

AT用行星架类零件加工技术

■ 陕西法士特集团公司汽车传动工程研究院（西安 710119） 杨国华 杨俊臣

摘要：我公司某AT自动变速器箱体行星架产品结构复杂，外齿面需高频淬火，齿面变形与加工难度大；四组行星孔加工精度高，上下开挡面尺寸公差严，难以保证。本文重点描述如何制定合理的工艺与加工检测方案，并为类似零件的加工提供参考。



自动行星排由行星轮、行星架、齿圈及太阳轮组成，行星

架零件为自动变速器行星排零件内的核心关键零件，起框架联接作用，其质量的好坏直接决定产品的使用寿命。该类行星架零件为本款变速器行星排结构里最为复杂的，加工过程包括铣内花键槽、铣外齿、外齿高频淬火、小端处螺纹加工及开挡加工等内容。对孔径位置度、外齿面零件精度、外齿面热处理及小直径滚齿刀加工精度都要求较高，下面将介绍该类零件的加工及其核心技术。

1. 外齿加工

首先确定刀具方案：如图1所示，受产品结构限制及图样要求，当能加工到外齿长度

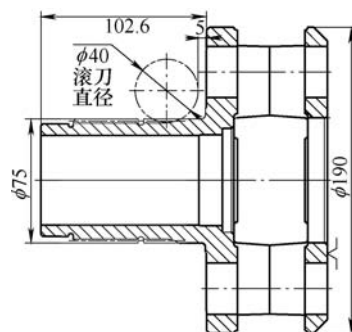


图1 零件

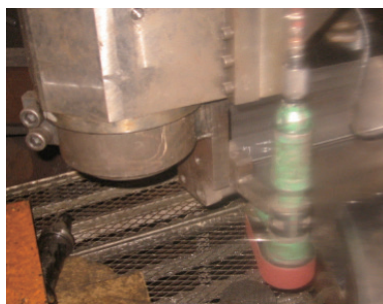


图9 砂带磨削作业

因铣头刚性不足可能导致无法满足要求，但通过调查机床的实际精度情况及调整加工工艺，也能很好地保证键槽的加工精度及加工效率。按此方法我公司已经顺利加工完成3套转轮。

大型工件的高精度键槽加工，由于设备及工位等因素限制，可采用立车进行加工，开拓了一种新的加工思路，对同类型工件的加工具有一定的参考意义。

参考文献：

- [1] 王启平. 机械制造工艺学[M]. 北京：机械工业出版社，1995.
- [2] 陈宏钧. 实用机械加工工艺手册[M]. 北京：机械工业出版社，1997.

MW（收稿日期：20160810）

专家点评

本文所述的转轮属于超大超重工件，在机械加工时，不论是吊装还是找正都很困难，而且需要专门的大型设备。作者在加工这种大型零件时，对现有的设备进行灵活运用，扩展设备功能，用大型立车代替龙门铣，完成了大型转轮键槽的加工工作。同行们遇到类似情况可以参考。

时,选择的滚齿刀直径不能超过40mm,此时滚齿刀距零件上表面距离仅有5mm,因滚齿刀非常小,如果采用轴向键定位,滚齿刀键槽处壁厚较薄,为便于刀具稳定、质量可靠,可将滚齿刀与刀杆设计成一体,但其缺点是刀具磨损后需整体换掉,刀具成本较高,也不方便刃磨。经方案讨论,最终确定设计为分体式结构,滚齿刀独立设计,采用端面键定位的方式(见图2)。

图3所示为端面定位的刀具结构,采用 $\phi 22\text{mm}$ 刀杆,滚齿刀内孔 $\phi 22\text{mm}$ 、外径 $\phi 40\text{mm}$,最薄处壁厚3.5mm,是目前我厂使用的最小滚齿刀。通过端面定位方式,刀具与刀杆不需设计成一体式结构,刀具磨损报废时只报废滚齿刀,能有效降低刀具制造及刃磨成本。

(1) 干涉问题:如图4所示,因零件结构特殊,滚齿到位后,滚齿刀距离零件凸台上表面只有5mm的距离,同时加上一定的倾角,当滚齿时,刀具尾架与装刀装置极易和零件干涉,造成机床或零件损坏。鉴于目前我厂滚齿设备相对较大,只能选择刀

架部分与零件干涉较小的滚齿机GE20A,同时做了以下两方面的改进工作:设计长联轴套(见图3),将刀具定位在倾角高的一端,通过让刀避免刀具干涉零件;降低刀具螺旋升角,避免干涉。

图5所示为滚齿刀结构,其参数修改如附表所示。最初设计为双头滚齿刀,刀具螺旋升角为 $4^{\circ}52'21''$,但因刀具、刀架极易与零件表面干涉,滚齿刀轴向窜动较小,只有20%的齿可利用上,刀具寿命低,经济性较差。后将刀具设计参数及结构进行调整,改为单头结构,螺旋升角更改为 $2^{\circ}26'3''$,滚齿刀轴向窜动显著提升,使刀具80%的齿可利用上,刀具寿命显著提高,降低了刀具刃磨频次,大大提高了刀具寿命。同时单头刀设计结构

也提高了齿的加工精度,其唯一缺点是相对降低了加工效率。

(2) 刀具寿命与成本。首先,通过降低刀具螺旋升角,使刀具轴向窜动加大,可切削齿增加,提高了刀具的寿命。因刀具极易与零件干涉,需将刀具轴向固定在一个位置,加工零件时刀具轴向窜动范围较小,只能用到滚齿刀的1/3刀齿,刀具极易磨损,寿命较低。为很好地保证刀具加工寿命,需增加刀具在轴向的窜动范围,而又不引起干涉,将刀具螺旋升角减小,由 $4^{\circ}52'21''$ 变为 $2^{\circ}26'3''$ (见附表),并设计为单头结构,提高尺寸精度。其次,由整体结构刀具变为分体结构,单独更换滚齿刀,降低刀具制造成本。

2. 四孔及开挡面加工

(1) 零件加工难度:如图6所示,要求开挡尺寸($L_1 \pm 0.04$)mm,上下两层孔8个 ϕ ($D_2 \pm 0.01$)mm孔,位置度0.03mm,并且JO、KO、LO及MO尺寸公差要求 $\pm 0.025\text{mm}$,尺寸精度、孔公差精度和位置度要求较高,加工难度较大。

(2) 解决8个 ϕ ($D_2 \pm 0.01$)



图2

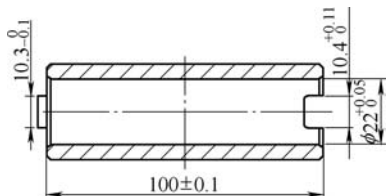


图3 联轴套



图4 滚齿

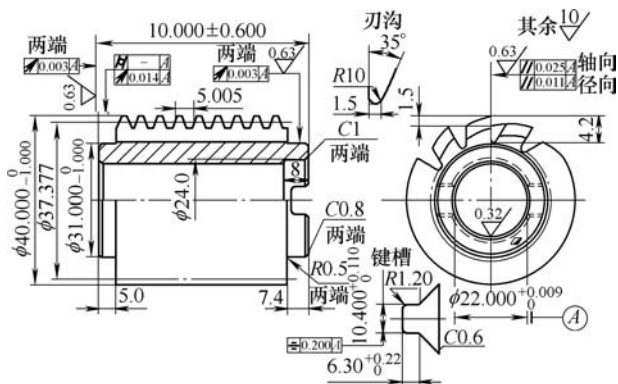


图5 滚齿刀

滚齿刀基本参数表

滚齿刀基本参数（改进前）				
模数 m	1.5875	导程 S_k	∞	
压力角 α	30° 0' 0"	投影齿距	—	
槽数 z	16	精度标准	JT-84	
头数 n	2	精度等级	AA	
螺 纹	升角 w	4° 52' 21"	蜗杆类型	渐开线
	旋向	右旋	基圆半径 R/mm	2.72
刃 沟	螺旋角	0°	基圆升角	30° 21' 24"
	旋向	直槽	—	—
滚齿刀基本参数（改进后）				
模数 m	1.5875	导程 S_k	∞	
压力角 α	30° 0' 0"	投影齿距	—	
槽数 z	16	精度标准	JT-84	
头数 n	1	精度等级	AA	
螺 纹	升角 w	2° 26' 3"	蜗杆类型	渐开线
	旋向	右旋	基圆半径 R/mm	1.371
刃 沟	螺旋角	0°	基圆升角	30° 5' 22"
	旋向	直槽	—	—

mm、公差 $\pm 0.01\text{mm}$ 与位置度难于保证的问题： $\pm 0.01\text{mm}$ 公差非常难以保证，为了能够100%加工出合格零件，采用了粗镗、半精镗、精镗最后精铰孔的工艺方案，并通过修整铰孔留量与切削参数来满足加工要求。为满足测量要求，需将四孔与基准孔一次定位装夹，并将原孔径尺寸 $\phi(D_1 \pm 0.25)\text{mm}$ 压缩到 $\phi D_1^{+0.03}_0$ ，加工的孔径完全满足图样要求。

（3）解决上下开挡面加工问题：上下开挡尺寸要求为 $(L_1 \pm 0.04)\text{mm}$ ，该尺寸公差

极难保证，同时要求加工出的平面较好。为了保证尺寸精度，必须一次装夹，一次加工出上下开挡面。为了解决此问题，设计了专用正反镗刀，先用粗刀加工孔周围约 $\phi 40\text{mm}$ 平面（见图6），然后再利用偏心结构刀具（见图7），一次加工上下凸台面至 $\phi 52\text{mm}$ ，零件合格率100%。

铣开挡的另一种加工方法的刀具设计如图8所示，该方法加工一组开挡面后必须将刀头卸掉，刀杆提出零件后，再加工下一个组孔。虽然加工时间较短，但更

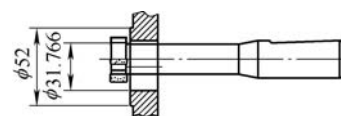


图7 偏心结构刀具

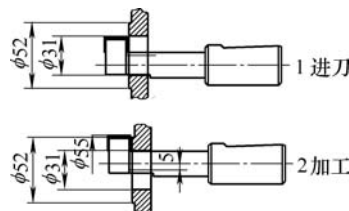


图8 换刀结构刀具

换刀头麻烦，同时需操作者高度认真，忘记换刀头时容易撞刀，所以在刀杆刚性允许的情况下，建议使用图7所示的刀具加工方案。

当所加工的开挡面直径较小时，可采用盘式铣刀（见图9），由外向内加工，前提是刀具与立柱面不能干涉。

3. 大行程插齿加工

插齿部分长度101mm，47齿，模数为1.5875，如图10所示，为我厂目前内齿最大行程插齿。经过工艺验证，方案可行，加工精度满足产品要求。零件加工工艺方案为：粗车→滚外齿→外齿面高频淬火→精车→钻四孔及其他孔→插齿。

另一种工序方案制定为粗车→拉花键→精车→加工四孔

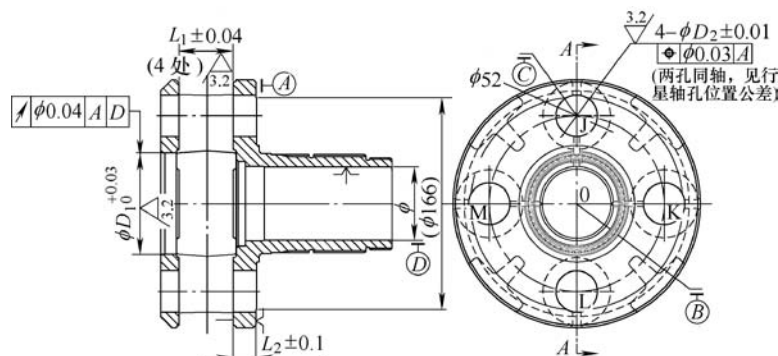
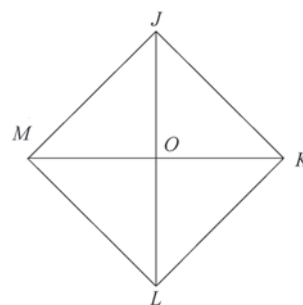


图6 行星组孔及位置公差图



行星轴孔位置公差

→滚齿→热处理。该工序方案为先通过拉削的方式加工内齿，后外齿高频淬火时，基于热处理变形的不确定因素，在内花键发生变形，经齿形齿向检测报告发现，热处理前外齿累积误差0.042mm，热处理后累积误差为0.083 mm，热处理对齿精度是有影响的。热处理后花键综合塞规不能通过。该种方案经试验验证不可行，除非放宽零件的精度要求。

通过几轮试验及小批量加工，最后证明加工内花键工艺方

案切实可行，完全满足产品图样要求，为目前较合理的工艺方案。

4. 小直径螺纹加工问题

如图11所示，行星架孔口部分有螺纹M70×1.5-4g6g，螺纹精度要求较高，需通过千分尺控制中径，螺纹环规控制综合尺寸。

外齿面高频淬火前加工螺纹，热处理后表面易被淬火，导致螺纹滑扣或变脆。外齿面高频淬火后再加工螺纹，靠近小端处表面易被淬火，车螺纹部分上下处硬度不一致，螺纹车刀磨损严重，基本上加工5件产品就需更换刀片，制造成本高，螺纹易碎裂。

为便于高频淬火前控制外齿尺寸精度，便于使用环规，需将螺纹部分外圆车小，保证花键环规可通过，同时热处理后精加工螺纹时，螺纹表面不被淬火，较合理的方法是热处理外齿时对后续车螺纹部分防热处理，需作一个圆环防护，防止后续加工时螺纹车刀刀片崩刃或螺纹发脆而滑丝等。该方法很好地解决了车螺

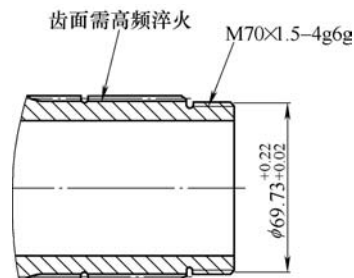


图11 孔口零件

纹刀具磨损、螺纹因淬硬发脆碎裂等问题。

5. 结语

综上所述，行星架结构多种多样，加工技术也不尽相同，针对各种不同的零件结构，需制定合理的加工工艺方案，才能有效保证零件尺寸精度。

参考文献：

- [1] 赵如福. 金属机械加工工艺人员手册[M]. 上海：上海科技出版社，2006.
- [2] 任沁新. 齿轮制造工艺手册[M]. 北京：机械工业出版社，2010.
- [3] 陈家瑞. 汽车构造[M]. 机械工业出版社，2006.

MW (收稿日期：20160817)

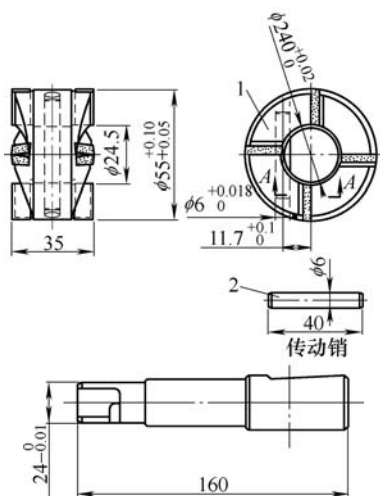


图9 盘式铣刀

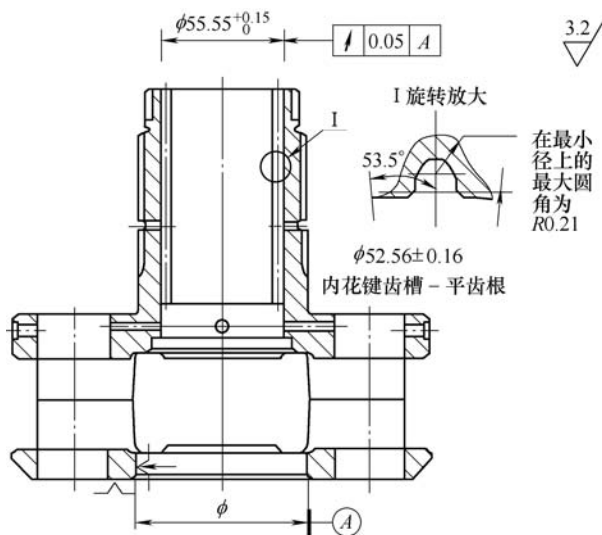


图10 插齿加工零件

专家点评

本文针对行星架结构较复杂、加工精度要求较高的特点，通过使用专用刀具、制定合理的加工工艺，保证了零件的加工要求。尤其是对刀具的改进，在保证加工精度和提高加工效率方面发挥了较大作用。