少齿差行星齿轮减速器设计及在珩磨头中的应用

胡阿林，白亚玲，刘新文
中航飞机起落架有限责任公司　陕西汉中　723200

摘要：通过分析珩磨加工工艺原理，设计了一种少齿差行星齿轮减速器，并应用于珩磨头结构设计中。通过减速器联接珩磨机床液压调整机构，实现了珩磨油石胀缩驱动机构的反向减速，以及珩磨油石的径向平稳胀缩并保持恒定压力。该减速器可用于不同直径规格的珩磨头，通用性强，大大降低了珩磨工具的制造成本。

关键词：少齿差；齿轮减速器；反向减速；珩磨头

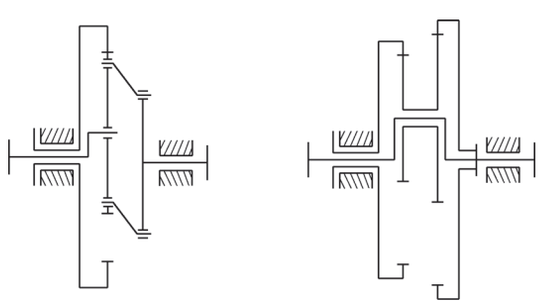
1　序言

现阶段，珩磨仍然是金属零件孔精加工的主要方法，是目前最经济、最准确且生产效率最高的终加工方法之一。用于金属零件孔珩磨加工的珩磨头结构复杂，特别是其珩磨油石径向胀缩机构复杂，多采用锥体结构，而且结构各有差异，通用性差，造成珩磨工具制造成本高。本文要解决的技术问题就是克服常用珩磨头技术的不足，提供一种珩磨头少齿差行星齿轮减速器结构，可代替现阶段普遍使用的锥体结构，实现珩磨油石珩条径向胀缩驱动机构的减速，进一步保证油石珩条的径向胀缩及压力恒定，使珩磨油石径向胀缩更平稳，冲击更小。该机构通用性强，适合广泛地进行推广应用。

2　结构概述

行星齿轮传动相较于定轴传动具有结构紧凑、体积较小和传动效率高的特点[1]。而对于内啮合圆柱齿轮副，当内齿轮和外齿轮齿数相差很少时，组成的行星齿轮机构称为少齿差行星齿轮传动，此类行星齿轮传动的特点是传动比大、体积小、质量轻、运转平稳及装拆方便[2]。虽然少齿差行星齿轮传动由于其啮合齿的对数较少（一般为1～3对），其传动回差对齿形误差也较为敏感[3]，但对于本文所述传动精度要求不高的应用场合是可以接受的。

图1所示为两种常见的渐开线少齿差行星减速器的结构型式，而本文所述少齿差行星齿轮传动与常见少齿差行星齿轮传动虽同属于内啮合齿轮传动，但传动方式不同，常见少齿差行星齿轮传动以内齿轮作为中心轮，外齿轮作为行星轮。图1的两种结构型式虽然都以内齿轮作中心轮，但亦有不同，图1a行星齿轮传动结构需设置输出机构将行星轮的回转运动传递给低速输出轴，图1b行星齿轮传动结构则不需要设置输出机构。而本文所述少齿差行星齿轮传动与前述两种行星传动型式又有不同，如图2所示，以外齿轮作为中心轮，内齿轮作为行星轮，行星轮将回转运动传递给输出轴。



a）有输出机构　　b）无输出机构

图1　内齿轮作中心轮的行星轮系

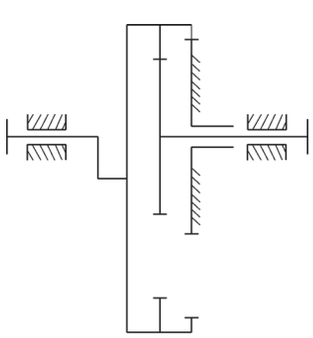


图2　外齿轮作中心轮的行星轮系

常见行星齿轮副一般为渐开线齿形，当内啮合的两渐开线齿轮齿数差很小时，很容易产生干涉[4]，为了避免复杂的变位计算，本文所述行星齿轮副设计为直线齿与圆弧齿相啮合，无需进行齿轮变位计算，大大降低了齿轮加工难度和成本。文中所述珩磨头与少齿差齿轮减速器装配在一起使用，形成珩磨头油石珩条胀缩机构。珩磨头设计有齿条结构与减速器齿轴配合，实现珩磨头油石的径向胀缩运动，珩磨头与传动杆联接，并联接于机床的珩磨杆上。

3　少齿差齿轮减速器结构设计

如图3所示，少齿差齿轮减速器主要由7个零组件构成，下面进行详细介绍。

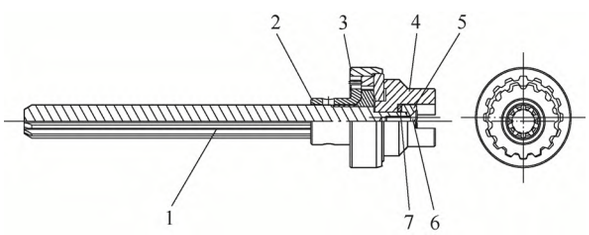


图3　少齿差齿轮减速器结构

1—齿轴组件　2—定位齿轮　3—齿套组件　4—偏心轮
5—衬套　6—螺钉　7—垫片

3.1　齿轴组件设计

如图4所示，齿轴组件由齿轴、衬套、齿轮3个零件装配组成。其中齿轴设计为截面模数＝1、压力角＝20°、齿数＝10的渐开线齿形，并且齿轴设计有两段台阶，如图5所示，台阶1截去了部分齿形，衬套和齿轮均依次套装在台阶1上，且为过盈配合，衬套外圆面与齿轴齿顶齐平。齿轮设计有内齿及外齿，如图6所示，内齿与台阶1预留齿面相配合限制相互转动，外齿与齿套组件内齿相啮合。另一段台

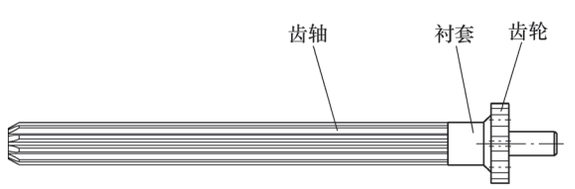


图4　齿轴组件



图5　齿轴

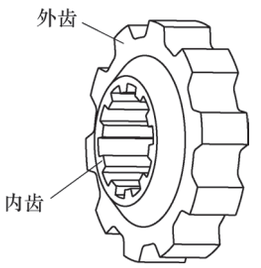


图6　齿轮

阶2为直径更小的圆柱面，在外端设计有螺纹孔，用于齿轴组件联接。

3.2　定位齿轮结构设计

如图7所示，定位齿轮设计为一端带直面外齿的T形套筒结构，在总装图中通过内孔套装在齿轴组件上并紧贴齿轴组件齿轮，二者为间隙配合，可以保证相互的圆周转动。定位齿轮外直齿与齿套组件外齿套的内齿相啮合，定位齿轮圆柱面一端还设计有与珩磨头联接的孔。

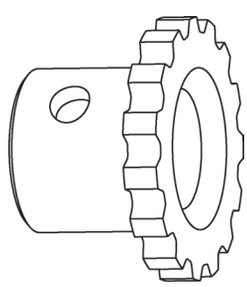
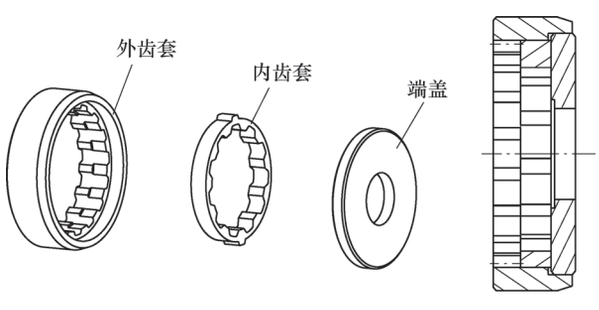


图7　定位齿轮

3.3　齿套组件设计

如图8所示，齿套组件包括外齿套、内齿套和端盖。图8a中外齿套为设计有内齿及两个台阶面的圆环结构，内齿设计为圆弧齿，中部台阶为一段内齿截去部分齿形形成的台阶，右端台阶为圆柱面台阶；内齿套是设计有圆弧内齿的圆环结构，并且外圆面预设有两个对称的定位直齿；端盖为带孔的圆



a）拆分　　b）装配

图8　齿套组件结构

片。图8b中内齿套紧贴外齿套中部齿面台阶处，并使两个定位齿插入外齿套任意两个对称的齿槽内，以限制二者的相对圆周转动，端盖则紧贴内齿套装入圆柱面台阶处，二者为过盈配合，这样就组成了齿套组件。

3.4 偏心轮结构设计

如图9所示，偏心轮设计为定位外圆面与台阶孔的偏心圆柱结构，相当于为减速器配备了一个转臂，作为行星轮系的输入轴。在图3中偏心轮定位外圆面穿过齿套组件盖板的圆孔，二者为间隙配合，而齿轴组件通过齿轴圆柱面台阶穿过偏心轮的偏心孔，并通过衬套、螺钉、垫片与偏心轮联接在一起。

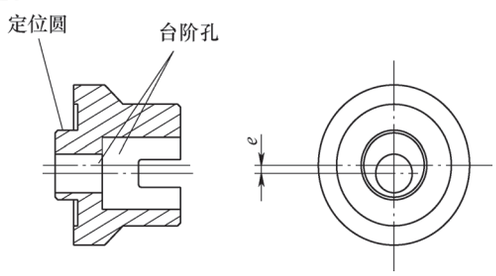


图 9　偏心轮结构设计

4　少齿差齿轮减速器原理

如图3所示，本文所述少齿差行星齿轮减速器结构中，因定位齿轮与齿套组件外齿套、齿轴组件齿轮与齿套组件内齿套两组内啮合齿轮副，齿数均相差1个，所以均为少齿差内啮合齿轮传动，二者均形成行星轮运动间隙。通过设置偏心轮作为输入轴，驱动齿套组件作以定位齿轮为中心轮的行星运动，并通过齿套组件内齿套与齿轴组件齿轮内啮合将回转运动传递给齿轴组件输出。具体为当转动偏心轮时，迫使齿套组件既绕定位齿轮的轴线作圆周平移运动，又绕其自身轴线作旋转运动，经与齿轴组件少齿差齿轮啮合传动后，齿轴组件获得反向减速的旋转运动[5]。

5　珩磨头结构概述

如图10所示，本文所述的珩磨头油石珩条基座设计为齿条结构，齿形与前述减速器齿轴齿形模数相同，并将圆柱状齿条成对穿插在珩磨头方形本体四周圆孔内[6]。方形本体中部预设有通孔用于安装前述成套齿轮减速器，但需要先将定位齿轮通过预留的联接孔与方形本体上的预留孔定位用胀销联接，再将减速器齿轴组件穿过方形本体中部预设的通孔与定位齿轮啮合，如图11所示。

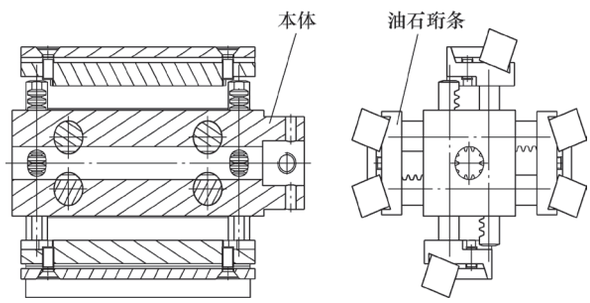


图10　珩磨头设计

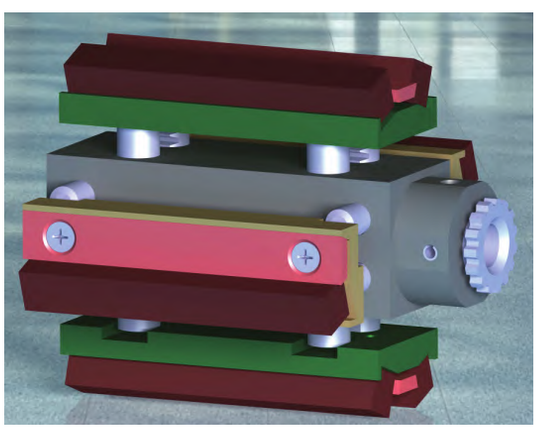


图11　装配了定位齿轮的珩磨头模型

6　减速器应用及效果

如图12～图14所示，本文所述少齿差齿轮减速器实际应用时需要一端与珩磨头装配联接，联接后减速器齿轴与珩磨头油石珩条基座的齿条相啮合，另一端与传动杆联接，传动杆和万向接头是为珩磨头联接机床珩磨杆专门设计制造的联接部件，而珩磨杆为机床附件，本文不作详细介绍，两者联接部位相匹配（见图13）。万向接头与珩磨头的联接件为圆环结构，并在相互垂直的两个方向设有转轴，实现万向动作（见图13a）。穿设在传动杆空心杆内的胀缩调整机构接头插入偏心轮的台阶孔及驱动槽内，传动杆又通过万向接头与珩磨头本体联接，传动杆另一端则联接机床珩磨杆，这样整个珩磨系统就联接起来，可以进行珩磨加工了。珩磨头的旋转及轴向往复运动由珩磨机床经珩磨杆、传动杆传递实现。珩磨油石的径向胀缩直线往复运动的实现，首先由珩磨杆中的驱动杆传递给传动杆中的胀缩调整结构，然后驱动减速器输入轴偏心轮，再经少齿差行星齿轮减速器传递给齿轴输出，最后齿轴的转

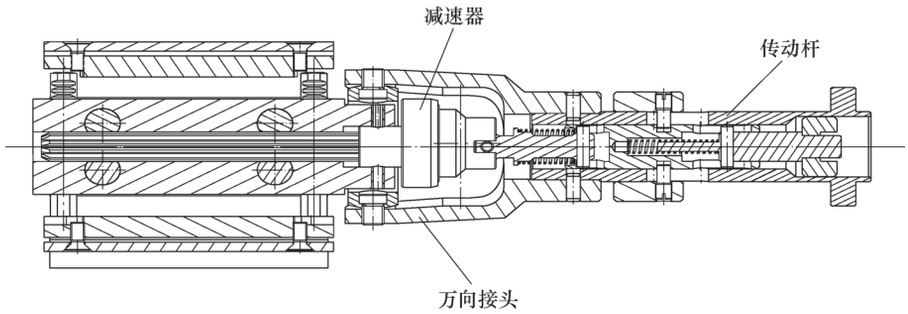
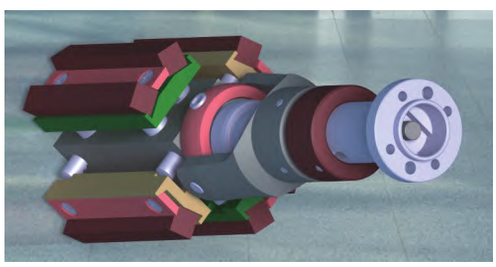


图12　减速器联接整体结构



a）传动杆头部机构



b）珩磨杆头部机构

图13　减速器联接结构



图14　减速器联接实物

动经与其啮合的齿条转变为珩磨头的油石珩条的径向膨胀及收缩，完成珩磨加工过程。

应用后产生的效果总结有以下几点：①由于减速器结构设计需要，故应用本文所述减速器的珩磨头直径需达到100mm以上，也就是说适用于直径100mm以上孔径珩磨加工。②少齿差行星齿轮减速器实现反向减速，使珩磨油石径向的直线胀缩过程更平稳，冲击更小，对产品加工质量有益。③由于减速器具有装拆方便的特点，对于后期维修维护来说更简单、便捷。④少齿差行星齿轮减速器具备实用性、通用性强等特点，可以用于多种规格珩磨头，大大降低了珩磨工具制造成本。

7　结束语

因航空产品中缓冲器类、作动筒类金属零件轴、孔的加工大多需要进行磨削、珩磨等精加工，才能保证缓冲器在运动中的密封性能，所以珩磨精加工工艺应用相当广泛。本文通过分析珩磨工艺，研究珩磨工具，将少齿差行星齿轮传动理论应用于珩磨头中，设计出了一种少齿差行星齿轮减速器，同时应用了齿轮齿条传动，实现了珩磨油石胀缩机构的反向减速，与其他类珩磨头油石胀缩结构相比，该过程更平稳、冲击小，更有利于零件加工。该少齿差行星齿轮减速器还具有拆装容易、维修方便和通用性强等特点，可广泛应用于金属零件孔珩磨加工工具制造。

参考文献：

[1] 冯晓宁，叶思颖. 渐开线少齿差行星齿轮传动超载能力的有限元分析[J]. 煤矿机械，2016，37（2）：70-72.

[2] 徐灏. 机械设计手册 第3卷[M]. 北京：机械工业出版社，1993.

[3] 李俊阳，王家序，周广武，等. 渐开线少齿差行星传动的变形协调设计[J]. 中国机械工程，2014，25（5）：576-580.

[4] 张辉，冯晓宁. 新型渐开线少齿差行星齿轮减速器的设计[J]. 矿山机械，2012，40（6）：110-114.

[5] 刘长喜，王晓宏，李红双，等. 少齿差行星齿轮减速器的运动学及动力学仿真[J]. 黑龙江工程学院学报，2014，28（2）：62-64，69.

[6] 胡阿林，刘新文，文庚. 一种齿条胀缩珩磨头结构：CN202320002803.5[P]. 2023-01-03.

MW 20240812