

密布双行星轮系在电驱桥上的应用分析

付才林

(深圳市比亚迪汽车工业有限公司 广东 深圳 518119)

摘要: 本文通过对普通双星轮系的受力举例分析中发现,在正向驱动时内侧行星轮系的滚针轴承受力较小,但反向回馈时内侧行星轮系的滚针轴承受力较大。但集成电驱动桥不像燃油车驱动是单方向受力,而是双向都要受力。通过结构分析发现增加一对齿轮形成密布的双行星轮系进行受力分析时,避免了正反受力的差异,并且大幅提高了轴承的使用寿命,同时也降低了集成电驱动桥要区分电机在桥前还是桥后而增加的生产的难度。

关键词: 密布双行星轮系; 集成电驱动桥; 应用

0 引言

行星齿轮传动与普通齿轮传动相比,具有许多独特优点。最显著的特点是在传递动力时可以进行功率分流,所以行星齿轮传动现已被广泛应用于各种机械传动系统中的减速器和变速装置。尤其是因其具有“高载荷、大传动比”的特点而在车辆(尤其是重型车辆)中得到大量应用。常见的是在汽车 AT 变速器中应用,典型的有拉维纳行星轮系和辛普森行星轮系的变速器。

对于电动商用车中用到的集成电驱桥的要求是传递转矩要大,并且重量要轻,以减少簧下质量。所以我们针对电驱四挡位集成变速器桥采用行星传动结构来功率分流和转换换挡来减少重量。

对于其中的一个行星排采用类似拉维纳结构的双行星轮式的行星排,实现两个挡位的传递,但在以往的燃油车变速器上拉维纳结构的变速器是在一个方向上传递转矩,而对于电动车用这样的结构,就意味着在能量回收式反向受力时,行星齿轮或行星轮轴承的寿命由于受力叠加的原因,寿命明显减少。我们通过行星轮数的增加,形成密布双行星来改变行星轮受力,使得这种行星轮在正反受力时是一样的,以此来改变此类行星反向受力轴承或齿轮寿命急剧减少的情况。

1 普通双行星轮系受力分析

四挡变速器中双行星轮系同步器如图 1 所示。本文将论述一款双行星轮系密布的结构来规避普通双行星轮系(图 2)正反向受力差异大的缺点,以适应电驱动正反向受力的特点。

对于图 1 中四挡变速器中双行星轮系同步器 A 滑向左端,固定共同的行星架,其径向受力分析如图 3

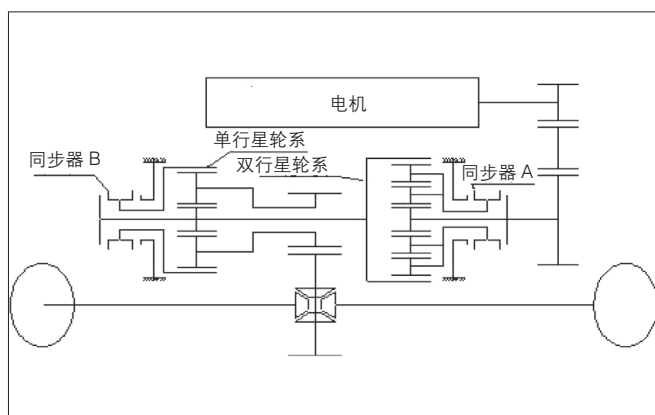


图 1 四挡变速器中双行星轮系同步器

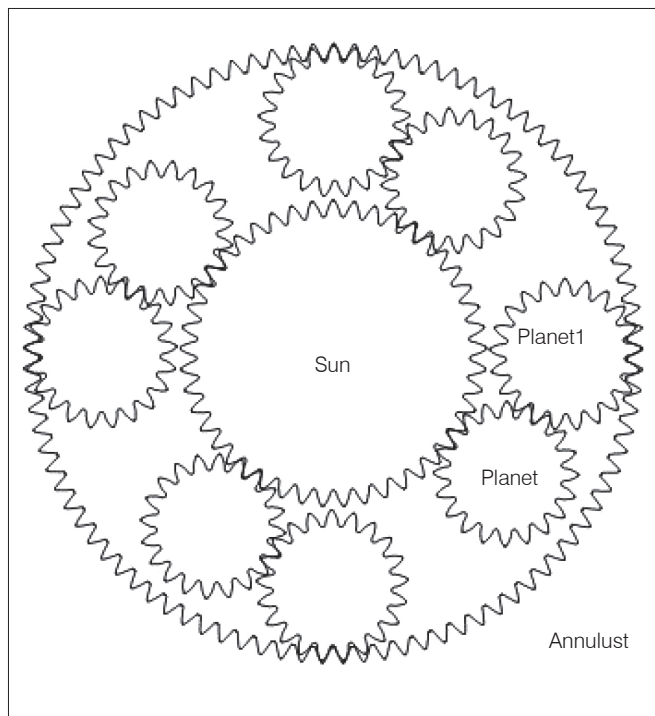


图 2 普通双行星轮系

所示。

图 3 中太阳轮顺时针旋转时, 其中一个内侧行星轮径向受力比图 4 中太阳轮逆时针旋转时的这个行星轮径向受力大很多, 导致驱动时这个行星轮轴承受力小, 而回馈时这个行星轮轴承受力大很多, 影响整个轴承整体寿命。密布双行星轮系如图 5 所示。

2 密布双行星轮系受力分析

我们通过受力分析, 设想在内外侧再加一对星轮形成密布双行星轮系, 结构如图 5 所示, 并进行径向受力分析(图 6)发现, 无论逆时针旋转还是顺时针旋转, 内行星轮的受力是在输入转矩大小一定时, 其径向力大小不变的; 同样外侧的受力情况也是一样的。这样计算的驱动和回馈的轴承寿命就提高很多了。

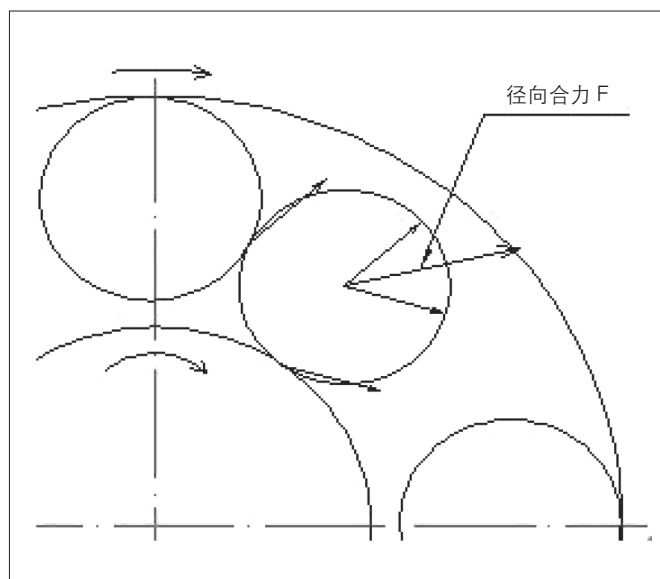


图 3 反转回馈行星轮轴承径向受力分析

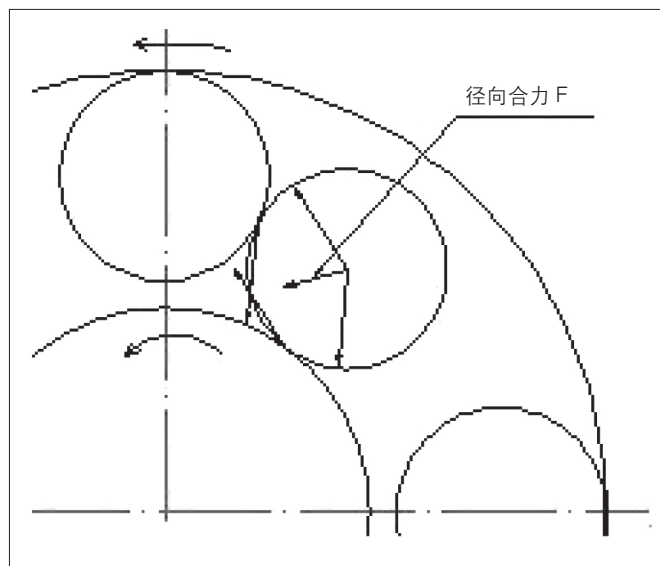


图 4 正转行星轮轴承径向受力分析

3 两种双行星轮系的行星轮滚针轴承寿命仿真分析

对于这样的密布双行星轮系, 我们通过齿轮仿真设计软件 MASTA 对其行星轮轴承两排滚针轴承 $k20 \times 28 \times 20$ (Cr:23.9kN, Cor:28.5kN) 进行寿命计算, 并与普通双行星轮系的同一位置同一轴承进行比较。其中由于 4 行星轮和 5 行星轮的不均载系数有差别, 分别为 1.15 和 1.19。表 1 和表 2 是普通双行星轮系和密布双行星轮系的齿轮参数。其中工况按照电机最大输入转矩 600Nm (通过前面减速增扭后双行星轮系的输入转矩达到 1500Nm) 和功率 150kW 驱动 600 小时和最大转矩 600Nm 和功率 150kW 回馈 200 小时进行仿真计算。

通过 MASTA 软件建模后, 输入参数进行仿真计算,

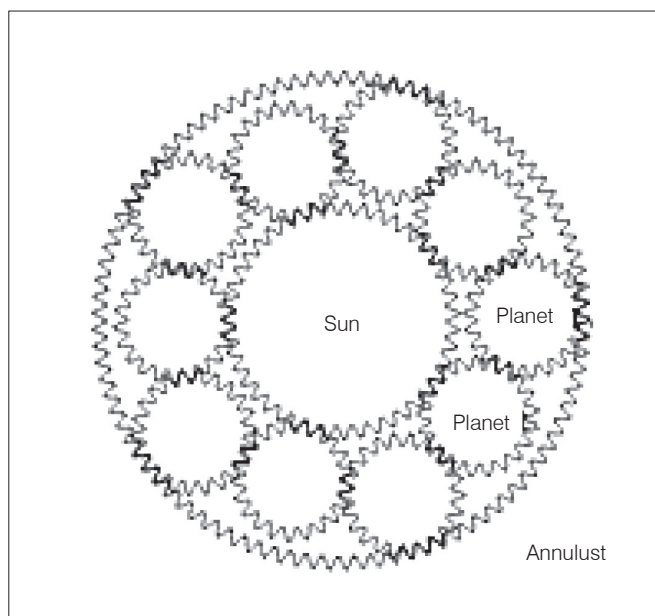


图 5 密布双行星轮系结构

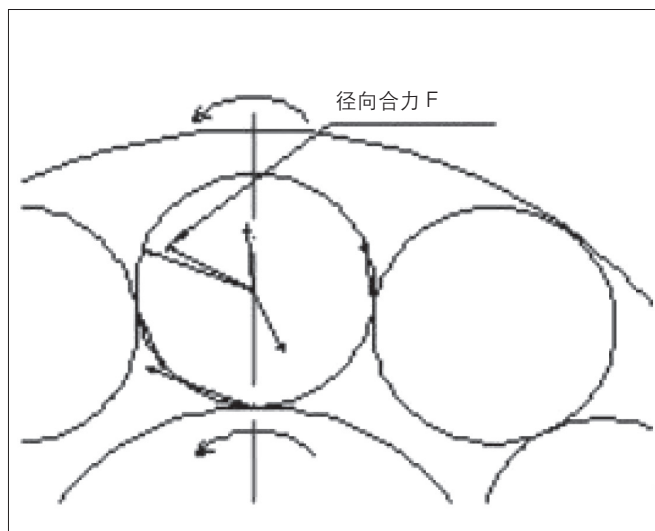


图 6 密布行星轮轴承径向受力分析

表 1 普通双行星轮系的齿轮参数

行星轮系	Sun 齿数	Planet 齿数	Planet1 齿数	Annulus 齿数	模数 Mn	压力角 /(°)	螺旋角 /(°)	行星轮数	有效齿宽
普通双行星轮系	45	20	21	93	2.3	22.5	11	4+4	39
密布双行星轮系	43	21	22	93	2.3	22.5	11	5+5	39

表 2 密布双行星轮系的齿轮参数

	普通双行星轮系				密布双行星轮系			
齿轮	Sun	Planet	Planet1	Annulus	Sun	Planet	Planet1	Annulus
hap	1.15	1.15	1.15	1.05	1.15	1.15	1.15	1.05
hfp	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
变位系数 X	0.1	0.1	0.11	-0.18	0.05	-0.04	-0.2	0.19
旋向	左	右	左	左	左	右	左	左
中心距	76.6		84.5		75		83.2	
	48.5				49.8			

表 3 密布双行星轮内侧行星轮轴承平均寿命分析值

第一级行星排 Assembly\20X28X20-NL				Component
ISO 281:2007 Modified Rating Life	ISO/TS 16281:2008 Modified Reference Rating Life	ISO/TS 16281:2008 Basic Reference Rating Life	ISO 281:2007Basic Rating Life	Description
1.3123	1.1878	1.0365	1.0312	Safety Factor
1	1	1	1	Required
1.3123	1.1878	1.0365	1.0312	Normalised
97.63	95.9	91.65	91.43	Reliability (%)
40.42	56.34	88.75	90.28	Damage (%)
1979.4056	1419.9235	901.4111	886.1512	Time to Failure (hr)

表 4 普通双行星轮内侧行星轮轴承平均寿命分析值

第一级行星排 Assembly\20X28X20-NL				Component
ISO 281:2007 Modified Rating Life	ISO/TS 16281:2008 Modified Reference Rating Life	ISO/TS 16281:2008 Basic Reference Rating Life	ISO 281:2007Basic Rating Life	Description
1.636	1.4472	1.225	1.2239	Safety Factor
1	1	1	1	Required
1.636	1.4472	1.225	1.2239	Normalised
99.38	98.66	96.53	96.51	Reliability (%)
19.38	29.17	50.84	50.99	Damage (%)
4127.7577	2742.6348	1573.634	1568.8767	Time to Failure (hr)

普通双行星轮系的计算结果如表 3 所示。我们可以看到在 ISO 281 : 2007 标准下内侧行星轮滚针轴承平均寿命中基础寿命损伤率为 90.28%，而密布双行星轮系的计算结果如表 4 所示。

可以看到在 ISO 281 : 2007 标准下内侧行星轮滚针轴承平均寿命中基础寿命损伤率为 50.99%。

4 结语

通过对普通双行星轮和密布双行星轮的径向受力分析，以及在一定的工况仿真计算中，我们可以都看出，密布双行星轮布置在集成电驱动桥的应用上具有很多优点，尤其是在正反驱动中具有对称性，并大幅提到了行

星轮滚针轴承的使用寿命。

参考文献：

- [1] 吴宗泽，高志．机械设计实用手册 [M]．北京：化学工业出版社，2008.
- [2] 陈勇．汽车变速器理论设计及应用 [M]．北京：机械工业出版社，2018.
- [3] 朱孝录．齿轮传动设计手册 [M]. 2 版．北京：化学工业出版社，2010.

作者简介：付才林 (1975.09-)，男，汉族，四川简阳人，本科，高级工程师，研究方向：电驱动桥。

(上接第 43 页)

6 实际验证及应用前景

目前，飞机在大修时已经采用复合材料贴补技术完成了一些金属构件的故障修复，这项技术的应用不但解决了复杂曲面构件上补强件设计难题，并提高了修理效率。按传统的工艺，在多曲面构件上采用金属补强件进行补强修理，在补强件的设计、加工、热处理环节上至少需 3 ~ 5 天，而采用复合材料贴补技术在金属构件上进行补强修理只需 3h 左右。这种修理工艺只是在加温固化工序用时较长（树脂固化一般用时 2h），其他准备及铺敷等工作在 1h 之内便可完成。例如，某型飞机尾翼内部一个曲形构件发生裂纹故障，如图 5 所示，采用复合材料贴补技术对其进行修复，修复后经历了 1000 多个小时的飞行，构件通过无损检测发现复合材料补强件状态良好，构件上裂纹故障未发生延展变化。

复合材料贴补技术的优点主要是方便、快捷，完全

适用于飞机抢修。未来的战争是与时间赛跑的战争，赢得最佳战斗时机就会取得胜利，因此战伤抢修将会起到至关重要的作用。有了先进工艺方法才能在抢修中快速完成装备修复，从而保障军队的战斗能力。基于复合材料的比强度强、比刚度强、可设计性强等优点，复合材料贴补技术将会在飞机抢修中得到广泛应用。

7 结语

本文围绕复合材料可设计性强的特点，阐述了复合材料在复杂多曲面的金属构件上的补强工艺方法，并对构件补强工艺进行分析，论证了复合材料贴补技术的可靠性、稳定性。该项技术能轻易解决复杂曲面上的金属构件补强件难题，可大幅提高修理效率，完全适用于飞机抢修。

参考文献：

- [1] 陈绍杰．复合材料结构修理指南 [M]．北京：航空工业出版社，2001.
- [2] 谢富原．先进复合材料制造技术 [M]．北京：航空工业出版社，2017.
- [3] 益小苏，杜善义，张立同．复合材料手册 [M]．北京：化学工业出版社，2009.
- [4] 曾正明．机械工程师材料手册：金属材料 [M]. 7 版．北京：机械工业出版社，2010.

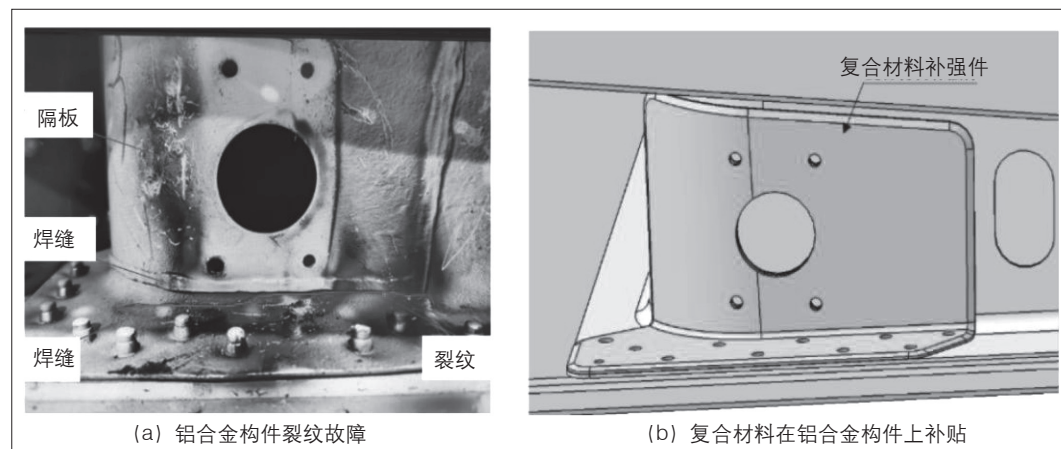


图 5 某型飞机尾翼上构件裂纹补强修理