

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2019 年 6 月 27 日 (27.06.2019)



(10) 国际公布号
WO 2019/119504 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06F 17/50 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2017/119424
- (22) 国际申请日: 2017 年 12 月 28 日 (28.12.2017)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201711370823.3 2017 年 12 月 19 日 (19.12.2017) CN
- (71) 申请人: 江南大学(JIANGNAN UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省无锡市蠡湖大道 1800 号耿晓岳, Jiangsu 214122 (CN)。
- (72) 发明人: 吴佳(WU, Jia); 中国江苏省无锡市蠡湖大道 1800 号耿晓岳, Jiangsu 214122 (CN)。 何雪明(HE, Xueming); 中国江苏省无锡市蠡湖大道 1800 号耿晓岳, Jiangsu 214122 (CN)。 刘振超(LIU, Zhenchao); 中国江苏省无锡市蠡湖大道 1800 号耿晓岳, Jiangsu 214122 (CN)。
- (74) 代理人: 哈尔滨市阳光惠远知识产权代理有限公司(HARBIN SHINEIP INTELLECTUAL

PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国黑龙江省哈尔滨市松北区科技一街 99 号 18 栋 E501 耿晓岳, Heilongjiang 150028 (CN)。

- (81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,

(54) Title: MULTI-OBJECTIVE METHOD-BASED CAM CURVE DESIGN METHOD FOR CAP SCREWING MACHINE

(54) 发明名称: 基于多目标法的旋盖机凸轮曲线设计方法

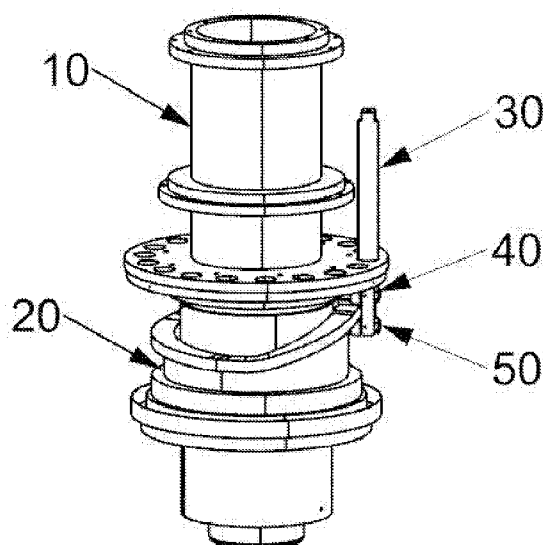


图 1

(57) Abstract: A multi-objective method-based cam curve design method for a cap screwing machine relates to the technical field of cam design for cap screwing machines, for use in solving the problem of poor running stability of a cam mechanism due to that an existing cam curve redesign method cannot optimize parameter items according to importance degrees. The method comprises: obtaining key point data determined for a cam of a cap screwing machine to implement a function; performing dimensionless on the key point data to obtain dimensionless time T and a dimensionless displacement S; writing an n-order polynomial fitting cam curve displacement function, manually inserting a local control point, and obtaining a polynomial fitting cam curve expression and graph by using a least square method on the basis of constraint conditions of a key point displacement; and selecting a cam curve optimization target, and setting a weight coefficient to construct an optimized cam curve. The method is used for cam curve design.

RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 基于多目标法的旋盖机凸轮曲线设计方法,属于旋盖机凸轮设计技术领域,为了解决现有重新设计凸轮曲线的方法不能根据重要程度来优化参数项,使凸轮机构运行稳定性差的问题。它包括:获取旋盖机凸轮为实现功能确定的关键点数据;将关键点数据无因次化,得到无因次时间 T 与无因次位移 S ;编写 n 次多项式拟合凸轮曲线位移函数,手动插入局部控制点,结合关键点位移的约束条件,利用最小二乘法,得到多项式拟合凸轮曲线表达式与图谱;选取凸轮曲线优化目标,设置权重系数,构建优化后的凸轮曲线。该方法用于凸轮曲线的设计。

基于多目标的旋盖机凸轮曲线设计方法

技术领域

本发明涉及基于多目标的旋盖机凸轮曲线设计方法，属于旋盖机凸轮设计技术领域。

背景技术

凸轮机构几乎能够完成各种变速运动，而且能够按照需要调节速度，并且精度高、成本低，所以现代机械中应用凸轮机构比较多。伴随着社会不断地发展，人们对各类自动机械的效率、精度以及可靠性等方面的要求也不断的提高，另外由于凸轮的转速不断地加快，为了能够让凸轮运行的更加平稳、高效，工程师渐渐地开始重视凸轮机构的动力学特性，研发新型凸轮机构也朝着动力学、运动学相结合的方向非常快速地发展。研究出动力学、运动学性能都比较好的通用曲线已经成为设计凸轮机构的极重要的任务。

有许多方法可以提升凸轮机构的运动学与动力学性能，而研究凸轮机构的凸轮曲线是改善其运动学与动力学性能最有效的方式。传统研究凸轮曲线的方法是将目前常用的一些运动曲线进行组合以满足凸轮的实际运动需求，但是这种组合的运动曲线在高阶导数处并不连续，因此无法满足凸轮机构运行速度不断提高的需求。

目前旋盖机凸轮曲线的设计方法是：将旋盖机完成相关动作时的各个关键点用直线相连，并在关键点连接处倒圆。这种方法能满足凸轮曲线的速度连续，但是当凸轮高速运转时，由于存在柔性冲击，构件的动应力比较大，旋盖机在现场工作时噪声大、易磨损，运行效率很低。因此又采用多项式拟合、 k 阶谐波函数等方法重新设计凸轮曲线，这样获得的凸轮曲线特性参数如最大速度 $V_{\max}$ 、最大加速度 $A_{\max}$ 、最大跃度 $J_{\max}$ 和最大跳度 $Q_{\max}$ 等均较原凸轮曲线的特性参数值有所降低，并且其连续性与可导性随之提高，运动学性能与动力学性能大幅改善。但是，在利用多项式设计凸轮曲线时，经常会遇到局部位移控制条件过多的情况，运用多项式插值法会导致多项式幂次过高，不利于加工。在设计中，还通常期望凸轮曲线的特性参数值同时最优，即特性值都尽量小，但是很难实现。因此，这种重新设计凸轮曲线的方法并不能预先权衡这些参数，只能针对不同用途把特征值较小的项作为重点，并适当放宽其它特性参数，使所有参数特性值达到一个相对平衡的优化。

发明内容

本发明是为了解决现有重新设计凸轮曲线的方法不能根据重要程度来优化参数项，使凸轮机构运行稳定性差的问题，提供了一种基于多目标的旋盖机凸轮曲线设计方法。

本发明所述一种基于多目标的旋盖机凸轮曲线设计方法，它包括以下步骤：

步骤一：获取旋盖机凸轮为实现功能确定的关键点数据；

步骤二：将关键点数据无因次化，得到无因次时间 T 与无因次位移 S ；

步骤三：编写 n 次多项式拟合凸轮曲线位移函数，将拟合误差与设定的允许误差进行比较，若比较结果大于设定阈值，则手动插入局部控制点，直至比较结果处于设定阈值内；再结合关键点位移的约束条件，利用最小二乘法，得到多项式拟合凸轮曲线表达式与图谱； n 为正整数；

步骤四：选取凸轮曲线优化目标，设置权重系数，构建优化后的凸轮曲线。

本发明所述又一种基于多目标法的旋盖机凸轮曲线设计方法，它包括以下步骤：

步骤一：获取旋盖机凸轮为实现功能确定的关键点数据；

步骤二：将关键点数据无因次化，得到无因次时间 T 与无因次位移 S ；

步骤三：编写凸轮曲线的拟合程序，基于改进的 k 阶谐波函数的凸轮曲线位移函数，确定 k 的阶数；加入局部控制点，利用最小二乘法和式来拟合关键点与局部控制点，求解获得凸轮曲线表达式及其图谱；

步骤四：选取凸轮曲线优化目标，设置权重系数，构建优化后的凸轮曲线。

本发明的优点：本发明相对于旋盖机原凸轮曲线设计方法与多项式插值的设计方法，其多项式拟合法从一开始就控制多项式幂次，能够在满足局部位移控制的条件下，减轻加工难度；谐波函数法可以无限次可导，且导函数还是谐波函数，可以有效保证凸轮曲线连续性，提高机构运行效率。对这两种曲线进行多目标优化后，不仅能够保证其优良性能，而且可以根据需求使设计过程更加符合实际，使各性能参数更加合理地提高。

经过多目标优化后的凸轮曲线，相比于原设计方法所得凸轮曲线的 $G1$ 连续，可达到 $G2$ 、 $G3$ 甚至 $G4$ 连续，曲线具有更好的光顺性，并且加速度波动幅度更小，能够有效减轻凸轮机构的噪声和振动，动力学性能得到改善。其中 $G1$ 为切线连续， $G2$ 为曲率连续， $G3$ 为曲率变化率连续， $G4$ 为曲率变化率的变化率连续。

附图说明

图 1 是本发明具体实施方式所述旋盖机凸轮机构的结构示意图；

图 2 是图 1 中凸轮的示意图；

图 3 是 7 次多项式多目标优化法设计的时间与位移凸轮曲线图谱；

图 4 是 7 次多项式多目标优化法设计的时间与速度凸轮曲线图谱；

图 5 是 7 次多项式多目标优化法设计的时间与加速度凸轮曲线图谱；

图 6 是 7 次多项式多目标优化法设计的时间与跃度凸轮曲线图谱；

图 7 是 7 次多项式多目标优化法设计的时间与跳度凸轮曲线图谱；

图 8 是 7 次多项式多目标优化法设计的时间与动载转矩凸轮曲线图谱；

图 9 是改进 2 阶谐波函数多目标优化法设计的时间与位移凸轮曲线图谱；

图 10 是改进 2 阶谐波函数多目标优化法设计的时间与速度凸轮曲线图谱；

图 11 是改进 2 阶谐波函数多目标优化法设计的时间与加速度凸轮曲线图谱；

图 12 是改进 2 阶谐波函数多目标优化法设计的时间与跃度凸轮曲线图谱；

图 13 是改进 2 阶谐波函数多目标优化法设计的时间与跳度凸轮曲线图谱；

图 14 是改进 2 阶谐波函数多目标优化法设计的时间与动载转矩凸轮曲线图谱；

图 15 是本发明多项式和谐波凸轮曲线多目标优化前后时间与位移曲线对比图谱；

图 16 是本发明多项式和谐波凸轮曲线多目标优化前后时间与速度曲线对比图谱；

图 17 是本发明多项式和谐波凸轮曲线多目标优化前后时间与加速度曲线对比图谱；

图 18 是本发明多项式和谐波凸轮曲线多目标优化前后时间与跃度曲线对比图谱；

图 19 是本发明多项式和谐波凸轮曲线多目标优化前后时间与跳度曲线对比图谱；

图 20 是本发明多项式和谐波凸轮曲线多目标优化前后时间与动载转矩曲线对比图谱。

具体实施方式

具体实施方式一：下面结合图 1 至图 20 说明本实施方式，本实施方式所述基于多目标法的旋盖机凸轮曲线设计方法，它包括以下步骤：

步骤一：获取旋盖机凸轮为实现功能确定的关键点数据；

步骤二：将关键点数据无因次化，得到无因次时间 T 与无因次位移 S ；

步骤三：编写 n 次多项式拟合凸轮曲线位移函数，将拟合误差与设定的允许误差进行比较，若比较结果大于设定阈值，则手动插入局部控制点，直至比较结果处于设定阈值内；再结合关键点位移的约束条件，利用最小二乘法，得到多项式拟合凸轮曲线表达式与图谱； n 为正整数；

步骤四：选取凸轮曲线优化目标，设置权重系数，构建优化后的凸轮曲线。

步骤一中，将旋盖机凸轮从动件在相应角度达到对应位移点的数据作为关键点，这些关键点一般支持旋盖机完成抓盖、进瓶、旋盖等功能；步骤三中，通过 MATLAB 编写多项式拟合程序， n 次多项式拟合凸轮曲线位移函数可表示为： $S = C_0 + C_1T + \dots + C_nT^n$ （本发明主要使用 5 次、6 次、7 次多项式），为了将拟合误差控制在一定范围内，编程时预先设定设计允许误差，当拟合误差与设定允许误差相差较大即超过设定阈值时，可手动插入局部控制点，减小误差，并有效控制凸轮曲线形状，使曲线走向更符合实际情况，然后结合对关键点位移

的约束条件，利用最小二乘法，得到多项式拟合法设计的凸轮曲线表达式与图谱。其中 C_0 为初始系数， C_1 为第 1 系数， C_n 为第 N 系数。

具体实施方式二：下面结合图 1 至图 20 说明本实施方式，本实施方式所述基于多目标法的旋盖机凸轮曲线设计方法，它包括以下步骤：

步骤一：获取旋盖机凸轮为实现功能确定的关键点数据；

步骤二：将关键点数据无因次化，得到无因次时间 T 与无因次位移 S；

步骤三：编写凸轮曲线的拟合程序，基于改进的 k 阶谐波函数的凸轮曲线位移函数，确定 k 的阶数；加入局部控制点，利用最小二乘法和式来拟合关键点与局部控制点，求解获得凸轮曲线表达式及其图谱；

步骤四：选取凸轮曲线优化目标，设置权重系数，构建优化后的凸轮曲线。

所述 k 大于或者等于 2。

步骤一中，将旋盖机凸轮从动件在相应角度达到对应位移点的数据作为关键点，这些关键点一般支持旋盖机完成抓盖、进瓶、旋盖等功能；步骤三中，通过 MATLAB 编写凸轮曲线

拟合程序，基于改进的 k 阶谐波函数的凸轮曲线位移函数可表示为：
$$S = \sum_{n=1}^k c_n \sin(\omega_n T + \varphi_n)$$

对于 k 的选取，由于 k 值越小，机构产生共振的可能性越小，而 k=1 时，即为一阶，一阶的曲线性能与摆线曲线或简谐曲线运动规律相同，因此 k 一般先从 2 开始取整；同时为了控制局部形状以及更好的调节凸轮曲线，加入一系列局部控制点，利用最小二乘法和式来拟合关键点与局部控制点求解得到 c_n 、 ω_n 及 φ_n 的值，进而得到凸轮曲线表达式及其图谱。式中 c_n 为振幅， ω_n 为角频率， φ_n 为相位角。

本发明采用多目标优化的方式对多项式拟合或谐波函数拟合的凸轮曲线进行优化设计，不仅可以根据实际情况和要求预先权衡这些参数值，设置其重要程度，使之不同程度地得到优化，而且可以使优化后的特性值波动减小，这十分有利于凸轮机构运行时的稳定，并有效保证机构运行精度。

采用多目标优化时，优化目标之间一般会形成相互约束，导致所有目标不能够一起最优化。因此在应用多目标优化来解决实际问题的时候，一般会根据目标重要性的不一样，赋予各目标重要性对应的权值，将其中比较重要的目标当作主要的优化对象。因此为了相对较优的实现运动学和动力学特性，需要权衡各优化目标，使重要目标达到最优，其它目标较优。多目标优化函数一般可写为：

$$\begin{cases} \min(f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x))^T, p > 1, x > E^p \\ s.t. g_i(x) \geq 0, i = 1, 2, \dots, m \\ h_i(x) = 0, i = 1, 2, \dots, l \end{cases}$$

式中 $f_p(x)$ 为单个需要优化的目标函数, $s.t. g_i(x) > 0$ 为多目标优化不等式约束, $s.t. h_i(x) = 0$ 为等式约束。 $h_i(x)$ 为等式约束方程, m 为正整数, l 为正整数;

采用线性加权法来优化数个目标时, 一般会根据目标重要性的不一样, 根据重要程度, 分别给 p 个目标函数 $f_j(x)$ 赋予一定的权系数 λ_j , 然后构建新的目标函数, 即是所有的目标函数加权求和, 求出新目标函数的最优值。其数学模型可以写为:

$$\begin{cases} \min \sum_{j=1}^p \lambda_j f_j(x), p > 1, x > E^p \\ s.t. g_i(x) \geq 0, i = 1, 2, \dots, m \\ h_i(x) = 0, i = 1, 2, \dots, l \end{cases}$$

以上两种实施方式中, 步骤四优化特性参数值的方法均为: 基于多目标优化的方法优化凸轮曲线。首先确定优化目标: 通过比较最大速度 $V_{\max}$ 、最大加速度 $A_{\max}$ 、最大跃度 $J_{\max}$ 、最大跳度 $Q_{\max}$ 和动载转矩特性参数 $AV_{\max}$ 等特性值, 根据经验分辨该凸轮曲线的综合性能, 因此选取最大速度 $V_{\max}$ 、最大加速度 $A_{\max}$ 、最大跃度 $J_{\max}$ 和最大跳度 $Q_{\max}$ 和动载转矩特性参数 $AV_{\max}$ 作为凸轮曲线优化目标。然后设置权重系数: 采用线性加权法, 把权重系数 λ_i 加入到最大速度 $V_{\max}$ 、最大加速度 $A_{\max}$ 、最大跃度 $J_{\max}$ 和最大跳度 $Q_{\max}$ 和动载转矩特性参数 $AV_{\max}$ 等目标中, 然后求和计算。在具体应用时, 根据相关的设计要求, 变化权值。

最后, 可对比优化所得的凸轮曲线图谱, 观察速度最大值、加速度最大值、跃度最大值、跳度最大值等以及其波动情况, 验证优化效果。

本发明针对现有在设计旋盖机凸轮曲线时, 仅采用直线将各关键点连接, 并在连接处倒圆的设计方法所带来的缺陷, 在保留原凸轮机构为实现功能而确定的关键点前提下, 以多项式拟合或谐波函数拟合的方法为基础, 采用多目标方式对凸轮曲线进行优化设计, 提高凸轮曲线在关键点处的可导性和连续性, 有效解决凸轮机构在运行时出现的冲击, 磨损、疲劳破坏和噪声等问题。

本发明采用多目标优化的方法设计旋盖机凸轮曲线。首先, 得到旋盖机为完成旋盖功能而确定的各个关键点 (一般表达为某个角度需达到的某个位移)。其次, 为了避免量纲带

来的影响, 先将各关键点的表达方式转化为时间与位移的关系, 再将时间与位移无因次化。最后, 在控制曲线形状与误差的基础上适当添加局部控制点, 用多目标优化的方式拟合关键点与局部控制点, 输出凸轮曲线表达式及凸轮曲线图谱。

为了验证本发明方法的有效性, 可以将优化后的凸轮曲线与单一的多项式拟合及谐波函数拟合设计的凸轮曲线进行对比, 选出最优的凸轮曲线设计方法。

下面给出一个应用实例来具体阐述凸轮曲线的设计过程:

如图 1 所示, 旋盖机凸轮机构主要由凸轮中心轴 10、凸轮 20、从动件 30、从动件上滚子 40 与从动件下滚子 50 等部件构成。运行时凸轮 20 保持固定, 凸轮中心轴 10 相对凸轮 20 旋转, 从动件上滚子 40 与从动件下滚子 50 沿凸轮轮廓绕凸轮中心轴 10 滚动, 推动凸轮从动件 30 沿轮毂上下移动。

如图 2 所示, 使用的旋盖机凸轮从动件需在相应的角度到达对应的位移点, 以完成从出瓶、抓盖、进瓶到旋盖的动作。将这些位移点称之为关键点, 规定对关键点的设计允许误差为 1mm, 已知该凸轮机构出瓶位置点 P1 点 (0°) 至 P2 点 (230°) 直至旋盖结束点 (290°) 为已定的两段水平位移, 旋盖开始点 (170°) 至 P2 点 (230°) 也为已定的一段运动规律。由于现有凸轮主要工作段在回程期, 旋盖机需要在回程期完成主要的抓盖、进瓶和旋盖等动作, 该段曲线设计的好坏直接影响了旋盖机的旋盖速度和旋盖质量, 因此主要对回程期, 即 P1 点至旋盖开始点的凸轮曲线进行优化设计。

采用具体实施方式一所述的方法, 如图 3 至图 8 所示, 利用 7 次多项式多目标优化法设计得出凸轮曲线 P1 点至旋盖开始点的凸轮曲线图谱。7 次多项式位移曲线可写为:

$S=x_1+x_2T^1+x_3T^2+x_4T^3+x_5T^4+x_6T^5+x_7T^6+x_8T^7$, 那么凸轮曲线可以表示为:

$$\begin{cases} S=x_1+x_2T^1+x_3T^2+x_4T^3+x_5T^4+x_6T^5+x_7T^6+x_8T^7 \\ V=x_2+2x_3T^1+3x_4T^2+4x_5T^3+5x_6T^4+6x_7T^5+7x_8T^6 \\ A=2x_3+6x_4T^1+12x_5T^2+20x_6T^3+30x_7T^4+42x_8T^5 \\ J=6x_4+24x_5T^1+60x_6T^2+120x_7T^3+210x_8T^4 \\ Q=24x_5+120x_6T^1+360x_7T^2+840x_8T^3 \\ AV=(x_2+2x_3T^1+3x_4T^2+4x_5T^3+5x_6T^4+6x_7T^5+7x_8T^6) \times (2x_3+6x_4T^1+12x_5T^2+20x_6T^3+30x_7T^4+42x_8T^5) \end{cases}$$

其中, S 为位移, T 区间为 0~1, x 为系数, $x=[x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8]$, V 为速度, A 为加速度, J 为跃度, Q 为跳度, AV 为动载转矩特性参数; 凸轮曲线优化目标为最大速度 $V_{\max}$ 、

最大加速度 $A_{\max}$ 、最大跃度 $J_{\max}$ 和最大跳度 $Q_{\max}$ 和动载转矩特性参数 $AV_{\max}$ 。

那么 $f_1(x) = V_{\max} = \max|V|$ ， $f_2(x) = A_{\max} = \max|A|$ ， $f_3(x) = J_{\max} = \max|J|$ ， $f_4(x) = Q_{\max} = \max|Q|$ ， $f_5(x) = AV_{\max} = \max|AV|$ 。将最大速度 $V_{\max}$ 、最大加速度 $A_{\max}$ 权重系数设为 0.35，其他特性参数权重系数设为 0.1，那么 $\lambda_1 = \lambda_2 = 0.35$ ， $\lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = 0.35$ 。

目标函数可以写为：

$$f(x) = \sum_{j=1}^5 \lambda_j f_j(x) \rightarrow \min,$$

凸轮曲线存在 $V_{\max}$ 的下限值，下限值取 1，并且 $V_{\max}$ 没有上限，设计时不需要太大的 $V_{\max}$ ，常用的标准凸轮曲线的 $V_{\max}$ 几乎都比 3 小，为了减少计算所需要的时间，可以将优化目标 $V_{\max}$ 上限值取为 3。因此 $V_{\max}$ 可行域取 1~3。其它 $AV_{\max}$ 可行域取 4~12， $J_{\max}$ 可行域取 30~350， $Q_{\max}$ 可行域取 40~20000， $AV_{\max}$ 可行域取 3~21。另外为了保证位移曲线在各个关键点的误差不大于 1mm，设置各关键点的变化范围。图谱显示优化后的凸轮曲线 $V_{\max} = 1.95$ ， $A_{\max} = 9.465$ ， $J_{\max} = 203.2$ ， $Q_{\max} = 1344$ ， $AV_{\max} = 14.41$ 。

采用具体实施方式二的方法，如图 9 至图 14 所示，利用改进 2 阶谐波优化法设计得出凸轮曲线 P1 点至旋盖开始点的凸轮曲线图谱。P1 点至旋盖开始点段谐波凸轮曲线位移函数可以表示为：

$$S = x_1 \sin(x_2 T + x_3) + x_4 \sin(x_5 T + x_6),$$

仿照 7 次多项式凸轮曲线优化方法，可以得到改进 2 阶谐波优化凸轮曲线：

$$\begin{cases} S = 100 \sin(0.008791T + 3.1314) + 0.14096 \sin(7.2444T + 3.3152) \\ V = 0.87912 \cos(0.008791T + 3.1314) + 1.021171 \cos(7.2444T + 3.3152) \\ A = -0.007729 \sin(0.008791T + 3.1314) - 7.397768 \sin(7.2444T + 3.3152) \\ J = -0.000068 \cos(0.008791T + 3.1314) - 53.592394 \cos(7.2444T + 3.3152) \\ Q = 0.0000006 \sin(0.008791T + 3.1314) + 388.244738 \sin(7.2444T + 3.3152) \end{cases}$$

图谱显示优化后的凸轮曲线 $V_{\max} = 1.9$ ， $A_{\max} = 7.396$ ， $J_{\max} = 53.59$ ， $Q_{\max} = 388.2$ ， $AV_{\max} = 8.932$ 。

如图 15 至图 20 所示，将采用 7 次多项式优化的凸轮曲线与改进 2 阶谐波优化的凸轮曲线与未进行优化前的曲线对比可以发现，7 次多项式拟合凸轮曲线在优化前的性能是最差的，各种特性值波动都较大，但是整体七次多项式拟合凸轮曲线经过优化后，最大速度 $V_{\max}$ 由 2.34

降到 1.95, 降低了 16.67%; 最大加速度 $A_{\max}$ 由 69.91 降到了 9.465, 降低了 86.5%; 最大跃度 $J_{\max}$ 由 1292 降到了 203.2, 降低了 84.27%; 最大跳度 $Q_{\max}$ 由 13450 降到了 1344, 降低了 90%, 动载转矩特性参数 $AV_{\max}$ 由 52.93 降到了 14.41, 降低了 72.78%。所有特性参数下降幅度都很大, 其中最大跳度 $Q_{\max}$ 更是降低了 90%, 运动学和动力学性能提升比较明显。改进 2 阶谐波凸轮曲线优化后, 最大速度 $V_{\max}$ 由 2.002 降到 1.9, 降低了 5.09%; 最大加速度 $A_{\max}$ 由 8.806 降到了 7.398, 降低了 16.0%; 最大跃度 $J_{\max}$ 由 68.34 降到了 53.59, 降低了 21.58%; 最大跳度 $Q_{\max}$ 由 533 降到了 388.3, 降低了 27.15%, 动载转矩特性参数 $AV_{\max}$ 由 10.98 降到了 8.911, 降低了 18.84%。所有特性参数下降幅度虽然不及多项式凸轮曲线优化, 但是下降幅度也较大, 其中最大跳度 $Q_{\max}$ 更是降低了 27.15%, 运动学和动力学性能提升也是比较明显的。最终认为优化后的改进 2 阶谐波凸轮曲线为最优凸轮曲线, 可以将其三维模型导入 UG 加工模块中, 生成加工轨迹, 在加工中心上完成该旋盖机凸轮的加工。

因此, 本发明的多目标优化法用于凸轮曲线的设计非常有效, 在实际工程设计中, 可以根据优化目标重要性的不同, 按照不一样的工程情况给目标赋予不同的权重优化凸轮曲线。

运用本发明所述方法设计的凸轮, 由于凸轮曲线连续性提高, 当转速提高时, 机构将不会出现剧烈振动, 旋盖机生产效率大大提高。以具体实施方案中的旋盖机凸轮机构为例, 转速提高后, 旋盖机单个旋盖头的旋盖能力将由原来每小时可旋盖 1800 个, 提高至每小时可旋盖 2600 个, 旋盖效率提升 30.8%, 由于该凸轮机构设计有 18 个旋盖头, 因此一条生产线每小时可完成 46800 瓶饮料的旋盖工作, 这将为饮料灌装企业带来十分可观的效益。

本发明方法不仅仅局限于旋盖机凸轮, 对于灌装机、吹瓶机等包装机械中的凸轮也同样适用。本发明的凸轮曲线设计方法, 可以在机器高速驱动的前提下, 大幅度提高机械系统的运行性能, 有效控制机器运行时噪声、振动等不利因素, 提高运行效率。

本发明以较佳实施例公开如上, 但其并非用以限定本发明, 任何熟悉此技术的人员, 在不脱离本发明的精神和范围内所做的改动与修饰, 都属于本发明的保护范围以内。

权 利 要 求 书

1、一种基于多目标法的旋盖机凸轮曲线设计方法，其特征在于，它包括以下步骤：

步骤一：获取旋盖机凸轮为实现功能确定的关键点数据；

步骤二：将关键点数据无因次化，得到无因次时间 T 与无因次位移 S ；

步骤三：编写 n 次多项式拟合凸轮曲线位移函数，将拟合误差与设定的允许误差进行比较，若比较结果大于设定阈值，则手动插入局部控制点，直至比较结果处于设定阈值内；再结合关键点位移的约束条件，利用最小二乘法，得到多项式拟合凸轮曲线表达式与图谱； n 为正整数；

步骤四：选取凸轮曲线优化目标，设置权重系数，构建优化后的凸轮曲线。

2、根据权利要求 1 所述的基于多目标法的旋盖机凸轮曲线设计方法，步骤一中，将旋盖机凸轮从动件在相应角度达到对应位移点的数据作为关键点，这些关键点支持旋盖机完成抓盖、进瓶、旋盖功能。

3、根据权利要求 1 所述的基于多目标法的旋盖机凸轮曲线设计方法，步骤三中，通过 MATLAB 编写多项式拟合程序， n 次多项式拟合凸轮曲线位移函数可表示为

$S = C_0 + C_1T + \dots + C_nT^n$ ，其中 C_0 为初始系数， C_1 为第 1 系数... C_n 为第 N 系数。

4、一种基于多目标法的旋盖机凸轮曲线设计方法，其特征在于，它包括以下步骤：

步骤一：获取旋盖机凸轮为实现功能确定的关键点数据；

步骤二：将关键点数据无因次化，得到无因次时间 T 与无因次位移 S ；

步骤三：编写凸轮曲线的拟合程序，基于改进的 k 阶谐波函数的凸轮曲线位移函数，确定 k 的阶数；加入局部控制点，利用最小二乘法和式来拟合关键点与局部控制点，求解获得凸轮曲线表达式及其图谱；

步骤四：选取凸轮曲线优化目标，设置权重系数，构建优化后的凸轮曲线。

5、根据权利要求 4 所述的基于多目标法的旋盖机凸轮曲线设计方法，其特征在于，步骤一中，将旋盖机凸轮从动件在相应角度达到对应位移点的数据作为关键点，这些关键点支持旋盖机完成抓盖、进瓶、旋盖功能。

6、根据权利要求 4 所述的基于多目标法的旋盖机凸轮曲线设计方法，其特征在于，步骤三中，通过 MATLAB 编写凸轮曲线的拟合程序，基于改进的 k 阶谐波函数的凸轮曲线位移

函数可表示为： $S = \sum_{n=1}^k c_n \sin(\omega_n T + \varphi_n)$ ，其中， c_n 为振幅， ω_n 为角频率， φ_n 为相位角。

7、根据权利要求 6 所述的基于多目标法的旋盖机凸轮曲线设计方法，其特征在于，所述 k 大于或者等于 2。

8、如权利要求 1-7 任一所述的基于多目标法的旋盖机凸轮曲线设计方法的应用。

9、一种基于权利要求 1-7 任一所述的基于多目标法的旋盖机凸轮曲线设计方法的设备。

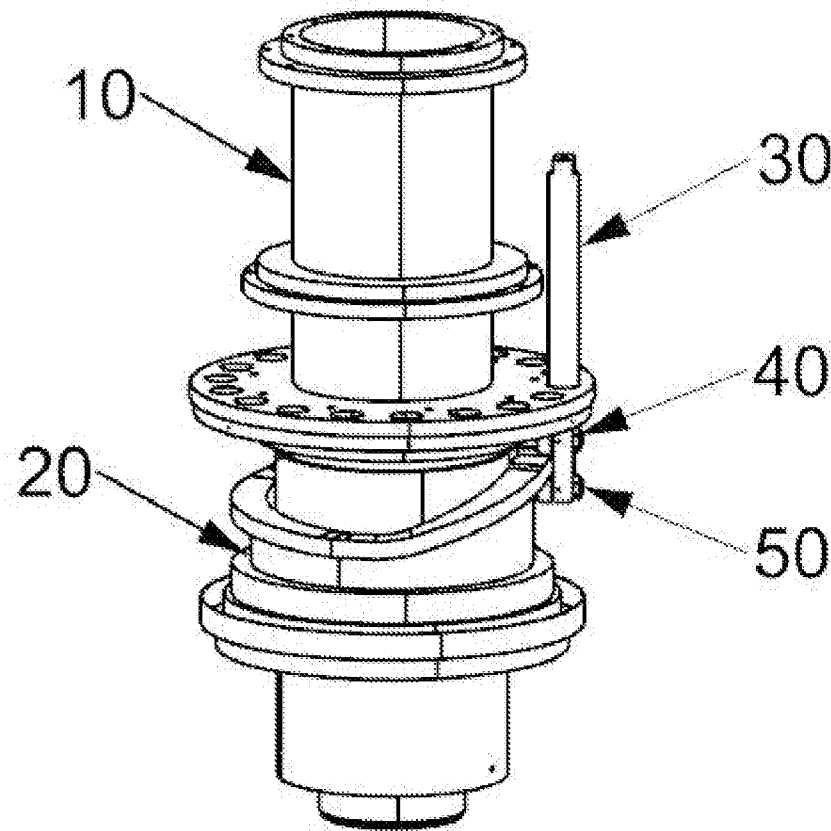


图 1

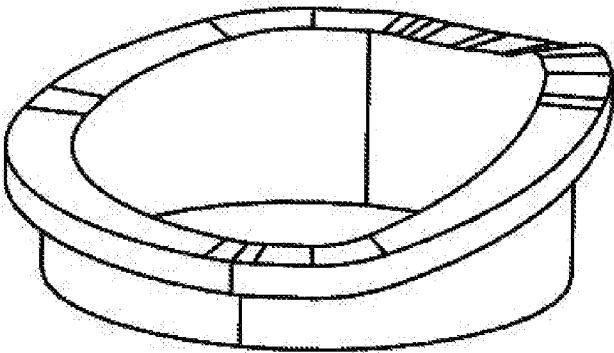


图 2

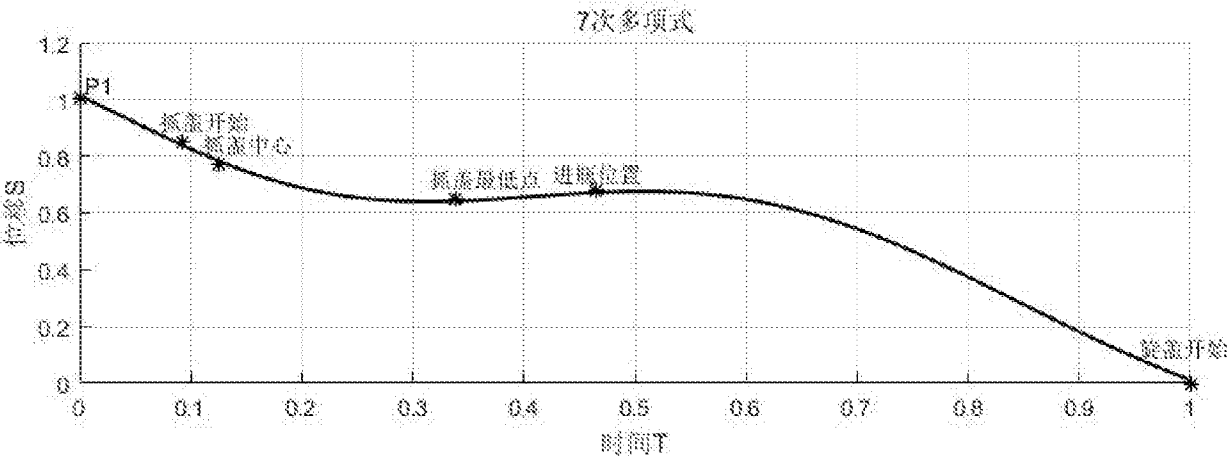


图 3

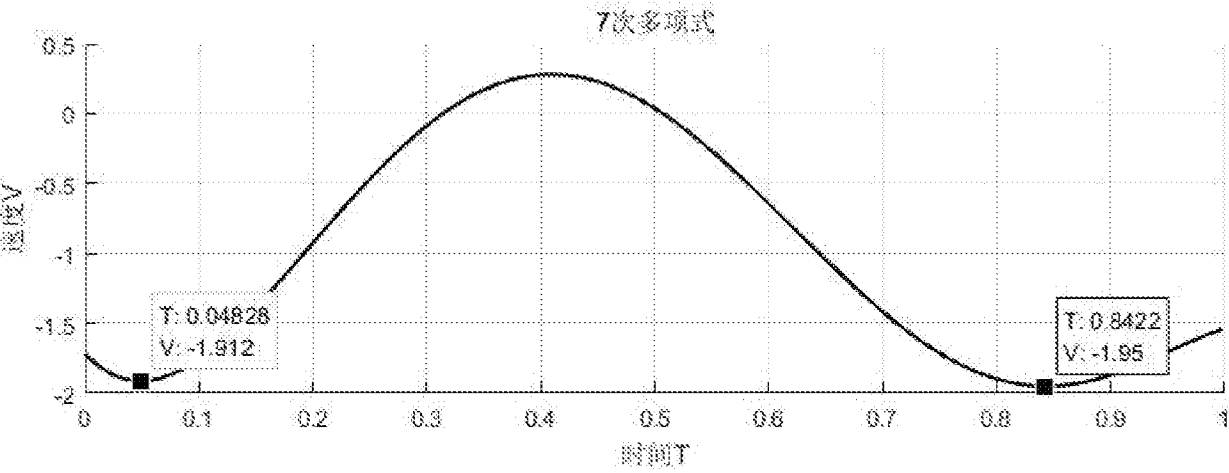


图 4

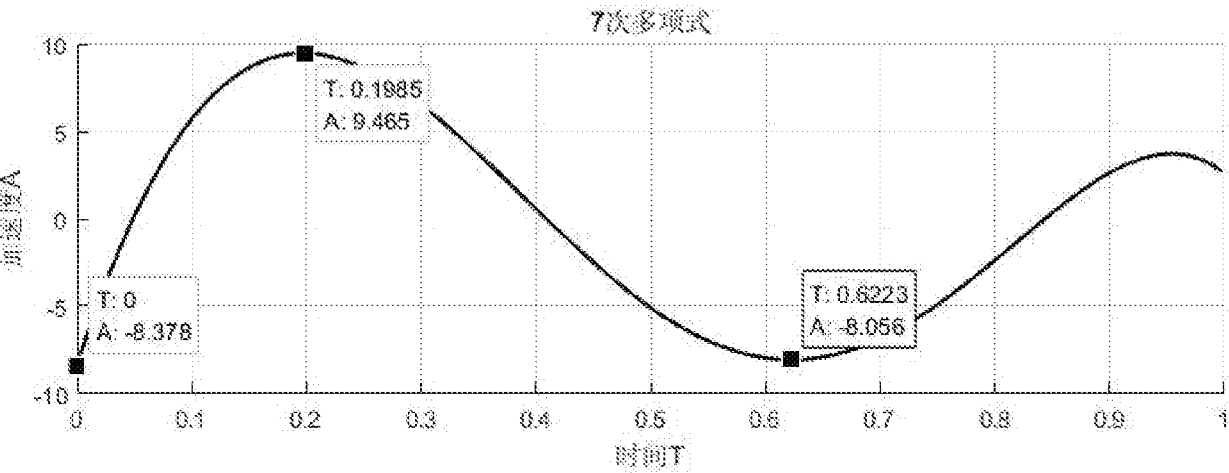


图 5

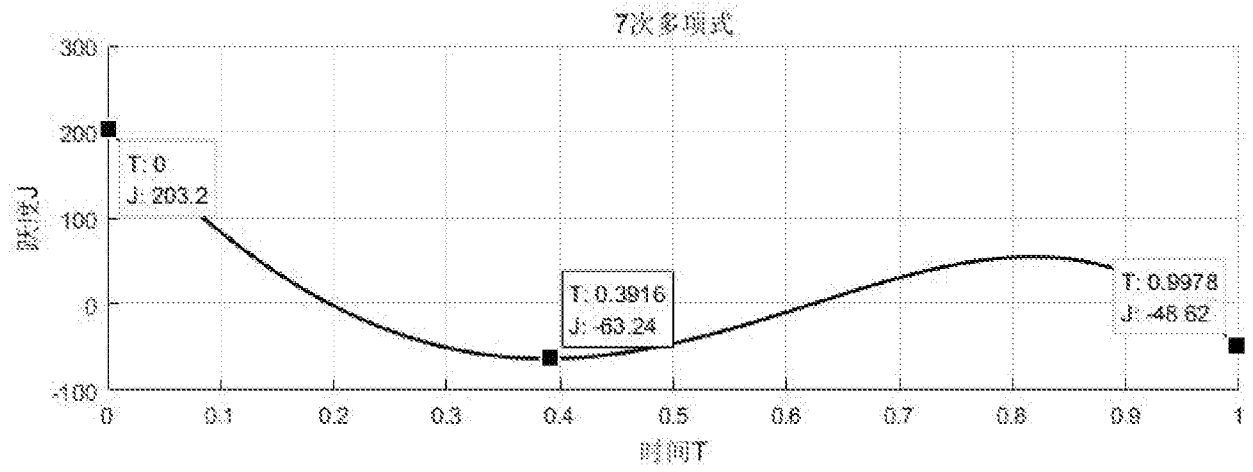


图 6

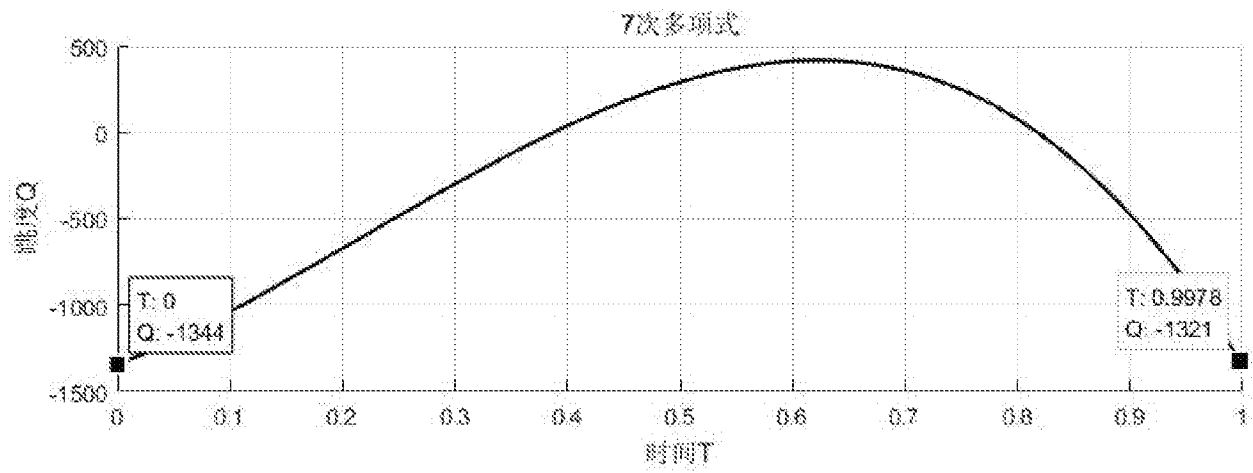


图 7

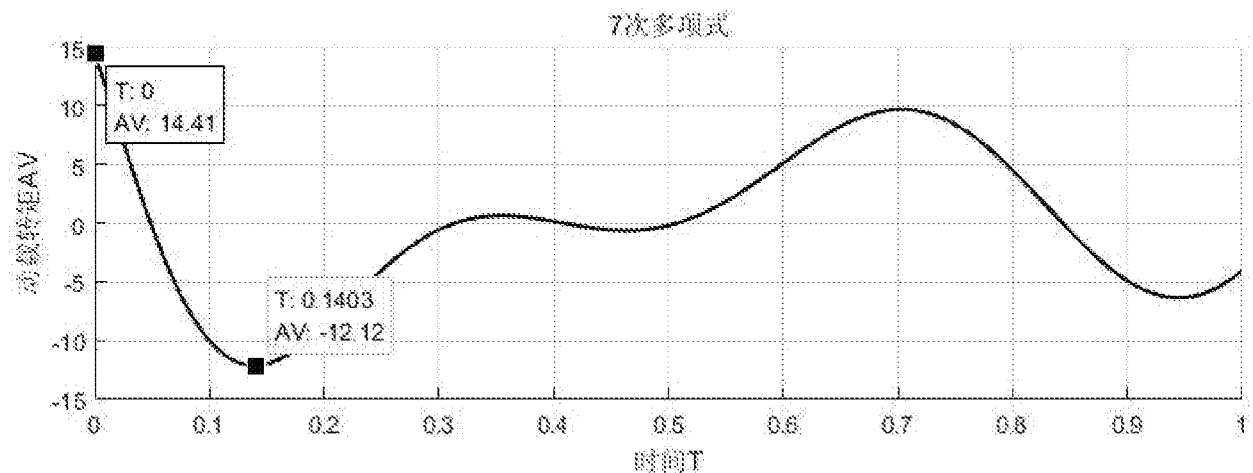


图 8

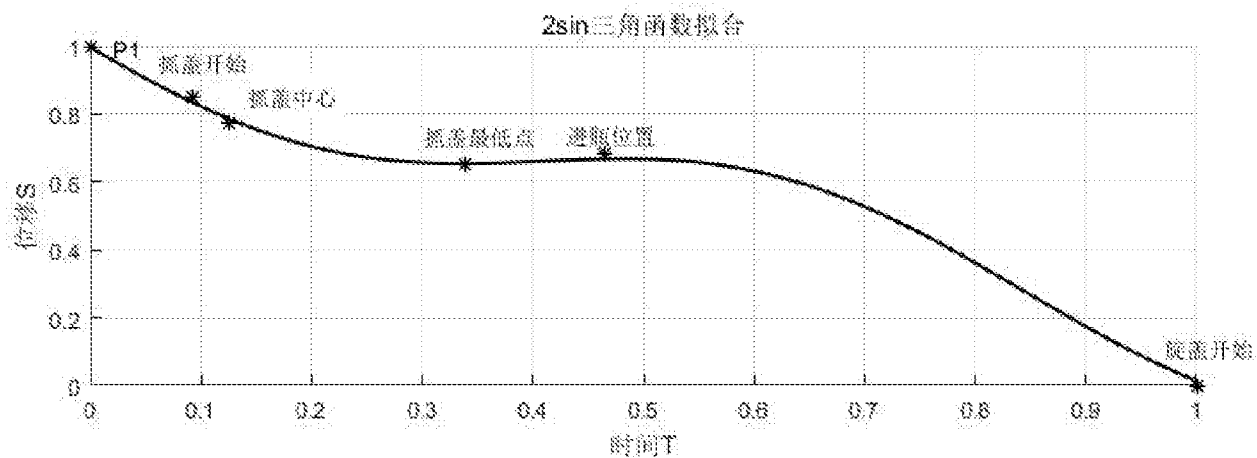


图 9

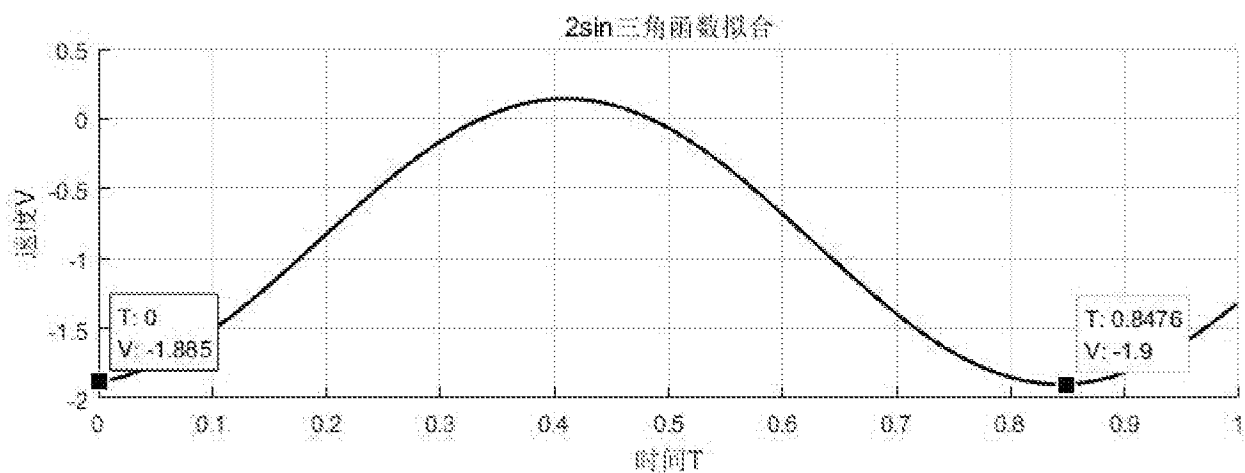


图 10

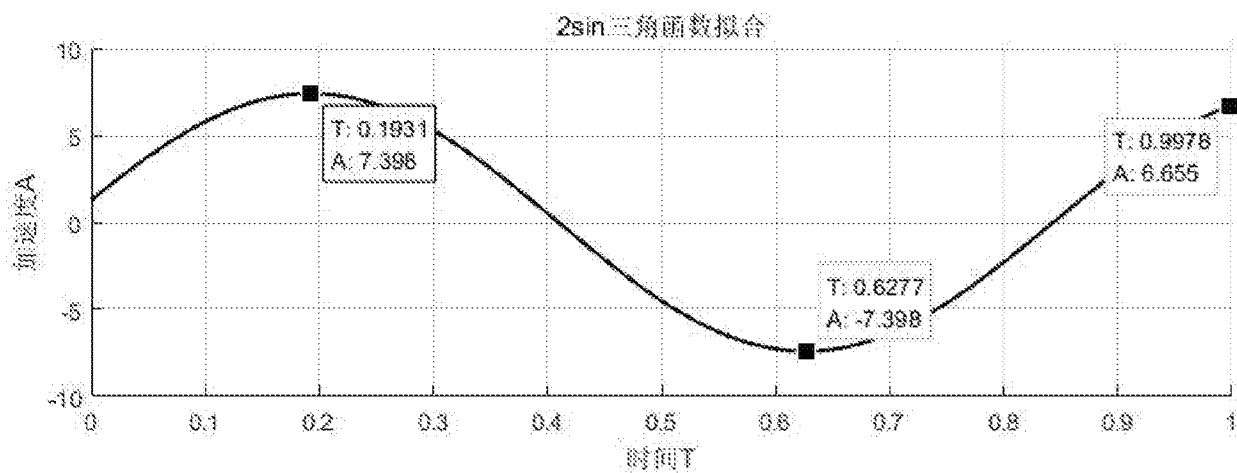


图 11

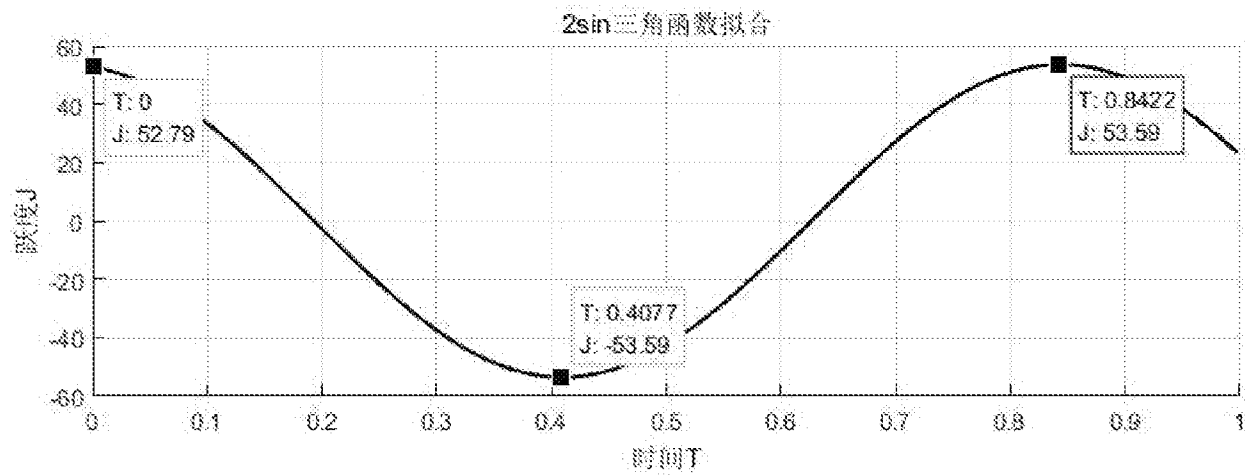


图 12

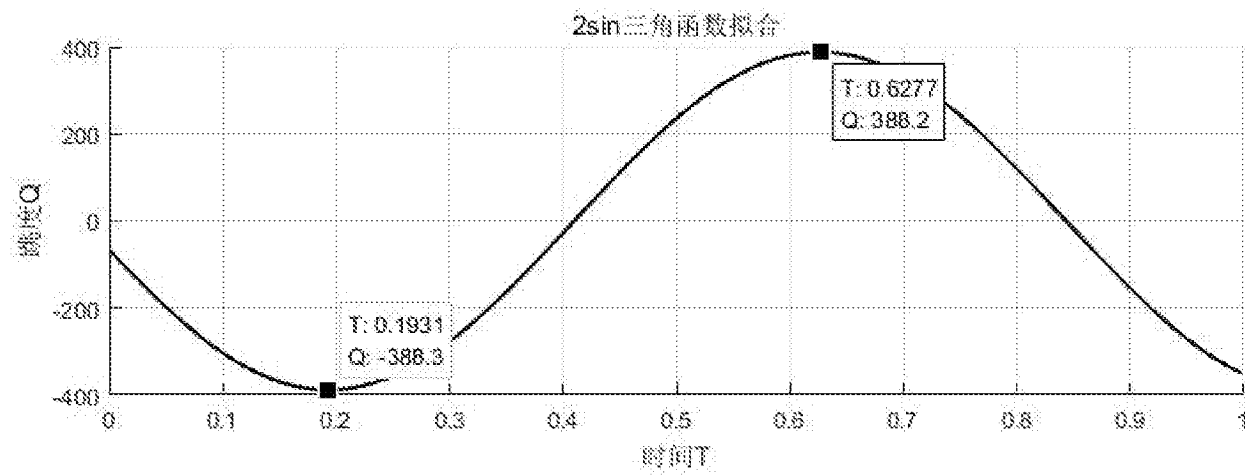


图 13

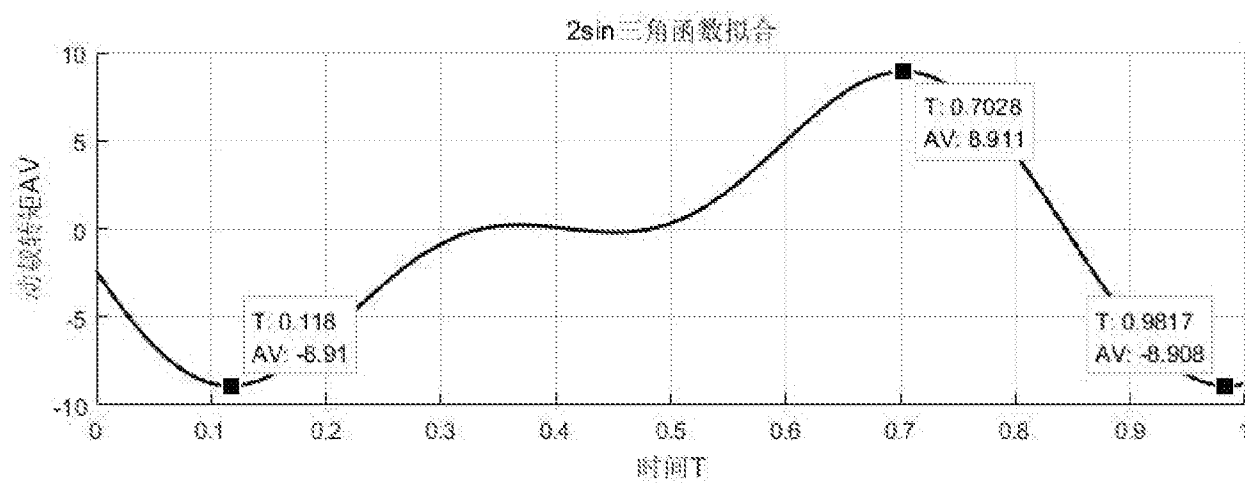


图 14

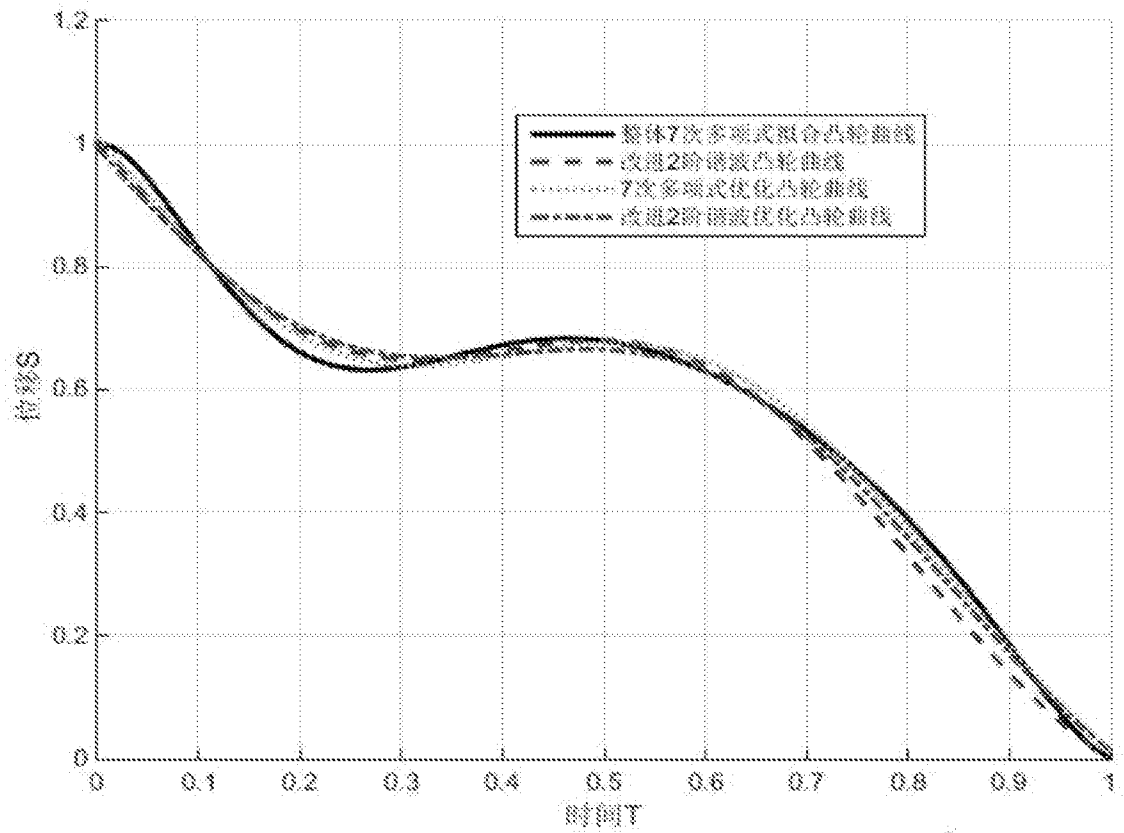


图 15

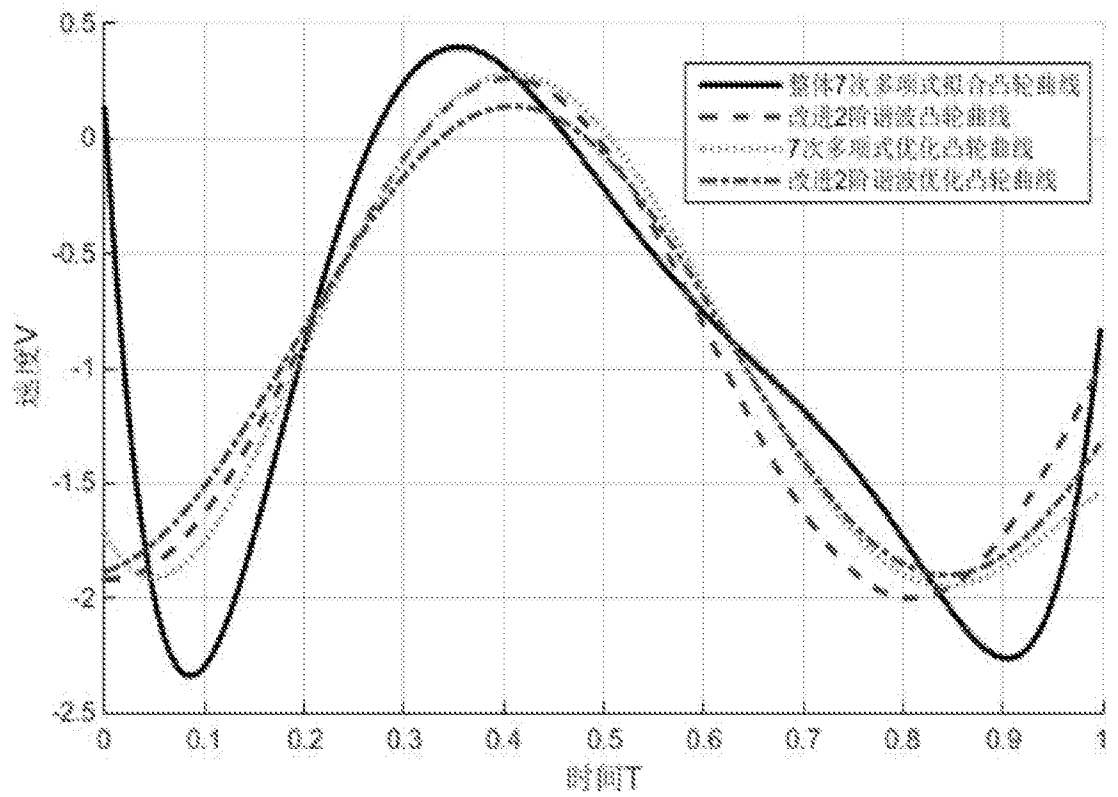


图 16

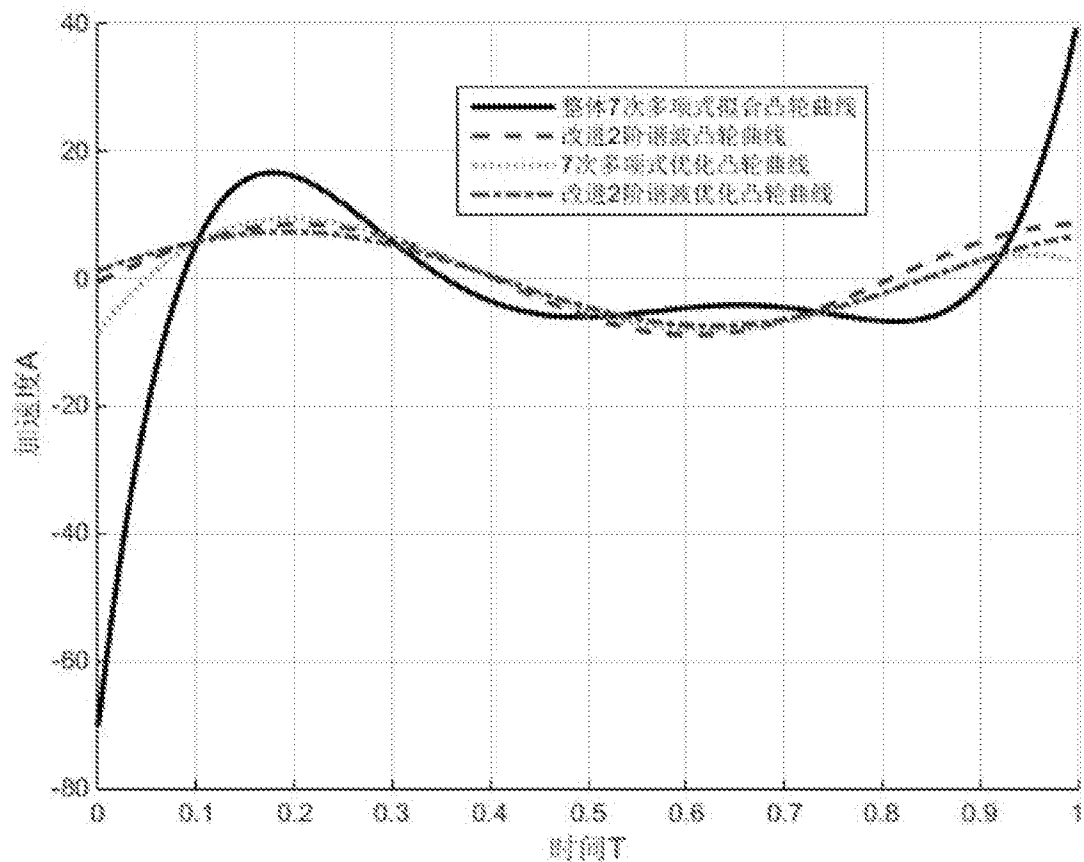


图 17

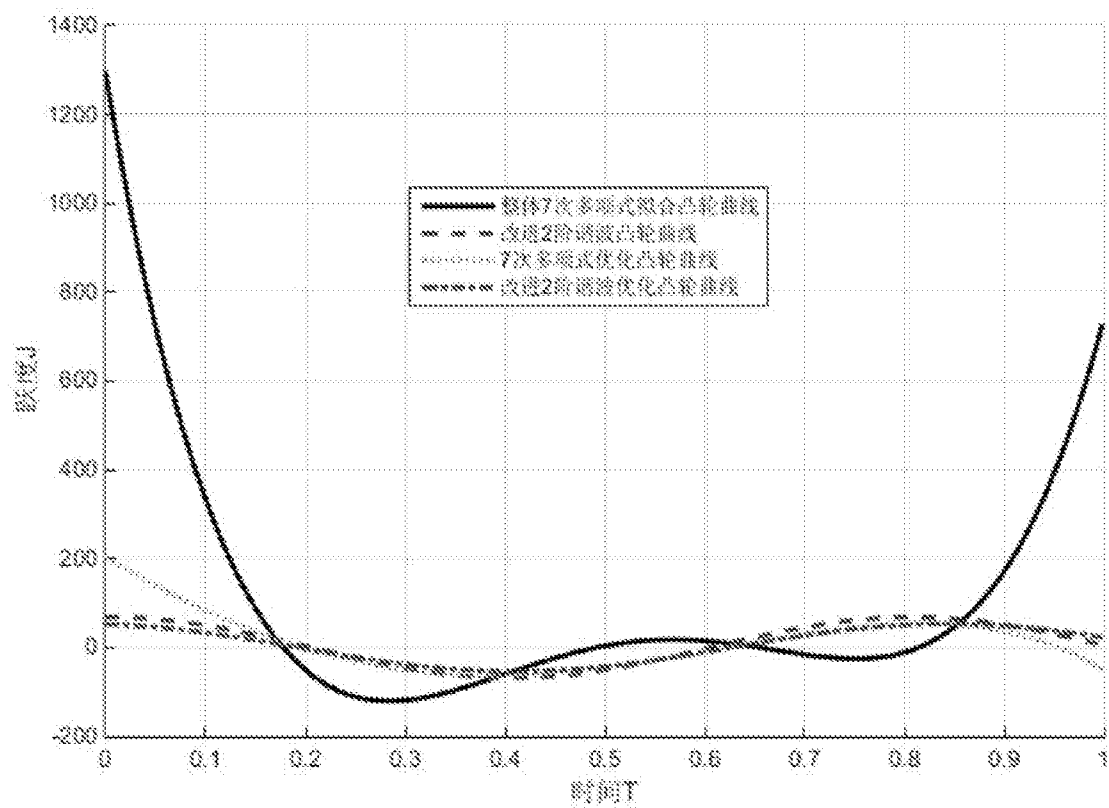


图 18

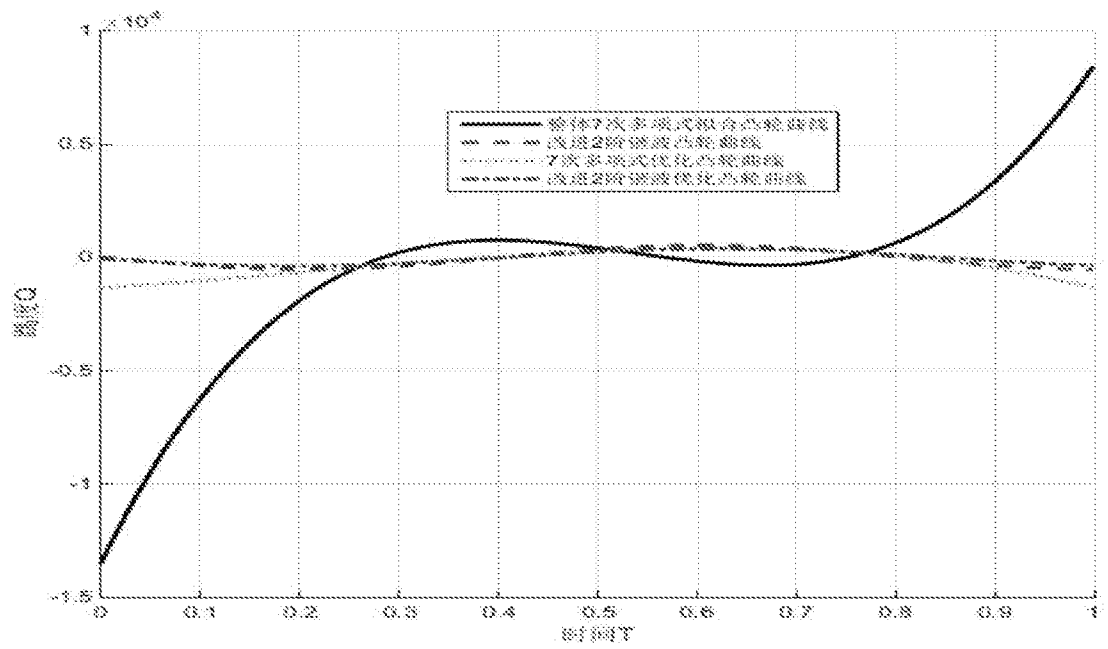


图 19

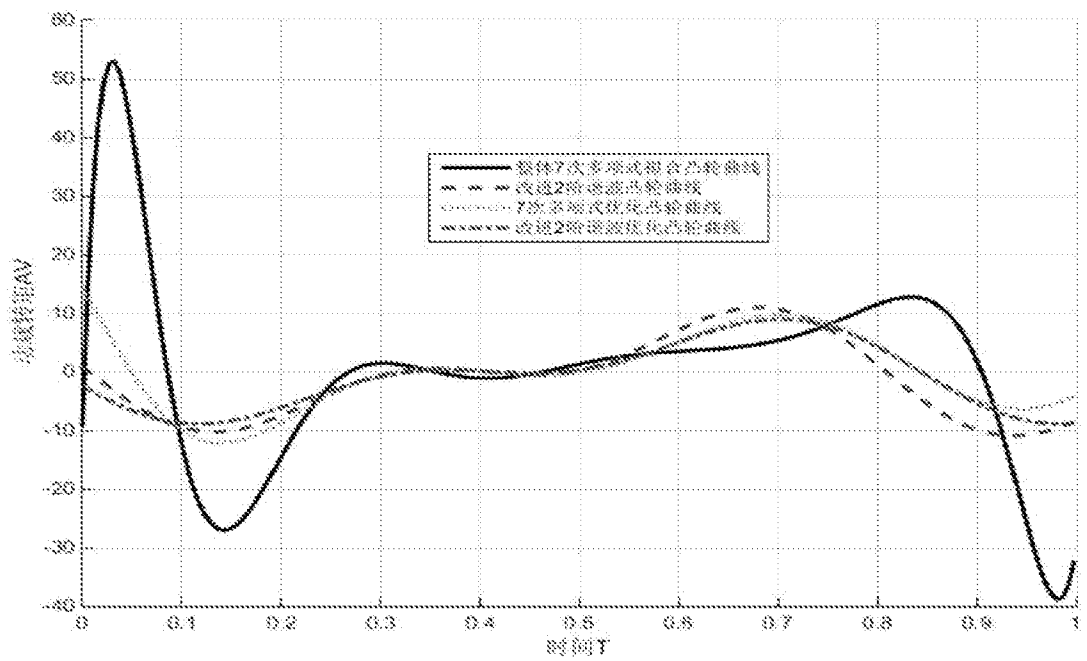


图 20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2017/119424

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F 17/50(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, EPODOC, WPI, CNKI, IEEE: 凸轮, 旋盖, 曲线, 函数, 设计, 优化, 多项式, 拟合, 二乘法, 谐波, 权重, cam, capper, curve, function, design, optimize, multinomial, fitting, multiplication, harmonic, weighing

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	刘滨 等(LIU, Bin et al.). "高速旋盖机主要部件设计研究(Design of Main Components in High Speed Capper)" 煤炭技术 (Coal Technology), Vol. 31, No. (10), 31 October 2012 (2012-10-31), ISSN: 1008-8725, pages 18 and 21	1-9
A	CN 103268378 A (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) 28 August 2013 (2013-08-28) entire document	1-9
A	CN 106844875 A (HUNAN UNIVERSITY) 13 June 2017 (2017-06-13) entire document	1-9
A	US 2009118840 A1 (KRAUSKOPF, S. ET AL.) 07 May 2009 (2009-05-07) entire document	1-9

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

04 September 2018

Date of mailing of the international search report

27 September 2018

Name and mailing address of the ISA/CN

State Intellectual Property Office of the P. R. China
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2017/119424

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	103268378	A	28 August 2013	None			
CN	106844875	A	13 June 2017	None			
US	2009118840	A1	07 May 2009	JP	2009116880	A	28 May 2009
				DE	102007053216	A1	07 May 2009
				EP	2557465	A2	13 February 2013
				EP	2278425	A2	26 January 2011

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/119424

A. 主题的分类 G06F 17/50 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类																	
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) G06F 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNPAT, EPDOC, WPI, CNKI, IEEE: 凸轮, 旋盖, 曲线, 函数, 设计, 优化, 多项式, 拟合, 二乘法, 谐波, 权重, cam, capper, curve, function, design, optimize, multinomial, fitting, multiplication, harmonic, weighing																	
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>刘滨 等. " "高速旋盖机主要部件设计研究" " 《煤炭技术》, 第31卷, 第10期, 2012年 10月 31日 (2012 - 10 - 31), ISSN: 1008-8725, 第18, 21页</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103268378 A (西安交通大学) 2013年 8月 28日 (2013 - 08 - 28) 全文</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106844875 A (湖南大学) 2017年 6月 13日 (2017 - 06 - 13) 全文</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2009118840 A1 (KRAUSKOPF SEBASTIAN 等) 2009年 5月 7日 (2009 - 05 - 07) 全文</td> <td>1-9</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	A	刘滨 等. " "高速旋盖机主要部件设计研究" " 《煤炭技术》, 第31卷, 第10期, 2012年 10月 31日 (2012 - 10 - 31), ISSN: 1008-8725, 第18, 21页	1-9	A	CN 103268378 A (西安交通大学) 2013年 8月 28日 (2013 - 08 - 28) 全文	1-9	A	CN 106844875 A (湖南大学) 2017年 6月 13日 (2017 - 06 - 13) 全文	1-9	A	US 2009118840 A1 (KRAUSKOPF SEBASTIAN 等) 2009年 5月 7日 (2009 - 05 - 07) 全文	1-9
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求															
A	刘滨 等. " "高速旋盖机主要部件设计研究" " 《煤炭技术》, 第31卷, 第10期, 2012年 10月 31日 (2012 - 10 - 31), ISSN: 1008-8725, 第18, 21页	1-9															
A	CN 103268378 A (西安交通大学) 2013年 8月 28日 (2013 - 08 - 28) 全文	1-9															
A	CN 106844875 A (湖南大学) 2017年 6月 13日 (2017 - 06 - 13) 全文	1-9															
A	US 2009118840 A1 (KRAUSKOPF SEBASTIAN 等) 2009年 5月 7日 (2009 - 05 - 07) 全文	1-9															
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																	
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																	
国际检索实际完成的日期 2018年 9月 4日		国际检索报告邮寄日期 2018年 9月 27日															
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10) 62019451		受权官员 吴媛媛 电话号码 86-(10)-53961351															

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/119424

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	103268378	A	2013年 8月 28日	无	
CN	106844875	A	2017年 6月 13日	无	
US	2009118840	A1	2009年 5月 7日	JP	2009116880 A 2009年 5月 28日
				DE	102007053216 A1 2009年 5月 7日
				EP	2557465 A2 2013年 2月 13日
				EP	2278425 A2 2011年 1月 26日