

重型运输直升机传动系统构型与技术特点

Configuration and Technical Characteristics of Heavy Helicopter's Power Transmission System

■ 郑青春 严岳胜 张志龙 孙炫琪/中国航发动研所

重型运输直升机载重大、运输效率高，可以在野外垂直起降、悬停作业，在军、民用领域具有无可替代的重要作用。通过分析对比典型在役的重型直升机传动系统构型，可以归纳总结出重型直升机传动系统的相关技术特点，为重型直升机传动系统的研发提供技术储备。

重型运输直升机是指起飞质量大于20t的直升机，它的出现可追溯至20世纪60年代。重型运输直升机用途十分广泛：在军事领域，可在空中机动、全纵深机动作战中大量、机动地运送兵力及重型装备直达战场，也可海上舰队进行垂直补给；在民用领域，可用于应对各种自然灾害和特殊需要，尤其对于山地、高原等特殊地理环境，重型直升机可以克服地形限制，快速、机动、便利地解决运输、补给、搜救等应急需求问题，能在重大自然灾害中发挥巨大作用。

重型运输直升机发展状况

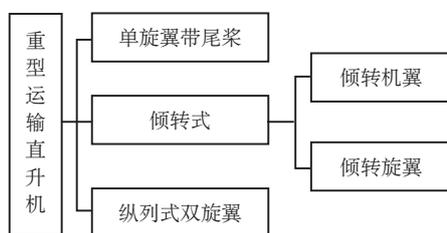
重型运输直升机可以采用多种构型，主要包括单旋翼带尾桨、纵列式双旋翼，以及倾转机翼/旋翼3种类型。国际上目前在役的重型直升机主要有俄罗斯的米-26系列，美国的CH-47

系列、CH-53系列以及倾转旋翼机V-22、AW609等。据统计，全世界重型直升机的保有量约为1700架。

单旋翼带尾桨重型运输直升机

此类直升机主要有米-26、CH-53系列。

米-26是苏联米里设计局(现米里莫斯科直升机股份公司)研制的重型运输直升机，是现役的载重能力最强的直升机，最大起飞质量达56t。该型直升机于1971年开始研制，1978年2月21日首飞，包括米-26、米-26A、米-26T、米-26M等11种型别，已生产300架左右，并出口到



重型运输直升机构型分类



米-26 直升机



CH-53 直升机

单旋翼带尾桨重型运输直升机



CH-47“支奴干”纵列双翼直升机



V-22“鱼鹰”倾转旋翼机

20多个国家和地区。主要用于运送大型军事装备、武器弹药和其他军用物资，也用于森林防火和边远地区的地质勘探开发。

CH-53系列运输直升机由美国西科斯基公司研制，具有多种改进型，其中CH-53E是西方国家研制的尺寸和载荷最大的直升机，最大起飞质量超过30t。该型直升机于1971年开始研制，总交付量为238架，主要装备于美国海军，遂行舰队垂直补给、预警侦察或反潜巡逻等任务。

纵列式双旋翼运输直升机

此类直升机主要为美国CH-47“支奴干”系列直升机，由美国波音公司于1956年开始研制，A型机于1963年开始装备部队，后续又开发出B型、C型、D型、F型等衍生机型，现已销往16个国家和地区，总交付量达1100余架。该运输直升机采用的是纵列式双旋翼结构，剔除了一般直升机采用的带有尾部垂直螺旋桨构型。按美国陆军全天候运输直升机要求设计，可以在极端的高温高原条件下完成运输任务，在美英等国军队中得到了广泛应用。

倾转机翼/旋翼直升机

此类直升机具有多种工作模式：

在起降、悬停阶段为典型旋翼机模式；在巡航阶段，可转换为固定翼飞机模式进行高速飞行。其优点是速度更高，缺点是实现起降、悬停至巡航状态转换的技术难度大。根据转换后旋翼的运动状态，转换式高速旋翼机可分为停转式和倾转式两种。典型代表有V-22“鱼鹰”倾转旋翼机、AW609倾转旋翼机。其中V-22“鱼鹰”倾转旋翼机是目前在役的唯一一型倾转旋翼机，最大起飞质量约26t，也属于重型运输直升机范畴，该机于2005年9月开始生产，主要装备于美国海军和空军，用于战场搜索、特种作战和舰队后勤及远距离特种运输。

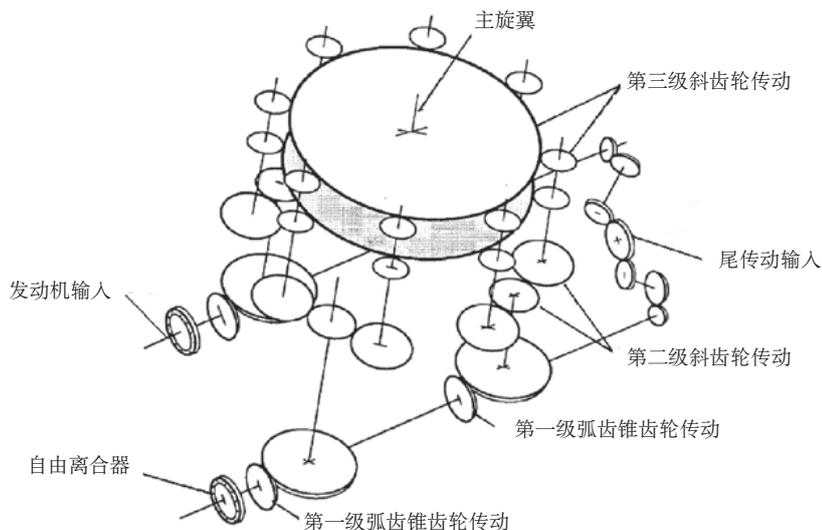
重型运输直升机传动系统典型构型分析

单旋翼带尾桨构型传动系统

单旋翼带尾桨构型传动系统结构相对简单，是一种经典的直升机传动系统构型。直升机升力仅由主旋翼提供，尾旋翼仅平衡直升机反扭矩。其传动系统一般采用“两轴三器”结构，由主减速器、中间减速器、尾减速器、动力轴、尾轴组成一个完整的传动系统，部分直升

机还会在主减速器和发动机之间安装一级头部减速器进行减速换向。对于这种单旋翼带尾桨构型传动系统，发动机功率主要传递给主减速器，由主减速器实现大功率、大转速比传动，主减速器的设计是这类构型设计的关键。为满足主减速器的大功率流、大转速比，并实现航空减速器所需要开展的减轻质量设计要求，主减速器一般须采用分扭传动，将发动机传递的功率通过分流再并车。单旋翼带尾桨构型传动系统的典型机型为米-26直升机主减速器和CH-53K直升机主减速器。

米-26直升机传动系统由两台发动机提供动力，每台发动机动力均为3级减速传动实现功率流、转速比传递。发动机动力经第一级螺旋锥齿轮副换向减速后分成两路功率流，再经两路斜齿轮功率分流减速，到第三级时再由斜齿轮并车。并车齿轮为双联斜齿轮，每层有8个小齿轮与中心齿轮相啮合。所有齿轮系统间均采用空心的浮动弹性花键轴连接和均载，以保证扭矩分流的均匀性。由于输入功率大，米-26直升机的主减速器放弃了传统的行星传动结构，首次采用了分扭传动结构。



米-26直升机主减速器传动链示意图

这种结构的设计特点是可以实现最后一级减速的大传动比，从而大大减轻主减速器的设计质量。

CH-53K直升机传动系统则是在CH-53E的基础上重新设计了传动系统，发动机由原来的2台增加为3台，传动系统在保持原来输入/输出转速和转向不变的情况下，取消CH-53E的两个头部减速器，主减速器则用分扭传动构型替换了原有传统的行星轮系结构，由第一级螺旋锥齿轮进行换向减速，第二级经直齿轮分流减速，每一台发动机的功率分为4路传递，并设计有弹性轴结构实现各类功率的均载，最后再由第三级人字齿轮副实现并车减速，将功率传递至主旋翼系统。这种设计结构同米-26直升机的主减速器一样，均在最后一级减速实现了大传动比设计，从而大大减轻主减速器的设计质量。

纵列式双旋翼构型传动系统

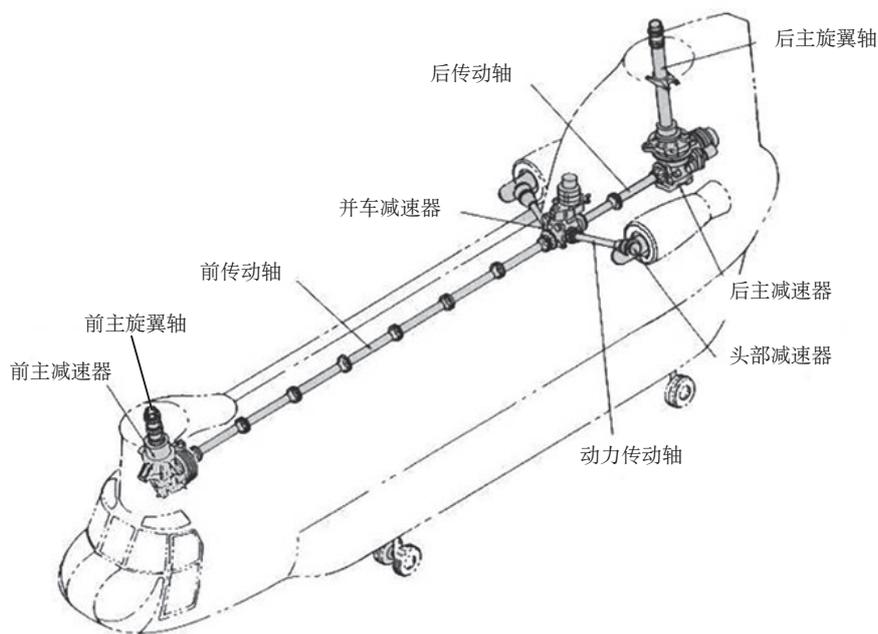
纵列式双旋翼直升机在机身前后各设计有一个旋翼塔座，两副相同的旋翼分别安装在两个塔座上，对旋翼旋转方向进行反向设置，实

现直升机旋翼反作用扭矩的相互平衡。纵列式双旋翼直升机典型机型为CH-47D，该直升机采用两台发动机提供动力，其传动系统可从功能上划分成头部减速器、并车减速器、前主减速器和后主减速器等，各减速器间由传动轴相连接进行运

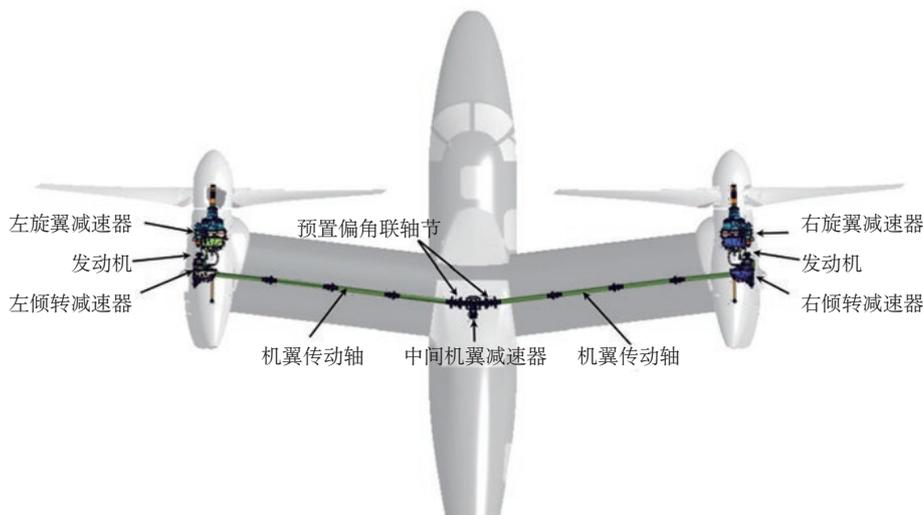
动和动力的传动。两路发动机动力经各动力轴、头部减速器换向和减速后，由并车减速器实现左/右发动机的功率流汇流，再通过同步轴驱动前/后主减速器，在前/后主减速器中均设计有3级减速传动，包括经一级锥齿轮换向减速和两级行星减速后，将动力传递至前/后旋翼系统。

倾转旋翼构型传动系统

倾转旋翼构型传动系统主要由左/右发动机、左/右旋翼减速器、左/右倾转减速器、中间机翼减速器以及塔轴、机翼传动轴等组成。倾转方案通过发动机、减速器与旋翼一同绕机翼传动轴倾转，倾转运动则由一对螺旋锥齿轮实现。为抵消反扭矩效应，在旋翼减速器中通过增加惰轮结构实现转向的改变，从而在发动机输出转速相同的情况下使旋翼获得方向相反的转速。V-22倾转旋翼直升机和AW609倾转旋翼



CH-47D直升机传动系统结构示意图



V-22“鱼鹰”倾转旋翼传动系统

直升机传动系统构型布局相似，其中V-22旋翼减速器采用3级减速传动，包括一级斜齿轮传动和两级行星齿轮系传动。AW609旋翼减速器同样由3级减速传动组成，只是前两级为人字齿轮传动减速，第三级为行星齿轮传动减速。

重型运输直升机传动系统技术特点

减速器采用多路分扭传动

因重型运输直升机传动系统起飞质量大，对传动系统功率传输能力要求高。同时受结构空间和质量限制，传动系统须尽可能减少结构尺寸、减轻结构质量，为满足这一要求，在主要的重型传动系统中普遍采用分扭传动，如米-26、CH-53K采用的是斜齿轮或人字齿轮分扭传动，CH-47D、V-22、AW609中采用的是行星齿轮传动。分扭传动设计技术较为复杂，在各路功率流间如何实现均匀分配，须设计有效的均载结构。

减速器须满足大姿态倾转要求

大姿态倾转是倾转旋翼传动系统所独有的技术特点，不同于常规构型直升机的大姿态机动，其工作姿态范围在 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 。因此，相较于常规的直升机主减速器润滑系统，倾转减速器滑油油位随姿态变化幅度更大，回油路径数量更多、更复杂，油池内滑油分布和不同位置处回油速率受多种因素影响。而且当润滑系统的参数不匹配时或回油不畅时，容易导致滑油压力和流量随姿态大幅度波动，甚至出现断油现象。

减速器须承受大功率载荷下的干运转

因为没有冗余结构设计，传动系统的失效将直接影响到直升机的生存。在润滑系统失效的情况下，传动系统主减速器将会进入干运转状态，齿轮、轴承等摩擦副将迅速产生大量热量引起零部件热变形，从而导致减速器运转失效。重型直升机传动系统的传递功率大，在滑油系统失效条件下工作环境将更加

恶劣，为保证滑油系统失效后减速器仍具备30min的干运转能力所需的技术难度更大，须从润滑、储油构型、齿轮轴承耐高温能力等方面采用更有利于提高干运转能力的措施。

功率传递路径多

功率传递路径多是倾转旋翼传动系统所独有的技术特点，对于单旋翼带尾桨构型和纵列式双旋翼构型直升机传动系统，发动机动力经并车后只需分别单向传递至两侧主旋翼或尾桨，而倾转旋翼传动系统则必须具有功能及结构复杂的互联传动系统，须将直升机两侧动力连接或将动力均匀传递起来，满足功率的双向传递，使之在双发工况、单发失效工况下均能正常运转。

构件尺寸大、结构复杂

重型运输直升机由于传递功率大，结构载荷复杂，相比其他中型、轻型直升机传动系统零部件结构的尺寸大，结构力学指标要求高，对设计、工艺、生产、检验等要求也更高，同时部分零部件尺寸会超出航空制造企业的制造能力范围。

结束语

传动系统作为直升机的三大关键部件之一，研制技术复杂，难度大。同时传动系统还具有单机配套的特点，受直升机整体布局影响大，随着重型运输直升机采用的构型不同，对应的传动系统也会存在差异。但通过对比分析，仍可找出一些共性的或专有的技术特点，并可从这些技术特点出发，为重型直升机传动系统的研发提供技术储备。 **航空动力**

(郑青春，中国航发动研所，工程师，主要从事直升机传动系统设计)