

The Importance of Coordination and Gap—Fault analysis of a certain type of APU DC starter

Jinhua Wang

Chengdu Fukai Aircraft Engineering Service Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610041, China

Abstract

For the DC starter of the auxiliary power system, the fit and clearance of its components are very important. Any problem in any of these links may lead to the occurrence of a malfunction. Rapid and accurate troubleshooting and repair can ensure that the DC starter of the auxiliary power system can start in a timely manner, provide necessary air and power support, and avoid adverse effects caused by power interruption. In order to better eliminate related faults, it is necessary to clarify the importance of the fit and clearance of parts. Next, we will analyze the importance of component fit and clearance based on two uncommon fault situations, providing reference for troubleshooting DC starter faults in auxiliary power systems.

Keywords

Auxiliary power system DC starter; spare parts; coordination; gap

浅谈配合与间隙的重要性——某型 APU 直流起动机故障分析

王劲华

成都富凯飞机工程服务有限公司，中国 · 四川 成都 610041

摘要

对于辅助动力系统直流起动机来讲，其零件的配合与间隙非常重要。其中任何一个环节出现问题，都可能会导致故障的发生。迅速准确的故障排查与修复能确保辅助动力系统直流起动机能够及时启动，提供必要的气源和电源支持，避免因供电中断带来不利影响。为了能够更好地排除相关故障，有必要明确零件的配合和间隙的重要性。接下来将结合两个不常见的故障情况，对零件的配合和间隙的重要性予以分析，为辅助动力系统直流起动机故障的排除提供借鉴。

关键词

辅助动力系统直流起动机；零件；配合；间隙

1 引言

本篇文章以某型辅助动力系统（以下简称为：APU）直流起动机两个比较不常见故障的情况分析为引子，探讨一下零件的配合与间隙重要性，以及其对组件功能的影响，从而指导我们在设计、制造工艺，尤其是后续维修装配过程中，如何正确保证初始设计尺寸，使组件的零件维持合适的配合与间隙，以便组件的功能保持正常，并尽可能延长在翼使用时长。

2 APU 直流起动机（C5116 系列）结构原理介绍

2.1 C5116 直流起动机整体结构组成

如图 1 起动机剖视图所示，主要包含两部分：

- ①电机组件（含定子组件、转子组件、碳刷及其支架、支撑轴承）。
- ②离合器组件（含驱动轴、离合器、支撑轴承和外壳）。

2.2 C5116 离合器结构

C5116 离合器结构（图 2，图 3）包括：楔齿副、外衬套（带飞轮）、支撑轴承（2 个）及内衬套，包含调节垫片。滑油管保证加注润滑油时，油液能够顺利到达离合器的相关零件，以便能够充分润滑。

【作者简介】王劲华（1972-），男，中国四川成都人，本科，工程师，从事附件维修研究。

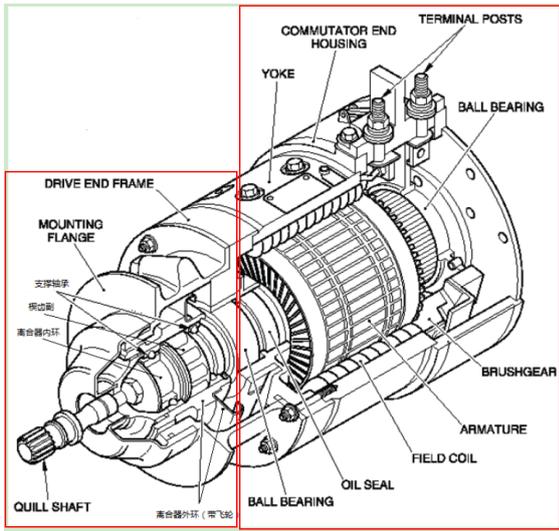


图 1 起动机剖视图

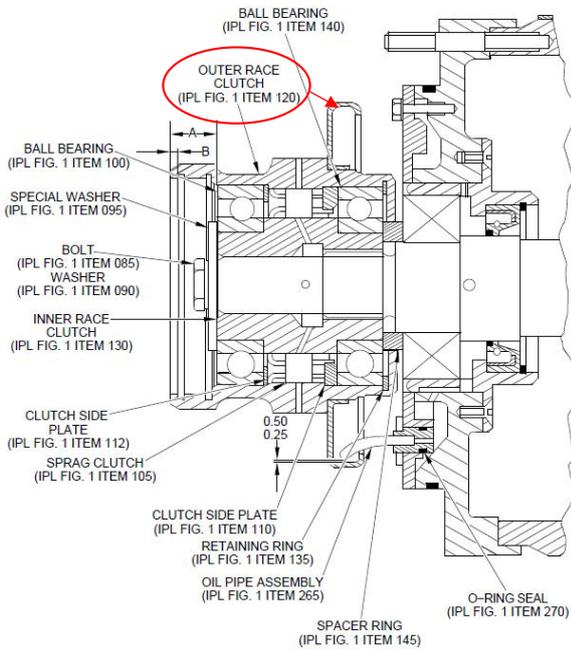


图 2 离合器结构

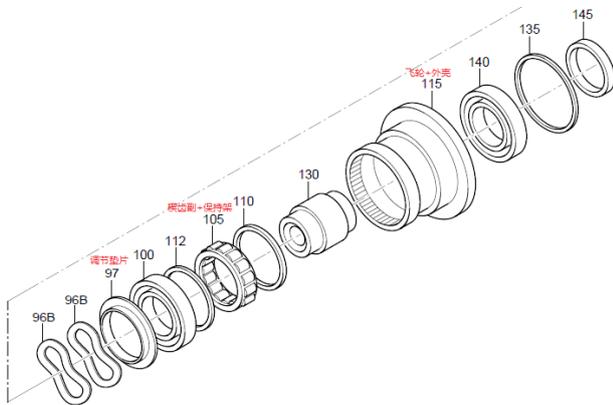


图 3 离合器 IPL 详图

2.3 C5116 直流起动机的工作原理

APU 直流起动机安装在飞机辅助动力系统的附件齿轮箱上，电机部分通过离合器和输出轴实现转动的传递和断开。

驱动：起动机依靠 28VDC 直流电流驱动，通过电机转子转动带动 APU 主转子达到一定转速（点火转速），以便其顺利点火。

脱开：当 APU 点火后，APU 主转子自主加速到大于离合器脱开转速（超越转速）时，离合器不再啮合，起动机电机部分与附件齿轮箱不再相连，电机停止工作，防止起动机电机在 APU 高转速下受到损坏。但是，由于 C5116 起动机离合器特殊性，其离合器外衬套（含飞轮）和输出轴是随 APU 主转子一起转动的。

该型起动机结构复杂部分就是离合器结构，因此后续内容会从原理以及结构上展开来分析，讨论遇到故障的原因和解决方案，及其给我们的启发，指导后续的维修排故工作，并对设计制造也有一定的启示意义。

3 楔齿型离合器（摩擦式）的工作原理：

3.1 结构组成

结构形式（如图 3）包含：内环、楔齿、楔齿保持架、外环四个部分。

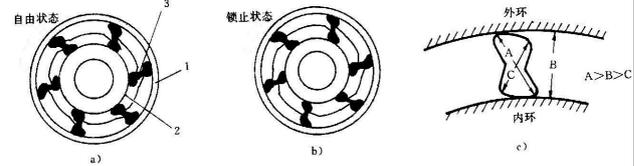


图 4 楔齿型单向离合器原理图

3.2 工作方式

从楔齿型单向离合器原理图（图 4）可以看出，当作为超越离合器使用时：如图 c)，楔块是异形结构，一侧的尺寸 A 较大，一侧的尺寸 C 较小，与内外环的间隙尺寸 C 的关系满足 $A > B > C$ ；如图 b)，当内环逆时针转动时，楔块在摩擦力作用下顺时针转动，直径较大的部分（尺寸 A）被楔入内外环（锁止状态），外环在摩擦副的作用下一起逆时针转动；如图 4 a)，如果外环的转速大于内环的转速，楔块在外环的摩擦力作用下，逆时针转动，这时尺寸较小的一侧（尺寸 C）与内外环配合，同时楔齿保持架弹簧具有偏心结构，该结构有利于推动楔齿逆时针转向尺寸较小的一侧，这样由于楔齿较小尺寸一侧与内外环配合，楔齿在内外环之间不产生传动作用，外环处于自由状态（超越脱开状态），以便保护内环的低速驱动机构不受高速影响而损坏。

3.3 优缺点

见表 1。

表 1

类别	优点	缺点	典型故障
楔齿型单向离合器	结构紧凑, 精度配合高, 尺寸较小, 工作平稳噪声小	配合尺寸严格、初始啮合时有打滑现象、啮合时楔齿会发生蠕变现象、结构复杂、需要额外润滑	容易打滑, 导致 APU 启动失败

4 典型隐蔽性故障情况及原因分析

4.1 设计缺陷以及装配原因导致的故障

在图 3 中标识为 115 的零件, 为离合器外衬套: 衬套 + 飞轮的结构; 从图 2 的 1-120 项明显看出, 衬套和飞轮是紧配合零件。该组合件对装配要求比较高, 不允许飞轮和衬套台阶贴合处有明显间隙等缺陷。

因为当 APU 启动后, 离合器外衬套 (含飞轮) 通过输出轴 (Quill Shaft) 花键, 和 APU 附件齿轮箱连接在一起并随着 APU 的高速转动而转动。如果飞轮的位置装配不到位, 会导致离合器外衬套在离合器锁住和脱开两种状态下, 都可能因为不平衡度增加而使整个转动组件的震动加大, 从而导致起动机部件的损坏:

4.1.1 离合器锁住状态 (转速大约不高于 8600 转/分钟)

如果震动过大, 高速旋转情况下, 会加速碳刷的磨损, 缩短碳刷的使用时间, 并且也会使换向器磨损加剧、过热等; 电机转子支撑轴承和离合器支撑轴承, 因为震动异常, 磨损会大大缩短寿命; 同时因为不平衡导致传动摩擦力矩偏大, 使电机驱动电流相对于一般来说偏大 (但是没有超过手册规定范围, 因此往往会忽视这类隐性故障的影响, 导致的直流起动机这类电器的在翼使用时长), 引起电机发热温度偏高, 慢慢地加速弱化电绝缘性能, 缩短电机的使用时间。

4.1.2 离合器脱开状态 (转速大约高于 8600 转/分钟)

由于 APU 点火启动后, 离合器外衬套 (反飞轮) 和输出轴随着 APU 转子, 以更高的速度转动, 震动会更加大一点。对离合器外衬套内壁以及楔齿的磨损有一定影响, 对离合器支撑轴承的磨损也有很大影响; 但最重要影响, 是对输出轴的影响: 由于输出轴的设计是剪切轴类型 (见图 1, QUILL SHAFT), 其中段结构设计成小于正常外径的剪切轴模式。当某些情况下, 当离合器无法脱开时, APU 高转速大扭矩使输出轴剪断, 从而断开起动机转子和 APU 齿轮箱的连接, 防止对 APU 齿轮箱和起动机转子造成更严重的损坏。

正是因为剪切轴设计模式 (也是必须的), 由于不平衡和震动过大, 会使输出轴处于应力疲劳加速状态, 疲劳损坏的概率增加, 导致输出轴断裂损坏现象发生。

4.1.3 典型故障及排故

某台 C5116 起动机送修, 自新时间只有 1200 多飞行小时, 相对在翼使用时间非常短就发生故障。

入厂外观检查发现, 输出轴已经断裂, 无法进行预测试, 直接进行全分解检查, 发现内部损坏也比较严重:

- ①轴承磨损严重, 已经损坏;

- ②离合器楔齿有明显磨损痕迹;

- ③碳刷已经磨损超差;

- ④转子换向器表面磨损。

第一次检查时, 未发现离合器外衬套和飞轮的装配缺陷, 当我们用更换新件或修理恢复损坏零件的方式, 重新对起动机进行组装, 然后上台架进行测试, 发现空载电流比我们平时其他起动机测试记录的电流偏大 (但是没有超过 CMM 手册规定); 基于慎重的原则, 重新分解起动机, 对零件进行检查, 由于测试时间很短, 新换零件 (或修理后零件) 状态良好。是什么原因导致电流高于我们平常测试水平呢?

维修人员会同工程技术人员, 重点对起动机整个转子系统进行了原理分析, 同时对其他零件进行了仔细检查。当检查到离合器外衬套和飞轮组件时, 发现飞轮和外衬套台阶止挡面没有完全贴合, 最大间隙约有 0.5 mm, 由于衬套台阶处有 0.2 的倒角, 不仔细观察, 无法发现该处装配不到位的情况。我们分析该零件为紧配合零件 (过盈配合), 并且飞轮尺寸比较大, 如果装配不到位, 会导致高速震动过大, 有可能增加摩擦负载, 从而导致电机负载电流偏大的现象。

为了安全起见, 更换了新的离合器外衬套 (飞轮) 组件, 重新进行组装。按照 CMM 进行测试, 负载电流与我们之前维修后同类型起动机相比, 基本一致, 其他测试项目也满足手册要求, 该起动机故障完全排除。从该起动机装机使用来看, 已经超过 20000 飞行小时, 目前依然在翼使用。

4.2 使用过后, 磨损间隙过大导致的故障

某台 C5116 起动机送修, 送修原因: APU 无法启动。

按照 CMM 手册进行预测试, 发现该起动机额定负载下, 带载能力不足。由于该送修故障件自修时间已经超过 15000 飞行小时, 自新时间接近 30000 小时, 经过分析, 主要怀疑有两个原因: ①起动机电机性能弱化; ②离合器锁止力不够。

于是完全分解后, 从这两方面重点进行检查、分析原因, 查找故障。

4.2.1 起动机电机性能弱化

- ①检查电机定子, 绝缘性能良好。定子线圈绝缘层良好, 硅钢片表面绝缘层良好;

- ②检查电机转子, 绝缘性能良好。外观检查: 换向器有明显磨痕 (但根据经验看, 还是正常使用后的状态), 转子表面绝缘漆完整良好;

- ③检查支撑轴承, 转动正常, 没有明显异响和卡阻。外观检查良好, 没有磨损痕迹。

因此我们判断起动机带载能力不足, 排除了起动机电机部分电性能弱化的原因。

4.2.2 离合器锁止力不够

①检查离合器楔齿，发现楔齿配合表面有轻微磨损；

②离合器外衬套（含飞轮）装配贴合良好，内表面配合处目视检查良好；

③离合器内衬套外表面配合处目视检查良好；

④支撑轴承，检查转动正常无卡阻和异响，目视检查外观良好。

深入分析其中缘由，发现是离合器装配过程中的间隙（由调节垫片裙边厚度进行控制，见图2、图3和图5）过大导致的故障。由于离合器内衬套（130，图3）与楔齿配合表面有一定锥度（按照图示位置从左到右逐渐变大），因此当调节垫片1-097（见图3）裙边厚度增加时，楔齿会往右移动，楔齿所处的内外衬套空间逐渐减小，从而调节楔齿的配合紧度，增加摩擦副的力，减小打滑可能。

计算尺寸A-B（见图2），获得调节垫片1-097（见图3，图5）的厚度要求：

(b) Measure dimensions A and B (Ref. Fig. 7003). Subtract B from A, compare the resultant value with the following ranges and select the related support plate (1-097):

1	10.46 to 10.62 use 81704835-1,
2	10.62 to 10.78 use 81704835-2,
3	10.78 to 10.94 use 81704835-3,
4	10.94 to 11.10 use 81704835-4,
5	11.10 to 11.26 use 81704835-5.

图5 尺寸范围和对应用件号

经过测算，应该选用10.78~10.94 mm范围的调节垫片PN 81704835-3。维修人员更换合适的调节垫片，重新组装起动机后，上台架进行测试，测试结果满足CMM手册要求，带载能力不足的故障被排除。

5 维修排故的经验借鉴

5.1 设计上的启示

从第一个故障排除来看，主要原因还是设计太复杂。

原厂在外衬套上设计出飞轮结构，是为了高速转动时的结构平衡，防止震动；同时其将喷油嘴油口放置在边缘内

侧（265，图2），飞轮转动后，带动油液四周均匀分布，对相关转动件进行有效润滑。但是，由于设置成两个零件通过过盈配合方式进行组装，就存在上述安装不到位的风险，而且不容易被发现，使用过程中不平衡导致震动过大损坏直流起动机相关零件，造成起动机在翼使用时间很短。

零件越复杂，配合的环节越多，出错概率越大，这是必然的。因此，在初始设计时，有必要简化零件设计，减少中间过程犯错的概率，在制造工艺允许条件下，尽量一体化设计制作零件。

5.2 配合与间隙探讨

在维修过程中，绝大多数零件，由于磨损量较小，在装配过程中，对相邻零件的配合与间隙影响几乎不变，从而会对维修人员产生一种惯性思维的影响：在重新组装过程中，几乎是原位安装零件，忽视对配合与间隙尺寸的检查。这种时候，偶尔会导致我们不容易发现的隐性故障产生，使整件性能不符合最终出厂要求。

因此，在具体维修检查装配工作中，单个零件尺寸的检查需要进行仔细检查，同时零件与零件的配合尺寸，安装过程中的间隙调节都要予以相当重视。不满足要求的尺寸，要分析原因，找到解决办法，或更换新零件或进行尺寸调节。

设计、制造、后续维修，保证产品的持续性，这是一个完整的整体。当我们通盘考虑，互相借鉴经验教训，就可以不断提高设计水平，使产品具有更好的适用性和维修性，持续满足适航要求。

参考文献

- [1] 王守乐,刘松,王明,等. 关于直升机APU常见故障类型的故障分析[J]. 电子制作, 2023, 31(04): 99-102.
- [2] 李献凯,谢仲阳,王海宽. 一起APU喘振故障分析及检测工装设计[J]. 航空维修与工程, 2022(11): 78-80.
- [3] 侯亚鹏,胡宜春,王清山. 一起辅助动力装置空中起动故障分析[J]. 航空维修与工程, 2022(10): 108-110.
- [4] 杨江. 直流起动机内部电路故障的维护技术研究[J]. 电子技术与软件工程, 2015(10): 115.