

先进的直升机传动系统技术应用研究

Research on Application of Advanced Helicopter Transmission System Technology

丁文强 / 中航工业航空动力机械研究所

摘 要: 对国外部分先进直升机传动系统技术应用进行了分析与研究, 介绍和总结了国外部分先进的直升机传动系统设计理念、主要结构和相关参数, 可为从事直升机传动系统的设计人员提供参考与借鉴。

Abstract: This paper analyses and studies the application of foreign advanced helicopter transmission system technology. It introduces the design concept, main component structures and relevant parameters. It will give a reference to engineering technical personnel of the helicopter transmission system.

关键词: 直升机; 传动系统; 设计; 结构; 相关参数

Keywords: helicopter; transmission system; design; structure; relevant parameter

0 引言

传动系统是直升机三大关键动部件之一。随着直升机对可靠性、安全性、经济性、环保性、舒适性等性能的不断提高, 对传动系统的要求也随之提高, 如要求重量更轻、翻修间隔期更长、生存力更高和噪声更低等。因此, 各国直升机公司对传动系统的投入和研究力度都在不断加大, 这也使得直升机传动系统的新技术层出不穷。下面就目前世界上一些先进的直升机传动系统技术应用进行分析与探讨。

1 圆弧齿轮技术

圆弧齿轮传动可分为单圆弧齿轮传动和双圆弧齿轮传动。

1.1 单圆弧齿轮

在国外, 单圆弧齿轮称为诺维柯夫齿轮或W-N齿轮(Wildhaber-Novikov 齿轮)。它以凸凹齿面的接触进行啮合传动, 主动轮为凸齿, 从动轮为凹齿, 如图1所示。渐开线齿轮是凸齿与凸齿相啮合, 单位面积所承受的应力要比圆弧齿轮的

大, 如图2和图3所示。由于圆弧齿轮比渐开线齿轮有较多的优点, 故圆弧齿轮已成功地应用于英国“山猫”(Lynx)和俄罗斯“卡”式直升机主减速器上。

韦斯特兰直升机公司生产的“山猫”直升机的主减速器是世界上最早采用单圆弧齿轮的减速器。据其设计人员介绍, 通过多年对圆弧齿轮的研究, 已经拥有成熟的设计技术和加工经验, 能够确保直升机的飞行安全。在直升机主减速器中采用单圆弧齿轮传动带来的优点是, 一方面简化了主减速器传动链结构, 减少了零件数; 另一方面降低了主减速器的高度, 比常用的行星轮系主

减速器低250mm, 而且增加了可靠性和维护性, 减轻了主减重量。

以“山猫”直升机为例, 其主减速器中采用单圆弧齿轮的主要优点概括如下。

1) 圆弧齿轮的单级传动比很大, 从理论上讲主动齿轮齿数可为1, 并不存在最小齿数的限制问题。但从减重和小齿轮基体的传扭强度和刚度考虑, 传动比也不能没有限制。单圆弧齿轮传动的传动比可以大到1:9, 而“山猫”主减仅选用了1:7。

2) “山猫”主减传动级数少, 只有两级, 传动元件数量也大大减少。其与“海

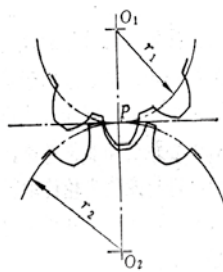


图1 单圆弧齿形



图2 渐开线齿面应力



图3 圆弧齿面应力

表1 “海王”与“山猫”的主减速器元件数对比情况

项目 \ 机型	“海王”	“山猫”
主减内组件数	44	26
主减内传动齿轮数	16	7
主减内轴承数	28	19
总计	88	52

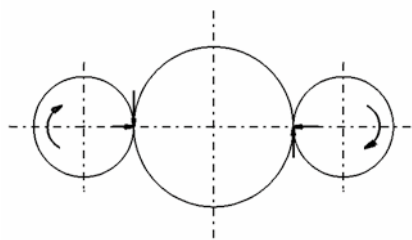


图4 并车齿轮径向力

王”直升机主减速器相比,传动元件减少了约40%。具体对比情况详见表1。

3) 圆弧齿轮传动平稳,周期动负荷小,同时易形成弹性流体动油膜,使齿轮具有较好的润滑特性,不易发生擦伤与胶合故障。

4) 圆弧齿轮由于当量曲率半径大,所以齿面承载能力较高,“山猫”主减速器采用单圆弧齿形,齿面经渗碳淬火硬度高(HRC58以上),比较齿面承载能力大大提高。

5) 采用圆弧齿轮结构,考虑力的合成,尽量使合力最小,以减小轴承与机匣上的载荷,可增加轴承和机匣的寿命。平行轴传动并车,径向力互相抵消,如图4所示。

6) 并车从动大齿轮螺旋方向为右旋,在传递功率时使其轴向力向下,与旋翼轴的轴向拉力方向相反,这样在绝大部分工作时间内拉力轴承的受力较小,可增加拉力轴承的使用寿命。

1.2 双圆弧齿轮

双啮合线圆弧齿轮(简称双圆弧齿轮)的齿形是把两个单圆弧齿轮的凸凹齿廓组合在一个齿轮的齿廓上,即相啮

合的一对齿轮,齿顶部分都是凸齿,齿根部分都是凹齿,如图5所示。

由此可见,双圆弧齿轮有两条啮合线而且齿面上更易形成弹性流体油膜。通过大量的试验和研究证明,单、双圆弧齿轮较渐开线齿轮具有明显的优越性。双圆弧齿轮与渐开线齿轮相比,其齿面的接触强度可提高2~4倍,弯曲强度可提高40%左右,重合度和抗胶合能力也均有大幅提高。

2 面齿轮技术

面齿轮传动技术最早是在1991年美国国家航空航天局(NASA)刘易斯中心和美国军方的ART(Advanced Rotorcraft Transmission)计划中开始研究。2009

年,美国已将面齿轮传动技术成功地应用在“阿帕奇”直升机主减速器上,如图6所示。原“阿帕奇”直升机主减速器的传动示意图如图7所示。欧洲一些发达国家也把面齿轮传动称为“21世纪旋翼机传动之希望所在”,投入了大量的人力和物力开展面齿轮的研究,如意大利的FACET计划。此外,日本有关学者对在数控滚齿机上实现面齿轮的近似加工方法进行了研究,加拿大的北星公司(North-Star)已成功开发了面齿轮的磨齿机等技术。另外美国NASA 刘易斯中心对面齿轮在“黑鹰”直升机主减速器上的应用也进行了研究,旨在减轻重量和提高寿命,用面齿轮替代螺旋锥齿轮传动。与螺旋锥齿

轮传动相比,面齿轮传动主要有以下几个方面的优点。

1) 小齿轮为渐开线圆柱齿轮,其轴向位置误差对传动性能没有影响,其他方向误差的影响极小,无需防错位设计;

2) 面齿轮传动比锥齿轮传动具有较大的重

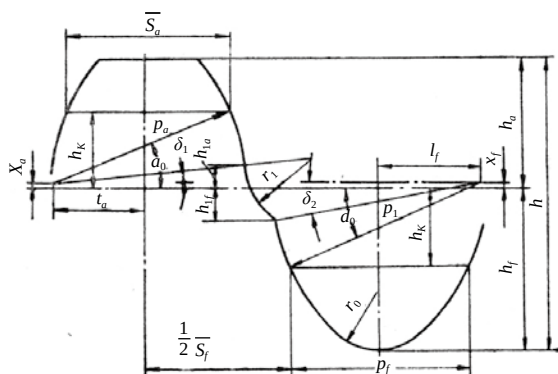


图5 双圆弧齿形

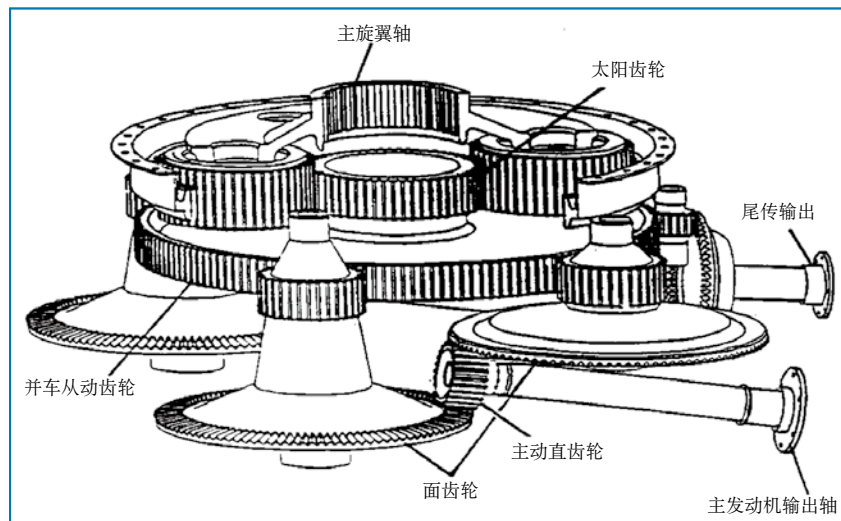


图6 主减速器中面齿轮的应用(三级传动)

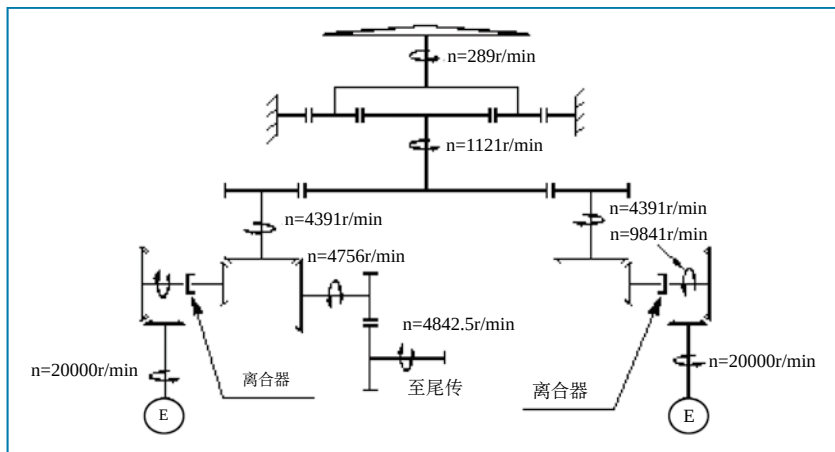


图7 美国阿帕奇AH-64A主减速器传动示意图(四级传动)

表2 螺旋锥齿轮与面齿轮的性能对比

类别	螺旋锥齿轮	面齿轮
轴承寿命	短	长
重量	重	轻
噪声	高	低
成本	高	低
可靠性	高	高
轴向力	大	无

合度,在空载下一般可达1.6~1.8,甚至2以上,在受载时会更高;

3) 小齿轮为直齿圆柱齿轮时,小齿轮上无轴向力作用,可简化支承,减轻重量;

4) 采用面齿轮传动与采用螺旋锥齿轮传动的减速器重量可减轻35%左右。相关性能对比情况见表2。

正因面齿轮传动诸多的优点,我国

各高校和相关企业单位也在开展研究,建立了其接触强度、弯曲强度、胶合强度的计算方法,而且许多企业正在研究面齿轮的磨齿机,为面齿轮的推广应用打下了良好的基础。

3 一体化设计技术

随着世界各国直升机传动系统技术不断发展,一体化设计技术在减速器设计中也越来越广泛地被采用。如图8至图10所示,法国“虎”直升机主减速器上大量地采用了该技术,即螺旋锥齿

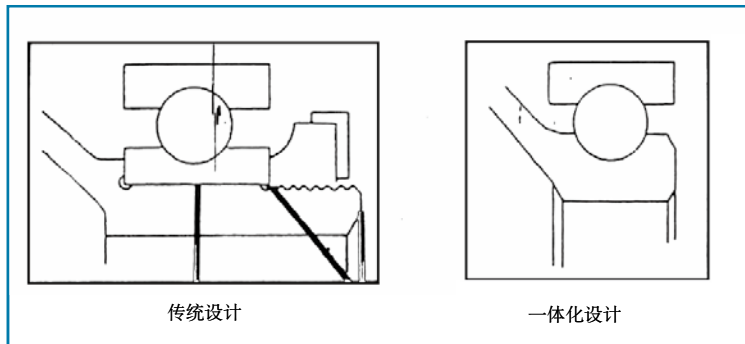


图8 传统的设计与一体化设计的结构对比

轮——球轴承内环——正齿轮——斜齿轮——滚柱轴承内环的五位一体设计技术,见图11。一体化设计既可减少零件数,又可减轻减速器的重量,提高了减速器的可靠性。

4 干运转技术

目前国外军民用直升机减速器的干运转时间要求至少具有30分钟。干运转设计是直升机减速器设计的一项关键技术。当减速器中弹损坏后使减速器短

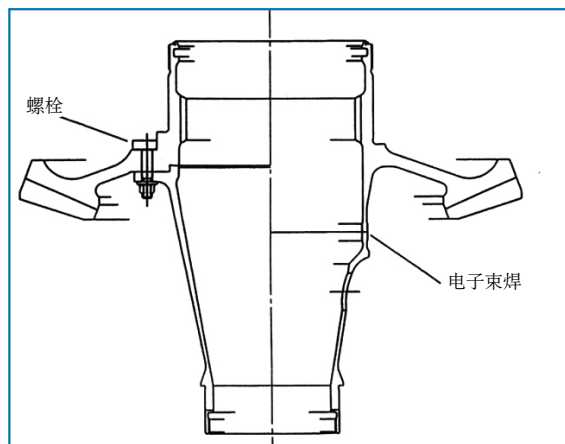


图9 传统的并车齿轮设计与一体化设计结构对比



图10 轴承一体化设计对比

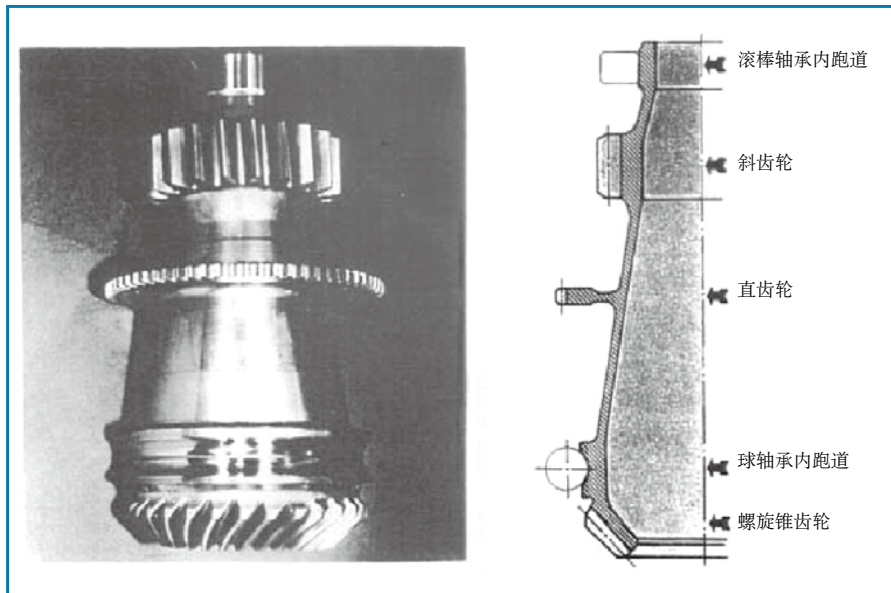


图11 “虎”直升机主减速器尾输出部件的一体化技术

时间内就进入干运转状态。由于急剧升温造成轴承受热膨胀卡死,齿轮则失去工作间隙,使主减速器在几分钟内就被破坏,从而完全失去运转功能,造成灾难性事故。因此,为保证直升机、顾客和飞行员的安全,要求减速器齿轮具有较长的干运转能力。国外直升机公司在设计中主要从如下几个方面着手。

1) 适当加大高速输入级螺旋锥齿轮的侧隙,以防止干运转时高温下发生轮齿干涉或卡死。

2) 适当加大高速输入级所有轴承的轴向和径向游隙。同时可采用陶瓷轴承,对钢制件采用镀银保持架,以延长干运转的时间。

3) 采用耐高温和摩擦系数小的材料,如M50NiL钢或CSS-42L钢。

4) 在输入级的机匣上设置环形储油槽,以及在轴内设置集油腔或油芯等措施,润滑系统受弹击后,无压力情况下靠离心力慢慢将滑油流入轴承内或齿轮上,以延长干运转的时间,如“阿帕奇”AH-64A的头部级减速器采用油芯,如图12所示。

5) 齿轮轴尽量采用简支安装,支承的轴承选用滚动轴承和滚棒轴承等,在高速输入级尽量不采用圆锥滚子轴承,尾传动系统可采用脂润滑轴承。

6) 采用冗余结构设计,输入级单元

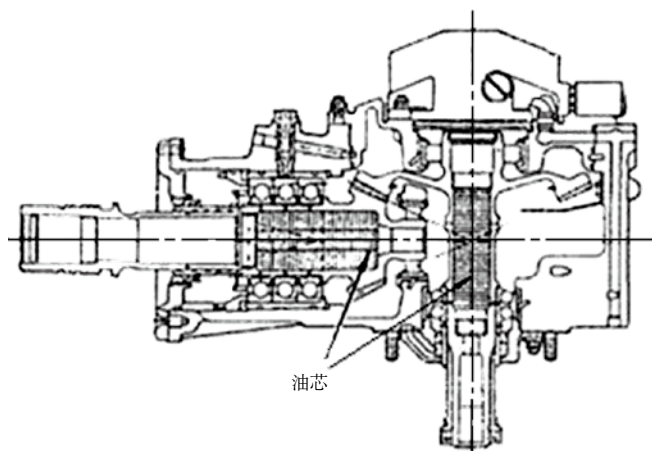


图12 阿帕奇主减速器输入级油芯

体采用左右对称布置结构,主减速器中采用两套独立的润滑系统和多路传递功率方案。如美国“基奥瓦”OH-58C直升机的减速器由三个行星齿轮改为四个行星齿轮后,使干运转工作时间增加了三倍。

5 结束语

鉴于传动系统对直升机性能的影响,未来我国必须加大力度对直升机传动系统基础研究的投入,不断开展新技术的预先研究,甚至部分关键技术可采用国际合作模式解决,旨在建立较完整的直升机传动系统设计技术体系,加速提高我国的直升机传动系统技术水平。

AST

参考文献

- [1] A.Garavaglia, G. Gattinoni. Design criteria of the 129 helicopter drive system[S]. AGARD-CP-302, 1991.
- [2] T.L.Krantz, J.G. Kish. Advanced rotorcraft transmission (ART) program summary[R]. AIAA-92-3365, 1992.
- [3] The American helicopter society 56th annual forum[C]. May 2-4, 2000.
- [4] Robert F. H, James J. Z. Current research activities in drive system technology in support of the NASA Rotorcraft Program[Z]. NASA/TM, 2006.

作者简介

丁文强,中航工业直升机传动技术首席技术专家,中航工业航空动力机械研究所副总师,研究员,主要从事直升机传动系统的设计与试验研究工作。