ICS 21.200
J 17

中华人民共和国国家标准

GB/T 11365—2019/ISO 17485:2006
代替 GB/T 11365—1989

锥齿轮　精度制

Bevel gears—ISO system of accuracy

(ISO 17485:2006, IDT)

2019-10-17 发布　　2020-05-01 实施

国家市场监督管理总局
中国国家标准化管理委员会　发布

目　　次

前言 …… Ⅰ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义、符号 …… 1
3.1　术语和定义 …… 1
3.2　基本术语和符号 …… 4
4　精度等级制的应用 …… 6
4.1　概述 …… 6
4.2　精度等级 …… 7
4.3　公差方向 …… 7
4.4　附加特性 …… 7
5　公差 …… 7
5.1　公差值 …… 7
5.2　分级系数 …… 7
5.3　圆整规则 …… 8
5.4　公差公式 …… 8
6　测量方法的使用 …… 9
6.1　测量方法 …… 9
6.2　推荐的测量控制方法 …… 10
6.3　测量数据的滤波 …… 11
6.4　轮齿接触斑点检验 …… 11
附录A（资料性附录）　公差示例表 …… 12
附录B（资料性附录）　单面啮合综合测量方法 …… 14
附录C（资料性附录）　小模数锥齿轮的精度 …… 18
附录D（资料性附录）　综合数据说明 …… 20
参考文献 …… 26

前　言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 11365—1989《锥齿轮和准双曲面齿轮　精度》，与 GB/T 11365—1989 相比，主要技术变化如下：

——公差数值原来由表格给出，改为由公式计算得出；

——术语定义由 23 项修订为 10 项，如切向综合误差改为切向综合总偏差，增加了传动误差术语定义，删减了轴交角综合误差、齿形相对误差等；有些术语定义放在资料性附录里，如双面啮合综合偏差等。

本标准使用翻译法等同采用 ISO 17485：2006《锥齿轮　精度制》。

本标准做了下列编辑性修改：

——表 1 和表 2 中 f_{is} 的首次使用处由“3.1.6”改为“3.1.5”；

——表 1 中 R_i 的首次使用处由“图 1”改为“图 2”；

——表 2 中的 f_{is}(design)改为 $f_{ist(design)}$；

——5.4 条的公式右边序号“(2)”～“(9)”依次改为“(4)”～“(11)”，段落文字中的公式序号不变。

本标准由全国齿轮标准化技术委员会(SAC/TC 52)提出并归口。

本标准起草单位：河南科技大学、郑州机械研究所有限公司、山东华成中德传动设备有限公司、哈尔滨精达测量仪器有限公司、北京工业大学、江苏中工高端装备研究院有限公司、西北工业大学、北京航空航天大学。

本标准主要起草人：魏冰阳、王志刚、邓效忠、李天兴、鞠国强、周广才、曹雪梅、毛玺、刘世军、吴鲁纪、管洪杰、石照耀、王长路、赵宁、王延忠、陶常彬、张元国。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/T 11365—1989。

锥齿轮　精度制

1　范围

本标准规定了未装配的锥齿轮、准双曲面齿轮及其组件的精度术语、等级与公差值。即规定了齿形精度的术语、等级体系结构和允许值。

本标准为供需双方提供了统一的公差尺度，定义了10个精度等级，从2级到11级，精度逐级降低。5.4中规定了齿轮精度的公差计算公式及其适用范围。这些公式的适用范围如下：

$$1.0\ \text{mm} \leqslant m_{mn} \leqslant 50\ \text{mm}$$

$$5 \leqslant z \leqslant 400$$

$$5\ \text{mm} \leqslant d_T \leqslant 2\ 500\ \text{mm}$$

其中：

m_{mn}——中点法向模数；

z　——齿数；

d_T ——公差基准直径。

本标准推荐的测量方法见第6章。公差值根据锥齿轮具体尺寸计算得到，没有以数据表格形式给出。但为了直观，附录A给出了部分公差值的表格和插图。

本标准不适用于减速器、增速器、齿轮马达、轴装式减速器、高速传动及其他按给定功率、速度、传动比或应用环境而制造的封闭式齿轮装置。

锥齿轮的设计并不局限于本标准范围。确定满足工况要求的齿轮精度等级，需要在专业领域丰富的工作经验。注意：单件齿轮的设计公差不可以直接对应齿轮副装配后的精度。

超出本标准规定范围的齿轮公差，应根据实际工况确定。这可能需要另外的公差设置，不同于本标准中公式的计算。

2　规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 3374.1—2010　齿轮　术语和定义　第1部分：几何学定义(ISO 1122-1:1998，IDT)

ISO 23509　锥齿轮和准双曲面齿轮几何学(Bevel and hypoid gear geometry)

3　术语和定义、符号

GB/T 3374.1—2010和ISO 23509界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

本标准包含的一些符号和术语可能与其他一些文件或标准不同，使用者应明白自己所使用标准符号、术语和定义的含义。

3.1　术语和定义

3.1.1

分度偏差　index deviation

F_X

相对于基准齿面，任意齿面与其理论位置的偏移量。

3.1.2

中点法向模数　mean normal module

m_{mn}

中点锥距处法面上节圆直径(mm)与齿数的比值。

$$m_{mn}=\frac{d_m}{z}\cos\beta_m=\frac{R_m}{R_e}m_{et}\cos\beta_m \qquad \cdots\cdots(1)$$

式中：

d_m ——中点节圆直径；

z ——齿数；

β_m ——中点螺旋角；

R_m ——中点锥距；

R_e ——外锥距；

m_{et} ——大端端面模数。

3.1.3

测量齿轮　reference gear

用来与被检测齿轮啮合以测量综合偏差和接触斑点而专门设计的精度已知的齿轮。

3.1.4

齿圈跳动总偏差　total runout deviation

F_r

在接近齿高中部的公差圆上，将测头(球形或锥形)依次放入每个齿槽，并使其与左、右齿面同时保持接触，在垂直于分度锥方向测量出的最大和最小跳动量的差值。

注：在5.4.4中给出了齿圈跳动的公差计算方法。

3.1.5

一齿切向综合偏差　tooth mesh component single-flank composite deviation

f_{is}

齿轮单面啮合测试时，逐齿测量大齿轮一周后，除去长周期成分(偏心距的正弦波影响)，得到的任一齿距($360^\circ/z$)切向综合偏差的最大值。

注：本标准规定的一齿切向综合偏差方向是沿着公差基准圆圆弧的方向。5.4.5中给出了该项公差。

3.1.6

切向综合总偏差　total single-flank composite deviation

F_{is}

齿轮单面啮合测试时，逐齿测量大齿轮一周后，得到的切向综合偏差的最大值与最小值之差。

注：本标准规定的切向综合总偏差的公差方向是指沿着公差基准圆圆弧方向，参见附录B。5.4.6中给出了该项公差。

3.1.7

单个齿距偏差　single pitch deviation

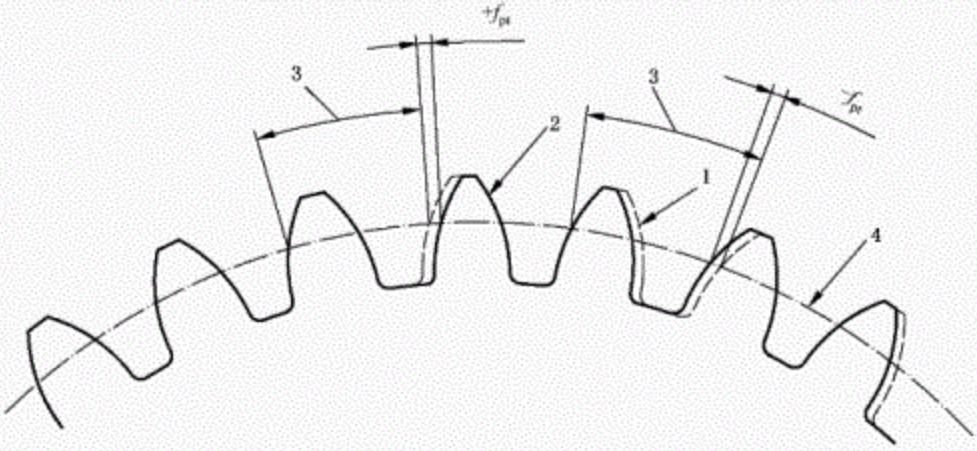
f_{pt}

同一测量圆上测头从任意齿面上的一点到相邻同侧齿面上的一点，实际齿面相对于其理论位置的偏移量。

见图1。

注1：测量值的代数符号可以区分齿距偏差方向。负(−)偏差表示齿面的实际齿距小于理论齿距；正(+)偏差表示齿面的实际齿距大于理论齿距。

注 2：本标准规定的单个齿距偏差是沿公差基准圆圆弧方向测量。5.4.2 中给出了该项公差。



说明：

1——理论齿面位置；

2——实际齿面位置；

3——理论齿距；

4——公差基准圆。

图 1　齿距偏差

3.1.8

公差基准直径　tolerance diameter

d_T

中点锥距(R_m)处与工作齿高中点相交处的直径。

见图 2。

注：工作齿高中点是两个齿轮在中点锥距处啮合齿深的一半。d_T 值可用式(2)或式(3)确定。

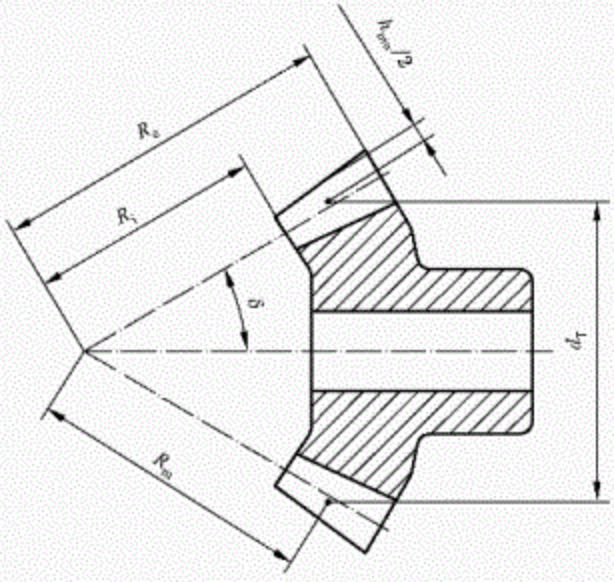


图 2　公差基准直径

$$d_{T1}=d_{m1}+2(0.5h_{mw}-h_{sm2})\cos\delta_1=d_{m1}+(h_{am1}-h_{am2})\cos\delta_1 \quad \cdots\cdots(2)$$

$$d_{T2}=d_{m2}-2(0.5h_{mw}-h_{sm2})\cos\delta_2=d_{m2}+(h_{am2}-h_{am1})\cos\delta_2 \quad \cdots\cdots(3)$$

式中：

$d_{m1,2}$——中点节圆直径(小轮，大轮)；

h_{mw}——中点工作齿高；

$h_{am1,2}$——中点齿顶高；

$\delta_{1,2}$——节锥角(小轮，大轮)。

这些值可以从齿轮几何设计、加工调整卡，或者通过 ISO 10300 或 ISO 23509 中所述的计算方法得到。

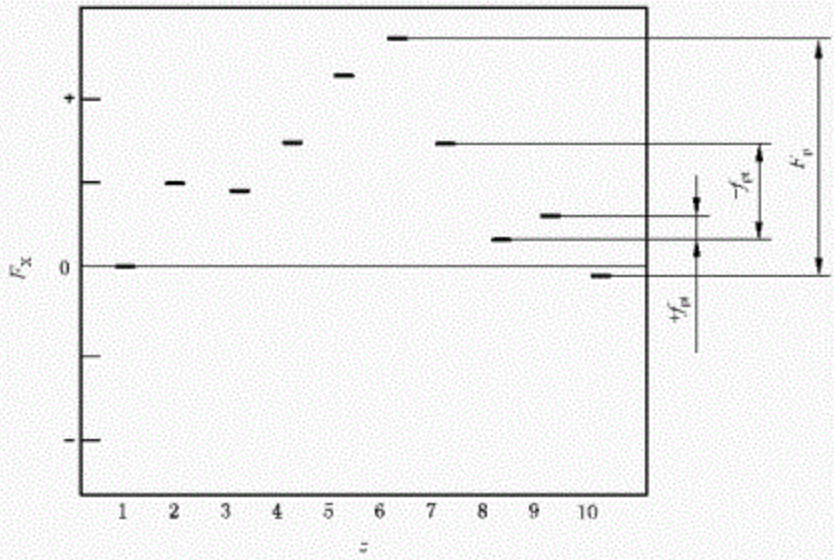
3.1.9

齿距累积总偏差　total cumulative pitch deviation

F_P

对于指定的左齿面或右齿面，任意两个分度偏差之间的最大代数差，不管读数方向或代数符号。见图 3。

注：本标准规定的齿距累积总偏差是指沿着公差基准圆的圆弧方向。5.4.3 中给出了该项公差。



说明：

F_X——分度偏差；

f_{pt}——单个齿距偏差；

F_P——齿距累积总偏差；

z——齿序数。

图 3　单测头仪器测得的齿距数据

3.1.10

传动误差　transmission error

θ_e

对于给定主动齿轮的角位移，被动齿轮产生的实际角位移与理论角位移之差。

注：关于传动误差和切向综合偏差的讨论，参见附录 B。

3.2　基本术语和符号

本标准中使用的术语按照符号的字母顺序编列在表 1 中，按名称的字母顺序编列在表 2 中。为了更明晰表述，对一些术语进行了重新归类编排。

表 1　术语符号(按符号的字母顺序排列)

符号	术语名称	首次使用处(节/段/图)
$d_{m1,2}$	中点节圆直径(小轮,大轮)	3.1.8
d_T	公差基准直径	1
F_{is}	切向综合总偏差	3.1.6
F_{isT}	切向综合总公差	5.4.6
F_p	齿距累积总偏差	3.1.9
F_{pT}	齿距累积总公差	5.4.3
F_r	齿圈跳动总偏差	3.1.4
F_{rT}	齿圈跳动公差	5.4.4
F_X	分度偏差	3.1.1
f_{is}	一齿切向综合偏差	3.1.5
$f_{is(design)}$	一齿切向综合偏差设计值	5.4.5
f_{isT}	一齿切向综合公差	5.4.5
f_{pt}	单个齿距偏差	3.1.7
f_{ptT}	单个齿距公差	5.4.2
h_{amn}	中点齿顶高	3.1.8
h_{mw}	中点工作齿高	3.1.8
m_{et}	大端端面模数	3.1.2
m_{mn}	中点法向模数	1
R_e	外锥距	3.1.2
R_i	内锥距	图 2
R_m	中点锥距	3.1.2
$z_{1,2}$	齿数(小轮,大轮)	1
β_m	中点螺旋角	3.1.2
$\delta_{1,2}$	节锥角(小轮,大轮)	3.1.8
θ_e	传动误差	3.1.10

下标字符的含义

符号	术语	符号	术语
m	中点	1	小轮
T	公差	2	大轮

表 2　术语符号(按术语的字母顺序排列)

符号	术语	首次使用处(节/段/图)
h_{am}	中点齿顶高——Addendum, mean	3.1.8
R_m	中点锥距——Cone distance, mean	3.1.2
R_e	外锥距——Cone distance, outer	1
R_i	内锥距——Cone distance, inner	图 1
F_p	齿距累积总偏差——Cumulative pitch deviation, total	3.1.9
F_{pT}	齿距累积总公差——Cumulative pitch tolerance, total	5.4.3
d_T	公差基准直径——Diameter, tolerance	3.1.8
F_X	分度偏差——Index deviation	3.1.1
m_{mn}	中点法向模数——Module, mean normal	3.1.2
m_{et}	大端端面模数——Module, outer transverse	3.1.2
$z_{1,2}$	齿数(小轮,大轮)——Number of teeth(pinion or wheel)	1
$\delta_{1,2}$	节锥角(小轮,大轮)——Pitch angle(pinion or wheel)	3.1.8
$d_{m1,2}$	中点节圆直径(小轮,大轮)——Pitch diameter, mean(pinion or wheel)	3.1.8
F_r	齿圈跳动总偏差——Runout deviation, total	3.1.4
F_{rT}	齿圈跳动公差——Runout tolerance	5.4.4
$f_{ia(design)}$	一齿切向综合偏差设计值——Single-flank composite deviation, design tooth mesh component	5.4.5
f_{ia}	一齿切向综合偏差——Single-flank composite deviation, tooth mesh component	3.1.5
f_{iaT}	一齿切向综合公差——Single-flank composite tolerance, tooth mesh component	5.4.5
F_{ia}	切向综合总偏差——Single-flank composite deviation, total	3.1.6
F_{iaT}	切向综合总公差——Single-flank composite tolerance, total	5.4.6
f_{pt}	单个齿距偏差——Single pitch deviation	3.1.7
f_{ptT}	单个齿距公差——Single pitch tolerance	5.4.2
θ_e	传动误差——Transmission error	3.1.10
β_m	中点螺旋角——Mean spiral angle	3.1.2
h_{mw}	中点工作齿高——Mean working depth	3.1.8

4　精度等级制的应用

4.1　概述

锥齿轮的精度等级由数字代码表示。

4.2 精度等级

4.2.1 总则

本标准规定了10个精度等级，从2级到11级。

精度等级2级的公差最小，11级的公差最大。精度等级用规范的公差几何级数加以划分(见5.2)。

4.2.2 齿轮精度评定

齿轮精度等级通过以偏差测量值与5.4中公式的计算值进行比较来判定。测量应相对于基准轴线进行。关于基准轴的定义参见GB/Z 18620.3。

精度等级的评定方法按照表4规定，总的精度等级按单个精度等级中最低一级确定。注意，如果有特殊需要，齿轮的各偏差项可以规定不同的精度等级。

另外，如果不进行单面切向综合偏差的测量，建议增加接触斑点检查和齿厚检测。接触斑点的要求应由供需双方在制造前商定。更多信息参见ISO/TR 10064-6。

4.2.3 公差示例表

附录A提供了公差示例表，仅供参考。

4.3 公差方向

公差方向在第3章中做了规定，它可能是指齿面的法向、倾斜某个角度或沿指定的圆弧方向。如果测量方向和规定的公差方向不一致，则需要将测量值修正到所规定的公差方向。

当测量仪器的测量方向是法向，而指定的公差方向不是法向时，在进行分析和公差比较前，应用测量值修正系数放大测量数值。一般情况下，测量值修正系数是法线方向和所指定的公差方向之间夹角的余弦。

4.4 附加特性

在某些工况场合，为确保齿轮的使用性能，允许注明一些附加特性，并规定适当的公差。例如，在特定场合，对齿形偏差、齿廓偏差、齿厚偏差或表面粗糙度有附加要求的，应在图纸或采购说明书中注明。这些特性的测量方法参见ISO/TR 10064-6。

5 公差

5.1 公差值

公差值应采用5.4中给出的公式计算得到，单位以微米(μm)表示。超出公式范围的部分不属于本标准的规定，不能使用外推插值。对于这类齿轮的特殊公差要求由供需双方协商。

测量仪器应在合适的环境中使用，并经过适当的精度校准，参见ISO/TR 10064-5。

公差方向和测量直径按照第3章规定。

5.2 分级系数

两个相邻等级之间的分级系数是$\sqrt{2}$。乘/除以$\sqrt{2}$得到下一个更高/更低等级的公差。任何一个精度等级的公差值可以通过4级精度计算未圆整的公差值乘以$\sqrt{2}^{(B-4)}$得到，B为要求的精度等级。

5.3 圆整规则

由 5.4 中公式计算的数值，按以下方法圆整：

——计算值大于 10 μm，圆整到最接近的整数；

——计算值大于 5 μm，小于或等于 10 μm，按最接近 0.5 μm 的整倍数圆整；

——计算值小于或等于 5 μm，按最接近 0.1 μm 的整倍数圆整。

5.4 公差公式

5.4.1 总则

所有公差值均定义在公差基准直径上。

5.4.2 单个齿距公差，f_{pT}

采用正或负的偏差测量值的绝对值表示。根据式(4)计算单个齿距公差 f_{pT}：

$$f_{pT}=(0.003d_T+0.3m_{mn}+5)(\sqrt{2})^{(B-4)} \quad \cdots\cdots(4)$$

其应用范围仅限于精度等级 2 级到 11 级：

$$1.0\ \text{mm}\leqslant m_{mn}\leqslant 50\ \text{mm}$$

$$5\leqslant z\leqslant 400$$

$$5\ \text{mm}\leqslant d_T\leqslant 2\ 500\ \text{mm}$$

5.4.3 齿距累积总公差，F_{pT}

根据式(5)计算：

$$F_{pT}=(0.025d_T+0.3m_{mn}+19)(\sqrt{2})^{(B-4)} \quad \cdots\cdots(5)$$

其应用范围仅限于精度等级 2 级到 11 级：

$$1.0\ \text{mm}\leqslant m_{mn}\leqslant 50\ \text{mm}$$

$$5\leqslant z\leqslant 400$$

$$5\ \text{mm}\leqslant d_T\leqslant 2\ 500\ \text{mm}$$

5.4.4 齿圈跳动公差，F_{rT}

根据式(6)计算：

$$F_{rT}=0.8(0.025d_T+0.3m_{mn}+19)(\sqrt{2})^{(B-4)} \quad \cdots\cdots(6)$$

其应用范围仅限于精度等级 4 级到 11 级：

$$1.0\ \text{mm}\leqslant m_{mn}\leqslant 50\ \text{mm}$$

$$5\leqslant z\leqslant 400$$

$$5\ \text{mm}\leqslant d_T\leqslant 2\ 500\ \text{mm}$$

5.4.5 一齿切向综合公差，f_{isT}

5.4.5.1 总则

一齿切向综合公差采用下述三种方法中的一种来确定，方法 A、方法 B、方法 C 的可信度依次降低。

5.4.5.2 方法 A

根据工程应用经验、承载能力试验或二者结合，确定一齿切向综合公差。不考虑质量等级。

5.4.5.3 方法 B 和方法 C

利用单面啮合综合偏差的短周期成分(高通滤波)的峰-峰幅值,确定一齿切向综合公差。锥齿轮副测量一周,运动曲线的最高点和最低点之间峰-峰幅值是不同的,其最大的峰-峰幅值不应大于 f_{isTmax},最小的峰-峰幅值不应小于 f_{isTmin}。

一齿切向综合公差 f_{isT} 的最大值和最小值,可用式(7)和式(8)或用式(7)和式(9)计算:

$$f_{isTmax} = f_{is(design)} + (0.375 m_{mn} + 5.0)(\sqrt{2})^{(B-4)} \quad \cdots\cdots (7)$$

f_{isTmin} 值取以下公式计算的较大者:

$$f_{isTmin} = f_{is(design)} - (0.375 m_{mn} + 5.0)(\sqrt{2})^{(B-4)} \quad \cdots\cdots (8)$$

$$f_{isTmin} = 0 \quad \cdots\cdots (9)$$

如果 f_{isTmin} 值是负的,取 $f_{isTmin}=0$。

其应用范围仅限于精度 2 级到 11 级:

$$1.0\ \text{mm} \leqslant m_{mn} \leqslant 50\ \text{mm}$$

$$5 \leqslant z \leqslant 400$$

$$5\ \text{mm} \leqslant d_T \leqslant 2\ 500\ \text{mm}$$

如果测量仪器的读数单位是角度,应根据公差基准直径 d_T 将读数换算成微米。

在式(7)~式(9)中,一齿切向综合偏差设计值 $f_{is(design)}$ 采用方法 B 或方法 C 确定。

方法 B:通过设计和试验分析确定。设计值大小的选择应考虑安装误差、齿形误差以及工作载荷等条件的影响。补充信息参见附录 B。

方法 C:如果缺乏设计和试验数值,采用式(10)计算:

$$f_{is(design)} = q m_{mn} + 1.5 \quad \cdots\cdots (10)$$

表 B.1 中给出了参数 q 的推荐值。

5.4.6 切向综合总公差,F_{isT}

按式(11)计算:

$$F_{isT} = F_{pT} + F_{isTmax} \quad \cdots\cdots (11)$$

其应用范围仅限于精度等级 2 级到 11 级:

$$1.0\ \text{mm} \leqslant m_{mn} \leqslant 50\ \text{mm}$$

$$5 \leqslant z \leqslant 400$$

$$5\ \text{mm} \leqslant d_T \leqslant 2\ 500\ \text{mm}$$

6 测量方法的使用

6.1 测量方法

本标准给出的精度公差计算值和偏差测量方法仅针对未装配的锥齿轮。相应的测量方法在本章推荐。

考虑到有些设计与应用、测量与制造工艺的特殊性,其特别的需求应在合同文本里注明。

齿轮几何测量方法和规定的最少测量齿数见表 3,具体测量方法的选择取决于公差的大小、齿轮尺寸、生产批量、现有的设备、轮坯精度和测量费用。大轮和小轮可以规定不同的精度等级。

供方或需方可能希望通过检测齿轮的一个或若干个几何项目确定其精度等级,但本标准规定的齿轮精度等级应满足本标准提出的所有单项公差的要求。此外,如果齿厚、接触斑点或齿形有测量要求,应按照表 3 和表 4 执行。除非特别规定,所有的测量与评价均以公差基准直径 d_T 为基础。

通常情况下，指定的公差适用于齿轮的两侧齿面，除非特别说明轮齿的某一侧面作为承载面。某些情况下，承载面会要求比非承载面或较小承载面更高的精度，这些要求应在齿轮工程图上注明。

除非另有协议，一旦指定使用本标准，制造商应选择：

——可行的测量方法，见表4；

——与测量方法相适应的已校准的测量设备；

——待检测的轮齿、轮齿间隔和最少齿数的规定，见表3。

6.2 推荐的测量控制方法

除非供需双方特别约定，本标准不强制采用某种特定的测量方法或文件。当实际需要的测量方法超出本标准所推荐的范围，供需双方应在齿轮生产前商定。

针对不同的精度等级和测量类型，表3和表4列出了所推荐的测量控制方法。

表3 齿轮几何测量方法与规定的最少测量齿数

测量要素	典型测量方法	测量的最少齿数
单个要素测量		
单个齿距(SP)	双测头	全部轮齿
	单测头	全部轮齿
齿距累积(AP)	双测头	全部轮齿
	单测头	全部轮齿
齿圈跳动(RO)	球形测头	全部轮齿
	单测头—分度	全部轮齿
	双测头—180°	全部轮齿
	双面啮合综合测量	全部轮齿
齿面拓扑(TF)	CMM或CNC特殊软件[a]	3齿近似等间隔
综合测量		
轮齿接触斑点(CP)	滚动检验机	全部轮齿
单面(SF)	单面啮合测量仪(附录B)	全部轮齿
尺寸测量		
齿厚(TT)	齿厚卡尺	2齿近似等间隔
	CMM特定软件	3齿近似等间隔
	滚动检验机	3齿近似等间隔

[a] 参见ISO/TR 10064-6。

表4 精度等级和测量方法

轮齿尺寸	模数≥1.0 mm[a]		
基本要求[b,c]	TT和(CP或TF)[c]		
精度	低	中	高
精度等级[d]	11～9	8～5	4～2
最低要求[b,c]	RO	SP和RO	SP和AP

表 4（续）

轮齿尺寸	模数≥1.0 mm[a]
替代方法[b,e]	(SP 和 AP)或 SF

[a] 模数小于 1.0，参见附录 C。

[b] 字母符号含义与表 3 相同。

[c] 所有等级均应测量齿厚和 CP 或 TF。

[d] 噪声控制要求齿形有好的共轭性。应很好地控制 TF、CP 或 SF(切向综合偏差)。重点推荐选用 SF(连带 CP 和 TT)方法。

[e] 替代方法可用于代替最低要求。

6.3 测量数据的滤波

任何齿面相对于规定的齿面形状，其偏差都呈现一个较宽的频谱。包括一个大的长周期，比如螺旋角偏差，和小的不规则的短周期频谱，比如表面粗糙度。齿形和短周期粗糙度的测量和控制超出了本标准范围。参见 GB/Z 18620.4 和 ISO/TR 10064-6。

单面啮合切向综合偏差的数据需要根据定义进行滤波。

6.4 轮齿接触斑点检验

齿轮接触斑点检验，是装箱齿轮或装于对啮机上的齿轮，啮合配对齿轮或测量齿轮来检查其齿面接触质量的一种方法。它表现出了齿形间的适配度，从齿顶到齿根，沿齿全长，用于评价与配对齿轮的实际接触情况。接触斑点可以采用一种稀薄标记混合物涂覆在齿面上，经啮合滚动后得到。它可以反映轮齿表面的接触状态，甚至根据它的位置和尺寸可以评价啮合齿面在齿廓及齿长方向的相容性。本标准中，接触斑点与齿轮精度等级没有直接关系。

附 录 A
（资料性附录）
公差示例表

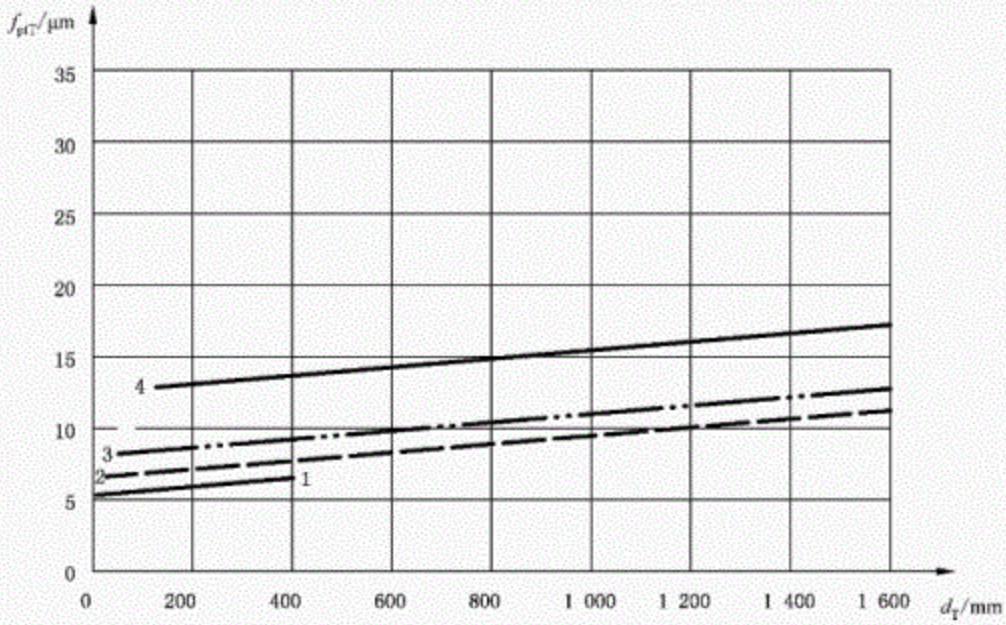
本附录给出了锥齿轮精度公差的示例。表 A.1 与表 A.2 和图 A.1 与图 A.2 中的数值来自 5.4 中的公式。关于公差、直径、齿数以及模数的适用范围见 5.4。

表 A.1 单个齿距公差 f_{pT}，4 级

轮齿尺寸	公差直径 d_T/mm							
模数 m_{mn}/mm	100	200	400	600	800	1 000	1 500	2 500
	f_{pT}/μm							
1	5.5	6.0	6.5	—	—	—	—	—
5	7.0	7.0	8.0	8.5	9.0	9.5	11	—
10	8.0	8.5	9.0	10	10	11	13	16
25	—	13	14	14	15	16	17	20
50	—	—	21	22	22	23	25	28

表 A.2 齿距累积总公差 F_{pT}，4 级

轮齿尺寸	公差直径 d_T/mm							
模数 m_{mn}/mm	100	200	400	600	800	1 000	1 500	2 500
	F_{pT}/μm							
1	22	23	29	—	—	—	—	—
5	23	26	31	36	41	45	58	—
10	25	27	32	37	42	47	60	85
25	—	32	37	42	47	52	64	89
50	—	—	44	49	54	59	72	97



说明：

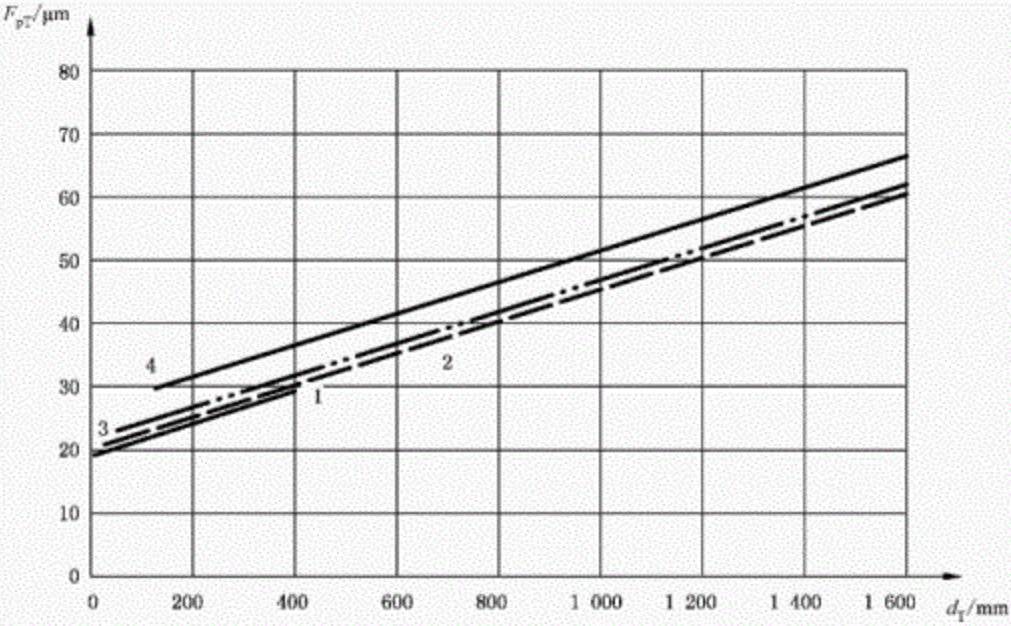
1——1 mm 模数；

2——5 mm 模数；

3——10 mm 模数；

4——25 mm 模数。

图 A.1　单个齿距公差 f_{pIT}，4 级



说明：

1——1 mm 模数；

2——5 mm 模数；

3——10 mm 模数；

4——25 mm 模数。

图 A.2　齿距累积总公差 F_{pT}，4 级

附 录 B
（资料性附录）
单面啮合综合测量方法

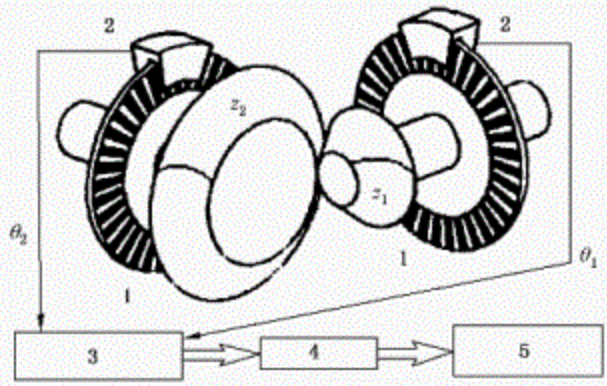
B.1 目的

本附录讨论了锥齿轮传动误差(偏差)，同时给出了一齿切向综合偏差设计值 $f_{is(design)}$ 的参考值。单面啮合检验时，相啮合齿轮按给定的中心距安装，齿轮副保持一定的侧隙，即仅有一侧齿面接触。因为齿轮副的单面啮合检验模仿齿轮实际应用中的运转状态，所以用这种检验方法能有效控制齿轮噪声和齿轮箱的振动，也能检测出齿面的划痕和毛刺。

B.2 检测仪结构和所获得数据

图 B.1 为单面啮合检测仪的示意图。转角 θ_1 和转角 θ_2 由加装在小、大齿轮轴上的如编码器等之类的转角传感器测出。齿轮副的传动误差 θ_e 由式(B.1)计算：

$$\theta_e = \theta_2 - \left(\frac{z_1}{z_2}\right)\theta_1 \qquad \cdots\cdots(B.1)$$

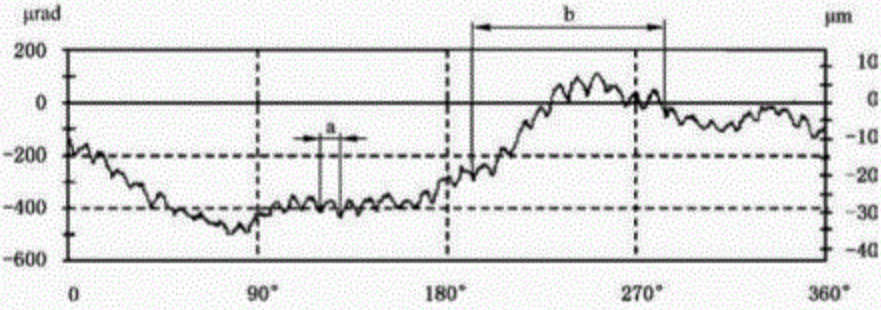


说明：
1——旋转编码器；
2——读数装置；
3——传动误差计算；
4——滤波器；
5——傅里叶变换。

图 B.1 单面啮合检测仪示意图

评价单面啮合参数推荐的每齿最少测量点数为 30 个，并对数据进行滤波和傅里叶变换。图 B.2 给出了一个传动波形的例子，其中复杂波形是由小齿轮和大齿轮累积偏差引起。

一个齿距内的小波形是由齿形偏差造成的。图 B.3 显示的是一个齿距内随齿形偏差变化相对应的高通滤波偏差波形，在图中标出了一齿切向综合偏差的最小值 $f_{is\,min}$ 和最大值 $f_{is\,max}$。图 B.4 表示的是傅里叶变换后的偏差波形。在啮合频率和二阶啮合频率位置可以看到明显波峰，称为一阶谐波和二阶谐波，该尖峰高低能够评判齿轮噪声水平。



说明：

a ——齿距；

b ——小轮一转。

图 B.2　传动误差

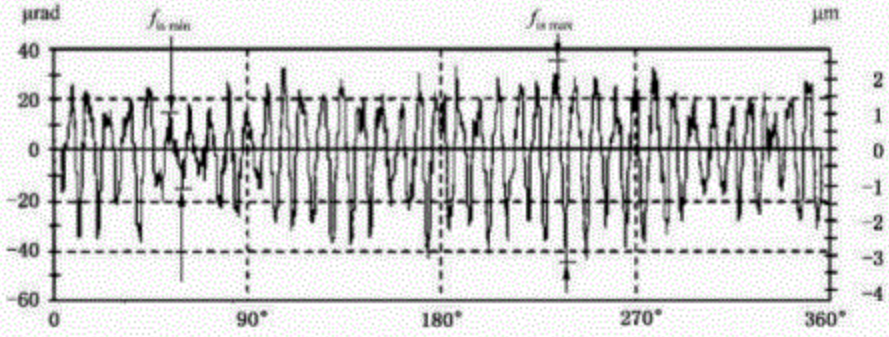
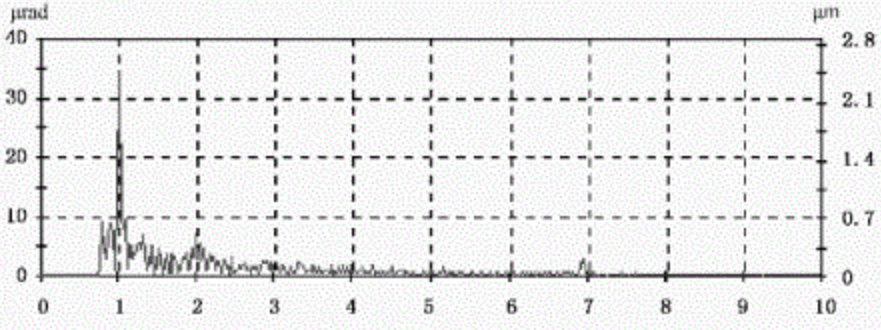
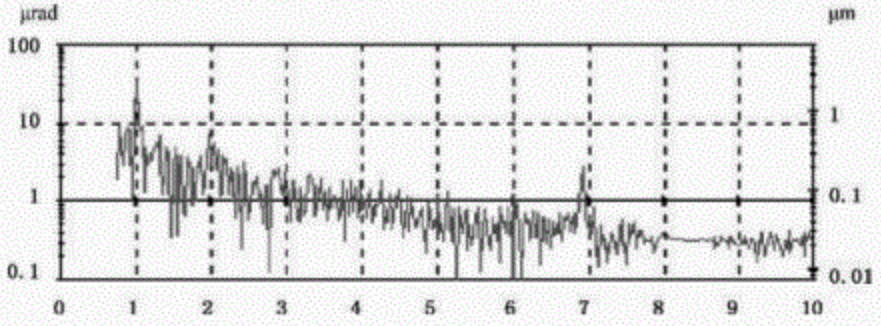


图 B.3　高通滤波，单面啮合切向综合偏差



a)　轮齿啮合阶次频率——幅值

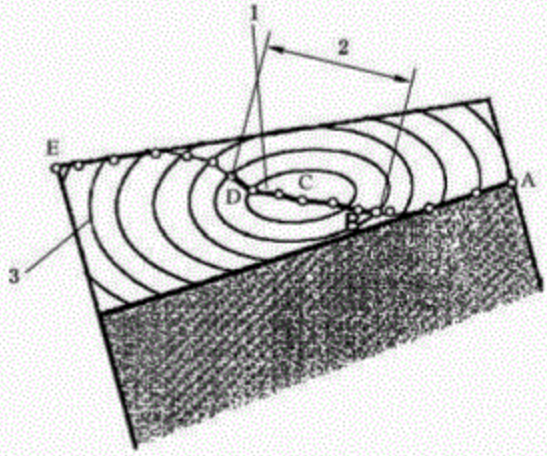


b)　轮齿啮合阶次频率——对数幅值

图 B.4　傅里叶变换后的单面啮合综合偏差

B.3 单面啮合综合偏差的说明

单面啮合综合偏差是由齿形和齿距偏差混合而成。在图 B.5 中，椭圆线表示小轮与大轮修形后的一个齿面拓扑结构。通常，锥齿轮齿面设计成这种拓扑修形结构或差曲面梯度类型，以避免承载下的边缘接触。该椭圆线连接点 A 到点 E 代表螺旋锥齿轮一对齿齿面之间的接触路径。在实际齿轮传动中，由于前齿到后齿的转换，从点 B 到点 D 才实际接触，所以点 B 到点 D 代表了齿面的实际接触路径。



说明：

1——接触路径；

2——对应一个齿距的接触路径长度；

3——修形曲面。

图 B.5 接触路径的结构

图 B.6 描述了一对典型的修形锥齿轮啮合运动的例子。抛物线为运动曲线，表示大轮相对于小轮的角位移偏差 θ_e，其中 p 代表一个齿距的角度。从点 A 到点 E 的这些点对应图 B.5 中接触路径上的点。运动曲线从点 A 到点 B 和从点 D 到点 E 的部分分别表示因前齿到后齿转换跨过的非啮合区域。实际的运动曲线只是粗实线所代表的部分。

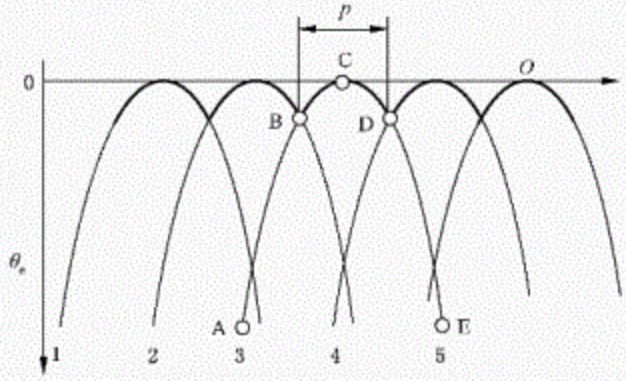
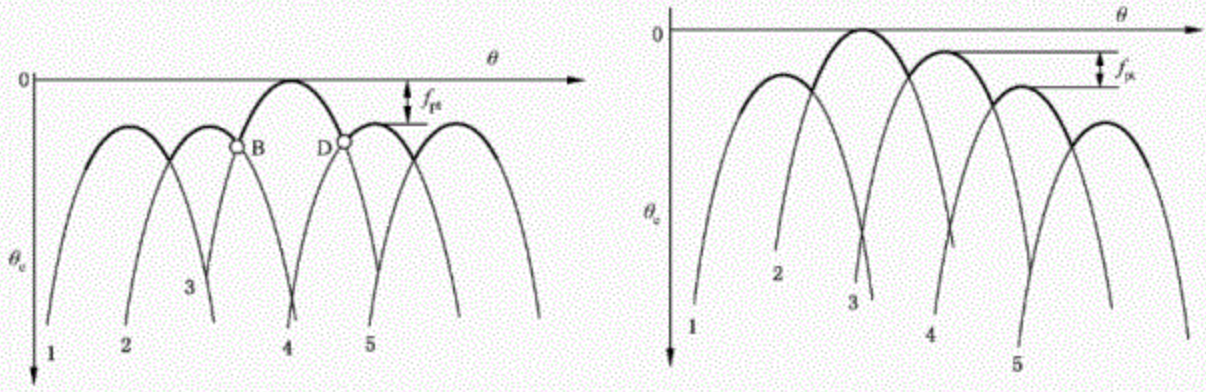


图 B.6 无齿距偏差齿轮 1 齿～5 齿的运动曲线

图 B.7 给出了具有齿距偏差的齿轮运动曲线的两个例子。例 A 表示单个齿比其余的齿都厚一些的情况。接触路径 BD 比图 B.5 中的更长一些，因为这个较厚的齿保持接触的时间更长。例 B 呈现了一种典型的由齿距累积偏差(分度)引起的接触区长短变化的正弦型式。



例 A　　例 B

图 B.7　有齿距偏差齿轮的运动曲线

B.4　一齿切向综合偏差设计值

单面啮合综合检测时，相啮合的齿轮按给定的中心距安装，在轻载或无载下，保持合适侧隙，单面啮合滚动。通常锥齿轮要通过配对检验，尤其是研磨锥齿轮，配对研磨后还应配对使用。其他型式的锥齿轮可以用适当的测量齿轮进行啮合检验。

一齿切向综合偏差设计值 $f_{is(design)}$，应通过对应用场合和试验(方法 B)分析确定，见表 B.1。

表 B.1　典型一齿切向综合偏差幅值

应用	一齿切向综合偏差幅值 μrad	系数 q
旅行车	＜30	0.05
卡车	20～50	1.0
工业	40～100	2～2.5
航空	40～200(平均 80)	2.0

在缺少设计分析数据的情况下，一齿切向综合偏差设计值 $f_{is(design)}$ 根据式(10)确定，公式中包含的系数 q 列于表 B.1(方法 C)。

单纯的单面啮合综合检测是不能消除锥齿轮所有问题的。总体上应该认为它是验收锥齿轮副啮合质量的一种工具。

B.5　典型值

为了避免齿轮噪声问题或防止齿轮过早的失效，一齿切向综合偏差可按表 B.1 推荐的数值选取。

设计人员有责任规定恰当的公差，而且必需重视对单面啮合迹线形状的观察。

附 录 C
（资料性附录）
小模数锥齿轮的精度

C.1 目的

本附录提供了模数小于 1 的单个锥齿轮和准双曲面齿轮的双面啮合综合偏差的精度制。它规定了该类齿轮的精度制和公差数值。本标准允许采用其他的检测方法，例如，可选用小测头 CNC 测量仪或 CMM 测量仪等。

双面啮合综合测量精度制与本标准主体精度等级范围不同。另外，直径、齿数和模数范围也不同。

本附录适用 ISO 1122-1 中规定的术语和定义。

C.2 参数范围

双面啮合综合精度制由双面啮合综合总公差 F_{idT}，和单齿双面啮合综合公差 f_{idT} 组成，共包含 9 个精度等级，其中 3 级最高，11 级最低。公差公式和适用范围在 C.4 给出。其应用范围如下：

$$0.2\ \text{mm} \leqslant m_{mn} < 1.0\ \text{mm}$$

$$5 \leqslant z \leqslant 300$$

$$5\ \text{mm} \leqslant d_T \leqslant 300\ \text{mm}$$

C.3 测量方法

供方或需方可能希望通过测量齿轮的一个或若干个几何特征验证其精度等级，但是本附录规定的齿轮精度测量应满足表 C.1 和表 C.2 中规定的所有单项公差的测量要求。

表 C.1 测量方法

轮齿尺寸	齿轮精度等级[a]	最低要求[b,c]	替代方法[c,d]
模数<1.0 mm[e]	全部	DF(CP 和 TT)	SF(CP 和 TT)或 SP、AP(TF 和 TT)[f]

[a] 噪声控制要求良好的共轭齿形。应很好地控制 TF、CP 或 SF(单齿)。重点推荐 CP、SF 和 TT 方法。

[b] 字母符号与表 C.2 中的规定相同。

[c] 替代方法可用于替代最低要求。

[d] SP、AP 或 SF 值用第 5 章给出的公式确定。

[e] 受到小测头的限制。

[f] 对于模数≥1.0 mm，见第 6 章。

表 C.2 测量的最少齿数

检测要素	典型测量方法	测量的最少齿数
单件要素检测 用 CMM 或 CNC 齿轮测量仪测齿形(TF)	CMM 或 CNC 特殊软件[a]	3 齿间隔近似相等

表 C.2（续）

检测要素	典型测量方法	测量的最少齿数
综合检测		
轮齿接触斑点(CP)	滚动检验机	全部轮齿
双面啮合(DF)	双面啮合综合检测仪	全部轮齿
单面啮合(SF)	单面啮合综合测量仪(附录 B)	全部轮齿
尺寸		
齿厚(TT)	测齿规	2 齿间隔近似相等
	CMM 特殊软件	3 齿间隔近似相等
	滚动检验机	3 齿间隔近似相等
[a] 此方法进一步讨论，可参见 ISO/TR 10064-6。		

C.4 公差

C.4.1 总则

精度等级的每一项公差值采用 C.4.2 和 C.4.3 中规定的公式计算。

超出公式限定部分的不属于本附录的范围，也不能采用外推插值的方法。这种齿轮的特殊公差应由供需双方协商确定。

C.4.2 单齿双面啮合综合公差，f_{idT}

按式(C.1)计算：

$$f_{idT}=0.2(0.025d_T+0.3m_{mn}+19)(\sqrt{2})^{(B-4)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (C.1)$$

其应用范围仅限于精度等级 3 级到 11 级：

$$0.2\ \text{mm}\leqslant m_{mn}\leqslant 1.0\ \text{mm}$$

$$5\leqslant z\leqslant 300$$

$$5\ \text{mm}\leqslant d_T\leqslant 300\ \text{mm}$$

单齿双面啮合综合公差 f_{idT}，按照 5.3 中的方法进行圆整。

单齿双面啮合综合公差根据中心距的变化按照最小包容原则，包括全部($360°/z$)幅值。包容范围的确定是通过建立一个中间波形轨迹，并分别向正负波幅方向平移包容全部波峰，该中间波形可用手工方式或用多项式拟合(滤波)的方法绘制。参见附录 D。

C.4.3 双面啮合综合总公差，F_{idT}

利用式(C.2)计算：

$$F_{idT}=1.08(0.025d_T+0.3m_{mn}+19)(\sqrt{2})^{(B-4)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (C.2)$$

其应用范围仅限于精度等级 3 级到 11 级：

$$0.2\ \text{mm}\leqslant m_{mn}\leqslant 1.0\ \text{mm}$$

$$5\leqslant z\leqslant 300$$

$$5\ \text{mm}\leqslant d_T\leqslant 300\ \text{mm}$$

双面啮合综合总公差 F_{idT} 的数值，可根据 5.3 中的方法进行圆整。

附 录 D
（资料性附录）
综合数据说明

D.1 目的

本附录对综合数据评定的传统方法与新推荐方法进行了一个对比。新方法不仅可用于双面啮合综合检测，也可应用于单面啮合综合检测。对于齿轮误差分析和质量改进，新方法能够提供更多的有用信息。

D.2 引言

D.2.1 总则

双面啮合综合检测方法的更多资料参见附录 C。

单面啮合综合检测方法的更多资料参见附录 B。

D.2.2 图表资料

双面啮合综合检测谱线轨迹主要与齿形偏差和径向跳动相关。

单面啮合综合检测谱线轨迹主要与齿形偏差和切向分度偏差（齿距累积总偏差）相关。

D.2.3 传统方法说明

双面啮合综合偏差测量规定了综合总偏差 $F_{i(old)}$ 和单齿综合偏差 $f_{i(old)}$，两者描述参见图 D.1。综合总偏差显示为线图上最高点相对于最低点的差值。单齿综合偏差显示为线图上的任意 $360°/z$ 中的最大变化量。

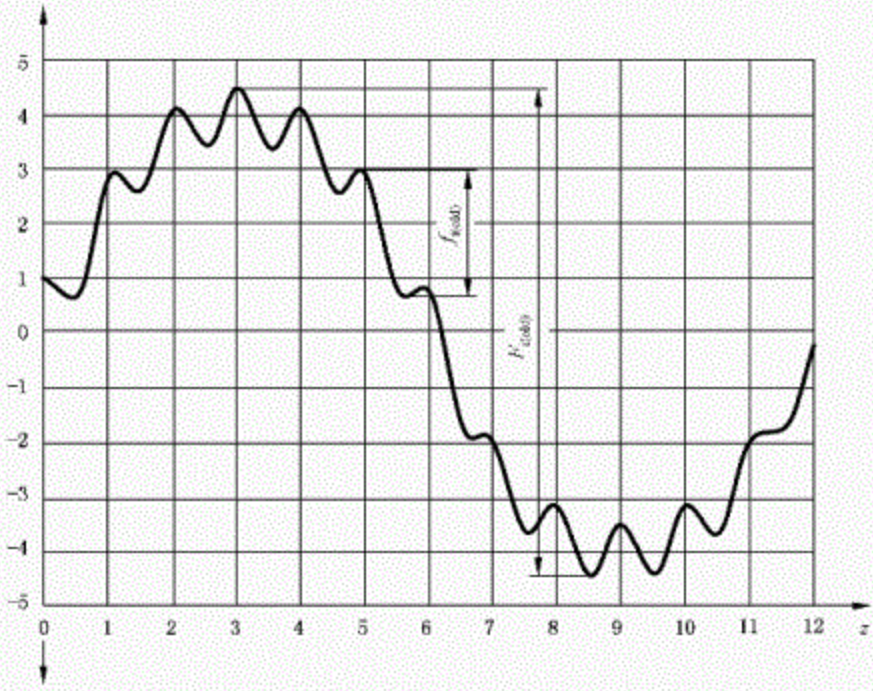
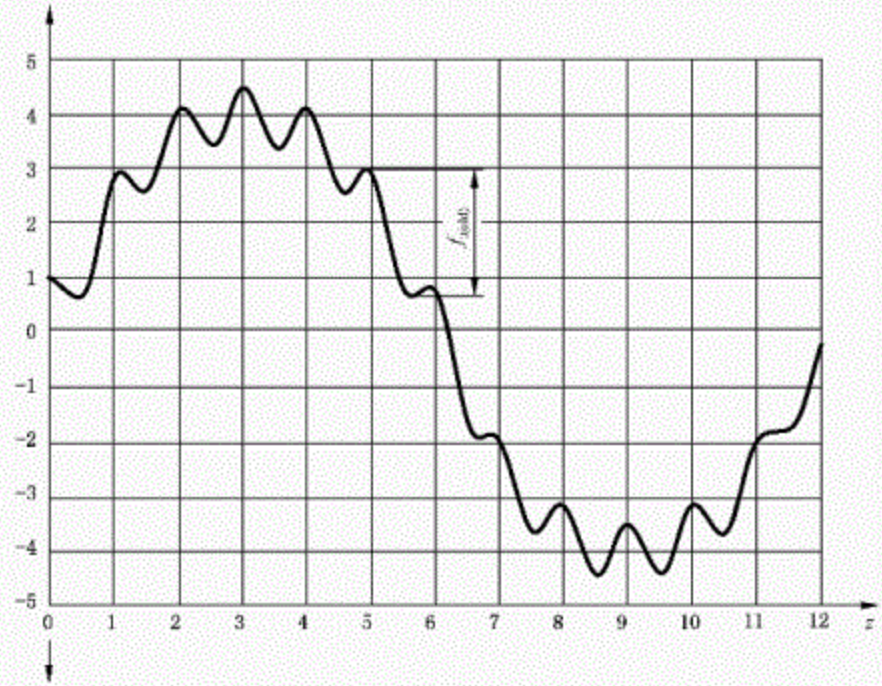


图 D.1 双面啮合综合检验的轨迹线图

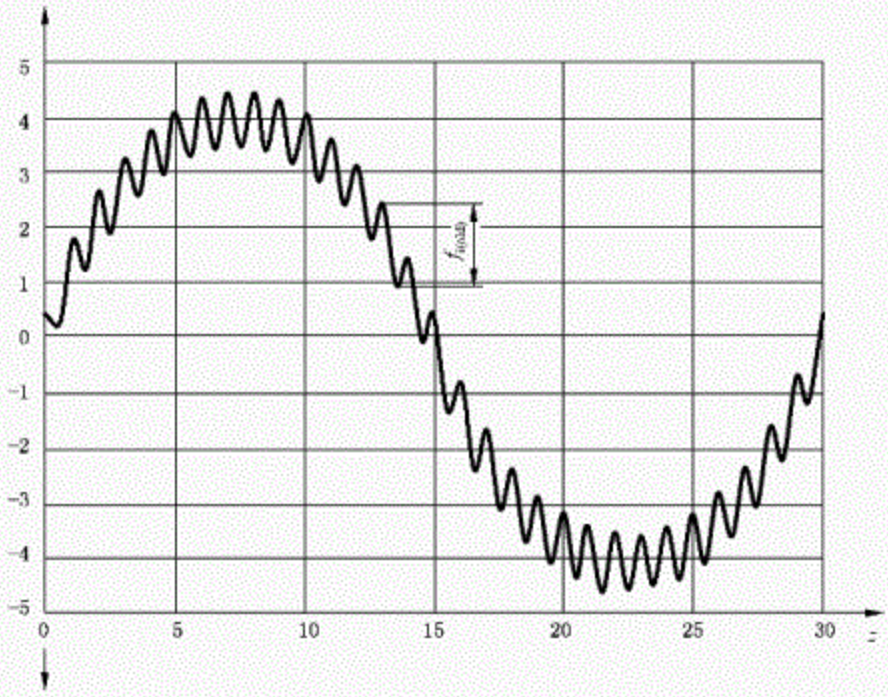
对于一些应用场合，该方法可以用于评估齿轮成品的质量。然而，就误差诊断分析而言，该方法难以反映轮齿啮合的真实情况。例如，它不易于判定齿轮传动噪声潜在的来源，如果用于评价制造过程可能会错误判断由机床和刀具引起的齿形误差。

这种分析方法存在的问题是单齿综合最大偏差将出现在齿圈跳动曲线斜率最大的部分，这可能是由于某个特定轮齿有关数据畸变的结果。

对于相同的齿形和齿圈跳动偏差，少齿数齿轮呈现出的单齿综合偏差要比多齿数齿轮大。参见图D.2a)和图 D.2b)所做的对比。



a) 少齿数(12 个齿的齿轮的单齿综合偏差)



b) 多齿数(30 个齿的齿轮单齿综合偏差)

图 D.2 双面啮合综合检测

D.2.4 公差间关系

由于齿圈跳动和单齿啮合偏差之间的耦合关系，有些情况下旧方法规定的公差数值不符合真实情况。在早先的标准中，单齿的综合公差大约是综合总公差的1/2～1/3。新方法的公差则通过齿圈跳动来调整单齿数据的畸变，特别对于少齿数情况。因此，新方法规定双啮综合总公差和单齿综合公差之间差别较大[$F_{idT}=(0.1\sim 0.2)f_{idT}$]，这有利于单齿啮合偏差从齿圈跳动或齿距累积总偏差中分离出来。

D.3 新方法

通过不同的技术手段可将单齿综合偏差从总偏差中分离出来。最好的方法是电子“滤波”，这可以利用模拟电子电路或计算机数值方法，从而获得图D.3 a)、图D.3 b)和图D.3 c)所示的结果。即使这些方法在测量系统中不可用，手工方式也可以得到一个非常近似的结果。

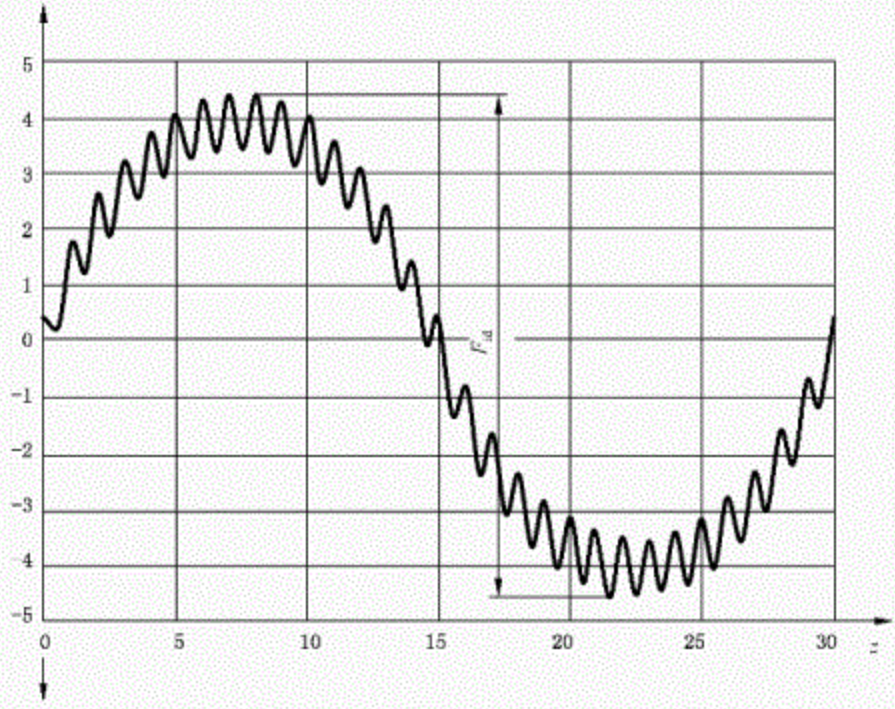
可以手工绘制检测数据的上、下包容线，上包容线是长周期成分，上和下包容线之间垂直距离是短周期成分，f_{id}或f_{is}，参见图D.4。

两种方法均可从短周期成分中分离出长周期成分。对于双面啮合综合检测，长周期成分代表齿圈跳动F_r，而短周期成分f_{id}代表齿形偏差。对于单面啮合综合检测，长周期成分代表齿距累积总偏差F_p，而短周期成分f_{is}则代表齿形偏差。

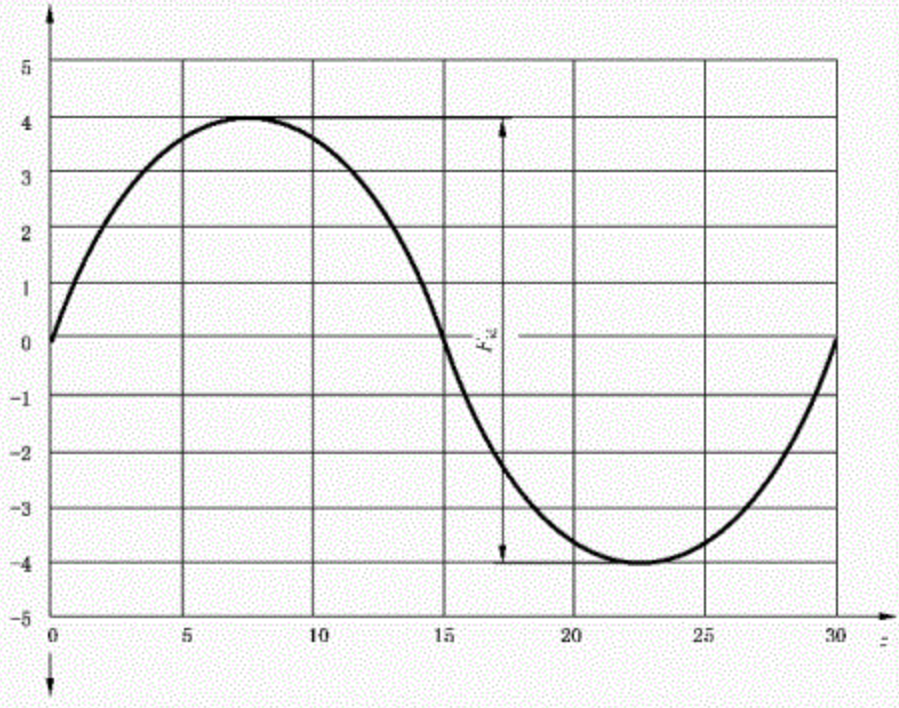
D.4 补充说明

长周期成分偏差大多情况下为如图D.3和图D.4所示的正弦曲线形态，这是由于齿轮偏心引起。然而，在有些情况下，长周期偏差显示出较高阶次，例如图D.5所示。这可能由于齿圈中齿坯销孔热处理变形导致齿圈卵形、三角畸变等引起，甚至由于齿形偏差导致短周期成分畸变。

这些较高阶次偏差可以采用傅里叶变换技术进行分析，诸如快速傅里叶变换(FFT)分析器或数字滤波技术。在某种程度上，也可采用手工方法，描绘上、下包容线的方式进行处理，如图D.5所示。

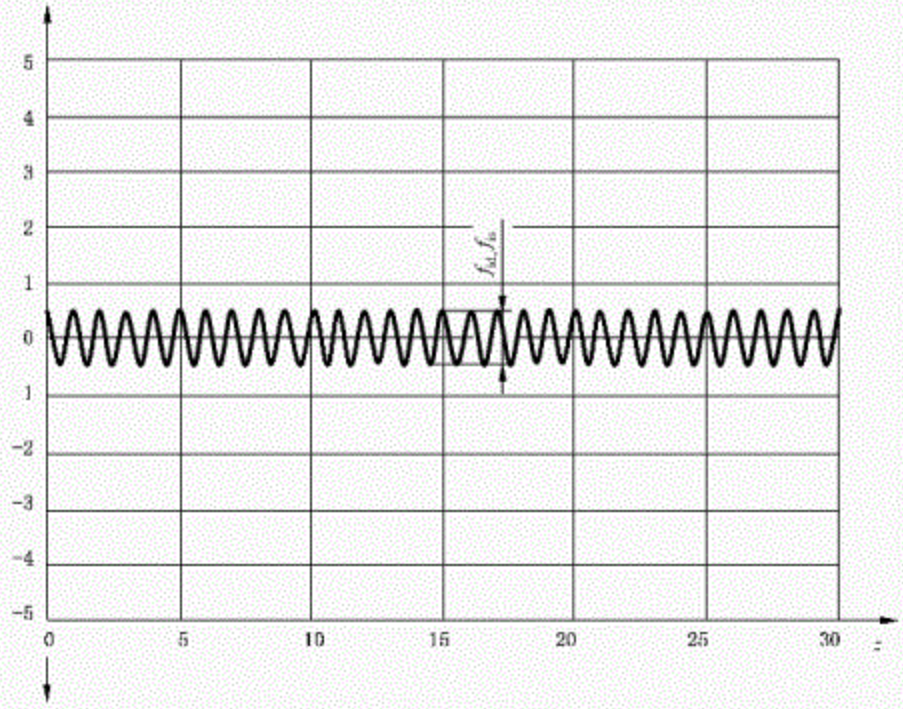


a) 综合总偏差——未滤波



b) 长周期成分——低通滤波

图 D.3 综合总偏差[未滤波,含长周期(低通滤波)和短周期(高通滤波)成分]



c） 短周期成分——高通滤波

图 D.3（续）

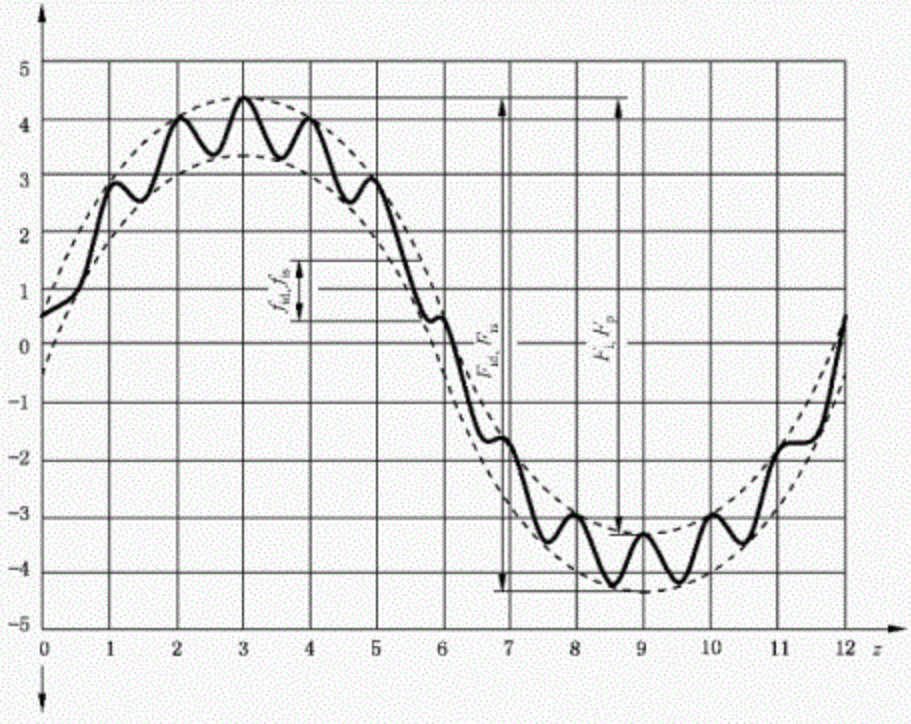


图 D.4 综合检测的手工描述

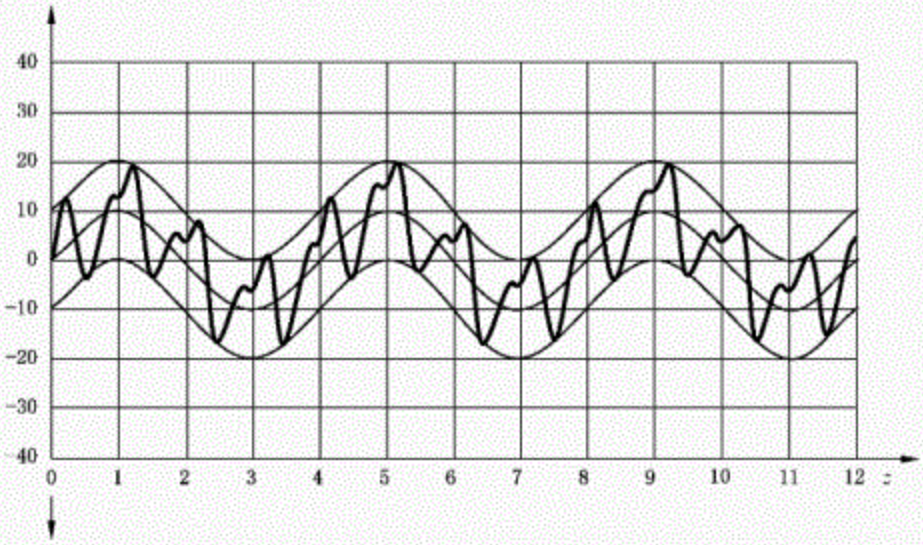


图 D.5　综合偏差——无偏心距(齿轮一周)

参 考 文 献

[1] GB/Z 18620.3—2008 圆柱齿轮 检验实施规范 第3部分:齿轮坯、轴中心距和轴线平行度的检验

[2] GB/Z 18620.4—2008 圆柱齿轮 检验实施规范 第4部分:表面结构和轮齿接触斑点的检验

[3] ISO/TR 10064-5:2005 Code of inspection practice—Part 5: Recommendations relative to evaluation of gear measuring instruments

[4] ISO/TR 10064-6:2009 Code of inspection practice—Part 6: Bevel gear measurement methods

[5] ISO 10300-1:2001 Calculation of load capacity of bevel gears—Part 1: Introduction and general influence factors