



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102066084 B

(45) 授权公告日 2015. 10. 07

(21) 申请号 200980123297. 8

(22) 申请日 2009. 06. 12

(30) 优先权数据

102008029304. 0 2008. 06. 20 DE

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2010. 12. 20

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2009/004251 2009. 06. 12

(87) PCT国际申请的公布数据

W02009/153003 DE 2009. 12. 23

(73) 专利权人 拜耳知识产权有限责任公司

地址 德国蒙海姆

(72) 发明人 M·比尔德尔 T·克尼希

U·利森费尔德

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 李少丹 李家麟

(51) Int. Cl.

B29C 47/40(2006. 01)

B29C 47/60(2006. 01)

(56) 对比文件

US 6179460 B1, 2001. 01. 30,

CN 1105315 A, 1995. 07. 19,

CN 1494475 A, 2004. 05. 05,

WO 9513181 A1, 1995. 05. 18,

US 3900187 A, 1975. 08. 19,

审查员 武敏

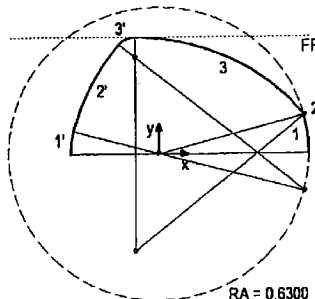
权利要求书2页 说明书14页 附图12页

(54) 发明名称

具有缩小顶锥角的单导程螺杆元件

(57) 摘要

本发明涉及具有成对同向并成对精密刮削螺杆型线的多螺杆挤压机的螺杆元件、该螺杆元件在多螺杆挤压机中的应用以及用于挤压塑性物质的一种方法。



1)	R = 0.6300	Mx = 0.0000
	$\alpha = 0.2618$	My = 0.0000
2)	R = 0.0000	Mx = 0.6085
	$\alpha = 0.4212$	My = 0.1631
3)	R = 0.9135	Mx = -0.1000
	$\alpha = 0.8878$	My = -0.4135
3')	R = 0.0865	Mx = -0.1000
	$\alpha = 0.8878$	My = 0.4135
2')	R = 1.0000	Mx = 0.6085
	$\alpha = 0.4212$	My = -0.1631
1')	R = 0.3700	Mx = 0.0000
	$\alpha = 0.2618$	My = 0.0000

1. 具有成对同向和成对精密刮削螺杆轴的、分别具有正好一个螺杆导程的、具有轴距  $a$  和外半径  $r_a$  的多轴螺杆机的螺杆元件, 其特征在于, 一个轴对的顶锥角之和小于  $2\pi - 4\arccos\left(\frac{a}{2 \cdot r_a}\right)$ , 并且在轴对称的螺杆型线中, 齿面圆的圆心点不位于型线对称轴的、穿过旋转点垂线上, 并且其中螺杆元件的螺杆型线在截面上由  $n$  个圆弧组成, 其中  $n$  是大于 4 的整数,  $n$  个圆弧中的每一个都具有起始点和终点, 以及圆弧在其起始点和终点上总是以切线方式过渡到彼此中。

2. 根据权利要求 1 所述的螺杆元件, 其特征在于, 截面型线分别由半径大于零并小于或等于  $a$  的五个或更多个圆弧组成, 其中这些圆弧在其终点上以切线方式过渡到彼此。

3. 根据权利要求 1 至 2 之一所述的螺杆元件, 其中该螺杆元件作为混合元件或输送元件来构造。

4. 根据权利要求 1 至 2 之一所述的螺杆元件, 其中该螺杆元件作为捏和元件来构造。

5. 根据权利要求 1 至 2 之一所述的螺杆元件, 其特征在于, 在螺杆元件与机壳之间和/或在相邻螺杆元件之间具有间隙。

6. 根据权利要求 1 至 2 之一所述的螺杆元件, 其特征在于, 该螺杆元件的关于轴距而被标准化的螺杆外半径处于 0.52 至 0.66 的范围中。

7. 根据权利要求 1 至 6 之一所述的螺杆元件在多轴螺杆挤压机中的应用。

8. 根据权利要求 7 所述的应用, 其特征在于, 该螺杆元件成对地在其整个范围中利用恒定间隙来进行清洁。

9. 根据权利要求 7 所述的应用, 其特征在于, 该螺杆元件成对地利用间隙来进行清洁, 其中该间隙在整个范围中不是恒定的。

10. 根据权利要求 7 所述的应用, 其特征在于, 该螺杆元件的型线成对地相对于位于机壳孔中心的旋转点而偏移。

11. 在采用根据权利要求 1 所述的螺杆元件的情况下在双螺杆或多轴螺杆挤压机中用于挤压塑性物质的方法, 其特征在于, 用来生成的螺杆型线和被生成的螺杆型线的顶锥角

之和小于  $2\pi - 4\arccos\left(\frac{a}{2 \cdot r_a}\right)$ , 并且在轴对称的螺杆型线中, 齿面圆的圆心点不位于型线

对称轴的、穿过旋转点的垂线上, 并且其中螺杆元件的螺杆型线在截面上由  $n$  个圆弧组成, 其中  $n$  是大于 4 的整数,  $n$  个圆弧中的每一个都具有起始点和终点, 以及圆弧在其起始点和终点上总是以切线方式过渡到彼此中。

12. 根据权利要求 11 所述的方法, 其特征在于, 该塑性物质是热塑性塑料或弹性体。

13. 根据权利要求 12 所述的方法, 其特征在于, 作为热塑性塑料采用聚碳酸酯, 聚酰胺, 聚酯、聚醚、热塑性聚氨酯、聚缩醛、含氟聚合物、聚醚砜、聚烯烃、聚酰亚胺、聚丙烯酸酯、聚苯醚、聚苯硫醚、聚醚酮、聚芳醚酮、苯乙烯聚合物, 苯乙烯共聚物、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物、聚氯乙烯或者至少两种所述热塑性塑料的共混物。

14. 根据权利要求 13 所述的方法, 其特征在于, 聚对苯二甲酸丁二酯和聚对苯二甲酸乙二酯被用作聚酯, 聚偏 1,1,-二氟乙烯被用作含氟聚合物, 聚乙烯和聚丙烯被用作聚烯烃, 聚(甲基)丙烯酸甲酯被用作聚丙烯酸酯, 聚苯乙烯被用作苯乙烯聚合物, 以及苯乙

烯-丙烯腈共聚物被用作苯乙烯聚合物。

15. 根据权利要求 12 所述的方法,其特征在於,作为弹性体使用苯乙烯-丁二烯橡胶、天然橡胶、丁二烯橡胶、异戊二烯橡胶、三元乙丙橡胶、乙丙橡胶、丁腈橡胶、氢化腈橡胶、丁基橡胶、卤化丁基橡胶、氯丁橡胶、乙烯-醋酸乙烯酯橡胶、聚氨酯橡胶、热塑性聚氨酯、古塔胶、丙烯酸酯橡胶、氟橡胶、硅橡胶、硫化橡胶、氯磺酰基聚乙烯橡胶或所述弹性体的至少两种的组合。

16. 根据权利要求 11 至 15 之一所述的方法,其特征在於,给该塑性物质添加了填充或增强材料或聚合物添加剂或有机或无机颜料或其混合物。

## 具有缩小顶锥角的单导程螺杆元件

[0001] 本发明涉及具有成对同向螺杆以及成对精密刮削螺杆轴的多轴螺杆机的螺杆元件、该螺杆元件在多轴螺杆机中的应用以及用于挤压塑性物质的方法。

[0002] 其转子相对地精密刮削的同向旋转的双轴机械或多轴机械是早已公开的（比如参见 DP 862 668）。在聚合物制造和处理中，基于精密刮削型线原理的螺杆机具有很多用处。这尤其是由于聚合物熔体附着在表面并在常规温度下随着时间而降解，这通过精密刮削螺杆的自清洁作用而被防止。用于生成精密刮削螺杆型线的规则比如在 [1] 中被描述（[1] = Klemens Kohlgrüber :**Der gleichläufige Doppelschneckenextruder** (同向双螺杆挤压机), 慕尼黑 Hanser Verlag 2007, 96 页之后)。在那里, 还阐述了根据双螺杆挤压机的第 1 轴的给定螺杆型线来确定双螺杆挤压机的第 2 螺杆的螺杆型线。双螺杆挤压机的第 1 轴上的螺杆型线因此被称为用来生成的螺杆型线 (erzeugende Schneckenprofil)。双螺杆挤压机的第 2 螺杆的螺杆型线来源于双螺杆挤压机的第 1 螺杆的螺杆型线, 并从而被称为被生成的螺杆型线 (erzeugte Schneckenprofil)。在多轴挤压机中用来生成的螺杆型线和被生成的螺杆型线在相邻的轴上总是交替应用。

[0003] 现代的双螺杆挤压机支配有一个模块化系统, 在该系统中不同的螺杆元件可以被设置在一个芯轴上。从而专业人员可以把该双螺杆挤压机与相应的方法任务相匹配。

[0004] 塑性物质理解为可变形的物质。比如塑性物质是聚合物熔体, 尤其是热塑性塑料、以及弹性体、聚合物熔体的混合物或者聚合物熔体与固体、液体或气体的分散体。

[0005] 塑性物质的挤压尤其在聚合物的制造、预加工 (Aufbereitung) 和处理中是非常重要的。如在 [1] 中概括地描述的, 挤压理解为物质或物质混合物在同向旋转的双螺杆或多轴挤压机中的处理。

[0006] 在聚合物制造时, 进行挤压例如用于对聚合物进行脱气 (比如参见 [1] 的 191 至 212 页)。

[0007] 在聚合物预加工时, 进行挤压以比如掺入添加剂或混合不同的聚合物, 其中这些聚合物比如在化学成分、分子量或分子构造上是不同的 (比如参见 [1] 的 59 至 93 页)。也称作 (Compoundierung) 所述方法用于聚合物预加工, 以制造成品塑料造型材料 (复合物), 其中采用了通常被塑化的塑料原料, 并添加和混合了填料和 / 或增强材料、柔软剂、增附剂、润滑油、稳定剂、颜料等。所述预加工通常还包括挥发成分、比如空气和水的去除。所述预加工还可以包括化学反应, 比如接枝、改变官能团或者通过有目的的增加或减少分子量而进行的分子量的改变。

[0008] 在聚合物处理时, 聚合物优选地以半成品、即现成品或部件的形式来提供。所述处理比如可以通过注塑、挤压、吹膜、拉膜或纺丝 (Verspinnen) 来进行。所述处理比如还可以包括聚合物与填充物、附加料和添加剂的混合以及化学改性, 比如硫化。

[0009] 在挤压期间塑性物质的处理包括以下方法程序中的一个或多个: 输送、熔化、分散、混合、脱气和加压。

[0010] 如通常所已知的以及比如在 [1] 中的 169 至 190 页所述, 所述混合可以划分为分布混合和分散混合。分布混合理解为不同成分在一个给定体积中均匀地分配。分布混合比

如存在于同种或相容聚合物的混合中。在分散混合时固体微粒、液滴或气泡首先被分散。为了分散必须施加足够大的剪切力,以比如克服在聚合物熔体与添加剂之间的界面上的表面张力。

[0011] 在出版物 [1] 的 73 页之后阐述了熔体输送和压力建立。在挤压机螺杆中的熔体出料区用于把产品从一个工艺区传输到下一工艺区以及吸入填料。熔体出料区通常被部分填充,比如在把产品从一个工艺区传输到下一工艺区时,在脱气时和在保持区中时。输送所需的能量被消散,并不利地明显地转换为聚合物熔体的温升。在出料区中从而应该使用螺杆元件,该螺杆元件消散尽可能少的能量。对于单纯的熔体输送,通常使用螺距为一倍挤压机机壳直径  $D$  的螺纹元件 [1]。

[0012] 由于在该挤压机内诸如回送元件、混合元件、回送或中性 (neutralen) 捏和块的压力消耗以及由于在该挤压机外诸如料盘、挤压模具和熔体过滤器的压力消耗,在该挤压机内产生一个倒流区,在该倒流区中进行完全填充状态下的输送,并且其中必须构建压力,以克服压力消耗。挤压机的为输出熔体而生成必要压力的压力构建区被称作出料区。施加到该聚合物熔体中的能量划分为有用功率和消散功率,其中有用功率用于压力构建以及用于输送熔体,消散功率不利地明显地转变为熔体中的温升。在压力构建区中通过该螺杆齿来进行熔体的强烈回流,并从而提高了能量输入 [1]。在压力构建区中从而应该使用消散尽可能少能量的螺杆元件。

[0013] 另外对于专业人员所已知的是 ([1], 129 至 146 页),在压力构建时具有已知的 Erdmenger 螺杆型线的双导程输送元件的效率约为 10%。在熔体密度为  $1000\text{kg/m}^3$  以及熔体热容量为  $2000\text{J/kg/K}$ 、所述效率为 10% 的情况下,50bar 的升压导致 25K 的温升 ([1], 120 页)。这种变热可能导致产品的损坏,比如气味、颜色、化学成分或分子量的变化,或者导致形成产品中的不均匀性,比如凝胶颗粒或斑点。

[0014] 在挤压聚乙烯和聚乙烯共聚物时,在太高温下导致分子量的增加、分支和交联。另外,聚乙烯和聚乙烯共聚物与空气氧气以专业人员已知的自氧化循环进行反应 ([2] Hepperle, J 的 : **Schädigungsmechanismen bei Polymeren** (聚合物的损坏机理). 聚合物制备 2002, VDI-K, VDI 出版社有限公司, [3] Zweifel, H. : **Stabilization of Polymerie Materials** (聚合材料的稳定性). Springer, 柏林, 1997, [4] Schwarzenbach, K. 等人的 : **Antioxidants** (抗氧化). In Zweifel, H. (Hrsg.) : **Plastics Additives Handbook** (塑料添加手册). Hanser, 慕尼黑, 2001, [5] Cheng, H. N., Schilling, F. C., Bovey, F. A. :  **$^{13}\text{C}$  Nuclear Magnetic Resonance Observation of the Oxidation of Polyethylene** (聚乙烯氧化的  $^{13}\text{C}$  核磁共振观测), *Macromolecules* 9 (1976) 363-365 页),形成了气味浓烈并从而干扰的低分子成分,比如酮、醛、羧酸、氢过氧化物、酯、内酯和醇。

[0015] 在挤压基于聚乙烯和醋酸盐的共聚物时,在太高温下还产生有气味强烈的和腐蚀性的醋酸。

[0016] 在挤压聚丙烯和聚丙烯共聚物时,在太高温下导致分子量的减少。另外,聚丙烯和聚丙烯共聚物还与空气氧在自氧化循环中进行反应,形成了有气味强烈并从而干扰的低分子成分,比如酮、醛、羧酸、氢过氧化物、酯、内酯和醇。

[0017] 在挤压聚氯乙烯时,产品在太高温下在使腐蚀性盐酸气体变色的情况下解离,其中盐酸又以催化的方式在盐酸的进一步解离时起作用。

[0018] 在挤压聚苯乙烯时,在太高温下随着分子量减少以及机械特性相应变差形成危害健康的苯乙烯以及二聚体和三聚体苯乙烯,。

[0019] 在挤压聚苯乙烯-丙烯腈共聚物(SAN)时,产品在热负荷下变色为黄色,这导致透明度降低,并且分子量减少以及机械特性变差情况下形成致癌的单体丙烯腈以及苯乙烯,。

[0020] 在挤压芳香族聚碳酸酯时,产品在热负荷下、尤其在氧气影响下变色为黄色,这导致透明度降低,并尤其在水的影响下导致分子量减少。在提高的温度下单体诸如双酚A也被裂解。

[0021] 在挤压聚酯、诸如聚对苯二甲酸乙二酯、聚对苯二甲酸丁二酯和聚对苯二甲酸1,3-丙二酯时,在太高温以及水影响下导致分子量的减少以及分子中的端基位移。这尤其在聚对苯二甲酸乙二酯回收时是有问题的。聚对苯二甲酸乙二酯在太高温下分离出乙醛,这比如在作为饮料瓶的材料时可能导致味道变化。

[0022] 在挤压利用二烯橡胶、尤其丁二烯橡胶进行抗冲击改性的热塑性塑料、尤其进行抗冲击改性的聚苯乙烯类型(HIPS)以及抗冲击改性的SAN(丙烯腈-丁二烯-苯乙烯,ABS)时,在太高温下分离出致癌的丁二烯和丙烯腈以及有毒的乙烯基环己烯。另外二烯橡胶还交联,使得产品的机械特性变差。

[0023] 在挤压聚缩醛时,在太高温下分离出有毒的甲醛。

[0024] 在挤压聚酰胺、诸如聚酰胺6、聚酰胺6,6、聚酰胺4,6、聚酰胺11以及聚酰胺12时,太高温导致产品变色,并导致分子量减少,并导致重新形成单体和二聚体,并从而尤其在存在水的情况下导致机械特性的变差。

[0025] 在挤压热塑性聚氨酯时,太高温由于聚氨酯基交换反应(Umurethanisierung)而导致分子结构的改变,在存在水的情况下,导致分子量减少。二者以不期望的方式影响了热塑性聚氨酯的特性。

[0026] 在挤压聚甲基丙烯酸甲酯时,在太高热负荷时在分子量减少的情况下分离出甲基丙烯酸甲酯,这导致嗅觉妨碍并导致机械特性变差。

[0027] 在挤压聚苯硫醚时,在太高温下分离出含硫的有机和无机化合物,这可能导致嗅觉妨碍并导致挤压模具的腐蚀。在此还形成低分子的低聚体和单体,并使分子量减少,这使聚苯硫醚的机械特性变差。

[0028] 在挤压聚苯砜时,特别是在存在水的情况下在高温下分离出有机化合物。还使分子量减少,从而使机械特性变差。

[0029] 在挤压聚苯醚时,在太高温下分离出低分子有机化合物,其中分子量减少。这导致产品机械特性变差。

[0030] 在挤压二烯橡胶、诸如聚丁二烯(BR)、天然橡胶(NR)和合成聚异戊二烯(IR)、丁基橡胶(IIR)、氯化丁基橡胶(CIIR)、溴化丁基橡胶(BIIR)、丁苯橡胶(SBR)、聚氯丁二烯(CR)、丁腈橡胶(NBR)、部分氢化的丁腈橡胶(HNBR)以及三元乙丙橡胶(EPDM)时,太高的温度由于交联而形成凝胶,这导致由此制成的部件的机械特性变差。在氯化化和溴化丁基橡胶中在提高温度下可能分离出腐蚀性的盐酸气体或氢溴酸气体,其再次催化聚合物的进一步分解。

[0031] 在挤压含有硫化剂如硫或过氧化物的橡胶混合物时,太高的温度导致过早硫化。这导致不再能由该橡胶混合物来制造产品。

[0032] 在挤压由一种或几种聚合物组成的混合物时,在太高温下相应出现对各个聚合物的挤压的缺点。

[0033] 在双螺杆挤压机中的能量输入通过工艺参数即生产量和转速、通过产品的材料特性以及通过所使用螺杆轴的几何形状来确定。

[0034] 根据现有技术 [1] (比如参见 101 页),精密刮削的螺杆元件的几何形状通过独立的量即螺纹头数  $z$ 、轴距  $a$  和精密刮削轮廓的外半径  $r_a$  的说明来确定。按照现有技术,顶锥角是不可调节的,并且是不能与任务要求相匹配的量,而是由 G1.1 来得出,其中在该顶锥角的范围内型线的所有点对机壳进行清洁,

$$[0035] \quad KW0 = \frac{\pi}{2} - 2 \arccos\left(\frac{a}{2 \cdot r_a}\right) \quad (G1.1)$$

[0036] 其中  $KW0$  是精密刮削的型线的以弧度为单位的顶锥角,  $\pi$  是圆周率 ( $\pi \approx 3,14159$ )。

[0037] 按照现有技术,紧密啮合的元件对的两个元件的顶锥角之和  $SKW0$  必然由以下公式来得出

$$[0038] \quad SKW0 = 2\pi - 4z \arccos\left(\frac{a}{2 \cdot r_a}\right) \quad (G1.2)$$

[0039] 可以利用一个或多个螺杆导程来实施螺杆型线。已知的具有正好一个螺杆导程的螺杆型线已知在压力构建时具有良好的输送特性和刚度。其具有一个非常宽的螺杆齿 (Schneckenkamm), 该螺杆齿利用窄的间隙来对螺杆机壳进行清洁。专业人员所已知的是,在螺杆齿区域中由于非常窄的间隙而把特别多的能量消散到该熔体中,这在产品中导致局部强烈过热。大的顶锥角在此尤其是有害的。

[0040] 因此,在按照现有技术的同步双螺杆挤压机中,主要采用双导程螺杆型线,该双导程螺杆型线仅具有一个窄的螺杆齿。但是与单导程螺杆型线相比其在压力构建中是明显低效的。

[0041] 驱动能量以高等级电能的形式被输入给双螺杆挤压机,如此使得降低能量输入出于成本和环境原因也应该是所力求的。另外在许多工艺中高的能量输入还限制了双螺杆挤压机的可能的产量,并从而限制了经济性。

[0042] 在 US 3900187 中描述了具有缩小顶锥角的单导程螺杆型线。具有这种螺杆型线的螺杆元件在充分有效的压力构建时比其他已知的单导程螺杆元件具有更小的剪切效应。但在 US 3900187 中仅公开了轴对称螺杆型线的生成,其中型线边缘与螺杆齿相邻的区域通过一个圆弧来表示,该圆弧的圆心点位于穿过旋转点的、型线对称轴的垂线上。从而在 US 3900187 中不能与特定的任务要求相匹配,并在其应用上受限制。

[0043] 根据现有技术,从而本发明的任务是提供螺杆元件,该螺杆元件形成与已知的单导程螺杆元件相当的压力构建,但对要处理的材料施加少量的剪切,并从而不影响产品质量。所寻找的螺杆元件应该能够尽可能多种方式地来构造,以能够把旋转的螺杆型线所施加给要处理聚合物的剪切和延展应力与相应的任务要求相匹配。

[0044] 惊喜地找到了能够用来解决该任务的螺杆元件,并且其中一个元件对的顶锥角之和小于  $2\pi - 4 \arccos\left(\frac{a}{2 \cdot r_a}\right)$ , 其中在轴对称的螺杆型线中齿面圆 (Flankenkreise) 的圆心点

位于螺杆型线对称轴的垂线上,其中该垂线穿过该旋转点。

[0045] 从而本发明的对象是多轴螺杆机的螺杆元件,其具有成对同向的和成对精密刮削的螺杆轴,分别具有正好一个螺杆导程,具有轴距  $a$  和外半径  $r_a$ ,其特征在于,用来生成的和被生成的螺杆型线的顶锥角之和小于  $2\pi - 4\arccos\left(\frac{a}{2 \cdot r_a}\right)$ ,并且在轴对称的螺杆型线中

齿面圆的圆心点不位于型线对称轴的垂线上,其中该垂线穿过该旋转点。

[0046] 根据本发明的螺杆元件的截面型线 - 在下文中也简称作螺杆型线 - 可以通过圆弧的配置来明确地描述。

[0047] 优选地根据本发明的螺杆元件的螺杆型线在截面上由  $n$  个圆弧组成,其中  $n$  是大于 4 的整数。 $n$  个圆弧中的每一个都具有起始点和终点。

[0048] 每个圆弧  $j$  ( $j = 1$  至  $n$ ) 的位置可以通过说明两个不同的点而被明确地确定。一个圆弧的位置符合目的地通过圆心点和起始点或终点的说明而被确定。一个单独的圆弧  $j$  的大小通过半径  $r_j$  以及在起始点与终点之间围绕圆心点的角度  $\alpha_j$  来确定,其中半径  $r_j$  大于或等于 0 并小于或等于轴之间的轴距  $a$ , 并且角度  $\alpha_j$  在弧度上大于或等于 0 并小于或等于  $2\pi$ , 其中  $\pi$  是圆周率 ( $\pi \approx 3,14159$ )。

[0049] 根据本发明的螺杆元件的型线也可以具有一个或多个“弯折 (Knicke)”。弯折符合目的地如同具有半径  $r = 0$  的圆弧一样来处理。“弯折的大小”通过具有半径  $r = 0$  的圆弧的相应角度来给出,也即在弯折处把一个第一圆弧通过旋转具有半径  $r = 0$  的一个第二圆弧的角度来进行至一个第三圆弧的过渡。换句话说:该第一圆弧在具有半径  $r = 0$  的该第二圆弧的圆心点处的切线与该第三圆弧同样在该第二圆弧的圆心点处的切线相交成一个角度,该角度等于该第二圆弧的角度。在考虑该第二圆弧的情况下,所有相邻的圆弧(第一→第二→第三)以切线方式过渡到彼此。符合目的地,把具有半径  $r = 0$  的圆弧如同半径等于  $\epsilon$  的圆弧一样来进行处理,其中  $\epsilon$  是一个非常小的正实数并趋向于 0 ( $\epsilon \ll 1$ ,  $\epsilon \rightarrow 0$ )。

[0050] 在根据本发明的型线中,圆弧在其起始点和终点上总是以切线方式过渡到彼此中。

[0051] 等同于螺杆外半径的螺杆型线区域被称为齿区域。等同于核心半径的螺杆型线区域被称为沟槽区域。小于螺杆外半径并大于核心半径的螺杆型线区域被称作齿面区域 (Flankenbereiche)

[0052] 根据本发明的螺杆元件在其截面上特征在于,

[0053] - 用来生成的螺杆型线和被生成的螺杆型线位于一个平面中,

[0054] - 用来生成的螺杆型线的旋转轴和被生成的螺杆型线的旋转轴以一个距离  $a$  (轴距) 分别垂直于螺杆型线的所述平面,其中用来生成的螺杆型线的旋转轴与所述平面的交点被称作用来生成的螺杆型线的旋转点,被生成的螺杆型线的旋转轴与所述平面的交点被称作被生成的螺杆型线的旋转点,

[0055] - 用来生成的螺杆型线的圆弧数量为  $n$ ,

[0056] - 用来生成的螺杆型线的外半径  $r_a$  大于或等于 0 ( $r_a \geq 0$ ) 并小于或等于轴距 ( $r_a \leq a$ ),

[0057] - 用来生成的螺杆型线的核心半径  $r_i$  大于 0 ( $r_i > 0$ ) 并小于或等于  $r_a$  ( $r_i \leq r_a$ ),



[0058] - 用来生成的螺杆型线的圆弧形成一个闭合的型线,也即全部圆弧  $j$  的角度  $\alpha_j$  之和等于  $2\pi$ ,

[0059] - 用来生成的螺杆型线的圆弧形成一个凸起的型线,

[0060] - 用来生成的螺杆型线的每个圆弧都位于外半径  $r_a$  和核心半径  $r_i$  的一个圆环之内或边界上,该圆环的圆心点位于用来生成的螺杆型线的旋转点上,

[0061] - 用来生成的螺杆型线的正好一个圆弧具有用来生成的螺杆型线的外半径  $r_a$ ,

[0062] - 用来生成的螺杆型线的正好一个圆弧具有用来生成的螺杆型线的核心半径  $r_i$ ,

[0063] - 被生成的螺杆型线的圆弧的数量  $n'$  等于用来生成的螺杆型线的圆弧的数量  $n$ ,

[0064] - 被生成的螺杆型线的外半径  $r_a'$  等于轴距与用来生成的螺杆型线的核心半径  $r_i$  之差 ( $r_a' = a - r_i$ ),

[0065] - 被生成的螺杆型线的核心半径  $r_i'$  等于轴距与用来生成的螺杆型线的外半径  $r_a$  之差 ( $r_i' = a - r_a$ ),

[0066] - 被生成的螺杆型线的第  $j'$  个圆弧的角度  $\alpha_{j'}$  等于用来生成的螺杆型线的第  $j$  个圆弧的角度  $\alpha_j$ , 其中  $j$  和  $j'$  是整数,其共同地经过在从 1 至圆弧的数量  $n$  或  $n'$  范围中的所有值,

[0067] - 被生成的螺杆型线的第  $j'$  个圆弧的半径  $r_{j'}$  与用来生成的螺杆型线的第  $j$  个圆弧的半径  $r_j$  之和等于轴距  $a$ , 其中  $j$  和  $j'$  是整数,其共同地经过在从 1 至圆弧的数量  $n$  或  $n'$  范围中的所有值,

[0068] - 被生成的螺杆型线的第  $j'$  个圆弧的圆心点与用来生成的螺杆型线的第  $j$  个圆弧的圆心点具有一个距离,该距离等于该轴距  $a$ , 并且被生成的螺杆型线的第  $j'$  个圆弧的圆心点与被生成的螺杆型线的旋转点具有一个距离,该距离等于用来生成的螺杆型线的第  $j$  个圆弧圆心点与用来生成的螺杆型线的旋转点的距离,并且在被生成的螺杆型线的第  $j'$  个圆弧圆心点与用来生成的螺杆型线的第  $j$  个圆弧圆心点之间的连线平行于在被生成的螺杆型线的旋转点与用来生成的螺杆型线的旋转点之间的连线,其中  $j$  和  $j'$  是整数,其共同地经过在从 1 至圆弧的数量  $n$  或  $n'$  范围中的所有值,

[0069] - 被生成的螺杆型线的第  $j'$  个圆弧的起始点在关于被生成的螺杆型线的第  $j'$  个圆弧的圆心点的方向上,该方向与用来生成的螺杆型线的第  $j$  个圆弧的起始点关于用来生成的螺杆型线的第  $j$  个圆弧圆心点所具有的那个方向相反,其中  $j$  和  $j'$  是整数,其共同地经过在从 1 至圆弧的数量  $n$  或  $n'$  范围中的所有值,

[0070] - 用来生成的螺杆型线和被生成的螺杆型线的顶锥角之和小于  $2\pi - 4\arccos\left(\frac{a}{2 \cdot r_a}\right)$ , 以及

[0071] - 在轴对称的螺杆型线中,没有齿面圆圆心点位于螺杆型线对称轴的穿过该旋转点的垂线上。

[0072] 用来生成的螺杆型线和被生成的螺杆型线的顶锥角之和小于  $2\pi - 4\arccos\left(\frac{a}{2 \cdot r_a}\right)$ ,

优选地小于  $0.8 \cdot \left(2\pi - 4\arccos\left(\frac{a}{2 \cdot r_a}\right)\right)$ , 尤其优选地小于  $0.6 \cdot \left(2\pi - 4\arccos\left(\frac{a}{2 \cdot r_a}\right)\right)$ , 最

优选地小于  $0.4 \cdot \left( 2\pi - 4\arccos\left(\frac{a}{2 \cdot ra}\right) \right)$ 。

[0073] 在根据本发明的螺杆元件中,截面型线分别优选地由五个或更多个半径大于或等于零并小于或等于  $a$  的圆弧组成,其中这些圆弧在其终点上以切线方式过渡到彼此中。

[0074] 根据本发明的螺杆元件的型线可以关于穿过相应螺杆元件的旋转点的轴而相应是非对称的或对称的。根据本发明的螺杆元件的轴对称型线特征在于,形成齿面区域的圆弧的圆心点不位于型线对称轴的穿过该旋转点的垂线上。

[0075] 根据本发明的螺杆元件的型线特征在于,其能够仅仅利用三角板和圆规来构造。从而在用来生成的螺杆型线的第  $j$  个与第  $j+1$  个圆弧之间构造了切线过渡,其方式是,围绕第  $j$  个圆弧的终点以半径  $r_{j+1}$  绘制一个圆,并且该圆的位于用来生成的螺杆型线的旋转点附近的、与由第  $j$  个圆弧的圆心点和终点所定义直线的交点就是第  $(j+1)$  个圆弧的圆心点。

[0076] 在计算机上实施用来产生螺杆型线的该方法是适合的。那么该螺杆元件的尺寸以下形式而出现,即在该形式中其能够被输入给 CAD 铣床以产生该螺杆元件。

[0077] 根据本发明的螺杆元件的、以轴距而标准化的螺杆外半径优选地处于 0.51 至 0.7 的范围中,尤其优选地在 0.52 至 0.66 的范围中,并完全特别优选地在 0.57 至 0.63 的范围中。

[0078] 根据本发明的螺杆元件可以作为输送元件或捏和元件或混合元件来构造。

[0079] 输送元件已知其特征在于(比如参见例子 [1], 227-248 页),该螺杆型线在轴方向上连续地螺旋状旋转并继续。视轴的旋转方向而定地,该输送元件实施为右旋或左旋的。相应地通过与此相反的旋转来获得回送元件。该输送元件的螺距优选地在轴距的 0.1 倍至 10 倍范围中,其中该螺距理解为该螺杆型线完整旋转一周所需的轴向长度,并且一个输送元件的轴向长度优选地在螺杆直径的 0.1 倍至 10 倍范围中。

[0080] 捏和元件已知其特征在于(比如参见例子 [1], 227-248 页),螺杆型线在轴向上以捏和盘的形式分段地继续进行。捏和盘设置可以左旋或右旋或中性地 (neutral) 进行设置。捏和盘的轴长度优选地在轴距的 0.05 倍至 10 倍范围中。在两个相邻捏和盘之间的轴向距离优选地在螺杆直径的 0.002 倍至 0.1 倍范围中。

[0081] 混合元件已知其特征在于(比如参见例子 [1], 227-248 页),实施了在螺杆齿中具有开口的输送元件。该混合元件可以是右旋或左旋的。它的螺距优选地在轴距的 0.1 倍至 10 倍范围中,并且该元件的轴向长度优选地在轴距的 0.1 倍至 10 倍范围中。所述开口优选地具有 u 形或 v 形沟槽的形状,该沟槽优选地逆输送或者轴平行地被设置。

[0082] 在优选地在计算机上在考虑上述构造特征的情况下进行构造之后,根据本发明的螺杆元件比如可以利用铣床来生成。用于生成螺杆元件的优选材料是钢、尤其是氮化钢、铬钢、工具钢、和特种钢、以及粉末冶金制造的基于铁、镍或钴的金属复合材料。

[0083] 专业人员已知的是,精密刮削螺杆型线不能直接应用在双螺杆挤压机中。而是在螺杆之间需要间隙。对此在 [1] 中 28 页之后阐述了不同的策略。对于根据本发明螺杆元件的螺杆型线,可以使用关于螺杆型线直径 0.001 至 0.1 倍范围内的间隙,优选地是 0.002 至 0.05,尤其优选地在 0.004 至 0.02 倍。如专业人员所已知的,在螺杆和机壳之间以及在螺杆和螺杆之间的间隙可以是大小不同的或相同的。间隙也可以是恒定的或者在给定界限内可变的。也可以在该间隙内偏移螺杆型线。可能的间隙策略是在 [1] 中 28 页之后所述

的轴距增大、纵切面等距线或者空间等距线的可能性,这全部是专业人员所已知的。在轴距增大方法中,构造具有较小直径的螺杆型线,并在螺杆之间相互隔开该间隙的量。在纵切面等距线方法中,纵切面型线曲线(与轴平行)被向内偏移了一半的螺杆-螺杆间隙。在空间等距线方法中,从该螺杆元件进行自清洁的空间曲线出发,螺杆元件在垂直于精密刮削的型线平面的方向上缩小了螺杆与螺杆之间间隙的一半。优选地使用纵切面等距线方法和空间等距线方法,尤其优选地使用空间等距线方法。

[0084] 根据本发明的螺杆元件的型线可以按照 PCT/EP2009/003549 中所述的方法之一来构造。

[0085] 本发明的主题还在于根据本发明的螺杆元件在多轴螺杆机中的应用。优选地根据本发明的螺杆元件被应用在双轴螺杆机中。螺杆元件可以以捏和元件、混合元件或输送元件的形式存在于多轴螺杆机中。同样也可以把捏和元件、输送元件和混合元件彼此组合在螺杆机中。根据本发明的螺杆元件也可以利用例如在现有技术中所公开的其他螺杆元件来组合。

[0086] 本发明的主题另外还在于在使用本发明螺杆元件的双螺杆挤压机或多轴挤压机中用于挤压塑性物质的方法,其特征在于,一个螺杆元件对的顶锥角之和小于  $2\pi - 4\arccos\left(\frac{a}{2 \cdot ra}\right)$ ,并且在轴对称螺杆型线中齿面圆的圆心点不位于型线对称轴的、穿过该旋转点的垂线上。

[0087] 根据本发明能够高效地在同时产品完好的情况下被挤压的塑性物质比如是悬浮物、糊状物、玻璃、陶瓷材料、以熔体形式的金属、塑料、塑料熔体、聚合物溶液、弹性体和橡胶材料。

[0088] 优选地采用塑料和聚合物溶液,尤其优选地是热塑性聚合物。作为热塑性聚合物优选地采用以下系列至少之一:聚碳酸酯,聚酰胺,聚酯,尤其是聚对苯二甲酸丁二酯和聚对苯二甲酸乙二酯、以及聚醚、热塑性聚氨酯、聚缩醛、含氟聚合物、尤其是聚偏 1,1, - 二氟乙烯、以及聚醚砜、聚烯烃、尤其是聚乙烯和聚丙烯、以及聚酰亚胺、聚丙烯酸酯、尤其是聚(甲基)丙烯酸甲酯(Poly(methyl) methacrylat)、以及聚苯醚,聚苯硫醚、聚醚酮、聚芳醚酮、苯乙烯聚合物、尤其是聚苯乙烯和苯乙烯共聚物、尤其是苯乙烯-丙烯腈共聚物和丙烯腈-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物和聚氯乙烯。同样优选地采用所述塑料的所谓混合物,对此专业人员应理解为两种或多种塑料的组合。

[0089] 其他优选的给料材料是弹性体。作为弹性体优选地采用了以下系列至少之一:苯乙烯-丁二烯橡胶、天然橡胶、丁二烯橡胶、异戊二烯橡胶、三元乙丙橡胶、乙丙橡胶、丁腈橡胶、氢化腈橡胶、丁基橡胶、卤化丁基橡胶、氯丁二烯橡胶、乙烯-醋酸乙烯酯橡胶、聚氨酯橡胶、热塑性聚氨酯、古塔胶、丙烯酸酯橡胶、氟橡胶、硅橡胶、硫化橡胶、氯磺酰基聚乙烯橡胶。自然也可以进行两种或多种所述橡胶的组合、或者一种或多种橡胶与一种或多种塑料的组合。

[0090] 这些热塑性塑料和弹性体可以以纯的形式、或者作为与填充材料和尤其诸如玻璃纤维的增强材料的混合物、作为相互之间或与其他聚合物的混合物、或者作为与常见的聚合物添加剂的混合物而被应用。

[0091] 在一个优选的实施方案中,塑性物质、尤其聚合物熔体和聚合物熔体混合物被混

合了添加剂。添加剂可以作为固体、液体或溶液与聚合物一起被加入到该挤压机中,或者至少一部分添加剂或者所有的添加剂通过测流而被加入到挤压机中。

[0092] 添加剂可以给聚合物增加多种特性。其比如可以是染料、颜料、加工助剂、填充剂、抗氧剂、加固剂、紫外线吸收剂和光稳定剂、金属减活化剂、过氧化物清除剂、基本稳定剂、成核剂、用作稳定剂或抗氧化剂的苯并呋喃和吡啶啉酮、分型剂、阻燃添加剂、抗静电剂、着色剂和熔体稳定剂。比如用于填充和强化材料的是炭黑、玻璃纤维、粘土、云母、石墨纤维、二氧化钛、碳纤维、碳纳米管、离子液体与天然纤维。

[0093] 下面借助附图来示例地更详细解释本发明,但本发明并不局限于此。

[0094] 在附图中使用了以下的术语:

[0095] • 所有的大小说明都关于轴距  $a$  来标准化。标准化的大小用大写字母来表示。比如:标准化的外半径:  $RA = ra/a$ 。

[0096] • 角度以弧度来表示。

[0097] •  $M_x$  和  $M_y$  是生成型线的圆弧的圆心点在卡迪尔坐标系中的  $x$  和  $y$  坐标,其中该坐标系的原点位于螺杆型线的旋转点上。

[0098] • 具有半径  $r = ra$  的圆弧被称作“1”。其定义了螺杆齿的轮廓。

[0099] • 具有半径  $r = ri$  的圆弧被称作“1'”。其定义了螺杆型线沟槽区域的轮廓。

[0100] • 圆弧“2”和“2'”、“3”和“3'”定义了螺杆型线的齿面。

[0101] •  $R$  是关于轴距  $a$  而标准化的半径,  $\alpha$  是圆弧的弧角。

[0102] • 另外还表示:  $RG =$  标准化的机壳半径、 $RV =$  标准化的有效机壳半径、 $RA =$  精密刮削型线的标准化外半径、 $RF =$  要制造的螺杆的标准化外半径、 $S =$  螺杆相互之间的标准化的间隙(缝隙)、 $D =$  螺杆与机壳之间的标准化的间隙、 $VPR =$  型线偏移的标准化的量、 $VPW =$  型线偏移的以弧度为单位的角度、 $VLR =$  左轴偏移的标准化的量、 $VLW =$  左轴偏移的角度、 $VRR =$  右轴偏移的标准化的量、 $VRW =$  右轴偏移的角度。

[0103] 图 1a 至 1d 分别示出了按照现有技术的、如其在 [1] 中所述的单导程自清洁螺杆型件截面的一部分。

[0104] 坐标原点标记了旋转点。圆弧 1、2、2' 和 1' 构成了螺杆型线的一半。另一半通过所示型线关于穿过旋转点的水平直线的镜像而得出。该第二轴的未示出的螺杆型线通过所示出的以及所镜像的螺杆型线沿着穿过旋转点的水平直线偏移数值  $A$  (标准化的轴距) 而得出。该圆弧 1' 还是与用来生成的圆弧 1 相关的被生成圆弧, 同样圆弧 2' 是与用来生成的圆弧 2 有关的被生成圆弧。

[0105] 圆弧的圆心点通过小圆来表示。圆弧的圆心点利用细实线与所属圆弧的起始点以及终点相连接。在螺杆型线外部, 螺杆外半径通过细虚线来表示。

[0106] 在图 1a 至 1d 中, 标准化的外半径  $RA$  逐步地增大, 实现了从浅切型线(图 1a) 到深切型线(图 1d)。

[0107] 圆弧“1”分别表示螺杆齿的一半, 所属的角度  $\alpha_1$  表示一半的顶锥角。在按照 [1] 进行构造时,  $\alpha_1$  的大小为  $\frac{\pi}{2} - 2\arccos\left(\frac{a}{2 \cdot ra}\right)$ , 两个螺杆轴的顶锥角之和得到为

$$2\pi - 4\arccos\left(\frac{a}{ra}\right)。$$

[0108] 在图 1c 中一半的顶锥角比如为 52.5 度;两个螺杆轴的所有顶锥角之和得到为 210 度。

[0109] 图 2a、2b、2d 和 2e 以截面形式示出了根据本发明的具有缩小顶锥角的螺杆型线的示例性部分型线。轴对称的全部型线可以通过所示部分型线关于穿过旋转点的水平直线的镜像来生成。第二螺杆轴的型线可以由所示的和所镜像的、沿着穿过旋转中点的水平直线偏移一个值 A 来生成。该圆弧 1' 还是与用来生成的圆弧 1 相关的被生成圆弧,同样圆弧 2' 和 3' 是与用来生成的圆弧 2 和 3 有关的被生成圆弧。

[0110] 比值 RA 如在图 1c 中一样具有值 0.63,但是一半顶锥角  $\alpha_1$  被缩小为 15 度,两个螺杆轴的顶锥角之和相应地被缩小为 60 度。在图 2a 至 2d 中分别选择了半径  $R_2 = 0$ ,使得在螺杆齿和齿面之间的过渡产生了棱,并且与  $R_2$  相对应的半径  $R_2'$  采用了最大值  $R_2' = A$ 。半径  $R_3$  在附图中在  $R_3 = 0.9153$  (图 2a) 和  $R_3 = 0.5523$  (图 2e) 之间变化。图 2a 至 2e 表明了根据本发明的构造的变化可能性,其包括了在给定顶锥角和给定比值 RA 的情况下从带棱型线(图 2a)直至非常圆滑的型线(图 2e)的构造。图 2c 示出了根据 US 3900187 所公开的一种构造,其中在给定顶锥角和给定比值 RA 的情况下不具有其他的变化可能性。按照 US 3900187,紧邻螺杆齿的齿面圆(在图 2 中是圆“3”)的圆心点位于型线对称轴的垂线上,其中该垂线穿过旋转点(在图 2 中是 y 坐标轴)。要注意的是,在螺杆型线的齿面上的切线与在螺杆齿和齿面之间的过渡点上机壳圆上的切线之间的啮入角如何受图 2a 至 2e 中  $R_3$  变化的影响。视工艺要求而定,根据本发明可以在如下两方面之间进行选择,一方面是利用非常尖的角度来构造,如在图 2e 中所示,这导致要处理的材料通过螺杆轴的旋转而大量地被吸收进入到螺杆齿和机壳壁之间的间隙中,另一方面是利用较大的啮入角来进行构造,在此该螺杆齿面把材料较大程度地推到它前面。

[0111] 图 2f 至 2j 为了图示而示出了螺杆轴的纵截面,其中该螺杆轴根据螺杆型线 2a 至 2e 来构建,并作为输送螺纹来构造。

[0112] 图 3a 至 3d 示例地示出了根据本发明的用来生成的螺杆型线的部分型线,其具有  $RA = 0.58$ ,一半顶锥角  $\alpha_1$  从图 3a 的 47.6 度变化至图 3d 的 11.9 度。从螺杆齿到齿面的过渡在图 3a 至 3d 中通过选择一个不为零的半径  $R_2$  来进行倒圆。相反,半径  $R_3$  被选择为具有  $R_3 = A$ ,如此使得相对应的半径  $R_3'$  消失。从而在螺杆型线的齿面中产生一个棱,但是这个棱以至机壳的较大间距而进行旋转。图 3a 至 3d 示出了在该棱显现时的变化可能性:在选择小的顶锥角  $\alpha_1$  时以及选择大的牙型角  $\alpha_3$  时,该棱明显地显现(图 3d),在选择大的顶锥角  $\alpha_1$  时以及选择小的牙型角  $\alpha_3$  时,它仅少许地显现(图 3a)。

[0113] 图 4a 至 4d 示出了根据本发明的没有弯折的螺杆型线的部分型线。一半顶锥角  $\alpha_1$  与图 3a 至 3d 类似地从图 4a 的 47.6 度变化至图 4d 的 11.9 度。齿面半径(Flankenradien)被选择为具有  $R_2 = 0.125$  和  $R_3 = 0.75$ 。齿宽度的变化在此生成了螺杆型线的一个图谱,其中该螺杆型线从具有明显高剪切区和低剪切区的螺杆型线(图 4a)达到了在型线周围剪切率均匀分布的型线(图 4d)。

[0114] 图 5a 至 5c 示例地示出了通过把本发明的螺杆型线在 x 轴方向进行偏移来进行成对自清洁螺杆轴的生成。如果两个轴的旋转点位于 x 轴上,那么该型线就允许旋转点在机壳半径内保持位置固定地在 x 轴方向上被偏移。在此保持了螺杆型线的完全相互清洁。图 5a 示出了原始型线,其具有  $23.8^\circ$  的半顶锥角  $\alpha_1$  和  $R_2 = 0.25$  以及  $R_3 = 0.75$  的齿面半

径。在图 5b 中型线在负 x 轴方向上被偏移。机壳孔现在以明显增大的间隙而被清洁。在螺杆齿与机壳之间的高剪切区域由此不再存在。图 5c 示出了型线的最大可能的偏移。螺杆根或原始型件的槽现在承担了螺杆齿的功能,或相反。

[0115] 在图 6a 至 6d 中示例地示出了根据本发明的螺杆元件的一个特殊实施方案。

[0116] 所示的螺杆型线可以由图 5a 所示的部分型线通过关于穿过旋转点的水平直线的镜像来生成。第二轴型线对应于该第一轴型线沿对称轴偏移数值 A 的型线。该实施方案特征在于,该机壳孔利用一个标准化的半径  $R_G = 0.63$  来实施,其大于螺杆型线的外半径  $R_A = 0.58$ 。该螺杆型线成对地关于机壳孔的圆心点来偏移。但是旋转点(用小圆来表示)保持位于机壳孔的中央。这样就生成了偏心旋转的螺杆元件。所述偏移可以在该机壳孔内被任意地选择。在图 6a 至 6d 中示例地示出了同一螺杆型线的四种偏移,其中型件轮廓的不同半径相应地对机壳孔进行清洁。

[0117] 到目前为止涉及的是精密刮削的螺杆型线。但是在技术上所实施的机器必然是与精密刮削的几何形状不同,其不同之处在于在清洁时遵守精确定义的间隙。为了防止金属“磨损”、为了对制造公差进行平衡以及为了避免在间隙内过分的能量消散,这是必要的。为了生成一致的间隙可以采用不同的策略。最广泛的是在机器纵截面上生成等距的间隙。用于生成相应螺杆型线的策略在 [1] 中 103 页之后也有阐述。

[0118] 图 7a 至 7d 示出了根据本发明的具有间隙的螺杆元件的型线实例。在图 7a 中在螺杆相互清洁时关于轴距而被标准化的间隙 S 选择得与在机壳清洁时的标准化间隙 D 大小相同。在图 7b 中间隙 S 小于 D,相反在图 7c 和 7d 中 D 小于 S。

[0119] 图 8a 至 8d 示出了通过构造具有间隙的螺杆型线并接着在该间隙内把型线进行偏移也获得了根据本发明的偏心型线。图 8a 至 8d 的型线与图 7d 的型线相一致。关于穿过螺杆元件旋转点的直线在图 8a 中以  $0^\circ$  角度、在图 8b 中以  $60^\circ$  角度、在图 8c 中以  $120^\circ$  角度以及在图 8d 中以  $180^\circ$  角度来进行偏移。

[0120] 图 8a 至 8d 示出了一些例子,其中两个轴以同一偏移向量而被偏移。原则上也可以把这两个轴在该间隙内利用不同的向量来进行偏移。那么就得到了利用如下间隙来进行清洁的型线,其中该间隙在轴旋转期间是变化的。

[0121] 已知地通过把型线在轴方向上连续地螺旋状旋转,来实现一个型线对的输送效应。这样就形成了输送螺纹。图 9a 示例地示出了根据本发明的输送螺纹的纵截面。通过把由自清洁型件的棱形盘相互偏移地设置在轴上,就获得了相对于输送螺纹而具有更高消散效率的捏和元件。图 9b 示出了具有七个捏和盘的捏和元件的例子,其中这些捏和盘在轴上以  $60^\circ$  的偏移角度来设置。

[0122] 在这些附图中示出了非常规的对称螺杆型线。但也可以生成非对称的螺杆型线。这在 PCT/EP2009/003549 中有详细阐述。比如可以把图 2a 和 2b 中所示的一半螺杆型线组合为一个非对称的螺杆型线,其方式是,比如把图 2b 中所示的型线关于 x 轴进行镜像,并把镜像得到的部分填充给图 2a 中型线的缺失的片段。

[0123] 在附图中使用了最多 12 个圆弧来描述一个用来生成的螺杆型线或一个被生成的螺杆型线。但是根据本发明的方法绝不局限于最多 12 个圆弧。而是可以使用任意多的圆弧来生成螺杆型线。从而尤其能够通过足够大数量的圆弧以所期望的精确度来对不是由圆弧来构建的并从而不是自清洁的螺杆型线进行近似。

[0124] 根据螺杆轴的截面型线可以计算纵截面型线。优选地使用了螺杆型线的每个圆弧,以借助明确的函数来计算纵截面的属于该圆弧的部分。

[0125] 为了计算螺杆型线圆弧的一个点到旋转点的距离  $s$ ,在第一步骤中确定直线  $g$  与圆弧  $kb$  的交点  $(S_x, S_y)$ ,其中该直线  $g$  特征在于,所述直线位于该螺杆型线的平面中,穿过该螺杆型线的旋转点,并且该直线的定向通过角度  $\varphi$  来给定,该圆弧  $kb$  特征在于其半径  $r$  和它圆心点的位置  $(M_x, M_y)$ 。在第二步骤中,计算该交点  $(S_x, S_y)$  与螺杆型线旋转点的距离  $s$ 。直线与圆弧的交点的计算可以通过明确的函数来示出。这同样适用于距离计算。对于距离因此得到  $s=s(\varphi, r, M_x, M_y)$ 。角度  $\varphi$  可以在已知螺杆元件螺距  $t$  的情况下通过  $\varphi/2\pi*t$  而转换为轴位置  $z\_ax$ ,使得对于距离得到  $s=s(z\_ax, r, M_x, M_y)=s(\varphi/2\pi*t, r, M_x, M_y)$ 。函数  $s(z\_ax, r, M_x, M_y)$  描述了螺杆型线圆弧的所寻找的纵截面。

[0126] 下面示例地描述一种方法,其中利用该方法能够构造根据本发明的螺杆元件的螺杆型线。

[0127] 用于生成紧密啮合的、自清洁的、同向旋转的、在用来生成的螺杆型线和被生成的螺杆型线之间具有可选轴距  $a$  的螺杆型线的方法,其特征在于,用来生成的螺杆型线由  $n$  个圆弧构成,被生成的螺杆型线由  $n'$  个圆弧构成,其中

[0128] - 用来生成的螺杆型线和被生成的螺杆型线位于一个平面中,

[0129] - 用来生成的螺杆型线的旋转轴和被生成的螺杆型线的旋转轴分别垂直于螺杆型线的所述平面,其中用来生成的螺杆型线的旋转轴与所述平面的交点被称作用来生成的螺杆型线的旋转点,被生成的螺杆型线的旋转轴与所述平面的交点被称作被生成的螺杆型线的旋转点,

[0130] - 选择用来生成的螺杆型线的圆弧的数量  $n$ ,其中  $n$  是大于或等于 1 的整数,

[0131] - 选择用来生成的螺杆型线的外半径  $r_a$ ,其中  $r_a$  可以取大于 0 ( $r_a > 0$ ) 并小于或等于轴距 ( $r_a \leq a$ ) 的值,

[0132] - 选择用来生成的螺杆型线的核心半径  $r_i$ ,其中  $r_i$  可以取大于或等于 0 ( $r_i \geq 0$ ) 并小于或等于  $r_a$  ( $r_i \leq r_a$ ) 的值,

[0133] - 用来生成的螺杆型线的圆弧根据以下的设置规则关于用来生成的螺杆型线的旋转轴顺时针或逆时针地来设置,即:

[0134] ○用来生成的螺杆型线的所有圆弧以切线方式过渡到彼此,使得得到封闭的、凸起的螺杆型线,其中半径等于 0 的圆弧优选如半径等于  $\epsilon$  的圆弧一样被处理,其中  $\epsilon$  是并趋向于 0 ( $\epsilon \ll 1, \epsilon \rightarrow 0$ ) 的非常小的正实数,

[0135] ○用来生成的螺杆型线的每个圆弧都位于具有外半径  $r_a$  和核心半径  $r_i$  的一个圆环之内或边界上,该圆环的圆心点位于用来生成的螺杆型线的旋转点上,

[0136] ○用来生成的螺杆型线的至少一个圆弧接触到用来生成的螺杆型线的外半径  $r_a$ ,

[0137] ○用来生成的螺杆型线的至少一个圆弧接触到用来生成的螺杆型线的核心半径  $r_i$ ,

[0138] - 选择用来生成的螺杆型线的第一圆弧的大小,其中该大小通过角度  $\alpha_1$  和半径  $r_1$  来确定,使得该角度  $\alpha_1$  在弧度上大于或等于 0 并小于或等于  $2\pi$ ,其中  $\pi$  应理解为圆周率 ( $\pi \approx 3.14159$ ),并且半径  $r_1$  大于或等于 0 并小于或等于轴距  $a$ ,并且用来生成的螺杆型线的第一圆弧的位置根据所述的设置规则来确定,其中所述位置通过该第一圆弧的两个不同

点的定位而得到,其中该第一圆弧的要定位的第一点优选地是属于该第一圆弧的起始点,并且其中该第一圆弧的要定位的第二点优选地是属于该第一圆弧的圆心点,

[0139] - 选择用来生成的螺杆型线的其他  $n-2$  个圆弧的大小,其中该大小通过角度  $\alpha_2, \dots, \alpha_{n-1}$  和半径  $r_2, \dots, r_{n-1}$  来确定,使得角度  $\alpha_2, \dots, \alpha_{n-1}$  在弧度上大于或等于 0 并小于或等于  $2\pi$ , 并且半径  $r_2, \dots, r_{n-1}$  大于或等于 0 并小于或等于轴距  $a$ , 并且用来生成的螺杆型线的其他  $n-2$  个圆弧的位置根据所述的设置规则来确定,

[0140] - 如此给出用来生成的螺杆型线的最后一个圆弧的大小,其中该大小通过角度  $\alpha_n$  和半径  $r_n$  来确定,使得用来生成的螺杆型线的  $n$  个圆弧的  $n$  个角度之和在弧度上等于  $2\pi$ , 其中角度  $\alpha_n$  在弧度上大于或等于 0 并小于或等于  $2\pi$ , 并且半径  $r_n$  把用来生成的螺杆型线闭合,其中该半径  $r_n$  大于或等于 0 并小于或等于轴距  $a$ , 并且用来生成的螺杆型线的最后一个圆弧的位置根据所述的设置规则来确定,

[0141] - 根据用来生成的螺杆型线的  $n$  个圆弧如此来得到被生成的螺杆型线的  $n'$  个圆弧,即

[0142] ○被生成的螺杆型线的圆弧的数量  $n'$  等于用来生成的螺杆型线的圆弧的数量  $n$ , 其中  $n'$  为整数,

[0143] ○被生成的螺杆型线的外半径  $ra'$  等于轴距减用来生成的螺杆型线的核心半径  $ri$  之差 ( $ra' = a - ri$ ),

[0144] ○被生成的螺杆型线的核心半径  $ri'$  等于轴距减用来生成的螺杆型线的外半径  $ra$  之差 ( $ri' = a - ra$ ),

[0145] ○被生成的螺杆型线的第  $i'$  个圆弧的角度  $\alpha_{i'}$  等于用来生成的螺杆型线的第  $i$  个圆弧的角度  $\alpha_i$ , 其中  $i$  和  $i'$  是整数,其共同地经过在从 1 至圆弧的数量  $n$  或  $n'$  范围中的所有值 ( $\alpha_{i'} = \alpha_i, \dots, \alpha_{n'} = \alpha_n$ ),

[0146] ○被生成的螺杆型线的第  $i'$  个圆弧的半径  $r_{i'}$  与用来生成的螺杆型线的第  $i$  个圆弧的半径  $r_i$  之和等于轴距  $a$ , 其中  $i$  和  $i'$  是整数,其共同经过在从 1 至圆弧的数量  $n$  或  $n'$  范围中的所有值 ( $r_{i'} + r_i = a, \dots, r_{n'} + r_n = a$ ),

[0147] ○被生成的螺杆型线的第  $i'$  个圆弧的圆心点与用来生成的螺杆型线的第  $i$  个圆弧的圆心点具有一个距离,该距离等于该轴距  $a$ , 并且被生成的螺杆型线的第  $i'$  个圆弧的圆心点与被生成的螺杆型线的旋转点具有一个距离,该距离等于用来生成的螺杆型线的第  $i$  个圆弧圆心点与用来生成的螺杆型线的旋转点的距离,并且在被生成的螺杆型线的第  $i'$  个圆弧圆心点与用来生成的螺杆型线的第  $i$  个圆弧圆心点之间的连线平行于在被生成的螺杆型线的旋转点与用来生成的螺杆型线的旋转点之间的连线,其中  $i$  和  $i'$  是整数,其共同经过在从 1 至圆弧的数量  $n$  或  $n'$  范围中的所有值 ( $i = i'$ ),

[0148] ○被生成的螺杆型线的第  $i'$  个圆弧的起始点处于关于被生成的螺杆型线的第  $i'$  个圆弧的圆心点的方向上,该方向与用来生成的螺杆型线的第  $i$  个圆弧起始点关于用来生成的螺杆型线的第  $i$  个圆弧的圆心点所具有的方向相反,其中  $i$  和  $i'$  是整数,其共同经过在从 1 至圆弧的数量  $n$  或  $n'$  范围中的所有值 ( $i = i'$ ).

[0149] 根据本发明,用来生成的螺杆型线和被生成的螺杆型线的圆弧被选择或被相互协调,使得一个用来生成的螺杆型线和一个被生成的螺杆型线的顶锥角之和小于



$2\pi - 4 \arccos\left(\frac{a}{2 \cdot ra}\right)$ , 并且在轴对称的螺杆型线中, 齿面圆的圆心点不位于螺杆型线对称轴的穿过该旋转点的垂线上。

[0150] 由所述的用于生成平面的、紧密啮合的、自清洁的以及同向旋转的螺杆型线的方法, 对于被生成的螺杆型线得到:

[0151] - 被生成的螺杆型线是闭合的,

[0152] - 被生成的螺杆型线是凸起的,

[0153] - 被生成的螺杆型线的每个圆弧以切线方式过渡到被生成的螺杆型线的下一圆弧, 其中半径等于 0 的圆弧优选如半径等于 eps 的圆弧一样被处理, 其中 eps 是趋向于 0 的非常小的正实数 ( $\text{eps} \ll 1, \text{eps} \rightarrow 0$ ),

[0154] - 被生成的螺杆型线的每个圆弧都位于具有外半径  $ra'$  和核心半径  $ri'$  的圆环之内或边界上, 该圆环的圆心点位于被生成的螺杆型线的旋转点上,

[0155] - 被生成的螺杆型线的至少一个圆弧接触到被生成的螺杆型线的外半径  $ra'$ ,

[0156] - 被生成的螺杆型线的至少一个圆弧接触到被生成的螺杆型线的核心半径  $ri'$ 。

[0157] 由用于生成平面的、紧密啮合的、自清洁的、同向旋转的螺杆型线的所述方法, 另外还得到: 仅当用来生成的螺杆型线的核心半径  $ri$  等于轴距  $a$  减用来生成的螺杆型线的外半径  $ra$  之差 ( $ri = a - ra$ ) 时, 那么被生成的螺杆型线的外半径  $ra'$  等于用来生成的螺杆型线的外半径  $ra$ , 并且被生成的螺杆型线的核心半径  $ri'$  等于用来生成的螺杆型线的核心半径  $ri$ 。

[0158] 如果用来生成的螺杆型线具有半径  $r_i = 0$  的一个圆弧, 那么该螺杆型线在该圆弧的位置上就具有一个弯折, 其大小通过角度  $\alpha_i$  来表示。如果被生成的螺杆型线具有半径  $r_{i'} = 0$  的一个圆弧, 那么该螺杆型线在该圆弧的位置上就具有一个弯折, 其大小通过角度  $\alpha_{i'}$  来表示。

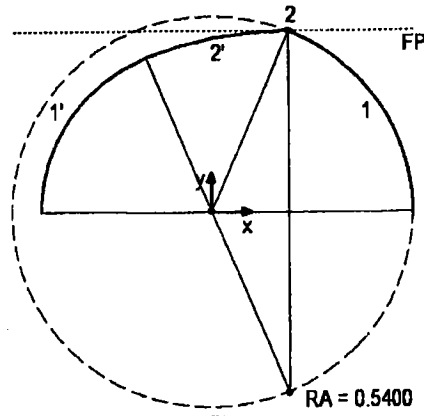
[0159] 用于生成平面的、紧密啮合的、自清洁的、同向旋转的螺杆型线的所述方法另外其特征还在于, 其仅仅利用三角板和圆规就能够实施。从而在用来生成的螺杆型线的第  $i$  个与第  $i+1$  个圆弧之间构造了切线过渡, 其方式是, 围绕第  $i$  个圆弧的终点以半径  $r_{i+1}$  绘制一个圆, 并且该圆的位于用来生成的螺杆型线的旋转点附近的、与由第  $i$  个圆弧的圆心点和终点所定义直线的交点就是第  $(i+1)$  个圆弧的圆心点。在实际中使用一种计算机程序代替三角板和圆规来构造该螺杆型线。

[0160] 按照通用方法所生成的螺杆型线与螺纹头数  $z$  无关。

[0161] 被生成的螺杆型线可以与用来生成的螺杆型线不同。如专业人员借助该实施方案所易于理解的, 所述方法尤其适于在不同螺纹头数的螺杆元件之间生成过渡元件。基于  $z$  导程螺杆型线, 能够逐步地改变用来生成的和被生成的螺杆型线, 使得最后得到了螺纹头数  $z'$  不等于  $z$  的螺杆型线。在此允许在该过渡期间减少或增加圆弧的数量。

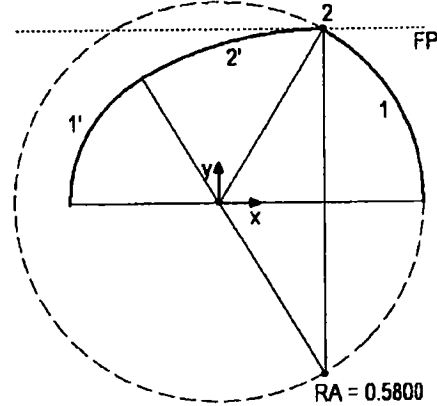
[0162] 在对称的型线中, 该方法可以被简化, 其方式是, 仅构造该螺杆型线的一部分, 缺失的部分通过对称运算由已构造的部分来生成。这在 PCT/EP2009/003549 中有详细阐述。

[0163] 推荐在计算机上来实施用于生成螺杆型线的该方法。那么螺杆元件的尺寸就以以下形式而存在, 其中它能够被输入给 CAD 铣床以生成螺杆元件。



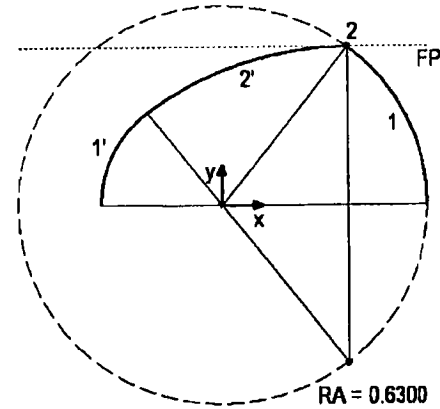
- 1)  $R = 0.5400$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 1.1835$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.2040$   
 $\alpha = 0.3873$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.2040$   
 $\alpha = 0.3873$   $M_y = -0.5000$
- 1')  $R = 0.4600$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 1.1835$   $M_y = 0.0000$

图 1a



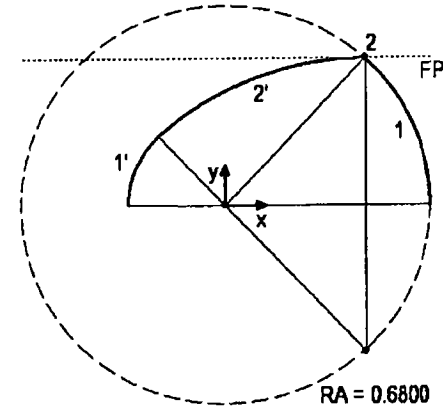
- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 1.0393$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = -0.5000$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 1.0393$   $M_y = 0.0000$

图 1b



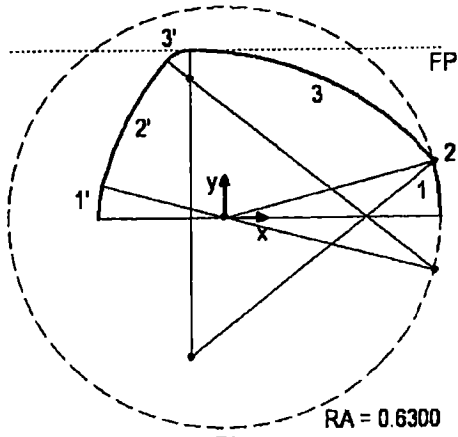
- 1)  $R = 0.6300$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.9168$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.3833$   
 $\alpha = 0.6540$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.3833$   
 $\alpha = 0.6540$   $M_y = -0.5000$
- 1')  $R = 0.3700$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.9168$   $M_y = 0.0000$

图 1c



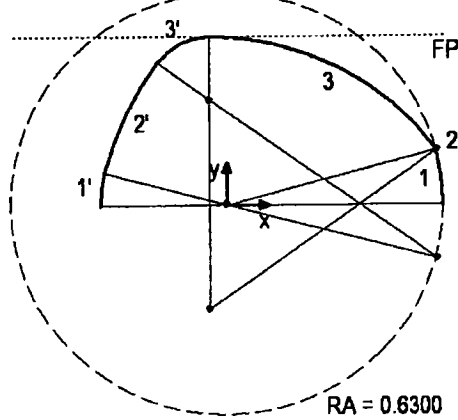
- 1)  $R = 0.6800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.8261$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4609$   
 $\alpha = 0.7447$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.4609$   
 $\alpha = 0.7447$   $M_y = -0.5000$
- 1')  $R = 0.3200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.8261$   $M_y = 0.0000$

图 1d



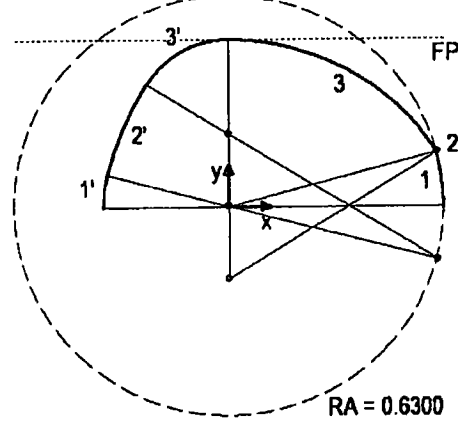
- 1)  $R = 0.6300$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2618$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.6085$   
 $\alpha = 0.4212$   $M_y = 0.1631$
- 3)  $R = 0.9135$   $M_x = -0.1000$   
 $\alpha = 0.8878$   $M_y = -0.4135$
- 3')  $R = 0.0865$   $M_x = -0.1000$   
 $\alpha = 0.8878$   $M_y = 0.4135$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.6085$   
 $\alpha = 0.4212$   $M_y = -0.1631$
- 1')  $R = 0.3700$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2618$   $M_y = 0.0000$

图 2a



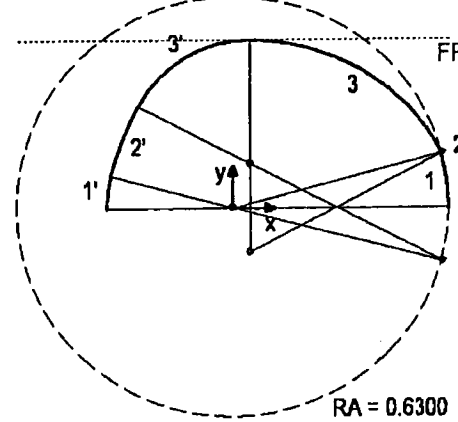
- 1)  $R = 0.6300$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2618$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.6085$   
 $\alpha = 0.3631$   $M_y = 0.1631$
- 3)  $R = 0.8120$   $M_x = -0.0500$   
 $\alpha = 0.9459$   $M_y = -0.3120$
- 3')  $R = 0.1880$   $M_x = -0.0500$   
 $\alpha = 0.9459$   $M_y = 0.3120$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.6085$   
 $\alpha = 0.3631$   $M_y = -0.1631$
- 1')  $R = 0.3700$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2618$   $M_y = 0.0000$

图 2b



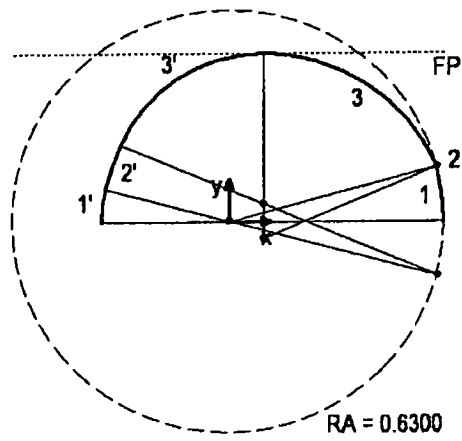
- 1)  $R = 0.6300$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2618$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.6085$   
 $\alpha = 0.2976$   $M_y = 0.1631$
- 3)  $R = 0.7179$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 1.0114$   $M_y = -0.2179$
- 3')  $R = 0.2821$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 1.0114$   $M_y = 0.2179$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.6085$   
 $\alpha = 0.2976$   $M_y = -0.1631$
- 1')  $R = 0.3700$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2618$   $M_y = 0.0000$

图 2c



- 1)  $R = 0.6300$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2618$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.6085$   
 $\alpha = 0.2234$   $M_y = 0.1631$
- 3)  $R = 0.6314$   $M_x = 0.0500$   
 $\alpha = 1.0856$   $M_y = -0.1314$
- 3')  $R = 0.3686$   $M_x = 0.0500$   
 $\alpha = 1.0856$   $M_y = 0.1314$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.6085$   
 $\alpha = 0.2234$   $M_y = -0.1631$
- 1')  $R = 0.3700$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2618$   $M_y = 0.0000$

图 2d



- 1)  $R = 0.6300$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2618$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.6085$   
 $\alpha = 0.1388$   $M_y = 0.1631$
- 3)  $R = 0.5523$   $M_x = 0.1000$   
 $\alpha = 1.1702$   $M_y = -0.0523$
- 3')  $R = 0.4477$   $M_x = 0.1000$   
 $\alpha = 1.1702$   $M_y = 0.0523$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.6085$   
 $\alpha = 0.1388$   $M_y = -0.1631$
- 1')  $R = 0.3700$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2618$   $M_y = 0.0000$

图 2e

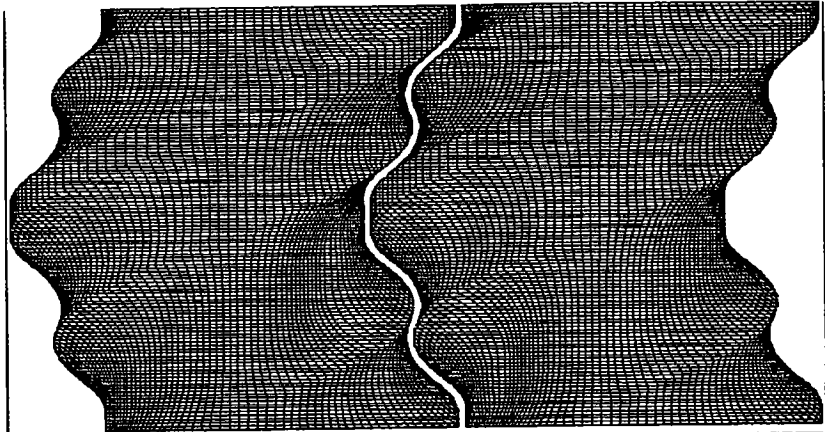


图 2f

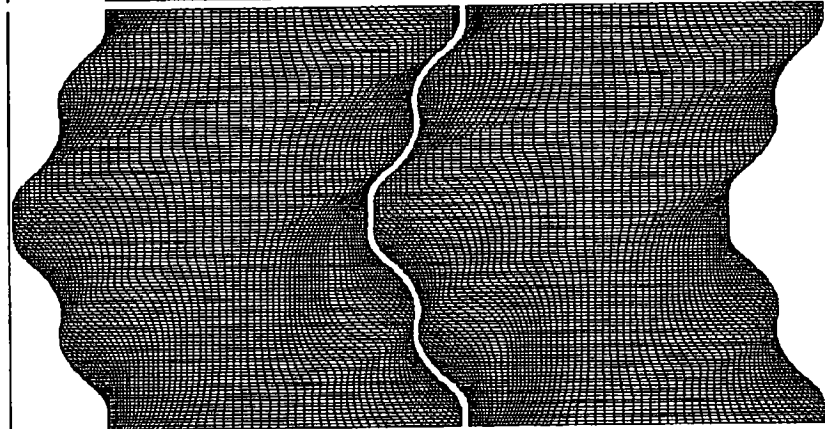


图 2g

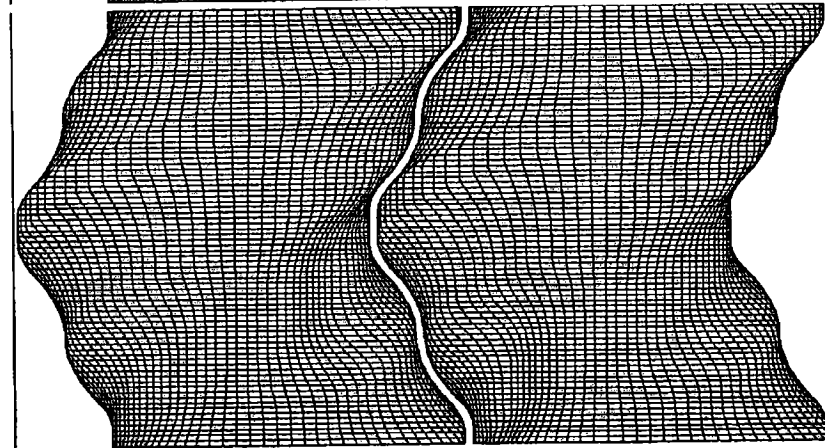


图 2h

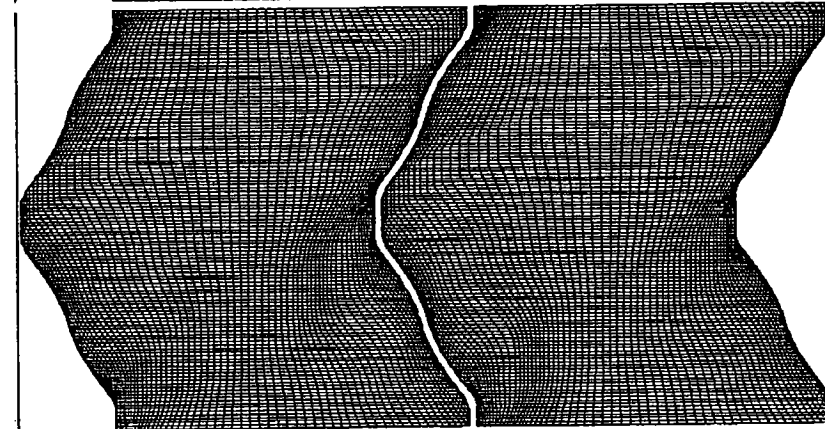


图 2i

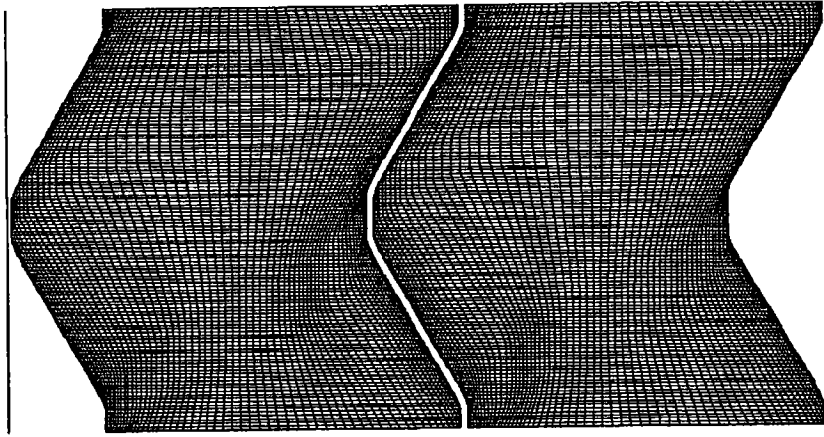
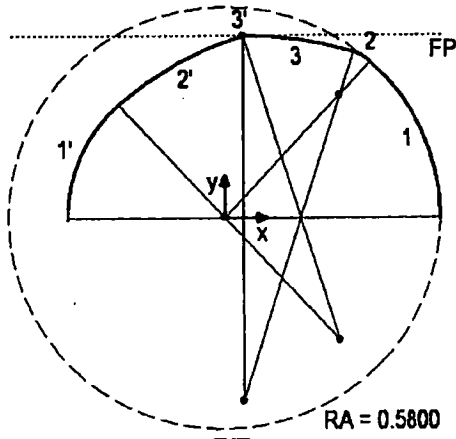
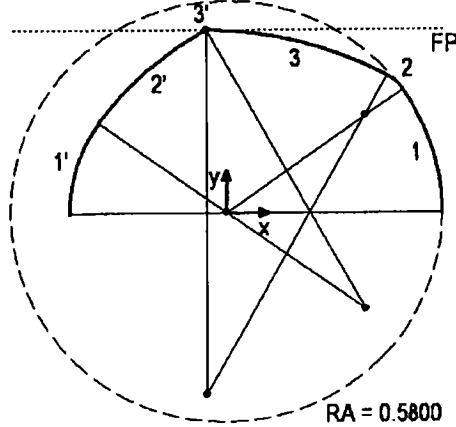


图 2j



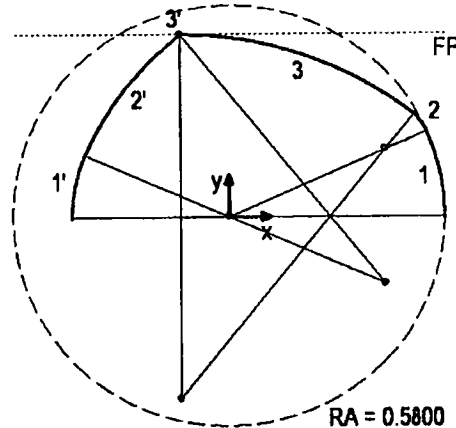
- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.8315$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1250$   $M_x = 0.3066$   
 $\alpha = 0.4404$   $M_y = 0.3382$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = 0.0489$   
 $\alpha = 0.2989$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = 0.0489$   
 $\alpha = 0.2989$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 0.8750$   $M_x = 0.3066$   
 $\alpha = 0.4404$   $M_y = -0.3362$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.8315$   $M_y = 0.0000$

图 3a



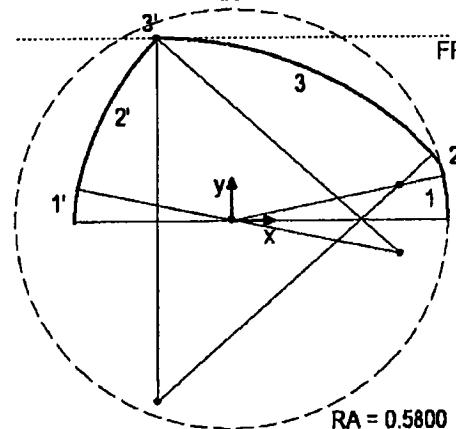
- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.6236$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1250$   $M_x = 0.3694$   
 $\alpha = 0.4420$   $M_y = 0.2657$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.0541$   
 $\alpha = 0.5052$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = -0.0541$   
 $\alpha = 0.5052$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 0.8750$   $M_x = 0.3694$   
 $\alpha = 0.4420$   $M_y = -0.2657$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.6236$   $M_y = 0.0000$

图 3b



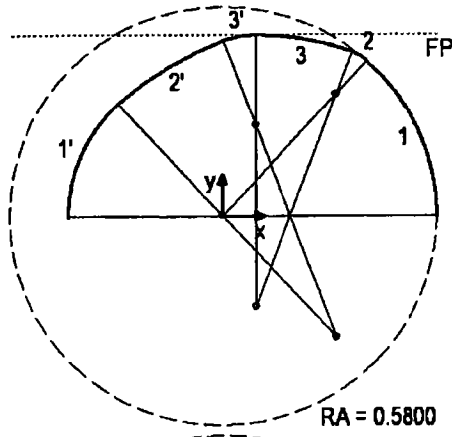
- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1250$   $M_x = 0.4162$   
 $\alpha = 0.4812$   $M_y = 0.1838$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.1297$   
 $\alpha = 0.6738$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = -0.1297$   
 $\alpha = 0.6738$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 0.8750$   $M_x = 0.4162$   
 $\alpha = 0.4812$   $M_y = -0.1838$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$

图 3c



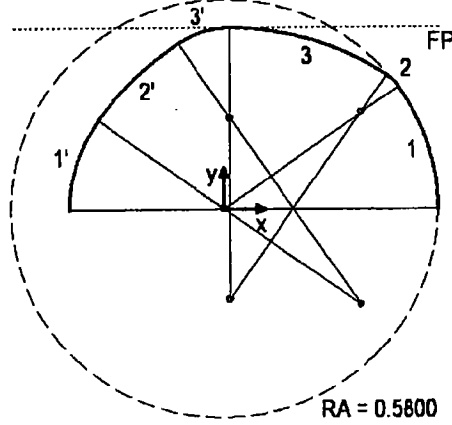
- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2079$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1250$   $M_x = 0.4452$   
 $\alpha = 0.5382$   $M_y = 0.0939$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.1974$   
 $\alpha = 0.8247$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = -0.1974$   
 $\alpha = 0.8247$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 0.8750$   $M_x = 0.4452$   
 $\alpha = 0.5382$   $M_y = -0.0939$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2079$   $M_y = 0.0000$

图 3d



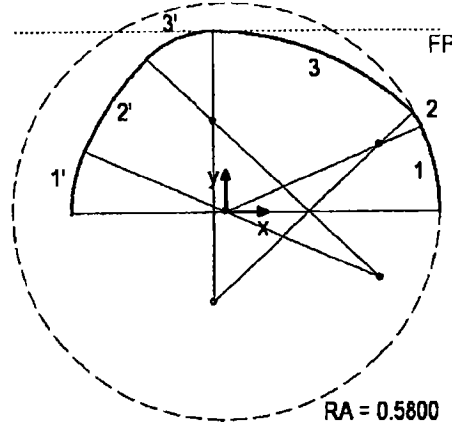
- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.8315$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1250$   $M_x = 0.3066$   
 $\alpha = 0.3852$   $M_y = 0.3362$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = 0.0898$   
 $\alpha = 0.3542$   $M_y = -0.2500$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = 0.0898$   
 $\alpha = 0.3542$   $M_y = 0.2500$
- 2')  $R = 0.8750$   $M_x = 0.3066$   
 $\alpha = 0.3852$   $M_y = -0.3362$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.8315$   $M_y = 0.0000$

图 4a



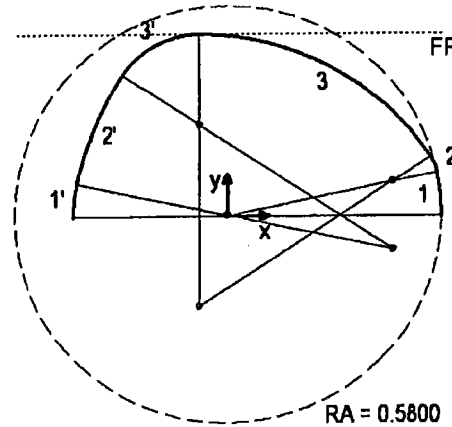
- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.6236$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1250$   $M_x = 0.3694$   
 $\alpha = 0.3468$   $M_y = 0.2657$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = 0.0163$   
 $\alpha = 0.6004$   $M_y = -0.2500$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = 0.0163$   
 $\alpha = 0.6004$   $M_y = 0.2500$
- 2')  $R = 0.8750$   $M_x = 0.3694$   
 $\alpha = 0.3468$   $M_y = -0.2657$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.6236$   $M_y = 0.0000$

图 4b



- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1250$   $M_x = 0.4162$   
 $\alpha = 0.3513$   $M_y = 0.1838$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = -0.0337$   
 $\alpha = 0.8037$   $M_y = -0.2500$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = -0.0337$   
 $\alpha = 0.8037$   $M_y = 0.2500$
- 2')  $R = 0.8750$   $M_x = 0.4162$   
 $\alpha = 0.3513$   $M_y = -0.1838$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$

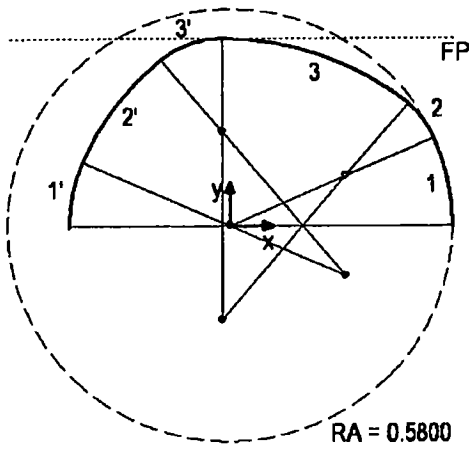
图 4c



- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2079$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1250$   $M_x = 0.4452$   
 $\alpha = 0.3748$   $M_y = 0.0939$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = -0.0767$   
 $\alpha = 0.9881$   $M_y = -0.2500$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = -0.0767$   
 $\alpha = 0.9881$   $M_y = 0.2500$
- 2')  $R = 0.8750$   $M_x = 0.4452$   
 $\alpha = 0.3748$   $M_y = -0.0939$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2079$   $M_y = 0.0000$

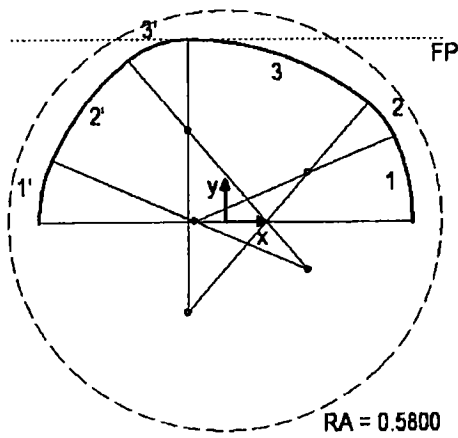
图 4d





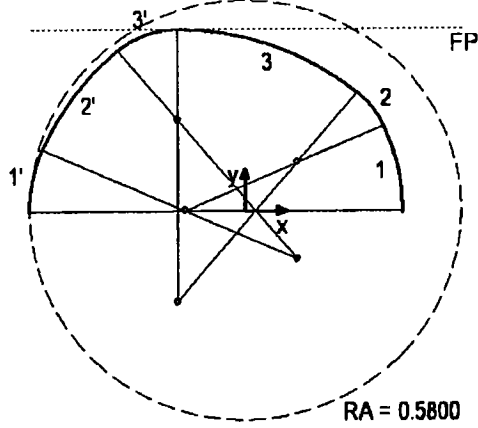
- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.2500$   $M_x = 0.3019$   
 $\alpha = 0.4577$   $M_y = 0.1333$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = -0.0192$   
 $\alpha = 0.6973$   $M_y = -0.2500$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = -0.0192$   
 $\alpha = 0.6973$   $M_y = 0.2500$
- 2')  $R = 0.7500$   $M_x = 0.3019$   
 $\alpha = 0.4577$   $M_y = -0.1333$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$

图 5a



- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = -0.0800$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.2500$   $M_x = 0.2219$   
 $\alpha = 0.4577$   $M_y = 0.1333$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = -0.0992$   
 $\alpha = 0.6973$   $M_y = -0.2500$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = -0.0992$   
 $\alpha = 0.6973$   $M_y = 0.2500$
- 2')  $R = 0.7500$   $M_x = 0.2219$   
 $\alpha = 0.4577$   $M_y = -0.1333$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = -0.0800$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$

图 5b



- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = -0.1600$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.2500$   $M_x = 0.1419$   
 $\alpha = 0.4577$   $M_y = 0.1333$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = -0.1792$   
 $\alpha = 0.6973$   $M_y = -0.2500$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = -0.1792$   
 $\alpha = 0.6973$   $M_y = 0.2500$
- 2')  $R = 0.7500$   $M_x = 0.1419$   
 $\alpha = 0.4577$   $M_y = -0.1333$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = -0.1600$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$

图 5c

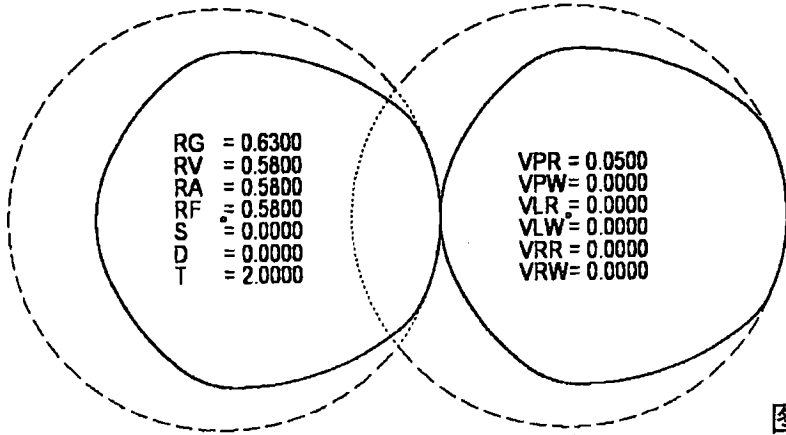


图 6a

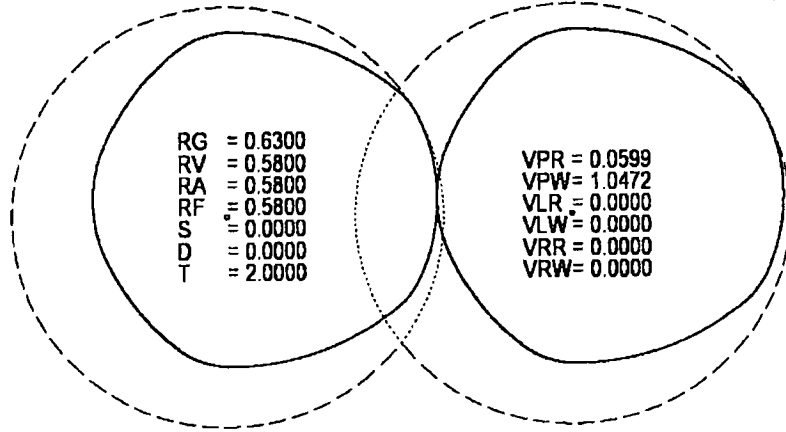


图 6b

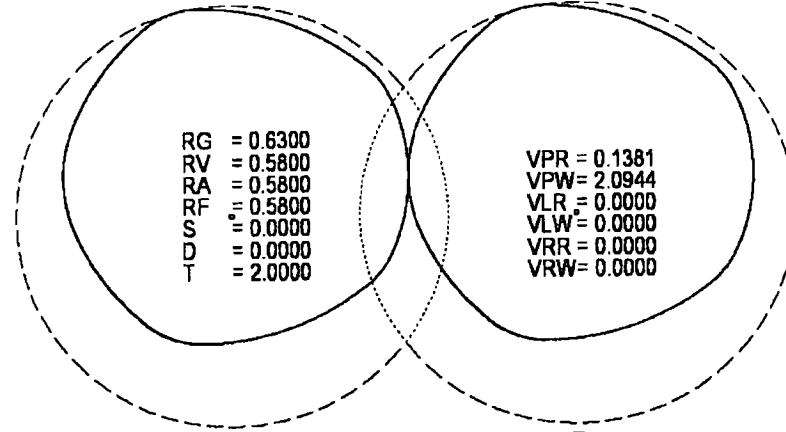


图 6c

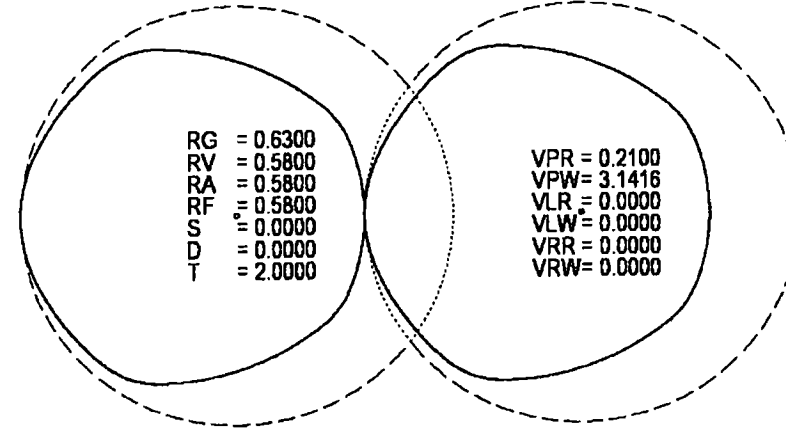


图 6d

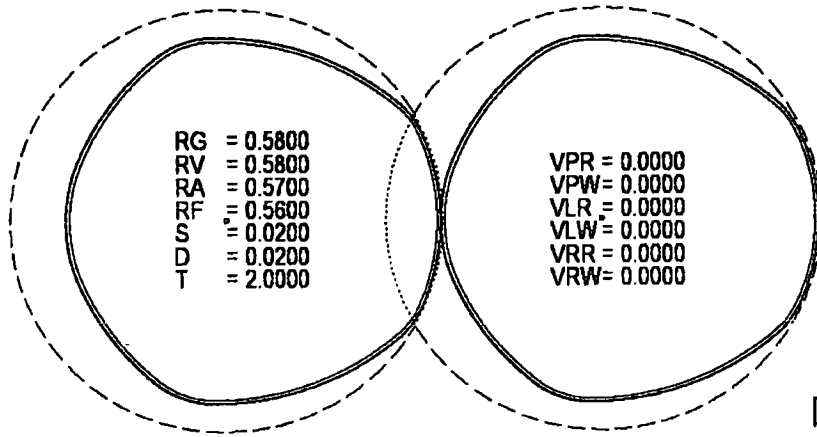


图 7a

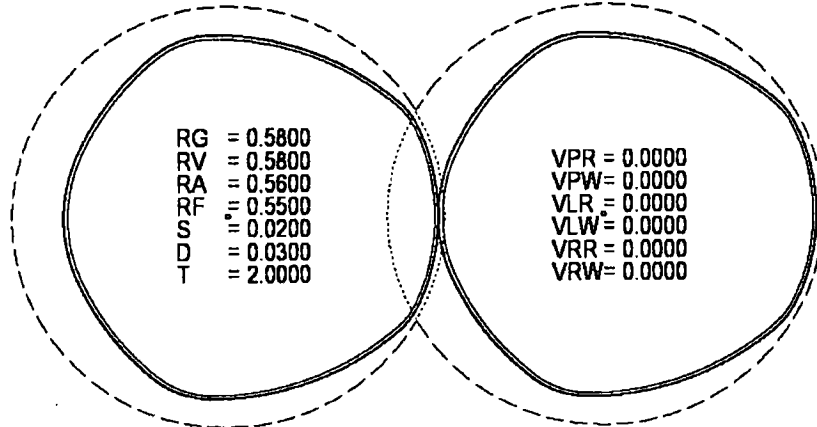


图 7b

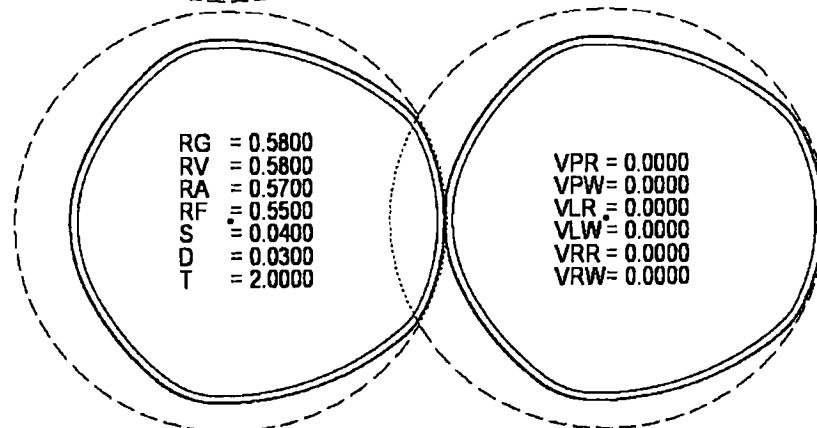


图 7c

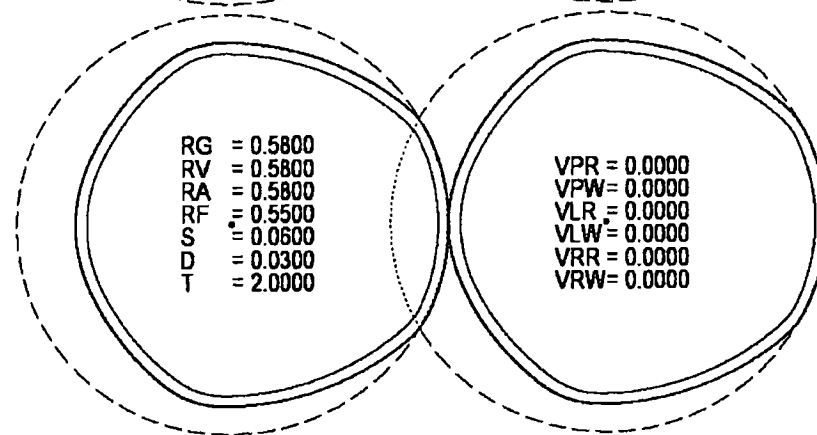


图 7d

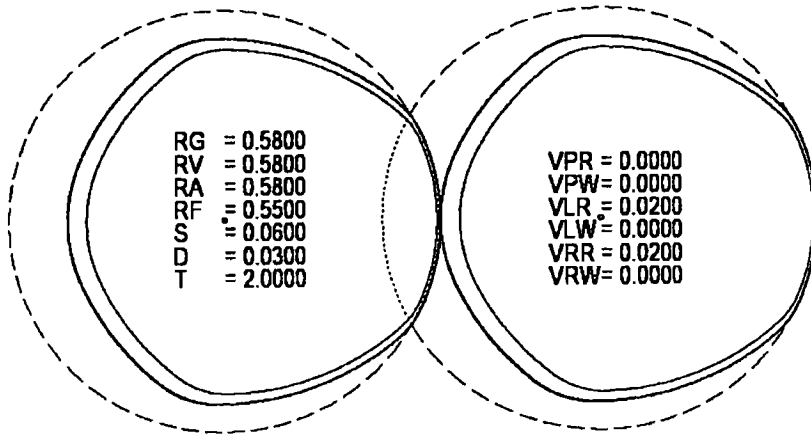


图 8a

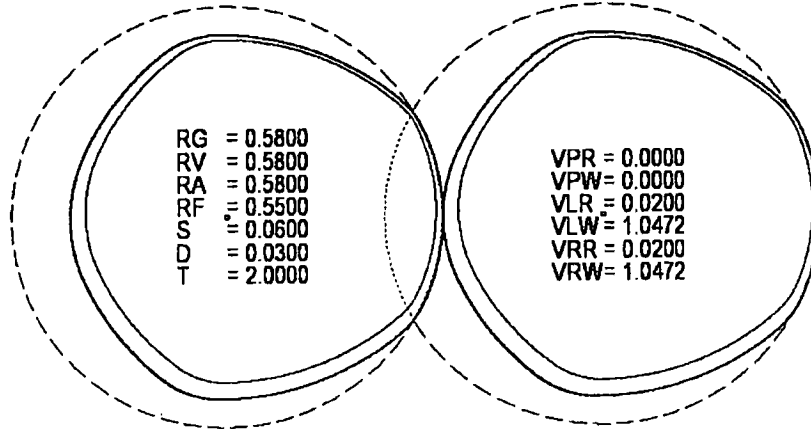


图 8b

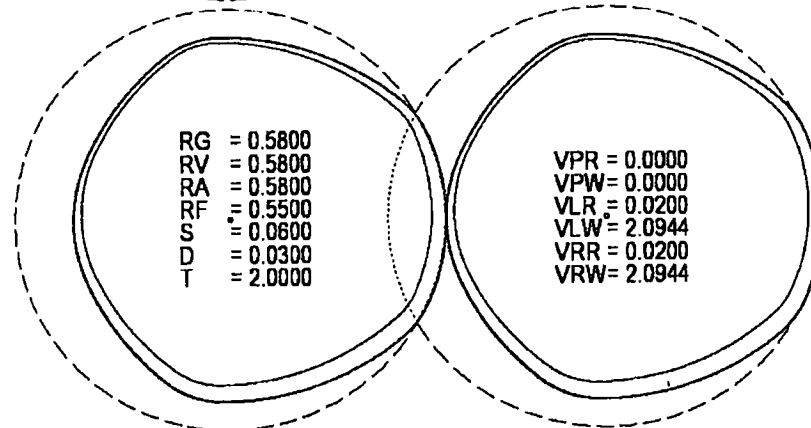


图 8c

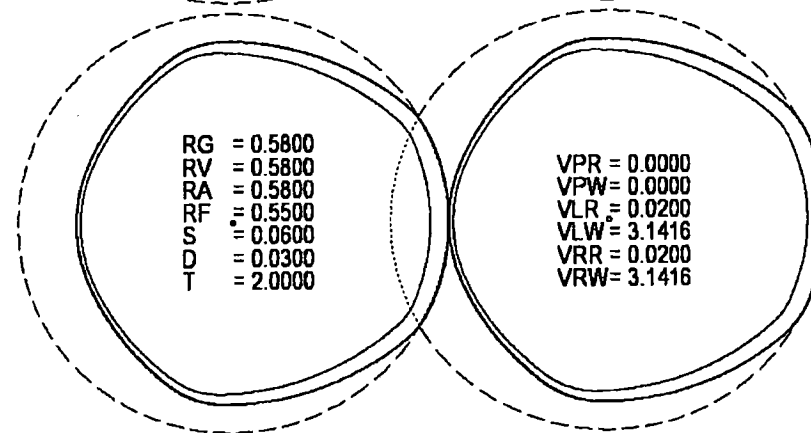


图 8d

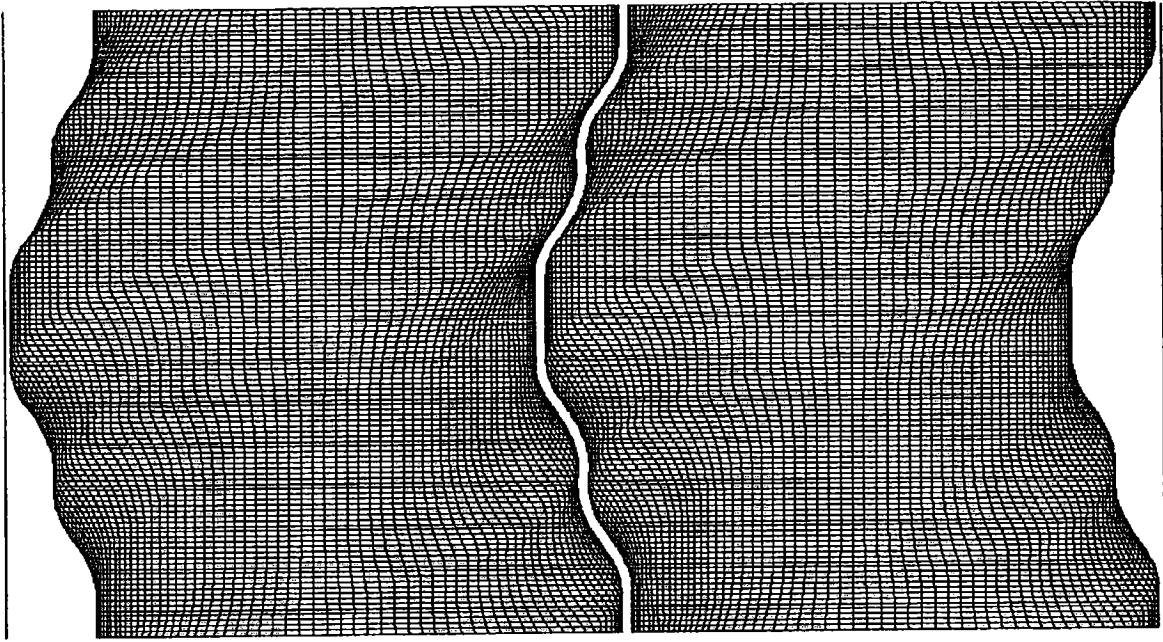


图 9a

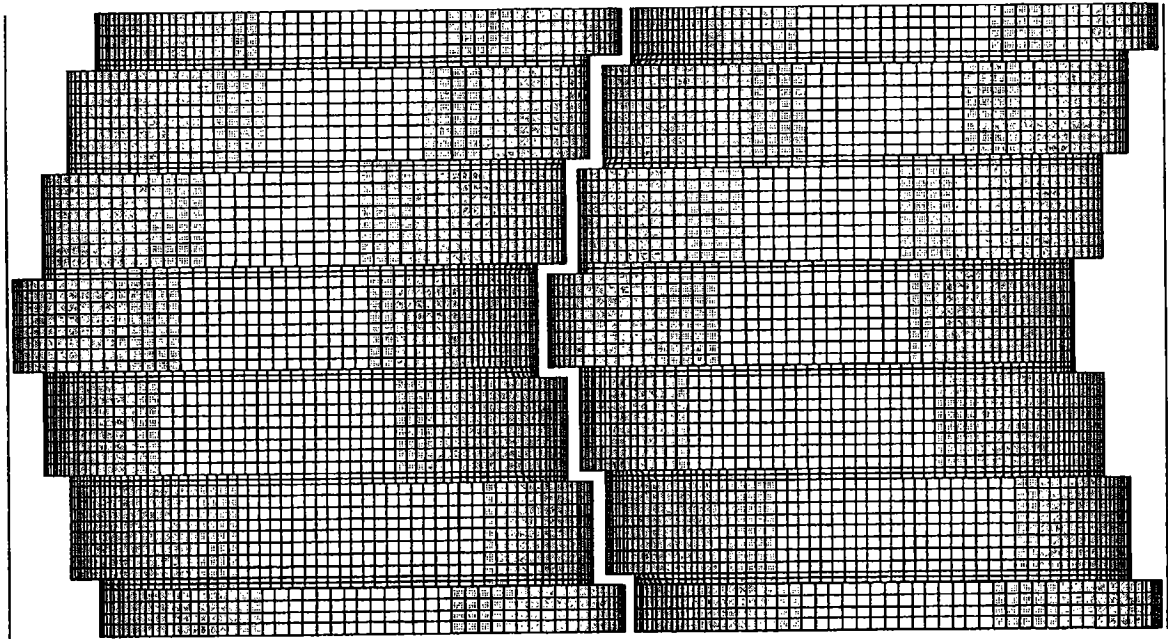


图 9b