

航空发动机弧齿锥齿轮 着色印痕技术研究

王 辉,王志哲,周思之

(沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司,沈阳 110015)

摘要: 为了提高航空发动机弧齿锥齿轮在装配中的着色合格率,分析了弧齿锥齿轮啮合机理,找到了影响啮合面和齿隙不正确的因素,提出了检查和调整弧齿锥齿轮啮合面与齿隙的方法。

关键词: 弧齿锥齿轮;着色印痕;啮合;装配



王辉(1962),女,高级工程师,主要从事航空发动机零件制造工作,重点研究齿轮加工工艺技术。

收稿日期:2009-12-01

Investigation of Color Marking for Spiral Bevel Gear of Aeroengine

WANG Hui, WANG Zhi-zhe, ZHOU Si-zhi

(Shenyang Liming Aero Engine (Group) Ltd., Shenyang 110043, China)

Abstract: The engagement principle of the spiral bevel gear was analyzed to improve the coloring qualification rate of spiral bevel gear for an aeroengine in the assembly. The factors that influence on engaging surface and result in incorrect backlash were found. The methods of checking and adjusting engaging surface and backlash for spiral bevel gear were presented.

Key words: spiral bevel gear; color marking; engaging; assembly

1 引言

在给定条件下,弧齿锥齿轮承载能力主要取决于齿面接触情况,而齿面着色检查是判断和调整齿面接触情况的惟一方法,也是保证使用可靠性的最后1道关卡。早期航空发动机检查和提高着色质量的方法依靠试车进行,而近年来依靠测量计算调整垫。

某型发动机中央锥传动装置、上部减速器传动装置的2对

锥齿轮,在装配过程中,虽经多次调整,仍达不到设计要求。

本文重点研究了提高弧齿锥齿轮在装配中的着色合格率问题。

2 装机合格率影响因素分析

2.1 加工与装配差异

2.1.1 机械加工过程调整

首先按标准样件加工大轮,然后以加工好的大轮为标准,按着色要求配小轮,小轮的2个面(长期

工作面,起动工作面)是分别加工的。在10 N·m的扭矩作用下,着色检查加工好的大轮印痕,如不合格就修磨小轮的2个面,直到合格为止。将合格的齿轮标上实际安装距和齿侧间隙后,入库待用。

2.1.2 机械加工与装配不同点

在GLEASON着色检查仪上进行着色试验。着色检查时力矩小,只有10 N·m,与装配着色检查力矩(350 N·m)不符;在检查仪上的轴承游隙是定值,一般偏

小,实际装配轴承游隙是随机的,且普遍偏大,但每台都不一样;大轮的是定值,只需调整小轮,即所有安装距和工艺因素的影响都通过调整小轮来解决。而实际装配时,每台机匣孔的安装距都有变化,不是定值。

2.2 装配时的轴承游隙

装配时,利用测量计算理论调整厚度,带入式(1)的是轴承的全值轴向游隙;而在装配着色试验时,只是使用轴承轴向游隙的一半。很明显,理论计算的调整厚度肯定不能满足装配试验着色印痕要求,必须通过改变调整垫厚度来补偿。经理论分析,认为装用调整垫的厚度比计算值要大。

考虑基本因素的计算调整垫厚度为

$$T = K - A - \Delta + t \quad (1)$$

式中: T 为待采用的未知调整垫厚度; K 为加工齿轮用实际安装距(已标在齿轮上); A 为测量量规恒定尺寸; Δ 为根据千分表量规实测的移动量(其中包括轴承的轴向活动量); t 为量规安装在壳体上用的工艺垫圈的厚度。

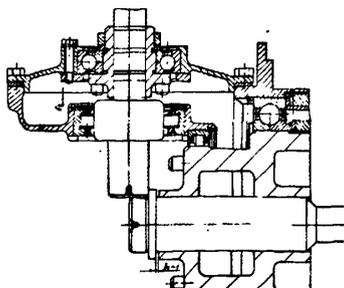


图1 理论计算调整垫

在装配时,受轴承游隙影响,着色印痕就更难以合格。

2.3 着色运动方向与实际的不符

长期工作状态涂色运动关系如图2所示。由图2中可见,长期

工作状态时检查着色印痕,在主动齿(Z1齿)上涂色,然后检查从动齿Z2齿面上的色痕。其涂色运动方向是由齿顶向齿根,这样涂色符合实际运动关系,着色印痕是真实的。

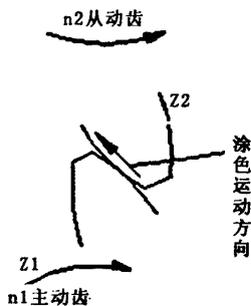
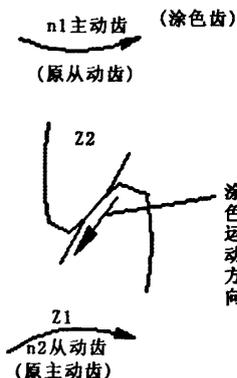
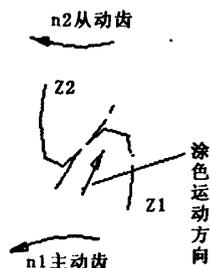


图2 长期工作状态涂色运动关系

在检查起动工作状态的着色印痕时,在主动齿(Z2齿)上涂色;检查从动齿Z1齿面上的色痕,其涂色运动方向也是由齿顶向齿根,如图3(a)示。但是,在工艺上无法实现符合实际工作状态的运动关系,只能将Z1齿反方向旋转,检查其上的色痕。由于运动关系改变,在其上的涂色运动方向改变为由齿根向齿顶,如图3(b)所示。涂色的拉拖作用使无色的C面相对如图3(a)所示的要小,即装配试验时所得到的C面值要小于齿轮实际工作的C面值。



(a)符合工作状态



(b)不符合工作状态

图3 起动工作状态涂色运动关系

装配力矩加载转动方向与发动机工作时状态的不统一也增加了装配难度。

2.4 齿轮轴倾斜引起齿面接触变化

齿轮轴倾斜引起齿轮轴向位置改变,即调整垫厚度改变。但是,在载荷作用下的齿轮轴的倾斜结果使得轴交角大于 90° ,必然使齿面接触移向小端。理论计算得到的调整垫厚度肯定满足不了装配时的着色印痕要求,必须通过改变调整垫厚度来补偿。

3 印痕变化机理分析

以上各种因素影响了弧齿锥齿轮着色印痕的装配成功率,下面对其形成机理进行分析。

3.1 2 锥齿轮啮合分析

要得到最佳的着色印痕,就需将锥齿轮轴向移动,通过加厚与减薄调整垫来改变其轴向位移。

当沿轴线移动大齿轮和小齿轮时,其轴向位移量 $A1$ 、 $A2$ 可分成平行于节锥母线(OD)的分量 $B1$ 、 $B2$ 和垂直于节锥母线的分量 $C1$ 、 $C2$ 。垂直分量表示轮齿从啮合状分开的距离,平行分量表示轮齿沿节锥母线位移的距离。由于锥齿轮各部位的齿廓曲率(弯曲

程度垂直分量和平行分量对齿隙和啮合面的影响不同)不同,轮齿小端齿廓曲率比大端齿廓曲率大,如图4所示。

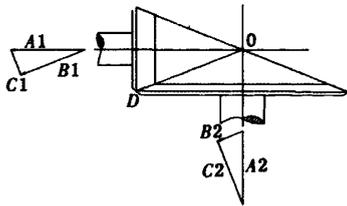


图4 圆锥齿轮啮合

3.2 大锥齿轮移动分析

当大齿轮沿轴线往外移动时,齿隙增大,轮齿小端齿隙比大端齿隙变化大;同理,如果将大齿轮沿轴线往里移,齿隙减小,轮齿小端齿隙比大端齿隙减小得多。当大齿轮位移时,由于垂直分量 $C2$ 大于平行分量 $B2$,所以大齿轮的位移能使啮合面较明显地沿齿长方向变动。往外移时,啮合面移向轮齿大端;往里移时,啮合面移向轮齿小端。

在正常情况下,圆锥齿轮副是相同齿厚的部位相啮合。当沿轴线移动齿轮时,其平行分量引起齿轮副以不同齿厚的部分相啮合(即出现齿背不齐差),因而使啮合面的位置沿齿高变动。

3.3 小锥齿轮移动分析

当小齿轮由标准位置向外移动,小齿轮轮齿较薄的部分与大齿轮轮齿较厚的部分相啮合,如图5(a)所示。当转动主动齿轮时,薄齿的齿根和厚齿的齿顶接触,带动被动齿轮转动。由于薄齿周节 t_1 小于厚齿周节 t_2 ,故在前一薄齿齿顶尚未与前一厚齿齿根接触时,下一薄齿齿根已与下一厚齿齿顶接触,并使前一对啮合齿迅速脱离。因此,啮合印痕总是

留在薄齿(小齿轮)的齿根和厚齿(大齿轮)的齿顶上。当小齿轮由标准位置向里移动,小齿轮牙齿以较厚的部分与大齿轮牙齿较薄的部分相啮合,故啮合印痕总是留在薄齿(大齿轮)的齿根和厚齿(小齿轮)的齿顶上,如图5(b)所示。

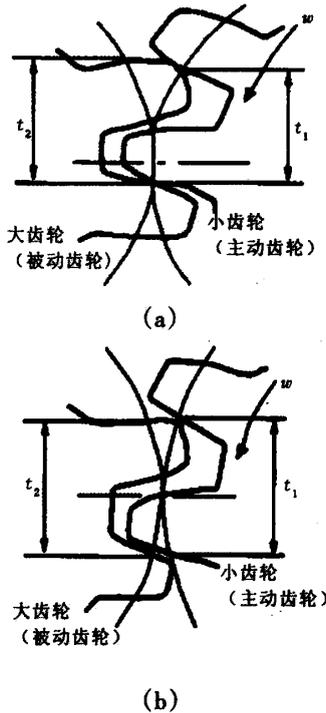


图5 不同周节齿轮相啮合

小齿轮位移时,平行分量 $B1$ 大于垂直分量 $C1$,故小齿轮的位移能使啮合面的位置沿齿高发生较明显的变动。

3.4 结论

分析圆锥齿轮印痕变化机理,可得出以下结论。

(1)大齿轮和小齿轮的轴向位移可分为平行于节锥母线和垂直于节锥母线的位移,因而会引起齿隙的不均匀变化和不同齿厚部分相啮合。移动大齿轮或小齿轮时,印痕都不会单独沿齿长或

齿高移动。由于 $C2 > C1, B1 > B2$ (图4),移动大齿轮时,啮合面沿齿长有较明显的移动;而移动小齿轮时,啮合面沿齿高的变化较明显。

(2)分量 $(B1, B2, C1, C2)$ 之间的比,决定于齿轮的传动比。传动比越大,分量之间的比也越大;传动比等于1,分量之间的比也等于1,此时两齿轮的位移对齿隙和啮合面的影响是一样的。

4 着色印痕调整

依据对锥齿轮啮合机理的分析,可以确定着色印痕调整方向。

4.1 着色印痕影响因素

锥齿轮的啮合面和齿隙是相互影响的,1个自变量(调整垫厚度改变,即齿轮前进或后退)同时引起3个固定量的变化(A, B, C),其中 C 值变化最大, B 值次之, A 值变化量最小。所以,依靠装配调整解决着色长度的效果是不明显的(如图6所示)。

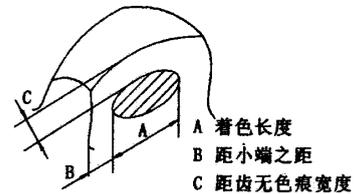


图6 装配时需测的印痕

不能单一地检查和调整啮合面或齿隙,而应综合进行。一般是先检查和调整啮合面,然后检查和调整齿隙。

4.2 啮合面及齿隙调整

造成锥齿轮啮合面和齿隙不正确的因素很多,在检查和调整时,不能片面地根据圆锥齿轮的啮合原理进行,而应考虑造成啮合面不正确的综合因素,同时结合印痕的位置、齿(下转第13页)

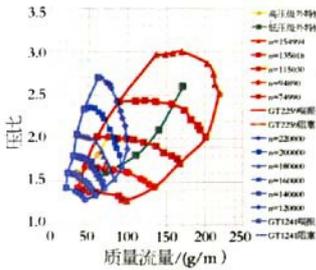


图 9 理论发动机外特性线与 2 级增压器的联合运行

从图 9 中可见, 发动机外特性曲线在高压级压气机(图中蓝色区域)的高效率区域内, 发动机外特性曲线也在低压级压气机(图中红色区域)的高效率区内。

匹配工作结束后, 就可以对原发动机进行实际改进, 对选配

加装的涡轮增压器进行试验。

6 结论

(1) 以模拟仿真方法对原 1 级涡轮增压发动机进行了建模分析, 从仿真计算数据来看, 该模型是可靠的。

(2) 1 级涡轮增压发动机在 5000 m 高空的动力性能急剧下降, 使得对原机型进行第 2 级涡轮增压改进成为必然。最终, 采用高、低压级压气机串联, 涡轮并联和在高、低压级压气机之间加装中冷器的设计方案, 对该方案进行了仿真, 结果表明在 12000 m 以下的高空发动机都有较好的动力性能。

(3) 选用合适的涡轮增压器, 得到了发动机与涡轮增压器的性

能匹配特性曲线, 为进行发动机实地试验的高空运行研究提供了一定的参考依据。

参考文献

- [1] 朱大鑫. 涡轮增压与涡轮增压器[R]. 兵器工业第 70 研究所, 1997: 166-177, 457-528.
- [2] 蒋德明. 内燃机的涡轮增压[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986.
- [3] 何义团, 马朝臣, 魏明山, 等. 二级增压系统压气机性能试验研究[J]. 北京理工大学学报, 2007, 27(6): 496-500.
- [4] 陈妍, 王洪明. 一种带涡轮增压器的活塞发动机调节及其特性 [J]. 北京航空航天大学学报, 1998, 24(1): 16-20.
- [5] 徐斌, 魏铃, 赵鹏. 活塞式航空发动机二级涡轮增压系统匹配分析. 北京航空航天大学学报, 2008(5): 551-554.

(上接第 52 页) 隙、齿轮传动比的大小和调整是否方便等进行。

如果齿轮传动比不大, 且印痕位置不完全是在齿顶、齿根或齿的一端, 此时可主要考虑调整

的方便性; 如印痕靠近齿顶、齿根或齿的一端时, 应主要根据印痕位置来调整; 如齿隙不正确, 要根据啮合面的实际情况, 在啮合面允许变化的范围内调整。齿轮着

色调整方法见表 1。

5 结束语

对影响弧齿锥齿轮装机合格率因素、印痕变化机理以及着色与实际的差异进行了分析, 从技术上了解了锥齿轮的啮合面和齿隙相互影响的变量关系, 能够清楚地掌握其调节机理和着色印痕的变化规律, 使在装配过程中不再盲目拼凑、调整。

参考文献

- [1] 齿轮手册编委会编. 齿轮手册(下册) [M]. 第 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [2] 《航空制造工程手册》总编委会主编. 航空制造工程手册(齿轮工艺)[M]. 北京: 航空工业出版社, 2008.
- [3] 郑昌启. 弧齿锥齿轮和准双曲面齿轮: 啮合原理、齿坯设计、加工调整和齿面分析计算原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.

表 1 齿轮着色调整方法

齿面着色印痕	调整方法
着色靠近齿顶	齿轮从锥顶移开, 使印痕离开齿顶并增大齿侧间隙, 或者把共扼齿轮移向锥顶, 但此时齿侧间隙减小。
着色靠近齿根	齿轮移向锥顶, 齿侧间隙减小, 或者把共扼齿轮从锥顶移开, 齿侧间隙增大。在这种情况下, 着色印痕均升高。
靠近小端	在图纸技术要求允许的间隙范围内, 同时按比例将两齿轮从锥顶移开, 使齿侧间隙增大, 同时着色印痕向大端移动。
靠近大端	在图纸技术要求允许的间隙范围内, 同时按比例将两齿轮移向锥顶, 使齿侧间隙减小, 同时着色印痕向小端移动。