

doi: 10.7690/bgzd.2020.04.001

# 自动机常用螺旋面设计与加工方法

谢云峰

(中国兵器工业第二〇八研究所一室, 北京 102202)

**摘要:** 为解决枪械自动机结构中常用螺旋面的设计与加工中存在的问题, 对其运用方案、理论特性及加工计算方法进行解析。解析 3 类常见螺旋面运用形式, 对螺旋面的特性进行研究, 推导建立螺旋面加工及间隙计算的理论公式, 其中一些措施已在工程实践中取得良好成效。结果表明: 该设计实用、可行, 可为枪械自动机螺旋面的设计、加工提供参考。

**关键词:** 自动机; 螺旋面; 加工; 计算; 间隙

**中图分类号:** TJ203<sup>+</sup>.2 **文献标志码:** A

## Design and Processing Method of Helicoids Surfaces Commonly Used in Automat

Xie Yunfeng

(No. 1 Department, No. 208 Research Institute of China Ordnance Industries, Beijing 102202, China)

**Abstract:** In order to solve the problems existing in the design and processing of helical surfaces commonly used in the structure of gun automat, its application scheme, theoretical characteristics and processing calculation method are analyzed. This paper analyses 3 kinds of common helical surface application forms, studies the characteristics of helical surface, deduces and establishes theoretical formulas for helical surface processing and clearance calculation, some of which have achieved good results in engineering practice. The results show that the design is practically and feasibly, which can provide reference for the design and processing of helical surface of gun automat.

**Keywords:** automat; helicoids; process; calculation; clearance

### 0 引言

作为旋转导向的作用面, 螺旋面常用于枪械的自动机结构中。该类型配合结构具有双面约束<sup>[1]</sup>、结构紧凑、原理简单和动作可靠等特点, 然而在工程上由于设计、加工上的认识不足, 导致螺旋面在装配上难以保证贴合, 造成枪械在后续工作中产生一些问题。笔者以枪械自动机上常用螺旋面的设计和加工为研究方向, 通过对其运用和特性的研究, 逐步理清相关认识, 推导、建立相关计算公式。

### 1 自动机螺旋面运用

螺旋面配合结构由螺旋槽和螺旋凸起(或螺旋支臂)组成。根据枪械上的运用方式, 一般可分为以下 3 种:

#### 1) 螺旋槽与半圆凸起配合。

该类型配合中, 螺旋槽由刀具过心加工(在此定义, 加工过程中刀具偏离工件回转中心为刀具偏心加工, 而刀具始终位于工件回转中心则为刀具过心加工)而成; 枪机凸起的外形为非加工刀具圆(或非

近似加工刀具圆), 即凸起四周由直面、半圆和螺旋面构成, 则通常由刀具偏心加工而成, 常见的 AK 系列步枪自动机开闭锁螺旋配合见图 1。

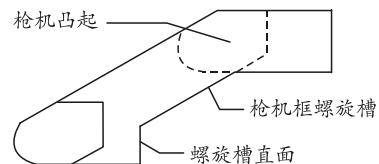


图 1 螺旋槽与半圆凸起配合示例

在该类型机构中, 为了避免复进过程中枪机和导轨之间的楔紧现象<sup>[2]</sup>, 在设计上消除侧向分力, 采用螺旋槽直面和枪机凸起的直面配合, 同时用抛壳挺或机匣上导轨卡住机头进行制转。由于有直面贴合, 闭锁前枪机凸起必须先脱离螺旋槽直面, 这种机构往往需要另加闭锁驱动装置, 以便枪机能够及时偏转进入螺旋槽闭锁作用面; 因此, 机头和节套(或者机匣)上必须留有预转面。

采用这种类型螺旋面配合的自动机闭锁机构的优点是结构简单, 枪机凸起的强度有保证; 缺点是增加闭锁预转驱动装置, 配合直面小、容易出现配

收稿日期: 2019-12-20; 修回日期: 2020-01-10

作者简介: 谢云峰(1988—), 男, 江西人, 硕士, 工程师, 从事转管武器技术研究。E-mail: Xyf208@126.com。

合直面撞塌的情况，枪机凸起的螺旋面加工精度不好控制、装配较难保证螺旋面完全贴合<sup>[3]</sup>。

2) 螺旋槽与圆形凸起配合。

该类型配合中，螺旋槽由刀具过心加工而成，而枪机凸起的外形为加工刀具圆的圆柱(或近似为加工刀具圆的圆柱)，即配合面不需要加工成螺旋面，常见的有美 M16 自动步枪枪机上导杆和枪机框上的螺旋槽配合、56 式 14.5 mm 高射机枪的自动机加速子和机体上螺旋槽配合以及转管机枪机心滑板上的驱动滚轮和机匣上曲线槽的配合，示例见图 2。

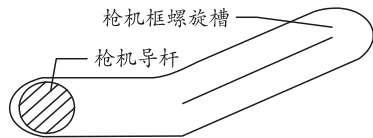


图 2 螺旋槽与圆形凸起配合示例

在该类型螺旋面配合中，枪机导杆在复进过程中始终受到侧向分力，为避免“楔紧”现象，需要另加机头制转装置。一般在枪机框的顶部(或者左右两侧)设置摆动式制转卡铁(或者保险杠杆)，开锁后卡住机头，不允许其转动；当自动机复进到位时，利用机匣或节套上的凸笋挤开卡铁，从而解除对机头旋转的限制。

采用这种类型螺旋面配合的自动机闭锁机构的优点是配合传动精度高<sup>[4]</sup>、螺旋面加工和装配工艺性好；缺点是枪机导杆与螺旋槽线接触，强度稍差、机头制转装置拓宽自动机横向空间、在枪机后坐或者推弹过程中卡铁容易出现自行弹开的问题。另外，还有在 M4、G36 自动步枪自动机上亦采用这种类型螺旋面配合，但其利用枪机导杆上的方形头部与机匣配合限制机头的回转；自动机运动过程中存在“楔紧”现象，导杆与机匣的摩擦消耗自动机复进能量。

3) 螺旋槽与螺旋臂配合。

如图 3 所示，该类型配合中，螺旋槽和螺旋臂的配合面都是刀具偏心加工而成，工艺复杂。常见的有美 M134 转管机枪的自动机螺旋配合结构。该类螺旋面配合具有以下特点：接触面积大，开闭锁刚、强度好；螺旋配合不占用自动机内部空间，结构紧凑；加工工艺性不好，需要注意螺旋配合面的消隙问题和导轨楔紧现象。

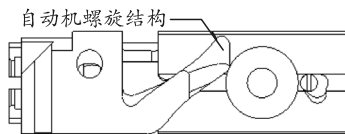


图 3 螺旋槽与螺旋臂配合示例

总的来说可以分为：一个过心加工螺旋面和一个偏心加工螺旋面配合、一个过心加工螺旋槽和一个仿刀具工件配合及 2 个偏心加工螺旋面配合等 3 种类型。

2 螺旋面特性

2.1 螺旋面特性分析

如图 4 所示，螺旋面上点  $m$  和点  $n$  为过轴心直线上与不同展开直径  $D$  的螺旋线相交的 2 个点。其中： $m$  点沿着螺旋线爬升到点  $m'$  处时，绕着轴心转过了  $\theta$  角度；而  $n$  点沿着螺旋线爬升到同样高度的点  $n'$  处时，由于螺旋线导程  $P$  相等(即爬升相同的高度对应转过角度相同)，故此时  $m'$ 、 $n'$  又处在过轴心的同一条直线上(即二者仍在同一螺旋面)。其升角计算公式为

$$\tan \alpha = p/\pi D。 \tag{1}$$

其中： $\alpha$  为螺旋升角； $D$  为螺旋面的展开直径。根据以上分析，得出以下结论：

- 1) 螺旋面上升角随展开径  $D$  变大而变小。
- 2) 理论上设计的螺旋面仅与导程  $P$  相关(即 3 维实体建模时展开径  $D$  的数值不重要)。
- 3) 要使 2 个同导程螺旋机构的端面处配合连续，需要二者加工时刀具行走的螺旋线连续；若不连续，则需要根据相差的角度相应调整相对距离，这个相对距离就是二者初始装配的啮合长度。

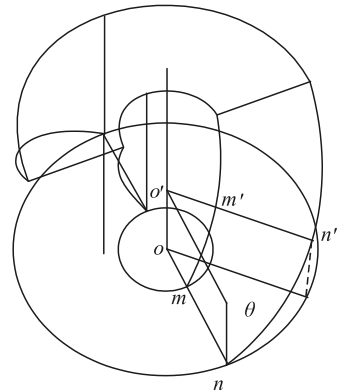


图 4 螺旋面特性分析

2.2 螺旋面加工特性

如图 5 所示，刀具沿着螺旋线加工工件时，垂直工件回转面成立右手坐标系<sup>[5]</sup>，与工件的接触点坐标  $(x, y, z)$  可以由下式表示：

$$\left. \begin{aligned} x &= r \sin \alpha \\ y &= r \cos \alpha \\ z &= D / 2 \end{aligned} \right\}。 \tag{2}$$

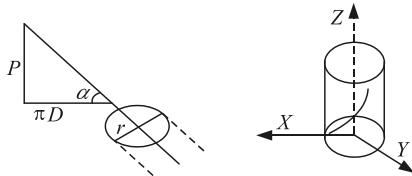


图 5 螺旋面加工特性分析

联立式(1)可知：随着展开直径  $D$  变大，螺旋升角  $\alpha$  趋向于  $0$ ， $y$  方向坐标值趋向于刀具半径  $r$ ， $x$  方向坐标值趋向于  $0$ ；反之，随着展开直径  $D$  变小，螺旋升角  $\alpha$  趋向于  $\pi/2$ ， $x$  方向坐标值趋向于刀具半径  $r$ ， $y$  方向坐标值趋向于  $0$ 。由于加工刀具自身半径的存在，加工后的螺旋槽两侧螺旋面在任意截面处都不可能呈现为直线，而是一条不规则曲线(在此定义为刀具加工的接触曲线)。

### 3 螺旋面加工、计算方法

刀具过心加工的螺旋槽可以通过工件的旋转和轴向移动获得，而偏心加工的螺旋面工艺性较差。其中，螺旋槽上下通透轴对称的工件(如 M134 自动机)可以采用数控线切割机加工；但是对于不通透的凸笋形状工件(如枪机的开闭锁凸笋)，可以通过式(2)计算得到轮廓面系列接触点的坐标数据，输入五轴数控机床并进行数控加工，通过改变样本点的密度确定加工精度<sup>[6]</sup>。一般情况下，考虑生产经济性，皆采用四轴( $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 轴及绕  $X$ 轴转动)机床近似加工，故笔者就此展开研究。

#### 3.1 螺旋面偏心加工方法研究

由于左、右旋螺旋臂上、下脊背面的加工方法相同，故以左旋螺旋臂的下脊背面偏心加工为例，假定工程图纸给定的展开直径为  $D'$ 。由图 6 可知，刀具加工时需要在螺旋槽刀具加工螺旋线的两侧沿着法线方向左右各偏移一个刀具直径的距离。假设螺旋槽的理论加工起始点为  $o$  点，则刀具的起始点应相对于  $o$  点左移距离  $l$ ，轴向移动距离  $h$ ，计算公式如下：

$$\left. \begin{aligned} l &= 2r \sin \alpha \\ h &= 2r \cos \alpha \\ \tan \alpha &= p / \pi D' \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

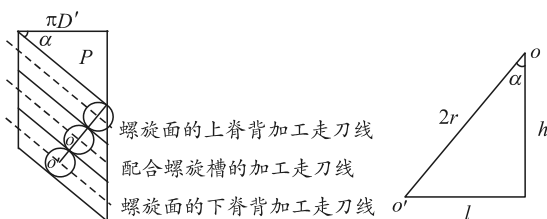


图 6 螺旋面加工展开

#### 3.2 偏心加工螺旋面配合间隙计算

配合间隙指的是配合面在螺旋线法向上的间距。如图 7 所示，以双偏心加工螺旋面(即配合的螺旋面皆为偏心加工)配合为例，螺旋槽(偏心加工)和螺旋臂(偏心加工)皆由刀具在理论螺旋线的两侧沿着法线方向左右各偏移一个刀具半径的距离铣切形成。由 2.2 节可知，刀具在加工任一展开直径  $D$  处的铣切点  $M$  可以认为是从展开直径  $D'$  处的铣切点沿着接触曲线移动上来的，相应地，上脊背的加工点也移动至  $M'$  处，而铣切点  $M'$ 、 $M$  始终相对展开径  $D$  上的螺旋线移动，故  $MM'$  在螺旋线上法向距离就是螺旋面的配合间隙  $\Delta$ 。

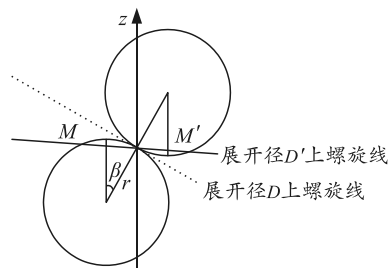


图 7 双偏心加工螺旋面配合间隙

$$\left. \begin{aligned} \tan \alpha' &= P / \pi D' \\ \tan \alpha &= P / \pi D \\ \Delta &= 2r(1 - \cos \beta) \\ \beta &= \alpha' - \alpha \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

由上节可知： $\alpha \in (0, \pi/2)$ ，间隙值  $\Delta$  随着  $D$  的取值变化而变化，范围为  $0 \leq \Delta < 2r$ 。配合螺旋面只有在展开面直径  $D'$  空间曲线上的间隙为  $0$ (即接触啮合)，曲面上在展开径上的其他位置点并不接触，配合面在工件轴向的截面放大后呈“上下开口的喇叭状”。

设刀具半径  $r$  为  $2 \text{ mm}$ ，工程图展开径  $D'$  为  $14.5 \text{ mm}$ ，工件最大外径  $D$  为  $20 \text{ mm}$ ，导程  $P$  为  $72 \text{ mm}$ ，将数值代入式(4)，计算可得  $\alpha$  为  $48.68^\circ$ ， $\alpha'$  为  $57.68^\circ$ ， $\beta$  为  $8.79^\circ$ ，故外表面的最大配合间隙  $\Delta$  为  $0.047 \text{ mm}$ ，理论螺旋面的配合精度足够满足设计的要求。双偏心加工螺旋面实物如图 8 所示。

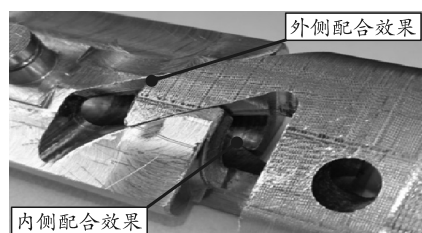


图 8 双偏心加工螺旋面实物

模糊数学、心理学、生理学和混沌动力学等新思想、新方法，模拟人工智能，使机器具有判断推理、逻辑思维、自主决策的能力，达到更高的控制目标<sup>[5]</sup>。具体到火炮上，研究方向主要包括火炮自动控制技术、系统状态自动检测技术、自动供输弹控制技术和机电系统的总体匹配性技术等。

### 3.2 小型化

小型化是利用高新材料和机械加工工艺，高度融合机械技术、电子技术和软件技术，使一体化设备从体积和质量方面，小型化、轻量化，但实现的功能不变甚至更强。对火炮来说，在有限的空间内实现更多的配置并尽可能地减轻质量，有助于提高火炮的快速机动能力，而且机电一体化设备的小型化也能为火炮提供未来发展的多种可能。

### 3.3 模块化

模块化可以减少一体化设备的开发和生产成本，提高不同设备之间的通用化程度，增强产品的匹配性、维修性、保障性和可靠性等，结合电子、机械、软件 3 大部分的机电一体化模块是未来发展的方向<sup>[6]</sup>。火炮中的机电一体化设备同样应该采用模块化技术，使不同设备之间标准统一、接口统一。

\*\*\*\*\*  
(上接第 3 页)

同理可知：当螺旋面配合中只有一个工件为偏心加工时，刀具需要在螺旋线的法向偏移一个刀具直径的距离，故最终配合间隙计算公式相同。

为了保证偏心加工的螺旋面能够接触配合，展开直径  $D'$  的数值必须介于工件的内外径之间；工件螺旋面在加工展开径  $D$  的周围配合间隙很小，离展开径越远则间隙越大；另外，配合间隙也可以通过 3 维建模的方式直观地进行数据测量。

## 4 结束语

在枪械领域螺旋面的设计与加工是比较常见的工程运用问题。笔者主要结合以往设计经验，针对螺旋面的运用方案、理论特性及加工计算方法进行解析，梳理了相关的计算公式，其中一些措施已经应用于产品研制，并得到有效验证，可为枪械自动

当需要不同的功能时，只需要简单地进行模块化组合，从而提高经济性和维修保障性。

## 4 结论

笔者介绍了 4 种典型机电融合技术在车载火炮中的应用，并讨论了今后机电融合技术在车载火炮应用方面的发展趋势，得出机电融合技术在提高火炮射速、精确打击、机动能力、可靠性、经济性 & 整体作战效能等方面有显著的作用。

### 参考文献：

- [1] 郭文松, 刘媛媛, 雷福祥, 等. 机电一体化技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2017: 1-8.
- [2] 金圣楠, 范知友, 胡建军, 等. 基于 HarmonySE 方法的坦克启动信息系统设计[J]. 装甲兵工程学院学报, 2014, 28(1): 69-74.
- [3] 王卉, 李英顺. 基于多源信息融合的火炮装填状态监测与故障诊断系统[J]. 兵工自动化, 2019, 38(9): 31-34.
- [4] 穆歌, 吴溪, 崔艳萍. 国外装甲车辆的炮射导弹[J]. 国外坦克, 2007(2): 11-14.
- [5] 何毅. 我国机电一体化发展方向展望[J]. 技术与市场, 2008(7): 4.
- [6] 王钢, 富威, 宗红霞, 等. 某火炮供弹系统的模块化设计研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2008, 29(9): 978-980.

机螺旋面的设计、加工提供参考。限于篇幅要求，未将螺旋面的力学特点展开分析。

### 参考文献：

- [1] 薄玉成, 王惠源, 李强, 等. 自动机结构设计[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2009: 106-107.
- [2] 兵器工业部《枪械手册》编写组. 枪械书册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1986: 187.
- [3] 胡涛, 王瑞林, 张军挪. 某车载速射迫击炮自动机动力学建模仿真[J]. 兵工自动化, 2019, 38(4): 66-70.
- [4] 王伟, 于军. 变导程螺旋线圆柱凸轮的加工误差研究[J]. 机械工程师, 2008(4): 133-134.
- [5] 《数学手册》编写组. 数学手册[M]. 北京: 高等教育出版社, 1979: 328.
- [6] 董明望, 吴林, 戴明辉, 等. 圆柱凸轮侧向传动机构圆柱凸轮廓面研究[J]. 中国机械工程, 2014(3): 337-340.