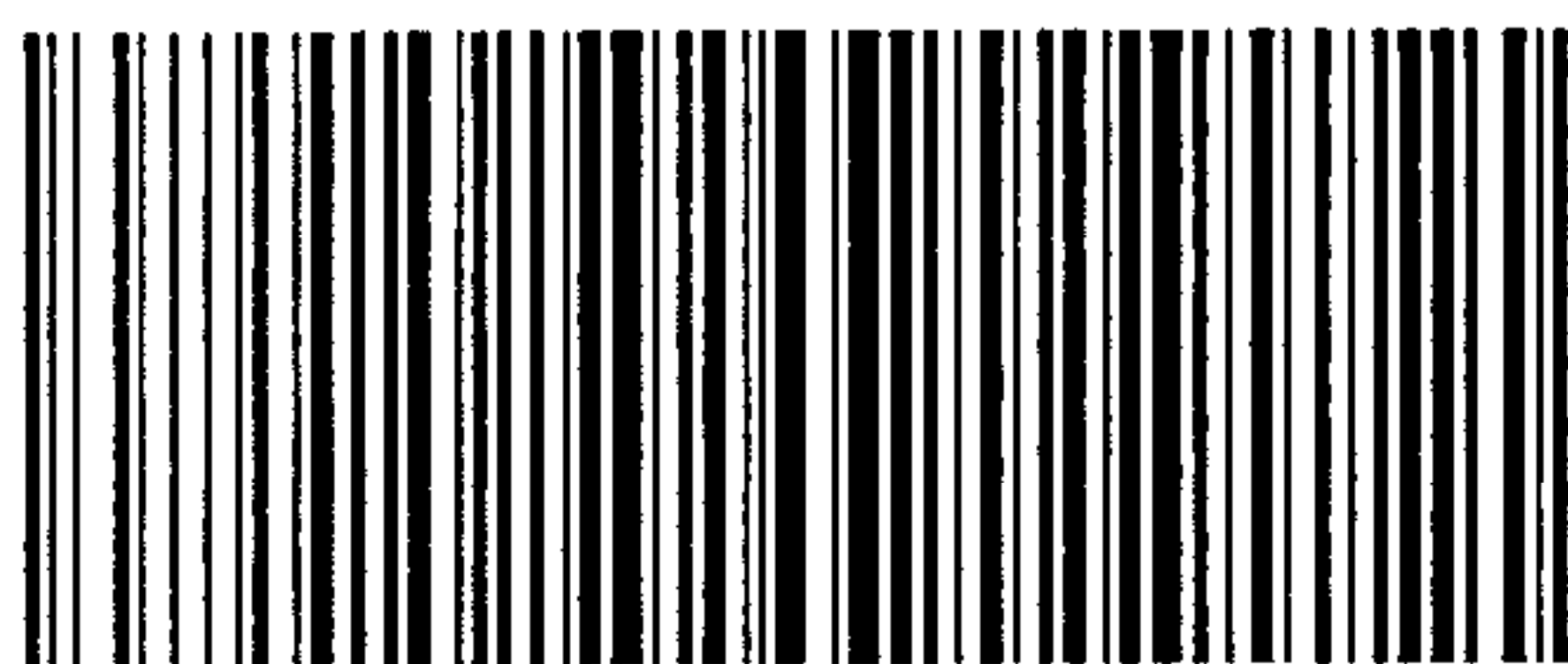
*
中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn
电话:68523946 68517548
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*
开本 880×1230 1/16 印张 4.25 字数 120 千字
2008年9月第一版 2008年9月第一次印刷

*
书号: 155066·1-32235

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68533533



GB/T 13924-2008