

航空子午线轮胎成型机冠带条缠绕工艺分析与实现

李保奎

(北京贝特里戴瑞科技发展有限公司, 北京 100024)

摘要:通过在航空子午线轮胎成型机上开发以西门子 317T-CPU 为控制器的冠带条缠绕控制系统, 实现三坐标联动功能, 以辅助鼓旋转伺服电动机、平移伺服电动机和摆转伺服电动机共同控制缠绕头位置, 实现冠带条“S”形缠绕轨迹, 并对冠带条的缠绕轨迹进行分析。制定的控制方案满足了航空子午线轮胎冠带条缠绕工艺要求。

关键词:航空子午线轮胎; 冠带条缠绕; PLC; 虚拟宽度; 凸轮同步

中图分类号: TQ330.6+6 **文献标志码:** B **文章编号:** 1000-890X(2015)10-0622-05

随着子午线轮胎技术的逐渐成熟, 轮胎子午化已成为发展趋势。在子午线轮胎生产中采用冠带条缠绕技术可使轮胎具备更优异的使用性能。目前, 国内的冠带条缠绕装置多通过两坐标联动实现沿鼓圆周方向的螺旋缠绕, 无法在运动过程中实现空间复杂缠绕轨迹的拟合, 不能充分满足轮胎使用性能要求。

本工作在航空子午线轮胎的成型工艺中, 提出冠带条在辅助鼓鼓面“S”形缠绕的特殊工艺要求, 以期通过冠带条缠绕取代带束层, 从而提高轮胎品质。

1 冠带条缠绕轨迹分析

1.1 缠绕轨迹模型

实际生产中冠带条具有一定宽度, 为了分析计算方便, 作如下转化: 用冠带条中心线代表冠带条, 用平行相邻两条冠带条中心线间距代表冠带条的宽度。

将冠带条缠绕的鼓面展开即可模拟出冠带的轨迹。图 1 所示为将冠带条抽象成一条直线后典型的缠绕效果(即成型鼓周长 L 刚好是 E 的整数倍, 并且拐点间距 $\Delta = E$)。根据工艺要求已知的参数有: 成型鼓周长 L 、冠带条的缠绕宽度 W 、冠带条的缠绕角度 θ 、冠带条的厚度 d 、平行相邻的两条冠带条中心线距离 δ 。设 $\Delta = \delta / \sin \theta$,

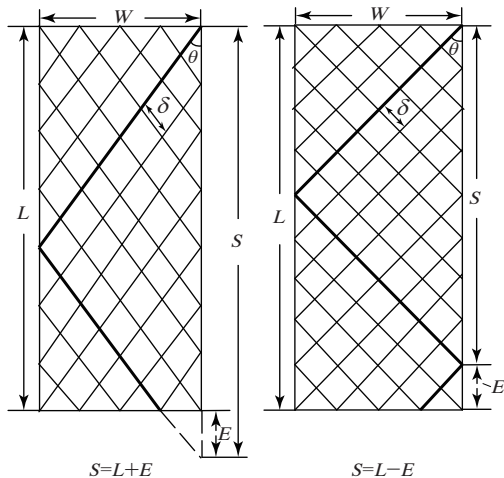


图 1 冠带条缠绕效果

$$S = 2W / \tan \theta, E = |L - S|.$$

冠带条在缠绕宽度的边缘会产生拐角, 而图 1 所示拐点在实际缠绕中会使冠带条产生褶皱, 因此冠带条在拐点处的轨迹必须处理成圆弧状。实际生产中需通过虚拟宽度实现, 将实际的缠绕宽度放大, 即处理 L 与 S 以及 Δ 与 E 的关系。

1.2 $S > L$ 且 $E < \Delta$ 时的缠绕效果

$S > L$ 且 $E < \Delta$ 时, 冠带条缠绕效果如图 2 所示。可以把缠绕宽度 W 放大为虚拟宽度 W' , 相应地有 S' 。令 $S' = L + \Delta$, 则缠绕时辅助鼓旋转的圈数 $n = \text{INT}(S' / \Delta)$, 如果 n 为偶数则不变, 若 n 为奇数则减去 1, 设 $\Delta' = S' / n$, 则可得到如下方程组:

$$\begin{cases} S' = L + \Delta' \\ S' = n\Delta' \end{cases}$$

作者简介: 李保奎(1982—), 男, 河北衡水人, 北京贝特里戴瑞科技发展有限公司工程师, 学士, 主要从事轮胎装备的开发和设计工作。

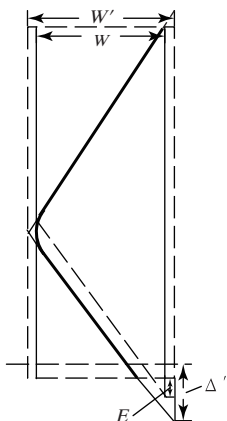


图 2 $S > L$ 且 $E < \Delta$ 时冠带条的缠绕效果

由方程组可得

$$S' = \frac{nL}{n-1}$$

虚拟宽度 W' 为

$$W' = \frac{nL \tan \theta}{2(n-1)}$$

计算发现, 调整 n 的大小可以微调 W' 的大小。在 n 取整的过程中, 拐点间距 Δ 变为 Δ' , 即冠带条的实际宽度受到了影响。

如果 $E > \Delta$, 只能将 E 作为拐点间距进行计算, 由于 E 无法代表冠带条的宽度, 因此没有实际意义。在实际生产中可以通过修改其他参数以避免 $E > \Delta$ 的情况出现。

1.3 $S < L$ 且 $E < \Delta$ 时的缠绕效果

当 $S < L$ 且 $E < \Delta$ 时, 处理方法与图 2 所示完全一致。

当 $E > \Delta$ 时, 如图 3 所示 Δ 作为拐点间距, 将缠绕宽度 W 放大为 W' , 相应地有 S' 。令 $S' =$

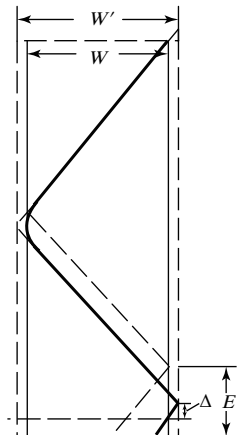


图 3 $S < L$ 且 $E > \Delta$ 时的缠绕效果

$L - \Delta$, 设 $n = \text{INT}(S'/\Delta)$, 如果 n 为偶数则不变, 若 n 为奇数则减去 1, 设 $\Delta' = S'/n$ 则可得到如下方程组:

$$\begin{cases} S' = L - \Delta' \\ S' = n\Delta' \end{cases}$$

由方程组可得

$$S' = \frac{nL}{n+1}$$

虚拟宽度 W' 为

$$W' = \frac{nL \tan \theta}{2(n+1)}$$

与图 2 的情况类似, 调整 n 的大小可以微调 W' , 同样在 n 的取整以及可能的取偶过程中冠带条的宽度也受到了影响。

1.4 圆弧轨迹半径计算

由以上计算得出两个重要参数: 辅助鼓旋转的圈数 n 和虚拟宽度 W' 。根据 W' 计算圆弧部分的半径 R 。

如图 4 所示, 根据相似三角形原理, 得到圆弧部分的弧度为 2θ 。

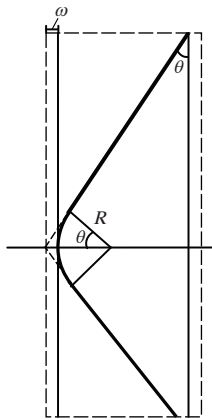


图 4 圆弧部分示意

假设 $2\omega = W' - W$, 则圆弧半径 R 为

$$R = \frac{\omega \cos \theta}{1 - \cos \theta}$$

由 W' 和 R 可基本确定曲线的形状, 即在展开的鼓面上冠带条轨迹由直线段和拐角处的圆弧段组成。

2 控制方案实现

2.1 控制方案选型

采用西门子 317T-2DP PLC 和 sinamics

SI20 系列运动 PLC。T-CPU(也称工艺 CPU)的设计理念是把传统 PLC、运动控制功能和传动装置参数化功能相结合。除普通 PLC 的功能外,同时集成了大量工艺控制功能。对逻辑控制和运动控制单元使用同一种编程语言,运动控制功能与 PLCopen 的规范兼容。

本方案共有 4 台伺服电动机实现冠带条缠绕,分别为辅助鼓电动机驱动辅助鼓旋转、平移电动机驱动平移机构做往复运动、平移机构上的摆转电动机驱动摆转机构夹持着冠带条实现一定角度的摆转以及前后电动机驱动整个平移摆转机构的前后运动,实现冠带条料头贴合/脱离辅助鼓。冠带条缠绕时辅助鼓做恒速旋转,根据事先计算好的冠带条轨迹,以辅助鼓电动机为主轴,平移电动机为从轴实现位置同步。同样以平移电动机为主轴,以摆转电动机为从轴,在平移电动机往返运动的减速和加速过程中,摆转电动机做一定角度的往复摆转运动。前后电动机不参与同步动作,每个位置均为单独控制。辅助鼓恒速旋转,平移电动机在缠绕宽度范围内做往复运动,摆转电动机在平移电动机的加减速过程中实现一定的摆转角度。3 台电动机联动,在辅助鼓鼓面上拟合出一条“S”曲线。

2.2 辅助鼓电动机和平移电动机的同步关系

辅助鼓电动机为 360° 模态旋转轴,平移电动机是直线轴。冠带条缠绕过程中辅助鼓电动机做匀速旋转运动,平移电动机在要求的缠绕宽度内重复往返运动,并根据设定的凸轮曲线与辅助鼓同步。平移电动机往返一次过程中冠带条的轨迹如图 5 所示。规定坐标系原点的横纵坐标在辅助鼓零点和缠绕宽度的中点。根据 W' 和 R 可得出 $A \sim H$ 点的坐标值,从而得到凸轮曲线。

2.3 平移电动机和摆转电动机的同步关系

在实际缠绕过程中,规定平移电动机是从缠

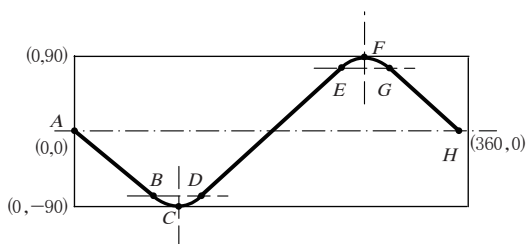


图 5 平移电动机往返一次过程中冠带条的轨迹

绕宽度的中间开始运动的。摆转电动机和平移电动机的位置关系如图 6 所示。其中 $k = R - R\cos\theta$,在拐点部分平移电动机的位置值 y 和摆转电动机的角度值 x 间有如下关系: $y = R - R\cos x$ ($-\theta < x < \theta, 0 < y < k$)。但在实际的主从关系中,平移电动机为主轴,摆转电动机为从轴,因此平移电动机位置应为自变量值 x ,函数关系变为

$$y = \arccos \frac{R-x}{R} \quad (0 < x < k, 0 < y < \theta)$$

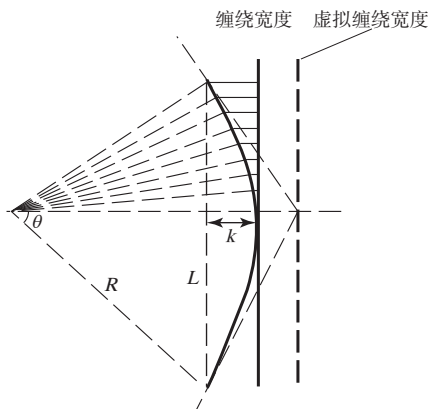


图 6 摆转电动机和平移电动机的位置关系

值域变化导致每个拐点处的同步关系必须用两个凸轮表示。工艺流程中会进行多层冠带条的缠绕,每层需要至少 5 个凸轮才可以实现所有的同步关系。317T-2DP PLC 可接受的控制对象有限,即使能满足目前的工艺要求,控制器的控制量也是非常大的。为尽量减小控制器的负荷,实际控制过程中对平移电动机和摆转电动机之间的同步关系只定义一组(4 个)标准凸轮。不同层的冠带条缠绕以标准凸轮为基础进行不同比例的放大或缩小,以实现平移电动机和摆转电动机之间的凸轮同步。

通过分析辅助鼓电动机和平移电动机、平移电动机和摆转电动机的同步关系,可以设计出相应的凸轮,并实现凸轮同步。

3 操作过程中遇到的问题

3.1 实时同步关系校正

在同步过程中,平移电动机完成第 1 次往返运动后,辅助鼓电动机和平移电动机的同步发生了偏移,偏移量为 Δ' 或 Δ' 的整数倍,中断后重新

启动时必须考虑偏移量, 否则平移电动机会按照初次启动时的同步关系运动, 产生错误的冠带条轨迹, 如图 7 所示。

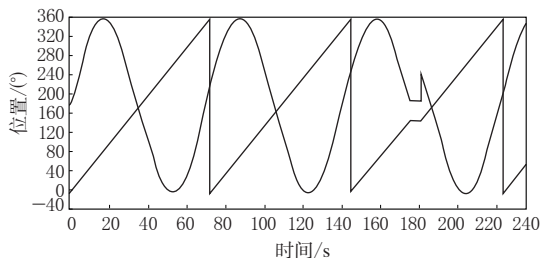


图 7 平移电动机位置突变产生的冠带条缠绕轨迹

图 7 中, 三角形轨迹是辅助鼓的位置反馈值, 波浪形轨迹是平移电动机的反馈值。在辅助鼓旋转第 3 圈时产生中断, 辅助鼓电动机和平移电动机位置反馈值保持不变。重新启动后平移电动机位置产生了骤变, 骤变后的平移电动机位置和辅助鼓第 1 圈旋转时的位置同步。

因此每次中断后重新启动时, 需重置辅助鼓电动机和平移电动机间的位置偏移, 使其按照中断前的位置同步轨迹继续缠绕, 如图 8 所示。

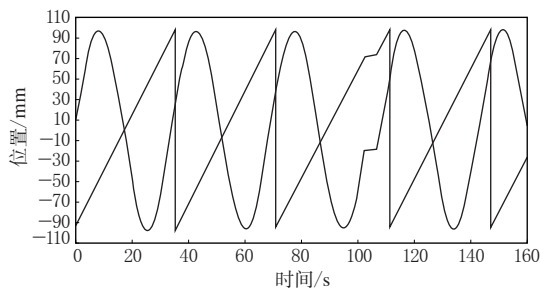


图 8 平移电动机位置同步产生的冠带条缠绕轨迹

3.2 冠带条缠绕方式

冠带条缠绕方式有冠带条平行排列和冠带条交叉编织两种情况, 可以根据不同的工艺要求进行选择, 如图 9 和 10 所示。

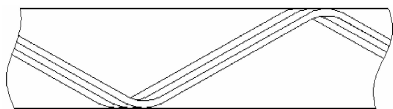


图 9 冠带条平行排列示意

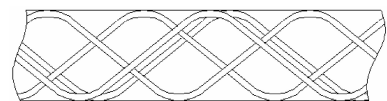


图 10 冠带条交叉编织示意

当 L/S 的值在整数附近时冠带条即为平行排列, 当 L/S 的值保留小数时冠带条即为编织排列。

3.3 重叠层数分析和修正

冠带条缠绕完成后, 缠绕宽度边缘处冠带条的重叠层数最少为 2 层, 如图 11 所示, 冠带条在整个缠绕宽度内均匀分布, 但拐点处为折叠状。

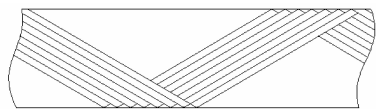


图 11 重叠层数为 2 层示意

图 12 中所有的冠带条均为平行, 因此不会产生超过 2 层的重叠。当拐点变为弧线时缠绕宽度边缘处的重叠层数就会增加。重叠层数与圆弧段的长度有关, 圆弧段的长度越大, 重叠层数也就越多, 如图 12 和 13 所示。

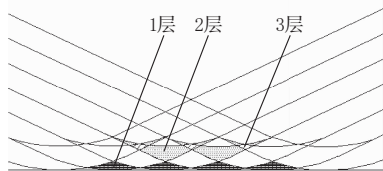


图 12 圆弧增大重叠层数增加

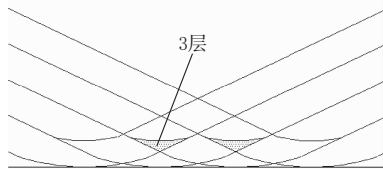


图 13 圆弧减小重叠层数减少

缠绕宽度边缘处的重叠层数严重影响轮胎的使用性能。为改变圆弧段的长度进而控制重叠层数, 做以下尝试: 按照弧线段和直线段相切的轨迹, 平移电动机应减速时, 强制其继续按直线段同步, 当到达人为设定的某个位置时再进行圆弧段的轨迹同步, 强制减小圆弧段长度产生的圆弧同步轨迹, 如图 14 所示。

根据几何关系可以得到如下方程组:

$$\begin{cases} \delta + \omega = R' \sin \beta \tan \theta \\ R' - R' \cos \beta = \delta \end{cases}$$

由上述方程组可得到 β 值, 只需给定一个足够大的 R' 就可以计算出相应的 β 值。但无论 R' 多大, 得到的圆弧部分的弦长都不可能小于 C 。

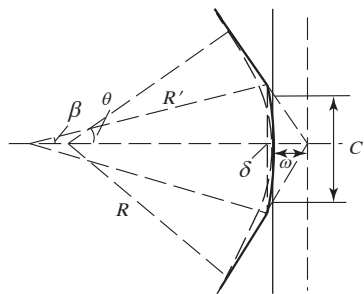


图 14 强制减小圆弧段长度产生的圆弧同步轨迹示意图
得到 β 后即可计算出新的冠带条轨迹。强制减小圆弧段后的同步轨迹如图 15 所示, 可以看到圆弧段与直线段不是相切的, 并且圆弧段较相切的情况减小。

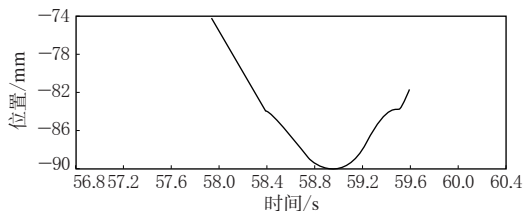


图 15 强制减小圆弧段后的同步轨迹

4 缠绕工艺与效果

冠带条从鼓面中心线位置开始缠绕。辅助鼓伺服电动机驱动辅助鼓做旋转运动, 平移伺服电动机根据辅助鼓位置开始以速度 v 匀速运行拟合冠带条的直线段轨迹, 摆转伺服电动机保持摆转角度 θ 不变。直线段轨迹结束时平移伺服电机开始减速, 进行圆弧段轨迹拟合, 同时摆转伺服电动机根据平移伺服电动机的位置开始摆转运动, 平

移伺服电动机运行至缠绕边缘时速度为零, 摆转伺服电动机摆转角度 θ 为零。然后平移伺服电动机反向加速至 $-v$, 摆转伺服电动机根据平移伺服电动机的位置继续摆转至 $-\theta$ 角度并保持, 结束冠带条的圆弧段轨迹开始直线段轨迹的拟合。当平移伺服电动机再次减速至 v 为零并反向加速至匀速 v 的过程中, 摆转伺服电动机根据平移伺服电动机的位置由 $-\theta$ 角度摆转至 θ 为零并继续摆转至 θ 。依此循环运行直至带束层缠绕结束。3 个电动机的轨迹如图 16 所示。

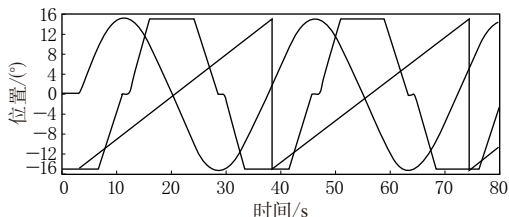


图 16 3 台电动机的轨迹

5 结语

根据鼓的周长、缠绕宽度、冠带条与鼓面中心线的夹角以及相邻平行冠带条的间距 4 个参数, 快速精确地设计带束层缠绕轨迹, 通过辅助鼓旋转伺服电动机、平移伺服电动机和摆转伺服电动机三轴联动拟合“S”形曲线, 实现带束层没有帘线截断头的复杂曲线缠绕。

本控制方案实现了航空轮胎成型过程中冠带条的缠绕, 并满足了工艺要求。

收稿日期: 2015-04-11

不溶性硫黄预分散胶母粒及其制备方法

中图分类号: TQ330.38+5 文献标志码: D

由朝阳明宇化工有限公司申请的专利(公开号 CN 103642133A, 公开日期 2014-03-19)“不溶性硫黄预分散胶母粒及其制备方法”, 提供了一种不溶性硫黄预分散胶母粒及其制备方法。不溶性硫黄母炼胶组合物是以三元乙丙橡胶和丁苯橡胶为基质组成的, 并加入乙烯-乙酸乙烯酯共聚物和分散剂, 于 $95 \sim 105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下塑炼 $15 \sim 16\text{ min}$, 当门尼粘度达到 $23 \sim 26$ 、塑炼胶表面温度为

$18 \sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 加入不溶性硫黄和环烷油, 控制温度为 $58 \sim 63\text{ }^{\circ}\text{C}$; 左右开刀各 $4 \sim 6$ 次, 每次 $3 \sim 4\text{ min}$, 打卷 $4 \sim 6$ 次, 总时间 $1 \sim 2\text{ min}$, 压片造粒制得不溶性硫黄胶母粒。该胶母粒无粉尘飞扬且室温下不粘团; 用橡胶载体预分散能保证不溶性硫黄的活性, 且与不同橡胶均有很好的相容性; 在较低混炼温度下, 仍具有较低粘度和剪切速率, 易于分散和自动化计量, 加快了混炼速度, 短时间内能实现良好的分散与分配。

(本刊编辑部 赵 敏)