

非对称齿廓在渐开线塑料齿轮中的应用

郝瑞贤¹ 李 威² 李元宗¹

(1. 太原理工大学机械工程学院, 太原 030024; 2. 北京科技大学机械工程学院, 北京 100083)

摘要 对比了塑料齿轮与金属齿轮的不同, 根据塑料齿轮的特点, 设计出了非对称渐开线的齿形, 并探讨了非对称渐开线塑料齿轮的基本几何参数; 以实例建立的这一新型非对称渐开线塑料齿轮模型为进一步的模具设计和强度计算奠定了基础。

关键词 渐开线 塑料齿轮 非对称齿廓

塑料齿轮以其独特的优势得到了越来越广泛的应用, 如今它们已经被应用到汽车、手表、缝纫机、结构控制设施乃至导弹等领域而起到传递扭矩和运动形式的作用。除此之外, 新的更难加工的应用领域还将不断出现。但是, 较低的承载能力一直是塑料齿轮需要解决的问题。众所周知, 渐开线圆柱齿轮的承载能力主要依赖于轮齿齿面的压力角, 而采用合理的非对称齿廓可以提高齿轮的承载能力。吴继泽等^[1]论及了非对称齿廓的齿轮传动, 并且给出了刀具齿廓的形式。对于非对称齿廓的研究, 国际上可追溯到 20 世纪 70 年代。1997 年 G. Di Francesco 和 S. Marini 等^[2-3] 对非对称齿轮进行了结构分析, 并初步描述了模数、压力角与齿轮质量之间的关系。国内的研究始于 20 世纪 80 年代, 1984 年孙庆华^[4] 对非对称渐开线外啮合齿轮泵用齿轮的某些设计和计算要点做了分析; 1988 年张延森^[5] 设计了非对称齿廓齿轮滚刀。进入 20 世纪 90 年代后, 很多人开展对非对称渐开线齿轮的研究并探讨了其几何参数。2000 年美国学者 A. Kapelevich^[6] 提出了一种非对称渐开线直齿轮的设计方法。2003 年蒋立冬等^[7] 运用齿轮啮合原理对非对称渐开线直齿轮的齿廓进行了详细的推导, 给出了此种齿轮的齿廓方程, 并应用 C 语言编制了生成齿廓的计算机程序, 建立了三维实体模型, 进行了有限元分析。2004 年吴忠^[8] 探讨了非对称齿廓渐开线齿轮的齿形及啮合传动特点, 给出了该种齿轮的基本几何参数及啮合传动参数的计算公式; 并以实例对这一新型齿轮轮齿形状及啮合过程进行了仿真。但他们都是针对金属齿轮进行的研究和探讨, 而有关非对称齿廓在塑料齿轮上的应用尚未见报道。

目前, 塑料齿轮的齿形以标准齿廓的较多, 即采用分度圆力角 $\alpha = 20^\circ$, 齿高系数 $h_a^* = 1$ 的形式; 也有采用非标准齿廓的 ($\alpha > 20^\circ$, $h_a^* < 1$), 例如 α

$= 25^\circ$, $h_a^* = 0.8$ 。采用合理的非对称齿廓可以提高齿轮的承载能力, 笔者在这里将非对称渐开线的原理应用于塑料齿轮的齿廓设计。

1 塑料齿轮与金属齿轮的不同点

(1) 制造、检测方法的不同。几乎所有的金属齿轮都是切削、磨削加工而成的; 而塑料齿轮是由模具加工而成的。若采用线切割加工可使直齿轮模腔达到 $2.5 \mu\text{m}$ 的精度, 由于该方法不是展成加工, 其切割误差在任何位置都有可能发生, 因此必须对整个内齿轮模腔进行检测, 不像切削加工金属齿轮那样只需检测几个代表齿。另一方面, 由于模制塑料齿轮各部分的收缩率不同且任何部位都可能发生模值异常, 因此也需对齿轮各部分进行检测。

(2) 加工方法的差异。金属齿轮是切削或磨削而成的, 是回转加工, 因此具有很高的同轴度, 直径精度也较易保证。而塑料齿轮是模制的, 同轴度较难保证, 但齿形比金属齿轮应更精确。

(3) 塑料齿轮比金属齿轮的强度差, 但是具有金属齿轮所缺乏的自润滑性、质量轻、噪音低等优点。塑料在模具型腔中大而连续且可重复的收缩特性, 需要在模制加工齿轮时加以考虑并补偿。一般情况下, 塑料齿轮的直径公差比金属齿轮的大。

2 非对称塑料齿轮的设计要点及仿真实例

金属齿轮通常是按基本齿条原理进行切削加工来设计的, 但塑料齿轮不需要切削加工就可以设计成完美的几何形状。非对称渐开线塑料齿轮的齿廓是由两个大小不同的基圆生成两段渐开线、齿顶圆和过渡曲线组成的。

在设计非对称渐开线塑料齿轮时, 引入 1 个齿顶厚系数 (m_a), 它是齿顶圆弧齿厚 (S_a) 与齿轮工作齿侧基圆直径 (d_{bd}) 的比值。通常在设计非对称渐

开线圆柱齿轮时, m_a 在 $(0.25 \sim 0.4) / Z$ 范围内选取 (Z 为齿数)^[7]。 m_a 应尽可能取大一些, 这样可防止齿顶变尖、折断; 但过分增大 m_a 会减小齿轮传动的重合度。

首先, 用不同 d_{bd} 和非工作齿侧基圆直径 (d_{bc}) 分别作出两条相反方向的渐开线, 再根据齿顶圆弧齿厚 (S_a) 的值旋转合适的角度, 最后确定出一个基本齿厚, 通过阵列画出整个齿轮。图 1 为用 UG 程序生成的一个非对称渐开线塑料齿轮的模型。主要参数见表 1。

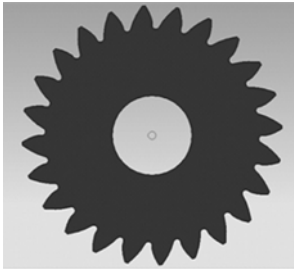


图 1 非对称渐开线塑料齿轮的模型

表 1 非对称渐开线塑料齿轮的主要参数

齿数 Z	模数 m	工作齿			非工作齿			m_a
		侧压力角 / ($^\circ$)	侧齿顶高系数	侧径向间隙系数	侧压力角 / ($^\circ$)	侧齿顶高系数	侧径向间隙系数	
24	1.25	35.00	1.00	0.35	20.00	0.95	0.40	0.015

齿轮齿根圆与基圆的大小关系将直接影响齿轮模型。当齿根圆半径大于基圆半径时, 齿轮轮齿的齿廓曲线完全是渐开线。当齿根圆半径小于基圆半径时, 齿轮轮齿的齿廓曲线将分为两部分: 基圆与齿顶圆之间是渐开线; 齿根圆与基圆之间是一段渐开线的近似曲线。过渡曲线应画为一整段圆弧。考虑到偏心和模制公差, 轮齿需减薄以便有足够的间隙。外径设计成负公差, 以消除可能的抵触。

3 非对称渐开线塑料齿轮的齿形特点

3.1 非对称渐开线塑料齿轮的非对称系数

传统的齿廓设计是从唯一的压力角, 即只有一个基圆出发进行设计, 而非对称渐开线齿廓两侧有着不同的压力角, 其齿廓是由两个不同直径的基圆生成的, 且共用一个齿顶圆和齿根圆。

非对称系数 k 为 d_{bc} 与 d_{bd} 之比。对于非对称渐开线塑料齿轮齿廓, 在两条非对称渐开线延长线的相交处, 是该齿轮的齿顶变尖处, 齿顶变尖圆的直径为 d_Δ 。设 $\alpha_{\Delta d}$ 为工作齿侧齿顶变尖角, $\alpha_{\Delta c}$ 为非工作齿侧齿顶变尖角, 则 $\alpha_{\Delta d}$ 和 $\alpha_{\Delta c}$ 可分别按式 (1)、式 (2) 计算:

$$\alpha_{\Delta d} = \arccos (d_{bd} / d_\Delta) \tag{1}$$

$$\alpha_{\Delta c} = \arccos (d_{bc} / d_\Delta) \tag{2}$$

设 d_a 为非对称渐开线塑料齿轮齿顶圆直径, 齿轮工作齿侧与非工作齿侧齿顶圆上的齿形角 $\alpha_{\Delta d}$ 、 $\alpha_{\Delta c}$ 可按式 (3)、式 (4) 计算:

$$\alpha_d = \arccos (d_{bd} / d_a) \tag{3}$$

$$\alpha_c = \arccos (d_{bc} / d_a) \tag{4}$$

因此, k 可以通过下式计算:

$$k = \cos \alpha_{\Delta c} / \cos \alpha_{\Delta d} = \cos \alpha_{\Delta c} / \cos \alpha_d = \cos \alpha_c / \cos \alpha_d \tag{5}$$

式中: α_d 、 α_c 为非对称渐开线塑料齿轮工作齿侧与非工作齿侧压力角。对于常规标准渐开线圆柱齿轮, $k = 1$ 。

3.2 非对称渐开线塑料齿轮的弧齿厚计算

设 α_d 、 α_c 为塑料齿轮工作齿侧与非工作齿侧任意圆周上的齿形角, 则非对称渐开线塑料齿轮任意圆周上的弧齿厚 (S_x) 可按式 (6) 计算:

$$S_x = d_x / 2 \cdot (\operatorname{inv} \alpha_{\Delta d} + \operatorname{inv} \alpha_{\Delta c} - \operatorname{inv} \alpha_d - \operatorname{inv} \alpha_c) \tag{6}$$

当非对称渐开线塑料齿轮任意圆周的直径 (d_x) 等于分度圆直径 (d) 时, 可以得出分度圆的弧齿厚 (S):

$$S = d / 2 \cdot (\operatorname{inv} \alpha_{\Delta d} + \operatorname{inv} \alpha_{\Delta c} - \operatorname{inv} \alpha_d - \operatorname{inv} \alpha_c) \tag{7}$$

当 d_x 等于 d_a 时, 可以得出齿顶圆的弧齿厚 (S_a):

$$S_a = d_a / 2 \cdot (\operatorname{inv} \alpha_{\Delta d} + \operatorname{inv} \alpha_{\Delta c} - \operatorname{inv} \alpha_{\Delta d} - \operatorname{inv} \alpha_{\Delta c}) \tag{8}$$

4 结语

塑料齿轮具有不同的成型工艺。可以首先设计出完全理想化的数字化齿轮, 然后通过线切割加工成实体齿轮。以上结合其特殊要求, 介绍了非对称渐开线塑料齿轮的设计要点, 探讨了其基本几何参数; 与金属齿轮不同, 非对称渐开线塑料齿轮的基本几何参数不是依靠基准齿条参数来确定的。仿真实例结果表明, 本方法是可靠和正确的, 它是模具设计的基础, 也是轮齿接触分析和强度分析的前提, 同时为从理论到实践真正解析非对称渐开线塑料齿轮提供了条件。非对称渐开线塑料齿轮作为一种新型的齿轮值得研究和探讨。

参考文献

[1] 吴继泽, 王统. 齿根过渡曲线与齿根应力[M]. 北京: 国防工业出版社, 1989.

[2] Di Francesco G, Marini S. Structural analysis of asymmetrical teeth: Reduction of size and weight [J]. Gear Technology, 1997, 14 (5): 47 - 51.

[3] Di Francesco G, Marini S. Structural analysis of teeth with asym-

- metrical profiles[J]. Gear Technology, 1997, 14 (6) : 16 - 22.
- [4] 孙庆华. 非对称渐开线外啮合齿轮泵的计算和分析[J]. 齿轮, 1984, 8 (2) : 30 - 33, 42.
- [5] 张延森. 非对称齿形滚刀的设计[J]. 工具设计, 1988 (8) : 12 - 14.
- [6] Kapelevich A. Geometry and design of involute spur gears with asymmetric teeth[J]. Mechanism and Machine Theory, 2000, 35: 117 - 130.
- [7] 蒋立冬, 常山, 石玉权, 等. 非对称渐开线直齿轮齿廓设计与有限元分析[J]. 热能动力工程, 2003 (9) : 478 - 481.
- [8] 吴忠. 非对称齿廓渐开线齿轮齿形的仿真设计分析[J]. 包头钢铁学院学报, 2004 (6) : 155 - 158.

APPLICATION OF ASYMMETRICAL PROFILE IN INVOLUTE PLASTIC GEAR

Hao Ruixian¹, Li Wei², Li Yuanzong¹

(1. School of Mechanical Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;

2. School of Mechanical Engineering, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China)

ABSTRACT The differences between plastic gear and metal gear are compared. According to the characteristics of plastic gear, the asymmetrical involute profiles are designed. The basic geometrical parameters of the new asymmetrical involute plastic gear are investigated. The new model are set up by citing an example, which may lay the foundations for further investigations of mould design and intension calculating.

KEYWORDS involute, plastic gear, asymmetrical profile

新型高密度聚乙烯树脂用于汽车燃料箱

Basell 公司开发出最新 Lupolen 高密度聚乙烯树脂, 应用于汽车塑料燃料箱可加强对生物柴油的抵抗力, 估计这些技术将在 2008 年初实现商业化, 公司预计, 这些新应用还具备很好的加工性能和平衡特性。(聚合物流网)

日本开发耐热温度超过 300℃的植物性树脂

日本北陆先端科学技术大学院大学开发出了耐热温度超过 300℃的植物性树脂。植物性树脂目前正逐渐应用于手机、个人电脑外壳, 但存在耐热性能低的问题。以聚乳酸为主要成分的一般植物性树脂的耐热温度为 60℃左右。因此, 在实际应用时大多会通过掺混石油系树脂和矿物来提高耐热性。

新开发的树脂在 310℃以下的温度时不会出现热变形。该温度超过了无铅焊锡的熔点, 因此也可利用无铅焊锡进行焊接。今后该研究机构还将着眼于面向电子产品、汽车部件的应用, 推进更进一步的开发。该树脂在聚乳酸中混合了植物细胞壁中含有的肉桂酸类及乙酸衍生物等催化剂。肉桂酸类是存在于所有植物细胞壁中的一种多酚。其由于含有牢固的苯环成分, 所以耐热温度较高。但是, 如果单纯混合肉桂酸类和催化剂, 耐热温度仅能达到 169℃。通过在超过 200℃的高温下进行热处理, 该树脂会发生化学变化, 获得超过 300℃的耐热温度。(中聚网)

汽车内部装饰用烯烃嵌段共聚物开发成功

Glow 化学公司开发出商品名为 Infuse 的热塑性烯烃嵌段共聚物 (OBSC)。无论是作为基体材料还是抗冲击改性剂, 它在宽广的汽车应用领域表现出光明的前景。该研究的最初目的是将 OBSC 作为基体树脂用于两步模塑工艺生产触摸柔软的内饰件, 如把手、镶嵌件和控制台的仪表盘等。

传统的茂金属弹性体, 如 Glow 化学公司的 Engage 系列, 是乙烯烯烃的无规共聚物。而新开发的 Infuse 系列弹性

体以线性的中密度聚乙烯为硬段, 与 Engage 相似的乙烯与辛烯的无规共聚链为软段。

OBSC 具有较高的熔点 (约 120℃) 和较高的结晶温度 (100℃)。这些特点使其在模塑和挤出成型时能快速固化。但是, OBSC 的玻璃化转变温度与乙烯共聚物相近, 这使得它与乙烯无规共聚物拥有相似的低温柔韧性。(中聚网)

具有“吸毒”功能的新型墨色塑料问世

德国科学家最近开发出一种具有“吸毒”功能的新型墨色塑料, 它能够有效附着对环境有害的二氧化物。

据报道, 这种新型的墨色塑料主要应用于烟尘过滤装置, 它能够紧紧粘住对人体和环境有害的多种二氧化物, 在规定的运行温度下, 表面沉淀物不会自行脱落。只有当温度超出运行温度时才会脱落。试验表明, 这种墨色塑料具有很好的应用前景。目前, 德国已有 3 套垃圾焚烧设备采用了这项技术。(代)

热塑性工程塑料的新设计

德国巴斯夫公司在热塑性工程塑料 Ultrasonex 系列中追加了 PPS Ultrasonex 新产品。Ultrasonex 的特点是兼具该系列中 PESU Ultrasonex 的高熔融温度和 PSU Ultrasonex 的低吸水性, 而且耐化学药品性也很出色。目前, 已开始供应 Ultrasonex 3010 的透明样品, 今后还将依次上市白色和黑色的 P3010。

原来的高性能非结晶塑料存在接口部位受到冲击应力时容易损坏的缺点。该公司进行的夏氏冲击试验结果表明, Ultrasonex 的耐冲击性约为普通非结晶塑料的 10 倍, 因此可在需要较强耐冲击性的配管接头和阀门上使用。

新产品可承受 2000 次的高温蒸汽循环, 可用高温清洗、杀菌。另外, 发生火灾时也不易排放有害物质, 因此该公司希望能够在飞机的座套、灯罩、换气阀及行李箱上使用该产品。(中色网)